

# Amélioration génétique des arbres forestiers

ÉTUDE FAO  
FORÊTS

20

Compte rendu du Cours de formation FAO/DANIDA  
sur l'amélioration génétique des arbres forestiers

Mérida, Venezuela, janvier-février 1980



ORGANISATION  
DES  
NATIONS UNIES  
POUR  
L'ALIMENTATION  
ET  
L'AGRICULTURE  
Rome, 1985

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

M-31  
ISBN 92-5-200943-4

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, mise en mémoire dans un système de recherche bibliographique ni transmise sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit: électronique, mécanique, par photocopie ou autre, sans autorisation préalable. Adresser une demande motivée au Directeur de la Division des publications, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome (Italie), en indiquant les passages ou illustrations en cause.

## RESUME

Le Cours de formation FAO/DANIDA sur l'amélioration génétique des arbres forestiers s'est déroulé au Vénézuéla du 14 janvier au 2 février 1980. Il était organisé par le Département des forêts de la FAO en collaboration avec le gouvernement vénézuélien, l'Université des Andes et l'Institut latino-américain de recherche et de formation, le financement en étant assuré par l'Organisme danois pour le développement international (DANIDA). Le Cours a été suivi par 19 ingénieurs forestiers et chercheurs de 17 pays d'Amérique latine: Argentine (1), Bolivie (1), Brésil (1), Chili (1), Colombie (1), Costa Rica (1), Cuba (1), République Dominicaine (1), Equateur (1), Guatemala (1), Honduras (1), Nicaragua (1), Panama (1), Paraguay (1), Pérou (1), Uruguay (1), Vénézuéla (3).

Le Cours comportait deux semaines de conférences et de démonstrations pratiques à Mérida, et un voyage d'étude d'une durée d'une semaine dans les Etats de Barinas à l'ouest, et de Monagas dans l'est du Vénézuéla.

Le conférences étaient consacrées aux thèmes suivants: amélioration génétique des arbres forestiers en relation avec la politique forestière nationale; éléments et principes de génétique; conservation et utilisation rationnelle des ressources génétiques forestières; récolte et manipulation de graines forestières; entreposage, essais et certification des semences; dispositifs expérimentaux; interprétation statistique des résultats d'essais; essais d'espèces et de provenances; sélection et conduite de peuplements semenciers; sélection des arbres; génétique quantitative; méthodes de multiplication végétative; systèmes et dispositifs de croisement dirigé; établissement et conduite de vergers à graines; tests de descendance; interaction génotype x milieu; amélioration génétique de la résistance aux maladies; stratégies pour les programmes d'amélioration; considérations économiques relatives aux programmes d'amélioration.

TABLE DES MATIERES

|                                                                                                                                | <u>Page</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. Introduction                                                                                                                | 1           |
| 2. Organisation et conduite du Cours                                                                                           | 1           |
| 3. Conclusions                                                                                                                 | 2           |
| 4. Remerciements                                                                                                               | 2           |
| <br><u>ANNEXES</u>                                                                                                             |             |
| I. Liste des instructeurs, personnel d'appui et participants                                                                   | 5           |
| II. Programme du Cours: partie théorique                                                                                       | 9           |
| III. Programme du Cours: voyage d'étude                                                                                        | 10          |
| IV. Conférences:                                                                                                               | 11          |
| Amélioration des arbres forestiers en relation avec la politique forestière nationale et l'aménagement forestier (R.L. Willan) | 12          |
| Eléments et principes de génétique (W.H.G. Barrett)                                                                            | 17          |
| Principes et stratégies pour une meilleure utilisation des ressources génétiques forestières (C. Palmberg)                     | 25          |
| L'échantillonnage dans la récolte de semences forestières (C. Palmberg)                                                        | 44          |
| Récolte et manipulation des semences forestières (C. Palmberg et G.H. Melchior)                                                | 49          |
| Entreposage, essais et certification des semences forestières (B. Ditlevsen)                                                   | 64          |
| Dispositifs expérimentaux (B. Ditlevsen)                                                                                       | 80          |
| Interprétation statistique des résultats d'essais (B. Ditlevsen)                                                               | 92          |
| Essais d'espèces et de provenances (R. L. Willan)                                                                              | 109         |
| Peuplements semenciers (M. Quijada).                                                                                           | 120         |
| Sélection et conduite des peuplements semenciers: Conifères (W.H.G. Barrett)                                                   | 124         |
| Sélection et conduite des peuplements semenciers: Feuillus (C. Palmberg)                                                       | 131         |
| Sélection des arbres forestiers (M. Quijada)                                                                                   | 134         |
| Génétique quantitative: principes généraux et application pratique à l'amélioration des arbres forestiers (B. Ditlevsen)       | 142         |
| Méthodes de multiplication végétative (M. Quijada)                                                                             | 152         |
| Systèmes et dispositifs de croisement dirigé (B. Ditlevsen)                                                                    | 160         |

|                                                                                                                              | <u>Page</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Vergers à graines (W.F.G. Barrett)                                                                                           | 172         |
| Tests de descendance (M. Quijada)                                                                                            | 182         |
| Interaction génotype-milieu (M. Quijada)                                                                                     | 189         |
| Amélioration génétique en vue de la résistance aux maladies<br>(C. Palmberg)                                                 | 194         |
| Aspects économiques des programmes d'amélioration des arbres<br>forestiers (B. Ditlevsen)                                    | 206         |
| Planification et stratégies pour un programme d'amélioration<br>génétique forestière (C. Palmberg, D.K. Paul et R.L. Willan) | 217         |
| Quelques aspects des problèmes d'amélioration génétique<br>des feuillus indigènes au Vénézuéla (M. Quijada)                  | 236         |
| V. Notes du voyage d'étude                                                                                                   | 239         |
| 1. Floraison, production de graines et pollinisation<br>artificielle de <u>Bombacopsis quinata</u> au Vénézuéla              | 239         |
| 2. Programme de reboisement des llanos orientaux au<br>Vénézuéla                                                             | 242         |
| 3. Liste des opérations et besoins en personnel pour le<br>programme de plantation de la CVG à Uverito                       | 243         |
| 4. Calendrier des travaux de la CVG à Uverito                                                                                | 244         |
| VI. Rapports des pays                                                                                                        | 245         |
| VII. Bibliographie                                                                                                           | 305         |
| 1. Publications distribuées aux participants                                                                                 | 305         |
| 2. Autres publications intéressantes                                                                                         | 306         |
| VIII. Certificat de participation au Cours                                                                                   | 312         |



Ouverture du Cours. C. Palmberg (FAO); Dr. P. Rincón Guitierrez (Recteur de l'Université des Andes); Dr. R. Chalbaud Zerpa (Gouverneur de l'Etat de Merida); Ing. J.R. Corredor Trejo (Doyen de la Faculté des sciences forestières, Université des Andes).



Ouverture du Cours. Dr. R. Chalbaud Zerpa (Gouverneur de l'Etat de Mérida); C. Palmberg (Co-directeur FAO du Cours); R. Ditlevsen (Co-directeur DANIDA du Cours); A. Luna Lugo (Université des Andes); W.H.G. Barrett (Directeur international du Cours).

## 1. INTRODUCTION

Le Cours de formation FAO/DANIDA sur l'amélioration génétique des arbres forestiers s'est déroulé au Venezuela du 14 janvier au 2 février 1980, à l'aimable invitation du gouvernement vénézuélien. Il était organisé par le Département des forêts de la FAO avec l'aide financière de l'Organisme danois pour le développement international (DANIDA), la collaboration technique de l'Université des Andes à Mérida, et l'appui de l'Institut latino-américain de recherche et de formation (IFLAIC).

Le Cours a été organisé dans le cadre du programme de la FAO pour l'amélioration génétique des arbres forestiers, et constitue une activité analogue aux cours antérieurs sur le même thème qui se sont déroulés au Danemark en 1966, au Kenya en 1973 et en Thaïlande en 1976.

L'objectif du cours de la région latino-américaine, qui s'adressait à des forestiers de formation supérieure, était de proposer aux participants des connaissances théoriques et pratiques actuelles en matière d'amélioration génétique des arbres forestiers, et d'aider à établir des contacts entre forestiers et entre instituts de la région travaillant dans ce domaine.

Le Cours a été suivi par 19 participants de 17 pays d'Amérique latine (voir Annexe I).

Le Directeur international du Cours était le Dr. W.H.G. Barrett, d'Argentine. Le Dr. M. Quijada R., de l'Institut de sylviculture de l'Université des Andes remplissait les fonctions de Co-directeur national, le Dr. B. Ditlevsen, du Danemark, celles de Co-directeur DANIDA, Mlle C. Palmberg étant Co-directeur FAO.

## 2. ORGANISATION ET CONDUITE DU COURS

Les deux premières semaines du Cours furent consacrées à des conférences et à des exercices pratiques se rapportant à l'amélioration génétique des arbres forestiers, et la troisième semaine à un voyage d'étude dans les Etats de Barinas à l'ouest, et de Monagas dans l'est du Venezuela.

On trouvera le programme détaillé du Cours aux Annexes II et III.

Le présent Cours a bénéficié de l'expérience acquise lors des cours précédents.

Par rapport aux cours précédents celui-ci a mis davantage l'accent sur les dispositifs expérimentaux et sur l'évaluation statistique des essais; on y a d'autre part inclus, dans la mesure du possible, des techniques d'amélioration de feuillus tropicaux.

Durant tout le Cours on a insisté sur la relation étroite entre politique forestière nationale et programmes d'amélioration génétique, en essayant de donner aux participants une perspective large des problèmes d'amélioration. On a également souligné constamment les diverses conditions préalables qui justifient le lancement d'un programme d'amélioration génétique, telles que la disponibilité de terre, et un programme important de reboisement.

Avant le Cours, les instructeurs avaient rédigé des notes de conférence écrites, qui furent distribuées aux participants à leur arrivée à Mérida, en même temps que des exemplaires de quelques documents et publications d'importance fondamentale ou d'intérêt général. Les conférences sont reproduites en Annexe IV; une bibliographie, incluant les publications distribuées à chaque participant, se trouve en Annexe VII.

Avant leur arrivée à Mérida les participants avaient rempli un questionnaire sur la situation actuelle des plantations et sur l'amélioration génétique des arbres forestiers dans leurs pays respectifs. Cette information, qui a servi de base aux "Rapports par pays" - brève causerie présentée par chaque participant - figure en Annexe VI.

### 3. CONCLUSIONS

Le Cours a fourni aux participants des connaissances qu'ils appliqueront et diffuseront dans leurs pays respectifs. Sans sous-estimer cet aspect, il faut aussi souligner l'intérêt que présentait sans aucun doute l'occasion fournie aux 19 participants, représentant 17 pays, de se réunir pour échanger information et expérience, et discuter avec des spécialistes d'autres pays de leurs problèmes communs.

Le moment était particulièrement opportun pour un cours de cette nature, du fait que la majorité des pays latino-américains intensifient leurs activités de reboisement dans le but de satisfaire les besoins nationaux de bois d'oeuvre et de combustibles ligneux, en incluant dans leurs programmes l'introduction d'essences exotiques et des plans de sélection et d'amélioration.

Le voyage d'étude à l'issue du Cours a été d'une grande importance et d'un grand intérêt, en donnant aux participants l'occasion de voir les problèmes qui peuvent se rencontrer dans la pratique, et de discuter des solutions possibles à ces problèmes.

Il faut souligner que le succès du Cours a été dû dans une large mesure à l'intérêt manifesté par les participants, qui a aidé à surmonter quelques difficultés initiales telles que les niveaux différents de préparation technique qu'ils possédaient. La camaraderie et la bonne humeur qui régnèrent en permanence contribuèrent à créer une atmosphère propice et stimulante pour les activités du Cours.

### 4. REMERCIEMENTS

La FAO souhaite exprimer sa gratitude au gouvernement danois, qui par l'intermédiaire de l'Organisme danois de développement international a patronné ce Cours, et au gouvernement vénézuélien qui s'est offert à accueillir le Cours. Elle doit remercier également la Faculté des sciences forestières de l'Université des Andes à Mérida, pour la contribution précieuse de son personnel scientifique et administratif, et le Conseil de développement scientifique humaniste (CDCH) pour son appui financier; l'Institut latino-américain de recherche et de formation (IFLAIC), qui a mis à la disposition du Cours sa salle de conférences et sa bibliothèque; la Corporación Venezolana de Guayana (CVG) et la Compañía Nacional de Reforestación (CONARE), dont la coopération a rendu possible le voyage d'étude; le Laboratoire national des produits forestiers (LABONAC), et le Centre de calcul informatique de l'Université des Andes, pour leur collaboration durant le Cours.

Nous devons des remerciements spéciaux à Monsieur le Gouverneur de l'Etat de Mérida, le Dr. Reinaldo Chalbaud Zerpa, qui par son intérêt personnel a contribué au succès du Cours, veillant à ce que les participants acquièrent une connaissance et une perception des traditions et coutumes du Venezuela et de l'Etat de Mérida.

Enfin, la FAO est reconnaissante aux instructeurs et au personnel d'appui pour leur précieuse collaboration, et aux participants pour l'intérêt qu'ils ont manifesté, et d'une manière générale elle exprime ses remerciements à toutes les personnes qui par leur intérêt et leurs efforts ont contribué au succès de ce Cours.



Participants et instructeurs du Cours:

Premier rang, de gauche à droite: M.E. Quinteros (Paraguay); J.A. Enricci (Argentine); A. González (Cuba); A. Gomez de Fonseca (Brésil); A. Martínez (Panama); G. Moreno (Chili); Deuxième rang, de gauche à droite: J. Morales (Venezuela); A. Zapata (Venezuela); G.H. Raets (IFLAIC); J. Campos (Venezuela); R.A. Rodríguez (Rép. Dominicaine); M. Quijada (Venezuela); R. Miliani (Venezuela); C. Palmberg (FAO); W.H.G. Barrett (Argentine); D.J. Moreno (Bolivie); T. Quintini (Venezuela); R. Escudero (Uruguay); B. Ditlevsen (Danemark); P.E. Silva de la Maza (Venezuela); O.V. Anleu (Guatemala); H.E. Carrillo (Pérou); D. Villalobos (Honduras); R. Valcarcel (Brésil); G.E. Porras (Costa Rica); A. Ramírez (Venezuela); C.C. Castillo (Venezuela); O. Carrero (Venezuela); A. Copete (Colombie); O. Linares (Venezuela).



Institut de sylviculture, Université des Andes, Mérida.

Annexe I

COURS DE FORMATION FAO/DANIDA  
SUR L'AMELIORATION GENETIQUE  
DES ARBRES FORESTIERS

INSTRUCTEURS ET PERSONNEL D'APPUI

Dr Wilfredo H.G. Barrett  
Fiplasto Forestal  
Maipu 942 - Piso 21  
1340 - Buenos Aires  
Argentina

Dr. Marcelino Quijada R.  
Sección de Genética Forestal  
Instituto de Silvicultura  
Universidad de Los Andes  
Mérida  
Venezuela

Dr Bjerne Ditlevsen  
Skovstyrelsen  
Strandvejen 863  
DK-2930 Klampenborg  
Danemark

Miss Christel Palmberg, M.F.  
Division des Ressources  
Forestières, Département des  
Forêts, Via delle Terme  
di Caracalla, I - 00100 Rome  
Italie

\*\*\*\*\*

Ing<sup>o</sup> Herman Finol U.  
Universidad de Los Andes  
Facultad de Ciencias Fo-  
restales, Vía Chorros de  
Milla, Mérida  
Venezuela

Ing<sup>o</sup> L. Rodríguez Poveda  
Universidad de Los Andes  
Facultad de Ciencias Fo-  
restales, Vía Chorros de  
Milla, Mérida  
Venezuela

Ing<sup>o</sup> S. Giménez Fonseca  
Universidad de Los Andes  
Facultad de Ciencias Fo-  
restales, Vía Chorros de  
Milla, Mérida  
Venezuela

Dr. G.H. Raets  
Instituto Latinoamericano  
de Investigación y Capaci-  
tación, Apartado 36  
Mérida  
Venezuela

Dr. Oton Holmquist  
Universidad de Los Andes  
Facultad de Ciencias Fo-  
restales, Vía Chorros de  
Milla, Mérida  
Venezuela

PARTICIPANTS

ARGENTINE

Ing<sup>o</sup> Juan Andres Enricci  
Estación Forestal Trevelin  
Casilla Correo No. 17  
Trevelin - Chubut (9203)

BRESIL

Ing<sup>o</sup> Agostinho Gomes da Fonseca  
I.B.D.F./D.Pq. - Ed.  
Palacio do Desenvolvimento  
13 Andar - SEN.  
Brasilia - D.F.

COLOMBIE

Ing<sup>o</sup> Alejandro Copete Perdomo  
INDERENA  
Instituto Nacional de los  
Recursos Naturales Renovables  
Calle 26 No. 13 B-47  
Bogotá

CUBA

Lic. Anibal González Roque  
Sección de Genética  
Centro de Investigaciones Forestales  
Calle 174 No. 1723 E/ 17B y 17C  
Siboney - Marianao

EQUATEUR

Ing<sup>o</sup> Jaime Narvaez  
Arosemena Tola No. 452  
Urb. Borgia Yerovi Sector 32  
Quito

HONDURAS

Sr. Angel Danilo Villalobos Nuñez  
Sección Mejoramiento Genético  
Escuela Nacional de Ciencias  
Forestales, Apdo No. 2  
Siguatepeque

PANAMA

Lic. Aristides Martínez Montilla  
Sección de Mejoramiento Genético  
Dirección Nacional de Recursos  
Naturales Renovables  
Paraiso, Panama 5

BOLIVIE

Ing<sup>o</sup> Deimer Jesus Moreno  
PRONAPLAF  
Casilla Correo No. 209  
Avaroa No. 637  
Sucre

CHILI

Ing<sup>o</sup> Gustavo Moreno Diaz  
Corporación Nacional Forestal  
Centro de Semillas  
Casilla 5  
Chillan

COSTA RICA

Ing<sup>o</sup> Guillermo Enrique Porras Sandoval  
Dirección General Forestal  
Ministerio de Agricultura y Ganaderia  
San José

Rép. DOMINICAINE

Sr. Ramon Agustin Rodríguez R.  
Dirección General Forestal  
Centro de los Héroes  
Apartado Postal 1336  
Santo Domingo

GUATEMALA

Sr. Osman Vinicio Anleu  
BANSEFOR  
Instituto Nacional Forestal  
7<sup>a</sup> Av. 7-00 Zona 13  
Guatemala Ciudad

NICARAGUA

Lic. Pedro Eloy Silva de La Maza  
Sección de Investigación Forestal  
Instituto Nicaraguense de Recursos  
Naturales y del Ambiente, I.R.E.N.A.  
Managua

PARAGUAY

Ing<sup>o</sup> Martín Eugenio Quinteros Doldán  
Servicio Forestal Nacional  
Centro Forestal Alto Paraná  
Cd. Strossner

PEROU

Ing<sup>o</sup> Hugo Edgar Carrillo Vargas  
Dirección General Forestal y de Fauna  
Región Agraria IV  
Prolongación Raimondi S/Nº  
Huaraz

URUGUAY

Ing<sup>o</sup> Rafael Escudero Rodríguez  
Facultad de Agronomía  
Departamento Forestal  
Universidad de la República  
Avenida Garzón 780  
Montevideo

VENEZUELA

Ing<sup>o</sup> Oswaldo Carrero  
Centro de Investigación Forestal  
Compañía Nacional de Reforestación  
CONARE  
Apdo. No. 264  
Maturín/Edo. Monagas

Ing<sup>o</sup> Roberto Miliani  
Estación Experimental de Semillas  
Forestales, M.A.R.N.R.  
El Limón  
Maracay/Edo. Aragua

Ing<sup>o</sup> Tomas Quintini  
Sub-Gerencia Forestal  
Corporación Venezolana de  
Guayana, CVG  
Centro Comercial Los Olivos  
Puerto Ordaz/ Edo. Bolívar

OBSERVATEURS

Lic. Carmen Cecilia Castillo  
División de Desarrollo Agrícola, CVG  
Edificio La Estancia, Piso 13  
Chuao, Caracas

Sr. José Campos  
Sub-Gerencia Forestal, CVG  
Centro Comercial Los Olivos  
Puerto Ordaz/Edo. Bolívar

Ing<sup>o</sup> Jairo Morales  
CONARE, Programa Coloradito  
Apartado 196  
El Tigre/Edo. Anzoátegui

\*\*\*\*\*



Bombacopsis quinata, variation génétique dans la présence de contreforts.

COURS DE FORMATION FAO/DANIDA SUR L'AMÉLIORATION  
GÉNÉTIQUE DES ARBRES FORESTIERSPROGRAMME DU COURS  
(Partie théorique)

| Heure | LUNDI 14/1/80                                                                                                                                              | MARDI 15/1/80                                                                                                  | MERCREDI 16/1/80                                                                                                    | JEUDI 17/1/80                                                                                                | VENDREDI 18/1/80                                                                                                   |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8:30  | 9:30 Ouverture officielle du Cours                                                                                                                         | Conservation et utilisation rationnelle des ressources génétiques forestières (C. Palmberg)                    | Dispositifs expérimentaux (B. Ditlevsen)                                                                            | Essais d'espèces et de provenances (W.H.G. Barrett)                                                          | Visite à la forêt expérimentale "La Carbonera" (H. Finol U.)<br>Visite au village typique de Jaji                  |
| 10:15 |                                                                                                                                                            |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                                              |                                                                                                                    |
| 10:30 | Amélioration des arbres forestiers en relation avec la politique forestière nationale (W.H.G. Barrett) 1/                                                  | Récolte et manipulation des graines forestières (B. Ditlevsen)                                                 | Interprétation statistique des résultats d'essais (B. Ditlevsen)                                                    | Sélection et conduite de peuplements semenciers (M. Quijada)                                                 |                                                                                                                    |
| 12:30 |                                                                                                                                                            |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                                              |                                                                                                                    |
| 13:30 | Eléments et principes de génétique (W.H.G. Barrett)                                                                                                        | Entreposage, essais et certification des semences forestières (B. Ditlevsen)                                   | Visite au Centre de calcul informatique et au CDCH.<br>Visite à LABONAC                                             | Sélection des arbres forestiers (M. Quijada)                                                                 |                                                                                                                    |
| 15:30 | Visite à l'Institut de sylviculture à la bibliothèque de la Faculté des sciences forestières et à l'Institut latino-américain de recherche et de formation | Visite au Laboratoire des semences forestières. Démonstration de traitement, entreposage et essais de semences |                                                                                                                     | Rapports de pays (Argentine, Bolivie, Cuba, Guatemala)                                                       |                                                                                                                    |
| 17:00 |                                                                                                                                                            |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                                              |                                                                                                                    |
| 20:00 |                                                                                                                                                            | Les zones bioclimatiques du Venezuela (L. Rodríguez Poveda)                                                    |                                                                                                                     |                                                                                                              |                                                                                                                    |
| 21:30 |                                                                                                                                                            |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                                              |                                                                                                                    |
| Heure | LUNDI 21/1/80                                                                                                                                              | MARDI 22/1/80                                                                                                  | MERCREDI 23/1/80                                                                                                    | JEUDI 24/1/80                                                                                                | VENDREDI 5/1/80                                                                                                    |
| 8:30  | Génétique quantitative: principes généraux et application pratique à l'amélioration des arbres forestiers (B. Ditlevsen)                                   | Systèmes et dispositifs de croisement dirigé (B. Ditlevsen)                                                    | Tests de descendance: principes et application des résultats à des programmes pratiques d'amélioration (M. Quijada) | Considérations économiques relatives aux programmes d'amélioration (B. Ditlevsen)                            | Exemples spécifiques: Exemple I - Programme d'amélioration génétique dans une région subtropicale (W.H.G. Barrett) |
| 10:15 |                                                                                                                                                            |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                                              |                                                                                                                    |
| 10:30 | Méthodes de multiplication végétative (M. Quijada)                                                                                                         | Dispositifs et installation de vergers à graines (W.H.G. Barrett)                                              | Interaction génotype x milieu (M. Quijada)                                                                          | Planification et stratégies pour des programmes d'amélioration génétique des arbres forestiers (C. Palmberg) | Exemples spécifiques: Exemple II - Programmes d'amélioration génétique des feuillus tropicaux (M. Quijada)         |
| 12:00 |                                                                                                                                                            |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                                              |                                                                                                                    |
| 13:30 | Travail de groupe                                                                                                                                          | Conduite des vergers à graines (W.H.G. Barrett)                                                                | Travail de groupe                                                                                                   | Problèmes pathologiques sous les tropiques (O. Holmqvist)                                                    | Clôture de la première partie du Cours                                                                             |
| 15:15 |                                                                                                                                                            |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                                              |                                                                                                                    |
| 15:30 | Rapports de pays (Costa Rica, Rép. Dominicaine, Panama, Paraguay, Uruguay)                                                                                 | Rapports de pays (Colombie, Nicaragua, Pérou)                                                                  | Rapports de pays (Chili, Venezuela)                                                                                 | Rapports de pays (Brésil, Equateur, Honduras)                                                                |                                                                                                                    |
| 17:00 |                                                                                                                                                            |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                                              |                                                                                                                    |

1/ Pour des raisons pratiques, le nom du conférencier ne correspond pas toujours à l'auteur de l'exposé.

Annexe III

PROGRAMME DU COURS

(Voyage d'étude)

|             |                                                                                                                                              |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 27 janvier  | Trajet en autocar jusqu'à Barrancas, station expérimentale "El Irel". Démonstration de polinisation dirigée sur <u>Bombacopsis quinata</u> . |
| 28 janvier  | Forêt expérimentale de Caemital; essais à la station "El Irel".                                                                              |
| 29 janvier  | Trajet jusqu'à Puerto Ordaz, station forestière "El Merei".                                                                                  |
| 30 janvier  | Visite aux plantations, à la pépinière et aux essais de la CVG à Uverito.                                                                    |
| 31 janvier  | Visite aux plantations, à la pépinière et aux essais de la CONARE à Chaguaramas.                                                             |
| 1er février | Trajet jusqu'à Puerto Ordaz, visite au Parc "La Llovizna" et à l'usine de la SIDOR (Siderúrgica del Orinoco).                                |
| 2 février   | Fin du Cours.                                                                                                                                |

\*\*\*\*\*



Un passage périlleux au cours du voyage d'étude

Annexe IV

CONFERENCES

(Table des matières)

|                                                                                                                                | <u>Page</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Amélioration des arbres forestiers en relation avec la politique nationale et l'aménagement forestier (R.L. Willan).....       | 12          |
| Eléments et principes de génétique (W.H.G. Barrett).....                                                                       | 17          |
| Principes et stratégies pour une meilleure utilisation des ressources génétiques forestières (C. Palmberg).....                | 25          |
| L'échantillonnage dans la récolte de semences forestières (C. Palmberg).....                                                   | 44          |
| Récolte et manipulation des semences forestières (C. Palmberg et G.H. Melchior).....                                           | 49          |
| Entreposage, essais et certification des semences forestières (B. Ditlevsen).....                                              | 64          |
| Dispositifs expérimentaux (B. Ditlevsen).....                                                                                  | 80          |
| Interprétation statistique des résultats d'essais (B. Ditlevsen).....                                                          | 92          |
| Essais d'espèces et de provenances (R.L. Willan).....                                                                          | 109         |
| Peuplements semenciers (M. Quijada).....                                                                                       | 120         |
| Sélection et conduite des peuplements semenciers: Conifères (W.H.G. Barrett).....                                              | 124         |
| Sélection et conduite des peuplements semenciers: Feuillus (C. Palmberg).....                                                  | 131         |
| Sélection des arbres forestiers (M. Quijada).....                                                                              | 134         |
| Génétique quantitative: principes généraux et application pratique à l'amélioration des arbres forestiers (B. Ditlevsen).....  | 142         |
| Méthodes de multiplication végétative (M. Quijada).....                                                                        | 152         |
| Systèmes et dispositifs de croisement dirigé (B. Ditlevsen).....                                                               | 160         |
| Vergers à graines (W.H.G. Barrett).....                                                                                        | 172         |
| Tests de descendance (M. Quijada).....                                                                                         | 182         |
| Interaction génotype-milieu (M. Quijada).....                                                                                  | 189         |
| Amélioration génétique en vue de la résistance aux maladies (C. Palmberg).....                                                 | 194         |
| Aspects économiques des programmes d'amélioration des arbres forestiers (B. Ditlevsen).....                                    | 206         |
| Planification et stratégies pour un programme d'amélioration génétique forestière (C. Palmberg, D.K. Paul et R.L. Willan)..... | 217         |
| Quelques aspects des problèmes d'amélioration génétique des feuillus indigènes au Venezuela (M. Quijada).....                  | 236         |

AMELIORATION DES ARBRES FORESTIERS EN RELATION AVEC LA  
POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE ET L'AMENAGEMENT FORESTIER

---

R.L. Willan  
Division des ressources forestières  
Département des forêts  
F A O

TABLE DES MATIERES

Introduction

Conditions préalables d'un programme d'amélioration des arbres

Le programme de plantation  
Le programme d'amélioration

Définition des objectifs

Contraintes

Amélioration des arbres en relation avec l'aménagement

Résumé

Bibliographie

INTRODUCTION

La justification d'un programme national d'amélioration des arbres forestiers et l'importance des ressources qui lui seront consacrées seront déterminées dans une large mesure par la politique forestière du pays (Keiding, 1974). La politique forestière doit elle-même être en rapport avec les plans nationaux de développement.

Les questions fondamentales qui se posent sont alors les suivantes: 1) Quelle est l'importance du secteur forestier dans l'économie nationale? 2) Quelle est l'importance des reboisements dans l'ensemble du secteur forestier? A un extrême on trouve le cas d'un pays petit et très peuplé dans lequel il n'y a pas de place pour une sylviculture à grande échelle, ni par conséquent pour une amélioration génétique des arbres forestiers; Singapour et Malte en sont des exemples. A l'autre extrême se trouvent les pays à faible densité de population ayant de grandes superficies de forêts naturelles susceptibles de se régénérer naturellement et de répondre aux besoins du pays dans un avenir prévisible; le Gabon et, jusqu'à une époque récente, Kalimantan en Indonésie peuvent être cités comme exemples. Dans ces pays il y a lieu d'appliquer des techniques sylvicoles simples, visant à conserver une certaine proportion des arbres les meilleurs comme porte-graines, et sans doute d'établir et préserver à l'intérieur des massifs des réserves naturelles intégrales, mais non d'y entreprendre un programme à long terme d'amélioration génétique. Dans des régions où la fonction essentielle de protection de la forêt en terrain accidenté interdit l'exploitation commerciale et par suite les reboisements de production, il n'y a de même pas de place pour la génétique forestière.

Peu de pays à l'heure actuelle peuvent se permettre de ne compter que sur leurs forêts naturelles. Dans la plupart d'entre eux la pression sur les terres s'accroît sans cesse, et s'il est possible de produire les matières premières nécessaires sur une surface beaucoup moins grande ou dans un temps plus court grâce à des méthodes de reboisement intensives, les forestiers se doivent d'employer de telles méthodes. Les plantations concentrées entraînent des bénéfices économiques et sociaux indirects du fait du développement des industries forestières et des emplois créés. En conséquence des plantations forestières sont réalisées à une échelle croissante à travers le monde. En pratique les rôles des forêts naturelles et artificielles doivent être considérés comme complémentaires, les forêts naturelles remplissant des fonctions essentielles de protection, et des fonctions culturelles, et fournissant certaines catégories spéciales de bois, telles que bois de haute qualité pour ébénisterie et placages, tandis que les forêts artificielles répondent dans une proportion croissante aux besoins en bois de construction, sciages courants, panneaux dérivés du bois et pâte (Hughes et Willan, 1976).

Généralement parlant, la condition préalable d'un programme d'amélioration des arbres forestiers est l'existence du reboisement. A partir du moment où l'on récolte des semences et où l'on élève et cultive artificiellement des plants, il y a une possibilité de sélectionner et améliorer. Il convient par conséquent d'aborder l'examen de l'amélioration génétique en relation avec les programmes de reboisement (Keiding, 1974). C'est pourquoi les rapports par pays qu'il a été demandé aux participants de présenter replacent l'information sur les programmes nationaux d'amélioration des arbres forestiers dans le contexte de l'environnement et de la politique forestière nationale, et des programmes nationaux de reboisement.

#### CONDITIONS PRÉALABLES D'UN PROGRAMME D'AMÉLIORATION DES ARBRES

Même si un programme de reboisement et d'amélioration génétique paraît justifié dans un pays donné, les fonds et les efforts à lui consacrer exigent certaines conditions préalables:

##### Le programme de plantation

1. Disponibilité et maîtrise de la terre. Les investissements élevés nécessaires pour le reboisement ne peuvent se justifier que si l'on a l'assurance que la forêt restera la forme de mise en valeur pendant au moins une révolution. Même avec des essences "à croissance rapide", cela représentera probablement une ou plusieurs décennies. L'autorité gestionnaire doit d'autre part avoir l'entière maîtrise de la terre pendant toute cette période. Si les reboisements se trouvent sur des terres appartenant au domaine forestier de l'Etat et incluses dans un plan d'aménagement du territoire garantissant la continuité de la gestion pendant une longue période, la sécurité de la jouissance pourra être très grande. Des terres fragmentées entre une multitude de petits propriétaires privés sont généralement impropres au reboisement à grande échelle. En revanche, la génétique forestière peut avoir un rôle à jouer dans la fourniture d'arbres à planter de manière diffuse en agrosylviculture, à condition que l'agriculteur soit convaincu de la valeur du produit et de la nécessité de protéger et entretenir les arbres.

2. Echelle des opérations. Quelle que soit l'importance des gains que peut procurer l'amélioration génétique des arbres, les coûts de base minima d'une petite unité de recherche doivent se répartir sur une surface suffisante pour pouvoir être rentables. Par exemple, une unité coûtant 100 000 dollars E.-U. par an et produisant des semences améliorées susceptibles de fournir un accroissement de valeur actualisée des produits de 100 dollars E.-U. par hectare et par an sera largement rentable pour un programme de plantation de 10 000 hectares par an, mais ne saurait se justifier pour 100 hectares par an.

3. Disponibilité de débouchés. Il faut qu'il y ait une garantie acceptable de débouchés pour les produits des plantations, soit dans le pays même soit à l'exportation. Il faut non seulement que les débouchés existent, mais qu'ils soient à distance économique de transport. Un reboisement même situé sur des stations de productivité élevée pourra ne pas être rentable si les coûts de transport sont prohibitifs.

##### Le programme d'amélioration

1. Il faut qu'il y ait une garantie suffisante, par exemple sous la forme d'un engagement écrit de l'autorité financière, que le programme d'amélioration disposera du personnel et des fonds nécessaires avec la continuité indispensable. Comme le déclare Zobel (1969), on doit se demander: "Aurai-je l'appui en moyens financiers, matériels et humains nécessaires pour faire un travail convenable? Sinon, mieux vaut ne rien faire. Un programme entrepris sans enthousiasme et mal exécuté ne ferait qu'indisposer les gens vis-à-vis de la forêt et de ses potentialités". S'il n'y a pas de généticien forestier disponible dans le pays, il faudra dès le départ prévoir la formation du personnel nécessaire.

2. Evaluation de l'information technique disponible ailleurs. Les résultats de recherches menées dans d'autres pays ayant des conditions écologiques comparables peuvent permettre de réduire, sinon de supprimer, la nécessité d'entreprendre un programme national d'amélioration en partant de zéro. Pour des petits pays ayant des programmes de reboisement modestes, une unité de recherche régionale peut procurer les mêmes résultats que plusieurs programmes nationaux, et à meilleur compte. On peut citer comme exemples de programmes régionaux d'amélioration des arbres forestiers celui qui a été conduit en Afrique

orientale au cours des années soixante et soixante-dix, et celui du CATIE 1/ actuellement en cours en Amérique centrale.

Même lorsque dans un pays on a un programme important de reboisement sur une gamme de stations de caractéristiques uniques, un échange international d'information et de matériel génétique peut contribuer dans une large mesure à éviter des répétitions inutiles et à concentrer la recherche sur la solution des problèmes les plus importants ou sur l'exploitation des possibilités les plus prometteuses.

#### DEFINITION DES OBJECTIFS

Une fois qu'il sera établi qu'il existe bien les bases pour un programme national d'amélioration des arbres forestiers, l'autorité responsable devra définir ses objectifs aussi clairement que possible. Il y a souvent de bonnes raisons pour fixer plus d'un objectif. Etant donné les longs délais qu'exige la production forestière, et en comparaison la rapidité avec laquelle les préférences techniques et les débouchés peuvent changer, il est souvent très souhaitable de maintenir un maximum de souplesse dans les objectifs. Celle-ci est particulièrement nécessaire avec des révolutions excédant 15 ans (Hughes et Willan, 1976). Il y a toutefois des limites à la latitude que l'on peut avoir dans les programmes et dans le choix des essences, qu'il faut reconnaître dès le départ. Un eucalyptus à bois dense sera probablement supérieur à un eucalyptus à bois léger pour le bois de feu, mais moins bon comme bois à pâte à fibres courtes. Dans le sud des Etats-Unis, on plante des vergers à graines séparés pour les pins à bois dense et à bois léger. Ainsi, des buts différents pourront parfois être le mieux servis en créant des peuplements distincts pour lesquels on utilisera des critères de sélection différents, plutôt qu'en cherchant à avoir un peuplement "à fins multiples" ne répondant à aucune de ces fins de manière satisfaisante. Si l'on a fixé plus d'un objectif, et que les ressources s'avèrent insuffisantes pour atteindre tous les objectifs - ce qui est à peu près inévitable -, il importera de leur assigner des priorités relatives.

Les objectifs doivent être définis en fonction des besoins immédiats et à court et long terme du programme de reboisement en cause. Les contraintes à la réalisation des objectifs doivent également être prises en compte au moment de leur définition, en indiquant les limites de ressources (en moyens humains, matériels et financiers) à l'intérieur desquelles le projet devra fonctionner (Hughes et Willan, 1976).

#### CONTRAINTES

Les objectifs d'amélioration ne peuvent être réalisés que dans la limite des contraintes biologiques, humaines et financières. Celles-ci sont dans certains cas si limitantes qu'il devient impossible d'atteindre les objectifs, et dans ce cas il incombe au généticien forestier de convaincre l'autorité responsable de fixer des objectifs plus réalistes. Voici quelques exemples dans lesquels des conditions limitantes peuvent contraindre à un changement dans les objectifs:

1. Tentatives de reboisement à grand rendement en conditions semi-arides. Une essence ou une provenance peut être à croissance rapide ou résistante à la sécheresse, mais rarement les deux à la fois. L'amélioration que l'on peut attendre de la génétique sera probablement limitée et lente, et il se peut que l'on obtienne une amélioration plus spectaculaire en transférant le programme de reboisement dans une zone plus humide, ou en recourant à l'irrigation.
2. Tentatives de lancer un programme d'amélioration d'une essence introduite, en partant de petites plantations de base génétique étroite ou inconnue. Dans un tel cas de nouvelles introductions et des essais de provenances sont plus urgents qu'une sélection individuelle dans les plantations existantes.
3. Tentatives d'utilisation d'une essence exotique pour laquelle les approvisionnements extérieurs en semences sont insuffisants, et qui ne produit pas de semences dans le nouveau milieu.

1/ CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
(Centre agronomique de recherche et d'enseignement), Turrialba, Costa Rica.

4. Tentatives d'amélioration de caractères connus pour avoir une très faible héritabilité.

5. La longue durée de la période qui s'écoule entre la germination et le moment où un arbre forestier peut produire des semences est souvent une contrainte sérieuse. S'il faut des semences déjà améliorées dans les 5 ans et que l'essence mette 10 ans à produire des semences dans un verger à graines, la création d'un verger à graines maintenant ne permettra pas d'atteindre l'objectif. Il faudra alors envisager d'autres solutions, telles que des coupes d'amélioration sévères dans les peuplements existants, ou un changement de stratégie comme par exemple la mise au point de méthodes de multiplication végétative.

#### AMELIORATION DES ARBRES EN RELATION AVEC L'AMENAGEMENT

L'amélioration des arbres forestiers n'est qu'un des outils dont dispose l'aménageur, et ne saurait être envisagée isolément. La recherche en matière d'amélioration génétique doit par conséquent être étroitement intégrée avec les autres domaines de recherche, par exemple pédologie, évaluation des stations, techniques de plantation, espacement et éclaircies, qualités technologiques des bois. La politique forestière nationale doit par conséquent prévoir l'intégration de tous les secteurs de la recherche forestière, et la multiplication rapide de matériel amélioré et son introduction dans la pratique sylvicole.

Les résultats de l'amélioration génétique peuvent donner lieu à une modification de l'aménagement. Par exemple, des arbres améliorés, plus uniformes et plus résistants aux maladies, permettent d'adopter des espacements initiaux plus larges, ce qui réduit les coûts tout en aboutissant à la même densité finale souhaitée (Zobel, 1969). Les généticiens peuvent produire des génotypes qui répondent bien à une préparation du sol et à une fertilisation intensive, et d'autres qui tolèrent des sols pauvres et une absence de fumure. Dans un même pays il y aura sans doute un certain nombre de types de stations différents à planter, et le généticien devra donc fournir une gamme de génotypes adaptés aux différentes stations. Des innovations techniques peuvent modifier les priorités de la sélection génétique, par exemple l'invention d'un nouvel outil d'élitage permettant de réduire le coût de cette opération peut réduire la nécessité de sélectionner des arbres à branches fines et à élitage naturel précoce, et un nouveau procédé révolutionnaire de mise en pâte peut diminuer l'importance de la qualité et de l'uniformité des bois de trituration.

#### RESUME

1. Les programmes d'amélioration des arbres forestiers doivent être en relation étroite avec les objectifs et les priorités des programmes nationaux de reboisement et par suite avec la politique forestière nationale et la politique de développement du pays.

2. Un certain nombre de conditions préalables, telles que la disponibilité de terre et une échelle suffisante des opérations de reboisement, doivent être réunies pour justifier d'entreprendre un programme d'amélioration.

3. Pour qu'un programme d'amélioration puisse être entrepris avec de bonnes chances de succès, il doit avoir des objectifs et des priorités clairement définis, et l'assurance de disposer de manière continue de ressources suffisantes pour les réaliser. Dans la mesure du possible, les objectifs doivent être non équivoques et quantifiés.

4. Le généticien forestier doit examiner attentivement les objectifs à la lumière des contraintes biologiques, humaines et financières, et au besoin convaincre l'autorité responsable de les modifier. Ce n'est qu'une fois que des objectifs réalistes auront été fixés et acceptés qu'il pourra commencer à planifier sa stratégie et ses programmes, tel que décrit dans un autre exposé.

5. L'amélioration des arbres forestiers présente une interaction avec d'autres aspects de la recherche et de l'aménagement, tels qu'évaluation des stations, préparation du terrain, espacement et éclaircies. La recherche en matière d'amélioration génétique doit par conséquent être étroitement intégrée avec les autres secteurs de la recherche forestière nationale.

6. Les programmes d'amélioration des arbres forestiers doivent être souples, et pouvoir être révisés à intervalles réguliers. Les priorités économiques nationales se modifient, et peuvent rendre nécessaires des changements dans les objectifs d'amélioration génétique. De même, les succès et les échecs de la recherche génétique peuvent suggérer des changements dans la politique d'aménagement forestier et de reboisement (substitution d'essences de reboisement, possibilité de reboiser des stations jusque là considérées comme non rentables économiquement, etc...). Il faut qu'il y ait une communication réciproque entre politique forestière et recherche.

#### BIBLIOGRAPHIE

Hughes, J.F. et Willan, R.L.  
1976

Policy, planning and objectives. In: A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics. Tropical Forestry Paper No. 10 and 10 A, Oxford, U.K.

Keiding, H.  
1974

Tree improvement in relation to national forestry policy. In: Report of FAO/DANIDA Training Course on Forest Improvement, Kenya. FAO, Rome.

Zobel, B.  
1969

A tree improvement programme for a developing country and the effects of tree improvement on forest management. In: FAO - North Carolina State Forest Tree Improvement Training Centre Lecture Notes, Raleigh, USA.

ELEMENTS ET PRINCIPES DE GENETIQUE 1/

W.H.G. Barrett  
Fiplasto S.A., Buenos Aires, Argentine

TABLE DES MATIERES

Définitions  
Structure chromosomique  
Structure génétique  
Mutations  
Hérédité non chromosomique  
Génotype et phénotype  
Division cellulaire et nouvelles combinaisons génétiques  
Fécondation et développement de la graine  
Endogamie  
Hétérosis  
Bibliographie

DEFINITIONS

La génétique est la science qui étudie les causes déterminant les ressemblances et les différences entre individus, ou en d'autres termes qui étudie la variabilité et l'hérédité chez les êtres vivants, et par conséquent leur évolution. On distingue la génétique classique ou mendélienne (qui étudie la transmission des caractères), et la génétique des populations (qui étudie les effets spécifiques des gènes sur les êtres vivants). L'amélioration génétique est l'application de la science génétique au profit de l'homme.

Nous décrirons quelques concepts fondamentaux de la génétique qui sont applicables tant aux animaux qu'aux végétaux, en essayant de donner des exemples se rapportant à des essences forestières.

STRUCTURE CHROMOSOMIQUE

Toutes les cellules vivantes sont constituées par une membrane, un cytoplasme et un noyau. A l'intérieur du noyau se trouvent les chromosomes, qui sont le support de l'information génétique et ont pour rôle de transmettre cette information aux autres cellules. Leur nombre est constant pour chaque espèce. Ainsi par exemple, les saules et les peupliers ont  $n = 19$  chromosomes, les pins  $n = 12$ , les eucalyptus  $n = 11$ , etc.. Leur taille varie selon les espèces; ils sont en général petits chez les angiospermes - quelques microns de longueur -, plus grande chez les gymnospermes.

Le chromosome est un organe allongé de structure filiforme, composé d'acide désoxyribonucléique (ADN) et d'une gaine protéique. L'ADN, qui est la substance génétique active, est une longue molécule composée de deux cordons disposés en hélice. Chacune de ces hélices est constituée de quatre bases organiques: cytosine, guanine, adénine et thymine, dont chacune est fixée à un sucre et liée à un phosphate. Cet ensemble donne naissance à une molécule de nucléotide. Les deux hélices sont reliées entre elles de manière plus lâche par des atomes d'hydrogène, formant des molécules d'acide nucléique.

La capacité de l'ADN de se dédoubler permet aux chromosomes de transmettre l'information génétique d'une génération à la suivante. C'est la conséquence de la forme de double hélice de la molécule, et des propriétés des quatre bases protéiques. L'adénine et la thymine (purines à deux cycles) sont liées par deux atomes d'hydrogène, tandis que la guanine et la cytosine (pyrimidines monocycliques) sont liées par 3 atomes H. Par conséquent une guanine s'unira toujours à une cytosine, et une thymine à une adénine. Au moment de la division chromosomique les deux filaments se séparent et se dédoublent, et

---

1/ Cet exposé est basé sur:

- FAO (1963); Aspects génétiques de l'amélioration des arbres forestiers, par J.W. Wright. Etudes des forêts et des produits forestiers, No 16, FAO, Rome;
- Wright, J.W. (1976). Introduction to forest genetics. Academic Press.

se disposent de telle sorte que chaque base protéique s'unit à une base complémentaire - adénine avec thymine et guanine avec cytosine. Pour donner une idée de la dimension, la distance entre 10 nucléotides d'une hélice est de 34 Å. Les bases à l'intérieur de la spirale sont rangées linéairement en groupes de 3, et comme il y a 4 bases il existe 64 combinaisons. En d'autres termes, on peut les comparer à un alphabet de 4 lettres formant 64 mots de 3 lettres, lesquels s'organisent en paragraphes, et ceux-ci en séquences spéciales qui dirigent les processus de croissance. On connaît déjà les séquences qui sont responsables dans les organismes unicellulaires de la formation de certains aminoacides, et de l'activité de certaines enzymes qui gouvernent la synthèse des protéines. Le poids moléculaire de la molécule d'ADN est très élevé. On a estimé qu'une cellule de pin renferme  $50 \times 10^9$  paire de nucléotides; si nous supposons que chaque nucléotide est une lettre de l'alphabet, cela correspondrait à 2 500 000 pages imprimées.

Le contrôle des processus de croissance d'une cellule s'effectue par une substance analogue à l'ADN, appelée acide ribonucléique (ARN), qui en diffère par le fait qu'il est formé d'un seul cordon, que les sucres contiennent un atome d'oxygène de plus (ribose), et que la thymine est remplacée par l'uracile. L'ARN remplit la fonction de messager entre l'ADN et les autres parties de la cellule, et il règle et participe à la synthèse des aminoacides, et de ceux-ci en protéines.

### STRUCTURE GENETIQUE

D'un point de vue structurel, un gène se définit comme une séquence de triplets le long d'une molécule d'ADN. Néanmoins, jusqu'à présent, il n'a pas été possible d'isoler un gène et d'étudier sa structure. Un gène peut aussi se définir comme étant la partie d'un chromosome responsable du développement d'un caractère déterminé. On parle donc de gènes de la rapidité de croissance, de la résistance au froid, de la taille des feuilles, etc... On considère le gène comme l'ultime unité héréditaire, bien que nous sachions qu'il a une grande taille moléculaire. Le nombre de gènes d'une cellule est inconnu, bien qu'il existe des estimations pour certaines plantes, 13 000 000 de gènes par exemple chez Pinus banksiana. Chez certaines plantes agricoles on a trouvé que des individus d'une même espèce pouvaient différer entre eux par 500 gènes. Dans un programme d'amélioration, on travaille sur deux douzaines de gènes. Les gènes peuvent avoir des effets plus ou moins grands. Par exemple, le rythme de croissance résulte en général de l'action de plusieurs gènes ayant des effets individuels faibles. En revanche, la couleur des yeux chez l'homme est déterminée par une paire de gènes ayant des effets relativement grands. Il existe des gènes qui agissent indépendamment, d'autres au contraire qui agissent quand d'autres gènes sont présents.

Les gènes sont rangés sous forme linéaire dans les chromosomes. C'est pourquoi les gènes d'un même chromosome appartiennent au même groupe de liaison. Cependant cette liaison génétique n'est pas parfaite, en effet lors de la méiose, lorsque les chromosomes homologues s'apparient, il se produit entre eux des échanges de certaines parties. Lorsque cela se produit on dit qu'il y a enjambement ou "crossing-over", donnant lieu à des recombinaisons génétiques. En général il se produit une ou plusieurs recombinaisons par chromosome. Logiquement la probabilité pour que deux gènes liés se séparent est proportionnelle à la distance qui les sépare dans le chromosome. On utilise ce fait pour établir des cartes chromosomiques dans lesquelles la distance entre gènes est définie en fonction de la fréquence de nouvelles combinaisons; une unité d'enjambement équivaut à 1 pour cent de recombinaisons. Malgré que les liaisons de gènes n'aient pas été mesurées pour les arbres, leur connaissance est importante pour l'amélioration génétique. Par exemple, chez les pins il existe 12 paires de chromosomes, et par conséquent 12 groupes de liaison. Il peut se produire que lorsqu'on cherche à sélectionner un caractère, il y ait un changement de fréquence dans d'autres caractères étroitement liés.

On appelle allèles (ou allélomorphes) des gènes qui occupent le même locus dans une paire de chromosomes, et sont désignés par la même lettre. Les gènes allèles dominants expriment le caractère même chez l'hétérozygote, tandis que les gènes récessifs ne se manifestent que chez l'homozygote. Ce type de dominance est appelé dominance absolue. La dominance est partielle ou relative lorsque le caractère se manifeste de manière intermédiaire. Tel est le cas du croisement entre variétés à fleurs rouges (AA) et à fleurs blanches (aa) donnant des fleurs roses (Aa). Lorsque la dominance se produit entre gènes non allèles, on la désigne sous le terme d'épistasie.

On appelle gènes additifs des gènes qui se manifestent de manière cumulative. Il s'agit de gènes à effet faible contrôlant un même caractère.

#### MUTATIONS

Une erreur dans le processus de dédoublement des chromosomes produit des changements que l'on nomme mutations. Cela se produit en général au niveau des gènes: il peut se produire un changement important dans les chromosomes en ce qui concerne leur nombre, leur structure, une inversion, un agrégat, une réduction de taille, un dédoublement, etc... Il en résulte des effets importants, généralement des anomalies qui sont le plus souvent défavorables.

La fréquence d'apparition des mutations géniques est estimée entre 1 pour 10 000 et 1 pour 100 000 000. La majorité de ces mutations sont défavorables et récessives. En dépit de cela, c'est un processus avantageux, étant donné que c'est la principale source de variation dont disposent les êtres vivants. Ces changements, se maintenant sous la forme de caractères récessifs, sont incapables de s'exprimer par eux-mêmes, mais dans certaines conditions peuvent devenir avantageux en cas de modification du milieu. Les mutations géniques peuvent être accrues artificiellement par application de rayons X, de substances chimiques, etc... Ces substances chimiques peuvent agir directement sur l'ADN, en provoquant des changements chimiques qui en se reproduisant donneront naissance à une descendance mutante. C'est le cas de l'acide nitreux et de l'éthyléthanosulfonate. Par contre d'autres substances, comme la 5-bromo-uracile ou uracile bromée, agissent seulement lors de la synthèse de l'ADN. Par analogie de bases, elle s'identifie à la thymine et la remplace lors de la division, au cours de laquelle elle peut s'associer occasionnellement à la guanine au lieu de l'adénine en produisant un triplet différent.

#### HEREDITE NON CHROMOSOMIQUE

L'hérédité cytoplasmique ou matrocline n'a pas été observée sur les arbres, bien qu'elle se rencontre chez les plantes herbacées. Chez le maïs il arrive qu'une plante ne produise pas d'inflorescence mâle et soit par conséquent stérile, ce qui est dû à un facteur cytoplasmique. Ce caractère a été mis à profit pour la production de maïs hybride, mais par la suite il s'est avéré que ce clone était très sensible aux maladies, et il a dû être abandonné.

On a observé ces cas d'hérédité patrocline dans les essences forestières avec Cryptomeria japonica.

#### GENOTYPE ET PHENOTYPE

Le génotype correspond à la constitution génétique d'un individu ou à des groupes d'individus ayant une constitution génique semblable en ce qui concerne des gènes déterminés.

Le phénotype est l'apparence extérieure, partiellement sous la dépendance du génotype. Cependant il existe des gènes récessifs qui ne peuvent s'exprimer en raison de la présence de gènes dominants, bien qu'étant présents dans le génotype. De même il y a des gènes ayant des effets faibles ou des gènes modificateurs qui n'apparaissent pas dans le phénotype. Le milieu détermine également en partie le phénotype. Un génotype peut renfermer de nombreux gènes de croissance rapide qui ne se manifestent pas s'ils se trouvent dans un sol pauvre ou dans un climat défavorable, ou encore il peut avoir des gènes de sensibilité à une maladie et paraître résistant parce que cette maladie n'existe pas dans la station. Néanmoins, il est possible par une étude attentive du phénotype de déduire certaines caractéristiques du génotype. Bien entendu, on obtiendra beaucoup plus d'information en étudiant la descendance et la relation entre les caractéristiques des parents et celles de leur descendance.

## DIVISION CELLULAIRE ET NOUVELLES COMBINAISONS GENETIQUES

La division cellulaire qui se produit dans le cambium, à l'extrémité des racines, dans les feuilles et dans les autres méristèmes de croissance se nomme mitose. La constitution normale des cellules (diploïdes à  $2n$  chromosomes) se maintient, chaque chromosome se dédoublant en reconstituant deux ensembles jumeaux. Il ne se produit pas ici de différenciation entre les chromosomes, à l'exception des mutations qui peuvent apparaître.

Par contre, dans la méiose, il y a une réduction du nombre chromosomique de  $2n$  dans les cellules végétatives (diploïdes) à  $n$  dans les gamètes (haploïdes). Au cours de la méiose, les deux ensembles de chromosomes homologues se réunissent au centre de la cellule mère et s'y appariant. C'est ici que se produisent les enjambements (crossing-over). Il y a échange de segments de chaque paire de chromosomes, donnant naissance à de nouvelles combinaisons de gènes. La méiose comporte deux étapes, au cours desquelles il se produit deux divisions nucléaires successives donnant finalement naissance à 4 gamètes.

## FECONDATION ET DEVELOPPEMENT DE LA GRAINE

Grâce à la fécondation, le gamète mâle ( $n$ ) s'unit au gamète femelle ( $n$ ) pour former l'oeuf ( $2n$ ), qui par divisions successives donne naissance à l'embryon, puis à la graine et enfin à l'arbre. Durant ce processus, les chromosomes du gamète mâle pénètrent dans le noyau de l'ovule. Ainsi, la méiose et la fécondation sont les mécanismes par lesquels la variabilité génétique des individus permet aux caractères de se séparer et se recombiner pour donner naissance à des descendants qui diffèrent génétiquement de leurs parents.

Les angiospermes se caractérisent par une double fécondation, dans laquelle un des noyaux du gamète mâle féconde deux noyaux polaires en donnant naissance à l'albumen. Il en résulte que dans les graines des angiospermes on trouve divers tissus génétiquement différents:

| <u>Tissus</u> | <u>Nombre de chromosomes</u> | <u>Origine</u>                   |
|---------------|------------------------------|----------------------------------|
| Tégument      | $2n$                         | maternelle                       |
| Embryon       | $2n$                         | maternelle et paternelle         |
| Albumen       | $3n$                         | 2/3 maternelle et 1/3 paternelle |

Chez les gymnospermes, on a au lieu de l'albumen un endosperme haploïde, d'origine maternelle.

## ENDOGAMIE

L'endogamie (inbreeding) est le croisement d'individus apparentés, avec perte d'hétérozygotie. Le cas extrême est l'autofécondation, dans laquelle l'individu se féconde lui-même. A partir de cet extrême il existe tous les termes intermédiaires depuis le croisement en retour (backcross) avec l'un des parents, le croisement entre frères et sœurs, cousins, etc... jusqu'au croisement entre membres d'une petite population isolée.

Les populations sauvages (forêts non soumises à l'intervention humaine) maintiennent généralement un important patrimoine génétique, avec un grand nombre de gènes récessifs. Comme les individus se croisent entre eux et qu'ils ne possèdent pas tous les mêmes gènes récessifs, ceux-ci ne se manifestent pas dans la descendance. En revanche, si un individu s'autoféconde, pour chaque caractère hétérozygote il apparaît dans la descendance 25 pour cent d'individus chez lesquels le caractère récessif se manifeste:  $Aa \times Aa = 25\% AA + 50\% Aa + 25\% aa$ . Il peut arriver que les effets des gènes récessifs défavorables soient faibles et ne se manifestent pas de manière visible, mais si l'individu autofécondé possède une centaine de gènes récessifs leur effet cumulatif dans la descendance peut être important. Des expériences réalisées sur Pinus taeda aux Etats-Unis ont démontré qu'il existe une perte de vigueur parmi les descendants des individus autofécondés par comparaison avec les descendants des mêmes individus en pollinisation libre. Avec d'autres essences forestières on a démontré qu'il pouvait y avoir une diminution de l'accroissement atteignant 50 pour cent par comparaison avec les témoins.

Cependant l'autofécondation n'entraîne pas toujours une perte de vigueur. Tel est le cas des plantes autogames qui ont des structures florales favorisant l'autofécondation, comme la tomate et le blé. Ces plantes peuvent avoir possédé ou acquis par mutation des gènes nocifs, qui ont été éliminés par des milliers de générations en autofécondation. On peut en déduire que la perte de vigueur n'est pas due à l'autofécondation ou à la consanguinité en elles-mêmes, mais à l'accumulation de gènes nocifs récessifs. Un arbre n'ayant pas de ces gènes récessifs pourrait s'autoféconder sans perte de vigueur.

Les plantes allogames peuvent posséder des mécanismes qui empêchent l'autopollinisation, ce qui aboutit à une diminution de la quantité de semences. Un de ces mécanismes est l'existence de gènes qui déterminent l'autostérilité, tels que les allèles multiples  $S_1S_2S_3S_4$ , etc..., pour lesquels un pollen  $S_1S_2$  ne peut germer sur un stigmate  $S_1S_2$ , etc.. Chez le trèfle rouge on connaît 40 allèles. Il peut aussi arriver que le pollen féconde l'ovule, mais que les gènes récessifs agissent à l'encontre de l'embryon avec pour conséquence la formation d'une graine vaine.

Il existe une abondante bibliographie sur les effets de l'autofécondation chez les espèces arborescentes. J.W. Wright cite des exemples de perte de vigueur et de diminution de la fertilité des semences chez des espèces d'eucalyptus, de pins, d'ormes, de mélèzes, etc..., et d'autres exemples de résultats variables allant d'une descendance vigoureuse à une descendance faible, et d'une fertilité élevée des semences à une fertilité basse, exemples qui peuvent confirmer ce qui a été dit plus haut.

Un résultat de cette endogamie extrême (autofécondation) est qu'il se produit des individus ou des lignées présentant une adaptation faible ou nulle au milieu qui les entoure. Sans arriver à cet extrême, lorsque le croisement se fait entre un petit nombre d'individus il se produit des fixations génétiques au hasard, donnant naissance à des individus uniformes et de faible adaptation au milieu.

En résumé, les effets généraux de l'endogamie, fixation de caractères, diminution de la fertilité, de la taille et de la vigueur, sont dus à une augmentation de l'homozygotie.

Mesure de l'endogamie: Dans le cas particulier de l'autofécondation, l'hétérozygotie se perd au rythme de  $1/2$  à chaque génération;  $F$  est le coefficient d'endogamie qui sert à mesurer la perte d'hétérozygotie ou l'accroissement d'homozygotie. On utilise le symbole  $\Delta F$  pour exprimer sa variation par génération.

$$\Delta F = \frac{1}{2} \quad N \text{ étant le nombre d'individus}$$

$N$  est dans ce cas le nombre total d'arbres employés simultanément comme père et comme mère. Lorsqu'ils sont distincts la formule à utiliser est:

$$\Delta F = \frac{N(\sigma) + N(\varphi)}{8(N\sigma \times N\varphi)}$$

Pour calculer l'endogamie sur un certain nombre de générations, il est plus commode de travailler avec le coefficient d'hétérozygotie  $H = 1 - F$ .

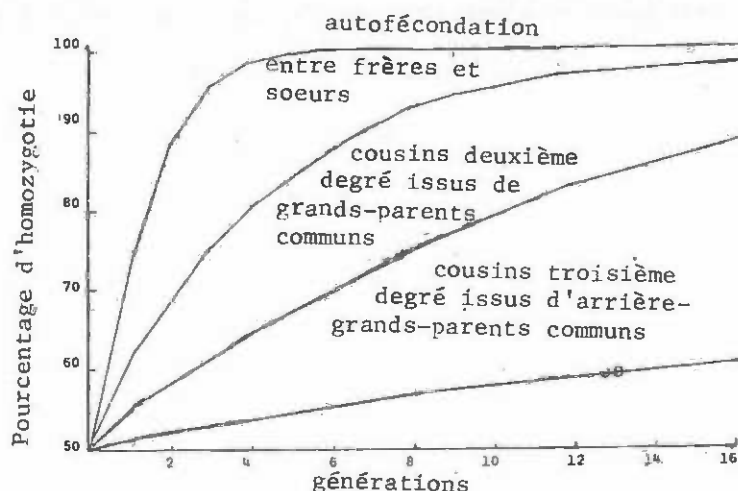


Figure 1 - Pourcentage d'homozygotie dans des générations successives avec différents systèmes d'endogamie (tiré de S. Wright, 1921. Systems of Mating, Genetics 6: 167).

Pour calculer  $H_n$ ,  $n$  étant le nombre de générations, on applique la formule:  $H_n = (H)^n$ , dans laquelle  $H$  est l'hétérozygotie par génération. Exemple numérique pour  $N = 5$  et  $\Delta F = \frac{1}{10}$  :

$$H \text{ (par génération)} = \frac{9}{10}; H_2 = \left(\frac{9}{10}\right)^2 = 0,810; H_3 = \left(\frac{9}{10}\right)^3 = 0,729$$

En 3 générations 72,9% de l'hétérozygotie initiale subsiste dans la population, et la proportion d'endogamie est:

$$F_3 = 1 - H_3 = 1 - 0,729 = 0,271$$

Coefficients d'endogamie pour des populations maintenues à des dimensions  $N$  de 5 à 250 pour 10 et 100 générations.

| Population | Coefficient F |           |
|------------|---------------|-----------|
|            | $n = 10$      | $n = 100$ |
| N          |               |           |
| 5          | 0,651         | 0,999     |
| 10         | 0,401         | 0,994     |
| 25         | 0,182         | 0,86      |
| 50         | 0,095         | 0,63      |
| 100        | 0,0489        | 0,39      |
| 250        | 0,0198        | 0,18      |

(tiré de J.W. Wright, 1976).

Dans l'amélioration des arbres on utilise l'hypothèse que la perte de vigueur due à l'endogamie est proportionnelle à la perte d'hétérozygotie telle qu'évaluée par le coefficient  $F$ . Pour les plantes annuelles, en revanche, il est facile de prendre 5 individus et de les reproduire par générations successives, et de mesurer les résultats.

Il existe des mécanismes dans les plantes qui favorisent ou empêchent l'autogamie. Les plantes annuelles possèdent généralement des fleurs parfaitement hermaphrodites, et ont développé des mécanismes qui favorisent l'autofécondation. Chez les arbres il n'en est en général pas ainsi, à l'exception (selon J.W. Wright, 1976) des arbres tropicaux qui constituent des forêts mélangées caractérisées par des centaines d'espèces à l'hectare, dans lesquelles la possibilité de fécondation croisée est faible, ce qui fait qu'il existe une probabilité élevée d'autofécondation ou tout au moins de pourcentage élevé d'endogamie, et par conséquent il doit exister des mécanismes pour que celle-ci ne soit pas préjudiciable à l'espèce. On manque malheureusement d'expérimentations qui puissent fournir une information à ce sujet.

Par contre, dans les climats tempérés ou froids où les essences forestières constituent des peuplements purs, ou composés d'un petit nombre d'espèces, il existe des mécanismes qui empêchent l'endogamie. Dans ces cas une plus grande variabilité est nécessaire en raison des importantes fluctuations dans le régime pluviométrique ou thermique, l'incidence du feu, les glaciations, etc... Un de ces mécanismes est le caractère dioïque des plantes, les sexes étant séparés entre des individus distincts. On le rencontre chez les peupliers, les saules, les genévriers, Araucaria araucana, A. angustifolia, etc... Cette fonction est également remplie par le caractère monoïque des plantes chez lesquelles les sexes sont séparés sur un même individu, comme c'est le cas des chênes, d'Aesculus, et de la majorité des conifères. Dans ce dernier groupe les fleurs mâles sont situées à la base de la plante, et les fleurs femelles dans la portion supérieure. Comme la pollinisation est anémophile, cette localisation empêche dans une large mesure l'autofécondation, étant donné que le pollen devrait alors monter vers les strates supérieures.

Il existe des mécanismes comme la dichogamie que l'on trouve soit dans des fleurs hermaphrodites soit dans des fleurs diclines, où la fleur mâle est réceptive à une période différente de la fleur femelle. Tel est le cas du noisetier dont les fleurs sont diclines (protandrie) et des tulipiers (Liriodendron) dont les fleurs sont hermaphrodites (protogynie).

Il existe une méthode simple, établie par les généticiens forestiers, pour déterminer le pourcentage d'autofécondation dans des populations naturelles de différentes essences forestières. Elle consiste à compter en pépinière le nombre de plantules anormales dans des semis provenant d'individus en pollinisation libre, et le multiplier par un facteur 5. Chez diverses espèces de pins on a constaté qu'il y avait entre 2 et 7 pour cent d'autofécondation.

L'autofécondation est utilisée pour les plantes herbacées comme méthode d'amélioration, en la faisant suivre d'un croisement, mais elle n'a pas de possibilité d'application pratique aux arbres.

On nomme dérive génétique la fixation de gènes au hasard dans des populations de taille réduite. Si l'endogamie se poursuit pendant une longue période géologique, il en résulte une population homogène qui présente des caractères de faible adaptation. L'isolement de populations réduites de pins dans les régions montagneuses du Mexique a produit une grande diversité de formes, dues vraisemblablement à des fixations génétiques au hasard. Ce phénomène fréquent dans les régions montagneuses a de même été observé dans des îles actuelles ou dans des régions qui ont été submergées à diverses époques géologiques. C'est le cas notamment de Pinus elliottii var. densa, qui présente des variations morphologiques et adaptatives très marquées, indépendantes de la distance, sans gradients clinaux, et chez lequel on peut observer par exemple une population à deux feuilles relativement courtes sur un îlot rocheux, et sur un îlot voisin une population de pins à trois feuilles longues.

Des exemples analogues ont été observés par J.W. Wright (1976) sur certaines espèces de Picea, faisant ressortir le fait que beaucoup de ces populations manquent d'adaptation au milieu dans lequel elles vivent au bord de l'extinction.

#### HETEROSIS

Le terme d'hétérosis (ou vigueur hybride) désigne le rendement exceptionnel d'un hybride par comparaison avec ses parents. Pour expliquer ce phénomène on a proposé quatre explications connues sous le nom de: dominance, superdominance, additivité et hypothèse de l'habitat hybride.

Selon l'hypothèse de la dominance, l'hétérosis est due à l'absence d'effet dépressif causé par l'endogamie. L'homozygotie qui résulte de celle-ci fait apparaître des gènes récessifs qui sont préjudiciables à la plante, en produisant un effet dépressif qui autrement serait masqué par les gènes dominants dans les hétérozygotes.

L'hypothèse de la superdominance affirme que la combinaison hétérozygote de gènes produit des effets qu'il est impossible d'obtenir en conditions d'homozygotie.

L'hypothèse de l'additivité admet pour fondement qu'un caractère se compose de plusieurs gènes qui se cumulent dans l'hybride, en produisant un effet plus grand.

Selon l'hypothèse de l'"habitat hybride", l'hétérosis se manifeste dans un habitat intermédiaire, où les parents montrent une adaptation moindre que l'hybride.

Si la première hypothèse, celle de la dominance, était exacte, il serait possible de sélectionner pour éliminer les gènes récessifs dans les générations successives, et de parvenir ainsi à fixer l'effet d'hétérosis. Si l'hétérosis est due à la superdominance, elle sera maximale à la première génération, et décroîtra dans les générations suivantes. Si elle était due à des effets additifs, on pourrait sélectionner les meilleurs gènes qui déterminent les composantes de la vigueur hybride, et obtenir un effet plus grand dans les générations suivantes. Enfin, si c'est l'hypothèse de l'habitat hybride qui est la bonne, l'hétérosis sera la même dans les générations suivantes que celle obtenue à la F<sub>1</sub>.

Un cas de mise à profit à grande échelle de l'hétérosis est le croisement entre Pinus rigida et P. taeda réalisé en Corée du Sud, où l'on obtient un comportement optimum à la F<sub>1</sub>, et meilleur encore à la F<sub>2</sub>.

La méthode d'amélioration à appliquer dépendra du type d'hérédité du caractère à améliorer. Si l'augmentation de rendement est due à la dominance ou à l'additivité, il faudra effectuer une sélection sans endogamie. Si au contraire elle est due à la superdominance, il faudra recourir à l'endogamie suivie de croisements.

#### BIBLIOGRAPHIE

Beadle, G.W. et Beadle, M., 1971. Introduction to New Genetics.

Herkowitz, I.H., 1965. Genetics (2nd ed.). Little, Brown and Co., Boston, 554 p.

Lacadena, J.R., 1976. Genética (2d. ed.). AGESA, Madrid, 972 p.

SRB, A.M., Owen, R.D. et Edgar, R.S. 1965, General Genetics. Freeman and Co., San Francisco.

Strickberger, M.W., 1976. Genetics (2nd ed.). Macmillan Publ. Co. Inc., New York, 914 p.

Wright, J.W., 1976. Introduction to forest genetics. Academic Press. 463 p.

FAO. 1964. Aspects génétiques de l'amélioration des arbres forestiers, par J.W. Wright. Etudes des forêts et des produits forestiers, No 16. FAO, Rome, 436 p.



Participants en classe

PRINCIPES ET STRATEGIES POUR UNE MEILLEURE  
UTILISATION DES RESSOURCES GENETIQUES FORESTIERES

---

Christel Palmberg  
Division des ressources forestières  
Département des forêts  
FAO

TABLE DES MATIERES

Introduction

Principes de conservation et d'utilisation des  
ressources génétiques forestières

Exploration

Récolte en vue d'évaluation

Evaluation

Conservation

In situ

Ex situ

Récolte en vue de conservation ex situ

Entreposage des semences

Peuplements de conservation ex situ

Diffusion de l'information

Utilisation

Nécessité d'une action internationale

Remarques finales

Références

Annexe 1. Ressources génétiques forestières: Diagramme des phases et opérations.

Annexe 2. Ressources génétiques forestières: Durée des différentes phases;  
exemple hypothétique concernant un pin tropical.

Annexe 3. Progrès réalisés au cours des 10 dernières années en matière de  
conservation et d'utilisation des ressources génétiques forestières.

## INTRODUCTION

L'accroissement de la population mondiale, allié à l'élévation des niveaux de vie, entraîne une pression continue tendant à la conversion des terres boisées en terres à usage agricole et autres (Willan, 1973). La disparition à une grande échelle des forêts naturelles qui en résulte provoque une perte accélérée de patrimoine héréditaire de valeur actuelle ou potentielle. Cette perte est particulièrement préoccupante dans les régions qui n'ont pas fait l'objet d'explorations botaniques et génécologiques systématiques, et où la composition spécifique de même que la variation inter- et intraspécifique ne sont par conséquent pas suffisamment connues pour permettre de prendre en temps voulu des mesures de conservation convenables.

Outre le fait que de vastes étendues de forêts sont partiellement ou totalement détruites, les surfaces destinées à rester boisées sont souvent soumises à des formes d'exploitation plus intensives qui peuvent mettre en danger certaines essences et modifier la composition spécifique des autres (Kemp et al., 1976). Même lorsque la partie centrale de l'aire d'une espèce demeure intacte, certaines sous-populations ou provenances situées en limite de l'aire peuvent se trouver placées en situation critique. Il s'agit souvent de populations marginales ou isolées qui ont acquis, par sélection naturelle, des caractéristiques particulières telles que tolérance à la sécheresse et autres conditions écologiques défavorables, et qui par suite peuvent être d'une grande utilité potentielle pour des stations soumises à une pression sélective semblable.

La pression continue sur les terres évoquée ci-dessus, combinée à une demande croissante de bois et produits dérivés, a pour effet une tendance à substituer à l'utilisation de forêts naturelles souvent complexes la plantation d'essences relativement faciles à conduire, et susceptibles de produire un fort volume de bois par unité de surface (Willan, 1973). Bien que la création de peuplements artificiels puisse dans une certaine mesure atténuer la pression sur les forêts naturelles et sur le matériel génétique qu'elles contiennent, elle peut aussi susciter d'autres problèmes. Les peuplements artificiels procurent au forestier la possibilité d'une maîtrise plus stricte non seulement des caractéristiques de station, mais également de la qualité génétique de sa forêt (Willan et Palmberg, 1974). Il en résulte une évolution de l'utilisation de populations "sauvages" à celle de populations plus "perfectionnées", dans lesquelles les fréquences des gènes ont été modifiées pour répondre à des exigences précises. Dans ces nouvelles populations, sélectionnées et améliorées en vue de l'uniformité, d'un rendement élevé et d'autres objectifs à court terme, la base génétique se trouve souvent considérablement rétrécie du fait que l'on a restreint l'ensemble génétique dont on tire le matériel parental et que l'on élimine ensuite, par sélection dans des conditions déterminées, une grande proportion de la population originelle. Si l'adaptation de ces nouvelles populations à des conditions de plantation déterminées est accrue, en revanche il y a une diminution progressive de leur élasticité génétique et de leurs possibilités d'adaptation future pour répondre à des changements de milieu souvent imprévus ou imprévisibles, telles qu'une modification de la qualité moyenne des stations de reboisement, l'apparition de parasites et de maladies nouveaux ou génétiquement adaptés, ou encore une augmentation de la pollution industrielle. Le rétrécissement de la base génétique dans les populations utilisées pour la production de semences en vue de plantations futures n'a pas forcément, en elle-même, des effets négatifs, tant que la diversité génétique des espèces et des provenances est sauvegardée grâce à des mesures de conservation *in situ* ou à la création de réserves génétiques, de peuplements conservatoires ou de populations de sélection ayant une large base génétique, d'où l'on pourra tirer le matériel pour répondre à de nouvelles exigences.

## PRINCIPES DE CONSERVATION ET D'UTILISATION DES RESSOURCES GENETIQUES FORESTIERES

Conceptuellement, les principes de la conservation génétique sont les mêmes que l'on ait affaire à des végétaux annuels ou à des arbres de longue durée de vie, à des plantes cultivées ou sauvages; les besoins, les stratégies et les méthodes diffèrent dans le détail, mais non dans leur principe (Frankel, 1978).

La stratégie exacte de la conservation dépend de la nature du matériel, et de l'objectif et de la portée de la conservation. La nature du matériel est définie par la longueur du cycle biologique, le mode de reproduction, et la position écologique des

individus (sauvages, domestiqués); l'objectif peut être la recherche, la conservation statique ou évolutive (voir ci-dessous), la sélection et l'amélioration, etc...; la portée concerne l'échelle de temps et de surface considérée (Frankel, 1970).

Les actions communément reconnues comme étapes essentielles pour le maintien de la diversité génétique dans une espèce déterminée et une utilisation plus complète des ressources génétiques existantes sont les suivantes: i) exploration; ii) récolte; iii) évaluation; iv) conservation; v) utilisation (FAO, 1975a). Voir Annexes 1 et 2.

### Exploration

Une utilisation efficace des ressources génétiques existantes ne peut être réalisée que si l'on dispose d'une information suffisante sur leur ampleur, leur structure et leur composition (Brazier et al., 1976; Snee et Hendrikson, 1979; Lamprey, 1975). Pour un grand nombre d'essences forestières, notamment parmi celles poussant sous les tropiques, il y a de grandes lacunes dans nos connaissances sur leur écologie et leur biologie, de même que sur leurs potentialités comme essences de reboisement et les usages possibles des produits non ligneux qu'elles fournissent. Même pour des essences de valeur éprouvée, la variation dans toute l'étendue de leur aire naturelle a souvent été insuffisamment étudiée. Ce manque d'information est bien illustré par la découverte que l'on a faite que toutes les essences forestières tropicales et subtropicales qui ont fait l'objet d'explorations et de récoltes au cours de la présente décennie dans le cadre d'un programme coordonné par la FAO sont menacées de déplétion, d'extinction ou de contamination de leurs ressources génétiques au moins dans certaines parties de leur aire naturelle; là où le patrimoine génétique n'est pas considéré comme étant en danger d'extinction, la population a souvent été si fortement diminuée que les disponibilités de semences sont très limitées, et risquent de l'être encore plus dans l'avenir (Keiding et Kemp, 1978).

Pour les besoins de la pratique, les activités de terrain de la phase fondamentale d'exploration peuvent se diviser en i) exploration botanique et ii) exploration génécologique. L'exploration botanique comprend l'identification taxinomique des espèces, et la reconnaissance des limites de leur distribution, en particulier en ce qui concerne les populations isolées. Pour certaines essences forestières on dispose d'information suffisante bien avant le début de l'exploration génécologique, pour d'autres il peut être nécessaire de combiner les deux opérations, l'exploration botanique conduit logiquement à des essais d'espèces.

Dans l'exploration génécologique, on étudie la distribution de la variation écologique et phénotypique à l'intérieur de l'aire naturelle des espèces, ce qui conduit à des récoltes de semences de différentes provenances et à l'évaluation de ces provenances (FAO, 1975a).

### Récolte en vue d'évaluation

La récolte en vue d'évaluation consiste à rassembler des échantillons relativement réduits de graines à partir d'un nombre relativement élevé de sources de semences, couvrant toute l'aire naturelle de l'espèce. Dans la phase initiale, les récoltes comportent donc un échantillonnage sur toute l'aire selon un maillage assez lâche; dans certains cas une seconde phase, consistant en un échantillonnage d'une portion limitée de l'aire selon un maillage plus serré, pourra être jugée nécessaire lorsqu'on disposera des résultats des essais de provenances de la première phase. Lors de cette seconde phase de récoltes les graines sont souvent maintenues séparées par arbre mère, afin de permettre l'évaluation de la variation génétique à l'intérieur des provenances aussi bien qu'entre provenances. Les ensembles de gènes contenus dans les collections de semences peuvent être indigènes ou introduits. Pour le forestier, ces derniers qui constituent ce que l'on appelle des "races locales" (c'est-à-dire des introductions d'exotiques qui se sont adaptées à divers degrés en réponse à la sélection naturelle, et parfois à une sélection artificielle) sont d'une grande importance potentielle comme sources de semences, et doivent être inclus dans les collections (FAO, 1975a; Turnbull, 1978).

Pour déterminer le nombre et la localisation des populations à échantillonner, on suit généralement des gradients écologiques; l'échantillonnage à l'intérieur de chaque population peut être aléatoire ou sélectif. Bien que ce dernier soit souvent utilisé pour l'échantillonnage à l'intérieur de la population, il faut se souvenir qu'une supériorité phénotypique n'est pas une garantie de supériorité génotypique, en particulier dans le cas où l'histoire de la population n'est pas connue (Barner, 1974; Bennett, 1970).

## Evaluation

La récolte d'échantillons de toute l'aire de l'espèce doit être suivie de la mise en place d'essais de provenances visant à révéler la variabilité potentiellement utile, le degré d'adaptation à une gamme de conditions de milieu, et la valeur économique ou sociale des espèces ou provenances essayées. Cette évaluation doit être conduite sur le plus grand nombre de stations possible et, chaque fois que cela est réalisable, être coordonnée centralement.

## Conservation

Le développement du concept de conservation génétique au cours des années cinquante a été dû surtout à la prise de conscience du fait que les cultivars primitifs de l'agriculture traditionnelle étaient en voie de disparition rapide, et que la diversité génétique accumulée en eux au cours des siècles faisait place à des variétés sélectionnées et améliorées en vue de répondre à des besoins à court terme. L'importance du maintien de la diversité génétique, et d'ensembles de gènes à partir desquels on puisse introduire de nouveaux gènes dans les variétés existantes afin d'améliorer leur adaptation, leur rendement et leur résistance aux maladies et à des conditions de milieu défavorables, a été clairement mise en lumière par quelques grandes épidémies, affectant notamment des cultures vivrières (Frankel, 1978; Snee et Hendriksen, 1979). Il faut non seulement conserver la variabilité à l'intérieur d'une espèce de valeur connue, mais également maintenir une diversité maximale au niveau des espèces, en y incluant du matériel jusqu'à présent inconnu et non testé, ce qui laisse ouvertes les options futures (Whitemore, 1975a).

La conservation, au sens propre du terme, englobe aussi bien la préservation que l'utilisation; la conservation est, en fait, un aspect de l'aménagement des ressources qui en assure l'utilisation soutenue, tout en sauvegardant la diversité génétique essentielle pour leur maintien.

Dans le choix des stratégies à long terme pour la conservation et l'utilisation des ressources génétiques, un compromis est souvent inévitable entre les facteurs biologiques, techniques, économiques et administratifs. L'objectif ultime doit être de choisir des méthodes qui réduisent au minimum les pertes et assurent des gains maxima en matière d'utilité, de connaissance et d'intégrité (Frankel, 1970a).

Les problèmes actuels de la conservation génétique sont souvent si graves, que l'on pourrait être tenté de se concentrer sur eux seuls. Néanmoins, les stratégies d'action doivent inclure également des mesures préventives, en faisant entrer dans la planification à long terme des aspects de conservation, au niveau de la définition des politiques, de l'organisation et des techniques (Anón., 1980).

Les principales stratégies de conservation ont été définies comme suit (Burley et Styles, 1976):

1. Conservation d'écosystèmes. La conservation de zones soigneusement choisies, de taille suffisante, et faisant l'objet d'un aménagement approprié, préservera non seulement les arbres forestiers mais également les autres éléments de l'écosystème (plantes, mammifères, oiseaux, etc...), de même que des produits de valeur potentielle tels que substances extractibles, fruits, etc...
2. Préservation d'espèces rares et d'espèces ou de populations menacées d'extinction. Ce but pourra souvent être atteint par une action générale de conservation de l'écosystème, si elle est menée avec compétence, ou encore par la conservation de matériel dans des réserves in situ ou ex situ.
3. Prévention de l'"érosion génétique", c'est-à-dire de la diminution progressive de la variabilité génétique. Dans ce domaine il ne suffit pas de préserver une espèce en tant que telle; nous devons être certains de conserver un large éventail de variabilité génétique pouvant servir de réserve en vue de besoins actuels et futurs (sources de semences suffisantes, large variabilité génétique comme base d'amélioration des arbres, etc...). Ce matériel peut être conservé dans des réserves in situ, ou bien on peut en prendre des échantillons sous forme de graines, de pollen ou de matériel végétatif, d'une manière qui assure la conservation de la majeure partie de la variabilité génétique. Les graines, le pollen et autres matériels peuvent soit être entreposés en la forme, soit utilisés pour la création de peuplements de conservation ex situ.

### Conservation in situ

La conservation in situ, c'est-à-dire la conservation d'espèces ou de provenances comme partie d'un écosystème viable existant, est généralement la méthode la plus souhaitable pour conserver les ressources génétiques forestières, à condition que la zone bénéficie d'une protection totale et que le matériel génétique conservé soit rendu disponible pour être utilisé tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du pays d'origine (FAO, 1975a; Whitmore, 1975a,b); Lamprey, 1975; UICN, 1978). Pour beaucoup d'espèces, par exemple pour un grand nombre d'essences de forêts dense qui ne sont pas des essences pionnières à croissance rapide, qui poussent à l'état de pieds isolés plutôt qu'en peuplements, et dont l'écologie et la génétique sont peu ou pas connues, la conservation in situ est la seule méthode dont nous disposions dans l'état actuel de nos connaissances (Kemp, 1978).

La conservation in situ des ressources génétiques forestières devra souvent, pour des raisons pratiques, être couplée avec d'autres objectifs environnementaux, scientifiques ou socio-économiques, ce qui signifiera généralement qu'un compromis devra être établi entre les diverses destinations de la réserve.

La conservation d'un ensemble génétique concerne souvent des différences génétiques qui ne peuvent être identifiées directement, mais seulement présumées. Elle porte sur des échantillons de population, éventuellement le long de transects latitudinaux ou altitudinaux, souvent de surface étendue, de façon à embrasser un éventail de variabilité écologique pour fournir un éventail correspondant de variabilité génétique. L'efficacité de la conservation d'écosystèmes (exemples: réserves de biosphère, parcs nationaux) pour répondre aux nécessités de la conservation du patrimoine génétique est étroitement liée à la taille, au nombre, à la répartition et à la localisation de ces réserves.

On admet généralement que la conservation d'échantillons représentatifs de la plupart des écosystèmes requiert une superficie comprise entre 100 et 1 000 hectares, la taille exacte dépendant de l'hétérogénéité de la zone ainsi que de sa composition spécifique (Ashton, 1976). Si la conservation des ressources génétiques est un objectif majeur de la conservation de l'écosystème, il faut prendre en considération, plutôt que la surface totale en elle-même, l'inclusion dans la réserve du nombre minimum d'individus interféconds nécessaire pour avoir un ensemble génétique viable (c'est-à-dire une population susceptible de conserver sa capacité de se renouveler elle-même) (Roche, 1975).

Considérant les ressources génétiques au niveau des espèces, Ashton (1976), travaillant sur des essences de forêt ombrophile de Bornéo, a fait une estimation théorique de la surface de forêt nécessaire pour la conservation, en admettant arbitrairement que 200 individus matures constitueront une population viable; selon ce critère, il aurait fallu une surface d'au moins 2 000 hectares de forêt vierge non modifiée pour conserver les essences forestières des deux zones examinées, tandis que sur 1 000 hectares seulement 60 pour cent des espèces auraient été sauvegardées. Au niveau intraspécifique Dyson (1975), se basant sur les nombres d'individus mentionnés pour une population génétiquement viable d'animaux, estime qu'une population de 200 individus constituera un "minimum de sécurité" pour que des arbres forestiers maintiennent leur variabilité génétique, à condition que l'échantillonnage porte sur au moins trois parties de l'aire de l'espèce: une zone centrale, plus deux zones extrêmes périphériques. Marshall (cité par Kemp et Whitmore, 1978) recommande jusqu'à 25 000 individus "pour maintenir un degré donné d'hétérozygotie dans des populations d'essences forestières à exogamie diffuse". Néanmoins, comme on le discutera plus loin, la préservation d'une "hétérozygotie mythique" (Namkoong, 1979a) par la conservation de génotypes déterminés n'est ni désirable ni possible.

Les théories concernant les mérites respectifs d'une vaste réserve unique ou de plusieurs réserves plus petites ont été amplement discutées. La réponse dépendra des objectifs exacts de la conservation, de l'importance de la variation inter- et intraspécifique à considérer, et de la distribution des fréquences de gènes. Du seul point de vue de la gestion, une zone unique, ou un petit nombre de zones de grande surface serait préférable, étant donné qu'un grand nombre de réserves dispersées est difficile à gérer et protéger. Cependant, notamment dans le cas de zones ayant une composition spécifique complexe, ou lorsqu'il s'agit de conserver la variation intraspécifique d'espèces de large répartition, il faudra une série de réserve stratégiquement placées de façon à offrir un échantillonnage complet de la variation écologique et génétique. Il importe tout particulièrement d'inclure des milieux extrêmes et des populations marginales, dans lesquelles les effets de la sélection naturelle ont pu donner naissance à des variétés

ou des écotypes d'une valeur potentielle particulière, et où les fréquences de gènes peuvent différer de celles de la population principale, nous donnant plus de chances de capturer des "gènes rares" (Namkoong, 1979a,b).

#### Conservation ex situ

Bien que la conservation in situ soit en théorie la stratégie la plus efficace, elle peut dans la réalité se heurter à d'énormes difficultés qui sont souvent de caractère social, politique ou financier plutôt que technique (Sastrapradja et al., 1978; Kemp et al., 1976). L'autre méthode possible est la conservation ex situ. Celle-ci est particulièrement utile lorsqu'on a affaire à certains genres ou espèces présentant une combinaison de caractéristiques biologiques les rendant propres à cette méthode; une connaissance approfondie du système de reproduction et de la biologie des espèces, ainsi que de la méthodologie de leur culture en plantation et de conservation de leurs semences, sont des conditions préalables à l'emploi de cette stratégie. Un grand nombre d'espèces qui au cours des dernières années ont attiré l'attention des forestiers par leurs possibilités d'emploi en plantations à haut rendement entrent dans cette catégorie.

Il arrive parfois, notamment dans le cas d'essences de reboisement de grande valeur économique, qu'il se produise sous l'action de l'homme une modification génétique importante des peuplements indigènes (Libby et al., 1978). Cette situation se présente lorsqu'on utilise comme sources de semences des populations non indigènes d'une essence pour créer des reboisements à proximité de peuplements indigènes existants. Des nuages de pollen provenant des reboisements se répandent de manière répétée sur les peuplements indigènes, ce qui a pour résultat une descendance contaminée en proportion croissante par des gènes de populations étrangères, et en conséquence une perte graduelle du patrimoine génétique originel. Dans ce cas, la conservation in situ ne sera pas réalisable, et le seul moyen de conserver la population originelle sera la conservation ex situ.

#### i) Récolte en vue de conservation ex situ

Lorsque la phase d'exploration a montré que certaines populations sont en danger d'extinction, mais que la conservation in situ n'est pas possible, il faut rapidement récolter des quantités importantes de graines ou autre matériel de propagation des provenances menacées, soit pour les entreposer temporairement soit pour créer immédiatement des peuplements de conservation ex situ sur de nouvelles stations (FAO, 1975a). Un échantillonnage visant à couvrir la variation (c'est-à-dire aléatoire plutôt que sélectif) est essentiel pour conserver l'intégrité des fréquences d'allèles (Frankel, 1970b).

Namkoong (1979a) discute des méthodes d'échantillonnage en vue de la conservation des gènes, et du nombre théorique d'individus nécessaire pour maintenir la variation allélique intraspécifique, et indique les degrés de probabilité de perte d'allèles déterminés se rencontrant à des fréquences données lorsqu'on emploie des intensités différentes d'échantillonnage à l'intérieur d'une population et entre populations.

Il n'est pas possible d'énoncer des normes et directives générales pour l'échantillonnage, du fait que de nombreux facteurs, en relation mutuelle aussi bien qu'indépendants, influent sur la variation intraspécifique que nous cherchons à saisir (hétérogénéité et taille de l'aire naturelle, écologie, système de reproduction et structure des populations de l'espèce, etc...). Néanmoins, comme aucun système d'échantillonnage et de récolte n'a de chances de pouvoir réaliser le sauvetage de toutes les combinaisons alléliques présentes dans une espèce, l'échantillonnage a généralement pour objectif de sauver le plus grand nombre possible d'allèles existants en vue de recombinaison et utilisation futures (Namkoong, 1979a). Nous devons par conséquent viser à conserver et évaluer des gènes plutôt que des génotypes.

#### ii) Entreposage des semences ou autres matériels de reproduction

Outre qu'il constitue en lui-même un moyen de conservation, l'entreposage des semences est souvent un chaînon essentiel entre la récolte et les opérations de terrain ultérieures. Une manipulation méticuleuse des semences à toutes les phases du travail est essentielle. Pour de nombreuses essences, notamment tropicales, on a une connaissance insuffisante des méthodes pratiques d'entreposage de courte ou longue durée, et il est urgent d'entreprendre de nouvelles recherches à ce sujet.

La conservation des arbres forestiers se fait généralement sous la forme de peuplements conservatoires in situ ou ex situ plutôt que sous forme de semences comme c'est souvent le cas pour les espèces agricoles. Cette différence de méthodes est due principalement à des difficultés pratiques: les banques de gènes végétaux devraient renouveler leurs collections de semences chaque fois que leur viabilité diminue au maximum de 15 pour cent par rapport à sa valeur initiale au moment de l'entreposage (Wang, 1978; CIRPG, 1976). Etant donné la longue période de végétation nécessaire avant que la majorité des essences forestières produisent des semences viables, le renouvellement des semences par culture d'un peuplement et récolte sera un procédé long et coûteux. En outre, la sélection naturelle au cours de cette longue période risquera d'avoir des effets plus importants sur la composition génétique que dans le cas d'espèces qui produisent des graines en un temps court à partir du moment du semis.

Avec les connaissances actuelles sur la physiologie et la biochimie de la culture de pollen et de tissus, la conservation des ressources génétiques forestières sous ces formes semble peu susceptible de devenir plus qu'un complément utile à d'autres formes de conservation. Bien que l'entreposage de pollen soit un moyen utile pour une conservation de courte ou moyenne durée, la durée de vie du pollen, avec les méthodes connues de séchage et de conservation, est généralement plus courte et plus aléatoire que celle des graines. De même, et à l'exception possible des essences propagées par voie végétative, la conservation des ressources génétiques forestières au moyen de la culture de tissus n'est généralement pas considérée comme susceptible d'acquérir une grande importance dans un avenir proche (Wang, 1978; Frankel, 1978).

### iii) Peuplements de conservation ex situ

Les peuplements de conservation ex situ sont coûteux à établir et à entretenir, c'est pourquoi on les restreint normalement aux essences de valeur éprouvée ou d'intérêt potentiel évident (FAO, 1975; Cromer, 1976; Kemp, 1976). Danger d'extinction, potentiel économique et difficulté d'obtention de semences doivent être les principaux critères qui interviennent dans l'établissement de listes de priorités d'espèces et de provenances en vue de leur conservation ex situ. Guldager (1978) énumère quatre objectifs de conservation que la mise en place de peuplements de conservation ex situ peut permettre d'atteindre:

1. Conservation statique, dans laquelle on maintient les fréquences génotypiques de la population originelle. Comme on l'a indiqué plus haut, cette méthode n'est pas praticable pour la majorité des essences forestières.
2. Conservation statique, dans laquelle on maintient les fréquences géniques (alléliques) de la population originelle. Aucune information génétique n'est perdue, et tous les génotypes se rencontrant dans la population originelle pourraient en principe se reproduire, bien que les fréquences génotypiques dans les peuplements ex situ puissent être différentes de celles de la population originelle.
3. Conservation évolutive, permettant aux fréquences géniques dans le peuplement de se modifier en fonction des pressions de la sélection naturelle.
4. Conservation sélective, dans laquelle les fréquences géniques dans le peuplement sont délibérément modifiées par l'homme de manière à saisir des caractères importants pour l'économie des reboisements dans une région, tout en éliminant des caractères indésirables. Pour éviter une diminution du potentiel génétique en vue de futurs reboisements dans des milieux différents de celui dans lequel ce type de peuplement est établi, il sera nécessaire de le répéter dans chaque zone de plantation possible. A longue échéance, la conservation sélective se heurte aux mêmes problèmes que les programmes d'amélioration génétique de longue durée (maintien de la variation génétique, prévention de l'hybridation, etc...).

Les peuplements de conservation ex situ que l'on connaît jusqu'à présent se classent dans les catégories (3) et (4). Le degré de maintien de l'intégrité génétique dans ces peuplements dépendra de trois facteurs principaux (Guldager, 1978): i) échantillonnage de la population originelle; ii) survivance et croissance ex situ des génotypes échantillonnés (c'est-à-dire adaptation à de nouvelles pressions de sélection); iii) modes d'accouplement ex situ entre les génotypes échantillonnés.

- i) L'échantillonnage en vue de conservation a été discuté plus haut. Si rigoureux que soient les efforts faits pour maintenir les fréquences géniques originelles grâce à une gestion attentive dans une série de peuplements de conservation ex situ, ils seront de peu d'effet du point de vue de la conservation des espèces ou des provenances si ces fréquences géniques ont déjà été considérablement modifiées lors de l'échantillonnage initial. L'échantillonnage a par conséquent une importance décisive. Un entreposage de longue durée ou de mauvais traitements infligés aux semences sont d'autres facteurs qui peuvent influencer de manière critique sur les fréquences géniques avant même que les peuplements ne soient mis en place.
- ii) Pour la plupart des essences de reboisement il est possible d'associer un choix judicieux des stations avec de bonnes techniques de pépinière et de plantation de façon à assurer un pourcentage de survie de près de 100 pour cent. La concurrence initiale entre génotypes peut être réduite au minimum par un large espacement. Le choix entre éclaircie mécanique et éclaircie sylvicole dans les peuplements dépendra à la fois de l'objectif ultime de la conservation et des possibilités pratiques. Néanmoins, si les peuplements sont établis sur une large gamme de stations entre lesquelles les pressions du milieu varient, une grande proportion de la variation génétique a des chances de se maintenir même si l'éclaircie est conduite en faveur des phénotypes désirables. A titre de compromis, on peut procéder à la sélection phénotypique d'une certaine proportion (1 pour cent, par exemple) des arbres à laisser en place avant de soumettre à une éclaircie systématique le reste du peuplement. C'est cette méthode qui sera adoptée dans le cas des peuplements de conservation internationaux dont nous parlerons plus loin.
- iii) Nos possibilités de transmettre exactement l'information génétique du peuplement de conservation ex situ de première génération à la génération suivante dépendent de l'accouplement à l'intérieur du peuplement (synchronisme de la floraison, proportion réelle de panmixie, etc...), de la taille de la population (qui influe sur la dérive génétique et le coefficient de consanguinité), et de la migration sous la forme de contamination par un pollen étranger. Afin de mieux surmonter ces problèmes, il convient de considérer attentivement la localisation des peuplements (optimale ou quasi optimale pour la floraison et la production de graines), leur taille (la superficie recommandée est de 10 à 30 ha: FAO, 1975a, 1977), et leur isolement (300 mètres ou plus entre espèces ou provenances susceptibles de s'hybrider, FAO, 1975a).

Outre un choix judicieux de la station, les peuplements de conservation exigent des soins méticuleux dans la préparation du terrain, la plantation et l'entretien (FAO, 1975a). Une condition impérative pour leur implantation dans une région est que l'on y trouve des compétences techniques suffisantes ainsi qu'une organisation stable, afin de garantir un haut niveau de gestion à long terme. L'intérêt porté aux provenances du point de vue du reboisement a des chances d'accroître tant le profit que la sécurité du projet (Guldager, 1978).

L'Annexe 7 du Rapport de la Quatrième session du Groupe FAO d'experts des ressources génétiques forestières (FAO, 1977) contient des recommandations détaillées pour la création et la gestion de peuplements de conservation ex situ.

Outre les avantages à long terme de la conservation d'espèces et de provenances de caractéristiques génétiques connues, les peuplements de conservation offrent d'appréciables possibilités d'utilisation à court terme, telles que la fourniture de semences et autres matériels génétiques pour un emploi immédiat. Dans les cas où un financement international aura été octroyé, des accords auront été pris en conséquence afin de garantir que tous les pays intéressés par les espèces ou provenances puissent en bénéficier (voir FAO, 1977, Annexe 7).

#### Diffusion de l'information

Il existe un autre aspect de la conservation, qui est la sauvegarde et la diffusion d'information. Il n'est pas seulement important de conserver des zones, des unités, des populations et des individus, mais il importe tout autant que l'information qui les concerne soit enregistrée, conservée et distribuée de manière satisfaisante (Frankel, 1970a).

#### Utilisation

L'utilisation est l'objectif ultime de toutes les actions concernant les ressources génétiques forestières. Elle comprend aussi bien la fourniture et l'emploi de lots de semences et autres matériels de propagation pour des projets de reboisement à grande échelle que la création par voie génétique de sous-populations et de génotypes mieux adaptés et plus appropriés aux conditions locales.

Au fur et à mesure que les essais de provenances fourniront des informations sur les meilleures sources de semences, on passera progressivement de l'évaluation des provenances à l'utilisation massive de semences, et parfois d'autres matériels de propagation, provenant de populations qui se seront avérées bien adaptées à des conditions données. La fourniture de quantités importantes de matériel de propagation doit être la responsabilité des services forestiers d'Etat ou de négociants en semences, cependant il est essentiel qu'il y ait des accords nationaux et internationaux qui fixent des normes communes de qualité génétique et physiologique de ce matériel (FAO, 1975a).

La sélection individuelle et l'amélioration à l'intérieur de provenances localement adaptées constituent une méthode qui permet une amélioration supplémentaire des caractéristiques sélectionnées. Dans le cas d'espèces introduites, une phase intermédiaire importante entre les essais de provenances et la plantation à grande échelle des provenances les mieux adaptées peut être la mise en place d'une ou plusieurs parcelles (5 ha ou plus) de ces provenances pour servir de peuplements semenciers et de base pour la sélection et l'amélioration locales. Les mêmes peuplements pourront parfois servir en même temps les buts de la conservation ex situ.

#### SITE D'UNE ACTION INTERNATIONALE

Si l'on considère à la fois l'urgence de la conservation et les efforts massifs qu'elle nécessite, il apparaît clairement que la conservation des ressources génétiques forestières mondiales requiert la coopération de tous les pays.

Bien que les progrès en matière d'amélioration des ressources génétiques forestières dépendent pour une large part des efforts individuels des pays ou des instituts de recherche, ces efforts ne peuvent avoir leur pleine efficacité que dans un cadre international (FAO, 1975a). Le maintien de la diversité génétique des espèces, que ce soit in situ ou ex situ, peut devoir se répartir entre de nombreux milieux dans différents pays; la récolte de semences ne peut se limiter aux frontières nationales; une recherche coordonnée visant à fournir des informations sur les performances des espèces ou provenances dans une gamme aussi large que possible de stations apportera de grands avantages mutuels aux instituts et nations coopérants; la sécurité et la permanence de collections irremplaçables de matériel génétique, in situ ou ex situ, doivent être garanties à perpétuité par des accords pris sous tutelle internationale.

De nombreux pays qui possèdent des ressources génétiques forestières de grande valeur potentielle, mais parfois inexplorées, sont à un stade peu avancé de développement économique. Il y a souvent dans le secteur forestier une grave pénurie de ressources financières et de personnel compétent, et les disponibilités sont, logiquement, affectées à la satisfaction des besoins nationaux immédiats, lorsque par exemple on fixe des priorités entre

essences (Roche, 1978). Il est par conséquent très souhaitable que des ressources internationales soient disponibles afin d'aider à élaborer des stratégies et à sauvegarder un matériel inestimable pour de nombreux pays.

Le meilleur moyen pour assurer une coordination efficace dans le vaste domaine des ressources génétiques forestières est l'adoption d'un programme mondial tel que celui proposé par le Groupe FAO d'experts des ressources génétiques forestières (FAO, 1975a). Ce programme devrait assurer l'intégration des mesures de conservation avec les actions tout aussi importantes d'exploration, de récolte et d'utilisation. En même temps il devrait améliorer l'efficacité grâce à la coordination des efforts, non seulement des différents pays mais également des divers organismes internationaux qui s'occupent de ressources génétiques forestières (Roche, 1978).

Les progrès réalisés au cours des 10 dernières années en matière de conservation des ressources génétiques forestières font l'objet de l'Annexe 3.

#### REMARQUES FINALES

Dans le domaine en évolution rapide de la génétique forestière, nous avons au cours des dernières années répondu à de nombreuses questions, mais ces réponses ont amené de nouvelles questions, encore plus difficiles à résoudre. Nous avons appris des techniques qui nous donnent l'assurance de pouvoir créer de nouvelles variétés afin de répondre avec plus de précision aux besoins du moment. Nous avons aussi pris davantage conscience du fait que les patrimoines génétiques originels se perdront si l'on ne prend pas de mesures positives pour les conserver. Il nous fait maintenant décider comment améliorer les stratégies d'amélioration génétique et de maniement des gènes pour satisfaire tant les besoins immédiats que ceux à long terme (Namkoong, 1978).

Il ne devrait pas être difficile de conduire des programmes d'amélioration des arbres qui englobent côte à côte les objectifs à court terme et à long terme, à condition que les responsables de la planification et du financement comprennent que le programme à long terme n'est pas moins important et ne mérite pas moins d'appui financier que le programme à court terme, et que plus grande sera la diversité génétique que nous pourrons maintenir et sauver maintenant, et plus larges seront les choix qui s'offriront à nous pour trouver des génotypes susceptibles de répondre aux besoins futurs.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Anon. 1980 Stratégie mondiale de la conservation. UICN/PNUE/WWF/FAO.
- Ashton, P.S. 1976 Factors Affecting the Development and Conservation of Tree Genetic Resources in South-East Asia. In: Tropical Trees: Variation, Breeding and Conservation (Eds. J. Burley and B.T. Styles). Linnean Society, Oxford, U.K.
- Barner, H. 1974 Classification of Sources for Procurement of Forest Reproductive Material. In: Report on the FAO/DANIDA Training Course on Forest Tree Improvement. Limuru, Kenya, September-October 1973. FAO/DEN/TF 112. FAO, Rome
- Bennett, E. 1970 Tactics of Plant Exploration. In: Genetic Resources in Plants - their Exploration and Conservation (Eds. O.H. Frankel and E. Bennett). IBP Handbook No. 11. Blackwell Scientific Publications. Oxford and Edinburgh.
- Brazier, J.D., Hughes, J.F. and Tabb, C.B. 1976 Exploration of Natural Tropical Forest Resources and the Need for Genetic and Ecological Conservation. In: Tropical Trees: Variation, Breeding and Conservation (Eds. J. Burley and B.T. Styles). Linnean Society, Oxford, U.K.
- Burley, J. and Nikles, D.G. 1972 and 1973a Selection and Breeding to Improve some Tropical Conifers. Vols. I and II. Based on Papers submitted to a Symposium organized by IUFRO Working Parties S2.02.08 and S2.03.01, held in Gainesville, Florida, USA in 1971. Commonwealth Forestry Institute, Oxford, U.K.

- Burley, J. and Nikles, D.G. Tropical Provenance and Progeny Research and International Cooperation. Based on Papers submitted to a Symposium organized by IUFRO Working Parties S2.02.08 and S2.03.01, held in Nairobi, Kenya, in 1973. Commonwealth Forestry Institute, Oxford, U.K.  
1973b
- Burley, J. and Styles, B.T. (Editors). Tropical Trees: Variation, Breeding and Conservation. Linnean Society, Oxford.  
1976
- Cromer, D.A.N. Report of Consultant Mission on Conservation of Forest Genetic Resources in selected countries in Asia. FO:MISC/76/27. FAO, Rome.  
1976
- Dyson, W.G. Note sur la conservation des essences forestières in situ. Dans: Troisième session du Groupe FAO d'experts des ressources génétiques forestières. FO: FGR/3/Rep. FAO, Rome  
1975
- FAO Informations sur les ressources génétiques forestières. Documents forestiers occasionnels. FAO, Rome  
1973-79
- FAO Rapport de la première session du Groupe FAO d'experts des ressources génétiques forestiers. FO: FGR/1/Rep. FAO, Rome.  
1969
- FAO Rapport de la deuxième session du Groupe FAO d'experts des ressources génétiques forestières. FO: FGR/2/Rep. FAO, Rome.  
1972
- FAO Programme mondial destiné à assurer une meilleure utilisation des ressources génétiques forestières. Information sur les ressources génétiques forestières no 4. Document forestier occasionnel 1975/1. FAO, Rome.  
1975a
- FAO Rapport de la troisième session du Groupe FAO d'experts des ressources génétiques forestières. FO: FGR/3/Rep. FAO, Rome.  
1975b
- FAO Rapport de la quatrième session du Groupe FAO d'experts des ressources génétiques forestières. FO: FGR/4/Rep. FAO, Rome.  
1977
- Frankel, O.H. Evaluation and Utilization - Introductory Remarks. In: Genetic Resources in Plants - their Exploration and Conservation (Eds. O.H. Frankel and E. Bennett). IBP Handbook No. 11. Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh.  
1970b
- Frankel, O.H. Genetic Conservation in Perspective. In: Genetic Resources in Plants - their Exploration and Conservation (Eds. O.H. Frankel and E. Bennett). IBP Handbook No. 11. Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh.  
1970a
- Frankel, O.H. Principes généraux et stratégies de la conservation génétique chez les végétaux. Troisième Consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers. FO: FTB/77-1/2. Canberra, Australie.  
1978
- Frankel, O.H. and Bennett, E. (Editors); Genetic Resources in Plants: their Exploration and Conservation. IBP Handbook No. 11. Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh.  
1970
- Guldager, P. Peuplements conservatoires ex situ dans les tropiques. In: Méthodologie de la conservation des ressources génétiques forestières. FO:MISC/75/8. FAO, Rome  
1978
- IBPGR Report of IBPGR Working Group on Engineering, Design and Cost Aspects of Long-Term Seed Storage Facilities. International Board for Plant Genetic Resources. FAO, Rome.  
1976
- IUCN Categories, objectives and criteria for protected areas. A Final Report prepared by Committee on Criteria and Nomenclature Commission on National Parks and Protected Areas. Morges, Switzerland.  
1978

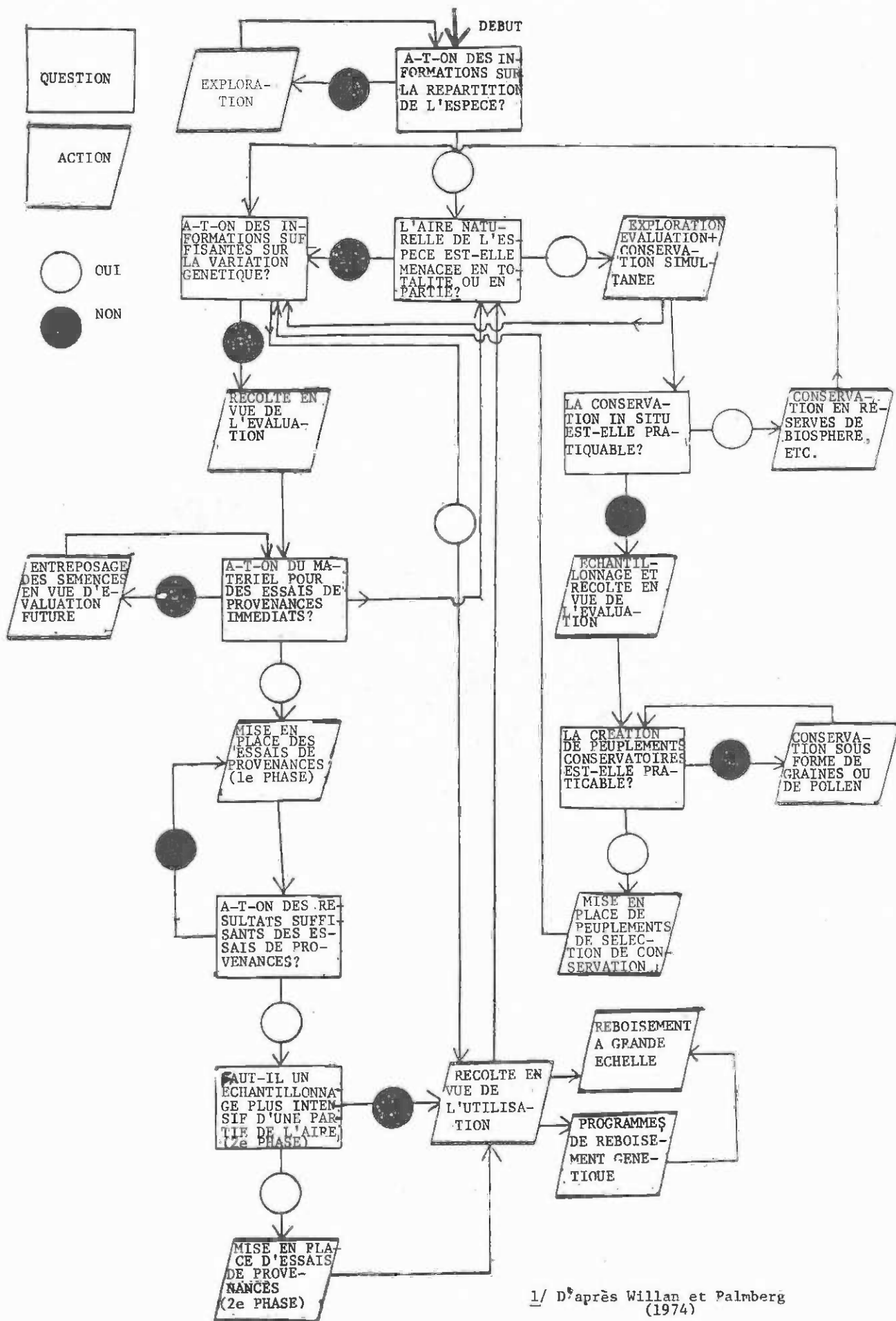
- Keiding, H. et Kemp, R.H. Prospection, collecte et étude des ressources génétiques:  
1978 pins tropicaux et teck. Troisième Consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers. FO: FTB/77-1/3. Canberra Australie.
- Kemp, R.H. Rapport d'une mission de consultant sur la conservation des ressources  
1976 génétiques forestières dans certains pays d'Afrique. FO: MISC/76/26. FAO, Rome.
- Kemp, R.H. Prospection, exploitation et conservation des ressources génétiques.  
1978 Troisième Consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers. FO: FTB/77-1/1.
- Kemp, R.H., Roche, L. and Willan, R.L. Current activities and problems in the explo-  
1976 ration and conservation of tropical forest gene resources. In: Tropical Trees: Variation, Breeding and Conservation (Ed. J. Burley and B.T. Styles) Linnean Society, Oxford, U.K.
- Kemp, R.H. and Whitmore, T.C. International Cooperation for the Conservation of  
1978 Tropical and Sub-Tropical Forest Genetic Resources Exemplified by South-East Asia. 8th World Forestry Congress. FQL/26-11.
- Libby, W.J., Krafon, D. and Fins, L. Résineux californiens. In: Méthodologie de  
1978 la conservation des ressources génétiques forestières. FAO: MISC/75/8. FAO, Rome.
- Lamprey, H.F. The distribution of protected areas in relation to the needs of biotic  
1975 community conservation in Eastern Africa. IUCN Occasional Paper No. 16. Morges, Switzerland.
- Namkoong, G. Le choix des stratégies pour l'avenir. Troisième Consultation mondiale  
1978 sur l'amélioration des arbres forestiers. FO: FTB/77-6/1. Canberra, Australie.
- Namkoong, G. Methods of pollen sampling for gene conservation. Chapter 17. Pollen  
1979a Management Handbook. Southern Forest Tree Improvement Committee.
- Namkoong, G. Introduction to Quantitative Genetics in Forestry. USDA, Forest Service  
1979b Technical Bulletin No. 1588. Washington, D.C.
- Nikles, D.G., Burley, J. and Barnes R.D. (Eds.) Progress and Problems of Genetic  
1978 Improvement of Tropical Forest Trees. Proceedings of a Joint Workshop of IUFRO Working Parties S2.02.08 and S2.03.01, held in Brisbane, Australia, 4-7 April 1977, Vols. I and II. Commonwealth Forestry Institute, Oxford, U.K.
- Roche, L. (Ed.) Méthodologie de la conservation des ressources génétiques  
1978 forestières. Rapport sur une étude pilote. FO: MISC/75/8. FAO/PNUE, Rome.
- Sastrapradja, S. et al. Conservation des ressources génétiques animales et végé-  
1978 tales de la forêt. 8ème Congrès forestier mondial. FQL/26-0.
- Sneep, J. and Hendriksen, A.J.T. (Eds) Plant Breeding Prospectives. Centre for  
1979 Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Netherlands.
- Turnbull, J.W. Exploration et conservation des ressources génétiques de  
1978 l'eucalyptus. Troisième Consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers. FO/ FTB/77-1/4. Canberra, Australie.
- Wang, B.S.P. Stockage de semences d'arbres et de pollen en vue de la conser-  
1975 vation génétique: possibilité et limitations. In: Méthodologie de la conservation des ressources génétiques forestières. FO: MISC/75/8. FAO/PNUE, Rome.

- Whitmore, T.C. 1975a Conservation review of tropical rain forests: General Considerations and Asia. IUCN, Morges Switzerland.
- Whitmore, T.C. 1975b Tropical Rain Forests of the Far East. Oxford University Press, U.K.
- Willan, R.L. 1973 Forestry: Improving the Use of Genetic Resources. Span 16 (3): 119-122.
- Willan, R.L. and Palmberg, C. Better Use of Forest Genetic Resources. In: Report on FAO/DANIDA Training Course on Forest Tree Improvement. Kenya, 1973  
FAO/DEN/TF 112. FAO, Rome.

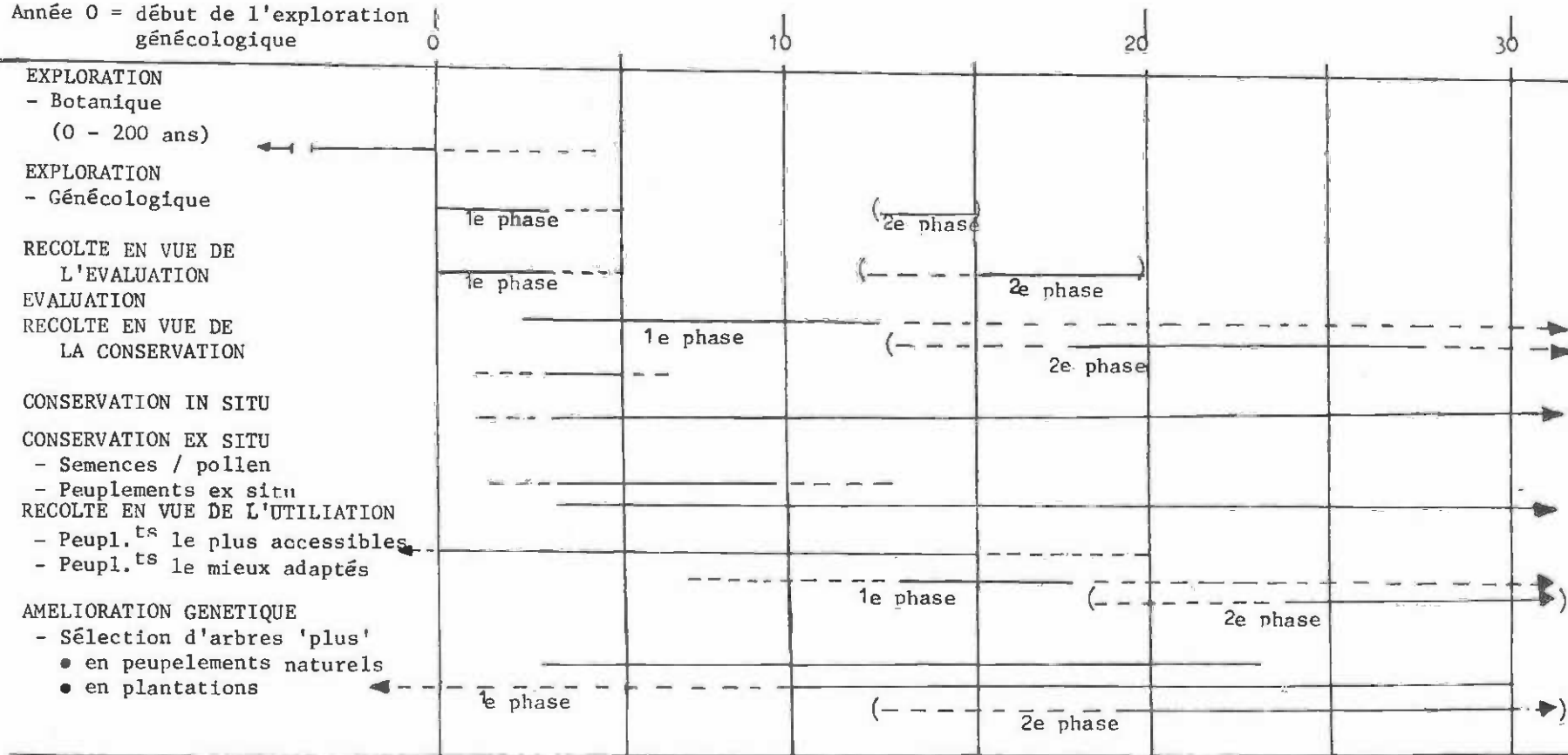
\*\*\*\*\*



Marcottage aérien sur Pinus caribaea  
var. hondurensis (CONARE, Chaguaramas)



Année 0 = début de l'exploration  
génécologique



1/ Traduction de l'Annexe de Willan et Palmberg (1974)

Annexe 3

PROGRES REALISES EN MATIERE DE CONSERVATION  
ET D'UTILISATION DES RESSOURCES GENETIQUES FORESTIERES

Les préoccupations concernant la perte de diversité génétique se sont accrues rapidement à partir du début des années cinquante, suscitant une action de plus en plus intensive sur le plan national et international.

Certains instituts nationaux s'étaient déjà à l'époque engagés dans des récoltes systématiques de semences d'essences forestières en vue d'une utilisation internationale, cependant la création en 1968 du Groupe FAO d'experts des ressources génétiques forestières a fourni un catalyseur aux actions internationales et nationales en matière d'exploration, de récolte, de conservation et de recherche, en éveillant la conscience mondiale sur la nécessité de conserver ces ressources et en mobilisant des fonds nationaux et internationaux en vue d'études et de projets pilotes et d'actions à échelle pratique dans ce domaine.

Le Groupe s'est réuni à quatre reprises. La FAO a publié les rapports de ces quatre sessions, énumérant les progrès réalisés, indiquant les tendances passées et actuelles, et formulant des recommandations pour les actions futures (FAO, 1969, 1972, 1975b et 1977). Jusqu'ici, les financements recommandés par le Groupe pour les programmes coordonnés par le Département des forêts se sont concentrés sur les phases d'exploration et de récolte, par l'octroi de fonds à des instituts travaillant déjà activement et avec compétence dans ce domaine. Outre ces instituts nationaux, la FAO coopère avec d'autres organisations internationales telles que l'Unesco 1/, l'UICN 2/ et le PNUE 3/, et collabore activement avec les groupes de travail compétents de l'IUFRO 4/; certains fonds ont également été récemment alloués par le Conseil international des ressources phytogénétiques (CIRPG), qui est un organe subsidiaire du Groupe consultatif de la recherche agricole internationale (GCRAI), lequel a pour mission de mobiliser des appuis financiers à long terme afin de combler les lacunes de la recherche agricole dans les pays en développement.

Par l'intermédiaire du Groupe d'experts, des priorités ont été établies par régions et par essences pour chacune des différentes phases d'un programmes concernant les ressources génétiques (FAO, 1977, Annexe 8). Ces priorités, qui sont périodiquement révisées en fonction des découvertes les plus récentes et des actions déjà réalisées, sont fondées sur le degré de danger qui menace les ressources génétiques de chaque espèce, ainsi que sur son importance ou ses potentialités socio-économiques. Toutefois, étant donné que l'on n'obtiendra d'information exacte sur l'état de conservation qu'au cours de l'exploration, les priorités attribuées et les espèces inscrites dans la liste reflètent dans une certaine mesure la quantité et la qualité des informations dont dispose le Groupe pour prendre ses décisions, autant que la situation réelle (Keiding et Kemp, 1978).

En fonction des listes de priorités établies par le Groupe, des explorations et des récoltes sur toute l'aire des espèces, suivies par la mise en place d'essais internationaux de provenances coordonnés centralement ont été réalisées pour 12 essences forestières tropicales. Des progrès consistants ont été accomplis dans l'exploration, la récolte, la distribution et l'évaluation d'un certain nombre de genres, tels que Tectona, Populus, Pinus, Pseudotsuga, Araucaria et Eucalyptus; parmi les genres récemment inclus dans le programme figurent Acacia, Prosopis, Terminalia et Aucoumea. La FAO a publié des comptes-rendus résumés des récoltes les plus importantes (FAO, 1974; FAO, 1977); on en trouvera également dans la publication périodique de la FAO "Informations sur les ressources génétiques forestières".

Bien que nombre d'essais de provenances réalisés à partir de récoltes systématiques menées au cours des dernières années soient encore trop jeunes pour fournir des informations précises, beaucoup révèlent déjà l'existence de grandes différences selon la provenance et des interactions marquées entre provenance et station, confirmant que la recherche sur les provenances est aussi importante pour les essences tropicales que pour

1/ Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture.

2/ Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources.

3/ Programme des Nations Unies pour l'environnement.

4/ Union internationale des instituts de recherche forestière.

celles de la zone tempérée. Les résultats de nombre de ces essais ont été publiés sous forme résumée et par espèce et pays dans les comptes-rendus des réunions mixtes des Groupes de travail de l'IUFRO S2.02.08 et S2.03.02, tenues en 1971, 1973 et 1977 (Burley et Nikles, 1972, 1973a, 1973b; Nikles, Burley et Barnes, 1978).

Avec le concours financier du PNUE, la FAO a réalisé en 1975 une étude pilote qui a abouti à la publication du rapport intitulé "Méthodologie de la conservation des ressources génétiques forestières" (Roche, 1978a). Sur la base des recommandations techniques de cette étude et des premiers résultats des explorations et des essais internationaux de provenances mentionnés ci-dessus, un projet FAO/PNUE a été lancé en 1975/76 pour la conservation des ressources génétiques de certaines espèces et provenances. Ce projet pilote, qui inclut des éléments de conservation tant ex situ qu'in situ, touche maintenant à sa fin, et un rapport sur son déroulement et sur ses conclusions est en préparation.

La composante ex situ de ce projet FAO/PNUE a confirmé tous les espoirs. Au cours des quatre dernières années, 33 peuplements de conservation/sélection d'une dizaine d'hectares chacun ont été établis dans 5 pays d'Afrique et un pays d'Asie, avec un total de 11 provenances de 4 espèces différentes (voir Tableau 1). En outre des peuplements internationaux financés par le PNUE et la FAO, nombre des pays participant au projet, ainsi que quelques pays voisins, ont établi des peuplements nationaux de conservation/sélection ex situ. On pourra trouver dans les Annexes 7/1 à 7/4 du Rapport de la quatrième session du Groupe FAO d'experts des ressources génétiques forestières (FAO, 1977) les raisons du choix des espèces et provenances pour le projet en question, l'accord conclu entre la FAO et les pays participants, des recommandations détaillées pour la création et la gestion des peuplements, et des estimations de coûts. En bref, l'accord prévoit un financement international destiné à couvrir le coût des semences, plus les coûts standards estimatifs d'établissement des peuplements pendant les deux premières années; le gouvernement hôte s'engage à assurer le contrôle adéquat de l'établissement et de la gestion des peuplements, et à fournir à d'autres pays, à prix coûtant, jusqu'à 50 pour cent des semences et autre matériel de propagation récoltés dans ces peuplements.

Le DANIDA 1/ a lancé en 1979 un projet complémentaire sur la conservation ex situ.

La conclusion d'accords sur la conservation in situ s'est avérée plus difficile à réaliser. Le financement au titre du projet FAO/PNUE n'a fourni de fonds que pour deux réserves botaniques en Zambie, pour la conservation in situ de Baikiaea plurijuga (Umgusi ou "Zambesi Redwood"). On estime que les principales raisons des difficultés rencontrées dans l'identification de zones appropriées pour la conservation in situ sont les suivantes:

1. La conservation in situ dans les tropiques concerne en général des écosystèmes hétérogènes, dont les espèces d'intérêt économique immédiat ne constituent qu'une petite portion. Lorsque les fonds disponibles sont limités, les priorités nationales en matière de dépenses et d'efforts tendent à se reporter ailleurs.
2. Les écosystèmes tropicaux sont complexes et mal connus; à la différence des peuplements de conservation ex situ - qui sont des monocultures équiennes - ils sont difficiles à manier.
3. Il est difficile de prédire quand la conservation in situ fournira ses premiers bénéfices substantiels sur un plan national.
4. Il est souvent difficile d'identifier de manière précise dans la conservation in situ des opérations ou phases susceptibles de financement international à court terme.

1/ Organisme danois pour le développement international.

Tableau 1

PEUPLEMENTS INTERNATIONAUX DE CONSERVATION/SELECTION EX SITU  
PROGRAMME FAO/PNUE 1108-75-05

| Espèce                               | Pinus caribaea var. hondurensis |             |        | Pinus oocarpa       |       |        | Eucalyptus tereticornis |            | Eucalyptus camaldulensis |           |            |
|--------------------------------------|---------------------------------|-------------|--------|---------------------|-------|--------|-------------------------|------------|--------------------------|-----------|------------|
| Provenance                           | Alamicamba                      | Los Limones | Poptun | Mountain Pine Ridge | Yukul | Bonete | Cooktown                | Mt. Garnet | Petford                  | Katherine | Gibb River |
| Pays                                 | Area, ha.                       |             |        |                     |       |        |                         |            |                          |           |            |
| CONGO                                | 20                              | 20          | 10     | 10                  | 20    | 20     | 10                      | 10         |                          |           |            |
| COTE D'IVOIRE                        | 10                              |             | 10     | 10                  | 10    |        |                         |            |                          |           |            |
| KENYA                                |                                 | 10          |        |                     |       |        |                         |            |                          |           |            |
| NIGERIA                              | 20                              | 20          |        | 30                  | 30    |        |                         |            | 10                       | 10        |            |
| ZAMBIE                               |                                 |             |        | 20                  | 10    | 20     | 10                      | 10         |                          |           |            |
| THAILANDE                            | 20                              | 30          | 10     | 30                  | 30    |        |                         |            | 30                       |           | 20         |
| SURFACE TOTALE PREVUE                | 70                              | 80          | 30     | 100                 | 100   | 40     | 20                      | 20         | 40                       | 10        | 20         |
| SURFACE TOTALE PLANTEE AU 31.12.1979 | 36.1                            | 46.9        | 30     | 79.6                | 92.1  | 58.4   | 20                      | 20         | 13.1                     | 1.4       | 10.8       |

5. Tandis que l'établissement de peuplements de conservation ex situ est une forme spécialisée de reboisement qui entre manifestement, au plan national, dans les compétences techniques du service forestier du pays concerné, la conservation in situ, est souvent du ressort d'autres autorités, telles que services de la flore et de la faune sauvages, administrations des parcs nationaux, etc...

Les efforts se poursuivent pour tenter de surmonter ces difficultés.

Parmi les progrès réalisés dans la diffusion d'information sur les ressources génétiques forestières au cours des dernières années on peut mentionner l'organisation de diverses réunions, telles que: i) les trois Consultations mondiales FAO/IUFRO sur l'amélioration des arbres forestiers (Stockholm 1963, Washington 1969, Canberra 1977), lors desquelles ont été récapitulées les données existantes sur les principes scientifiques de l'amélioration des arbres forestiers et de la génétique forestière, les avantages pratiques et les progrès de l'amélioration des arbres, les problèmes et les perspectives de l'utilisation et de la conservation des ressources génétiques forestières; ii) les trois réunions des groupes de travail de l'IUFRO S2.02.08 et S2.03.01 mentionnées ci-dessus; iii) le Huitième Congrès forestier mondial (Indonésie 1978), qui a reconnu l'importance fondamentale de la conservation génétique, et qui incluait dans son programme une session consacrée à ce sujet. Une série de cours de formation sur l'amélioration des arbres ont été financés par le PNUD et le DANIDA, et organisés et conduits par le Département des forêts de la FAO (Danemark 1966; Etats-Unis 1969; Hongrie 1971; Kenya 1973; Thaïlande 1975); en outre un cours de formation organisé par le CSIRO, Canberra <sup>1/</sup> et financé par le gouvernement australien s'est déroulé en Australie en 1977. L'Association internationale d'essais de semences (ISTA) a organisé plusieurs séminaires sur les essais de semences forestières.

Les "Informations sur les ressources génétiques forestières" (FAO, 1973-79), publiées depuis 1973 par la FAO à raison de trois numéros tous les deux ans, diffusent des nouvelles périodiques sur ces réunions et séminaires et sur d'autres, sur les récoltes de semences de provenances, et sur l'exploration, l'évaluation, l'utilisation et la conservation des ressources génétiques forestières.

<sup>1/</sup> Division de recherches forestières de l'Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth.

L'ECHANTILLONNAGE DANS LA RECOLTE  
DE SEMENCES FORESTIERES

Christel Palmberg  
Division des ressources forestières  
Département des forêts  
FAO

TABLE DES MATIERES

Introduction

Récolte en vue d'évaluation

Echantillonnage au niveau de la population  
Echantillonnage au niveau individuel

Récolte en vue de conservation

Récolte en vue d'utilisation

Echantillonnage au niveau de la population  
Echantillonnage au niveau individuel

Remarques générales

Bibliographie

INTRODUCTION

Dans toute récolte de semences, c'est en définitive l'échantillonnage qui déterminera la proportion de la variation génétique présente que nous aurons capturée. Les erreurs ou négligences dans l'échantillonnage, c'est-à-dire dans le choix des populations et des arbres, ne pourront être corrigées au stade de la plantation, si bien étudié et si raffiné que soit notre dispositif expérimental, et si soignée que soit la plantation.

D'une manière générale, l'échantillonnage se fait à deux niveaux: au niveau de la population (provenance et peuplement), et au niveau individuel. Le choix de la méthode exacte et de l'intensité d'échantillonnage dépendra des objectifs particuliers de la récolte de semences.

Ces objectifs sont principalement les suivants: i) évaluation; ii) conservation; iii) utilisation (reboisement à grande échelle).

RECOLTE EN VUE D'EVALUATION

L'évaluation, dans le cas présent, se rapporte généralement à la réalisation d'essais d'espèces et de provenances dans lesquels on évalue l'étendue et le type de variation, et l'adaptation des diverses espèces ou provenances aux stations de reboisement envisagées.

La principale question à laquelle il faut répondre lorsqu'on projette une expédition de récolte de semences est celle-ci: comment répartir en pratique le temps et les fonds disponibles entre la fréquence (combien de points de récolte?) et l'intensité (combien d'arbres par point?).

Echantillonnage au niveau de la population

Au premier stade, l'échantillonnage porte sur toute l'aire de l'espèce (Barner, 1974; Turnbull, 1975). Si l'on ne dispose pas d'information suffisante sur la répartition de l'espèce, des recherches dans la littérature et dans des herbiers, et des contacts avec des forestiers, des botanistes amateurs et autres personnes vivant dans son aire naturelle ou à proximité peuvent aider à en définir les limites. Le recours aux photographies

aériennes peut parfois permettre d'économiser du temps en repérant des points possibles de récolte en pays inconnu ou en terrain difficile (Turnbull, 1975).

Idéalement, l'exploration taxinomique et botanique devrait précéder la récolte, étant donné que l'on ne peut élaborer efficacement un plan d'échantillonnage qu'en se basant sur la connaissance de la répartition et de l'écologie de l'espèce. Parfois, cependant, les activités d'exploration et de récolte préliminaire devront être groupées. On ne peut attendre d'une telle expédition unique et combinée qu'elle fournisse la réponse à toutes les questions, et il sera nécessaire de procéder à une série de missions de reconnaissance et de récolte de semences.

Le nombre de provenances 1/ à échantillonner dépendra de l'étendue et de l'hétérogénéité de l'aire de répartition et de la diversité génétique de l'espèce. Étant donné que l'on ne sait que peu de chose, lors de la première phase d'étude, sur le mode de variation de l'espèce, l'échantillonnage pourra se faire selon un maillage assez lâche, en récoltant à intervalles relativement larges, selon les gradients écologiques.

La diversité génétique est généralement la plus grande dans les zones qui sont optimales pour le développement de l'espèce en cause. Toutefois, sur les limites de l'aire écologique, les populations périphériques peuvent être exposées à des conditions extrêmes de température, de pluviométrie ou de sol, et de telles provenances peuvent posséder des caractéristiques morphologiques et physiologiques offrant de grandes potentialités pour certains milieux particuliers, c'est pourquoi il importe d'inclure dans les récoltes ces stations marginales (Turnbull, 1975).

Lorsque les essais de provenances de première phase auront permis de localiser des régions intéressantes, les récoltes de provenances de deuxième phase devront se concentrer sur celles-ci, par un échantillonnage à mailles plus serrées (davantage de points de récolte sur une surface plus limitée). Turnbull (1975) présente des exemples de plans d'échantillonnage utilisés pour quelques espèces particulières.

Les peuplements dans lesquels sont récoltées les semences doivent répondre à certains critères. Un peuplement a été défini comme "une population d'arbres suffisamment grande et ayant une uniformité suffisante quant à sa composition, sa structure et sa répartition dans l'espace pour se distinguer des peuplements voisins" (OCDE, 1971). En pratique, la principale considération doit être de choisir une population qui soit assez grande pour permettre une pollinisation croisée suffisante entre un grand nombre d'arbres, et qui soit isolée d'espèces voisines afin de réduire au minimum les risques d'hybridation (Turnbull, 1975; Melchior et Venegas Tovar, 1978). L'application de ces critères à certaines essences tropicales se rencontrant à l'état de pieds isolés dans des forêts mélangées peut s'avérer difficile. Dans ce cas, on pourra maintenir séparés les lots de semences provenant d'individus isolés, ou les combiner à d'autres lots couvrant une large superficie pour constituer "un peuplement" (Turnbull, 1975).

Melchior et Venegas Tovar (1978), à propos de plantations d'*Eucalyptus globulus* en Colombie, considèrent que 300 individus sont un nombre minimum pour constituer un peuplement convenable en vue de la récolte de semences.

Les peuplements doivent être d'un âge qui permette une production abondante de graines, pour des raisons pratiques aussi bien que génétiques.

Dans le cas d'essences introduites, les semences doivent chaque fois que possible être récoltées dans des peuplements d'origine 2/ connue. L'histoire générale du peuplement est importante à connaître dans le cas d'essences indigènes aussi bien qu'introduites. Tout traitement susceptible d'avoir modifié la distribution des phénotypes doit être noté, et les peuplements qui ont été soumis à des éclaircies sélectives pour en extraire les meilleurs phénotypes doivent être évités (Turnbull, 1975).

1/ Provenance: lieu où pousse un peuplement forestier quelconque, qu'il s'agisse d'arbres indigènes ou non (OCDE, 1971).

2/ Origine: pour un peuplement indigène l'origine est le lieu où se trouvent les arbres dont les semences proviennent; pour un peuplement non indigène l'origine est le lieu d'où provenaient les graines ou plants initialement introduits (OCDE, 1971).

### Echantillonnage au niveau individuel

Dans le choix des arbres en vue d'étude de provenances, le but doit être de prendre un échantillon aussi représentatif que possible de la population. Les principales considérations, dans l'échantillonnage, sont le nombre d'arbres, le type d'arbres, et la distance entre les arbres à échantillonner. Afin d'avoir un maximum de latitude de choix, il est souhaitable que les récoltes se fassent à un moment où la majorité des arbres portent des semences en abondance (Turnbull, 1975). Une bonne année de semence, d'autre part, fournira un échantillon de semences qui représentera plus complètement la population d'un point de vue génétique.

L'échantillonnage individuel peut avoir en vue la variabilité, ou la supériorité pour certaines caractéristiques. Les études de provenances ont pour objet de mettre en évidence les différences génétiques entre populations, et d'indiquer les meilleurs localités où récolter des graines. Ces recherches peuvent se faire aussi bien, sinon mieux, avec des semences récoltées sur des arbres pris au hasard plutôt que sur des individus soigneusement sélectionnés en fonction de leur supériorité phénotypique. Les normes de l'IUFRO suggèrent de choisir des arbres "moyens ou non inférieurs à la moyenne", dominants ou codominants, dans des peuplements "normaux" par opposition à des peuplements "plus".

Dans l'échantillonnage en vue d'essais de provenances, dans des peuplements naturels, la question de l'espacement entre les arbres choisis est importante, en raison de la nécessité d'éviter de prendre des arbres proches parents (demifratricie) ou des arbres qui présentent une fréquence anormalement élevée d'autopollinisation. Bien que les recommandations varient, on considère généralement que la distance entre les arbres semenciers doit être de 100 à 300 m pour éviter un rétrécissement de la variation échantillonnée dû à la proche parenté ou à la consanguinité (Turnbull, 1975; FAO, 1975; Melchior et Venegas Tovar, 1978). Des arbres poussant côte à côte dans un peuplement artificiel ne sont généralement pas proches parents, parce que les semences dont ils proviennent ont été mélangées, et il n'y a par conséquent pas lieu de restreindre l'échantillonnage à partir d'arbres voisins (Turnbull, 1975).

Le nombre d'arbres échantillonnés par peuplement variera selon l'essence et selon son système de reproduction. De 10 à 25 arbres peuvent être considérés comme un minimum pour les essences poussant en peuplement (Barner, 1974); on a examiné plus haut les solutions possibles lorsqu'on a affaire à des essences tropicales poussant par pieds isolés plutôt qu'en peuplement.

Le nombre de graines par arbre nécessaire pour les essais de provenances n'a pas besoin d'être très grand: 10 000 graines par arbre, en mélangeant soigneusement les lots provenant de différents arbres, suffiront pour chaque essai, à condition de les semer une par une sur les planches de semis, ou de repiquer les jeunes semis à raison d'un seul par pot.

### RECOLTE EN VUE DE CONSERVATION

La principale considération, lorsqu'on procède à un échantillonnage en vue de la conservation ex situ, est le maintien d'une diversité allélique maximale. Les stratégies à appliquer sont discutées dans l'exposé sur les "Principes et stratégies pour une meilleure utilisation des ressources génétiques forestières".

### RECOLTE EN VUE D'UTILISATION

#### Echantillonnage au niveau de la population

La récolte en vue de l'utilisation se fait généralement sur une portion limitée de l'aire, à partir de populations que les essais de provenances ont désignées comme étant bien adaptées aux conditions écologiques des stations à reboiser. Toutefois, étant donné que dans de nombreux pays on démarre des programmes de reboisement avant d'avoir suffisamment d'information sur le comportement des diverses provenances, on procède souvent à des rapprochements climatiques et édaphiques pour choisir les meilleurs sources probables de semences. Comme la plupart des espèces et provenances ont un certain degré de plasticité - c'est-à-dire de capacité de s'adapter à des conditions de milieu plus ou moins

différentes de celles de leur milieu naturel - (Willan, 1979), cela put constituer une mesure temporaire acceptable, à condition d'entreprendre parallèlement des essais d'évaluation normaux. L'évaluation systématique est toujours nécessaire, étant donné que des facteurs autres que climat et sol déterminent la composition génétique des arbres dans le milieu où ils poussent actuellement, ce qui rend imprévisibles les résultats de nouvelles introductions dans un milieu analogue.

Si la récolte s'effectue dans des plantations ou dans des peuplements équiennes homogènes, la qualité génétique des semences pourra généralement être améliorée dans une certaine mesure en échantillonnant en fonction de la supériorité des peuplements aussi bien que des arbres individuels (Turnbull, 1975). Par contre, il faut noter que dans le cas de peuplements naturels inéquiennes, et de peuplements dont on ne connaît pas le passé, un bon comportement phénotypique n'est pas une garantie de supériorité génétique. La probabilité pour que la supériorité soit due à des causes purement de milieu est, en fait, de 50 pour cent (Melchior, 1977; Barner, 1974).

#### Echantillonnage au niveau individuel

Le niveau le plus bas acceptable en matière de récolte au niveau individuel, auquel on a souvent recours par nécessité pour se procurer les quantités importantes de semences requises pour des programmes de reboisement à grande échelle, consiste à récolter des graines sur tous les arbres d'une provenance ou de provenances déterminées, à l'exception de ceux qui présentent un phénotype nettement inférieur (Turnbull, 1977). Idéalement, les arbres échantillonnés dans un peuplement devraient être dominants, exempts de parasites et maladies, et dans le cas de peuplements artificiels avoir une forme meilleure que la moyenne.

Dans les peuplements régénérés par ensemencement naturel, la récolte de semences sur des arbres proches les uns des autres peut conduire à des plantations ayant une base génétique étroite, et qui de ce fait répondront de manière uniforme aux contraintes du milieu telles que maladies ou conditions défavorables imprévues, et auront d'une manière générale moins de plasticité pour s'adapter aux exigences d'une nouvelle station. En outre, si par la suite on y délimite des peuplements semenciers, ou qu'on y récolte des semences, il pourra apparaître de graves effets de consanguinité dans les peuplements de deuxième génération qui en procèderont. Dans les peuplements naturels, la distance entre les semenciers devrait, comme pour la récolte en vue d'évaluation, être idéalement de 100 à 300 m, et une exigence minimale serait de choisir des arbres à intervalles supérieurs à la distance normale de dissémination des graines.

Lorsqu'on récolte des grandes quantités de semences, il n'y a pas de limite supérieure à la quantité récoltée par arbre, à condition que le nombre de semenciers soit élevé. Lorsqu'on récolte sur des arbres sur pied, la limite inférieure sera déterminée par des considérations économiques.

#### REMARQUES GENERALES

Les limitations pratiques et les possibilités économiques modifient souvent les stratégies idéales d'échantillonnage exposées ci-dessus. Des facteurs tels que l'accessibilité des peuplements et les fluctuations annuelles de la production de graines tant au niveau de la provenance qu'au niveau individuel influencent également les décisions à cet égard. Cependant, si l'on connaît les principes génétiques et biologiques sur lesquels sont basées les méthodes et l'intensité d'échantillonnage recommandées, on pourra souvent s'accommoder de ces modifications sans conséquences défavorables excessives.

On ne saurait trop souligner l'importance fondamentale d'un enregistrement détaillé des procédures d'échantillonnage utilisées et des nombres de provenances, de peuplements et d'arbres récoltés, de même que des critères de sélection dans chaque cas.

BIBLIOGRAPHIE

- Barner, H.  
(1974)                      Classification of Sources for Procurement of Forest Reproductive Material. In: Report on the FAO/DANIDA Training Course on Forest Tree Improvement, held in Limur, Kenya, September-October 1973. FAO/DEN-RF-112. FAO, Rome.
- FAO  
(1975)                      Information sur les ressources génétiques forestières No 4. Document forestier occasionnel 1975/1. FAO, Rome.
- Melchior, G.H.  
(1977)                      Programa Preliminar de un Ensayo de Procedencia de Cordia alliodora, Cupressus lusitanica y otras Especies Nativas y Exoticas. Proyecto Investigaciones y Desarrollo Industrial Forestales COL/74/005. PIF No.7. Bogotá, Colombia.
- Melchior, G.H. y Venegas Tovar, L.  
(1978)                      Propuesta para Asegurar el Suministro de Semillas de Eucalyptus globulus en Calidad Comercial y Genéticamente Mejoradas. Proyecto Investigaciones y Desarrollo Industrial Forestales COL/74/005. PIF No. 14. Bogotá, Colombia.
- OCDE  
(1971)                      Système de l'OCDE pour le contrôle de matériels forestiers de reproduction destinés au commerce international. OCDE, Paris.
- Turnbull, J.  
(1975)                      Seed Collection - Sampling Considerations and Collection Techniques. In: Report of the FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, held in Chiang Mai, Thailand. February-March 1975. FAO/TF/RAS-11 (DEN). FAO, Rome.
- Turnbull  
(1977)                      Seed Collection and Certification. In: Selected Reference Papers, International Training Course in Forest Tree Breeding. Australian Development Assistance Agency. Canberra, Australia.
- Willan, R.L.  
(1979)                      Eucalyptus for South-East Asia. Tropical Agriculture Research Series No, 12. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan.

RECOLTE ET MANIPULATION DES SEMENCES FORESTIERES

Christel Palmberg 1/ et G.H. Melchior 2/

TABLE DES MATIERES

Introduction

Conditions biologiques préalables pour la floraison et la fructification

La phase juvénile-adulte

Taille effective de la population

Planification de la récolte de semences

Détermination des besoins en semences

Prévisions et estimations de récolte

L'échantillonnage dans la récolte de semences

Techniques de récolte

Récolte au sol

Récolte d'arbres sur pied

Entraînement et sécurité

Emballage et enregistrement des semences récoltées

Séchage, postmaturation et nettoyage des semences

Supervision

Bibliographie

Annexe 1. Equipement nécessaire pour la récolte des graines, la description de la zone et la récolte d'échantillons d'herbier.

Annexe 2 et 3. Exemples de fiches de récolte de semences.

1/ Division des ressources forestières, Département des forêts, FAO,  
Via delle Terme di Caracalla, I-00100 Rome, Italie.

2/ Bundesforschungsanstalt für Holz und Forstwirtschaft, Institut für  
Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung  
Sieker Land Strasse 2, D-207 Grosshahnsdorf 2  
République fédérale d'Allemagne

## INTRODUCTION

En Amérique latine comme dans les autres régions du monde, les connaissances limitées que l'on a des principes de base et des méthodes pratiques de récolte, manipulation et traitement des semences forestières sont un des principaux facteurs limitants dans les efforts de plantation à grande échelle d'essences indigènes ou exotiques. Du fait du manque de relations avec l'extérieur, et surtout de devises étrangères, bien souvent le déficit de semences ne peut être comblé par des achats dans d'autres pays.

Etant donné que tous les pays latino-américains possèdent encore des superficies forestières relativement importantes, il leur serait possible de couvrir leurs besoins internes en semences d'essences indigènes par des récoltes dans leurs propres peuplements; dans le cas d'essences exotiques, il est urgent d'établir dans chaque pays des zones de récolte de semences ou des plantations aménagées en vue de la production de semences, afin de devenir le plus rapidement possible autosuffisant en matière de semences forestières.

La récolte de semences forestières peut avoir les buts suivants:

- Assurer l'approvisionnement continu à court et long terme de matériel de reproduction pour des programmes de reboisement en rapport avec la demande de produits forestiers du pays;
- Fournir le matériel de reproduction nécessaire pour des essais scientifiques;
- Fournir du matériel de reproduction pour la création de réserves de gènes ex situ, et pour l'installation et l'agrandissement d'arboretums, jardins botaniques et autres collections d'espèces arborescentes;
- Fournir du matériel de reproduction pour l'embellissement des sites naturels, des lieux de loisir, des villes, des routes, etc...

Les méthodes de récolte de matériel de reproduction varient selon les objectifs mentionnées ci-dessus, et dépendent des essences considérées, des stations à reboiser, du type de matériel de reproduction à utiliser, etc...

## CONDITIONS BIOLOGIQUES PREALABLES POUR LA FLORAISON ET LA FRUCTIFICATION

La formation des gamètes et des zygotes chez les espèces arborescentes conifères et feuillues est traitée en détail dans le manuel publié par Mittak (1978), et dans divers ouvrages de biologie. C'est pourquoi nous nous bornerons ici à souligner quelques phénomènes d'importance particulière pour le développement des graines d'essences forestières.

### La phase juvénile-adulte

L'union des gamètes mâle et femelle donne naissance au zygote, puis à la graine, et enfin au sporophyte. Par division cellulaire équationnelle ou mitose il se développe un individu diploïde, qui peut être défini par ses caractéristiques morphologiques et physiologiques particulières telles que par exemple: la position des aiguilles, la forme des feuilles, la durée de la période juvénile.

La période juvénile est caractérisée par l'incapacité de l'individu de se reproduire par voie sexuée. Sa durée est influencée, outre les facteurs héréditaires, par les conditions de milieu; elle peut être, selon les espèces, de 2 ans à plus de 50 ans, ainsi par exemple Cordia alliodora à basse altitude met de 4 à 6 ans pour entrer dans sa phase de maturité, les Podocarpus des zones montagneuses jusqu'à 30 ans ou plus, et les Quercus de la zone tempérée plus de 50 ans.

Lorsque l'arbre arrive au stade de maturité ses caractéristiques morphologiques se modifient. Un critère étroitement lié à la maturité est le début de la floraison et de la fructification. Nous ne savons malheureusement que peu de chose sur la variation phénologique entre les essences forestières tropicales et à l'intérieur d'une même essence, et sur ses causes génétiques et écologiques. Néanmoins, on sait qu'entre les arbres d'un

peuplement ou d'une forêt donnés il y a généralement des différences dans l'âge auquel ils commencent à fleurir, et également dans la régularité de la floraison et de la fructification, particulièrement lorsqu'ils sont jeunes. En conséquence de cette variation, et des grandes distances qui séparent souvent les individus ou groupes d'individus d'une espèce dans les forêts tropicales, il naît fréquemment des sous-populations que l'on peut distinguer par la coïncidence de la floraison. Si ces sous-populations sont de petite taille, il existe en leur sein un grave danger d'autopollinisation, avec des conséquences négatives dues à la consanguinité à la génération suivante, telles qu'instabilité, faible résistance vis-à-vis des facteurs biotiques et non biotiques, et vigueur réduite. C'est pourquoi il faut absolument éviter la tentation de récolter des graines dans des peuplements très jeunes, où la récolte serait souvent plus facile et moins coûteuse que dans des peuplements mûrs. C'est seulement lorsque 60 à 100 pour cent des individus d'une population déterminée sont entrés dans la phase de floraison (seules des populations adultes atteindront un tel pourcentage) que l'on peut envisager d'y récolter des graines à des fins de reboisement commercial.

Afin de hâter le début de la phase adulte, et par conséquent de la floraison et de la fructification, on établit généralement les peuplements destinés à la récolte de semences sur des stations à sol fertile et à climat optimal pour la floraison de l'espèce. On peut aussi parfois avancer la phase adulte et accroître la floraison et la fructification par des traitements à base de fertilisants ou de phytohormones.

Aucune des méthodes mentionnées plus haut ne peut être employée sans observations attentives et essais préalables bien organisés, destinés à déterminer exactement les caractéristiques et exigences spécifiques de l'essence.

#### Taille effective de la population

La taille effective de la population signifie la proportion de génotypes qui participent réellement à la fécondation et à la production de semences dans une année donnée.

L'idéal, pour la qualité physiologique et génétique des semences, serait la combinaison au hasard de tous les gamètes dans des populations renfermant un nombre élevé d'individus non parents entre eux, en se basant sur le fait que les croisements avec un pollen étranger ont une valeur sélective positive, maintenant l'hétérozygotie des allèles et empêchant la manifestation des allèles sublétaux.

La taille effective d'une population est influencée par les facteurs suivants:

- i) la taille absolue de la population;
- ii) des barrières physiques, pouvant consister par exemple en écrans naturels, ou en un mélange de nombreuses espèces ne s'hybridant pas entre elles, qui diminue la mobilité du pollen dans l'air;
- iii) la phénologie et le synchronisme de la floraison. Outre la faiblesse de la floraison dans certaines années, l'absence de synchronisme dans la floraison peut réduire dans des proportions considérables la taille effective de la population, et rendre difficile l'approvisionnement continu en semences de même que les progrès de l'amélioration génétique. Le synchronisme influe sur la composition génétique des graines récoltées, qui varie généralement d'une année à l'autre dans un même peuplement en fonction des arbres qui fleurissent en même temps. Dans les programmes d'amélioration génétique, il sera souvent nécessaire d'établir une série de vergers à graines, chacun ayant sa sous-population phénologiquement synchronisée;
- iv) l'incompatibilité entre génotypes. Ce phénomène, qui se présente le plus souvent comme une barrière empêchant l'autofécondation et la fécondation entre arbres proches parents, peut être dû aux facteurs suivants:
  - le pollen ne germe pas sur le stigmate;
  - le tube pollinique ne pénètre pas dans le stigmate;
  - le tube pollinique réagit avec les tissus du style et n'atteint pas l'ovule;

- les gamètes ne remplissent pas leurs fonctions par suite d'incompatibilité;
- l'union entre les gamètes se produit, mais le zygote formé meurt par suite d'incompatibilité de l'endosperme, ou bien dans les espèces présentant une polyembryonie la sélection s'opère contre lui.

#### PLANIFICATION DE LA RECOLTE DE SEMENCES

##### Détermination des besoins en semences 1/

La planification du reboisement doit inclure l'obtention des semences, et assurer leur disponibilité continue en quantités suffisantes.

En fonction de la superficie de reboisement envisagée, de la localisation géographique et de l'essence plantée, le responsable calculera les besoins de semences pour la production de plants en pépinière ou pour le semis direct. Par exemple, si l'on projette de planter 1 000 hectares de Pinus oocarpa à l'espacement de 2,5x2,0 m, soit 2 000 plants/ha, il faudra 2 000 000 de plants. Pour produire en pépinière un plant en sachet de polyéthylène, il faut deux graines de bonne qualité; le nombre de semences viables nécessaires pour le reboisement projeté sera par conséquent de:

$$2 \times 2\,000\,000 = 4\,000\,000$$

Le nombre de graines viables de pin contenues dans un volume donné de cônes varie considérablement selon l'espèce, voire dans une même espèce. Si l'on suppose qu'il y a en moyenne 48 000 graines de Pinus oocarpa par hectolitre de cônes, il faudra dans l'exemple cité un volume de cônes de:

$$4\,000\,000 : 48\,000 = 83,3 \text{ hl}$$

Ainsi, à partir des données précédentes, on détermine que pour 1 000 ha de reboisement avec des plants en sachets on devra récolter approximativement 83 hectolitres de cônes mûrs de P. oocarpa.

Cependant, comme il est peu probable que l'on puisse récolter chaque année la quantité voulue de semences, on récoltera dans les bonnes années la quantité maxima possible, que l'on conservera en chambre froide pour les années suivantes. Le nombre d'années d'avance pour lesquelles on récoltera des semences dépendra de facteurs tels que la périodicité de la floraison de l'espèce, et la durée de vie des graines dans les conditions d'entreposage existantes. Il est souhaitable d'avoir toujours en magasin une quantité de semences suffisante pour couvrir les besoins d'au moins deux années au delà de l'année en cours. Dans ce cas, la quantité de cônes à récolter sera:

$$3 \times 83,3 = 250 \text{ hectolitres}$$

Il est très important de tenir pour chaque espèce et provenance un enregistrement annuel des dates de maturité des cônes ainsi que de la production, afin de pouvoir mieux planifier la récolte, et connaître la périodicité des années de semence.

##### Prévisions et estimations de récolte 2/

Lorsque les bourgeons fertiles se sont formés, le responsable de la récolte de semences peut déterminer, par une méthode d'échantillonnage appropriée, s'il se développe une récolte potentielle. Il faut souligner le mot "potentielle", parce que les multiples obstacles au développement des graines peuvent à une étape quelconque causer la destruction des organes reproducteurs ou des graines en cours de maturation.

Le pronostic précoce se fonde sur un échantillonnage d'environ 10 à 20 arbres, en récoltant sur chaque arbre trois rameaux de la partie supérieure de la cime et en y comptant les bourgeons femelles. On peut par l'évaluation statistique de cet échantillon

1/ Cette partie de l'exposé est adaptée de Mittak (1978).

2/ Cette partie de l'exposé est adaptée de Mittak (1978)

déduire un indice de récolte potentielle. Théoriquement, plus la production de bourgeons femelles est abondante, et plus grande est la probabilité d'une bonne récolte de semences. Malheureusement, la relation quantitative entre les comptages de bourgeons femelles et la récolte potentielle n'est pas entièrement digne de confiance. Néanmoins les comparaisons relatives entre surfaces et périodicité ont toujours une valeur pratique. Le procédé décrit pourra être utile, en attendant que soient mises au point des techniques plus appropriées pour pronostiquer les récoltes de semences de toutes les essences de reboisement importantes.

Le ou les pronostics subséquents peuvent être fondés sur un comptage de leurs femelles, et ultérieurement un comptage de jeunes cônes.

Les erreurs les plus courantes dans les estimations de récolte de cônes consistent à compter des vieux cônes qui ont déjà disséminé leurs graines dans les saisons précédentes, et à se baser sur des observations portant sur des arbres situés en bord de chemins, qui étant plus exposés au soleil ont souvent davantage de cônes et de bourgeons que ceux poussant à l'intérieur de peuplements fermés.

Pour la détermination des diverses zones possibles de récolte de semences, le planificateur leur attribuera des priorités en fonction d'une évaluation de rendement en semences de la récolte, telle que décrite ci-dessous.

L'objectif principal de l'évaluation de la récolte est d'indiquer la quantité de graines saines contenue dans les cônes. Pour la déterminer, on prend au hasard des cônes de divers arbres bien répartis dans le peuplement. Il faut bien veiller à ce que les échantillons soient représentatifs de l'ensemble des cônes, autrement dit ils doivent être récoltés sur toutes les parties de la cime des arbres semenciers.

On choisit une dizaine d'arbres représentatifs dans le peuplement dont on cherche à évaluer la production, et on récolte dix cônes sur chacun. Les cent cônes ainsi obtenus sont soumis à un examen qui consiste à couper chaque cône par le milieu dans le sens de la longueur, et à compter sur une des surfaces de coupe les bonnes graines; ensuite on les place séparément dans une étuve à 65°C, jusqu'à ce que les écailles s'ouvrent et laissent échapper les graines. On divise la quantité totale de bonnes graines obtenues à partir du cône par le nombre de graines compté sur une seule face du cône fendu. Les valeurs des cent cônes, évaluées statistiquement, donneront un facteur moyen de multiplication.

Etant donné que les insectes et maladies des graines influent non seulement sur la capacité du cône ou du fruit de produire des semences mûres, mais également sur le développement ultérieur des semis, on estime généralement que si plus de 50 pour cent des semences sont endommagées, on ne devrait plus récolter de graines dans le peuplement en cause.

La date de maturité des graines varie même à l'intérieur d'une espèce, et dépend de facteurs génétiques et du microclimat auquel est soumis le peuplement.

En même temps que l'on examine la quantité et la qualité des semences, il importe de se faire une idée de leur degré de maturité, pour pouvoir fixer une date possible de début de la récolte. Utilisé en même temps que d'autres indicateurs de la maturité, l'essai d'incision de la graine est en général d'un grand secours pour la détermination de la maturité. Pour cela on coupe chaque graine dans le sens de la longueur, exactement par le milieu, à l'aide d'une lame de rasoir. Ensuite on examine le contenu de 20-30 graines avec une loupe de grossissement x 10. En général, au fur et à mesure de la maturation de la graine, l'embryon grossit et prend une couleur jaunâtre, tandis que l'endosperme ou albumen passe d'un état laiteux et visqueux à une consistance ferme (comparable à la pulpe de noix de coco). Le tégument et l'aile prennent également une couleur foncée. Dans la majorité des cas, l'embryon doit avoir atteint au moins 75 pour cent de sa longueur maxima possible pour pouvoir assurer la viabilité de la graine, cette longueur maxima étant celle de la cavité de l'endosperme.

L'essai d'incision ne doit pas être effectué avant 3 à 4 semaines de la maturité des graines, parce que jusqu'à cette date les ovules non fécondés de certaines espèces peuvent simuler un développement normal, à savoir qu'ils contiennent un endosperme et

ont l'apparence de bonnes graines. Toutefois, n'étant pas fécondés, ils ne possèdent pas d'embryon et ne peuvent constituer des semences viables. Trois semaines environ avant la maturité, la majorité des ovules non fécondés cessent de se développer, et les tissus de l'endosperme se dessèchent, formant des graines vaines.

#### L'ECHANTILLONNAGE DANS LA RECOLTE DE SEMENCES

Voir l'exposé précédent.

#### TECHNIQUES DE RECOLTE

##### Récolte au sol

En raison de son faible coût et de sa facilité, la récolte de semences à partir du sol est largement pratiquée. Elle inclut le ramassage de graines ou de fruits tombés d'arbres sur pied, et la récolte d'arbres abattus ou renversés.

Cette méthode est fréquemment employée pour des graines ou des fruits de taille relativement grande, tels que *Quercus* spp., *Fagus* spp., *Castanea* spp. dans la zone tempérée, et dans la zone tropicale *Tectona grandis*, *Shorea* spp., *Triplochiton* spp., *Gmelina arborea* (Turnbull, 1975; USDA, 1974). Dans la mesure du possible, il est recommandé de nettoyer le sol sous les arbres avant de procéder à la récolte.

Si la récolte au sol est une méthode relativement facile et économique, elle présente aussi de graves inconvénients. La viabilité des semences de nombreuses espèces (par exemple *Shorea* spp.) se perd rapidement une fois qu'elles sont détachées de l'arbre; les graines tombées au sol sont également très sensibles aux attaques d'insectes, champignons et animaux supérieurs. C'est pourquoi il importe de les ramasser le plus tôt possible, en tenant compte toutefois du fait que les premières graines ou les premiers fruits qui tombent sont en général de mauvaise qualité (Turnbull, 1975). Un autre inconvénient de cette méthode est que l'on ne peut en général déterminer avec exactitude de quel arbre provient la semence, et en conséquence on ne sait rien de sa qualité phénotypique.

Une méthode étroitement apparentée qui élimine une large part des inconvénients mentionnés ci-dessus consiste en l'emploi d'un secoueur d'arbres constitué par un bras hydraulique monté sur un tracteur, qui secoue les arbres en les saisissant par le tronc, faisant ainsi tomber les fruits mûrs (Turnbull, 1975; Ottone, 1978).

Dans certains cas, des animaux tels que les écureuils ramassent et entassent des cônes ou des graines, que les forestiers utilisent parfois pour une récolte rapide de semences. C'est une méthode fréquemment employée par exemple pour *Pseudotsuga menziesii* aux Etats-Unis (Turnbull, 1975).

La récolte de semences sur des arbres tombés ou exploités en éclaircie ou en coupe définitive, ou encore abattus spécialement dans ce but, est une méthode couramment employée. Si elle permet, du moins en théorie, de limiter la récolte à des peuplements désirables, en revanche il n'est pas possible de revenir récolter à nouveau des semences du même arbre ou du même peuplement. La coupe d'arbres uniquement pour récolter des semences est en général de portée limitée, et elle représente en outre un gaspillage.

##### Récolte d'arbres sur pied

La récolte d'arbres sur pied est la méthode la plus employée à l'échelle mondiale pour se procurer des semences forestières. C'est une méthode sûre, à condition de prêter attention aux problèmes de sécurité et d'utiliser un équipement approprié et bien entretenu.

On peut distinguer i) la récolte d'arbres sur pied depuis le sol; ii) la récolte d'arbres sur pied en les escaladant.

##### i) Récolte d'arbres sur pied depuis le sol

Il existe diverses méthodes pour la récolte de graines depuis le sol, utilisant des équipements pour faire tomber les fruits et les graines, comme par exemple des

gaules longues et légères pour battre les branches, des serpettes à manche long ou télescopique pour détacher les fruits, des bâtons à bec cueilleur, des sécateurs, etc...

Pour couper les rameaux fructifères des arbres, on emploie en Australie une carabine, ou une scie souple maniée depuis le pied de l'arbre; cette dernière permet de couper des branches jusqu'à 20 cm de diamètre (Turnbull, 1975).

#### ii) Récolte d'arbres sur pied avec escalade

L'équipement utilisé pour escalader les arbres dépend de l'essence et des conditions de milieu.

L'Annexe 1 présente une liste d'équipements nécessaires pour la récolte de semences, d'après Burley et Wood (1978).

#### Crampons

L'emploi de crampons est la méthode la plus courante pour grimper aux arbres. Les crampons d'acier forgé s'ajustent au moyen de courroies de bon cuir solide et souple aux chassures du grimpeur. Il importe que celles-ci soient solides et bien serrées sur la jambe. Le crampon se termine par une pointe robuste, dont la longueur varie selon la méthode employée pour grimper. On considère comme l'un des meilleurs systèmes des crampons courts, ne faisant pas saillie de la semelle, ce qui permet au grimpeur de marcher sans difficulté. Les crampons endommagent les arbres à écorce mince et lisse, c'est pourquoi il faut éviter leur emploi sur des arbres jeunes et à écorce fine (Mittak, 1978; Turnbull, 1975). Pour faciliter encore le travail du grimpeur, on peut utiliser par exemple une corde que l'on enroule en spirale autour du tronc de l'arbre (Mittak, 1978).

Les équipes de l'IUFRO récoltant des graines de conifères nord-américains avaient comme équipement normal des crampons, une ceinture de sécurité, un crochet pour atteindre la pointe des branches et arracher les cônes, un casque protecteur, et une combinaison de travail (Turnbull, 1975).

#### Le "Baumvelo"

Pour la récolte de cônes, graines ou fruits d'arbres à écorce très fine et lisse, on recommande l'emploi du "Baumvelo", qui est particulièrement approprié pour la récolte de bourgeons et de pollen d'arbres "plus" afin d'éviter de les endommager (Mittak, 1978).

Cet appareil consiste en deux cerceaux montés sur des supports pourvus d'un repose-pied, qui se fixent au moyen de courroies spéciales sur les chaussures du grimpeur. Ils doivent également être ajustés à la circonférence de l'arbre à escalader; ils doivent avoir environ 5 à 8 cm de plus que cette circonférence, afin de faciliter leur déplacement. Pour monter, l'homme porte le poids de son corps sur un des cerceaux, ensuite il lève l'autre pied muni d'un cerceau le plus haut possible; il lève alors le pied qui servait d'appui jusqu'à hauteur de l'autre. Entre ces deux opérations il doit ajuster sa ceinture de sécurité à la plus grande hauteur possible. Arrivé à la cime, il peut détacher les cerceaux et les fixer au tronc, et ainsi se déplacer librement; pour descendre il doit assujettir à nouveau les cerceaux sur ses chaussures.

Ces cerceaux sont faciles à transporter, et d'un emploi relativement aisé et rapide avec un peu de pratique (Mittak, 1978; Turnbull, 1975; Ottone, 1978).

#### Echelles

Les échelles utilisées pour la récolte des graines forestières varient beaucoup dans leur construction et leur matériau. Elles offrent une méthode rapide et sûre pour escalader des arbres jusqu'à 15 m - et parfois 20 m et plus - de hauteur. Mittak (1978) en distingue les types suivants:

Echelles de corde, semblables à celles employées par les marins. On lance une corde sur une grosse branche, et ensuite on hisse l'échelle de corde sur cette branche.

Echelles à un seul montant, avec des échelons alternes constitués par des barreaux courts de part et d'autre du montant. Ces échelles sont appropriées en terrain accidenté et pour les arbres très branchus; on les fixe sur le tronc de l'arbre au moyen d'une chaîne. Entre l'échelle et le tronc il y a des cales d'écartement, généralement au point où se trouve la chaîne, pour faciliter l'entrée du pied. Ces échelles sont plus faciles à assurer dans le sol que les échelles à deux montants.

Pour les arbres à fût élevé, il faut des échelles qui puissent se monter et se démonter. Elles sont généralement en duralumin, en éléments de longueur variable (2 à 4 m), qui ne doivent pas peser plus de 3 ou 4 kg chacun pour pouvoir être facilement transportés. Les éléments sont construits de façon à s'emboîter l'un dans l'autre, et ils se fixent par une chaîne au tronc de l'arbre, sur lequel le grimpeur les assujettit au fur et à mesure qu'il monte.

Outre les types d'échelles mentionnés ci-dessus, on peut utiliser des échelles montées sur tracteur, de même que des plateformes hydrauliques de différents modèles, qui le plus souvent ne sont employées que dans les vergers à graines en raison de leur prix de revient élevé (Turnbull, 1975).

#### Filets et autres méthodes diverses

Un dispositif spécial pour escalader les arbres, notamment ceux qui ont des petits cônes, comme les cyprès, est le filet conçu par la Forestry Commission de Grande-Bretagne. On accroche un filet triangulaire dans la cime de l'arbre au moyen de cordes et de crochets; l'opérateur peut y monter et cueillir les petits cônes que l'on ne pourrait autrement récolter qu'en coupant une partie des branches et en causant de grands dommages dans les récoltes des années suivantes. Ce dispositif donne de bons résultats avec les essences comparables aux cyprès, c'est-à-dire ayant d'abondants cônes ou fruits de petite taille à l'extérieur de la cime (Mittak, 1978).

On mentionne également l'emploi de poulies fixées à une grosse fourche, et même de ballons aérostatiques comme méthodes de récolte dans diverses régions du monde, mais cela occasionne tant de complications qu'ils sont difficiles à utiliser et finalement, en général, d'un faible rendement (Ottone, 1978; Turnbull, 1975).

#### ENTRAINEMENT ET SECURITE 1/

Il est très important que les grimpeurs soient entraînés aux différentes phases de la récolte de semences, et apprennent à utiliser correctement les outils et équipements.

Les chefs d'équipe doivent savoir reconnaître les arbres qui fournissent de bonnes semences, et ceux qu'il ne faut pas utiliser, et marquer les porte-graines avant de commencer la récolte.

Le facteur le plus important dans la récolte de semences, à côté des aspects génétiques et biologiques, est la sécurité du personnel.

Celui-ci doit être formé aux techniques de prévention des accidents, et avoir des connaissances en matière de secourisme.

Chaque équipe doit être munie d'une trousse de secours et d'un brancard. Les outils, ceintures de sécurité, casques, lunettes de protection, cordes, crochets, crampons, échelles, trousse de secours et tous les ustensiles pour la récolte des graines doivent être examinés minutieusement avant le départ ou avant le début des travaux. Tout outil ou autre équipement endommagé en service doit être immédiatement signalé, et une demande de réparation ou de remplacement présentée.

L'équipement doit être nettoyé à chaque fois après le travail, et pour cela il faut avoir constamment sous la main un produit pour dissoudre la résine et les gommes et goudrons. L'entretien assure une meilleure sécurité, et prolonge la vie du matériel.

1/ Cette partie de l'exposé est adaptée de Mittak (1978).

## EMBALLAGE ET ENREGISTREMENT DES SEMENCES RECOLTEES

Une fois récoltés, les cônes de type sec doivent être emballés dans des sacs de grosse toile ou placés dans des cageots du type employé pour les fruits, mais avec un fond plein. Pour ce type de cônes, il n'est pas indiqué d'employer des sacs de plastique, étant donné que si l'air ne circule pas librement l'humidité se condense et peut nuire aux fruits et aux graines. En outre la température s'élève, ce qui peut entraîner des détériorations plus ou moins graves, en diminuant la faculté germinative ou en faisant moisir les graines contenues dans les cônes, ce qui rend plus difficile leur extraction.

Les sacs de toile ne sont pas remplis complètement, et on les ferme avec un lien de ficelle; on ne les coud pas, pour aller plus vite, et on ne les remplit pas complètement pour que les cônes puissent bouger pendant les quelques jours qu'ils passent sur le terrain et avant d'être séchés; on évite ainsi le développement de moisissures par suite de l'humidité et de la mauvaise aération. Les sacs doivent être maintenus constamment à l'abri de la pluie et des rongeurs par des bâches placées sous un hangar, ce qui est la meilleure manière de les préserver. On les déplace tous les jours deux ou trois fois, en intervertissant leur position et en les maintenant couchés et séparés entre eux, sur un plancher exempt d'humidité. Les cageots peuvent être emplis jusqu'à 2-3 mètres de hauteur; les renforts d'angles de la partie supérieure et les côtés à claire-voie favorisent la libre circulation de l'air. On réalise ainsi un préséchage, qui est essentiel pour les opérations suivantes et pour la qualité finale des semences, et facilite en outre le transport jusqu'au lieu où seront traités les cônes.

Les sacs ou cageots permettent également de garder les cônes pendant le temps compris entre la récolte et le séchage, et comme il s'agit en général de volumes importants, du fait que la récolte s'effectue en une courte période, il est possible ainsi de les conserver dans les meilleures conditions (Ottone, 1978).

Chez certaines espèces les fruits perdent leur viabilité si on ne les maintient pas humides. Il faut les récolter avant qu'ils ne soient secs, et les transporter le plus rapidement possible à l'entrepôt provisoire. On peut utiliser des sacs de plastique comme emballage très provisoire pour certaines espèces; on utilise aussi des sacs de papier grossier doublés ou non de plastique à l'intérieur (USDA, 1974).

Pour assurer que l'identité des lots de semences ne soit pas perdue il est de la plus haute importance de les identifier et les enregistrer; chaque sac ou récipient doit être identifié par une étiquette à l'extérieur et à l'intérieur. Ces étiquettes, qui doivent être résistantes à l'eau et à l'humidité, porteront des informations sur l'espèce, la provenance, la date de récolte, les nom et prénom du récolteur, etc..., et elles pourront être rapportées par un numéro de lot de semences à une fiche de renseignements plus détaillée (voir exemples en Annexes 2 et 3).

## SECHAGE, POSTMATURATION ET NETTOYAGE DES SEMENCES 1/

Les cônes ou fruits seront transportés le plus rapidement possible de l'entrepôt provisoire à l'emplacement fixe de traitement et d'emmagasinement.

La première étape après le transport est le séchage des cônes et l'extraction des graines. Le séchage peut se faire de deux façons: séchage naturel par le soleil et l'air, et séchage artificiel.

Le procédé du séchage naturel comporte moins de risques de détérioration de la qualité des semences, mais il est plus long. En outre on ne peut l'employer dans les climats très humides et pluvieux. Pour faciliter la manipulation des cônes et des graines et accélérer le séchage, on place les cônes sur des bâches, ce qui permet de les rassembler en tas au centre pour la nuit et les protéger de la rosée et des pluies éventuelles. On peut aussi utiliser des hangars, sous lesquels l'air circule librement; on peut y employer des plateaux, que l'on doit déplacer pour faire sortir les graines par agitation. Un toit de plastique peut permettre le passage des rayons solaires et accélérer

1/ Cette partie de l'exposé est adaptée de Ottone (1978)

le processus; on évitera les toits de zinc, sur lesquels l'humidité se condense et qui sont plus froids.

L'augmentation de l'humidité de l'air dans le lieu de séchage peut occasionner, comme cela se produit souvent dans les fours de séchage, un phénomène connu sous le nom de "céméntation" ("case-hardening"), dans lequel le cône réabsorbe de l'eau qui fait obstacle à son ouverture, et reste fermé ou partiellement ouvert, ce qui empêche les graines de s'échapper.

Le séchage par la chaleur artificielle permet un contrôle plus strict de l'humidité de l'air et de la température. Le processus est moins long, et dure de 6 à 15 heures. Il exige, en revanche, des équipements et des installations qui peuvent être très coûteux. Il ne faut pas oublier que son utilisation est limitée à quelques jours dans l'année; il n'est à recommander que pour les zones froides et humides. Le séchage doit se faire dans le temps le plus court possible et sans endommager les semences, et l'air doit être chaud et sec pour que le séchage soit régulier et rapide; s'il y a surchauffe des cônes, il peut se produire la céméntation mentionnée ci-dessus. Les cônes devront être pré-séchés, et le séchoir doit être muni de contrôles de température efficaces; la température doit toujours être au minimum nécessaire pour le séchage, et il faut éviter un contact prolongé des fruits avec la chaleur; la température variera entre 10°C au début et au maximum 52°C à la fin.

Les températures élevées occasionnent des dommages physiques et physiologiques aux semences, de même que l'air humide, que l'on doit éliminer le plus rapidement possible. L'opération du préséchage facilite et accélère le séchage au four; c'est pourquoi il convient de toujours l'effectuer, pendant un temps qui dépend de l'essence. Si l'on n'emploie pas un séchoir rotatif, on peut placer les fruits une fois séchés dans un cylindre de toile métallique d'environ 60 x 150 cm que l'on fait tourner; de cette façon, on fait sortir les graines qui n'ont pas été libérées lors du séchage. Il est recommandable de faire cette opération également avec les cônes séchés au soleil. S'il s'agit de petites quantités, on peut les prendre à la main et les frapper entre eux, de façon à faire tomber les graines dans une caisse, sur une bâche ou sur un plancher de brique ou de bois.

En ce qui concerne les eucalyptus, les fruits une fois cueillis sur les arbres semenciers libèrent leurs graines en quelques heures ou une journée au maximum, aussi le mieux est de les étaler sur une bâche en les protégeant de la pluie. Les graines se séparent facilement des fruits, des rameaux et des feuilles au moyen d'un tamis à mailles fines. Ensuite on les emballe dans des sacs de toile fine.

Les fruits charnus demandent généralement une macération de la partie externe charnue; on sépare alors les graines à la main ou à l'aide d'un équipement spécial. Le traitement comporte des phases alternées d'immersion dans l'eau, séchage et nettoyage, et doit commencer immédiatement après la récolte pour éviter la fermentation des fruits (USDA, 1974).

Un des facteurs limitants dans la récolte de fruits des diverses essences forestières est la durée de la période pendant laquelle elle peut s'effectuer. Pour allonger la période de récolte, on peut dans certains cas et avec certaines essences récolter des cônes ou fruits qui ne sont pas encore mûrs, et les placer ensuite dans les conditions voulues pour que, bien que détachés de l'arbre, ils puissent terminer leur développement anatomique et biochimique. En règle générale, pour la postmaturation la température doit osciller - selon l'essence - entre 5 et 18°C. L'opération doit être constamment surveillée pour contrôler que les facteurs indiqués se maintiennent et qu'il n'y a pas de risques de détérioration des fruits et des graines, tels que le développement de moisissures.

Cela implique également de connaître combien de temps à l'avance on peut cueillir les fruits; pour certains pins on a déterminé que c'est le moment où ils ont un poids spécifique de 1,1 à 1,2, ce qui se produit environ 15 à 20 jours avant la date normale de récolte.

Les fruits ou cônes sont maintenus dans ces conditions pendant un mois, délai pendant lequel s'accomplissent les processus de maturation. Ensuite on procède comme avec la méthode courante de séchage.

Après le séchage, il faut éliminer les ailes des graines ailées.

Pour cela on les place dans un tambour en toile métallique à l'intérieur duquel se trouvent deux ou trois jeux de brosses que l'on règle suivant la taille des graines à traiter, et qui sont fixées sur un axe central actionné par un moteur électrique. En tournant ces brosses pressent les graines ailées contre la toile métallique, ce qui détache les ailes.

Les brosses doivent être réglées de telle manière que l'espace qui les sépare de la toile métallique ne soit pas trop étroit, ce qui pourrait causer un frottement excessif et un échauffement susceptible d'endommager les semences.

Si l'on doit semer immédiatement, on peut mouiller légèrement les graines encore ailées, ce qui a pour effet de faire gonfler les ailes qui se détachent alors facilement. Si l'on doit garder en magasin les semences ainsi traitées, il faudra les sécher au préalable.

Pour séparer les graines des débris d'ailes, on peut utiliser un tamis fin en treillis métallique avec un cadre en bois, ou un nettoyeur de grains potagères convenablement réglé et avec des cribles appropriés à la taille des graines. On peut aussi les vanner directement à l'air libre, ou au moyen d'un appareil à courant d'air réglable.

Quelle que soit la forme de séparation adoptée, on élimine par cette opération les graines vaines; il ne fait pas pousser trop loin la séparation, car on éliminerait ainsi celles des bonnes graines qui étant plus petites sont plus légères, c'est pourquoi il vaut mieux encore garder une certaine proportion de graines vaines.

Dans toutes les phases du traitement des cônes, fruits et graines, il faut se souvenir que l'on a affaire à des organismes vivants, et que tout dommage qu'ils subissent a pour résultat une germination réduite et un mauvais développement des semis.

#### SUPERVISION 1/

Le superviseur et les chefs d'équipe devront avant le départ en campagne vérifier tout l'équipement nécessaire pour un travail efficace. Le superviseur doit également se charger des moyens de transport, du carburant, du ravitaillement et de l'argent pour son personnel. De l'organisation dépendent en grande partie le succès de la récolte, la sécurité du personnel et le prix de revient des semences.

Dans la zone de récolte, le superviseur doit journallement indiquer les porte-graines à récolter, selon leur degré de maturité.

Il est recommandé de faire le travail de récolte à la tâche, en déterminant au préalable les coûts unitaires et les conditions de réception. Cependant, les inspecteurs doivent rigoureusement contrôler le respect des prescriptions relatives à la qualité du matériel récolté.

Le superviseur doit en outre tenir un contrôle écrit du rendement des récolteurs, en indiquant chaque jour la quantité des cônes, de graines ou de fruits récoltés, avec les résultats de chaque récolteur, l'espèce, la provenance et le numéro du lot ainsi que les observations complémentaires utiles, et il doit remplir les fiches de récoltes (voir Annexes 2 et 3).

Il est recommandé de vérifier au hasard un sac sur cinq de la cueillette de chaque récolteur, afin de s'assurer de la qualité, de la quantité par sac, et de l'identification correcte.

La supervision durant toutes les phases des traitements ultérieurs est indispensable pour éviter des dommages aux semences et s'assurer du maintien de l'identité des différents lots. Les traitements doivent être notés pour chaque lot sur les fiches correspondantes.

1/ Cette partie de l'exposé est adaptée de Mittak (1978).

BIBLIOGRAPHIE

- Burley, J. and Wood, P.J. (Compiled by). A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics. Commonwealth Forestry Institute, Tropical Forestry Papers No. 10 and 10A. Oxford, Grande-Bretagne.
- Mittak, W.L.  
(1978) Manual 2. La recolección de semillas forestales. INAFOR BANSEFOR - FAO/TCP: Proyecto GUA 6/01-T. Instituto Nacional Forestal, Guatemala Ciudad.
- Ottone, J.R.  
(1978) Recolección y tratamiento de frutos para obtener semillas forestales. Instituto Forestal Nacional. Folletto Técnico Forestal No. 45. Buenos Aires.
- Turnbull, J.W.  
(1975) Seed Collection: Sampling considerations and collection techniques. In: Report on the FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, held in Chiang Mai, Thailand, February - March 1975. FOR:TF-RAS/11 (DEN). FAO, Rome.
- USDA  
(1974) Seeds of Woody Plants in the United States, Chapter V. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture Handbook 450. Washington, D.C.

Annexe 1      Equipement nécessaire pour la récolte des graines, la description  
de la zone et la récolte d'échantillons d'herbier 1/

A. Récolte de graines

Récipients pour les graines (terrain). Sacs grands et petits (peuvent être réutilisés).  
Récipients pour les graines (expédition). Sacs de coton et de grosse toile (expédiés avec les graines).

Marques pour arbres, par exemple ruban plastique.

Equipement pour grimper aux arbres. Crampons, "Baumvelo", ou échelles. Ceintures de sécurité, cordes de sécurité, casques protecteurs, amarres pour outils.

Outils de récolte; par exemple crochets ou rateaux pour cônes, cisailles, sécateurs (à main).

Feuille plastique (épaisse) pour protection lors de l'entreposage des fruits, de l'extraction des graines, etc...

Jumelles pour étudier la cime des arbres, le développement des fruits, etc...

Radiotéléphones portatifs (une autorisation spéciale peut être nécessaire).

Poudres insecticides et fongicides pour la préservation des graines (utiliser avec précaution).

Haches, scies, machettes, couteaux.

Corde, ficelle, étiquettes, marqueurs feutre.

B. Description de la zone

Calépin, fiches descriptives.

Cartes (y compris fonds de carte pour report de photos aériennes).

Boussole.

Altimètre.

Equipement météorologique (hygromètre, thermomètre à maxima/minima).

Equipement de reconnaissance pédologique (tarière, code de couleurs, trousse de mesure de pH).

Equipement dendrométrique (dendromètre, ruban de mesure, jauge d'écorce, etc...).

Appareil photographique et accessoires (objectif grand angle).

Magnétophone (à piles).

Bêche.

C. Récolte d'échantillons

Presses d'herboriste (peuvent être faites localement).

Papier pour séchage des spécimens botaniques (des journaux feront l'affaire).

Sacs plastique

Flacons pour spécimens.

Liquide préservatif.

Tarière de Pressler (pour échantillons de bois).

Vilebrequin et mèche (pour échantillons de résine).

Récipient isolant (par exemple glacière de camping).

Loupe

Bombe insecticide (pour matériel d'herbier).

EN OUTRE: trousse médicale, matériel de campement, véhicules, équipements divers selon les besoins.

Annexe 2

Exemple de fiche de récolte de semences  
Centre de semences forestières FAO/Danemark, Humlebaek

DAN/FAO No \_\_\_\_\_

FICHE DE RECOLTE DE SEMENCES - CENTRE DE SEMENCES FORESTIERES DAN/FAO

|                                                 |                                 |
|-------------------------------------------------|---------------------------------|
| Nom scientifique:                               | No provisoire:                  |
| Nom vulgaire:                                   | Provenance                      |
| =====                                           |                                 |
| Latitude:                                       | Pays:                           |
| L                                               |                                 |
| O Longitude:                                    | Province/Etat:                  |
| C                                               |                                 |
| A Altitude:                                     | Région ou unité administrative: |
| L                                               |                                 |
| I Référence carte:                              |                                 |
| T                                               |                                 |
| E Localisation précise:                         |                                 |
| =====                                           |                                 |
| Type de sol:                                    |                                 |
| S                                               |                                 |
| T Pente:                                        | Orientation:                    |
| A                                               |                                 |
| T Drainage:                                     | Pluviométrie annuelle:          |
| I                                               |                                 |
| O Répartition mensuelle des pluies:             |                                 |
| N                                               |                                 |
| Station météorologique la plus proche:          |                                 |
| =====                                           |                                 |
| P Association végétale:                         |                                 |
| E                                               |                                 |
| U Densité: clair... clairié... dense...         | Origine:                        |
| P                                               |                                 |
| L Hauteur:                                      | Age:                            |
| E                                               |                                 |
| M Diamètre:                                     | Forme de fût:                   |
| E                                               |                                 |
| N Etat du peuplement:                           |                                 |
| T                                               |                                 |
| Remarques:                                      |                                 |
| =====                                           |                                 |
| Méthode:                                        | Date de récolte:                |
| R                                               |                                 |
| E Nombre d'arbres:                              | Espacement des semenciers:      |
| C                                               |                                 |
| O Quantité de graines/cônes:                    | Conditions des graines/cônes:   |
| L                                               |                                 |
| T Possibilité de récolte à échelle commerciale: |                                 |
| E                                               |                                 |
| Remarques:                                      |                                 |
| =====                                           |                                 |
| S                                               |                                 |
| E Méthode d'extraction:                         | Traitement:                     |
| M                                               |                                 |
| E Rendement par unité de volume:                | Germination:                    |
| N                                               |                                 |
| C Remarques:                                    |                                 |
| E                                               |                                 |
| S                                               |                                 |
| =====                                           |                                 |
| Fiche établie par:                              | Récolteur:                      |

Annexe 3

Exemple de fiche de récolte de semences  
Commonwealth Forestry Institute, Oxford

Espèce: Pinus oocarpa Schiede      Semences No: K31 No magasin: 1/71  
Pays: Nicaragua      Département: Nueva Segovia  
District: Dipilto      Localité: El Junquillo  
Latitude: 13°42'N      Longitude: 86°35'W      Altitude: 1 000m

Situation: A l'extrémité ouest et sur les pentes sud de la Cordillera de Dipilto, qui forme la frontière nord du Nicaragua à cet endroit. Les peuplements, situés à environ 5 km au nord de Macuelizo et 8 km à l'ouest de Dipilto, font partie d'un massif d'environ 150 000 ha de forêts de pins généralement ouvertes, s'étendant sur plus de 70 km approximativement est-ouest le long de la cordillère et vers le nord jusqu'aux forêts de pins du Honduras. La pluviométrie augmente progressivement en allant vers l'est, où les pentes basses à moins de 800 m d'altitude sont progressivement occupées par P. caribaea qui devient plus abondant, tandis qu'P. pseudostrobus et la forêt feuillue tendent à dominer sur les pentes au-dessus de 1 500 m. A l'extrémité ouest, dans la région de Macuelizo, les basses pentes et les vallées ne portent qu'un matorral épineux sec, et la seule espèce est P. oocarpa qui en fait constitue la plus grande partie de la forêt de pins sur toute l'étendue de la cordillère.

Sol: Sol très filtrant, sableux ou graveleux, avec quartz abondant, dérivé in situ de roches granitiques altérées, affleurant fréquemment sur les pentes raides et les crêtes. L'érosion est active. Les sols sont généralement très superficiels, sauf dans les bas-fonds et les vallées, et ont une très faible teneur en humus. pH = 5,7.

Climat: La pluviométrie annuelle moyenne à Macuelizo (à 5 km au sud) est de 904 mm, la répartition mensuelle étant la suivante:

| J | F | M  | A  | M   | J   | J   | A  | S   | O   | N  | D  |
|---|---|----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|----|
| 4 | 1 | 21 | 16 | 113 | 180 | 110 | 85 | 149 | 163 | 49 | 13 |

On ne dispose pas de données de température à Macuelizo, mais à Ocotal, à 20 km à l'est et à 400 m plus bas qu'El Junquillo, la moyenne mensuelle des températures maxima à la saison sèche varie entre 28°C et 32°C.

Description du peuplement: Pineraie très ouverte sur des pentes raides (20° à 35°), avec une couverture herbacée clairsemée à Andropogon sp. et Pennisetum sp. On trouve quelques Quercus sp. dans certaines vallées plus humides. Les plus grands pins ont plus de 30 m de hauteur, et jusqu'à 80 cm de diamètre à hauteur d'homme. La régénération des pins est généralement clairsemée, quoique bonne par taches, et toute la zone présente des traces de feux fréquents et violents pendant une longue période. Les cernes d'accroissement sont peu distincts et difficiles à interpréter, mais la croissance apparaît lente, avec 3 à 5 cernes par cm.

Arbres semenciers: Diamètre: 40-60 cm    Hauteur: 25-30 m  
Angle d'insertion des branches: 70°-80°    Fût: rectiligne, cylindrique, sain.

Méthodes de récolte: Sur des arbres sélectionnés dans des coupes (36 arbres).

Date de récolte: Janvier 1971.

ENTREPOSAGE, ESSAIS ET CERTIFICATION DES  
SEMENCES FORESTIERES

Bjerne Ditlevsen  
Service forestier national, Danemark

TABLES DES MATIERES

Introduction

Entreposage

Principaux facteurs influant sur la viabilité

Teneur en humidité

Température

Oxygène et autres facteurs

Facteurs particuliers influant sur la viabilité

Maturité de la graine

Champignon, bactéries et insectes

Dommages mécaniques

Modifications cytologiques et génétiques

Méthodes de conservation

Semences de grande longévité naturelle

Semences pouvant se conserver pendant 5-10 ans à faible  
teneur en humidité et basse température

Semences pouvant se conserver pendant 3-5 ans à teneur  
en humidité moyenne et basse température

Semences pouvant se conserver pendant 1-3 ans à teneur  
en humidité élevée et basse température

Semences de durée de vie très courte

Essais

Prélèvement d'échantillons

Analyse de pureté

Essais de viabilité

Analyse de germination

Essais indirects de viabilité

Résultats des essais de viabilité, et utilisation

Analyse de la teneur en humidité

Détermination du poids des semences

Essais d'état sanitaire

Matériel pour essais de semences

Certification des semences forestières

Programmes de certification

Réalisation des programmes de certification

Bibliographie

## INTRODUCTION

Une planification et une réalisation efficaces des programmes de reboisement exigent que l'on puisse se procurer à tout moment des quantités suffisantes de semences présentant les caractéristiques physiologiques et génétiques désirées. A cet effet il faut en premier lieu que les semences puissent être conservées jusqu'au moment de leur utilisation sans perdre leur faculté germinative, et en second lieu il faut un contrôle continu de leurs caractéristiques physiologiques au moyen d'essais de semences. Enfin il importe pour la production future des reboisements de s'assurer que les semences possèdent les qualités génétiques désirées.

## ENTREPOSAGE

L'entreposage peut se définir comme la conservation de semences vivantes depuis le moment de la récolte jusqu'au semis (Holmes et Buszewicz, 1958).

Les raisons qui motivent l'entreposage des semences peuvent se résumer comme suit (FAO, 1955):

- a) maintenir les graines dans des conditions telles qu'elles conservent le plus possible leur énergie germinative pendant la période entre la récolte et l'époque du semis;
- b) protéger les graines contre les dégâts des rongeurs, des oiseaux et des insectes;
- c) garder des graines récoltées pendant les années de bonne fructification, afin de pourvoir aux fournitures durant les années de récolte faible ou nulle.

Etant donné que de nombreuses essences forestières ne produisent de graines en quantités suffisantes qu'à intervalles de plusieurs années, l'entreposage de longue durée est d'une grande importance pour l'approvisionnement régulier en semences.

D'une manière générale on peut supposer que la respiration et les activités métaboliques devront être considérablement réduites pour que la graine puisse survivre après un entreposage de longue durée. En pratique cela signifie que c'est seulement dans la mesure où la graine peut supporter une réduction de sa teneur en humidité et un entreposage dans ces conditions qu'elle pourra survivre pendant une longue période. Il est également important que les graines soient bien mûres avant d'être séchées, et qu'elles ne subissent pas de dommages lors de la récolte et des manipulations.

### Principaux facteurs influant sur la viabilité

La viabilité peut se définir d'une manière générale comme la capacité de survivre ou de poursuivre son développement. Ainsi une graine vivante est capable de germer en conditions favorables. Cette germination n'est pas nécessairement facile ni rapide, et des graines vivantes à l'état de repos ou dormance peuvent requérir un traitement spécial pour pouvoir germer (Owen, 1956). Les facteurs les plus importants qui influent sur la viabilité des semences au cours de l'entreposage sont leur teneur en humidité et la température. Dans certains cas on a démontré que les différents gaz constituant l'atmosphère ambiante ont une certaine influence sur les graines (Owen, 1956).

### Teneur en humidité

Selon les règles de l'Association internationale d'essais de semences (ISTA), la teneur en humidité des semences est exprimée en pourcentage de leur poids à l'état humide (ISTA, 1976):

$$\text{Pourcentage d'humidité} = \frac{\text{poids d'humidité}}{\text{Poids d'humidité} + \text{poids de matières sèche}} \times 100$$

Une diminution de la teneur en humidité ralentit considérablement les processus métaboliques, ce qui en retour réduit le processus respiratoire et la consommation de substances nutritives emmagasinées. Il faut cependant souligner que certaines essences forestières à grosses graines, comme c'est le cas de nombreux feuillus, ne peuvent normalement survivre à une dessiccation des semences. Il importe en outre que le séchage soit effectué avec beaucoup de soin.

On sait que la teneur en humidité de la graine augmente avant sa maturation, et qu'elle baisse fortement ensuite. La teneur en humidité naturelle des graines à maturité varie entre 15 et 50 pour cent, suivant l'essence et les conditions ambiantes.

Une modification de la teneur en humidité durant l'entreposage, due au fait que l'on a conservé les graines à l'air libre ou que l'on a ouvert les récipients, détruit la faculté germinative des semences (Barton, 1961).

La teneur en humidité des graines obtenue en magasin dépend dans une large mesure de l'humidité relative de l'air ambiant. En quelques jours, ou en quelques heures dans certains cas, il s'établit un équilibre caractéristique entre la teneur en humidité des graines entreposées et l'humidité relative de l'air (Holmes et Buszewicz, 1958). Les changements dans la teneur en humidité dépendent de l'humidité relative de l'air, de la teneur en humidité des graines, du type de tégument et de la taille des graines.

Il faut tenir compte du fait que les résultats des mesures de teneur en humidité d'un lot de semences sont des valeurs moyennes, et qu'il peut y avoir des variations importantes d'une graine à l'autre. Schönborn (1964) a démontré par exemple que dans un lot de graines de *Pinus sylvestris* ayant une teneur en humidité moyenne de 6,7% il y avait des variations allant de 4,1 à 9,3% entre les graines.

#### Température

En règle générale les semences se conservent mieux à température relativement basses qu'à une température élevée. Les variations de température sont plus défavorables pour la conservation de la qualité des semences que la température en elle-même.

L'interaction entre température et teneur en humidité des graines a une grande importance pour l'entreposage, et souvent il est difficile de séparer les deux facteurs. Comme règle générale, on peut dire que lorsque la température est basse la teneur en humidité critique est à un niveau plus élevé que lorsque la température est haute, c'est-à-dire qu'une température basse peut jusqu'à un certain point compenser une teneur en humidité élevée, et vice-versa (Holmes et Buszewicz, 1958).

La température influe sur l'absorption d'humidité par les graines durant l'entreposage. Une règle générale est que, pour une humidité relative de l'air donnée, la teneur en humidité des graines diminue lorsque la température s'élève.

Schönborn (1964) a réalisé des études pour déterminer les températures les plus basses que supportent les graines de différentes essences forestières à différents pourcentages d'humidité. Les résultats démontrent que plus la teneur en humidité est basse, et plus basse est la température que supportent les graines. En outre, il ressort de ces études que les graines d'essences telles que *Picea abies*, *Abies alba*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Pseudotsuga*, *Betula* et *Quercus* supportent jusqu'à -20°C à une teneur en humidité de 8 à 10%.

Pour des graines qui exigent une teneur en humidité élevée pour conserver leur faculté germinative, des températures au-dessous de zéro entraînent des dégâts de gel, et en conséquence une perte de faculté germinative (Holmes et Buszewicz, 1958).

#### Oxygène et autres facteurs

Le processus respiratoire dépend naturellement de la teneur en humidité de la graine. L'abaissement de la température et la diminution de la teneur en humidité durant l'entreposage ont précisément pour objet de réduire l'intensité de la respiration, ce qui est le seul moyen d'assurer le maintien de la faculté germinative des semences pendant une longue durée.

Nous savons qu'il convient d'entreposer les semences ayant une faible teneur en humidité dans des récipients hermétiques qui maintiennent une humidité constante, réduisent le processus respiratoire et protègent les semences contre les animaux nuisibles. Pour les semences qui exigent une teneur en humidité élevée pour leur conservation, comme par exemple celles de Quercus spp., l'entreposage en récipients hermétiques peut s'avérer dommageable, ce qui paraît dû au fait que ce groupe de semences nécessite un certain renouvellement de l'air au cours de l'entreposage (Wang, 1977). Quoi qu'il en soit, il est évident que la composition de l'air à l'intérieur du récipient subit des modifications dues aux processus respiratoires, ce qui peut influencer sur la vie des semences.

On a réalisé une série d'études sur l'influence de différents gaz pour la vie des semences, et les résultats ont été publiés par Owen (1956) et Barton (1961).

#### Facteurs particuliers influant sur la viabilité

##### Maturité de la graine

Nous savons que le degré de maturité des graines au moment de la récolte est un facteur important, en partie responsable de la variation de leur viabilité. Par conséquent le moment de la récolte a une grande importance, et il faut chercher à déterminer les stades de la maturation les plus appropriés pour pouvoir obtenir une grande quantité de semences vivantes.

Le degré de maturité peut être évalué par une série de méthodes différentes, qui ont été décrites par Barner (1975).

Cependant, il s'avère souvent difficile de déterminer le moment le plus approprié pour la récolte, et en particulier dans les pays tropicaux le temps qui s'écoule entre l'arrivée à maturité des graines et leur dispersion est souvent très court. Dans d'autres cas il peut y avoir divers degrés de maturité dans un même peuplement, voire sur un même arbre, et on pourra être amené en conséquence à récolter des graines non mûres, avec l'espoir d'obtenir leur postmaturation avant de les entreposer.

##### Champignons, bactéries et insectes

Les semences entreposées en conditions relativement humides sont facilement attaquées par des champignons appartenant surtout aux groupes Aspergillus, Botrytis, Rhizopus et Penicillium. Holmes et Buszewicz (1958) donnent des références détaillées à ce sujet.

La méthode la plus courante pour éviter les attaques de champignons et de bactéries durant l'entreposage est le recours à des températures ou à des teneurs en humidité relativement basses qui ne leur permettent pas de vivre. La meilleure protection naturelle est assurée par la combinaison d'une température basse (maximum +5°C) et d'une faible humidité (maximum 10%).

Selon Christensen (1972), l'emploi de fongicides lors de l'entreposage à sec présente souvent des difficultés, du fait que de nombreux fongicides, pour être efficaces, doivent être dissous dans l'eau.

La plupart des insectes, en particulier ceux appartenant au genre Megastigmus, détruisent rarement un nombre de graines supérieur à celui qu'ils infestent au moment de l'entreposage. Dans la majorité des cas les dégâts d'insectes peuvent être évités par l'utilisation de la chaleur, étant donné que presque tous les insectes parasites des semences entreposées meurent à des températures supérieures à 40-42°C (Holmes et Buszewicz, 1958). L'utilisation de produits chimiques peut également être utile contre les insectes, mais il ne faut pas oublier qu'ils peuvent, notamment dans le cas de graines à teneur en humidité relativement élevée, réduire considérablement la faculté germinative (Ezumah, 1976).

##### Dommages mécaniques

Les dommages mécaniques peuvent être définis comme des détériorations subies par les graines à l'occasion de la récolte ou des manipulations ultérieures. Les effets des dommages augmentant avec le temps, on peut distinguer divers degrés de détériorations procédant de dommages mécaniques (Moore, 1972).

La réaction des semences vis-à-vis des dommages est très variable, et certaines espèces ont une meilleure capacité naturelle de récupération. Des dommages importants réduiront immédiatement la viabilité des semences, mais des dommages moins importants ne seront souvent pas critiques avant un certain délai. En conséquence, il importe que les semences qui doivent être entreposées pendant longtemps soient manipulées avec précaution aussi bien à la récolte que lors des traitements ultérieurs.

La teneur en humidité des graines joue un rôle important dans leur capacité de résister aux effets mécaniques. Une graine humide a tendance à se gonfler, tandis qu'une graine sèche devient plus cassante.

La meilleure méthode pour détecter la présence de dommages et leur nature est l'essai au tétrazolium (Moore, 1969), mais les méthodes radiographiques telles que celles décrites par Kamra (1967) fournissent de bons résultats.

#### Modifications cytologiques et génétiques

Une réduction de la viabilité peut entraîner une diminution de rendement de deux manières: tout d'abord une réduction du pourcentage de germination peut avoir pour résultat un nombre de plants par unité de surface inférieur à l'optimum, et en second lieu il se peut que les plants survivants soient de qualité inférieure (Roberts, 1972).

De nombreux chercheurs craignent qu'une diminution importante de la faculté germinative ait pour conséquence des changements de la composition génétique d'un lot de semences du fait que la capacité de survie varierait selon les génotypes (Harrington, 1970; Frankel, 1970). Ils craignent en outre que des conditions défavorables d'entreposage accroissent la fréquence des changements chromosomiques (Harrington, 1970).

Wang (1977), toutefois, arrive à la conclusion que ces deux formes de changements génétiques peuvent être contrôlées dans une large mesure, et être maintenues à un niveau minimum grâce à une bonne conduite des opérations de récolte, manipulation et entreposage des semences.

En pratique cela signifie que les semences conservées dans de bonnes conditions et ayant gardé leur faculté germinative peuvent être utilisées en toute sécurité, alors qu'il sera peu sûr d'utiliser des semences de faculté germinative très réduite. En particulier dans les travaux concernant l'amélioration et la conservation des gènes, où les semences sont entreposées pendant une longue durée, il faut les utiliser avec précaution.

#### Méthodes de conservation

Comme il ressort de ce qui précède, il y a de grandes différences entre les espèces, ou plutôt entre les genres en ce qui concerne leur capacité de survivre à l'entreposage. En fonction de cette capacité, on peut diviser les semences forestières en 5 grands groupes; dans ce qui suit on présentera des directives sur les méthodes d'entreposage à employer pour chacun de ces groupes, en donnant des exemples de genres et espèces caractéristiques de chaque groupe.

- 1° Semences de grande longévité naturelle. Ce groupe comprend les genres Acacia, Robinia, Albizia, Sophora, Cercis, Cytisus, Gleditsia, toutes appartenant à la famille des légumineuses, et dont les graines possèdent un tégument dur et ont normalement une teneur en humidité très faible.

Ces semences doivent être entreposées au sec; la température n'a pas une grande importance, et il n'est pas nécessaire d'utiliser des récipients hermétiques. Dans certains cas il peut être nécessaire de recourir à la désinfection et autres moyens de lutte contre les parasites.

- 2° Semences pouvant se conserver pendant 5-10 ans à faible teneur en humidité et basse température. Des exemples typiques de ce groupe sont Picea et Pinus.

Préparation en vue de l'entreposage: Les semences doivent être manipulées correctement dès le début, et n'être récoltées que lorsqu'elles sont bien mûres. Il faut éviter l'échauffement des cônes et les dommages aux graines,

et les changements brusques de teneur en humidité et de température. Lors de l'extraction il faut une ventilation suffisante, et la température ne doit pas dépasser 20°C au début et 40°C à la fin de l'opération. Après l'extraction la teneur en humidité est le plus souvent de 5-8%, et les graines doivent être dès que possible désaillées et nettoyées pour être ensuite entreposées. Aux températures indiquées il n'est normalement pas nécessaire de désinfecter les semences.

Conduite du séchage: La teneur en humidité des semences doit être déterminée dès que possible, par une des méthodes décrites au paragraphe sur l'analyse des semences.

Si les semences n'ont pas la teneur en humidité désirée, il faudra les sécher. Le séchage peut s'effectuer au soleil, en chambre chauffée ou en étuve. Il importe que l'air circule librement durant le séchage (Wakely, 1954), et la température ne doit pas dépasser 30°C. On peut pour des petits lots recourir au séchage chimique à l'aide de CaO, acide sulfurique ou CaCl<sub>2</sub> (Magini, 1962).

Teneur en humidité et température d'entreposage: Pour la majorité des espèces des genres Larix, Picea, Pinus, Pseudotsuga, Thuja, Tsuga, Chamaecyparis, Cupressus, Cryptomeria, Alnus, Betula, Eucalyptus, on peut recommander ce qui suit (Schönborn, 1964; Wang, 1974; Barner, 1975):

| Durée d'entreposage | Teneur en humidité % | Température °C |
|---------------------|----------------------|----------------|
| 3 - 5 ans           | 6 - 8 %              | +2 à +4°C      |
| Plus de 5 ans       | 6 - 8 %              | -10 à +4°C     |
| Plus de 10 ans      | 6 - 8 %              | -10°C          |

Dans le cas des eucalyptus Barner (1975) indique que les semences de la plupart des espèces peuvent se conserver jusqu'à 10 ans dans des récipients hermétiques à une température de 1° à 5°C, si leur teneur en humidité se maintient à 4-8%. Turnbull (1975) et Filho et Lisbao (1973) fournissent des informations plus détaillées sur certaines espèces d'eucalyptus.

Comme on l'a mentionné précédemment, il existe une interaction étroite entre la teneur en humidité et la température, et si l'un de ces deux facteurs ne parvient pas à son optimum cela peut être compensé jusqu'à un certain point par l'autre facteur.

Récipients pour semences: Comme la construction de chambres frigorifiques permettant de maintenir la température au niveau désiré coûte en général trop cher, il faut entreposer les semences dans des récipients hermétiques. On utilise surtout des récipients de verre ou de métal. Depuis quelques années on a commencé à utiliser des récipients en plastique et des sacs de polyéthylène, mais ils ne sont pas recommandés pour un entreposage de longue durée, n'étant pas parfaitement imperméables à l'humidité (Owen, 1956).

Les récipients doivent être de taille convenable, et être complètement remplis de semences afin d'éviter une respiration trop intense. On ne doit pas les ouvrir sans motif, et si c'est nécessaire on les ouvrira en chambre froide pour éviter la condensation d'eau (Barner, 1975).

### 3° Semences pouvant se conserver pendant 3-5 ans à teneur en humidité moyenne et basse température

a. Ce groupe comprend Abies (Barner, 1979), et Cedrus et Libocedrus (Holmes et Buszewicz, 1958).

Préparation en vue de l'entreposage: L'extraction des graines ne doit pas se faire par la chaleur. Les cônes doivent être entreposés dans des conditions de ventilation suffisante jusqu'à ce qu'ils commencent à s'ouvrir; on peut alors employer avec précaution un procédé mécanique

pour activer l'extraction. Les manipulations ultérieures des graines doivent se faire avec précaution, car elles sont très fragiles.

Séchage en vue de l'entreposage: Le séchage des graines d'Abies ne doit pas être effectué avant qu'elles ne soient passées par une phase de postmaturation (1-2 mois), et il doit se faire avec précaution. La température ne doit pas dépasser 25°C.

Teneur en humidité et température d'entreposage:

| Durée d'entreposage | Teneur en humidité % | Température °C |
|---------------------|----------------------|----------------|
| 1 - 3 ans           | 12 - 13 %            | -4° à -15°C    |
| Plus de 3 ans       | 7 - 9 %              | -10° à -20°C   |

Récipients pour semences: Voir groupe 2

b. A ce groupe appartiennent les essences feuillues des genres Acer, Fagus, Ulmus, et sans doute Tectona (Barner, 1975).

Préparation en vue de l'entreposage: A l'exception d'Ulmus, dont les graines doivent être récoltées avant maturité, les graines doivent être bien mûres au moment de la récolte.

Les graines doivent toujours être étalées dans une pièce bien ventilée, et retournées à intervalles réguliers.

Séchage en vue de l'entreposage: Il n'est normalement pas nécessaire ni approprié de sécher artificiellement les semences.

Pour Fagus sylvatica il y a lieu de souligner que les graines doivent passer par une postmaturation en conditions froides et humides pendant encore 2 ou 3 mois, après quoi on peut réduire avec précaution leur teneur en humidité (Barner, 1975).

Teneur en humidité et température d'entreposage: Pour la majorité des essences de ce groupe on peut recommander ce qui suit:

| Durée d'entreposage | Teneur en humidité % | Température °C |
|---------------------|----------------------|----------------|
| 1 - 2 ans           | 20 - 25 %            | - 4°C          |
| 2 - 3 ans           | 12 - 20 %            | -4° à -10°C    |
| Plus de 3 ans       | 7 - 10 %             | -10°C          |

Pour Tectona grandis on n'a pas de données précises, mais il semble que les semences puissent garder leur viabilité pendant 2 ou 3 ans si on les conserve au sec dans des sacs de plastique (Murthy, 1973).

Bonner (1978) estime au même chiffre la durée de conservation des semences de Triplochiton scleroxylon et de Gmelina arborea si on les entrepose à une température de 0° à 5°C avec une teneur en humidité de 5-10%.

Récipient pour semences: Voir point 2°; il faut cependant observer que des semences à plus de 15-20% d'humidité ne doivent pas être entreposées dans des récipients hermétiques, mais dans des sacs qui permettent une certaine circulation d'air.

4° Semences pouvant se conserver pendant 1-3 ans à teneur en humidité élevée et basse température

A ce groupe appartiennent diverses essences feuillues à fruits et graines de grande taille comme par exemple Aesculus, Castanea, Juglans, Liriodendron et Quercus (Barner, 1975).

Les principes les plus importants de l'entreposage sont une bonne ventilation, une teneur en humidité élevée et homogène, et une température moyenne ou basse.

Holmes et Buszewicz (1958) présentent une série d'exemples de méthodes utilisées pour entreposer des semences pendant une courte durée (un hiver), aussi bien à l'air libre que dans un bâtiment ou sous un hangar de protection. En règle générale, ces méthodes ne peuvent servir pour un entreposage de longue durée, et en outre il est difficile de contrôler la teneur en humidité et la température durant l'entreposage.

#### 5° Semences de durée de vie très courte

A ce groupe appartiennent Salix et Populus.

Normalement ces semences perdent leur viabilité très rapidement, mais il a été possible avec certaines espèces de les conserver pendant plus longtemps (Jones, 1962). Holmes et Buszewicz (1958) et Wang (1974) donnent des informations plus détaillées pour les différentes essences.

### ESSAIS

Les essais de semences ont pour objet de fournir des données réelles sur des lots de semences (Justice, 1972).

Un des facteurs les plus importants dans les essais est l'emploi de méthodes normalisées qui fournissent des résultats comparables et reproductibles. A ce sujet il faut mentionner l'Association internationale d'essais de semences (ISTA), qui élabore et publie des méthodes normalisées pour les essais de semences. La dernière édition des règles de l'ISTA remises à jour a été publiée en 1976 (ISTA, 1976).

#### Prélèvement d'échantillons

Pour que l'information obtenue sur un lot de semences soit fidèle et exacte, il importe que l'échantillon faisant l'objet de l'essai soit représentatif du lot, et pour cela il faut utiliser des méthodes de prélèvement d'échantillons normalisées et objectives. Même l'analyse la plus précise perd de sa valeur si l'échantillon étudié n'est pas représentatif.

On utilise souvent une sonde qui pénètre dans toutes les parties du sac, et qui est conçue de telle sorte qu'elle extraye des échantillons de volume égal.

Normalement l'échantillon prélevé doit être réduit à une portion normalisée, et il importe que cette réduction s'effectue elle-même d'une manière objective et correcte. Turnbull (1975) décrit diverses méthodes, mécaniques ou non, de division de l'échantillon.

#### Essai de pureté

Les semences forestières peuvent contenir des impuretés sous la forme de graines de mauvaises herbes, de graines d'autres espèces arborescentes, de débris de graines, de feuilles et d'autres matières. L'objet de l'analyse est de déterminer quantitativement la composition du lot étudié. Pour cela on divise le lot en ses éléments constitutifs (Turnbull, 1975).

Par graines pures on entend les graines qui correspondent à l'espèce; outre les graines mûres on y inclut les graines de taille inférieure à la normale, les graines ratatinées ou immatures, et les graines germées, dans la mesure où elles peuvent être identifiées avec certitude comme appartenant à l'espèce en question. On y inclut également les fragments de graines plus gros que la moitié de la taille initiale (ISTA, 1976). Les graines de légumineuses et de conifères ayant perdu leur tégument sont considérées comme matières inertes.

Les matières inertes comprennent les matières qui ont l'apparence de graines, comme par exemple des ailes brisées et détachées de graines de conifères.

Les éléments étrangers comprennent: sable, pierres, feuilles, écorces, et toutes autres matières qui ne sont pas des graines.

On pèse l'échantillon entier avec toutes les impuretés, et ensuite on sépare les graines pures que l'on pèse à part.

Le pourcentage de pureté est donné par la formule suivante:

$$\text{Pureté (\%)} = \frac{\text{Poids de graines pures}}{\text{Poids total de l'échantillon}} \times 100$$

Le travail de séparation du lot analysé en fractions telles qu'indiquées ci-dessus s'effectue en grande partie manuellement, au moyen de loupe, microscope stéréoscopique, etc... Il existe cependant aujourd'hui des appareils et des méthodes qui permettent de réduire dans une certaine mesure le travail manuel. On a tout d'abord le ventilateur à graines, au moyen duquel on peut diviser le lot en une fraction lourde et une fraction légère. Parmi les autres méthodes on peut mentionner: la séparation par densité (Stermer, 1964); l'utilisation d'une table vibrante (Guldager, 1973), et l'emploi de rayons X (Kamra, 1965).

La fraction de graines pures sera souvent utilisée pour les essais de germination et il convient par conséquent, lorsqu'il s'agit d'évaluer le potentiel productif d'un lot de semences donné, de coupler analyse de pureté et essai de germination.

#### Essais de viabilité

Il est difficile de donner une définition de la viabilité suffisamment large pour s'appliquer à tous les cas. Pour la majorité des besoins on considère comme viable une semence qui germe dans des conditions favorables, éventuellement après suppression de la dormance (Roberts, 1972).

Nous décrirons ci-dessous des méthodes qui permettent de déterminer la faculté germinative, et des méthodes de mesure indirecte de la viabilité des semences.

#### Essai de germination

L'objet essentiel de tout essai de germination au laboratoire est d'estimer le nombre maximum de graines qui germent dans des conditions optimales.

La faculté germinative est exprimée par le pourcentage de graines pures qui produisent des plantules normales, ou par le nombre de graines qui germent par unité de poids du lot de semences. Il convient que l'essai de germination s'effectue selon les règles de l'ISTA.

#### Préparation de l'échantillon

Tous les essais de germination doivent se faire avec des graines pures.

Les graines doivent être soigneusement mélangées et comptées, et les essais doivent être effectués avec des répétitions. Pour plus de détails concernant la préparation et l'utilisation de l'équipement de laboratoire, voir Turnbull (1975).

#### Equipelement pour essais de germination

Le choix de l'équipement dépendra tant du type de semences que de leur quantité. Nous mentionnerons brièvement ci-dessous les principaux matériels recommandés par l'ISTA:

- 1° Appareils Jacobsen et Rodewald, dans lesquels les graines sont placées directement sur un bain-marie ou sur du sable humide. Le substratum est maintenu humide par une mèche de papier filtre plongeant dans l'eau, ou

en utilisant comme germeurs des godets poreux placés dans le sable humide ou directement dans l'eau. La température du bac est réglée automatiquement.

- 2° Etuve à germination, permettant de disposer les godets de semences en plusieurs couches, ce qui prend moins de place. Elle permet également dans une certaine mesure de régler l'humidité, la température et l'éclairage.
- 3° Chambre à germination. Si l'on effectue une grande quantité d'essais, on peut utiliser une chambre pourvue d'équipements appropriés pour régler la température, l'humidité et l'éclairage.

#### Conditions de germination

Les conditions optimales pour les différents stades de la germination ne sont pas identiques, et très souvent elles peuvent varier entre les différentes semences d'un même lot. En conséquence, une grande partie des recherches sur les semences a eu pour objet de déterminer l'ensemble de conditions assurant la germination la plus homogène, la plus complète et la plus rapide pour la majorité des échantillons d'une même espèce.

Turnbull (1975) commente en détail les conditions suivantes qui doivent être réunies dans les essais de germination:

- 1° Substratum de germination
- 2° Humidité et aération
- 3° Contrôle de la température
- 4° Lumière
- 5° Ecartement entre les graines
- 6° Lutte contre les champignons

#### Dormance

Les semences de la plupart des essences forestières germent dès qu'elles sont soumises à des conditions favorables d'humidité et de température. Cependant les graines de certaines espèces, même dans des conditions favorables, ne peuvent germer qu'après avoir subi une modification physique ou physiologique. Ce phénomène s'appelle la dormance. L'état de dormance peut être transitoire, et de nombreuses espèces présentent une dormance seulement pendant les 6 mois suivant la récolte.

Turnbull (1975) indique les types suivants de dormance:

- 1° Dormance embryonnaire, dans laquelle la germination de la graine complètement développée semble bloquée par des facteurs internes.
- 2° Dormance due au tégument. Les graines de nombreuses espèces ne peuvent germer parce qu'elles ont un tégument épais et imperméable ("graines dures").
- 3° Dormance provoquée ou secondaire. Les semences de quelques espèces peuvent entrer en état de dormance en raison d'un entreposage ou d'un traitement incorrect, et ce type de dormance est dit dormance secondaire.
- 4° Embryon immature. Dans les cas où l'embryon n'est pas complètement développé alors que le fruit est mûr, il faut à la graine une période de postmaturation avant qu'elle puisse germer.
- 5° Résistance mécanique du tégument. Dans certains cas il faut une grande force pour briser le tégument. On peut citer comme exemples certaines espèces de *Prunus* et *Tectona grandis*. Comme dans le cas des graines dures on peut recourir à la scarification pour briser le tégument.
- 6° Dormance double. Les graines de certaines espèces présentent deux types de dormance, qui doivent être supprimées pour qu'elles puissent germer. La combinaison la plus courante est la dormance embryonnaire plus la dormance due au tégument.

### Evaluation des plantules

On dit qu'une graine a germé lorsqu'il s'est développé une plantule normale. Les divers types de plantules anormales (pour plus de détails voir ISTA, 1976) ne sont pas pris en compte dans les essais de germination, parce que souvent ces plantules ne survivent pas. Même en les excluant, les essais de germination donneront normalement une estimation trop haute de la viabilité en conditions réelles de terrain, parce qu'ils sont faits en conditions optimales.

### Essais indirects de viabilité

Les essais rapides de viabilité ont pour objet (Turnbull, 1975):

- 1° De déterminer rapidement la viabilité des semences d'espèces qui normalement germent lentement et présentent un phénomène de dormance avec les méthodes normales de germination;
- 2° de déterminer la viabilité de lots de semences qui à l'issue de l'essai de germination présentent un fort pourcentage de graines fraîches non germées ou dures.

Nous décrirons ci-dessous 4 méthodes différentes pouvant être utilisées.

- 1° Examen par coupe: En ouvrant en deux la graine on peut examiner directement si l'endosperme ou albumen et l'embryon ont une couleur normale et s'ils sont normalement développés. Cette méthode n'est pas très précise, et conduit souvent à une surestimation de la faculté germinative.
- 2° Essai au tétrazolium: Dans cette méthode les cellules vivantes se colorent en rouge par réduction du sel incolore de tétrazolium. Le procédé a été décrit en détail par l'ISTA (1976).

Justice (1972) indique que l'emploi de cette méthode est limité en pratique par suite de divers problèmes tels que la difficulté de coloration de certaines graines, qu'il faut ouvrir pour que la couleur se voie. Dans certains cas il y a peu de concordance avec les essais de germination, et l'interprétation des différentes nuances est malaisée.

- 3° Essai sur embryon extraits: On extrait des embryons de graines, que l'on place sur du papier filtre humide dans une boîte de Petri. Au bout de quelques jours on peut distinguer les embryons vivants et non vivants.
- 4° Examen par rayons X: Cette méthode permet de déceler les graines vaines, les dommages mécaniques, le développement anormal des organes internes de la graine, l'épaisseur du tégument, et d'évaluer la viabilité en utilisant une technique de coloration ou des substances contrastantes.

### Résultats des essais de viabilité, et utilisation

Les résultats des essais de viabilité peuvent être exprimés de l'une des manières suivantes: (Turnbull, 1975).

- 1° Pourcentage de germination. C'est le pourcentage réel de graines du lot germées à la fin de l'essai.
- 2° Faculté germinative. C'est la somme des pourcentages de graines germées et de graines saines non germées restant à la fin de l'essai.
- 3° Energie germinative. Indique le pourcentage de graines ayant germé dans un délai donné, par exemple 70% en 7 jours, 90% en 14 jours, etc...
- 4° Nombre de graines vivantes par unité de poids. Cette indication peut être utile pour les utilisateurs de semences.

### Analyse de la teneur en humidité

Comme on l'a mentionné précédemment, la détermination de la teneur en humidité est très importante du point de vue de l'entreposage.

L'ISTA recommande à cet égard les 3 méthodes suivantes (ISTA, 1976):

- 1° Dessication en étuve à 130°C. En raison de la température élevée cette méthode, toutefois, ne peut être employée pour les semences forestières.
- 2° Dessication en étuve à 105°C.
- 3° Distillation en présence de toluène. Cette méthode est à employer pour déterminer la teneur en humidité de graines contenant des huiles volatiles, telles qu'Abies spp. par exemple.

Outre les méthodes citées, il existe divers instruments de mesure automatique de la teneur en humidité. Ils ne sont pas suffisamment précis pour des essais officiels, mais ils peuvent fournir une indication rapide et assez sûre de la teneur en humidité des semences.

### Détermination du poids des semences

La détermination du poids de 1 000 graines a été décrites par l'ISTA (1976).

### Essais d'état sanitaire

Les essais d'état sanitaire ont pour objet de détecter la présence de microorganismes ou de maladies dans les semences. Ils sont importants pour 3 raisons:

- 1° Les semences porteuses d'agents pathogènes risquent de propager des maladies en forêt, diminuant ainsi la valeur marchande des arbres.
- 2° Certaines maladies peuvent se propager par l'intermédiaire des lots de semences à de nouvelles régions. Du point de vue de la quarantaine cet aspect peut nécessiter de nouvelles études, et une certification conforme aux normes du commerce international.
- 3° Les examens sanitaires favorisent une meilleure connaissance des causes de formes anormales des plantules, et peuvent constituer un complément aux essais de germination.

Les règles de l'ISTA fournissent des directives générales pour les examens sanitaires.

### Equipement pour essais de semences

Les matériels pour essais de semences, de même que leur utilisation, sont décrites par l'ISTA (1976).

## CERTIFICATION DES SEMENCES FORESTIERES

La certification des semences et plants forestiers a pour but de conserver et mettre à la disposition des forestiers de terrain des sources de graines, plants et autres matériels de reproduction de provenances et de cultivars supérieurs dans des conditions de culture et de distribution telles que l'identité génétique et la haute qualité des graines et des plants soient assurés (Matthews, 1964).

### Programmes de certification

Barber (1969) a résumé ainsi les problèmes relatifs au contrôle de l'identité génétique:

Il faut procéder à un contrôle précis de l'identité génétique du matériel de reproduction si l'on veut obtenir de bons résultats dans l'amélioration génétique des arbres

et dans les programmes forestiers. Nous devons chercher à n'utiliser qu'un matériel dont l'identité génétique soit connue. Néanmoins, la précision avec laquelle ce matériel sera identifié variera en fonction de l'essence, de la localité et de l'utilisation finale.

Le sélectionneur doit avoir une connaissance complète du patrimoine génétique sur lequel il travaille. Il est d'importance capitale de maintenir l'identité de chaque arbre afin de pouvoir considérer les risques d'apparition de caractéristiques indésirables pouvant résulter de l'union d'individus proches parents. A mesure que les descendants sont produits et cultivés, le sélectionneur doit être à même de dresser l'arbre généalogique de chaque individu afin de localiser les parents responsables de telle ou telle caractéristique, désirable ou non, et il doit être en mesure de reproduire tous ses croisements selon les besoins. Il est tenu de répertorier son matériel et d'identifier exactement tout matériel échangé ou mis en circulation.

Le forestier doit savoir quelle provenance ou lignée répond le mieux à ses besoins, et pour obtenir des résultats optima il doit connaître la source exacte du matériel utilisé pour les reboisements et pour la régénération des peuplements, étant donné que la connaissance de l'identité génétique de ce matériel est nécessaire pour déterminer l'espacement et les techniques culturales appropriés. Du fait par exemple que l'utilisation d'une lignée résistante aux maladies aura pour résultat une mortalité moins forte et une proportion moindre de manquants, le forestier pourra employer un espacement plus large ou effectuer des éclaircies plus fréquentes. Les connaissances que l'on a de l'interaction importante génotype x milieu montrent que les généticiens peuvent sélectionner des cultivars qui répondent positivement à des différences de qualité de la station et des soins culturaux. Si l'on ne dispose pas de semences ou de plants de source appropriée, il peut être justifié, d'un point de vue économique, de reporter la plantation d'une année ou plus.

Pour qu'un système de certification fonctionne de manière satisfaisante, il faut qu'il y ait un mécanisme grâce auquel toutes les parties intéressées puissent participer à l'élaboration d'une procédure fonctionnelle. La certification doit être appuyée par la législation.

Divers pays ont des systèmes de certification (Matthews, 1964). Certains systèmes, comme celui des pays d'Amérique du Nord, sont régionaux.

Un système international a été établi en 1967 dans le cadre de l'OCDE. Des règles modifiées ont été élaborées en 1974 (OCDE, 1974).

Le système de l'OCDE repose sur la participation volontaire des pays membres, mais d'autres pays membres des Nations Unies peuvent également participer.

#### Mise en oeuvre d'un système de certification

Un système élaboré de certification doit comprendre les éléments suivants:

##### Planification

1. Préparation de cartes montrant la répartition des essences importantes.
2. Délimitation de zones de provenance de ces essences.
3. Délimitation des principales zones de reboisement.
4. Estimation de l'offre et de la demande de semences et de plants.

##### Mise en oeuvre

5. Organisation et gestion.
6. Classification et agrément des sources de semences.
7. Recommandations pour le choix des provenances et le transfert de matériel de reproduction.

8. Méthodes de production et de contrôle.

9. Enregistrement des données et documentation.

10. Commercialisation du matériel de reproduction.

Points 1 à 4. Ces points sont importants pour apprécier la nécessité d'un système de certification. Il faut établir une estimation des quantités de semences et de plants nécessaires et la comparer avec les sources disponibles, tant sur place que dans d'autres régions.

Point 5. Ce point concerne la désignation des divers groupes d'autorités responsables telles que:

- 1<sup>o</sup> une autorité ou comité administratif responsable;
- 2<sup>o</sup> un groupe consultatif;
- 3<sup>o</sup> un groupe de travail pour l'agrément des sources de semences;
- 4<sup>o</sup> des inspecteurs.

Point 6. Ce point est fondamental pour le système de certification. Il a été traité en détail par Barner (1973). On peut classer les sources de semences d'une manière générale comme suit:

- 1<sup>o</sup> Zones de provenance
- 2<sup>o</sup> Peuplements
- 3<sup>o</sup> Zones de production de semences
- 4<sup>o</sup> Arbres individuels
- 5<sup>o</sup> Vergers à graines.

L'agrément des sources de semences en conformité avec certaines exigences minimales doit être proposé par le groupe de travail mentionné ci-dessus.

Il faudra établir une liste nationale des sources de semences, qui contiendra les données les plus importantes, telles que nom latin, identification, localisation, origine, conditions écologiques, résultats des essais. Barner (1975) présente une définition des catégories, et des directives pour la collecte d'informations. Il n'est pas nécessaire que la liste nationale comprenne tous les types mentionnés de sources de semences, mais il doit être possible d'étendre ultérieurement le système pour englober tous les types de sources.

Point 7. A l'agrément des sources de semences doivent faire suite des recommandations pour leur utilisation à des fins générales ou spécifiques. L'agrément des sources sera souvent fondé sur l'aspect phénotypique des arbres semenciers ou sur des essais de descendance très limités. Les recommandations doivent s'appuyer sur des résultats d'essais, mais comme ceux-ci prennent longtemps et qu'il s'agit de produire des semences, on est obligé d'utiliser des sources de semences qui n'ont pas encore fait l'objet d'essais. Dans les systèmes de certification, en conséquence, on fait une distinction dans chaque catégorie de sources de semences agréées entre matériel testé et matériel non testé. L'élaboration et la mise en oeuvre d'un système de certification doivent se faire en collaboration étroite avec la recherche forestière et plus particulièrement avec les généticiens forestiers.

Point 8. Comme exemple de règles relatives aux méthodes de production et de contrôle, Barner (1975) indique les normes et exigences minimales du système de l'OCDE concernant le matériel provenant des sources agréées. Ces normes déterminent la manière d'effecteur l'inspection en forêt, dans les reboisements et en pépinière, et de marquer et emballer le matériel de reproduction.

Point 9. L'enregistrement des données et la documentation sont des éléments intégrants normaux des procédures de contrôle. Chaque lot de semences, par exemple, doit être accompagné de données normalisées détaillées concernant l'identification, la récolte et l'extraction des graines, l'entreposage et la qualité.

Point 10. Une fois effectuées toutes les opérations conformément aux directives, une certification pourra être délivrée qui servira de référence pour la commercialisation du matériel provenant de la source en question.

# BIBLIOGRAPHIE

- Barber, J.  
1969 La vérification de l'identité génétique du matériel reproductif forestier. Deuxième Consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers. Washington, D.C., Vol. 2, 11/3.
- Barner, H.  
1973 Classification of Sources for Procurement of Forest Reproductive Material. FAO/DANIDA Training Course on Forest Tree Improvement, Limuru, Kenya.
- Barner, H.  
1975 The Storage of Tree Seed, FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Chiang Mai, Thailand, FAO 1975.
- Barton, L.V.  
1961 Seed Preservation and Longevity. Leonard Hill, London.
- Bonner, F.T.  
1978 Entreposage des graines de feuillus. Informations sur les ressources génétiques forestières, Document forestier occasionnel 1978/1, FAO, Rome.
- Christensen, C.M.  
1972 Microflora and seed deterioration. In: Viability of seeds by E.H. Roberts. Syracuse University Press.
- Ezumah, B.S.  
1976 Seed Handling and Storage, Savanna Afforestation in Africa, Kaduna, Nigeria, FAO 1976.
- FAO  
1955 Le traitement des graines forestières. FAO, Rome.
- Filho, W.S. and  
Lisbao, L.  
1973 Influence of the relative humidity on the characteristics of the seeds of Eucalyptus saligna. IUFRO Internat. Symposium on Seed Processing, Bergen, Norway 1973. Publ. The Royal College of Forestry, Stockholm.
- Frankel, O.H.  
1970 Genetic Conservation in Perspective, Genetic Resources in Plants - their Exploration and Conservation, 1970.
- Guldager, P.  
1973 Seed problems related to direct sowing in pots, "Seed Processing" Proc. IUFRO Wkg. Group on Seed Problems, Bergen. Vol. II, Paper 12.
- Harrington, I.F.  
1970 Seed and Pollen Storage for Conservation of Plant Gene Resources, Genetic Resources in Plants - Their Exploration and Conservation, 1970.
- Holmes, G.D. and  
Buszewicz, G.  
1958 The storage of seed of temperate forest tree species. Forestry Abstracts, Leading Article, For. Abs. Vol. 19. Nos. 3 and 4.
- ISTA  
1976 International Rules for Seed Testing, Rules 1976, Seed Science and Technology 4.
- Jones, LeRoy  
1962 Recommendations for successful storage of tree seed. Tree Planters Notes. For. Service U.S. Dept. of Agriculture No.55.
- Justice, O.L.  
1972 Essentials of seed testing, "Seed Biology", III, (Ed. T.T. Koslowski), Academic Press Inc. New York, 301-370.
- Kamra, S.K.  
1965 The use of X-ray radiography for studying seed quality in grasses. Proc. Int. Seed Test. Ass. 30(3): 519-523.
- Kamra, S.K.  
1967 Detection of mechanical damage and internal insects in seed by X-ray radiography. Svensk Bot. Tidskr. 61, Stockholm.
- Magini, E.  
1962 Le traitement des graines forestières: équipement et méthodes. Unasylva, Vol. 16, FAO, Rome.

- Matthews, J.D.  
1964 Production et certification des graines. Unasylva, Vol. 18(2-3).  
FAO, Rome.
- Moore, R.P.  
1969 History supporting tetrazolium seed testing. Proc. int. Seed Test.  
Ass. 34.
- Moore, R.P.  
1972 Effects on mechanical injuries on viability. Viability of seeds  
by E.H. Roberts. Syracuse University Press.
- Murthy, A.V.R.G.  
1973 Krishna. Problems of teak seed. 1. Flower and fruit studies.  
2. Germination studies. Intern. Symposium on Seed Processing,  
Vol. II, Bergen 1973. The Royal Coll. of For. Stockholm, Sweden.
- OCDE  
1974 Système OCDE pour la contrôle de matériels forestiers de repro-  
duction destinés au commerce international. OCDE, Paris.
- Owen, E. Biasutti  
1956 The storage of seeds for maintenance of viability. Commonwealth  
Agri. Bureaux, Bull. No. 43, Farnham, England.
- Roberts, E.H.  
1972 Viability of seeds. (Ed. E.H. Roberts), Chapman and Hall, London,  
448 pp.
- Schönborn, A. von  
1964 Die Aufbewahrung des Saatgutes der Waldbäume. Bayrischer  
Landwirtschaftsverlag, Munchen. W. Germany.
- Stermer, R.A.  
1964 Purity analyses of certain grass seeds by flotation techniques.  
Proc. Ass. Off. Seed Anal. 54: 73-81.
- Turnbull, J.W.  
1975 The handling and storage of eucalypt seed. FAO/DANIDA Training  
Course on Forest Seed Collection and Handling. Chiang Mai,  
Thailand, FAO, 1975.
- Wakeley, P.C.  
1954 Planting the Southern Pines. Forest Service. U.S. Dept. of Agric.  
Washington, D.C.
- Wang, B.S.P.  
1974 Tree seed storage. Dept. of Environment, Can. For. Service,  
Pub. No. 1335, Ottawa.
- Wang, B.S.P.  
1977 Acquisition, manutention et entreposage de graines forestières  
destinées à la recherche génétique. Troisième Consultation  
mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers. FO: FTB/77-1/2.  
Canberra, Australie.

DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

Bjerne Ditlevsen  
Service forestier national  
Danemark

TABLE DES MATIERES

Introduction

Conditions d'une bonne expérimentation

- Absence d'erreurs systématiques
- Précision
- Champ d'application
- Simplicité
- Calcul d'incertitude

Principes relatifs aux dispositifs expérimentaux

- Hypothèse nulle
- Objectif de l'essai
- Erreurs expérimentales

- Répétitions
- Randomisation
- Contrôle local

Considérations d'ordre pratique

Exemples de dispositifs

- Randomisation complète
- Blocs aléatoires
- Carré latin
- Blocs incomplets
- Parcelles subdivisées

Bibliographie

## INTRODUCTION

Les principes qui gouvernent les dispositifs expérimentaux peuvent s'exprimer comme suit (Brown et al., 1977):

1. Observation d'un phénomène,
2. Formulation d'une hypothèse sur ce phénomène.
3. Vérification de l'hypothèse.
4. Application des résultats.

Les essais constituent un outil qui permet de vérifier l'hypothèse énoncée, et les conditions les plus importantes seront de concevoir et réaliser les essais d'une manière telle que l'on puisse en tirer des conclusions valables (LeClerc, 1967).

Les essais relatifs à l'amélioration génétique des arbres forestiers peuvent avoir les objectifs principaux suivants:

1. Evaluer le matériel d'amélioration génétique par rapport à un certain nombre de caractéristiques désirables, sur la base d'une hypothèse formulée. Dans la majorité des cas il s'agit d'essais de terrain, dans lesquels le matériel est éprouvé dans des conditions qui correspondent aux conditions réelles de croissance (habitat) du matériel amélioré. Il peut toutefois s'agir également d'essais en pépinière, en serre ou au laboratoire.
2. Etudier les paramètres génétiques fondamentaux importants pour la recherche, et par suite pour le développement futur dans le domaine de l'amélioration génétique des arbres forestiers.
3. Analyser les différents traitements, méthodes d'amélioration génétique, etc... De même que les études mentionnées au point 2, ces analyses se font en premier lieu en relation avec la recherche future dans ce même domaine.

Indépendamment de l'objectif de l'essai, nous dirons qu'il doit être conçu en tenant dûment compte des différents facteurs pratiques, de manière à en obtenir le maximum d'information.

## CONDITIONS D'UNE BONNE EXPERIMENTATION

Cox (1958) indique les 5 points suivants à considérer lorsqu'on projette un essai.

### Absence d'erreurs systématiques

Cela signifie que les unités expérimentales qui contiennent un matériel déterminé, par exemple une certaine provenance, ne doivent présenter aucune déviation systématique par rapport aux autres provenances de l'essai.

### Précision

S'il ne se produit aucune erreur systématique, la grandeur vraisemblable de l'erreur aléatoire qui intervient dans l'évaluation de l'effet du traitement (matériel) peut généralement être mesurée au moyen de l'écart-type. Celui-ci se calcule comme suit:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} ; \quad S' = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

S = écart-type

S' = écart-type de la moyenne

X = observation individuelle

$\bar{X}$  = moyenne calculée des valeurs de X

n = nombre d'observations.

La précision de l'essai dépendra des facteurs suivants:

- a. La variabilité réelle du matériel d'expérience et l'exactitude avec laquelle a été fait le travail expérimental;
- b. le nombre d'unités expérimentales (et le nombre de répétitions des observations par unité);
- c. le dispositif expérimental (et la méthode d'analyse, si celui-ci n'est pas totalement efficace).

L'exigence générale de précision est que l'écart-type soit suffisamment réduit pour pouvoir en tirer des conclusions probantes, mais d'un autre côté il ne doit pas être trop réduit. Si l'écart-type est grand, l'essai sera à peu près sans valeur, tandis qu'un écart-type inutilement réduit signifierait qu'il y a perte de matériel expérimental.

#### Champ d'application

En évaluant la différence entre deux matériels dans un essai, nous parviendrons à des conclusions qui se rapportent à un certain ensemble d'unités employées dans l'essai, dans les conditions particulières de cet essai. Si nous désirons appliquer les résultats de l'essai à d'autres conditions ou à d'autres unités, à l'incertitude que nous pouvons mesurer par l'écart-type s'ajoute une incertitude supplémentaire. Lorsqu'on essaie un matériel, il importe de le faire dans des conditions qui ne s'écartent pas de manière trop importante de celles des localités où l'on pense employer ce matériel par la suite.

#### Simplicité

La simplicité de l'essai est un facteur très important que l'on doit toujours prendre en considération. Il faut entendre par là non seulement la simplicité du dispositif d'essai, mais également, autant que possible, la simplicité des méthodes d'analyse. Heureusement, dans la majorité des cas, un dispositif expérimental efficace conduit à des méthodes d'analyse simples.

#### Calcul d'incertitude

Il est souhaitable de pouvoir calculer l'incertitude qui existe dans l'évaluation des différences entre les matériels essayés, ce qui signifie normalement l'estimation de l'écart-type pour ces différences, à partir duquel on peut calculer les limites d'erreur (limites de confiance) pour les différences vraies à un niveau de probabilité donné, et mesurer la signification statistique de la différence entre deux matériels.

L'écart-type de la différence se calcule comme suit:

$$S' = \sqrt{2} \cdot s \left( \frac{1}{\sqrt{n_1}} + \frac{1}{\sqrt{n_2}} \right)$$

$n_1$  et  $n_2$  étant le nombre d'observations qui constituent la base des deux estimations de moyennes.

Les limites de confiance pour la différence vraie peuvent se calculer comme suit:

$$D = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \pm t \cdot s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

$\bar{X}_1$  et  $\bar{X}_2$  sont les deux moyennes estimées calculées

$t$  est la valeur du paramètre  $t$  de Student à un seuil de probabilité donné

$n_1$  et  $n_2$  sont les nombres d'observations qui constituent la base de  $\bar{X}_1$  et  $\bar{X}_2$ .

## PRINCIPES RELATIFS AUX DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

Nous mentionnerons ci-dessous quelques principes généraux fondamentaux concernant les dispositifs expérimentaux.

### Hypothèse nulle

Comme on l'a indiqué dans l'introduction, le but des essais est de vérifier une hypothèse faite sur l'existence de différences entre matériels ou entre traitements. En général, on établit ce que l'on appelle une hypothèse nulle, selon laquelle les différences constatées seraient uniquement dues à des causes aléatoires. On emploie l'hypothèse nulle combinée avec un test de signification pour la comparer avec l'hypothèse émise que l'on étudie.

La notion d'hypothèse nulle est très importante pour les dispositifs expérimentaux. Lorsque nous mettons en place un essai, nous connaissons divers facteurs qui produisent des différences entre les unités de l'essai, mais il restera toujours des différences qui ne pourront être attribuées à des facteurs déterminés. Pour pouvoir employer l'hypothèse nulle comme base de comparaison, il importe que ces causes de variation non attribuables à des facteurs déterminés soient distribuées au hasard.

### Objectif de l'essai

Lorsqu'on établit un essai il importe de définir l'objectif qu'on lui assigne. Par exemple, l'objectif peut être d'étudier une série de lots de semences pour en sélectionner ensuite les meilleurs en vue d'une amélioration génétique ultérieure. Dans de nombreux cas il s'agit d'essais multifactoriels, et il est alors essentiel pour le choix d'un dispositif que l'objectif soit précisé. Il sera par exemple souhaitable de savoir si l'objectif est l'étude d'un ou plusieurs des principaux facteurs de l'essai, ou si l'on s'intéresse davantage à l'évaluation d'une interaction déterminée.

Il est en outre important de définir le champ de validité auquel s'appliqueront les résultats.

### Erreurs expérimentales

Les erreurs expérimentales ont été décrites par Fischer (1951) comme le défaut de gains homogènes dans des parcelles qui ont pour le reste reçu un même traitement. Les erreurs expérimentales qui se produisent dans les essais en pépinière et sur le terrain sont dues en premier lieu à des différences existant dans les conditions de sol, et il faut s'efforcer de les réduire en plaçant les essais dans des conditions de sol homogènes et en appliquant une technique expérimentale améliorée. Néanmoins on ne pourra pas les éliminer complètement, même dans des conditions apparemment identiques, et à défaut on devra les mesurer, ce qui donnera la possibilité d'estimer le degré d'incertitude qui affecte les conclusions tirées des données recueillies. Cette possibilité constitue la base du choix du dispositif expérimental dans une situation donnée, et une bonne expérimentation, selon LeClerc (1967), est celle qui évalue l'erreur expérimentale non contrôlée.

Fischer (1931) a formulé les 3 principes suivants qui conditionnent la précision des données, et qui par la suite constituent la base du dispositif expérimental à adopter et de l'analyse statistique subséquente.

Répétitions. Il existe en général deux possibilités pour réduire l'erreur dans l'estimation d'un effet. La première consiste en une amélioration de la technique expérimentale, par exemple en employant des instruments de mesure de plus grande précision, en appliquant davantage de soin dans le recueil des données, etc... L'autre possibilité, qui est dans bien des cas la seule applicable, consiste à répéter l'essai un certain nombre de fois, et à utiliser la moyenne des résultats obtenus. Malheureusement cette méthode ne n'est pas très efficace, parce que l'erreur sur la moyenne ne diminue qu'en fonction de la racine carrée du nombre de répétitions; ainsi, l'erreur sur la moyenne de 4 répétitions ne diminue que de moitié ( $\sqrt{4}$ ) par rapport à l'erreur sur une observation sans

répétition. En plus de réduire l'erreur sur l'évaluation, les répétitions permettent d'estimer l'incertitude des résultats expérimentaux, par exemple en calculant des intervalles de confiance. Des mesures répétées sur une même parcelle ne peuvent être considérées comme des répétitions, mais seulement comme des sous-échantillons, et la variation qui existe entre elles constitue l'erreur d'échantillonnage.

Randomisation. Dans tout dispositif expérimental il est d'importance capitale, selon Fischer (1926), que les différentes unités de l'expérimentation soient randomisées, ce qu'il exprime comme suit: "L'évaluation de l'erreur expérimentale obtenue au moyen de répétitions dépend des différences existant entre parcelles de même traitement. Une évaluation d'erreur expérimentale ne sera valable que si, dans la disposition des parcelles, nous nous assurons que des paires de parcelles ayant reçu un même traitement ne sont ni plus proches ni plus éloignées, ni ne diffèrent d'aucune manière analogue des parcelles qui ont reçu des traitements différents".

Dans la majorité des cas, la randomisation s'effectue dans l'espace sur le périmètre d'expérimentation, mais elle peut aussi s'effectuer dans le temps.

En pratique, la randomisation peut être réalisée de plusieurs manières différentes. Pour les essais d'ampleur réduite, on peut par exemple numérotter des cartons que l'on mélange et que l'on tire au sort. Selon le dispositif en question, la randomisation peut se faire pour l'essai complet ou séparément par lignes, colonnes, etc... Cela sera décrit plus en détail à propos des différents dispositifs. S'il s'agit d'essais de plus grande ampleur, on devra employer par exemple des tables de nombres aléatoires ou, si l'on dispose d'un ordinateur, recourir à des programmes normalisés de randomisation.

Contrôle local. Par contrôle local on entend certaines restrictions de la distribution aléatoire de traitements ou de matériels dans un essai en répétition, permettant d'éliminer la partie de la variation totale qui ne s'applique pas aux comparaisons de traitements ou de matériels. Le contrôle local se fait par la disposition des blocs et parcelles dans l'essai. En disposant les blocs de manière à réduire au minimum la variation des conditions de sol, par exemple, à l'intérieur des blocs, tandis qu'il peut y avoir une forte variation entre les blocs, on obtiendra une amélioration importante de la précision de l'essai, étant donné que l'on pourra calculer et éliminer la variation entre blocs lorsqu'on procèdera à l'analyse des données.

La taille et la forme des parcelles, l'espacement entre les plants, etc., peuvent souvent varier d'un endroit à un autre, en fonction tant du terrain d'expérimentation, de l'objectif de l'essai, du volume et de la qualité du matériel, que d'autres facteurs qui sont souvent de caractère pratique. En ce qui concerne la taille et la forme des parcelles, il existe une série de recherches visant à illustrer la taille et la forme optimales (Johnstone et Samuel, 1974). Il ne paraît pas possible de donner des règles générales pour la configuration des parcelles, mais les points suivants sont importants à considérer dans le choix tant de leur taille que de leur forme.

- 1) Une augmentation de la taille des parcelles donnera une évaluation plus sûre de leur moyenne. En revanche, l'agrandissement des parcelles entraînera une augmentation correspondante de la taille des blocs, et par suite de la variation à l'intérieur de chaque bloc. Une variation plus grande à l'intérieur des blocs réduira les possibilités de déceler les différences entre parcelles, s'il y en a. C'est ainsi que Wright et Freeland (1959, 1960) observent que la réduction de la taille des parcelles jusqu'à des parcelles ne contenant qu'un seul arbre conduisait à une meilleure efficacité dans des essais portant sur la hauteur et le diamètre de pins.
- 2) Pour les essais de différents engrais par exemple, il faut employer des parcelles assez grandes, souvent entourées de bandes tampon pour éviter l'influence des parcelles contiguës. La même remarque s'applique aux essais dans lesquels, avec le temps, il peut se produire une concurrence entre les arbres de parcelles contiguës.

- 3) En ce qui concerne la forme des parcelles, dans la majorité des cas le plus avantageux sera d'adopter des parcelles carrées, qui offrent le périmètre le plus court et par conséquent le minimum d'influence des parcelles contiguës. Dans une station présentant des variations systématiques importantes, sur un terrain en pente par exemple, il peut être plus avantageux d'utiliser des parcelles allongées, disposées de manière à ce que ces variations soient absorbées à l'intérieur des parcelles.

Comme on l'a mentionné plus haut, la précision d'un essai peut être améliorée surtout en augmentant le nombre des répétitions. En revanche, un surcroît inutile de précision obtenu par un grand nombre de répétitions entraînera une dépense inutile sous la forme de plants et de main-d'oeuvre. C'est pourquoi on doit s'efforcer d'estimer, lors de la mise en place de l'essai, le nombre de répétitions nécessaire et suffisant à appliquer pour obtenir la précision désirée.

Si l'on désire par exemple qu'une différence de 10% entre des matériels soit significative au seuil de 5%, le nombre de répétitions nécessaires peut être calculé au moyen de la formule suivante:

$$LSD = t \times \sqrt{\frac{2 \cdot S^2}{n}}$$

LSD = différence réelle de D

t = paramètre t de Student au seuil de signification désiré (5%) et avec le même nombre de degrés de liberté que pour l'erreur expérimentale (S)

S = erreur expérimentale

n = nombre de répétitions

Si l'on connaît l'ordre de grandeur de l'erreur expérimentale, soit à partir d'essais antérieurs comparables, soit en se basant sur une connaissance générale des conditions de l'essai, l'équation peut se résoudre pour n comme suit:

$$n = \frac{t^2 \cdot 2 \cdot S^2}{LSD^2}$$

#### Considérations d'ordre pratique

Outre les considérations d'ordre théorique relatives aux essais, il existe souvent des limitations sous la forme de problèmes pratiques pour la mise en place de l'essai.

Tout d'abord, la surface disponible peut entraîner une série de limitations, qui à leur tour amènent l'expérimentateur à omettre certains blocs, répétitions ou traitements, ou à employer un dispositif différent et souvent moins efficace. Le choix d'une possibilité ou d'une autre dépendra de facteurs en relation tant avec le matériel d'essai qu'avec la localité. Si par exemple il y a une très faible variation des conditions de sol, il sera naturel de réduire le nombre de répétitions. Une autre possibilité est de réduire le nombre de traitements ou de matériels, si l'on sait d'avance que certains d'entre eux sont homogènes et pourront sans doute être traités ensemble dans les analyses.

En second lieu, il peut se présenter des problèmes lorsqu'on met en place un essai dans plusieurs localités différentes. Si l'on veut que les résultats des essais soient applicables à un champ plus vaste, il faudra installer des essais dans un certain nombre de localités représentatives de l'ensemble du champ d'application désiré.

Outre ces facteurs, il faut inclure dans les considérations relatives à la mise en place d'essais la probabilité que certaines parties de l'essai soient endommagées ou détruites. S'il y a par exemple un risque de dommages, il convient de choisir un dispositif relativement robuste, susceptible de fournir des informations de qualité même dans le cas où certaines données feraient défaut.

De même il importe que tant le dispositif que les méthodes d'analyse soient relativement simples à employer dans le cas où les personnes chargées de la réalisation de l'essai n'ont pas une connaissance solide de méthodes plus complexes.

### EXEMPLES DE DISPOSITIFS

Avec le temps, il s'est développé divers modèles expérimentaux différents, certains basés sur le principe de la distribution au hasard, d'autres sur celui de la distribution automatique des traitements ou des matériels dans les parcelles. Nous décrirons ci-dessous une série de modèles qui remplissent dans une large mesure les conditions d'une bonne expérimentation telles que formulées dans la section précédente (Jeffers, 1960, Pearce, 1975).

#### Randomisation complète

Dans ce dispositif on ne fait aucun groupement des unités expérimentales, et les différents traitements sont assignés aux différentes parcelles totalement au hasard.

Cette méthode est très simple et très souple, et peut être employée avantageusement dans les conditions suivantes (Cox, 1958):

1. Dans des essais très réduits où il importe d'avoir un nombre maximum de degrés de liberté dans l'évaluation de l'erreur. Dans un essai qui comporte  $N$  parcelles et  $a$  traitements, on a  $N-a$  degrés de liberté, tandis que dans un essai comportant une distribution en blocs égaux on n'en aura plus que  $N-a-b+1$ ,  $b$  étant le nombre de blocs de l'essai.
2. Dans des essais où il n'apparaît aucun motif immédiat d'établir un dispositif par blocs. Cela peut être le cas par exemple d'essais de laboratoire dans lesquels les conditions de milieu sont contrôlées et uniformes.
3. Dans des essais où une augmentation de la précision ne peut être obtenue qu'en utilisant une covariable.

Un exemple de dispositif de randomisation complète est illustré par la figure 1 ci-dessous:

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| A | B | C | C | A | B |
| C | B | A | B | C | A |
| B | A | C | B | A | C |

$N = 18$

Fig. 1. Dispositif de randomisation complète avec 3 traitements (A, B, C) et 6 répétitions.

#### Blocs aléatoires

Dans les cas où l'on doit s'attendre à une variation quelconque des conditions de milieu, la randomisation complète ne sera pas très applicable, du fait que la variation entre parcelles de même traitement, et par suite l'erreur expérimentale, seront importantes, et la précision considérablement réduite.

Dans de telles conditions, on procède le plus souvent à un groupement des parcelles en blocs, de manière que chaque bloc contienne une fois tous les traitements différents. Ce dispositif permet d'éliminer la variation entre blocs au moyen de l'analyse statistique, en réduisant ainsi l'erreur expérimentale et en augmentant la précision de l'essai. Les dispositifs en blocs aléatoires sont simples à établir, et la figure 2 montre un exemple d'essai comprenant 4 traitements et 4 blocs. La distribution des traitements à l'intérieur de chaque bloc doit être aléatoire.

|        |   |   |   |   |
|--------|---|---|---|---|
| Bloc 1 | A | B | D | C |
| Bloc 2 | C | B | A | D |
| Bloc 3 | B | A | C | D |
| Bloc 4 | D | C | A | B |

Fig.2. Dispositif en blocs aléatoires avec 4 traitements (A, B, C, D) et 4 blocs.

Comme on l'a mentionné à propos du contrôle local, les blocs doivent être disposés de manière à absorber le maximum de variation entre blocs, tout en essayant de maintenir la variation à l'intérieur des blocs au niveau le plus bas possible. La figure 3 montre des exemples de bonne distribution des blocs dans les conditions suivantes:

1. Dans une zone où existe une variation systématique du milieu, comme par exemple en terrain accidenté, dans un laboratoire près d'une fenêtre, etc.
2. Dans une zone où les conditions de sol varient fortement, les parcelles doivent être assemblées, indépendamment de leur disposition matérielle, en blocs à l'intérieur desquels les conditions paraissent uniformes.

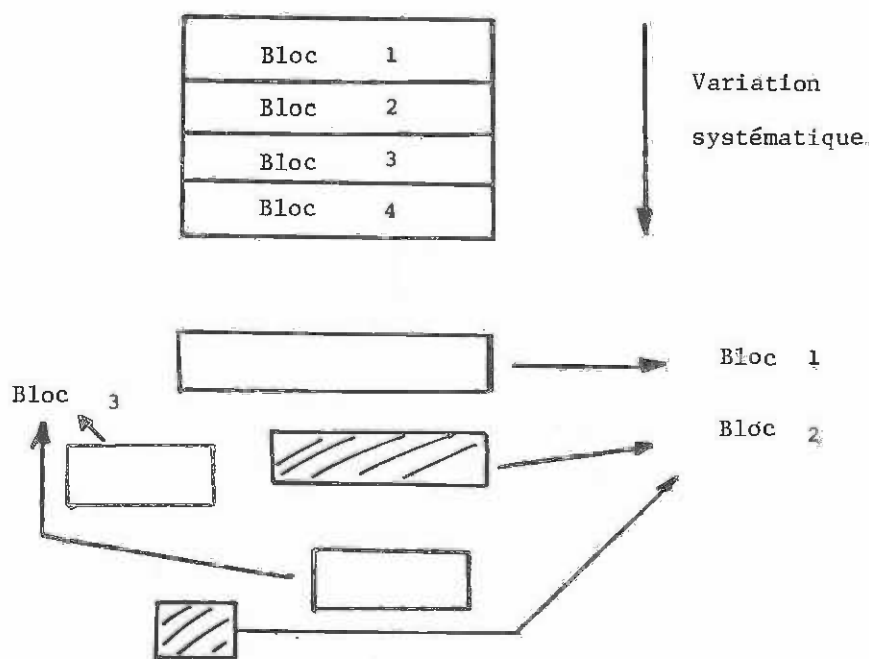


Fig. 3. Disposition des blocs dans un dispositif en blocs aléatoires dans le cas

- 1) de variation systématique de la station;
- 2) de forte variation des conditions de sol.

Le dispositif en blocs aléatoires est facile à établir, et l'analyse et l'interprétation des résultats de l'essai sont simples à effectuer. En même temps, ce type d'essai est très robuste, et permet d'effectuer les analyses, dans le cas de valeurs manquantes, sans qu'il se pose de trop graves problèmes (Brown et al., 1977).

En principe, ce dispositif peut être employé pour tester un nombre quelconque de traitements, mais en pratique il surgira des problèmes à la mesure de l'accroissement de la taille des blocs lié à l'augmentation du nombre de traitements. En accroissant la taille des blocs, on augmente en même temps la variation à l'intérieur de chaque bloc, et l'objectif recherché par l'établissement de blocs ne pourra être atteint de manière satisfaisante. Dans un tel cas on pourra opter pour un dispositif en blocs incomplets (voir plus bas), ou pour une réduction du nombre de plants par parcelle.

#### Carré latin

Dans ce dispositif on a un groupement double des parcelles, l'essai étant divisé en lignes et en colonnes. Un traitement déterminé figure une fois et une seule sur chaque ligne et sur chaque colonne, comme illustré en figure 4. On peut en déduire que le nombre de parcelles de l'essai sera égal au carré du nombre de traitements.

Ce dispositif est très efficace dans le cas où des variations interviennent dans deux directions (par exemple dans une serre), mais il présente en même temps certaines limitations en ce qui concerne le nombre de traitements différents que l'on peut étudier, étant donné qu'un nombre de traitements égal à 10, par exemple, requerra la mise en place de 100 parcelles, et qu'un nombre de traitements égal ou inférieur à 4 donnera un nombre de degrés de liberté trop réduit pour permettre de tester sûrement les traitements.

Dans ce dispositif il se présente certaines restrictions des possibilités de randomisation, mais on peut utiliser une randomisation partielle, comme décrit ci-dessous:

1. On choisit au hasard une des formules de carré latin présentées par Fischer et Yates (1957).
2. On dispose les colonnes au hasard.
3. On assigne les traitements au hasard aux lettres A, B, C, etc.. sur le plan choisi.

#### Colonnes

Lignes

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| D | B | E | C | A |
| A | D | C | B | E |
| B | E | D | A | C |
| E | C | A | D | B |
| C | A | B | E | D |

Fig. 4. Dispositif en carré latin avec 5 traitements (A, B, C, D, E)

#### Blocs incomplets

On désigne sous le nom de dispositif en blocs incomplets un dispositif dans lequel le nombre de traitements à l'intérieur d'un bloc est inférieur au nombre total de traitements testés.

Dans le dispositif en treillis ("lattice") les blocs incomplets sont groupés de telle sorte que chaque groupe forme une répétition complète (voir figure 5):

| Rép. X |    |    |    | Rép. Y |    |    |    | Rép. Z |    |    |    |
|--------|----|----|----|--------|----|----|----|--------|----|----|----|
| X1     | X2 | X3 | X4 | Y1     | Y2 | Y3 | Y4 | Z1     | Z2 | Z3 | Z4 |
| 11     | 1  | 8  | 6  | 9      | 8  | 5  | 7  | 12     | 2  | 4  | 7  |
| 12     | 3  | 9  | 5  | 6      | 11 | 2  | 4  | 6      | 10 | 3  | 1  |
| 10     | 2  | 7  | 4  | 3      | 1  | 12 | 10 | 8      | 9  | 11 | 5  |

Fig. 5. Dispositif en treillis rectangulaire avec 3 x 4 traitements et 3 répétitions (X, Y, Z).

Le nombre de traitements d'un dispositif en treillis doit être égal à un carré ( $4 \times 4 = 16$ ,  $5 \times 5 = 25$ , etc...) ou à un produit de la forme  $k(k+1)$  ( $3 \times 4 = 12$ ,  $4 \times 5 = 20$ , etc...). Ces deux types de dispositifs sont qualifiés de treillis carré et treillis rectangulaire. Dans chaque cas on dispose  $k$  (3, 4, 5, etc.) parcelles à l'intérieur de chaque bloc et  $k$  (carré) ou  $k+1$  (rectangulaire) blocs dans chaque répétition. Un dispositif carré complètement équilibré demandera  $k+1$  répétitions.

Il n'est pas possible d'établir un dispositif complètement équilibré dans le cas où  $k^2=36$ , 100 ou 144, ni dans le cas de dispositifs rectangulaires.

Dans l'établissement d'un dispositif en treillis on procédera à une randomisation selon les règles suivantes:

- 1) Utiliser comme point de départ une formule de dispositif parmi celles présentées par exemple par Cochran et Cox (1957). Choisir au hasard le nombre de répétitions désiré dans l'essai en question.
- 2) Fixer de manière aléatoire l'ordre de succession des répétitions.
- 3) Fixer de manière aléatoire l'ordre de succession des blocs incomplets dans chaque répétition.
- 4) Répartir de manière aléatoire les parcelles dans chaque bloc.
- 5) Assigner au hasard les différents traitements aux numéros de traitement du plan de dispositif.

En ce qui concerne l'implantation de l'essai sur le terrain, on a les mêmes exigences que celles décrites pour les dispositifs en blocs aléatoires, à savoir que les blocs doivent être disposés de manière à ce qu'une variation qui existerait dans le périmètre d'essai soit absorbée comme variation entre blocs, tandis que chaque bloc sera aussi homogène que possible.

Le dispositif en treillis est avantageux, donnant au moins le même degré de précision qu'un dispositif en blocs aléatoires pour un même nombre de répétitions. Cependant les calculs statistiques sont relativement compliqués à effectuer, et en particulier dans le cas de valeurs manquantes il peut être difficile de réaliser une analyse satisfaisante.

Néanmoins, on peut signaler avec ce dispositif le grand avantage de pouvoir toujours l'analyser et l'interpréter comme un dispositif ordinaire en blocs aléatoire.

#### Parcelles subdivisées

Un dispositif en parcelles subdivisées est un dispositif factoriel spécial, dans lequel on trouve deux ordres de répétitions. Un ensemble de facteurs est lié aux parcelles principales, tandis que le ou les autres ensembles de facteurs sont liés à des parcelles situées à l'intérieur de chacune des parcelles principales, autrement dit les parcelles principales sont subdivisées en un certain nombre de sous-parcelles (voir figure 6).

Le nombre de parcelles principales étant inférieur au nombre de sous-parcelles, les facteurs liés respectivement aux parcelles principales et aux sous-parcelles seront testés avec des degrés différents de précision. C'est pourquoi il est avantageux d'utiliser ce dispositif dans le cas où l'un des ensembles des facteurs présente un intérêt plus particulier, ou encore dans le cas où un traitement déterminé requerra une surface relativement grande (par exemple dans les essais de fertilisation).

Les parcelles principales peuvent être implantées par exemple selon un dispositif en blocs aléatoires, en carré latin ou autre. L'assignation des sous-parcelles doit se faire de manière aléatoire.

| Rép.1 | Rép.2 | Rép.3 | Rép.4 |
|-------|-------|-------|-------|
| A     | A     | C     | B     |
| C     | B     | A     | A     |
| B     | C     | B     | C     |
| C     | C     | B     | C     |
| A     | A     | B     | B     |
| B     | B     | C     | A     |

Fig.6. Dispositif en parcelles subdivisés, avec 2 parcelles principales dans chaque répétition (indiquées en hachuré ou non hachuré) et 3 sous-parcelles à l'intérieur de chaque parcelle principale.

BIBLIOGRAPHIE

- Brown, A.G. and Matheson, A.G.  
1977  
Statistics: Design of Experiments. International Training Course in Forest Tree Breeding, Canberra, Australia.
- Cochran, W.G. and Cox, G.M.  
1957  
Experimental Designs. John Wiley and Sons, Inc., New York, U.S.A.
- Cox, D.R.  
1958  
Planning of Experiments. John Wiley and Sons, Inc. New York, U.S.A.
- Fischer, R.A.  
1926  
The Arrangement of Field Experiments. I. Min. Agr. England 33
- Fischer, R.A.  
1931  
Principles of Plot Experimentation in Relation to the Statistical Interpretation of the Results Rothamsted Conference XIII
- Fischer, R.A.  
1951  
The Design of Experiments, Hafner Publ. Co., New York.
- Fischer, R.A. and Yates, P.  
1957  
Statistical Tables for Biological Agricultural and Medical Research, Oliver and Boyd.
- Jeffers, I.N.R.  
1960  
Experimental Design and Analysis in Forest Research. Almquist and Wiksell, Stockholm.
- Johnstone, R.G.B. and Samuel, C.J.A.  
1974  
Experimental Design for Forest Tree Progency Tests with particular Reference to Plot Size and Shape, Proceedings IUFRO Joint Meeting, Stockholm.
- Le Clerg, E.L.  
1967  
Significance of Experimental Design in Plant Breeding. Plant Breeding, K.J. Frey (ed). The Iowa State University Press, Ames, Iowa, U.S.A.
- Pearce, S.C.  
1975  
Field Experimentation with Fruit Trees and other Perennial Plants, Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Wright, J.W. and Freeland, F.D.  
1969  
Plot Size in Forest Genetics Research. Pap. Mich. Acad. Sc., Arts and Letters 44.
- Wright, J.W. and Freeland, F.D.  
1960  
Plot Size and Experimental Efficiency in Forest Genetics. Research, Mich. State University, Agric. Exp. Sta. Techn. Bull. No. 280.

INTERPRETATION STATISTIQUE DES RESULTATS D'ESSAIS

Bjerne Ditlevsen  
Service forestier national, Danemark

TABLE DES MATIERES

Introduction

Modèles d'effets définis et aléatoires

Signification statistique

Tests statistiques

Test  $\chi^2$   
Test t  
Test F

Recherches préliminaires

Valeurs aberrantes et manquantes  
Tests de conditions requises

Tests de normalité  
Tests d'homogénéité de variance  
Test d'additivité

Changement de variable

Tables de contingence

Analyse de variance

Randomisation complète  
Blocs aléatoires  
Carré latin  
Blocs incomplets  
Parcelles subdivisées

Analyse de corrélation

Analyse de régression

Analyse de covariance

Composantes de la variabilité

Bibliographie

## INTRODUCTION

Dès la mise en place d'un essai il importe de définir les réponses que l'on désire en obtenir, et les méthodes d'analyse que l'on envisage d'appliquer pour l'évaluation des résultats de l'essai. La possibilité que l'on aura de tirer d'un essai des conclusions valables sera par conséquent en relation étroite avec une bonne planification de l'essai. En d'autres termes, un bon essai suppose comme conditions une formulation claire de son objectif, l'application d'un dispositif susceptible de donner les réponses désirées, et un contrôle efficace de la mise en place de l'essai.

Par l'emploi de méthodes d'analyse statistique, le sélectionneur pourra faire une interprétation statistique de l'essai. Connaissant le dispositif expérimental utilisé pour le matériel et les traitements en question, on pourra dans la plupart des cas, outre ces résultats statistiques, faire ultérieurement d'autres interprétations statistiques de l'essai.

Nous décrirons ci-dessous quelques aspects généraux liés à l'interprétation statistique, en présentant des exemples des méthodes statistiques les plus courantes pouvant être employées. Nous mentionnerons sommairement l'interprétation génétique, qui sera traitée plus à fond dans une conférence ultérieure.

## MODELES D'EFFETS DEFINIS ET ALEATOIRES

Pour la réalisation d'analyse d'essais il est essentiel de définir le modèle statistique dont il s'agit. On distingue les modèles dits d'effet aléatoire et d'effet défini. Dans un modèle d'effet aléatoire, les traitements (ou matériels) sont considérés comme une partie (échantillon) choisie au hasard de l'ensemble complet de traitements possibles. Ainsi, les résultats fournis par l'essai pourront s'appliquer à la totalité des traitements représentés par les traitements échantillonnés.

Dans un modèle d'effet défini, l'objet est d'étudier un ensemble précis de traitements, de sorte que les résultats fournis par l'essai ne pourront s'appliquer à un groupe de traitements plus large que celui inclus dans l'essai.

Outre les modèles mentionnés, il existe aussi des modèles mixtes, dans lesquels un ou plusieurs traitements sont considérés comme aléatoires, les autres comme définis.

Il importe de préciser le type de modèle dont il s'agit dans chaque cas particulier, étant donné que l'évaluation des traitements de même que le calcul des composantes de variabilité en dépendent. En outre, les conclusions définitives et la portée de l'essai dépendront évidemment de ces considérations fondamentales.

Cependant, il pourra bien souvent être difficile de décider si les effets d'un essai doivent être considérés comme aléatoires ou définis, et il est malaisé d'établir des règles univoques à cet égard. Ces problèmes ont été traités de manière approfondie par Kempthorne (1975), qui montre également par des exemples comment ces deux points de vue différents influent sur l'analyse de variance.

## SIGNIFICATION STATISTIQUE

Le point de départ de la notion de signification est l'énoncé d'une hypothèse nulle, et éventuellement d'une contre-hypothèse, sur le matériel d'essai. D'une manière générale, l'hypothèse nulle est l'hypothèse que, tels que se présentent les problèmes, il n'est pas normal ni recommandable d'écarter à moins que les observations n'indiquent résolument une autre attitude.

Pour pouvoir décider si les résultats fournis par un essai sont conformes à l'hypothèse établie, on emploie ce que l'on appelle des tests de signification, qui permettent de vérifier si les résultats s'écartent de manière significative des résultats attendus selon l'hypothèse nulle.

Dans le test on emploie une grandeur calculée à partir de l'essai, et dont on connaît la loi de distribution quand l'hypothèse nulle est vraie. Si la grandeur de test calculée est très invraisemblable dans la distribution théorique, il y a lieu de rejeter l'hypothèse nulle formulée. Toutefois, le test de signification n'est pas univoque, du fait que la variabilité aléatoire des résultats de l'essai peut faire que certains résultats, par l'effet du hasard, s'écartent de manière significative des résultats attendus selon l'hypothèse nulle.

Les principes relatifs aux tests de signification sont illustrés en figure ci-dessous.

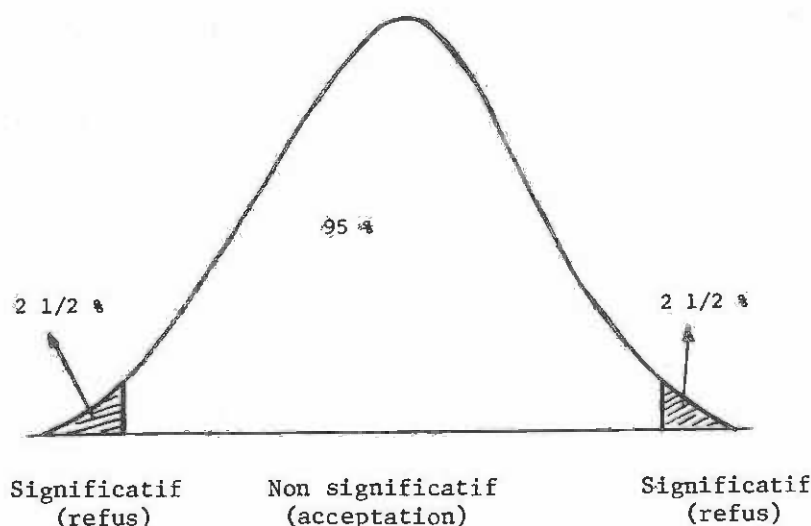


Fig. 1. Distribution de la grandeur de test dans le cas où l'hypothèse nulle est vraie. La figure illustre en outre un test bilatéral au seuil de 5%.

Néanmoins, la théorie statistique permet de calculer la probabilité qu'une déviation donnée soit due au hasard. C'est pourquoi les tests de signification sont effectués pour divers seuils de signification, indiquant la probabilité que la déviation constatée soit due au hasard. Au lieu d'indiquer seulement que les résultats s'écartent de manière significative de l'hypothèse nulle, on dit que les déviations sont significatives au seuil de 5%.

Si l'on constate une signification par exemple au seuil de 5%, cela implique qu'il subsistera une probabilité de 5% que la déviation constatée soit due à des causes fortuites. C'est pourquoi, si l'on a employé un test de signification au seuil de 5% pour rejeter l'hypothèse nulle formulée, il existe une probabilité de 5% que l'on ait rejeté cette hypothèse à tort, tandis que cette probabilité ne sera plus que de 1% si la déviation est significative au seuil de 1%.

Un test de signification est souvent considéré comme une norme automatique concernant l'acceptation ou le refus de l'hypothèse nulle. Comme on l'a mentionné plus haut, un test de signification ne pourra jamais rejeter avec une certitude de 100% une hypothèse, c'est pourquoi le sélectionneur doit tenir compte de ces limitations, et s'efforcer dans chaque cas de compléter les informations fournies par le test de signification par des informations sur le volume de données disponibles, l'expérience acquise dans des essais analogues, etc... (Brown et al., 1977).

## TESTS STATISTIQUES

Dans le paragraphe précédent nous avons indiqué les principes qui régissent les tests de signification. Nous ferons ci-dessous brièvement mention de 3 tests fréquemment employés, qui intègrent une bonne part des méthodes d'analyse les plus importantes mentionnées plus loin dans le présent exposé.

### Test $\chi^2$

La variable  $\chi^2$  est donnée par la formule suivante:

$$\chi_f^2 = \frac{(o_1 - e_1)^2}{e_1} + \frac{(o_2 - e_2)^2}{e_2} + \dots + \frac{(o_n - e_n)^2}{e_n}$$

$o_1 \dots o_n$  = fréquences observées

$e_1 \dots e_n$  = fréquences attendues

$f$  = nombre de degrés de liberté

Le test  $\chi^2$  s'emploie pour vérifier si les fréquences observées sont conformes aux fréquences attendues selon l'hypothèse nulle. Les valeurs calculées au moyen de la formule ci-dessus sont ajustées à la distribution de  $\chi^2$ , de façon à pouvoir les tester par comparaison avec la distribution théorique de  $\chi^2$ .

### Test t

Le test t est employé pour évaluer si les différences entre deux moyennes peuvent être considérées comme statistiquement significatives à un seuil de probabilité donné.

La valeur de t est calculée selon la formule suivante:

$$t_f = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

dans laquelle:

$\bar{x}_1$  et  $\bar{x}_2$  = moyennes estimées

$s$  = écart-type

$n_1$  et  $n_2$  = nombre d'observations servant de base au calcul de  $\bar{x}_1$  et  $\bar{x}_2$

$f$  = nombre de degrés de liberté =  $(n_1 - 1) (n_2 - 1)$

La valeur de t calculée est ajustée pour être comparée à la distribution théorique de t de Student.

### Test F

Le test F est employé pour tester l'homogénéité entre deux variances. La valeur de F est calculée selon la formule suivante:

$$F_{f_1, f_2} = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

dans laquelle;

$S_1^2$  et  $S_2^2$  = variances (carrés moyens)

$f_1$  et  $f_2$  = nombre de degrés de liberté pour  $S_1^2$  et  $S_2^2$

La base du test est la loi de F.

#### RECHERCHES PRELIMINAIRES

Avant de commencer l'analyse statistique proprement dite et l'interprétation des résultats des essais, il faut procéder à certaines recherches préliminaires, à la fois pour localiser des défauts et des erreurs directes dans l'ensemble de données et pour vérifier si les conditions requises pour l'exécution des analyses statistiques ont bien été remplies.

##### Valeurs aberrantes et manquantes

Dans un premier examen de l'ensemble de données, on doit rechercher s'il y a des valeurs qui s'écartent de manière importante des autres données, et que l'on doit supposer être affectées d'erreurs. Cette recherche peut se faire facilement, par exemple en reportant chaque donnée sur un diagramme, ce qui permet de localiser et étudier de plus près les valeurs fortement aberrantes, s'il y en a. Si l'on a affaire à une grande quantité de données et que l'on dispose d'un centre de traitement de données, il peut être avantageux d'utiliser un programme de tracé automatique pour ordinateur, qui est en passe de devenir un équipement normal de tous les centres de traitements informatique.

Une autre possibilité consiste à calculer les moyennes (par exemple moyennes de parcelles) et à réviser toutes les valeurs qui s'écartent par exemple de plus de 3 fois l'écart-type de la moyenne générale de l'essai. Portant sur une quantité assez importante de données, ces calculs prennent beaucoup de temps, c'est pourquoi il est plus facile de les effectuer sur ordinateur.

Outre ces vérifications sur les valeurs individuelles, il faut examiner s'il y a des valeurs manquantes, et vérifier d'une manière générale si le nombre d'observations par unité d'essai est conforme au plan d'essai.

Dans un dispositif simple comme la randomisation complète, il importe peu pour l'analyse de variance qu'il y ait une ou plusieurs valeurs manquantes, mis à part le fait que cela réduira le nombre de degrés de liberté pour l'erreur de l'essai. Avec d'autres dispositifs expérimentaux il pourra être nécessaire de remplacer les valeurs manquantes par des valeurs estimées pour pouvoir mener à bien l'analyse. Ces estimations se rapportant à différents dispositifs ont été exposées par Freese (1970). Outre qu'elles réduisent le nombre de degrés de liberté, les valeurs manquantes peuvent rendre plus difficile l'interprétation des résultats, notamment dans les dispositifs assez complexes.

##### Tests de conditions requises

La plupart des méthodes courantes d'analyse exigent que soient remplies certaines conditions en ce qui concerne l'ensemble de données. Nous mentionnerons ci-dessous 3 tests concernant des conditions essentielles: normalité, homogénéité de variance, additivité.

##### Tests de normalité

Considérant qu'un grand nombre de méthodes statistiques se fondent sur un ajustement des données expérimentales à la distribution normale, il sera souvent intéressant de disposer d'une méthode pour étudier cette normalité.

Pour l'épreuve de normalité on peut employer un test  $\chi^2$ , qui montrera si l'on peut s'attendre à ce que les données observées présentent une distribution conforme à la distribution normale. Snedecor et Cochran (1967) décrivent en détail la méthode d'exécution de ce test.

Ce test peut seulement montrer s'il y a conformité avec une distribution normale. Sinon, on peut utiliser des tests spéciaux pour un examen de Skewness et Murtosis, si l'on en dispose (Snedecor et Cochran, 1967).

#### Tests d'homogénéité de variance

Comme on l'a mentionné plus haut, le test F peut être employé pour étudier l'homogénéité entre deux variances. Mais s'il s'agit de tester plusieurs variances, on peut employer le test d'homogénéité de variance de Bartlett. Celui-ci est décrit en détail par Snedecor et Cochran (1967).

L'homogénéité de variance constitue l'une des conditions requises pour pouvoir effectuer le test t. Corrélativement, c'est une condition pour pouvoir réaliser un test F correct dans les analyses de variance.

#### Tests d'additivité

Dans les modèles statistiques que nous présentons plus loin dans cet exposé, on suppose que les facteurs individuels du modèle sont additifs, c'est-à-dire que le résultat obtenu dans une parcelle de l'essai peut s'exprimer comme la somme des effets du modèle, par exemple les effets de traitement, de bloc, et les effets résiduels. Pour étudier l'additivité, on peut employer le test de Turkey, décrit par Snedecor et Cochran (1967).

Cependant, l'étude préliminaire des données observées montrera souvent qu'il y a défaut d'additivité, puisque c'est seulement par une représentation graphique des données que l'on pourra révéler, dans bien ces cas, une non additivité.

#### Changement de variable

Si les tests mentionnés ci-dessus révèlent qu'une ou plusieurs des conditions requises ne sont pas remplies, il pourra être nécessaire d'opérer une transformation des données avant d'effectuer l'analyse statistique. On emploie le plus fréquemment les 3 formes suivantes de transformation:

1. Transformation arc sinus. Cette transformation peut être employée pour des valeurs de distribution binomiale exprimées en pourcentages de 0 à 100. Ce type de données se rencontre fréquemment dans les essais au stade de pépinière, où l'on estime par exemple le taux de survie, les dégâts de gel, etc...
2. Transformation en racine carrée. Cette transformation peut être employée dans les cas où la variance dépend de la moyenne, ce qui peut se produire par exemple dans les comptages de nombre de branches par verticille (Burley et Wood, 1976).
3. Transformation logarithmique. Cette transformation peut être employée dans les cas où la variance est proportionnelle au carré de la moyenne. Selon Burley et Wood (1976), cela peut s'appliquer par exemple à l'évaluation de la floraison, pour laquelle on peut employer une échelle logarithmique (1 = 1-5 fleurs par échantillon, 2 = 6-15 fleurs, 3 = 16-35 fleurs, etc...).

On trouvera une description détaillée des différentes transformations et de leurs applications dans Snedecor et Cochran (1967).

En dehors de la transformation en arc sinus de valeurs exprimées en pourcentages, dans la majorité des cas il n'est pas nécessaire, si les analyses sont effectuées sur la base des moyennes de parcelle, d'opérer une transformation des données. Néanmoins, le chercheur devra étudier et évaluer dans chaque cas les conséquences qui pourraient résulter d'un défaut de conditions requises pour les conclusions tirées de l'essai.

# TABLES DE CONTINGENCE

Dans de nombreux cas le sélectionneur est confronté au problème de la comparaison des proportions de 2 ou plusieurs échantillons indépendants.

On utilise fréquemment, surtout en matière de génétique qualitative (génétique mendélienne), les tables de contingence pour étudier si une variété donnée est conforme, en ce qui concerne une caractéristique qualitative, à ce qu'on attendait.

Mais également dans l'amélioration génétique des arbres forestiers, où l'on étudie en premier lieu les caractéristiques quantitatives, les tables de contingence peuvent nous intéresser pour les recherches préliminaires sur le matériel d'étude, ou pour l'étude des différents traitements.

A titre d'exemple nous présentons ci-dessous une table de contingence 3 x 2 contenant les résultats obtenus dans l'essai de deux types de machines à planter (I et II). Les plants sont répartis en 3 groupes (A = non endommagés, B = endommagés, C = tombés).

|                                 | A              | B            | C            | Total |
|---------------------------------|----------------|--------------|--------------|-------|
| Planteuse I observé<br>attendu  | 117<br>(116,1) | 31<br>(28,6) | 7<br>(10,3)  | 155   |
| Planteuse II observé<br>attendu | 131<br>(131,9) | 30<br>(32,4) | 15<br>(11,7) | 176   |
| Total                           | 248            | 61           | 22           | 331   |

Sur la base du groupement choisi (A, B, C), on peut rechercher, au moyen du test  $\chi^2$ , si l'on peut s'attendre à une différence entre les deux types de machines. On calcule préalablement le nombre attendu dans chaque cas du tableau, comme suit:

$$\text{Nombre attendu de plants non endommagés (A) par la machine I} = \frac{155 \times 248}{331} = 116,1$$

$$\text{Nombre attendu de plants endommagés (B) par la machine I} = \frac{155 \times 61}{331} = 28,6$$

etc...

$\chi^2$  se calcule comme suit:

$$\frac{(117 - 116,1)^2}{116,1} + \frac{(31 - 28,6)^2}{28,6} + \dots + \frac{(15 - 11,7)^2}{11,7} = 2,38$$

En consultant une table de  $\chi^2$  avec 2 degrés de liberté ((3-1) (2-1)=2), on voit que la valeur trouvée de 2,38 ne permet pas de supposer que les deux machines essayées sont différentes.

## ANALYSE DE VARIANCE

L'analyse de variance est la méthode la plus courante d'interprétation des résultats d'essai. Elle fournit les informations suivantes:

- 1) Estimation de la grandeur ou de la signification relative de chaque source de variation identifiable;
- 2) différences estimées entre les matériels, les traitements et les localités faisant l'objet de l'essai;
- 3) indication de la précision des différences estimées entre les moyennes calculées, par l'écart-type et les limites de confiance;
- 4) tests de signification statistique des variances et des différences.

La forme exacte de l'analyse de variance dépendra tant du dispositif d'essai que du modèle mathématique qui lui sert de base. En outre, le test de signification de même que l'interprétation ultérieure des résultats sont considérées comme fixées ou aléatoires.

L'essentiel de toutes les analyses, cependant, est l'évaluation des variances liées à chaque source de variation (par exemple matériel, localité, variation résiduelle).

Nous présenterons ci-dessous des exemples d'analyse pour 5 dispositifs différents (Scheffé, 1959; Searle, 1971).

#### Randomisation complète

Dans ce dispositif il n'y a qu'une source de variation systématique que l'on puisse identifier: c'est la variation entre traitements. Une variation systématique qui existerait dans la station ne peut être distinguée, étant masquée par la variation d'une parcelle à l'autre.

Le modèle mathématique a la forme suivante:

$$x_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} \quad \text{ou}$$

$x_{ij}$  = observation individuelle  
 $\mu$  = moyenne générale  
 $\alpha_i$  = effet du  $i^{\text{ème}}$  traitement  
 $\epsilon_{ij}$  = effet résiduel

Le tableau ci-dessous montre schématiquement comment se fait l'analyse de variance.

| Source de variation | Degrés de liberté | Somme des carrés                    | F |
|---------------------|-------------------|-------------------------------------|---|
| Entre traitements   | $a - 1$           | $\sum_i J_i (x_{i.} - x_{..})^2$    | ↑ |
| Résiduelle          | $N - a$           | $\sum_i \sum_j (x_{ij} - x_{i.})^2$ |   |
| Total               | $N - 1$           | $\sum_i \sum_j (x_{ij} - x_{..})^2$ |   |

$N$  = nombre total de parcelles de l'essai  
 $a$  = nombre de traitements  
 $J_i$  = nombre de parcelles pour le  $i^{\text{ème}}$  traitement  
 $x_{ij}$  = observation individuelle  
 $x_{i.}$  = moyenne calculée du  $i^{\text{ème}}$  traitement  
 $x_{..}$  = moyenne générale

Le test F figure dans la dernière colonne du tableau d'analyse. S'il montre des différences significatives entre les traitements ou entre les matériels, on peut calculer la différence réelle de D, et en outre les limites de confiance pour les différences individuelles entre les moyennes calculées.

La différence réelle de D (LSD) est calculée par la formule suivante:

$$LSD = t \times \frac{\sqrt{2.S}}{\sqrt{n}}$$

dans laquelle:

$t$  = paramètre  $t$  de Student à un seuil de probabilité donné

$\bar{S}$  = erreurs d'essai (carré moyen de variation résiduelle du tableau)

$n$  = nombre de parcelles constituant la base des données que l'on compare.

Les limites de confiance pour la différence entre moyennes peuvent être calculées à l'aide de la formule suivante:

$$D = (a_1 - a_2) \pm t.S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}},$$

dans laquelle:

$a_1$  et  $a_2$  = moyennes calculées des traitements  $a_1$  et  $a_2$

$t$  = paramètre de Student à un seuil de probabilité donné

$S$  = erreurs d'essai (CM de variation résiduelle du tableau)

$n_1$  et  $n_2$  = nombre d'observations formant la base de chacune des estimations de moyennes  $a_1$  et  $a_2$ .

#### Blocs aléatoires

L'analyse de variance pour un dispositif en blocs aléatoires est un peu plus difficile que pour en essai en randomisation complète. Il y a deux sources de variation pouvant être identifiées, les blocs et les traitements.

Le modèle mathématique a la forme suivante:

$$x_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}, \text{ où}$$

$x_{ij}$  = observation individuelle

$\mu$  = moyenne générale

$\alpha_i$  = effet du  $i^{\text{ième}}$  traitement

$\beta_j$  = effet du  $j^{\text{ième}}$  bloc

$\epsilon_{ij}$  = effet résiduel

( $i = 1, \dots, I$ )

( $j = 1, \dots, J$ )

Le tableau ci-dessous montre schématiquement comment se fait l'analyse de variance.

| Source de variation | Degrés de liberté | Somme des carrés                                      | F |
|---------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|---|
| Traitements         | $I-1$             | $J \sum_i (x_{i.} - x_{..})^2$                        | ↑ |
| Blocs               | $J-1$             | $I \sum_j (x_{.j} - x_{..})^2$                        |   |
| Résiduelle          | $(I-1)(J-1)$      | $\sum_i \sum_j (x_{ij} - x_{i.} - x_{.j} + x_{..})^2$ |   |
| Total               | $IJ-1$            | $\sum_i \sum_j (x_{ij} - x_{..})^2$                   |   |

Dans le cas où, à un seuil de probabilité donné, il y a des différences significatives entre les traitements, la différence réelle de D peut être calculée, et on peut déterminer des limites de confiance pour les différences.

Le test F figure dans la dernière colonne de l'analyse de variance.

### Carré latin

Il y a 3 sources de variation identifiables: lignes, colonnes et traitements, et il faut noter que les nombres de lignes, de colonnes et de traitements sont identiques. Au moyen de ce dispositif on peut isoler dans les calculs la variation qui existe entre les lignes aussi bien qu'entre les colonnes, c'est-à-dire que par rapport au dispositif en blocs aléatoires on a fait une division ultérieure des variations systématiques de la station. Comme il ressort du tableau d'analyse de variance présenté ci-dessous, ce dispositif assez strict conduit à un nombre de degrés de liberté pour la variance des erreurs réduit par rapport au dispositif en blocs aléatoires.

Le modèle mathématique a la forme suivante:

$$x_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \lambda_k + \epsilon_{ijk}, \text{ où}$$

$x_{ijk}$  = observation individuelle

$\mu$  = moyenne générale

$\alpha_i$  = effet de la  $i^{\text{ème}}$  ligne ( $i=1, \dots, I$ )

$\beta_j$  = effet de la  $j^{\text{ème}}$  colonne ( $j=1, \dots, I$ )

$\lambda_k$  = effet du  $k^{\text{ème}}$  traitement ( $k=1, \dots, I$ )

$\epsilon_{ijk}$  = effet résiduel

Le tableau ci-dessous montre schématiquement comment se fait l'analyse de variance.

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Somme des carrés                                                   | F                |
|-------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------|
| Entre lignes            | (I-1)             | $I \sum_i (x_{i..} - x_{...})^2$                                   | ↑<br>↓<br>↑<br>↓ |
| Entre colonnes          | (I-1)             | $I \sum_j (x_{.j.} - x_{...})^2$                                   |                  |
| Entre traitements       | (I-1)             | $I \sum_k (x_{...k} - x_{...})^2$                                  |                  |
| Résiduelle              | (I-1)(I-2)        | $\sum_{ijk} (x_{ijk} - x_{i..} - x_{.j.} - x_{...k} + 2x_{...})^2$ |                  |
| Total                   | $I^2 - 1$         | $\sum_{ijk} (x_{ijk} - x_{...})^2$                                 |                  |

\* En faisant la somme des valeurs représentées par i, j et k, on ne rencontrera pas toutes les combinaisons possibles.

Le test F figure dans le tableau; on calcule comme d'habitude la différence réelle entre les limites de confiance par la méthode de l'écart type.

### Blocs incomplets

Les dispositifs en blocs incomplets, et parmi eux plus particulièrement les dispositifs en treillis, sont relativement difficiles à analyser, et s'il s'agit d'essais assez grands et complexes, il est recommandable de recourir pour les analyses au traitement informatique des données.

Nous donnerons ci-dessous un brève description d'analyse générale à l'intérieur du bloc, qui peut également être employée pour les différents dispositifs en treillis.

Le modèle mathématique a la forme suivante:

$$x_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}, \text{ où}$$

$x_{ij}$  = observation individuelle

$\mu$  = moyenne générale

$\alpha_i$  = effet du  $i^{\text{ème}}$  bloc  $(i=1, \dots, I)$

$\beta_j$  = effet du  $j^{\text{ème}}$  traitement  $(j=1, \dots, J)$

$\epsilon_{ij}$  = effet résiduel

$N = I \cdot K$ ,  $K$  étant le nombre de parcelles par bloc

L'analyse de la variance est résumée dans le tableau suivant:

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Somme de carrées                          | F |
|-------------------------|-------------------|-------------------------------------------|---|
| Blocs                   | $I-1$             | $K \sum_i (x_{i.} - \bar{x}_{..})^2$      | 1 |
| Traitements             | $J-1$             | $K \sum_j Q_j^2 / \lambda I$              |   |
| Résiduelle              | $N-I-J+1$         | (différence)                              |   |
| Total                   | $N-1$             | $\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$ |   |

Il convient de faire sur ce tableau résumé les commentaires suivants:

La somme corrigée des carrés des traitements se calcule par la formule suivante:

$$K \times \sum_j Q_j^2 / \lambda I,$$

dans laquelle:

$\lambda$  = nombre de fois où 2 traitements se trouvent dans le même bloc

$$Q_j = T_j - \frac{1}{K} \times \sum_i n_{ij} B_i$$

$T_j$  = somme de toutes les observations comportant le traitement  $j$

$B_i$  = somme de toutes les observations dans le bloc  $i$

$n_{ij} = 1$  si le traitement se trouve dans le bloc  $i$ , ou  $= 0$

Le test F et le calcul de la différence réelle de D et des limites de confiance se font comme d'habitude.

Dans les dispositifs en treillis, au lieu de l'analyse "intra-blocs" présentée ci-dessus, on peut effectuer une analyse "entre-blocs", utilisation également une variation pouvant exister entre les blocs. L'analyse "entre blocs" est décrite en détail par Cochran et Cox (1957), et Burley et Wood (1976) expliquent la méthode d'analyse en ce qui concerne les essais de provenances.

Les analyses de dispositifs en treillis se compliqueront considérablement s'il y a des valeurs manquantes, et dans un tel cas il pourra être nécessaire d'effectuer l'analyse comme pour les dispositifs en blocs aléatoires, en faisant alors abstraction de la division en blocs incomplets.

#### Parcelles subdivisées

Les dispositifs en parcelles subdivisées comprennent à la fois des parcelles principales et des sous-parcelles. Les parcelles principales peuvent être réparties selon différents dispositifs, mais dans ce qui suit nous supposons que les parcelles principales sont groupées en blocs selon un dispositif aléatoire. Chaque parcelle principale est divisée en un ensemble de sous-parcelles.

Le modèle mathématique a la forme suivante:

$$x_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \lambda_{ij} + \psi_k + \xi_{ik} + \epsilon_{ijk}, \text{ dans laquelle:}$$

- $x_{ijk}$  = observation individuelle
- $\mu$  = moyenne générale
- $\alpha_i$  = effet du  $i^{\text{ième}}$  traitement (A) ( $i = 1, \dots, I$ )
- $\beta_j$  = effet du  $j^{\text{ième}}$  bloc ( $j = 1, \dots, J$ )
- $\lambda_{ij}$  = erreur (A) ( $k = 1, \dots, K$ )
- $\psi_k$  = effet du  $k^{\text{ième}}$  traitement (B)
- $\xi_{ik}$  = interaction entre A et B
- $\epsilon_{ijk}$  = effet résiduel (erreur B)

L'analyse de variance se présente comme suit:

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Somme des carrés                                        | F |
|-------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------|---|
| Traitements (A)         | I-1               | $JK \sum_i (x_{i..} - x_{...})^2$                       | ↑ |
| Blocs                   | J-1               | $IK \sum_j (x_{.j.} - x_{...})^2$                       |   |
| Erreur (A)              | (I-1)(J-1)        | $K \sum_{ij} (x_{ij.} - x_{i..} - x_{.j.} + x_{...})^2$ |   |
| Traitements (B)         | K-1               | $IJ \sum_k (x_{..k} - x_{...})^2$                       | ↑ |
| (A) x (B)               | (I-1)(K-1)        | $J \sum_{ik} (x_{.ik} - x_{i..} - x_{..k} + x_{...})^2$ |   |
| Résiduelle (Erreur(B))  | J(I-1)(K-1)       | (différence)                                            |   |
| Total                   | IJ(K-1)           | $\sum_{ijk} (x_{ijk} - x_{...})^2$                      |   |

Comme il ressort de ce tableau résumé, on emploie deux variances d'erreurs pour tester les effets liés respectivement aux parcelles principales et aux sous-parcelles.

La différence réelle de D et les limites de confiance sont calculées de même en employant des écarts-type différents pour les parcelles principales et pour les sous-parcelles.

Le dispositif en parcelles subdivisées est avantageux dans les cas où l'on désire obtenir pour les effets liés aux sous-parcelles une précision plus grande que pour les effets liés aux parcelles principales.

#### ANALYSE DE CORRELATION

Le coefficient de corrélation simple mesure le degré de liaison linéaire entre deux variables. Cela peut souvent nous intéresser dans l'amélioration génétique des arbres forestiers, ou pour rechercher la corrélation entre caractères dans un même individu, ou encore la corrélation d'un caractère entre des individus différents et souvent apparentés.

Le coefficient de corrélation simple ( $r$ ) se calcule comme suit:

$$r = \frac{SP_{xy}}{\sqrt{SC_x} \sqrt{SC_y}}$$

SP étant la somme des produits des valeurs correspondantes de  $x$  et  $y$ ,  $SC_x$  et  $SC_y$  respectivement les sommes des carrés des écarts pour les valeurs de  $x$  et  $y$ .

La valeur de  $r$  peut varier entre  $-1$  et  $+1$ , ce deux chiffres indiquant respectivement une corrélation négative ou positive parfaite, c'est-à-dire que tous les points d'une représentation graphique à deux dimensions sont situés sur une ligne droite inclinée vers le bas (corrélation négative) ou vers le haut (corrélation positive).

La signification statistique d'un coefficient de corrélation à un seuil de probabilité donné peut être déterminée de la manière suivante:

Hypothèse nulle: le coefficient de corrélation a la valeur hypothétique  $\rho = 0$ .

Comme grandeur de test on utilise:

$$t = \frac{r \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Si en consultant une table de  $t$  on constate que la valeur de  $t$  avec  $(n-2)$  degrés de liberté est significative à un seuil de probabilité donné, on peut rejeter l'hypothèse nulle formulée.

#### ANALYSE DE REGRESSION

La relation entre des valeurs déterminées d'une variable et la moyenne de toutes les valeurs corrélatives d'une autre variable qui dépend de la première est désignée sous le nom de régression de la seconde variable par rapport à la première.

La régression s'exprime sous la forme générale suivante:

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \epsilon_i, \text{ dans laquelle}$$

$y$  = variable dépendante  
 $\alpha$  = coefficient  
 $\beta$  = coefficient (pente de la droite)  
 $x$  = variable indépendante  
 $\epsilon$  = effet résiduel

Les coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  sont calculés comme suit :

$$b = \frac{SP_{xy}}{SC_x} ; \quad a = \bar{y} - b \bar{x}$$

La régression linéaire peut être testée quant à la signification au moyen d'une analyse de variance, comme le montre le tableau suivant :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Somme des carrés         | F |
|-------------------------|-------------------|--------------------------|---|
| Régression              | 1                 | $b \cdot SP_{xy}$        | ↑ |
| Résiduelle              | $I-2$             | (différence)             |   |
| Total                   | $I-1$             | $\sum (y_i - \bar{y})^2$ |   |

Dans de nombreux cas il sera nécessaire d'utiliser un modèle plus complexe, comportant plusieurs variables indépendantes (régression multiple), et dans lequel on peut également trouver des termes de carrés ou de produits entre variables distinctes.

#### ANALYSE DE COVARIANCE

Comme dans le cas des analyses de variance, il existe pour les analyses de covariance une série de modèles différents, mais nous ne donnerons ci-dessous qu'un seul exemple d'un modèle correspondant à un essai en randomisation complète dans lequel, outre l'effet systématique unique identifiable, on a enregistré une donnée supplémentaire en rapport avec chaque mesure.

Dans l'analyse de covariance on fait un ajustement des valeurs de parcelles trouvées, au moyen d'un covariable. Dans la majorité des cas il s'agit d'ajustements de compensation de différences existant dans les stations, mais il peut aussi s'agir d'ajustements correspondants de compensation de la valeur initiale du matériel, etc...

Le modèle mathématique a la forme suivante :

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta(x_{ij} - x_{..}) + \epsilon_{ij} \quad , \text{ dans laquelle}$$

$y_{ij}$  = observation individuelle

$\mu$  = moyenne générale

$\alpha_i$  = effet du  $i^{\text{ième}}$  traitement  $(i = 1, \dots, I)$

$\beta$  = coefficient

$x_{ij}$  = covariable

$\epsilon_{ij}$  = effet résiduel

$N$  = nombre total de parcelles de l'essai

L'analyse de la covariance est résumée dans le tableau suivant:

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Somme des carrés                                                                                           | F |
|-------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Traitements             | I-1               | $SC_{\text{trat.}} = SC_{\text{tot.}} - SC_{\text{res.}}$                                                  | 1 |
| x (covariance)          | 1                 | $SC_{\text{Cov}} = \frac{(\sum_{ij} (x_{ij} - x_{i.})(y_{ij} - y_{i.}))^2}{\sum_{ij} (x_{ij} - x_{i.})^2}$ |   |
| Résiduelle              | N-I-1             | $SC_{\text{res.}} = \sum_{ij} (y_{ij} - y_{i.})^2 - SC_{\text{Cov}}$                                       |   |
| Total                   | N-1               | $SC_{\text{tot}} = \sum_{ij} (y_{ij} - y_{..})^2$                                                          |   |

En introduisant ainsi la covariable dans l'analyse, il est possible, comme le montre le tableau, de calculer un carré moyen des écarts et un carré moyen de traitement corrigés, après quoi on peut procéder au test F de la manière habituelle.

#### COMPOSANTES DE LA VARIABILITE

Si, dans une analyse, on a affaire à des variables aléatoires, les carrés moyens calculés peuvent être décomposés en une ou plusieurs composantes de variabilité, chacune se rapportant à une source de variation identifiable. Le tableau ci-dessous montre la distribution du carré moyen attendu dans un dispositif en blocs aléatoires.

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Carré moyen attendu                        |
|-------------------------|-------------------|--------------------------------------------|
| Traitements             | I-1               | $\sigma_e + J \cdot \sigma_{\text{trait}}$ |
| Blocs                   | J-1               | $\sigma_e + I \cdot \sigma_{\text{bloc}}$  |
| Résiduelle              | (I-1) (J-1)       | $\sigma_e$                                 |
| Total                   | IJ-1              |                                            |

$\sigma_{\text{trait.}}$  = composante de traitements  
 $\sigma_{\text{bloc}}$  = composante de blocs  
 $\sigma_e$  = composante résiduelle

Au moyen des valeurs des carrés moyens calculées dans l'analyse on pourra calculer les composantes de la variabilité.

L'application la plus importante des composantes de variabilité en matière d'amélioration génétique des arbres forestiers est l'évaluation de paramètres génétiques à l'intérieur de populations, pour pouvoir entre autres pronostiquer le gain génétique pouvant être obtenu par sélection.

On ne décrira pas ici en détail les différents paramètres génétiques, ce thème devant être traité à fond dans l'exposé sur la génétique quantitative.

BIBLIOGRAPHIE

- Brown, A.G. and Matheson, A.C.  
1977  
Statistics: Interpretation of Results. International Training Course in Forest Tree Breeding, Canberra, Australia
- Burley, J. and Wood, P.J.  
1976  
A manual on Species and Provenance Research with particular reference to the Tropics. CFI, Oxford, England.
- Cochran, W.G. and Cox, M.G.  
1957  
Experimental Designs, John Wiley and Sons, Inc. London.
- Freese, F.  
1970  
Métodos Estadísticos Elementales para Técnicos Forestales, Centro Regional de Ayuda Técnica, México/Buenos Aires.
- Kempthorne, O.  
1975  
The Designs and Analysis of Experiments. R.E. Krieger Publishing Company, New York, U.S.A.
- Scheffé, H.  
1959  
The Analysis and Variance, John Wiley and Sons, Inc., New York, U.S.A.
- Searle, S.R.  
1971  
Linear Models. John Wiley and Sons, Inc. New York, U.S.A.
- Snedecor, G.W. and Chochran, W.G.  
1967  
Statistical Methods, The Iowa State University Press, Ames, Iowa, U.S.A.

\* \* \* \* \*



Une question embarrassante.... (plantation expérimentale de Bombacopsis quinata)

ESSAIS D'ESPECES ET DE PROVENANCES 1/

R.L. Willan  
Division des ressources forestières  
FAO  
I-00100 Rome, Italie

TABLE DES MATIERES

Objectifs

Nécessité des essais d'espèces et de provenances

Types, séquence et durée des essais

Contrôle et suivi des essais

Evaluation des stations

Comparaison des homoclimes et choix des espèces à essayer

Limitations pratiques

Les différentes phases des essais d'espèces et leur durée

Phase d'élimination d'espèces

Phase d'essai d'espèces

Phase de confirmation d'espèces

Les différentes phases des essais de provenances et leur durée

Phase d'essai de provenances de toute l'aire de l'espèce

Phase d'essai de provenances restreintes

Phase de confirmation de provenances

Taille et forme des parcelles, concurrence

Dispositifs expérimentaux

Traitement sylvicole et protection

Priorités dans les évaluations de terrain

Enregistrement des résultats

Coopération internationale

Résumé

Bibliographie

1/ La plus grande partie de cet exposé se compose d'extraits de la publication du Commonwealth Forestry Institute de l'Université d'Oxford "A Manual on species and provenance research, with particular reference to the tropics", compiled by J. Burley and P.J. Wood. Tropical Forestry Papers No. 10 and 10A, Oxford, 1979 (disponible en anglais et espagnol - version française non publiée).

## OBJECTIFS

Comme nous l'avons dit dans l'exposé sur l'amélioration des arbres forestiers en relation avec la politique forestière nationale, les objectifs du reboisement, et par conséquent aussi des essais d'espèces et de provenances, doivent être énoncés avec précision à l'avance, en ce qui concerne les biens et services à produire. Les produits pourront avoir différents usages, ainsi un peuplement destiné à la production de sciages donnera en éclaircie des perches et du bois de feu, ou au contraire avoir une destination bien précise, telle que placages de haute qualité pour l'exportation. Il se peut aussi que l'on attende du reboisement des services tels qu'embellissement du paysage, ombrage, abri ou amélioration des sols.

## NECESSITE DES ESSAIS D'ESPECES ET DE PROVENANCES

Des essais sont nécessaires chaque fois que l'on manque d'informations suffisantes soit sur les exigences d'une essence, soit sur les caractéristiques de la station, soit encore sur les deux. Dans de tels cas, s'engager dans des projets de reboisement sans un programme d'expérimentation soigneusement planifié et exécuté mène souvent à des échecs coûteux.

Le choix des espèces et provenances à utiliser en reboisement comporte une extrapolation d'informations venant d'ailleurs. Il suffit rarement d'assortir écologiquement une nouvelle station à l'habitat d'origine d'une espèce, car cela ne permet pas de révéler son adaptabilité à de nouvelles conditions ou son aptitude à bien pousser sur une large gamme de stations. Lorsqu'on manque d'information, le meilleur moyen pour l'acquérir consiste à essayer un certain nombre d'espèces en petites parcelles sur des stations représentatives de la zone que l'on se propose de reboiser. À la condition que les places d'essai soient soigneusement choisies pour fournir un échantillon de toute la zone de reboisement, et que les essais soient bien menés, l'extrapolation des résultats obtenus sur ces petites parcelles sera bien moins risquée que des comparaisons imprécises, basées sur des données insuffisantes, entre des régions du monde distantes l'une de l'autre.

L'opportunité des essais d'espèces et de provenances est maintenant généralement admise, mais souvent la nécessité d'une planification, d'un entretien et d'une évaluation soignés de ces essais a été moins bien appréciée. Les essais en eux-mêmes peuvent être vains et trompeurs s'ils sont mal conçus ou mal exécutés, et une prolifération de parcelles d'essai, si elles sont mal situées, mal entretenues et mal protégées, ne suppléera jamais à un programme modeste mais bien étudié, et adapté aux ressources humaines et financières disponibles. L'objectif est d'obtenir le plus d'information possible pour un coût donné, ou inversement d'obtenir l'information désirée au coût le plus bas possible.

Pour les essences qui ont une vaste aire géographique ou écologique naturelle, les essais de provenances sont indispensables. On peut être facilement induit en erreur, dans la comparaison d'essences de reboisement, si l'on ne connaît pas toute la gamme de variation intraspécifique.

## TYPES, SEQUENCE ET DUREE DES ESSAIS

La phase ultime est, évidemment, le projet complet de reboisement où les populations d'origine se trouvent réduites à une ou deux provenances d'une espèce ou d'un petit nombre d'espèces, et où les plantations annuelles se comptent par centaines ou milliers d'hectares. On doit reconnaître qu'il n'existe pas pour les différents stades d'essais de mode opératoire ou de chronologie normalisés; d'autre part, il n'est pas nécessaire de passer toujours par chaque étape. Toutefois, on rencontre couramment les phases distinctes suivantes, soit successivement (séquence), soit simultanément en combinaison ou en parallèle.

La phase d'élimination d'espèces consiste à essayer un grand nombre d'espèces possibles en petites placettes pendant une courte période (1/10 à 1/5 de révolution) afin d'apprécier leur taux de survie et d'avoir une idée de leur croissance potentielle. La phase d'essai d'espèces a pour objet l'essai comparatif d'un nombre réduit d'espèces paraissant intéressantes, en plus grandes parcelles et pendant une période plus longue (1/4 à 1/2 révolution). La phase de confirmation d'espèces est destinée à vérifier, en conditions normales de reboisement, la supériorité d'un petit nombre d'espèces probables.

Trois phases similaires s'appliquent aux essais de provenances pour les espèces ayant une vaste aire naturelle: une phase d'échantillonnage de provenances de toute l'aire, une phase d'échantillonnage restreint de provenances, et une phase de confirmation de provenances. Etant donné que ces essais s'appliquent en règle générale à des espèces retenues comme intéressantes, la taille des parcelles et la durée des phases peuvent être supérieures à celles des phases comparables des essais d'espèces.

#### CONTROLE ET SUIVI DES ESSAIS

La planification détaillée et la conduite des essais d'espèces et de provenances entrent dans les attributions du sylviculteur ou du responsable de la recherche. Cependant, le chef du service forestier dont il dépend doit être capable d'apprécier la valeur des recherches menées et de décider si elles répondront efficacement aux questions en jeu, et dans la limite des ressources disponibles.

Pour faciliter ce contrôle, il peut être demandé au personnel de recherche de présenter un plan de contrôle d'exécution pour chaque essai d'espèces et de provenances, ce plan devant être vérifié et approuvé avant le démarrage du projet. Après amendements éventuels, le chef du service forestier doit signifier son approbation par écrit; cela lui confère l'obligation morale de faire de son mieux pour assurer la disponibilité continue de fonds et de personnel pour le projet. S'il n'en était pas ainsi, cela ne vaudrait guère la peine de commencer. Une fois le projet démarré, cependant, des rapports périodiques devront être exigés (en général rapports annuels).

Un projet pilote de reboisement peut souvent constituer une étape intermédiaire essentielle entre les essais d'espèces et de provenances et les reboisements à grande échelle. Il permettra au forestier de définir les techniques culturales et les méthodes de gestion optimales, et de prendre la décision capitale de poursuivre ou non le programme de reboisement en vraie grandeur.

Il ne faut pas oublier que dans certains cas les résultats des essais d'espèces et de provenances s'appliqueront à la seconde révolution plutôt qu'à la première. C'est ainsi par exemple que de nombreux pays plantent déjà de grandes surfaces de Pinus caribaea var. hondurensis Barr. et Golf., issu principalement de Mountain Pine Ridge au Bélize, et certains, en fait, ont entrepris des programmes de sélection basés sur ce matériel. Néanmoins il se peut que d'autres provenances soient meilleures, ou renferment des gènes intéressants, et ces pays devraient procéder à des essais comparatifs en vue d'identifier de telles provenances pour les reboisements futurs. Il y a un danger que les forestiers ayant une source de semences facilement accessible d'une espèce ou provenance "satisfaisante" n'éprouvent pas la nécessité d'en essayer d'autres qui pourraient éventuellement être meilleures.

#### EVALUATION DES STATIONS

Il importe de bien voir qu'un essai ne mesure pas simplement le comportement d'une espèce ou provenance donnée, mais son comportement sur une certaine station avec un traitement culturel déterminé, chacun de ces facteurs réagissant sur les deux autres. C'est pourquoi la reconnaissance et la cartographie des principaux types de stations d'une zone de reboisement présumée constituent un préliminaire indispensable à un programme rationnel d'essais d'espèces et de provenances, permettant d'extrapoler les résultats d'essais à des stations à reboiser de même type.

Il n'est pas satisfaisant d'implanter les essais en les répartissant au hasard dans les zones que l'on envisage de reboiser. Il est en effet peu probable que celles-ci présentent des caractéristiques écologiques uniformes, et une implantation aléatoire des essais risque de laisser de côté dans l'échantillonnage un type important de stations.

L'évaluation des stations doit par conséquent procéder par division et subdivision successives pour arriver à des unités écologiques permettant de planifier et interpréter utilement les essais.

Chaque unité doit être une "station", telle que définie par Coile (1952): "une portion de terrain présentant une combinaison caractéristique de facteurs édaphiques, topographiques, climatiques et biotiques".

La définition ultime de ces stations dépendra du degré de variabilité rencontré. On peut toutefois indiquer une marche à suivre générale.

Chaque zone de réboisement proposée sera classée en fonction de:

- i) sa latitude - arrondie au degré le plus proche (la latitude est en relation avec la longueur du jour);
- ii) la répartition de la pluviométrie au cours de l'année, par exemple pluviométrie uniforme, une saison sèche, deux saisons sèches. Si la pluviométrie annuelle présente une variation importante à l'intérieur d'une catégorie, il faudra faire une division secondaire en fonction de la pluviométrie annuelle moyenne.

On tracera les limites des périmètres proposés sur des cartes ou mosaïques de photographies aériennes, de préférence à l'échelle de 1:50 000. Sur ces cartes, ou sur une série de calques superposés, on marquera les indications suivantes, dans l'ordre:

- i) limites d'unités géologiques, ou de grands groupes de sols;
- ii) limites d'unités géomorphologiques marquantes, telles que plaines d'inondation, bassins hydrologiques, reliefs ondulés, plateaux morcelés;
- iii) limites de grandes unités topographiques, telles que fond de vallée, versant, crête, plateau.

Les unités ultimes de la classification seront par conséquent des unités topographiques.

#### COMPARAISON DES HOMOCLIMES ET CHOIX DES ESPECES A ESSAYER

Une analogie étroite entre l'habitat naturel d'une espèce et la station sur laquelle on veut l'introduire n'élimine pas la nécessité d'essais, étant donné que, aussi précises que soient les formules utilisées, l'adaptation et la plasticité d'une espèce ne peuvent être évaluées sans essais. En outre, la répartition naturelle d'une espèce peut être due autant à l'incidence des feux, à la concurrence écologique ou à l'action de l'homme qu'à des caractéristiques mesurables du climat et du sol. De nombreuses espèces donnent des résultats remarquablement meilleurs dans un nouveau milieu que dans leur habitat naturel - Pinus radiata et Eucalyptus saligna en sont d'excellents exemples.

Par ailleurs les informations fournies par les résultats d'une essence introduite dans un climat homologue peuvent être d'une bien plus grande valeur, et la consultation d'information provenant d'autres pays permet souvent de réduire considérablement le nombre d'espèces possibles, et peut amener à inclure dans les essais de provenance des races locales intéressantes.

Des essences manifestement inadaptées - par exemple le douglas à basse altitude en zone équatoriale - peuvent être éliminées dès le départ, mais dans des cas plus incertains il vaut sans doute mieux laisser une essence s'éliminer d'elle-même dans un essai, au lieu de l'écarter pour des motifs théoriques pour ensuite avoir à la reconsidérer lorsque ces motifs auront été oubliés. D'autre part il vaut souvent la peine d'essayer à nouveau une essence qui aurait dû théoriquement réussir, mais a échoué, parce que l'emploi de meilleures techniques, ou la constitution de populations mycorhizales, peuvent renverser des échecs antérieurs.

Il est généralement désirable d'inclure dans les essais une espèce ou provenance bien connue, qui servira d'étalon de référence pour juger les performances des populations non connues.

## LIMITATIONS PRATIQUES

Les dimensions d'un programme d'essais d'espèces et de provenances dépendent de nombreux facteurs, parmi lesquels les disponibilités en personnel, en fonds et en terres, non seulement pour les essais, mais aussi pour les reboisements qui y feront suite. La sécurité de jouissance des terrains d'essai, et l'appui des autorités publiques pour la protection des essais eux-mêmes, sont indispensables. La disponibilité de personnel qualifié conditionnera le genre de travaux qui pourront être entrepris, et des programmes de formation pourront être un élément nécessaire du projet. La disponibilité de moyens de transport peut être décisive dans certains pays.

Le programme d'opérations doit être soigneusement étudié à l'avance, et les coûts évalués aussi exactement que possible. Les coûts totaux doivent inclure non seulement les dépenses initiales, mais également l'entretien indispensable des parcelles pendant toute la durée de l'expérimentation.

Lorsque le personnel ou les finances sont un facteur limitant - ce qui est le cas le plus général -, le travail à faire doit être limité par avance, et dans certains cas une série d'essais avec des répétitions insuffisantes peut être mieux que rien. Une estimation précise de l'interaction essence/station, en revanche, coûte cher, et il faut prévoir les fonds nécessaires.

La nécessité de limiter le programme de recherche à une taille pratique rend essentielle une localisation des parcelles d'essai qui assure:

- a) une couverture représentative des principaux types de stations;
- b) un accès aisé pour l'entretien et les mensurations.

Des parcelles plus nombreuses exigent un périmètre plus long, et par suite une protection plus coûteuse. De nombreuses répétitions et un grand nombre d'espèces nécessitent un marquage et une supervision méticuleux, qui peuvent être difficiles avec un personnel de terrain relativement peu formé. La valeur de propagande d'un ensemble de parcelles vigoureuses visibles d'une route peut être considérable et, d'un point de vue pratique, plus le dispositif statistique et expérimental est simple, mieux cela vaut.

## LES DIFFERENTES PHASES DES ESSAIS D'ESPECES ET LEUR DUREE

### Phase d'élimination d'espèces

Object: Comparer les performances d'un grand nombre d'espèces différentes sur une ou plusieurs stations, et en sélectionner un plus petit nombre pour des essais plus intensifs.

Caractéristiques: L'unité ou parcelle pour chaque espèce est maintenue aussi petite que possible.

La durée de ces essais est normalement de 0,1 à 0,2 révolution, et il peut y avoir de 20 à 40 espèces essayées au stade initial, mais souvent on continue à introduire d'année en année un petit nombre de nouvelles espèces.

### Phase d'essai d'espèces

Objet: Comparaison d'un nombre restreint d'espèces, en fonction de l'expérience précédente, sur des stations comprises dans une large région climatique.

Caractéristiques: Il est particulièrement important d'avoir un dispositif statistique bien étudié, et les parcelles doivent être d'une taille qui permette de faire des évaluations sûres au moins jusqu'à la première éclaircie.

La durée de ces essais pourra être d'environ 0,5 révolution, et ils pourront à ce stade porter sur 5 à 10 espèces.

### Phase de confirmation d'espèces

- Objet: Confirmer, dans des conditions normales de reboisement, les résultats donnés par un petit nombre d'espèces qui se sont montrées supérieures dans les phases précédentes.
- Caractéristiques: Les parcelles doivent être suffisamment grandes pour fournir des données sur la croissance et le rendement pour la révolution entière. Les bandes périmétrales doivent être suffisamment larges pour éliminer ou réduire au minimum l'effet de bordure. Outre les méthodes de plantation "normales", il peut y avoir lieu d'essayer d'autres techniques sylvicoles, toujours selon un dispositif statistiquement valable. Il peut être approprié d'étudier également à ce stade la qualité du bois.

### LES DIFFERENTES PHASES DES ESSAIS DE PROVENANCES ET LEUR DUREE

La succession "idéale" des essais de provenances suit de très près celle qui a été indiquée ci-dessus pour les essais d'espèces. On peut en désigner ainsi les différentes phases: essai de provenances de toute l'aire de l'espèce, essai de provenances restreintes, confirmation de provenances.

#### Phase d'essai de provenances de toute l'aire de l'espèce

- Objet: Déterminer l'amplitude et le mode de variation entre provenances (populations) d'une espèce prometteuse présentant une large variation naturelle.
- Caractéristiques: Selon la distribution géographique et la variation de l'espèce, ce stade pourra comporter de 10 à 30 provenances. Il indiquera souvent des groupes de provenances intéressantes, et également des zones d'où il convient d'éviter des importations de semences à grande échelle.

Cette phase est souvent menée concurremment avec celle d'élimination ou d'essai d'espèces. La taille des parcelles doit être petite, mais suffisante pour une durée de 0,25 à 0,5 révolution.

#### Essai de provenances restreintes

- Objet: Déterminer les sous-régions et finalement les provenances les plus appropriées pour les stations considérées.
- Caractéristiques: Les différences à déceler entre provenances peuvent être relativement faibles, et le dispositif expérimental doit en tenir compte. On peut en règle générale escompter de 3 à 5 provenances, avec une durée excédant 0,5 révolution, sur des parcelles de taille appropriée. Cette phase est souvent menée concurremment avec celles d'essai et de confirmation d'espèces. On doit inclure des races locales et autres provenances dérivées lorsque c'est possible.

#### Phase de confirmation de provenances

A ce stade une ou deux provenances seulement auront été sélectionnées pour chaque espèce, station et utilisation finale. La marche à suivre est la même que celle décrite pour les essais de confirmation d'espèces.

### TAILLE ET FORME DES PARCELLES, CONCURRENCE

La taille des parcelles, comme on l'a indiqué plus haut, dépend de la durée de l'essai et de la rapidité de croissance attendue des arbres.

La dépense étant aussi un facteur important, il ne faut pas oublier que les essais sont faits pour fournir des informations, et que celles-ci peuvent être obtenues de petites parcelles aussi bien que de grandes. La parcelle monoarbre est d'usage limité, sauf lorsqu'on procède à un essai de survie précoce d'un grand nombre d'espèces ou de provenances, mais c'est une méthode économe en espace et en argent, et qui se prête à un degré élevé de répétition. En admettant un espacement initial de 2 à 3 mètres, on peut recommander les nombres d'arbres suivants par parcelle.

#### Phase d'élimination d'espèces

Taille de parcelle minima: rangée de 5 arbres; maxima: 25 arbres (5 x 5). Pas de bordures d'isolement.

#### Phase d'essai d'espèces

Taille de parcelle: 16-25 arbres (4 x 4 ou 5 x 5), plus 1 ou 2 rangs de bordure.

#### Phase de confirmation d'espèces

Les estimations de rendement étant importantes, une parcelle centrale de 100 arbres (10 x 10), plus 2 rangs de bordure, peut être considérée comme un minimum.

#### Phase d'essai de provenances de toute l'aire de l'espèce

Parcelles de 25 arbres, sans bordures.

#### Phase d'essai de provenances restreintes

Parcelles de 25-49 arbres, 0 ou 2 rangs de bordure.

#### Phase de confirmation de provenances

Parcelles de 100 arbres (ou plus), 1 ou 2 rangs de bordure.

Les parcelles sont habituellement carrées ou rectangulaires, mais peuvent au besoin être allongées pour s'adapter à la configuration du terrain.

### DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

Ce sujet est traité dans un autre exposé. Le dispositif le plus couramment utilisé est celui en blocs aléatoires complets. Il est simple, souple et solide, mais il est moins approprié s'il y a de nombreuses espèces ou provenances à comparer.

### TRAITEMENT SYLVICOLE ET PROTECTION

Il faut appliquer un traitement "de luxe", c'est-à-dire prendre les mesures voulues pour éliminer les risques locaux, par exemple en pratiquant un désherbage intensif ou en employant des insecticides contre les fourmis coupe-feuilles ou les termites, afin de réduire au minimum la possibilité que les méthodes culturales masquent les effets des autres caractéristiques de la station. En règle générale, par conséquent, la végétation concurrente doit être réduite au minimum, et le type de plants et les méthodes de plantation doivent être optimaux pour la zone considérée.

Le plan d'expérimentation doit comporter des prescriptions explicites sur des points tels que la nécessité de clôtures ou de fertilisation, le remplacement des manquants, le désherbage, la protection contre le feu et les parasites, l'élagage, les éclaircies. A la plantation il est essentiel de s'assurer que les plants sont toujours clairement étiquetés, et que leur mise en place est organisée de manière à éviter dans les parcelles d'espèces et de provenances une confusion due à une variation dans le savoir-faire des ouvriers planteurs.

# PRIORITES DANS LES EVALUATIONS DE TERRAIN

L'évaluation est coûteuse en temps et en argent, c'est pourquoi le plan de contrôle doit spécifier quels sont les caractères à évaluer, et le calendrier des évaluations.

Les premières observations à faire au stade de terrain sont l'évaluation de la hauteur quelques semaines après la plantation (pour permettre au sol de se rasseoir), et un comptage de reprise.

Le tableau ci-dessous présente des notes sur les principales évaluations.

| Caractère                                                                                            | Fréquence/stade                                                                | Méthode                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Etat sanitaire                                                                                       | Continu                                                                        | Noter l'incidence des parasites et maladies. Identifier les parasites et agents pathogènes.                                                                         |
| Survie                                                                                               | A 1 an.<br>Par la suite après des extrêmes climatiques, etc...                 | Comptage à 100%.<br>Comptage sur échantillons.                                                                                                                      |
| Hauteur moyenne (h)                                                                                  | Tous les ans jusqu'à environ 7 m de hauteur, ensuite tous les 2-5 ans.         | Utiliser une perche graduée jusqu'à 7 m, ensuite un instrument optique.<br>Précision souhaitable: 5%.<br>Mesure à 100% aux stades initiaux, ou par échantillonnage. |
| Hauteur dominante ( $\bar{h}_{dom}$ ) = hauteur moyenne des 100 arbres de plus gros diamètre à 1'ha. | Tous les ans jusqu'à 7 m de hauteur, ensuite tous les 3-5 ans.                 | Comme ci-dessus, mais demande moins de temps.<br>Précision: comme ci-dessus.                                                                                        |
| Diamètre moyen ( $\bar{d}$ ) à hauteur d'homme (1,30 m du sol).                                      | Tous les ans à partir du moment où les arbres ont 2-3 m de hauteur.            | Ruban gradué en diamètres (le plus pratique), ou compas forestier. Mesure à 100% indispensable. Précision souhaitable: 1-2 mm.                                      |
| Surface terrière                                                                                     |                                                                                | Obtenue à partir des mesures de d.                                                                                                                                  |
| Forme et fût. Taille et angle des branches.                                                          | A partir du moment où les arbres ont 7 m de hauteur, ensuite tous les 3-5 ans. | Systèmes simples et réalistes les meilleurs, utilisant une notation de 1 à 7.                                                                                       |
| Epaisseur de l'écorce                                                                                | A chaque mesure de d, et lors des éclaircies.                                  | Jauge d'écorce, ou écorçage lors de l'éclaircie; échantillon 5-10% des arbres.                                                                                      |

## ENREGISTREMENT DES RESULTATS

Un système clair et précis d'enregistrement des données est essentiel pour tout le travail d'expérimentation. Chaque donnée individuelle doit être clairement identifiée; les erreurs de notation et de transcription n'ont que trop tendance à se produire. Le plus souvent les données sont enregistrées à la main sur des formulaires spéciaux, lesquels doivent être d'un emploi simple, et permettre un enregistrement permanent. Les données doivent être analysées le plus rapidement possible, étant donné que les résultats peuvent influencer la conduite future de l'essai.

## COOPERATION INTERNATIONALE

Au cours des dernières décennies le transfert de matériel forestier de reproduction a atteint dans le monde entier un volume sans précédent. De nombreux pays ont cherché à intensifier leur production forestière en introduisant de nouvelles espèces ou provenances (Lacaze, 1978). Parallèlement on a observé un développement de la recherche visant à fournir aux sylviculteurs une information objective sur le choix du matériel végétal à employer. Un effort de cette ampleur ne saurait se concevoir sans une active coopération internationale. Des progrès ont été accomplis, mais beaucoup reste à faire dans ce domaine.

De nombreux projets ont été mis en oeuvre depuis une dizaine d'années, très souvent sur la base d'une collaboration internationale. A ce titre il convient de souligner spécialement le travail d'organismes divers tels que le Groupe de travail IUFRO Obtention des semences pour les espèces nord-américaines, la FAO, le Commonwealth Forestry Institute, le Centre de graines forestières FAO/Danois, le Centre technique forestier tropical (France). Le nombre d'espèces qui ont fait l'objet d'essais de provenances est très élevé; à titre d'exemple, nous citerons:

- Espèces concernant les zones tempérées: Abies grandis, Picea abies, P. sitchensis, Pinus contorta, Pseudotsuga menziesii, Larix europaea, Populus trichocarpa.
- Espèces concernant les zones méditerranéennes: Pinus halepensis, P. brutia, Eucalyptus camaldulensis, E. dalrympleana.
- Espèces concernant les zones subtropicales et tropicales: Cedrela odorata, E. camaldulensis, E. deglupta, E. microtheca, E. tereticornis, E. urophylla, Pinus caribae, P. kesiya, P. oocarpa, P. pseudostrobus, Tectona grandis, Terminalia ivorensis, T. superba.

Dans la plupart des cas, les espèces étudiées sont exotiques pour le pays d'accueil des expérimentations.

Les nombreux dispositifs - anciens et futurs - installés à partir de matériels récoltés dans le cadre de cet effort international sont ou devront être analysés en coopération. Cela suppose un effort de coordination à tous les niveaux de l'expérimentation:

- Elaboration de dispositifs expérimentaux, sinon identiques du moins comparables entre eux, dans les différents pays ou zones.
- Mise au point et utilisation de procédures de mesures et d'observations identiques. Un effort particulier doit concerner la méthodologie des observations des stades phénologiques, de dégâts d'insectes ou de maladies, ainsi que les mesures et la qualité du bois.
- Etablissement de calendriers de mesures et observations coordonnées.
- Utilisation des moyens modernes de traitement des données, au moins au niveau régional.

Outre la possibilité de contrôler les résultats de chaque dispositif à partir de ceux obtenus sur l'ensemble des autres, cette méthode présente également l'avantage d'estimer les effets de l'interaction génotype-milieu et de déceler les populations "plastiques", c'est-à-dire performantes dans une grande diversité de situations écologiques. Par ailleurs, une telle action de coordination a aussi le grand mérite de faire bénéficier les

pays ou régions disposant d'une infrastructure ou d'équipes de recherche réduites des moyens disponibles et de l'expérience acquise dans d'autres pays (Lacaze, 1978). Des exemples récents ont mis en évidence l'efficacité de l'aide qui peut être apportée par la mise en oeuvre de programmes de ce genre. Dans les pays où les programmes expérimentaux d'essais d'espèces et de provenances et de plantations conservatoires atteignent un certain développement, il est suggéré d'établir des catalogues simples des réalisations et des résultats qui seraient échangés entre spécialistes.

Enfin, au niveau mondial, une publication telle que "Informations sur les ressources génétiques forestières", éditée par la FAO, constitue une initiative intéressante pour diffuser les résultats les plus marquants des principaux programmes.

#### RESUME

Eldridge (1977) a très bien résumé les objectifs et la méthodologie des essais. Les conditions suivantes doivent être remplies:

- 1) Des objectifs clairement définis;
- 2) des semences récoltées par une personne sûre, de préférence le chercheur lui-même, et accompagnées de toutes les informations utiles;
- 3) des plants élevés en pépinière en conditions uniformes, et avec des répétitions adéquates;
- 4) un bon dispositif statistique;
- 5) une taille de parcelles déterminée par la variation présumée du matériel et par l'âge prévu de l'évaluation finale;
- 6) des stations représentatives des futures zones de reboisement, et aussi uniformes que possible;
- 7) un soin méticuleux dans l'étiquetage et dans l'enregistrement à toutes les étapes des essais.

En outre, la coopération à des essais internationaux permettra à chaque pays de bénéficier à coût réduit d'une accumulation plus rapide et plus efficace de connaissances.

BIBLIOGRAPHIE

- Burley, J. and Wood P.J. (compiled by). A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics. Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford.
- Eldridge, K.G. (1977) Provenances and provenance trials. In: Selected reference papers: International Training Course in Forest Tree Breeding. Australian Development Assistance Agency, Canberra.
- Lacaze, J.F. (1978) Progrès dans le domaine de la sélection d'espèces et de provenances. Unasylva, Vol. 30, No 119/120. FAO, Rome.
- Coile, T.S. (1952) Soil and the growth of forests. Advances in Agronomy Vol. 4: 329-98.

## PEUPLEMENTS SEMENCIERS

Marcelino Quijada R.  
Institut de sylviculture  
Université des Andes  
Mérida, Venezuela

### TABLE DES MATIERES

Généralités

Choix de l'emplacement

Caractérisation de la zone

Taille et densité du peuplement semencier

Gain génétique

Agencement du peuplement semencier

Formation du peuplement

Gestion et entretien

### GENERALITES

Les peuplements semenciers sont des zones sélectionnées dans des boisements naturels ou artificiels dans le but d'assurer un approvisionnement en semences d'origine géographique et de parenté connues.

Les peuplements semenciers jouent le rôle de source sûre de semences d'une certaine qualité génétique, variable selon la qualité du boisement, jusqu'au moment où se justifieront la création et l'exploitation de vergers à graines. Etant donné que c'est une source locale, généralement située à proximité ou à l'intérieur des zones de plantation où il y a déjà eu une certaine sélection naturelle, ils présentent l'avantage de fournir des semences génétiquement plus fiables pour les stations en cause que des semences provenant de l'extérieur ou de conditions écologiques différentes.

Les peuplements semenciers sont une étape préalable à la création de vergers à graines. A la différence de ces derniers, les zones choisies pour les peuplements semenciers n'avaient pas initialement cette destination, qui leur a été conférée en raison de certaines caractéristiques des peuplements et des exigences des programmes de plantation. L'intensité de sélection est généralement moindre que dans les vergers à graines, et les règles concernant l'arrangement des arbres sont moins strictes.

Le progrès génétique obtenu grâce aux peuplements semenciers est fonction de la qualité du boisement et des caractéristiques considérées. Les arbres n'y sont normalement pas soumis à des tests de descendance, ce qui fait que leur véritable valeur génétique n'est pas connue.

### CHOIX DE L'EMPLACEMENT

On localise les meilleurs peuplements naturels ou artificiels de l'essence considérée, dans des conditions analogues à celles de la zone où seront utilisées les semences. Cette sélection se fait en tenant compte du développement des peuplements (qualité des individus) et de la superficie boisée disponible qui doit garantir une surface minima, en fonction des besoins en semences du ou des programmes de plantation à servir.

Dans le cas des peuplements artificiels, notamment d'essences exotiques, le facteur âge joue un rôle important dans le choix de l'emplacement, étant donné que l'on doit rechercher un état physiologique qui garantisse la production de semences viables en quantités suffisantes et dans un délai acceptable tout en maintenant des cimes vertes et

bien développées en hauteur et en largeur pour une production future maxima de graines. Souvent les surfaces disponibles d'arbres ayant atteint leur maturité physiologique ou s'en approchant sont très réduites, et là où l'on trouve des surfaces plantées suffisantes les arbres sont trop jeunes. Les zones de forte mortalité sont généralement rejetées dans le choix des peuplements semenciers. Pour certaines essences exotiques, dans des conditions de milieu difficiles - telles que températures très hautes ou très basses, sols pauvres ou faibles précipitations -, il se présente un problème dû au fait que, même si l'essence pousse, sa reproduction est sérieusement diminuée, ce qui limite les perspectives d'implantation de peuplements semenciers.

#### CARACTERISATION DE LA ZONE

Une fois sélectionnée la zone, on la caractérisera morphologiquement et quantitativement afin de connaître la qualité phénotypique des individus et la production moyenne initiale, ce qui permettra d'établir des critères pour l'implantation du peuplement semencier, et en outre fournira une base pour calculer le progrès génétique à attendre de plantations faites avec les semences qui y seront produites.

La caractérisation morphologique se fait en prenant un petit nombre de caractéristiques, de 3 à 5, considérées comme importantes pour l'utilisation des produits. Pour le bois et produits dérivés, on utilise fréquemment la rectitude du fût, la présence de fourches et les anomalies (en particulier pour les conifères), avec différents degrés ou catégories. Certains facteurs peuvent être déterminants, avec seulement deux critères: refus ou acceptation. Par exemple, des arbres présentant des attaques visibles de certains parasites ou maladies sont rejetés totalement, étant donné la facilité de transmission héréditaire de la sensibilité et son importance décisive pour la réussite des reboisements futurs. Pour les autres caractères, la rigueur de la sélection dépendra de la qualité des peuplements.

La caractérisation quantitative se fait par des mensurations de hauteur et de diamètre, et par l'évaluation chiffrée des facteurs de forme et de qualité du fût.

#### TAILLE ET DENSITE DU PEUPELEMENT SEMENCIER

Pour des besoins en semences donnés dans un programme de reboisement donné, la surface du peuplement semencier dépendra de la production en graines de l'essence et de la densité du boisement.

Le rendement en graines de l'essence est donné par le nombre de semences viables par arbre, lui-même fonction du nombre de fruits par arbre, du nombre de graines par fruit et de la viabilité des graines. Un échantillonnage préalable dans ce sens est indispensable pour pouvoir évaluer ce rendement.

La densité du boisement est fonction de l'âge et du développement des arbres. Dans les plantations artificielles on utilise généralement de 100 à 300 arbres à l'hectare, selon l'essence et les conditions de milieu, en évitant toujours une concurrence entre les cimes afin d'avoir une production maxima de bourgeons reproducteurs.

Dans les forêts tropicales naturelles les possibilités d'implantation de peuplements semenciers sont limitées, en raison de l'hétérogénéité des boisements et de la faible abondance de chaque essence par unité de surface, à l'exception de certains types particuliers de forêts.

En règle générale, les peuplements semenciers sont monospécifiques, ce qui par l'élimination des autres essences facilitera le mouvement de pollen entre les arbres de l'essence choisie. Cependant, dans les peuplements naturels on peut envisager d'associer 2 ou 3 essences taxinomiquement très différentes, afin d'éviter les problèmes dus à l'hybridation. De cette façon on peut utiliser plus intensivement une zone affectée à la production de semences.

Pour des raisons de coût et de rendement on considère qu'une surface inférieure à 5 hectares ne convient pas pour la production commerciale des semences. La taille maxima sera conditionnée par les besoins du programme de reboisement, la superficie originelle couverte par l'essence, et les ressources disponibles pour une gestion efficace du peuplement semencier.

## GAIN GENETIQUE

Le principal intérêt du peuplement semencier est de fournir un approvisionnement local de semences garantissant une qualité et une quantité propres à réduire au minimum ou à supprimer la dépendance vis-à-vis de sources extérieures plus incertaines sous ces aspects.

Le gain que l'on pourra obtenir dans ce sens dépendra de la qualité et de la structure initiales du boisement, qui pourront permettre ou restreindre la sévérité de la sélection. Plus la distribution des qualités des individus du peuplement sera régulière, s'approchant idéalement d'une distribution normale, et plus on aura de possibilités de sélection assurant un progrès génétique important, étant donné qu'il y aura davantage de possibilités que se réalisent toutes les combinaisons désirables dans un ou quelques individus. Plus le peuplement est homogène pour un caractère ou un autre, moins le gain à attendre sera important.

Souvent, dans les peuplements artificiels de première génération, notamment d'exotiques et dans des conditions de milieu plus ou moins limitantes, on observe une distribution disymétrique, déjetée vers la mauvaise qualité avec peu d'individus de bonne qualité. Dans ce cas, le gain le plus important que l'on puisse espérer se situe dans le taux de survie, avec un progrès léger ou moyen dans la croissance. L'amélioration du taux de survie s'explique par le fait que les semences proviennent d'individus qui ont bien survécu à la première génération, montrant un certain degré d'adaptation culturelle à la station qui se manifeste par un développement acceptable au regard d'un certain niveau d'exigence.

L'amélioration de la croissance peut être espérée parce que, bien que la structure du peuplement et les exigences minima de nombre de pieds à l'hectare amènent à sélectionner des arbres en dehors de la catégorie des "bons", l'apport génétique de ces derniers augmentera du fait que leur fréquence relative sera plus grande dans la nouvelle population après sélection.

## AGENCEMENT DU PEUPLEMENT SEMENCIER

Le peuplement semencier se compose d'une zone de production ou surface effective et d'une zone de protection.

La zone de production est celle où l'on récoltera les semences et qui recevra les traitements cultureaux voulus pour stimuler la production.

La zone de protection sert de barrière pour freiner la contamination par du pollen de sources extérieures non contrôlées, étant donné que les peuplements semenciers sont implantés de préférence dans des zones de reboisement. Elle est constituée par la même essence que la zone de production, et par conséquent y apporte du pollen. C'est pourquoi on intervient dans la zone de protection selon les mêmes critères que dans la zone de production en ce qui concerne la sélection individuelle, mais on n'y applique pas de traitement cultureaux.

La largeur de la zone de protection est de 100 à 500 mètres, en fonction principalement des facteurs de milieu favorisant la dispersion du pollen.

## FORMATION DU PEUPLEMENT

Une fois choisie et caractérisée la zone, on fixe les règles d'intervention et de formation du peuplement. On cherche autant que possible à avoir une distribution régulière des individus sur toute la surface, avec un espacement minimum entre eux qui favorise la floraison et le mouvement de pollen. Cet espacement vise à éviter une concurrence précoce; il peut atteindre 1,5 fois l'écartement initial de plantation, dans des peuplements jeunes. Dans tous les cas, cela dépendra de la configuration des arbres voisins et de la densité adoptée.

Dans les peuplements artificiels, les interventions peuvent se faire systématiquement par rangées, ce qui favorise la régularité du peuplement résultant. Etant donné que ces interventions sélectives visent à laisser seulement un quart ou un sixième du nombre d'arbres initial à l'hectare, elles sont souvent réalisées par étapes (2 à 4 ans), ce qui permet d'apport éventuellement certains correctifs à l'intervention initiale.

Lorsqu'il existe peu d'expérience en matière d'interventions sylvicoles, il est préférable de travailler la première année sur une surface initiale plus petite. Par exemple, si l'on envisage de constituer un peuplement semencier en 3 ans, il est recommandable de diviser la surface en 4 parties, et d'intervenir la première année sur un quart de la superficie, et les deux années suivantes sur les trois quarts restants.

En règle générale, la durée de mise en place du peuplement semencier dépend de sa surface et de la structure du peuplement initial - densité et taille des arbres.

Il est indispensable que le chef de projet procède à un marquage initial, qui servira de guide au personnel auxiliaire qui habituellement complète le travail, et en même temps permettra d'apporter les correctifs nécessaires. La supervision technique est dans tous les cas nécessaire pour garantir les meilleurs résultats. Il convient que le marquage soit toujours bien en avance sur l'équipe d'abattage; c'est un point à considérer dans la planification des opérations.

Les arbres abattus doivent être extraits hors du peuplement semencier, afin d'éliminer les obstacles et les sources possibles d'attaques d'agents pathogènes.

Les souches doivent généralement être désinfectées pour éviter qu'en se décomposant elles ne deviennent des foyers de propagation de parasites et de maladies.

#### GESTION ET ENTRETIEN

Les principales activités de gestion dans un peuplement semencier sont les éclaircies. Les opérations d'entretien telles que protection contre les feux, les parasites et les maladies sont également très importantes. Un réseau approprié de pare-feu et de chemins intérieurs permet une mobilisation efficace en cas d'incendie. En outre, l'élimination de la végétation basse et la destruction des souches contribuent également à supprimer des foyers d'infection possibles.

Dans les peuplements semenciers on peut également parfois mener des recherches biologiques et génétiques, telles qu'études sur l'emploi d'engrais ou autres moyens pour stimuler la floraison et la fructification, etc...

SELECTION ET CONDUITE DES PEUPELEMENTS  
SEMENCERS: CONIFERES

W.H.G. Barrett  
Fiplasto S.A., Buenos Aires, Argentina

TABLE DES MATIERES

Introduction

Réalisations passées et état actuel en Amérique latine

Localisation et sélection de peuplements semenciers:

Critères de sélection

Caractéristiques du peuplement

Age

Superficie

Isolement

Accessibilité

Conduite du peuplement

Production de graines

Gain génétique

Bibliographie

Ce thème a été développé en prenant pour modèle la conférence présentée par H. Keiding lors du Cours FAO/DANIDA de récolte et traitement des graines forestières, Thaïlande, 1975, complétée par des informations de H. Barner tirées du Cours FAO/DANIDA de formation pour l'amélioration des arbres forestiers, Kenya 1973.

INTRODUCTION

L'utilisation de peuplements semenciers est dans la majorité des programmes d'amélioration des arbres forestiers une technique intermédiaire qui permet d'obtenir à bref délai des semences améliorées. On doit la considérer comme intermédiaire, parce que l'intensité de la sélection ne peut jamais y atteindre le même degré que dans la sélection d'individus pour les vergers à graines, d'où il résulte que l'amélioration, ou plutôt le gain génétique sera également inférieur.

Dans les régions où se réalisent de grands programmes de reboisement, comme c'est en général le cas dans les régions tropicales ou subtropicales, il existe une forte demande de semences. Dans bien des cas les disponibilités de semences peuvent être un goulet d'étranglement pour les plans de reboisement.

D'autre part, la source d'où proviennent les semences joue un rôle important pour l'avenir de la plantation, du fait que, outre les quantités pouvant être fournies, cette origine conditionnera l'adaptation à la station, l'état sanitaire, le type et le rythme de croissance, la qualité du bois, etc...

La sélection de peuplements semenciers peut se faire aussi bien dans des forêts spontanées à l'intérieur de l'aire d'extension naturelle de l'essence que dans des peuplements artificiels à l'intérieur et à l'extérieur de l'aire d'origine.

On a donné aux peuplements semenciers, surtout dans les pays anglophones, divers noms tels que zones d'origine de semences, peuplements sélectionnés, peuplements semenciers, zone de production de graines, qui sont traités en détail par Barner (1973). D'une manière générale, il faut distinguer les peuplements qui ont été sélectionnés pour la qualité

générale de leurs arbres, et ceux dans lesquels on a en outre procédé à des éclaircies intensives, éliminant les individus inférieurs.

On admet les définitions suivantes, selon le système de l'OCDE.

Peuplement: population d'arbres ayant une uniformité suffisante quant à sa composition floristique, sa structure et sa répartition dans l'espace pour se distinguer des populations voisines.

Peuplement semencier/Zone de production de semences:

C'est un peuplement supérieur, généralement amélioré par élimination des arbres inférieurs, et ensuite conduit en vue d'une production précoce et abondante de graines.

Selon Matthews (1964), la constitution de peuplements semenciers répond aux objectifs suivants:

1. Produire des semences de qualité améliorée grâce à la sélection et à l'élimination des arbres inférieurs, favorisant les semenciers vigoureux, sains, au fût droit, capables de produire du bois de bonne qualité.
2. Concentrer les récoltes de graines dans un petit nombre de parcelles de forêt spécialement traitées en vue d'en faciliter l'organisation et le contrôle.
3. Améliorer l'énergie germinative et la faculté germinative des graines récoltées.

REALISATIONS PASSEES ET ETAT ACTUEL EN AMERIQUE LATINE

Comme on l'a dit plus haut, la sélection et l'implantation de peuplements semenciers est la méthode la plus rapide pour obtenir une amélioration en quantité et en qualité des récoltes de graines. Il semblerait que les actions intégrées d'amélioration à long terme doivent inclure la sélection de peuplements semenciers pour obtenir des semences améliorées, jusqu'au moment où l'on pourra récolter les graines sur des arbres soigneusement sélectionnés dans des vergers à graines.

A l'heure actuelle, les peuplements semenciers restent parfois le seul moyen qu'utilisent certains pays pour obtenir les semences en vue de leurs programmes de reboisement. Dans le passé cette pratique était la plus fréquente.

La caractéristique principale de la sélection des peuplements et de leur conduite pour les transformer en zones de production de semences est l'utilisation de boisements arrivés à maturité et immédiatement disponibles.

Le gain ou amélioration obtenu, et l'effort à consentir pour le réaliser, dépendront de la nature du matériel de base sur lequel on travaille.

Selon Barner (1973) et Jones et Burley (1973), ce matériel peut être classé de la manière suivante en fonction de son origine et de sa localisation:

1. Généralement situé à l'intérieur de l'aire naturelle de l'essence, soit en peuplements spontanés soit en plantations.

A ce groupe, et en ce qui concerne plus particulièrement les conifères, appartiennent des pays ou régions comme les Etats-Unis, le Canada, le Mexique, les pays du Centre et du Sud de l'Europe.

2. Généralement essences exotiques, introduites dans la région où elles ont été plus ou moins largement cultivées.

A ce groupe appartiennent presque tous les pays qui se caractérisent par une production forestière fondée sur des reboisements d'essences exotiques à grande échelle.

Pour les conifères, c'est le cas de pays comme la Nouvelle-Zélande, l'Australie, le Chili et l'Espagne où Pinus radiata a été largement cultivé; l'Afrique du Sud, le Zimbabwe, le Malawi et le Kenya avec Pinus patula; l'Argentine, le Brésil et l'Australie avec les pins du Sud-Est des Etats-Unis; la Grande-Bretagne et le Centre-Ouest de l'Europe avec Pseudotsuga menziesii et d'autres espèces de pins - pour ne citer que quelques exemples.

3. Généralement en lots expérimentaux d'essences peu diffusées ou d'introduction récente.

A ce groupe appartiennent la majorité des pays tropicaux et subtropicaux, pour un grand nombre d'essences au stade d'essai dans des régions en développement, en particulier essais d'espèces et de provenances dans des espèces ayant montré un comportement supérieur en essais ou en comparaison avec le matériel couramment cultivé dans la région.

En ce qui concerne l'utilisation de peuplements semenciers d'essences indigènes dans les régions tropicales, la faible extension de ce système peut s'expliquer par le fait qu'en général les essences indigènes sont remplacées par des essences à croissance rapide qui sont presque toujours exotiques. Même dans le cas où on peut les utiliser, le caractère mélangé de la forêt rend très difficile, voire pratiquement impossible sa transformation en peuplement semencier.

En Amérique latine, les zones tropicales n'échappent pas à cette règle en ce qui concerne les essences indigènes, qui se trouvent dispersées dans des forêts mélangées où coexistent de nombreuses essences, surtout feuillues. Les conifères indigènes se rencontrent dans les zones subtropicales à tempérées froides. A part quelques exceptions, comme certains pins au Mexique, les araucarias en Argentine, au Brésil et au Chili, la majorité de ces conifères ne sont pas cultivés, et sont remplacés par des espèces exotiques. En Amérique latine, le conifère indigène le plus largement cultivé est Araucaria angustifolia, dont il existe dans la seule province argentine de Misiones quelque 30 000 hectares plantés. Les récoltes de semences ont été effectuées jusqu'à présent dans des peuplements spontanés, bien qu'actuellement les peuplements semenciers se développent.

Dans le groupe 2, comme mentionné ci-dessus, il convient d'inclure le Chili, le Brésil et l'Argentine. Il est probable que les questionnaires envoyés par les participants au cours permettront de compléter cette information avec d'autres essences cultivées dans d'autres pays américains.

Pour le reste, en ce qui concerne les autres essences actuellement utilisées à grande échelle dans de nombreux pays américains, ceux-ci se situent encore dans le groupe 3, étant donné qu'ils n'ont pas de reboisements suffisamment anciens pour pouvoir sélectionner des peuplements semenciers, et doivent recourir à leurs plantations expérimentales plus âgées ayant donné de bons résultats.

#### LOCALISATION ET SELECTION DE PEUPELEMENTS SEMENCIERS

Il faut ici à nouveau faire une distinction entre essences indigènes dans leur aire naturelle, et essences exotiques de grande culture et d'introduction récente.

Dans le premier cas, la sélection devra être fondée essentiellement sur l'information existante concernant les divers essais d'origine déterminant l'aptitude pour les climats et les sols des zones à reboiser. Une fois déterminée la région ou la zone, on devra choisir le peuplement ayant les meilleures caractéristiques de qualité du bois et de quantité, qualité et périodicité de la production de graines.

Quand il s'agit d'essences exotiques, il faut à nouveau distinguer entre essences de grande culture telles que, pour l'hémisphère sud, Pinus radiata, P. caribaea, P. taeda, P. elliotii, P. patula, et celles qui sont peu cultivées ou d'introduction récente. La méthodologie indiquée ci-dessous se rapporte au premier cas, où il faudra pousser à l'extrême la sélection des peuplements en tenant compte de toute l'information possible sur la valeur de l'origine des semences, la qualité reproductive du peuplement considéré, les résultats obtenus dans des plantations antérieures, etc. Quant au second cas, celui des essences de culture limitée, on devra se contenter de ce que l'on pourra obtenir, car il y a peu de chose à faire.

Afin de déterminer la superficie totale de peuplements semenciers nécessaires pour une région, il faudra connaître la demande annuelle de graines, le rendement des peuplements par arbre ou par unité de surface, et la qualité de la production.

### Critères de sélection

En sélectionnant le peuplement semencier, on devra prendre en considération son uniformité et sa production de bois en volume, les arbres devant avoir une bonne forme de fût, une bonne croissance, une bonne qualité de bois, et être sains.

Dans certains pays européens, en Suède par exemple, on qualifie les peuplements de supérieurs, normaux ou inférieurs, et il y a une tendance à subdiviser encore les peuplements supérieurs en plusieurs catégories en fonction de leur degré de supériorité. Dans d'autres pays, comme la Grande-Bretagne, le peuplement semencier est qualifié sur la base des arbres individuels. On détermine de manière systématique des échantillons, dans lesquels on mesure et qualifie tous les arbres. La somme des points obtenus détermine la notation d'ensemble du peuplement, qui permet de le classer comme supérieur ("plus"), proche de supérieur ("almost plus"), normal, ou inférieur ("minus").

Bien que paraissant différents, les critères de sélection dans les deux cas sont semblables en ce qui concerne les caractéristiques choisies pour qualifier les arbres. Ils sont également analogues à ceux de la sélection individuelle phénotypique, mais en diffèrent fondamentalement par l'intensité de sélection.

### Caractéristiques du peuplement

#### Age

L'âge variera selon l'essence et selon la région. Le peuplement devra être suffisamment âgé pour que l'on ait des informations sur la qualité forestière de ses semences dans des zones où on les a utilisées auparavant. Il devra être suffisamment mûr pour avoir une bonne floraison et une bonne fructification. En outre il devra avoir un âge suffisant pour permettre une évaluation correcte de ses caractéristiques. Cependant Barner (1973) soutient qu'en raison des difficultés qui peuvent se présenter dans les peuplements âgés pour évaluer certaines caractéristiques il convient de commencer l'évaluation à un âge plus jeune, si le peuplement semble prometteur, et de tenir à jour cette information jusqu'au moment de son utilisation. Le peuplement semencier doit être mûr, mais pas trop âgé, afin que l'on puisse y récolter des graines pendant une période suffisamment longue.

#### Superficie

Il n'est pas possible de fixer à priori la superficie d'un peuplement semencier. En règle générale on admet une superficie minima permettant une récolte économique de graines. En Europe occidentale on considère 2 à 5 hectares comme l'unité minima. Il faut en outre s'assurer que le peuplement renferme un nombre suffisant d'individus répartis de façon à permettre une pollinisation croisée correcte; ce point est particulièrement important dans les forêts mélangées.

### Isolément

Il importe de tenir compte de ce facteur, en évitant tout particulièrement la contamination par des peuplements inférieurs. Les essences résineuses qui sont pollinisées par le vent sont plus difficiles à isoler que les feuillus qui sont généralement pollinisés par les insectes. L'isolément peut être obtenu en choisissant des peuplements situés entre 300 et 1 000 mètres du peuplement pouvant les contaminer. Dans certains cas il n'est pas possible d'avoir des peuplements supérieurs à distance suffisante de peuplements inférieurs susceptibles de les contaminer, du fait que l'on utilise le même boisement comme isolant. Dans ce cas on ne récolte que la partie du peuplement supérieur la plus éloignée de la source de contamination, en utilisant une portion de ce même peuplement comme zone de protection.

### Accessibilité

Dans des conditions normales de sélection de peuplements, on devra choisir ceux qui sont d'accès facile, afin de réduire les coûts de gestion, inspection, entretien et récolte de graines. Lorsque les semences de qualité génétique appropriée se situent dans des lieux peu accessibles, on utilisera de préférence leur descendance dans des plantations mieux placées.

### CONDUITE DU PEUPEMENT

Les traitements à appliquer normalement à un peuplement situé dans une zone qui sera utilisée comme source de semences, et que l'on veut convertir en peuplement semencier, sont les suivants:

1. Extraction des arbres inférieurs, de façon à améliorer la qualité génétique des semences.
2. Eclaircies permettant un espacement adéquat pour améliorer les conditions de floraison, de fructification et de récolte des graines.
3. Elimination du sous-bois afin de faciliter les inspections et la récolte.
4. Démarcation des limites du peuplement semencier, en particulier lorsqu'il y a des problèmes de contamination.
5. Traitements visant à augmenter la production de graines, tels qu'élagage ou fertilisation.
6. Autres traitements protégeant la fructification, tels qu'application de fongicides et d'insecticides.

Pour une meilleure gestion des peuplements semenciers, il convient d'enregistrer toutes les activités et informations correspondant aux traitements appliqués, les observations phénologiques, et les renseignements sur les récoltes de graines.

### PRODUCTION DE GRAINES

On connaît relativement peu de chose sur la production de graines des peuplements semenciers, par comparaison avec un peuplement non traité. On sait que lorsqu'on éclaircit un peuplement et qu'on ouvre les cimes on obtient immédiatement une augmentation de la production de graines, mais on ignore la durée de cet effet. Il est probable qu'il y a augmentation de la production par arbre, mais on ignore si la production par unité de surface est augmentée. Il n'est pas douteux que l'on obtient une amélioration de la qualité des semences en éliminant les arbres inférieurs et en éclaircissant pour augmenter l'éclairement des cimes des individus sélectionnés.

Il n'existe pas non plus d'information précise sur l'augmentation de production résultant de la fertilisation, presque toutes les recherches à ce sujet ayant porté sur les vergers à graines. Au Japon, les études réalisées sur Pinus densiflora et Larix leptolepis concluent que l'application d'engrais a amélioré la qualité des semences, et que l'éclaircie a produit une augmentation de leur quantité. Le meilleur résultat a été obtenu avec une éclaircie légère, qui s'est montrée supérieure au traitement témoin (sans éclaircie) et à l'éclaircie forte (Asakawa et al., 1969).

### GAIN GENETIQUE

Jusqu'ici nous avons vu l'augmentation de la quantité et de la qualité physiologique des graines produites dans les peuplements semenciers.

Pour les essences présentant une grande variation raciale ou écotypique, en général ayant une vaste aire de répartition naturelle, l'importance du gain génétique repose sur le choix judicieux de la population de base. La source d'origine des semences devra être connue par des études préalables d'essais d'origine, ou par une expérience sylvicole intensive et extensive. Pour cela on peut faire appel aussi bien à l'aire d'origine qu'à

des plantations effectuées dans la zone de reboisement, avec un matériel de cette même origine. C'est ainsi qu'en Argentine, par exemple, on a constaté dans des essais d'origine que les populations de Pinus taeda du centre de la Floride, à la révolution de 7 ans, avaient un accroissement en volume de 200% par comparaison avec les origines des piémonts de Géorgie. Un fait comparable a été constaté avec cette même essence au Queensland. Comme la population de base utilisée pour les peuplements semenciers provient des différentes stations de Géorgie, la production en volume peut être facilement améliorée en utilisant des peuplements provenant de Floride.

En ce qui concerne les caractères internes de la population tels que forme, largeur de cime, densité du bois, etc., le gain dépend directement de l'héritabilité du caractère et de l'intensité de la sélection. Comme il s'agit d'une sélection massale, d'intensité relativement faible, le gain génétique dépendra donc de l'héritabilité.

Shelbourne (1969) donne un exemple concernant le diamètre (faible héritabilité) et la rectitude du fût (héritabilité élevée) chez Pinus radiata. Avec une intensité de sélection de 1 sur 10, le gain exprimé en pourcentage de la moyenne de la population avant l'éclaircie est de 25% pour la rectitude du fût et 5,6% pour le diamètre; avec une intensité de sélection de 1 sur 20 le gain prédit est respectivement de 29,2% et 6,7%.

Dans les pays d'Amérique latine, où subsistent encore de nombreuses inconnues en ce qui concerne l'essence, l'origine, la station et leurs interactions, on peut espérer un gain bien plus important par la recherche des espèces et origines les plus appropriées à chaque région. Pour cela une technique très recommandable est d'effectuer parallèlement aux essais d'espèces et de provenances une plantation simultanée, à plus grande échelle, de chacune des unités biologiques essayées. Ce matériel pourra à court terme être utilisé comme source de semences, et on pourra y commencer la sélection individuelle pour les programmes d'amélioration à long terme.

BIBLIOGRAPHIE

- Asakawa, S. et  
Keiji Fujita  
(1969)      Studies on the management of experimental seed stands of Pinus densiflora and Larix leptolepis and the results obtained for three years (1962-1964). Bull. Gov. For. Exp. Sta. No. 184, Tokyo, Japon.
- Barner, H.  
(1973)      Classification of sources for procurement of forest reproductive material. FAO/DANIDA Training Course on Forest Tree Improvement, Kenya, p. 119-121.
- Eliason, E.J.  
(1969)      Development of seed production areas - an interim selection. Deuxième Consultation mondiale sur la génétique forestière. FAO/IUFRO, Washington. 2:1367-1371.
- Jones, N. et  
J. Burley  
(1973)      Seed certification provenance nomenclature and genetic history in forestry. *Silvae Genetica* 22 (3): 53-58.
- Keiding, H.  
(1975)      Seed stands. FAO/DANIDA Training course on forest seed collection and handling. 2:192-211. Thaïlande.
- Matthews, J.D.  
(1964)      Production et certification des graines. *Unasylva* 18(2-3): 105-109.
- Mittak, W.L.  
(1979)      Cursillo para el manejo de rodales seleccionados para la producción de semillas. Instituto Nacional Forestal BANSEFOR, Proyecto GUA/78/005. Guatemala.
- Shelbourne, C.J.A.  
(1969)      Predicted genetic improvement from different breeding methods. Deuxième Consultation mondiale sur la génétique forestière. FAO/IUFRO, Washington. 2:1023-1029.

SELECTION ET CONDUITE DES PEUPLEMENTS SEMENCIERS:  
FEUILLUS

Christel Palmberg  
Division des ressources forestières  
Département des forêts  
FAO

TABLE DES MATIERES

Introduction

Sélection des peuplements semenciers

Critères  
Age  
Superficie  
Isolement

Conduite des peuplements

Bibliographie

INTRODUCTION

Les peuplements semenciers ont pour objet de répondre aux besoins immédiats de quantités relativement importantes de semences plus ou moins améliorées génétiquement, en sélectionnant des peuplements de qualité non inférieure à la moyenne et en les conduisant dans le but principal de produire des semences.

Les principes généraux de sélection et de conduite des peuplements semenciers exposés par Barrett dans la conférence précédente s'appliquent aussi bien aux feuillus qu'aux conifères. Nous indiquerons ci-après les différences de méthodologie entre feuillus et conifères, et les points auxquels il convient de prêter une attention particulière en ce qui concerne les feuillus. A la fin de cet exposé on trouvera des références de publications traitant de la sélection et de la conduite des peuplements semenciers d'essences feuillues.

SELECTION DES PEUPLEMENTS SEMENCIERS

Critères de sélection

Les feuillus sont souvent dioïques. Lorsqu'on sélectionne des peuplements semenciers il convient de s'assurer qu'il y a des arbres tant mâles que femelles, et lors des éclaircies on doit veiller à laisser une proportion équilibrée d'arbres mâles et femelles.

Chez les essences qui produisent de nombreux drageons, on rencontre parfois de larges taches d'arbres génétiquement identiques. La méthode des peuplements semenciers peut ne pas convenir pour ces essences.

Pour les reboisements il est très important de connaître l'origine du peuplement. Les plantations d'essences exotiques peuvent avoir été faites avec des semences issues d'un nombre relativement faible d'arbres et, bien que le peuplement lui-même ait une croissance et une forme supérieures, il est probable alors que la qualité génétique de ses semences sera médiocre, en raison des effets de la consanguinité. Il arrive, par exemple, avec les eucalyptus, que le peuplement soit d'origine hybride, et les semences récoltées sur les hybrides F1 et sur les générations suivantes donneront alors naissance à des peuplements de variabilité excessive, en raison de la ségrégation des gènes.

Les critères de sélection tels qu'état sanitaire, rendement et forme des arbres sont universels, mais pour les feuillus il s'y ajoute souvent d'autres critères de sélection propres à une seule essence; par exemple on cherche à éliminer par la sélection des défauts héréditaires caractéristiques de certaines essences, tels que la tendance de Liquidambar styraciflua à produire des pousses adventives avec des vestiges de bourgeons allant jusqu'à la moelle, et la tendance d'Eucalyptus regnans à former de nombreuses veines de gomme, ou encore on recherche des caractéristiques telles que très faibles densité du bois chez Ochroma lagopus, couleur ou figure attrayantes dans les bois d'ébénisterie de haute qualité, grande aptitude à rejeter, notamment pour les essences cultivées à courte révolution.

#### Age

Il faut que les peuplements soient suffisamment jeunes pour pouvoir répondre à la première éclaircie, en formant des cimes capables de produire des graines en abondance, mais suffisamment mûrs pour montrer des indices des caractéristiques recherchées par la sélection.

#### Superficie

Dans les forêts hétérogènes la distance qui sépare les arbres d'une même essence est généralement grande, c'est pourquoi dans de telles forêts les peuplements semenciers doivent occuper une superficie beaucoup plus grande que dans les forêts pures ou composées d'un petit nombre d'essences. Si la densité d'une essence est très faible, on ne peut lui appliquer la méthode des peuplements semenciers.

#### Isolement

Il est indispensable de connaître le système de reproduction de l'essence. Si elle est endogame il n'est pas nécessaire de l'isoler, mais les essences forestières sont le plus souvent exogames et possèdent divers mécanismes empêchant l'autogamie, l'auto-pollinisation ayant généralement pour elles des conséquences défavorables.

Pour de nombreuses essences feuillues on n'est pas bien renseigné sur la distance à laquelle le pollen peut voler ou être transporté par les insectes. Il convient d'adopter pour les peuplements semenciers de feuillus la même distance d'isolement que pour ceux de conifères (+ 300 m), tant que l'on n'aura pas entrepris de nouvelles recherches sur ce point.

#### Conduite des peuplements

Les peuplements semenciers doivent être soumis à une série d'éclaircies afin d'augmenter la quantité et améliorer la qualité des semences. La première doit intervenir avant qu'il ne commence à y avoir une forte concurrence entre les cimes. L'objet principal de cette éclaircie est d'obtenir la formation de cimes denses, bien développées en hauteur et en largeur, autrement dit d'augmenter la quantité de graines produites tout en éliminant les phénotypes inférieurs. A mesure que le peuplement se développe il se manifeste davantage de variation entre individus. Comme la sélection phénotypique est généralement plus sûre avec des arbres adultes, l'amélioration obtenue grâce à l'éclaircie se déplace peu à peu de la quantité vers la qualité.

Pour la conduite des peuplements semenciers il est indispensable de connaître la biologie de la floraison et de la production de graines, mais l'information à ce sujet est rare ou absente en ce qui concerne les feuillus. Il importe de pouvoir prévoir l'époque exacte de l'année à laquelle les arbres fleuriront, afin de faire les éclaircies avant. Une erreur de date peut retarder les bénéfices de l'éclaircie d'une période égale à celle qui sépare une récolte de graines de la suivante. Il est en outre indispensable de connaître le temps qui s'écoule entre la pollinisation et la maturation de la graine, afin de pouvoir prévoir le degré relatif d'amélioration, directement lié à l'éclaircie sélective.

BIBLIOGRAPHIE

- Melchior, G.H.  
(1977) Programa preliminar de un ensayo de procedencia de Cordia alliodora, Cupressus lusitanica y otras especies nativas y exóticas. Proyecto Investigaciones y Desarrollo Forestales COL/74/005. PIF no. 7. Bogotá, Colombie
- Melchior, G.H. et  
Venegas Tovar, L.  
(1978) Propuesta para asegurar el suministro de semillas de Eucalyptus globulus en calidad comercial y genéticamente mejoradas. Proyecto Investigaciones y Desarrollo Forestales CO/74/005. PIF no. 14. Bogotá, Colombie
- van Dijk, K.,  
Venegas Tovar, L. y  
Melchior, G.H.  
(1978) El suministro de semillas como base de reforestaciones en Colombia. Proyecto Investigaciones y Desarrollo Forestales COL/74/005. PIF no. 13. Bogotá, Colombie

SELECTION DES ARBRES FORESTIERS

Marcelino Quijada R.  
Institut de sylviculture  
Université des Andes  
Mérida, Venezuela

TABLE DES MATIERES

Génotype et milieu

Facteurs à considérer dans la sélection individuelle des arbres

Type et nombre de caractères  
Intensité de sélection  
Propagation des arbres sélectionnés

La pratique de la sélection

Méthodes d'amélioration par sélection  
Sources d'arbres pour la sélection  
Critères de sélection  
Terminologie

Bibliographie

Annexe 1:

Exemple de critères de sélection: critères utilisés pour les  
peuplements semenciers.

Annexe 2:

Exemple de critères de sélection: critères utilisés pour les  
vergers à graines.

GENOTYPE ET MILIEU

Les méthodes d'amélioration les plus utilisées en pratique se basent sur le choix d'individus qui répondent à certaines exigences minima pour certaines caractéristiques intéressantes en vue de buts déterminés.

L'apparence extérieure de l'individu, c'est-à-dire son phénotype, est le premier guide du sélectionneur. Bien que le phénotype ait pour base deux composantes: le génotype et le milieu, et que l'une ou l'autre puisse avoir une importance égale ou supérieure dans l'apparence résultante, le sélectionneur se base initialement sur la probabilité statistique qu'un bon phénotype ait une base génétique suffisante pour fournir une réponse favorable, même si c'est à un degré moyen, vis-à-vis de milieux différents.

On sait que de nombreux caractères sont liés de manière modérée à forte au patrimoine génétique, de telle sorte que l'apparence extérieure reflète dans une large mesure les potentialités intrinsèques. D'autres caractères réagissent plus largement aux conditions de milieu, de sorte qu'un phénotype déterminé ne reflète que l'une des multiples formes de réaction.

L'existence de différentes formes ou allèles d'un gène donné, ainsi que de particularités telles que polygénie, pléiotropie, épistasie, détermine une grande complexité dans l'expression d'un caractère, et des combinaisons variées entre caractères. C'est toute cette gamme d'expressions, ou variation, que le généticien met à profit pour choisir les types ou combinaisons les plus favorables. La sélection pratiquée par le généticien est de type directionnel ou tronqué dans la mesure où il sélectionne vers un extrême de la population originelle et cherche à accroître la moyenne des populations futures dans cette direction.

La détermination de l'importance de la composante génétique d'un caractère ne peut se faire que par des essais de terrain, soit en cultivant en multiplication végétative les individus sélectionnés dans différents milieux, soit en étudiant leur descendance (tests de descendance). En attendant, on continuera à travailler sur l'apparence extérieure.

Plus les critères de sélection sont rigoureux, plus on aura de garantie d'avoir un gain génétique important. Cela est touterois fonction de l'essence, du produit considéré, et de la qualité du peuplement dont dispose le sélectionneur.

Une visite initiale des aires de répartition (naturelles ou reboisements) aidera à établir des critères d'exigences pour diverses caractéristiques. C'est particulièrement important pour les programmes de sélection portant sur une première génération d'essences exotiques, ou sur des essences indigènes qui ont été soumises à une sélection à rebours dans une grande partie de leur aire.

#### FACTEURS A CONSIDERER DANS LA SELECTION INDIVIDUELLE DES ARBRES

Le succès de la sélection à partir du phénotype, se traduisant par le gain génétique, dépend de divers facteurs, parmi lesquels on trouve notamment le type et le nombre de caractères sélectionnés, l'intensité de sélection, et la méthode de propagation.

##### Type et nombre de caractères

Le type de caractère (d'héritabilité élevée ou faible) influe directement sur le gain que l'on pourra obtenir. Les caractères d'héritabilité élevée sont plus aisément manipulables, et plus prévisibles dans leurs réponses; ils comprennent entre autres la rectitude du fût, la tendance aux fourches, la résistance aux maladies. Les caractères de faible héritabilité sont moins prévisibles, étant donné qu'ils requièrent un plus grand contrôle du milieu; on y trouve des caractéristiques économiques importantes, telles que propriétés physiques et chimiques du bois.

Le nombre de caractères influe également sur la réponse qui sera obtenue. On a démontré que plus le nombre de caractères est élevé, plus il est difficile d'obtenir des gains sur chacun d'eux individuellement. Cela est dû à deux facteurs: le premier est que des caractères différents présentent des modes de transmission héréditaire qui requièrent des intensités différentes de sélection, ce qui fait qu'en augmentant le nombre d'individus pour répondre aux besoins d'un caractère donné on risque d'influer défavorablement sur un autre caractère en introduisant des phénotypes non désirables. En second lieu, des caractères différents peuvent être en corrélation inverse, et en étant trop strict pour un caractère cela pourra avoir un effet négatif sur un autre caractère.

Il faut par conséquent se concentrer sur un petit nombre de caractères à la fois, en choisissant en premier lieu ceux qui sont les plus faciles à manipuler, mais sont en même temps importants, tels que la rectitude du fût, la tendance aux fourches, la vigueur, etc..., avant de considérer les priorités du bois comme facteur de sélection (5).

##### Intensité de sélection

La sélection des arbres se fait en gardant présentes à l'esprit, entre autres, deux considérations: que les arbres choisis aient le plus faible degré de parenté possible afin d'éviter les problèmes dus à la consanguinité, et que l'on puisse obtenir un nombre minimum d'individus en rapport avec le but poursuivi. Pour la première, dans les peuplements naturels, la distance entre les arbres est un indicateur assez sûr. Plus les arbres sont proches les uns des autres, plus grandes sont les probabilités de relations consanguines, du fait même des caractéristiques du mouvement de pollen. Des arbres espacés entre eux, que ce soit dans une même zone ou mieux encore dans des zones différentes, présentent moins de liens de parenté. Dans des plantations artificielles on peut s'attendre à ce qu'au moins les arbres plantés la même année soient davantage parents entre eux. D'une année à l'autre, et d'une station à l'autre, la source particulière de semences peut varier, en particulier lorsqu'il en faut des lots importants. Dans ce cas, on s'efforcera de réduire le nombre total de sélections sur une surface commune de plantation.

D'un autre côté, le nombre de sélections influe sur la taille de la base génétique. Un nombre réduit de sélections donnera lieu à une base très étroite, qui pourra entraîner rapidement des problèmes entre autres de consanguinité. Dans les vergers à graines on considère 20 arbres comme un minimum absolu afin de maintenir une base génétique suffisamment large pour obtenir des gains importants, et pour que les semences produits puissent s'adapter à la variabilité des conditions des stations de reboisement. Cela part de l'hypothèse d'une régularité dans le temps et en quantité de la floraison et de la fructification de tous les arbres. Etant donné que ce n'est pas toujours le cas, il est préférable d'en utiliser un plus grand nombre. Dans les peuplements semenciers le nombre d'arbres conservés dépendra des besoins en semences, du développement des arbres et de la surface disponible, mais il est en général de 100 à 250 pieds à l'hectare.

La sévérité de la sélection diminue au fur et à mesure que l'on dispose de paramètres de variabilité tels que l'héritabilité; on a pris des intensités de sélection de 1 arbre pour 700 hectares en Nouvelle-Zélande avec Pinus radiata, 1 arbre pour 1,2 hectares en Australie avec Pinus radiata, 1 arbre sur 8 000 en Colombie avec Cupressus lusitanica, 1 arbre sur 750 (1 pour 0,65 hectares) avec Pinus caribaea à Cachipo au Venezuela (4, 5, 8).

La décision finale dépendra dans tous les cas de la variabilité de l'essence et des besoins immédiats de semences, tant en quantité qu'en qualité.

L'intensité de sélection s'exprime sous différentes formes. L'une d'elles est la différentielle de sélection (s), qui exprime la différence entre la moyenne de la population originelle et la moyenne des arbres sélectionnés.

La moyenne de la population originelle peut être évaluée à partir d'un échantillon. Etant donné que cela demande souvent beaucoup de temps et d'argent, on a utilisé comme norme de référence les moyennes des 4 ou 5 meilleurs arbres voisins de l'arbre sélectionné.

A partir de cette valeur et de l'héritabilité ( $h^2$ ) estimée pour un caractère donné, nous pouvons calculer le gain génétique (R) attendu. Voir l'exposé sur la génétique quantitative pour une information plus détaillée à ce sujet.

#### Propagation des arbres sélectionnés

Dans le cas d'arbres sélectionnés pour être introduits dans des vergers à graines, on a le choix entre deux modes de propagation, sexuée et asexuée, qui détermineront le type de verger à créer (verger à graines de familles ou clonal selon le cas).

### LA PRATIQUE DE LA SELECTION

#### Méthodes d'amélioration par sélection

Le généticien forestier dispose de deux méthodes les plus courantes de sélection: sélection massale et sélection de familles (1,10).

Dans la sélection massale, le choix des individus est basé sur leur apparence phénotypique, en permettant ensuite un libre croisement entre eux. C'est la pratique courante dans les peuplements semenciers et les vergers à graines de production, où les semences sont mélangées sans considération des liens de parenté. Afin de vérifier l'efficacité de la sélection massale, on peut procéder à un essai de descendance par groupes d'arbres sélectionnés aussi bien que non sélectionnés des populations originelles. Cette méthode s'est avérée efficace pour des caractères d'héritabilité élevée.

La sélection de familles permet de conserver le contrôle des liens parentaux dans la descendance résultante, ce qui facilite une évaluation continue des arbres sélectionnés. Les liens de parenté les plus courants sont les fratries (deux parents communs) et les demi-fratries (un parent commun). Différents procédés et cycles d'évaluation, groupés sous le terme générique de sélection récurrente, permettent l'élimination d'arbres initialement sélectionnés ainsi que l'incorporation de nouvelles sélections. C'est la pratique la plus courante dans les vergers à graines de production et contrôle de croissance (avec essais de descendance).

### Sources d'arbres pour la sélection

La source dans laquelle on choisira les arbres est déterminée par leur destination. Dans le cas de peuplements semenciers, la sélection se fait sur un espace défini, qui est normalement un peuplement artificiel d'origine connue, ou parfois un peuplement naturel, présentant de bonnes caractéristiques générales de développement végétatif et de reproduction de graines minima. Il devra en outre être situé dans la zone où les semences seront utilisées par la suite. Dans le cas des vergers à graines, on prend comme référence l'étendue totale d'une région climatique naturelle ou d'une zone de reboisement. Afin d'avoir une bonne base de travail initiale, on peut commencer la sélection dans les meilleurs peuplements des meilleures provenances.

### Critères de sélection

Il existe deux critères pratiques d'évaluation des arbres: la méthode d'évaluation individuelle et la méthode d'évaluation comparative. La première consiste à évaluer chaque arbre selon ses mérites propres, suivant des échelles de valeur pour les différentes classes de chaque caractéristique, ces classes étant déterminées par des critères techniques en fonction des variables phénotypiques discernables. Cela introduit un certain degré de subjectivité. Cette méthode d'évaluation est appropriée pour des échantillons pris dans des boisements qui doivent être utilisés comme peuplements semenciers, et que l'on désire caractériser pour prendre des décisions concernant l'intensité et les critères d'intervention. On l'emploie également pour évaluer la croissance des plants dans les essais de descendance. Dans ce système on fixe un niveau au-dessous duquel tout arbre est éliminé automatiquement, indépendamment de la valeur de ses autres caractéristiques.

La seconde méthode utilise des échelles d'évaluation qui découlent de la supériorité manifeste de l'arbre candidat par rapport aux arbres voisins comparables. Généralement, on attribue un certain nombre de points supplémentaires pour chaque pourcentage ou valeur absolue de supériorité, affectés d'un coefficient dépendant du poids que l'on désire attribuer à chaque caractéristique dans l'ensemble.

Cette méthode fonctionne assez bien pour des caractères chiffrables en unités spécifiques (hauteur, diamètre, volume), mais on l'utilise également pour des caractéristiques plus qualitatives, auquel cas on prend comme base des classes plus ou moins subjectives.

Certaines caractéristiques sont déterminantes, indifféremment du critère de sélection, à savoir qu'elles entraînent le rejet ou l'acceptation, comme c'est le cas de la résistance aux parasites et maladies; un signe quelconque d'attaque, par exemple, élimine automatiquement l'arbre que l'on évalue.

### Terminologie

Un arbre qui à première vue est phénotypiquement désirable et qui va faire l'objet d'évaluation est qualifié de candidat ou présélectionné. Une fois que ses caractéristiques ont été évaluées et qu'il est retenu pour une utilisation ultérieure, il devient sélectionné ou arbre plus.

Si on lui a reconnu des caractéristiques génétiques supérieures, c'est un arbre d'élite. Cela demande souvent plusieurs cycles d'essais de descendance.

BIBLIOGRAPHIE

- Allard, R.W. Principles of Plant Breeding. John Wiley and Sons, Inc., New York, (1964) 485 p.
- Brown, C.L. and Silvical considerations in the selection of plus phenotype, Goddard, R.E. J. For. 59:420-426. (1961)
- Falconer, D.S. Introduction to Quantitative Genetics. The Ronald Press Company, New York. 365 p. (1960)
- Guiérrez, V.,M. Iniciación de un Programa de Mejoramiento Genético de y Ladrach, W.E. Cupressus lusitanica y Pinus patula en Colombia. Boletín (1978) IFLAIC, No. 53:2-19.
- Keiding, H. Selection of individual trees. In: FAO/DANIDA Training (1974) Course on Forest Tree Improvement, Kenya. P. 165-175.
- Ledig, F.T. An analysis of methods for the selection of trees from wild (1974) stands. For Sci 20:2-16.
- Morgenstern, E.K. Review of the principles of plus tree selection. In: Plus (1975) tree selection: Review and Outlook. Publication 1347, Canadian Forestry Service, Ottawa, Canada. P. 1-27.
- Smith, N. Selección de árboles en Cachipo para establecer un huerto (1976) semillero de Pinus caribaea Morelet. II Seminario Nacional de Plantaciones Forestales S.V.I.F. Mérida, Venezuela. 42 p.
- Villarreal, Raúl. Consideraciones sobre un programa de Mejoramiento de especies (1969) forestales en México. Tesis Ing. Agrónomo. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México, 128 p.
- Wright, J.W. Introduction to Forest Genetics. Academic Press, New York. (1976) 463 p.

Annexe 1

EXEMPLE DE CRITERES DE SELECTION:  
CRITERES UTILISES POUR LES PEUPLEMENTS SEMENCIERS

- I. Rectitude du fût
  - 1. Rectiligne
  - 2. Torsion légère
  - 3. Torsion forte
- II. Fourches
  - 1. Non fourchu
  - 2. Fourchu dans le tiers supérieur
  - 3. Fourchu dans le tiers médian ou inférieur
- III. Anomalies (notamment pour les pins)
  - 1. Sans anomalie
  - 2. Anomalie apparente récupérée
  - 3. Anomalie moyennement à fortement développée.
- IV. Floraison et fructification
  - 1. Portant des fruits
  - 2. Portant seulement des fleurs
  - 3. Sans fleurs ni fruits

Les trois premières caractéristiques sont déterminantes. L'ordre de préférence est: 111, 211, 112, 121, 122, 221, 222.

Les classes 3 ne seront incluses que dans des cas extrêmes, ce qui dans tous les cas dénotera un peuplement médiocre.

La floraison et la fructification serviront de base de choix entre des arbres de même catégorie lorsqu'on procédera au marquage des arbres à conserver ou à éliminer.

On notera également le diamètre à hauteur d'homme, la hauteur, et toute autre information connue sur l'arbre.

Annexe 2

EXEMPLE DE CRITERES DE SELECTION:  
CRITERES UTILISES POUR LES VERGERS A GRAINES

On localise un arbre candidat et 4 arbres voisins pour servir de comparaison.

1. Vigueur (Surface terrière ou volume)

On accordera 3 points pour chaque 10 pour cent de supériorité de l'arbre candidat sur la moyenne des arbres voisins, jusqu'à un maximum de 30 points (100% de supériorité).

On retranchera la même quantité si l'arbre candidat est inférieur à la moyenne des voisins.

2. Fût

Catégories: 1. Rectiligne  
2. Torsion légère  
3. Torsion forte (seulement pour les arbres voisins).

On accordera 1 point si l'arbre candidat est dans la meilleure catégorie, et 1 point supplémentaire pour chaque 0,25 de supériorité sur la moyenne des voisins.

On retranchera la même quantité en cas d'infériorité à la moyenne.

Valeur maxima: 9 points.

3. Nombre de verticilles

On accordera: 1 point si le candidat est supérieur au moins bon des voisins, mais inférieur à leur moyenne.

2 points s'il est égal à la moyenne.

3 points s'il est supérieur à la moyenne mais inférieur au meilleur des arbres voisins.

4 points s'il est égal au meilleur voisin.

6 points s'il est supérieur au meilleur voisin.

Valeur maxima: 6 points.

4. Nombre moyen de branches dans les 3 premiers verticilles

Même notation que pour le nombre total de verticilles.

Valeur maxima: 6 points.

5. Caractéristiques de la cime

Catégories: 1. Branches vivantes seulement dans le tiers supérieur.  
2. Branches vivantes jusqu'au tiers médian.  
3. Branches vivantes jusqu'au tiers inférieur.  
Même notation que pour le fût.

Valeur maxima: 9 points.

6. Diamètre des branches

On prendra la branche (vivante ou morte) la plus grosse jusqu'au milieu du fût.

Catégories: 1. Branches absentes  
2. Branches fines (jusqu'à 1/10 du diamètre à hauteur d'homme).  
3. Branches moyennes (jusqu'à 1/4 du diamètre).  
4. Branches grosses (plus de 1/4 du diamètre).

Même notation que pour le fût.

Valeur maxima: 9 points.

7. Angle d'insertion des branches

- Catégories: 1. Voisin de  $90^{\circ}$  ou supérieur par rapport au tronc au-dessus de la branche.  
2. Moins de  $90^{\circ}$  et jusqu'à  $45^{\circ}$ .  
3. Moins de  $45^{\circ}$ .

Même notation que pour le fût,

Valeur maxima: 9 points.

8. Attaques de parasites ou maladies

- 5 points: arbre sain dans un peuplement présentant des signes mineurs d'attaques.  
-10 points: arbre sain dans un peuplement très attaqué (plus de 30%).

Conditions essentielles

1. Aucun arbre candidat ne devra être, pour aucune caractéristique, inférieur au moins bon des voisins.
2. Aucun arbre candidat ne devra être inférieur à la moyenne des voisins pour plus de 2 caractéristiques (valeurs négatives).
3. Aucun arbre montrant des signes d'attaque de parasites ou de maladies ne sera pris en considération pour la sélection.

Apport des différentes caractéristiques

Notation maxima pour l'arbre sélectionné: 92 points

|             |       |                   |       |
|-------------|-------|-------------------|-------|
| Vigueur     | 32,6% | Cime              | 9,8%  |
| Fût         | 9,8%  | Diamètre branches | 14,1% |
| Verticilles | 6,5%  | Angle branches    | 9,8%  |
| Branches    | 6,5%  | Attaques          | 10,9% |

GENETIQUE QUANTITATIVE:  
PRINCIPES GENERAUX ET APPLICATION PRATIQUE A  
L'AMELIORATION DES ARBRES FORESTIERS

Bjerne Ditlevsen  
Service forestier national, Danemark

TABLE DES MATIERES

Introduction

La génétique quantitative

Valeurs génotypiques et phénotypiques

Effet moyen d'un gène et valeur reproductive  
Déviations dues à la dominance et à l'épistasie

Variation des caractères quantitatifs

Concordance entre individus ayant des liens de parenté

Héritabilité

Aptitude générale et spéciale à la combinaison

Sélection et gain génétique

Bibliographie

INTRODUCTION

La génétique quantitative traite de la transmission héréditaire des différences entre individus pouvant être qualifiées de quantitatives, c'est-à-dire se présentant sous la forme de différences de degré, par opposition à la génétique mendélienne qui s'intéresse aux différences de caractères qualitatifs (Strickberger, 1968).

Les fonctions génétiques fondamentales sont les mêmes dans la génétique quantitative et dans la génétique mendélienne, mais dans la première les différences observées sont le résultat de différences de gènes occupant de multiples loci, tandis que dans la génétique mendélienne elles sont dues à des différences de gènes associés à un seul locus ou à un petit nombre de loci, les types différents apparaissant en proportions déterminées (Falconer, 1964).

LA GENETIQUE QUANTITATIVE

La majeure partie des caractères qui intéressent l'amélioration génétique des arbres forestiers dépendent de gènes multiples dont les effets sont additifs: ce sont des caractères quantitatifs typiques. Comme exemples nous pouvons citer la hauteur, le diamètre, la forme du tronc, la densité du bois. L'étude de l'hérédité de ces caractères ne peut se faire sur des individus; elle doit s'effectuer sur des populations (Wright, 1976).

Les analyses et études de caractères quantitatifs peuvent être réalisées en utilisant différentes méthodes statistiques.

L'analyse des caractères quantitatifs s'effectue en étudiant les concordances qui existent entre individus apparentés, et l'un des objets de cette analyse est de pronostiquer l'effet de la sélection, et de déterminer comment elle doit être réalisée.

Comme on l'a indiqué plus haut, les méthodes statistiques sont essentielles, et l'étude des caractères quantitatifs nécessite des grandeurs telles que moyennes et variances.

Une tâche importante sera de répartir la variation phénotypique en ses composantes causales, comme effets du milieu extérieur et effets génétiques, en plus de répartir la composante génétique entre composante additive, dominante et épistatique (Falconer, 1964; Sheperd, 1977).

#### VALEURS GENOTYPIQUES ET PHENOTYPIQUES DE LA POPULATION

La composition génotypique d'une population est souvent exprimée sous la forme de fréquences de gènes et de génotypes. Pour rechercher une relation entre ces fréquences et les différences quantitatives qui se manifestent par des caractères susceptibles d'être mesurés, nous introduisons un terme nouveau, celui de "valeur", s'exprimant dans les unités qui servent à mesurer le caractère en question (Falconer, 1964).

On utilise les termes suivants:

$P$  = valeur phénotypique d'un caractère déterminé;

$G$  = valeur génotypique. Par génotype on entend la constitution génétique complète d'un individu;

$E$  = déviation due au milieu, c'est-à-dire toutes les circonstances non génétiques qui influent sur la valeur phénotypique.

La relation entre ces valeurs peut être exprimée par la formule suivante:

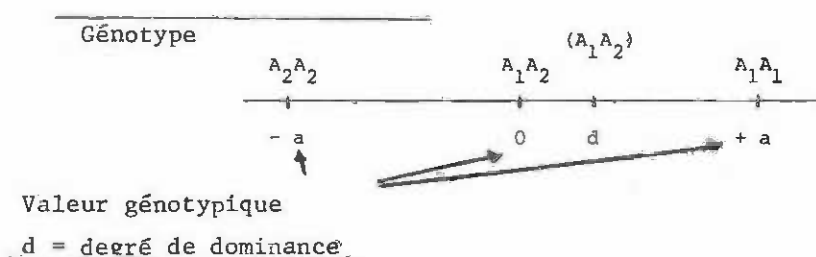
$$P = G + E$$

Pour l'ensemble de la population nous avons:

$$(\text{valeur moyenne}) \quad m(E) = 0$$

$$\text{c'est-à-dire que: } m(P) = m(G)$$

Nous pouvons illustrer ce qui précède par un cas simple dans lequel les caractères sont sous la dépendance d'un seul locus avec deux allèles  $A_1$  et  $A_2$ . On attribue au génotype individuel respectivement une valeur de  $-a$ ,  $d$  et  $a$ , comme le montre la figure suivante:



Dans l'exemple donné l'hétérozygote  $A_1$  et  $A_2$  n'apparaît pas comme la valeur moyenne de  $A_1 A_1$  et  $A_2 A_2$ , mais comme la valeur  $d$ , dénommée degré de dominance.

Si nous imaginons que les gènes  $A_1$  et  $A_2$  apparaissent dans une population en équilibre avec les fréquences respectives  $p$  et  $q$ , nous pourrions calculer la valeur génotypique de la population comme l'indique le schéma suivant:

| Génotype | Fréquence           | Valeur      | Valeur moyenne    |
|----------|---------------------|-------------|-------------------|
| $A_1A_1$ | $p^2$               | $+ a$       | $p^2 \cdot a$     |
| $A_1A_2$ | $2 \cdot p \cdot q$ | $d$         | $2pq \cdot d$     |
| $A_2A_2$ | $q^2$               | $- \bar{a}$ | $q^2 \cdot (- a)$ |
| Total    | 1                   |             | $a(p-q) + 2pqd$   |

La valeur  $a(p-q)+2dpq$  est la valeur génotypique de la population en ce qui concerne seulement ce locus, et est en même temps la valeur phénotypique, étant donné que la somme des déviations de la population dues au milieu est égale à zéro.

La moyenne de la population en ce qui concerne tous les loci qui influent sur le caractère en question (caractère quantitatif polygénique) est :

$$M = \sum_{\text{loci}} a(p-q) + 2 \sum_{\text{loci}} pqd$$

#### Effet moyen d'un gène et valeur reproductive

En rapport avec l'étude de la transmission d'une "valeur" des parents à leurs descendants, il ne suffit pas d'utiliser la valeur génotypique, étant donné que les parents ne transmettent pas leur génotype, mais leurs gènes, à la génération suivante. On utilise à la place l'"effet moyen", qui se définit comme étant la déviation moyenne par rapport à la moyenne de la population que présentent les individus qui reçoivent le gène en question (nous supposons que le gène allèle est emprunté au hasard à la population).

En conséquence, l'effet moyen dépendra tant du gène que de la population en question.

A partir de la notion d'effet moyen, la valeur reproductive (A) d'un individu peut se définir comme suit :

- 1° la somme des effets moyens des gènes (les gènes dont dépend le caractère en question).

En vertu de cette définition, la valeur reproductive est une grandeur théorique. Une autre définition plus pratique est la suivante :

- 2° 2 fois la valeur moyenne de la descendance (mesurée par les déviations par rapport à la moyenne de la population), lorsque l'individu s'est accouplé au hasard avec une série de membres de la population.

La valeur reproductive se dénomme également génotype additif.

Pour une population en équilibre nous constatons que la moyenne des valeurs reproductives des individus est égale à zéro.

La valeur reproductive d'un individu d'une population peut être calculée à partir de la valeur moyenne de ses descendants en pollinisation libre. Selon la définition no 2, la valeur reproductive peut être calculée comme suit :

$$A = 2 \times (\text{moyenne de la population} - \text{moyenne de la descendance})$$

La notion de valeur reproductive, en tant qu'expression de la partie de l'ensemble héréditaire qui peut se transmettre de manière additive aux générations futures, est d'une grande importance pour l'amélioration génétique des arbres forestiers.

### Déviations dues à la dominance et à l'épistasie

Dans le paragraphe qui précède, nous avons mentionné à propos de l'individu la partie de la valeur génotypique qui peut se transmettre de manière additive aux descendants. La partie restante de la valeur de l'individu consiste en un effet de gène non additif entre les deux allèles d'un locus, appelé dominance (D). Nous avons par conséquent:

$$G = A + D$$

Pour une population en équilibre nous constatons que la moyenne des déviations dues à la dominance est égale à zéro, c'est-à-dire que:

$$m(D) = 0$$

Si nous étudions un caractère polygénique, nous pouvons avoir des effets de gènes non additifs entre loci. Ce phénomène est appelé épistasie (I); il en résulte que la valeur génotypique de caractères polygéniques peut être décomposée comme suit:

$$G = A + D + I$$

### VARIATION DES CARACTERES QUANTITATIFS

Dans le paragraphe qui précède, nous avons parlé de caractères et de valeurs pour des individus; nous traiterons maintenant de l'apparition de caractères et de valeurs dans la population. A cet effet nous étudierons avant tout la variation des caractères et des valeurs, et la relation entre eux.

Les valeurs des individus et les variances de la population (sous la forme de composantes de la variance) peuvent être disposées de manière analogue:

$$P = \underbrace{G}_{A+D+I} + E$$

$$V_P = \underbrace{V_G}_{V_A + V_D + V_I} + V_E$$

$V_P$  = variance phénotypique

$V_G$  = variance génotypique

$V_A$  = variance additive

$V_D$  = variance dominante

$V_I$  = variance épistatique

$V_E$  = variance due au milieu

La simple décomposition de la variance phénotypique en variances élémentaires ci-dessus est basée sur l'hypothèse que G et E sont indépendantes entre elles, de même que A, D et I.

Au moyen des variances, on peut exprimer l'importance relative d'une cause de variance comme la relation entre la composante de variance en question et la variance phénotypique. L'importance du génotype peut par exemple s'exprimer par le rapport  $\frac{V_G}{V_P}$ .

Les composantes de variance génotypique et de variance due au milieu ne peuvent être déterminées directement par des observations dans une population naturelle. En revanche, connaissant les liens de parenté, on peut les déterminer par des essais ou dans des populations expérimentales.

### Concordance entre individus ayant des liens de parenté

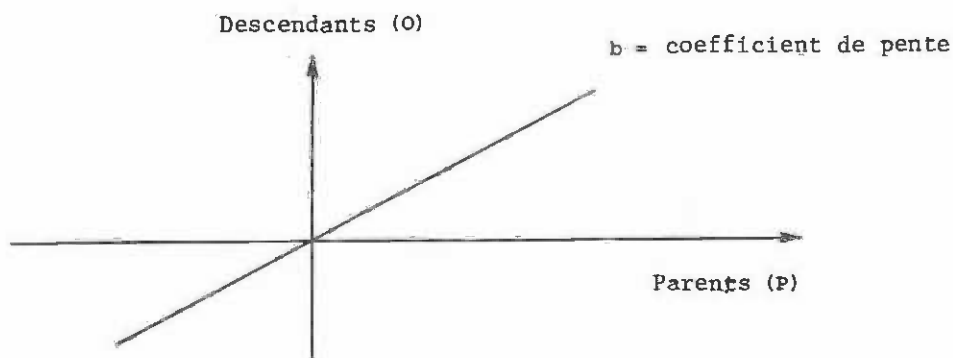
Les composantes de variance mentionnées dans le paragraphe qui précède sont dues à des causes motivées de variation, c'est pourquoi nous les appelons composantes de variance causales.

En revanche, s'il s'agit de mesurer le degré de relation entre individus ayant des liens de parenté, il faut faire une autre division différente de la variance phénotypique, correspondant au groupement des individus en familles. Ces composantes peuvent être évaluées directement à partir des valeurs phénotypiques, c'est pourquoi nous les appellerons composantes de variance observées. Pour éviter toute confusion, nous désignerons par la suite les composantes causales par  $V$ , et les composantes observées par  $\sigma^2$ .

Nous traiterons ci-dessous des 4 formes les plus courantes de parenté, à savoir:

- 1° la descendance et l'un des parents (l'autre étant pris au hasard dans la population);
- 2° la descendance et les deux parents connus;
- 3° la demi-fratrie (demi-frères);
- 4° la fratrie (frères).

La concordance entre les parents et leurs descendants peut être indiquée par la pente de la droite de régression parents-fils:



b (coefficient de pente) =

P = parents

O = descendants

$$\frac{SP_{PO}}{SS_P} = \frac{COV_{PO}}{\sigma_P^2}$$

SP = somme des produits

SS = somme des carrés

La concordance entre frères peut être indiquée par la grandeur:

$$t = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_B^2 + \sigma_W^2}$$

$\sigma_B^2$  = variance entre groupes de frères.

$\sigma_W^2$  = variance entre individus à l'intérieur des groupes de frères

Supposons que l'on désire maintenant relier les composantes observées aux composantes causales, autrement dit chercher les relations entre les valeurs observées de  $b$  et  $t$  et les composantes causales  $V_A$  et  $V_P$ .

Il est possible de déduire ces relations pour les degrés de parenté indiqués ci-dessus, et nous en donnerons ci-dessous un exemple pour la parenté de la descendance et de l'un des parents connus.

La concordance est indiquée par le coefficient:

$$b = \frac{Cov_{PO}}{\sigma_P^2}$$

Selon la définition no 2 de la valeur reproductive d'un individu la moyenne  $m$  (descendance) est égale à  $1/2 A$ , autrement dit la covariance doit être calculée entre l'un des parents (avec la valeur  $G$ ) et la moyenne de la descendance (avec la valeur  $1/2 A$ ).

$$Cov_{PO} = Cov(G, 1/2 A) = Cov(A + D, 1/2 A)$$

$$SP_{PO} = \sum (A + D) (1/2 A) = 1/2 \sum AD + 1/2 \sum A^2$$

En supposant que  $A$  et  $D$  sont indépendants, la somme de leurs produits est  $A \cdot D = 0$ .

$$Cov_{PO} = \frac{SP_{PO}}{(n-1)} = \frac{1/2 \sum A^2}{(n-1)} = 1/2 V_A \quad \text{car} \quad = 1/2 \frac{V_A}{V_P}$$

On peut de même déduire l'interprétation génétique des autres parentés. Les résultats sont synthétisés dans le schéma suivant:

| Parenté                                | Concordance observée | Interprétation génétique        |
|----------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Descendance et l'un des parents        | $b$                  | $1/2 \frac{V_A}{V_P}$           |
| Descendance et les deux parents connus | $b$                  | $\frac{V_A}{V_P}$               |
| Demi-frères                            | $t$                  | $1/4 \frac{V_A}{V_P}$           |
| Frères                                 | $t$                  | $\frac{1/2 V_A + 1/4 V_D}{V_P}$ |

# HERITABILITE

Le concept d'héritabilité d'un caractère désigne la proportion de la variance totale qui est due à l'action des gènes.

On utilise deux concepts d'héritabilité, qui se définissent de la manière suivante:

- 1° héritabilité au sens le plus large  $h_{sl}^2 = \frac{V_G}{V_P}$
- 2° héritabilité au sens le plus étroit  $h_{ss}^2 = \frac{V_A}{V_P}$

Il importe de noter que l'héritabilité n'est nullement une grandeur fixe, mais qu'elle dépend tant de la population que du milieu. Par conséquent, lorsqu'on indique une héritabilité il faut toujours l'accompagner d'une indication sur le milieu qui entoure ses composantes.

En règle générale nous pouvons dire que l'héritabilité dans les peuplements courants est relativement basse, du fait que le milieu a une importance relativement grande pour la valeur phénotypique de l'individu. En revanche, l'héritabilité peut être assez élevée dans des essais bien conçus.

Comme on l'a mentionné précédemment, on peut procéder à une interprétation génétique des coefficients de régression observés (parent-descendance) ou des coefficients entre classes (entre frères). De la même façon, les coefficients observés peuvent être utilisés comme évaluation de l'héritabilité. Nous donnons ci-dessous un résumé des relations entre les coefficients et  $h_{ss}^2$  pour les 4 formes de parenté suivantes:

- 1° la descendance et l'un des parents  $b = 1/2h_{ss}^2$
- 2° la descendance et les deux parents  $b = h_{ss}^2$
- 3° demi-fratrie  $t = 1/4h_{ss}^2$
- 4° fratrie  $t > 1/2h_{ss}^2$

L'héritabilité est normalement liée aux individus, mais l'héritabilité de famille comme l'héritabilité à l'intérieur de la famille peuvent être évaluées en suivant les lignes directrices décrites au début du présent paragraphe. L'héritabilité de famille est plus élevée que l'héritabilité correspondante de l'individu, étant donné qu'en utilisant des valeurs de moyenne (moyenne de famille) on arrive à une réduction importante de la composante effet du milieu.

Nous indiquons ci-dessous comment on peut calculer l'héritabilité à partir des résultats d'un essai de descendance. L'essai comprend des groupes de demi-frères, et il comporte un dispositif en blocs aléatoires. Pour le calcul on utilise les composantes de variance décrites dans le schéma d'analyse de variance ci-dessous:

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Composantes de la variation     |
|-------------------------|-------------------|---------------------------------|
| Descendances (d)        | n-1               | $\sigma^2 + r \cdot \sigma_d^2$ |
| Blocs (b)               | r-1               | $\sigma^2 + n \cdot \sigma_b^2$ |
| Résiduelle              | (n-1)(r-1)        | $\sigma^2$                      |
| Total                   | rn-1              |                                 |

Puisqu'il s'agit de demi-fratries, la variance entre les groupes peut être interprétée comme égale à  $1/4 V_A$ , autrement dit:

$$\sigma_d^2 = 1/4 V_A ; \quad V_A = 4\sigma_d^2 ; \quad V_E = \sigma^2/r$$

Si nous supposons qu'il n'y a pas de dominance, la variance phénotypique peut s'écrire comme suit:

$$V_P = V_A + V_E$$

$$h_{ss}^2 = \frac{V_A}{V_P} = \frac{V_A}{V_A + V_E} = \frac{4\sigma_d^2}{4\sigma_d^2 + \sigma^2/r}$$

#### APTITUDE GENERALE ET SPECIALE A LA COMBINAISON

La variance entre familles a été divisée ci-dessus en composantes génétiques dénommées composantes causales. On peut cependant également la diviser entre les deux composantes suivantes, qui peuvent être observées:

- 1° Aptitude générale à la combinaison AGC
- 2° Aptitude spéciale à la combinaison ASC

L'AGC d'un individu se définit comme la moyenne de la descendance résultant du croisement avec plusieurs autres individus. L'ASC de deux individus déterminés se définit comme la déviation de leurs descendants par rapport à l'ASC moyenne des deux individus.

La moyenne d'une descendance entre deux individus X et Y peut par conséquent être décrite comme suit:

$$\underline{M_{XY} = AGC_X + AGC_Y + ASC_{XY}}$$

En conséquence, la variance entre croisements peut être analysée selon deux composantes: la variance de l'aptitude générale à la combinaison et la variance de l'aptitude spéciale à la combinaison. Cette dernière apparaît dans les analyses statistiques comme la composante d'interaction.

De la définition no 2 de la valeur reproductive il ressort que l'AGC est égale à la moitié de la valeur reproductive de l'individu.

L'aptitude spéciale à la combinaison dépend uniquement de la variance génétique non additive.

La connaissance de l'AGC et de l'ASC est importante pour la sélection et la combinaison de matériel en vue de la production future de semences.

L'AGC et l'ASC peuvent être calculées à partir des dispositifs de croisement que nous décrirons en détail dans un exposé ultérieur, et nous ne donnerons ci-dessous qu'un exemple de calcul d'AGC et ASC.

1<sup>o</sup> Valeurs moyennes de 4 descendance:

| Parents | 1  | 2  | Moyenne |
|---------|----|----|---------|
| 3       | 20 | 60 | 40      |
| 4       | 30 | 90 | 60      |
| Moyenne | 25 | 75 | 50      |

2<sup>o</sup> Déviation de la moyenne générale des descendants et calcul de l'AGC:

| Parents | 1    | 2  | CCG  |
|---------|------|----|------|
| 3       | - 30 | 10 | - 10 |
| 4       | - 20 | 40 | 10   |
| AGC     | - 25 | 25 | 0    |

3<sup>o</sup> Calcul de l'ASC au moyen de l'équation

$$\begin{aligned}
 ASC_{13} &= - 30 - (- 25) - (- 10) = 5 \\
 ASC_{23} &= 10 - 25 - (- 10) = - 5 \\
 ASC_{14} &= - 20 - (- 25) - 10 = - 5 \\
 ASC_{24} &= 40 - 25 - 10 = 5
 \end{aligned}$$

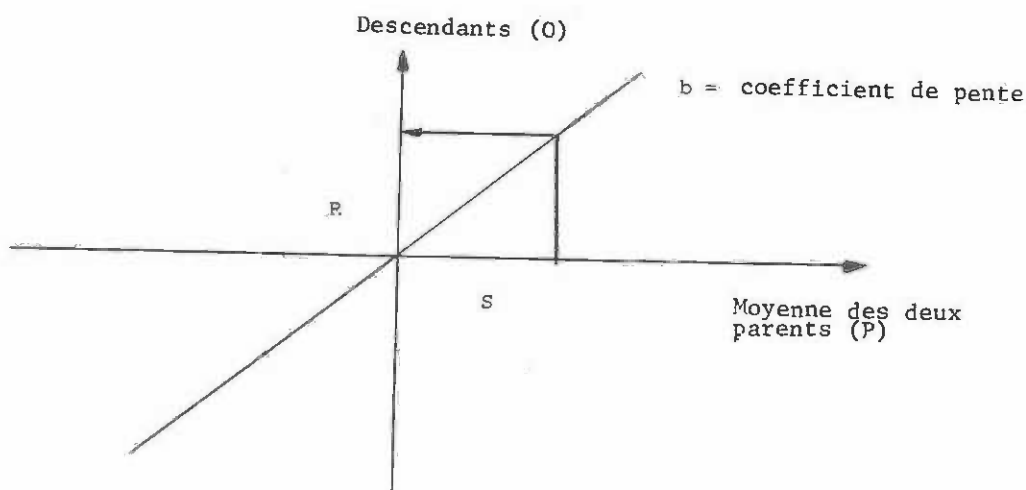
#### SELECTION ET GAIN GENETIQUE

Une partie des paramètres génétiques mentionnés, et en particulier l'héritabilité, ont une grande importance pour la sélection et pour l'évaluation du gain génétique obtenu par la sélection.

L'intensité de la sélection dans une population peut s'exprimer par la différentielle de sélection  $S$ , qui est la différence entre la moyenne de la population et la moyenne de la fraction sélectionnée, ou encore par l'intensité de sélection donnée par la formule  $i = \frac{S}{\sigma_p}$ ,  $\sigma_p$  étant la dispersion phénotypique de la population.

Si dans une population nous sélectionnons les meilleurs individus comme parents de la génération suivante, nous pouvons définir le gain génétique ( $R$ ) comme étant le déplacement de la moyenne entre la descendance des individus sélectionnés et l'ensemble de la population.

Cette relation est illustrée par la figure suivante:



La pente de la droite de régression qui exprime la relation entre S et R est égale à l'héritabilité.

Le coefficient de régression  $b = h_{ss}^2 = \frac{S}{R}$  d'où

$$R = h_{ss}^2 S.$$

La différentielle de sélection S dépend de la dispersion de la population, c'est pourquoi il convient de la normaliser en la divisant par la dispersion phénotypique, comme c'est le cas avec i.

En utilisant i au lieu de S on obtient la fonction suivante:

$$R = i h_{ss}^2 \sigma_P$$

#### BIBLIOGRAPHIE

- Falconer, D.S. Introduction to Quantitative Genetics. Oliver and Boyd, Edinburgh. (1964)
- Shepherd, K.R. General Genetics and Inheritance. International Training Course (1977) in Forest Tree Breeding, Canberra, Australia.
- Strickberger, M.W. Genetics. The Macmillan Company, New York, U.S.A., (1968)
- Wright, J.W. Introduction to Forest Genetics. Academic Press, New York, U.S.A. (1976)

## METHODES DE MULTIPLICATION VEGETATIVE

Marcelino Quijada R.  
Institut de sylviculture  
Université des Andes  
Mérida, Venezuela

### TABLE DES MATIERES

Définition

Utilisation pratique

Terminologie générale

Méthodes

Bouturage  
Greffage  
Marcottage  
Culture de tissus

Incompatibilité

Bibliographie

### DEFINITION

Les plantes possèdent deux formes de reproduction: sexuée et asexuées. La différence essentielle réside dans le processus de fécondation qui a lieu dans la première mais non dans la seconde.

La reproduction asexuée présente à son tour deux modalités, l'apomixie et la multiplication végétative. L'apomixie est un mode de reproduction à partir du développement d'un des gamètes (l'ovule) sans qu'il y ait fécondation, ou d'une cellule sans réduction chromatique, donnant naissance à des graines ou à des organes semblables à des graines. La multiplication végétative consiste en une reproduction à partir d'organes végétatifs bien différenciés.

### UTILISATION PRATIQUE

L'utilisation pratique des méthodes de multiplication végétative s'appuie sur deux considérations biologiques:

- a) le maintien de la condition physiologique de l'arbre parent dans l'organe multiplié;
- b) le maintien d'une constance génétique, en effet la partie multipliée est génétiquement identique à l'individu original.

La multiplication végétative est largement utilisée en amélioration génétique, entre autres pour:

- a) la création de vergers à graines clonaux;
- b) la création de banques de clones, où l'on effectue des travaux de pollinisation dirigée, en raison de la commodité d'avoir des fleurs à faible hauteur;
- c) la propagation de produits spéciaux d'amélioration: hybrides exceptionnels (par exemple présentant une hétérosis) qui se perdent par la reproduction sexuée, hybrides stériles, etc...;
- d) la propagation à grande échelle de plants sélectionnés.

Son utilité dépend entre autres facteurs:

- a) de la facilité de manipulation des espèces. Beaucoup sont difficiles à multiplier végétativement, d'autres extrêmement faciles. Cela influe souvent sur les coûts de production, que ce soit pour la création de vergers à graines ou pour la production à grande échelle de matériel de plantation;
- b) du contrôle du développement des parties multipliées. Dans certains cas on a un phénomène de topophyse, qui se manifeste par un développement de la partie multipliée influencé par la partie de l'arbre dont elle provient, par exemple des rameaux latéraux ont parfois tendance à pousser dans un sens horizontal.

Un autre phénomène qui influe sur le développement est l'incompatibilité des greffes, pour lesquelles il y a, parfois une ou plusieurs années après le greffage, rejet des parties unies.

#### TERMINOLOGIE GENERALE

L'arbre originel dont on tire les parties à propager est l'ortet. Chaque partie déjà propagée est un ramet. L'ensemble des ramets provenant d'un même ortet est un clone. Les différences observées entre des arbres propagés par la même méthode sont appelés variation clonale.

#### METHODES

D'une manière générale, nous avons trois méthodes de multiplication végétative: le bouturage, le marcottage et le greffage.

Les boutures sont des fragments détachés de l'arbre et placés dans un milieu approprié pour s'y enraciner.

Les marcottes sont des parties de l'arbre sur lesquelles on provoque un enracinement et que l'on sépare ensuite de la plante-mère.

Le greffage consiste à souder une partie provenant de l'arbre à propager sur une autre partie possédant une racine propre.

D'un point de vue d'application pratique à l'amélioration des arbres, les méthodes les plus employées sont le bouturage et le greffage. Le marcottage peut être utile dans des cas spéciaux comme mesure transitoire.

#### Bouturage

On peut avoir des boutures ligneuses ou des boutures de feuilles. Les premières proviennent des rameaux ou de la tige; ce sont les plus importantes en ce qui concerne les arbres forestiers. Les boutures de feuilles s'appliquent davantage aux plantes ornementales, notamment celles qui ont une consistance charnue.

Le bouturage est la méthode de multiplication végétative la plus économique avec des essences qui ont de bonnes réserves de tissu aqueux, par exemple les Bombacaceae.

L'enracinement dépend entre autres facteurs de l'âge de la plante, de la condition de la bouture, de l'époque de récolte, du milieu d'enracinement et des traitements spéciaux appliqués.

En ce qui concerne l'âge, il est difficile à contrôler dans les forêts tropicales naturelles, mais on peut se guider sur les dimensions de l'arbre, notamment le diamètre. Les arbres très gros, de plus de 50 cm de diamètre, sont normalement des arbres âgés, et en conséquence d'enracinement difficile; lorsque celui-ci se produit, le système racinaire a parfois un développement médiocre. Les meilleurs résultats sont obtenus avec des arbres jeunes, mais cela entre souvent en conflit avec des buts particuliers, tels que production de fleurs, de fruits et de graines.

En ce qui concerne la condition de la bouture, les boutures les plus lignifiées rejettent difficilement, et sont les plus difficiles à faire enraciner. Les boutures très herbacées ont tendance à être très fragiles lorsqu'on les détache de la plante-mère. C'est pourquoi il faudra prendre des boutures dans un état intermédiaire, en particulier lorsqu'on les plante directement sur le terrain. Pour l'époque de récolte, on peut se guider sur l'état d'activité de la plante; l'époque la plus favorable est le moment où le développement des bourgeons de l'arbre entre dans sa plus grande activité, ce qui dans les zones tropicales de basse altitude du Venezuela coïncide avec le début des pluies (mars à avril).

Le milieu d'enracinement doit assurer une humidité suffisante, mais sans excès, ce que l'on obtient normalement avec une terre de texture intermédiaire, semi-sableuse, et une humidité de l'air (humidité relative ou précipitations) suffisante. Cela est facile à réaliser en conditions artificielles, mais ne peut être assuré sur le terrain qu'en saison des pluies.

Quant aux traitements, ils sont utiles lorsqu'on travaille à petite échelle (y compris vergers à graines); on utilise des substances stimulant l'enracinement, telles qu'acide indolacétique, indolbutylique, naphthalénoacétique, etc., en préparations commerciales (produits en poudre comme Rootone, Hormodin, Hormonagro, etc..) ou sous forme pure (solutions de 100 à 1 000 ppm).

Après avoir planté la bouture, on doit protéger l'extrémité supérieure, si elle a été coupée, avec une substance qui réduise l'évapotranspiration.

### Greffage

Le greffage consiste à prélever une partie végétative de l'arbre-mère (le greffon) et à la mettre en contact avec une plante ou partie de plante racinée (le sujet ou porte-greffe), pour obtenir la soudure des tissus.

Selon la parenté botanique entre porte-greffe et greffon, on a une greffe hétéroplastique ou hétérogreffe s'ils appartiennent à des espèces différentes (exemple: Cedrela odorata greffé sur C. angustifolia), une greffe homoplastique ou homogreffe s'ils sont de la même espèce. Cette dernière catégorie comprend les greffes autoplastiques, dans lesquelles greffon et porte-greffe appartiennent au même génotype.

Selon la position du greffon sur le porte-greffe, on a une greffe en bout ou une greffe latérale.

Le greffage en bout comporte un écimage du porte-greffe, ce qui dans bien des cas entraîne une réduction considérable du feuillage de la plante. On l'emploie pour de nombreuses essences feuillues.

Le greffage latéral permet de maintenir une masse de feuillage suffisante sur le porte-greffe, et est très employé pour les conifères, pour lesquels le facteur humidité est plus important.

L'Annexe 1 présente des dessins schématiques de quelques types de greffes couramment employés pour les arbres forestiers. On trouvera dans Dorman (1976) une description claire et détaillée, pas à pas, des greffes et marcottes plus particulièrement utilisées sur les pins.

Les coupes doivent être faites avec un couteau à greffer, dont la lame doit être maintenue propre et bien affûtée, afin d'avoir une coupe nette et qui ne soit pas un foyer d'infection. Le couteau à greffer possède en outre une spatule de métal ou de plastique dur qui sert à détacher l'écorce pour la greffe en écusson.

La coupe doit se faire d'un geste rapide et uniforme, ce qui avec une lame bien affilée donne une surface de coupe propre et lisse.

L'union entre greffon et porte-greffe doit être consolidée par un lien fort mais suffisamment élastique pour ne pas étrangler la tige au point d'union. On emploie couramment un ruban plastique semi-élastique, appelé ruban à greffer, qui peut contenir également un produit fongicide pour prévenir les attaques de champignons au point d'union.

Lorsqu'on travaille directement sur le terrain, on doit protéger efficacement la greffe pour réduire la dessiccation du greffon. Cette protection consiste souvent en une enveloppe double, l'enveloppe intérieure étant un sac de plastique qui aide à retenir l'humidité, et l'enveloppe extérieure un sac de tissu ou de papier non transparent qui évite les rayons solaires directs. Il est recommandé, comme première précaution, de greffer par temps nuageux et relativement humide.

Le choix du greffon doit tenir compte principalement de son état de développement. On doit rechercher des bourgeons qui ne sont pas encore complètement différenciés, mais qui sont en pleine activité, ce dont on peut s'assurer par leur taille, qui ne doit pas être trop forte, et par l'époque de prélèvement (début de la période de végétation).

Le greffon peut être un bourgeon ("oeil") avec un morceau d'écorce pour l'assujettir au porte-greffe, ou un tronçon de rameau avec un ou plusieurs yeux. Dans ce dernier cas le rameau ne doit pas être herbacé ni trop lignifié (idéalement rameau à sa seconde année de végétation).

Si l'on ne greffe pas immédiatement, il faut prendre la précaution de maintenir le greffon dans un endroit humide et frais, pendant deux jours au maximum.

Le porte-greffe doit être jeune et sain. Le critère principal de choix est l'affinité de grosseur entre greffon et porte-greffe. On préfère des diamètres de 0,5 à 2 cm, afin d'obtenir une bonne soudure.

#### Marcottage

Il arrive souvent qu'une essence soit difficile à propager par boutures, et présente des problèmes pour le greffage. Dans ce cas on peut tenter le marcottage. Ce procédé consiste à provoquer une blessure sur une section de l'arbre, et à le recouvrir par un matériau qui favorisera le maintien d'un milieu humide (mousse, lichen, étoupe, terre, etc...). Dans le processus de cicatrisation il se forme un cal, d'où peuvent partir des racines adventives.

On aide ce processus en utilisant des préparations hormonales, comme pour les boutures.

Les marcottes les plus courantes sont les marcottes aériennes, dans lesquelles le matériau de revêtement est autre que la terre, et qui sont faites à une certaine hauteur au-dessus du sol. Quand on dispose de branches basses longues et flexibles, on peut les introduire dans la terre; on a alors affaire à un marcottage par couchage. La partie utilisée pour le marcottage est habituellement une branche, mais chez certaines essences (exemple: Platymiscium sp.) on peut en blessant les racines provoquer la formation de pousses, qui constituent un type de marcottes étant donné qu'il n'y a pas séparation des racines de la tige.

Parmi les facteurs à considérer, on a ce qui a été dit à propos du bouturage; il est recommandé de prendre des branches de 1 à 2 cm de diamètre.

Une des principales difficultés de cette méthode est la transplantation, qui donne souvent lieu à des pertes importantes. Il est recommandé de faire une première transplantation dans un milieu assez meuble (sableux), afin de faciliter l'adaptation des racines. Ensuite on peut transplanter dans un milieu plus compact.

#### Culture de tissus

Une autre forme de multiplication végétative consiste en une culture de tissus à partir de cellules à potentiel élevé de division mitotique, dans un milieu approprié et en conditions d'asepsie. Cette méthode a été essayée avec des succès divers pour les gymnospermes et les angiospermes, mais tout permet de penser qu'elle est adaptable à de nombreuses essences forestières. Son grand avantage est qu'elle ne nécessite que de très petits fragments de matériel. Son principal inconvénient réside dans les conditions très précises de travail qu'elle exige, et elle est soumise aux mêmes limitations que le bouturage ou le greffage (par exemple, variation génotypique de la facilité de propagation).

## INCOMPATIBILITE

Un des problèmes majeurs qui se présentent dans le greffage est le phénomène de l'incompatibilité, qui se manifeste par un rejet du greffon par le porte-greffe. Souvent ce rejet n'est que le signe d'un mauvais ajustement des surfaces de coupe - par exemple, des surfaces irrégulières font qu'il y a peu de points de contact. Dans d'autres cas, cependant, le rejet traduit des conditions inhérentes et des différences génétiques, au niveau somatique, dans les tissus. Ce phénomène peut apparaître de manière précoce, et il a alors pour conséquence qu'il faut réaliser davantage de greffes pour obtenir le nombre désiré de greffes réussies. Plus gênante est l'incompatibilité tardive ou différée, qui peut ne se manifester qu'une ou plusieurs années après le greffage sur le terrain, ce qui implique des pertes importantes, par exemple de rendement en semences dans le cas de vergers à graines.

Chez de nombreuses essences on a décelé des signes extérieurs qui permettent de conclure à la présence d'une incompatibilité. Ces signes sont notamment: a) échecs précoces répétés avec certains arbres; b) rythme inégal de croissance du greffon et du porte-greffe; c) accroissement excessif au niveau, au-dessus ou au-dessous de la zone d'union; d) anomalies de coloration et de développement foliaire du greffon.

Ces trois derniers signes sont caractéristiques de l'incompatibilité différée, et ils s'expriment au bout d'une période variant entre 6 mois et 10 ans après le greffage.

Ce phénomène se rencontre non seulement dans le cas d'hétéroplastie, où l'on peut s'y attendre en raison de différences manifestes d'ordre taxinomique, mais également dans le cas d'homoplastie, c'est-à-dire de greffage avec une même espèce; il est alors davantage lié à des différences de provenances ou d'origines géographiques. Un moyen d'y remédier est de rechercher la plus grande affinité possible entre le plant qui sert de porte-greffe et l'arbre dont proviennent les greffons, afin d'avoir une compatibilité histologique aussi grande que possible.

Il convient de noter qu'il n'existe pas de méthode de greffage meilleure qu'une autre, mais que le résultat dépend souvent de l'habileté montrée par le greffeur avec une méthode donnée. Divers essais ont montré qu'il y avait des degrés variés de difficulté de manipulation du greffon et du porte-greffe, mais les résultats finaux ont été pratiquement les mêmes en ce qui concerne le pourcentage de reprise.

Le tableau ci-dessous indique les caractéristiques de multiplication végétative de quelques essences au Venezuela:

| <u>Essence</u>                  | <u>Facilité de multiplication végétative</u> |
|---------------------------------|----------------------------------------------|
| Bombacopsis quinata             | TF                                           |
| Cedrela odorata                 | M-F                                          |
| Tabebuia rosea                  | M-F                                          |
| Swietenia macrophylla           | D                                            |
| Anacardium excelsum             | M-D                                          |
| Pithecelobium saman             | TD                                           |
| Podocarpus rospigliosii         | D-TD                                         |
| Cordia alliodora                | M-D                                          |
| Cordia apurensis                | M-D                                          |
| Podocarpus oleifolius           | M                                            |
| Hura crepitans                  | M-F                                          |
| Tectona grandis                 | F                                            |
| Gmelina arborea                 | F                                            |
| Pinus caribaea var. hondurensis | M-F                                          |
| Pinus oocarpa                   | M-F                                          |

Essences

Facilité de multiplication végétative

Pinus radiata

M-F

Pinus patula

M-F

Légende

TF = très facile, pourcentage > 80%

F = facile, pourcentage moyen 60%

M = moyennement facile, pourcentage moyen 40%

D = difficile, pourcentage s'abaissant jusqu'à 20%

TD = très difficile, pourcentage généralement 0%

Les essences appartenant à deux classes de facilité de multiplication végétative présentent une grande variabilité clonale.

BIBLIOGRAPHIE

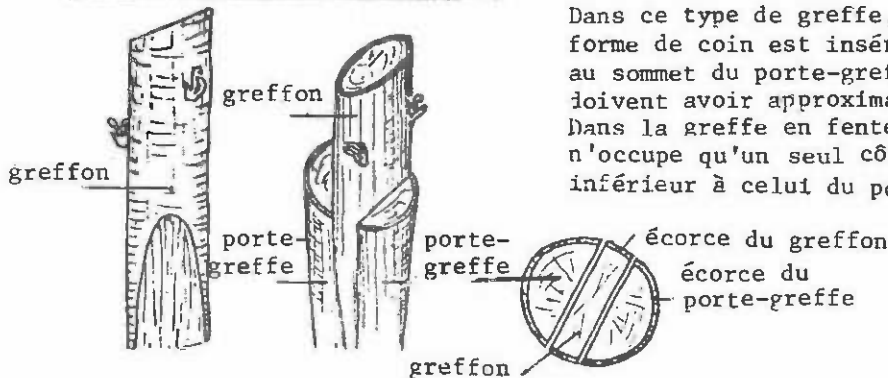
- Dorman, K.W. The Genetics and Breeding of Southern Pines. US Dept. Agriculture, (1976) Agriculture Handbook No. 471. Washington, D.C.
- Hartman, H. y Kester, D. Propagación de Plantas. Compañía Editorial Continental, S.A., México. (1967) 693 p.
- Jett, J.B. Vegetative Propagation. In: Forest Tree Improvement Training Course. (1969) N.C. State University, Raleigh, N.C. pp. 217-225.
- Jett, J.B. Incompatibility. In: Forest Tree Improvement Training Course, (1969) N.C. State University, Raleigh, N.C. pp. 226-230.
- Koenig, A. y Melchior, G.H. Propagación Vegetativa en Arboles Forestales. Proyecto Investigaciones y Desarrollo Industrial Forestales - (1978) COL/74/005. PIF no. 9. Bogotá, Colombia.
- New Zealand Forest Service. Special Issue on Vegetative Propagation. (1974) N.Z. J. For. Sc. 4(2): 119-458.
- Quijada, M. y Gutiérrez, V. Estudio sobre la propagación vegetativa de Especies Forestales Venezolanas. Rev. For. Ven. 21: 43-56. (1972)
- The Swedish University of Agricultural Sciences. Vegetative Propagation of (1977) Forest Trees - Physiology and Practice. Uppsala, Sweden, 159 p.
- Wright, J.W. Introduction to Forest Genetics. Academic Press, New York, 463 p. (1976)

ANNEXE 1

METHODES DE GREFFAGE DES ARBRES FORESTIERS 1/

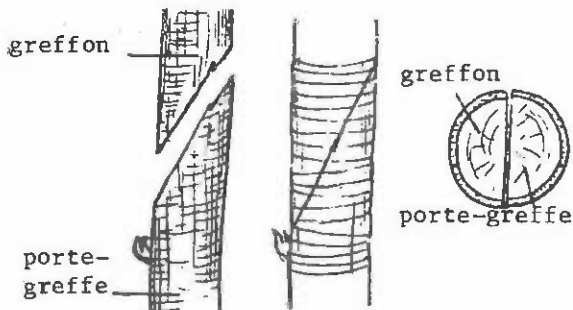
Dans la greffe le cambium du porte-greffe et celui du greffon doivent coïncider au moins sur un côté, afin de former rapidement de nouveaux tissus qui uniront les deux parties. Les coupes doivent être bien planes et lisses, afin de blesser un minimum de cellules. Pour répondre à ces conditions on dispose de différentes méthodes de greffage, selon le diamètre du greffon et les surfaces à unir. Les principales méthodes utilisées pour les arbres forestiers sont les suivantes:

a) Greffe en fente diamétrale



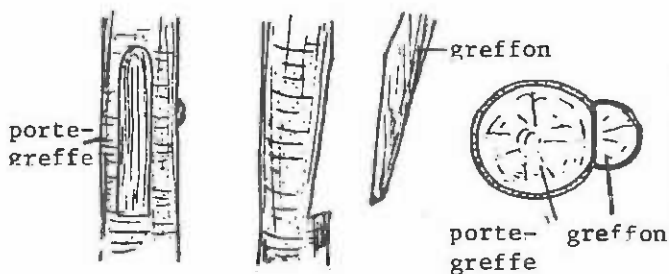
Dans ce type de greffe, le greffon taillé en forme de coin est inséré dans une fente pratiquée au sommet du porte-greffe. Greffon et porte-greffe doivent avoir approximativement le même diamètre. Dans la greffe en fente simple ou radiale, le greffon n'occupe qu'un seul côté, et peut avoir un diamètre inférieur à celui du porte-greffe.

b) Greffe à l'anglaise



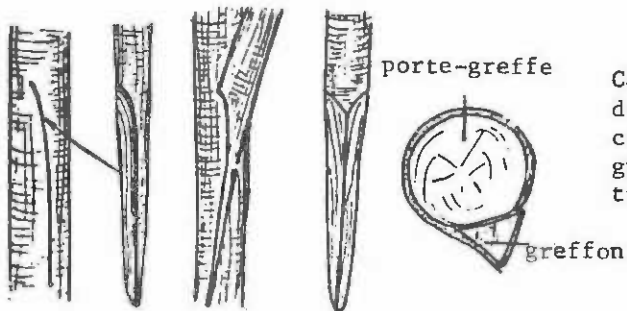
Le greffon et le porte-greffe (de diamètres semblables) sont réunis par une coupe oblique d'une longueur telle que le porte-greffe coïncide avec le greffon, et comportant ou non une entaille ou languette.

c) Greffe en placage sur talon



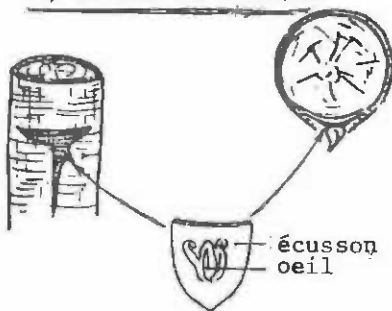
On emploie cette méthode lorsque les diamètres du porte-greffe et du greffon sont très différents. On prépare le porte-greffe au moyen d'une coupe tangentielle qui pénètre jusque dans le bois, et que l'on enlève par une autre coupe oblique. Le greffon est préparé de manière telle que la coupe coïncide avec l'échancrure du porte-greffe.

d) Greffe de côté sous écorce (avec greffon triangulaire)



Cette méthode est également utilisée pour des diamètres différents. On pratique une coupe seulement dans l'écorce du porte-greffe. Le greffon taillé suivant une section triangulaire est inséré dans l'ouverture.

e) Greffe en écusson



L'implantation d'un oeil sur le porte-greffe, dite greffe en écusson, est pratiquée avec les arbres fruitiers et les rosiers, et peut s'appliquer aux arbres forestiers tropicaux si l'on ne dispose que d'une quantité réduite de greffons, et si porte-greffe et greffon ont des diamètres différents, ou encore si les méthodes décrites précédemment ne donnent pas les résultats désirés.

## SYSTEMES ET DISPOSITIFS DE CROISEMENT DIRIGE

Bjerne Ditlevsen  
Service forestier national, Danemark

### TABLE DES MATIERES

Introduction

Objet des croisements dirigés

Autopollinisation

Systèmes de croisement avec père inconnu

Défloraison libre  
Polycroisement

Systèmes de croisement avec père connu

Plan de croisement diallèle complet  
Plan de croisement diallèle modifié  
Plan de croisement diallèle partiel  
Plan de croisement factoriel  
Accouplement par paire unique

Choix du plan de croisement

Bibliographie

### INTRODUCTION

Une des décisions les plus importantes à prendre dans les programmes d'amélioration génétique comportant des croisements dirigés est le choix d'un système de croisement. Celui-ci est, avec la sélection des arbres, le seul moyen dont dispose le généticien pour améliorer une population génétiquement variable.

Nous décrirons ci-après un certain nombre d'aspects importants à considérer à propos du choix d'un système de croisement. En pratique, cependant, il est bien souvent difficile de décider quel est le système le plus approprié, parce qu'il se présente un certain nombre d'exigences différentes qu'il n'est pas toujours possible de satisfaire au moyen d'un système unique, et le choix définitif sera dans bien des cas un compromis entre des désirs contradictoires. Enfin, il peut y avoir des limitations d'ordre pratique et économique.

### OBJET DES CROISEMENTS DIRIGES

Comme nous l'avons indiqué au début, les croisements dirigés répondent à des multiples objets différents, dont nous détaillerons ci-dessous les plus importants en ce qui concerne l'amélioration génétique des arbres forestiers (Brown, 1977; Roberds, 1969).

- 1<sup>o</sup> Détermination de l'aptitude générale à la combinaison. En règle générale il est difficile d'évaluer la valeur reproductrice ou aptitude générale à la combinaison d'un individu à partir de sa valeur phénotypique; seule l'étude de sa descendance nous fournira l'information nécessaire sur l'aptitude de l'individu à transmettre ses caractères désirables.

La connaissance de l'aptitude générale à la combinaison des individus pourra servir en pratique à:

- a. Choisir les meilleurs individus pour les vergers à graines.
- b. Avoir une meilleure connaissance génétique des vergers à graines existants.
- c. Choisir les parents pour la descendance que l'on désire utiliser dans l'amélioration génétique future.

- 2° Détermination de l'aptitude spéciale à la combinaison. Des données sur l'aptitude spéciale à la combinaison peuvent servir dans la création de vergers à graines composés de deux clones, ce qui permet de mettre à profit un effet spécial dans les descendants de deux individus.
- 3° Détermination de la variance de l'aptitude générale et spéciale à la combinaison.
- 4° Evaluation de l'héritabilité. La connaissance tant de l'aptitude générale et spéciale à la combinaison que de l'hérédité a une grande importance pour la détermination de la meilleure méthode d'amélioration génétique et l'optimisation, par exemple, du nombre d'individus par descendant et du nombre de descendants par clone.
- 5° Production de matériel en vue de la sélection d'individus pour la prochaine génération de vergers à graines. Nous pouvons supposer que les meilleurs individus d'une fratrie sont supérieurs à la moyenne de leurs parents, et en conséquence il est plus satisfaisant de sélectionner les meilleurs individus dans les meilleures fratries en vue de les utiliser dans le futur verger à graines.
- 6° Production de matériel en vue d'une amélioration continue. Pour élever la qualité génétique au-delà du niveau obtenu avec un verger à graines de clones dont la descendance a été évaluée, il est nécessaire de recombinaison les caractères héréditaires grâce à des croisements suivis de nouvelles sélections. Ce processus peut être répété plusieurs fois avant de sélectionner les individus qui constitueront les futures générations de vergers à graines. De cette manière il est possible d'obtenir avec le temps certaines combinaisons de gènes dont l'apparition dans la nature est très rare, mais qui présentent des avantages importants du point de vue de l'amélioration génétique.
- 7° Evaluation du gain génétique dans la première génération de vergers à graines et dans les générations suivantes. Il convient que les responsables de décisions puissent être informés sur l'importance de l'amélioration (gain génétique) obtenue avec les vergers à graines par comparaison avec les graines provenant de peuplements semenciers, et de celle que l'on peut attendre des vergers à graines de deuxième génération.

Enfin, il peut être utile de recourir aux croisements dirigés dans la pratique forestière pour obtenir un matériel supérieur. On peut avoir par exemple le cas de deux clones qui présentent une aptitude spéciale à la combinaison élevée, mais dont les époques de floraison ne coïncident pas, et que l'on ne peut par conséquent utiliser dans un verger à graines biclonaux avec pollinisation naturelle.

La réalisation de croisements dirigés avec les arbres forestiers est un travail coûteux, qui demande beaucoup de temps. Il convient par conséquent, dans bien des cas, d'utiliser des dispositifs de croisement qui répondent simultanément à plusieurs des objectifs désirés.

#### AUTOPOLLINISATION

L'autopollinisation dirigée sert surtout à étudier l'autofertilité. Dans les vergers à graines, des clones autofertiles peuvent produire une forte proportion de graines autofécondées, qui donneront naissance à des plants de qualité inférieure.

La réalisation d'autopollinisation dirigée peut également s'inscrire dans un programme de croisement consanguin (inbreeding), ayant pour objet de produire des individus à fort coefficient de consanguinité, qui seront ensuite croisés avec d'autres individus également consanguins dans le but d'obtenir ainsi un effet d'hétérosis. Cette méthode est surtout connue en agriculture, mais elle a également été essayée dans l'amélioration génétique des arbres forestiers (par exemple avec *Larix*, voir Keiding, 1968). Les possibilités d'utilisation de croisements consanguins et de croisements en relation avec l'amélioration génétique des arbres forestiers sont discutées par Lindgren (1975).

## SYSTEMES DE CROISEMENT AVEC PERE INCONNU

Nous traiterons dans ce paragraphe de deux dispositifs: défloration libre et polycroisement.

### Défloration libre

Après la défloration libre les graines sont normalement obtenues par l'une des deux méthodes suivantes:

- 1° Récolte de graines sur des arbres plus sélectionnés dans un peuplement. Ces arbres ont été fécondés par les autres arbres du peuplement, et peuvent avoir en outre une forte proportion de graines autofécondées.
- 2° Récolte de graines dans un verger à graines. Si celui-ci est en production, autrement dit qu'il donne du pollen en abondance, on peut supposer que chacun des clones qui le composent a été fécondé par les autres clones ou, éventuellement, par autopolinisation.

Dans l'un et l'autre cas il y a une grande incertitude quant à la parenté qui existe entre les graines récoltées. Dans l'analyse des résultats d'essais et l'interprétation ultérieure il est normal de supposer que les individus qui composent la descendance après défloration libre sont des demi-frères, c'est-à-dire qu'ils ont une mère commune, mais des pères différents.

Nous avons déjà mentionné que dans certains cas il faut s'attendre à une certaine proportion de graines autofécondées, et il faut en outre supposer que certains des descendants sont des frères, c'est-à-dire qu'ils ont à la fois une mère et un père communs.

L'incertitude évoquée quant à la parenté peut conduire à des interprétations erronées et le principal inconvénient de la défloration libre réside dans la difficulté de déterminer l'aptitude générale à la combinaison, due au fait que les parents mâles sont inconnus, et peuvent varier.

### Polycroisement

Les inconvénients de la défloration libre, à savoir le risque d'autopolinisation et la fécondation par un pollen différent pour des mères différentes, peuvent être évités grâce au système dit de polycroisement. Dans ce système, on effectue une pollinisation artificielle en utilisant un mélange de pollen provenant d'un grand nombre de pères (n'appartenant pas, toutefois, au clone de la mère). De cette manière, on évite l'autopolinisation, et tous les parents femelles sont pollinisés avec un mélange de pollen constant.

Il entre en jeu tant de parents différents que les effets de l'aptitude spéciale à la combinaison, s'il y en a, se neutralisent, et le polycroisement est en conséquence un système efficace et peu coûteux pour déterminer l'aptitude générale à la combinaison. Il faut néanmoins signaler qu'une pollinisation qui ne serait pas entièrement aléatoire (à savoir que le pollen de certains clones serait plus viable que d'autres) peut conduire à une estimation erronée de l'aptitude générale à la combinaison (Roberds, 1969).

Un trait caractéristique aussi bien de la défloration libre que du polycroisement est que le défaut de connaissance de l'ascendance paternelle limite considérablement les possibilités de sélection dans la descendance en vue de l'utilisation dans la génération suivante de plants issus de semences. D'une part il est impossible de sélectionner parmi les descendants ceux ayant un père de bonne qualité, et d'autre part on court le risque de choisir des individus ayant entre eux des liens de parenté.

Les systèmes dans lesquels les parents mâles sont inconnus ne permettent pas une évaluation des effets éventuels de l'aptitude spéciale à la combinaison.

Les inconvénients mentionnés de ces systèmes sont toutefois compensés par le fait qu'ils sont peu coûteux et simples à réaliser, et que la mise en place des essais aussi bien que les analyses statistiques ne présentent pas de difficulté.

Nous présenterons ci-dessous une description schématique de l'analyse et de l'interprétation d'un dispositif de polycroisement réalisé dans un essai de terrain sous la forme de blocs aléatoires. L'interprétation génétique a été effectuée en supposant que les individus de la descendance sont demi-frères.

| Origine de la variation     | Degrés de liberté | Carré moyen | Carré moyen attendu                       |
|-----------------------------|-------------------|-------------|-------------------------------------------|
| Blocs (b)                   | b-1               |             |                                           |
| Familles (a)                | a-1               | $M_1$       | $\sigma_w^2 + w\sigma_e^2 + bw\sigma_a^2$ |
| Erreur                      | (a-1)(b-1)        | $M_2$       | $\sigma_w^2 + w\sigma_e^2$                |
| A l'intérieur des parcelles | a · b · (w-1)     | $M_3$       | $\sigma_w^2$                              |

#### Interprétation génétique

$$\sigma_a^2 = \frac{M_1 - M_2}{b \cdot w} \quad ; \quad \sigma_a^2 = 1/4 V_A \quad ; \quad V_A = 4\sigma_a^2$$

$$\sigma_e^2 = \frac{M_2 - M_3}{w} \quad ;$$

$$\sigma_w^2 = M_3 = V_G - \sigma_a^2 + V_{Ew} \quad ; \quad V_P = \sigma_a^2 + \sigma_e^2 + \sigma_w^2$$

$$h_{n.s.}^2 = \frac{V_A}{V_P} \quad ;$$

$\sigma_a^2$  = variance due aux familles

$\sigma_e^2$  = variance entre les parcelles due au milieu

$\sigma_w^2$  = variance entre les arbres d'une même parcelle due au milieu

$V_A$  = variance additive

$V_D$  = variance due à la dominance

$V_E$  = variance à l'intérieur des parcelles due au milieu

$V_P$  = variance phénotypique

$V_G$  = variance génotypique

# SYSTEMES DE CROISEMENT AVEC PERE CONNU

Dans ce groupe de systèmes de croisement les descendants constituent des fratries, autrement dit les individus d'une descendance ont en commun aussi bien le père que la mère. C'est pourquoi on pourra en règle générale espérer obtenir avec les essais de descendance une information meilleure qu'en utilisant les systèmes avec père inconnu. Néanmoins, le contrôle des parents tant mâle que femelle est plus difficile à réaliser, et en conséquence on a élaboré différents dispositifs, plus ou moins complets, que nous décrivons en détail ci-après.

## Plan de croisement diallèle complet

La figure 1 montre un plan de croisement diallèle complet.

| Parents | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1       | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X  |
| 2       | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X  |
| 3       | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X  |
| 4       | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X  |
| 5       | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X  |
| 6       | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X  |
| 7       | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X  |
| 8       | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X  |
| 9       | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X  |
| 10      | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X  |

Fig. 1 Plan de croisement diallèle complet. La diagonale marquée correspond à l'autopollinisation.

Ce plan de croisement est le meilleur possible pour inclure toutes les possibilités de croisement, fournissant l'information la plus complète sur les caractères génétiques des clones étudiés.

Ce dispositif peut fournir une information sur l'effet de l'aptitude générale et spéciale à la combinaison et sur leur variance. En outre, le matériel obtenu constitue le meilleur point de départ pour la sélection d'individus supérieurs ou de paires de clones appropriées pour des plantations biclonales.

En raison de considérations pratiques, malheureusement, ce dispositif est difficile à utiliser. En premier lieu il y a généralement certains clones qui produisent une quantité insuffisante de fleurs mâles ou femelles, mais l'inconvénient principal est d'ordre économique. Un plan de croisement diallèle complet avec 20 clones, par exemple, nécessitera 400 croisements dirigés, ou 380 si l'on évite les autopollinisations. Il est peu réaliste de penser que l'on puisse dépenser autant de ressources pour chaque clone, et l'on tentera en conséquence d'utiliser plutôt un dispositif moins coûteux, tel que celui décrit ci-après.

## Plan de croisement diallèle modifié

Une façon de réduire le plan de croisement et donc d'en diminuer le coût est d'omettre les croisements réciproques et les autopollinisations, comme le montre la figure 2.

| Parents | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 2       | X |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 3       | X | X |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 4       | X | X | X |   |   |   |   |   |   |    |
| 5       | X | X | X | X |   |   |   |   |   |    |
| 6       | X | X | X | X | X |   |   |   |   |    |
| 7       | X | X | X | X | X | X |   |   |   |    |
| 8       | X | X | X | X | X | X | X |   |   |    |
| 9       | X | X | X | X | X | X | X | X |   |    |
| 10      | X | X | X | X | X | X | X | X | X |    |

Fig. 2 Plan de croisement diallèle modifié

Ce dispositif fournit dans une large mesure la même information que celle indiquée à propos du plan de croisement diallèle complet, mais le matériel plus réduit obtenu ne procure évidemment pas la même sécurité dans les essais et les déterminations de paramètres.

Nous donnerons ci-dessous une description schématique de l'analyse statistique et de l'interprétation génétique d'un plan de croisement modifié (semi-diallèle) réalisé selon un dispositif en blocs aléatoires.

#### Analyse de variance

| Origine de la variation     | Degrés de liberté | Carré moyen | Carré moyen attendu                                           |
|-----------------------------|-------------------|-------------|---------------------------------------------------------------|
| Blocs                       | b-1               |             |                                                               |
| Familles                    | a-1               |             |                                                               |
| AGC                         | n-1               | $M_1$       | $\sigma_w^2 + w\sigma_e^2 + wb\sigma_s^2 + wb(n-2)\sigma_g^2$ |
| ASC                         | $n(n-3)/2$        | $M_2$       | $\sigma_w^2 + w\sigma_e^2 + wb\sigma_s^2$                     |
| Erreur                      | $n(n-1)(b-1)/2$   | $M_3$       | $\sigma_w^2 + w\sigma_e^2$                                    |
| A l'intérieur des parcelles | $nb(n-1)(w-1)/2$  | $M_4$       | $\sigma_w^2$                                                  |

AGC = aptitude générale à la combinaison

ASC = aptitude spéciale à la combinaison

# Interprétation génétique

$$\begin{aligned}\sigma_g^2 &= \frac{M_1 - M_2}{bw(n-2)} & \sigma_g^2 &= 1/4 V_A & V_A &= 4 \sigma_g^2 \\ \sigma_s^2 &= \frac{M_2 - M_3}{wb} & \sigma_s^2 &= 1/4 V_D & V_D &= 4 \sigma_s^2 \\ \sigma_e^2 &= \frac{M_3 - M_4}{w} \\ \sigma_w^2 &= M_4 = V_G - \sigma_g^2 - \sigma_s^2 + V_{Ew} & V_P &= \sigma_g^2 + \sigma_s^2 + \sigma_e^2 + \sigma_w^2\end{aligned}$$

## Plan de croisement diallèle partiel

Ce dispositif se distingue des plans de croisement diallèle complet et modifié en ce qu'un clone donné n'est pas croisé avec tous les autres clones. Il peut présenter toute une série de configurations différentes (Braaten, 1965), dont nous donnons en figure 3 deux exemples.

| Parents | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1       |   | X | X | X | X |   |   |   |   |    |
| 2       |   |   | X | X | X |   |   |   |   |    |
| 3       |   |   |   | X | X |   |   |   |   |    |
| 4       |   |   |   |   | X |   |   |   |   |    |
| 5       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 6       |   |   |   |   |   |   | X | X | X | X  |
| 7       |   |   |   |   |   |   |   | X | X | X  |
| 8       |   |   |   |   |   |   |   |   | X | X  |
| 9       |   |   |   |   |   |   |   |   |   | X  |
| 10      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

Dispositif diallèle partiel déconnecté

| Parents | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 1       |   |   |   |   | X | X |   |   |   |    |    |
| 2       |   |   |   |   |   | X | X |   |   |    |    |
| 3       |   |   |   |   |   |   | X | X |   |    |    |
| 4       |   |   |   |   |   |   |   | X | X |    |    |
| 5       |   |   |   |   |   |   |   |   | X | X  |    |
| 6       |   |   |   |   |   |   |   |   |   | X  | X  |
| 7       | X |   |   |   |   |   |   |   |   |    | X  |
| 8       | X | X |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| 9       |   | X | X |   |   |   |   |   |   |    |    |
| 10      |   |   | X | X |   |   |   |   |   |    |    |
| 11      |   |   |   | X | X |   |   |   |   |    |    |

Dispositif diallèle partiel de Brown (Kempthorne et Curnow, 1961)

Fig. 3 Plans de croisement diallèle partiel

Comme on peut s'y attendre, ces dispositifs sont moins efficaces que le dispositif diallèle complet ou modifié, en revanche il permet d'essayer un grand nombre de descendants à un coût pas trop élevé. Malheureusement les valeurs manquantes, qu'il est quasi impossible d'éviter dans un plan de croisement de grande ampleur, compliqueront considérablement le travail de calcul dans la majorité des cas.

Comme illustré en figure 3, il existe différents modèles de dispositifs diallèles partiels. Dans ce qui suit nous présenterons l'analyse de l'un des plus couramment employés, à savoir le dispositif diallèle partiel déconnecté.

#### Analyse de variance

| Origine de la variation              | Degrés de liberté | Carré moyen | Carré moyen attendu                                           |
|--------------------------------------|-------------------|-------------|---------------------------------------------------------------|
| Blocs                                | b-1               |             |                                                               |
| Diallèles                            | d-1               |             |                                                               |
| Blocs x diallèle                     | (b-1)(d-1)        |             |                                                               |
| Familles à l'intérieur des diallèles | d.(c-1)           |             |                                                               |
| AGC                                  | d.(p-1)           | $M_1$       | $\sigma_w^2 + w\sigma_e^2 + bw\sigma_s^2 + bw(n-2)\sigma_g^2$ |
| ASC                                  | dp(p-3)/2         | $M_2$       | $\sigma_w^2 + w\sigma_e^2 + bw\sigma_s^2$                     |
| Erreur                               | d(b-1)(c-1)       | $M_3$       | $\sigma_w^2 + w\sigma_e^2$                                    |
| A l'intérieur des parcelles          | dbc.(w-1)         | $M_4$       | $\sigma_w^2$                                                  |

#### Interprétation génétique

$$\begin{aligned} \sigma_g^2 &= \frac{M_1 - M_2}{bw(n-2)} & \sigma_g^2 &= 1/4 V_A & V_A &= 4 \cdot \sigma_g^2 \\ \sigma_s^2 &= \frac{M_2 - M_3}{bw} & \sigma_s^2 &= 1/4 V_D & V_D &= 4 \cdot \sigma_s^2 \\ \sigma_e^2 &= \frac{M_3 - M_4}{w} \\ \sigma_w^2 &= M_4 = V_G - \sigma_g^2 - \sigma_s^2 + V_{EW} & V_P &= \sigma_g^2 + \sigma_s^2 + \sigma_e^2 + \sigma_w^2 \end{aligned}$$

Plan de croisement factoriel

Dans ce dispositif on croise un certain nombre de clones de parents femelles avec un même ensemble de clones de parents mâles. Il s'agit le plus souvent d'un nombre restreint de parents mâles, également appelés "testeurs communs". Ce dispositif peut aussi être considéré comme une sorte de dispositif diallèle complet comprenant toutes les combinaisons d'un ensemble de parents femelles et d'un autre ensemble de parents mâles - voir figure 4.

| Parents | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|---|---|---|---|
| 5       | X | X | X | X |
| 6       | X | X | X | X |
| 7       | X | X | X | X |
| 8       | X | X | X | X |
| 9       | X | X | X | X |
| 10      | X | X | X | X |
| 11      | X | X | X | X |
| 12      | X | X | X | X |

Fig. 4 Plan de croisement factoriel

Ce dispositif est très utilisé aux Etats-Unis sous le nom de North Carolina II. On utilise habituellement dans le plan de croisement 4 parents mâles, mais en règle générale leur nombre doit être fonction de l'importance des effets résultant de l'aptitude spéciale à la combinaison. S'il est probable que ceux-ci sont importants, l'évaluation de l'aptitude générale à la combinaison des parents femelles pourra être très erronée si l'on utilise un nombre trop faible de parents mâles.

Etant donné que le dispositif comporte très souvent un très petit nombre de parents mâles, et qu'un même clone n'apparaît pas à la fois comme parent mâle et femelle, il est difficile de comparer les aptitudes générales à la combinaison des parents mâles et femelles.

En outre, il est malaisé d'opérer une sélection dans la descendance en vue de la génération suivante de vergers à graines, du fait que les individus sélectionnés, notamment dans le cas d'un petit nombre de parents mâles, sont très souvent apparentés entre eux.

Un avantage de ce dispositif réside dans sa simplicité d'exécution, et donc dans son coût relativement bas, en même temps que dans la facilité d'analyse des résultats. Nous présentons ci-dessous un schéma résumé concernant un dispositif factoriel.

# Analyse de variance

| Origine de la variation     | Degrés de liberté | Carré moyen | Carré moyen attendu                                          |
|-----------------------------|-------------------|-------------|--------------------------------------------------------------|
| Blocs                       | b-1               |             |                                                              |
| Parents mâles               | m-1               | $M_1$       | $\sigma_w^2 + w\sigma_e^2 + bw\sigma_{mf}^2 + bwf\sigma_m^2$ |
| Parents femelles            | f-1               | $M_2$       | $\sigma_w^2 + w\sigma_e^2 + bw\sigma_{mf}^2 + bwm\sigma_f^2$ |
| Parents mâles x femelles    | (m-1)(f-1)        | $M_3$       | $\sigma_w^2 + w\sigma_e^2 + bw\sigma_{mf}^2$                 |
| Erreur                      | (mf-1)(b-1)       | $M_4$       | $\sigma_w^2 + w\sigma_e^2$                                   |
| A l'intérieur des parcelles | bmf.(w-1)         | $M_5$       | $\sigma_w^2$                                                 |

## Interprétation génétique

$$\begin{aligned}
 \sigma_m^2 &= \frac{M_1 - M_3}{bwf} & \sigma_m^2 &= 1/4 V_A & V_A &= 4 \cdot \sigma_m^2 \\
 \sigma_f^2 &= \frac{M_2 - M_3}{bwm} & \sigma_f^2 &= 1/4 V_A & V_A &= 4 \cdot \sigma_f^2 \\
 \sigma_{mf}^2 &= \frac{M_3 - M_4}{bw} & \sigma_{mf}^2 &= 1/4 V_D & V_D &= 4 \cdot \sigma_{mf}^2 \\
 \sigma_e^2 &= \frac{M_4 - M_5}{w} \\
 \sigma_w^2 &= M_5 = V_G - \sigma_m^2 - \sigma_f^2 - \sigma_{mf}^2 + V_{Ew} & V_P &= \sigma_m^2 + \sigma_f^2 + \sigma_{mf}^2 + \sigma_e^2 + \sigma_w^2
 \end{aligned}$$

## Accouplement par paire unique

Dans ce système chaque clone intervient une seule fois comme parent mâle ou femelle.

Ce système est particulièrement favorable si l'objectif est de produire une population en vue de la sélection d'individus pour de nouveaux vergers à graines ou pour un travail continu d'amélioration génétique.

Un autre avantage est de pouvoir tester dans un même plan un grand nombre de clones, alors qu'en règle générale la production de descendants à partir de croisements dirigés coûte très cher.

En revanche, les possibilités d'évaluation de l'aptitude générale à la combinaison et de la variance de l'aptitude générale est spéciale à la combinaison sont assez réduites. Si les effets particuliers de combinaison ne sont pas importants, cependant, une évaluation rapide de l'aptitude générale à la combinaison pourra permettre d'écarter les moins bons des clones testés; si au contraire ces effets sont importants, le dispositif pourra être utilisé pour sélectionner les meilleures combinaisons de clones en vue de leur utilisation en plantations de type biclonal.

# CHOIX DU PLAN DE CROISEMENT

Le choix définitif d'un plan de croisement dépendra en premier lieu de l'objet des croisements dirigés tel que décrit dans le premier paragraphe du présent exposé. Les avantages et inconvénients des différents systèmes et dispositifs de croisement ont été traités brièvement dans les paragraphes précédents, et nous présentons un résumé d'ensemble des aspects les plus importants dans le tableau 1. Lindgren (1977) et Buijtenen (1976) donnent une analyse plus détaillée des différents dispositifs.

En dehors des problèmes traités qui sont importants du point de vue du choix d'un plan de croisement, il peut se poser une série de problèmes d'ordre pratique relatifs à l'exécution d'un grand nombre de croisements. On peut mentionner par exemple les différences entre les clones concernant leur époque de floraison.

Mentionnons également les problèmes relatifs au transfert du plan de croisement à un dispositif sur le terrain. Si c'est possible, il faudra choisir un dispositif d'essai simple et robuste, par exemple un dispositif en blocs aléatoires. Avec un grand nombre de descendants différents, cependant, il pourra être nécessaire de recourir à un dispositif incomplet. Voir à ce sujet Braaten (1965).

Tableau 1. Comparaison de plans de croisement

| Système de croisement         | Détermination de l'AGC | Sélection d'individus supérieurs                                                           | Coûts                                                     | Détermination de la variance de l'AGC et de l'ASC                                                                                                                 |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Défloraison libre             | Moyenne                | Possible, mais peu efficace                                                                | Bas                                                       | Difficile                                                                                                                                                         |
| Polycroisement                | Très bonne             | Très réduite, et seulement si la dépression de consanguinité est peu marquée               | Très bas                                                  | Bonne détermination de la variance de l'AGC                                                                                                                       |
| Diallèle complet              | Excellente             | Excellente                                                                                 | Très élevés (impossible en cas de nombre élevé de clones) | Excellente                                                                                                                                                        |
| Diallèle modifié              | Excellente             | Excellente                                                                                 | Très élevés (impossible en cas de nombre élevé de clones) | Très bonne                                                                                                                                                        |
| Diallèle partiel              | Bonne                  | Très bonne                                                                                 | Moyens                                                    | Bonne détermination de la variance de l'AGC. La détermination de la variance de l'ASC est possible, mais est difficile du point de vue du traitements des données |
| Factoriel                     | Bonne                  | Seulement dans un petit nombre de cas, et avec une dépression de consanguinité peu marquée | Moyens                                                    | Bonne                                                                                                                                                             |
| Accouplement par paire unique | Mauvaise               | Bonne                                                                                      | Très bas                                                  | Mauvaise                                                                                                                                                          |

AGC = aptitude générale à la combinaison

ASC = aptitude spéciale à la combinaison

BIBLIOGRAPHIE

- Brown, A.G. 1977 The Strategy of Tree Improvement. International Training Course in Forest Tree Breeding, Canberra, Australia.
- Braaten, M.O. 1965 The Union of Partial Diallel Mating Designs and Incomplete Block Environment Designs. Inst. of Statistics. Mimeograph Series No. 432.
- Keiding, H. 1968 Preliminary Investigations of Inbreeding and Outcrossing in Larch. *Silvae Genetica* 18 (5).
- Kempthorne, O. 1961 The Partial Diallel Cross, *Biometrika* 17.  
and Curnow, R.N.
- Lindgren, D. 1975 Use of Selfed Material in Forest Tree Improvement. Dept. of Forest Genetics, Research Notes 15.
- Lindgren, D. 1977 Genetic Gain by Progeny Testing as a Function of Mating Design and Cost. Third World Consultation on Forest Tree Breeding, Canberra, Australia.
- Roberds, J.H. 1969 Progeny Testing in Forest Tree Breeding, FAO-North Carolina State Forest Tree Improvement Training Centre.
- Van Buijtenen, J.P. 1976 Mating Designs, IUFRO Joint Meeting on Advanced Generation Breeding, Bordeaux.

\* \* \* \* \*



En visite dans les plantations de Pinus caribaea de la CVG à Uverito.

VERGERS A GRAINES 1/

W.H. Barrett  
Fiplasto S.A., Buenos Aires, Argentine

TABLE DES MATIERES

Introduction

Conception et agencement

Définitions

Antécédents historiques

Planification et agencement

Clones ou plants de semence

Nombre de clones ou de plants de semence

Ecartement initial de plantation

Dispositif expérimental

Multiplication végétative

Etablissement

Emplacement

Préparation du terrain

Plantation

Conduite et récolte

Techniques culturales

Couverture végétale

Fertilisation

Taille et éclaircies

Protection

Floraison, pollinisation et utilisation du pollen

Récolte de fruits et graines

Production de graines

Extraction et utilisation des graines

Enregistrement des informations

Bibliographie

1/ Le texte de cet exposé suit l'ordre et le contenu de l'ouvrage "Seed Orchards", rédigé sous la direction de R. Faulkner (1975) à l'intention du Groupe de travail S2-03-3 de l'IUFRO (Union internationale des instituts de recherches forestières), et rassemblant des éléments tirés de conférences présentées par D.G. Nikles au Kenya en 1974 et par A.G. Brown et K.G. Eldridge en Australie en 1977.

## INTRODUCTION

La tendance moderne à produire du bois et produits dérivés en peuplements artificiels impose l'approvisionnement d'énormes quantités de semences pour répondre aux besoins de vastes superficies de reboisements.

Il n'est pas toujours possible d'obtenir par les circuits commerciaux des semences de qualité satisfaisante, ni de se procurer les quantités nécessaires pour les plans de reboisement en expansion constante dans les différentes régions forestières du monde.

D'autre part, le coût des opérations forestières, depuis la préparation du terrain à reboiser jusqu'à la coupe et à l'extraction des bois, de même que l'investissement irréversible représenté par le temps nécessaire jusqu'à la récolte, obligent à une définition sûre et précise des semences à utiliser.

A cet égard les vergers à graines assurent un approvisionnement régulier au reboiseur, qui peut se fier à cette production pour réaliser ses programmes de plantation.

C'est pourquoi la création de vergers à graines est admise comme une activité forestière indispensable, qui doit être entreprise le plus tôt possible dans les programmes de reboisement tributaires de l'approvisionnement en semences.

## CONCEPTION ET AGENCEMENT

### Définitions

Selon la définition générale de Faulkner (1975), le verger à graines est le moyen le plus important dont dispose le généticien forestier pour produire massivement des semences en vue de plantations améliorées à grande échelle, à partir d'arbres sélectionnés.

La définition classique de Zobel et al. (1958) est la suivante: "Un verger à graines est une plantation d'arbres génétiquement supérieurs, suffisamment isolée pour réduire les possibilités de contamination par un pollen étranger inférieur, et aménagée intensivement pour produire de manière régulière des semences abondantes et faciles à récolter. Il est constitué à partir de clones (par greffage ou bouturage) ou de plants issus de semences d'arbres sélectionnés en fonction des caractéristiques désirées".

Dans certains cas on installe un verger à graines pour produire massivement des semences d'une population dont il est impossible d'obtenir des quantités suffisantes, sans s'intéresser outre mesure à la supériorité génétique des individus. C'est pourquoi l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) élargit ainsi la notion de verger à graines à l'usage du commerce international (Brown et Eldridge, 1977): "Un verger à graines est une plantation de clones ou de descendance d'arbres sélectionnés, isolée de façon à réduire la pollinisation par des sources extérieures, et aménagée en vue de produire régulièrement des semences abondantes et faciles à récolter".

### Antécédents historiques

Bien que la notion de verger à graines ait été appliquée avant 1940 à des espèces arborescentes telles qu'hévéa et quinquina, ce n'est qu'en 1949 que les premiers vergers à graines forestiers furent implantés en Suède. L'usage de cette technique s'intensifia à partir de 1957 dans le Sud-Est des Etats-Unis en liaison avec l'essor des reboisements de pins, conséquence de la création de nombreuses grandes entreprises papetières dans cette région, à tel point que le seul Programme coopératif de l'Université de Caroline du Nord, associé à 32 entreprises forestières industrielles de la région, compte 1 700 hectares de vergers à graines de pins, répartis entre 185 vergers dans trois Etats. Cette dimension est justifiée par les besoins de semences pour un programme annuel de 180 000 hectares de plantation (Sprague et al., 1978).

Le Service forestier des Etats-Unis enregistre pour 1972 (Wright, 1976) quelque 3 000 hectares de vergers à graines de Pinus taeda et P. elliotii, pouvant produire des semences pour un minimum de 300 000 hectares de plantations annuelles.

Néanmoins, c'est au Département des forêts du Queensland (Australie) que revient l'honneur d'avoir eu le premier verger à graines en pleine production. Le verger clonal de Pinus elliottii situé à Beerwah produit depuis 1966 un minimum de 20 kg de graines par hectare et par an, utilisées par ce service forestier pour ses reboisements (Brown et Eldridge, 1977).

Une autre essence qui a été utilisée intensivement dans les programmes forestiers en Australie et en Nouvelle-Zélande est Pinus radiata, dont ces deux pays comptent 625 hectares de vergers clonaux issus de greffes, produisant plus de 4 000 kg de graines par an (Brown et Eldridge, 1977).

C'est à partir de 1975 que commença, tant aux Etats-Unis qu'en Australie, la plantation de vergers à graines de deuxième génération.

Jusqu'ici, presque toutes les informations obtenues se rapportent aux conifères, et plus spécialement aux pins. L'implantation de vergers à graines d'essences feuillues est récente, et de dimensions plus modestes; il en existe quelques antécédents pour Tectona en Nouvelle-Guinée, en Thaïlande, au Nigéria et en Inde, et pour Gmelina au Nigéria. Il faut cependant souligner les actions en cours concernant les eucalyptus en Australie, en Afrique du Sud, au Maroc, au Portugal et enfin au Brésil, où les entreprises privées groupées en coopérative, avec la collaboration et l'assistance technique de l'IPEF (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais) accomplissent un important travail dans ce domaine.

En raison de l'expérience mondiale, et en dépit du fait que cette technique est relativement nouvelle, les résultats obtenus avec différentes essences et dans différentes régions du monde indiquent que les vergers à graines ont un potentiel immense d'amélioration du rendement des plantations forestières, et par conséquent de l'efficacité de la mise en valeur des terres et de l'économie de la production forestière.

#### Planification et agencement

En règle générale, lorsqu'on projette un verger à graines, on part de l'hypothèse que tous les clones ou familles qui le constitueront fleurissent à la même époque, se fécondent entre eux librement, ont la même production de pollen et d'ovules, produisent la même quantité de graines, ont le même degré d'affinité au greffage, un type de croissance et une forme de cime analogues, etc...

L'expérience montre qu'en réalité il en est rarement ainsi, c'est pourquoi il convient, pour chaque essence et dans chaque région, d'étudier attentivement ces caractéristiques et de recueillir toutes les informations possibles sur le comportement des clones, la compatibilité, l'aptitude à la combinaison, et toute autre donnée relative à la production de graines et au comportement futur de l'essence, afin que la conception de nouveaux vergers bénéficie d'un maximum d'information possible.

#### Clones ou plants de semence

Il existe une abondante bibliographie qui discute de l'utilisation de clones ou de descendances d'arbres sélectionnés (Toda, 1964), mais on s'accorde généralement à dire que ce n'est que dans des circonstances spéciales qu'il convient d'utiliser les descendances, parce que, à moins de travailler avec un matériel issu de croisement dirigés, la descendance a de grandes chances d'être inférieure aux parents, et d'autre part la sélection qui est pratiquée dans le verger ne s'applique qu'à ce seul milieu. Nikles (1974) estime cependant que dans des cas déterminés le verger à graines issu de semence (ou "verger à graines de familles") a sans conteste sa place dans les programmes d'amélioration, lorsqu'on travaille avec des essences qui s'enracinent difficilement, et qui peuvent fleurir et fructifier précocement. Ce même auteur affirme que c'est une erreur de croire que le verger à graines de familles est la solution à bon marché pour de petits programmes d'amélioration génétique, étant donné que pour le réaliser avec succès il faudra avoir une connaissance poussée du matériel et du sujet étudié.

De nombreux aspects concernant l'installation, l'agencement et la conduite des vergers à graines sont communs aux vergers de clones et aux vergers de familles, mais la majorité de ceux existants se rattachent à la première catégorie, ayant été réalisés essentiellement par greffage, quoique l'on utilise également des boutures racinées.

En pratique, il a été établi peu de vergers à graines de familles à partir d'arbres sélectionnés. Ce fait n'est pas dû à des conclusions tirées d'études génétiques, mais plutôt à la crainte d'utiliser une technique mal connue dans des investissements à long terme.

#### Nombre de clones ou de plants de semences

On fixe couramment à 15-20 le nombre final de clones ou de familles pour obtenir un gain génétique maximum et éviter les effets défavorables de l'endogamie. Cependant il y a de bonnes raisons pour établir un nombre initial plus grand de phénotypes. Les possibilités d'incompatibilité entre greffon et porte-greffe, le rythme de floraison, aussi bien que la nécessité d'opérer une élimination en laissant les clones qui ont la plus grande aptitude générale à la combinaison, justifient de constituer le verger à graines avec un plus grand nombre initial de clones, qui selon la pratique générale peut atteindre 60 à 100 clones.

Selon Lindgren (1974), on obtient un gain génétique maximum en utilisant un plus petit nombre de clones, à condition qu'ils fleurissent simultanément, et que l'on n'utilise pas la descendance pour produire des semences. Un nombre de 5 clones fournit une base de variation génétique suffisante pour assurer une adaptation à différentes stations, aux maladies, aux emplois changeants du bois, etc...

Un cas extrême de cette conception est l'emploi de 2 clones d'aptitude spéciale à la combinaison élevée, pouvant donner le gain génétique maximum possible avec les génotypes présentement connus.

En revanche, pour des descendance d'arbres sélectionnés, Shelbourne (1969) conseille de commencer le verger avec plus de 200 familles, sur lesquelles on pratiquera une sélection intense intra- et interfamiliale.

#### Ecartement initial de plantation

En admettant que l'écartement final le plus approprié pour la majorité des essences de reboisement est d'une dizaine de mètres, et en fonction de l'intensité de la sélection que l'on compte effectuer ou de l'avance à la fructification que l'on désire obtenir par une meilleure pollinisation des arbres, l'écartement initial peut varier entre 2 et 6 mètres; ce dernier écartement a été appliqué avec succès pour les pins. En règle générale on peut dire que l'écartement entre les plants doit être suffisant pour permettre un développement libre et complet de la cime avec un maximum d'éclairement, de façon à assurer pendant plusieurs années une récolte abondante de fruits avant qu'il ne soit nécessaire d'éclaircir.

Dans bien des cas l'écartement minimum est conditionné par la largeur des machines de désherbage, fauchage, application d'herbicides et fongicides, ou récolte des graines.

Les plants peuvent être disposés en carré, en rectangle ou en quinconce; Nikles (1974) mentionne une répartition hexagonale qui facilite la récolte mécanique des graines; toutefois, après sélection et élimination des génotypes indésirables, la répartition finit par être tout à fait irrégulière.

#### Dispositif expérimental

Pour les vergers à graines de clones comme pour les vergers à graines de familles, le dispositif le plus utilisé dans le monde entier est celui des blocs aléatoires complets. Le mode de distribution à l'intérieur du bloc doit se faire en sorte d'assurer une pollinisation croisée dans laquelle interviennent tous les clones. Pour éviter une endogamie possible, il est recommandé de corriger le hasard lorsque des ramets d'un même clone se trouvent côte à côte.

Il existe des distributions systématiques à l'intérieur du bloc qui peuvent être recommandées lorsque le nombre initial de clones est maintenu jusqu'à la fin, sinon l'élimination de certains clones modifiera cette distribution de la même façon que la distribution aléatoire.

La taille du verger à graines est déterminée par les besoins en semences du reboiseur, c'est-à-dire qu'elle est en relation directe avec le programme annuel de plantation projeté. Le nombre de blocs sera en conséquence proportionné à la quantité de semences indiquée par l'expérience acquise pour l'essence et la station considérées.

#### MULTIPLICATION VEGETATIVE

Comme on l'a indiqué précédemment, la majorité des vergers à graines sont constitués avec des ramets de clones reproduits par voie asexuée. La technique la plus courante est celle du greffage, avec des méthodes qui varient suivant l'essence et la région.

Certaines essences, en raison principalement de l'incompatibilité existant entre porte-greffe et greffon, ne peuvent être multipliées avec succès par cette méthode, et c'est pourquoi on fait appel à d'autres techniques. C'est le cas de certaines essences cultivées en grand telles que Pinus radiata, Eucalyptus grandis et Pseudotsuga menziesii dans différentes régions du monde. Dans certains cas la décadence et la mort du clone se produisent dans un délai plus ou moins long, ce qui complique la gestion du verger et ajourne les conclusions. Dans le cas particulier de Pinus radiata on a résolu le problème en mettant à profit sa facilité d'enracinement en boutures, et avec Eucalyptus grandis on a suivi la même voie, quoiqu'on ait également adopté pour la constitution de vergers à graines l'emploi de descendances d'arbres sélectionnés. Pour le douglas on a fait de grands efforts pour améliorer les techniques de greffage, détecter précocement l'incompatibilité, remplacer les greffes déficientes et trouver des sujets de meilleure compatibilité. Pour cette essence également, on s'est dans de nombreux cas orienté vers les vergers à graines de familles.

La méthodologie et les techniques de multiplication végétative, de même que les problèmes qu'elles posent, ont été discutés dans une conférence précédente.

#### ETABLISSEMENT

##### Emplacement

Pour la localisation du verger à graines on devra tenir compte essentiellement des facteurs suivants: climat et sol pour une production élevée de graines, isolement de sources de pollen contaminatrices, facilité d'accès, proximité des zones de reboisement.

La station sur laquelle sera implanté un verger à graines d'une espèce, variété ou provenance déterminée doit présenter des conditions écologiques qui en permettent le meilleur développement et une fructification maxima. S'il s'agit d'une essence indigène et que le verger est implanté dans son aire d'extension, il sera sans doute facile de déterminer l'emplacement le plus approprié. Avec les essences de grande culture, il existe suffisamment de précédents pour réduire les risques d'erreur dans le choix de l'emplacement. Pour les espèces ou provenances d'introduction récente et avec peu de précédents de culture dans d'autres régions, en revanche, il faudra accorder une importance prioritaire à l'étude de la station sur laquelle sera implanté le verger à graines.

En ce qui concerne le climat, en règle générale il faut éviter les stations exposées à des températures extrêmes, et les trous à gelée. Certaines essences, comme Pinus elliottii et P. taeda, ne paraissent pas souffrir de changements légers de climat, en revanche P. caribaea est très sensible aux gelées.

Bien qu'il y ait des règles générales en ce qui concerne la texture, la qualité et la fertilité des sols en rapport avec la fructification optimale, chaque essence peut avoir des exigences différentes à cet égard.

En ce qui concerne le facteur isolement, il est en général difficile dans une zone donnée de parvenir à un isolement aussi parfait qu'il serait théoriquement souhaitable, évitant totalement la contamination par un pollen indésirable. Il faudrait pour cela placer le verger en dehors de la zone forestière, ou dans un endroit éloigné ou difficile d'accès. L'expérience montre qu'avec des vergers ayant une floraison et une fructification normales on peut sacrifier un isolement complet au profit d'une meilleure situation du verger du point de vue de l'accessibilité et de la proximité des zones de reboisement. La distance minima admise varie avec les essences, la topographie, les vents, etc. On a constaté pour Pinus caribaea var. hondurensis qu'une distance de 200 mètres était suffisante pour obtenir un isolement satisfaisant (Nikles, 1974).

On cherchera à localiser le verger dans un endroit protégé des vents, du feu, des animaux, d'accès facile, et proche des lieux de travail intensif (tels que pépinière), étant donné qu'il nécessitera des visites fréquentes pour les travaux d'aménagement, fertilisation, irrigation, taille, récolte de rameaux en vue de multiplication, récolte de pollen, pollinisation, inspections périodiques, tout en assurant la meilleure protection vis-à-vis de tous les agents de destruction. La proximité de la main-d'oeuvre facilite en outre la récolte, le séchage et l'extraction des graines.

#### Préparation du terrain

L'emplacement choisi pour le verger devra être préparé suivant les techniques en usage pour les reboisements, mais en veillant à renforcer les mesures préventives contre les rongeurs, les fourmis et autres parasites. Le défrichage et le nettoyage devront être effectués avec le même soin qu'exige une culture agricole intensive ou un verger fruitier.

Le terrain devra être aménagé de façon à permettre au maximum les travaux mécanisés. Le tracé des chemins, parefeu, etc... devra être effectué dès le début.

Dans les sols argileux ou mal drainés, il est recommandé d'effectuer un sous-solage suivant les lignes de plantation. Il est préférable d'utiliser des sols de pente faible ou nulle, mais si ce n'est pas le cas il est recommandé de travailler en suivant les courbes de niveau; dans des cas extrêmes il faudra ouvrir des banquettes antiérosives.

#### Plantation

L'objectif primordial de la plantation doit être d'obtenir un taux de reprises maximum. S'il s'agit de plants de pépinière (descendance d'arbres sélectionnés), ou encore de plants greffés en récipients ou en mottes, il faudra apporter un soin extrême au choix du moment et des conditions de climat et d'humidité du sol, de façon à avoir une sécurité maximale de reprise, étant donné que les regarnissages effectués les années suivantes se sont montrés inefficaces. C'est pourquoi il est recommandé de planter un plus grand nombre de ramets à plus faible espacement.

Il s'est parois avéré avantageux de planter les futurs porte-greffe à leur emplacement définitif et de les greffer ensuite in situ. Cette méthode est à conseiller en particulier pour les essences dont la transplantation présente des difficultés. Dans ce cas il convient de planter 2 ou 3 pieds porte-greffe par emplacement, afin d'avoir une meilleure sécurité en cas d'échec de la greffe ou d'incompatibilité, ou pour pouvoir choisir la meilleure greffe, etc... Cette dernière méthode a donné de bons résultats au Queensland, avec une réussite de 85 à 100% des greffes de Pinus caribaea et Araucaria cunninghamii, et également dans le Sud-Est des Etats-Unis avec Pinus elliottii et P. taeda. Elle a l'avantage de procurer une croissance plus rapide, d'avancer la floraison et d'éviter l'enroulement des racines (Nikles, 1974). Ses inconvénients sont d'exiger des greffeurs plus expérimentés, d'obliger à des visites fréquentes sur le terrain pour les soins aux greffes, et de ne pas permettre de contrôler les conditions atmosphériques (température, vent).

Pour toutes ces raisons, pour les essences peu connues, les climats imprévisibles, ou avec un personnel peu expérimenté, il est préférable d'utiliser un matériel greffé ou enraciné sous ombrière ou en pépinière.

## CONDUITE ET RECOLTE

### Techniques culturales

#### Couverture végétale

Bien que le désherbage soit à recommander au cours de la première année suivant la plantation, en particulier autour des plants, l'expérience montre qu'il est préférable ensuite de laisser pousser la pelouse naturelle, à la condition qu'il n'y ait pas d'espèces rhizomateuses agressives, ou bien de semer un gazon qui se maintiendra à faible hauteur. Cette pratique réduit ou supprime l'érosion du sol, elle constitue une excellente protection contre le feu, elle incorpore de la matière organique dans le sol, et elle maintient dans le verger des conditions optimales de travail.

Lorsque la sécheresse incite à éliminer la concurrence des mauvaises herbes, il est recommandé d'appliquer des herbicides ou de répandre du paillis ou du fumier autour des arbres après un binage superficiel, mais jamais un binage ou hersage profond qui pourrait endommager les racines.

Dans les régions à sécheresses périodiques, ou dans les années sèches, il est préférable pour conserver l'humidité du sol d'irriguer la plantation plutôt que de maintenir le sol dénudé (Nikles, 1974).

#### Fertilisation

Cette technique culturale peut être très efficace pour augmenter la production de graines dans des sols squelettiques ou peu fertiles. Le type, la quantité et les modalités d'application des engrais peuvent varier selon l'essence et selon la station. Nous décrirons de manière résumée les expériences mentionnées par Nikles (1974).

Dans la région d'origine de Pinus elliottii, on apporte l'équivalent de 1 kg d'azote par arbre (3 kg de nitrate d'ammonium), appliqué annuellement à la fin du printemps ou au début de l'été. Lorsque le sol accuse un déficit de phosphore (soit moins de 8 à 10 kg de  $P_2O_5$  assimilable par hectare) et de potasse (moins de 60 kg de  $K_2O$  par hectare), on apporte annuellement 2,5 kg de superphosphate et 1 à 1,5 kg de chlorure de potassium par arbre. En cas d'acidité élevée ou de manque de Ca et Mg, on incorpore du calcaire broyé.

Au Queensland on a obtenu une augmentation sensible de la production de graines par application d'engrais NPK.

Pour Pinus taeda, le Programme coopératif de l'Université de Caroline du Nord est parvenu à la conclusion que la meilleure solution pour la production de graines consiste à apporter de l'engrais (NPK) en années de pluies normales et d'irriguer en périodes de sécheresse.

Au Texas, on règle l'apport d'engrais en fonction des résultats des analyses foliaires, qui font l'objet de recommandations spéciales. Il est de pratique courante d'apporter de l'azote pour favoriser la floraison.

#### Taille et éclaircies

La taille et la réduction de la cime, de même que les annélations du tronc, n'ont pas donné les résultats escomptés pour augmenter la production de graines chez des essences à forte dominance apicale telles que Pinus elliottii, P. taeda et P. radiata. En revanche l'arcure des rameaux a donné de bons résultats avec P. radiata pour diminuer la hauteur de récolte des cônes, de même que la coupe de la tige principale pour obliger l'arbre à produire des cônes à plus faible hauteur. L'élagage des branches basses n'a pour objet que de faciliter l'accès et les déplacements dans le verger.

La sélection clonale à effectuer dans le verger dépendra essentiellement des résultats des essais de descendance, qui permettront d'éliminer les clones ayant une faible aptitude générale à la combinaison. On devra également tenir compte de la production de graines de chaque clone. Si un clone ne produit pas de graines, mais produit des fleurs mâles (pour les pins), et possède une aptitude à la combinaison élevée, il ne convient pas de l'éliminer. Dans la sélection des clones on tient compte également du degré d'incompatibilité, et autres facteurs donnant naissance à des ramets faibles ou peu productifs.

### Protection

S'agissant d'une culture spécialisée, coûteuse et de grande importance pour les programmes de reboisement, la protection que l'on accorde aux vergers à graines est bien plus grande et plus attentive que celle que l'on apporte à une plantation forestière ordinaire. Cette protection est facilitée par le fait que le verger est fréquemment visité par un personnel expérimenté, capable de détecter rapidement tout ce qui pourrait affecter son développement normal. C'est ainsi que l'on peut contrecarrer efficacement ou prévenir les dégâts dus aux maladies, aux insectes, aux animaux, aux oiseaux, ainsi que les blessures provoquées par les machines sur le tronc et les branches, et les dommages causés par le vent et le gel.

Il est essentiel de veiller à la prévention des incendies, en maintenant les pare-feu nettoyés, en éliminant les hautes herbes, et en ayant un équipement d'intervention rapide en bon état de service.

De même, il faudra prendre des mesures pour éviter l'érosion et le tassement excessif du sol.

### Floraison, pollinisation et utilisation du pollen

Le personnel responsable du verger à graines doit avoir une connaissance approfondie des facteurs qui règlent la floraison, la fécondation, le mouvement de pollen, et le degré d'endogamie. Ce sont des aspects qui nécessitent une étude plus détaillée, pour laquelle on pourra utilement se reporter aux chapitres 7, 8, 9 et 11 de l'ouvrage rédigé sous la direction de Faulkner (1975).

Jusqu'à présent, la pollinisation artificielle a été peu utilisée dans la pratique comme méthode destinée à assurer une fécondation correcte, réduire l'autofécondation et éviter la contamination par un pollen indésirable. Brown et Eldridge (1977) affirment qu'avec 6 grammes de pollen on peut polliniser 1 000 fleurs; un homme avec en équipement simple peut polliniser 5 000 fleurs par jour. Ces auteurs soutiennent d'autre part que moyennant quelques raffinements cette technique fera bientôt partie de la conduite des vergers à graines, étant particulièrement nécessaire lorsqu'ils sont encore jeunes.

### Récolte de fruits et graines

Les techniques de récolte dépendent essentiellement des essences, du climat dans lequel se trouve le verger, des conditions économiques de la localité ou du pays, de la taille du verger, et de la valeur des semences. La mécanisation de la récolte se justifie si la main-d'oeuvre est rare ou chère, ou s'il faut récolter rapidement dans des vergers de grande surface des graines qui mûrissent et se dispersent dans un court laps de temps.

Certaines espèces de pins ont des cônes qui tombent facilement et peuvent être récoltés à la main ou à l'aide d'un secoueur d'arbres, d'autres au contraire ont des cônes qui se détachent difficilement. Dans ce cas on peut utiliser une plateforme hydraulique. L'expérience australienne avec *P. radiata* montre qu'avec cette machine on récolte 6 kg de graines par homme et par jour, au lieu de 1,8 kg manuellement (K. Willcocks, in Brown et Eldridge, 1977). Dans le Sud-Est des Etats-Unis on étudie actuellement l'emploi d'un aspirateur qui permettrait de récolter les graines de *Pinus taeda* tombées au sol. Lorsqu'on dispose de peu de temps pour la récolte, en raison de la déshiscence rapide des cônes ou fruits, et si l'on connaît des techniques pour faire mûrir les fruits détachés de l'arbre, on pourra les récolter verts.

Avec les eucalyptus qui rejettent facilement et produisent des graines en abondance, Brown et Eldridge (1977) recommandent de couper l'arbre pour faciliter la récolte. Pour les pins à cônes persistants, à fructification peu abondante, et avec une main-d'oeuvre coûteuse, on ne procède à la récolte que tous les 2 ou 3 ans pour réduire les frais.

### Production de graines

Elle varie avec l'essence, l'âge des arbres, la composition clonale, la station, les traitements culturels, etc... Il importe pour toute organisation gestionnaire d'un verger à graines de déterminer sa production potentielle, afin de prévoir une surface de

verger en rapport avec les dimensions du programme de reboisement. Selon Nikles (1974), un verger à graines de haut rendement de Pinus elliotii au Queensland a produit 145 lbs. pr acre (environ 160 kg/ha), mais un rendement normal pour cette essence en Australie est de 75 lbs/acre (83 kg/ha). Pour Pinus caribaea var. hondurensis, l'expérience du verger de Byfield indique que l'on peut obtenir entre 13 et 34 lbs/acre/an, avec une moyenne sur 8 ans de 23 lbs (25 kg/ha). D'autres vergers plus jeunes ont donné des récoltes plus faibles. Le rendement moyen en graines de Pinus radiata, à l'âge de 10 ans, est de 20 lbs/acre (22 kg/ha). Aux Etats-Unis on estime à 55 kg/ha/an la production moyenne de graines de Pinus taeda, espèce qui a un rendement supérieur à P. elliotii.

Les semences provenant de vergers à graines sont en général plus grosses, et ont un pourcentage de germination et une viabilité plus élevée que celles récoltées dans des forêts spontanées ou des peuplements artificiels.

#### Extraction et utilisation des graines

Une fois récoltés les fruits ou cônes dans un vergers à graines, étant donné le coût de ce matériel, il faudra apporter un maximum de soin à l'extraction des graines et à leur manipulation ultérieure, de façon à leur assurer une plus grande viabilité. Pour cela on devra extraire les graines dans des conditions de température peu élevée et de faible humidité. Leur conservation devra se faire en respectant les exigences de chaque espèce, en les protégeant contre les attaques d'insectes et de rongeurs, et en les désinfectant convenablement.

#### Enregistrement des informations

Il est indispensable, pour la conduite et l'utilisation correcte du verger à graines, d'établir un système d'enregistrement dans lequel on note entre autres informations: plan de situation des ramets, traitements culturaux, fertilisation, coûts, observations phénologiques, incompatibilité, production de fruits, production relative de graines de chaque clone, etc... L'expérience montre que plus on enregistre d'informations, meilleurs seront la gestion et l'entretien futurs du verger.

BIBLIOGRAPHIE

- Brown, A.G. et K.G. Eldridge. Seed orchard design and management. International  
1977 Training Course in Forest Tree Breeding, Selected Reference Papers,  
Australian Development Assistance Agency, Canberra, p. 147-154.
- Faulkner, R. Seed orchards. U.K. For. Comm. Bull. No. 54, London.  
1975
- Lindgren, D. Aspects of suitable number of clones in a seed orchard. Proc. Joint  
1974 IUFRO Meeting 52.04-1, -2, -3, Stockholm.
- Nikles, D.G. Seed orchards - concept, design, establishment and management. FAO/  
1974 DANIDA Training Course on Forest Tree Improvement, Kenya, p. 176-195.
- Shelbourne, C.J.A. Tree breeding methods. Tech. Paper No. 55, For. Res. Inst.  
1969 Rotorua, New Zealand.
- Sprague, J., J.B. Jett et B. Zobel. The management of Southern pine seed orchards  
1979 to increase seed production. Proceedings of a Symposium on flowering  
and seed development in trees. Ed. Frank Bonner, US Forest Service,  
IUFRO, Mississippi State University, May 1978, p. 145-192.
- Toda, R. A brief review and conclusions of the discussion on seed orchards.  
1964 *Silvae Genetica* 13(1-2): 1-3.
- Wright, J.W. Introduction to Forest Genetics. Academic Press Inc., New York.  
1976 463 p.
- Zobel, B., J. Barber, C.L. Brown et T.O. Perry. Seed orchards, their concept and  
1958 management. *J. For.* 56:815-825.

## TESTS DE DESCENDANCE

Marcelino Quijada R.  
Institut de Sylviculture  
Université des Andes  
Mérida, Venezuela

### TABLE DES MATIERES

#### Définition et importance

Valeur de croisement  
Evaluation des paramètres génético-statistiques  
Evaluation de groupes ou lignées  
Evaluation d'arbres individuels

#### Types de descendance

#### Systèmes de croisement

#### Dispositifs expérimentaux

#### Techniques culturales

#### Evaluation

#### Enregistrement

#### Bibliographie choisie

#### Annexe I. Modèles particuliers

1. Analyse de la variance pour un dispositif génétique factoriel dans un modèle statistique totalement aléatoire avec répétitions identiques.
2. Analyse de la variance pour un dispositif génétique diallèle modifié dans un modèle statistique totalement aléatoire.
3. Analyse de la variance pour un dispositif génétique de polymixie ou de pollinisation libre dans un modèle statistique totalement aléatoire.

### DEFINITION ET IMPORTANCE

Les tests de descendance ont pour objet d'évaluer: 1) la valeur génétique d'un individu à partir du comportement de sa descendance, ou 2) la valeur génétique d'individus frères ou demi-frères.

Dans les programmes basés sur la sélection phénotypique, où l'influence du milieu est inconnue et la sélection est par conséquent moins fiable, les tests de descendance sont indispensables.

Les tests de descendance permettent:

- a) l'évaluation de la valeur de croisement (aptitude à la combinaison) des arbres;
- b) l'évaluation des paramètres génético-statistiques (variance, corrélation, etc.);
- c) l'évaluation de sous-populations ou lignées en vue d'une utilisation déterminée en reboisement;
- d) l'évaluation d'individus en vue de sélection continue.

### Valeur de croisement 1/

C'est la valeur d'un arbre déterminée par la moyenne de sa descendance obtenue par croisement avec un ou plusieurs autres arbres selon un schéma déterminé. La détermination de la valeur de croisement d'individus se fait au moyen de systèmes de croisement déterminés (dispositifs génétiques). A partir de cela, nous pouvons déterminer la valeur de combinaison d'un individu, qui est un paramètre statistique indiquant l'aptitude de l'individu à transmettre certaines caractéristiques propres à une descendance résultant de croisement avec un ou plusieurs autres individus. Cette information sert de base aux éclaircies sélectives dans les vergers à graines.

### Evaluation de paramètres génético-statistiques 1/

Elle s'effectue au moyen d'une série d'hypothèses théoriques sur les composantes du phénotype, ce en quoi elle constitue la base mathématique de la génétique. Elle comporte l'utilisation de types particuliers de dispositifs génétiques et de dispositifs expérimentaux.

Elle requiert la détermination des composantes de variance et covariance, dans la colonne "Carrés moyens attendus" des tableaux d'analyse de variance et de covariance.

La détermination des paramètres tels que l'héritabilité ( $h^2$ ) permet en définitive d'évaluer les gains génétiques, c'est-à-dire la réponse tant quantitative que qualitative aux plans d'amélioration.

### Evaluation de groupes ou lignées 1/

Pour des cas définis, on utilise les résultats de combinaisons particulières entre clones ou familles donnant naissance à des descendances supérieures pour une caractéristique déterminée (valeur élevée d'aptitude spéciale à la combinaison).

### Evaluation d'arbres individuels 1/

Elle est effectuée, dans un but de sélection continue, en fonction de la création de vergers à graines avancés, autrement dit en vue des générations futures.

Cela rend nécessaire la sélection continue à l'intérieur de descendances des individus les plus remarquables. Il peut en résulter des problèmes de consanguinité dans les vergers de génération avancée, mais on peut y pallier en ayant une base de sélection initiale suffisamment large, et en séparant la population de production de semences de la population de reproduction (voir l'exposé "Planification et stratégies pour un programme d'amélioration génétique forestière").

## TYPES DE DESCENDANCES

Le type de descendance détermine, entre autres choses, la quantité d'informations que peuvent apporter les essais.

Nous pouvons distinguer deux types principaux de descendances: les demi-fratries (demi-frères) et les fratries (frères).

La demi-fratrie est une descendance ayant un parent commun (le parent femelle). Elle est caractéristique de la pollinisation libre, auquel cas le degré exact de consanguinité est inconnu.

L'information obtenue sera en fonction de la valeur de l'arbre semencier.

La fratrie est une descendance ayant en commun deux parents connus; elle ne peut être obtenue qu'au moyen de la pollinisation dirigée.

1/ Pour une information détaillée, voir l'exposé sur la "Génétique quantitative".

Dans ce cas, l'information obtenue dans les essais sera plus grande, étant basée sur la valeur des deux parents. Néanmoins, la plupart des essais de descendance réalisés à ce jour sont constitués de demi-fratries, les essais basés sur les fratries étant très laborieux et coûteux.

#### SYSTEMES DE CROISEMENT

La façon dont les arbres sont combinés influe sur l'information fournie par les essais, étant donné qu'elle détermine le type de descendance obtenu.

En matière de génétique forestière, nous pouvons distinguer deux grandes catégories de croisements: 1) systèmes de croisement avec père inconnu; 2) systèmes de croisement avec père connu.

Dans le premier cas les principaux systèmes sont a) la pollinisation libre et b) le polycroisement; le second groupe comprend c) les dispositifs de croisements diallèles (complet, modifié, partiel); d) les dispositifs factoriels; e) l'accouplement par paire unique. Pour une information détaillée sur ces dispositifs, voir l'exposé sur les "Systèmes et dispositifs de croisement dirigé".

#### DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX 1/

Le contrôle de la composante de milieu dans les essais de descendance est déterminé par le recours à des dispositifs expérimentaux dans lesquels on cherche à réduire les effets non génétiques, et pour lesquels il faut prendre en considération la randomisation (distribution au hasard), la répétition et le contrôle local (blocs).

L'emploi de blocs permet de contrôler la variabilité locale, en plaçant les descendances dans des conditions stationnelles plus ou moins homogènes. La répétition permet idéalement de soumettre chaque descendance à différentes conditions de station, ce qui est assez fréquent dans un périmètre de reboisement, et d'évaluer ainsi la part respective du génotype et du milieu dans le phénotype. La randomisation est une condition indispensable pour obtenir des évaluations non entachées d'erreurs expérimentales.

La station sur laquelle est implanté l'essai doit être représentative de la zone dans laquelle les semences seront utilisées en définitive en plantation normale. Le nombre de descendances testées, la taille des parcelles et la variabilité de la station déterminent généralement le dispositif expérimental le plus recommandable. On utilise couramment le dispositif en blocs complets pour des petits nombres de descendances et d'arbre par descendance, et des stations de variabilité moyenne ou faible. Pour un grand nombre de descendances (> 25), des grandes parcelles et des stations très hétérogènes, il est recommandé d'utiliser des dispositifs en blocs incomplets, tels que les treillis ("lattice").

La taille des parcelles peut se réduire jusqu'à un arbre (parcelle monoarbre). Les petits nombres d'arbres notamment en parcelle linéaires, sont désirables dans le cas où l'on veut connaître la valeur de concurrence des descendances entre elles. Des nombres élevés, associés à des parcelles carrées ou rectangulaires, sont désirables dans le cas d'évaluation de paramètres génético-statistiques, où la valeur de concurrence est un facteur de biais. Dans ce cas on pose comme condition qu'au centre de chaque parcelle d'une descendance donnée on ait un nombre variable d'arbres qui ne soient pas en contact direct avec d'autres descendances, autrement dit qu'ils soient entourés par une barrière isolante de même nature.

Afin d'embrasser la plus grande variabilité à l'intérieur des descendances, il est recommandé, pour une taille moindre des parcelles, d'utiliser un plus grand nombre de répétitions.

La répétition peut se faire dans l'espace (contrôle de la variabilité locale du milieu) ou dans le temps (contrôle des variations climatiques ou biotiques).

---

1/ Pour une information plus détaillée sur les dispositifs expérimentaux, voir l'exposé sur ce sujet.

## TECHNIQUES CULTURALES

L'écartement à adopter sera déterminé par la densité de plantation en usage pour les plantations normales. Les soins cultureux doivent être représentatifs de ceux que recevront les plantations à plus grande échelle; il faut éviter les "traitements de luxe".

La protection contre le feu, les animaux sauvages, etc.. doit être effective.

## EVALUATION

Les caractères à évaluer dépendront des emplois actuels et potentiels de l'essence considérée. Il y a cependant certains caractères généraux qui sont communs à la majorité des emplois, comme le taux de survie, la croissance, la sensibilité aux parasites et maladies; d'autres caractères sont spécifiques de l'emploi prévu.

L'évaluation sur le terrain débute généralement six mois ou un an après la mise en place de l'essai, avec les comptages de mortalité et d'attaques et les mesures d'accroissement initial. Les évaluations sont habituellement répétées à la seconde année et aux années 5, 7 et 10, en incorporant dans les mesures d'autres caractéristiques en fonction du développement des individus. Pour la majorité des caractères on considère que l'âge minimum pour faire des évaluations fiables est égal au tiers de la révolution de l'essence. Pour certains caractères, tels que la qualité du bois, il faudra souvent attendre jusqu'à la fin de la révolution, avec des évaluations périodiques tous les 3 à 5 ans.

On procède en général également à des évaluations en pépinière, pour établir, au moyen de corrélations, des comparaisons avec le comportement sur le terrain, qui pourront éventuellement servir pour opérer une sélection au niveau même de la pépinière. En outre, ces études peuvent inclure des caractéristiques des graines telles que le poids et la taille.

## ENREGISTREMENT

Un enregistrement détaillé du matériel et des procédés utilisés est indispensable, et il doit y avoir un dossier particulier pour chacun des essais mis en place. On y trouvera un résumé des objectifs de l'essai, et toutes les observations faites pendant toute sa durée, les données et analyses des évaluations, etc.. Cette manière de procéder permettra de tirer plus facilement des conclusions correctes à la fin de l'essai.

BIBLIOGRAPHIE CHOISIE

1. Becker, Walter A. Manual of Procedures in Quantitative Genetics. Washington 1967  
State University Press, Pullman, Washington, USA. 130 p.
2. Cockerhan, C. Clark. Estimation of Genetic Variances. In Statistical Genetics and Plant Breeding. National Academy of Sciences, Publication 982, USA. p. 53-94.
3. Falconer, D.S. Introduction to Quantitative Genetics. Ronald Press, 1971  
1960 New York. 365 p.
4. Franklin, E.C. Quantitative Inheritance. Inheritability and Combining Ability. 1969  
In Forest Tree Improvement Training Course, FAO/N.C. State University, Raleigh, N.C., USA. Tome I: 96-107.
5. Mather, K. et Jinks, J.G. Biometrical Genetics. Chapman and Hall, N.Y. 1971
6. Matheson, A.C. Progeny Tests. In Training Course in Forest Tree Improvement. 1977  
Australian Development Assistance Agency, Canberra, Australia. p. 113-119.
7. Namkoong, G., E.B. Snyder et R.W. Stonecypher. Heritability and gain concepts 1966  
for evaluating breeding systems such as seedling orchards. Silvae Genetica, 15:76-84.
8. Roberds, J.H. Progeny Testing in Forest Breeding. In Forest Tree Improvement 1969  
Training Course, FAO/N.C. State University, Raleigh, N.C., USA. Tome I, 123-135.
9. Wright, J.W. Introduction to Forest Genetics. Academic Press, Inc., 1976  
New York. 463 p.

# ANNEXE I

## Modèles particuliers

### 1. Analyse de la variance pour un dispositif génétique factoriel dans un modèle statistique totalement aléatoire avec répétitions identiques

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Carré moyen attendu                          | Interprétation génétique                        |
|-------------------------|-------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Mâles                   | $m - 1$           | $\sigma_e^2 + r\sigma_{mf}^2 + rf\sigma_m^2$ | $\sigma_m^2 = \text{Cov}(m)$                    |
| Femelles                | $f - 1$           | $\sigma_e^2 + r\sigma_{mf}^2 + rf\sigma_f^2$ | $\sigma_f^2 = \text{Cov}(f) = \frac{1}{4} V_A$  |
| Mâles x femelles        | $(m-1)(f-1)$      | $\sigma_e^2 + r\sigma_{mf}^2$                | $\sigma_{mf}^2 = \text{Var}(f) - \text{Cov}(m)$ |
| Erreur expérimentale    | $mf(r-1)$         | $\sigma_e^2$                                 | $-\text{Cov}_{ff}$<br>$= \frac{1}{4} V_D$       |
| Total                   | $mfr-1$           |                                              |                                                 |

$\sigma^2_{\text{...}}$  composante de variance pour la source de variation indiquée par la ou les lettres placées en indice

$\text{Cov}_{fm}$  = covariance de demi-fratries ayant un parent mâle commun

$\text{Cov}_{ff}$  = covariance de demi-fratries ayant un parent femelle commun

$\text{Var}_f$  = variance de fratries

$V_A$  = composante additive du génotype

$V_D$  = composante non additive du génotype

ANNEXE I

2. Analyse de la variance pour un dispositif génétique diallèle modifié dans un modèle statistique totalement aléatoire

| Origine de la variation            | Degrés de liberté | Carré moyen attendu                           | Interprétation génétique                                           |
|------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Aptitude générale à la combinaison | $p - 1$           | $\sigma_e^2 + r\sigma_e^2 + r(p-2)\sigma_g^2$ | $\sigma_g^2 = \text{Cov } f$                                       |
| Aptitude spéciale à la combinaison | $p(p-3) / 2$      | $\sigma_e^2 + r\sigma_e^2$                    | $\sigma_e^2 = \text{Var } f - 2\text{Cov } f$<br>$\frac{1}{4} v_D$ |
| Erreur expérimentale               | $p(p-1)(r-1)/2$   | $\sigma_e^2$                                  |                                                                    |

- $P =$  nombre de pères
- $\sigma^2_{2_{..}}$  composante de variance pour la source de variation indiquée par la lettre placée en indice
- $\text{Cov } f =$  covariance de demi-fratries
- $\text{Var } f =$  variance de fratries
- $VA =$  composante additive du génotype
- $v_D =$  composante non additive du génotype

3. Analyse de la variance pour un dispositif génétique de polymixie ou de pollinisation libre dans un modèle statistique totalement aléatoire

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Carré moyen attendu        | Interprétation génétique                            |
|-------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|
| Descendances            | $(P - 1)$         | $\sigma_e^2 + r\sigma_p^2$ | $\sigma_p^2 = \text{Cov } f \approx \frac{1}{4} VA$ |
| Erreur expérimentale    | $f(r - 1)$        | $\sigma_e^2$               |                                                     |

- $\sigma^2_{2_{..}}$  composante de variance pour la source de variation indiquée par la lettre placée en indice
- $\text{Cov } f =$  covariance de demi-fratries
- $VA =$  composante additive du génotype

## INTERACTION GENOTYPE - MILIEU

Marcelino Quijada R.  
Institut de Sylviculture  
Université des Andes  
Mérida, Venezuela

### TABLE DES MATIERES

Existence et importance

Détermination

Ordre de classement  
Analyse de la variance  
Analyse de régression

Bibliographie

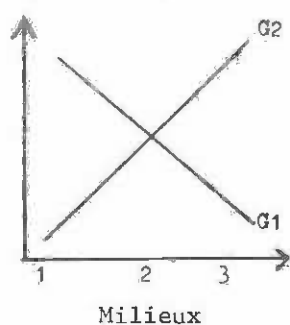
### EXISTENCE ET IMPORTANCE

L'interaction génotype-milieu peut se définir comme le défaut d'uniformité dans la réponse de deux ou plusieurs groupes de plantes cultivées dans deux ou plusieurs milieux différents; un groupe peut montrer une croissance meilleure dans un milieu, mais être médiocre dans un autre.

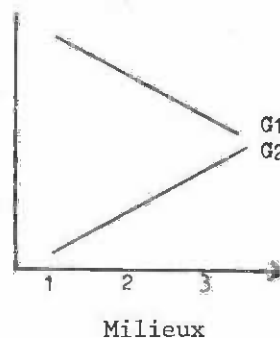
L'interaction peut se manifester par un changement dans la position relative des groupes selon les milieux, ou par des différences dans l'amplitude de la supériorité lorsque ces positions restent identiques dans les différents milieux.

Une interaction peut être représentée graphiquement par des lignes qui se croisent ou se rapprochent, selon la variation du milieu, suivant une pente définie.

Valeur du caractère testé



Valeur du caractère testé



Dans le premier cas, l'interaction étant plus marquée oblige à sélectionner un groupe distinct pour chaque milieu, afin d'obtenir le plus fort gain de productivité.

Dans le second cas, l'interaction a pour intérêt de servir de guide pour l'extrapolation de données à des milieux différents de ceux ayant fait l'objet d'essais.

La présence de l'interaction génotype-milieu traduit l'existence de variations de milieu, même sur des distances relativement courtes, et de variations dans les exigences de différents génotypes vis-à-vis tant du macro- que du micro-milieu. Le même raisonnement peut être fait à propos des variations saisonnières (variation dans le temps).

C'est la raison essentielle de la nécessité de répéter les expérimentations dans l'espace (contrôle de la variation locale de milieu) et dans le temps (contrôle de la variation cyclique).

En matière d'essences forestières nous pouvons distinguer différents niveaux d'interaction génotype-milieu, dus principalement à la constitution génotypique en question. C'est ainsi que nous verrons qu'il existe des effets espèce x milieu, provenance x milieu, et descendance x milieu.

Au niveau de l'espèce, les différences quant à l'adaptation au milieu sont plus grandes, à savoir qu'il y a des espèces qui possèdent un large éventail d'adaptation, de telle sorte que la détection de l'interaction exige des essais portant sur une gamme plus large de conditions de milieu. En réduisant le spectre génétique, par exemple les niveaux de provenances et de descendance, les tests d'interaction deviennent plus sensibles, parce que les gammes de tolérance se rétrécissent, se traduisant par des réactions différentes face à de petites variations de milieu.

Parmi les facteurs du milieu qui entrent en jeu dans la manifestation d'interactions, les plus sensibles sont les conditions de sol, en effet elles interviennent à l'intérieur d'une même parcelle, sur des surfaces relativement réduites. Les conditions climatiques nécessitent des différences plus extrêmes pour se manifester, par exemple des conditions limitantes de température (élevée ou basse), d'humidité (sécheresse ou inondations), etc..

L'interaction peut être considérée comme un indicateur de la stabilité relative d'un génotype. Si elle est voisine de zéro les génotypes sont assez stables pour les caractéristiques considérées, c'est-à-dire que leurs positions relatives et les différences d'amplitude des réponses sont identiques dans les différents milieux; seule change l'amplitude même des réponses, qui seront fonction des génotypes particuliers (espèces, provenances, individus) et des stations considérées.

Les génotypes ayant une large adaptabilité, se traduisant par une interaction nulle ou peu importante, sont dits plastiques, tandis que ceux qui réagissent par une variation marquée de comportement vis-à-vis de variations légères de milieu sont dits peu plastiques ou stricts.

Etant donné que dans la réponse des individus (évaluée par les phénotypes) interviennent les composantes de génotype et de milieu, même dans une faible proportion, en plus de l'interaction, cette dernière ne parviendra jamais à représenter 100 pour cent dans la variation observée; cependant, plus elle s'approchera de cette valeur, plus elle exprimera une faible stabilité du génotype vis-à-vis de milieux divers, et moins, du point de vue du sélectionneur, on pourra s'y fier pour le propager à grande échelle en conditions normales de reboisement. Il se prêtera davantage dans ce cas à des plantations dans des conditions limitantes du milieu, du fait que celles-ci se rencontrent sur des surfaces relativement réduites et dans des conditions stationnelles plus homogènes.

La tendance actuelle des généticiens forestiers est de produire des sous-populations ayant un large spectre d'adaptabilité, ce qui peut à la longue procurer des gains supérieurs à moindre coût.

Si l'interaction est peu importante, la sélection se fera sur la base de la moyenne des réponses des génotypes dans tous les milieux. Il est possible d'adapter ce même critère lorsque l'interaction est importante, mais à un niveau très voisin du seuil critique de probabilité (habituellement 5%), auquel cas on peut ne pas en tenir compte en pratique.

Certains facteurs amplifient les problèmes pratiques d'utilisation de l'interaction, en raison principalement de la difficulté de l'interpréter avec exactitude. On voit souvent présenter des études sur l'existence d'interactions basées sur un petit nombre d'essais situés très près les uns des autres, ce qui en pratique les rend d'application douteuse compte tenu des coûts. Dans ce cas il est recommandé de la considérer comme faisant partie de l'erreur expérimentale, et de travailler en se basant sur les moyennes de rendement sur les stations testées.

Une utilisation pratique effective de l'interaction exige, entre autres choses, quoique principalement, de tester les mêmes génotypes sur une gamme de conditions de milieu qui représentent des variations marquées, avec des superficies suffisamment grandes pour pouvoir transposer les résultats au reboisement.

#### DETERMINATION

##### Ordre de classement

Un premier moyen simple d'évaluer la présence d'une interaction génotype-milieu consiste à étudier l'ordre de classement de chacun des génotypes dans chaque station ou milieu.

Selon leur rendement dans chaque station, on les classe de meilleur à moins bon, en leur attribuant un chiffre de 1 à n (= nombre de génotypes).

S'il y a des changements notables de position d'une station à l'autre, cela indique qu'il y a interaction.

| Génotypes | Milieux |   |   |
|-----------|---------|---|---|
|           | 1       | 2 | 3 |
| A         | 1       | 3 | 3 |
| B         | 5       | 1 | 2 |
| C         | 4       | 2 | 5 |
| D         | 3       | 4 | 4 |
| E         | 2       | 5 | 1 |

Un inconvénient de cette méthode est que ce classement hiérarchique ne nous donne qu'une idée globale de l'importance des changements d'un milieu à l'autre, puisque ces changements seront toujours exprimés en unités constantes. D'autre part, on ne dispose pas de confirmation statistique de la signification de ces changements.

Une approximation statistique peut être obtenue en utilisant la corrélation par position pour des paires de stations, qui peuvent être toutes les paires possibles en fonction du nombre de stations, ou celles correspondant aux extrêmes de milieu considérés.

##### Analyse de la variance

Dans le but d'évaluer l'importance et l'amplitude de l'interaction, on utilise des méthodes d'analyse de la variance. L'une d'elles est l'analyse combinée de la variance en relation avec un dispositif expérimental déterminé (par exemple blocs aléatoires complets).

| Origine de la variance | Degrés de liberté | Somme des carrés | Carré moyen       | Coefficient de variance              |
|------------------------|-------------------|------------------|-------------------|--------------------------------------|
| Localités              | $(L-1)$           |                  |                   |                                      |
| Blocs/localités        | $L(r-1)$          |                  |                   |                                      |
| Génotypes              | $(t-1)$           |                  |                   |                                      |
| Génotypes x localités  | $(t-1)(L-1)$      | $CM_I$           | $\frac{CMI}{CMe}$ | $2 = 2$<br>$\sigma^2 + K_1 \sigma I$ |
| Erreur                 | $L(t-1)(r-1)$     | $CMe$            |                   | $\sigma^2$                           |
| Total                  | $Lrt-1$           |                  |                   | $\sigma F^2$                         |

Le test de signification nous renseigne sur l'importance générale de l'interaction. Son amplitude ( $\sigma^2_I$ ) et sa participation effective à la variation totale ( $\sigma^2_F$ ) sont obtenus par l'évaluation des composantes de la variance, en utilisant les carrés moyens attendus dans le tableau d'analyse de la variance.

#### Analyse de régression

Une autre manière d'utiliser le principe de l'analyse de variance est la régression des valeurs génétiques sur les milieux. Cela exige d'installer les mêmes entités génétiques (normalement descendances) dans divers milieux bien différenciés (de préférence plus de deux). Les valeurs individuelles d'une caractéristique déterminée pour chaque entité génétique (valeurs génétiques) sont rapportées aux moyennes globales de chaque station (valeur de milieu), en ajustant les régressions linéaires simples. Il en résulte des droites (autant que de descendances), que l'on compare ensuite entre elles, analytiquement ou graphiquement. La méthode graphique est la plus usuelle; la présence ou non d'interaction est indiquée par la disposition des droites de régression. Si elles sont plus ou moins parallèles, on parle d'une stabilité relative des entités génétiques (pas d'interaction). Si elles se coupent entre elles ou s'écartent de façon marquée du parallélisme, cela indique la présence d'une interaction.

Les méthodes analytiques consistent à comparer les droites de régression, pour voir si on peut les considérer comme ayant la même pente, et à chiffrer pour chaque entité génétique la valeur de la régression et de la déviation.

Les entités génétiques les plus stables sont celles dont le coefficient de régression est voisin de 1 et les déviations voisines de zéro. Si cette stabilité est associée à des rendements acceptables (égaux ou proches du maximum), on leur donnera la préférence par rapport à des entités génétiques qui tout en étant les meilleures dans un milieu déterminé sont instables dans l'ensemble.

BIBLIOGRAPHIE

- Allard, R.W. 1964 Principles of Plant Breeding, John Wiley and Sons, Inc. New York. 485 p.
- Burley, J. and Wood, P.J. (Compiled by). 1979 A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics. CFI Tropical Forestry Papers No. 10 and 10A, Oxford.
- Falconer, D.S. 1960 Introduction to Quantitative Genetics. The Ronald Press Company, New York. 365 p.
- Goddard, R.E. 1977 Interaction génotype x environnement chez le Pinus elliottii. Troisième consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers, Canberra.
- Hill, J 1979 Genotype-environment Interaction - A Challenge for Plant Breeding. J. Agri. Sci. 85: 477-493.
- Namkoong, G. 1978 Le choix de stratégies pour l'avenir. Unasylva 30 (119/120), pp. 38-41.
- Rink, George 1975 Variation in open-pollinated progeny plantations of Virginia Pine (Pinus virginiana Mill). PhD Thesis, University of Tennessee, Knoxville, Tenn. U.S.A. 143 p.

\* \* \* \* \*



En visite dans les plantations de Pinus caribaea de la CVG à Uverito

AMELIORATION GENETIQUE EN VUE DE LA  
RESISTANCE AUX MALADIES I/

Christel Palmberg  
Division des ressources forestières  
Département des forêts  
FAO  
I-00100 Rome, Italie

TABLE DES MATIERES

Introduction

Variabilité de l'agent pathogène

Variabilité de l'hôte

Principes d'amélioration génétique en vue de la résistance aux maladies

Evaluation des différentes possibilités de lutte  
Elaboration de méthodes d'évaluation de la résistance  
Sélection en vue de la résistance aux maladies  
Amélioration génétique en vue de la résistance aux maladies  
Maintien de la résistance dans les populations améliorées

Applications pratiques

Bibliographie

INTRODUCTION

Une maladie entraîne dans la plante des changements physiologiques nuisibles. Ces changements peuvent être provoqués par des agents non pathogènes, tels que conditions climatiques ou édaphiques défavorables, ou par un agent pathogène (Tarr, 1972). Les maladies d'origine biotique les plus importantes chez les arbres forestiers sont causées par des champignons (Cowling, 1969). Les recherches sur la génétique de la résistance aux insectes et aux bactéries et virus ont été beaucoup moins poussées que celles concernant les aspects génétiques de la résistance aux maladies cryptogamiques. Néanmoins, les connaissances que l'on en a sont suffisantes pour affirmer que l'hérédité de la résistance à ces agents ne diffère pas fondamentalement de celle de la résistance aux champignons (Allard, 1964; Painter, 1966). Dans cet exposé nous mettrons surtout l'accent sur les maladies causées par les champignons. Le terme d'"amélioration génétique" sera pris ici dans son sens large, en y incluant la sélection.

L'objectif général d'un programme visant à produire des arbres résistants aux parasites est de réduire les pertes dues au parasite grâce à une manipulation génétique de l'arbre hôte (Callahan et al., 1966). Les chances de succès d'un programme d'amélioration dépendront dans une large mesure d'une définition claire, dès le début, des objectifs poursuivis et d'un ordre de priorité réaliste. Les perspectives d'amélioration importante de la résistance aux maladies sont meilleures pour les arbres forestiers que pour la majorité des plantes cultivées, parce qu'une essence forestière représente généralement des populations naturelles issues de pollinisation croisée, offrant une large gamme de génotypes pour une sélection de base (Schreiner, 1966). Concomitamment avec l'amélioration de la résistance aux maladies, on doit se préoccuper d'améliorer le rendement et la qualité des produits. Il faut donner à chaque facteur, dans le programme d'amélioration, le poids qui convient (Borlaug, 1966).

La sélection et l'amélioration en vue de la résistance aux maladies ne diffèrent pas fondamentalement de celles qui se rapportent à un autre caractère quelconque (Allard, 1964; Dyson, 1974). En conséquence, toutes les méthodes diverses d'amélioration génétique appropriées pour l'espèce considérée peuvent s'appliquer à la mise au point des variétés ou de populations résistantes aux maladies, une fois que les gènes conférant cette résistance auront été découverts (Allard, 1964). Toutefois, il ne faut pas oublier que la

I/ Adapté d'une conférence présentée au Cours de formation sur l'amélioration génétique des arbres forestiers, Canberra, Australie, 1977.

résistance aux maladies met en jeu deux systèmes génétiques, celui de l'hôte et celui de l'agent pathogène, chacun d'eux étant la résultante de deux variables fondamentales, le génotype et le milieu. L'expression phénotypique d'une maladie dépendra par conséquent des interactions entre hôte, agent pathogène et milieu (McIntosh, 1971). Etant donné que les populations d'agents pathogènes réagissent constamment aux changements introduits dans les populations hôtes (Dinoor, 1975), l'amélioration génétique de la résistance est un processus dynamique plutôt que statique. Une compréhension totale du complexe pathologique, comprenant la variabilité et le potentiel génétique de l'hôte, la biologie de l'agent pathogène et les interactions entre hôte, agent pathogène et milieu, est une base indispensable pour un programme d'amélioration génétique de la résistance.

#### VARIABILITE DE L'AGENT PATHOGENE

Les maladies des arbres forestiers peuvent être groupées en deux catégories, celles causées par des parasites obligatoires, et celles causées par des parasites facultatifs. Les parasites obligatoires ne peuvent vivre que sur des tissus vivants, tandis que les parasites facultatifs sont capables de coloniser la matière organique aussi bien vivante que morte (Tarr, 1972). Les champignons responsables des rouilles sont des exemples de parasites obligatoires des arbres forestiers (exemple: rouille vésiculeuse des pins, rouille des feuilles des peupliers); les parasites facultatifs, qui sont souvent limités à certaines provenances, comprennent les agents responsables de flétrissement ou de nécrose (exemple: maladie des aiguilles des pins, chancre du tronc des peupliers) (Björkman, 1966). La sensibilité des arbres aux parasites facultatifs est en général fortement influencée par leur condition physiologique et leur vigueur de croissance, donc indirectement par le milieu (Schreiner, 1966).

Les organismes pathogènes ont une faculté considérable de développer de nouvelles formes ou races virulentes. Le généticien doit donc s'attendre à rencontrer de nouvelles races d'agents pathogènes auxquelles des variétés ou populations auparavant résistantes seront sensibles (Allard, 1964).

Une fois qu'une race de champignons s'est constituée, sa prédominance est déterminée par les variétés des plantes hôtes qui sont cultivées. Un cas extrême est représenté par un peuplement constitué de lignées consanguines, ou d'un clone unique dans lequel tous les individus sont génétiquement identiques, possédant les mêmes gènes de résistance aux races de l'agent pathogène présentes. Une telle population hôte exercera une forte pression de sélection, et il est probable qu'elle provoquera l'apparition de races physiologiques hautement spécialisées de l'agent pathogène, qui seront capables de vaincre la résistance de l'hôte (Borlaug, 1966).

La clef pour comprendre la variabilité des champignons, y compris la variabilité de leurs capacités pathogènes, réside dans leurs systèmes de reproduction. Outre la recombinaison méiotique du matériel génétique, une variation supplémentaire peut être introduite dans la population par recombinaison non méiotique, par hétérocaryose, dans laquelle deux noyaux ou plus occupent la même cellule, par hérédité cytoplasmique, et par mutation, qui elle-même fournit les différences génétiques initiales qui seront ensuite réunies dans les divers processus de recombinaison (Buxton, 1961). La majorité des espèces sont des organismes haploïdes dans lesquels des fusions nucléaires interviennent pour donner naissance à un stade diploïde d'une durée relativement courte, mais on rencontre des cycles biologiques allant de l'haploïdie complète à la diploïdie complète (Allard, 1964).

#### VARIABILITE DE L'HOTE

La variabilité de l'hôte, conduisant à la résistance, peut être active ou passive. La résistance passive est réalisée par des barrières structurales de nature morphologique ou anatomique. La résistance active est due à des processus vitaux amorcés chez l'hôte en réaction vis-à-vis d'un agent pathogène, et dirigés contre ce même agent (Gäuman, 1950).

Schreiner (1966) répertorie comme suit les caractéristiques de l'hôte qui contribuent le plus communément à la résistance des arbres forestiers aux maladies:

- 1) variation de l'hôte en ce qui concerne l'absorption des minéraux dans des conditions identiques de station;
- 2) différences dans la teneur en eau des tissus de l'hôte;
- 3) présence dans les tissus de l'hôte de métabolites autres que phytotoxines;
- 4) présence chez l'hôte de substances fongistatiques ou phytotoxiques;
- 5) production dans les tissus de l'hôte de phytotoxines;
- 6) préexistence ou formation de barrières qui restreignent les mouvements de pénétration et de propagation de l'agent pathogène dans les tissus de l'hôte;
- 7) effet de substances osmotiques sur la croissance du tube germinale et la pénétration des stomates;
- 8) mécanismes échappatoires tels que chute des aiguilles, ou surfaces foliaires densément pubescentes.

La nature génétique de la résistance de l'hôte peut être verticale (résistance spécifique) ou horizontale (résistance non spécifique, encore appelée tolérance) (van der Plank, 1963). La résistance verticale agit contre des races ou variétés déterminées de l'agent pathogène; elle se caractérise généralement par une correspondance étroite entre les gènes de l'agent pathogène et ceux de l'hôte, et elle est souvent sous la dépendance de gènes uniques, bien qu'il puisse aussi entrer en jeu des gènes multiples. Les composantes génétiques contribuant à la résistance verticale peuvent généralement être isolées, et étudiées dans des croisements appropriés (Schreiner, 1966; Watson, 1971).

La résistance horizontale est généralement polygénique, et de nombreux facteurs, tels que ralentissement de la croissance des hyphes dans les tissus de l'hôte et de leur pénétration, peuvent intervenir simultanément pour la contrôler. La résistance horizontale procure généralement un certain degré de protection contre toute une gamme de races de l'agent pathogène (Watson, 1971). Il n'existe aucune correspondance directe entre les gènes de l'hôte et ceux du champignon, et les systèmes polygéniques, bien que généralement plus efficaces contre les champignons et ayant la faveur des généticiens agricoles et forestiers, sont plus difficiles à utiliser dans l'amélioration des arbres que les gènes majeurs responsables de la résistance verticale (Heybroek, 1969; Luig, 1971; Watson, 1971).

Dans l'état actuel de nos connaissances, il apparaît que la résistance peut être due à un petit nombre de gènes majeurs (exemple: résistance à la tavelure des peupliers hybrides; voir Heimburger, 1966), à des monogènes (exemple: résistance du thuya géant à la maladie des aiguilles; voir Soegaard, 1966), à des polygènes (exemple: résistance du pin blanc de l'Ouest à la rouille vésiculeuse; voir Bingham *et al.*, 1960), ou enfin à l'hérédité cytoplasmique (exemple: résistance du mélèze au rouge des aiguilles; voir Lagner, 1952). Des gènes majeurs et des polygènes peuvent contribuer simultanément à la résistance (exemple: résistance du pin Weymouth à la rouille vésiculeuse; voir Heimburger, 1962).

Alors qu'il est généralement admis que des systèmes génétiques différents interviennent dans la résistance verticale et horizontale à une maladie donnée, les mêmes gènes peuvent entrer en jeu dans les deux types de résistance (Watson, 1966). Une diversité de gènes de résistance dans la population réduira les chances que l'agent pathogène surmonte la résistance existante par une modification de sa virulence ou de son pouvoir pathogène (Borlaug, 1966; Watson, 1971; Dinoor, 1975).

En dehors de la détermination génétique de la résistance horizontale, celle-ci peut aussi résulter d'un synchronisme imparfait entre agent pathogène et hôte, comme dans le cas de maladies apparaissant tardivement dans la vie de la plante, ou vers la fin de la saison de végétation (exemple: rouille des feuilles des peupliers). Cela revient presque à esquiver la maladie, du fait que des individus vigoureux peuvent être à même de remplacer les feuilles et autres organes malades, et d'avoir ainsi une assez bonne production en dépit de l'infection. Les plantes peuvent également échapper à l'infection si leur phase sensible se situe à un moment où l'agent pathogène est absent, ou présent en quantités insuffisantes, ou encore à une période où les conditions de milieu lui sont défavorables (Tarr, 1972).

#### PRINCIPES D'AMELIORATION GENETIQUE EN VUE DE LA RESISTANCE AUX MALADIES

##### Evaluation des différentes possibilités de lutte

Avant de s'engager dans un programme de sélection d'arbres résistants aux maladies, il faut examiner attentivement les autres méthodes possibles de lutte dont on dispose, à savoir: 1) l'exclusion; 2) la substitution; 3) l'éradication; 4) la protection par des moyens chimiques ou biologiques (McNabb, 1964; Gibson, 1975).

L'exclusion au moyen de la quarantaine, c'est-à-dire de restrictions à l'introduction de plantes, de parties de plantes ou de terre dans le pays (comme c'est le cas en Australie par exemple) peut être efficace contre les maladies qui ne sont pas encore implantées, à condition que l'on ait les moyens de faire respecter la législation. L'exclusion grâce à l'inspection et au traitement du matériel végétal et éventuellement des outils et machines avant de les transférer d'une région à une autre suppose que l'on a une bonne connaissance de la propagation et du cycle biologique de l'agent pathogène (Gibson, 1975).

Les maladies peuvent en général être efficacement évitées par une substitution d'essences si l'on dispose d'une essence de remplacement acceptable (exemples: substitution d'une espèce de cyprès à une autre en Afrique orientale, discutée plus loin dans cet exposé; substitution à l'épicéa du pin ou du mélèze sur certaines stations infestées de pourridié en Scandinavie; voir Palmberg, 1969). Un ajustement des époques de semis et de plantation, par exemple, peut parfois réduire efficacement les risques d'infection, de même qu'un changement dans les traitements culturaux (exemple: changement dans les pratiques d'élagage des cyprès en Afrique orientale; voir Rudd-Jones, 1954).

L'éradication de maladies autres que celles affectant les pépinières peut être réalisée à un stade très précoce de leur apparition, et exige pour être effective une organisation d'inspection exceptionnellement efficace, ainsi l'éradication d'individus malades en vue de stopper la propagation de la maladie de l'orme a été en grande partie un échec (Neely, 1975). L'éradication de l'hôte secondaire de rouilles s'est, en revanche, avérée assez efficace (exemple: élimination du tremble dans le Nord de l'Europe et de *Ribes* spp. aux Etats-Unis dans les zones proches des plantations de pins pour éviter les attaques de rouille courbeuse du pin sylvestre et de rouille fusiforme; Day, 1972).

La protection par application de fongicides est généralement considérée comme trop coûteuse en dehors de pépinières. Toutefois, pour des maladies qui attaquent les arbres pendant une période limitée de leur vie, cette méthode peut parfois être économiquement acceptable (exemple: pulvérisation de *Pinus radiata* contre la maladie des aiguilles en Nouvelle-Zélande; voir Gilmour et Vanner, 1971). La protection par application d'insecticides est généralement considérée comme possible lors d'invasions d'insectes (Benedict, 1964). La lutte biologique n'a pas été employée avec beaucoup de succès contre les insectes (Franz, 1964) (exemple: lutte contre les hyménoptères *Sirex* en Australie; voir Anon. 1974).

Les méthodes de lutte ci-dessus sont souvent appliquées parallèlement à des programmes de sélection en vue de la résistance aux maladies, et certaines ne fournissent qu'une solution à court terme. En règle générale la méthode la plus économique, et à maints égards idéale, pour lutter contre les maladies, est la mise au point de biotypes résistants de la plante hôte (Gibson, 1975).

### Elaboration de méthodes d'évaluation de la résistance

Une fois prise la décision de sélectionner en vue de la résistance aux maladies, le problème immédiat le plus important est la mise au point de méthodes rapides et précises pour évaluer la résistance chez la plante hôte. La résistance n'est pas un caractère intrinsèque, mais elle est soumise aux influences que le milieu exerce sur l'hôte, sur l'agent pathogène et sur la relation entre hôte et agent pathogène (Schreiner, 1966).

Outre une recherche fondamentale sur l'apparition et l'évolution du parasitisme, l'élaboration de telles méthodes d'évaluation requerra par conséquent une connaissance des effets des facteurs du milieu sur la résistance de l'hôte ainsi que du pouvoir pathogène et de la virulence du parasite (Callahan et al., 1966; Schreiner, 1966).

Etant donné que l'expression de la résistance est d'ordre phénotypique, une même expression peut être le résultat d'une interaction entre de nombreux génotypes différents de l'hôte et de l'agent pathogène (Dinor, 1975). L'identification des gènes de résistance fait par suite appel à des croisements et à des analyses génétiques, qui à leur tour nécessitent la mise au point de techniques efficaces de sélection, propagation, amélioration génétique et tests de descendance de l'arbre hôte (Schreiner, 1966).

Les gènes de résistance identifiables dépendent des races ou souches présentes de l'agent pathogène; en l'absence de celui-ci on ne peut distinguer les génotypes résistants des génotypes non résistants (Allard, 1964). Les programmes de recherche destinés à identifier la résistance doivent par conséquent toujours être fondés sur l'inoculation artificielle (Allard, 1964; Dyson, 1974). L'immunité totale à une maladie étant généralement un objectif illusoire, il faudra établir des normes pratiques minima de résistance pour chaque relation hôte/agent pathogène. Pour des raisons économiques aussi bien que pratiques, ces normes doivent garder une certaine souplesse (Schreiner, 1966).

### Sélection en vue de la résistance aux maladies

Après la mise au point de méthodes pour reconnaître et identifier la résistance aux maladies, l'étape suivante consiste à repérer dans les populations existantes de l'hôte des éléments résistants (Allard, 1964).

La résistance aux maladies chez les plantes est plus fréquente que la sensibilité, la plupart des plantes sauvages étant résistantes à la plupart des maladies (Cowling, 1969). Les maladies les plus désastreuses de nos arbres forestiers ont été le résultat de l'introduction d'agents pathogènes étrangers dans des populations qui ne renfermaient aucun gène efficace de résistance à ces agents (exemples: chancre de l'écorce du châtaignier, maladie de l'orme, rouille du pin Weymouth) (Borlaug, 1966).

La plantation à grande échelle d'essences à croissance rapide, parfois dans des conditions écologiques défavorables, et de populations ayant une base génétique très étroite, entraîne aisément aussi des problèmes phytopathologiques (exemples: rouge des aiguilles sur *Pinus radiata* en Afrique orientale, rouille des feuilles du peuplier en Australie) (Björkman, 1966).

Les gènes ne se trouvent pas au hasard dans les populations (Qualset, 1975). Une longue association entre agent pathogène et hôte donnera vraisemblablement naissance à une tolérance réciproque, en entraînant l'élimination des génotypes très sensibles de l'hôte par sélection naturelle (Tarr, 1972). Les gènes de résistance aux maladies et parasites ont par conséquent des chances de se rencontrer avec une fréquence maxima dans des régions où l'essence en question a été cultivée à grande échelle en présence de l'agent pathogène, ou de pouvoir être découverts par une prospection dans toutes les populations naturelles.

Un grand nombre d'individus devront être soumis à un niveau élevé d'inoculation artificielle afin d'augmenter les chances de dépister des individus résistants. Les tests de résistance doivent tenir compte de la biologie de l'hôte et de celle du parasite; il faudra par exemple déterminer à quel âge de l'hôte on devra procéder à l'infection et au diagnostic. Les essais doivent être répétés de façon à échantillonner une gamme de milieux. Le dispositif d'essai doit permettre l'étude statistique de la

variation de l'hôte, du parasite et du milieu, et de leurs interactions. Les tests sur les interactions clone x milieu ne devront être considérés comme probants qu'au bout d'une période égale au tiers ou à la moitié de la révolution présumée (Callaham *et al.*, 1966). Le dépistage de la résistance verticale doit être entrepris dans chaque région de plantation séparément, tandis que celui de la résistance horizontale peut souvent être centralisé. Toutefois, des facteurs tels que le climat et le taux d'inoculum virulent présent dans les diverses régions peuvent modifier le degré de résistance constaté dans une place centrale d'essai (Dinoor, 1975).

Si la multiplication végétative est réalisable pour la production massive de plants de reboisement (avec les peupliers, par exemple), et si les arbres résistants présentent des phénotypes satisfaisants, on pourra les utiliser immédiatement pour constituer des populations - tests résistantes au parasite. En revanche, dans le cas d'essences reproduites par semences, il ne faut pas oublier que les arbres varient non seulement dans leur résistance à un agent pathogène, mais également dans leur aptitude à transmettre cette résistance à leur descendance (Wood, 1966). Il est par conséquent indispensable de soumettre les arbres de ces essences sélectionnés phénotypiquement à des tests de descendance. S'il apparaît des descendances résistantes, leurs parents pourront être désignés provisoirement comme "transmetteurs de résistance" (Schreiner, 1966) et, après essais complémentaires, être multipliés dans des vergers à graines pour produire des semences F1 résistantes (Callaham *et al.*, 1966). Les arbres montrant une aptitude générale à la combinaison élevée seront de la plus grande utilité. L'aptitude spéciale à la combinaison ne pourra être mise à profit que par la multiplication végétative ou par des croisements dirigés.

#### Amélioration génétique en vue de la résistance aux maladies

La variation dans le degré de résistance a été attribuée à la nature et au nombre des gènes de résistance présents dans l'arbre parent (Wood, 1966). L'amélioration génétique peut être utilisée pour assurer que les cultivars possèdent un maximum de diversité génétique en ce qui concerne les gènes de résistance (Watson, 1966).

Dans les systèmes d'hérédité polygénique, il se peut que la sélection atteigne un palier au-delà duquel les progrès sont insignifiants. Ce palier peut ou non conférer un degré de résistance suffisant à des fins pratiques. En introduisant une nouvelle variation grâce à l'hybridation des individus les plus résistants et d'autres populations de l'hôte qui montrent un certain degré de résistance, on peut parvenir à dépasser ce palier (Heimbürger, 1962).

Si l'on ne peut trouver dans les populations existantes de l'espèce hôte une résistance suffisante aux maladies, on pourra parfois introduire des gènes de résistance par hybridation interspécifique. Si le matériel résistant ainsi obtenu n'est pas économiquement acceptable, on dispose de deux méthodes possibles: ou bien on croise entre eux les hybrides F1 pour produire une génération F2 dans laquelle la ségrégation et la recombinaison des gènes pourront donner des phénotypes résistants acceptables, ou bien on peut opérer un croisement en retour de l'hybride F1 avec le parent de l'espèce désirée (Allard, 1964). Il faudra entreprendre à nouveau un tri dans ces nouvelles populations pour rechercher la résistance aux maladies.

La production massive de semences d'hybrides F1 interspécifiques possédant à la fois les caractéristiques phénotypiques et la résistance aux maladies désirables peut se faire par pollinisation dirigée ou bien, si les deux espèces en question fleurissent en même temps, on peut les planter côte à côte dans un verger à graines pour produire spontanément des semences hybrides. Dans certains cas on pourra planter des clones individuels d'une espèce en intercalaire dans un peuplement de l'autre espèce; ce procédé facilite l'élimination à la pépinière des plants non hybrides (Callaham *et al.*, 1966).

On peut faire appel à l'hybridation intra-aussi bien qu'interspécifique pour transmettre les gènes de résistance à des phénotypes intéressants.

## Maintien de la résistance dans les populations améliorées

On a la preuve d'une variation suffisante de la résistance entre espèces, races et individus pour justifier les recours à l'amélioration génétique en vue de lutter contre pratiquement toutes les maladies importantes des plantes (Schreiner, 1966). Chaque fois que l'on dispose de variétés résistantes satisfaisantes, on préfère leur emploi aux autres moyens de lutte contre les maladies, parce qu'une fois créées elles n'augmentent que peu ou pas du tout les coûts de production (Allard, 1964). Pour les plantes agricoles qui se composent dans une large mesure de matériel végétal génétiquement homogène et de lignées consanguines, l'amélioration génétique en vue de la résistance exige une étude continue et la mobilisation de nouvelles sources différentes de résistance (Dinoor, 1975). Par exemple, la durée maxima moyenne de protection effective procurée par un type quelconque de résistance à la rouille noire du blé aux Etats-Unis et au Canada est d'environ 15 ans; la situation est pire en ce qui concerne les zones subtropicales et tropicales, où le mécanisme d'esquive de la maladie ne fonctionne pas efficacement, et où les ensembles de gènes déterminant le pouvoir pathogène sont vastes et se maintiennent d'année en année (Borlaug, 1966).

Etant donné que les longues révolutions sont la règle en sylviculture, et que les effets de tout changement climatique à long terme sur l'hôte, l'agent pathogène et leurs relations mutuelles peuvent être prononcés, la question du maintien de la résistance est d'importance capitale (Schreiner, 1966; Painter, 1966).

La probabilité d'obtenir et de maintenir une résistance de longue durée par l'amélioration génétique est en général directement proportionnelle à la diversité du patrimoine héréditaire dont dispose le généticien (Painter, 1966).

Tandis que pour les plantes agricoles l'unité génétique de base est une lignée consanguine ou une souche de la plante, en génétique forestière l'unité de base est généralement l'individu, et chaque population comporte un nombre infini de génotypes (Painter, 1966). Tant qu'on ne laisse pas la base génétique se rétrécir à l'excès dans les plantations forestières par suite d'une sélection intense dans des populations limitées et de croisements consanguins, il est peu probable que des problèmes surviennent à la même échelle qu'en agriculture. Des réserves génétiques ayant une base large pourront être une sauvegarde supplémentaire pour l'avenir; on pourra par ce moyen préserver la capacité des populations hôtes de réagir aux changements dans les populations d'agents pathogènes (Dinoor, 1975).

## APPLICATIONS PRATIQUES

Bien que l'amélioration génétique des arbres forestiers pour la résistance aux maladies soit une entreprise de longue haleine, les exemples ne manquent pas de succès dans ce domaine.

Les maladies s'attaquant aux feuilles, aux rameaux et au tronc ont fait l'objet d'études plus poussées que les pourridiés par exemple. Bien que ces derniers soient économiquement importants, l'évaluation de la résistance, le triage des sélections et descendance, et la mise au point de méthodes efficaces d'inoculation, suscitent des difficultés lorsqu'on a affaire à des dégâts internes. En outre, les champignons des pourridiés envahissent en général le bois mort de coeur, dans lequel les possibilités d'introduire des changements conduisant à la résistance paraissent plus réduites que dans les tissus vivants. On a cependant obtenu des résultats positifs en modifiant par sélection les substances toxiques présentes dans le bois de coeur (Björkman, 1966; Cech et al., 1966).

Deux exemples, l'un comportant un changement d'essence suivi de sélection, l'autre une sélection et une nouvelle amélioration, peuvent servir à illustrer la façon dont les techniques esquissées ci-dessus peuvent être appliquées avec succès en pratique pour améliorer la résistance des arbres forestiers aux maladies.

1) Cupressus macrocarpa Hart et C. lusitanica Mill. furent introduits en Afrique orientale au début du siècle. C. macrocarpa avait la faveur des reboiseurs en raison de sa croissance plus rapide. Cependant, des problèmes surgirent bientôt avec le chancre du cyprès, causé par le champignon Monochaetia unicornis (Cooke et Ellis) Sacc. Ce parasite fut étudié intensivement au début des années cinquante. On découvrit qu'il était

présent sur l'essence indigène Juniperus procera Hook, sur laquelle il ne cause que peu de dégâts. Trois souches du champignon furent isolées, deux anodines et une virulente, et cultivées pour faciliter leur étude. Une technique efficace d'inoculation fut alors mise au point, comportant une blessure du tronc avant l'application de l'inoculum virulent. On constata que la résistance à la maladie des arbres individuels pouvait être évaluée en mesurant la vitesse d'accroissement du diamètre des lésions de l'écorce sur une période de trois mois suivant l'inoculation. En utilisant cette méthode, on démontra que C. lusitanica était de moitié moins sensible que C. macrocarpa, et un changement d'essence fut en conséquence recommandé et effectué. La même technique d'inoculation fut utilisée par la suite pour tester des descendance d'arbres plus sélectionnés de C. lusitanica issues de pollinisation libre (Dyson, 1974). Environ 80 pour cent de la surface totale de reboisements du Kenya sont maintenant plantés en C. lusitanica. Toutes les semences utilisées proviennent de peuplements semenciers sélectionnés pour une bonne forme, un rendement élevé et un degré élevé de résistance à la maladie.

2) Le pin blanc de l'Ouest (Pinus monticola Dougl.) est une des meilleures essences à bois d'oeuvre des Etats-Unis. La rouille vésiculeuse Cronartium ribicola Fisch. fut introduite accidentellement aux Etats-Unis dans les années vingt, et en 1941 la maladie avait atteint les proportions d'une épidémie. Des observations dans les populations naturelles de pins montrèrent qu'il existait une variation dans la résistance à la maladie. Des phénotypes apparemment résistants ou immuns furent sélectionnés, et la résistance testée par la réponse de greffes et de descendance d'arbres sélectionnés sur plusieurs années et sur différentes stations. L'hôte alternant du champignon étant Ribes spp., on en planta dans les parcelles expérimentales pour augmenter les possibilités d'inoculation. Les résultats des essais effectués sur des greffes et sur des descendance indiquèrent qu'il entraînait en jeu dans la résistance des effets de gènes additifs aussi bien qu'un non additifs. Ces essais permirent de détecter parmi les sélections originelles les individus ayant une aptitude générale à la combinaison élevée.

L'étape suivante du programme d'amélioration génétique comportait des croisements dirigés entre les phénotypes prometteurs; ceux-ci furent testés pendant deux ans en les soumettant à une inoculation artificielle intense, en utilisant une "tente d'inoculation" qui maintenait une humidité élevée favorable au champignon. On constata qu'aucune sélection ne produisait de descendance totalement immune à la maladie, et qu'il apparaissait une large amplitude de variation dans le degré de résistance transmis par les arbres sélectionnés (Bingham et al., 1960; Hoff, 1966; Bingham, 1969).

Les programmes pratiques d'amélioration génétique utilisent maintenant la variation intraspécifique naturelle de Pinus monticola. Le Service forestier de la Région Nord a entrepris un projet de production massive de semences F2 à partir d'hybrides intraspécifiques F1 sélectionnés, issus de parents phénotypiquement résistants. Les études d'hérédité ont indiqué un gain de l'ordre de 20 pour cent de la résistance à la maladie des sujets F1 dans des conditions d'inoculation artificielle intense. Les problèmes pratiques rencontrés concernent les techniques de verger à graines, la taille de l'ensemble génétique nécessaire pour chaque zone de plantation afin d'assurer une variation génétique suffisante en vue d'amélioration ultérieure des caractéristiques désirables, et enfin les méthodes à appliquer pour accélérer la sélection et tester de nouveaux individus (Hoff, 1966).

Au cours des dix dernières années un intérêt grandissant a été porté à l'hybridation interspécifique dans le groupe des "white pines". On trouve dans ce groupe de pins à 5 feuilles plus de 20 espèces montrant des degrés variés de résistance à la rouille vésiculeuse. Les programmes d'amélioration génétique se sont concentrés sur les 14 espèces qui possèdent la plus large adaptation à des conditions variées de sol et de climat, et la plus grande résistance pour l'ensemble de l'espèce. Des observations comparatives à l'échelle mondiale ont été faites sur la résistance relative des diverses espèces, et une "classification provisoire" internationale a été établie. Des hybrides résistants entre un certain nombre d'espèces ont été produits et testés à échelle expérimentale, notamment de certaines des espèces asiatiques (P. griffithii, P. armandii, P. koraiensis) dont les hybrides se sont avérés intéressants, montrant un degré de résistance bien plus élevé qu'P. monticola par exemple (Bingham, 1972).

Le développement de la résistance par des croisements interspécifiques va de pair avec la production de lignées résistantes dans une même espèce (Callahan et al., 1966).

Le rôle de la génétique forestière deviendra de plus en plus important à mesure que la sylviculture deviendra plus intensive. La culture de vastes plantations uniformes d'arbres souvent sélectionnés pour des caractères de faible valeur adaptative tels que rapidité de croissance et rectitude du fût, en l'absence d'agents pathogènes potentiels, accroîtra les risques de maladies. Un programme d'amélioration génétique doit inclure des dispositions pour parer à la menace d'agents pathogènes encore non détectés et de nouvelles races virulentes de ceux déjà connus avant qu'ils ne puissent causer de dégâts excessifs. Comme nous l'avons déjà souligné précédemment, cela peut être réalisé au mieux en maintenant l'hétérozygotie et une large base génétique dans les plantations forestières aussi bien que dans les réserves génétiques établies ou maintenues en liaison avec les programmes d'amélioration.

La coopération internationale est indispensable pour des progrès rapides en matière d'amélioration génétique de la résistance aux maladies. Cette coopération doit comporter la conservation génétique de peuplements naturels pour servir de réserve de gènes de résistance aux maladies, des banques internationales de gènes de génotypes résistants en vue de les utiliser en amélioration, et un échange accru d'information.

BIBLIOGRAPHIE

- Allard, R.W. (1964). 'Principles of Plant Breeding'. Wiley & Sons Inc., New York.
- Anon. (1974). Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO). Annual Report 1973-74.
- Benedict, W.V. (1964). Principles, procedures and problems in controlling forest pests. FAO/IUFRO Symposium on Internationally Dangerous Forest Diseases and Insects, Oxford. FAO/FORPEST - 64, IX. FAO, Rome.
- Bingham, R.T. (1969). Résistance aux rouilles des conifères - Situation actuelle et besoins futurs. Deuxième Consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers, Washington. FO-FTB-69, 5/2. FAO, Rome
- Bingham, R.T. (1972). Taxonomy, crossability, and relative blister rust resistance of 5-needled white pines. 'Biology of Rust Resistance in Forest Trees'. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Miscellaneous Publication 1221. pp.271-80.
- Bingham, R.T., Squillace, A.E., and Wright, J.W. (1960). Breeding blister rust resistant western white pine. Silvae Genetica 9:33-41.
- Björkman, E. (1966). Status and trends in research related to the resistance of forest trees to disease in northern Europe. Gerhold, H.D. et al. (Eds). 'Breeding Pest Resistant Trees'. Pergamon Press, Oxford. pp.3-10.
- Borlaug, N.E. (1966). Basic concepts which influence the choice of methods for use in breeding for disease resistance in cross-pollinated and self-pollinated crop plants. Gerhold, H.D. et al. (Eds). 'Breeding Pest Resistant Trees'. Pergamon Press, Oxford. pp.327-44.
- Buxton, E.W. (1961). Mechanisms of variation in the pathogenicity of Fusarium oxysporum. Recent Advances in Botany 1:502-7.
- Callahan, R.E. et al. (1966). General guidelines for practical programs toward pest-resistant trees. Gerhold, H.D. et al. (Eds). 'Breeding Pest Resistant Trees'. Pergamon Press, Oxford. pp.489-93.
- Cech, F.C. et al. (1966). Breeding conifers for resistance to Fomes annosus. Gerhold, H.D. et al. (Eds). 'Breeding Pest Resistant Trees'. Pergamon Press, Oxford. p. 483.
- Cowling, E.G. (1969). Principles of genetic improvement in disease resistance of forest trees. FAO/N.C. State Univ. Forest Tree Improvement Training Center. School of Forest Resources, N.C.S.U., Raleigh. Lecture Notes, pp. 196-200.
- Day, P.R. (1972). The genetics of rust fungi. 'Biology of Rust Resistance in Forest Trees'. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Miscellaneous Publication 1221. pp.3-17.
- Dinoor, A. (1975). Evaluation of sources of disease resistance. Frankel, O.H., and Hawkes, J.G. (Eds). 'Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow'. IBP 2. Cambridge University Press. pp.201-10.
- Dyson, W.G. (1974). Breeding for disease resistance. Report on the FAO/DANIDA Training Course on Forest Tree Improvement, Kenya. FAO/DEN/TF 112. FAO, Rome. pp.292-8.
- Franz, J.M. (1964). Forest insect control by biological measures. FAO/IUFRO Symposium on Internationally Dangerous Forest Diseases and Insects, Oxford. FAO/FORPEST-64, IX. FAO, Rome.
- Gibson, I.A.S. (1975). 'Diseases of Forest Trees Widely planted as Exotics in the Tropics and Southern Hemisphere'. Commonwealth Mycology Institute/Commonwealth Forestry Institute, Oxford.

- Gilmour, J.W., and Vanner, A.L. (1971). Radiata pine pine needle blight (*Dothistroma pini*). Fungicide and Nematocide Tests 27. Am. Phytopath. Soc.
- Gäumann, E. (1950). 'Principles of Plant Infection'. Crosby Lockwood & Son, London.
- Heimbürger, C. (1962). Breeding for disease resistance in forest trees. For. Chron. 38:356-62.
- Heimbürger, C. (1966). Susceptibility to a serious fungus attack as a genetic barrier between aspen species. Gerhold, H.D. et al. (Eds). 'Breeding Pest Resistant Trees'. Pergamon Press, Oxford. pp.391-4.
- Heybroek, H.M. (1969). Trois aspects de sélections forestières visant à la résistance aux maladies. Deuxième Consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers, Washington, FO-FTB-69, 5/4. FAO, Rome.
- Hoff, R.J. (1966). Blister rust resistance in western white pine. Gerhold, H.D. et al. (Eds). 'Breeding Pest Resistant Trees'. Pergamon Press, Oxford. pp. 119-24.
- Lagner, W. (1952). Reziprok unterschiedliches Verhalten von Larchenbastarden gegen eine Nadelerkrankung. Z. Forstgenetik 1:78-81.
- McNabb, H.S. Jr. (1964). A 'new' concept of forest tree disease control : physiological suppression. FAO/IUFRO Symposium on Internationally Dangerous Forest Diseases and Insects, Oxford. FAO/FORPEST-64, IX. FAO, Rome.
- Neely, D. (1975). Sanitation and dutch elm disease. Burdekin, D.A., and Heybroek, H.M. (Eds). 'Dutch Elm Disease'. Proceedings of IUFRO Conference, Minneapolis 1973. USDA FS Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA. pp. 76-87.
- Painter, R.H. (1966). Lessons to be learned from past experience in breeding plants for insect resistance. Gerhold, H.D. et al. (Eds). 'Breeding Pest Resistant Trees'. Pergamon Press, Oxford. pp.349-55.
- Palmberg, C. (1969). *Fomes annosus* Fr. (Cke.) - a universal problem. Silva Fennica 3:33-49.
- Qualset, C.O. (1975). Sampling germplasm in a center of diversity : an example of disease resistance in Ethiopian barley. Frankel, O.H., and Hawkes, J.G. (Eds). 'Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow'. IBP 2. Cambridge University Press. pp.81-98.
- Luig, N.H. (1971). 'Strong' and 'weak' genes for stem rust resistance in wheat breeding. Aust. Pl. Breeding Conf. Perth, W.A. 8-3.
- McIntosh, R.A. (1971). Wheat genes for rust resistance in space and time. Aust. Pl. Breeding Conf. Perth, W.A. 8-5.
- Rudd-Jones, D. (1954). Studies on a canker disease of cypress in East Africa. Ann. App. Biol. 41:325-35.
- Schreiner, E.J. (1966). Future needs for maximum progress in genetic improvement of disease resistance in forest trees. Gerhold, H.D. et al. (Eds). 'Breeding Pest Resistant Trees'. Pergamon Press, Oxford. pp.455-66.
- Soegaard, B. (1966). Variation and inheritance of resistance to attack by *Didymascella thujina* in western red cedar and related species. Gerhold, H.D. et al. (Eds). 'Breeding Pest Resistant Trees'. Pergamon Press, Oxford. pp. 83-8.

- Tarr, S.A.J. (1972). 'The Principles of Plant Pathology'. Macmillan Press, London.
- van der Plank (1963). 'Plant Diseases : Epidemics and Control'. Academic Press, New York and London.
- Watson, I.A. (1971). Breeding for disease resistance. Aust. Pl. Breeding Conf. Perth, W.A. 8-37.
- Wood, F.A. (1966). The current status of basic knowledge of forest tree disease resistance research. Gerhold, H.D. et al. (Eds). 'Breeding Pest Resistant Trees'. Pergamon Press, Oxford. pp.293-300..

\* \* \* \* \*

ASPECTS ECONOMIQUES DES PROGRAMMES D'AMELIORATION  
DES ARBRES FORESTIERS

Bjerne Ditlevsen  
Service forestier national, Danemark

TABLE DES MATIERES

|                                                        |
|--------------------------------------------------------|
| Introduction                                           |
| Facteurs de marché                                     |
| Choix des méthodes                                     |
| Critères d'évaluation du plan d'amélioration génétique |
| Evaluation des coûts et bénéfices                      |
| Coûts                                                  |
| Coûts fixes                                            |
| Coûts variables                                        |
| Bénéfices                                              |
| Incertitude des évaluations                            |
| Optimisation des programmes d'amélioration             |
| Remarques finales                                      |
| Bibliographie                                          |

INTRODUCTION

L'amélioration des arbres au moyen de manipulations génétiques est l'une des diverses méthodes disponibles pour accroître la production forestière et la rentabilité des industries de transformation des bois. Ses coûts et bénéfices potentiels doivent par conséquent être considérés dans le contexte général du reboisement et de l'utilisation des forêts.

Les programmes de reboisement peuvent être entrepris par des individus, des sociétés privées, des ministères ou autres organismes publics. Si les capitaux proviennent de sources privées, l'objectif normal est de maximiser les profits annuels. Les projets entrepris par des organismes publics peuvent répondre à des motifs sociaux, mais également avoir en vue des bénéfices économiques directs. Dans ce dernier cas, l'objectif poursuivi sera d'obtenir une production maximale plutôt que de maximiser le profit économique, en vue d'assurer un approvisionnement national suffisant en bois ou de développer (ou maintenir) une industrie forestière prospère.

Nous ne traiterons dans ce qui suit que des considérations relatives aux modèles d'analyse de coûts et bénéfices financiers, mais le généticien ne doit pas oublier que dans certains cas une analyse de coûts et avantages sociaux pourra être nécessaire, et pourra conduire à des conclusions totalement différentes (Reilly, 1977).

FACTEURS DE MARCHE

Le marché des semences génétiquement améliorées est analogue à celui des autres produits. L'offre des producteurs de semences suit la demande existante. Celle-ci dépend de la nature et du volume de la demande des produits obtenus par la culture de ces semences, qui elle-même reflète la demande de biens élaborés à partir de ces produits. Cela est très important, attendu que le prix que les acheteurs accepteront de payer pour les semences améliorées sera égal au prix des produits cultivés et élaborés à partir de ces semences, moins les coûts de culture et de transformation.

Etant donné que les bénéfices d'un programme d'amélioration génétique des arbres s'étendront bien au-delà des premières années, il faudra avoir une idée des tendances futures du marché des produits élaborés. Le niveau présumé de la demande influera sur la quantité de semences à produire, tandis que la nature de la demande aura une incidence sur les caractères à sélectionner et sur l'intensité de sélection à appliquer.

Dans une situation de marché stable où l'offre et la demande, et par conséquent les prix, ne varient pas, la valeur à laquelle la quantité offerte de semences génétiquement améliorées est en équilibre avec la quantité demandée traduit le prix de marché des semences. Si sur la marché l'offre est excédentaire et que la demande ne change pas, les prix baisseront, mais ils reviendront finalement à leur niveau initial à mesure que l'offre diminuera. Un accroissement de la demande de semences améliorées dû à un accroissement des surfaces plantées annuellement aura pour résultat une hausse des prix.

Cette description très simplifiée du marché s'applique aux prix des excédents de semences offerts sur le marché. Si la production excédentaire de semences du programme d'amélioration représente une part importante du marché, les prix baisseront. Il faut tenir compte de cela lorsqu'on évalue les semences. De même, si l'organisation décide d'acheter les semences génétiquement améliorées à d'autres producteurs au lieu d'entreprendre son propre programme, l'accroissement de la demande peut être suffisant pour entraîner une hausse importante des prix. Si au contraire l'effet sur l'offre et la demande n'est pas très grand, les changements de prix ne seront pas importants.

Les marchés de semences génétiquement améliorées sont parfois hautement spécialisés. Les programmes d'amélioration comprennent une large gamme d'espèces, de caractères sélectionnés et d'intensités de sélection. Souvent un seul producteur, ou un petit nombre de producteurs, dominent le marché, et les prix ne seront pas fondés sur les forces du marché (offre et demande), mais sur le coût de production plus une marge bénéficiaire. Le coût de production de semences améliorées fournies par un programme propre pourra être très différent du prix de marché, c'est-à-dire du prix qu'une organisation serait disposée à payer pour les semences.

#### CHOIX DES METHODES

Les choix à faire portent sur deux catégories de méthodes ou stratégies: celles qui concernent la décision d'entreprendre ou non le programme d'amélioration génétique, et celles qui se rapportent au choix du programme lui-même. Les stratégies de la première catégorie sont les suivantes:

- 1° Continuer d'utiliser des semences non améliorées.
- 2° Acheter des semences génétiquement améliorées à d'autres sources.
- 3° Participer à un programme coopératif d'amélioration des arbres.
- 4° Entreprendre son propre programme d'amélioration génétique.

Avant de procéder à une comparaison de ces stratégies, il faut examiner s'il est techniquement possible pour l'organisation d'entreprendre un programme d'amélioration génétique. Cela dépendra avant tout de la demande existante de semences améliorées, des ressources dont dispose l'organisation, de la taille du programme prévu, et des orientations fixées. Les ressources disponibles comprennent non seulement des généticiens hautement qualifiés ainsi que de la main-d'oeuvre, mais également des capitaux, des terrains, et surtout une population d'une taille et d'une nature qui permettent la sélection. Des recherches peuvent être nécessaires aussi pour déterminer les modes de floraison, les techniques de multiplication végétative à employer, et autres éléments de la conduite des vergers à graines.

La forme que prendra le programme d'amélioration génétique dépendra principalement de l'information disponible sur l'hérédité des caractères importants à sélectionner, le gain génétique supplémentaire à différents niveaux d'intensité de sélection, les relations génétiques entre les divers caractères, etc... Les dimensions du programme dépendront des besoins de semences de l'organisation et de la demande pour un excédent de semences.

En général, la majorité des organisations n'auront pas au départ une information suffisamment détaillée pour pouvoir entreprendre de vastes programmes, et l'analyse se limitera à une comparaison de ces programmes avec l'une ou l'autre des stratégies mentionnées ci-dessus en 1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup> et 3<sup>o</sup>. Cependant, au fur et à mesure que le programme avancera et qu'on en saura plus sur les caractères à améliorer, on pourra envisager des stratégies plus avancées.

#### CRITERES D'EVALUATION DU PLAN D'AMELIORATION GENETIQUE

Les experts économistes n'ont pas encore totalement résolu le problème du choix d'un critère économique approprié pour comparer sur une période d'un certain nombre d'années les coûts et bénéfices de différentes solutions possibles, ou pour accepter un projet particulier. Mais la majorité convient maintenant qu'il faut avoir une méthode d'actualisation pour réduire les coûts et bénéfices intervenant à des dates différentes à un dénominateur commun à un moment déterminé. Un dollar vaut plus aujourd'hui qu'à une date future, parce qu'il peut être employé pour produire des revenus supplémentaires. On emploie le plus fréquemment les deux critères d'évaluation suivants:

1. La valeur nette actualisée se définit comme la différence entre les coûts et les bénéfices attribués au projet, actualisée au taux d'actualisation approprié. Si la valeur nette actualisée est positive, le projet peut être considéré comme économiquement viable, et être accepté. S'il y a plusieurs projets possibles, on devra donner la préférence à celui qui offre la valeur nette actualisée positive la plus élevée.

2. Le taux de rentabilité interne est le taux d'actualisation qui donne une valeur nette actualisée égale à zéro, autrement dit la valeur actualisée des bénéfices est égale à la valeur actualisée des coûts. Un projet donné peut être accepté si son taux de rentabilité interne est supérieur au taux minimum acceptable de placement financier admis. Le choix entre les projets se fera en faveur de celui qui a le taux de rentabilité interne le plus élevé.

Dans certains cas le projet qui offre la valeur nette actualisée la plus élevée ne coïncide pas nécessairement avec celui qui a le taux de rentabilité interne le plus élevé. Dans un tel cas, c'est le critère de la valeur nette actualisée qu'il faut suivre.

La valeur nette actualisée VNA d'un programme peut s'exprimer sous une forme algébrique par l'équation suivante:

$$VNA = \sum_{t=0}^t \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}$$

dans laquelle:

- Bt représente les bénéfices engendrés par le programme à l'année t;
- Ct représente les coûts engagés à l'année t;
- i représente le taux d'intérêt utilisé pour actualiser les coûts et bénéfices, exprimé sous forme décimale.

Dans les calculs de taux de rentabilité interne, on n'a pas besoin d'un taux pré-déterminé pour procéder à l'actualisation, mais pour décider si le projet doit être accepté ou non il faut une estimation du taux de rentabilité minimum. Ce taux déterminé sera égal au taux d'intérêt que l'organisation aurait perçu avec d'autres investissements possibles, c'est-à-dire le coût d'opportunité de son capital.

La majorité des organisations de statut privé attendent de nouveaux investissements qu'ils produisent au minimum un taux moyen calculé par pondération du taux obtenu sur diverses sources de capital (ressources provenant des actionnaires ou d'emprunts, bénéfices non distribués, investissements extérieurs) en fonction des proportions relatives de ces ressources utilisées par l'organisation.

## EVALUATION DES COUTS ET BENEFICES

La méthode la plus simple pour analyser les coûts et bénéfices est celle qui consiste à limiter l'analyse aux transactions réelles au comptant. Les coûts comprendront par conséquent les traitements et salaires, le prix d'achat du terrain et autres actifs immobilisés, tels que bâtiments, usines et équipements, et le coût des matières premières. On doit assigner une valeur à l'actif immobilisé et au terrain à la fin de la période considérée, et la compter comme bénéfice.

Deux aspects doivent être examinés à ce propos: à quel point de la production faut-il évaluer les coûts et bénéfices relatifs au programme d'amélioration génétique, et comment peut-on les planifier tout au long de la période considérée?

Les coûts doivent être pris en compte au moment où ils interviennent réellement. Les bénéfices sont normalement évalués au moment de la récolte des semences. Tous les coûts relatifs à la sélection des arbres parents et à l'installation et à la gestion du verger à graines sont naturellement inclus dans l'analyse, tandis que ceux résultant des essais de descendance, des essais de provenances, des programmes d'hybridation, etc..., ne sont pas attribués en totalité ni partiellement au programme principal d'amélioration, et il pourra en conséquence être nécessaire d'avoir une forme ou une autre d'assignation. Cela devra de préférence se faire en considération des bénéfices produits par les différents programmes. Parfois, cependant, il sera nécessaire d'adopter une démarche arbitraire fondée sur l'appréciation du généticien.

La valeur des semences génétiquement améliorée est déterminée en fonction de son prix sur le marché libre (si celui-ci existe), ou de la valeur des bénéfices procurés par la vente des produits bruts ou élaborés obtenus à partir de ces semences, en utilisant la méthode dite du prix de valeur résiduelle, dans laquelle on déduit du prix du produit fini (ou intermédiaire) les coûts de culture, récolte, transformation et distribution. Les prix des sciages et de la pâte constituent des points de départ appropriés pour l'évaluation des bénéfices d'un programme d'amélioration génétique des arbres forestiers.

## COUTS

### Coûts fixes

Comme c'est le cas pour toute autre forme de changement technique, les coûts de l'amélioration génétique des arbres peuvent être fixes, ou bien variables en fonction du volume de semences récoltées. Ils sont fixes s'ils ne sont pas influencés par les quantités récoltées, variables s'ils sont en fonction directe de celles-ci.

La sélection et les essais de descendance des arbres parents pour le verger à graines constituent les principales sources de coûts fixes relatifs à la gestion des vergers à graines. Cela est dû au fait que le nombre de phénotypes sélectionnés pour constituer le verger est normalement indépendant de la taille de celui-ci.

#### 1. Coût de la sélection par arbre parent

Le coût par arbre parent sélectionné pour un verger à graines dépend de l'intensité de sélection et des caractères ou critères sur lesquels elle s'appuie. Van Buijtenen et Saitta (1972) ont démontré que le coût de sélection initiale par arbre tend à augmenter à un taux relativement plus rapide à mesure qu'augmente l'intensité de sélection. Par exemple, le coût de sélection initiale par arbre avec une différentielle de sélection de 3 à 4 fois l'écart-type au-dessus de la moyenne est environ cinq fois plus élevé qu'avec une différentielle de sélection relativement basse de une fois l'écart-type.

Le coût de sélection initiale augmente également beaucoup en fonction du nombre de caractères à sélectionner. Pour une intensité de sélection de 1 pour cent, et en supposant que les caractères ne sont pas en corrélation et que les coûts de recherche s'élèvent à 1 \$ pour 100 arbres étudiés, le coût de sélection s'établira comme suit:

| Nombre de caractères<br>à sélectionner | Nombre d'arbres étudiés<br>par arbre parent | Coût par arbre<br>parent sélectionné (\$) |
|----------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1                                      | 100                                         | 1                                         |
| 2                                      | 10 000                                      | 100                                       |
| 3                                      | 1 000 000                                   | 10 000                                    |

Le coût de sélection est multiplié par 100 pour chaque caractère supplémentaire sélectionné.

## 2. Essais de descendance

Les essais de descendance peuvent représenter l'un des aspects les plus coûteux des programmes d'amélioration génétique, et leurs coûts sont très difficiles à traiter. Si les essais de descendance sont destinés à fournir une information en vue d'épurer un verger à graines de première génération, le coût total de ces essais sera attribué à cette phase du programme d'amélioration. S'ils ont pour objet de fournir également la base d'une sélection de deuxième génération, il faudra une méthode pour ventiler les coûts entre les vergers de première et de deuxième génération. L'idéal serait de se baser sur les bénéfices procurés par chaque génération, mais il peut être impossible de les chiffrer. Si c'est le cas, il faudra un facteur général qui serve pour la majorité des cas, comme par exemple les coûts relatifs de sélection.

## 3. Autres coûts fixes

Les frais annuels d'administration et de recherche représentent les autres catégories les plus importantes de coûts fixes. Les frais d'administration peuvent être répartis au prorata des coûts de salaires et de matières intervenant directement dans chaque phase du programme, mais il est plus commode de les traiter comme un coût annuel fixe.

A moins que le programme de recherche ne soit destiné à profiter au programme d'amélioration réalisé en même temps, les coûts doivent en être mis au compte des programmes d'amélioration futurs au profit desquels ils sont destinés, à la date où ceux-ci seront réalisés.

## Coûts variables

Le reste des coûts d'installation et de gestion d'un verger à graines est en relation étroite avec la taille de celui-ci. Quel que soit le système de gestion, ils dépendent d'autre part directement du rendement en graines. Ils comprennent les coûts de préparation du terrain, plantation, multiplication végétative, fertilisation, taille, épuration, entretien général et protection.

Les coûts d'installation varieront en fonction du nombre de clones multipliés, de la méthode de multiplication, et de la densité initiale de plantation. La production à l'hectare de graines d'une essence donnée dépend de l'intensité de préparation du terrain, notamment de la quantité d'engrais apportée, et de la densité du peuplement. Keiding (1975) présente un résumé détaillé des coûts d'installation des vergers à graines.

Plus grande est la superficie du verger, et plus faibles seront les coûts par kilogramme de semences produites. Cependant, il peut arriver un moment où le verger est trop grand et où il apparaît des déséconomies d'échelle, dues surtout à une augmentation disproportionnée des coûts d'administration, et au fait que la récolte de greffons peut être très coûteuse ou qu'il faut davantage d'arbres parents.

Le coût de production de semences dans le verger à graines suivra par conséquent la courbe en U bien connue de la théorie de la production, à savoir qu'il commence par diminuer à mesure que la superficie du verger augmente, pour monter ensuite à mesure que

les coûts fixes commencent à augmenter. On peut observer des relations analogues dans les opérations élémentaires, notamment entre le coût moyen des engrais par kilogramme de semences produites et le rendement en semences à l'hectare, et entre l'espacement des ortets et le rendement en semences à l'hectare.

#### BENEFICES

L'amélioration génétique des arbres forestiers peut profiter à la production forestière de quatre manières: 1) en augmentant le rendement physique de bois à l'hectare ("effet de rendement"), 2) en amenant une hausse des prix des différents produits récoltés ("effet de prix"), 3) en réduisant les coûts ("effet de réduction des coûts"), et enfin 4) en raccourcissant la durée de la révolution économique ("effet de révolution").

##### 1) Effet de rendement

Cet effet peut être obtenu en cultivant des arbres améliorés génétiquement qui donnent un rendement plus élevé, ou en réduisant les pertes de rendement grâce à la culture d'arbres mieux adaptés au milieu, notamment des arbres plus résistants au vent dans les régions de cyclones, des arbres résistants aux maladies, aux insectes, aux dégâts de gel ou de neige, et plus tolérants à la sécheresse. Un des problèmes qui se posent lorsqu'on cherche à accroître la rapidité de croissance naturelle, cependant, est la relativement faible héritabilité de ce caractère.

##### 2) Effet de prix

Si nous supposons que le prix des semences améliorées inclue un supplément économique procuré par la culture d'arbres à partir de ces semences, les facteurs suivants influenceront sur la valeur ou le prix des semences.

- a) Rendement plus élevé à la conversion. Pour les grumes de sciage, une rectitude et un défilement améliorés, une taille plus grande de l'arbre, une réduction du bois de compression et des fibres torsées procurent un rendement plus élevé de sciages par unité de volume de grumes. Pour les bois à pâte, on obtient un rendement plus élevé en cherchant à cultiver des arbres à bois plus dense, avec une proportion moindre de bois de compression et des propriétés de fibres meilleurs. Une diminution de la variabilité de ces caractéristiques du bois améliore également le rendement.
- b) Amélioration de la qualité des produits finis. On obtient des sciages de classes de qualité supérieures, et par conséquent de plus grande valeur en recherchant des branches plus fines, un angle d'insertion des branches amélioré, moins de fibre torsée et de bois de compression, etc... De même des arbres ayant des propriétés de fibres convenables donneront des classes de qualité de papier plus élevées.
- c) Réduction des coûts d'abattage, grâce à des rendements à l'hectare plus élevés, une dimension moyenne des troncs plus forte au moment de l'abattage, des espacements plus larges à la plantation, des caractéristiques meilleures des branches (réduction du temps d'ébranchage).
- d) Réduction des coûts de transformation. Pour les grumes de sciage, des arbres plus droits et plus gros, avec un défilement amélioré et une taille uniforme, réduisent le temps de sciage; des caractéristiques améliorées des bois permettent de réduire le temps de séchage dans les scieries et le temps de cuisson et de trituration dans les usines de pâte.

##### 3) Effet de réduction des coûts

Des arbres à croissance plus rapide et de meilleure qualité permettent au gestionnaire forestier d'adopter des espacements plus larges à la plantation, ce qui signifie un moins grand nombre de plants de semence à l'hectare, et un accès plus facile. Il y a réduction du temps requis pour de nombreuses opérations.

#### 4) Effet de révolution

En raison des prix plus élevés, des rendements supérieurs et des coûts de culture plus bas, la durée de révolution économique peut être considérablement diminuée. Cela implique d'autre part l'avantage d'une réduction des surfaces nécessaires.

Le côté bénéfiques est l'aspect le plus difficile dans le budget de tout programme d'amélioration génétique. Comment évaluer les bénéfices qui découleront du programme? Comme nous l'avons indiqué précédemment, cette évaluation peut se faire de deux manières: l'une basée sur le prix de marché des semences produites, et l'autre faisant appel à la méthode du prix de valeur résiduelle.

Si l'on adopte la méthode du prix de marché, - lequel est exceptionnel plutôt que normal, étant donné que les semences améliorées, même pour une essence donnée, sont rarement de même qualité génétique -, le problème est d'identifier un changement de prix provenant d'une augmentation de l'offre de semences.

Si l'on adopte la méthode de la valeur résiduelle, le procédé utilisé dépendra des produits bruts ou transformés obtenus à partir des semences provenant du verger à graines, et des caractères sélectionnés.

Les bénéfices qui résultent pour le reboisement de l'amélioration génétique des arbres peuvent être évalués en les rapportant aux semences produites, en les actualisant au moment où ces semences ont été récoltées, à partir du moment où ils commencent à apparaître; à partir des données relatives à la densité de plantation initiale, à la faculté germinative des semences, et au taux d'élimination en pépinière, on pourra exprimer les bénéfices en dollars par kilogramme de semences améliorées.

#### INCERTITUDE DES EVALUATIONS

La plupart des études économiques supposent que l'on ait la certitude de pouvoir évaluer les facteurs de production et la production physiques et leurs prix sans risque d'erreurs. En réalité, bien entendu, il n'en est pas ainsi.

Une analyse qui fait entrer en ligne de compte les incertitudes résultant de l'utilisation de distributions de fréquence pour les facteurs de production essentiels et la production et pour leurs valeurs sera plus exacte en ce qui concerne la comparaison et l'analyse des données que celle qui se base sur des valeurs moyennes ou probables. En outre, il est souvent impossible de faire des estimations subjectives satisfaisantes de distribution de fréquence pour beaucoup de variables, en particulier dans les analyses d'investissement mettant en jeu des changements technologiques, tels que l'amélioration génétique des arbres, à propos desquels on ignore souvent même l'accroissement moyen des bénéfices.

Une manière possible de résoudre cette difficulté consiste à supposer que chacune des possibilités évaluées donnera le résultat le plus mauvais possible, et à choisir celle qui fournira la valeur la plus élevée pour les critères économiques retenus. C'est une méthode excessivement prudente, qui peut amener à ne pas considérer des projets offrant des bénéfices potentiels élevés.

En règle générale, dans les projets d'investissement de caractère biologique les coûts peuvent être évalués avec une assez bonne exactitude, mais l'évaluation des bénéfices pose des difficultés. L'amélioration génétique des arbres forestiers entre dans cette catégorie. Lundgren et King (1965) et Davis (1967) ont résolu le problème en calculant les niveaux de gain génétique qu'il faudrait obtenir dans un programme d'amélioration des arbres, sur la base des coûts connus, et en comparant ensuite ces gains avec les données disponibles provenant d'essais de descendance. Une autre méthode consiste à limiter l'étude aux éléments de gain qui peuvent être facilement évalués, comme par exemple dans l'analyse de Swofford et Smith (1971) portant sur les forêts du Sud des Etats-Unis.

Enfin, il peut être plus satisfaisant de procéder à une analyse de sensibilité des paramètres clefs, tels que les prix, ou de ceux qui font l'objet d'une estimation subjective ou qui sont soumis à de grandes fluctuations. Cela requiert une évaluation de

chaque projet en fonction des valeurs limites supérieures et inférieures les plus probables des variables clefs. L'objectif principal de l'analyse est d'estimer si un projet risque d'être inacceptable dans le cas d'hypothèses minima, ou si l'ordre de classement de projets concurrents subit des modifications.

#### OPTIMISATION DES PROGRAMMES D'AMELIORATION

Selon la théorie traditionnelle de la production, le résultat optimum d'un projet est défini par le point où le coût marginal est égal au prix de la production, le coût marginal étant par définition le coût de production d'une unité supplémentaire de production. Pour un projet d'une durée d'un an ou moins, c'est un problème relativement facile à résoudre, mais pour des projets de longue durée, tels que les programmes d'amélioration génétique des arbres forestiers, la situation se complique avec l'intervention du temps comme variable supplémentaire.

La solution la plus simple de ce problème est de supposer qu'il n'y a pas de restrictions de ressources, et ensuite de soumettre toutes les formules possibles d'amélioration génétique à des analyses coûts-bénéfices séparées. On choisira celle qui produit les bénéfices économiques les plus élevés. Les formules envisagées pourront varier selon le nombre et la nature des caractères à sélectionner, l'intensité de sélection, le nombre d'arbres plus multipliés dans le verger à graines, la superficie de celui-ci, et le système de gestion adopté. Pour chaque jeu de caractères à sélectionner, il y aura une gamme de possibilités de production en fonction des facteurs mentionnés.

Cette méthode peut s'avérer excessivement compliquée et demander beaucoup de temps, à mesure qu'augmente le nombre de programmes d'amélioration réalisables. Toutefois, en raison de l'insuffisance de données, ce cas ne se présente que très rarement; mais si l'on dispose d'une information suffisante, les techniques de programmation mathématique peuvent être appropriées.

La programmation linéaire a été utilisée par van Buijtenen et Saitta (1972) pour déduire des solutions optimales en fonction du volume de la récolte, de la superficie du verger à graines, et de l'épuration pratiquée dans celui-ci. Cette technique est très appropriée pour l'allocation optimale des ressources limitées entre des besoins concurrents, qu'il s'agisse de programmes individuels ou de répartition dans le temps. Le travail peut être effectué avec rapidité et exactitude par ordinateur.

Une application plus récente est l'étude de Porterfield (1974) sur les gains potentiels de programmes d'amélioration génétique de *Pinus taeda* dans le Sud des Etats-Unis, utilisant une programmation des objectifs. Il s'agit simplement d'une modification de la programmation linéaire, mais ici les restrictions sont remplacées par les objectifs. On peut inclure de nombreux objectifs dans cette technique, alors qu'il n'y en a qu'un seul dans la programmation linéaire, à savoir la maximisation des intérêts nets dans une seule fonction objective. Des caractères présumés pouvant influencer sur le volume et sur le poids spécifique furent incorporés au modèle. Seuls les caractères influant sur le volume furent pris en considération pour les grumes de sciage, mais pour les bois à pâte on tint compte des deux catégories de caractères.

Le principal avantage du modèle est que les objectifs peuvent être modifiés, en valeur absolue ou relative, suivant les changements du marché. Il permet de prévoir la réaction génétique à la sélection de populations indigènes, à l'épuration et aux essais de descendance. En spécifiant l'intensité de sélection pour un caractère déterminé et le pourcentage désiré d'amélioration, on parvient à une solution qui donne la déviation minima de l'objectif génétique donné faisant l'objet d'une restriction budgétaire de dépenses.

Les buts de l'optimisation dépendront dans chaque cas de l'organisation qui envisage l'investissement. Etant donné les changements rapides du marché des produits ligneux, de nombreuses organisations préfèrent adopter une stratégie d'amélioration génétique conservatrice, maintenant un maximum de souplesse d'adaptation. On peut attribuer un poids plus grand à des caractères qui resteront importants pour plusieurs générations dans une gamme de conditions écologiques et économiques différentes. En règle générale l'accroissement du rendement en bois à l'hectare et une plus grande résistance aux maladies pourront entrer dans cette catégorie, tandis que des caractères tels que les propriétés du bois ou celles de la fibre ont une importance moindre.

D'autres organisations se préoccupent plutôt d'améliorer à la première génération des caractères qui sont manifestement inférieurs et ont des chances de procurer rapidement des gains importants, pour se concentrer davantage aux générations suivantes sur d'autres caractères.

Il faut être très prudent dans l'application de méthodes très avancées d'optimisation, attendu qu'elles dépendent entièrement des données sur lesquelles elles s'appuient. Les bénéfices ou gains procurés par l'amélioration génétique des arbres constituent un problème majeur. On ne sait encore que peu de chose des gains obtenus par l'amélioration génétique sur une révolution complète dans une forêt artificielle régénérée avec des semences améliorées, notamment dans le cas où l'on utilise d'autres techniques culturales telles qu'élagage et éclaircie. Pour des peuplements ne fournissant qu'un seul produit, par exemple du bois à pâte, et exploités à courte révolution sans éclaircies, les gains peuvent être prévus avec plus d'exactitude que pour ceux qui sont soumis à des éclaircies périodiques et qui produisent à longue révolution du bois d'oeuvre aussi bien que du bois à pâte.

#### REMARQUES FINALES

L'amélioration génétique est une entreprise coûteuse, qui doit être justifiée par les bénéfices que l'on peut en attendre.

Nikles (1973) donne une série d'exemples des considérations de caractère économique se rapportant à l'amélioration génétique des arbres forestiers.

Les généticiens choisissent normalement un programme d'amélioration qui permette d'obtenir les gains les plus rapides et les plus importants dans la période la plus courte.

Smith et Zobel (1974) ont montré qu'il y aurait une perte énorme de gains potentiels si l'on ne connaissait pas la source de semences, et il importe de considérer et étudier attentivement celle-ci avant de mettre sur pied un programme d'amélioration génétique.

Ces auteurs considèrent d'autre part qu'en raison de leur héritabilité assurément élevée on peut escompter des gains élevés pour la rectitude du fût, le poids spécifique, la longueur des trachéides, la résistance à la rouille fusiforme.

En ce qui concerne les coûts, ils constatèrent que, en actualisant tous les coûts d'un verger à graines représentatif à un point commun dans le temps, la sélection des arbres parents et les essais consécutifs de descendance ne représentaient que 10 pour cent des coûts totaux. En conséquence, une amélioration des normes de sélection n'entraînera sans doute qu'un accroissement relativement faible des coûts. Cela confirme les résultats de van Buijtenen et Saitta (1972), qui ont démontré que la sélection était la phase la plus effective du programme d'amélioration génétique qu'ils étudiaient, du point de vue de la rentabilité de l'investissement pour un verger à graines de première génération. La majeure partie (89 pour cent) des coûts totaux du programme de création de verger à graines correspond à l'aménagement du site, au coût des terrains, à la surveillance, à la fertilisation, à la protection, et à la récolte et à l'extraction des graines, et il importe de bien voir que ces coûts ne varient pas en fonction de la qualité génétique de l'arbre sélectionné.

Certains caractères peuvent être en conflit les uns avec les autres; il semble que ce soit le cas des caractères de qualité, tels que la rectitude du tronc et le caractéristique des branches, lorsqu'on les sélectionne en même temps que la rapidité de croissance.

La rentabilité de l'amélioration génétique est considérablement augmentée par des essais de descendance et une épuration du verger à graines (Smith et Zobel, 1974). Par conséquent, si l'on désire obtenir un maximum de bénéfices économiques, il faudra faire appel aux tests de descendance et à des normes de sélection élevées.

Le rendement en graines à l'hectare doit également être maximisé par une conduite appropriée du verger à graines, en ce qui concerne la fertilisation et l'espacement.

En raison de la diversité des essences et des incertitudes relatives aux bénéfices, il est difficile de généraliser et d'indiquer la méthode d'amélioration génétique la plus appropriée. Nous ne pouvons mieux faire sans doute que de reproduire la conclusion de Smith et Zobel (1974), qui pensent que les programmes les plus rentables d'amélioration génétique des arbres forestiers présentent généralement les caractéristiques suivantes:

1. Une essence qui est cultivée sur une vaste superficie.
2. Les caractères désirés ont une héritabilité moyenne à forte.
3. Les croisements de l'essence peuvent être facilement contrôlés, et elle produit des semences en abondance.
4. Les produits ligneux qu'elle fournit ont une valeur élevée, et on peut penser qu'ils la conserveront.

BIBLIOGRAPHIE

- Davis, L.S. Investments in loblolly pine clonal seed orchards: production costs  
1967 and economic potential. J. For. 65
- Keiding, H. Economic Considerations in Improved Seed Sources, FAO/DANIDA  
1975 Training Course on Forest Seed Collection and Handling, Chiang  
Mai, Thailand, 1975.
- Lundgren, A.L., Estimating financial returns from forest tree improvement programmes.  
and King, J.P. Soc. Amer. For. Proc.  
1965
- Nikles, D.G. Economic aspects of tree improvement. Cost benefit of tree-  
1973 breeding programmes. FAO/DANIDA Training Course on Forest Tree  
Improvement, Kenya.
- Porterfield, R.L. Predicted and potential gains from tree improvement programmes -  
1974 a goal programming analysis of programme efficiency. N.C. State Univ.  
Tech. Rep. 52, Raleigh, N.C.
- Reilly, J.J. Economic Aspects of a Tree Improvement Programme, International  
1977 Training Course in Forest Tree Breeding, Canberra, Australia, 1977.
- Smith, H.D., Genetic gains and economic considerations. Tree Improvement Short  
and Zobel, B.J. Training Course, School of Forest Resources, N.C. State Univ., Raleigh,  
1974 N.C.
- Swofford, T.F., An economic evaluation of tree improvement on the southern national  
and Smith, O.D. forests. U.S.D.A. For. Serv. South Reg. Pub. 10.  
1971
- Van Buijtenen, J.P. Linear Programming Applied to the Economic Analysis of Forest  
and Saitta, W.W. Tree Improvement. J. For. (70/3).  
1972

\* \* \* \* \*



En visite dans les plantations de  
Pinus caribaea de la CONARE à Chaguarams

PLANIFICATION ET STRATEGIES POUR UN PROGRAMME  
D'AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE 1/

C. Palmberg, D.K. Paul et R.L. Willan

Division des ressources forestières, Département  
des forêts  
FAO, I-00100 Rome, Italie

TABLE DES MATIERES

Introduction

Considérations liminaires

Aspects administratifs  
Aspects techniques

Critères et fondements de la sélection

Critères de sélection  
Fondements de la sélection

Stratégie

Principes généraux  
Populations  
Considérations intervenant dans le choix des méthodes d'amélioration  
génétique  
Méthodes d'amélioration génétique et leur application

Un programme d'amélioration dynamique

Besoins actuels de semences  
Amélioration progressive des semences par une succession de vergers à  
graines et des banque de clones  
Conservation des ressources génétiques  
Démonstration des résultats

Organisation du personnel, installations et administration

Personnel et installations  
Révision des plans et publication des résultats

Résumé

Bibliographie

Annexes 1-6. Modèles de stratégies pour l'amélioration génétique de quelques  
essences forestières.

1/ Cette conférence est une version révisée de celle présentée par  
D.G. Nikles au Cours de formation FAO/DANIDA qui s'est tenu au Kenya  
en 1973, et publiée dans le Rapport de ce cours (FAO/DEN/TF-112. FAO,  
Rome, 1974).

## INTRODUCTION

La planification d'un programme d'amélioration génétique d'essences forestières met en jeu de multiples considérations. Un des facteurs les plus importants est le stade d'avancement du projet de reboisement. Une situation fréquente, adoptée comme référence dans le présent exposé, est celle où une essence présentant une large variation géographique connue ou soupçonnée est déjà plantée avec succès à une certaine échelle. Le but du projet de reboisement est de satisfaire les besoins de divers produits pour la consommation locale ou l'exportation, et l'échelle des opérations est suffisante pour justifier un programme d'amélioration poursuivi sur plusieurs générations.

On peut imaginer de nombreuses variantes, à un stade plus ou moins avancé, de ce modèle de référence, et les programmes d'amélioration correspondants varieront en conséquence dans le détail. Il n'est pas possible d'envisager ici toutes les situations concevables, c'est pourquoi nous insisterons seulement sur les principes de la planification d'un programme d'amélioration génétique forestière.

## CONSIDERATIONS LIMINAIRES

La première étape de la planification d'un programme d'amélioration consiste à rechercher quels sont les types de produits qui seront vraisemblablement demandés, et quels sont les buts de l'aménagement maintenant et dans l'avenir.

Il faudra ensuite considérer les points suivants:

### Aspects administratifs

- i) Formulation des buts du programme d'amélioration des arbres, de sorte qu'ils contribuent le plus efficacement aux objectifs d'ensemble. Ils doivent être exprimés de manière aussi simple et précise que possible.
- ii) Assurance de disposer de fonds, d'équipements, d'installations et de personnel qualifié. Il pourra être nécessaire de prévoir une formation complémentaire.
- iii) Assurance de continuité du programme. Il est souhaitable que les bons éléments soient encouragés à faire carrière dans la génétique forestière. Si l'on a des doutes sur la permanence de personnel compétent, il faut absolument opter pour des stratégies simples et à l'abri des erreurs.
- iv) Réorganisation éventuelle des services administratifs, afin que les généticiens et assistants soient logés dans des bureaux convenables aux côtés de collègues s'occupant de sylviculture, pédologie et nutrition des arbres, technologie du bois, aménagement, etc...
- v) Possibilités de coopération en matière d'amélioration génétique au niveau local, régional, national et international, pouvant amener à un partage des frais d'assistance technique et de recherche, à des échanges d'idées, et à une saine émulation.

### Aspects techniques

- i) Identification des facteurs limitant la production forestière dans la région, et des moyens d'agir sur ces facteurs pour répondre aux objectifs généraux fixés. Un programme d'amélioration doit impérativement être fondé sur des bases saines en ce qui concerne la sylviculture, l'aménagement et l'utilisation des produits. La durée relativement longue du travail d'amélioration des arbres, et la possibilité de changements rapides dans les autres branches des techniques forestières, sont également des aspects qu'il ne faut pas perdre de vue.
- ii) Choix des espèces et provenances en vue d'obtenir les types de produits désirés. Il est indispensable d'identifier les meilleures espèces et provenances pour chaque grand type de station dans les zones de reboisement possibles.

Il faudra examiner la disponibilité d'information biologique générale sur l'espèce (variabilité écologique et morphologique, variation individuelle, facilité de régénération par semences et par voie végétative), de même que de techniques d'amélioration possibles en fonction de l'expérience d'autres pays. On pourra souvent mettre à profit les caractéristiques particulières de certaines espèces.

- iii) Détermination des caractéristiques se prêtant le mieux à une manipulation génétique. Des études fondamentales fournissant des évaluations sûres des paramètres génétiques seront d'un grand secours pour accroître l'efficacité de la sélection et de la stratégie d'amélioration génétique.

L'élaboration de méthodes simples d'évaluation et de systèmes efficaces d'enregistrement et de traitement des données sera souvent nécessaire en liaison avec ces études.

- iv) Estimation du nombre de générations et de la durée nécessaires pour atteindre un certain degré d'amélioration de caractéristiques importantes. Ces données feront l'objet d'un examen critique compte tenu de l'urgence de disposer du matériel amélioré.

- v) Rassemblement des données pour l'évaluation des coûts et bénéfices, pendant toute la durée du programme. L'analyse des coûts et bénéfices est discutée par divers auteurs, comme van Buijtenen (1975), Porterfield (1978), Reilly et Nikles (1978), Teich et Carlisle (1978), van der Meiden (1978).

#### CRITERES ET FONDEMENTS DE LA SELECTION

##### Critères de sélection

Lorsqu'on choisit les caractéristiques à inclure dans le programme, on doit se concentrer sur un petit nombre de caractères qui offrent des possibilités élevées de gain économique et qui ne peuvent pas être améliorés à moindre coût par des moyens culturaux ou techniques. L'inclusion d'un caractère doit être considérée s'il répond à une ou plusieurs des conditions suivantes:

- i) il a une valeur économique élevée;
- ii) cette valeur a des chances de se maintenir dans l'avenir même si la demande de produits change;
- iii) sa variabilité et son héritabilité sont élevées, donnant la possibilité d'un gain génétique considérable;
- iv) le caractère est en corrélation positive avec d'autres caractères désirables, ou en est indépendant;
- v) les méthodes d'amélioration génétique et autres ont une interaction favorable, ou se combinent positivement pour améliorer le caractère.

Certains caractères sont désirables pratiquement pour toutes les utilisations finales, et on peut penser qu'ils conserveront longtemps leur importance primordiale. Ce sont entre autres la vigueur, la rapidité de croissance, l'absence de malformation, la rectitude du tronc, l'obliquité des branches. Divers autres caractères sont importants pour certaines utilisations, par exemple: propriétés spéciales du bois, disposition, diamètre et persistance des branches, défauts du tronc tels que trous laissés par les cones.

Lorsqu'on planifie un programme, il faut veiller à classer les critères de sélection possibles dans leur ordre d'importance économique probable à un horizon lointain, et ajuster ensuite ce classement en fonction de l'amélioration génétique attendue. Chaque arbre sélectionné comme candidat pour le programme d'amélioration pourra alors être évalué globalement.

### Fondements de la sélection

Le degré d'amélioration génétique des caractères désirables que l'on obtiendra par la sélection dépendra de trois composantes, qui sont i) la variation, ii) l'héritabilité et iii) la proportion d'arbres sélectionnés. Il s'exprime par le gain génétique  $\Delta G$ , qui est le produit de l'héritabilité par la différentielle de sélection.

- i) La variation dans les caractères à améliorer est une condition préalable, et un point de départ pour tout programme d'amélioration. La sélection initiale doit porter sur de grandes populations dans lesquelles la base génétique n'a pas été rétrécie par exemple du fait que le peuplement a été constitué à partir de semences récoltées sur un très petit nombre d'arbres.
- ii) L'héritabilité ( $h^2$ ) est la mesure dans laquelle un caractère est influencé par l'hérédité plutôt que par le milieu; elle s'exprime par le rapport entre la variance génétique et la variance phénotypique (= variance génétique + variance due au milieu) (pour plus de détail, voir l'exposé sur la génétique quantitative). Si la sélection se fait dans des peuplements équiennes, de densité régulière, sur des stations uniformes, l'effet de masquage dû au milieu sera réduit au minimum, et la part de la variance due aux facteurs génétique pourra être déterminée avec plus d'exactitude. La précision pourra être encore augmentée en stratifiant les peuplements par classes de stations, en comparant les arbres candidats supérieurs aux arbres voisins poussant sur la même station, en appliquant des corrections aux volumes totaux pour tenir compte des effets de taille de la cime, etc...
- iii) Proportion d'arbres sélectionnés. La composante du gain sur laquelle le généticien peut avoir le plus d'action est la proportion d'arbres sélectionnés dans la population. L'intensité de la sélection est mesurée par la différentielle de sélection ( $s$ ), qui est la différence entre la moyenne des arbres sélectionnés pour un certain caractère et la moyenne de la population originelle pour le même caractère. En théorie, plus la différentielle de sélection est forte, et plus important est le gain génétique. En pratique, cependant, l'accroissement de la différentielle de sélection devient rapidement de plus en plus coûteux, la surface à prospecter augmentant en fonction logarithmique de la différentielle de sélection (Shelbourne, 1973), ce qui signifie que pour doubler la différentielle de sélection il faudra multiplier par 10 la surface prospectée. Par conséquent, une recherche coûteuse pour sélectionner "un arbre sur un million" ne procurera pas une différentielle de sélection en proportion, et il pourra être indiqué de faire une sélection moins rigoureuse des individus qui entreront dans la première phase du programme d'amélioration (de l'ordre de 0,1 pour cent). En pratique, dans les pays ayant des reboisements relativement peu étendus il faudra faire une sélection encore moins intensive (sans doute de l'ordre de 1 pour cent).

### STRATEGIE

Déterminer le système le plus efficace pour mener à bien les diverses phases d'un programme d'amélioration génétique dans les contraintes de temps et de ressources disponibles pourra être une tâche complexe, et des compromis seront nécessaires pour résoudre les conflits d'intérêts. Le plan élaboré en tenant compte de toutes les conditions à remplir sera la stratégie de l'amélioration génétique. La démarche selon laquelle la stratégie sera mise en oeuvre sera la méthode d'amélioration génétique, et les procédés biologiques employés tels que greffage, pollinisation dirigée, etc., constitueront les techniques d'amélioration génétique. Une stratégie d'amélioration génétique, par conséquent, est une approche qui vise à obtenir le maximum d'amélioration avec les essences, les ressources et les conditions existantes.

### Principes généraux

L'amélioration génétique vise trois objectifs principaux, qui sont de fournir:

- i) des semences (ou autre matériel de reproduction) génétiquement améliorées en vue d'une utilisation immédiate;
- ii) un matériel génétique convenablement sélectionné en vue d'une utilisation future;
- iii) une information génétique adéquate pour l'immédiat comme pour l'avenir.

On doit en outre reconnaître la nécessité de conserver les ressources génétiques des populations originelles et des races locales des essences considérées.

### Populations

Le principal objectif du généticien forestier est de constituer des populations de reproduction optimales afin de créer des génotypes cumulativement améliorés pour les vergers à graines de deuxième génération et au-delà (Namkoong, 1972). Cela entraîne une réduction de la base génétique de la population, et engendre par suite un grave conflit entre gains à court terme et à long terme, du fait de la diminution de la taille de la population utile. Ce conflit peut être atténué par le maintien d'une hiérarchie de populations juxtaposées, représentant une série d'intensités de sélection décroissantes, mais de tailles de population utile croissantes (Burdon, Wilcox et Shelbourne, 1978). Ces populations comprendront les catégories suivantes:

- i) Réservoir de gènes - population dans laquelle toute la gamme de variation génétique est maintenue; elle peut équivaloir à la population de sélection originelle.
- ii) Population de sélection (population de base) - population nombreuse dans laquelle on sélectionne des arbres supérieurs; elle pourra être de l'ordre de 1 million d'arbres (500-1 000 ha).
- iii) Population de reproduction - population sélectionnée, pouvant contenir 200-300 arbres choisis dans la population de sélection pour leur supériorité. Elle est utilisée en tout ou partie pour constituer la population de sélection suivante.
- iv) Population de production de semences - population de 30-100 arbres constituée pour produire des semences en vue du reboisement.

Il peut y avoir de nombreuses variations à partir de ce modèle. La multiplication végétative à grande échelle éliminera la population de production de semences en tant qu'entité distincte, tandis qu'un verger à graines comblera ii) et iii).

La population de production de semences classique est le verger à graines de clones, présentant une intensité de sélection très élevée, mais renfermant un nombre suffisant de clones non apparentés (de l'ordre de 25, par exemple) pour fournir une "assurance" génétique. On cherche à avoir dans la population de production de semences un maximum d'exogamie, bien que les arbres parents puissent être eux-mêmes consanguins. La population de reproduction, incluant les génotypes producteurs de semences, représente un compromis entre une différentielle de sélection maxima et une population complète, mais elle permet en même temps le recrutement d'individus supérieurs pour certains caractères. Un peuplement d'arbres sur pied, destiné à servir de réservoir de gènes, ne peut être soustrait à tout processus sélectif. Une sélection sylvicole modérée, et non orientée vers un but spécial, semble raisonnable, tandis que la conservation dans des milieux très divers contribuera à maintenir la diversité génétique (Burdon, Shelbourne et Wilcox, 1978).

### Considérations intervenant dans le choix des méthodes d'amélioration génétique

Les gains que l'on peut attendre de l'amélioration génétique des arbres forestiers peuvent être importants, et ils seront durables. Si l'on maintient une variabilité et une taille suffisante des populations de reproduction (jamais moins de 50 individus non apparentés), on pourra réaliser grâce à la sélection un progrès constant pendant de nombreuses générations.

Une connaissance des principes biologiques et règles techniques suivantes facilitera les prises de décisions lors de l'exécution du programme d'amélioration:

- i) La majorité des individus de la plupart des essences forestières utilisées dans les reboisements à grande échelle subissent une dépression de la croissance en cas de consanguinité. Il est donc indispensable de maintenir une large base génétique dans les populations de sélection et de reproduction, afin de permettre les accouplements entre arbres non apparentés.
- ii) Avec des populations de sélection réduites, d'un millier d'individus par exemple, on devra consentir un sacrifice sur le gain de façon à maintenir une population d'une taille suffisante, autrement dit sélectionner une proportion élevée des arbres, en se contentant d'une intensité de sélection et d'une différentielle de sélection relativement basses.
- iii) Certains individus peuvent avoir une aptitude générale à la combinaison très élevée, qui ne peut être mise à profit qu'au moyen de croisements dirigés. Il faudra par conséquent prévoir, assez tôt dans l'exécution du programme, de procéder à des croisements dirigés à échelle expérimentale. Le choix de dispositifs d'accouplement appropriés est d'importance fondamentale pour cette étape de la stratégie (voir l'exposé sur ce sujet).
- iv) La mise en place d'essais couvrant toute la gamme de stations de reboisement possibles est indispensable pour évaluer les effets d'interactions famille-milieu.
- v) Les essais concernant des familles doivent normalement comprendre un grand nombre d'entrées, et de l'ordre de 100 individus par fratrie. Le nombre d'arbres par parcelle doit être réduit, et les répétitions nombreuses.
- vi) L'exploitation ingénieuse des caractéristiques biologiques de l'essence fait partie de l'art du généticien forestier, qui recourra par exemple à la multiplication clonale, à la pollinisation massive, à l'hybridation, etc...
- vii) Lorsque dans un programme d'amélioration génétique on dispose d'un nombre insuffisant de clones satisfaisants, on peut y remédier en sélectionnant localement ou en important du matériel supplémentaire pour injecter un "sang nouveau" dans la population de reproduction.

### Méthodes d'amélioration génétique et leur application

Il y a essentiellement deux grands groupes de stratégies: celles utilisant une descendance issue de reproduction sexuée, et celles faisant appel à la multiplication végétative.

#### Sélection avec régénération par semences

a) Sélection massale simple ou récurrente. Exemple: sélection d'arbres phénotypiquement supérieurs, et récolte des graines issues de pollinisation libre que l'on mélange. On continue de récolter des graines sur les arbres sélectionnés initialement (sélection massale simple), ou bien la sélection et la récolte de graines se font par la suite dans leur descendance (sélection massale récurrente). Cette méthode est peu coûteuse, et elle peut être très efficace lorsque la différentielle de sélection est importante et que la sélection phénotypique est fidèle (héritabilité élevée et effets du milieu réduits dans la population de sélection). Elle est employée avec succès dans de nombreux pays et pour de nombreuses essences.

b) Sélection et tests simples de descendance, suivis ou non de pollinisation dirigée. Exemple: vergers à graines épurés, dans lesquels on isole la descendance des sources majeures de contamination par un pollen étranger.

c) Sélection, pollinisation dirigée totale, sans tests de descendance. Exemple: vergers à graines de clones, ou de familles issues de pollinisation dirigée.

d) Comme ci-dessus, mais avec tests de descendance et épurations répétées, suivis de sélection. Exemple: vergers à graines de clones et de familles issues de pollinisation dirigée a) avec élimination des clones ou des familles et individus indésirables, ou b) avec utilisation des résultats des tests pour sélectionner du matériel en vue de nouveaux vergers. Il faut noter qu'une épuration d'un verger à graines de clones ne donnera sans doute qu'un gain limité, à moins qu'il ne comporte un nombre relativement élevé de clones (50 ou plus), et qu'il n'ait été planté à espacement initial relativement faible.

Dans certains cas, lorsqu'on a constaté une aptitude spéciale à la combinaison élevée, on peut établir des vergers biclonaux pour la production de semences.

e) Hybridation d'espèces ou de provenances. Exemple: hybrides interspécifiques de mélèzes en Europe et au Japon. *Pinus elliottii* x *P. caribaea* var. *caribaea* au Queensland. Cette méthode est intéressante dans certaines circonstances particulières (Brown, 1972).

#### Sélection avec multiplication clonale

a) Sans tests clonaux. Exemple: certaines cultures de peupliers et de saules; *Pinus radiata* à échelle limitée en Nouvelle-Zélande.

b) Avec tests clonaux. Exemple: cultures de peupliers et de saules; *Cryptomeria* au Japon; proposé pour *P. radiata* en Nouvelle-Zélande, et pour les eucalyptus hybrides au Congo. Cette méthode procure un gain élevé, mais conduit finalement à une impasse, à moins d'y inclure un programme de croisements pour produire périodiquement de nouvelles populations de sélection.

### UN PROGRAMME D'AMÉLIORATION DYNAMIQUE

#### Besoins actuels de semences

Les sources possibles de semences améliorées pour une utilisation immédiate sont les suivantes:

- i) La sélection phénotypique et la récolte de graines dans des peuplements locaux de bonne provenance assurent généralement des populations bien adaptées et procurent une amélioration génétique modeste. Le gain génétique est limité par l'absence de sélection des parents mâles qui ont fourni le pollen.
- ii) Récolte de graines dans des zones de production de semences éclaircies, idéalement choisies dans des peuplements de provenance supérieure.
- iii) Semences importées, récoltées sur de bons phénotypes de provenance convenable dans des peuplements naturels, ou produites en excédant dans un programme d'amélioration génétique extérieur, utilisant une provenance appropriée cultivée dans des conditions similaires. Les semences améliorées importées ne doivent être utilisées que pour enrichir un ensemble de gènes sélectionné localement, et ne peuvent en aucun cas se substituer aux sélections locales.

#### Amélioration progressive des semences par une succession de vergers à graines et des banques de clones

Les moyens ci-dessus pour se procurer des semences plus ou moins améliorées en vue de répondre aux besoins immédiats doivent être mis en oeuvre dès que possible dans le programme. Ces techniques, toutefois, ne donnent que des gains relativement faibles. On obtiendra des gains plus élevés dans des vergers à graines classiques, quoique avec un délai plus long.

### Vergers de production

Une solution de compromis utile, qui permet de gagner du temps, consiste à planter des vergers à graines de clones (ou de familles) par tranches annuelles, en utilisant le meilleur matériel disponible chaque année.

### Populations de descendance

On recourt au croisement dirigé pour produire des familles en vue d'une sélection en deuxième génération. L'information nécessaire pour épurer les vergers est fournie par des essais de descendance mis en place dès que les parents ont été sélectionnés, ainsi que par des études de descendance portant sur des fratries, dans lesquelles on opère une sélection.

### Population de reproduction dans une banque de clones

Comme on l'a expliqué précédemment, la population de production est continuellement réduite à un noyau de clones supérieurs (jamais moins de 25 environ par verger); l'épuration se fonde sur les essais de descendance. Parallèlement à ces vergers il est indispensable de constituer de nouvelles populations de sélection de haute qualité et de variabilité élevée en vue de générations successives de sélection.

Cela exige l'accouplement d'un grand nombre d'arbres non apparentés, ce que l'on peut réaliser en multipliant des arbres sélectionnés par voie végétative et en faisant les croisements dans une banque de clones constituée à cet effet. On peut ainsi obtenir et sélectionner de manière continue d'une part des populations de sélection nombreuses ayant une grande variabilité génétique, d'autre part des populations de production de semences de base génétique relativement étroite. Des mesures spéciales peuvent être nécessaires pour maintenir la diversité dans les populations de reproduction et de sélection, comme l'importation de nouveau matériel ou la production de "croisements larges" (par exemple entre individus de provenances différentes) (Zobel et McElwee, 1964; Zoble et al., 1972). Si l'on prend des précautions adéquates pour maintenir un nombre "suffisant" ( $> 50$ ) d'individus non apparentés dans la population de reproduction, on peut espérer réaliser un progrès soutenu sur de nombreuses générations, sans avoir besoins d'apporter de nouveaux matériels relativement peu sélectionnés simplement pour rétablir la variabilité génétique perdue.

### Conservation des ressources génétiques

Le généticien forestier doit se préoccuper de conserver la variabilité que l'on trouve dans les populations naturelles, tant pour les recherches à venir que comme source future de combinaisons de gènes qui ne sont pas actuellement recherchées (Kemp et al., 1972; Nikles, 1973b; Yeatman, 1973; Zoble, 1973). Les stratégies afférentes sont discutées dans l'exposé sur la conservation.

### Démonstration des résultats

Libby (1973) propose l'idée de "démonstrations politiques", qui seraient des plantations judicieusement situées, réalisées selon un dispositif simple, et qui auraient pour but de montrer de la manière la plus explicite possible les résultats obtenus par le programme d'amélioration. Il peut être indiqué d'y inclure du matériel de qualité inférieure, tel que des provenances médiocres, à côté des témoins "de routine" et du matériel "amélioré".

## ORGANISATION DU PERSONNEL, INSTALLATIONS ET ADMINISTRATIONS

### Personnel et installations

Il est indispensable de recruter un généticien forestier expérimenté de haut niveau pour planifier et mettre en oeuvre le programme d'amélioration en consultation avec les responsables du service forestier utilisateur. Pour un programme de grande envergure, il devra être assisté de techniciens qualifiés et d'une main-d'oeuvre de haute qualité.

A l'échelon central, ou à portée de la main, on devra disposer d'un service de biométrie approprié et d'une bibliothèque de documentation. Il pourra être nécessaire de concevoir spécialement des techniques et des programmes d'ordinateur adaptés pour la collecte, le traitement et l'analyse des données. Le généticien et l'équipe de biométrie devront se tenir au courant des progrès récents en matière de schémas d'hybridation et de dispositifs de terrain, et étudier leur application aux problèmes locaux. Le généticien devra avoir la possibilité de participer de temps à autre à des réunions scientifiques, séminaires et stages de perfectionnement à l'échelon régional, national ou international. L'équipe responsable du programme devra être encouragée à tenir de temps en temps des réunions de travail pour discuter de l'avancement des travaux et des problèmes rencontrés par chacun dans la poursuite des objectifs fixés.

Il est hautement souhaitable qu'une coopération s'établisse avec d'autres généticiens forestiers travaillant sur les mêmes essences dans des conditions comparables, et que des visites réciproques périodiques soient organisées entre les différents programmes d'amélioration.

Tout cela permettra une révision constante des orientations et des objectifs du programme, et entretiendra la dynamisme et l'enthousiasme de l'équipe.

#### Révision des plans et publication des résultats

Le plan d'amélioration génétique devra être révisé périodiquement, et les objectifs et méthodes réexaminés à fond. Des rapports annuels et des plans de travail seront présentés pour être discutés avec les responsables administratifs ainsi qu'avec les collègues et experts intéressés.

La publication des résultats doit être considéré comme une obligation vis-à-vis des confrères, comme un moyen d'informer les autorités de tutelle de la marche du programme et des difficultés rencontrées, et enfin comme une discipline intellectuelle pour l'équipe responsable.

#### RESUME

La planification d'un programme d'amélioration génétique bien adapté aux besoins de l'économie forestière et aux ressources disponibles comportera les actions et décisions suivantes:

- i) Définition des buts du programme, en ce qui concerne notamment sa durée, les améliorations cherchées et les caractéristiques qui peuvent être le mieux manipulées par des moyens génétiques.
- ii) S'assurer des ressources qui seront disponibles au moins pendant les premières années. Recruter un généticien forestier compétent, qui contribuera à la planification et à l'exécution du programme avec l'aide d'assistants qualifiés.
- iii) Localiser les populations pouvant convenir pour la sélection, en ce qui concerne les provenances, la taille, l'âge, les stations, etc...
- iv) Rassembler l'information utile sur la biologie de l'essence, et décider des zones nécessitant des recherches complémentaires. Confirmer ou mettre au point les techniques appropriées de greffage, pollinisation, élevage des plants, etc...
- v) Choisir les critères de sélection appropriés, en limitant leur nombre.
- vi) Entreprendre des méthodes d'obtention rapide de semences plus ou moins améliorées.
- vii) Elaborer une stratégie de sélection efficace et souple qui fournira le nombre d'arbres voulu pour constituer une population de reproduction répondant aux exigences du programme d'amélioration prévu pour une ou plusieurs générations.

- viii) Elaborer des stratégies d'amélioration génétique à long terme, dynamiques et souples, prenant en considération les objectifs, les ressources, les délais, les besoins en semences, les caractéristiques de l'essence, les aspects concernant la conservation et l'utilisation. Les possibilités de coopération avec d'autres instituts ou d'autres régions ou pays travaillant sur la même essence seront attentivement examinées.
- ix) Prendre toutes dispositions administratives utiles, et prévoir des révisions périodiques du programme et des modifications s'il y a lieu.

BIBLIOGRAPHIE

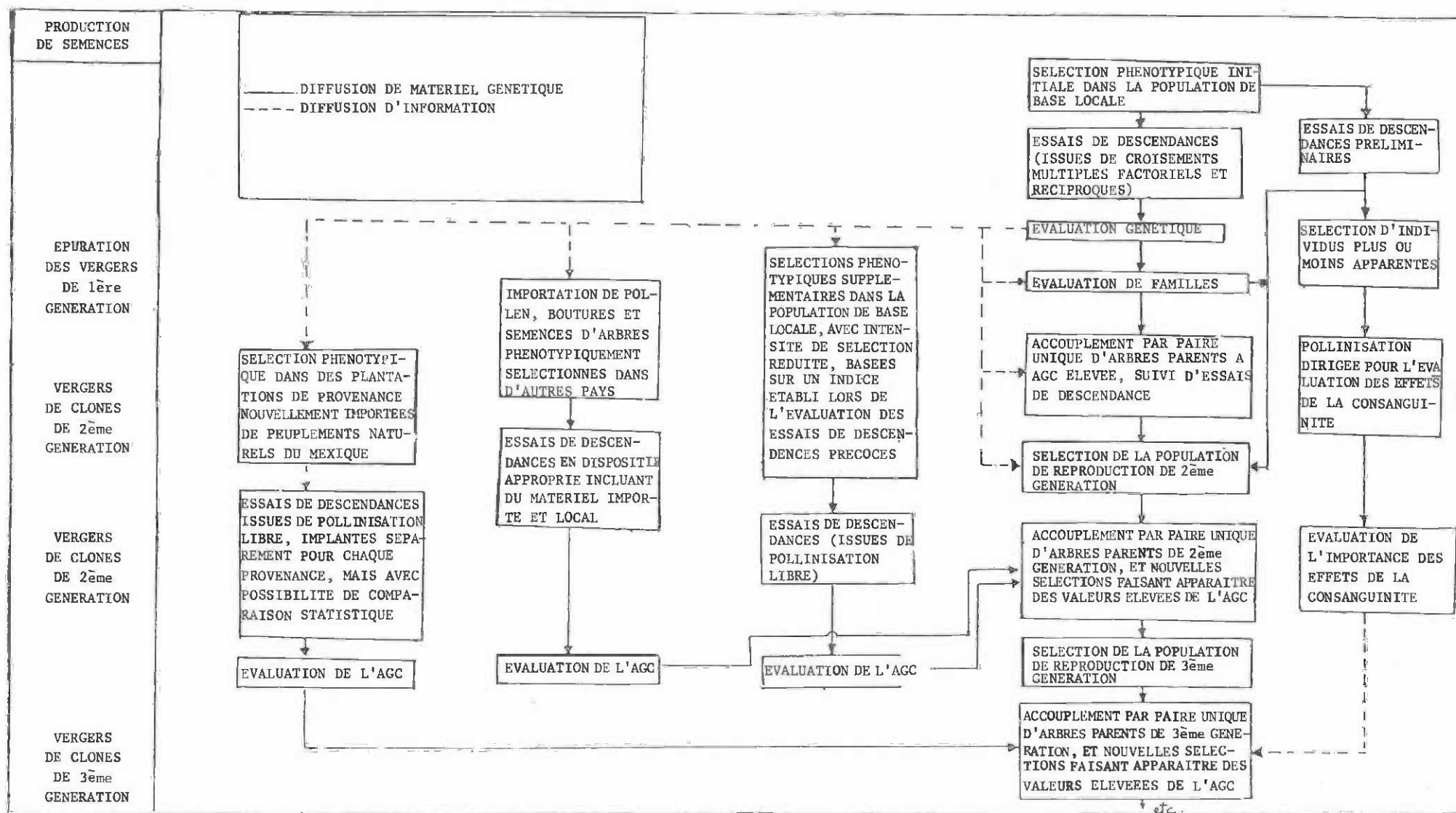
- Allard, R.W. (1960) Principles of Plant Breeding. (Wiley, N.Y.)
- \*Anón. (1978) Documents de la Troisième Consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers. CSIRO, Canberra, Australie.
- Brown, A.G. (1973) Notes on IUFRO Quantitative Genetics Workshop - Tokyo, 1972.  
Proc. Third Meeting Reps., Rec. Working Group No.1 Mt Gambier, 1972.  
App. 17: 1-6. Forestry and Timber Bureau, Canberra, Australia.
- Burdon, R.D., and Shelbourne, C.J.A. (1971) Breeding Populations for Recurrent Selection - Dilemmas and Possible Solutions. N.Z. J. For. Sci. 1 (2): 174-193.
- \*Burdon, R.D., and Shelbourne, C.J.A., & Wilcox, M.D. (1978) Stratégies de sélection de niveau avancé. Troisième Consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers. FO:FTB-77-6/2. Canberra, Australie.
- \*Burley, J., and Nikles, D.G. (Eds.) (1972/73) Selection and Breeding to Improve Some Tropical Conifers. I, II. Commonw. For. Inst. Oxford, U.K.
- Burley, J., and Nikles, D.G. (Eds.) (1973) Tropical Provenance and Progeny Research and International Cooperation. Commonw. For. Inst. Oxford, U.K.
- Burrows, P.M. (1967) Seed Orchard Systems for Tree Breeding. Rhod. Zamb. Mal. J. Agric. Res. 5: 273-280.
- Burrows, P.M. (1970) Coancestry control in forest tree breeding plans. 2nd meeting of Working Group on Quant. Gen. Eds. Namkoong and Stern. South. For. Exp. Sta. New Orleans.
- Cosco, J.N. (1970) Genetic Selection Criteria in Pinus radiata. M.Sc. Thesis. 122 pp. Aust. Nat. Univ., Canberra, Australia.
- Dorman, K.W. (1976) The Genetics and Breeding of Southern Pines. USDA FS Handbook 471.
- Eldridge, K.G., Brown, A.G., and Matheson, A.C. (1977) Genetic gain from a Pinus radiata wood orchard.
- \*FAO (1973) Informations sur les ressources génétiques forestières. Doc. for. occ. 1977/1, FAO, Rome.
- \*Faulkner, R. (1975) Seed orchards. Ct. Br. For, Comm. Bull. 54
- \*Kemp, R.H., Burley, J., Keiding, H., and Nikles, D.C. (1972) Coopération internationale pour l'exploration, la conservation et le développement des ressources génétiques forestières tropicales et subtropicales. 7ème Congrès forestier mondial, Argentine, 1972.

- Libby, W.J. Seedlings vs. vegetative orchards. FAO-North Carolina State Univ. (1969) Forest tree Improvement Centre, 1969. Lecture Notes: 306-16. School of Forest Resources, N.C. State Univ., Raleigh.
- \*Libby, W.J. Domestication strategies for forest trees. Can. J. For. Res. 3, 265-76. (1973)
- \*Namkoong, G. Foundation of Quantitative Forest Genetics. 85 pp. The Govt. For. Expt. Station of Japan. (1972)
- Namkoong, G., Snyder, E.B., and Stonecypher, R.W. Heritability and Gain Concepts for Evaluation Breeding Systems such as Seedling Orchards. Silvae Genetica 15(3): 76-64. (1966)
- Nikles, D.G. Amélioration des caractères de croissance et de rendement. Unasylva 24 (2-3), 97-98: 9-22. (1970)
- Nikles, D.G. A Proposed Breeding Plan for Improvement of Caribben Pine (Pinus caribaea Morelet var. hondurensis Barr. and Golf.) Based on International Cooperation. In: Burley, J., and Nikles, D.G. (Eds.), 1973 - Selection and Breeding to Improve Some Tropical Conifers. 2. (Commonw. For. Instit., Oxford, England). (1973-a)
- \*Nikles, D.G. Biology and Genetic Improvement of Araucaria cunninghamii Alt. in Queensland, Australia. In: Burley, J., and Nikles, D.G. (Eds.), 1973 - Selection and Breeding to Improve Some Tropical Conifers. 2. (Commonw. For. Instit., Oxford, England). (1973-b)
- \*Nikles, D.G. Planning a tree improvement program. Report on the FAO/DANIDA Training Course on Forest Tree Improvement. FAO/DEN/TF 112. (FAO, Rome) 225-42. (1974)
- \*Nikles, D.G., Burley, J., and Barnes, R.D. Progress and Problems of Genetic Improvement of Tropical Forest Trees. I, II. Commonw. For. Inst., Oxford, U.K. (1978)
- \*Porterfield, R.L. Economic Evaluation of Tree Improvement Programmes. Proc. 3rd. World Consult. For. Tree Breeding. FO:FTB-77-5/2. Canberra, Australia. (1978)
- \*Reilly, J.J., and Nikles, D.G. Coûts et avantages de l'amélioration de Pinus caribaea. Troisième Consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers. FO: FTB-77-5/3. Canberra, Australie. (1978)
- Roche, L. et al. Méthodologie de la conservation des ressources génétiques forestières. FO:MISC/75/8. FAO, Rome. (1978)
- Shelbourne, C.J.A. Tree Breeding Methods. Tech. Paper No. 55. 43 pp. New Zealand For. Serv., For. Res. Instit., Rotarua. (1969)
- \*Shelbourne, C.J.A. Planning Breeding Programme for Tropical Conifers. N.S. For. Serv. Reprint No. 548. 20 pp. For. Res. Instit., Rotarua. (1971)
- Stonecypher, R.W. The Loblolly Pine Heritability Study. Internat. Paper Co. Tech. Bull. 5:1-128. (1966)
- Stonecypher, R.W. Amélioration polyvalente. Unasylva 24 (2/3), 48-51. (1970)

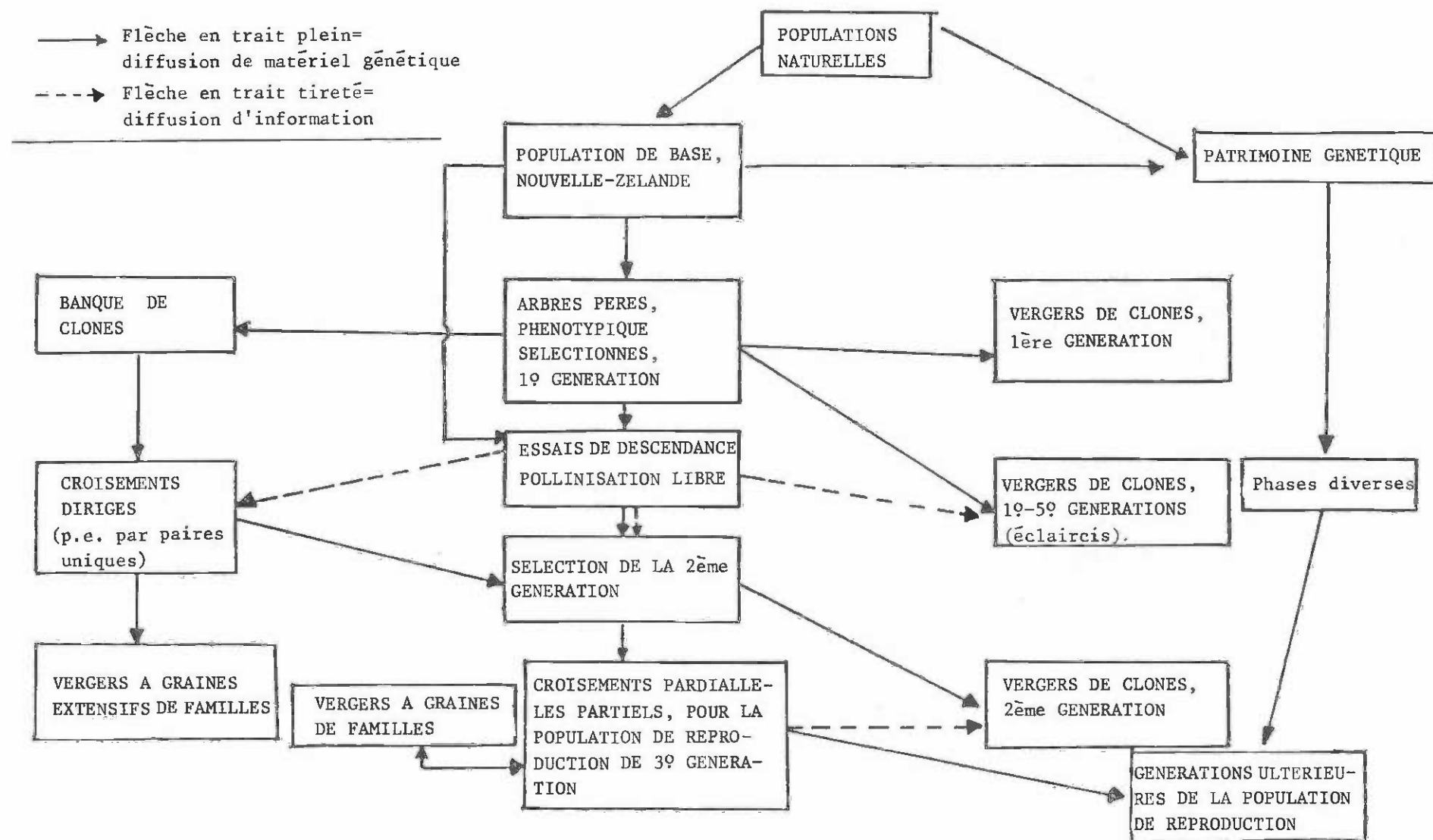
- \*Teich, A.H., and Carlisle, A. Analyse des coûts et des avantages des programmes d'amélioration des essences forestières. Unasylva 30 (119/120), 34-37.  
(1978)
- \*van Buijtenen, J.P. The planning and strategy of seed orchard programs, including economics.  
(1975) In: Faulkner, R. Seed Orchards Ct. Br. For. Comm. Bull. 54.
- van der Meiden, H.A. Economics of Poplar Breeding. 3rd World Consult. For. Tree Breeding.  
(1978) FO:FTB-77-5/4. Canberra, Australia.
- Willan, R.L., and Palmberg, C. Improved use of forest genetic resources. Report on the  
(1974) FAO/DANIDA Training Course on Forest Tree Improvement. FAO/DEN/TF 112  
(FAO, Rome). 90-101.
- Wright, J.W., Introduction to Forest Genetics. (Academic Press, N.Y.).  
(1976)
- \*Yeatman, C.W. Gene Conservation in Relation to Forestry Practice. Thirteenth Meeting  
(1973) of the Committee on Forest Tree Breeding in Canada. Proc. 2: 13-17.  
Canadian For. Serv., Ottawa.
- \*Zobel, B.J. Gene Preservation by Means of a Tree Improvement Programme. Thirteenth  
(1973) Meeting of the Committee on Forest Tree Breeding in Canada, 1971. Proc.  
2: 13-17. Canadian For. Serv., Ottawa.
- Zobel, B.J., and McElwee, R.L. Seed Orchards for the Production of Genetically Improved  
(1964) Seed. Silvae Genetica 13 (1-2): 4-11.
- Zobel, B.J., Weir, R.J., and Jett, J.B. Breeding Methods to Produce Progeny for Advanced-  
(1972) generation Selection and to Evaluate Parent Trees. Can. J. For. Res.  
2: 339-345.

---

Les Références marquées d'un astérisque (\*) sont citées dans le texte de l'exposé.



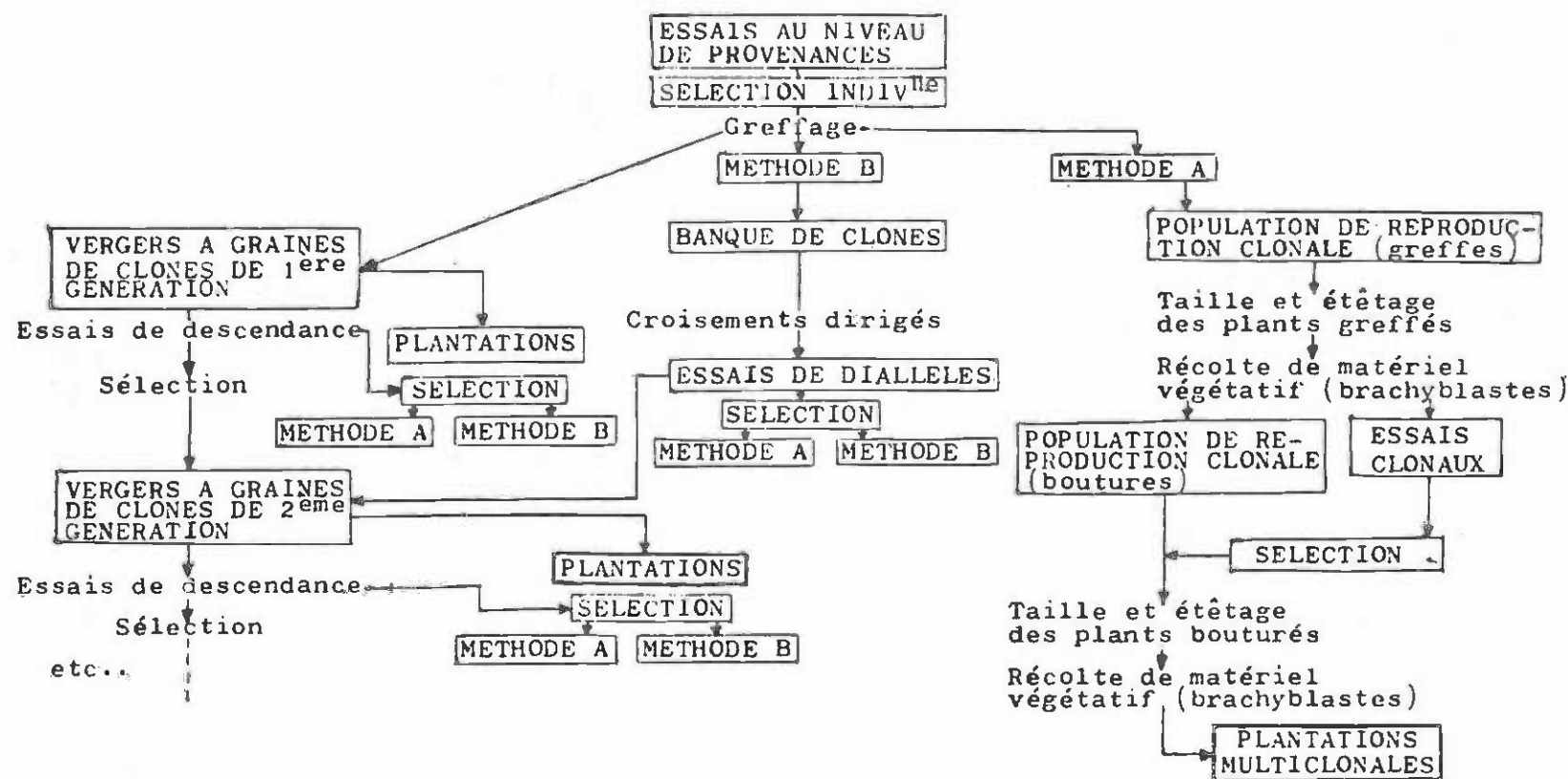
Source: Barnes, R.D. (1978). The National Programme for Genetic Improvement of *Pinus patula* in Rhodesia.  
 In: Progress and Problems of Genetic Improvement of Tropical Forest Trees (Editor Nikles, D.G.,  
 Burley, J. & Barnes, R.D.); Vol. II. CFI, Oxford.



Source: Burdon, R.D., Shelbourne, C.J.A. & Wilcox, M.D. (1978). Stratégies de sélection de niveau avancé. Troisième Consultation mondiale sur l'aménagement des arbres forestiers. FO:FTB-77-6/2. Canberra, Australie.

ANNEXE 3

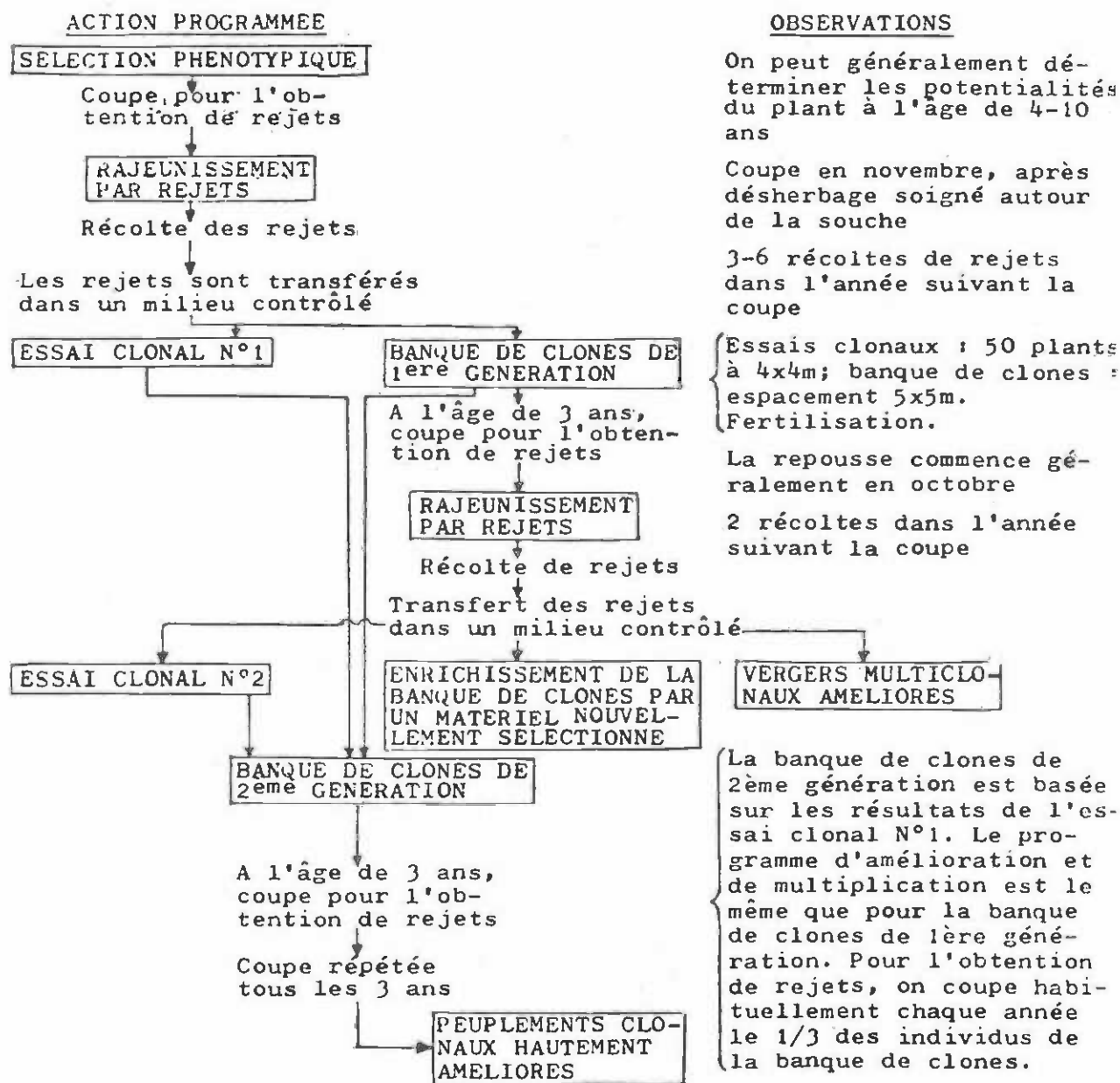
STRATEGIE DE L'AMELIORATION GENETIQUE DE PINUS CARIBAEA AU CONGO (Schéma)



Source : Chaperon, H. (1978). Amélioration génétique de *Pinus caribaea* au Congo Brazzaville, Annexe 1. Troisième Consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers. FO:FTB-77-3/9. Canberra, Australie.

ANNEXE 4

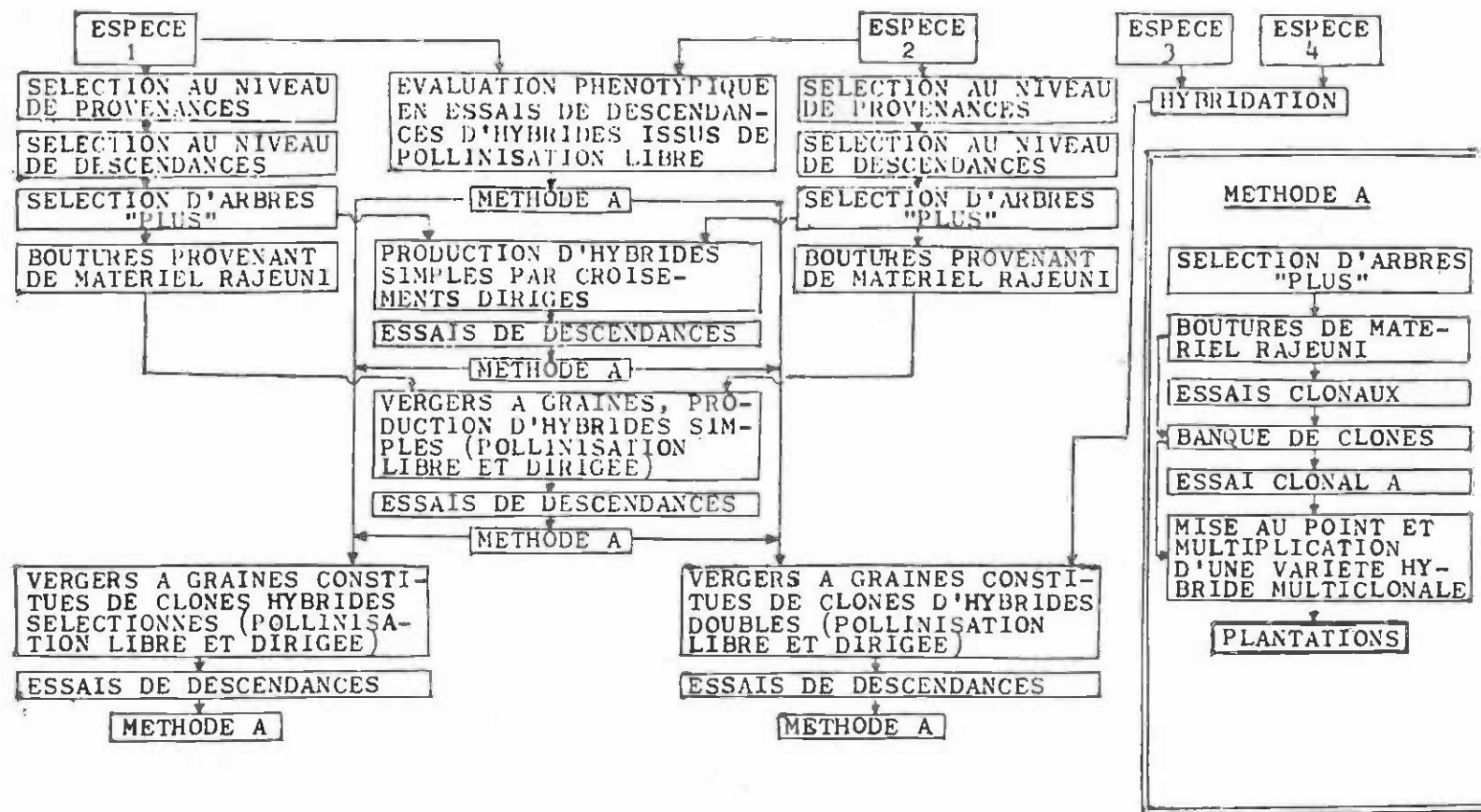
DIFFERENTES PHASES D'UN PROGRAMME D'AMELIORATION D'EUCALYPTUS  
SPP. PAR HYBRIDATION ET MULTIPLICATION VEGETATIVE



Source : Chaperon, H. et Quillet, G. (1978). Résultats des travaux sur le bouturage des *Eucalyptus* spp. au Congo Brazzaville, Annexe 2. Troisième Consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers. FO:FTB-77-4/9. Canberra, Australie.

ANNEXE 5

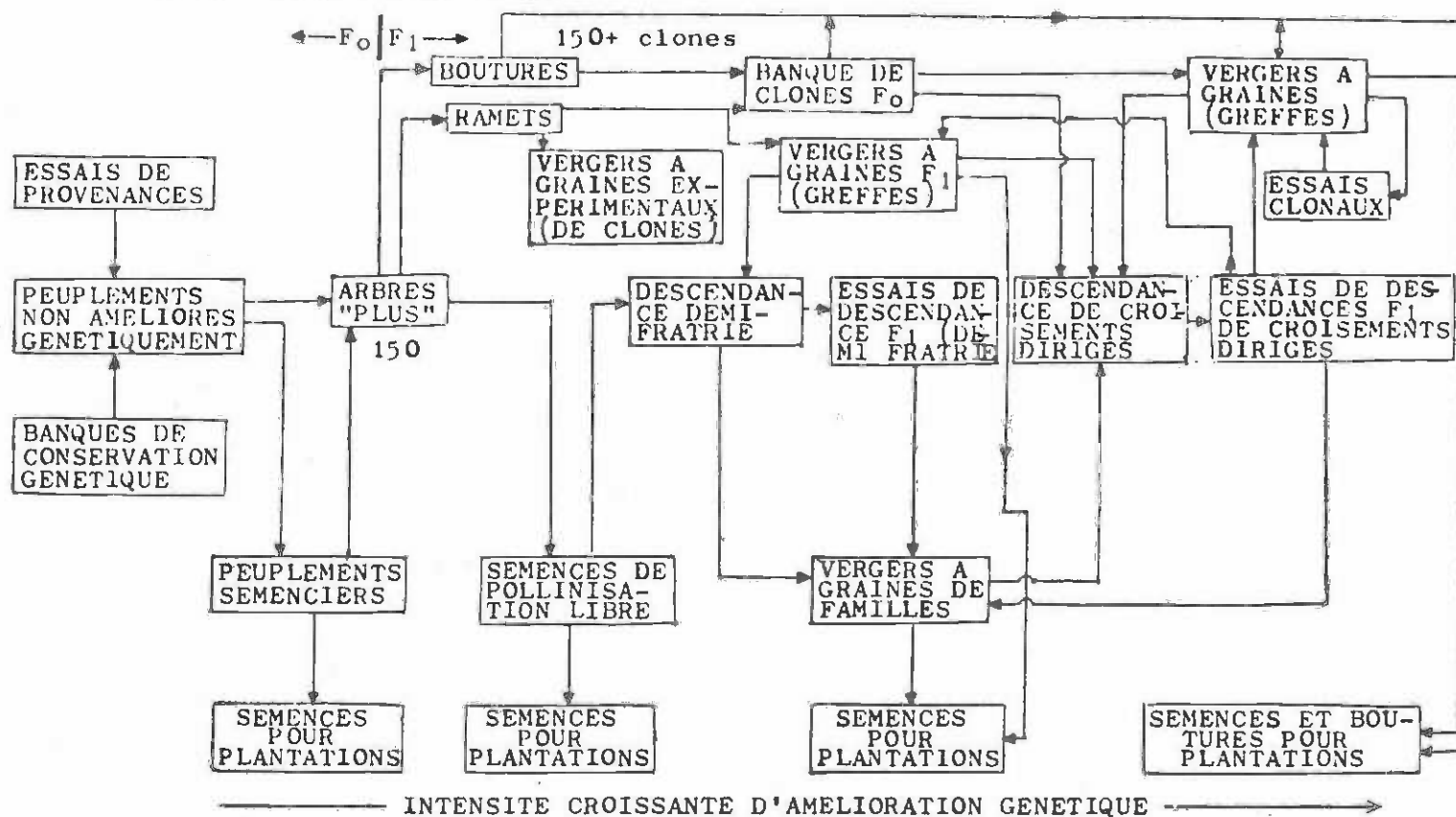
AMELIORATION DES EUCALYPTUS SPP. PAR HYBRIDATION AU CONGO (Schéma)



Source : Chaperon, H. (1978). Amélioration génétique des Eucalyptus hybrides au Congo Brazzaville. Troisième Consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers. FO:FTB-77-4/27. Canberra, Australie.

## ANNEXE 6

STRATEGIE DE L'AMELIORATION GENETIQUE D'EUCALYPTUS DEGLUPTA EN PAPOUASIE  
NOUVELLE-GUINEE (Schéma)



Source : Davidson, J. (1978). Breeding Eucalyptus deglupta - a case study, Fig.1.  
Troisième Consultation mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers.  
FO:FTB-77-6/6. Canberra, Australie.

QUELQUES ASPECTS DES PROBLEMES D'AMELIORATION  
GENETIQUE DES FEUILLUS INDIGENES AU VENEZUELA

Marcelino Quijada, R.

Instituto de Silvicultura  
Universidad de los Andes  
Mérida, Venezuela

SITUATION GENERALE

Au Venezuela, comme dans beaucoup de pays latino-américains, les feuillus jouent un rôle peu important dans les plans d'amélioration génétique, qui en sont en général encore à leurs débuts. Cela est dû en grande partie au fait que les forêts naturelles, de grande richesse floristique, en particulier en essences feuillues, subvenaient aux besoins locaux, une essence se substituant à l'occasion à une autre. Il faut aussi tenir compte du niveau relativement bas de la demande, notamment en qualité, qui était la règle dans de nombreuses régions des tropiques. La faiblesse du secteur forestier dans les économies nationales a également eu une influence; les entreprises forestières sont en général de petite taille, et elles exploitent les ressources ligneuses mais n'en créent pas de nouvelles. Les entreprises plus importantes gravitent autour des conifères, notamment du genre Pinus, au chapitre de la pâte et du papier, où les feuillus n'ont joué qu'un rôle mineur.

Face à cette situation, l'histoire des feuillus indigènes peut se résumer en deux points essentiels:

a) Détérioration de la base génétique des essences qui a une époque ou à une autre ont eu une importance commerciale. Un exemple typique en est fourni par les essences appartenant à la famille des Meliaceae. La raison fondamentale est la sélection dysgénique qui s'est poursuivie dans leurs aires naturelles. Cette sélection à rebours est due au fait que l'on a exploité les meilleurs arbres de la forêt, en laissant comme reproducteurs ceux qui avaient les plus mauvaises caractéristiques phénotypiques.

b) Méconnaissances de leurs caractéristiques génétiques et sylvicoles. Cela est dû en grande partie au sentiment du caractère inépuisable des forêts naturelles, et aux difficultés initiales rencontrées dans l'utilisation de certaines essences. Sur ce dernier point des facteurs qui ont joué sont l'utilisation d'un matériel de base de mauvaise qualité génétique, et l'application de techniques sylvicoles développées essentiellement pour des essences de la zone tempérée. Cependant la situation a commencé à changer en de nombreux endroits, en relation entre autres facteurs avec:

- a) l'épuisement des sources naturelles d'approvisionnement en bois, en particulier au voisinage des zones de concentration de population;
- b) l'augmentation de la demande du fait de l'accroissement démographique;
- c) la nécessité d'une diversification de l'économie, traditionnellement dominée par un petit nombre de secteurs, concernant notamment des ressources non renouvelables. A cet égard l'économie forestière mérite une considération particulière;
- d) la naissance d'un mouvement en faveur de la restauration des écosystèmes naturels et de la création de zones de loisirs.

Certains pays ont adopté comme solution l'utilisation d'essences feuillues introduites, telles que Tectona, Gmelina et Eucalyptus, en mettant à profit leurs caractéristiques favorables de rendement.

Même dans ces conditions est apparue la nécessité d'accroître l'utilisation des essences indigènes, soit comme moyen de restaurer et préserver les écosystèmes autochtones, soit par crainte que les essences introduites ne présentent à un moment donné des problèmes majeurs qui surpassent les avantages qu'elles offrent. Le principal avantage des essences indigènes est, en tout cas, de pouvoir profiter de l'adaptation biologique qu'elles ont acquise dans des stations déterminées par une sélection naturelle qui s'est poursuivie au long des générations.

#### QUELQUES EXEMPLES

Afin de tirer le meilleur parti de l'amélioration génétique des essences indigènes, il faut en avoir un minimum de connaissances en ce qui concerne:

a) la variation naturelle, dans les régions du pays où l'on trouve encore les essences intéressantes. Le but est de connaître les variantes morphologiques, anatomiques, physiologiques et technologiques, correspondant à une adaptation héréditaire à des conditions variées de station, à des fins de sélection;

b) la phénologie des espèces, afin d'évaluer la capacité de production de semences pour les besoins des programmes de plantation. On cherchera également à connaître les époques de floraison, en vue de pollinisation dirigées;

c) le comportement sylvicole, depuis la phase d'élevage en pépinière jusqu'aux techniques de plantation et entretiens ultérieurs, dans le but de réduire au minimum l'influence de ce facteur, en accroissant au maximum le potentiel génétique pour utiliser au mieux les stations de reboisement. Un aspect particulièrement important pour l'amélioration, dans cette phase, est l'aptitude des essences à la multiplication végétative;

d) les caractéristiques du développement en plantation comprenant les données quantitatives et qualitatives de la croissance, ainsi que les propriétés technologiques. Cette connaissance servira de base aux estimations de gain avec les différents schémas de sélection possibles.

En tenant compte des données ainsi obtenues, l'amélioration génétique sera orientée vers des aspects de caractère général et de caractère particulier. Les premiers, communs à toutes les essences, comprennent en premier lieu le rythme de croissance, qui est d'une importance capitale pour l'accroissement du rendement par unité de surface ainsi que pour permettre aux essences indigènes de rivaliser avec les essences exotiques, dont la rapidité de croissance est très souvent invoquée pour justifier leur introduction. A cet égard les programmes d'amélioration seraient orientés vers la constitution de sous-populations à croissance rapide, grâce à des méthodes de sélection et de testage faisant appel à la multiplication végétative ou à des descendance issues de semence.

La seconde catégorie d'aspects fait entrer en ligne de compte des problèmes particuliers concernant une essence ou un groupe d'essence, et qui peuvent, à l'égal d'une bonne croissance, retenir sur une meilleure utilisation des produits. A cet égard il convient de mentionner particulièrement, parmi les bois d'oeuvre de valeur du Venezuela, les essences suivantes:

a) Bombacopsis quinata. On cherche à réduire le développement des contreforts, afin d'augmenter la quantité de bois de fût utilisable au sciage. Etant donné que les contreforts, de même que les aiguillons, semblent être un caractère héréditaire lié à l'évolution de l'espèce, on ne cherche pas à les éliminer complètement mais à réduire au minimum leur développement. On recourt pour cela à la sélection et à des croisements entre individus déterminés, en s'appuyant sur des observations et des résultats préliminaires portant sur des arbres en forêt et sur des descendance.

b) Méliacées. Un problème d'un intérêt particulier est celui de la résistance des espèces des genres Cedrela et Swietenia à Hypsipyla. Etant donné que dans la plupart des régions du monde où ces essences se rencontraient à l'état spontané elles ont été soumises à une sélection disgénique intense, la base génétique semble être assez affaiblie. Une stratégie d'amélioration possible serait orientée vers une sélection intraspécifique suivie d'hybridation interspécifique, avec possibilité ultérieure de croisements en retour. Les croisements entre Cedrela odorata, C. angustifolia, C. fissilis et C. montana méritent une attention particulière; il faudra pour cela améliorer notre connaissance de la biologie florale de ces espèces. On envisage de même des croisements entre Swietenia macrophylla, S. humilis et S. mahogany. On a déjà signalé des hybridations spontanées entre les espèces de ce dernier genre. On n'écarte pas la possibilité d'hybrides intergénériques, par exemple Cedrela x Toona, qui bien que plus difficiles à hybrider présentent des caractéristiques morphologiques très voisines, au point que Toona ciliata a été jusqu'à une date récente considéré comme appartenant au genre Cedrela.

c) Tabebuia rosea. On cherchera à corriger les caractères de ramification, liés en particulier à une bifurcation typiquement polydichotomique de l'axe principal. Ce phénomène paraît associé à des sources individuelles impropres de semences et à une hérédité élevée de ce caractère. Une sélection individuelle stricte est considérée comme viable pour obtenir des résultats importants à courts délai, d'autant que l'on dispose encore de peuplement renfermant de très bons individus.

d) Pithecelobium saman. Un caractère intéressant pour cette essence est le rapport fût/houppier. En découvert, en utilisation sylvo-pastorale, elle a tendance à développer une cime très large, au détriment de la qualité du fût. Cette tendance a été observée également en forêt naturelle, où les fûts sont cependant plus développés. Grâce à une sélection individuelle continue avec des croisements entre provenance, on peut chercher à avoir une cime large avec une meilleure qualité de fût en terrain découvert, et une cime moins développée avec un fût plus important en plantations denses.

ANNEXE V

NOTES DU VOYAGE D'ETUDES

Annexe V/1

FLORAISON, PRODUCTION DE GRAINES ET POLLINISATION  
ARTIFICIELLE DE BOMBACOPSIS QUINATA AU VENEZUELA

Marcelino Quijada R.  
Instituto de Silvicultura  
Universidad de los Andes  
Mérida, Venezuela

INTRODUCTION

Bombacopsis quinata est l'une des essences à bois d'oeuvre les plus importantes de la forêt sèche tropicale du Venezuela, où on le rencontre sur différents types de sols, depuis les sols bien drainés ("bancos") jusqu'aux sols de drainage difficiles ("bajíos").

La pluviométrie annuelle, dans son aire de répartition, varie entre 1 000 et 2 000 mm, avec une saison sèche de 3 à 4 mois de décembre à mars. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 27°C, avec des maxima de 32°C et des minima de 22°C. Le bois de B. quinata est largement utilisé pour la construction courante, les revêtements intérieurs, les emplois extérieurs, le tournage, la menuiserie, etc. Sa densité est d'environ 0,40, mesurée par rapport au poids anhydre et au volume de bois vert.

En reboisement, cette essence a été utilisée à moyenne échelle en plantation d'enrichissement de la forêt naturelle, en particulier dans les réserves forestières. Divers essais permettent d'indiquer les possibilités de plantation en plein, avec un choix approprié des stations.

Depuis 1961 on a réalisé des études visant à une meilleure connaissance de l'essence, dans un but d'amélioration génétique. On a tout d'abord étudié le comportement en multiplication végétative, à laquelle l'essence répond bien, au point qu'on la considère comme très facile à multiplier. A partir de 1968, avec la création de vergers à graines, on a réalisé d'autres études concernant le mode de floraison et de fructification de l'essence, y compris les questions de pollinisation libre et de pollinisation dirigée.

MODE DE FLORAISON ET DE FRUCTIFICATION

Les pieds de B. quinata sont monoïques, avec des fleurs hermaphrodites qui sont généralement dressées, les étamines entourant le pistil dont le stigmate dépasse légèrement les enthères.

Les fleurs, de 10 à 15 cm de long, s'ouvrent généralement la nuit à partir de 6 heures, et plus souvent entre 8 et 10 heures du soir, lorsque la température s'abaisse au-dessous de 25°C et que l'humidité relative excède 60 pour cent. Le matin suivant leur épanouissement, elles perdent leurs enveloppes florales et leurs étamines, le style persistant même après la formation du fruit. L'époque de la floraison s'étend de fin octobre à mars, et parfois

avril, en relation directe avec la durée de la saison sèche. La floraison maxima a lieu en janvier et février, qui sont généralement les mois les plus secs.

En fonction des résultats d'observation dans les vergers à graines et en forêt naturelle, on a pu déceler une grande variabilité dans la floraison, certains arbres ayant une floraison prolongée (toute la durée de la période), d'autres une floraison précoce (jusqu'à janvier), d'autres enfin une floraison tardive (à partir de février). Tous ces phénomènes ont une grande importance pour la création de vergers à graines. Si l'on considère l'âge du début de la floraison l'essence apparaît comme précoce, étant donné qu'on l'observe sur des arbres de moins de 10 ans, et qu'il arrive même que des plants de semences mis en place depuis 6 mois portent des fleurs.

La fructification débute à partir de janvier; il s'écoule entre 50 et 60 jours depuis l'ouverture et la pollinisation de la fleur jusqu'à la déhiscence du fruit.

Le fruit est déhiscent, et les graines sont enveloppées de fibres soyeuses qui facilitent leur dispersion par le vent.

Le nombre de graines obtenues en pollinisation libre est en moyenne, dans les vergers, de 47 par fruit, variant depuis zéro (fruits vains) jusqu'à 140. En forêt naturelle on trouve une moyenne de 30 graines par fruit, avec un pourcentage élevé d'attaque d'insectes sur les fruits et sur les graines. Les graines viables présentent généralement une surface lisse, et une certaine résistance à l'écrasement lorsqu'on les presse entre les doigts. Les graines non viables sont généralement rugueuses, et s'aplatissent facilement sous l'effet d'une pression légère.

Leur couleur varie de brun clair à brun foncé; on note divers degrés de ségrégation dans les ramets d'un même clone, paraissant liés à la source de pollen.

La taille des graines est fortement influencée par l'arbre mère, ce qui se traduit par un nombre de graines au kilogramme allant de 20 000 à 44 000, avec une moyenne de 32 000.

Les études indiquent que l'espèce est fortement autoincompatible, ce qui favorise la pollinisation croisée. La faible fréquence de l'autopollinisation dans une même fleur paraît favorisée par le fait que, dans la fleur hermaphrodite, le stigmate est réceptif au moment de l'ouverture de la fleur, avant la dispersion du pollen de celle-ci. Cette dispersion se produit généralement de 10 à 15 minutes après exposition au vent. On peut penser qu'il intervient un mécanisme d'incompatibilité reproductrice, qui favorise également la pollinisation croisée.

Des résultats obtenus sur plusieurs années d'essais de germination de semences provenant de plus de 100 arbres de vergers à graines et de forêt naturelle, on peut déduire que *B. quinata* est une essence exempte d'anomalies génétiques étant donné qu'on n'a pas observé jusqu'à présent de phénomènes défavorables tels qu'albinisme ou nanisme.

#### POLLINISATION DIRIGÉE

La structure florale ouverte et les dimensions de la fleur facilitent grandement la pollinisation artificielle de l'espèce.

Au moment où ils atteignent leur taille normale, le bouton floral et la fleur elle-même sont isolés au moyen d'un sachet de tissu afin d'éviter les dégâts de certains insectes qui recherchent le nectar des fleurs épanouies. Pour la pollinisation artificielle on attend l'ouverture naturelle de la fleur. Lorsque celle-ci se produit, on procède à

l'élimination des étamines à l'aide de petits ciseaux, en prenant soin d'éviter une contamination du stigmate, profitant du faible pouvoir de dispersion du pollen à ce moment.

Une fois effectuée l'émasculatation, on met le stigmate en contact avec le pollen approprié, en s'assurant d'une bonne saturation. Ensuite on procède à l'identification du croisement, et on protège à nouveau la fleur pollinisée au moyen du sachet de tissu, pendant un temps qui peut se prolonger jusqu'au moment de la déhiscence du fruit, mais qui dans tous les cas va jusqu'au moment où le fruit est nettement individualisé.

La récolte du pollen se fait au moment de l'émasculatation. On place les étamines dans une boîte de Petri et on les laisse sécher pendant au moins une heure, après quoi on les secoue contre les parois de verre pour libérer le pollen. On emmagasine le pollen dans ce même récipient; on a pu ainsi le conserver dans un réfrigérateur ordinaire jusqu'à deux semaines sans perte importante de viabilité, en veillant seulement à maintenir la boîte de Petri bien fermée et à éviter une accumulation excessive d'humidité à l'intérieur. Les résultats de la pollinisation dirigée montrent une réussite de 50 pour cent, avec des valeurs allant de 60 pour cent pour la pollinisation croisée à 4 pour cent pour l'autopollinisation. On a observé des variations dans les réponses de croisements entre les différents clones, les meilleurs résultats étant obtenus entre clones de provenance différentes.

On a d'autre part noté une variation annuelle marquée dans la réussite des pollinisations croisées, avec des années très médiocres (aux environs de 25 pour cent) et des années très bonnes (plus de 80 pour cent), ce qui paraît être en relation avec les conditions de milieu qui influent sur le développement floral.

La production de graines par pollinisation dirigée atteint 87 par fruit, ce qui représente 1,9 fois celle obtenue par pollinisation libre dans les vergers à graines. Là aussi on a observé de larges variations, depuis des fruits vains jusqu'à 150 graines par fruit.

On n'a pas noté de différences importantes dans la viabilité de graines de qualité choisies avec les deux méthodes, le pourcentage de germination atteignant plus de 90 pour cent.

On a pu conserver les semences en ambiance de laboratoire, dans des sachets de papier, pendant environ 6 mois avec une viabilité élevée. En cave, à température d'environ 5°C, on a pu les conserver pendant plus d'un an sans détérioration visible, dans un récipient de verre fermé. En maintenant des semences dans un dessiccateur chimique, en présence d'acide sulfurique à 40 ou 80 pour cent, on a pu les conserver pendant environ deux ans, en prenant seulement soin de contrôler la corrosion par l'acide des emballages de papier ou de toile, ce qui peut se faire en les changeant tous les 6 mois.

Annexe V/2

PROGRAMME DE PLANTATION DANS LES  
LLANOS ORIENTAUX DU VENEZUELA

Caractéristiques climatiques 1/

Coordonnées géographiques: 62°W, 8°N

Altitude: 50 m

Température: Moyenne des maxima 32°C  
Moyenne des minima 20°C  
Moyenne annuelle 26°C

Précipitation: 1 150-1 200 mm de pluviométrie annuelle, avec une grande saison des pluies de juin à septembre, et une petite saison des pluies de novembre à mi-janvier.

Vents: Vitesse moyenne 7,8 km/h, parfois rafales à 60-80 km/h.

Evaporation: Moyenne annuelle 2 000-2 100 mm.

Programme de plantation (Pinus caribaea var. hondurensis; Eucalyptus spp. 1%)

| Entreprises               | Localité    | Superficie réservée (ha) | Superficie plantée (1978) (ha) | Superficie de plantations annuelles prévue (ha) |
|---------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1. Etats                  |             |                          |                                |                                                 |
| - CONARE                  | Coloradito  | 60 000                   | 7 000                          | 5 000                                           |
|                           | Chaguamaras | 100 000                  | 22 000                         | 5 000                                           |
|                           | Cadupo      | 805                      | -                              | -                                               |
|                           | Centella    | 12 000                   | 4 000                          | 10 000                                          |
| - CVG                     | Uverito     | 150 000                  | 50 000                         | 7 000                                           |
| Total partiel             |             | 322 805                  | 83 000                         |                                                 |
| 2. Economie mixte         |             |                          |                                |                                                 |
| - Forestor                |             | 60 000                   | 2 600                          | 10 000                                          |
| - Sipas                   |             | 30 000                   | 3 000                          | 1 500                                           |
| - Guayamure               |             | 60 000                   | 7 000                          | 1 500                                           |
| Total partiel             |             | 150 000                  | 12 000                         |                                                 |
| 3. Privées                |             |                          | 4 000                          |                                                 |
| TOTAL Llanos orientaux 2/ |             | <u>472 805</u>           | <u>99 600</u>                  |                                                 |

1/ "Uverito - un bosque en la Sabana". División de Relaciones Públicas, Corporación Venezolana de Guayana, CVG. Publicación N° 1078-652; Tomo I, Folio 20; Octobre 1978.

2/ Pour une information générale sur le pays, voir Annexe VI, "Venezuela".

Annexe V/3

CVG. VENEZUELA: OPERATIONS ELEMENTAIRES ET RESSOURCES HUMAINES  
NECESSAIRES POUR LE PROGRAMME DE PLANTATION  
(*P. caribaea* var. *hondurensis*, Uverito)

| Opération                                                                   | Personnel                                 | Production totale                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>Planches de semis:</u>                                                   |                                           |                                                                                                                                               |
| Préparation des planches                                                    | 1 contremaître                            | 360 000 plants/jour                                                                                                                           |
| Désinfection                                                                | 8 ouvriers                                |                                                                                                                                               |
| Semis                                                                       |                                           |                                                                                                                                               |
| Arrosage                                                                    |                                           |                                                                                                                                               |
| <u>Confection des pots de carton:</u>                                       |                                           |                                                                                                                                               |
| Découpage du carton                                                         | 1 surveillant                             | 0                                                                                                                                             |
| Agrafage                                                                    | 1 contremaître                            |                                                                                                                                               |
| Remplissage, pesée                                                          | 10 coupeurs                               |                                                                                                                                               |
|                                                                             | 60 ouvriers                               |                                                                                                                                               |
|                                                                             | 6 remplisseurs                            |                                                                                                                                               |
| <u>Transplantation:</u>                                                     |                                           |                                                                                                                                               |
| Extraction des jeunes semis                                                 | 4 contremaîtres                           | 16                                                                                                                                            |
| Transport vers l'aire de repiquage                                          | 1 assistant                               |                                                                                                                                               |
| Ouverture des trous                                                         | 6 arracheurs                              |                                                                                                                                               |
| Repiquage en pots                                                           | 32 repiqueurs                             |                                                                                                                                               |
|                                                                             | 6 troueurs                                |                                                                                                                                               |
| <u>Travaux culturaux</u>                                                    |                                           |                                                                                                                                               |
| Irrigation par aspersion                                                    | 1 contremaître                            | 16                                                                                                                                            |
| Fertilisation                                                               | 14 ouvriers                               |                                                                                                                                               |
| Mycorhization                                                               |                                           |                                                                                                                                               |
| Désherbage                                                                  |                                           |                                                                                                                                               |
| Fumigation                                                                  |                                           |                                                                                                                                               |
| <u>Planches de plants repiqués:</u>                                         |                                           |                                                                                                                                               |
| Transport des pots                                                          | 3 contremaîtres                           | 16                                                                                                                                            |
| Groupeage et rangement des pots                                             | 6 rangeurs                                |                                                                                                                                               |
| Colmatage des pots avec du sable                                            | 36 groupeurs                              |                                                                                                                                               |
| Compactage du sable                                                         | 27 remplisseurs                           |                                                                                                                                               |
|                                                                             | 9 compacteurs                             |                                                                                                                                               |
| <u>Plantation:</u>                                                          |                                           |                                                                                                                                               |
| - Préparation du terrain :                                                  | 4 surveillants                            | 7 000-10 000 ha/an<br>(superficie de plantation prévue pour 1980 7 000 ha dont 5 000 ha de plants en pots, 2 000 ha de plants à racines nues) |
| Délimitation des parcelles                                                  | 8 contremaîtres                           |                                                                                                                                               |
| Préparation du sol                                                          | 64 remplisseurs de cassettes              |                                                                                                                                               |
| Lutte contre les fourmis coupe-feuilles                                     | 90 planteurs                              |                                                                                                                                               |
|                                                                             | 24 conducteurs de tracteur                |                                                                                                                                               |
|                                                                             | 20 préposés à la lutte contre les fourmis |                                                                                                                                               |
| - Plantation:                                                               |                                           |                                                                                                                                               |
| Remplissage des cassettes et chargement des camions                         |                                           |                                                                                                                                               |
| Transport des plants                                                        |                                           |                                                                                                                                               |
| Mise en place des plants                                                    |                                           |                                                                                                                                               |
| - Entretien:                                                                |                                           |                                                                                                                                               |
| Ouverture et nettoyage des pare-feu                                         |                                           |                                                                                                                                               |
| Prévention et lutte contre les incendies                                    |                                           |                                                                                                                                               |
| Elimination des mauvaises herbes                                            |                                           |                                                                                                                                               |
| Lutte contre les fourmis coupe-feuilles                                     |                                           |                                                                                                                                               |
| En outre: personnel de cantine, infirmiers, mécaniciens, menuisiers, etc.,. |                                           |                                                                                                                                               |
| BESOINS TOTAUX DE PERSONNEL:                                                | 180 travailleurs                          |                                                                                                                                               |

## Annexe V/4

## CORPORACION VENEZOLANA DE GUYANA: CALENDRIER DES ACTIVITES (Pinus caribaea var. Hondurensis Uverito)

| PHASE                          | OPERATION                                            | Oct. | Nov. | Dec. | Jan. | Fév. | Mars | Avr. | Mai | Jun | Juil. | Août | Sep. |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-------|------|------|
| Production de plants           | Semis sur planches                                   | —    | —    | —    | —    |      |      |      |     |     |       |      |      |
|                                | Confection des pots                                  | —    | —    | —    | —    |      |      |      |     |     |       |      |      |
|                                | Préparation de planches                              | —    | —    | —    | —    |      |      |      |     |     |       |      |      |
|                                | Repiquage des semis                                  | —    | —    | —    | —    |      |      |      |     |     |       |      |      |
| Travaux culturaux en pépinière | Irrigation par aspersion                             | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   | —   |       |      |      |
|                                | Fertilisation                                        |      |      | —    | —    | —    | —    | —    | —   | —   |       |      |      |
|                                | Cernage des racines                                  |      |      | —    | —    | —    | —    | —    | —   | —   |       |      |      |
|                                | Désherbage                                           |      |      | —    | —    | —    | —    | —    | —   | —   |       |      |      |
|                                | Lutte contre les parasites                           | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   | —   |       |      |      |
| Préparation du terrain         | Délimitation des parcelles                           |      |      |      |      | —    | —    | —    | —   |     |       |      |      |
|                                | Passage de pulvérisateur                             |      |      | —    | —    | —    | —    | —    | —   |     |       |      |      |
|                                | Lutte contre les fourmis coupe-feuilles              |      |      | —    | —    | —    | —    | —    | —   |     |       |      |      |
| Plantation                     | Remplissage des caissettes et chargement des camions |      |      |      |      |      |      |      |     | —   | —     | —    |      |
|                                | Mise en place des plants                             |      |      |      |      |      |      |      |     | —   | —     | —    |      |
|                                |                                                      |      |      |      |      |      |      |      |     | —   | —     | —    |      |
| Entretien des plantations      | Pare-feu                                             | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   | —   | —     | —    | —    |
|                                | Nettoyements                                         | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   | —   | —     | —    | —    |
|                                | Lutte contre les fourmis coupe-feuilles              | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   | —   | —     | —    | —    |
|                                |                                                      | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —   | —   | —     | —    | —    |

ANNEXE VI

RAPPORTS PAR PAYS

ARGENTINE

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

- 1.1 Superficie: 2 790 000 km<sup>2</sup>
- 1.2 Situation : longitude 53°-73°W; latitude 21°-55°S
- 1.3 Population: 26 000 000 d'habitants
- 1.4 Principales zones de climat et de végétation: "Selva misionera" (Forêt de Misiones); "Selva tucumano-boliviana" (Forêt tucumano-bolivienne); "Selvas en galería" (Forêt-galeries); "Bosques subantárcticos" (Forêts subantarctiques); "Parque Chaqueño" (Forêt-parc sèche du Chaco); "Parque Puntano-Pampeano" (Forêt-parc sèche de San Luis et de la Pampa); "Parque mesopotámico" (Forêt-parc de la Mésopotamie argentine); "Estepa pampeana" (Steppe de la pampa); "Estepa Patagónica" (Steppe de Patagonie); "Monte occidental" (Monte/brousse sèche); "Estepa puneña" (Puna = steppe alpine) (Voir carte-Annexe 1).

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

- 2.1 Superficie boisée: 60 300 000 ha (dont forêts productives 39 000 000 ha)
- 2.2 Taux de boisement: 20,54%
- 2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite? OUI
- 2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale, quels en sont les principaux objectifs déclarés?
- a) Approvisionnement rationnel en produits ligneux selon les plans établis.
  - b) Utilisation en fonction du produit de plus grande valeur finale.
  - c) Tendre au reboisement et à l'amélioration de la forêt nationale.
  - d) Encouragement au reboisement par le système des crédits de développement.
  - e) Conservation des forêts de protection.
- 2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique? OUI - Loi n° 13.273 de 1948.
- 2.5 Propriété des forêts (sur les 39 000 000 ha de forêts productives)
- |                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| Domaniales         | 18 150 000 ha (46,16%) |
| Privées            | 20 850 000 ha (53,84%) |
| De collectivités   | -                      |
| sans régime défini | -                      |
- 2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, grumes de placage, bois de traverses, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):

(ARGENTINE)

|                                |               |                 |             |
|--------------------------------|---------------|-----------------|-------------|
| En 1977: Bois de sciage        | 21 000 000 m2 | Aggloméré       | 54 000 t    |
| Grumes de placage              | 58 000 m3     | Charbon de bois | 278 000 t   |
| Grumes pour panneaux de fibres | 225 000 m3    | Bois de feu     | 1 095 000 t |
| Grumes pour traverses          | 61 000 m3     | Pâte à papier   | 703 000 t   |
| Poteaux                        | 199 000 t     | Tanin (extrait) | 87 000 t    |

| 2.7 Personnel forestier     | Fonctionnaires | Autres |
|-----------------------------|----------------|--------|
| Niveau ingénieur            | 96 <u>1/</u>   | ?      |
| Niveau technicien supérieur | - <u>1/</u>    | ?      |

2.8 Budget brut annuel du secteur forestier: 47 680 000\$US 2/

3. REBOISEMENT, DONNEES GENERALES

3.1 Superficies

3.1.1 Superficie totale nette 3/ de plantations à fin 1978: 530 000 ha 4/

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays: 90 000 ha/an 4/

3.2 Organisation et administration des plans de reboisement

3.2.1 Services forestiers d'Etat: 100%

3.3 Destinations principales prévues (par exemple, bois de sciage, poteaux et pieux, bois à pâte, bois de feu, protection, etc.)

3.3.1 Essences autochtones

| Destination                   | Essence                       | Superficie nette (ha) <u>3/</u> | Révolution (an) | Accroissement moyen annuel (sous écorce) à la fin de la révolution (m3/ha/an) |
|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Bois de sciage et bois à pâte | <u>Araucaria angustifolia</u> | 30 000 <u>5/</u>                | 40              | 17 (en plantations artificielles)                                             |
| Tanin et traverses            | <u>Schinopsis</u> sp.         | 12 000 000                      | 120             | 6 pour le peuplement<br>0,5 pour l'essence                                    |
| Bois de sciage                | <u>Nothofagus</u> sp.         | 1 000 000                       | 90              | 3-4 (forêt homogène)                                                          |
|                               | ( <u>Cedrela</u> sp.)         | )                               |                 | 0,5                                                                           |
| Bois de sciage                | ( <u>Cordia</u> sp.)          | ) 2 500 000                     | 60              | 0,15 (pour le peuplement)                                                     |
|                               | ( <u>Balfourodendron</u> sp.) | )                               |                 | 0,3 (forêt hétérogène)                                                        |

1/ Seulement Etat argentin

2/ Seulement Etat argentin, y compris subventions d'encouragement (on a pris 1\$US = 1,630 Peso)

3/ La superficie nette est la superficie brute des plantations, moins la superficie occupée par les routes et chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

4/ Données approximatives

5/ Correspond à l'aire de répartition de l'essence en Argentine.

(ARGENTINE)

3.3.2 Essences introduites

| Destination                | Essence                                | Superficie<br>(nette)<br>(ha) 1/ | Révolution<br>(ans) | Accroissement moyen<br>annuel (sous écorce)<br>à la fin de la révo-<br>lution (m3/ha/an) |
|----------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pâte à papier<br>et résine | <u>Pinus elliottii</u> )               | 150 000                          | 10-25               | 30                                                                                       |
|                            | <u>Pinus taeda</u> )                   |                                  | 10-25               | 30                                                                                       |
| Bois d'oeuvre<br>et pâte   | <u>Pseudotsuga</u><br><u>menziesii</u> |                                  | 32                  | 20                                                                                       |
| " "                        | <u>Pinus radiata</u>                   |                                  | 30                  | 25                                                                                       |
| " "                        | <u>Pinus ponderosa</u>                 |                                  | 35                  | 18                                                                                       |
| Emballage, pâte            | <u>Populus</u> sp.                     | 170 000                          | 10                  | 22                                                                                       |
| " "                        | <u>Eucalyptus</u> sp.                  | 100 000                          | 20                  | 30                                                                                       |

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des semences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées)? OUI (seulement dans le cas d'Araucaria angustifolia dans la province des Misiones).

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences? NON 2/

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température? OUI

4.1.4 L'offre nationale de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1? NON

3.3.2? NON

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière? OUI 3/

5.1.1 Dans l'affirmative, énumérer les essences concernées:

|                               |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| <u>Pinus elliottii</u>        | <u>Populus</u> spp.               |
| <u>Pseudotsuga menziesii</u>  | <u>Salix</u> spp.                 |
| <u>Pinus ponderosa</u>        | <u>Eucalyptus saligna/grandis</u> |
| <u>Araucaria angustifolia</u> | <u>Melia azedarach</u>            |

1/ La superficie nette est la superficie brute de plantations, moins la superficie occupée par les routes et chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

2/ En préparation; à l'état d'avant-projet de loi.

3/ Pour 1980 au niveau national.

(ARGENTINE)

5.1.2 Caractères les plus importants faisant l'objet d'amélioration génétique:

- 1) Productivité
- 2) Adaptabilité écologique
- 3) Résistance aux maladies
- 4) Qualité des semences
- 5) Qualité du bois

5.2 Brève esquisse des méthodes d'amélioration génétique déjà appliquées:

5.2.1 Essais d'espèces et de provenances (indiquer entre parenthèse le nombre de provenances essayées):

- a) Pinus elliottii et P. taeda (38 et 29 provenances) 1/
- b) Eucalyptus camaldulensis et E. viminalis (33 et 22 provenances) 1/
- c) Pins dans le nord-ouest de l'Argentine (19 espèces) 1/
- d) Pins sur le littoral argentin (17 espèces) 1/

5.2.2 Superficie de peuplements semenciers de chacune des essences principales: 2/

|                               |          |
|-------------------------------|----------|
| <u>Pinus ponderosa</u>        | 8 ha     |
| <u>Pseudotsuga menziesii</u>  | 15 ha    |
| <u>Araucaria angustifolia</u> | 414,5 ha |

5.2.3 Arbres "plus" des essences principales (indiquer entre parenthèse le nombre d'arbres) 2/

|                              |      |
|------------------------------|------|
| <u>Pinus ponderosa</u>       | (24) |
| <u>Pseudotsuga menziesii</u> | (17) |

5.2.4 Vergers à graines (essences, superficie et nombre de clones ou d'arbres mères): 3/ NEANT

5.2.5 Essais de descendance (essences et superficie) 3/

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| <u>Pinus ponderosa</u>       | (1979) |
| <u>Pseudotsuga menziesii</u> | (1979) |

5.2.6 Autres méthodes d'amélioration génétique (précisez): 3/ NON

---

1/ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

2/ Seulement ceux dépendant de l'Instituto Forestal Nacional.

3/ Seulement en ce qui concerne l'Instituto Forestal Nacional.

(ARGENTINE)

6. METHODES AYANT DONNE LES MEILLEURS RESULTATS POUR LA MULTIPLICATION VEGETATIVE DES ESSENCES PRINCIPALES

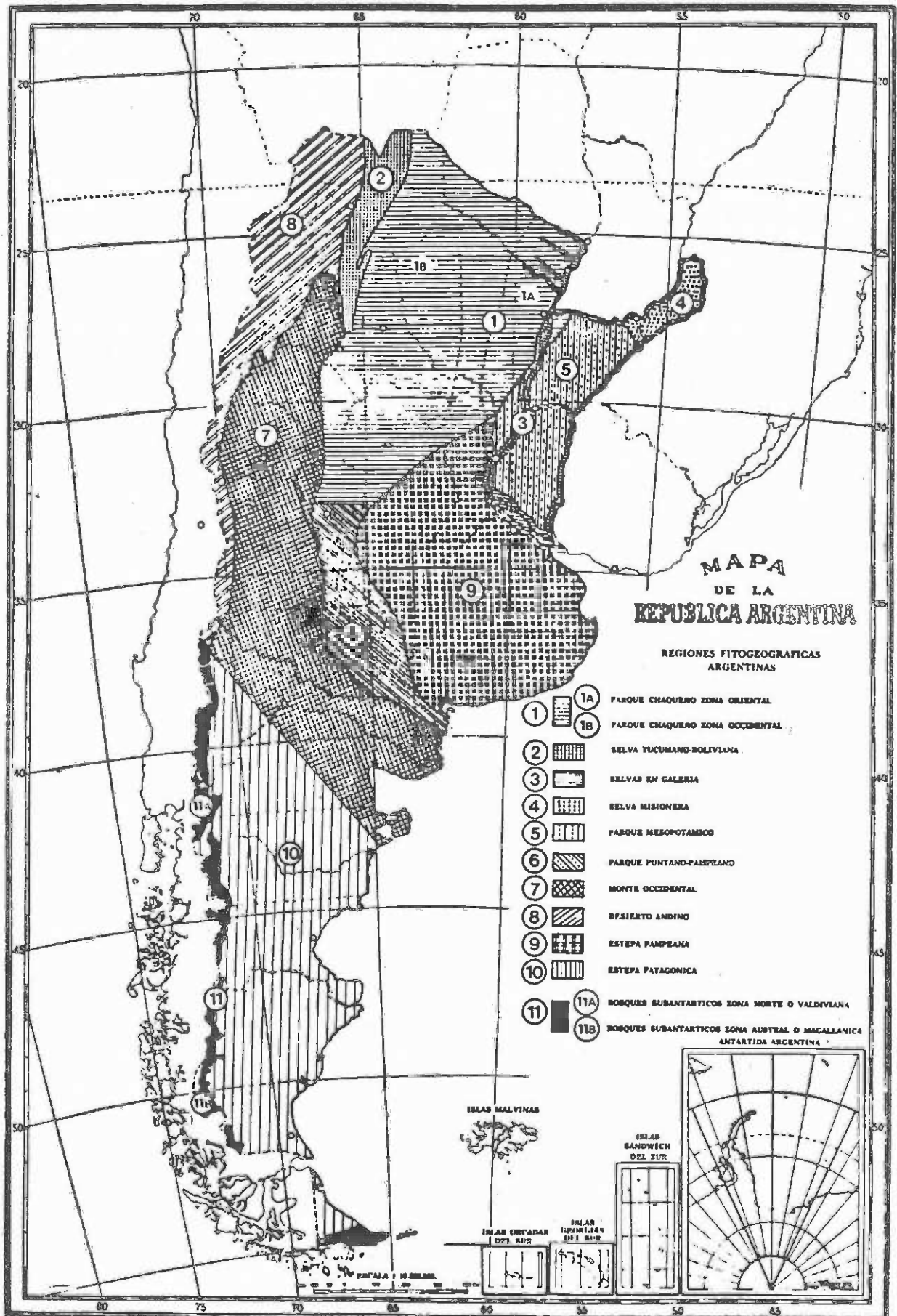
| <u>Essence</u>               | <u>Méthode</u>                                                     | <u>% de réussite</u> |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------|
| <u>Pinus Elliottii</u>       | Bouturage (avec traitement hormonal et traitement de l'arbre mère) | Commencé le 12.12.79 |
| <u>Eucalyptus saligna</u>    | " " "                                                              | " " "                |
| <u>Pseudotsuga menziesii</u> | " " "                                                              | Commencé le 1.2.80   |
| <u>Pinus ponderosa</u>       | " " "                                                              | " " "                |

7. REFERENCES CONCERNANT L'AMELIORATION GENETIQUE

Veillez énumérer les références concernant l'amélioration génétique forestière dans votre pays, dans des publications, rapports, etc.

IDIA (Suplemento Forestal No.6) - INTA - Bs. As. 1970  
 " " " No.8) - " " 1973  
 " " " No.5) - " " 1966  
 " (Revista No.12) - Buenos-Aires

REGIONS PHYTOGEOGRAPHIQUES DE L'ARGENTINE



BOLIVIE

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

- 1.1 Superficie: 1 058 000 km<sup>2</sup>
- 1.2 Situation : longitude 57°26'-60°-38'W; latitude 9°38'-22°53'N
- 1.3 Population: 4 647 816 habitants (septembre 1976)
- 1.4 Principales zone de climat et de végétation: Les caractéristiques orogéniques du pays ont déterminé quatre zones bien distinctes: Yungas (vallées hautes subtropicales), Valles (vallées basses tropicales), Altiplano (haut plateau), LLanos (plaines).

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

- 2.1 Superficie boisée: 56 468 000 ha
- 2.2 Taux de boisement: 51%
- 2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite? OUI
- 2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale, quels en sont les principaux objectifs déclarés?
- a) Formuler la politique forestière du pays et les plans d'application de cette politique
  - b) Administrer en permanence le patrimoine forestier de la nation.
  - c) Promouvoir ou effectuer l'inventaire forestier national.
  - d) Autoriser, orienter et contrôler les exploitations forestières, en conformité avec les dispositions de la loi en vigueur.
- 2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique? OUI
- 2.5 Propriété des forêts
- |                  |       |
|------------------|-------|
| Domaniale        | 99,9% |
| De collectivités | 0,1%  |
- 2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, grume de placage, bois de traverses, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):
- Grumes de déroulage, grumes de sciage, traverses, poteaux, bois de mine, bois de construction, charbon de bois, bois de feu, gomme, châtaignes.
- 2.7 Personnel forestier
- |                                                   | <u>Fonctionnaires</u> | <u>Autres</u> |
|---------------------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Niveau ingénieur                                  | 28                    | 5             |
| Niveau technicien supérieur (diplômé ou certifié) | 21                    | 5             |
- 2.8 Budget brut annuel du secteur forestier: 1 000 000 \$US.

(BOLIVIE)

3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

3.1 Superficies

3.1.1 Superficie totale nette 1/ de plantations à fin 1978: 10 000 ha

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays:  
1 500 ha/an.

3.2 Organisation et administration des plans de reboisement

3.2.1 Services forestiers d'Etat: 90%

CAMARAFOR: 3%

Autres entreprises privées: 7%

3.3 Destinations principales prévues (par exemple, bois de sciage, poteaux et pieux, bois à pâte, bois de feu, protection, etc.).

3.3.1 Essences autochtones

| <u>Destination</u> | <u>Essence</u>               | <u>Superficie<br/>nette<br/>(ha) 1/</u> | <u>Révolution<br/>(ans)</u> | <u>Accroissement moyen<br/>annuel (sous écorce)<br/>à la fin de la révo-<br/>lution (m3/ha/an)</u> |
|--------------------|------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bois de sciage     | <u>Swietenia macrophylla</u> | 200                                     | 80                          |                                                                                                    |
| Sulfate            | Quinquina                    | 42                                      | 10                          |                                                                                                    |
| Latex              | <u>Hevea brasiliensis</u>    | 230                                     | 10-20                       |                                                                                                    |
| Bois de feu        | Autres                       | 228                                     |                             |                                                                                                    |

3.3.2 Essences introduites

| <u>Destination</u> | <u>Essence</u>            | <u>Superficie<br/>nette<br/>(ha) 1/</u> | <u>Révolution<br/>(ans)</u> | <u>Accroissement moyen<br/>annuel (sous écorce)<br/>à la fin de la révo-<br/>lution (m3/ha/an)</u> |
|--------------------|---------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Poteaux            | ) ) )                     | )                                       |                             |                                                                                                    |
| Charbon de bois    | ) <u>Eucalyptus</u> spp.) | 9 000 )                                 | 10                          | 20                                                                                                 |
| Pieux              | ) ) )                     | )                                       |                             |                                                                                                    |
| Poteaux            | )                         | 300                                     | 20                          |                                                                                                    |

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences.

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées)? OUI

1/ La superficie nette est la superficie brute des plantations, moins la superficie occupée par les routes et chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(BOLIVIE)

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences? NON

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température? NON

4.1.4 L'offre nationale de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1? NON

3.3.2? NON

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière? NON

5.2.5 Essais de descendance (essences et superficie):

Eucalyptus rostrata

E. viminalis

E. saligna

E. globulus

E. citriodora

E. tereticornis

Pinus radiata

P. elliottii

P. taeda

Cupressus lusitanica

BRESIL

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

- 1.1 Superficie: 8 511 970 km<sup>2</sup>
- 1.2 Situation : Longitude 34°-74°W; latitude 5°N-33°S
- 1.3 Population: 119 670 000 habitants
- 1.4 Principales zones de climat et de végétation: Voir carte-Annexe 1.

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

- 2.1 Superficie boisée: 352 000 000 ha
- 2.2 Taux de boisement: 41,0%
- 2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite? OUI
  - 2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale quels en sont les principaux objectifs déclarés?
    - a) Production forestière pour répondre aux besoins des Programmes nationaux de papier et cellulose et de sidérurgie à base de charbon de bois.
    - b) Programme de reboisement dans les petites et moyennes propriétés rurales.
    - c) Exploitation et utilisation rationnelle des ressources forestières de la région de l'Amazonie brésilienne.
- 2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique? OUI
- 2.5 Propriété des forêts


|                    |     |
|--------------------|-----|
| Domaniales         | 75% |
| De collectivités   | -   |
| Privée             | 15% |
| Sans régime défini | 10% |
- 2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, grumes de placage, bois de traverses, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):

|                         |                           |                        |                            |
|-------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|
| Bois de sciage          | 16 325 000 m <sup>3</sup> | Charbon de bois        | 17 618 000 t               |
| Sciages                 | 7 400 000 m <sup>3</sup>  | Papier                 | 2 045 969 t                |
| Cellulose               | 1 253 784 t               | Placages               | 695 000 m <sup>3</sup>     |
| Panneaux de fibres durs | 574 000 m <sup>3</sup>    | Panneaux de particules | 461 000 m <sup>3</sup>     |
| Contreplaqué            | 695 000 m <sup>3</sup>    | Bois de feu            | 140 000 000 m <sup>3</sup> |
- 2.7 Personnel forestier

|                  | <u>Fonctionnaires</u> | <u>Autres</u> |
|------------------|-----------------------|---------------|
| Niveau ingénieur | 1 200                 | -             |
- 2.8 Budget brut annuel du secteur forestier: 30 266 343,83 \$US.

(BRESIL)

### 3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

#### 3.1 Superficies

3.1.1 Superficie totale nette 1/ de plantations à fin 1978: 3 319 034 ha.

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays:  
335 442 ha/an.

#### 3.2 Organisation et administration des plans de reboisement.

3.2.1 Services forestiers d'Etat: 5%

Autres: 95% (la plus grande partie ayant son origine  
dans les incitations fiscales)

3.3 Destinations principales prévues (par exemple, bois de sciage, poteaux et pieux,  
bois à pâte, bois de feu, protection, etc.).

#### 3.3.1 Essences autochtones

| <u>Destination</u> | <u>Essence</u>                          | <u>Superficie<br/>(nette)<br/>(ha) 1/</u> | <u>Révolution<br/>(ans)</u> | <u>Accroissement moyen<br/>annuel (sous écorce)<br/>à la fin de la révo-<br/>lution (m3/ha/an)</u> |
|--------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | <u>Araucaria</u><br><u>angustifolia</u> | 73 074,91                                 | 40                          | 13                                                                                                 |
|                    | Autres semences                         | 39 744,75                                 | 40                          |                                                                                                    |

#### 3.3.2 Essences introduites

| <u>Destination</u> | <u>Essences</u>        | <u>Superficie<br/>(nette)<br/>(ha) 1/</u> | <u>Révolution<br/>(ans)</u> | <u>Accroissement moyen<br/>annuel (sous écorce)<br/>à la fin de la révo-<br/>lution (m3/ha/an)</u> |
|--------------------|------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | <u>Pinus</u> spp.      | 1 105 533,82                              | 7                           | 19                                                                                                 |
|                    | <u>Eucalyptus</u> spp. | 1 739 781,35                              | 7                           | 20                                                                                                 |

### 4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

#### 4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement  
dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à  
la zone dans laquelle elles sont récoltées)? OUI

4.1.2 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de  
température? OUI

4.1.3 Y-a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de tem-  
pérature ? OUI

1/ La superficie nette est la superficie brute des plantations, moins la superficie occupée  
par les routes et chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(BRESIL)

4.1.4 L'offre nationale de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1? OUI

3.3.2? NON

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière? OUI

5.1.1 Dans l'affirmative, énumérer les essences concernées:

|                               |                                        |
|-------------------------------|----------------------------------------|
| <u>Eucalyptus grandis</u>     | <u>Pinus caribaea var. hondurensis</u> |
| <u>E. urophylla</u>           | <u>P. caribaea var. caribaea</u>       |
| <u>E. saligna</u>             | <u>P. elliottii var. elliottii</u>     |
| <u>Araucaria angustifolia</u> | <u>P. oocarpa</u>                      |

5.1.2 Caractères les plus importants faisant l'objet d'amélioration génétique:

Volume (diamètre et hauteur)  
Forme  
Qualité du bois  
Résistance aux maladies

5.2 Brève esquisse des méthodes d'amélioration génétique déjà appliquées:

5.2.1 Essais d'espèces et de provenances (indiquer entre parenthèse le nombre de provenances essayées):

|                                        |                                               |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <u>Eucalyptus</u> spp.                 | 43 espèces, 1-37 provenances de chaque espèce |
| <u>Pinus caribaea var. hondurensis</u> | (7) 1/                                        |
| <u>P. caribaea var. caribaea</u>       | (2) 1/                                        |
| <u>P. caribaea var. bahamensis</u>     | (2) 1/                                        |
| <u>P. oocarpa</u>                      | (19) 1/                                       |

5.2.2 Superficie de peuplement semenciers de chacune des essences principales:

|                           |           |                                     |             |
|---------------------------|-----------|-------------------------------------|-------------|
| <u>Eucalyptus grandis</u> | 114,99 ha | <u>Pinus oocarpa</u>                | 1 069,58 ha |
| <u>E. urophylla</u>       | 36,46 ha  | <u>P. caribaea var. hondurensis</u> | 1 202,96 ha |
| <u>E. saligna</u>         | 2,30 ha   | <u>P. elliottii var. elliottii</u>  | 30,90 ha    |
| <u>E. citriodora</u>      | 8,15 ha   | <u>P. taeda</u>                     | 106,50 ha   |
| <u>E. paniculata</u>      | 10,45 ha  | <u>P. caribaea var. caribaea</u>    | 346,16 ha   |
| <u>E. viminalis</u>       | 215,28 ha | <u>P. caribaea var. bahamensis</u>  | 185,48 ha   |
|                           |           | <u>P. Kesiya</u>                    | 117,87 ha   |
|                           |           | <u>P. strobus var. chiapensis</u>   | 6,98 ha     |

1/ Provenances introduites par PRODEPEF entre 1971 et 1977.

(BRESIL)

- 5.2.3 Arbres "plus" des essences principales (indiquer entre parenthèse le nombre d'arbres):

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| <u>Eucalyptus grandis</u>           | (200) |
| <u>E. saligna</u>                   | (50)  |
| <u>Pinus oocarpa</u>                | (100) |
| <u>P. caribaea var. hondurensis</u> | (300) |
| <u>P. caribaea var. bahamensis</u>  | (300) |
| <u>P. caribaea var. caribaea</u>    | (300) |
| <u>P. taeda</u>                     | (50)  |

- 5.2.4 Vergers à graines (essences, superficie et nombre de clones ou d'arbres mères):

|                           |              |
|---------------------------|--------------|
| <u>Eucalyptus grandis</u> | - 100 clones |
| <u>E. saligna</u>         | - 50 clones  |
| <u>Pinus caribaea</u>     | - 300 clones |

- 5.2.5 Essais de descendance (essences et superficie)

|                                        |             |
|----------------------------------------|-------------|
| <u>Eucalyptus grandis</u>              | (15 essais) |
| <u>E. saligna</u>                      | (5 essais)  |
| <u>Pinus caribaea var. hondurensis</u> | (22 essais) |
| <u>P. Kesiya</u>                       | (10 essais) |

- 5.2.6 Autres méthodes d'amélioration génétique (précisez):

Zones de récolte des semences  
Vergers à graines (arbres greffés)  
Obtention et utilisation d'hybrides

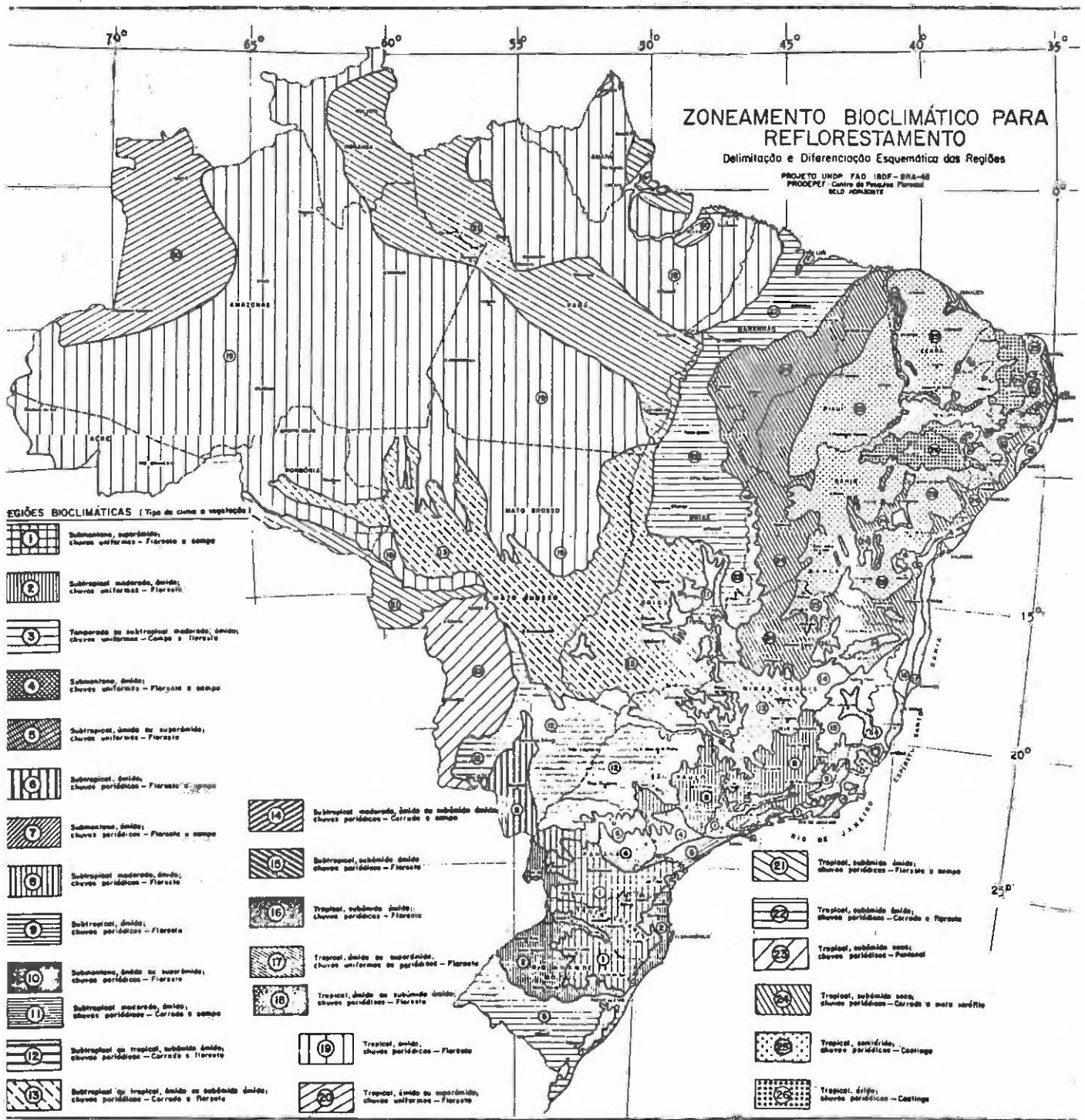
6. METHODES AYANT DONNE LES MEILLEURS RESULTATS POUR LA MULTIPLICATION VEGETATIVE DES ESSENCES PRINCIPALES

| <u>Essence</u>                  | <u>Méthode</u> | <u>% de réussite</u> |
|---------------------------------|----------------|----------------------|
| <u>Eucalyptus camaldulensis</u> | Bouturage      | 60                   |
| <u>E. tereticornis</u>          | Bouturage      | 50                   |
| <u>E. grandis</u>               | Greffage       | 60                   |
| <u>E. dunnii</u>                | Greffage       | 70                   |
| <u>E. dunnii</u>                | Bouturage      | 50                   |
| <u>Pinus kesiya</u>             | Greffage       | 80                   |
| <u>P. caribaea</u>              | Greffage       | 70                   |

7. REFERENCES CONCERNANT L'AMELIORATION GENETIQUE

Veuillez énumérer les références concernant l'amélioration génétique forestière dans votre pays, dans des publications, rapports, etc.

|                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| Revista do IPEF           | Proceedings da IUFRO     |
| Boletim técnico da SIF    | Revista Arvore           |
| Circular técnica do IPEF  | PRODEPEF - Série técnica |
| Silvicultura em São Paulo |                          |



CHILI

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

1.1 Superficie: 2 007 000 km<sup>2</sup> dont 757 000 km<sup>2</sup> continentaux et insulaires et  
1 250 000 km<sup>2</sup> antarctiques.

1.2 Situation : longitude 67°30'-75°30'W; latitude 17°30'-56°S (Chili continental).  
Mais va jusqu'à l'Antarctide

1.3 Population: 11 000 000 d'habitants

1.4 Principales zones de climat et de végétation:

Climats: a) aride subtropical

b) tempéré chaud à humidité suffisante

c) tempéré pluvieux

d) tundra

e) steppe froide

f) climat glacial

Végétation: a) zone sèche

b) zone semi-humide

c) zone humide

d) zone andine

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

2.1 Superficie boisée: 20 000 000 ha

2.2 Taux de boisement: 26% (Chili continental et insulaire)

2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite? OUI

2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale quels en sont les principaux objectifs déclarés? Parvenir à une croissance et un développement accéléré du secteur forestier grâce à des mesures de conservation, protection, aménagement et utilisation des ressources forestières conformes aux intérêts de la nation et tenant compte des limitations économiques et écologiques du pays.

2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique? OUI

2.5 Propriété des forêts

Domaniales: 60%

Privées : 40%

2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme et miel d'abeilles, grumes de placage, bois de traverses, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):

Pâte chimique, pâte mécanique, papier journal, autres papiers, cartons, panneaux de fibres, panneaux de particules, contreplaqués, placages, bois en grumes, bois sciés, poteaux, pieux, traverses, miel, écorces, feuilles, champignons.

(CHILI)

| 2.7 Personnel forestier                           | <u>Fonctionnaires</u> | <u>Autres</u> |
|---------------------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Niveau ingénieur                                  | 60                    | 300           |
| Niveau technicien supérieur (diplômé ou certifié) | 100                   | 360           |

2.8 Budget brut annuel du secteur forestier: 20 000 000 \$US.

### 3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

#### 3.1 Superficies

3.1.1 Superficie totale nette 1/ de plantations à fin 1978: 712 000 ha.

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays: 70 000 ha/an.

#### 3.2 Organisation et administration des plans de reboisement

3.2.1 Services forestiers d'Etat: -  
Autres (précisez): Petits particuliers: 45%  
Grandes entreprises: 55%

3.3 Destinations principales prévues (par exemple, bois de sciage, poteaux et pieux, bois à pâte, bois de feu, protection, etc.)

##### 3.3.1 Essences autochtones

| <u>Destination</u> | <u>Essences</u>           | <u>Superficie (nette) (ha) 1/</u> | <u>Révolution (ans)</u> | <u>Accroissement moyen annuel (sous écorce) à la fin de la révolution (m3/ha/an)</u> |
|--------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Sciages            | <u>Nothofagus spp.</u>    | 500/an<br>2 000 total             | 80                      | 14                                                                                   |
| Fourrage           | <u>Atriplex repanda</u>   | 400/an<br>2 000 total             | -                       | -                                                                                    |
| Ecorce             | <u>Quillaja saponaria</u> | 100/an<br>800 total               | 40                      | 7                                                                                    |

##### 3.3.2 Essences introduites

| <u>Destination</u>                 | <u>Essences</u>            | <u>Superficie (nette) (ha) 1/</u> | <u>Révolution (ans)</u> | <u>Accroissement moyen annuel (sous écorce) à la fin de la révolution (m3/ha/an)</u> |
|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Papier, sciages, pâte              | <u>Pinus radiata</u>       | 62 000/an<br>640 000 total        | 20-25                   | 22                                                                                   |
| Bois de feu, poteaux, parquets     | <u>Eucalyptus globulus</u> | 3 500/an<br>40 000 total          | 15-20                   | 25-30                                                                                |
| Allumettes, sciages pour caisserie | <u>Populus spp.</u>        | 2 200/an<br>22 200 total          | 15-20                   | 25-30                                                                                |

1/ La superficie nette est la superficie brute de plantations, moins la superficie occupée par les routes et chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(CHILI)

| <u>Destination</u> | <u>Essence</u>     | <u>Superficie<br/>(nette)<br/>(ha) 1/</u> | <u>Révolution<br/>(ans)</u> | <u>Accroissement moyen<br/>annuel (sous écorce)<br/>à la fin de la révo-<br/>lution (m3/ha/an)</u> |
|--------------------|--------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sciages            | <u>Pseudotsuga</u> | 700/an                                    | 80                          | 13                                                                                                 |
|                    | <u>menziesii</u>   | 2 000 total                               |                             |                                                                                                    |
| Fourrage           | <u>Atriplex</u>    | 600/an                                    | -                           | -                                                                                                  |
|                    | <u>nummularia</u>  | 3 000 total                               |                             |                                                                                                    |

#### 4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

##### 4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées)?  
Pour très peu d'essences

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences? OUI

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température? OUI

4.1.4 L'offre nationale de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1? OUI

3.3.2? OUI

#### 5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

##### 5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière?

5.1.1 Dans l'affirmative, énumérer les essences concernées:

- Pinus radiata, par la création de vergers à graines
- Diverses essences faisant l'objet d'essais de provenances (voir § 5.2.1).
- Nothofagus alpina, essence autochtone, par une étude de variabilité.

5.1.2 Caractères les plus importants faisant l'objet d'amélioration génétique:

Rapidité de croissance  
Forme générale  
Adaptabilité générale

Volume  
Densité du bois  
Résistance à Dothistroma pini

1/ La superficie nette est la superficie brute des plantations, moins la superficie occupée par les routes, chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(CHILI)

5.2 Brève esquisse des méthodes d'amélioration génétique déjà appliquées:

5.2.1 Essais d'espèces et de provenances (indiquer entre parenthèse le nombre de provenances essayées):

|                                |      |                              |      |
|--------------------------------|------|------------------------------|------|
| <u>Eucalyptus delegatensis</u> | (12) | <u>Pinus radiata</u>         | (14) |
| <u>E. regnans</u>              | (6)  | <u>P. ponderosa</u>          | (6)  |
| <u>E. obliqua</u>              | (4)  | <u>P. contorta</u>           | (3)  |
| <u>E. biscotata</u>            | (4)  | <u>P. muricata</u>           | (2)  |
| <u>E. camaldulensis</u>        | (3)  | <u>Pseudotsuga menziesii</u> | (26) |

5.2.2 Superficie de peuplement semencier de chacune des essences principales:

Pinus radiata: 120 ha

5.2.3 Arbres "plus" des essences principales (indiquer entre parenthèse le nombre d'arbres):

Pinus radiata: 35 arbres, avec une intensité de sélection de 1 sur 120 000.

5.2.4 Vergers à graines (essences, superficie et nombre de clones ou d'arbres mères):

Seulement pour Pinus radiata. 2 types de vergers: (1) vergers de clones, au nombre de 8, de 42 clones chacun, d'une superficie unitaire comprise entre 11 et 30 ha, moyenne 20 ha; (2) vergers de familles, au nombre de 3, de 200 familles et 20 ha chacun.

5.2.5 Essais de descendance (essences et superficie) 55 ha d'essais de provenances de Pinus radiata plantés en mai 1980 sur 14 stations différentes.

5.2.6 Autres méthodes d'amélioration génétique (précisez):

On a sélectionné 38 000 arbres semenciers de Pinus radiata, qui ont produit 7 000 kg de semences avec une amélioration espérée de l'ordre de 5 à 8%.

6. METHODES AYANT DONNE LES MEILLEURS RESULTATS POUR LA MULTIPLICATION VEGETATIVE DES ESSENCES PRINCIPALES

| <u>Essence</u>       | <u>Méthode</u> | <u>% de réussite</u> |
|----------------------|----------------|----------------------|
| <u>Pinus radiata</u> | Grefe latérale | 80                   |

7. REFERENCES CONCERNANT L'AMELIORATION GENETIQUE

Veuillez énumérer les références concernant l'amélioration génétique forestière dans votre pays, dans des publications, rapports, etc.

Burdon, R. Mejoramiento genético forestal en Chile. Documento de trabajo No.11. FO:DP/CHI/76/003 Investigación y desarrollo forestal. Santiago de Chile, 1978.

Delmastro, R. Proposición de un programa cooperativo de mejoramiento genético entre la Universidad Austral, instituciones y empresas forestales. Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 1976.

(CHILI)

- Delmastro, R. Informe de genética forestal. Proyecto CONAF/PNUD/FAO/CHI/76/003. Código III - 1.1 Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 1977.
- Moreno, D.G. Consideraciones preliminares para un programa de mejoramiento genético. (En prensa, para ser publicado en mayo de 1980 en el Suplemento de "Chile Forestal").
- Moreno, D.G. y Stutz, C. Informe de la gira a Nueva Zelandia sobre mejoramiento genético. Documento interno presentado a la Dirección Ejecutiva de CONAF a la Dirección del Proyecto CONAF/PNUD/FAO/CHI/76/003. Chillán, Chile, 1979.
- Delmastro, R. Primer informe anual. Convenio de mejoramiento genético UACH - empresas forestales. Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 1977.
- Delmastro, R. Segundo informe anual. Convenio de mejoramiento genético UACH - empresas forestales. Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 1978.
- Delmastro, R. Manual para los ensayos de progenie de polinización abierta. Convenio de mejoramiento genético UACH - empresas forestales. Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 1979.
- Smith, V.N. Selección de árboles plus en Constitución, provincia de Maule. Actas V jornadas forestales. Asociación Chilena de Ingenieros Forestales Los Angeles, Chile, 1969.
- Aparico, J. y Siri, A. Estudio de variación en plántulas de Pinus radiata D. Don. en Chile. Tesis Facultad de Agronomía, Escuela de Ingeniería Forestal, Universidad de Chile, Santiago, 1970.
- Garrido, R. Ibarra, M. Steinmetz, J. y Seron, J. Variación de poblaciones naturales de Raulí (Nothofagus alpina (Poepp. et Endl.) Oerst). Revisión bibliográfica. CONAF-FAO. FO:DP/CHI/76/003. Documento de trabajo No.28, Santiago de Chile, 1979.

COLOMBIE

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

- 1.1 Superficie: 1 138 914 km<sup>2</sup>
- 1.2 Situation: longitude 74°05'W; latitude 4°36'N
- 1.3 Population: 28 000 000 d'habitants
- 1.4 Principales zones de climat et de végétation:

Il existe dans le pays des zones bioclimatiques diverses, parmi lesquelles se distinguent notamment les types bh-T et bmh-T sur la côte pacifique et en Amazonie; bs-T sur la côte atlantique et dans l'est du pays; les forêts prémon- gnardes et montagnardes dans la zone andine.

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

- 2.1 Superficie boisée: 36 426 000 ha (1977)
- 2.2 Taux de boisement: 38%
- 2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite? OUI

- 2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale quels en sont les principaux objectifs déclarés?

Aménagement rationnel des superficies forestières, classées en forêts de production, de production/protection, et de protection. Impulsion en vue de la conservation et de l'aménagement des bassins versants dans la zone andine. Développement, par l'intermédiaire de services d'appui, d'aspects tels que, entre autres: reboisement, protection, assistance technique, recherche, commercialisation des produits.

- 2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique? OUI

- 2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, grumes de placage, bois de traverses, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):

Pâte, papier, carton - sciage - placage, contreplaqué, panneaux de particules, panneaux de fibres - bois ronds - poteaux, manches d'outils, clôtures, traverses, charbon de bois, caoutchouc, balata, baume de Tolu, huiles essentielles, chicle, etc.

| 2.7 Personnel forestier                              | <u>Fonctionnaires</u> | <u>Autres</u> |
|------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Niveau ingénieur                                     | 270                   | 650           |
| Niveau technicien supérieur<br>(diplômé ou certifié) | 30                    | 90            |

(COLOMBIE)

3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

3.1 Superficies

3.1.1 Superficie totale nette 1/ de plantations à fin 1978: 80 000 ha.

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays:  
40 000 ha/an.

3.2 Organisation et administration des plans de reboisement

3.2.1 Services forestiers d'Etat : 20%  
Autres: Corporations forestières: 30%  
Sociétés privées : 50%

3.3 Destination principales prévues (par exemple, bois de sciage, poteaux et pieux, bois à pâte, bois de feu, protection, etc.)

3.3.1 Essences autochtones

| Destination                                | Essence                     | Superficie<br>(nette)<br>(ha) 1/ | Révolution<br>(ans) | Accroissement moyen<br>annuel (sous écorce)<br>à la fin de la révo-<br>lution (m3/ha/an) |
|--------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ebénisterie                                | <u>Tabebuia rosea</u>       | 250                              | 30                  |                                                                                          |
| Ebénisterie                                | <u>Alnus jorullensis</u>    | 500                              | 30                  |                                                                                          |
| Ebénisterie,<br>menuiseries<br>intérieures | <u>Cordia alliodora</u>     | 650                              | 25-30               |                                                                                          |
| Ebénisterie                                | <u>Cariniana pyriformis</u> | 700                              | 30                  |                                                                                          |

3.3.2 Essences introduites

| Destination  | Essence                     | Superficie<br>(nette)<br>(ha) 1/ | Révolution<br>(ans) | Accroissement moyen<br>annuel (sous écorce)<br>à la fin de la révo-<br>lution (m3/ha/an) |
|--------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pâte         | <u>Pinus patula</u>         | 25 000                           | 15-25               | 20                                                                                       |
| Bois ronds   | <u>Eucalyptus globulus</u>  | 18 000                           | 8-15                | 22                                                                                       |
| Pâte         | <u>Cupressus lusitanica</u> | 21 000                           | 15-25               | 18                                                                                       |
| Pâte         | <u>Pinus radiata</u>        | 3 000                            | 15                  | 15                                                                                       |
| Construction | <u>Tectona grandis</u>      | 1 000                            | 40                  | 15                                                                                       |
| Bois ronds   | <u>Eucalyptus spp.</u>      | 4 000                            | 12-15               | 18                                                                                       |
|              | Autres essences             | 6 000                            | variable            |                                                                                          |

1/ La superficie nette est la superficie brute de plantations, moins la superficie occupée par les routes et chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(COLOMBIE)

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

- 4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées)? OUI
- 4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences? OUI
- 4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température? OUI
- 4.1.4 L'offre nationale de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1? NON

3.3.2? NON

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière? OUI

5.1.1 Dans l'affirmative, énumérer les essences concernées:

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| <u>Pinus patula</u>         | <u>Pinus kesiya</u>         |
| <u>Cupressus lusitanica</u> | <u>Eucalyptus globulus</u>  |
| <u>Pinus oocarpa</u>        | <u>Eucalyptus grandis</u>   |
| <u>Pinus caribaea</u>       | <u>Gmelina arborea</u>      |
| <u>Cordia alliodora</u>     | <u>Cariniana pyriformis</u> |

5.1.2 Caractères les plus importants faisant l'objet d'amélioration génétique:

|                       |                                |
|-----------------------|--------------------------------|
| Croissance en hauteur | Angle et grosseur des branches |
| Poids spécifique      | Taille de la cime              |
| Longueur des fibres   | Aptitude à l'élagage           |
| Forme du fût          |                                |

5.2 Brève esquisse des méthodes d'amélioration génétique déjà appliquées:

5.2.1 Essais d'espèces et de provenances (indiquer entre parenthèse le nombre de provenances essayées):

|                             |      |                             |      |
|-----------------------------|------|-----------------------------|------|
| <u>Cupressus lusitanica</u> | (20) | <u>Eucalyptus globulus</u>  | (32) |
| <u>Pinus caribaea</u>       | (14) | <u>Gmelina arborea</u>      | (11) |
| <u>Pinus oocarpa</u>        | (19) | <u>Cariniana pyriformis</u> | (4)  |
| <u>Pinus kesiya</u>         | (25) | <u>Tectona grandis</u>      | (5)  |
| <u>Pinus patula</u>         | (?)  | <u>Cordia alliodora</u>     | (13) |
|                             |      | <u>Ochroma lagopus</u>      | (5)  |

(COLOMBIE)

- 5.2.2 Superficie de peuplements semenciers de chacune des essences principales (zones de production de semences)

Cordia alliodora

Ochroma lagopus

Jacaranda copaia

- 5.2.3 Arbres "plus" des essences principales (indiquer entre parenthèse le nombre d'arbres):

Cupressus lusitanica (43) arbres présélectionnés

Pinus patula (20)

- 5.2.4 Vergers à graines (essences, superficie et nombre de clones ou d'arbres mères):

Cupressus lusitanica (5 ha, 43 clones)

- 5.2.5 Essais de descendance (essence et superficie)

Cupressus lusitanica

Pinus patula

Cariniana pyriformis

- 5.2.6 Autres méthodes d'amélioration génétique (précisez):

6. METHODES AYANT DONNE LES MEILLEURS RESULTATS POUR LA MULTIPLICATION VEGETATIVE DES ESSENCES PRINCIPALES

| <u>Essence</u>              | <u>Méthode</u>            |
|-----------------------------|---------------------------|
| <u>Bombacopsis quinata</u>  | Grandes boutures          |
| <u>Tabebuia rosea</u>       | Grandes boutures          |
| <u>Cupressus lusitanica</u> | Grefe latérale en placage |
| <u>Pinus patula</u>         | Greffage                  |

7. REFERENCES CONCERNANT L'AMELIORATION GENETIQUE

- Logros genéticos con Cupressus lusitanica a través de 6 años de mejoramiento genético en Colombia. Cartón de Colombia: Investigación Forestal.
- Documentos de Trabajo del Proyecto sobre Investigaciones y Desarrollo Industrial Forestales, INDERENA/PUND/FAO/CONIF COL/74/005:
  - König, A. & Melchior, G.H. Propagación vegetativa en árboles forestales;
  - König, A., Melchior, G.H. & Venegas, T., L. Ensayos de procedencias con Pinus caribaea;
  - König, A. Ensayos de procedencias con Pinus oocarpa y Pinus kesiya en Colombia;
  - Melchior, G.H. Bases y posibilidades del mejoramiento de árboles forestales en Colombia.

COSTA RICA

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

1.1 Superficie: 50 851 km<sup>2</sup>

1.2 Situation: longitude 82°34'-85°59'W; latitude 8°02'-11°13'N

1.3 Population: 2 125 620 habitants

1.4 Principales zones de climat et de végétation:

Zones climatiques: Vallée intermontagnarde, Versant pacifique, Versant atlantique et nord.

Zones de végétation: forêt tropicale (sèche-humide), forêt subtropicale (humide-très humide), forêt de basse montagne (humide-très humide-pluviale), forêt de montagne, forêt subalpine.

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

2.1 Superficie boisée: 2 088 200 ha

2.2 Taux de boisement: 40.9%

2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite? OUI

2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale quels en sont les principaux objectifs déclarés?

A. Transformer les forêts à vocation de production en un système efficace de fourniture de matière première pour l'industrie.

B. Développer des actions de conservation des forêts de protection.

C. Promouvoir le reboisement à grande échelle en tant que meilleure forme de mise en valeur des terres. Renforcer les structures étatiques pour la planification et le contrôle des forêts.

2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique? OUI

2.5 Propriété des forêts

|                    |       |
|--------------------|-------|
| Domaniales         | 11,5% |
| Privées            | 35,0% |
| De collectivités   | 0,3%  |
| Sans régime défini | -     |

2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, grumes de placage, bois de traverses, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):

65 pour cent de la production forestière du pays sont représentés par les bois de sciage pour les besoins intérieurs, et une certaine proportion pour la fabrication de meubles en vue de l'exportation. Le reste est transformé en contreplaqué et panneaux de particules pour l'exportation. Un faible pourcentage est destiné à la fabrication de traverses et d'articles de souvenirs.

(COSTA RICA)

| 2.7 Personnel forestier                              | Fonctionnaires | Autres |
|------------------------------------------------------|----------------|--------|
| Niveau ingénieur                                     | 20             | 32     |
| Niveau technicien supérieur<br>(diplômé ou certifié) | 127            | 29     |

2.8 Budget brut annuel du secteur forestier: 2 264 655,40 \$US.

3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

3.1 Superficies

3.1.1 Superficie totale 1/ de plantations à fin 1978: 810 ha

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays:  
6 200 ha/an.

3.2 Organisation et administration des plans de reboisement

3.2.1 Services forestiers d'Etat: 8%  
Autres (précisez). Entreprise privée 92%

3.3 Destinations principales prévues (par exemple, bois de sciage, poteaux et pieux, bois à pâte, bois de feu, protection, etc.):

3.3.1 Essences autochtones

| Destination | Essence                    | Superficie<br>(nette)<br>(ha) 1/ | Révolution<br>(ans) | Accroissement moyen<br>annuel (sous écorce)<br>à la fin de la révo-<br>lution (m3/ha/an) |
|-------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sciage      | <u>Cordia alliodora</u>    | 20                               | 25                  | 18-20                                                                                    |
| Sciage      | <u>Bombacopsis quinata</u> | 50                               | 25                  | 15                                                                                       |
| Sciage      | <u>Alnus acuminata</u>     | 50                               | 18                  | 35                                                                                       |

3.3.2 Essences introduites

| Destination | Essence                     | Superficie<br>(nette)<br>(ha) 1/ | Révolution<br>(ans) | Accroissement moyen<br>annuel (sous écorce)<br>à la fin de la révo-<br>lution (m3/ha/an) |
|-------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sciage      | <u>Pinus caribaea</u>       | 200                              | 8                   | 30                                                                                       |
| Poteaux     | <u>Eucalyptus deglupta</u>  | 50                               | 5-6                 | 30                                                                                       |
| Sciage      | <u>Cupressus lusitanica</u> | 100                              | 25                  | 20-22                                                                                    |
| Cellulose   | <u>Gmelina arborea</u>      | 20                               | 25                  | 25                                                                                       |
| Sciage      | <u>Tectona grandis</u>      | 300                              | 40                  | 10                                                                                       |

1/ La superficie nette est la superficie brute de plantations, moins la superficie occupée par les routes et chemin, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(COSTA RICA)

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées)? OUI

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences? OUI

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température? OUI

4.1.4 L'offre nationale de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1? NON

3.3.2? NON

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière? NON

7. REFERENCES CONCERNANT L'AMELIORATION GENETIQUE

Veillez énumérer les références concernant l'amélioration génétique forestière dans votre pays, dans des publications, rapports, etc.

Il n'existe pas d'études bibliographiques sur ce thème particulier. Le Service forestier de Costa Rica a seulement édité quelques brochures de vulgarisation sur l'identification des arbres semenciers.

CUBA

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

1.1 Superficie: 110 922 km<sup>2</sup>

1.2 Situation : longitude 74°-85°W; latitude 19°-24°N

1.3 Population: 9 405 000 habitants

2. FORESTS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

2.1 Superficie boisée: 1 691 131 ha

2.2 Taux de boisement: 15%

2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite? OUI

2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale, quels en sont les principaux objectifs déclarés ?

- Reboisement de toute les zones à vocation forestière, pour couvrir en définitive environ 27% du territoire national.
- Aménagement des forêts à des fins de production, protection du milieu, conservation de la faune et récréation.

2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique ? OUI

2.5 Propriété des forêts

Domaniale: 100%

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées) ? OUI

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences ? OUI

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température ? OUI

4.1.4 L'offre national de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1 ? OUI

3.3.2 ? OUI

(CUBA)

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière ? OUI

5.1.1 Dans l'affirmative, énumérer les essences concernées:

|                                            |                        |
|--------------------------------------------|------------------------|
| <u>Pinus caribaea</u> var. <u>Caribaea</u> | <u>Hibiscus elatus</u> |
| <u>P. tropicalis</u>                       | <u>Cedrela odorata</u> |
| <u>P. cubensis</u>                         |                        |
| <u>P. maestrensis</u>                      |                        |

5.1.2 Caractères les plus importants faisant l'objet d'amélioration génétique:

Vigueur  
Rectitude du fût  
Ramification

5.2 Brève esquisse des méthodes d'amélioration génétique déjà appliquées:

5.2.1 Essais d'espèces et de provenances (indiquer entre parenthèse le nombre de provenances essayées):

|                                                 |                                                |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <u>Pinus caribaea</u> var. <u>caribaea</u> (13) | <u>Hibiscus elatus</u> (23)                    |
| <u>P. tropicalis</u> (6)                        | <u>Cedrela odorata</u> (13)                    |
| <u>P. cubensis</u> (10)                         | <u>Tectona grandis</u> (16)                    |
| <u>P. maestrensis</u> (14)                      | <u>Eucalyptus saligna</u> (16)                 |
| <u>Swietenia macrophylla</u> (8)                | <u>P. caribaea</u> var. <u>hondurensis</u> (9) |

5.2.2 Superficie de peuplements semenciers de chacune des essences principales:

|                                                       |                                 |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------|
| <u>Pinus caribaea</u> var. <u>caribaea</u> (1 280 ha) | <u>P. maestrensis</u> (147 ha)  |
| <u>P. tropicalis</u> (175 ha)                         | <u>Hibiscus elatus</u> (130 ha) |
| <u>P. cubensis</u> (572 ha)                           | <u>Cedrela odorata</u> (19 ha)  |

5.2.3 Arbres "plus" des essences principales (indiquer entre parenthèse le nombre d'arbres)

|                                                  |                              |
|--------------------------------------------------|------------------------------|
| <u>Pinus caribaea</u> var. <u>caribaea</u> (270) | <u>P. maestrensis</u> (72)   |
| <u>P. tropicalis</u> (120)                       | <u>Hibiscus elatus</u> (90)  |
| <u>P. cubensis</u> (150)                         | <u>Cedrela odorata</u> (220) |

5.2.4 Vergers à graines (essences, superficie et nombre de clones ou d'arbres mères):

Pinus caribaea var. caribaea (200 ha, 108 clones)  
P. cubensis (45 ha, 98 clones)  
Hibiscus elatus (13 ha, 84 clones)

5.2.5 Essais de descendance (essences et superficie):

|                                                      |                                |
|------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <u>Pinus caribaea</u> var. <u>caribaea</u> (27,5 ha) | <u>P. maestrensis</u> (7 ha)   |
| <u>P. tropicalis</u> (21,5 ha)                       | <u>Hibiscus elatus</u> (3 ha)  |
| <u>P. cubensis</u> (6 ha)                            | <u>Cedrela odorata</u> (15 ha) |

(CUBA)

6. METHODES AYANT DONNE LES MEILLEURS RESULTATS POUR LA MULTIPLICATION VEGETATIVE DES ESSENCES PRINCIPALES

| <u>Essence</u>                             | <u>Méthode</u> | <u>% de réussite</u> |
|--------------------------------------------|----------------|----------------------|
| <u>Pinus caribaea</u> var. <u>caribaea</u> | Greffage       | 80                   |
| <u>P. cubensis</u>                         | "              | 65                   |
| <u>P. maestrensis</u>                      | "              | 70                   |
| <u>Hibiscus elatus</u>                     | "              | 90                   |
| <u>Cedrela odorata</u>                     | "              | 85                   |

7. REFERENCES CONCERNANT L'AMELIORATION GENETIQUE

Veuillez énumérer les références concernant l'amélioration génétique forestière dans votre pays, dans des publications, rapports, etc.

Betancourt, A. & Gonzáles, A. "Trabajo realizados en Cuba sobre mejoramiento genético de P. caribaea Mor. var. caribaea". En: Memorias Especiales de Cuba al VII Congreso Forestal Mundial, p. 7-26.

Gonzáles, A. "Algunos aspectos sobre mejoramiento selectivo de árboles" (mimeografiado). CIF, La Habana, 19 pp.

Thomsen, J. "Genética forestal y manejo de semillas forestales" (-dº-). CIF, La Habana, 246 pp.

Zayas, A. & Burley, J. "Estudio de progenies de P. caribaea var. caribaea en Cajalbana, Cuba, 7 pp.

REPUBLIQUE DOMINICAINE

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

1.1 Superficie: 48 442 km<sup>2</sup>

1.3 Population: 5 200 000 habitants

1.4 Principales zones de climat et de végétation:

Forêt humide de basse montagne (bh-MB)

Forêt sèche subtropicale (bs-S)

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

2.1 Superficie boisée: 100 000 ha

2.2 Taux de boisement: 23%

2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite ? NON

2.5 Propriété des forêts

Domaniales: 70%

Privées: 20%

De collectivités: -

Sans régime défini: 10%

2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, grumes de placage, bois de traverses, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):

Bois de feu

Pieux de clôture

Poteaux pour lignes électriques

| 2.7 Personnel forestier                              | <u>Fonctionnaires</u> | <u>Autres</u> |
|------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Niveau ingénieur                                     | 2                     | 4             |
| Niveau technicien supérieur<br>(diplômé ou certifié) | 30                    | 5             |

2.8 Budget brut du secteur forestier: 3 000 000 \$US.

3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

3.1 Superficies

3.1.1 Superficie totale nette 1/ de plantations à fin 1978: 2 000 ha

---

1/ La superficie nette est la superficie brute de plantations, moins la superficie occupée par les routes, chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(REPUBLIQUE DOMINICAINE)

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays:  
1 200 ha/an.

3.2 Organisation et administration des plans de reboisement

3.2.1 Services forestiers d'Etat: 95%  
Autres (précisez): 5 entreprises minières et privées: 5%

3.3 Destinations principales prévues (par exemple, bois de sciage, poteaux et pieux, bois à pâte, bois de feu, protection, etc.)

3.3.1 Essences autochtones

| <u>Destination</u> | <u>Essence</u>            | <u>Superficie<br/>(nette)<br/>(ha) 1/</u> | <u>Révolution<br/>(ans)</u> | <u>Accroissement moyen<br/>annuel (sous écorce)<br/>à la fin de la révo-<br/>lution (m3/ha/an)</u> |
|--------------------|---------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Protection         | <u>Pinus occidentalis</u> | 1 000                                     | 30                          | -                                                                                                  |

3.3.2 Essences introduites

| <u>Destination</u>              | <u>Essence</u>            | <u>Superficie<br/>(nette)<br/>(ha) 1/</u> | <u>Révolution<br/>(ans)</u> | <u>Accroissement moyen<br/>annuel (sous écorce)<br/>à la fin de la révo-<br/>lution (m3/ha/an)</u> |
|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Protection et<br>bois de sciage | <u>Pinus caribaea</u>     | 800                                       | 20                          | -                                                                                                  |
| Bois de feu                     | <u>Eucalyptus robusta</u> | -                                         | -                           | -                                                                                                  |

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées) ? NON

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences? NON

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température ? OUI

4.1.4 L'offre nationale de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1 ? OUI

3.3.2 ? NON

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière ? NON

1/ La superficie nette est la superficie brute de plantations, moins la superficie occupée par les routes et chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

EQUATEUR

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

- 1.1 Superficie: 275 414 km<sup>2</sup>
- 1.2 Situation : longitude 78°30'W; latitude 0°0'
- 1.3 Population: 7 000 000 d'habitants
- 1.4 Principales zones de climat et de végétation:  
Depuis le désert tropical jusqu'à l'étage nival

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

- 2.1 Superficie boisée: 17 734 000 ha
- 2.2 Taux de boisement: 64,45%
- 2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite ? OUI
  - 2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale, quels en sont les principaux objectifs déclarés ?

Assurer la consommation intérieure de matière première forestière et la conservation des ressources naturelles renouvelables.

- 2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique ? OUI
- 2.5 Propriété des forêts

|                     |        |
|---------------------|--------|
| Domaniales          | 12,41% |
| Privées:            | 0,12%  |
| De collectivités:   | 0,02%  |
| Sans régime défini: | 87,45% |

- 2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, grumes de placage, bois de traverses, pieux, pilots et poteaux, bois à pâte):

Bois de sciage; bois en grume pour contreplaqué et panneaux; traverses, poteaux; pieux; bois de feu et charbon de bois.

| 2.7 Personnel forestier                              | <u>Fonctionnaires</u> | <u>Autres</u> |
|------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Niveau ingénieur                                     | 53                    | 20            |
| Niveau technicien supérieur<br>(diplômé ou certifié) | 114                   | 33            |

- 2.8 Budget brut annuel du secteur forestier: 600 000 \$US.

(EQUATEUR)

3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

3.1 Superficies

3.1.1 Superficie totale nette 1/ de plantations à fin 1978: 25 425 ha

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays:  
5 000 ha/an

3.2 Organisation et administration des plans de reboisement

3.2.1 Services forestiers d'Etat: 70,0%  
Autres (précisez). 30,0%

3.3 Destinations principales prévues (par exemple, bois de sciage, poteaux et pieux, bois à pâte, bois de feu, protection, etc.)

3.3.1 Essences autochtones

| Destination          | Essence                         | Superficie<br>(nette)<br>(ha) 1/ | Révolution<br>(ans) | Accroissement moyen<br>annuel (sous écorce)<br>à la fin de la révo-<br>lution (m3/ha/an) |
|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sciage et<br>lamellé | <u>Cordia alliodora</u>         | 1 048                            | 25                  | 14                                                                                       |
| Conservation         | <u>Prosopis juliflora</u>       | 173                              | non définie         | 10                                                                                       |
| Sciage et pilots     | <u>Centrolobium patinense</u>   | 39                               | 40                  | 14                                                                                       |
| Conservation         | <u>Pseudosamanea guachapele</u> | 38                               | non définie         | 18                                                                                       |
| Divers usages        | Essences diverses               | 122                              | non définie         | variable                                                                                 |

3.3.2 Essences introduites

| Destination              | Essence                    | Superficie<br>(nette)<br>(ha) 1/ | Révolution<br>(ans) | Accroissement moyen<br>annuel (sous écorce)<br>à la fin de la révo-<br>lution (m3/ha/an) |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sciage et<br>bois de feu | <u>Eucalyptus globulus</u> | 17 405                           | 20                  | 18                                                                                       |
| Sciage                   | <u>Pinus radiata</u>       | 5 177                            | 30                  | 14                                                                                       |
| Sciage et lamellé        | <u>Tectona grandis</u>     | 646                              | 30                  | 12                                                                                       |
| Sciage et<br>bois de feu | <u>Eucalyptus saligna</u>  | 156                              | 20                  | 16                                                                                       |
| Sciage et pieux          | <u>E. camaldulensis</u>    | 132                              | 20                  | 14                                                                                       |
| Divers usages            | Essences diverses          | 129                              | variable            | variable                                                                                 |

1/ La superficie nette est la superficie brute des plantations, moins la superficie occupée par les routes et chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(EQUATEUR)

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées) ? NON

On récolte des semences pour les reboisement locaux.

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences ? NON

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température ? NON

4.1.4 L'offre nationale de semences couvre-t-elle la demande pour les semences énumérées en:

3.3.1 ? OUI

3.3.2 ? Pour Eucalyptus globulus et Tectona grandis

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière ? NON.

GUATEMALA

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

1.1 Superficie: 108 900 km<sup>2</sup>

1.3 Population: 7 045 800 habitants

1.4 Principales zones de climat et de végétation:

- a) Côte sud: Forêts tropicales et subtropicales.
- b) Altiplano occidental: Froid humide et très humide, forêts mixtes et conifères
- c) Région centrale: Conifères à l'ouest et humide, forêts tropicales et subtropicales sèches à l'est.
- d) Altiplano oriental: Froid sec, conifères et forêts mixtes.
- e) Centre Nord: Tropical humide et très humide, conifères et feuillus.
- f) Nord (Petén): Forêts tropicales d'essences précieuses, très humide.

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

2.1 Superficie boisée: 3 610 000 ha

2.2 Taux de boisement: 39,7%

2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite ? OUI

2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale, quels en sont les principaux objectifs déclarés ?

- a) Conserver les superficies boisées existantes;
- b) Accroître les superficies boisées par des reboisements ordonnés;
- c) Promouvoir le développement d'une industrie forestière,

2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique ? OUI

2.5 Propriété des forêts

Domaniales: 100%

2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, grumes de placage, bois de traverses, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):

Bois de sciage (palo blanco, acajou, cedro, pin); grumes pour contreplaqué, poteaux, combustible.

2.8 Budget brut annuel du secteur forestier: 11 000 000 \$US.

(GUATEMALA)

3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

3.1 Superficies

3.1.1 Superficie totale nette 1/ de plantations à fin 1978: 3 610 000 ha.

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays: 12 000 ha/an.

3.2 Organisation et administration des plans de reboisement

3.2.1 Services forestiers d'Etat: 100%

3.3 Destinations principales prévues (par exemple, bois de sciage, poteaux et pieux, bois à pâte, bois de feu, protection, etc.)

3.3.1 Essences autochtones

| <u>Destination</u> | <u>Essence</u> | <u>Superficie<br/>(nette)<br/>(ha) 1/</u> | <u>Révolution<br/>(ans)</u> | <u>Accroissement moyen<br/>annuel (sous écorce)<br/>à la fin de la révo-<br/>lution (m3/ha/an)</u> |
|--------------------|----------------|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reboisement        | Conifères      | 3 000                                     |                             |                                                                                                    |
|                    | Feuillus       | 9 000                                     |                             |                                                                                                    |

3.3.2 Essences introduites

| <u>Destination</u> | <u>Essence</u>               | <u>Superficie<br/>(nette)<br/>(ha) 1/</u> | <u>Révolution<br/>(ans)</u> | <u>Accroissement moyen<br/>annuel (sous écorce)<br/>à la fin de la révo-<br/>lution (m3/ha/an)</u> |
|--------------------|------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reboisement        | <u>Leucaena leucocephala</u> |                                           |                             | Récemment introduit                                                                                |
| Reboisement        | <u>Sesbania aculeata</u>     |                                           |                             | Récemment introduit                                                                                |

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées) ? OUI

Décret gouvernemental du 8 mars 1979.

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences ? OUI

BANSEFOR.

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température ? OUI, BANSEFOR.

1/ La superficie nette est la superficie brute des plantations, moins la superficie occupée par les routes et chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(GUATEMALA)

4.1.4 L'offre nationale de sémences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1 ? OUI

3.3.2 ? OUI

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière ? NON

5.2 Brève esquisse des méthodes d'amélioration génétique déjà appliquées:

5.2.2 Superficie de peuplement semenciers de chacune des essences principales:

|           |          |
|-----------|----------|
| Conifères | 1 295 ha |
| Feuillus  | 200 ha   |

5.2.3 Arbres "plus" des essences principales (indiquer entre parenthèses le nombre d'arbres):

|           |       |
|-----------|-------|
| Conifères | (155) |
| Feuillus  | ( - ) |

5.2.4 Vergers à graines (essences, superficie et nombre de clones ou d'arbres mères):

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| <u>Leucaena leucocephala</u> | 3 ha (1 000) |
| <u>Sesbania aculeata</u>     | 1 ha ( 100)  |

HONDURAS

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

- 1.1 Superficie: 113 000 km<sup>2</sup>
- 1.2 Situation : longitude 85°W; latitude 14°N
- 1.3 Population: 4 000 000 d'habitants
- 1.4 Principales zones de climat et de végétation: Tropical.

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

- 2.1 Superficie boisée: 7 400 000 ha
- 2.2 Taux de boisement: 65%
- 2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite ? OUI
  - 2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale, quels en sont les principaux objectifs déclarés ?
    - Assurer la permanence de bénéfices maxima pour la nation de la flore, de la faune et des sols dans les zones forestières;
    - Assurer la protection et l'amélioration de celles-ci;
    - Rationaliser l'exploitation, la transformation industrielle et la commercialisation des produits forestiers.
- 2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique ? OUI
- 2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, bois de placage, bois de traverses, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):

Bois de sciage, placages, traverses, bois de feu.

| 2.7 Personnel forestier                              | <u>Fonctionnaires</u> | <u>Autres</u> |
|------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Niveau ingénieur                                     | 76                    |               |
| Niveau technicien supérieur<br>(diplômé ou certifié) | 196                   |               |

- 2.8 Budget brut annuel du secteur forestier: 80 000 000 \$US.

3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

- 3.1 Superficies
  - 3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays: 12 600 ha/an.

HONDURAS

3.2 Organisation et administration des plans de reboisement

3.2.1 Services forestiers d'Etat: 100%

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées) ? NON

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences ? OUI

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température ? OUI

4.1.4 L'offre nationale de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1 ? OUI

3.3.2 ? Peu de travail.

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière ? OUI

5.1.1 Dans l'affirmative, énumérer les essences concernées:

Pinus oocarpa

Pinus caribaea

Pinus pseudostrobus

Cordia alliodora

Liquidambar styraciflua

Didymopanax morototoni

Quercus spp.

Leucaena leucocephala

5.1.2 Caractères les plus importants faisant l'objet d'amélioration génétique:

Forme du fût

Production de résine

Longueur des fibres

Densité du bois

Pouvoir calorifique

5.2 Brève esquisse des méthodes d'amélioration génétique déjà appliquées:

5.2.1 Essais d'espèces et de provenances (indiquer entre parenthèse le nombre de provenances essayées):

Pinus oocarpa (29)

Pinus caribaea (26)

Pinus pseudostrobus (18)

Cordia alliodora (6)

(HONDURAS)

5.2.2 Superficie de peuplement semenciers de chacune des essences principales:

Non encore déterminées.

5.2.3 Arbres "plus" des essences principales (indiquer entre parenthèse le nombre d'arbres):

La sélection n'en est pas terminée.

5.2.4 Vergers à graines (essences, superficie et nombre de clones ou d'arbres mères):

Le premier sera établi cette année; pas encore de données disponibles.

5.2.5 Essais de descendance (essences et superficie):

Seront commencés en 1980.

7. REFERENCES CONCERNANT L'AMELIORATION GENETIQUE

Veuillez énumérer les références concernant l'amélioration génétique forestière dans votre pays, dans des publications, rapports, etc.

Nous préparons la publication de certaines expériences.

NICARAGUA

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

1.1 Superficie: 130 000 km<sup>2</sup>

1.2 Situation : longitude 83°30'-87°20'W; latitude 10°45'-15°05'N

1.3 Population: 2 500 000 habitants

1.4 Principales zones de climat et de végétation:

Forêt tropicale sèche. Forêt tropicale humide. Végétation montagnarde et savane arborée à pins. Climat tropical de forêt ombrophile, de forêt de mousson et de savane et climat subtropicale de montagne.

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

2.1 Superficie boisée: 4 550 000 ha.

2.2 Taux de boisement: 35%

2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite ? OUI

2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale, quels en sont les principaux objectifs déclarés ?

Nationalisation et utilisation rationnelle des forêts.

2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique ? OUI

2.5 Propriété des forêts:

Domaniales: 20%  
Sans régime défini: 80%

2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, grumes de placage, bois de traverses, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):

Bois de sciage: 1 000 000 m<sup>3</sup>/an.

2.7 Personnel forestier

|                                                      | <u>Fonctionnaires</u> | <u>Autres</u> |
|------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Niveau ingénieur                                     | 7                     | 3             |
| Niveau technicien supérieur<br>(diplômé ou certifié) | 12                    | 3             |

2.8 Budget brut annuel du secteur forestier: 1 500 000 \$US.

(NICARAGUA)

3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

3.1 Superficies

3.1.1 Superficie totale nette 1/ de plantation à fin 1978: 1 500 ha.

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays: 5 000 ha/an.

3.2 Organisation et administration des plans de reboisement

3.2.1 Services forestiers d'Etat: 100%

3.3 Destination principales prévues (par exemple, bois de sciage, poteaux et pieux, bois à pâte, bois de feu, protection, etc.)

3.3.1 Essences autochtones

| <u>Destination</u> | <u>Essence</u>        | <u>Superficie<br/>(nette)<br/>(ha) 1/</u> | <u>Révolution<br/>(ans)</u> | <u>Accroissement moyen<br/>annuel (sous écorce)<br/>à la fin de la révo-<br/>lution (m3/ha/an)</u> |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bois à pâte        | <u>Pinus caribaea</u> | 3 000                                     | 25                          | 4                                                                                                  |
| Bois de feu        | <u>Leucaena spp.</u>  | 500                                       | 4                           | 30                                                                                                 |

3.3.2 Essences introduites

| <u>Destination</u> | <u>Essence</u>       | <u>Superficie<br/>(nette)<br/>(ha) 1/</u> | <u>Révolution<br/>(ans)</u> | <u>Accroissement moyen<br/>annuel (sous écorce)<br/>à la fin de la révo-<br/>lution (m3/ha/an)</u> |
|--------------------|----------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Protection et      | <u>Eucalyptus</u>    | 1 000                                     | -                           | -                                                                                                  |
| bois de feu        | <u>camaldulensis</u> | 500                                       | 4                           | 30                                                                                                 |

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences principales (autrement dit restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées) ? NON

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences ? NON

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température ? NON

4.1.4 L'offre nationale de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1 ? OUI

3.3.2 ? NON

1/ La superficie nette est la superficie brute des plantations, moins la superficie occupée par les routes et les chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(NICARAGUA)

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière ? NON.

PANAMA

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

1.1 Superficie: 77 082 km<sup>2</sup>

1.2 Situation : Longitude 77°09'-83°03'W; latitude 7°12'-9°38'N

1.3 Population: 1 881 400 habitants

1.4 Principales zone de climat et de végétation:

Forêt tropicale sèche, forêt tropicale humide, forêt tropicale très humide, forêt prémontagnarde très humide, forêt prémontagnarde ombrophile, forêt de basse montagne très humide.

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

2.1 Superficie boisée: 3 255 900 ha

2.2 Taux de boisement: 50%

2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite ? OUI

2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale, quels en sont les principaux objectifs déclarés ?

Réduire les importations par le développement des industries locales et la promotion des produits locaux, et viser à remédier au déficit des approvisionnements locaux en matière première pour satisfaire les besoins de bois et produits dérivés.

2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique ? OUI

2.5 Propriété des forêts

Domaniales: 100%

2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, grumes de placage, bois de traverses, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):

Méubles, poteaux, bois de charpente, bois de traverses, contreplaqué, panneaux.

3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

3.1 Superficies

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays: 10 000 ha/an.

(NICARAGUA)

3.2 Organisation et administration des plans de reboisement

3.2.1 Services forestiers d'Etat: 100%

3.3 Destinations principales prévues (par exemples, bois de sciage, poteaux et pieux, bois à pâte, bois de feu, protection, etc.)

3.3.1 Essences autochtones

| Destination                     | Essence                     | Superficie<br>(nette)<br>(ha) 1/ | Révolution<br>(ans) | Accroissement moyen<br>annuel (sous écorce)<br>à la fin de la révo-<br>lution m3/ha/an |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Meubles et bois<br>de charpente | <u>Cedrela odorata</u>      |                                  |                     |                                                                                        |
| Boisements muraux               | <u>Bombacopsis quinata</u>  |                                  |                     |                                                                                        |
| Pieux de clôture                | <u>Cordia alliodora</u>     |                                  |                     |                                                                                        |
| Bois d'oeuvre                   | <u>Tabebuia pentaphylla</u> |                                  |                     |                                                                                        |
| Bois d'oeuvre                   | <u>Tabebuia guayacan</u>    |                                  |                     |                                                                                        |

3.3.2 Essences introduites

| Destination               | Essence                      | Superficie<br>(nette)<br>(ha) 1/ | Révolution<br>(ans) | Accroissement moyen<br>annuel (sous écorce)<br>à la fin de la révo-<br>lution (m3/ha/an) |
|---------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Poteaux, bois<br>d'oeuvre | <u>Tectona grandis</u>       | 5,41                             |                     |                                                                                          |
| Bois d'oeuvre             | <u>Gmelina arborea</u>       | 7,7                              |                     |                                                                                          |
| Reboisement               | <u>Pinus caribaea</u>        | 2 400                            |                     |                                                                                          |
| Bois d'oeuvre             | <u>Anthocephalus cadamba</u> | 1,05                             |                     |                                                                                          |
| Bois d'oeuvre             | <u>Hibiscus elatus</u>       | 0,95                             |                     |                                                                                          |

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées) ? OUI

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences ? OUI

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température ? OUI

1/ La superficie nette est la superficie brute des plantations, moins la superficie occupée par les routes et chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(NICARAGUA)

4.1.4 L'offre national de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1 ? 65%

3.3.2 ? 50%

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière ? NON

PARAGUAY

1. INFORMATIONS SUR LE PAYS

1.1 Superficie: 406 752 km<sup>2</sup>

1.2 Situation : longitude 54°-63°W; latitude 19°-28°S

1.3 Population: 3 500 000 habitants

1.4 Principales zones de climat et de végétation:

Climat tempéré subtropical

Végétation: Steppe à épineux et forêt sèche (Holdridge) - région occidentale

Forêt humide (Holdridge) - région orientale.

2. FORESTS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

2.1 Superficie boisée: 6 000 000 ha

2.2 Taux de boisement: 45%

2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite ? OUI

2.3.1 S'il y a une politique nationale, quels en sont les principaux objectifs déclarés ?

- a) Plan d'aménagement; b) Plan de reboisement; c) Plan de parcs nationaux  
d) Plan quinquennal pour les industries forestières

2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique ? OUI

2.5 Propriété des forêts

Domaniales: 10%

Privées: 90%

2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, grumes de placage, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):

- a) Sciages; b) Grumes de placage; c) Bois de traverses; d) Poteaux, pilots et pieux; e) Bois de feu et charbon de bois.

2.7 Personnel forestier

Fonctionnaires

Autres

Niveau ingénieur

32

10

Niveau technicien supérieur  
(diplômé ou certifié)

55

10

2.8 Budget brut annuel du secteur forestier: 430 000 \$US.

(PARAGUAY)

3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

3.1 Superficies

3.1.1 Superficie totale nette 1/ de plantations à fin 1978: 5 000 ha

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays:  
1 500 ha/an.

3.2 Organisation et administration des plans de reboisement.

3.2.1 Services forestiers d'Etat: -  
Autres (précisez): Privés : 100%

3.3 Destinations principales prévues (par exemple, bois de sciage, poteaux et pieux, bois à pâte, bois de feu, protection, etc.)

3.3.2 Essences introduites

| <u>Destination</u> | <u>Essence</u>                | <u>Superficie<br/>(nette)<br/>(ha) 1/</u> | <u>Révolution<br/>(ans)</u> | <u>Accroissement moyen<br/>annuel (sous écorce)<br/>à la fin de la révo-<br/>lution (m3/ha/an)</u> |
|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bois à pâte        | <u>Pinus elliottii</u>        | 4 500                                     | 25                          | 21,1                                                                                               |
| Bois à pâte        | <u>Pinus taeda</u>            | 30                                        | 25                          | 21,3                                                                                               |
| Bois de sciage     | <u>Araucaria angustifolia</u> | 3                                         | 30                          | 15,8                                                                                               |
| Bois à pâte        | <u>Cupressus japonica</u>     | 2                                         | 25                          | 9,2                                                                                                |

Observation: Résultats obtenus dans des peuplements de 13 ans avec coupe sélective de 20% à l'âge de 9 ans.

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Service assurant la fourniture et le contrôle des semences:

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées) ? NON

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences ? NON

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température ? OUI

4.1.4 L'offre nationale de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1 ? NON

3.3.2 ? NON

1/ La superficie nette est la superficie brute des plantations, moins la superficie occupée par les routes et chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(PARAGUAY)

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière ? NON

5.1.2 Caractères les plus importants faisant l'objet d'amélioration génétique:

- |                           |                                                            |
|---------------------------|------------------------------------------------------------|
| a) Forme du fût           | c) Qualités physiques et mécaniques                        |
| b) Rapidité de croissance | d) Résistance aux parasites, maladies et aléas climatiques |

5.2 Brève esquisse des méthodes d'amélioration génétique déjà appliquées:

5.2.1 Essais d'espèces et de provenances (indiquer entre parenthèse le nombre de provenances essayées):

|                                   |                                                        |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <u>Pinus elliottii</u> (2)        | <u>P. caribaea</u> var. <u>caribaea</u> (2)            |
| <u>P. taeda</u> (2)               | <u>P. caribaea</u> var. <u>hondurensis</u> (1)         |
| <u>Araucaria angustifolia</u> (1) | <u>P. palustris</u> (1)                                |
| <u>Cupressus japonica</u> (1)     | <u>Eucalyptus</u> spp. (12 spp., diverses Provenances) |

5.2.6 Autres méthodes d'amélioration génétique (précisez):

Au cours du second semestre 1979 on a commencé l'introduction de semences de diverses essences exotiques (conifères et feuillus), ainsi que la récolte de graines d'essences indigènes; toutes ces essences font l'objet d'essais, mais on n'a pas encore de résultats définitifs.

7. REFERENCES CONCERNANT L'AMELIORATION GENETIQUE

Nous manquons de rapports officiels concernant l'amélioration génétique forestière, à l'exception de quelques publications de résultats partiels concernant l'introduction d'essences, l'adaptabilité, etc.

PEROU

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

1.1 Superficie: 1 285 215 km<sup>2</sup>

1.2 Situation : longitude 70°-81°W; latitude 0°-18°S

1.3 Population: 20 000 000 d'habitants

1.4 Principales zones de climat et de végétation:

Région côtière (Costa): dd-PT, ds-PT, dp-PT (pp $\bar{x}$  : 0-200 mm; T. $\bar{x}$  : 21°C)

Région montagneuse (Sierra):bh-MT, ee-MBT, bmh-MT (pp $\bar{x}$  : 250-1 400 mm; T $\bar{x}$  : 14°C)

Région forestière (Selva): bh-T, bmh-T (pp $\bar{x}$  : 900-4 000 mm; T. $\bar{x}$  : 24°C).

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

2.1 Superficie boisée: 74 120 000 ha

2.2 Taux de boisement: 60%

2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite ? OUI

2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale, quels en sont les principaux objectifs déclarés ?

- Satisfaire la demande nationale de bois et autres produits forestiers.
- Entreprendre la mise en valeur des terres à vocation forestière par des actions de reboisement, dans un but de développement social et économique.
- Asseoir les bases d'une utilisation optimale des ressources forestières et de la faune sauvage.

2.5 Propriété des forêts

Domaniales: 99,8%

Privées: 0,04%

De collectivités: 0,16%

2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, grumes de placage, bois de traverses, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):

Bois de sciage, grumes de placage, contreplaqué, parquet, traverses, poteaux, bois de mine, bois de feu, charbon de bois.

(PEROU)

| 2.7 Personnel forestier                              | Fonctionnaires | Autres |
|------------------------------------------------------|----------------|--------|
| Niveau ingénieur                                     | 240            |        |
| Niveau technicien supérieur<br>(diplômé ou certifié) | 130            |        |

2.8 Budget brut annuel du secteur forestier: env. 6 000 000 \$US.

### 3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

#### 3.1 Superficies

3.1.1 Superficie totale nette 1/ de plantations à fin 1978: 120 000 ha

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays:  
15 000 ha/an.

#### 3.2 Organisation et administration des plans de reboisement

3.2.1 Services forestiers d'Etat: 98%  
Autres (précisez): Privés : 2%

3.3 Destinations principales prévues (par exemple, bois de sciage, poteaux et pieux, bois à pâte, bois de feu, protection, etc.)

##### 3.3.1 Essences autochtones

| Destination                                         | Essence                                             | Superficie<br>(nette)<br>(ha) 1/ | Révolution<br>(ans) | Accroissement moyen<br>annuel (sous écorce)<br>à la fin de la révo-<br>lution (m3/ha/an) |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bois de sciage<br>et<br>lamellé                     | Cedrela sp.)<br>Swietenia )<br>Cedrelinga )         | 1 800                            |                     |                                                                                          |
| Charbon de bois,<br>bois de feu,<br>fruits, parquet | Prosopis spp. )<br>Tecoma spp. )<br>Lexopterygium ) | 4 000                            |                     |                                                                                          |

##### 3.3.2 Essences introduites

| Destination                                                            | Essence                                                                      | Superficie<br>(nette)<br>(ha) 1/ | Révolution<br>(ans) | Accroissement moyen<br>annuel (sous écorce)<br>à la fin de la révo-<br>lution (m3/ha/an) |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bois de sciage,<br>poteaux, traver-<br>ses, bois de feu,<br>protection | Eucalyptus<br>globulus                                                       | 108 000                          | 20                  | 18-20                                                                                    |
| Bois de sciage                                                         | Pinus radiata                                                                | 3 000                            | 20                  | 14-80                                                                                    |
| Bois de sciage                                                         | Cupressus spp. )<br>Pinus caribaea )<br>Eucalyptus grandis )<br>E. saligna ) | 200                              | 20                  | 12-14                                                                                    |

1/ La superficie nette est la superficie brute des plantations, moins la superficie occu-  
pée par les routes et chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(PEROU)

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées) ? OUI

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences ? OUI

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température ? OUI

4.1.4 L'offre nationale de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1 ? OUI

3.3.2 ? NON

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière ? OUI

5.1.1 Dans l'affirmative, énumérer les essences concernées:

Pinus radiata,

P. greggii

P. patula

P. elliottii

Eucalyptus globulus

E. grandis

5.1.2 Caractères les plus importants faisant l'objet d'amélioration génétique:

Rapidité de croissance

Rectitude du fût

Résistance

5.2 Brève esquisse des méthodes d'amélioration génétique déjà appliquées:

5.2.2 Superficie de peuplements semenciers de chacune des essences principales:

Pinus radiata (20 ha).

URUGUAY

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

- 1.1 Superficie: 187 000 km<sup>2</sup>
- 1.2 Situation : longitude 54°-58°W; latitude 30°-35°S
- 1.3 Population: 3 000 000 d'habitants
- 1.4 Principales zones de climat et de végétation:

En raison de l'étendue territoriale réduite, il n'existe pas dans le pays de grandes variations de climat et de végétation; le climat est tempéré doux, et le type prédominant de végétation est la prairie.

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

- 2.1 Superficie boisée: 746 000 ha
- 2.2 Taux de boisement: 3,9%
- 2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite ? OUI
  - 2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale, quels en sont les principaux objectifs déclarés ?
    - Satisfaction de la demande intérieure de produits forestiers (sciages, bois en grumes, pâte et papier, bois de feu, panneaux, etc.)
    - Exportation des excédents de production.
    - Constitution de massifs boisés concentrés.
- 2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique ? OUI
- 2.5 Propriété des forêts
  - Domaniales: 3%
  - Privées: 97%
- 2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, grumes de placage, bois de traverses, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):
  - Bois de feu: 1 200 000 m<sup>3</sup>
  - Bois pour sciage et panneaux: 150 000 m<sup>3</sup>
  - Bois à pâte: 115 000 m<sup>3</sup>
  - Bois de placage: 12 000 m<sup>3</sup>
- 2.7 Personnel forestier

|                                                      | <u>Fonctionnaires</u> | <u>Autres</u> |
|------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Niveau ingénieur                                     | 32                    | 60            |
| Niveau technicien supérieur<br>(diplômé ou certifié) | 8                     | 20            |

(URUGUAY)

3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

3.1 Superficies

3.1.1 Superficie totale nette 1/ des plantations à fin 1978: 157 500 ha

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays:  
5 000 ha/an.

3.2 Organisation et administration des plans de reboisement

3.2.1 Services forestiers d'Etat: 25%  
Autres (précisez): Privés: 75%

3.3 Destinations principales prévues (par exemple, bois de sciage, poteaux et pieux, bois à pâte, bois de feu, protection, etc.)

3.3.2 Essences introduites

| Destination                                | Essence                          | Superficie<br>(nette)<br>(ha) 1/ | Révolution<br>(ans) | Accroissement moyen<br>annuel (sous écorce)<br>à la fin de la révo-<br>lution (m3/ha/an) |
|--------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sciages, pâte<br>et panneaux               | <u>Pinus elliottii</u>           | 25 000                           | 25                  | 18                                                                                       |
|                                            | <u>P. taeda, P. pinaster</u>     |                                  |                     |                                                                                          |
| Sciages, bois<br>de feu, pâte,<br>panneaux | <u>Eucalyptus tereticornis</u> , | 110 000                          | 20                  | 22                                                                                       |
|                                            | <u>E. camaldulensis</u> ,        |                                  |                     |                                                                                          |
|                                            | <u>E. globulus, E. grandis</u>   |                                  |                     |                                                                                          |
| Emballages,<br>sciages                     | salicacées                       | 8 000                            | 18                  | 16                                                                                       |

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement, l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées) ? NON

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences ? En voie de création

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température ? NON

4.1.4 L'offre nationale de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1 ? -  
3.3.2 ? NON

1/ La superficie nette est la superficie brute des plantations, moins la superficie occupée par les routes et chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(URUGUAY)

5. AMELIORATION GENETIQUE FORESTIERE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière ? OUI

5.1.1 Dans l'affirmative, énumérer les essences concernées:

|                           |                                      |
|---------------------------|--------------------------------------|
| <u>Pinus elliottii</u>    | <u>E. maidenii</u>                   |
| <u>P. taeda</u>           | <u>E. resinifera</u>                 |
| <u>P. patula</u>          | <u>E. bosistoana</u>                 |
| <u>P. pinaster</u>        | <u>E. umbellata (= tereticornis)</u> |
| <u>P. radiata</u>         | <u>Salix spp.</u>                    |
| <u>Eucalyptus grandis</u> | <u>Populus spp.</u>                  |
| <u>E. globulus</u>        | <u>Platanus occidentalis</u>         |
| <u>E. smithii</u>         |                                      |

5.1.2 Caractères les plus importants faisant l'objet d'amélioration génétique:

|                 |                                     |
|-----------------|-------------------------------------|
| Croissance      | Résistance aux facteurs climatiques |
| Forme           | et aux agents biologiques           |
| Qualité du bois |                                     |

5.2 Brève esquisse des méthodes d'amélioration génétique déjà appliquées:

5.2.1 Essais d'espèces et de provenances (indiquer entre parenthèses le nombre de provenances essayées)

|                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| <u>Pinus taeda</u> (11)    | <u>Eucalyptus grandis</u> (15)      |
| <u>Pinus elliottii</u> (5) | <u>Eucalyptus tereticornis</u> (15) |
| <u>Pinus patula</u> (3)    | <u>Eucalyptus maidenii</u> (3)      |

5.2.2 Superficie de peuplements semenciers de chacune des essences principales:

|                                |                                    |
|--------------------------------|------------------------------------|
| <u>Pinus taeda</u> (20 ha)     | <u>Eucalyptus grandis</u> (1,5 ha) |
| <u>Pinus elliottii</u> (15 ha) |                                    |

5.2.4 Vergers à graines (essences, superficie et nombre de clones ou d'arbres mères):

|                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| <u>Pinus taeda</u> :     | 4 ha, 12 arbres mères |
| <u>Pinus elliottii</u> : | 4 ha, 19 arbres mères |

5.2.5 Essais de descendance (essences et superficie):

Eucalyptus grandis: 0,2 ha

5.2.6 Autres méthodes d'amélioration génétique (précisez):

La sélection de clones est réalisée pour Salix spp., Populus spp. et Platanus occidentalis.

6. METHODES AYANT DONNE LES MEILLEURS RESULTATS POUR LA MULTIPLICATION VEGETATIVE DES ESSENCES PRINCIPALES

| <u>Essence</u>                        | <u>Méthode</u>            | <u>% de réussite</u> |
|---------------------------------------|---------------------------|----------------------|
| <u>Salix spp.</u> <u>Populus spp.</u> | Bouturage sans traitement | 90 - 100%            |
| <u>Platanus occidentalis</u>          | Bouturage sans traitement | 85 - 95%             |

(URUGUAY)

7. REFERENCES CONCERNANT L'AMELIORATION GENETIQUE

Veillez énumérer les références concernant l'amélioration génétique forestière dans votre pays, dans des publications, rapports, etc.

1. Krall, J. Adaptabilidad de coníferas de Norte américa plantadas en el Uruguay y su susceptibilidad a insectos e enfermedades. Boletín del Departamento Forestal Nº 16.
2. Krall, J. Populus: datos sobre fenología y crecimiento en el Uruguay. Boletín del Departamento Forestal Nº 17.
3. Krall, J. Fundamentos para nuevas introducciones de Eucalyptus en el Uruguay. Facultad de Agronomía, Boletín Nº 17.

VENEZUELA

1. INFORMATIONS GENERALES SUR LE PAYS

- 1.1 Superficie: 913 050 km<sup>2</sup>
- 1.2 Situation : longitude 59°48'-73°12'W; latitude 0°43'.12°12'N
- 1.3 Population: 15 000 000 d'habitants
- 1.4 Principales zones de climat et de végétation:  
Forêt tropicale sèche, forêt tropicale humide, forêt tropicale très sèche,  
forêt prémontagnarde très humide.

2. FORETS ET POLITIQUE FORESTIERE NATIONALE

- 2.1 Superficie boisée: 47 971 000 ha
- 2.2 Taux de boisement: 53%
- 2.3 Votre pays a-t-il une politique forestière nationale écrite ? OUI
  - 2.3.1 S'il y a une politique forestière nationale, quels en sont les principaux objectifs déclarés ?  
Les objectifs correspondent aux grandes orientations des trois catégories de forêts: fonction de protection, fonction de production, fonctions accessoires (récréation, recherche, enseignement, etc.).
- 2.4 Y a-t-il une législation concernant l'application de cette politique ? OUI
- 2.5 Propriété des forêts
  - Domaniales: 82%
  - Privées: 18%
- 2.6 Principaux produits forestiers (par exemple, bois de sciage, gomme, cire et miel d'abeilles, grumes de placage, bois de traverses, poteaux, pilots et pieux, bois à pâte):  
Bois de sciage, grumes de placage, panneaux de particules, traverses, poteaux.
- 2.7 Personnel forestier

|                                                      | Fonctionnaires | Autres |
|------------------------------------------------------|----------------|--------|
| Niveau ingénieur                                     | 160            | 294    |
| Niveau technicien supérieur<br>(diplômé ou certifié) | -              | -      |
- 2.8 Budget brut annuel du secteur forestier: 20 000 000 \$US.

(VENEZUELA)

3. REBOISEMENT. DONNEES GENERALES

3.1 Superficies

3.1.1 Superficie totale nette 1/ de plantations à fin 1978: 101 850 ha

3.1.2 Superficie annuelle prévue dans les plans de reboisement pour le pays:  
32 000 ha/an.

3.2 Organisation et administration des plans de reboisement

3.2.1 Services forestiers d'Etat: 85%  
Autres (précisez): Association Etat-particuliers: 10%  
Particuliers: 5%

3.3 Destinations principales prévues (par exemple, bois de sciage, poteaux et pieux, bois à pâte, bois de feu, protection, etc.)

3.3.1 Essences autochtones

| Destination | Essence                      | Superficie<br>(nette)<br>(ha) 1/ | Révolution<br>(ans) | Accroissement moyen<br>annuel (sous écorce)<br>à la fin de la révo-<br>lution (m3/ha/an) |
|-------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sciages     | <u>Anacardium excelsa</u>    | )                                |                     |                                                                                          |
|             | <u>Swietenia macrophylla</u> | )                                |                     |                                                                                          |
|             | <u>Cedrela odorata</u>       | )                                |                     |                                                                                          |
|             | <u>Cordia alliodora</u>      | ) 2 800                          |                     |                                                                                          |
|             | <u>Cordia apurensis</u>      | )                                |                     |                                                                                          |
|             | <u>Tabebuia rosea</u>        | )                                |                     |                                                                                          |

3.3.2 Essences introduites

| Destination | Essence                                                   | Superficie<br>(nette)<br>(ha) 1/ | Révolution<br>(ans) | Accroissement moyen<br>annuel (sous écorce)<br>à la fin de la révo-<br>lution (m3/ha/an) |
|-------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cellulose   | <u>Eucalyptus</u> spp.                                    | 3 000                            | 6                   | 20                                                                                       |
| Cellulose   | <u>Pinus caribaea</u>                                     | 101 850                          | 12                  | 10                                                                                       |
| Sciage      | <u>Tectona grandis</u>                                    | 620                              | 30                  |                                                                                          |
| Protection  | <u>Pinus</u> spp.,<br><u>Eucalyptus</u> spp.<br>et autres |                                  |                     |                                                                                          |

1/ La superficie nette est la superficie brute des plantations, moins la superficie occupée par les routes et chemins, pare-feu, bâtiments et autres surfaces non boisées.

(VENEZUELA)

4. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES ET EN PLANTS

4.1 Services assurant la fourniture et le contrôle des semences

4.1.1 A-t-on défini des zones semencières des essences autochtones (autrement dit, restreint-on généralement l'emploi des semences en reboisement à la zone dans laquelle elles sont récoltées) ? OUI

4.1.2 Y a-t-il un système national de certification des semences ? OUI

4.1.3 Y a-t-il des installations d'entreposage des semences avec contrôle de température ? OUI

4.1.4 L'offre nationale de semences couvre-t-elle la demande pour les essences énumérées en:

3.3.1 ? OUI

3.3.2 ? NON

5. AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE FORESTIÈRE

5.1 Le pays a-t-il un programme officiel d'amélioration génétique forestière ?

Seulement au niveau de la recherche dans des organismes ou instituts autonomes dans le but d'approfondir les questions, mais il n'existe pas de programme national au niveau de l'Etat.

5.1.1 Dans l'affirmative, énumérer les essences concernées:

Pinus caribaea var. hondurensis

Bombacopsis quinata

5.1.2 Caractères les plus importants faisant l'objet d'amélioration génétique:

Rectitude du fût, fourches, anomalies, hauteur, densité du bois et volume pour Pinus caribaea. Contreforts, fourches pour Bombacopsis quinata.

5.2 Brève esquisse des méthodes d'amélioration génétique déjà appliquées

5.2.1 Essais d'espèces et de provenances (indiquer entre parenthèses le nombre de provenances essayées):

Genre Pinus (32 spp.)

Feuillus autochtones (10 spp.)

Feuillus exotiques (25 spp.)

5.2.2 Superficie de peuplements semenciers de chacune des essences principales:

Pinus caribaea var. hondurensis (520 ha) en cours d'établissement (CVG-CONARE).

5.2.3 Arbres "plus" des essences principales (indiquer entre parenthèses le nombre d'arbres):

Il y a 40 pieds de Pinus caribaea sélectionnés comme candidats.

(VENEZUELA)

- 5.2.4 Vergers à graines (essences, superficie et nombre de clones ou d'arbres mères)

Bombacopsis quinata

Tabebuia rosea

Pinus caribaea

- 5.2.5 Essais de descendance (essences et superficie):

Bombacopsis quinata

Tabebuia rosea

- 5.2.6 Autres méthodes d'amélioration génétique (précisez):

Pollinisation dirigée et libre avec Bombacopsis quinata.

6. METHODES AYANT DONNE LES MEILLEURS RESULTATS POUR LA MULTIPLICATION VEGETATIVE DES ESSENCES PRINCIPALES

| <u>Essence</u>             | <u>Méthode</u>              | <u>% de réussite</u> |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| <u>Bombacopsis quinata</u> | Greffage et bouturage       | 90                   |
| <u>Cedrela odorata</u>     | Greffage                    |                      |
| <u>Tabebuia rosea</u>      | "                           |                      |
| <u>Pinus caribaea</u>      | Greffage, marcottage aérien | 30-50                |

7. REFERENCES CONCERNANT L'AMELIORATION GENETIQUE

Veillez énumérer les références concernant l'amélioration génétique forestière de votre pays, dans des publications, rapports, etc.

- Quijada & Gutierrez Estudio sobre la propagación vegetativa de especies forestales venezolanas.
- Mendez & Luis Etapas preliminares para el establecimiento de un rodal semillero en Chaguaras, Estado Monagas.
- Norman Smith Selección de árboles en Cachipo para establecer un huerto semillero de Pinus caribaea.

Annexe VII

BIBLIOGRAPHIE

1. Publications distribuées à tous les participants

a. Statistique, dispositif expérimental, sélection d'espèces et de provenances

Freese, F. Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales. Servicio Forestal, Departamento de Agricultura de los EE.UU. de América. Manual de Agricultura Núm. 317. Centro Regional de Ayuda Técnica, AID, Mexico/BsAs.

Burley, J. & Wood, P.J. (Compiled by). A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics. CFI Tropical Forestry Papers No. 10 & 10A. University of Oxford, G.B.

b. Conservation des ressources génétiques forestières

Roche, L. et al. Méthodologie de la conservation des ressources génétiques forestières. Rapport sur une étude pilote. FO:MISC/75/8. FAO/PNUE, Rome.

FAO 1977 Rapport de la Quatrième session du Groupe FAO d'experts des ressources génétiques forestières. FO:FGR/4/Rep. FAO, Rome

FAO 1975 Informations sur les ressources génétiques forestières No. 4 (Programme mondial destiné à assurer une meilleure utilisation des ressources génétiques forestières). Document occasionnel 1975/1. FAO, Rome.

FAO 1978 Informations sur les ressources génétiques forestières No. 8. Document forestier occasionnel 1978/2. FAO, Rome

c. Rapport de conférences et consultations techniques

FAO 1978 Troisième Consultation mondiale sur la génétique forestière. Documents choisis. Unasylva 30 (119/120). FAO, Rome.

d. Génétique, amélioration des arbres forestiers

Faulkner, R. Seed Orchards. Forestry Commission Bulletin No. 54. London, U.K. 1975

Koenig, A. & Melchior, G.H. Propagación vegetativa en árboles forestales. FAO/PNUD 1978 COL/74/005, P.I.F. No. 9 INDERENA, Bogotá.

e. Récolte, entreposage et traitement des semences forestières

Greaves, A. Description of seed sources and collections for provenances of Pinus caribaea. Commonwealth Forestry Institute, Oxford. Tropical Forestry Papers No. 12. Oxford, U.K.

- Bonner, F.T. Equipement and supplies for Collecting Processing Storing and Testing  
1977 Forest Tree Seed. USDA Forest Service, General Technical Report SO-13.  
Southern Forest Expt Station, New Orleans, Louisiana.
- Yeatman, C.W. & Nieman, T.C. Safe tree climbing in forest management. Petawawa  
1978 Forest Experiment Station, Chalk River, Ontario. Forestry Technical  
port 24.
- FAO Manual I, sobre elección de rodales para la recolección de semillas  
1977 forestales. INAFOR-BANSEFOR-FAO. FAO/TCP GUA-6/01-T, Guatemala.
- FAO Manual II, para la recolección de semillas forestales. INAFOR-BANSEFOR-  
1978 FAO. FAO/TCP GUA-6/01-T, Guatemala
- van Dijk, K., Venegas Tovar, L., & Melchior, G.H. El suministro de semillas como  
1978 base de reforestaciones en Colombia. FAO/PNUD COL/74/005, P.I.F. No.13.  
INDERENA, Bogotá.

Gordon, A.W. Uso y abastecimiento de semillas forestales en Chile. FAO/PNUD,  
1979 DP/CHI/76/003, Documento de Trabajo No. 16. Santiago de Chile.

f. Information sur des essences particulières

g. Reboisement, plantations forestières

- FAO Techniques de plantations forestières. Etudes FAO Forêts No. 8. FAO,  
1978 Rome.
- Navarro, G. & Molina, R.J. & Montero de B., J.L. Técnicas de forestación. ICONA,  
1975 Monografías No. 9 (2a Edición). Madrid, España.
- Sommer, A. & Dow, T. Compilation of indicative growth and yield data on fast-grow-  
1978 ing exotic tree species planted in tropical and sub-tropical regions.  
FO:MISC/78/11. FAO, Rome.
- Lanley, J.P. & Clement, J. Superficie des forêts et des plantations dans les tro-  
1979 piques. Situation actuelle et prévisions. FO:MISC/79/1. FAO, Rome.

h. Documents généraux

- FAO Ouvrages en vente. FAO, Rome.  
1978

2. Autres publications utiles disponibles

a. Statistique, dispositif expérimental, sélection d'espèces et de provenances

- FAO Mejoramiento de árboles y biometría, Cuba. FAO/SF/CUB 3, Informe técnico  
1970 No. 1. FAO, Rome.
- FAO Genética y biometría, Cuba. FAO:SF/CUB 3, Informe Técnico No. 3. FAO,  
1972 Roma.

b. Conservation des ressources génétiques forestières

FAO            Informations sur les ressources génétiques forestières No. 1-8. Documents  
1973-78       forestiers occasionnels. FAO, Rome.

Lucas, G. & Synge, H. (Editores) The IUNC Plant Red Data Book. IUNC/WWP, Morges,  
1978            Switzerland.

Frankel, O.H. & Bennett, E. (Editores). Genetic resources in plants: their explora-  
1970            tion and conservation. IBP Handbook No. 11. Blackwell Scientific Publi-  
                cations, London, U.K.

c. Rapports de conférences et consultations techniques

Anon            Actes de la troisième consultation mondiale FAO/IUFRO sur l'amélioration  
1978            des arbres forestiers, I-III. CSIRO, Canberra, Australie.

Burley, J. & Nikles, D.G. (Editores). Selection and breeding to improve some tropical  
1972-73        conifers. Based on papers submitted to a Symposium of IUFRO Working  
                Groups on Breeding of Tropical and sub-tropical Species & on Quantitative  
                Genetics applied to forest trees, held in Gainesville, Florida, 1971, CFI,  
                Oxford, U.K.

Burley, J. & Nikles, D.G. Tropical provenance and progeny research and international  
1973            cooperation. Proceeding of a joint Meeting of IUFRO Working Parties  
                S2.02.8 and S2.03.1, held in Brisbane, Australia, 1977. CFI, Oxford, U.K.

Nikles, D.G., Burley, J. & Barnes, R. D. Progress and problems of genetic improvement  
of tropical forest trees. Proceeding of a joint workshop of IUFRO Working  
Parties S2.02.8 and S2.03.1, held in Brisbane, Australia, 1977. CFI, Oxford,  
U.K.

FAO            Actes de la Consultation mondiale FAO/IUFRO sur la génétique forestière  
1963            et l'amélioration des arbres, Stockholm. FAO, Rome.

FAO            Actes de la deuxième consultation mondiale sur l'amélioration des arbres  
1969            forestiers, Washington. FAO, Rome.

FAO            Génétique forestière et amélioration des arbres forestiers. Comptes-  
1964            rendus de la Consultation mondiale de 1963. Unasylva, 18 (2-3), No. 73-74.  
                FAO, Rome.

FAO            Deuxième Consultation mondiale sur la génétique forestière. Unasylva 24  
1970            (2-3), No. 97-98. FAO, Rome.

d. Génétique, amélioration des arbres forestiers

Wright, J.W. Aspects génétiques de l'amélioration des arbres forestiers. Collection  
1964            FAO: Etudes sur les forêts et les produits forestiers No. 16. FAO, Rome.

Allard, L.W. Principles of Plant Breeding. John Wiley & Sons, Inc., New York.  
1964

Baldwin, R.E. Genética elemental. Editorial Limusa, México D.F.  
1976

Hartmann, H.T. & Kester, D.E. Propagación de plantas: teoría y práctica. Editorial  
Continental, México.

- Stern, K. & Roche, L. Genetics of Forest Ecosystems. Ecological Studies No. 6.  
1974 Chapman & Hall Ltd., London, U.K.
- Dorman, K.W. The Genetics and breeding of southern pines. USDA Agric. Handbook  
1976 No. 471 USDA, Forest Service. Washington D.C.
- FAO Report on the FAO/DANIDA Training Course on Forest Tree Improvement,  
1974 Kenya 1973. FAO, Rome.
- ADAA Selected reference papers. International Training Course in Forest Tree  
1978 Breeding, Canberra 1977. Australian Development Assistance Agency,  
Australia.
- Burdon, R. Mejoramiento genético forestal en Chile. FAO/PNUD DP/CHI/76/003,  
1978 Documento de Trabajo No. 11. Santiago de Chile
- Melchior, G.H. Bases y posibilidades del mejoramiento genético de árboles forestales  
1977 en Colombia. FAO/PNUD COL/74/005, P.I.F. No. 4. INDERENA, Bogotá.
- Melchior, G.H. Programa preliminar de un ensayo de procedencia de Cordia alliodora,  
1977 Cupressus lusitanica y otras especies nativas y exóticas. FAO/PNUD  
COL/74/005, P.I.F. No. 7. INDERENA, Bogotá.
- Shelbourne, C.J.A. Tree Breeding Methods. New Zealand Forest Services. Technical  
1969 Development Paper No. 55. Wellington, N.Z.
- e. Récolte, entreposage et traitement des semences forestières
- FAO Report on the FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and  
1975 Handling, I-II, Thailand 1975. FAO, Rome.
- ISTA Règles internationales pour les essais de semences.  
1976
- Catalan Bachiller, G. Semillas de árboles y arbustos forestales. Min. Agric. (ICONA)  
1977 Madrid, España.
- Anon Seeds of Woody Plants in the United States. USDA Agric. Handbook No. 450.  
1974 USDA, Forest Service. Washington D.C.
- FAO Catalogue de graines forestières. FAO, Rome.  
1975
- IBPGR Report of IBPGR Working Group on engineering, design and cost aspects of  
1976 long-term seed storage facilities. International Board for Plant Genetic  
Resources. FAO, Rome.
- Lowman, B.J. Equipment for processing small seedlots. Catalog No. 7524-2505, USDA  
1975 Forest Service, Missoula, Montana.
- FAO Tree Seed Notes (2nd edition). I. Arid Areas. II. Humid Tropics. FAO  
1968 Forestry Development Paper No. 5. FAO, Rome.
- Purtich, G.S. Cone production in conifers. Canadian Forestry Service, BC - X - 65.  
1972 Department on the Environment. Victoria, British Columbia.

- Sarvas, R. Investigations on the flowering and seed crop of Pinus silvestris L. Com.  
1962 Inst. For. Fenniae 53.4. Helsinki, Finland.
- Melchior, G.H. & Venegas T.L. Propuesta para asergurar el suministro de semillas de  
1978 Eucalyptus globulus en calidad comercial y genéticamente mejoradas. FAO/  
PNUD COL/74/005, P.I.F. No. 14. INDERENA, Bogotá.
- FAO Centro de Semillas forestales, Paraguay. Estudio de Factibilidad Técnica  
1978 para su establecimiento, organización y funcionamiento. FAO/SFN/TCP  
6/PAR/02-T. Asunción, Paraguay.
- Bramlett, D.L. et al. Cone analysis of Southern Pines: a Guidebook. USDA, Forest  
1978 Service General Technical Report No. SE-13. Washington D.C.

f. Information sur des essences particulières

- FAO Bibliographies annotées sur Pinus patula, Cepressus lusitanica, Pinus  
1973/74/75 elliottii. FAO, Rome.
- Carruyo, L.J. Bibliografías sobre Pinus caribaea (1938-72; 1973-75), I - II. Labora-  
1976 torio Nacional de Productos Forestales, Publicaciones Técnicas 76-01-02  
y 01-03-76. Merida, Venezuela

CFI, Oxford, "Fast Growing Tomber Trees of the Lowland Tropics", numbers:

1. Gmelina arborea (1968)
2. Cedrela odorata (1968)
3. The Araucarias (1968)
4. Pinus markusii (1968)
5. Terminalia ivorensis (1971)
6. Pinus caribaea (1973)

CFI, Oxford, "Tropical Forestry Papers", numbers:

7. Pinus patula (1975)
8. Eucalyptus camaldulensis (bibliography) (1975)
9. Pinus kesiya (1979)
10. Agathis (1977)

US Department of Agriculture, Forest Service; Research Papers:

- WO - 19 (1973): Genetics of loblolly pine  
WO - 20 (1974): Genetics of slash pine  
WO - 35 (1978): Genetics of douglas fir

Gibson, I.A.S. Diseases of forest trees widely planted as exotics in the tropics  
1975 and Southern hemispere. I. Commonwealth Mycological Institute/Common-  
wealth Forestry Institute, Oxford, U.K.

Gibson, I.A.S. Diseases of forest trees widely planted in the tropics ans Southern  
1979 hemisphere. II. The genus Pinus. CMI/CFI, Oxford, U.K.

Greaves, A. Description of seed sources and collections for provenances of Pinus  
1979 oocarpa. CFI Tropical Forestry Papers No. 13. Oxford, U.K.

- Howland, P. Pericopsis elata (Afromorsia) A summary of silvicultural knowledge.  
1979 CFI, Oxford, U.K.
- Anon Leucaena - promising forage and tree crop for the tropics. National  
1976 Academy of Sciences, Washington D.C.
- Anon Under-exploited tropical plants with promising economic value. National  
1976 Academy of Sciences, Washington D.C.
- Venegas, T.L. Distribución de once especies forestales en Colombia. FAO/PNUD  
1978 COL/74/005, P.I.F. No. 11. INDERENA, Bogotá.
- Melchior, G.H. Propuesta para mejorar la producción del Inchi por métodos silvi-  
1977 culturales y genéticos. FAO/PNUD COL/74/005. P.I.F. No. 8. INDERENA,  
Bogotá.
- FAO Insectos que atacan a Pinus caribaea en el noreste de Nicaragua.  
1971 FAO/SF/NIC/9, Informe técnico No. 1. FAO, Rome.
- Ntima, O.O. Los Araucarias. Boll. 36-37, IFLAIC, Mérida, Venezuela.  
1971
- FAO Peupliers et saules dans la production du bois et l'utilisation des  
1980 terres. Collection FAO: Forêts, No. 10. FAO, Rome.
- FAO Les eucalyptus dans les reboisements. Collection FAO: Forêts, No. 11.  
1982 FAO, Rome.
- g. Reboisement, plantations forestières
- FAO Le choix des essences forestières. Collection FAO: Mise en valeur des  
1978 forêts No. 13. FAO, Rome.
- FAO Manuel de planification des peuplements forestiers artificiels.  
1974 FO:MISC/73/22. FAO, Rome.
- Paul, D.K. A handbook of nursery practice for Pinus caribaea var. hondurensis and  
1972 other conifers in West Malaysia. FO:SF/MAL 12, Working Paper No. 19.  
Kuala Lumpur.
- FAO Prácticas de plantación forestal en América Latina. FAO Montes, Cuad.  
1960 Fom. Forestal No. 15. FAO, Rome.
- Cozzo, D. Tecnologia de la forestación en Argentina y América Latina. Ed. Hemis-  
1976 ferio Sur, Buenos Aires
- FAO Méthodes de plantation forestière dans les savanes africaines. Collection  
1975 FAO: Mise en valeur des forêts No. 19. FAO, Rome.
- FAO Boisement des savanes en Afrique. Etudes FAO: Forêts No. 11. FAO, Rome.  
1977

- FAO            Le rôle des forêts dans le développement des collectivités locales.  
1978           Etude FAO: Forêts No. 7. FAO, Rome.
- FAO            La forêt au service des communautés rurales. FAO, Rome, Département des  
1979           forêts.
- FAO            Colloque international FAO sur les peuplements forestiers artificiels et  
1967           leur importance industrielle. Unasylva, 21 (3-4), No. 86-87. FAO, Rome.
- Anon           Tropical Forest ecosystems: a state of knowledge report prepared by  
1978           UNESCO/UNEP/FAO. Natural Resources Research XIV, UNESCO, Paris.

\* \* \* \* \*

CERTIFICAT DE PARTICIPATION REMIS A TOUS LES STAGIAIRES



**DANIDA**

**CURSO de CAPACITACION  
FAO/DANIDA  
sobre la  
MEJORA GENETICA de ARBOLES FORESTALES**

*Con la presente se certifica que*

*participó en el Curso arriba mencionado  
celebrado en*

*Mérida, Venezuela*

*del 14 de enero al 2 de febrero de 1980*

*Mérida, Venezuela*

*2 de febrero de 1980*

*Director del Curso*