

Les arbres à usages multiples

Introduction et évaluation pour l'agroforesterie

P.J. Wood et J. Burley



Les arbres à usages multiples

Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale ACP/CEE
Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation ACP/EEC

Les arbres à usages multiples

**Introduction et évaluation
pour l'agroforesterie**

P.J. Wood et J. Burley

Traduction française et adaptation : Context Language Services

LE CENTRE TECHNIQUE DE COOPERATION AGRICOLE ET RURALE

Le Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA) est installé, depuis 1983, à Ede/Wageningen dans le cadre de la Convention de Lomé entre les Etats membres de l'Union européenne et les Etats du groupe ACP (Afrique, Caraïbes, Pacifique). Le CTA est à la disposition des Etats ACP pour leur permettre un meilleur accès à l'information, à la recherche, à la formation ainsi qu'aux innovations dans les secteurs du développement agricole et rural et de la vulgarisation.

LE CENTRE INTERNATIONAL POUR LA RECHERCHE EN AGROFORESTERIE

Le Centre international pour la recherche en agroforesterie (ICRAF), créé en 1977, est une organisation autonome, sans but lucratif, dont l'objectif est de contribuer à atténuer la déforestation des régions tropicales, l'épuisement des terres et la pauvreté des populations rurales par le biais de systèmes agroforestiers améliorés. Son mandat consiste à mener et appuyer la recherche en agroforesterie, cette dernière étant définie comme l'intégration volontaire d'arbres et arbustes dans les systèmes de production agricole et/ou animale.

Depuis mai 1991, l'ICRAF est devenu un membre à part entière du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (GCRAI), une association informelle de gouvernements, d'organisations internationales et de fondations privées, qui parraine 18 centres internationaux de recherche agricole dans le monde.

1993 © CTA et ICRAF

Edition anglaise originale parue en 1991 sous le titre « A Tree for All Reasons. The Introduction and Evaluation of Multipurpose Trees for Agroforestry » N°5 dans la collection « Science and Practice of Agroforestry » publiée par l'ICRAF (Centre international pour la recherche en agroforesterie), P.O. Box 30677, Nairobi, Kenya.

Edition française publiée par le Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale ACP-CEE (CTA), Postbus 380, 6700 AJ Wageningen, Pays-Bas.

Adaptation et réalisation : **CONTEXT** Bruxelles, Belgique
LANGUAGE
SERVICES

ISBN 92 9081 1129

Photo de couverture :

Leucaena leucocephala (L. Benth) en couloirs, avec culture associée de manioc et de maïs. République de Guinée.

Avec l'aimable autorisation du professeur Léon Mathieu (Unité des Sciences du Sol et de la Terre), Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique.

Les illustrations de l'ouvrage sont reproduites avec l'aimable autorisation de l'ICRAF.

Table des matières

Avant-propos	6
Remerciements	6
Introduction	7

Première partie : notions de base pour la sélection des espèces en agroforesterie

1. Sélection et rôle des arbres à usages multiples dans les systèmes d'exploitation	11
2. Diagnostic des problèmes liés à l'exploitation des terres et conception des pratiques agroforestières	17
3. L'arbre idéal pour un système agroforestier (idéotype)	21

Deuxième partie : conception et planification des activités de recherche

4. Objectifs et planification de la recherche	29
5. Conception de l'expérience	33
6. Identification d'un matériel génétique adapté	39
7. Choix du site de l'expérience	45

Troisième partie : contrôle et évaluation

8. Mesures et enregistrement	51
9. Participation des agriculteurs à la recherche et à l'évaluation	61

Quatrième partie : domaines de recherche importants

10. Récolte, stockage et essai des semences	65
11. Culture en pépinière	69
12. Implantation	75
13. Évaluation génétique	79

Annexes

I. Principales caractéristiques des espèces d'AUM et produits dérivés : liste de contrôle	91
II. Principaux critères d'évaluation génétique des arbres à usages multiples, et exemples de formulaires d'évaluation	93
III. Plans expérimentaux pour l'introduction et l'évaluation des arbres à usages multiples	101
IV. Brève description d'expériences sur les arbres à usages multiples	117
V. Glossaire des termes et expressions utilisés en recherche agroforestière	131
VI. Bibliographie	137
VII. Abréviations et acronymes	141
VIII. Noms et adresses d'organismes de recherche sur les arbres à usages multiples	142

Index	143
-------------	-----

Avant-propos

L'idée de réaliser un ouvrage de référence consacré aux premiers stades de la recherche sur les arbres à usages multiples (AUM) est née à l'ICRAF en 1986. Une partie des fonds nécessaires à l'entreprise a été gracieusement fournie par l'Allemagne. M. Peter Wood, alors conseiller principal en foresterie au département de recherche-développement de l'ICRAF, s'est chargé de rassembler la matière du présent ouvrage. Quant à M. Jeffrey Burley, directeur de l'Oxford Forestry Institute, il nous a offert sa compétence de consultant durant le mois d'avril 1987.

Cet ouvrage de référence est le fruit de notre collaboration. Il s'adresse aux agents de terrain qui préparent des expériences sur les arbres à usages multiples ou des essais de systèmes types basés sur des techniques et des espèces agroforestières prometteuses, afin d'améliorer le plus rapidement possible l'exploitation des terres. Ce livre s'inscrit dans une collection de plus en plus vaste d'ouvrages visant à soutenir tant les programmes de collaboration propres à l'ICRAF que les efforts de tous ceux et celles que préoccupent l'étude et le développement de l'agroforesterie.

B.O. Lundgren
Ancien directeur général ICRAF

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier leurs nombreux collègues pour leur aide à la réalisation de l'ouvrage. Peter Huxley, de l'ICRAF, a suivi chaque stade du travail, donnant son avis sur plusieurs versions préliminaires et apportant une précieuse contribution à l'élaboration des chapitres 1, 2 et 3. Till Darnhofer, John Raintree et Anthony Young, de l'ICRAF également, ont respectivement mis à notre disposition leurs compétences en climatologie, en sociologie et en pédologie. Howard Wright et Trudy Watt, de l'Oxford Forestry Institute, ont eu la gentillesse de relire l'annexe III et de nous transmettre leurs suggestions. Janet Stewart, du même établissement, a formulé de précieux commentaires à propos du chapitre 8. Kathy Steven a travaillé avec Peter Wood, à Londres, à la réalisation des illustrations. Son aptitude à comprendre les concepts expérimentaux et paysages a grandement contribué à la qualité des illustrations définitives.

Nous espérons que notre ouvrage sera utile aux agronomes, aux forestiers et aux autres scientifiques, tout particulièrement à ceux qui, sur le terrain, s'efforcent d'accroître le fonds commun de connaissances relatives à l'exploitation des essences pérennes ligneuses - arbres et arbustes à usages multiples - à des fins de développement rural en général, et d'agroforesterie en particulier.

Le texte définitif, ainsi que toute erreur ou omission éventuelle, relève de la responsabilité de Peter Wood qui sera reconnaissant envers ses lecteurs de lui signaler toute amélioration éventuelle.

Introduction

Le présent ouvrage constitue un guide pour l'introduction et l'évaluation des plantes pérennes ligneuses. Par « plantes pérennes ligneuses », nous entendons non seulement les arbres, arbustes et buissons, mais également les palmiers, les graminées ligneuses telles que le bambou et les plantes grimpantes telles que le rotin. Tout au long de l'ouvrage, ces plantes seront désignées par l'abréviation AUM, soit arbres à usages multiples. Nombre de plantes de ce type sont déjà bien connues des agriculteurs, des horticulteurs et des forestiers, mais d'autres le sont beaucoup moins hors de zones très restreintes. C'est pourquoi l'ouvrage porte principalement sur l'évaluation de ces espèces moins courantes en vue de leur introduction dans les systèmes agroforestiers.

Dans le contexte qui nous occupe, une *introduction* se rapporte à l'implantation d'une essence dans un milieu où elle n'est pas bien connue ou établie. Quant au terme *évaluation*, il désigne le processus qui vise à déterminer si telle ou telle essence est adaptée à une exploitation en système agroforestier ou si elle se prête à des recherches plus approfondies en combinaison avec d'autres plantes ou avec des animaux. Le processus d'évaluation consiste tout d'abord à établir si l'espèce est susceptible de s'adapter au site (peut-elle survivre ? quel est son comportement en début de croissance ?), puis, par l'étude de sa phénologie et de sa morphologie, si elle peut trouver sa place dans un système agroforestier donné.

Dans cet ouvrage, le terme *agroforesterie* recouvre « toutes les prati-

ques qui font intervenir l'association étroite des arbres avec les cultures, les animaux ou les pâturages. Une telle association s'inscrit dans une logique à la fois écologique et économique. L'agroforesterie peut faire appel à une combinaison de techniques en un même lieu et au même moment (cultures associées et pratiques voisines), ou en un même lieu mais selon un calendrier séquentiel (rotation). Le "lieu" peut être un simple jardin potager ou une parcelle cultivable, ou au contraire un petit bassin hydrographique ou une grande étendue de pâtures communautaires » (Rocheleau *et al.*, 1988).

Dans certains cas, il est possible d'inclure des AUM dans des *essais de systèmes agroforestiers types* sans leur faire subir une évaluation préalable. L'objet de ces essais est d'évaluer le comportement d'un système agroforestier pris dans son ensemble. Combiner des plantes ligneuses et non ligneuses avant d'avoir déterminé leur degré d'adaptabilité au site étudié peut toutefois constituer un mauvais investissement de temps et d'efforts de la part du chercheur. Ainsi, avant tout essai portant sur un système type, il est souvent nécessaire de mener des recherches sur l'espèce d'AUM en question. On pourra éventuellement gagner du temps en testant une espèce en fonction des exigences des techniques d'exploitation agroforestière envisagées - par exemple, une essence que l'on souhaite exploiter dans le cadre d'une association haies/cultures peut être testée d'entrée de jeu sous forme de haie taillée.

En résumé, les objectifs sont les suivants :

- ♦ poser les principes fondamentaux de l'évaluation des AUM, et non pas donner des « recettes », en vue d'aider les chercheurs à concevoir et à mettre au point des programmes de recherche aptes à répondre à des objectifs précis ;
- ♦ présenter, dans un ordre logique et chronologique, les différents stades de la recherche AUM, y compris l'étude préliminaire des réponses éventuelles à la pratique culturale ;
- ♦ guider la préparation d'expériences à la fois simples et fiables ;
- ♦ recommander des méthodes d'évaluation simples et aisément mesurables.

L'ouvrage se compose de quatre parties et de quatre annexes. Les quatre parties sont les suivantes :

- ♦ notions de base pour la sélection des espèces en agroforesterie ;
- ♦ conception et planification des activités de recherche ;
- ♦ contrôle et évaluation ;
- ♦ domaines de recherche importants.

Les annexes visent à élargir les horizons ouverts dans le corps de l'ouvrage. Elles comportent une liste des principales caractéristiques des essences d'AUM et des produits qu'on en tire, et présentent des critères d'évaluation des AUM assortis d'exemples de démarches types, des concepts expérimentaux axés sur l'introduction et l'évaluation des AUM, le résumé de dix types d'expérience, une bibliographie, un glossaire, une liste d'acronymes ainsi que les noms et adresses d'un certain nombre d'organismes qu'il est utile de connaître.



Première partie :

notions de base pour la sélection
des espèces en agroforesterie

Chapitre 1 : sélection et rôle des arbres à usages multiples dans les systèmes d'exploitation des terres

Définition de l'arbre à usages multiples

Nous avons noté dans l'introduction que l'expression « arbres à usages multiples » (AUM) désigne l'ensemble des plantes pérennes ligneuses exploitées en agroforesterie. Parmi les nombreuses définitions se voulant universelles, nous avons choisi celle qui nous paraissait la plus apte à refléter les multiples fonctions que peuvent assurer les plantes ligneuses pérennes dans le cadre de pratiques agroforestières : sont considérées

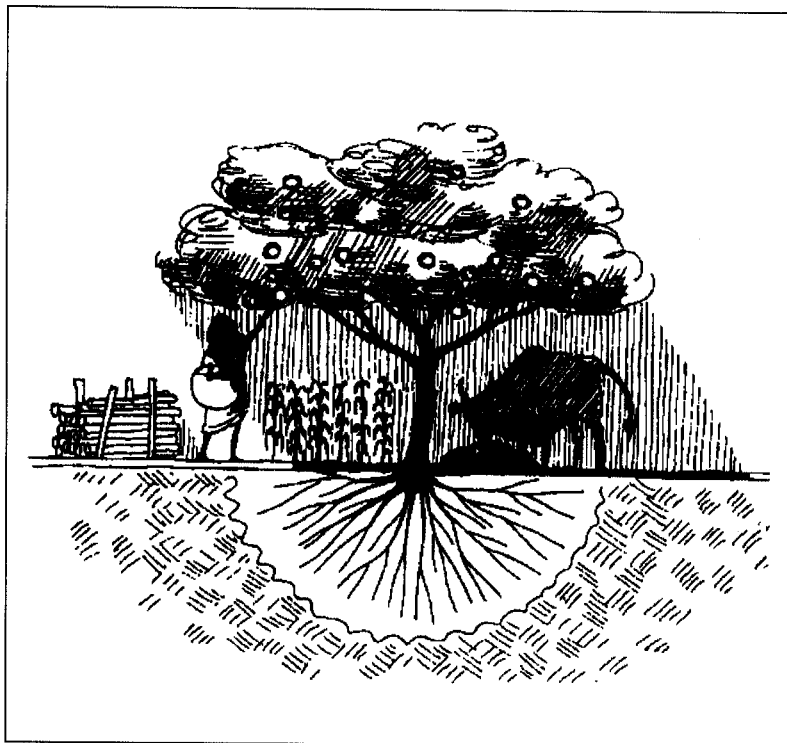
comme AUM toutes les plantes ligneuses cultivées délibérément en vue de contribuer de plus d'une façon aux fonctions de production ou de service d'un système d'exploitation des terres. Elles sont classées en fonction des caractéristiques de l'essence végétale qu'elles représentent ainsi que de leur utilité dans le cadre des pratiques agroforestières considérées (d'après Burley et von Carlowitz, 1984).

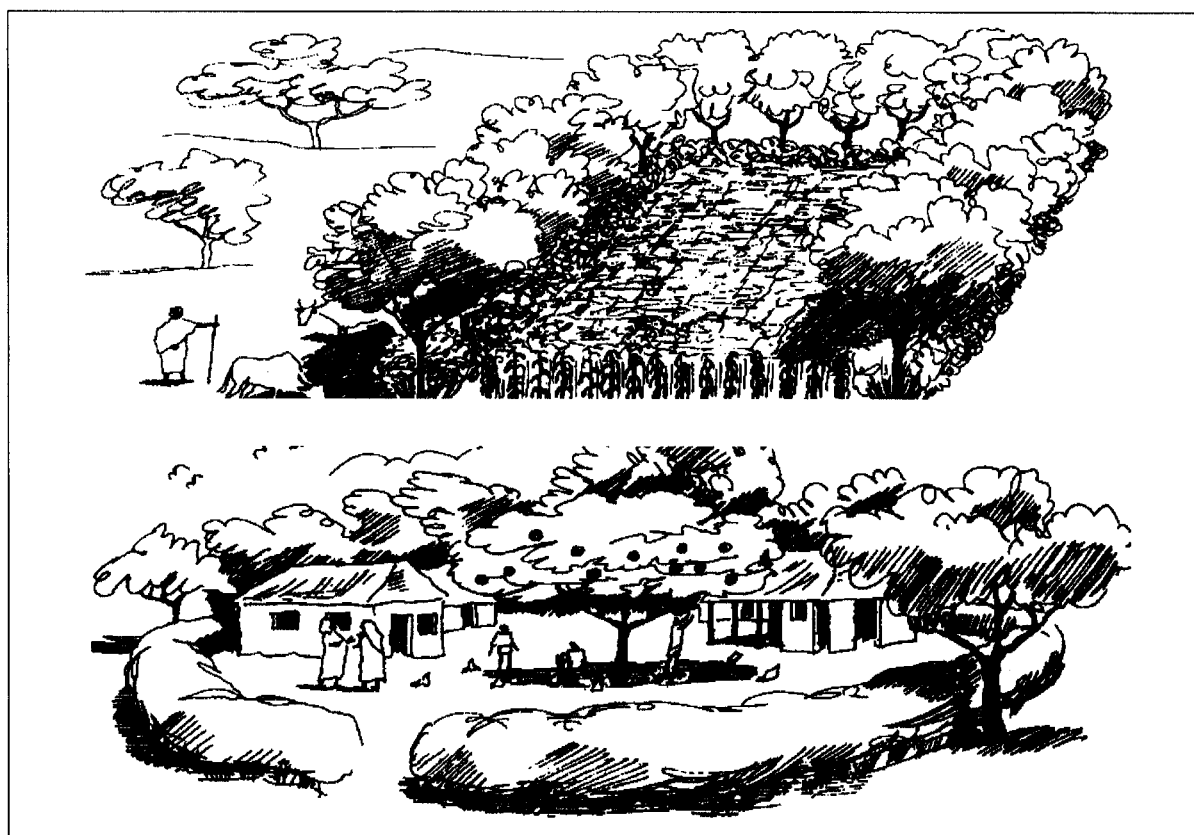
Toute essence pérenne ligneuse peut être considérée comme « à usages multiples » dans tel contexte et comme « à usage unique » dans tel autre.

Niveaux d'exploitation d'arbres à usages multiples

L'agroforesterie peut s'appliquer à différents niveaux d'exploitation dans un site donné. Le niveau zéro est l'exploitation individuelle, où les arbres sont plantés autour des bâtiments ou marquent les limites de la propriété. A l'opposé, les pratiques agroforestières peuvent s'appliquer à l'ensemble du bassin hydrographique ou à de grandes étendues de cultures céréalières, les arbres étant plantés le long des courbes de niveau ou en brise-vent afin de faire obstacle à l'érosion hydrique ou éolienne.

Le rôle fondamental des plantes pérennes ligneuses peut varier dans une large mesure selon les besoins du système, comme l'indique le tableau 1.1. Un document de l'ICRAF intitulé *Agroforestry Systems Inventory* (voir Nair, 1989) fournit de nombreux exemples. L'annexe I consiste en une liste des caractéristiques des AUM, des fonctions de production ou de service qu'ils peuvent remplir, ainsi que certaines caractéristiques importantes relatives au mode de culture. Dans le cadre des expériences d'agroforesterie, on prend comme unité de base la zone de contact entre un arbre à usages multiples et un plant de la culture considérée. C'est ce que l'on appelle l'« interface arbre-culture » (Huxley, 1983a).





Applications forestières

- Protection des forêts, réhabilitation et régénération des sols
- Gestion de la végétation naturelle
- Plantations industrielles
- Bois de village
- Boisements de ferme

Usages agroforestiers

- Arbres sur terres cultivées, cultures intercalaires
- Cultures intercalaires en haies
- Plantation le long des courbes de niveau des champs
- Arbres dans les jardins de case
- Clôtures et haies vives
- Arbres servant à marquer les limites d'un terrain
- Arbres sur terrasses et ouvrages de terre
- Arbres en bordure des cours d'eau, des ravines et des zones d'inondation
- Parcelles fourragères
- Brise-vent et rideaux d'arbres
- Jachères améliorées
- Arbres sur pâturages et parcours

Tableau 1.1 : fonctions de production et de service des plantes pérennes ligneuses dans les systèmes d'exploitation des terres.

Sélection des arbres à usages multiples selon le site

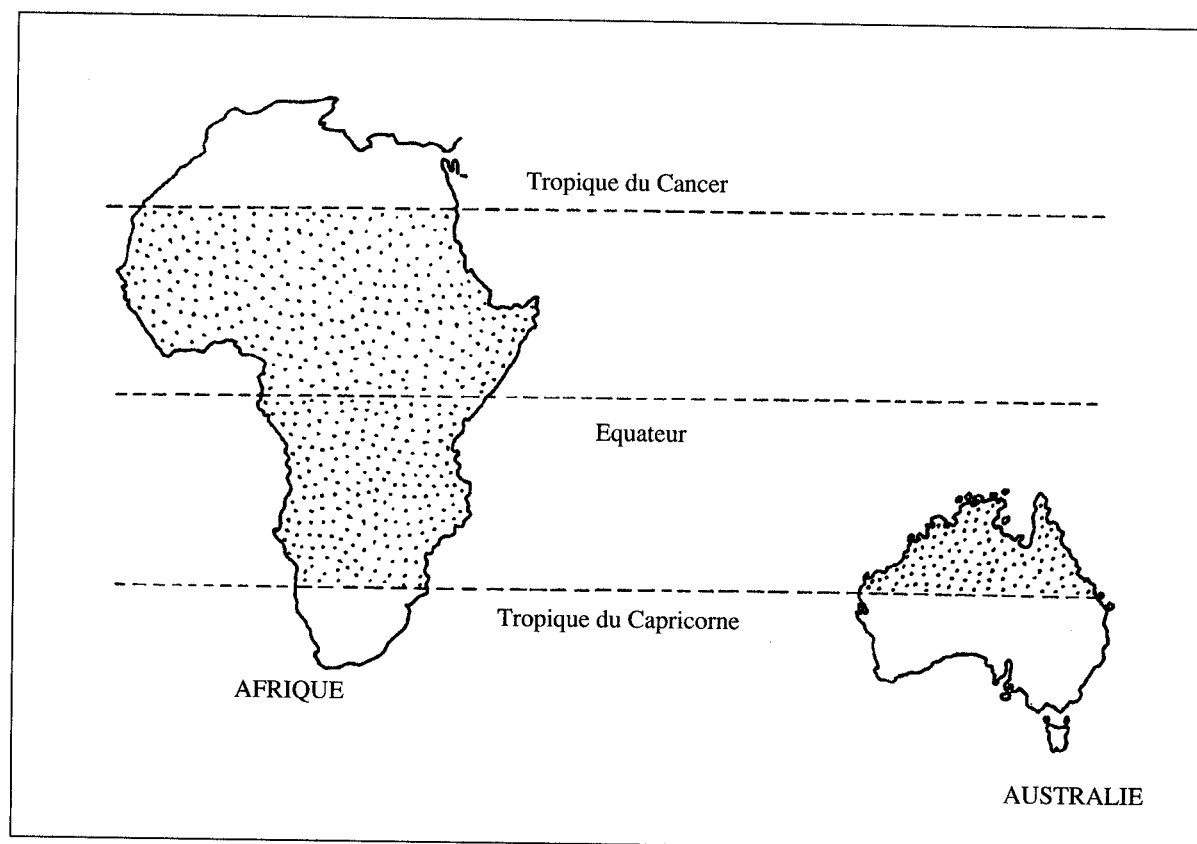
Lorsqu'on connaît mal une essence, la recherche est principalement d'ordre *exploratoire*. Plus l'information s'accumule, plus la recherche devient *pointue*, c'est-à-dire plus orientée sur les aspects techniques ; en outre, elle se concentre davantage sur un site donné. L'exercice qui consiste à déterminer quel site correspond à celui où l'on désire introduire une espèce s'appelle une *comparaison homoclimale*. Comme le nom l'indique, il s'agit essentiellement de trouver des climats analogues, sans toutefois perdre de vue les aspects liés à la terre et au système d'exploitation.

Les comparaisons homoclimales permettent de réduire considérablement la liste des essences d'AUM à étudier à des fins d'introduction, liste qui peut en comprendre plusieurs centaines. Par contre, de telles comparaisons ne sauraient remplacer l'étude comparative, sur le terrain, des essences potentielles.

Il existe, de par le monde, plusieurs banques de données consacrées aux AUM. Elles permettent d'effectuer des comparaisons homoclimales pour une première sélection d'AUM. On parlera ici de trois d'entre elles. La banque de données AUM de l'ICRAF comprend des informations sur le climat et les types de sol des sites où plus de 1 000 essences sont effectivement cultivées actuellement. C'est également autour de ces caractéristiques que s'articule la banque de données

INSPIRE (Oxford Forestry Institute ; voir Webb *et al.*, 1984), mise en place en vue de la sélection de plus de 200 essences convenant aux boisements. Enfin, la CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Canberra, Australie) a créé une banque de données appelée TREDAT, réservée aux essences australiennes couramment exploitées en système agroforestier tropical.

Toujours en ce qui concerne les essences australiennes, Booth *et al.* (1987) ont pu améliorer les procédés de comparaison des sites grâce à deux techniques de nature quantitative. Toutes deux font appel aux méthodes modernes d'interpolation pour estimer les variables météorologiques de sites pouvant se trouver à des distances considérables des stations météo-



rologiques, et toutes deux visent à effectuer des comparaisons d'essences et de sites australiens. La première ne nécessite aucune information biologique étant donné qu'elle compare simplement les conditions climatiques moyennes d'un site d'expérimentation situé en dehors de l'Australie avec les conditions qui règnent sur 2 795 sites constituant une grille régulière qui couvre l'Australie à intervalles d'un demi-degré. La seconde méthode exploite l'information disponible sur la répartition naturelle des essences considérées, ainsi que sur les résultats d'essais les concernant, afin de décrire en détail leurs besoins d'un point de vue climatique. La banque de données AUM de l'ICRAF n'utilise pas encore de cette manière les résultats d'essais, le système INSPIRE de l'Oxford Forestry Institute n'y faisant, quant à lui, appel que dans une faible mesure.

On appelle *provenance* le site où a été recueillie la semence d'une espèce donnée. Nous y reviendrons plus en détail au chapitre 6. Les provenances d'une espèce peuvent varier à tel point qu'on les considère parfois comme appartenant à des espèces différentes. Toutefois la question de la variation de spécimens de provenance différente, au sein d'une même espèce, est difficile à intégrer dans une banque de données. Les méthodes décrites par Booth fournissent de bonnes solutions à ce problème.

Sélection d'AUM adaptés aux besoins des gens

Il ne suffit pas qu'une plante pérenne ligneuse présente une utilité en matière de service ou de production ; elle doit en outre pouvoir être acceptée

sans réserves par les agriculteurs et les collectivités locales. Parmi les aspects les plus importants aux yeux de nombreuses communautés figurent la quantité de fumée produite par le bois de feu, les odeurs ou saveurs dégagées par ce dernier ou par le charbon de bois, et la présence ou l'absence d'épines. Quoi qu'il en soit, les facteurs décisifs, du point de vue des agriculteurs, sont les *avantages économiques attendus* et la *capacité de limitation des risques*. Les agriculteurs n'adopteront pas une nouvelle essence ou une nouvelle technique si sa supériorité n'est pas démontrée à ces différents égards. C'est pourquoi les programmes de recherche à long terme doivent prévoir la collecte des données économiques appropriées.

D'autres facteurs « sociaux » doivent être pris en considération lorsqu'on prépare des activités de recherche, bien qu'ils soient plus difficiles à quantifier

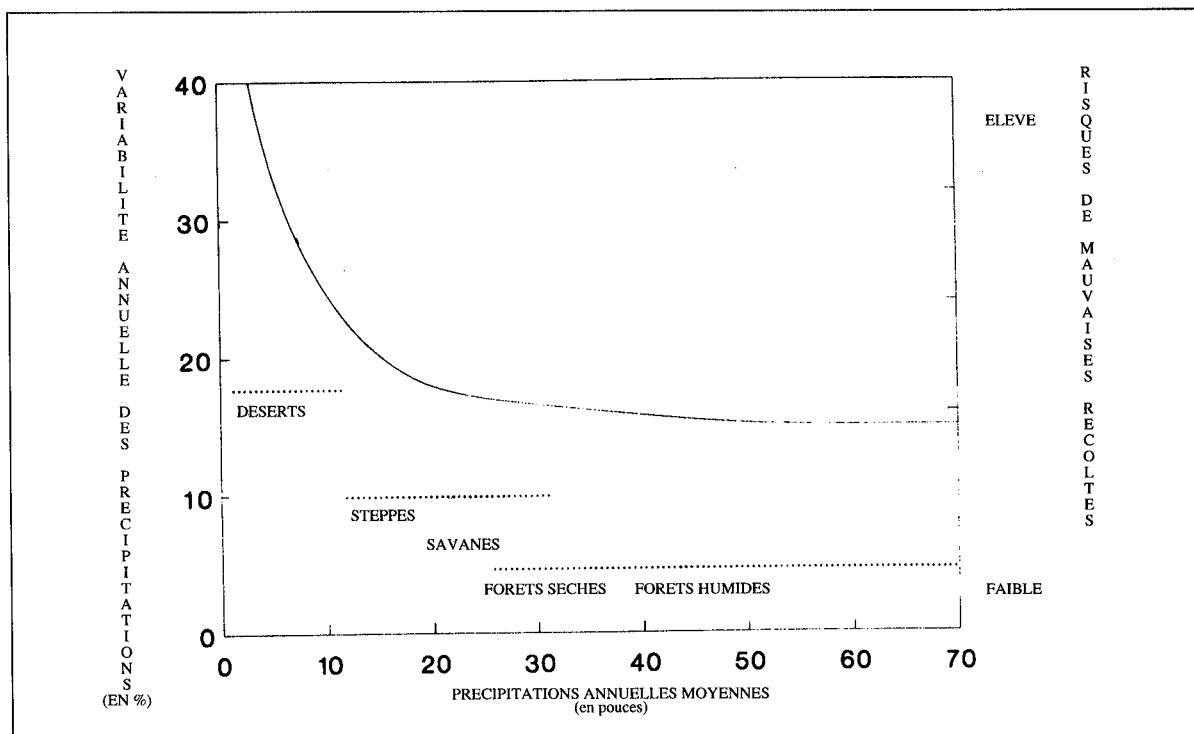


Diagramme de l'accroissement du risque de perte de récoltes proportionnellement à l'aridité du climat.

que les avantages économiques. Il s'agit entre autres des préférences, des goûts et des comportements culturels et religieux des personnes et de la collectivité ; il existe de nombreux exemples d'essences qui, bien qu'elles soient idéalement adaptées à un site donné, n'ont pas la faveur des agriculteurs parce qu'elles ne correspondent pas à l'un des facteurs précités. Bon nombre de ces derniers peuvent être mis en lumière par des enquêtes menées dans les zones rurales (pour plus de détails à ce sujet, voir le chapitre 2). Un programme de recherche doit tôt ou tard s'intéresser à ces préférences, s'efforcer de les classer par ordre d'importance et fournir des renseignements concrets sur les caractéristiques de croissance et l'utilité des arbres consi-

dérés, afin d'aider collectivités locales et planificateurs du développement à prendre leurs décisions en connaissance de cause.

Fonction des espèces indigènes

Dans de nombreux pays, en matière d'agroforesterie, les tenants de l'exploitation d'essences indigènes d'AUM s'opposent aux partisans des essences exotiques. Dans tous les cas, il convient avant tout de faire le meilleur choix *du point de vue de l'agriculteur et du site*. En agroforesterie, comme en agriculture et en foresterie modernes, on a sans doute exagéré mis l'accent sur les essences exotiques, princi-

palement parce que l'on considérait leur culture comme plus commode et leurs produits comme plus vendables. Il faut néanmoins évaluer également les essences indigènes d'AUM, non seulement les plus courantes, mais aussi celles qui sont moins connues ou dont l'utilité est plus particulière. Nombre d'entre elles peuvent être repérées lors d'enquêtes en milieu naturel, d'études ethnobotaniques ou d'études spécialisées portant sur la commercialisation. Bien entendu, le fait que certains agriculteurs exploitent une essence donnée ne signifie pas nécessairement qu'elle est adaptée à la pratique agroforestière envisagée ; mais une analyse est certes justifiée étant donné qu'elle peut manifestement survivre dans la zone considérée et qu'elle y est acceptée.



Chapitre 2 : diagnostic des problèmes liés à l'exploitation des terres et conception des pratiques agroforestières

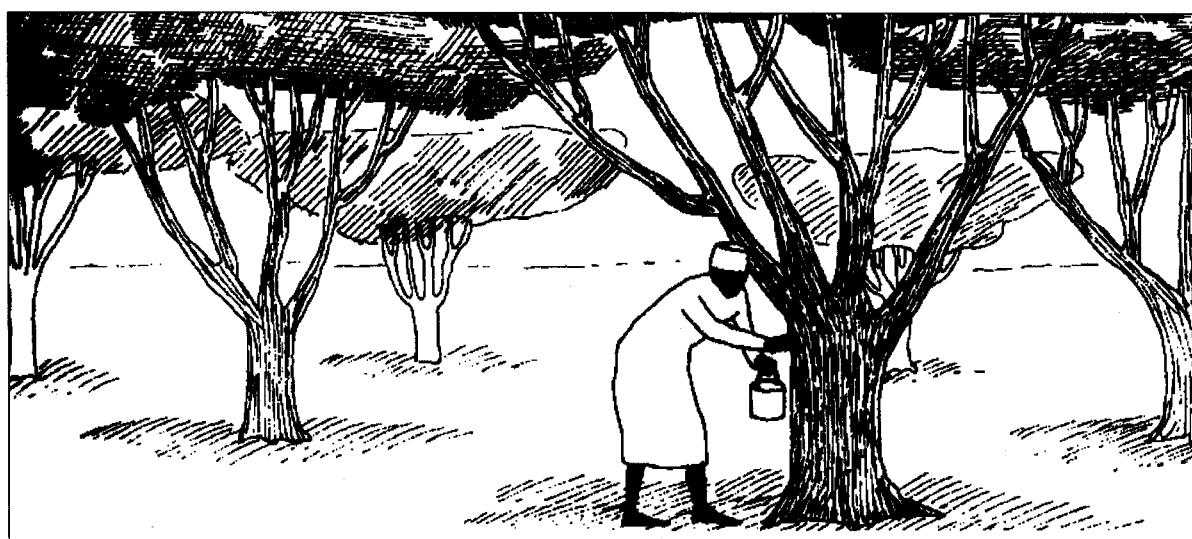
C'est à l'agriculteur ou à tout autre exploitant des terres que revient la décision finale quant à l'adoption éventuelle d'une pratique agroforestière en vue de sa mise en oeuvre dans un système particulier d'utilisation. Toutefois, étant donné le nombre infini de possibilités en matière d'utilisation des arbres en association avec d'autres cultures ou avec des animaux, le choix d'une pratique d'exploitation n'est jamais une tâche facile.

Le chercheur qui doit désigner, parmi les multiples expériences possibles, celles qui seront effectivement menées se trouve confronté à un problème similaire, en particulier lorsque les ressour-

ces affectées à la recherche sont limitées. Devraient être prioritaires, du point de vue de la recherche et de la vulgarisation, non pas nécessairement les pratiques les plus faciles à mettre en oeuvre, mais plutôt les plus prometteuses pour les problèmes à résoudre.

En vue d'aider les chercheurs et les agents de vulgarisation à définir ces priorités et à élaborer des recommandations viables, l'ICRAF a mis au point la méthode appelée D&D (*Diagnosis and design*). Il s'agit ni plus ni moins d'une démarche qui vise à appliquer systématiquement un principe du monde médical selon lequel « le diagnostic précède le traitement ».

Quel que soit le domaine considéré, la résolution d'un problème passe par sa définition exacte. Un exposé clair du problème suffit souvent à suggérer la nature d'une solution possible. Ce raisonnement figure au coeur de la logique sur laquelle s'appuie la méthode D&D pour déterminer les pratiques agroforestières les mieux adaptées à l'ensemble des problèmes et des possibilités qui caractérisent un système d'exploitation donné. Cette même logique est mise en oeuvre lorsqu'il s'agit de définir des qualités que doivent présenter les essences d'AUM destinées à ce système d'exploitation.



Plusieurs espèces produisent des gommés et des résines faciles à récolter ; c'est notamment le cas de *Boswellia* sp. et d'*Acacia* sp. Elles constituent une excellente source de revenus pour les populations rurales.

Diagnostic des problèmes et des potentialités

Si l'on adopte cette démarche, le diagnostic des potentialités et des problèmes liés à la gestion des terres conduit à un ensemble de spécifications se rapportant aux pratiques d'agroforesterie. Par exemple : quel va être l'apport d'une pratique au système ? et, dans une certaine mesure, comment va-t-on procéder ? (voir tableau 2.1). De telles spécifications renvoient à des pratiques agroforestières de nature générale comme celles qui sont présentées au tableau 1.1. La mise au point d'une pratique modèle nécessite des spécifications précises. Celles-ci doivent comporter les caractéristiques des essences d'AUM susceptibles d'adaptation ainsi que d'autres composantes végétales du système, et présenter des plans détaillés relatifs à la disposition dans l'espace et aux pratiques culturales. Cette étape nécessite une bonne connaissance des espèces utilisées, de leurs modes d'interaction et de leur réponse aux pratiques culturales, de façon à les combiner en un système viable.

Etant donné que chaque système d'exploitation comporte une série de problèmes particuliers auxquels des so-

lutions spécifiques doivent être apportées, chaque système doit faire l'objet d'une démarche D&D distincte. Une enquête préliminaire est donc nécessaire en vue de délimiter et de décrire les différents systèmes d'exploitation visés. Des études D&D en milieu naturel examinent ensuite de près chaque système d'exploitation.

L'objectif ultime du processus D&D est bien entendu d'encourager l'adoption de pratiques d'agroforesterie choisies par les agriculteurs et autres exploitants. Toutefois, les connaissances relatives au mode d'interaction des essences considérées sont toujours rudimentaires. Dans le même temps, bon nombre de pratiques agroforestières manquent encore de substance, alors que d'autres, traditionnelles chez certains agriculteurs, n'ont encore jamais fait l'objet d'un examen scientifique systématique. Pour cette raison, la plupart des démarches D&D révèlent qu'il est urgent d'approfondir les recherches.

Priorités de la recherche

La principale caractéristique de la méthode D&D réside dans la manière dont les priorités de recherche sont issues d'une tentative de concevoir

un système agroforestier approprié. Nous utilisons le terme « tentative » parce qu'au début, avant que les recherches nécessaires n'aient été menées à bien, il peut ne pas être possible de spécifier avec un minimum de sécurité toutes les caractéristiques de la technique recherchée. Par exemple, on peut constater directement que la culture en couloirs est nécessaire à tel système d'exploitation, mais quelles essences faut-il utiliser ? quel espacement faut-il laisser dans la rangée et entre chaque rangée ? dans le cadre de quelle méthode culturale ? Seule la recherche peut répondre à ces questions.

En résumé, se livrer à une tentative de mise au point d'un modèle agroforestier détaillé et constater que l'on ne dispose pas de l'information nécessaire revient à identifier clairement les domaines dans lesquels des recherches sont nécessaires. En outre, tout programme de recherche issu d'une telle démarche ne peut qu'être en prise directe sur les problèmes réels que présente le système d'exploitation. Dès la mise en oeuvre du programme de recherche, le processus D&D, qui est par nature itératif, permet d'éviter que ce programme ne perde de vue son objectif : optimiser des techniques agroforestières destinées au système d'exploitation visé.

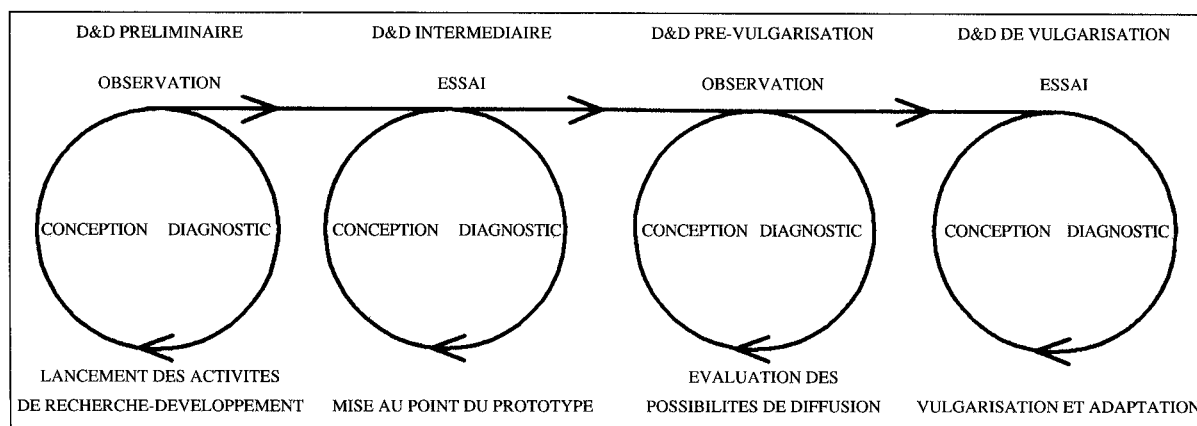


Figure 2.1 : le processus itératif D&D dans le cadre d'un projet de mise au point et de diffusion des pratiques agroforestières.




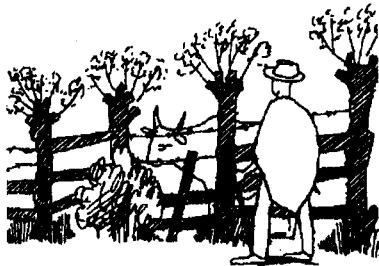
Macro D&D	Définir les interventions agroforestières prometteuses pour l'ensemble d'un bassin hydrographique.	Exemple	Clôtures vives devant également fournir du bois de feu et du fourrage.	
Micro D&D	Elaborer des instructions relatives aux effets qu'auront les interventions sur le système d'exploitation.	Exemple	Décrire les conditions climatiques dans lesquelles les arbres devront grandir et prospérer.	
Conception technique	Etablir des instructions détaillées pour l'évaluation du prototype en champs et en station.	Exemple	Mettre au point des méthodes de repiquage et d'aménagement forestier.	
Recherche	Développement et essai des techniques.	Exemple	Tester les performances de la pratique agroforestière : répond-elle aux besoins ?	
Information destinée au service de vulgarisation	Former les agents de vulgarisation en vue d'une diffusion plus large.		Préparer les lignes directrices des cours de formation.	

Tableau 2.1 : marche à suivre pour la conception et l'introduction de pratiques agroforestières.

Chapitre 3 : l'arbre idéal pour un système agroforestier (idéotype)

La conception d'un système agroforestier devrait reposer sur la démarche D&D (*Diagnosis and design*). A ce stade, l'une des principales activités est la description du rôle que jouerait l'arbre idéal dans le nouveau système. Il est évident que la plupart des agriculteurs et autres exploitants seraient enchantés de disposer d'un type d'arbre polyvalent. Très peu d'essences existantes peuvent ainsi répondre à tous leurs besoins, mais la définition des qualités idéales constitue un point de départ correct pour l'évaluation des essences d'AUM disponibles. Cet arbre « idéal » s'appelle un *idéotype*.

Les idéotypes

L' *idéotype* est un modèle, du point de vue morphologique et physiologique,

de l'espèce agroforestière idéalement adaptée à une fin particulière. Cette essence donne des résultats réguliers, menant à des rendements supérieurs tant en volume qu'en qualité, dans des conditions environnementales définies.

Trois catégories d'idéotypes végétaux ont été définies par Donald (1968) ; il s'agit :

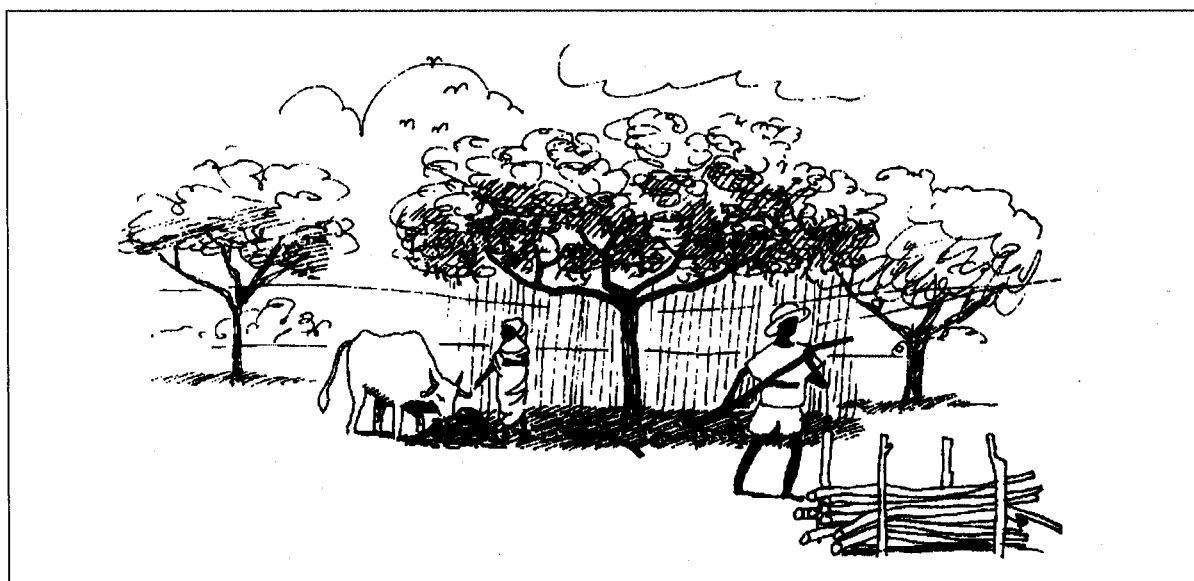
- ♦ des idéotypes *solitaires*, caractérisés par un branchage important et de larges feuilles, ainsi que par d'autres traits relevant d'une croissance dynamique ; ils se développent d'autant mieux qu'ils sont plantés à distance l'un de l'autre ;
- ♦ des idéotypes *compétitifs*, qui se développent bien au sein d'un groupe de végétaux du même type et tendent à dominer les variétés moins volontaires ;

- ♦ des idéotypes *de culture*, capables de partager les ressources environnementales au sein d'un groupe de végétaux du même type.

En ce qui concerne les composantes végétales en agroforesterie, Huxley (1984b) ajoute une quatrième catégorie :

- ♦ les idéotypes *associatifs*, qui contribuent à la concrétisation des objectifs ayant présidé à la mise en place du système agroforestier, tout en maximisant l'utilisation des ressources du milieu tant du point de vue spatial que temporel. En substance, de tels types d'arbres pourraient cohabiter harmonieusement avec d'autres cultures.

Le tableau 3.1 présente une liste des caractéristiques des AUM liées aux



Acacia tortilis produit de l'ombre (service), des gousses pour le fourrage et du bois (produits).

Qualités	Effets
Mode de reproduction, hybridation ou consanguinité, mode de pollinisation.	Liés aux fonctions de production et de service ; variations au sein de populations issues de semis.
Dioïque ou monoïque.	Répartition des sexes au sein des plants et entre ceux-ci : importante du point de vue de la production des semences et des fruits ainsi que des flux de pollen.
Hauteur des arbres.	Facilité de récolte des feuilles, des fruits, des semences, des branches ; ombrage.
Forme de la tige.	Utilisation comme bois de construction, piquets, poteaux ; ombrage.
Dimension et forme du feuillage.	Volume de feuilles, de paillage et de fruits ; ombrage.
Plusieurs tiges.	Production de bois de feu ; ombrage.
Enracinement (profond ou superficiel, étendu ou géotrophique).	Concurrence avec d'autres composantes, en particulier partage des nutriments avec les autres cultures ; qualités pour la conservation du sol.
Importance du feuillage ; composition physico-chimique des feuilles et des gousses.	Rendement et qualité (fourrage et paillis), aspects liés à la fertilité sol.
Présence ou absence d'épines.	Utilisation éventuelle comme clôtures vives ou en association haies/cultures.
Qualité du bois.	Utilisation éventuelle comme bois de feu ou pour la fabrication de divers produits.
Phénologie : cycle de foliation, chute des feuilles, floraison et production des fruits ; saisonnalité.	Epoque de la récolte des feuilles, des fruits et des semences, et exigences en main-d'oeuvre ; aptitude à supporter des conditions extrêmes.
Feuillage caduque ou persistant.	Disponibilité saisonnière ou permanente de feuilles pouvant servir de fourrage ; utilisation éventuelle pour clôtures vives, haies et brise-vent.
Résistance aux parasites ; vigueur.	Qualités indispensables, quelle que soit la fonction.
Adaptabilité au site et à la zone écologique.	Utilisation éventuelle sur sites aux caractéristiques extrêmes ou à des fins de réhabilitation .
Réaction à la taille et à l'ébranchage.	Utilisation en association haies/cultures ou à des fins d'émondage, d'ébranchage et de recépage.
Possibilité de fixation de l'azote.	Utilisation dans les systèmes d'agriculture en couloirs, de jachères cultivées, de rotation.

Tableau 3.1 : qualités des AUM par rapport à leurs fonctions de production et de service (d'après von Carlowitz, 1986b).



Dans l'association haies/cultures, type d'agriculture en couloirs, le produit de la taille des haies est déposé entre les lignes de culture, où il sert de paillis.

différentes fonctions de production et de service. Elles peuvent servir à définir des idéotypes d'AUM à des fins particulières, bien qu'une recherche spécifique soit toujours nécessaire à l'évaluation de la caractéristique « associative ».

Bien entendu, une essence quelle qu'elle soit, pas plus qu'un arbre donné, ne peut posséder toutes les caractéristiques souhaitables pour une pratique agroforestière précise. En fait, certaines de ces caractéristiques peuvent s'avérer incompatibles - par exemple la production de fruits et de bois - étant donné qu'elles peuvent se concurrencer pour les produits de la photosynthèse. Le simple fait qu'on ait besoin des arbres à diverses fins souligne la nécessité d'une définition précise et raisonnée de l'idéotype.

Comme les arbres doivent souvent être cultivés en association avec des végétaux du même type ainsi qu'avec d'autres ayant des morphologies et des comportements phénologiques différents, une gamme de caractères beaucoup plus large doit être considérée en vue de définir les idéotypes voulus par rapport au cas d'arbres de plantations forestières ou de vergers horticulturaux, par exemple.

Aspects génétiques

Les caractéristiques morphologiques et physiologiques des familles, genres et espèces taxonomiques varient énormément, et on constate également d'importantes variations au sein d'une même essence. On peut dès lors s'at-

tendre à des variations considérables entre individus d'une même espèce : provenance, variété ou descendance. Ces variations constitueront une ressource à des fins ultérieures de sélection et d'amélioration génétiques, à condition bien entendu qu'on ait pu décrire les idéotypes voulus de façon appropriée.

La variabilité phénotypique est liée au mode de reproduction d'une essence et, par le biais de divers processus, à la séparation dans l'espace de différents taxons au sein des populations. Un haut degré de variabilité est courant parmi les espèces forestières hybridables. On l'observe notamment chez de nombreuses espèces d'*Acacia* et de *Prosopis*, utilisées en agroforesterie.

La composition génétique d'une essence d'AUM résulte de forces évolutives complexes et ne peut être modifiée en profondeur, sinon éventuellement par manipulation génétique. Des caractéristiques telles que la capacité d'associer les racines avec des bactéries fixatrices d'azote ou de rejeter après recépage sont soit présentes, soit absentes. Des caractéristiques génétiques telles que l'aptitude à supporter la sécheresse, aptitude qui peut être présente à des degrés divers chez différents individus ou populations d'individus (provenance), sont également sujettes à évolution. Il convient d'établir lesquelles, parmi les caractéristiques des AUM, peuvent éventuellement être améliorées par sélection, et lesquelles ne peuvent l'être.

Les idéotypes selon la situation

La description complète de l'idéotype, indiquant les caractéristiques morphologiques et comportementales visées, est différente d'un cas à l'autre. Par exemple, les exigences relatives à l'association haies/cultures sont forcément différentes de celles de la culture mixte ou des peuplements forestiers. La définition des exigences d'un système agroforestier et des arbres qui en font partie peut nécessiter, en outre, des recherches d'ordre social et institutionnel. Certains facteurs socio-économiques sont compris dans la liste des types d'évaluation des AUM figurant dans l'annexe II. Il est toutefois difficile d'attribuer une valeur numérique à ces facteurs ou de les classer par ordre d'importance. On trouvera au tableau 3.2 l'exemple d'un idéotype adapté à des systèmes et produits précis.

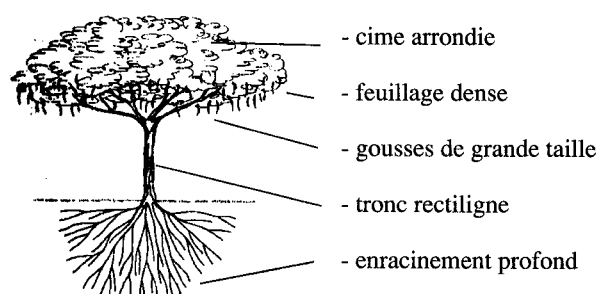
Discussion

Lorsque la priorité est à la production de fourrage, le rendement en gousses et en feuilles a une importance

BESOINS

Produits et services recherchés : (par ordre d'importance)	fourrage, bois de feu, aliments, brise-vent, piquets et poteaux, ombrage
Critère général de sélection :	vigueur
Information complémentaire nécessaire :	y a-t-il fixation de l'azote ? quelle est la composition chimique (valeur fourragère) des feuilles et des gousses ?

DESCRIPTION DE L'IDÉOTYPE

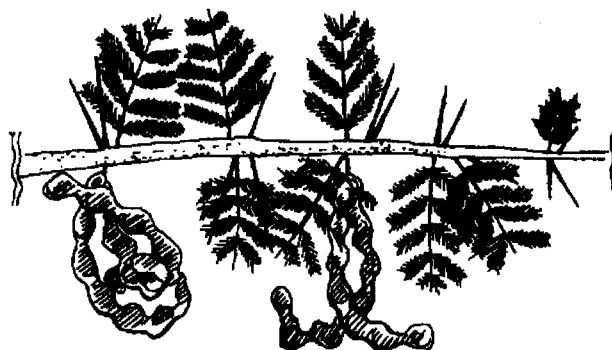


Lors de la description de l'idéotype, il convient d'accorder la même importance à toutes les caractéristiques de l'arbre.

Tronc :	aussi rectiligne que possible au sein de la population ; les phénotypes à plusieurs tiges sont acceptables, mais les fûts doivent être longs.
Cime :	relativement arrondie, de diamètre moyen (rapport cime/fût = 25/1 ou moins) avec de nombreuses branches situées haut sur le tronc ; feuillage moyen à dense.
Racines :	développement selon un angle géotrophique plutôt qu'horizontal.
Gousses :	nombreuses et de grande taille, en moyenne longues de 10 cm et larges de 8 mm.
Epines :	aussi petites et aussi peu nombreuses que possible.
Réponse au traitement :	forte reprise de croissance après émondage et taille de chaque branche ; bonne réponse au recépage.
Feuilles caduques :	courte absence de feuilles en saison sèche par rapport à la moyenne au sein de la population.

Tableau 3.2 : description d'un idéotype d'*Acacia tortilis* pour exploitation agroforestière en zones semi-arides.

Tant la densité du feuillage que la production de gousses sont importantes.

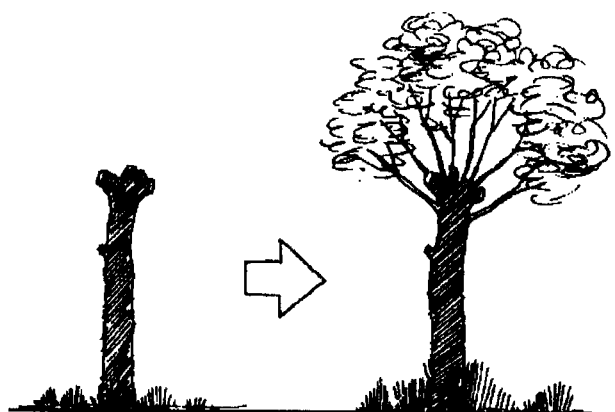


capitale. En conséquence, la modélisation d'un idéotype adapté et la sélection phénotypique qui lui fait suite doivent se concentrer sur des caractères propices à cette production. Une cime assez arrondie présentant une grande surface à la lumière devrait accroître la floraison et la production de fruits. Un feuillage dense et une chute tardive des feuilles don-

neront plus de fourrage pendant une longue période. Une forte repousse sous l'effet de l'émondage, avec des épines plus petites et moins nombreuses, donnera une grande quantité de fourrage digestible pendant longtemps durant la saison sèche. Des troncs rectilignes d'au moins 4 m de haut donneront des piquets et poteaux de bonne qualité sans que l'on doive

renoncer au sous-produit qu'est le bois de feu. La sélection d'individus présentant un branchage très dense accroîtra également la production de bois de feu. Un système racinaire implanté en profondeur est moins susceptible de subir des dommages dus à la culture du sol autour de l'arbre et de faire concurrence à des graminées ou à des cultures voisines.

Grâce à la technique de l'émondage, les nouvelles pousses feuillues apparaissent après récolte des branches échappent au broutement.



Deuxième partie :

conception et planification
des activités de recherche

Chapitre 4 : objectifs et planification de la recherche

Les principes fondamentaux de la planification sont les mêmes pour toutes les activités de recherche portant sur l'exploitation des terres. Toutefois, dans le cas de l'agroforesterie, la planification de la recherche diffère à plusieurs titres des pratiques courantes en agriculture et en foresterie.

Premièrement, les organismes qui s'occupent d'agroforesterie sont peu nombreux. Les planificateurs doivent décider quel ministère ou quel organisme de recherche effectuera les travaux nécessaires. Deuxièmement, la mise au point et l'exploitation efficace de mélanges de cultures, de bétail et d'arbres et arbustes à usages multiples dépendent d'une excellente connaissance d'une vaste gamme d'effets et d'interactions qui ne faisaient pas partie de la science agronomique ou forestière d'antan. Troisièmement, la complexité même des systèmes (nombre de combinaisons possibles d'essences et d'époques d'implantation) exige la mise au point de nouveaux modes de recherche afin de réduire le nombre des expériences nécessaires et d'exploiter au mieux le sol et autres ressources limitées.

Les chercheurs qui s'efforcent de guider les agriculteurs vers la meilleure utilisation possible des AUM au sein d'un système agroforestier doivent répondre à trois questions fondamentales :

- ♦ combien d'espèces ou de mélanges d'espèces ?
- ♦ combien d'individus et selon quelle combinaison ?
- ♦ comment gérer les arbres et les autres cultures ?

Pour répondre à la première de ces questions, il faut procéder à une éva-

luation des AUM ; c'est précisément l'objet de l'ouvrage. Les expériences portant sur les mélanges et les combinaisons d'arbres et de cultures constituent la base de l'élaboration de techniques agroforestières. La conception et la mise en place de systèmes types expérimentaux permettent de tester les performances et l'acceptabilité, par les agriculteurs, d'un certain nombre de spécifications intéressantes.

- Énoncé clair des objectifs de recherche
- Planification et répartition de la charge de travail (calendrier de toutes les activités)
- Affectation des ressources en fonction des tâches prévues
- Gestion et contrôle financier
- Utilisation et publication des résultats

Tableau 4.1 : fonctions principales d'un programme global de recherche.

Planification de la recherche en fonction des ressources

La recherche agroforestière, comme tout autre type de recherche, dépend de la disponibilité des ressources fondamentales que sont la terre, la main-d'œuvre, le savoir-faire et les capitaux. La planification de la recherche vise la mise au point d'un programme de conception et de gestion tenant compte aussi bien des objectifs de recherche que des ressources dont on dispose. Le tableau 4.1 liste les fonctions principales d'un programme global de recherche.

En agroforesterie, la gamme des questions auxquelles doit répondre la recherche est presque toujours beaucoup plus large que celle des ressources. En outre, ces questions sont elles-mêmes souvent assez vastes et il se peut qu'on doive les circonscrire et les classer par ordre de priorité afin de pouvoir mettre au point des expériences viables. Enfin, l'importance des questions de haute priorité peut s'inscrire dans le court terme ou dans le long terme. Il faudra éventuellement procéder aussi à des comparaisons avantages-coûts du point de vue du groupe visé.

La sélection des objectifs prioritaires de la recherche repose principalement sur les résultats des enquêtes préliminaires sur le terrain. Le classement numérique des priorités peut constituer pour l'équipe de recherche un point de départ utile à la discussion et à la prise de décision.

Terres

Les parcelles servant aux essais en milieu naturel doivent être représentatives des terres exploitées ou susceptibles de l'être dans le cadre des systèmes agroforestiers étudiés. En outre, il importe de s'assurer le droit d'exploitation pour la durée du programme de recherche, tout particulièrement dans le cas d'essais agroforestiers en milieu réel. Tout terrain présente une variabilité intrinsèque dont il importe de tenir compte, en particulier pour les plans de recherche très complexes.

Main-d'œuvre

La main-d'œuvre, aussi appelée ressources humaines, comprend non seulement les travailleurs manuels néces-

saires à la mise en oeuvre et à l'entretien des expériences en milieu naturel, mais également un personnel de cadres et de techniciens formés et suffisamment nombreux pour préparer, gérer et interpréter les recherches. A cet égard, le manque de personnel formé aux méthodes de recherche agroforestière peut poser un problème.

Capitaux

Les capitaux, outre les moyens financiers nécessaires à l'achat des bâtiments et du matériel ainsi qu'au règlement des frais de fonctionnement, comprennent le coût de l'acquisition de l'information et les ressources génétiques. Dans le domaine de la recherche agroforestière, l'un des usages qui sont faits de ces capitaux est la conséquence du manque d'information publiée sur les questions considérées. Il est proba-

ble que l'évaluation des AUM à des fins agroforestières sera entravée par une connaissance insuffisante de la biologie fondamentale des essences ainsi que des techniques agroforestières que l'on entend introduire. Le manque de matériel génétique approprié peut aussi constituer un obstacle.

Sources d'information

Aucune recherche ne devrait être entreprise avant une étude approfondie de ce que l'on connaît déjà, de façon à ne pas « réinventer la roue ». Les bibliothèques et services de documentation internationaux tels que ceux figurant au tableau 4.2 fourniront une aide précieuse. La principale source d'information relative à la sélection des essences à des fins d'agroforesterie est

la banque de donnée AUM de l'ICRAF, qui porte sur plus d'un millier d'essences et s'intéresse plus particulièrement à l'utilité des arbres. Parmi les autres sources d'information importantes, on compte la NFTA (Nitrogen-Fixing Tree Association, Etats-Unis), la CSIRO en Australie, et certains des centres du Groupe consultatif pour la recherche agronomique internationale (GCRAI).

Préparation du plan de recherche

L'information de base devant figurer dans un plan de recherche agroforestière doit comprendre les éléments suivants :

- ♦ les objectifs du programme et les groupes cibles au profit desquels la

ICRAF	Banque de données consacrée aux arbres et arbustes à usages multiples	Plus de 1 000 espèces
	Banque de données de la bibliothèque de l'organisme	7 800 documents sur l'agroforesterie
	Inventaire des systèmes agroforestiers	150 systèmes décrits
	Edite <i>Agroforestry Today</i> ainsi que (en collaboration) <i>Agroforestry Systems</i>	
FAO/AGRIC	Banque de données sur l'agriculture mondiale	Plus de 100 000 articles bibliographiques ajoutés chaque mois
CABI	Banque de données bibliographiques sur l'agroforesterie et des questions voisines ; édite les <i>Agroforestry Abstracts</i>	Plus de 300 titres ajoutés chaque trimestre
USDA/AGRICOLA	Banque de données informatisée	Donne accès à l'information de la bibliothèque agricole nationale des Etats-Unis

Tableau 4.2 : principales sources d'information en matière de recherche agroforestière.

recherche a été planifiée : ils sont définis à partir de brèves enquêtes préliminaires (D&D ; voir chapitre 2). Il convient de les placer dans le contexte des priorités et programmes nationaux de recherche. Dans certains cas, il peut être souhaitable d'effectuer des essais menant à la mise en place d'un « système type » (voir chapitre 2), plutôt qu'une expérience à proprement parler, en vue de limiter les frais engagés, tout particulièrement lorsque l'on ne dispose pas de connaissances suffisantes pour mettre au point des essais portant sur toutes les variables importantes. Dans la plupart des cas, des travaux de fond sont nécessaires, dont la collecte et le stockage de matériel génétique, le traitement de l'information, les études botaniques et la recherche en pépinière ;

- ♦ une courte présentation de l'état actuel des connaissances : il faut souvent examiner une vaste littérature ne se rapportant pas directement à l'agroforesterie afin de déterminer ce qui est déjà connu et les

résultats auxquels on peut s'attendre ;

- ♦ le programme des travaux envisagés pour des périodes précises : il s'agit en principe d'un programme détaillé d'un an et des grandes lignes d'un programme de cinq à dix ans. Il convient de classer par ordre de priorité les divers aspects des recherches prévues, au cas où une coupe budgétaire inattendue ou toute autre situation d'urgence imposerait la suppression de certaines de ces activités ;
- ♦ l'estimation des besoins en ressources : ressources financières, terrain, ressources humaines (personnel qualifié et non qualifié) ;
- ♦ processus détaillé de rédaction, de diffusion et d'utilisation de l'information issue des recherches : la recherche agroforestière, comme la recherche forestière mais à l'inverse de la recherche agricole, peut prendre de nombreuses années avant d'aboutir à des résultats probants. Il convient dès lors de veiller à ce que les données provisoires fassent l'ob-

jet d'une diffusion et d'un traitement appropriés.

Le plan de recherche agroforestière, tel qu'il est décrit ci-dessus, peut constituer un document volumineux. C'est sur lui que reposeront les différents programmes de recherche préparés en vue de chaque essai à effectuer.

Préparation du plan expérimental

Après avoir clarifié les objectifs de recherche et défini les espèces idéales d'AUM (idéotypes) en fonction de ces objectifs, le chercheur procède au choix du modèle expérimental et à la préparation du plan expérimental (tableau 4.3). Celui-ci doit être préparé dans le cadre du plan global de recherche. Le plan expérimental a une importance essentielle du point de vue de la continuité de la gestion et de l'évaluation de chacun des essais ; le plan de recherche permet de veiller au bon déroulement du programme de recherche dans son ensemble.

OBJECTIFS ET PLANIFICATION

INTITULE (titre du programme global ou du département de recherche) :

Intitulé de l'essai :

Référence de l'expérience :

Date de lancement :

Nom ou poste de l'agent responsable de l'exécution du plan :

DESCRIPTION

Exposer brièvement la nature et le contexte de l'expérience ; préciser son importance au sein du programme global de recherche ; mentionner tout essai similaire.

OBJECTIFS

Présenter clairement les objectifs de l'expérience, y compris le type d'information recherchée, la durée prévue et la période de rédaction du rapport.

METHODES

1. Site de l'expérience, indications permettant de s'y rendre et carte du site.
2. Espèces concernées et description de l'origine, provenance et source de matériel génétique.
3. Site de la pépinière et description des techniques qui y ont cours.
4. Arrangement spatial du plan, dimension de la parcelle et des bordures ; le cas échéant, joindre une carte du site et un schéma des parcelles.
5. Description de tout traitement devant être administré en sus de l'essai de base.
6. Tâches nécessaires : sarclage, éclaircie, élagage, fertilisation, irrigation, etc.
7. Information statistique : degré de précision nécessaire et degré de probabilité fixé pour les tests (95 et 99 % sont les plus courants, mais on peut également indiquer le taux de probabilité effectif).
8. Analyse de la variance.
9. Evaluations à effectuer et dates.
10. Note indiquant le mode d'analyse des résultats.

RESSOURCES

1. Description des besoins (terres, semences et pépinière).
2. Spécifications relatives aux clôtures et aux limites intérieures et extérieures.
3. Organisation de l'emploi des machines, le cas échéant.
4. Besoins en personnel, si possible avec emploi du temps.
5. Estimation des coûts.

Tableau 4.3 : liste des éléments à considérer lors de l'élaboration d'un plan expérimental (tous les essais ne nécessitent pas forcément la présence de tous les éléments ci-dessus).

Chapitre 5 : conception de l'expérience

De nombreux ouvrages sont consacrés à la conception d'expériences et à l'analyse statistique, y compris plusieurs livres et manuels se rapportant spécifiquement à la recherche agroforestière. La série de fascicules de l'ICRAF intitulée *Source materials and guidelines for the exploration and assessment of multipurpose trees*, ainsi que diverses autres publications de l'ICRAF, comprennent de précieux renseignements de base. Le présent chapitre ne constitue qu'un résumé des diverses manières d'aborder certains problèmes liés à la recherche. On trouvera dans la bibliographie la liste d'un certain nombre de publications accordant une plus grande attention aux aspects pratiques et théoriques de la conception d'expériences.

Sources de variabilité

Chaque lot de matériel biologique (germoplasme d'une essence d'AUM)

est unique du point de vue de sa variabilité. Il peut en effet exister des différences considérables entre les populations, entre des plants d'une même population implantés dans des sites différents, voire entre des plants d'une même population sur un même site. Les caractéristiques d'un végétal en croissance, considérées dans leur ensemble, constituent le « phénotype ».

Les différences phénotypiques sont d'origine tant génétique qu'environnementale ; de fait, même les descendants d'un seul clone (qui sont donc génétiquement identiques) différeront selon les circonstances dans lesquelles ils sont cultivés.

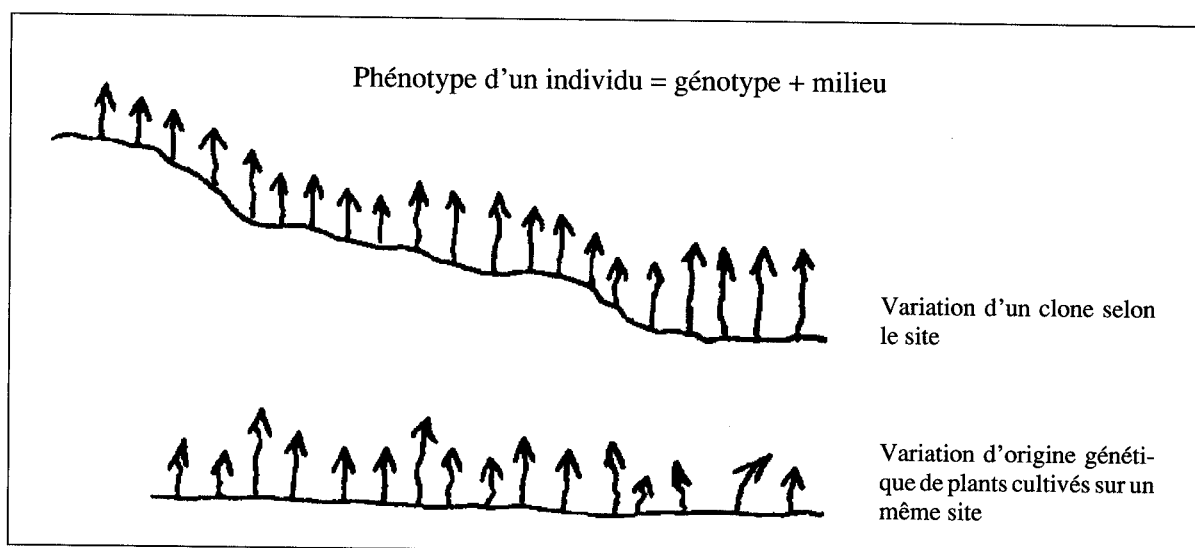
Le taux de croissance des végétaux et un certain nombre d'autres caractéristiques dérivent de l'interaction du génotype et du milieu. Le milieu, quant à lui, est la combinaison du climat, du sol et de facteurs biologiques qui exercent une influence sur le végétal. Ces facteurs sont notamment la concurrence

d'autres végétaux, les déprédations des ravageurs et des maladies et l'influence des humains et des animaux.

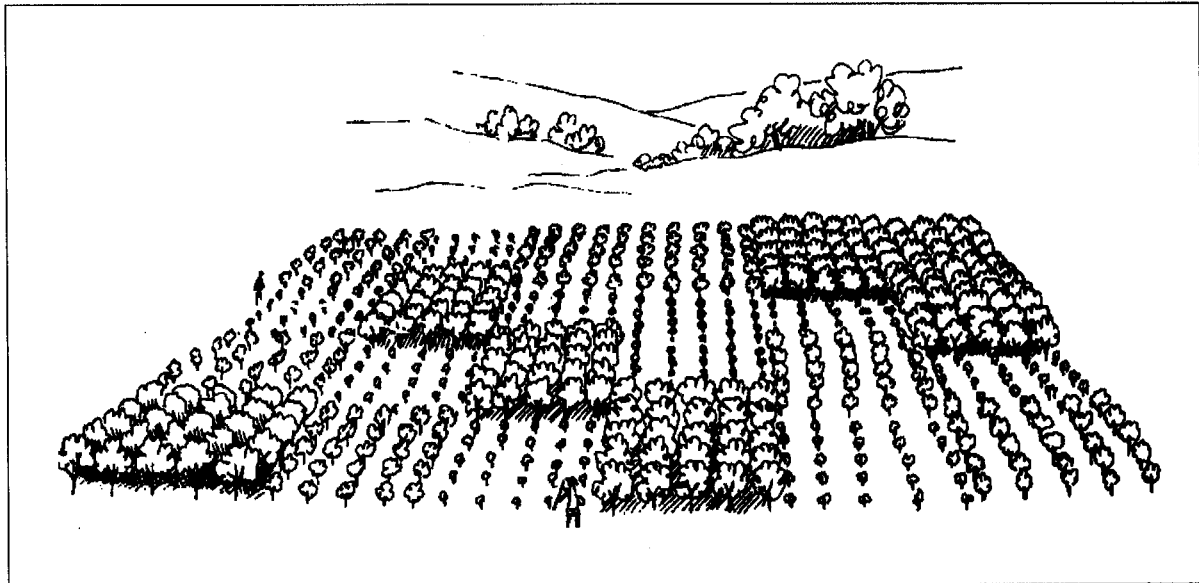
La recherche portant sur les essences et les provenances vise à évaluer les différents comportements phénotypiques de différents génotypes dans un milieu donné, et – dans certains cas – à déterminer si ces différences sont les mêmes dans au moins deux milieux différents. Ces différences de comportement sont ce que l'on appelle l'interaction génotype/milieu (IGM).

La plupart des obstacles à la concrétisation des objectifs de recherche sont dus aux éléments suivants :

- ♦ le milieu dans lequel on cultive les arbres ne peut être parfaitement maîtrisé ;
- ♦ des plants de même provenance ne sont jamais génétiquement identiques et ne sont pas nécessairement représentatifs de leur catégorie.



Le phénotype observé est le produit du génotype modifié par le milieu.



que) de l'introduction d'essences d'AUM dans le cadre de pratiques agroforestières données. De telles recherches porteront sur un petit nombre d'essences connues et prometteuses (pour plus de détails, voir les chapitres 10 et 12). Ces travaux peuvent avoir lieu parallèlement à l'évaluation génétique (chapitre 13), qui comprend elle-même des composantes pépinière, repiquage et culture. Cette phase de l'expérimentation est souvent appelée la *phase probatoire*.

Un bon exemple d'un facteur qui mérite de faire l'objet d'un test préliminaire est celui des *Rhizobium*, bactéries symbiotiques que l'on trouve dans les nodules racinaires des légumineuses ligneuses fixatrices d'azote. Si le matériel génétique d'une population quelconque présente un besoin particulièrement grand pour une souche donnée de *Rhizobium* et que cette souche est difficile à obtenir ou inoculer, il se peut que l'on doive exclure la population en question, même si elle est particulièrement adaptée au site.

Plans expérimentaux pour essais d'espèces et de provenances

L'objectif principal de l'essai d'espèce ou de provenance est d'estimer correctement les différences entre populations, entre milieux et, le cas échéant, entre traitements. Le plan choisi pour chaque expérience sera décrit dans le plan de recherche. Il doit tenir compte des facteurs suivants :

- ♦ choix du site ;
- ♦ répétition correcte ;
- ♦ constitution de blocs ;
- ♦ randomisation ;
- ♦ simplicité de l'ensemble.

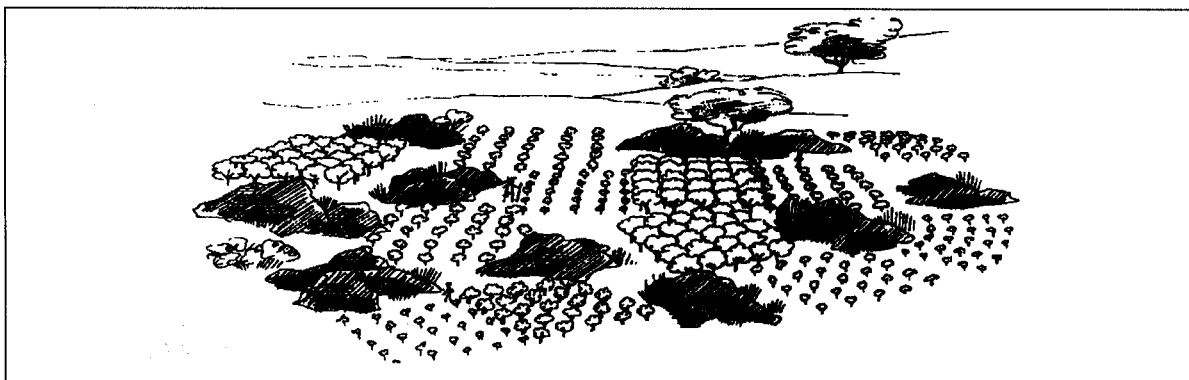
Choix du site

Le choix du site où aura lieu l'expérience influe de plusieurs façons sur la planification et la conception de l'expérience. Le chapitre 6 porte sur l'influence de la configuration du lieu

ainsi que sur d'autres facteurs tels que la proximité de bâtiments ou d'arbres. La superficie du terrain dont on dispose influe évidemment sur l'envergure de l'expérience. Les caractéristiques microclimatiques et édaphiques ont un effet considérable sur l'orientation et la disposition des blocs (blocs complets aléatoires, plans en treillis et agencements voisins). Les pentes raides, la proximité de peuplements et autres caractéristiques importantes peuvent nécessiter le recours à des dispositifs en carré latin.

Répétition correcte

Augmenter le taux de répétition de chaque population (c'est-à-dire le nombre des parcelles où est cultivée chacune des essences étudiées), permet de réduire la variabilité résiduelle liée à toute comparaison de moyennes de populations. En théorie, la précision de ce genre de comparaison est proportionnelle à la racine carrée du nombre de répétitions. Toutefois, dans la pratique, d'autres facteurs peuvent réduire légèrement le gain de précision,



La déclivité du terrain ou la présence d'affleurements rocheux peuvent contraindre à disperser les blocs.

le principal étant le fait que, quels que soient la taille de la parcelle et le nombre de populations, une répétition supérieure représente une expérience d'une envergure accrue, et donc une plus grande probabilité de se heurter à l'hétérogénéité du site.

Il existe plusieurs méthodes permettant de déterminer le nombre de répétitions nécessaires pour assurer un niveau de précision quelconque. Burley et Wood (1976) ont décrit certaines d'entre elles. Si de nombreuses populations doivent être testées, les ressources dont on dispose pour mener l'expérience pourront ne pas suffire pour assurer une répétition suffisante en vue du niveau de précision voulu. Dans ce cas, il faut choisir entre un nombre moindre de populations testées et un degré de précision inférieur. Notons que la précision peut aussi être améliorée grâce à un agencement complexe (treillis, etc., voir annexe III).

Constitution de blocs en vue de compenser les influences extérieures

Si le site de l'expérience est raisonnablement uniforme, avec seulement des variables aléatoires d'une parcelle à l'autre, une disposition entièrement aléatoire, par exemple de cinq parcelles (répétitions) de chacune des 12 populations choisies sera aussi effi-

cace que possible. Toutefois, ce genre de site est rare. Les essais au champ d'AUM couvrent fréquemment une grande superficie et sont confrontés à des variabilités du sol, du microclimat, de la topographie, du faciès, de l'histoire du site (végétation et exploitation précédentes) ainsi que d'autres facteurs. De telles variabilités peuvent être systématiques ou non. Même sous serre, on constate souvent des variabilités considérables du milieu, d'un côté de la serre à l'autre, d'un bout à l'autre ou des côtés au centre. En pépinière, il peut y avoir variation de l'ombrage, du réseau d'irrigation, du sol ou de l'exposition au vent. Dans tous les cas, la façon la plus simple de ne pas confondre différences de populations et variabilités systématiques du site est la constitution de blocs, c'est-à-dire la division du site en zones comprenant une parcelle de chaque population.

Le terme *confusion* se rapporte à une situation dans laquelle les effets d'au moins deux traitements expérimentaux (ou facteurs) sont toujours combinés et ne peuvent être séparés. Pour éviter une telle situation, il convient de diviser le site expérimental en blocs dont chacun correspond aux principales subdivisions du milieu. Dans la plupart des cas, les blocs seront de taille similaire et comporteront chacun le même nombre de parcelles expérimentales. Cette restriction, à laquelle s'ajoute l'existence de

diverses sources de variabilité systématique, signifie que la constitution de blocs simples permet rarement de compenser parfaitement les influences extérieures. On peut avoir recours à des méthodes plus complexes afin de contrôler deux ou trois sources de variabilité systématique. Deux types d'agencement (carrés latin et gréco-latin) sont particulièrement adaptés aux expériences sous serre et dans d'autres types de milieux contrôlés.

Les blocs ne doivent pas nécessairement consister en des parcelles adjacentes. Un bloc peut comprendre plusieurs parcelles distinctes ayant en commun une caractéristique physique importante, telle que le type de sol. Leur distribution dans l'espace est souvent influencée par des obstacles physiques tels que routes, affleurements rocheux ou ruisseaux, ou déterminée par le relief du site expérimental (voir annexe III, figures 1 et 2).

La constitution de blocs présente un avantage supplémentaire dû au fait qu'il est souvent difficile, voire impossible, à une seule personne ou équipe de mener à bien la totalité de la tâche de plantation en un seul jour. Des obstacles similaires peuvent s'opposer à l'application d'un traitement ou à l'exécution d'une évaluation. On peut aligner les différences systématiques entre individus ou journées (si le temps se met à la pluie, par exemple) sur les

différences entre blocs en veillant à ce que chaque personne ou équipe ne s'occupe que d'un bloc à la fois. Cette méthode permet d'accroître la proportion des variabilités attribuables à des causes connues.

Dans toutes les expériences, les blocs doivent être aussi homogènes que possible. Pour réduire leur taille, il convient de limiter l'envergure de l'expérience ; on choisira donc éventuellement de constituer des blocs avec répétition partielle.

Randomisation

Si l'on considère comme aléatoire la variabilité résiduelle entre les parcelles, certaines parcelles n'en présenteront pas moins des conditions extrêmes. Par exemple, certaines parcelles seront relativement fertiles, et d'autres relativement infertiles. Chaque espèce ou provenance doit être affectée au hasard à la parcelle sur laquelle elle sera cultivée ; c'est effectivement la meilleure façon d'éviter une estimation « biaisée » des différences entre populations, par exemple si une population donnée est plantée sur des parcelles entièrement « bonnes » ou « mauvaises ». En outre, la randomisation de la population assure une estimation non biaisée de la variabilité résiduelle et permet ainsi d'utiliser des tests statistiquement significatifs, c'est-à-dire qui repose sur des distributions aléatoires indépendantes.

Il existe des arguments solides contre l'affectation systématique ou subjective de populations de végétaux à des parcelles expérimentales, mais les distributions systématiques peuvent être utiles pour certains types d'expériences agroforestières. L'affectation non aléatoire de certaines variables (époque de plantation, époque de désher-

bage ou d'ébranchage) à des blocs distincts permet de combiner – confondre – les effets de ces variables et ceux de toutes les autres caractéristiques des blocs. Cela empêchera le chercheur de tester les effets de ces variables sur le plan statistique, mais elles peuvent être normalisées ou traitées comme des observations statistiquement non évaluables.

L'affectation de populations de végétaux à des parcelles peut être randomisée au moyen de tables de permutations ou de nombres aléatoires. On utilise aussi de plus en plus les calculatrices et les ordinateurs. Ces appareils produisent des séquences de nombres « pseudo-aléatoires » qui peuvent être considérées comme aléatoires à toutes fins utiles.

Si une randomisation ainsi produite est manifestement exceptionnelle, par exemple parce qu'elle présente des séquences de parcelles identiques ou très proches sur plusieurs répétitions, il convient de randomiser à nouveau le plan d'expérience. Ce conseil prête à controverse, mais il a été justifié par Cox (1958).

Simplicité

La simplicité du plan expérimental favorise la précision en minimisant les possibilités d'erreur à tous les stades de l'expérience. C'est pourquoi une expérience devrait être aussi simple que possible dans sa conception, son exécution et son analyse.

Choix d'un plan adapté

Certains plans expérimentaux bien connus, tels ceux qui mettent en jeu

des blocs complets aléatoires, sont à la fois simples et efficaces (c'est-à-dire qu'ils sont hautement informatifs pour une dépense de ressources donnée) pour autant que le nombre d'essences ou de provenances à comparer soit relativement bas. Ces plans sont décrits dans l'annexe III. Avec l'augmentation du nombre de populations, ces plans simples perdent souvent de leur efficacité parce que la variation tant aléatoire que systématique tend à s'accroître au sein des blocs. Cette situation est fréquente en recherche agroforestière, du fait du grand nombre des populations à évaluer.

Deux démarches ont été mises au point pour réduire l'hétérogénéité intrablocs :

- ♦ les parcelles sont subdivisées en blocs d'une taille inférieure à celle d'une répétition complète, c'est-à-dire en blocs incomplets ;
- ♦ la taille des parcelles est réduite.

Chacune de ces démarches (blocs complets aléatoires, blocs incomplets et petites parcelles) est décrite dans les références citées en fin d'ouvrage. L'annexe III comprend en outre une discussion de ces démarches ainsi que des illustrations de plans systématiques.

Les méthodes de conception couramment utilisées pour accroître la précision des expériences factorielles mettant en jeu au moins deux traitements comprennent la « confusion », la répétition fractionnelle et la subdivision de parcelles (plan en sous-parcelles, ou « split-plots »). Ces méthodes ne peuvent généralement s'appliquer aux essais d'introduction et d'évaluation ; la « confusion » peut toutefois servir à superposer divers traitements tels que l'ébranchage ou l'évaluation génétique des essences d'AUM.

Chapitre 6 : identification d'un matériel génétique adapté

Le but de tout programme de recherche agroforestière est de déterminer l'arbre ou arbuste le mieux adapté à chaque intervention envisagée. Ainsi, l'introduction et l'évaluation des essences est un aspect essentiel des premiers stades de la recherche. Comme on l'a vu au chapitre 5, les essais d'introduction et d'évaluation d'essences ou de provenances d'AUM doivent faire appel aux meilleures semences et aux meilleures méthodes de culture en pépinière. Il convient de tester, dès le début du programme de recherche, du matériel génétique de toutes origines—qu'il s'agisse de semences, de boutures ou de rejets—et de s'en procurer auprès de sources appropriées en vue de tests et d'évaluations ultérieurs. On trouvera au chapitre 10 des indications relatives à la récolte

des semences en champs ainsi qu'au traitement, à la conservation et aux essais des semences.

En pratique, la plupart des arbres plantés sont cultivés en pépinière à partir de semences. Toutefois, d'autres matériels de multiplication (boutures, drageons, etc.) sont également considérés comme des « semences » dans le présent chapitre.

Germoplasme et ressources génétiques

Le germoplasme est le matériel héréditaire transmis à la descendance par les gamètes. Il s'agit essentiellement

de l'information génétique fondamentale contenue dans l'ADN des chromosomes.

Le germoplasme ne contient pas seulement le matériel reproductif sexué (la semence) ; les plantes cultivées par multiplication végétative contiennent le même type d'information génétique et peuvent servir à produire de la semence lors de phases ultérieures de programmes de sélection. Les parties végétatives sont donc aussi d'une importance cruciale pour le germoplasme d'une essence végétale.

Deux autres expressions couramment utilisées dans ce contexte sont *ressources et patrimoine génétiques*. Elles concernent l'information génétique



Des arbres présentant une bonne conformation constituent une bonne source de germoplasme.



Les arbres cultivés parmi d'autres cultures produisent des semences ou des boutures.

globale que détiennent tous les membres reproducteurs d'une population d'organismes à reproduction sexuée.

Origine ou provenance ?

Les essences naturellement répandues sur de vastes régions géographiques ont été soumises à une sélection naturelle par des facteurs environnementaux susceptibles de varier au sein de ces régions. Par conséquent, les génotypes (constitution génétique des individus) et les fréquences géniques varient au sein des populations locales de même essence. Ces différences se propagent lorsque ces végétaux sont introduits dans un milieu étranger en tant qu'essences exotiques. L'origine naturelle d'une population de végétaux, soit le lieu où la population a connu son évolution, s'appelle *origine* ou *provenance*. Plus précisément, la provenance est l'emplacement des arbres sur lesquels a été prélevé le germoplasme, l'origine étant le lieu où la population a évolué.

Certaines essences ont été introduites dans des milieux étrangers ou soumi-

ses par l'être humain à une sélection intensive dans leur milieu naturel. Le génotype des populations appartenant à ces essences ne représente plus celui qui était le produit d'une sélection purement naturelle. Les populations de ce type se rapprochent du concept classique de *race locale*, c'est-à-dire une population naturalisée et adaptée à un nouveau milieu. En ce qui concerne les arbres forestiers, toutefois, on parle plutôt de *provenances*. Cette confusion n'est pas une simple difficulté d'ordre sémantique ; elle présente un réel problème pour ce qui est de l'interprétation des résultats de comparaisons de populations ou de travaux de recherche antérieurs. Ces définitions sont simples et il serait bon qu'elles soient généralisées.

Jones et Burley (1973) font la distinction entre provenances « naturelles » et « dérivées », illustrant leur argumentation par une gamme d'histoires génétiques qui ont des implications en matière d'essais de provenances et de sélection ultérieure. Ils insistent sur la nécessité de mettre précisément en lumière l'histoire et l'origine génétique de chaque lot de semences. Cette information est

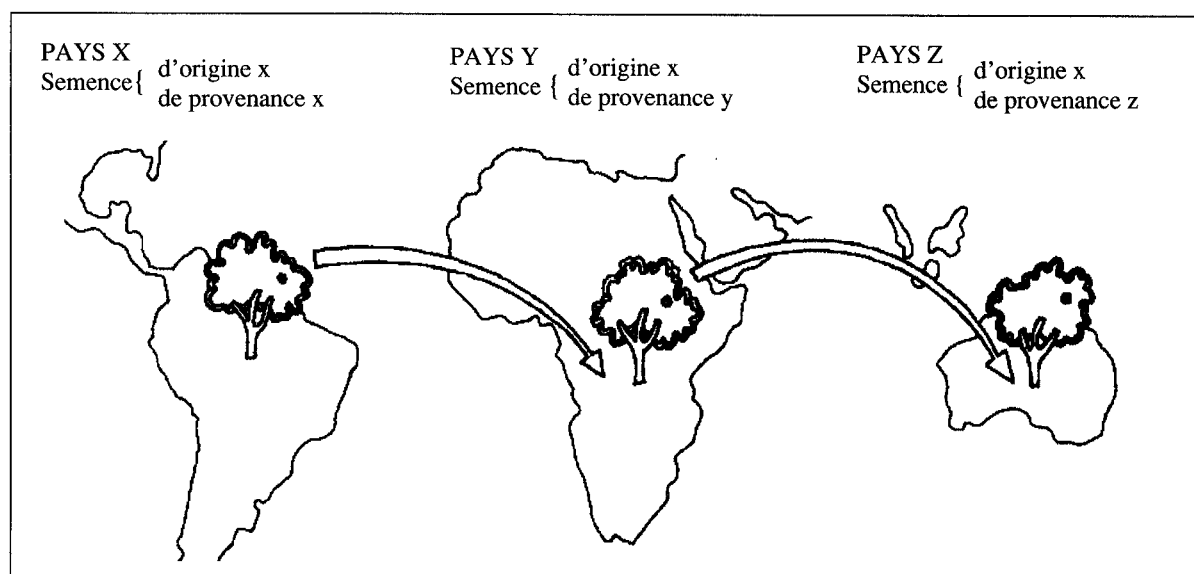
nécessaire à l'interprétation des résultats d'essai, à l'interpolation entre les sources testées et à l'évaluation de l'intérêt des sources non testées. Elle a en outre une importance cruciale en vue de l'utilisation ultérieure des meilleures sources possibles.

Certification semencière

Tout lot de semences nécessite trois types d'information, relatifs à la composition et à l'origine génétiques, à la qualité physiologique et physique et à la santé. Plusieurs systèmes nationaux et internationaux assurent la diffusion de cette information, mais de nombreux pays n'en tiennent pas compte ou sont incapables d'en faire respecter les règles par les fournisseurs et les négociants.

Un certificat d'origine présente des renseignements sur la composition génétique et l'origine d'un échantillon de semence. Cette information est indispensable pour plusieurs raisons :

- ♦ identifier les populations les meilleures du moment ;



Origine de la semence et rapport avec la provenance.

- ♦ éviter les populations de qualité inférieure ou celles dont il est hautement probable qu'elles seront inadaptées dans l'avenir ;
- ♦ mettre au point des stratégies appropriées en vue de futures activités de sélection ou de gestion eugénique.

Les procédures à suivre pour la certification de l'origine des semences ont été décrites par Burley (1985) ainsi que par Jones et Burley (1973).

Quelle que soit la composition génétique d'un lot de semences, il est également important pour l'acheteur ou l'utilisateur de disposer de l'information nécessaire à l'égard de sa pureté, de sa viabilité, de sa dormance et des méthodes de collecte et de stockage, afin de faire en sorte que des semences coûteuses ne soient pas gaspillées et que l'on obtienne le plus grand nombre possible de jeunes arbres à repiquer. Un ensemble de règles portant sur les tests appliqués aux semences a été mis au point par l'Association internationale d'essais de semences (ISTA, 1976). Les résultats de ces tests sont portés sur un

certificat standard d'évaluation de la qualité des semences.

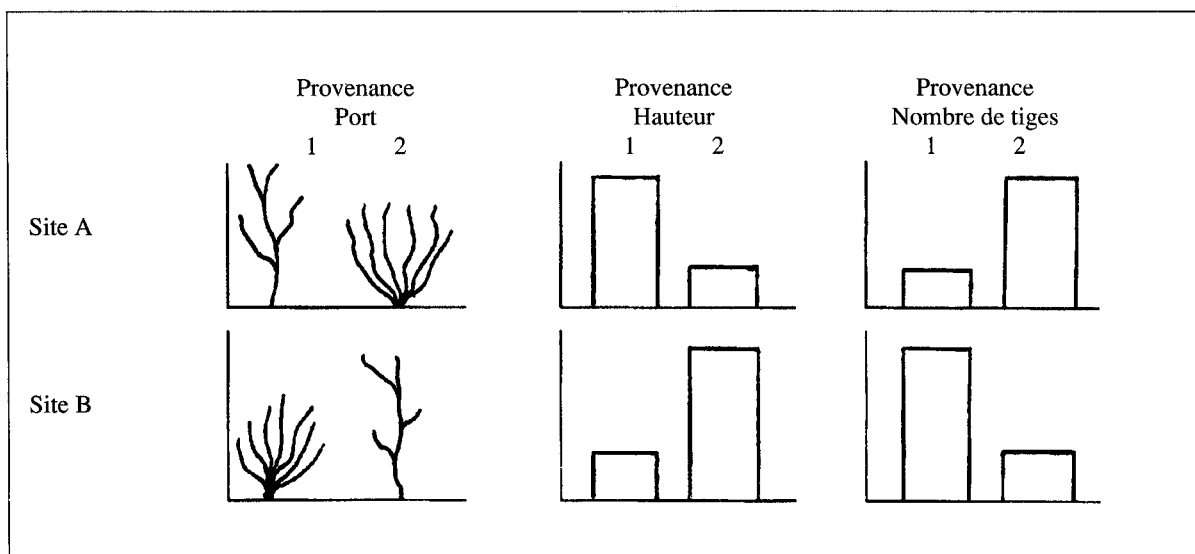
Les certificats internationaux sont délivrés par les autorités compétentes des pays exportateurs et importateurs. Ces certificats étaient destinés à l'origine aux cultures saisonnières et horticoles, mais sont également utiles en foresterie. Le document standard est le certificat phytosanitaire, qui décrit les résultats de l'inspection des semences et tout traitement administré. Ivory (1984) a décrit les systèmes existants.

Essais semenciers et enregistrement des résultats

Les systèmes internationaux de certification sont particulièrement importants dans le cas de semences exportées. Malheureusement, la plupart des essences d'AUM n'ont pas fait l'objet de tests approfondis. Pour ces essences, de simples essais répétés de germination en laboratoire ou en pépinière fourniraient des renseignements pratiques, même s'ils ne sont pas en

tièrement conformes au processus de certification, portant sur la santé et la mise en quarantaine des végétaux, imposé par la réglementation internationale. On trouvera au chapitre 10 de plus amples renseignements sur les méthodes simplifiées d'essai des semences.

Il est également important de consigner, pour tous les lots de semences examinés dans un pays et dans le cadre de chaque programme de recherche ou de mise au point, les traitements qui leur sont appliqués et l'utilisation qui en est faite. Pour le chercheur, l'enregistrement soigneux de ces activités est nécessaire à l'interprétation des résultats des essais ; pour le responsable de la gestion, il y a du contrôle des résultats que donneront dans l'avenir ses collections de germoplasme. A mesure que les agriculteurs deviennent autosuffisants en matière d'approvisionnement en semences ou autre matériel de multiplication, il deviendra de plus en plus difficile de tenir à jour des registres complets ; cette tâche est néanmoins indispensable pour assurer la future variation génétique et lancer des programmes de sélection viables.



Interaction génotype/milieu (IGM) - les caractéristiques d'une même provenance varient d'un site à l'autre.

En expérimentant les espèces et provenances d'AUM, on peut mettre en lumière les cinq sources de variabilité suivantes :

- ♦ différences génétiques connues entre les populations faisant l'objet de la comparaison ;
- ♦ différences physiques sur un site ou entre au moins deux sites expérimentaux ; il sera plus facile d'apprécier ces différences dans le cadre d'une expérience en milieu contrôlé évaluant le comportement de jeunes plants ;
- ♦ variabilité génétique non maîtrisée parmi les végétaux faisant l'objet de l'expérience et entre ceux-ci et les populations qu'ils représentent ;
- ♦ variabilité environnementale non maîtrisée, y compris des facteurs qui varient d'une parcelle à l'autre, voire d'arbre en arbre, et peuvent être observés mais non maîtrisés (différences au niveau du sol, du microclimat ou de l'exposition) et des facteurs qui ne peuvent être observés ou évalués ;
- ♦ erreurs expérimentales dérivant d'une évaluation ou d'un enregis-

trement fautifs ou d'une variable aléatoire au sein d'un plant, par exemple, teneurs différentes en huiles essentielles de deux feuilles adjacentes ; des problèmes plus graves au niveau de l'expérience peuvent être dus à des erreurs passées inaperçues dans la gestion de l'expérience, par exemple la plantation, dans une parcelle donnée, d'arbres dont la provenance n'est pas celle qui était prévue.

Les variabilités non maîtrisables d'ordre génétique ou environnemental sont généralement difficiles, voire impossibles à distinguer les unes des autres dans le cadre d'une expérience. C'est pourquoi on désigne leurs effets combinés par l'expression *variabilité d'échantillonnage*. Cette variabilité est souvent difficile à distinguer d'une *erreur expérimentale*. La combinaison de ces deux éléments est souvent nommée, à tort, « erreur ». Il est préférable d'appeler *variabilité résiduelle* cette combinaison de la variabilité d'échantillonnage et de l'erreur expérimentale.

Préparation de l'expérience

Dans le cas de figure idéal, les essais d'introduction et d'évaluation des essences ou provenances d'AUM feront appel aux meilleures semences et aux meilleures méthodes de pépinière et d'implantation. Tous frais supplémentaires engagés en vue d'assurer le respect des normes les plus strictes n'ont qu'une importance mineure en regard du caractère « long terme » de la recherche et de la portée de l'information recherchée.

Les facteurs influant sur la production végétale, de la semence au plant repiqué en champs, sont nombreux, s'influencent mutuellement et sont coûteux à évaluer. En outre, les meilleures méthodes de pépinière et d'implantation varient d'une essence à l'autre. Il est possible de gagner du temps et de l'argent en procédant à des recherches préliminaires simples contribuant à l'évaluation de la viabilité technique (par opposition à la viabilité biologi-

<p>Identification du lot de semences Numéro : 45/85, 52/88</p> <p>Espèce : <i>Leucaena collinsii</i> Sous-espèce : <i>collinsii</i> Nom vernaculaire : Guash</p>	<p>Végétation</p> <p>Agriculture extensive et pâturage ont conduit à la destruction de la forêt tropicale décidue, remplacée dans certaines zones par du « buisson » épineux ou de la savane. La pression du pâturage représente un grave problème et les incendies sont fréquents. <i>Leucaena collinsii</i>, tout comme la majeure partie de la végétation ligneuse, a été éliminée presque partout et ne subsiste qu'en vestiges épars ou sous forme de clôtures.</p> <p>Les essences ligneuses voisines sont notamment :</p> <p><i>Acacia farnesiana</i>, <i>Acacia pennatula</i>, <i>Acacia collinsii</i>, <i>Acacia pringlei</i>, <i>Albizia caribaea</i>, <i>Albizia plurijuga</i>, <i>Caesalpinia eriostachys</i>, <i>Enterolobium cyclocarpum</i>, <i>Gliricidia sepium</i>, <i>Haematoxylon brasiletto</i>, <i>Piscidia</i> sp., <i>Pithecellobium dulce</i>, <i>Prosopis laevigata</i> et <i>Senna atomaria</i>.</p>																																							
<p>Situation géographique du site de récolte :</p> <p>Pays : Mexique Etat : Chiapas District : Tuxtla Gutierrez Site : Narcisco Mendoza Latitude : 16°36'N Longitude : 93°00'O Altitude : 400-550 m</p> <p>Le site de récolte est situé dans la dépression centrale de l'Etat de Chiapas formée par la large vallée en terrasses du Rio Grijalva. La semence a été prélevée sur des arbres disséminés sur une zone étendue dont le centre est la localité de Narcisco Mendoza, située à environ 20 km au sud de Tuxtla Gutierrez, capitale de l'Etat.</p>	<p>Caractéristiques de l'arbre</p> <p>Souvent cultivé isolément, à cime étendue et branchage ouvert. Le tronc exsude fréquemment de la résine. L'arbre est généralement haut de 6-7 m, mais peut atteindre 12 m. Arbre à feuilles totalement caduques, qu'il perd entièrement au cours de la longue saison sèche. Essence très appréciée des agriculteurs locaux qui en tirent toute une gamme de produits tels que piquets de clôture, bois de feu, nourriture (semences comestibles), poteaux et fourrage. Fournit un bois de feu d'excellente qualité nécessitant un temps de séchage très court.</p>																																							
<p>Climat</p> <p>Situation géographique de la station météorologique : Tuxtla Gutierrez Lat. : 16°45'N Long. : 93°00'O Alt. : 536 m Années d'observation : 35</p> <p>Pluviosité annuelle : 948,2 mm Température annuelle moyenne : 24,7°C</p> <table border="1" data-bbox="215 1310 778 1523"> <thead> <tr> <th></th><th>J</th><th>F</th><th>M</th><th>A</th><th>M</th><th>J</th><th>J</th><th>A</th><th>S</th><th>O</th><th>N</th><th>D</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Précipitations mensuelles moyennes (en mm)</td><td>0,5</td><td>0,6</td><td>2,0</td><td>8,7</td><td>81,6</td><td>228,3</td><td>176,1</td><td>153,8</td><td>207,1</td><td>79,9</td><td>5,3</td><td>4,3</td></tr> <tr> <td>Températures mensuelles moyennes (en °C)</td><td>22,0</td><td>23,1</td><td>25,2</td><td>26,8</td><td>27,6</td><td>26,1</td><td>25,6</td><td>25,7</td><td>25,3</td><td>24,3</td><td>22,9</td><td>22,1</td></tr> </tbody> </table>		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Précipitations mensuelles moyennes (en mm)	0,5	0,6	2,0	8,7	81,6	228,3	176,1	153,8	207,1	79,9	5,3	4,3	Températures mensuelles moyennes (en °C)	22,0	23,1	25,2	26,8	27,6	26,1	25,6	25,7	25,3	24,3	22,9	22,1	<p>Description de la récolte</p> <p>N° d'ident. 45/85 Date(s) de récolte : du 1 au 3 avril 1985 Récolte effectuée par : C.E. Hughes, OFI Matériel recueilli : de phénologie très variable ; certains arbres arrivent à maturité dès la mi-février, d'autres n'étant pas encore mûres au début d'avril. La semence a été prélevée sur 25 arbres et partiellement stockée en vrac après extraction. Extraction par battage manuel. Fiches botaniques : C.E Hughes 527, 530-539 (feuilles et gousses) 662 (feuilles, fleurs et gousses) MEXU, FHO, K</p> <p>N° d'ident. 52/88 Date(s) de récolte : les 4 et 5 avril 1988 Récolte effectuée par : C.E. Hughes, OFI Matériel recueilli : semence recueillie sur 20 arbres très épars, stockée en vrac après extraction. Fiches botaniques : C.E Hughes 527, 530-539 (feuilles et gousses) 662 (feuilles, fleurs et gousses) MEXU, FHO, K</p>
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D																												
Précipitations mensuelles moyennes (en mm)	0,5	0,6	2,0	8,7	81,6	228,3	176,1	153,8	207,1	79,9	5,3	4,3																												
Températures mensuelles moyennes (en °C)	22,0	23,1	25,2	26,8	27,6	26,1	25,6	25,7	25,3	24,3	22,9	22,1																												
<p>Sol</p> <p>Les strates de la région consistent principalement en des calcaires marins et des schistes marins. Les sols sont principalement composés d'alluvions et vont du vertisol argileux noir dans les dépressions à des sols graveleux à drainage libre sur les pentes. Les sols sont généralement fort dégradés en raison du surpâturage, des incendies et de la disparition du couvert forestier.</p>																																								

Approvisionnement semencier

Il est facile pour un chercheur de recommander l'utilisation de telle ou telle provenance, mais le responsable de la gestion éprouve souvent des difficultés à s'assurer un approvisionne-

ment fiable dès lors que des quantités importantes sont en jeu. En ce qui concerne les AUM, il est souvent difficile de se procurer du matériel de reproduction viable de source identifiée. L'une des principales sources d'information en matière d'approvisionnement semencier est le répertoire édité par l'ICRAF, qui s'intitule *Multipurpose tree and shrub seed*

directory (von Carlowitz, 1986a). Cet ouvrage décrit l'utilité et les exigences climatiques et environnementales de nombreuses essences et donne les noms et adresses des fournisseurs. Le répertoire ne peut garantir la fiabilité des fournisseurs cités, mais il constitue un point de départ pour les chercheurs et gestionnaires en quête d'approvisionnement.

Chapitre 7 : choix du site de l'expérience

Il convient de procéder à trois démarches importantes avant d'arrêter le choix d'un site devant servir à évaluer des arbres et arbustes à usages multiples :

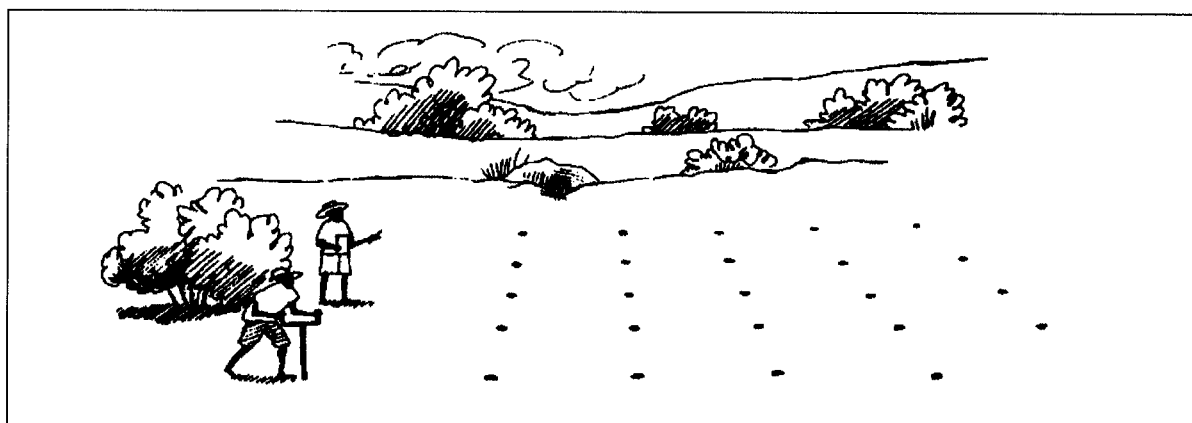
- ♦ s'assurer au maximum que le site est représentatif de la zone dans laquelle on entend mettre en place des activités agroforestières ;
- ♦ évaluer le site afin de concevoir l'expérience de la façon la plus efficace et la plus valide statistiquement ;

♦ faire en sorte que les résultats de l'expérience donnent le plus d'information possible sur les rapports entre les arbres et leur milieu (IGM, voir chapitre 5). On pourra ainsi, par extrapolation, appliquer à d'autres sites les résultats de l'expérience.

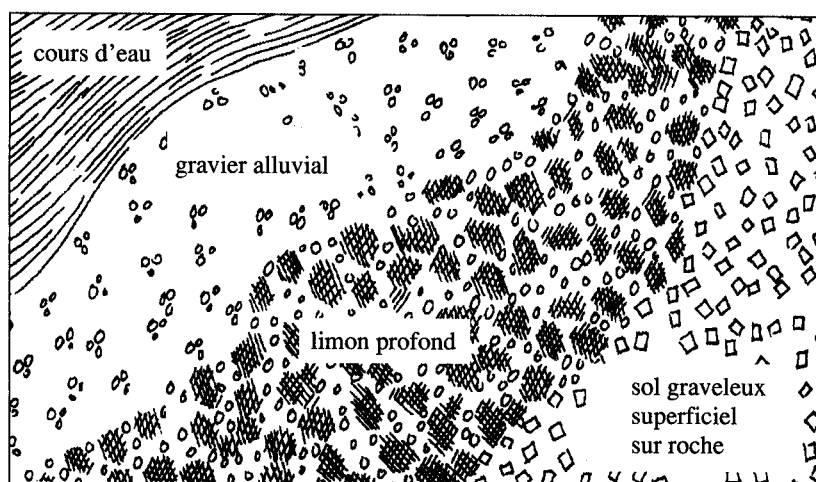
Lors du choix d'un site devant servir à un essai d'introduction ou d'évaluation d'une espèce d'AUM, la première

étape est celle du « diagnostic et conception » (D&D) décrite au chapitre 2. On obtient ainsi un certain nombre d'indications sur les interventions agroforestières prometteuses et sur les sites propices à leur expérimentation.

Il n'est pas toujours possible de mener les expériences agroforestières sur le site idéal. Ce dernier n'est pas nécessairement libre, et d'autres raisons



On peut étudier la variabilité du site en évaluant la profondeur du sol par des forages systématiques.



Exemple d'une carte simple, établie à partir d'échantillonnages par forage.

décisives, telles que la proximité d'une station de recherche, peuvent entraîner le choix d'un site moins approprié. Quoi qu'il en soit, les caractéristiques climatiques et édaphiques du site d'une expérience AUM doivent, autant que possible, correspondre à celles de la zone dans laquelle on prévoit l'intervention. Des cartes climatiques et pédologiques peuvent servir à comparer la majorité des exploitations agricoles avec les sites auxquels on a accès. La présence des ressources nécessaires ainsi que l'accessibilité et la praticabilité du site sont également des facteurs dont il faut tenir compte. Les ressources ayant été affectées, il s'agit de planifier l'expérience en fonction du site choisi.

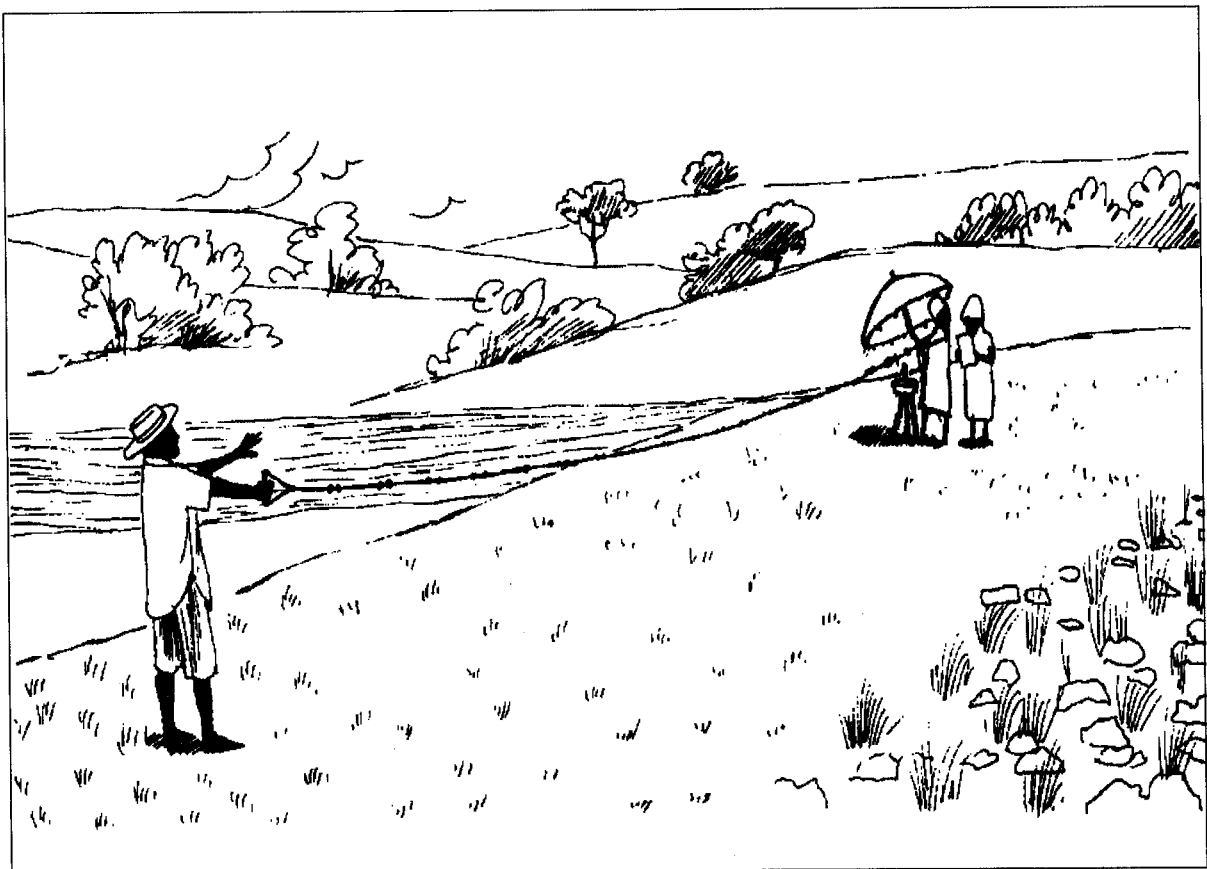
L'évaluation d'un site possible commence dès que le chercheur y pose le pied. Le site doit être aussi représentatif et uniforme que possible.

Une certaine connaissance du climat est indispensable tant pour la sélection des essences d'AUM à tester que comme indicateur des conditions auxquelles il faudra s'attendre lors de l'expérience. Le climat doit être envisagé sous trois angles différents : macroclimat, topoclimat et microclimat.

Macroclimat : il s'agit des conditions climatiques moyennes qui ont régné sur le site par le passé. Elles ne seront pas nécessairement faciles à détermi-

ner si aucun document n'existe sur le sujet. Dans ce cas, la meilleure solution est d'établir une estimation à partir des paramètres climatiques de sites voisins pour lesquels on dispose de données antérieures. Le macroclimat est normalement uniforme sur des zones étendues, mais peut être modifié localement. La figure 7.1 est un exemple de diagramme climatique fournissant les valeurs mensuelles moyennes de divers paramètres météorologiques.

Le *topoclimat* (du grec *topos*, qui signifie « lieu ») est le produit de modifications locales du macroclimat dues au relief (collines, vallées, etc.). Lors de la planification, on voudra par exemple éviter les bas-fonds exposés au gel



Délimitation des parcelles à l'aide d'instruments d'arpentage simples.

ou les endroits particulièrement venteux.

Quant au *microclimat*, il s'agit généralement de la structure climatique fine de la couche d'atmosphère en contact direct avec les plantes ou tout autre obstacle. Le microclimat est influencé par des effets de faible portée tels que l'interaction des plantes ou la proximité de bâtiments. Parmi les facteurs entrant dans le cadre du microclimat, on trouve l'ombrage, les fonds froids et les effets de convection.

Outre le climat, le sol est un facteur de croissance crucial pour les végétaux. D'importantes variations dans le sol de la zone expérimentale peuvent être détectées grâce à :

- ♦ des variations de la végétation, naturelle ou introduite, déjà présente sur le site ; on peut notamment rechercher la présence d'espèces indicatrices pour déterminer si le sol est gorgé d'eau ou s'il est acide ;
- ♦ des variations de la topographie indiquant, par exemple, la direction du drainage ou les endroits où la terre sera sans doute peu profonde au-dessus de « pans » (sols très compacts) ;

- ♦ des affleurements rocheux qui, s'ils apparaissent, fournissent des indications sur la géologie fondamentale du site ainsi que sur la profondeur du sol.

On peut dresser une carte sur la base de cette information et de techniques d'arpentage très simples (chaîne et boussole, planchette topographique, voire mesure au pas). Une bonne méthode d'évaluation de la couche arable consiste à planter une seule culture saisonnière, par exemple le maïs, sur l'ensemble du site, et d'observer les différences de croissance.

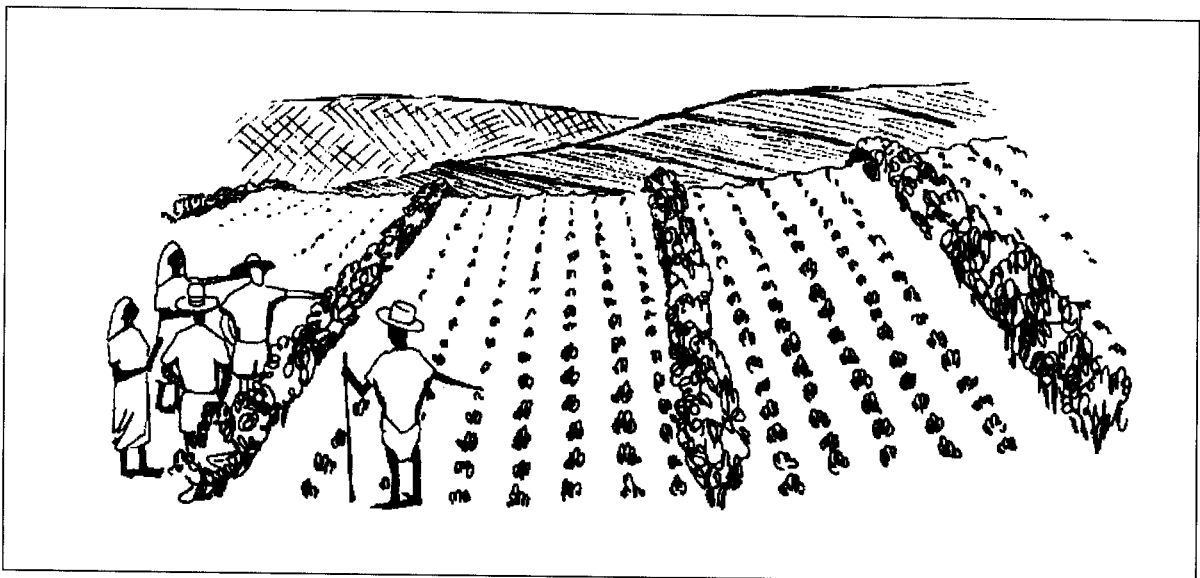
Pour la culture d'AUM, le facteur le plus important est la profondeur du sol, qui fournit certaines indications sur le volume de racines auquel on peut s'attendre. Cette profondeur peut être évaluée à l'aide d'une simple tarière, voire une barre de fer ou un bâton, sur une grille d'environ 10 x 10 m de côté. Les profondeurs mesurées sont ensuite reportées sur une carte à grande échelle de la zone et, si nécessaire, de nouveaux échantillons sont prélevés pour préciser les données recueillies.

D'autres importantes caractéristiques du sol ayant un effet direct sur la crois-

sance des végétaux sont les aspects physico-chimiques (pH, teneur en éléments nutritifs, texture, densité apparente, etc.). On peut, avant d'y planter des arbres, semer sur le site une culture saisonnière afin de déterminer la variabilité du sol, mais cela ne donne aucune indication sur la profondeur du sol, or c'est un facteur important.

Il convient de prendre en compte plusieurs autres caractéristiques lors du processus de planification de la recherche. Il s'agit de la géologie fondamentale du site, sa géographie physique, y compris le relief et l'hydrologie, et la fréquence des ravageurs et des maladies dans la région.

Ce premier examen du site de recherche sera normalement suffisant pour permettre la *constitution de blocs* utiles dans le cadre de l'expérience (pour plus de détails sur l'organisation physique du site, voir le chapitre 12). Il faut en outre tenir compte des variations dans le temps : les sols ne changent pas rapidement, mais des variations climatiques importantes se produisent parfois d'une année à l'autre dans les régions tropicales et subtropicales.



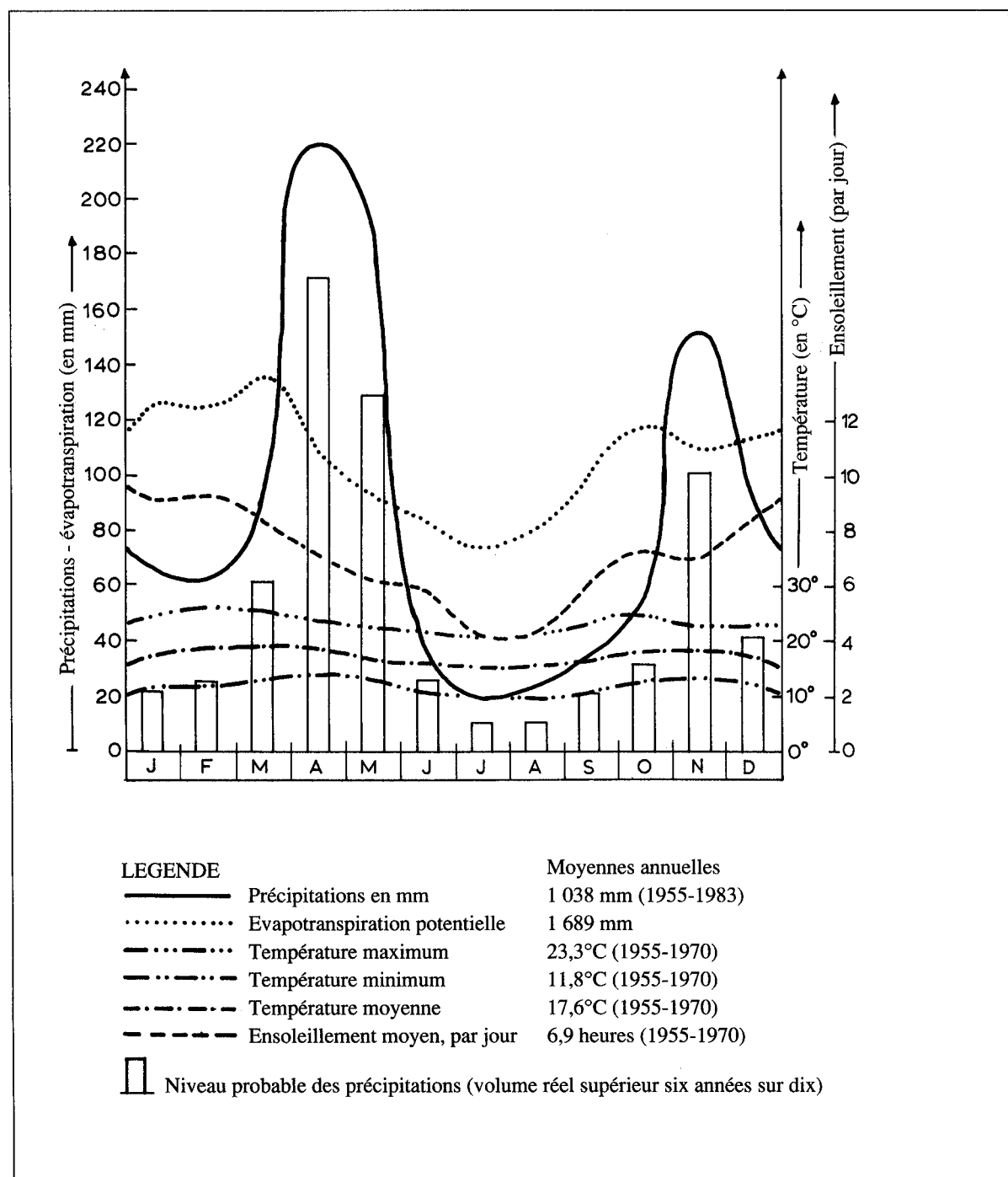


Figure 7.1 : diagramme climatique

Les valeurs mensuelles moyennes des paramètres météorologiques que l'on peut se procurer auprès des stations d'observations voisines fournissent des renseignements fondamentaux sur les conditions climatiques des sites de recherche en puissance (données venant de la station Dagoretti de Nairobi).

Troisième partie :
contrôle et évaluation

Chapitre 8 : mesures et enregistrement

Evaluation des arbres et arbustes à usages multiples

Les arbres destinés principalement à la production de bois d'œuvre doivent satisfaire à des critères bien connus et des techniques standard d'évaluation ont été mises au point. Les critères les plus courants sont la hauteur, le diamètre à hauteur d'homme (1,3 m au-dessus du sol) et le diamètre en divers points du tronc. Ensemble, ces critères indiquent le volume total de bois que représente le tronc. On obtient certains renseignements sur la qualité du bois en évaluant la rectitude, la ramification (nombre de fourches, taille et angle) et certains aspects structuraux tels que densité et dimension des fibres.

Les AUM, quant à eux, ont pour vocation de fournir une gamme de produits

et de services beaucoup plus large. On trouvera dans l'annexe II certains des principaux groupes de critères pouvant être étudiés dans le cadre de l'évaluation de telles essences. Le présent chapitre décrit seulement un certain nombre de caractéristiques d'ordre général qui ont une importance critique lors des *essais d'élimination des espèces* et des *essais portant sur la vigueur et la phénologie*. Il suggère certaines méthodes d'échantillonnage et de mesure, mais celles-ci ne doivent pas être considérées comme étant indispensables ou applicables à tous les types d'expériences.

Si la recherche débute par une enquête de diagnostic (démarche D&D), nombre des principaux critères d'évaluation de l'essence d'arbre dans une situation donnée auront déjà été définis. Ainsi, le rendement en fourrage sera de première importance si le besoin le plus pressant est l'amélioration de la nutrition animale.

En règle générale, les critères d'évaluation des essences d'AUM à exploiter en agroforesterie sont les suivants :

- ♦ survie ;
- ♦ forme, y compris forme et largeur de la cime ;
- ♦ phénologie ;
- ♦ hauteur de la tige, ou longueur si elle n'est pas verticale ;
- ♦ diamètre(s) de la tige ;
- ♦ caractéristiques liées à la ramification et au fût ;
- ♦ utilité : poteaux, piquets et pieux, bois de feu, fourrage et paillis (caractéristiques, y compris densité du feuillage) ;
- ♦ réponse aux pratiques culturales ;
- ♦ sensibilité aux ravageurs et aux maladies ; les arbres ont-ils des effets sur les récoltes voisines à cet égard ?

Ces critères font l'objet d'une description plus détaillée ci-après. Le tableau 8.1 présente un exemple de programme d'évaluation dans le cadre d'un essai d'AUM.

Evaluation	Au repiquage	2 semaines	6 mois	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans
Survie		X	X	X	X	X	X	X
Forme				X				X
Phénologie			X	X	X	X	X	X
Hauteur		X		X	X	X	X	X
Diamètre du tronc					X	X	X	X
Fourches						X		X
Utilité		X		le cas échéant				X
Culture		X		le cas échéant				X
Ravageurs et maladies			X	X	X	X	X	X
Evaluation du sol		X				X		X

Tableau 8.1 : exemple de programme d'évaluation dans le cadre d'un essai d'AUM.

Survie

Selon les normes les plus strictes de culture en pépinière et en champs, les taux de survie des AUM évalués devraient être d'au moins 80 %. Toutefois, ils sont souvent beaucoup plus bas en raison de facteurs imprévisibles ou sur lesquels il est impossible d'agir, tels que la sécheresse. Il est donc évident que le taux de survie est un paramètre important au stade éliminatoire, et il est habituellement consigné pour chaque expérience, quel qu'en soit le type. Il peut être consigné sous la forme d'un décompte des arbres de chaque parcelle si ces dernières sont petites, ou en pourcentage si les parcelles comptent plus de 25 arbres.

La survie n'est pas toujours un critère absolument net, mais elle doit être comprise comme « présence d'un ar-

bre vivant », même si ce dernier n'est pas absolument sain. Souvent, une gaule apparemment sans vie germe à nouveau par la base quand les conditions météorologiques s'améliorent ; il importe donc de bien établir si l'arbre est mort ou non.

La survie doit être vérifiée deux semaines après le repiquage, puis tous les trimestres ou tous les ans, selon le traitement appliqué et les objectifs de l'expérience. Les arbres morts ou manquants après deux semaines peuvent être remplacés, leur emplacement dans la parcelle étant consigné ; cette opération est toutefois déconseillée dans le cas d'expériences de courte durée.

Chaque fois que c'est possible, les causes de la mort de l'arbre ou de sa disparition seront enregistrées. La survie des végétaux dans le cadre d'es-

sais d'implantation est abordée au chapitre 12.

Forme ou port et caractéristiques de la cime

La forme, ou le port, est une caractéristique importante de l'arbre ou de l'arbuste. Elle constitue un facteur décisif lorsqu'il s'agit de déterminer si telle essence est adaptée à un mode d'exploitation agroforestière donné. La plupart des AUM, y compris des essences aussi diverses que les palmiers et les vignes, peuvent être classés, selon leur forme, dans l'une des trois catégories suivantes :

- ♦ AUM droits arborescents, normalement avec un seul tronc ;
- ♦ AUM inclinés, comportant souvent des tiges multiples ;
- ♦ AUM buissonnants, procombants ou grimpants.



Arbres à usages multiples - port droit et arborescent.



Arbres à usages multiples - forme arbustive à tiges multiples.

On peut estimer les dimensions de la cime en mesurant deux diamètres à angles droits et en ajoutant la profondeur. En calculant les rapports entre différentes mesures, il est possible d'obtenir une description quantitative de la plante. Le rapport diamètre cime-tige ou cime-fût est particulièrement utile.

Phénologie

L'étude de la croissance et du développement des végétaux par rapport aux séquences climatiques et à d'autres facteurs du milieu, y compris les pratiques culturelles, est appelée phénologie. On peut observer d'importants changements au cours d'une saison (« phénophases »), tels que la croissance végétative (« pousse initiale »), la floraison, la maturation des fruits et la chute des feuilles. Ces changements se produisent au cours du cycle de vie

de la plante, de la germination, ou levée, jusqu'à la phase juvénile, à la maturation et à la sénescence.

En ce qui concerne les plantes cultivées, il n'est pas nécessaire de faire correspondre la durée de croissance et les diverses phénophases avec les séquences environnementales prévues. Par contre, sous les tropiques, non seulement les plantes ligneuses réagissent au climat de façons très diverses, mais ce qui leur est arrivé lors de saisons précédentes exerce également une influence. Par exemple, la sécheresse, les périodes trop humides, une production de fruits excessive et les dégâts causés par les ravageurs, tout comme l'ébranchage et l'élagage, peuvent gravement perturber n'importe quel état « normal ». De même, les essences ligneuses transplantées dans un milieu nouveau et inapproprié répondent souvent par des accès de crois-

sance végétative trop fréquents ou manifestement à contretemps, indiquant par là très vite leur incapacité à s'adapter. Elles pourront ultérieurement fleurir et produire des fruits au mauvais moment.

Il faut observer et comprendre ces tendances si l'on veut choisir de nouvelles espèces d'AUM susceptibles de bien s'adapter et mettre au point les régimes de culture voulus. On peut procéder à des observations phénologiques à intervalles réguliers, soit sous la forme de descriptions ou de photographies d'arbres entiers, soit à partir de branches témoins d'arbres faisant partie de parcelles répétées. Cette dernière méthode permet de marquer et de mesurer la croissance de la branche, de tenir le compte des feuilles et signaler les nœuds donnant des fleurs et des fruits, comme le montre la figure 8.1.

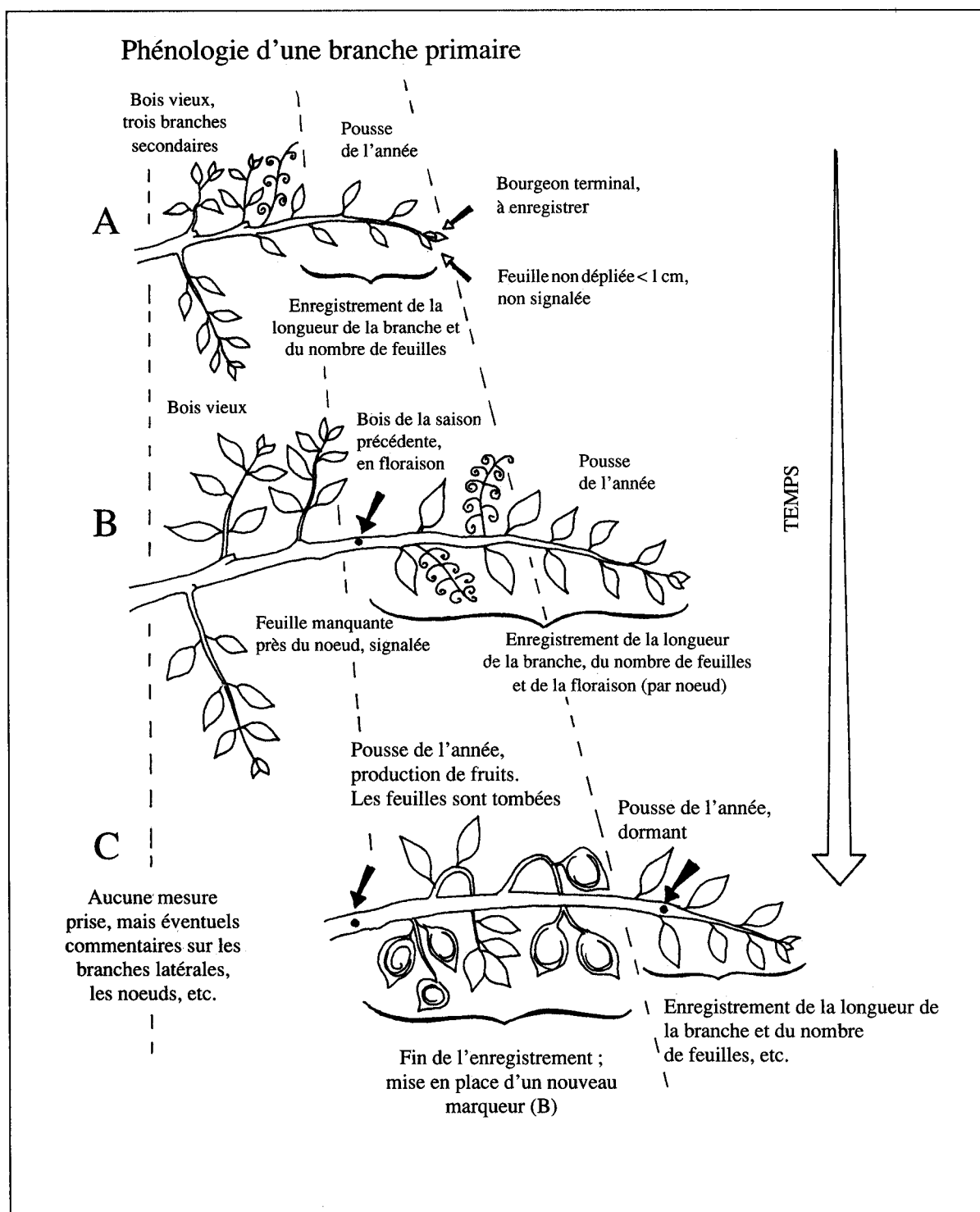
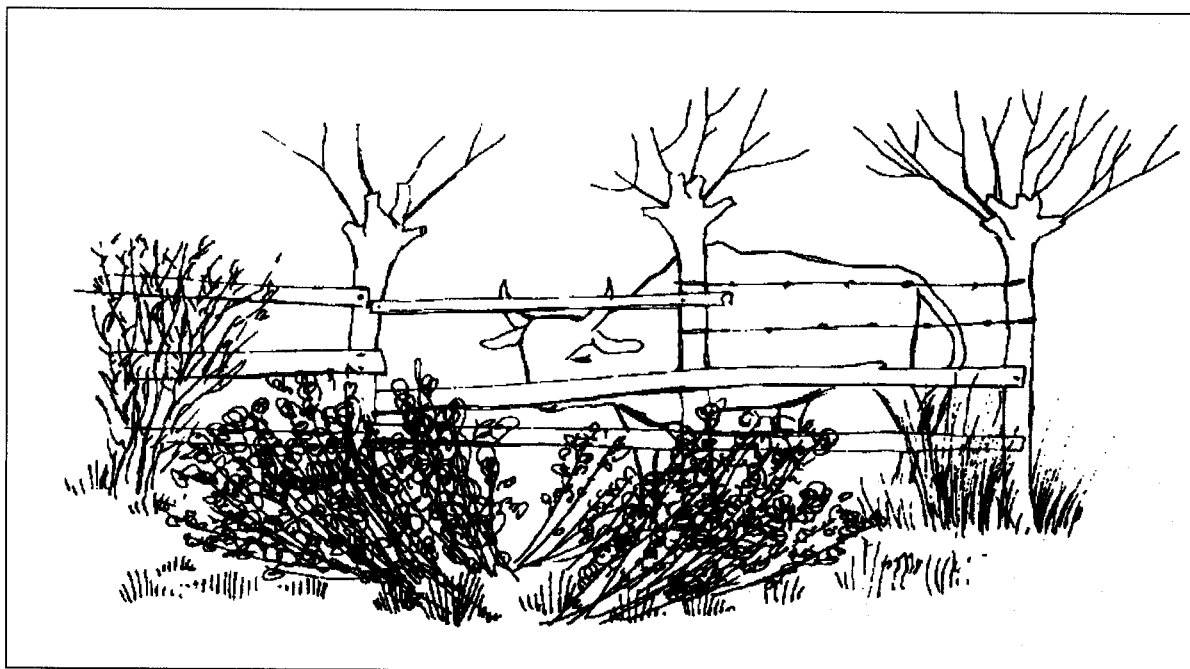


Figure 8.1 : évolution de la longueur d'une branche primaire, du nombre de feuilles, de la floraison et de la production de fruits sur trois saisons A, B et C. Les flèches indiquent les marques « de départ ». Source : Huxley et al. (1989).



Arbres à usages multiples - forme procombante buissonnante.

Les descriptions d'arbres entiers peuvent être présentées sous forme de diagrammes et la phénologie des branches fournit des données pouvant prendre la forme d'un tableau ou d'un graphique. Toutes les études phénologiques doivent reposer sur des données météorologiques fondamentales concernant le site en question ou ses environs immédiats. On trouvera dans Huxley et van Eck (1974) ainsi que dans Huxley *et al.* (1989) des renseignements sur la marche à suivre sur le terrain et des exemples de résultats de l'application des deux méthodes.

Hauteur

La hauteur doit être mesurée au point le plus élevé au-dessus du sol, atteint par n'importe quelle partie de l'arbre s'il est droit ; dans le cas contraire, on mesure la longueur de la tige la plus longue. Le rapport hauteur/longueur de la branche la plus longue est un indicateur du point de vue du port : des valeurs situées aux alentours de 1 indi-

quent un port de type arbre, alors que des valeurs inférieures indiquent des essences plus arbustives.

Diamètre du tronc

Ni la hauteur, ni le rapport indicateur de port ne sont à eux seuls suffisants pour donner une idée fiable de la production de biomasse. Il convient de prendre plusieurs mesures du diamètre du tronc afin d'en estimer le volume, ce qui peut souvent servir à estimer aussi le rendement global en biomasse. Il est nécessaire de procéder à un sous-échantillonnage destructeur pour établir les équations de prédiction qui font le lien entre la hauteur et le diamètre de la tige, mais cela nécessite généralement un nombre d'arbres échantillons supérieur à celui dont on dispose sur des parcelles expérimentales de superficie réduite. A cet égard, ainsi que pour d'autres observations et échantillonnages destructeurs, il est utile de prévoir quelques larges blocs des populations les plus prometteuses.

Une autre solution est de sacrifier un bloc entier.

Le point de mesure du diamètre de la tige constitue un problème majeur dans le cas de nombreux AUM à tiges multiples souvent très minces au point de mesure traditionnel à hauteur d'homme (1,3 m au-dessus du sol). Pour résoudre le problème, on mesure habituellement au collet. L'avantage est qu'il s'agit du point utilisé en pépinière, mais en raison de l'importance du défilement de la tige à cet endroit, le fait de mesurer à partir de ce point peut donner une estimation exagérée du diamètre réel. D'une manière générale, on recommande de compter le nombre de tiges de plus d'un centimètre de diamètre à 10 cm au-dessus du sol, et de consigner le diamètre de chacune d'entre elles à cette hauteur. Des méthodes différentes peuvent toutefois s'avérer plus utiles ; cela dépend des objectifs de l'expérience. Par exemple, une expérience internationale portant sur les espèces feuillues, organisée

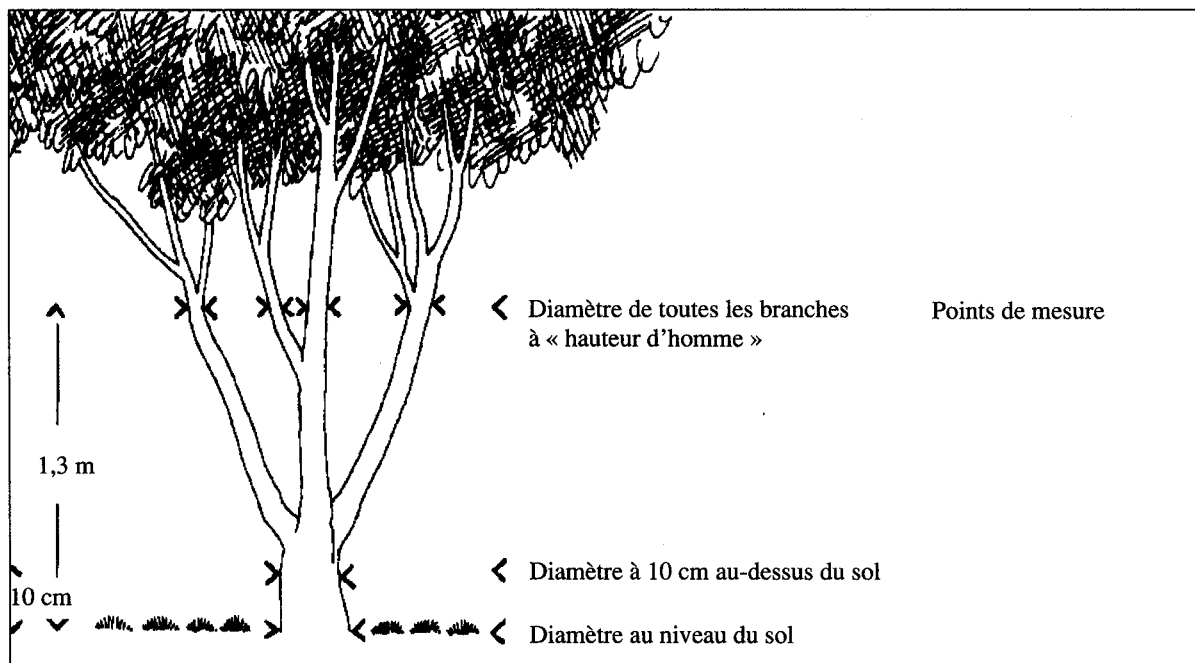
par l'Oxford Forestry Institute, a récemment suggéré qu'il pourrait être utile d'adopter comme hauteur standard celle de 30 cm au-dessus du sol, et que toutes les tiges devraient être mesurées à ce point. On marque d'ordinaire les points de mesure d'un trait de peinture, mais on peut également se servir de clous ou d'étiquettes d'aluminium.

On peut arriver à estimer la biomasse totale par un calcul de *surface terrière*. La surface terrière est la superficie de

la section de la tige à une hauteur donnée ; vu que l'on désire mesurer une surface, on part du carré du diamètre. Les équations relatives à la biomasse ne seront pas nécessairement les mêmes d'une essence à l'autre ; il faudra en effet les calculer pour chaque essence ou groupe d'essences voisines ou apparentées.

Pour calculer plus précisément le rendement en biomasse, il convient de déterminer les poids de biomasse après déshydratation à l'étuve. Il s'agit d'une

tâche relativement facile dans le cas des feuilles, mais le traitement des fibres ligneuses nécessite des périodes plus longues et plus de soin. Il est conseillé d'effectuer des essais simples sur différents échantillons de matériel à déshydrater (feuilles, brindilles, branches et troncs). Ces échantillons doivent être placés dans un séchoir (étuvage), généralement à une température de 105°C, et la perte de poids doit être vérifiée toutes les heures. Le séchage est terminé quand il n'y a plus de perte de poids.



Ramification et fût

La fréquence et la hauteur des fourches ne sont pas toujours faciles à distinguer de la ramification pour les AUM, mais il s'agit de facteurs importants dans le cas des essences cultivées pour la production de poteaux et de bois de sciage. S'il a été décidé au stade du diagnostic que le fût doit être vendable, il est dès lors essentiel que l'arbre ne donne qu'un seul tronc bien droit – c'est d'ailleurs habituellement la norme pour les es-

sences forestières. A cette fin, il faut mesurer la longueur minimum de tronc utilisable.

Utilité

Poteaux, piquets et pieux : les AUM destinés à la production de poteaux, de piquets et de pieux doivent être droits, solides et flexibles, et résister à la pourriture ou tolérer les traitements de conservation si l'on dispose des produits adéquats. La longueur minimum

du tronc et son diamètre sont les deux mesures les plus importantes.

Bois de feu : l'estimation du rendement en bois de feu, tout comme celle de sa qualité, dépend principalement de la production de biomasse ligneuse. La valeur calorifique est directement liée au poids à sec, bien que l'on préfère généralement utiliser comme combustibles des bois de haute densité. Toutefois, de nombreux autres facteurs entrent en jeu, y compris la taille



des grumes, la facilité de coupe et de fendage, la quantité d'épines, le type et la quantité de fumée produite, la vitesse de combustion, la température de combustion, la tendance à produire des étincelles et la possibilité de produire du charbon de bois. Ces facteurs sont assez subjectifs et doivent être évalués en fonction d'un ensemble donné de conditions socio-économiques. Comme nous l'avons vu précédemment, le critère principal est celui de la production de matière sèche.

Fourrage et paillis : outre les mesures d'évaluation de la biomasse, il est souhaitable de procéder à une évaluation préliminaire de la qualité des feuilles en tant que fourrage. Cette évaluation fait appel à des analyses chimiques standard portant sur la teneur en minéraux et en protéines, ainsi qu'à des essais d'alimentation visant à déterminer la toxicité et l'appétibilité. Au stade de l'évaluation initiale, cette analyse peut se concentrer uniquement sur les principaux éléments (azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium), sur la teneur approximative en protéines,

en énergie et en fibres ainsi que sur la présence éventuelle de tanins. Ces tests, effectués en laboratoire, ne nécessitent qu'un équipement minimum. Lorsqu'on aura choisi telle essence pour la production de fourrage dans le cadre d'un prototype de système agroforestier, il faudra procéder à des analyses plus détaillées, y compris des essais d'alimentation.

Les essais de faible envergure visant à évaluer une essence ne fournissent pas toujours assez de matériel aux fins de ces analyses (il en faut environ une tonne, ou plus) ; de plus grandes parcelles seront éventuellement préparées. En outre, bien qu'il existe des analyses standard, il n'existe pas de normes claires en matière d'échantillonnage, lequel doit tenir compte de la variation naturelle entre les feuilles en différents points de la cime de l'arbre au cours des saisons. Il est indispensable d'enregistrer soigneusement l'information suivante pour tous les échantillons prélevés en vue des analyses, faute de quoi l'information recueillie n'aura pas grande utilité :

- ♦ partie prélevée sur la plante ;
- ♦ date d'échantillonnage (saison) ;
- ♦ stade phénologique de l'arbre.

Une analyse chimique contribuera également à définir l'aptitude des feuilles à servir de paillis. En outre, il convient de déterminer, à l'aide d'un test spécifique, la vitesse de décomposition de la litière en conditions définies.

Une évaluation précise des AUM en vue de la production de fourrage exige des analyses dynamiques et bien définies. Pour plus d'information, voir van Soest (1983).

Réponses aux pratiques culturales

La réponse d'une essence aux pratiques culturales devient un facteur important dès son introduction dans un système agroforestier. Dans le cas de haies ou de clôtures vivantes, par exemple, la présence d'épines, un branchage dense, une tolérance à la taille et un goût tendant à dissuader le bétail de

brouter les arbres sont des caractéristiques appréciables. Pour être exploitée dans une association haies/cultures, une essence doit pouvoir supporter un ébranchage répété et produire une abondance de feuilles riches en éléments nutritifs.

Les essais préliminaires décrits dans le présent ouvrage ne sauraient fournir des renseignements précis sur toutes ces caractéristiques, mais ils constitueront sans doute un point de départ. Le prélèvement d'échantillons en vue de déterminer certaines caractéristiques, telles que présence d'épines ou densité de feuillage, n'entraînent d'ordinaire pas la destruction de l'arbre. Il est possible d'évaluer ces caractéristiques par de simples observations en champs, en notant en par-

ticulier toute variation marquée d'un arbre à l'autre.

En revanche, pour déterminer des caractéristiques d'ordre plus quantitatif, par exemple pour estimer les rendements possibles en feuilles pour fourrage et paillis, il est nécessaire de sacrifier l'arbre, ou du moins de l'élaguer. Si l'on veut obtenir des estimations comparatives de la quantité de matière que représentent le tronc, les branches et les feuilles, il est généralement conseillé d'opérer à l'échelle d'une répétition complète. Les arbres, une fois coupés, peuvent également fournir une indication sur leur aptitude à supporter le recépage. La détermination précise des rendements sous traitements spécifiques nécessitera des expériences à long terme.

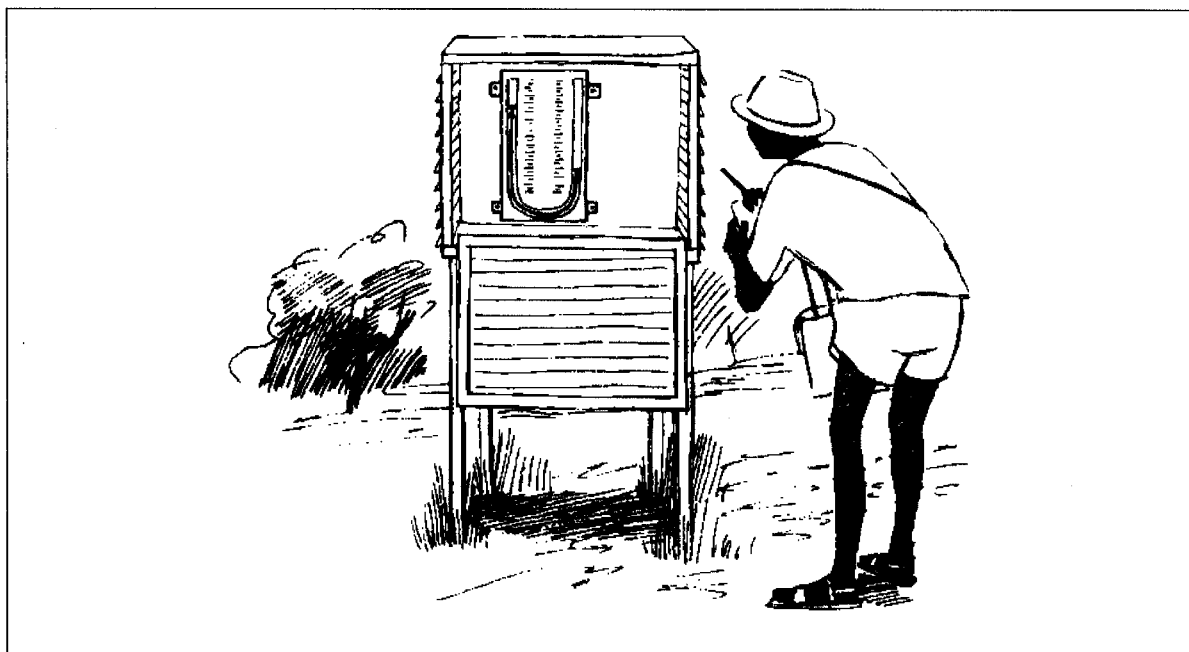
Mesure du macroclimat et enregistrement des données

A moins que l'expérience n'ait lieu dans une station de recherche, les possibilités de prise de mesures météorologiques sont inévitablement limitées. Les paramètres les plus importants à mesurer sont, par ordre de priorité :

- ♦ précipitations (mesurées et enregistrées chaque jour) ;
- ♦ température (niveaux maximum et minimum enregistrés chaque jour) ;
- ♦ évaporation (bien qu'indispensable au calcul du bilan hydrique, l'évaporation ne peut être mesurée qu'au



Les mesures des paramètres climatiques constituent un guide précieux pour l'interprétation des diagrammes de croissance.



Lecture d'un thermomètre à maxima et minima.

moyen d'un bassin d'évaporation. Sinon, il faut l'estimer par calcul ou extrapolation à partir de données communiquées par la station météorologique la plus proche).

On trouvera dans Darnhofer (1985) des instructions relatives à la mise en place d'une station météorologique standard ainsi qu'à la prise de mesures météo détaillées.

Evaluation du sol

L'interprétation des résultats des premiers essais AUM peut nécessiter des analyses détaillées du sol. Toute extrapolation de ces résultats à d'autres sites peut en outre nécessiter des renseignements supplémentaires sur les sols concernés. Les formulaires de description de sites figurant dans Raintree (1983) constituent un guide de l'examen des caractéristiques du sol par échantillonnage. Il reste que des analyses détaillées du sol ne sont d'ordinaire pas requises pour la sélection

des essences d'AUM qui doivent faire l'objet de recherches agroforestières ultérieures.

Dans un système agroforestier, il est conseillé d'étudier, par le biais d'expériences à long terme spécialement conçues à cet effet, les changements causés au sol par des combinaisons précises d'arbres et de culture.

Enregistrement et traitement des données

La nécessité d'établir soigneusement le plan de recherche de chaque expérience a déjà été soulignée. Tout aussi importants sont la conception et l'entretien des formulaires servant à rendre compte des aspects gestion et environnement de chaque expérience et de chaque parcelle, et à enregistrer les données recueillies au sujet de la croissance et des propriétés des végétaux.

Pour réduire au minimum les risques d'erreur, il convient de copier les données le moins possible, et de préférence en utilisant uniquement un matériel électronique. Plusieurs méthodes de collecte de données par introduction directe sur ordinateur de poche sont utilisées actuellement aux quatre coins du monde. L'ICRAF travaille en ce moment à la mise au point d'un système appelé « Datachain » ; la collecte des données sur le terrain est faite à l'aide d'ordinateurs de poche de marque PSION, après quoi les données sont directement transférées sur micro-ordinateur. Tous les renseignements sur cette méthode perfectionnée peuvent être obtenus auprès de l'ICRAF.

Le recours à l'ordinateur ne diminue en rien l'importance d'un enregistrement minutieux sur formulaire, à des fins d'évaluation, de toutes les expériences. On trouvera dans l'annexe II quelques exemples de formulaires d'enregistrement.

Chapitre 9 : participation des agriculteurs à la recherche et à l'évaluation

Dans la plupart des cas, les utilisateurs et bénéficiaires de la recherche agroforestière sont finalement les agriculteurs. C'est pourquoi certaines questions citées au chapitre 8 prévoient la participation conjointe des agriculteurs et des chercheurs au processus d'évaluation.

L'évaluation des espèces d'AUM conduit à l'exécution de nouveaux tests sur les essences les plus prometteuses dans le cadre de mélanges agroforestiers et d'essais de systèmes types. A ce stade, la participation des agriculteurs est particulièrement souhaitable. En outre, bon nombre d'expériences de ce type doivent de préférence avoir lieu en exploitation agricole, c'est-à-dire sous le contrôle direct des agriculteurs.

Le présent chapitre met l'accent sur la participation des agriculteurs aux sta-

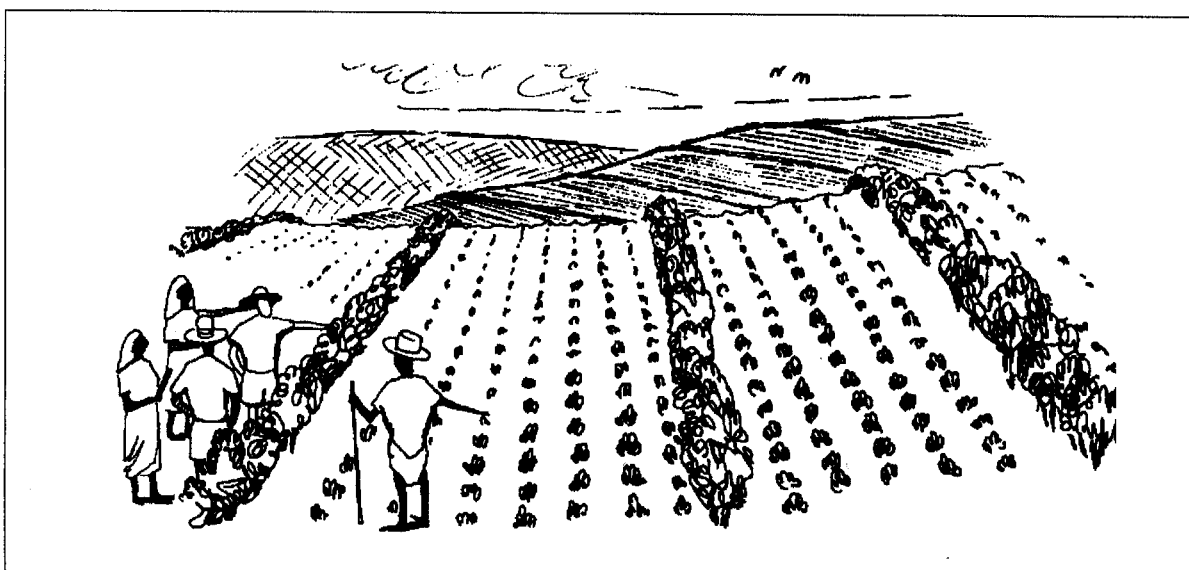
des préliminaires de la recherche AUM, ces derniers contribuant par leurs conseils au choix des essences qui méritent une étude plus approfondie. A ce stade, un petit groupe d'agriculteurs créatifs et motivés devrait fournir une information de meilleure qualité qu'un échantillon de population complètement aléatoire.

Les agriculteurs et l'étape d'évaluation des espèces

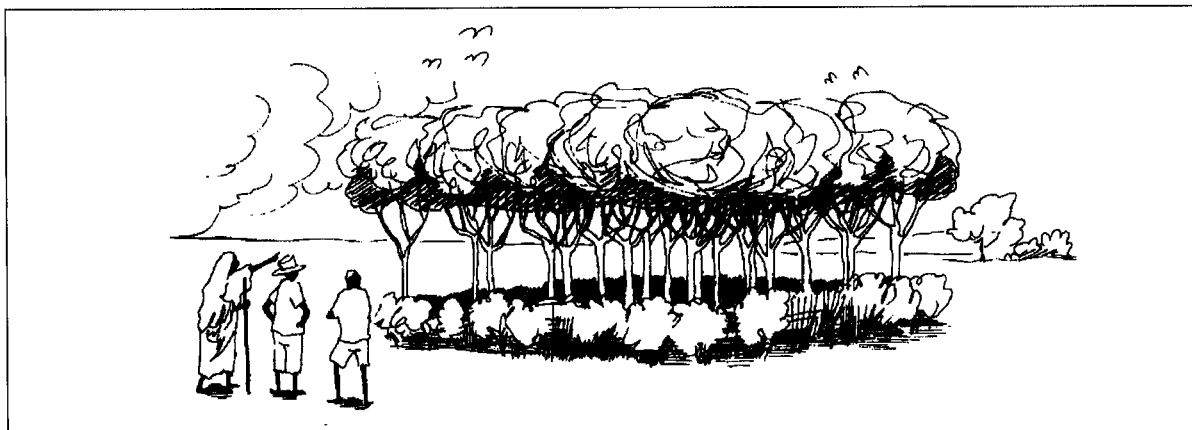
La sélection des espèces d'AUM devant faire l'objet des essais préliminaires s'effectue à partir d'une définition des problèmes et des possibilités au cours de la phase de diagnostic. Ces choix sont faits en étroite concertation avec les agriculteurs et autres exploi-

tants. Ainsi, dès le début, les chercheurs ont la possibilité de discuter avec les agriculteurs des essences choisies à l'issue d'enquêtes de diagnostic, ainsi que des raisons de ces choix.

Dans le cas d'essences jusqu'alors inconnues, on ne conviera les agriculteurs à observer les essais qu'à partir du moment où la forme, le port et d'autres caractéristiques définitives de l'arbre commencent à se dégager. Si l'on est déjà raisonnablement certain que telle ou telle essence serait utile dans une exploitation, on pourra éventuellement distribuer, parallèlement au programme des expériences, un petit nombre de plants à des agriculteurs sélectionnés. Chaque exploitation peut dès lors être considérée comme une parcelle expérimentale, et on peut s'attendre à devoir renoncer à prendre en compte de nombreuses parcelles.



Les jugements des agriculteurs en matière d'AUM sont d'une grande utilité.



Un groupe d'agriculteurs examine une parcelle d'Acacia tortilis de forme convenable.

Les agriculteurs et les essais de systèmes prototypes

Bien qu'il s'agisse d'expériences d'un genre totalement différent, il est souvent possible de lancer simultanément des essais de systèmes types et des essais d'évaluation d'essences. Lors de la mise en œuvre en station d'un

essai portant sur un système type, les chercheurs organiseront régulièrement des journées d'étude sur le terrain destinées aux agriculteurs locaux. Ils pourront ainsi décrire les objectifs de l'expérience et inviter les agriculteurs à commenter à loisir ce qu'ils ont sous les yeux.

Lorsqu'un système type fait l'objet d'une expérience dans une exploitation agricole, les chercheurs appren-

nent aux agriculteurs concernés à gérer ce système. Les chercheurs suivent et évaluent l'expérience de très près. Toute modification apportée par les agriculteurs au plan original sera particulièrement instructive.

Modification des plans expérimentaux pour la recherche en milieu paysan



Pour l'expérience en exploitation agricole, il peut être nécessaire de modifier les plans de recherche standard, notamment en répartissant les blocs entre différents champs, voire entre différentes fermes. Dans un tel contexte, les risques de parcelles manquantes sont plus grands ; le plan de recherche doit donc être suffisamment solide pour continuer à donner des résultats valides. Les traitements ne seront pas toujours administrés scrupuleusement et l'on peut en outre s'attendre à de légères modifications du système original. Dans le cas de l'introduction d'essences peu connues, les différentes façons qu'ont les agriculteurs de s'occuper des arbres pourraient en apprendre beaucoup à l'observateur.

Quatrième partie :

domaines de recherche importants

Chapitre 10 : récolte, stockage et essai des semences

L'étude approfondie des semences n'entre normalement pas dans le cadre de la recherche préliminaire en vue de l'introduction d'AUM, bien qu'elle puisse avoir de l'importance au cours des dernières phases d'un programme de recherche agroforestière. Toute pépinière où l'on cultive des ligneux pour plantation, expérimentale ou non, doit s'efforcer de produire le meilleur matériel de multiplication possible. A cette fin, il convient de procéder à des essais réguliers visant à améliorer les perfor-

mances et à résoudre les problèmes au fur et à mesure de leur apparition. Le présent chapitre traite brièvement de certains des principes qui régissent la récolte, le stockage et l'essai des semences dans le contexte de l'introduction d'AUM. On trouvera une information plus détaillée, bien que se rapportant plus particulièrement aux conifères, dans l'excellent ouvrage de la FAO (Willan, 1985) consacré à la récolte, au traitement, au stockage, au prétraitement et à l'essai des semences d'arbres.

Récolte au champ

Les saisons de floraison et de fructification des arbres et arbustes tropicaux sont souvent mal connues. Si les semences (ou d'autres matériels de multiplication) doivent être recueillies à des fins expérimentales, il convient d'observer la phénologie des arbres et d'organiser la récolte bien à l'avance. Le chercheur est rarement en mesure d'effectuer la récolte personnellement ; pour cette raison, il convient de recruter des équipes de terrain fiables.



La récolte des semences doit se concentrer sur des arbres semenciers correspondant bien à l'idéotype.

RÉCOLTE, STOCKAGE ET ESSAI DES SEMENCES

Lorsque l'emplacement des arbres parents a été déterminé et que les dates de récolte des semences ont été fixées, les équipes sont envoyées vers les zones de collecte, pourvues de tous les outils et de tout le matériel nécessaires, véhicules y compris.

En règle générale, la semence d'au moins 25 arbres doit être recueillie, et

il faut toujours noter le nombre exact. Dans la mesure du possible, on stockera séparément la semence prélevée sur les différents arbres, et on utilisera les différents lots dans le cadre du programme de recherche en tant que descendance distinctes.

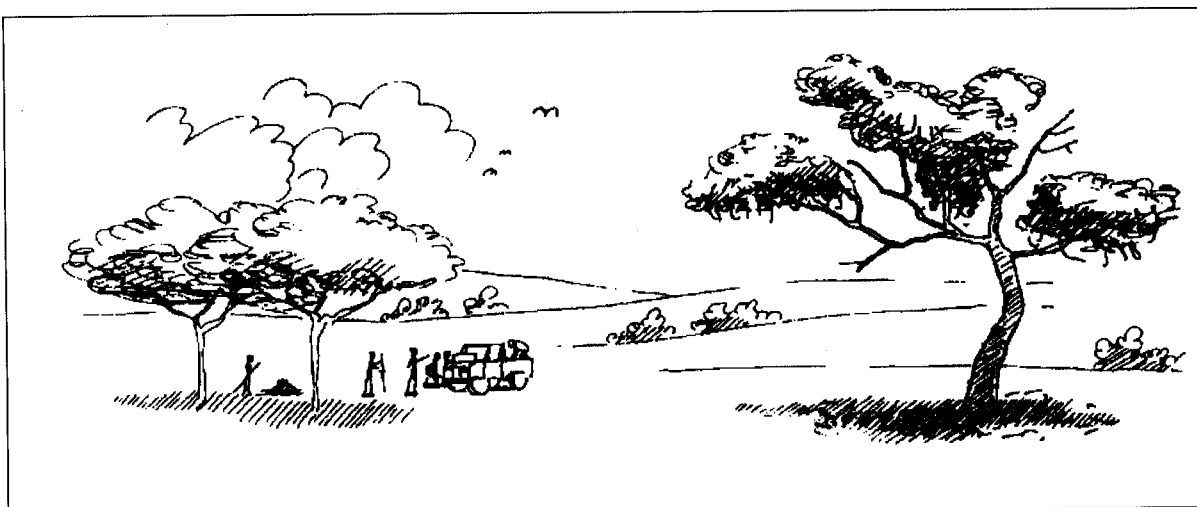
Les avantages de cette méthode sont les suivants :

- ♦ elle permet une étude bio-

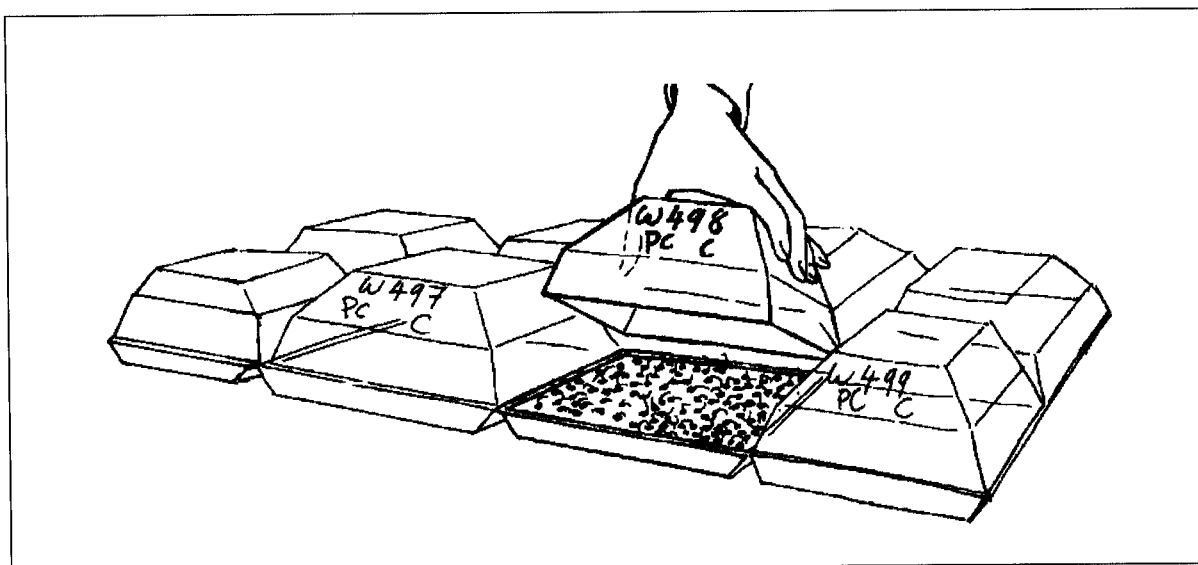
systématique tant entre les populations qu'en leur sein même ;

- ♦ elle permet d'équilibrer les parents dans un mélange de semences de différentes provenances ;
- ♦ elle permet de détecter les parents hybrides.

Ces points sont décrits plus en détail par Turnbull (1975).



La récolte des semences doit éviter les arbres malformés ou malades.



Test de germination en conditions contrôlées en laboratoire. D'après une photographie fournie par la British Forestry Commission.

Le scientifique voudra naturellement recueillir la semence des phénotypes les plus prometteurs. Toutefois, des équipes de collecte non supervisées auront plutôt tendance à choisir la solution de facilité, par exemple en se concentrant sur les spécimens qui donnent le plus de semences. Cette tendance a souvent mené à la multiplication d'arbres de mauvaise conformation produisant de grandes quantités de semences ; or cette dernière caractéristique est souvent liée à une croissance végétative réduite et peut donc être indésirable.

La sélection de « bons » phénotypes en champs est un exercice utile si la semence doit être mise en terre près du lieu de récolte, où l'on peut s'attendre à obtenir ainsi une population de phénotypes améliorés. La semence recueillie ne sera évidemment pas représentative de l'ensemble de la population. Dans le cas d'une première collecte de semences exotiques, il est préférable de recueillir un large éventail de semences représentant tous les phénotypes de la population source,

de façon que le programme d'essai puisse porter sur une gamme de variations génétiques aussi étendue que possible.

Traitement et stockage des semences

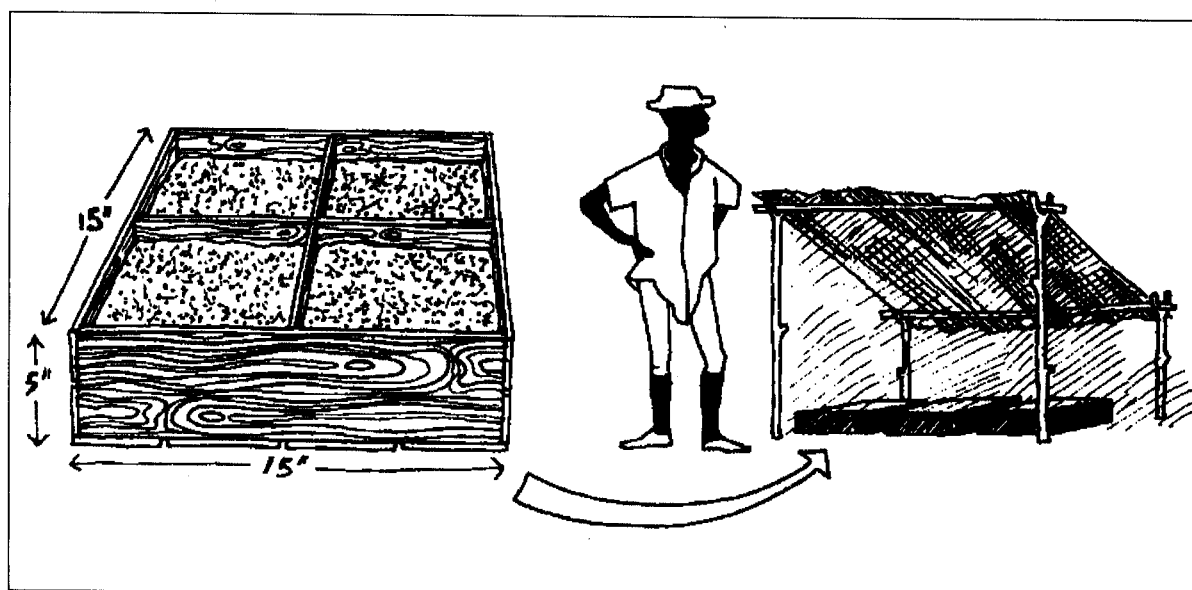
En principe, la semence doit être recueillie en fonction des besoins et semée dès réception. S'il est nécessaire de la conserver pendant plus de quelques semaines, on se renseignera sur les conditions de stockage auprès du fournisseur, en consultant la littérature spécialisée ou en s'adressant à des organismes disposant d'une banque de données sur le traitement des semences, tels que la DANIDA (Danish International Development Agency – Agence danoise d'aide internationale au développement), l'Oxford Forestry Institute ou l'ICRAF. En règle générale, il vaut mieux faire sécher les semences à l'air ou au soleil et les stocker dans des conteneurs herméti-

ques à une température d'environ 4°C. Elles ne peuvent en aucun cas être congelées.

Prétraitement des semences

La semence de nombreuses essences ligneuses ne germera pas de façon satisfaisante si elle n'a pas subi un prétraitement spécifique. On peut par exemple provoquer un changement physiologique de l'embryon soit en l'exposant à de basses températures (on parle souvent de « stratification froide »), soit en modifiant l'enveloppe de la graine pour lui permettre d'absorber l'eau.

Les traitements de l'enveloppe vont du trempage dans l'eau pendant 24 heures à l'immersion dans l'eau bouillante ou l'acide sulfurique. Pour certains types de semence, une scarification mécanique de l'enveloppe peut suffire. Une variante intéressante, efficace sur la semence de nombreuses essences d'AUM, consiste à mettre un



Test de germination en pépinière à quatre répétitions.

fil chauffé légèrement en contact avec l'enveloppe. Cette méthode est particulièrement utile dans le cas de nombreuses essences d'*Acacia*.

Pour tous les lots de semences, on consultera le producteur et la littérature quant aux méthodes de prétraitement. Le trempage des semences avant semis se justifie toutefois dans la grande majorité des cas. Si la semence de telle ou telle essence s'avère récalcitrante, il faudra éventuellement mener des recherches afin de déterminer des méthodes efficaces d'induction de la germination.

Essai simplifié des semences

Après prétraitement, l'objectif principal de l'évaluation d'un lot de semences est d'obtenir une estimation suffisam-

ment précise de la production probable d'un matériel sain. Pour tous tests standards, on se conformera aux règles établies par l'Association internationale d'essais de semences (ISTA). Toutefois, les publications de cet organisme ne portent que sur quelques essences d'AUM (voir ISTA, 1976). Les méthodes recommandées par l'ISTA font appel à du matériel de laboratoire standard. La plupart des fournisseurs de semences d'AUM destinées à la recherche devraient suivre ces recommandations. Du point de vue du chercheur, toute semence évaluée doit constituer un échantillon représentatif de l'ensemble du lot de semences.

Quelle que soit l'expérience, il est recommandé d'effectuer un test avant de semer, de façon à ajuster la densité de semis et, s'il apparaît que les semences de tel ou tel lot ne sont pas viables, de se procurer de nouvelles semences. On

peut effectuer les tests pratiques à petite échelle décrits au chapitre 6, avec par exemple quatre répétitions de 25 graines chacune, ces dernières étant placées dans des boîtes de Petri ou des récipients en plastique munis d'un couvercle. Ces tests peuvent également avoir lieu en pépinière, dans des bacs de sable bien protégés. Ils seront effectués en laboratoire s'il en existe un à proximité, mais l'absence d'un laboratoire perfectionné d'évaluation des semences ne justifie en rien la non-exécution de tests de germination, puisqu'ils peuvent s'effectuer efficacement même en pépinière.

Pour toute information complémentaire, on peut consulter une intéressante documentation éditée par le Centre de production de semences d'arbres forestiers d'Humblebaek (Danemark), qui comprend dépliants, circulaires, livres, notes techniques et instructions de traitement des semences.

Chapitre 11 : culture en pépinière

Il convient d'utiliser les meilleures méthodes de culture en pépinière pour produire les plants d'AUM devant subir des essais en champs, étant donné que les lots de semences expérimentales sont généralement chers et difficilement remplaçables, et également parce que des plantes robustes dotées d'un bon système racinaire sont indispensables pour assurer un taux de survie optimal. Les essais réalisés en champs ne sont pas des essais de la norme adoptée par les travaux en pépinière.

Dans la plupart des cas, les plants seront cultivés dans des tubes ou des pots en polyéthylène. On peut soit semer les graines directement dans les pots, soit les faire germer en terre, puis les repiquer dans des pots. En cas de doute quant aux techniques à utiliser, consulter un expert (qui sera souvent

un technicien d'une pépinière locale) ou mener des essais de pépinière tels que ceux décrits dans l'annexe IV.

Il se peut qu'il faille tester et évaluer différentes méthodes de culture en pépinière en vue de :

- ♦ faciliter la production en pépinière d'un matériel adapté à l'essai ;
- ♦ étudier les possibilités que présente l'essence ou la provenance en cours d'évaluation du point de vue de l'exploitation pour la production de matériel de pépinière à repiquer ou à semer, y compris les perspectives à long terme de multiplication de masse.

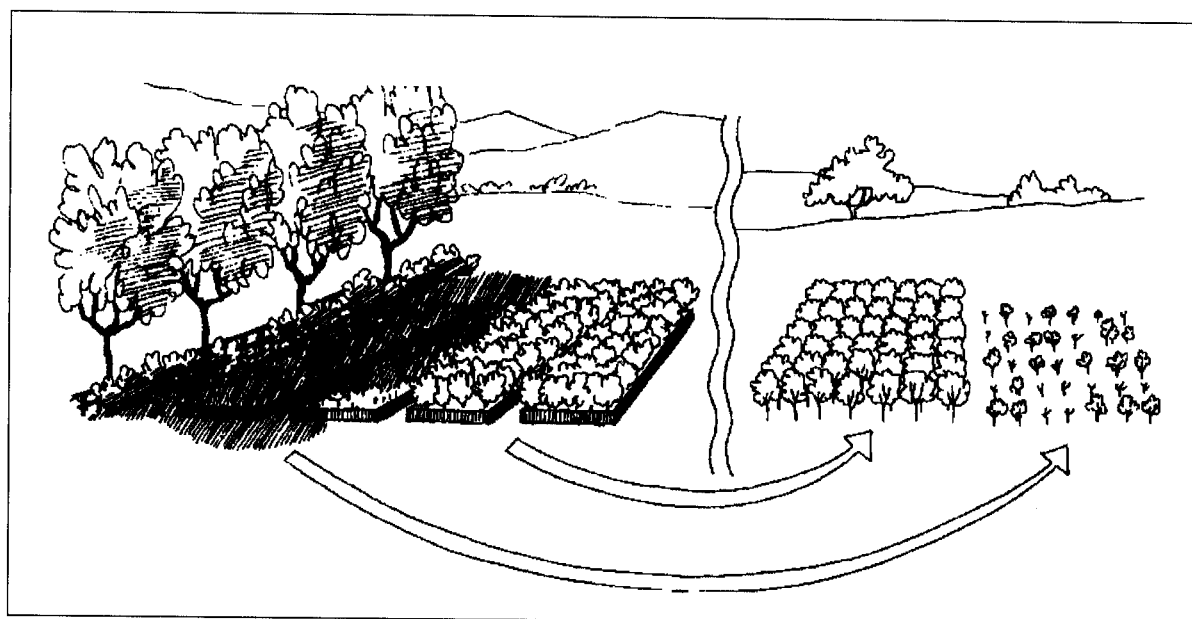
L'une des expériences présentées dans l'annexe IV (NUR/G) est conçue pour tester le greffage des arbres fruitiers en pépinière ; une autre (NUR/C) vise à déterminer si les essences d'AUM peu-

vent être multipliées à partir de pousses ou de boutures, et une troisième permet de tester l'ensemencement direct en tant que solution de substitution à la culture de plants en pépinière.

Culture en pépinière pour essais au champ

Pour la culture en pépinière de plants destinés à l'expérimentation en champs, il importe de veiller à l'uniformité des conditions de culture. Le principe est d'uniformiser au maximum le matériel à repiquer en traitant de la même façon les différents groupes de plants.

Les essais au champ doivent toujours être conçus avant que l'on ne sème les graines en pépinière. Ainsi, au cas où



Les arbres cultivés en blocs en pépinières doivent être repiqués ensemble en champs afin de maintenir l'effet induit dans la pépinière.

il ne serait pas possible d'établir des conditions uniformes dans la pépinière, on peut tout de même faire en sorte que les plants faisant partie d'un bloc ou répétition donnés soient aussi uniformes que possible.

Une germination et un taux de survie insuffisants entraînent souvent, au moment du repiquage, un manque au niveau de certaines populations ce qui nécessite la modification du plan d'essai au champ, voire la mise au point d'un plan entièrement nouveau. Pour éviter ce problème, il convient de traiter les lots de semences avec grand soin, conformément aux instructions

de la littérature ou des experts consultés, ainsi qu'à l'expérience du spécialiste de la culture en pépinière. On consignera soigneusement, en plus des évaluations du matériel de reproduction, les traitements exacts appliqués à chaque groupe de plants. Le tableau 11.1 présente des modes simples de classement qualitatif du matériel de pépinière.

Estimation du nombre de semis nécessaires

Le calcul du nombre de plants à cultiver doit tenir compte des possibilités

de rejet pour qualité inférieure ainsi que de l'éventuelle nécessité de remplacer des plants après repiquage. Il convient de produire approximativement deux ou trois fois plus de plants que nécessaire. On devra disposer de plants en suffisance pour :

- ♦ pouvoir sélectionner des plants à repiquer uniformes et sains ;
- ♦ disposer de suffisamment de plants pour remplacer immédiatement, sur le site de plantation, tout individu endommagé.

La germination de certaines populations (essences, provenances ou lots de semences) peut ne pas être

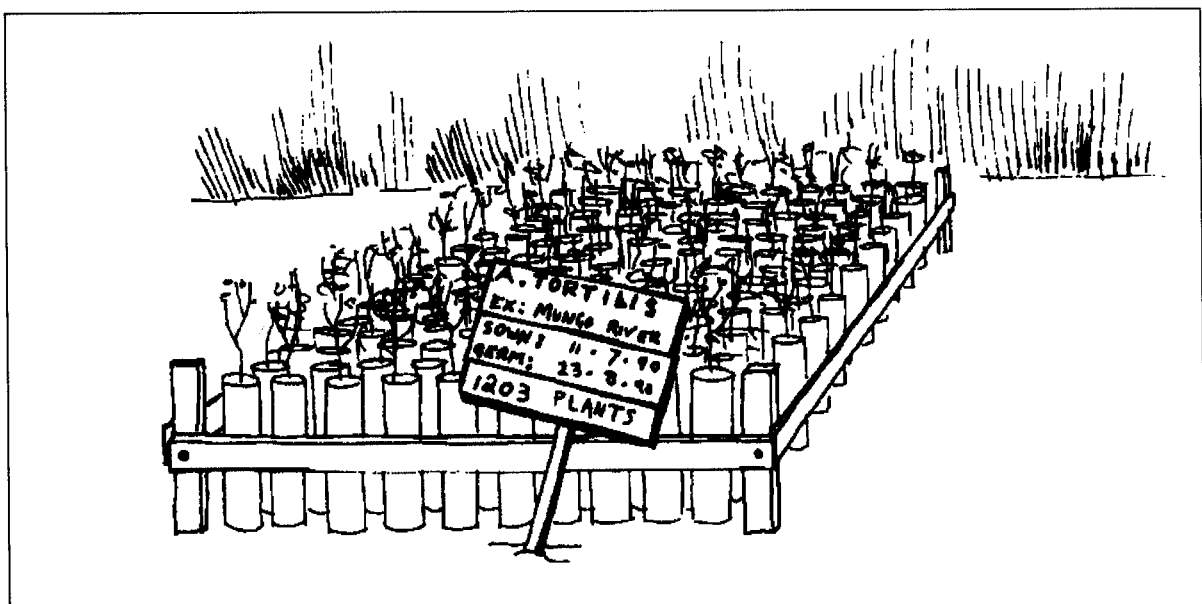
Indice morphologique : hauteur x diamètre au collet de la racine x coefficient système racinaire/système foliacé

- ♦ Appliqué comme valeur moyenne reposant sur des échantillons de population
- ♦ On obtient le coefficient système racinaire/système foliacé en pesant les différentes parties

Indice de vigueur : diamètre au collet de la racine x hauteur

- ♦ S'applique aux différents plants
- ♦ Les plants sont ensuite regroupés en catégories de hauteur

Tableau 11.1 : quelques mesures standard visant à déterminer la qualité des végétaux.



Les essences cultivées en pépinière doivent être soigneusement enregistrées et identifiées.

satisfaisante, ce qui rend difficile la mise en place de l'intégralité du plan envisagé. En outre, il est parfois nécessaire de procéder à un échantillonnage destructeur des plants de pépinière pour analyse chimique ou autre. Enfin, il est souvent utile de prévoir des parcelles supplémentaires non répétées qui serviront à des essais de traitement. Pour toutes ces raisons, il est bon de prévoir la production d'un nombre de plants supérieur aux besoins.

Germination

Conseils pour la germination des semences :

- ♦ si une expérience de terrain doit être répétée, semer en une seule fois une quantité de graines suffisante pour chaque répétition ;
- ♦ lorsqu'on sème dans des récipients ou en planche de semis, il faut s'assurer que les différentes populations sont bien séparées les unes des autres et qu'elles sont bien identifiées. Utiliser des planches, briques, feuilles de polyéthylène ou tout autre matériau permettant d'éviter une éventuelle confusion entre les semences de différentes populations ;
- ♦ se renseigner à l'avance sur les traitements de prégermination et les administrer immédiatement avant semis ;

- ♦ en cas d'ensemencement direct en récipients, moduler le taux d'ensemencement en fonction des résultats des tests de germination.

Processus à modifier au fil de l'expérience : semer deux graines par récipient si le taux de germination est inférieur à 80 % et transplanter les plants en surplus dans des récipients réservés à cet effet ; semer une graine par récipient si le taux de germination est supérieur à 80 %, et, après une quinzaine de jours, réensemencer tout récipient où la graine n'a manifestement pas pris. Si les graines sont de taille très réduite, il n'est pas possible de semer des graines une par une. Dans ce cas, il vaut mieux laisser germer les semences en planche de semis, puis, au besoin, repiquer les jeunes pousses dans des récipients.

Repiquage

S'ils ont été semés en planche de semis, les plants sont transplantés quand ils sont prêts au repiquage (généralement lorsqu'ils ont atteint une hauteur de 3-5 cm). Il convient de les saisir par le cotylédon, non par la tige, et de les manipuler très soigneusement. Les essences ne sont pas toutes faciles à transplanter. Celles qui ne se transplantent pas aisément, par exemple certaines légumineuses, doivent être semées directement.

Au stade du repiquage, il est facile de confondre les différentes populations, et une grande vigilance est nécessaire pour éviter que des plants de même apparence ne se trouvent mélangés. Il faut en outre veiller à ne pas endommager les plants au cours de la manipulation. Les plants sont arrosés par pulvérisation en gouttes très fines, notamment au moyen d'un arrosoir de marque « Hawes ». De plus, les résultats sont meilleurs si la transplantation est faite par temps couvert.

Terre et eau

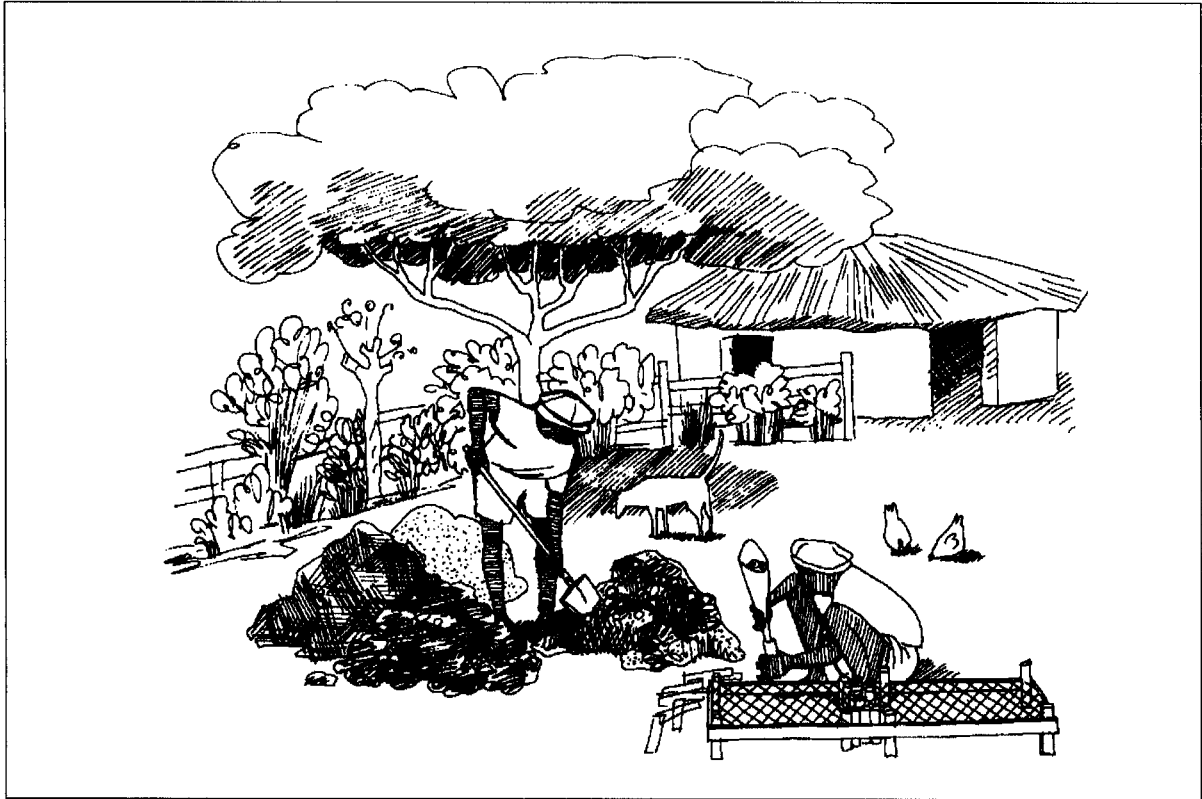
On se conforme aux pratiques locales en matière de composition de la terre, d'utilisation de planches ou de pots et de volume d'arrosage. Dans tous les cas, il faut recourir à la meilleure technologie possible afin d'éviter de perdre du temps et de gaspiller des lots de semences, qui coûtent cher et qu'il est souvent difficile de remplacer.

Habillage

Que les plants soient cultivés en planche ou dans des récipients, il est généralement nécessaire d'en tailler les racines. Les sachets de polyéthylène (tubes dont l'une des ouvertures est scellée) sont déconseillés, étant donné qu'ils ne permettent pas un habillage efficace ; quant aux cylindres en poly-

Caractéristiques d'une terre de bonne qualité (liste non exhaustive) :

- ♦ bonne capacité de rétention de l'humidité, grâce à une bonne teneur en humus ou en fumier de ferme bien décomposé ;
- ♦ bon drainage, grâce à la présence d'une faible proportion de fin gravier ou de sable grossier ;
- ♦ pas de tassement en surface ; la présence de limon favorise le tassement, alors qu'humus et sable exercent un effet bénéfique ;
- ♦ rétention des éléments nutritifs ; nécessite une faible teneur en argile ;
- ♦ fertilité ; pour la plupart des essences d'AUM, il suffira d'un faible apport initial d'azote, de phosphore et de potassium ;
- ♦ pH neutre ou légèrement acide.



Une composition du sol bien équilibrée est nécessaire.

éthylène dont les deux extrémités restent ouvertes, ils permettent uniquement la coupe par-dessous. Dans des planches de semis, on taille les racines toutes les deux semaines, en alternant entre racines latérales et verticales. On déplacera les récipients ouverts une fois par semaine afin de briser les longues racines qui en émergent.

Ombrage

Ensoleillement normal et arrosage fréquent sont généralement la meilleure combinaison possible pour produire des plants vigoureux, bien que des écrans puissent être nécessaires pour protéger la pépinière dans les zones où la grêle est fréquente. Un ombrage important réduit la perte d'humidité et protège du gel, mais tend à produire des plants étiolés et faibles. On n'y aura recours que lorsqu'il n'est pas

possible d'assurer un arrosage suffisant, et non pas comme solution de substitution à un arrosage suffisant et régulier. Un ombrage léger sera toutefois bénéfique dans le cas des planches de semis et durant les quelques jours qui suivent le repiquage. Dans les zones de vents desséchants, la protection latérale des planches nécessitera éventuellement la présence de haies ou d'écrans artificiels. Dans les pépinières permanentes, on utilisera le cas échéant des écrans hauts laissant passer environ 60 % de la lumière, afin de faire obstacle aux fortes pluies, à la grêle et au vent.

Inoculation des racines

Des bactéries ou des champignons symbiotiques sont nécessaires pour assurer à de nombreuses essences d'AUM une croissance saine et vigou-

reuse. En ce qui concerne la plupart des essences de légumineuses (fixatrices d'azote), les bactéries concernées sont du type *Rhizobium*. Quant aux *Casuarina*, espèces également fixatrices d'azote mais non légumineuses, elles ont besoin de champignons actinomycètes portant le nom de *Frankia*. D'autres champignons, ordinairement du groupe des *Basidiomycètes*, sont nécessaires à la formation de mycorhizes. Pour certains arbres, la symbiose met en jeu plusieurs micro-organismes.

L'identification du genre et de la souche de ces micro-organismes est du ressort des spécialistes, mais si une essence d'arbre pousse déjà sans problème dans la zone en question, on peut en général considérer que le sol renferme les micro-organismes voulus. Dans le cas contraire, il convient

de se renseigner auprès des principaux centres internationaux de recherche AUM (voir annexe VIII).

Ces micro-organismes favorisent d'autant plus la croissance des arbres que la fertilité du sol est basse. Pour cette raison, il est contre-indiqué d'incorporer de grandes quantités d'engrais inorganique dans la terre de la pépinière. On trouvera dans l'annexe IV la description d'expériences permettant de déterminer le niveau voulu d'apport d'engrais.

Evaluation de la qualité des plants à repiquer

Les plantes cultivées en pépinière ne se développent pas toujours en continu : si elles ne disposent pas en suffisance d'éléments nutritifs ou d'eau, elles peuvent interrompre leur croissance à n'importe quel stade et devenir inhibées. Cela peut être évité en les cultivant dans une terre appropriée, en les arrosant suffisamment et en leur

fournissant les éléments nutritifs voulus en quantités suffisantes (dans de la terre ou de l'eau d'irrigation) et, le cas échéant, en assurant la présence de micro-organismes symbiotiques.

Pour supporter le choc de la transplantation dans un nouveau milieu, les jeunes arbres doivent être plus que vigoureux : ils doivent aussi être très résistants. En d'autres termes, la partie aérienne du plant doit être de texture ligneuse, et non pas verte ou souple. Pour atteindre ce stade, dit de l'« endurcissement », il faut réduire l'alimentation en eau des plants durant les quelques semaines précédant le repiquage.

Les caractéristiques du système racinaire des plants dépendent tant de l'essence que du mode de culture en pépinière. Une taille correcte des racines, effectuée à intervalles réguliers, est nécessaire pour produire un système racinaire fibreux qui ne soit pas trop long (cela entraînerait des dégâts lors du repiquage, ainsi que le repliement des racines). Un système racinaire fibreux peut être repiqué entier sans que ses racines les plus fines ne subissent de

dommages portant à conséquence. Par contre, les racines produites dans des sacs de polyéthylène sont fréquemment enroulées sur elles-mêmes et ne donnent pas de résultats satisfaisants.

Le tableau 11.1 présente quelques mesures standard d'évaluation de la qualité des plants destinés au repiquage. On peut y avoir recours pour classer les plants servant aux expériences AUM réalisées en champs. En gros, l'objectif est de produire un plant de 30 cm de hauteur et de 8 à 10 mm de diamètre au collet, mais il suffit habituellement d'un coup d'œil au technicien ou au pépiniériste expérimenté pour identifier des plants de qualité.

Expériences en pépinière

L'annexe IV présente des profils expérimentaux se rapportant à trois types d'essais en pépinière : production de plants à repiquer de bonne qualité (EST/Q), greffage des arbres fruitiers (NUR/G) et multiplication végétative par bouture (NUR/C).

Chapitre 12 : implantation

Les recherches sur l'implantation des arbres visent d'abord à déterminer les caractéristiques d'une collection de germoplasme donnée en vue de sa culture et de sa gestion en système agroforestier. Il est évident que le germoplasme ne peut être testé dans toutes les situations que l'on peut rencontrer en agroforesterie. Les recherches portant sur l'implantation se concentreront sur les principes généraux ainsi que sur les moyens d'assurer un bon taux de survie des plants en champs. On trouvera dans l'annexe IV la description de différents types d'expériences.

En matière d'implantation, la recherche se concentre sur la survie et la croissance de plants d'arbres en champs. On repiquera les plants en respectant un écartement suffisant pour qu'ils ne se fassent pas concurrence durant les premiers mois, pendant que l'on évalue leur aptitude à la survie. Une plantation en carrés d'un mètre de côté devrait suffire.

Ensemencement direct (EST/S)

L'ensemencement direct est particulièrement indiqué en conditions humides ou subhumides, et là où la semence est bon marché et abondante. Il perd

progressivement de son efficacité à mesure que le climat devient plus sec. Un ensemencement direct réussi permet d'éviter la phase de pépinière et produit des plants au système racinaire bien développé. Toutefois, cette méthode pose aussi des problèmes, entre autres une germination sporadique, des dommages causés par des prédateurs, tant aux semences qu'aux jeunes plants, et une incertitude quant au moment où effectuer les diverses opérations. Les expériences doivent étudier les variables concernées (époque, profondeur et densité de semis, prégermination des semences, protection contre les ravageurs, etc.).

Date de repiquage (EST/D)

Il est important de déterminer les effets du repiquage des plants à différentes dates à un double titre : déterminer la date de repiquage entraînant les meilleurs taux de survie et établir quelles autres dates déterminent des taux de survie acceptables. La raison pour laquelle il convient de rechercher d'autres dates pouvant donner des résultats acceptables est liée à l'information recueillie, à la phase initiale de diagnostic et de conception, sur le calendrier des besoins en main-d'œuvre. La demande de main-d'œuvre agri-

cole est presque toujours la plus forte au début de la saison des pluies, ce qui coïncide avec la date optimale de repiquage des arbres. Le repiquage commencera donc environ un mois avant le début des pluies et se poursuivra tout au long de la saison des pluies.

Le chercheur enregistrera la profondeur de pénétration de l'eau dans le sol, tout au long de la saison des pluies. Une simple bêche et une règle suffisent pour mesurer ce paramètre. L'objectif est de pouvoir annoncer aux agriculteurs qu'ils peuvent repiquer sans risques dès que l'humidité atteint une profondeur donnée, par exemple 10 ou 15 cm. Il faudra mener des recherches afin de déterminer la profondeur réelle.

Préparation et désherbage du terrain

L'interaction des différents végétaux et de leur milieu figure au cœur de la démarche scientifique en agroforesterie. Le rapport entre flore adventice, préparation du terrain et arbres repiqués doit donc être considéré comme une interaction, et non pas seulement évalué du seul point de vue de ses effets sur les arbres. Les méthodes de préparation du terrain adoptées dans le cadre de l'expérience doivent être celles qu'utilisent

Aspects importants que la recherche doit permettre d'éclaircir :

- ♦ viabilité d'un ensemencement direct, qui permet d'économiser la main-d'œuvre et les autres ressources ;
- ♦ dates de repiquage optimales par rapport aux saisons et à la planification de l'exploitation ;
- ♦ réponse des plants à différents degrés de préparation et de désherbage du terrain ;
- ♦ recours aux engrais et aux pesticides ;
- ♦ méthodes de protection précoce, par exemple contre le broutement.



On peut procéder à l'ensemencement direct s'il y a abondance de semences.

habituellement les agriculteurs locaux, mais, en outre, on effectuera toujours, dans un but de contrôle, un désherbage intégral. Il est ainsi possible de comparer la croissance d'arbres ne subissant pas ou presque pas la concurrence d'autres végétaux à celle d'arbres poussant dans des conditions plus proches de celles d'un système agroforestier. Dans certains cas, au lieu d'évaluer la compétitivité des arbres par rapport à des plantes adventices présentes naturellement, il peut être plus utile de les étudier du point de vue du stress imposé par la proximité d'une culture intercalaire.

Engrais et pesticides (EST/F)

Il est peu probable que les agriculteurs utilisent des engrais dans le seul dessein de favoriser la croissance des arbres, mais les engrais appliqués à des cultures intercalaires ont un effet sur les arbres. Des renseignements sur les réactions des arbres à la présence des engrais sont utiles dans le cadre de pratiques agroforestières telles que peuplements forestiers ou surfaces fourragères.

Les expériences seront conçues de manière à évaluer les effets de différents niveaux de fertilisation sur le taux de survie des arbres, leur croissance, leur phénologie et leur rendement. En agroforesterie, dans la plupart des cas, les engrais ne sont pas nécessaires à la survie. Il est peu probable que la réaction des arbres à l'apport d'engrais soit de nature linéaire ; des recherches sont donc nécessaires afin de déterminer le niveau de fertilisation nécessaire pour obtenir une réaction donnée, par exemple, la quantité minimum d'azote, de phosphore et de potassium nécessaire à un taux de croissance suffisamment élevé pour ne laisser aucune chance aux plantes adventices ou dépasser le plus vite possible la hauteur de broutement.

Les expériences de fertilisation des AUM font principalement appel, dans le cadre de plans d'expérimentation systématique ou factorielle de faible envergure, à un apport d'azote, de phosphore et de potassium, ainsi que de nutriments tels que le bore, le calcium et le manganèse, si nécessaire. Les arbres dont on sait qu'ils sont fixateurs d'azote ne nécessitent d'ordinaire pas d'apport complémentaire d'azote minéral, mais il est généralement néces-

saire de leur inoculer certaines bactéries ou champignons. Des expériences simples de fertilisation peuvent se superposer à pratiquement n'importe quelle autre expérience.

Un désherbage intégral est indispensable sur quelques parcelles tout au moins afin d'éviter des interactions complexes entre nutriments et flore adventice. Le travail que représente le désherbage intégral est l'une des principales raisons pour lesquelles les expériences s'effectuent à petite échelle, tant pour limiter les frais que pour assurer un désherbage des parcelles aussi simultané que possible. Dans le cadre des essais systématiques, dont l'objectif est d'évaluer les niveaux extrêmes de l'apport d'engrais, on peut s'attendre à ce que certains arbres meurent sous l'effet de la toxicité. En revanche, dans les essais faisant appel à des arrangements factoriels des variables et des niveaux, les quantités d'engrais appliquées se limiteront à la gamme des applications possibles en champs.

Soulignons à nouveau que la fertilisation au bénéfice exclusif des arbres se justifie peu en agroforesterie. Dans la pratique, tout apport d'engrais vise en

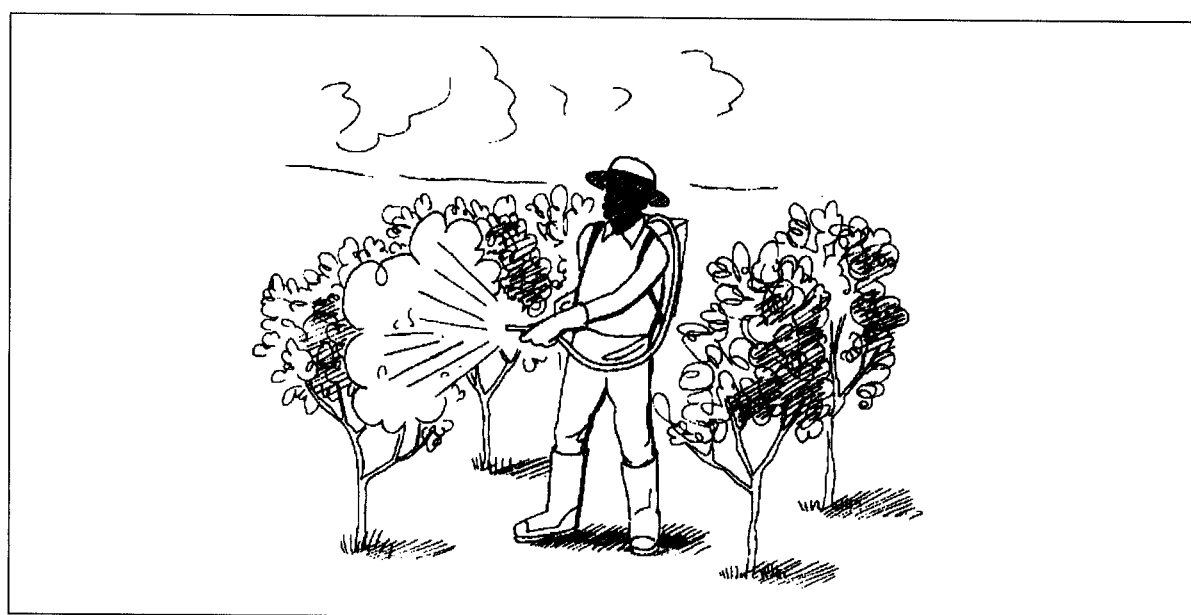


Le désherbage intégral est bénéfique tant pour les cultures que pour les arbres.

général à la fois les arbres et les cultures. Les projets d'essais de fertilisation au bénéfice des AUM portent donc principalement sur quelques pratiques agroforestières précises telles que les peuplements forestiers et les surfaces fourragères.

On pourrait étudier les effets de l'application de pesticides en tant que traitement se superposant à un essai préliminaire, mais il serait préférable d'appliquer un traitement standard recommandé dans le cadre de l'expérience dans son ensemble. Si des essais

factoriels sont nécessaires à l'évaluation de différents niveaux et combinaisons de pesticides visant à résoudre des problèmes précis, il est préférable de les réaliser en tant qu'expériences ultérieures sur un nombre limité de populations plutôt qu'au stade de l'introduction.



Chapitre 13 : évaluation génétique

En agroforesterie, la démarche d'évaluation génétique des populations est analogue aux démarches forestières courantes, bien qu'elle présente quelques différences importantes (tableau 13.1). Les phases de sélection diffèrent peu, les principales différences se situant au niveau des phases de recherche appliquée. En agroforesterie, les populations choisies au cours d'essais de sélection ou d'élimination ne sont pas repiquées dans des parcelles plus grandes. Il arrive même qu'elles soient évaluées sur des parcelles ne comportant qu'un seul arbre, mais dans le cadre de systèmes proches de la prati-

que agroforestière visée. En foresterie, le mode d'exploitation visé est généralement une plantation productive et bien gérée.

D'une manière générale, en agroforesterie, le stade final de l'évaluation est un système type. Il s'agit de l'essai au champ d'un système en cours de mise au point, l'objectif étant de fournir des informations sur les aspects pratiques de sa mise en œuvre.

Le présent chapitre met l'accent sur les deux premiers stades de l'évaluation : les tests d'élimination et les études de

vigueur et de comportement phénologique. Divers types d'essais susceptibles d'être menés à ce stade seront abordés. Dans tous les cas, les différences séparant des provenances étroitement apparentées seront bien moindres qu'entre des essences très différentes, un élément qu'il ne faut pas perdre de vue au moment d'effectuer les expériences. Nous insistons aussi sur le fait qu'il n'existe pas de marche à suivre ou de calendrier standard régissant le passage d'une phase de l'évaluation à l'autre, pas plus qu'il n'est toujours nécessaire de procéder à des essais à chaque phase.



Un essai de système type peut englober un système d'exploitation existant.

Terminologie agroforestière		Terminologie forestière standard	
Expression	Description	Expression	Description
Elimination	Sélection massale : petites parcelles ou lignes	Essai d'élimination d'espèces, évaluation d'une gamme étendue de provenances	Sélection massale : petites parcelles ou lignes
Vigueur et phénologie	Population réduite, quelle que soit la taille de la parcelle, y compris dans le cadre d'études d'arbres isolés et de haies	Essai d'espèces, évaluation d'une gamme restreinte de provenances	Populations réduites dans des parcelles plus importantes (entre 25 et 49 arbres)
Performance et gestion	Populations encore plus réduites, quelle que soit la taille de la parcelle, y compris dans le cadre d'études d'arbres isolés et de haies	Test de confirmation d'espèces et de provenances	Jusqu'à 5 populations sur de grandes parcelles incorporant quelques expériences au champ
Essai de système type	Système ou sous-système en cours de mise au point	Etude d'une plantation forestière pilote	Mise en place d'une plantation pour étude du rendement et de la « faisabilité de la gestion » des traitements

Tableau 13.1 : comparaison des démarches d'évaluation des essences en agroforesterie et en foresterie.

Essai d'élimination et étude de vigueur et de phénologie

Nous abordons maintenant les deux phases principales de l'évaluation des AUM : l'essai d'élimination, ou essai d'adaptabilité, et l'étude de vigueur et de comportement phénologique, ou « test de confirmation ».

Les essais d'élimination visent à identifier des essences, populations ou prove-

nances aptes à survivre au stade de la pépinière ainsi qu'à celui – très traumatisant – de l'implantation en champs. Réciproquement il s'agit d'exclure des études ultérieures tous les plants qui ne pourraient survivre à l'implantation. Les essais d'élimination étudient l'adaptation de la population aux conditions naturelles du site, c'est-à-dire principalement le sol et le climat.

Les études de vigueur et de comportement phénologique évaluent la productivité initiale et le comportement phénologique des populations et cons-

tituent le début de l'examen des réponses à des conditions artificielles de culture. Ces essais ne visent pas à évaluer toutes les populations dans n'importe quelles conditions, mais à identifier des populations justifiant une étude approfondie en vue de la mise en place de pratiques agroforestières données.

Le principal objectif d'un essai d'élimination est d'établir dans quelle mesure une population donnée de plantes pérennes ligneuses pourrait s'adapter au milieu local. Une bonne réponse au traitement signifie, pour

L'évaluation génétique des arbres et arbustes à usages multiples doit satisfaire à trois critères fondamentaux :

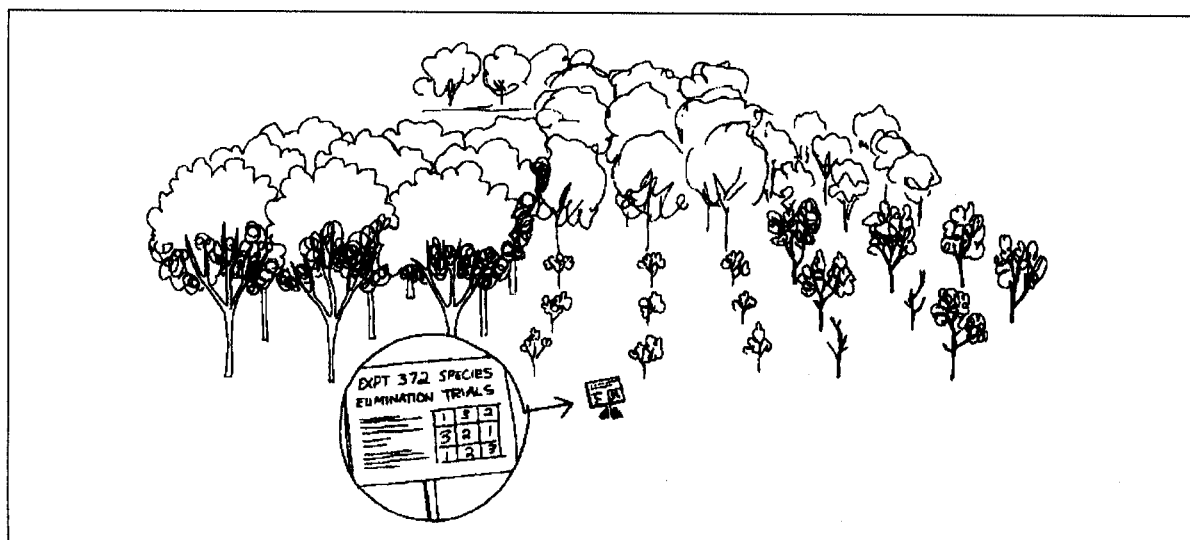
- ♦ la population doit pouvoir s'adapter au milieu local ;
- ♦ elle doit bien répondre aux pratiques culturales ;
- ♦ elle doit pouvoir partager les ressources avec les cultures intercalaires ;
- ♦ elle doit entretenir, voire améliorer le sol.

l'arbre, que des opérations telles que le recépage, l'émondage, l'ébranchage, l'élagage ou l'écussonnage donnent des résultats positifs. Les traitements varient en fonction de la pratique agroforestière. Par exemple, l'essence exploitée en haie doit pouvoir supporter le stress imposé par de faibles espacements. L'agroforesterie se base sur le partage des ressources du milieu : les essences ligneuses doivent partager des ressources limitées avec des cultures saisonnières ou des animaux domestiques, ou avec les unes et les autres, ce qui provoque des effets positifs d'ordre écologique et/ou socio-économique. La recherche porte ici sur des questions telles que l'écartement des arbres, des arbustes et des cultures, la présence de plantes adventices et la concurrence, les effets du labour, de l'apport d'en-

grais et d'autres intrants, l'utilisation de résidus végétaux, ainsi que l'influence de la distribution, de la densité et de l'orientation des cultures intercalaires sur le capital en eau et en lumière et sur les facteurs micro-climatiques.

La durabilité et l'amélioration du sol figurent parmi les principaux objectifs de la plupart des interventions agroforestières. Toutefois, l'évaluation des effets sur la chimie et la structure des sols, de la récupération des éléments nutritifs dans les couches profondes du sol et leur recyclage au sein de la zone racinaire sont des tâches nécessitant une somme considérable de recherches à long terme. Ces effets ne sauraient être étudiés dans le cadre d'essais à court terme portant sur l'introduction et l'évaluation.

Nous abordons maintenant plusieurs types d'expériences différentes qui peuvent être modifiées en fonction des conditions locales. Ces expériences sont décrites plus en détail dans l'annexe IV. Il n'est possible de déterminer le type et le plan exacts d'une expérience qu'après examen des objectifs expérimentaux, des ressources et du site de l'expérience. Aucune expérience ne peut à elle seule répondre à toutes les questions ; un compromis est donc inévitable. D'une manière générale, il est préférable d'avoir recours à des plans et analyses expérimentaux simples et bien connus, de façon à obtenir – en peu de temps – des renseignements sur la productivité des AUM et d'établir s'il vaut la peine de poursuivre les recherches qui les concernent. Toutes les expériences devront être répétées après au moins deux



Essai d'élimination sur petites parcelles

Ces expériences sont les suivantes :

- **tests de criblage sur petites parcelles (ET/S)** : faible superficie, nombreuses populations, peu de traitements en superposition, faible écartement et courte durée ;
- **essais d'élimination sur grandes parcelles (ET/L)** : nombre de populations réduit, ressources abondantes, grande superficie, longue durée et possibilité de traitements superposés ;
- **études de vigueur et de comportement phénologique (test de confirmation) en grandes parcelles (VIG/L)** : nombre de populations réduit, estimations précises de la production de biomasse et de la qualité du fourrage, longue durée ;
- **études de vigueur et de comportement phénologique (test de confirmation) sur arbres isolés (VIG/S)** : arbres isolés avec plans entièrement aléatoires pour observation de la phénologie ;
- **études de vigueur et de comportement phénologique (test de confirmation) en combinaison avec l'espacement (SPACE)** ;
- **test de confirmation sur haies (PROV/H)** : essais à petite échelle visant spécifiquement à sélectionner des populations en fonction de leur réaction à la conduite en haies.

ans (on peut aussi planter des blocs deux par deux, année après année) pour tenir compte des fluctuations des conditions climatiques saisonnières.

Le choix des expériences est souvent fonction du facteur le plus limitatif, qu'il s'agisse du temps, de l'espace ou du personnel. Les six types principaux d'expériences présentées ici (essais d'élimination et études préliminaires de vigueur et de comportement phénologique) visent spécifiquement à optimiser l'emploi du temps.

Les codes qui suivent les noms des expériences se rapportent aux fiches présentées dans l'annexe IV.

Essais d'élimination en petites parcelles (ET/S)

Les essais d'élimination effectués sur des parcelles comportant moins de

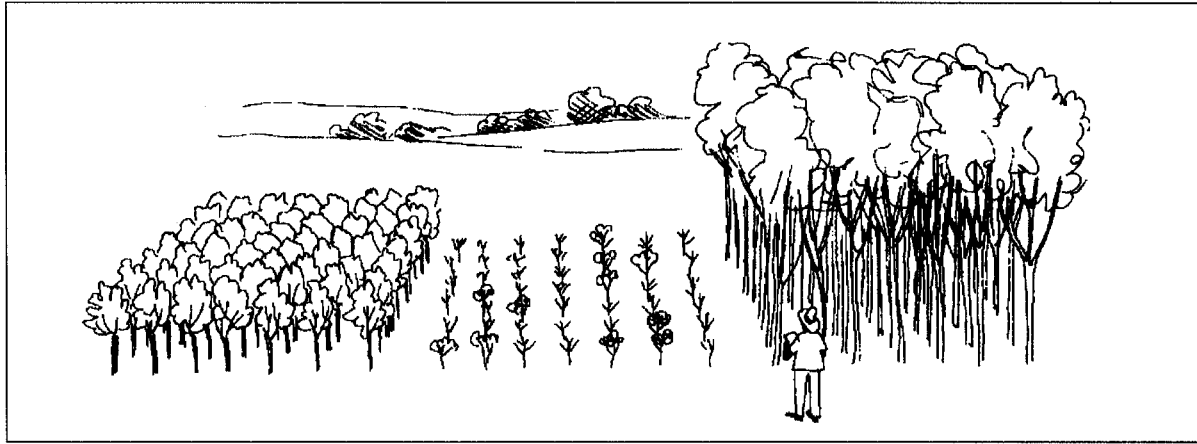
10 arbres sont conçus pour fournir des renseignements valables sur la caractéristique principale (la survie) pour un investissement limité tant du point de vue du terrain que des plants, de la main-d'œuvre et du temps. Les interactions sont très importantes sur des parcelles comportant un ou deux rangs. Les essences vigoureuses domineront les essences à croissance plus lente et exagéreront les différences génétiques. Pour cette raison, les parcelles doivent être dégagées des adventices et protégées de toute interférence humaine ou animale. Un faible écartement des plants est acceptable ; un mètre seulement suffit pour des expériences d'une durée d'un à trois ans.

Etant donné la superficie de la parcelle, il est difficile de procéder à des traitements en superposition, mais on peut étudier le comportement et les ports phénologiques. L'ensemble des individus peuvent subir un recépage après deux à cinq ans afin de déterminer la réponse à ce traitement.

Essais d'élimination en grandes parcelles (ET/S)

Les essais d'élimination en grandes parcelles (jusqu'à 36 arbres) visent à comparer un grand nombre de populations (essences ou provenances) du point de vue de leur survie dans les meilleures conditions possibles de culture et de protection, l'objectif principal étant d'établir quelles populations méritent que l'on poursuive leur examen.

D'une manière générale, le désherbage intégral est recommandé pour l'essai d'élimination, d'autant plus si les plantes doivent servir à la création d'un peuplement forestier. Toutefois, si la pratique agroforestière envisagée fait appel à la concurrence de la flore adventice ou à la culture associée, une culture céréalière standard peut être



Lorsqu'un essai d'élimination est effectué sur de grandes parcelles, les arbres peuvent poursuivre leur croissance et fournir des données pendant plusieurs années.

intercalée afin de simuler les conditions prévues.

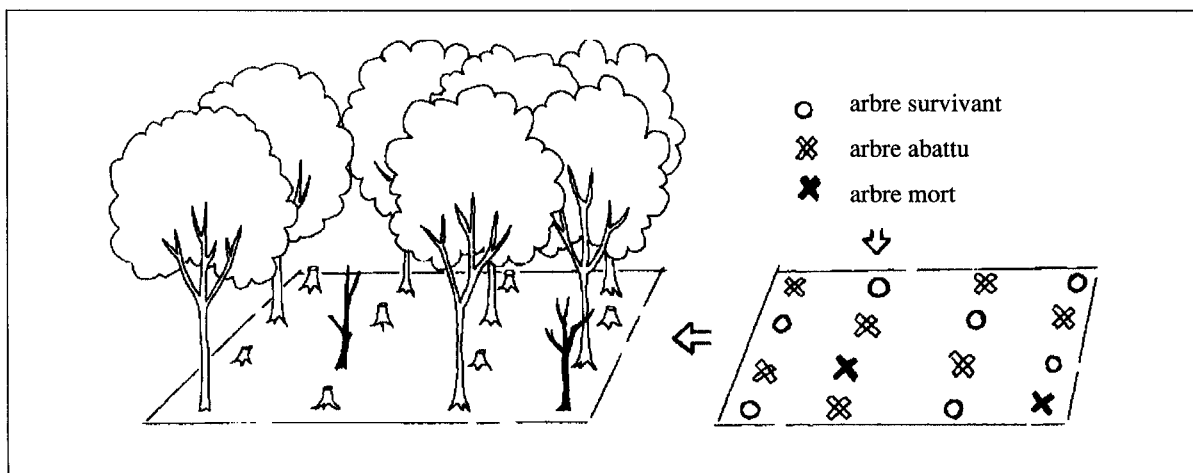
Chaque parcelle contiendra environ 16 arbres. Ce nombre permettra d'étudier la vigueur et le comportement phénologique pendant plusieurs années, ainsi que la production de bois ou de poteaux. Si l'essai doit durer plus de cinq ans, l'espacement sera de 3 ou 4 m.

Ce type d'essai convient à la production de matériel destiné à l'analyse préliminaire de la qualité du four-

rage, de la densité du bois ou du rendement calorifique. En ce qui concerne l'évaluation du comportement en peuplements, où la concurrence entre les arbres est considérable, l'utilisation de parcelles carrées est recommandée. Par ailleurs, une distribution en rangées (par exemple 2 x 8 arbres) est souvent plus facile à gérer, surtout si d'autres traitements sont prévus dans le cadre du même essai. Si un essai prévoit un recépage ou un émondage, ces traitements peuvent être appliqués à des individus sélectionnés ou à l'ensemble des répétitions concernées.

tionnés ou à l'ensemble des répétitions concernées.

De grandes parcelles permettent, dans une certaine mesure, d'évaluer la variation génétique entre individus d'une même essence. Toutefois, l'information ainsi obtenue est probablement moins fiable dans les essais portant sur des essences plutôt que sur des provenances, étant donné qu'il est difficile de se procurer des semences certifiées et l'information génétique les concernant au niveau de l'essence. L'exécution des essais sur un cer-



Plan de coupe sélective (éclaircie) d'une parcelle de 16 arbres.

tain nombre de sites fournira des renseignements utiles sur le degré d'interaction entre l'essence et le site.

En recherche forestière, on ne procède normalement pas à l'éclaircie dans le cadre de l'essai d'élimination. Toutefois, dans le cas d'essences à croissance rapide implantées à 16 exemplaires par parcelle, on pourra procéder à une éclaircie séquentielle et systématique (c'est-à-dire non sélective) en vue de prolonger la durée de l'essai et de faciliter l'exécution de certaines études préliminaires de conduite.

Essais de vigueur et de comportement phénologique en grandes parcelles (VIG/L)

Les études de vigueur et de comportement phénologique sont les étapes les

plus importantes de l'introduction et de l'amélioration des essences sur de nouveaux sites ou dans de nouveaux systèmes agroforestiers. Pour les essences très répandues naturellement, on constate des différences de productivité, d'une source à l'autre, pouvant s'écarter jusqu'à 100 % de la moyenne. Les races locales sont devenues des essences largement diffusées et manipulées par l'être humain, et elles aussi présentent des différences importantes. Dans un tel contexte, il convient de comparer toutes les sources dont on dispose.

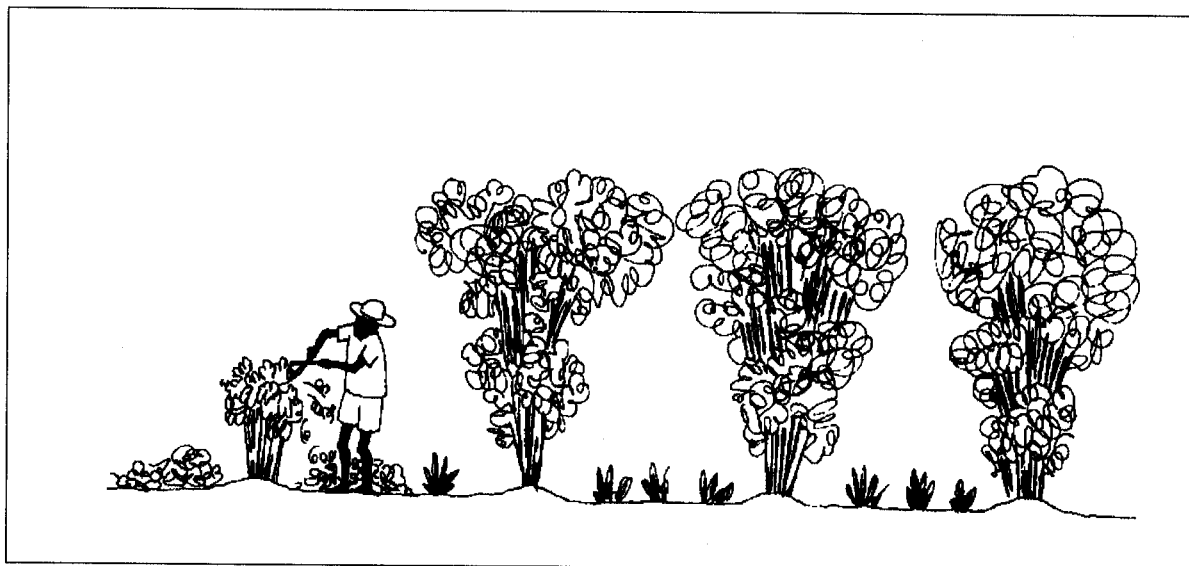
Il est rarement possible de se procurer des collections de provenances exhaustives et assorties d'une bonne documentation auprès des sociétés commerciales. Il est préférable, lorsque c'est possible, de se servir de collections de semences reconnues au niveau international (espèces et provenances) telles que celles de la CSIRO (Australie) pour les espèces australiennes, en particulier *Acacia* et *Eucalyptus*, du NFTA (Etats-Unis) pour les

espèces du genre *Leucaena* et de l'Oxford Forestry Institute (Royaume-Uni) pour les espèces de zones arides originaires d'Amérique centrale, notamment les provenances de *Gliricidia sepium*.

L'objectif d'essais menés sur de grandes parcelles (jusqu'à 100 arbres) est de déterminer la meilleure provenance pour un site et une pratique agroforestière donnés, du point de vue des produits ou services voulus. Ce type d'essai fournit des renseignements particulièrement utiles dans le cadre de pratiques basées sur des arbres en peuplements ou sur une grande densité d'arbres repiqués au milieu de cultures ou sur des pâturages (surfaces fourragères). La forme du tronc et de la cime sont évalués, les tendances phénologiques sont étudiées et la production de biomasse totale est estimée. Le rendement en fourrage et la qualité de ce dernier peuvent également être étudiés. Il faut bien entendu préciser à l'avance le niveau des différences à détecter au cours de l'essai.



Etude de vigueur et de comportement phénologique sur arbres isolés.



Essai d'élagage sur différentes essences servant de haies.

Essais de vigueur et de comportement phénologique sur arbres isolés (VIG/S)

Les chercheurs habitués à étudier les arbres, dans le cadre d'un projet forestier, ont tendance à utiliser des plans comportant de nombreux arbres par parcelle, comme nous l'avons vu dans les exemples précédents. Cela est dû à un degré élevé de variation entre les individus, ainsi qu'à la nécessité de disposer de nombreux échantillons afin d'estimer la valeur moyenne de l'essence ou du traitement considérés. En outre, les arbres en peuplement doivent se développer en se faisant mutuellement concurrence. Quoiqu'il en soit, il est possible de recueillir de nombreux renseignements en observant et mesurant des arbres isolés, tout en réalisant une économie considérable d'espace et d'argent. Les études qui portent sur des individus uniques sont particulièrement indiquées en vue de pratiques agroforestières dans les-

quelles les arbres ou arbustes seront probablement gérés individuellement.

La conception d'une étude de vigueur et de comportement phénologique sur des arbres isolés pourrait comprendre des parcelles répétées, mais pour la majorité des caractéristiques à étudier, un degré élevé de répétition n'est sans doute pas nécessaire. Il est seulement nécessaire de rassembler un petit nombre (jusqu'à 10) d'individus de l'ensemble des sources de germoplasme et de les repiquer au hasard sur un site uniforme, les objectifs étant d'étudier en détail le comportement phénologique saisonnier et, pour un sous-échantillon, d'examiner la réponse à diverses techniques de taille et de traitement des bourgeons.

Plusieurs essences tropicales feuillues présentent des variations individuelles importantes quant au port et à la phénologie, ce qui produit dès lors des réponses différentes aux traitements, et donc différents degrés d'adaptabilité à des systèmes agroforestiers donnés. Les résultats de ce type d'expérience montreront s'il est nécessaire

de procéder à des recherches supplémentaires sur la variation au sein des essences.

Test de confirmation sur haies (PROV/H)

Les tests de confirmation sur haies visent à déterminer les meilleures sources de semences d'essences très répandues destinées à la plantation en lignes ou devant subir des traitements tels que l'ébranchage. Comme pour les essais sur grandes parcelles, les expériences doivent se limiter à un petit nombre d'essences bien connues et s'efforcer de couvrir l'ensemble de la gamme des origines naturelles et des races locales ou des provenances qui en dérivent. La littérature sur les essais internationaux doit servir de point de départ.

La distribution des arbres sera la suivante : faible espacement dans les rangs, grand espacement entre les rangs, avec trois rangs d'une culture céréalière classique dans les allées.

Les arbres seront ébranchés après un an, puis à intervalles réguliers, selon le besoin. Le poids frais de l'ensemble des rémanents et le poids à sec de sous-échantillons seront consignés en même temps que les mesures standard des troncs et des branches. Lorsque le poids frais est enregistré, les rémanents peuvent être étalés dans l'allée adjacente. Ces essais sont l'occasion d'étudier l'évolution de la couche arable dans le cadre d'une association haies/cultures, et d'évaluer les fluctuations, entre provenances, de la teneur du feuillage en éléments nutritifs et de son intérêt pour la production de paillis et de fourrage. Il n'est pas nécessaire de mesurer la production des plants de céréales, étant donné que ces derniers ne sont là que pour exercer un stress sur les arbres.

On peut s'attendre à ce que les essais de conduite en haies fournissent de l'information à long terme. Il convient de prévoir une durée d'au moins cinq ans.

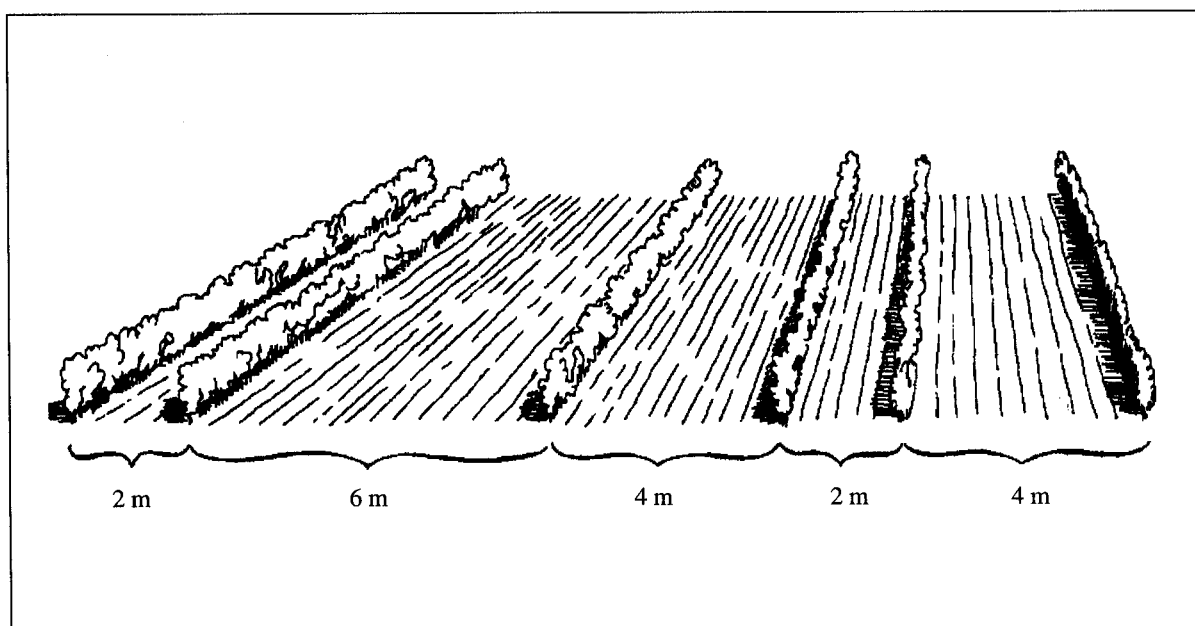
S'ils ont lieu alors que l'on connaît déjà les résultats d'essais de provenances sur grandes parcelles, il ne devrait pas être nécessaire de les poursuivre sur plusieurs années. Toutefois, si leur exécution coïncide avec celle d'essais de plus grande envergure, ou s'ils tiennent lieu d'essais de ce type, il faut les répéter de façon à prendre en compte les variations annuelles de l'effet du climat sur l'implantation précoce.

Essais de vigueur et de comportement phénologique combinés avec l'espacement

Pour tous les types d'essais ci-dessus, l'espacement des arbres est pratiquement similaire entre les rangs ainsi que, souvent, à l'intérieur des rangs, à l'exception des essais d'association haies/cultures, pour lesquels l'espace-

ment est réduit à l'intérieur des rangs. On ignore cependant quel est l'espacement idéal pour de nombreuses interventions agroforestières. En ce qui concerne les clôtures vives et les haies de protection, il peut être vital de s'informer sur le comportement des arbres selon l'espacement dès le lancement du programme d'évaluation.

Un gros effort de recherche a été consenti à la mise sur pied d'essais d'espacement, tant pour les plantes pérennes de grande taille que pour les petites plantes annuelles. Ces expériences faisant appel à un espacement systématique présentent souvent des problèmes liés à la distribution et à l'analyse statistique. Pour la sélection initiale d'AUM devant faire l'objet de recherches supplémentaires, une distribution plus simple et efficace est proposée. Elle vise un petit nombre d'essences éprouvées ou prometteuses ou, mieux encore, les provenances prometteuses identifiées par des essais de sélection.



Essai d'association haies/cultures avec écartements différents entre les haies.

Toutefois, si l'essai d'espacement doit avoir lieu en même temps que d'autres essais de sélection et d'autres tests de confirmation, il doit comprendre des sources de semences déjà connues et utilisées sur place.

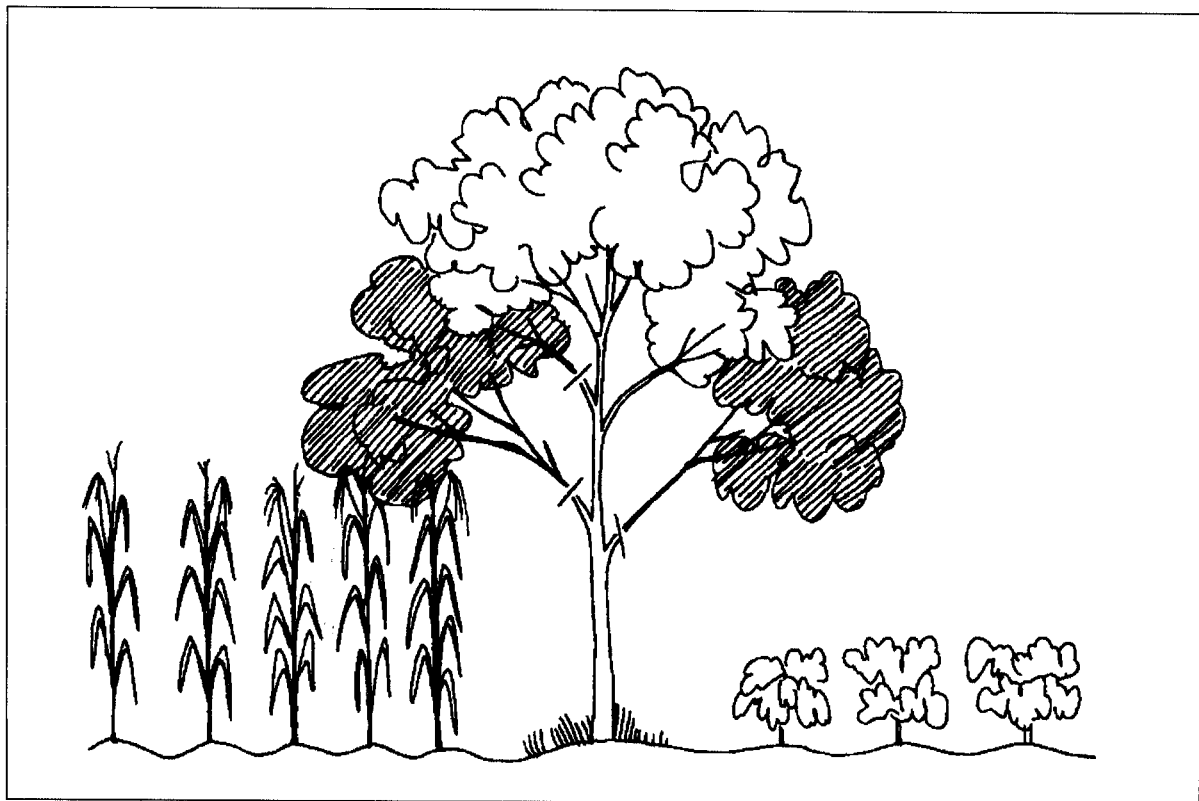
Trois espacements peuvent être adoptés afin de couvrir la gamme des exigences culturales probables pour les haies ou clôtures : 0,5, 2,5 et 5 m. Les arbres sont plantés sur des « parcelles » constituées de rangs de 30 m de long, de façon que les trois parcelles comptent respectivement 60, 12 et 6

plants. Les rangs sont situés à 4 m de distance les uns des autres, et séparés par trois rangs de culture intercalaire (céréale). Un désherbage intégral est nécessaire et des traitements peuvent être superposés, à l'échelle de répétitions entières. Parmi les traitements possibles figurent les essais portant sur la fréquence d'ébranchage tolérée et l'élimination des rejets en surnombre afin de ne conserver qu'un seul tronc devant servir de poteau.

Outre la survie, à enregistrer chaque année, les principales caractéristiques

évaluées doivent être le poids frais de tous les rémanents, plus le poids sec et la composition chimique d'un sous-échantillon. Le rendement en céréales sera déterminé pour chaque rang.

Ce type d'essai permet d'effectuer des observations phénologiques sur la production saisonnière de feuilles. Conjointement aux données sur la vigueur et la production de fourrage, ces observations peuvent indiquer quel espacement devrait faire l'objet de recherches approfondies au niveau du site.



Annexes

Principales caractéristiques des espèces d'AUM et produits dérivés : liste de contrôle

Principales limites de tolérance au milieu

Basses températures (valeurs extrêmes et moyennes mensuelles)
Hautes températures (valeurs extrêmes et moyennes mensuelles)
Précipitations minimums (annuelles et mensuelles)
Durée de la saison sèche (en mois)
pH du sol (maximum et minimum)
Alcalinité
Salinité
Vitesse du vent (maximum et moyenne quotidienne, en km/h)
Réserve hydrique du sol
Résistance aux ravageurs et aux maladies

Principales caractéristiques de culture

Stockage de semences

Longévité
Exigences en matière de température et d'humidité

Germination des semences

Prétraitements nécessaires
Rendement

Autres méthodes de multiplication

Ensemencement direct
Multiplication végétative

Implantation

Besoin de micro-organismes (mycorhizes, *Rhizobium*, *Frankia*)

Traitement

Recépage Emondage
Ebranchage Elagage

Principaux produits

Bois

Non traité

Piquets de clôture (non traités)
Poteaux pour construction
Pieux
Poteaux de transmission (non traités)

Traité, massif

Construction
Ameublement
Piquets de clôture (traités)
Poteaux de transmission (traités)
Planchers
Construction navale
Couchettes pour voitures de chemin de fer
Chariots et charrettes
Roues et rayons
Outils agricoles
Instruments de musique
Ustensiles ménagers
Produits sculptés ou tournés
Armes
Matériel sportif
Allumettes

Reconstitué

Placages
Pâtes et papiers
Aggloméré

Ecorce

Liège
Emballage
Tanins
Teintures
Fibre
Boissons
Epices
Substances médicinales

Energie

Solide, matière première (bois de chauffage)
Solide, traité (charbon de bois, particules de bois, briquettes de sciure de bois)

Autres traitements (fluide, gazeux, transformation industrielle)

Produits chimiques (tige, feuilles et racines)

Résines Teintures
Huiles Produits adhésifs
Peintures Biocides
Vernis Purification de l'eau
Agents de clarification
Substances médicinales
Cires Tanins

Produits de feuilles

Aliments et épices
Fourrage, vers à soie
Fibre pour cordes, vêtements
Chaume, recouvrement des toitures
Emballages
Feuilles à fumer
Paillis
Laque
Substances médicinales
Biocides

Fruits et semences

Aliments (fruit, graine)
Epices et ingrédients culinaires
Aliments pour animaux (fruit, graine)
Agents colorants
Boissons
Vêtements traditionnels et de cérémonie
Substances médicinales
Semences
Huiles et graisses

Fleurs

Miel
Teintures
Substances médicinales
Boissons
Parfums
Aliments

Racines

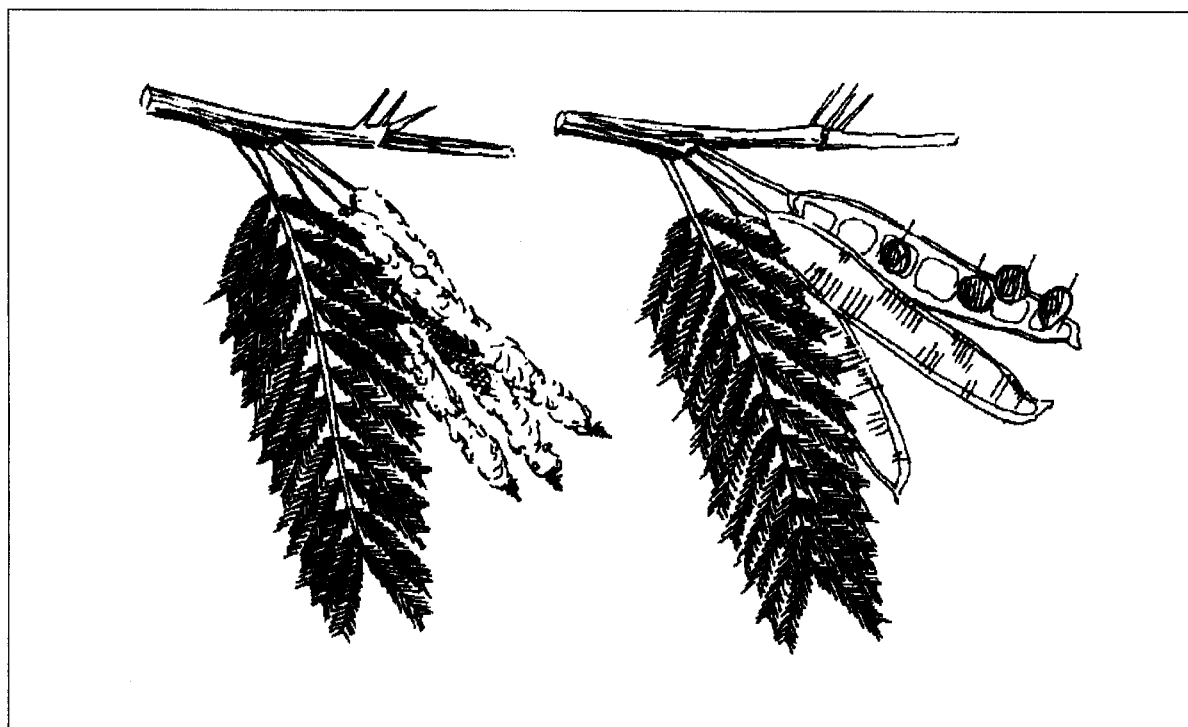
Substances médicinales
Teintures

Principaux critères d'évaluation génétique des arbres à usages multiples et exemples de formulaires d'évaluation

Echantillon	Portée et objet du test	Echantillon	Portée et objet du test
Feuilles		Bourgeons	
Morphologie et anatomie	Taxonomie ; réaction au milieu	Morphologie	Type et caractéristiques
Phénologie ou état	Epoque et durée de pousse ; longévité	Anatomie	Position, séries de bourgeons axillaires, par rapport à la forme du plant
Composition chimique	Eléments nutritifs assimilables dans le sol ; valeur comme aliment, fourrage, paillis ; taxonomie ; condition physiologique	Phénologie ou état	Périodes de dormance et de croissance ; fécondation et fertilisation ; chute des fruits
Propriétés physiques	Poids ; températures ; réflexion et transmission de la lumière (pour études physiologiques)	Physiologie	Température ; potentiel hydrique ; hormones pour études de régulation de la croissance ; plastochron et phyllochron pour croissance et floraison
Microbiologie	Organismes de la phyllosphère	Ravageurs et maladies	Organismes nuisibles particuliers (par exemple, thrips) ; oiseaux ; maladies
Ravageurs et maladies	Identification des causes		
Cime/couvert		Troncs/tiges	
Morphologie	Taille et forme au regard de l'essence et du milieu ; forme dans les communautés	Morphologie	Hauteur totale de l'arbre ; diamètre à la base, à hauteur d'homme (1,3 m au-dessus du sol) et au sommet, en vue d'estimer le défilement et le volume (utilisations comme poteaux et bois de construction) ; diamètre à 30 cm pour les arbustes et les essences à tiges multiples ; forme (rectitude) ; fourches ; ramification ; écorce ; épines
Phénologie ou état	Changements saisonniers et effets sur la proportion de lumière et de pluie admise par le feuillage	Anatomie	Anatomie du bois à des fins taxonomiques ; longueur de fibres ; texture ; caractéristique du grain ; figure ; bois parfait ; aubier
Physiologie	Estimations de la perte en eau et de la consommation d'eau ; mesures de rayonnement (rayonnement solaire admis) ; interception de la lumière		
Ravageurs et maladies	Position dans la cime		

Echantillon	Portée et objet du test
Troncs/tiges (suite)	
Phénologie ou état	Evolution linéaire ; saison de formation de l'écorce ; chute des branches ; exsudation saisonnière
Composition chimique	Produits d'extraction et exsudations, y compris qualité ; réserves en hydrates de carbone ; analyse des éléments principaux et secondaires
Propriétés physiques et physico-mécaniques	Couleur et densité ; valeur calorique ; résistance ; propriétés (bois de feu ; traitement, finition et préservation ; placage et pâte à papier) ; degré d'inflammabilité en champs ; poids
Physiologie	Potentiels hydriques ; études de la sève
Divers	Epiphytes
Ravageurs et maladies	Chancre de la tige, galles, scolytes ; résistance aux termites
Fruits et semences (les fleurs peuvent avoir de l'importance du point de vue taxonomique)	
Morphologie	Taille ; forme ; couleur ; caractéristiques de surface ; variabilité
Anatomie	Développement de l'ovule ; croissance des fruits (parties) ; caractéristiques des semences ; rapport graine/croissance du fruit lors du développement
Phénologie ou état	Epoque de floraison, d'apparition des fruits et de pollinisation ; durée de la période de maturation des fruits ; emplacement des points d'apparition des fruits ; rapport source/sink et milieu ; influence des conditions météorologiques ; volume de fruits produits
Composition chimique	Composition des éléments nutritifs ; teneur totale en hydrates de carbone ; huiles, lipides, fibres, vitamines

Echantillon	Portée et objet du test
Fleurs et semences (suite)	
Propriétés physiques	Besoins pour le stockage des semences
Physiologie	Taux de croissance
Microbiologie	Mycotoxines
Divers	Permis pour la circulation
Ravageurs et maladies	Mammifères et oiseaux ; insectes (bruches, etc.)
Racines	
Morphologie	Port et type de racines
Phénologie ou état	Allongement ; mort et décomposition
Composition chimique	Analyse des principaux tissus radiculaires (hydrates de carbone) ; produits d'extraction
Propriétés physiques	Poids (mais il est difficile de nettoyer les racines) ; répartition des différents types de racines
Physiologie	Activité racinaire (observation des radicelles vivantes dans les mottes de terre ; profils hydriques du sol ; techniques radio-isotopiques)
Microbiologie	Apparition saisonnière de nodules racinaires (à partir de l'observation des mottes de terre) ; estimations de la fixation d'azote au moyen de la technique de réduction éthylénique ; augmentation ou baisse nette de la teneur en azote de la couche arable (équilibre partiel seulement) ; bilan azote total (radio-isotopes, cuvettes) ; taux d'azote précis au niveau du sol et de la plante ; échantillons pour agents fixateurs d'azote libres ; mycorhizes
Ravageurs et maladies	Echantillonnage du sol pour recherche d'organismes nuisibles, de pathogènes et de racines malades ; flore adventice ; allélopathie ; termites



Formulaires d'évaluation

* Notes explicatives pour les formulaires d'évaluation en champs (p. 96)

1. Remplir un formulaire pour chaque parcelle.
2. Remplir pour chaque numéro d'arbre, y compris pour les arbres morts.
3. Evaluer à l'implantation, à six mois, à un an, à deux ans et à trois ans.
4. Enregistrer la hauteur en centimètres, en arrondissant à la dizaine la plus proche.
5. Dans la case « Forme de l'arbre », inscrire si ce dernier peut produire un poteau, du bois de construction ou du bois de feu.
6. Dans la case « Observations », indiquer la vigueur, la phénologie, les organismes nuisibles et, le cas échéant, la largeur moyenne de la cime. Mesurer la distance au sol entre deux poteaux tenus verticalement en bordure de la cime, de part et d'autre de la partie la plus large et de la partie la plus étroite. La largeur moyenne de la cime est calculée à partir de ces deux diamètres.

* Notes explicatives pour les formulaires A, B et C d'évaluation phénologique (p. 97 à 99)

1. Remplir un formulaire pour chaque parcelle.
2. Les mêmes arbres sont évalués à l'aide des formulaires A, B et C (indiquer le numéro de l'arbre dans la première case).
3. Inscrire les arbres dans le même ordre que sur le formulaire d'évaluation en champs.
4. Inscrire la date d'apparition suivie du symbole « + » si la caractéristique est apparue depuis la dernière évaluation ; inscrire la date de disparition suivie du symbole « - » si elle a disparu.
5. Estimer l'ampleur de la floraison ou de la production de fruits à l'aide de l'échelle suivante : 1 = faible, 2 = modérée, 3 = importante et 4 = très importante.
6. Dans la case « Observations », indiquer les dégâts, les agents pollinisateurs, les agents de dispersion et les prédateurs.

Plans expérimentaux pour l'introduction et l'évaluation des arbres à usages multiples

Plans en blocs complets aléatoires

Le plan le plus courant pour l'introduction et l'évaluation précoce des AUM destinés à l'agroforesterie est celui des blocs complets aléatoires (BCA). Le site expérimental est divisé en un certain nombre de blocs de même superficie. Chaque bloc est divisé en un même nombre de parcelles correspondant au nombre des différentes essences ou provenances à évaluer. Sur la parcelle, on plante un nombre précis d'arbres appartenant à une seule essence ou provenance. Chaque essence ou provenance évaluée est appelée *population*. Ainsi, chaque bloc contient une répétition complète des populations à comparer. Les populations sont réparties au hasard (à l'aide de nombres « aléatoires » produits par ordinateur) entre les parcelles des différents blocs. Le terrain constituant un bloc doit être le plus homogène possible. Les parcelles se-

ront donc regroupées en blocs en fonction de ce principe.

Marche à suivre pour la conception d'une expérience de type BCA :

- déterminer le nombre de populations et le nombre de répétitions (blocs). Il doit y avoir au moins deux blocs en vue d'estimer la variation résiduelle. Dans la pratique, on recommande un minimum de trois blocs, chiffre qui peut parfois aller jusqu'à six. Le nombre de blocs choisi dépend tant du niveau de précision requis que des limites pratiques imposées par les ressources dont on dispose ;
- choisir la taille des parcelles et le nombre d'arbres par parcelle. La durée de l'expérience, le taux de croissance prévu des arbres et le besoin d'information sur le comportement des arbres en peuplement influenceront sur ces décisions. Selon la durée de l'expérience, le degré d'interférence attendu entre différentes populations et le degré

de précision avec lequel les différences entre populations doivent être estimées, on peut décider d'entourer chaque parcelle d'un certain nombre de rangs d'arbres servant de *bordures tampons*. Ces dernières présentent toutefois l'inconvénient d'accroître la superficie occupée par une expérience, ainsi que les frais d'entretien ; on n'y aura donc recours qu'à bon escient ;

- répartir au hasard les populations entre les parcelles constituant chaque bloc. Si, par exemple, on souhaite évaluer quatre populations, on leur affecte les numéros 1 à 4 dans n'importe quel ordre. Leur séquence dans un bloc peut être déterminée à partir d'une table de permutations aléatoires, ou de nombres « aléatoires » produits par ordinateur. On procédera à autant de randomisations qu'il y a de blocs. La figure 1 donne un exemple du résultat, qu'on peut nommer « plan sur bureau » :

Bloc 1	2	4	3	2	Bloc 3
	1	3	1	4	
Bloc 2	4	3	2	1	Bloc 4
	1	2	4	3	

Figure 1 : exemple de plan « dessiné sur bureau » en blocs complets aléatoires pour quatre populations et quatre répétitions.

- ♦ délimiter les parcelles dans le champ ou la pépinière. Les blocs seront constitués de façon à se confondre avec les variations physiques du site expérimental, qui doit être aussi uniforme que possible. Les variations entre les blocs sont acceptables dans certaines limites, mais les parcelles constituant un seul bloc doivent être similaires. La distribution tiendra compte des obstacles naturels tels que cours d'eau, affleurements rocheux, exploitations agricoles, ou d'autres peuplements. Lorsque le site est homogène et ne présente que des variations aléatoires, ou si l'on ne dispose d'aucune information sur les variations du site, la distribution des parcelles peut suivre fidèlement l'exemple de la figure 1. La figure 2 présente un exemple plus typique tenant compte de variations systématiques au sein du site, telles qu'une déclivité (indiquée par la flèche) et des obstacles naturels, en l'occurrence des affleurements rocheux ou des exploitations agricoles. Les blocs sont divisés physiquement afin d'éviter les obstacles tout en conservant une certaine homogénéité.

La taille et la distribution de chaque parcelle dépend de la durée de l'essai, des effets de la concurrence entre les parcelles et des pratiques culturales. Pour les grandes parcelles, les blocs sont de grande dimension, ce qui entraîne une plus grande variabilité d'une parcelle à l'autre du fait de la variabilité naturelle du site. D'un autre côté, de grandes parcelles contiennent un plus grand nombre d'arbres à partir desquels on évalue les valeurs moyennes.

De grandes parcelles occasionnent en outre des frais plus élevés, à moins de réduire la répétition. Dans le cadre d'expériences d'agroforesterie, des parcelles très réduites, voire des alignements ou même des arbres isolés peuvent fournir l'information nécessaire au choix des populations qui feront l'objet des stades ultérieurs de la recherche.

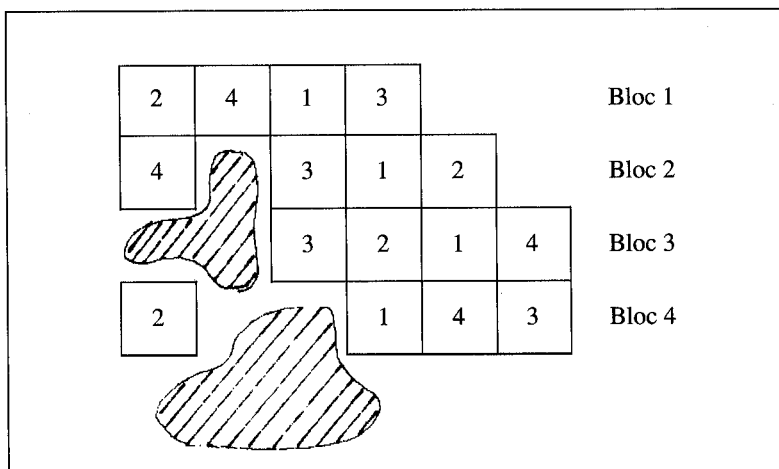


Figure 2 : Exemple de dispositif sur le terrain, en blocs complets aléatoires, pour quatre blocs comprenant quatre populations. Le site varie systématiquement dans la direction de la flèche et la présence d'affleurements rocheux est indiquée.

Les avantages des plans BCA sont les suivants :

- ♦ ils sont adaptés à une grande variété de situations expérimentales ;
- ♦ l'analyse est simple et d'exécution facile à l'aide d'une simple calculatrice. L'interprétation des résultats ne présente aucune complication ;
- ♦ ils sont solides statistiquement parlant. Il ne devrait y avoir aucun problème d'analyse en cas de perte totale ou de dégâts graves concernant un certain nombre de populations ou de groupes de traitement, étant donné qu'il suffit d'exclure de l'analyse les parcelles en cause. Toutefois, si l'on exclut des parcelles, l'analyse pourra nécessiter le recours à de gros ordinateurs.

Les plans en BCA sont moins adaptés à la comparaison de nombreuses populations, étant donné que les blocs prennent des dimensions importantes et que l'hypothèse de l'uniformité intra-blocs perd de sa crédibilité. Ces plans sont également moins adaptés en cas de variation systématique complexe du site. Dans de tels cas, il convient d'utiliser d'autres types de plans reposant sur des blocs plus petits.

Plans en blocs incomplets

Les études de population, et tout particulièrement les essais de provenances d'AUM, comportent souvent un nombre de populations supérieur à 10 ou 12. Si on a 20 arbres par parcelle, ou plus encore, il devient difficile de trouver un site suffisamment uniforme pour permettre une répétition complète. Dans le cas d'un plan en « blocs incomplets », les parcelles sont regroupées en blocs où toutes les populations ne sont pas représentées. Chaque bloc comporte d'ordinaire le même nombre de parcelles, et chaque population fait l'objet du même nombre de répétitions sur l'ensemble de l'expérience (la répétition est donc constante). L'arrangement est fait de façon à permettre d'estimer la variation entre blocs et de l'exclure de l'analyse des différences entre les populations.

La plupart des plans en blocs incomplets prévoient un nombre égal de répétitions au sein d'un bloc pour chaque paire de populations (voir toutefois la section intitulée « plans alpha », ci-après). On dit d'un tel plan qu'il est

équilibré, c'est-à-dire qu'il permet de comparer toutes les populations avec le même degré de précision. Toutefois, il exige généralement un grand nombre de répétitions. On choisit souvent d'effectuer des expériences de moindre envergure (et donc seulement partiellement équilibrées) afin de réduire la taille et le coût de l'expérience, même si cela réduit la précision de certaines comparaisons.

Les plans en blocs incomplets équilibrés ne sont pas viables quel que soit le nombre des populations. On peut con-

tourner ce problème en choisissant un nombre de populations convenant au plan – soit en éliminant certaines essences moins dignes d'intérêt (parce qu'elles correspondent moins bien que les autres aux critères établis pour le système agroforestier envisagé), soit en ajoutant une ou plusieurs populations complémentaires ou factices (par exemple, collections de semences locales). On peut aussi utiliser délibérément des plans déséquilibrés tels que les plans alpha, qui peuvent comprendre un nombre quelconque de populations. La répétition accrue de populations standard

ou de contrôle est également possible. Cochran et Cox (1957) fournissent une liste exhaustive des plans en blocs incomplets, ainsi qu'une description détaillée de la construction et de l'analyse de ces plans.

Plans en treillis

Un type simple de plan en blocs incomplets est le treillis, dans lequel les blocs sont regroupés en des ensembles formant des répétitions complètes des populations. Voir, à titre d'exemple, les figures 3 à 9.

Répétition 1				Répétition 2			
Bloc				Bloc			
1	1	5	9	5	1	6	11
2	2	6	10	6	5	2	12
3	3	7	11	7	9	3	8
4	4	8	12	8	10	7	9

Répétition 3				Répétition 4			
Bloc				Bloc			
9	1	7	12	13	1	10	8
10	2	11	8	14	9	2	7
11	5	10	3	15	6	3	12
12	9	6	4	16	5	11	4

Figure 3 : plan en treillis rectangulaire de 3 x 4 parcelles et 12 traitements.

Le nombre de populations doit être un carré parfait, k élevé au carré ($= 16, 25, 36$, etc.) ou le produit de l'équation $K(k+1)$ ($= 12, 20, 30$, etc.). Ces plans portent le nom de treillis carrés ou rectangulaires, respectivement. Dans chaque cas, on compte k ($= 3, 4, 5$, etc.) parcelles par bloc et k (carré) ou $k+1$ (rectangulaire) blocs par répétition. D'une manière générale, un treillis carré entièrement équilibré nécessite

$k+1$ répétitions, agencés chacun différemment. Il n'existe pas de plan équilibré pour des treillis carrés de certaines tailles (par exemple pour $k = 36, 100$ et 144), ni pour aucun des treillis rectangulaires.

On trouvera dans Cochran et Cox (1957) et dans Fisher et Yates (1963) les plans non aléatoires de tous les treillis importants. Voir également la

figure 9. Notons qu'à la figure 3, bien que les traitements numérotés 1, 2, 3 et 4 n'apparaissent jamais dans le même bloc (c'est également le cas pour 5, 6, 7 et 8 ainsi que pour 9, 10, 11 et 12), le treillis est équilibré, permettant de comparer les moyennes non ajustées, alors qu'avec les plans non équilibrés, il faut ajuster les moyennes avant de les comparer. Voir, par exemple, Cochran et Cox (1957), p. 380.

Répétition 1					Répétition 2					Répétition 3				
Bloc					Bloc					Bloc				
1	1	2	3	4	5	1	5	9	13	9	1	6	11	16
2	5	6	7	8	6	2	6	10	14	10	5	2	15	12
3	9	10	11	12	7	3	7	11	15	11	9	14	3	8
4	13	14	15	16	8	4	8	12	16	12	13	10	7	4

Répétition 4					Répétition 5				
Bloc					Bloc				
13	1	14	7	12	17	1	10	15	8
14	13	2	11	8	18	9	2	7	16
15	5	10	3	16	19	13	6	3	12
16	9	6	15	4	20	5	14	11	4

Figure 4 : plan en treillis carré équilibré de 4×4 parcelles avec 16 traitements.

Une fois déterminés les nombres de populations et de répétitions, on utilise de la façon suivante le plan approprié, en vue de produire un dispositif aléatoire :

- ♦ lorsque le nombre de répétitions nécessaire est inférieur à celui que comporte le dispositif choisi afin d'équilibrer le plan, choisir au hasard les répétitions parmi l'ensemble complet. Ainsi, si l'on a besoin

de quatre répétitions d'un treillis de 5×5 , on en choisira quatre au hasard parmi les six présentées à la figure 6. Toutefois, ceci déséquilibre le plan, et complique donc son analyse. Si l'on a besoin d'un nombre de répétitions supérieur au nombre figurant dans le plan, on doit alors répéter deux ou plus de deux répétitions du plan. En cas de doute,

toujours consulter un statisticien ;

- ♦ randomiser l'ordre (la séquence) des répétitions effectivement utilisées ;
- ♦ randomiser l'ordre des blocs incomplets au sein des répétitions ;
- ♦ randomiser les parcelles au sein de chaque bloc ;
- ♦ affecter au hasard les populations aux numéros de traitement du plan.

Répétition 1					Répétition 2					Répétition 3				
Bloc					Bloc					Bloc				
1	1	6	11	16	6	1	7	13	19	11	1	12	9	20
2	2	7	12	17	7	2	8	14	20	12	16	2	13	10
3	3	8	13	18	8	16	3	9	15	13	6	17	3	14
4	4	9	14	19	9	11	17	4	10	14	7	18	4	15
5	5	10	15	20	10	6	12	18	5	15	11	8	19	5

Répétition 4					Répétition 5				
Bloc					Bloc				
16	1	17	8	15	21	1	18	14	10
17	11	2	18	9	22	6	2	19	15
18	12	3	19	10	23	11	7	3	20
19	6	13	4	20	24	16	12	8	4
20	16	7	14	5	25	17	13	9	5

Figure 5 : plan en treillis rectangulaire de 4×5 parcelles avec 20 traitements.

Cette série de randomisations doit être effectuée à l'aide d'une table de nombres et de permutations aléatoires, ou d'un programme pour calculatrice de poche. Le résultat est un dispositif d'évaluation analogue à celui décrit précédemment dans le cadre d'un plan en BCA. Les principes régissant le dispositif sur le terrain sont les mêmes que dans le cas des plans BCA : les blocs doivent se confondre avec les variations systématiques du

terrain et on évitera de délimiter des parcelles là où les irrégularités deviennent extrêmes. La figure 9 présente un dispositif possible pour trois répétitions d'un treillis rectangulaire de 3 x 4. Il est intéressant de comparer ce dispositif avec le plan dont il est issu (voir figure 3).

Dans le cas de plans en treillis ou d'autres plans en blocs incomplets, il est possible d'estimer les différences

entre les populations de façon au moins aussi précise que dans un plan en BCA présentant le même nombre de répétitions. L'inconvénient de ces plans est qu'ils sont complexes, tout comme leur analyse, et qu'ils exigent par conséquent de bons systèmes informatiques. Quoi qu'il en soit, et contrairement aux autres plans en blocs incomplets, le treillis peut être analysé comme s'il s'agissait d'un plan en BCA, moyennant une certaine perte d'information.

Répétition 1						Répétition 2						Répétition 3					
Bloc						Bloc						Bloc					
1	1	2	3	4	5	6	1	6	11	16	21	11	1	7	13	19	25
2	6	7	8	9	10	7	2	7	12	17	22	12	21	2	8	14	20
3	11	12	13	14	15	8	3	8	13	18	23	13	16	22	3	9	15
4	16	17	18	19	20	9	4	9	14	19	24	14	11	17	23	4	10
5	21	22	23	24	25	10	5	10	15	20	25	15	6	12	18	24	5
Répétition 4						Répétition 5						Répétition 6					
Bloc						Bloc						Bloc					
16	1	12	23	9	20	21	1	17	8	24	15	26	1	22	18	14	10
17	16	2	13	24	10	22	11	2	18	9	25	27	6	2	23	19	15
18	6	17	3	14	25	23	21	12	3	19	10	28	11	7	3	24	20
19	21	7	18	4	15	14	6	22	13	4	20	29	16	12	8	4	25
20	11	22	8	19	5	25	16	7	23	14	5	30	21	17	13	9	5

Figure 6 : plan en treillis équilibré de 5 x 5 avec 25 traitements.

Répétition 1						Répétition 2						Répétition 3					
Bloc						Bloc						Bloc					
1	1	2	3	4	5	7	1	12	17	22	27	13	1	7	13	19	25
2	6	7	8	9	10	8	2	7	18	23	28	14	2	8	14	20	26
3	11	12	13	14	15	9	3	8	13	24	29	15	3	9	15	21	27
4	16	17	18	19	20	10	4	9	14	19	30	16	4	10	16	22	28
5	21	22	23	24	25	11	5	10	15	20	25	17	5	11	17	23	29
6	26	27	28	29	30	12	6	11	16	21	26	18	6	12	18	24	30

Figure 7 : plan en treillis rectangulaire de 5 x 6 avec 30 traitements.

Répétition 1							Répétition 2							Répétition 3						
Bloc							Bloc							Bloc						
1	1	2	3	4	5	6	7	1	7	13	19	25	31	13	1	12	17	22	27	32
2	7	8	9	10	11	12	8	2	8	14	20	26	32	14	2	7	18	23	28	33
3	13	14	15	16	17	18	9	3	9	15	21	27	33	15	3	8	13	24	29	34
4	19	20	21	22	23	24	10	4	10	16	22	28	34	16	4	9	14	19	30	35
5	25	26	27	28	29	30	11	5	11	17	23	29	35	17	5	10	15	20	25	36
6	31	32	33	34	35	36	12	6	12	18	24	30	36	18	6	11	16	21	26	31

Figure 8 : plan en treillis carré de 6 x 6 avec 36 traitements.

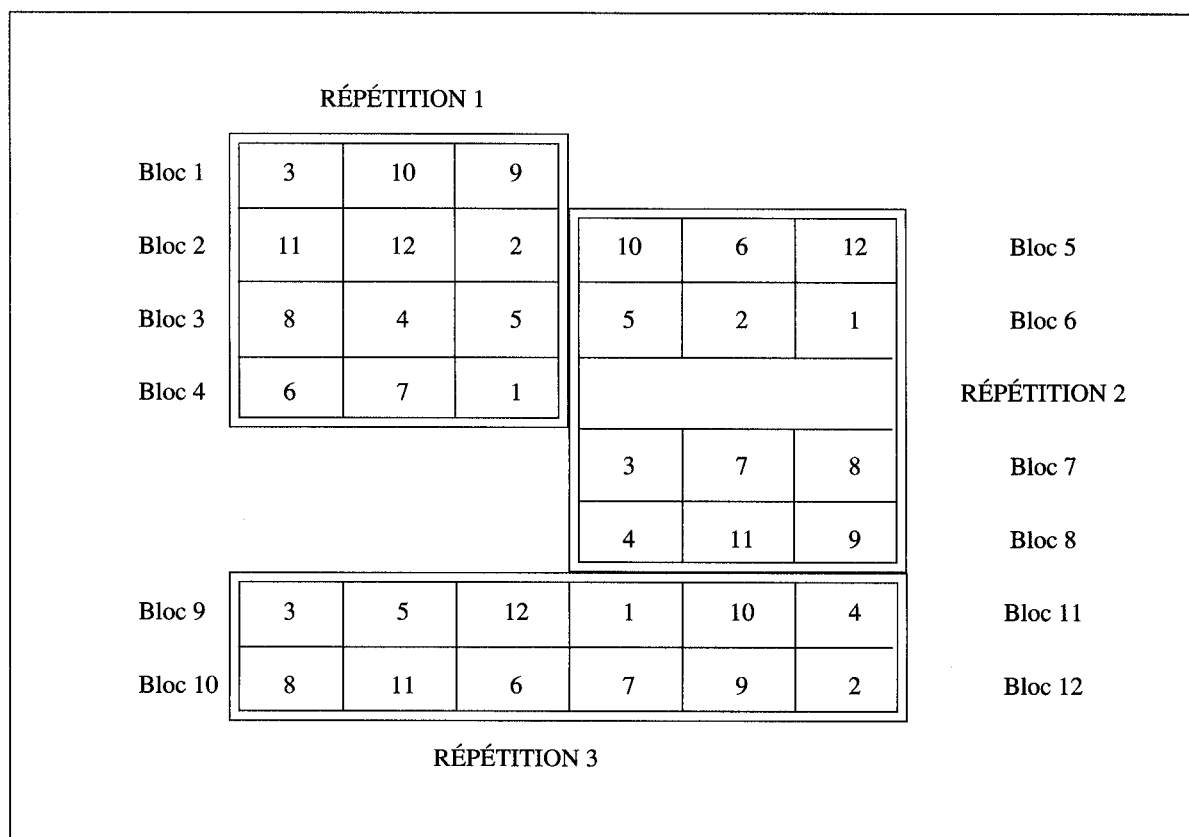


Figure 9 : exemple de dispositif de terrain en treillis rectangulaire de 3 x 4 avec trois répétitions.

Cette caractéristique peut être très utile si une ou plusieurs populations s'avèrent complètement inexploitable ou si de nombreuses valeurs manquent. En outre, elle permet au chercheur qui n'a pas d'ordinateur à portée de main d'effectuer néanmoins les analyses préliminaires.

Des treillis cubiques sont possibles pour un très grand nombre de populations formant un cube parfait (par exemple 27, 64, 125). Ils sont adaptés à des sites dont l'uniformité est basse au point de contraindre à utiliser des blocs de très petite taille (3, 4 et 5 parcelles, respectivement). L'utilisation de ces plans a été décrite par Yates (1939).

Plans alpha

Les plans alpha sont un autre type de dispositifs en blocs incomplets. Ils ont été mis au point à partir des plans en treillis (Paterson et Williams, 1976) afin de réduire le travail nécessaire sur le terrain dans le cas de nombres de populations particulièrement importants, en l'occurrence pour des essais de variétés agricoles. Comme nous venons de le voir, les plans en treillis ne sont possibles que pour certains nombres de populations, les treillis cubiques y compris. Les plans alpha peuvent couvrir de manière hautement efficace n'importe quel nombre de populations entre 16 et 100. Ils présen-

tent cependant certains inconvénients par rapport aux treillis normaux, dont une forte dépendance envers les ordinateurs, du point de vue tant de la conception que de l'analyse. Les plans alpha peuvent être générés à partir d'un certain nombre de matrices conservées dans la mémoire d'un ordinateur et sont généralement utilisés pour des blocs de 4 à 16 parcelles. L'une des caractéristiques de ces plans est que certaines paires de populations ne se trouvent jamais dans le même bloc, de sorte que la précision des comparaisons peut varier selon les populations. Les plans alpha ne doivent être utilisés que si l'on dispose des services d'un statisticien expérimenté ainsi que des moyens informatiques nécessaires.

Répétition 1					Répétition 2					Répétition 3				
Blocs					Blocs					Blocs				
1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4	
0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3	
4	5	6	7		5	7	6	4		6	7	4	5	
8	9	10	11		10	11	8	9		11	8	9	10	
12	13	14	15		15	12	13	14		13	14	15	12	
16	17	18	19		19	16	17	18		18	19	16	17	

Figure 10 : exemple d'un plan alpha pour 20 variétés en 3 répétitions avec 4 blocs et 5 variétés par bloc. Source : Paterson et Williams (1976).

On trouvera à la figure 10 un exemple de plan alpha portant sur 20 populations (en 3 répétitions, 4 blocs et 5 populations par bloc) établi selon Paterson et Williams (1976). Ces auteurs fournissent les renseignements nécessaires à la mise au point de plans portant sur 20 à 100 populations et comportant 2, 3 ou 4 répétitions.

Autres plans

On pourra éventuellement avoir recours à divers autres dispositifs pour les essais d'essences ou provenances d'AUM, bien qu'ils ne soient pas nécessairement adaptés. Il s'agit entre autres des plans complètement randomisés, des carrés latins, des plans en blocs familles et des plans systématiques.

Plans complètement randomisés

Le plan complètement randomisé est le plus simple des plans expérimentaux. Des parcelles comprenant chacune une population différente sont agencées complètement au hasard, sans constitution de blocs. Il n'est pas nécessaire que les populations soient également répétées. On pourrait par exemple avoir cinq parcelles d'une provenance donnée, trois d'une autre, quatre d'une troisième, etc. L'analyse est simple, mais la variation résiduelle estimée peut être accrue par la variation systématique du site. En conséquence, les comparaisons entre populations risquent d'être moins précises qu'avec le plan en blocs correspondant. L'utilisation de parcelles témoins

(accueillant par exemple une population standard), sélectionnées au hasard ou non, n'améliore probablement pas la précision (Cochran et Cox, 1957), et les réajustements des moyennes estimatives des populations que cela implique sont compliqués.

Carrés latins

Le dispositif en carré latin permet d'estimer la variation systématique d'un milieu dans deux directions, et donc de prendre des mesures correctives. Les parcelles sont disposées en lignes et colonnes (voir figure 11). Chaque population figure une fois et une seule dans chaque ligne et dans chaque colonne, et le nombre de répétitions de chaque population est égal au nombre de lignes ou colonnes. Ces plans sont

Abscisse	Ordonnée				
1	A	C	B	E	D
2	B	D	A	C	E
3	C	A	E	D	B
4	D	E	C	B	A

Figure 11 : exemple de carré latin type pour cinq populations.

particulièrement adaptés à des expériences comportant un nombre modéré de populations, soit de quatre à neuf, environ. Si l'on a de nombreuses populations, un carré latin devient trop grand, alors que dans le cas d'expériences très réduites (trois ou quatre populations), l'estimation de la variation résiduelle peut devenir imprécise. Fisher et Yates (1963) présentent un ensemble de carrés latins pour divers nombres de populations.

Le carré latin peut être particulièrement utile dans le cadre d'expériences sous serre ou en pépinière, où les causes de variation systématique sont évidentes. En agroforesterie, on n'utilise les carrés latins que s'il existe un besoin spécifique d'évaluer la variation du site dans deux directions, par exemple un gradient de fertilité le long d'une pente. Sinon, on utilise des plans en blocs standard.

Les dispositifs en carré latin sont des plans types qui doivent être randomisés avant emploi suivant les instructions suivantes :

1. sélectionner au hasard un plan parmi ceux fournis par Fisher et Yates (1963), qui correspond au nombre de populations voulu. Cochran et Cox (1957) fournissent un plan pour chaque nombre de populations ;
2. disposer les colonnes au hasard ;
3. disposer les lignes au hasard ;

4. affecter les populations au hasard aux lettres A, B, C, etc. du plan type.

La randomisation doit se faire à l'aide de tables de nombres aléatoires.

Carrés gréco-latins

Les carrés gréco-latins sont des modèles statistiques permettant d'identifier trois sources de variation systématique du milieu et d'en estimer les effets. On peut, par exemple, grâce à ce type de plan, estimer les répercussions de l'utilisation de différents types de sols dans une expérience en pots, ainsi que celles de la constitution des colonnes et lignes d'un carré latin. Le nombre de niveaux du troisième facteur (dans cet exemple, le nombre des différents sols) doit être le même que le nombre de lignes, de colonnes ou de populations. L'utilité de ces plans est donc limitée.

Plans en blocs-familles

Si les populations qu'on a choisi d'entrer se divisent naturellement en un certain nombre de groupes (par exemple en fonction de l'origine géographique ou du type d'utilisation), il sera éventuellement utile de ne pas diviser ces groupes lors de la constitution des blocs et des répétitions. Ces groupes sont générale-

ment des essences ou variétés distinctes comprenant plusieurs provenances (ou descendances). Il n'est pas nécessaire que le nombre des provenances de chaque groupe (c'est-à-dire la taille des groupes) soit constant. Le plan ainsi constitué est analogue à une distribution en parcelles et sous-parcelles, les groupes correspondant aux parcelles principales et les provenances aux sous-parcelles.

Dans un contexte approprié, l'avantage des plans en blocs-familles réside dans le fait que les différences entre provenances, qui seront probablement moindres que les différences entre les groupes (par exemple, essences), peuvent être estimées plus précisément. La mise au point d'une distribution en blocs-familles ne pose pas de problème particulier. Les groupes sont répartis au hasard au sein de chaque répétition et les différentes populations sont ensuite réparties au hasard au sein de chaque groupe.

Plans en sous-parcelles

Une expérience d'agroforesterie peut être conçue pour étudier deux ou plus de deux facteurs de traitement appliqués à des unités expérimentales de tailles différentes. Dans le plan en sous-parcelles, un facteur de traitement est appliqué aux parcelles principales et un second

facteur est appliqué aux sous-parcelles. On peut notamment exploiter trois cultures saisonnières différentes sous un certain nombre d'essences d'arbres différentes. Chaque parcelle, accueillant une seule essence d'arbre, serait divisée en trois sous-parcelles dont chacune accueillerait l'une des trois cultures. Dans chaque répétition (bloc), les facteurs de traitements appliqués aux unités (dans notre exemple, les essences d'arbres) seraient affectés au hasard, et les traitements appliqués aux sous-unités (les cultures) seraient affectés séparément au sein de chaque unité, toujours au hasard. Dans un plan en sous-parcelles, les comparaisons des traitements appliqués aux sous-unités sont généralement plus précis que ceux appliqués aux unités. Toutefois, pour donner un maximum d'information statistiquement valide, une expérience doit être conçue de façon que toutes les combinaisons de traitements soient randomisées simultanément – cela n'est pas possible avec des sous-parcelles. On adoptera donc ce plan uniquement pour des raisons pratiques, lorsque certains facteurs de traitement nécessitent des parcelles de grande taille.

Plans systématiques

L'agencement systématique des champs est une méthode utilisée depuis de nombreuses années par les agriculteurs, les horticulteurs, les forestiers et les spécialistes du fourrage. Dans ce contexte, les traitements sont appliqués systématiquement, sans randomisation. Par exemple, les parcelles peuvent être disposées de telle sorte que les niveaux d'apport d'engrais s'accroissent progressivement, d'une parcelle à l'autre. En agroforesterie, ces plans ont une utilité limitée, par exemple lors des premières phases d'une étude, si les chercheurs désirent évaluer une large gamme de niveaux relatifs à une variable, tout particulièrement quand ils manquent d'information sur les meilleurs niveaux de traitement à utiliser dans le cadre d'un plan plus classi-

que. On peut par exemple utiliser un plan systématique pour l'espacement des plants et l'application d'engrais et d'herbicide, notamment s'il s'agit de les expérimenter dans un nouveau contexte.

Des plans systématiques tels que le dispositif de Nelder (Nelder, 1962) ont servi à l'évaluation de populations en fonction d'une gamme d'espacements différents. Toutefois, leur utilisation n'est pas recommandée pour l'évaluation d'essences ou de provenances d'AUM. Ils peuvent être utiles en agroforesterie, par exemple, si l'on veut étudier l'influence des écartements sur le comportement d'une essence. Dans un tel cas, chaque plan devra se limiter à une seule essence ou provenance, car la comparaison, entre les essences, des réactions aux écartements n'a pas grand intérêt et ne serait pas facile à interpréter.

En règle générale, les plans systématiques sont surtout utiles en début d'expérimentation, lorsqu'il s'agit d'évaluer la réponse (croissance ou floraison précoce, etc.) d'un petit nombre de populations par rapport à l'effet d'une variable telle que la fertilisation ou l'espacement. De tels essais sont d'ordinaire suivis par d'autres expériences en champs au moyen de plans répétés et randomisés, tout particulièrement s'il s'agit de comparer des données fiables relatives au rendement.

L'avantage le plus net d'un plan systématique est qu'il nécessite parfois moins de place qu'un dispositif aléatoire en blocs ou que toute autre distribution classique. Dans le plan classique servant à l'évaluation de variables expérimentales (par exemple, l'espacement) sur une large gamme de niveaux, il est nécessaire de prévoir d'importantes bordures tampons entre les parcelles. Un plan systématique permet de tester une gamme de niveaux plus large sur le même espace, et donc d'inclure les extrêmes. Le recours à une large gamme

de niveaux peut aider à mieux comprendre les réactions des végétaux au stress induit par une densité de plantation importante ou par d'autres facteurs de gestion. De telles expériences sont en outre utiles en tant que démonstrations, puisqu'elles mettent en valeur une réponse bien visible à un traitement donné. Elles sont particulièrement utiles en matière d'essais préliminaires d'engrais.

Le principal inconvénient des plans systématiques par rapport aux plans classiques est que, même en cas de répétition, aucune randomisation n'a lieu dans la répétition, et que donc aucune estimation des variations entre blocs ou répétitions n'est possible. Par exemple, dans un dispositif de Nelder, les rangs peuvent recouper le gradient de fertilité du site. Toute analyse régressive du rendement par rapport à l'espacement donnerait par conséquent une estimation biaisée au sein d'une seule répétition. Il est seulement possible d'estimer l'erreur-type des coefficients de régression à partir de la répétition des blocs. Un plan systématique non répété ne peut fournir d'estimation des erreurs-types. Pour l'analyse d'un plan systématique intégralement répété, consulter un statisticien.

Parmi les autres inconvénients figurent le besoin d'un important savoir-faire pour mettre en place le dispositif sur le terrain, la nécessité de disposer chaque parcelle dans une zone dont le milieu est uniforme, et la sensibilité aux dégâts. La perte d'un plant peut en effet influencer grandement sur la réponse de plants voisins subissant un traitement différent. Dans le cas de figure idéal, en vue d'éviter les erreurs issues de la variation génétique des plants, les plans systématiques devraient faire appel à des plants produits par clonage.

Les plans systématiques sont illustrés dans les figures 12 (dispositif de Nelder), 13 (rangs parallèles), 14 (superposition de traitements) et 15 (superposition à angle droit de deux plans parallèles).

Dimension et type de parcelles pour plans classiques

La dimension des parcelles expérimentales dépend des exigences de mise au jour d'éléments d'information d'un degré de précision donné pour un coût plafond, compte tenu des limites pratiques. Ces limites concernent notamment le terrain et le matériel végétal dont on dispose, ainsi que la culture des plants dans des conditions appropriées. Le terme *précision* se rapporte au niveau des variations que l'expérience doit détecter ; par exemple une variation de 50 cm dans la hauteur entre des populations d'une hauteur moyenne de 7 m.

Les parcelles de grande taille minimisent l'incidence qu'ont sur les valeurs moyennes les individus anormaux et les aberrations liées au microsite, présentes d'un arbre à l'autre. En outre, on aura éventuellement besoin de grandes parcelles en cas d'effet périphérique important entre les parcelles, par exemple si l'on constate des écarts importants entre les taux de croissance des différentes populations, ce qui donnerait l'avantage à celles dont la croissance est la plus forte. On appelle bordures tampons les rangs d'arbres simples ou doubles entourant chaque parcelle. Plus grande est la parcelle, plus nombreux seront les arbres de la bordure tampon (leur proportion ne varie pas). Les effets périphériques peuvent être considérables si les bords des parcelles sont en friche ou présentent une grande variabilité. En l'absence d'une bordure tampon, il est recommandé de planter deux ou trois rangs d'une essence apparentée aux populations expérimentales situées en bordure du site.

Si l'on prévoit un essai de longue durée, il faut s'assurer de disposer dans chaque parcelle de suffisamment d'ar-

bres pour rassembler des données fiables après quelques coupes sélectives (éclaircie). Si les parcelles sont de petite taille, un mauvais taux de survie, combiné ou non aux effets de l'éclaircie, peut entraîner une mauvaise représentation de certaines parcelles. De même, on aura vraisemblablement plus de problèmes d'analyse liés à l'absence des valeurs de certaines parcelles si l'on travaille avec des petites parcelles.

La dimension des parcelles ne doit pas être plus grande que nécessaire pour assurer une représentation convenable de chaque parcelle tout au long de l'expérience. De grandes parcelles nécessitent de grands blocs, quel que soit le plan expérimental, ce qui peut élargir la fourchette de variation résiduelle au sein des blocs du fait de la variabilité du site. En règle générale, dans le cadre d'une expérience d'agroforesterie, il est préférable de constituer un plus grand nombre de répétitions de parcelles de petite taille à l'aide du matériel expérimental dont on dispose, plutôt que de travailler avec des parcelles de plus grandes dimensions mais moins nombreuses.

Si un essai de courte durée ne nécessite pas d'éclaircie des plants, les parcelles peuvent être beaucoup plus petites qu'à l'ordinaire, et d'autant plus si l'on considère que les effets périphériques sont peu importants – par exemple dans le cas d'un essai de provenances relativement proches de jeunes ligneux pérennes, ou si la gestion normale comprend un recépage ou un ébranchage précoces.

L'espacement est l'un des principaux facteurs déterminant la superficie de la parcelle. On suggère fréquemment un espacement de 3 x 3 m pour les essences à croissance rapide destinées à des peuplements ou à des plantations sous les tropiques, car il permet une circulation aisée pour le désherbage ou l'ins-

pection, limite ou retarde la nécessité de l'éclaircie et prolonge la durée de l'expérience. L'évaluation de la hauteur et des caractéristiques des branches et de la cime est plus aisée dans des peuplements à grand espacement, et il y est plus facile de distinguer toutes les caractéristiques inhérentes au tronc. Pour ce qui est des expériences d'agroforesterie, un espacement supérieur à 3 x 3 peut être indiqué. On veillera à ne constituer qu'à bon escient des parcelles ne comportant qu'un seul arbre, par exemple si l'on veut étudier la croissance de l'arbre en dehors de toute contrainte.

Pour les essences de peuplements, la taille des parcelles, la répétition et la durée des expériences augmentent généralement au fil des différents stades d'évaluation des essences et des provenances. Dans les derniers stades de l'évaluation d'essences d'AUM en peuplements purs, on suggère de constituer des parcelles de 20 à 25 arbres. Si l'on dispose de l'espace nécessaire, il sera bon, mais non indispensable, de prévoir une bordure tampon d'une seule rangée d'arbres.

Agencement et délimitation d'un essai

L'agencement d'un essai doit s'effectuer avec soin et précision, d'après une carte du site préparée en fonction des caractéristiques du terrain ainsi que du nombre et du type des populations.

Chaque bloc doit être aussi homogène que possible du point de vue du type de sol et de la profondeur, de la déclivité, du faciès, de l'exposition, de l'utilisation antérieure et de la fertilité naturelle.

L'ensemble du site expérimental doit être préparé uniformément en fonction des instructions du plan d'expérience concernant la culture, et l'on marquera, avant l'implantation, toutes les limites et les emplacements.

Plans expérimentaux en pépinière

Les plans décrits jusqu'ici se rapportent surtout à l'expérimentation sur le terrain, mais s'appliquent généralement tout autant aux essais de provenances et d'essences au stade de la pépinière.

Etant donné que, en pépinière, les superficies sont moindres et qu'il est plus facile de maîtriser le milieu, on pourra éventuellement simplifier ces plans. Toutefois, du fait des nombreuses variations systématiques d'une planche de pépinière à l'autre, il peut être souhaitable d'utiliser un dispositif en blocs dans lequel les blocs constitués en pépi-

nière recouper les blocs du plan utilisé ensuite sur le terrain – en d'autres termes, les plants faisant partie d'un bloc donné sur le terrain devraient tous provenir du même bloc de pépinière. Cela n'est pas toujours possible, mais dans tous les cas, le traitement des plants au sein d'un bloc de pépinière doit être aussi uniforme que possible.

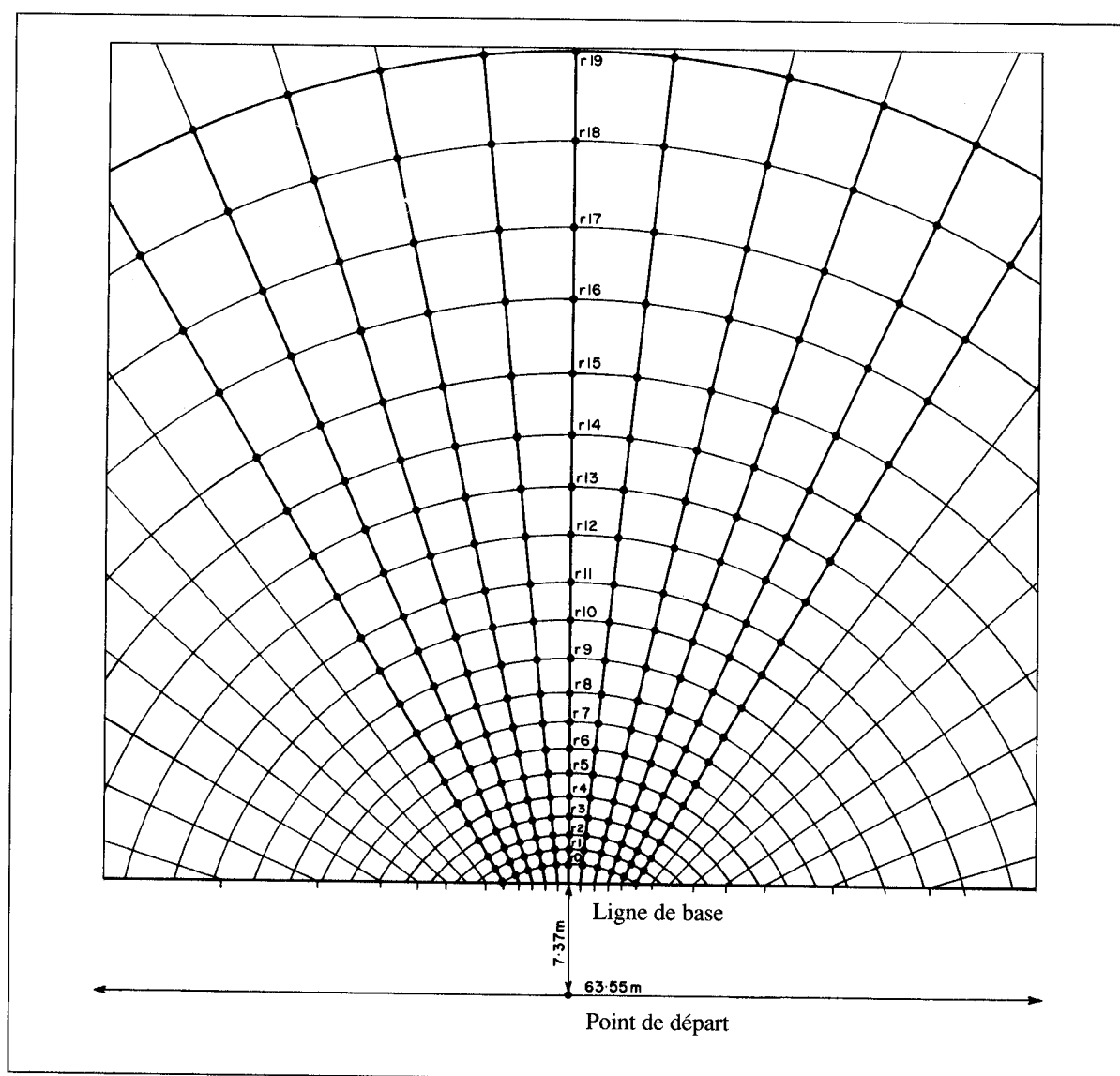


Figure 12 : dispositif de Nelder utilisant 11 rayons ; peut être adapté en rectangle, ce qui permet d'augmenter le nombre de plants sur chaque arc pour la valeur moyenne de l'espacement.

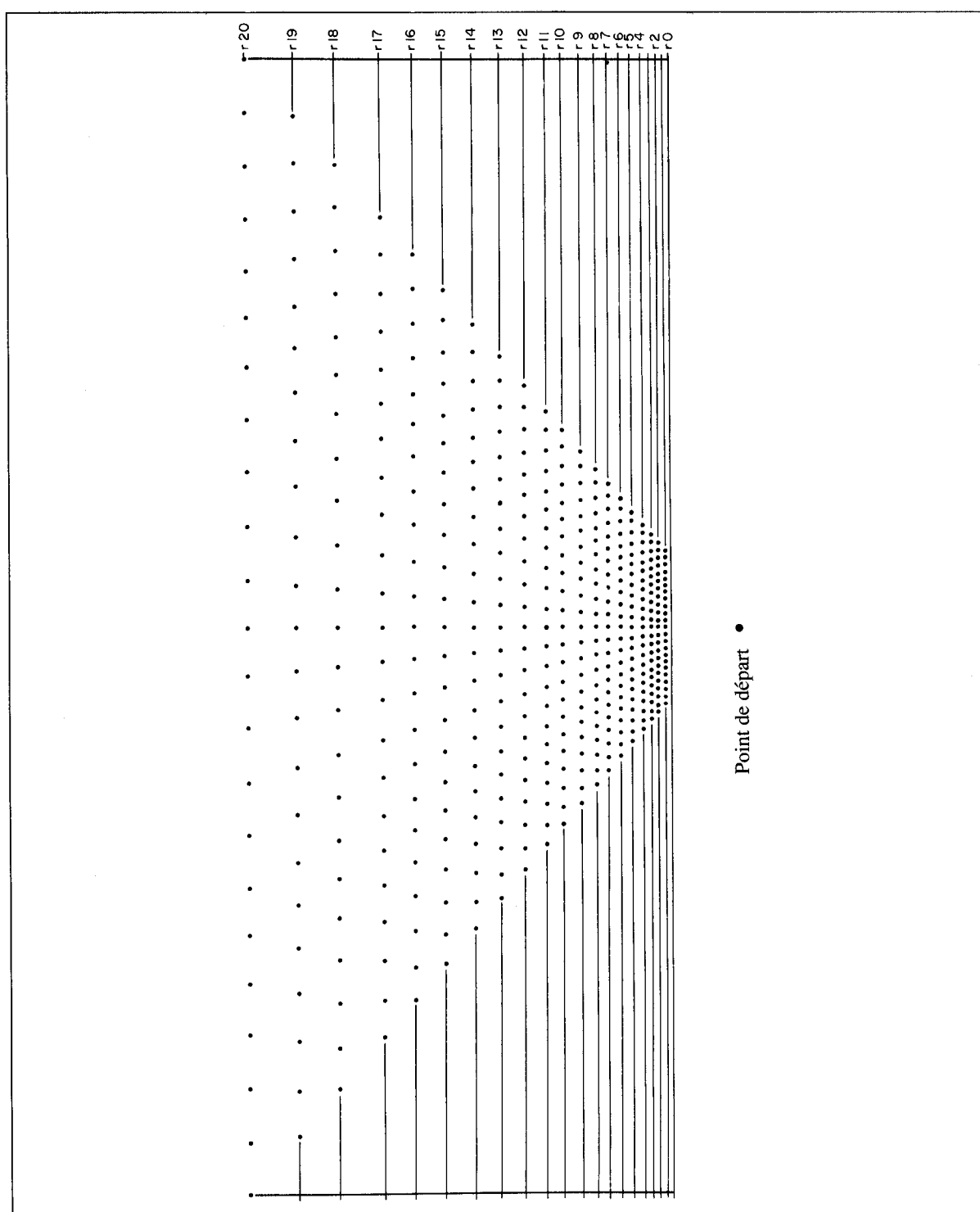


Figure 13 : plan en rangs parallèles systématiques avec au centre un nombre identique de plants par ligne, s'ouvrant de part et d'autre.

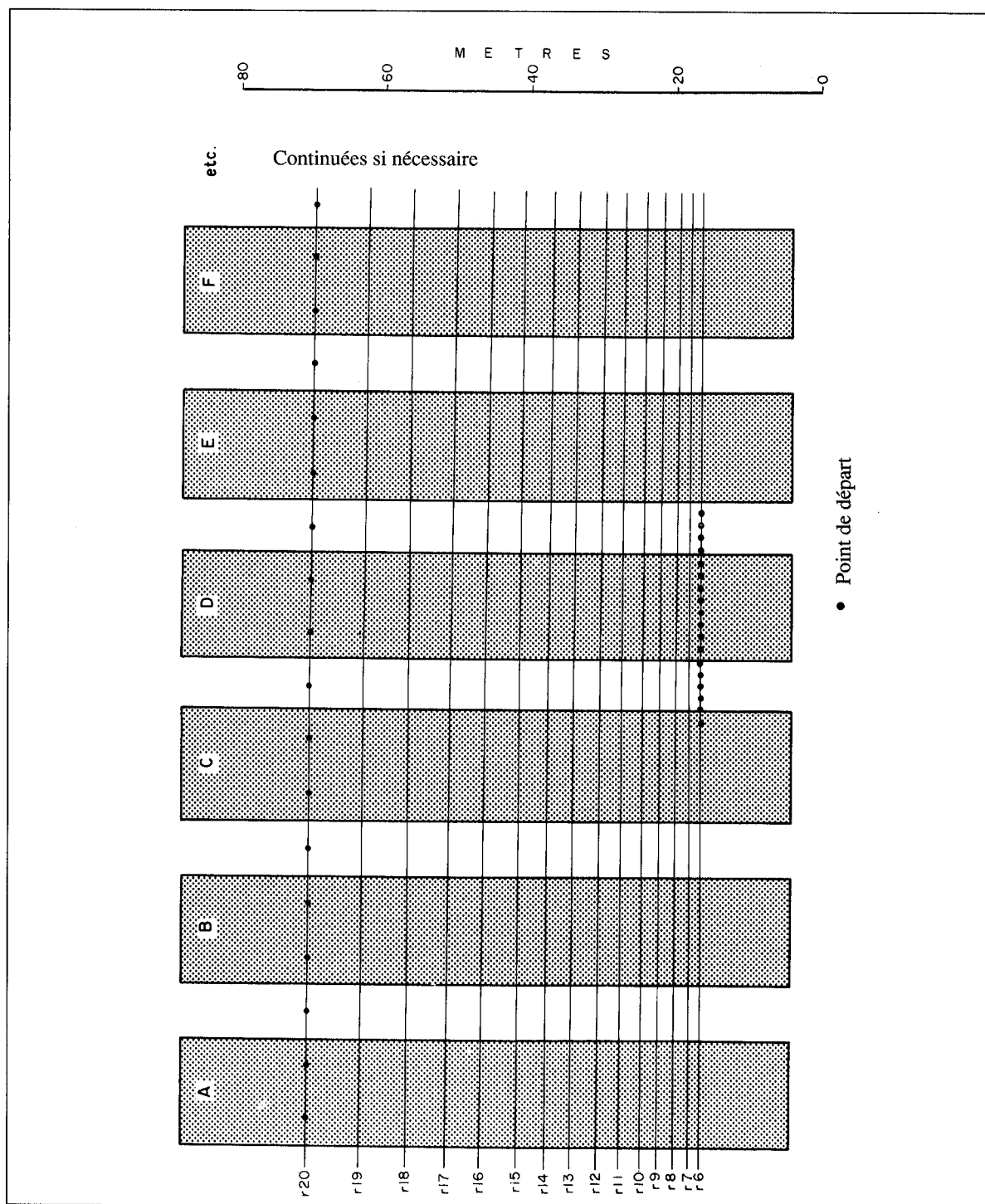


Figure 14 : superposition de traitements expérimentaux (ébranchage, élagage, etc.) dans un plan en rangs parallèles. Les traitements pourraient également être différentes espèces cultivées avec espacement standard, l'objectif étant alors d'étudier des combinaisons de cultures associées.

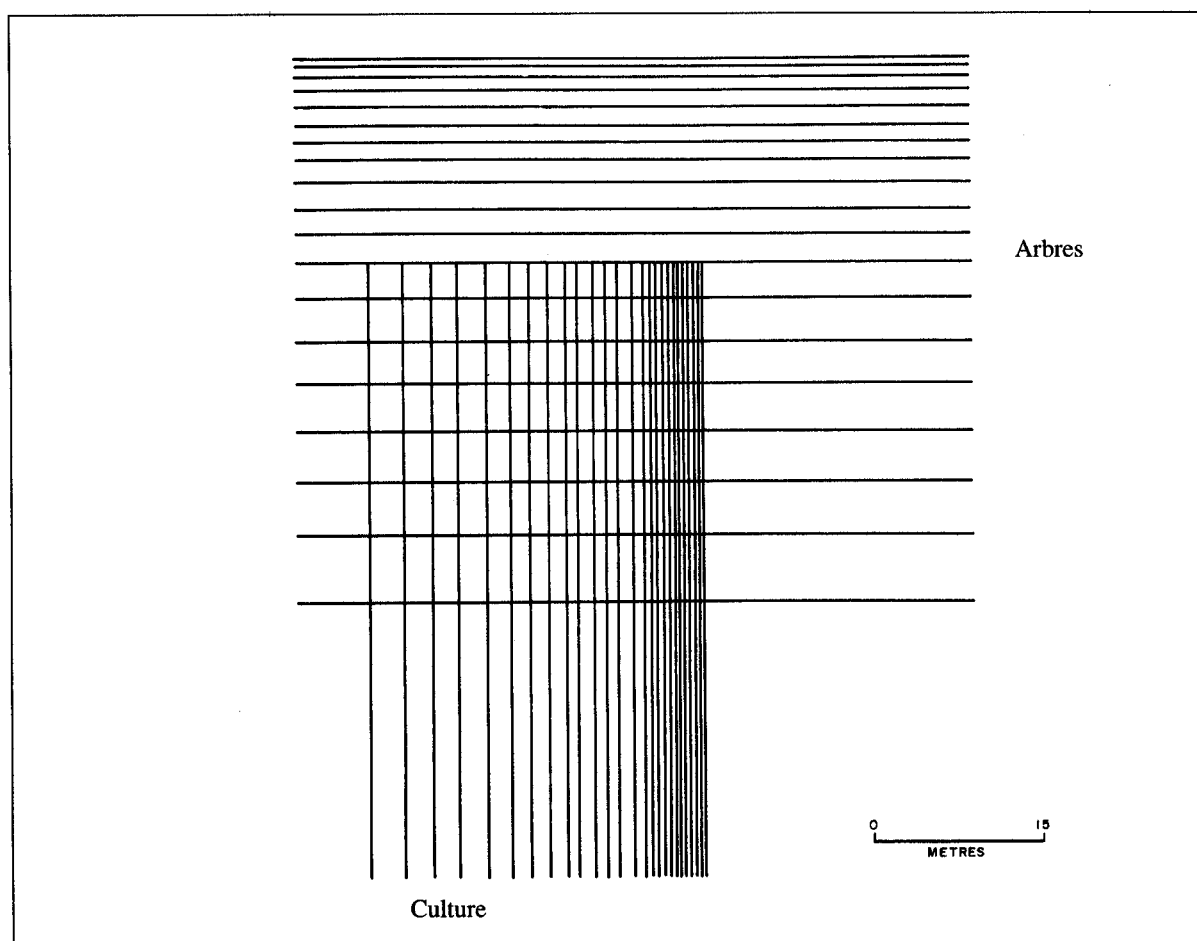


Figure 15 : superposition de deux plans en rangs parallèles visant à évaluer simultanément les effets de la variation de densités de plantation sur une essence d'arbre et sur une espèce cultivée. Une seconde série de cultures pourrait être ajoutée si l'on étendait les rangs d'arbres parallèles.

Brève description d'expériences sur les arbres à usages multiples

Introduction

La présente annexe est un guide pour l'élaboration de plans de recherche faisant appel à des expériences sur des AUM. Les fiches qui le composent et le corps du texte sont à consulter conjointement. En cas de doute à l'égard d'un dispositif statistique, consulter un statisticien.

D'une manière générale, les essais proposés pour les premiers stades de recherches sur les AUM ne devraient pas nécessiter le recours à des plans complexes. Les blocs complets aléatoires, les plans en treillis et les plans alpha devraient normalement suffire, avec analyse de variance classique.

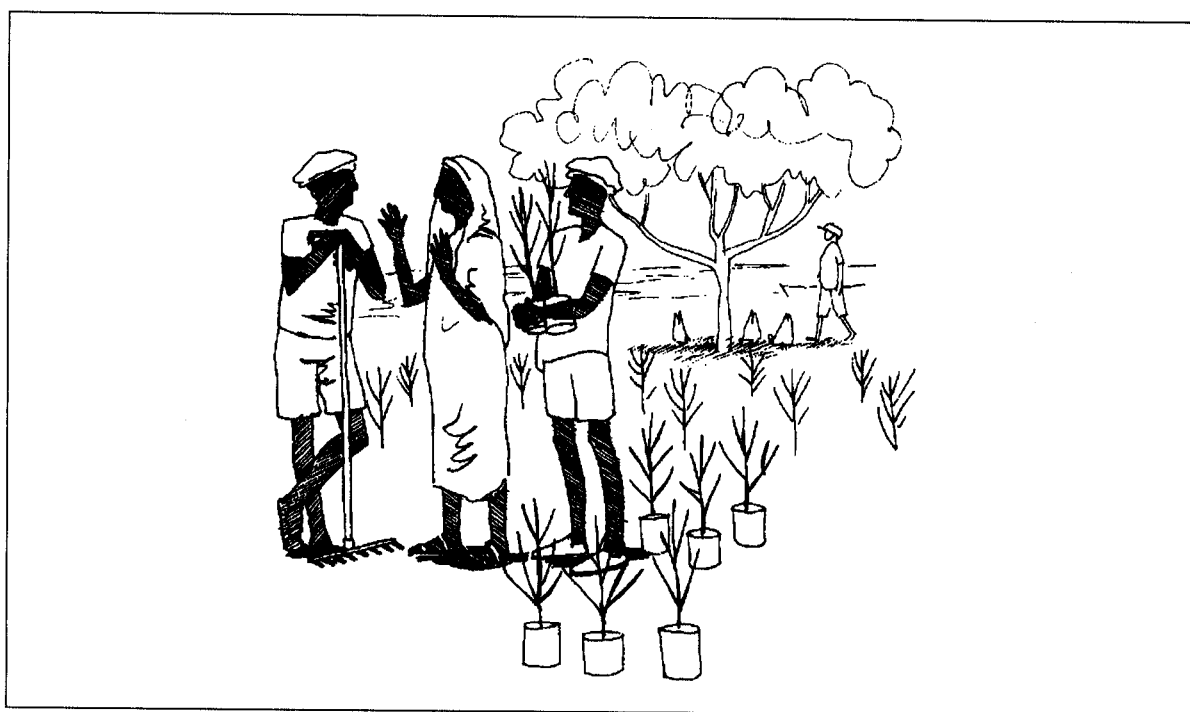
Si le seul objectif est d'observer toutes différences importantes d'ordre qualitatif afin de guider des recherches ultérieures, on pourra même éventuellement faire l'économie du plan statistique.

Les fiches sont constituées des points suivants :

- ♦ objectif principal : il peut être modifié en fonction des besoins locaux ;
- ♦ liste de pratiques agroforestière auxquelles la recherche peut apporter une contribution ;
- ♦ liste d'objectifs précis, c'est-à-dire type exact des données que l'expérience vise à mettre en lumière ;
- ♦ note relative au plan expérimental –

cette note ne dispense en aucun cas de consulter un statisticien en cas de doute ;

- ♦ indication de l'espacement et de la distribution ;
- ♦ indication des besoins probables en matière de gestion lors de l'expérience ;
- ♦ durée probable de l'expérience ;
- ♦ suggestions relatives à l'évaluation et à son calendrier. L'évaluation doit toujours décrire l'état de santé des plants et signaler la présence de tout organisme nuisible et de toute maladie, ainsi que la présence ou l'absence de caractéristiques telles que des épines, susceptibles d'avoir un effet sur l'utilité des AUM (que cette utilité se rapporte à des services ou à des produits).



Fiche 1 : ensemencement direct

Référence : EST/S

Type de recherche : essai d'implantation.

Objectif principal : déterminer si l'essence peut être semée directement dans les conditions locales.

Pratiques agroforestières concernées : nombreux systèmes agraires, y compris la mise en place de haies, les parcelles fourragères, les clôtures vives et les jachères améliorées.

Objectifs précis (exemples) :

- résistance des semences ;
- densité de semis et disposition ;
- profondeur de semis ;
- calendrier et saison d'ensemencement ;
- utilisation d'insecticides et de produits répulsifs ;
- régimes d'arrosage.

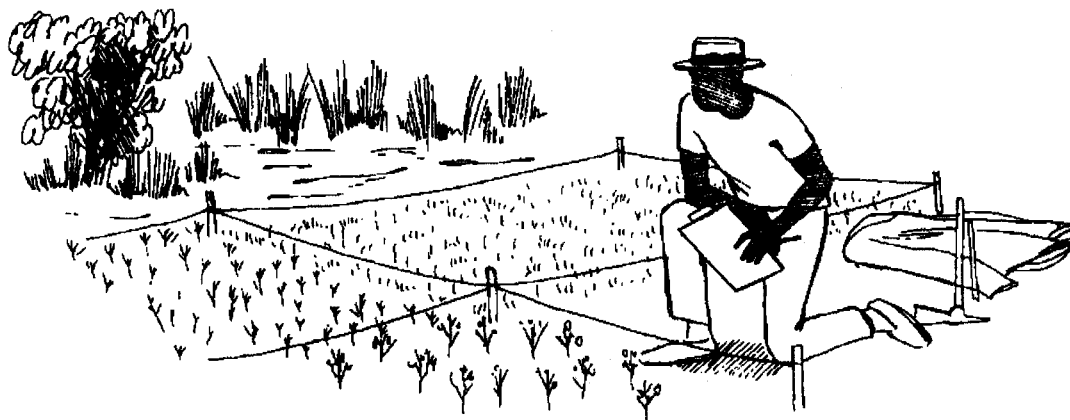
Plan expérimental : dans le cas de planches uniformes, des treillis rectangulaires ou des rangs non répétés seraient indiqués si l'objectif est seulement l'observation. La disposition en rangs est particulièrement adaptée à la plantation de haies. Sinon, plans de répétition standard.

Distribution des parcelles : ne pas semer plus de 20 à 25 graines viables par mètre sur la ligne ou plus de 400 à 500 graines par mètre carré. Une telle densité de semis est indiquée au stade de la levée. On adoptera une densité inférieure lors de l'implantation. Pourcentage de viabilité à déterminer au moyen d'un test standard de germination en pépinière ou en laboratoire.

Pratiques culturales : désherbage intégral ; protection contre les plantes adventices et les rongeurs par paillis, couverture de plantes épineuses ou grillage.

Durée : normalement inférieure à deux ans.

Mesures d'évaluation suggérées : survie à 3, 6, 12, 18 et 24 mois. Indiquer les causes de tous dégâts éventuels (rongeurs, sécheresse, affouillement ou termites). Hauteur à 6, 12 et 24 mois.



Fiche 2 : multiplication végétative par greffage

Référence : NUR/G

Type de recherche : essai en pépinière.

Objectif principal : évaluer les possibilités de greffage qu'offrent des essences d'arbres fruitiers en vue de produire du matériel génétique amélioré pour la distribution et faciliter la création de vergers à graines clonaux.

Matériel génétique testé : normalement, des essais ne sont pas nécessaires dans le cas d'arbres fruitiers courants exploités commercialement, s'ils sont bien connus dans la région ; en revanche, les essences indigènes moins bien connues devront faire l'objet d'expériences.

Pratiques agroforestières concernées : vergers, y compris vergers à graines clonaux, cultures intercalaires mixtes, arbres dans jardins de case, clôtures vives.

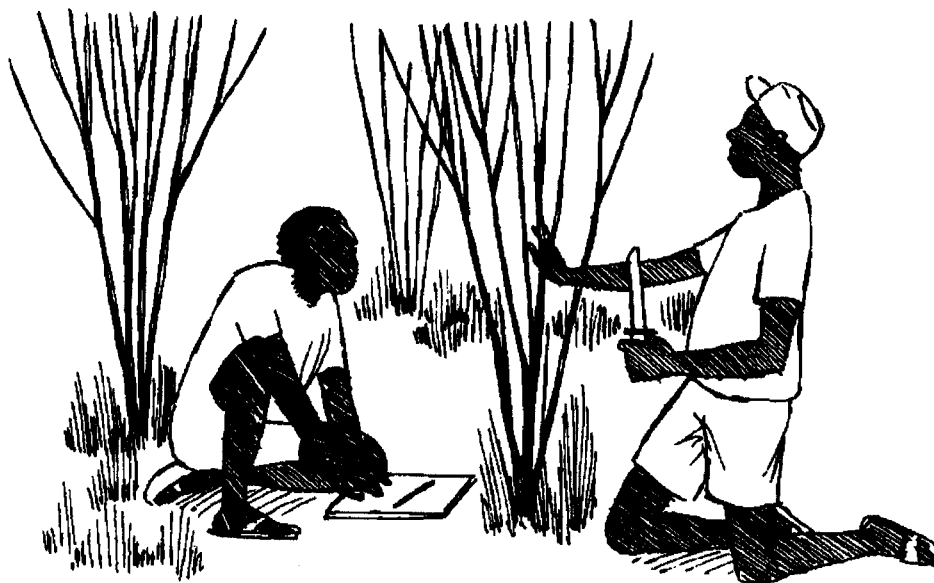
Objectifs précis (exemples) :

- âge des porte-greffes ;
- âge ou maturité des greffons ;
- saison de greffage ;
- types de greffage et d'écussonnage.

Plan expérimental : pas de plan particulier ; une possibilité serait l'étude aléatoire d'arbres isolés.

Durée : résultats apparents en moins d'un an. La plantation et l'évaluation des arbres greffés et des boutures peuvent avoir lieu tout au long de la vie de l'arbre.

Mesures d'évaluation suggérées : survie, vigueur, compatibilité. Pour les arbres fruitiers, rendements et acceptabilité pour les utilisateurs en puissance.



Fiche 3 : bouturage

Référence : EST/S

Type de recherche : essai en pépinière.

Objectif principal : déterminer si des essences peuvent être facilement multipliées par bouturage, en champ ou en pépinière.

Pratiques agroforestières concernées : pratiquement toutes les pratiques agroforestières mettant en jeu le repiquage en champs de plants cultivés en pépinière, notamment les peuplements à haut rendement. La plantation directe de matériel végétatif peut réduire le coût de l'implantation et permettre aux agriculteurs de multiplier leurs propres arbres, tout particulièrement ceux présentant un très bon phénotype.

Objectifs précis (exemples) :

- ♦ âge des pousses ou rejets au moment du prélèvement : dans le meilleur des cas, les boutures seront prélevées sur de jeunes plants, rejets ou plantes-mères. Les branches doivent être droites et vigoureuses afin de réduire toute tendance indésirable au plagiotropisme (croissance oblique). On trouve souvent le meilleur matériel au niveau des 10 à 15 noeuds supérieurs, étant donné qu'ils présentent un degré de lignification relativement faible. Eviter de prélever des boutures sur des arbres ayant atteint la maturité ;
- ♦ densité et arrangement dans le milieu d'enracinement : la densité n'a pas une grande importance à condition de veiller à ce que la surface foliaire de chaque bouture ne dépasse pas 50 centimètres carrés environ. Les boutures de chaque clone seront plantées en ligne droite et bien étiquetées aux deux bouts ;
- ♦ profondeur de repiquage : les boutures seront repiquées à une profondeur relativement grande et immobilisées sans qu'il y ait tassage de la terre ; dans le cas de boutures présentant des noeuds multiples, retirer les feuilles inférieures. Placer les boutures de telle façon que leur extrémité inférieure touche légèrement la nappe d'eau ;
- ♦ calendrier et saison de repiquage ;
- ♦ utilisation d'hormones, d'insecticides et de produits répulsifs ;
- ♦ arrosage : étant donné que l'eau constitue le stress le plus critique en matière de bouturage, il convient de maintenir en permanence l'humidité relative à près de 100 % ;
- ♦ ombrage : l'ombrage n'est pas un facteur décisif si les boutures sont plantées sous chassis étanche ; autrement il faut équilibrer au mieux les avantages de la photosynthèse et les inconvénients de la transpiration ;
- ♦ type d'irrigation appliqué (par exemple, brouillard artificiel, aspersion, souterrain).

Plan expérimental : aucun plan particulier n'est suggéré ; pour des tests simples, des distributions non répétées suffiront éventuellement.

Distribution des parcelles : ne pas planter plus de 20 à 25 boutures par mètre sur la ligne, ni plus de 400 à 500 par mètre carré. Une forte densité de plantation est indiquée pour les essais de courte durée. Réduire la densité pour des essais de plus longue durée.

Durée : 6 à 12 mois suffisent.

Mesures d'évaluation suggérées : survie à 3, 6 et 12 mois ; temps mis à produire des racines ou des pousses ; réponse à différents niveaux d'apport d'hormones ; réponse à différents niveaux d'irrigation ; ravageurs, maladies et autres causes de dégâts ; hauteur à 12 mois.

Fiche 4 : date de repiquage

Référence : EST/P

Type de recherche : essai d'implantation.

Objectif principal : déterminer, par rapport à l'avancement de la saison des pluies et au calendrier des besoins de main-d'oeuvre, le taux de survie d'arbres plantés à différentes dates.

Pratiques agroforestières concernées : toutes les pratiques dans lesquelles les plants cultivés en pépinière sont repiqués au champ. Cette information revêt une grande importance lorsqu'il est crucial de disposer d'une main-d'oeuvre importante au moment du repiquage.

Objectifs précis (exemples) :

- ♦ résultats d'un repiquage fait à chaque mois de l'année ;
- ♦ lancement du repiquage environ un mois avant l'arrivée du gros des pluies de la saison de plantation et poursuite à intervalles de deux semaines jusqu'au début de la saison sèche ;
- ♦ rapport entre le degré d'humectation du sol et le taux de survie des plants ;
- ♦ évaluation de la survie d'un certain nombre de lots de matériel génétique différent en fonction de paramètres climatiques.

Plan expérimental : blocs complets aléatoires simples.

Distribution des parcelles : entre 1 et 25 arbres par parcelle ; espacement de 1 x 1 m.

Pratiques culturales : normalement, désherbage intégral ou travail du sol. S'il est normal de trouver des plantes adventices dans le système d'exploitation, il convient de tenir compte des résultats d'un essai portant sur la flore adventice (voir EST/G), en utilisant comme végétal concurrent une culture courante ou une infestation de plantes adventices d'un niveau « normal ».

Durée : de six mois à un an. Il pourra être nécessaire de répéter l'expérience pendant plusieurs années ou plusieurs saisons consécutives.

Mesures d'évaluation suggérées :

- ♦ il est préférable de mener ces essais sans flore adventice étant donné que l'effet de la concurrence de cette dernière est difficile à quantifier ;
- ♦ il faut connaître la pluviosité quotidienne sur le site, ainsi que le niveau de la température et du vent, si possible. Profondeur d'humectation, déterminée en creusant le sol et en mesurant à l'aide d'une règle, tous les jours avant le repiquage. C'est là une méthode simple et éprouvée d'estimation de l'humidité du sol et de détermination du moment du repiquage ;
- ♦ autres mesures suggérées : taux d'humidité du sol dans la zone racinaire et survie à intervalles de deux semaines jusqu'à six mois après la fin des pluies, puis lorsque les plants ont atteint un an d'âge.

Fiche 5 : qualité des plants à repiquer

Référence : EST/Q

Type de recherche : essai d'implantation.

Objectif principal : déterminer les qualités optimales et minimales des plants cultivés en pépinière d'essences déjà connues, y compris celles qui posent des problèmes.

Pratiques agroforestières concernées : toutes techniques de production d'arbres à partir de plants de pépinière.

Objectifs précis (exemples) :

- ♦ dimension des récipients. Il convient d'expérimenter, outre des tubes de plastique, les récipients fabriqués sur place, par exemple à partir de fibre de banane. Pour ce qui est de l'essai de tubes plastiques de différentes tailles, prendre comme unité de base (unité V) les tubes de volume utilisé localement et appliquer les traitements pour les cinq tailles suivantes : 0,5 V, 0,75 V, 1,0 V (contrôle), 1,25 V et 1,5 V. Il convient de comparer les coûts (terrain, main-d'oeuvre et transport) en plus des caractéristiques liées à la croissance ;
- ♦ essai de plantation à racines nues. Cultiver les plants en pépinière dans des planches surélevées et tailler les racines sous et entre les plants à intervalles réguliers. Au moment de les apporter sur le site, on protégera soigneusement, à l'aide de sacs humidifiants, les arbres ainsi cultivés ;
- ♦ essais de plantation de *stumps*. Cultiver les plants en planches ouvertes, sans tailler les racines, puis les sectionner en laissant environ 2 centimètres de tige et 15 à 25 centimètres de racine lorsque le diamètre moyen du collet de la racine est d'environ 2 centimètres.

Plan expérimental : plans suggérés : blocs complets aléatoires et blocs incomplets. Dans la plupart des cas, 10 à 20 arbres par parcelle sont recommandés. Etant donné la courte durée de l'essai, un espacement de 1 x 1 m est suffisant.

Pratiques culturales : en principe, désherbage intégral. Les tests sous concurrence d'autres végétaux sont abordés dans la fiche suivante.

Durée : un an devrait en principe suffire, mais on peut conserver les arbres pour l'examen du système racinaire à différents âges.

Mesures d'évaluation suggérées : évaluation standard des arbres issus de la pépinière. Les normes agréées sur le plan international comprennent le coefficient système racinaire/système foliacé, l'indice de vigueur et la hauteur. On peut évaluer le taux de survie à 1, 6 et 12 mois. Etudier le système racinaire des arbres morts. Enregistrer la hauteur à un an. Enregistrer les causes de mort.

Fiche 6 : préparation du sol et essais sous concurrence

Référence : EST/G

Type de recherche : essai d'implantation.

Objectif principal : déterminer le degré de préparation et de désherbage du sol nécessaire pour assurer un taux de survie satisfaisant des AUM repiqués.

Pratiques agroforestières concernées : toutes pratiques utilisant des arbres issus de pépinière.

Objectifs précis (exemples) : les traitements de base seront les méthodes normales de préparation du terrain dans la zone en question, si les agriculteurs locaux y ont recours, par exemple : labourage et houage, voire défonçage, appliqués uniformément sur l'ensemble de la zone utilisée pour l'expérience.

Si le traitement étudié est le désherbage, on prendra les pratiques locales « normales » comme niveau moyen ou niveau de contrôle. Dans le cas de figure idéal, les autres traitements comprendront différents degrés de désherbage, ainsi que l'absence totale de désherbage.

Suggestions :

- ♦ à la fin des pluies, puis tous les mois ou trimestres ;
- ♦ en fonction des besoins, selon le jugement du chercheur et des agriculteurs ;
- ♦ chaque année.

En agroforesterie, la plus grande partie du terrain sera soigneusement sarclée ; on ne procédera à un désherbage partiel local que dans des situations bien particulières ne prévoyant pas d'utilisation des arbres en culture intercalaire, par exemple pour l'implantation de certains peuplements.

On peut superposer des traitements accessoires, par exemple un apport d'engrais.

Plan expérimental : plans factoriels et en sous-parcelles. Le besoin de parcelles uniformes de grande taille réduirait le nombre de traitements pouvant être appliqués sur une superficie raisonnable.

Distribution des parcelles : l'espacement dans les parcelles sera plus ou moins celui utilisé dans les champs, bien que des parcelles ne comportant qu'un seul arbre puissent également convenir à l'évaluation de nombreuses applications agroforestières. Dimension suggérée de la parcelle : de 50 à 100 mètres carrés.

Pratiques culturales : pas de recommandation particulière.

Durée : un ou deux ans.

Mesures d'évaluation suggérées : le principal paramètre à évaluer est le taux de survie à la fin de la première année et des années suivantes. Mesurer la hauteur et le diamètre en même temps si l'arbre doit servir à la production de biomasse ligneuse. Dans le cas contraire, évaluer les possibilités par rapport à d'autres produits et services. Le poids des plantes adventices ou de la biomasse d'une culture courante utilisée en concurrence peut contribuer à l'interprétation des résultats.

Fiche 7 : apport d'engrais

Référence : EST/F

Type de recherche : essai d'implantation.

Objectif principal : déterminer les niveaux optimum et minimum de fertilisation assurant une reprise et une croissance satisfaisantes.

Pratiques agroforestières concernées : les pratiques faisant intervenir la plantation d'arbres en vue d'un objectif de production (bois ou fourrage, p. ex.). Les expériences de fertilisation visant uniquement les arbres ne sont pas d'une très grande utilité en agroforesterie. Si un petit agriculteur a les moyens d'acheter de l'engrais, sa première priorité sera sans doute la production alimentaire. Les présentes suggestions visent par conséquent principalement les besoins des parcelles paysannes à bois et à fourrage.

Des essais de ce type ne sont normalement pas nécessaires, à moins que l'on ne considère que l'apport d'engrais sur des arbres plutôt que sur des cultures vivrières est justifié par les résultats escomptés, ou au cas où le sol serait dépourvu d'éléments nutritifs au point de rendre difficile la culture des arbres.

Objectifs précis (exemples) : les deux principaux éléments nutritifs susceptibles de ne pas se trouver dans le sol en quantités suffisantes sont le phosphore et l'azote, le premier étant surtout important au moment de l'implantation, et l'autre du point de vue de la production. Autres nutriments pouvant manquer : bore, calcium et manganèse. Les volumes à apporter seront déterminés avec un spécialiste, mais la fourchette suggérée va jusqu'à un maximum de 400 grammes de phosphore et de 200 grammes d'azote par plant.

Plan expérimental : des petits dispositifs systématiques à double sens portant sur un seul arbre permettront éventuellement d'économiser l'espace. Sinon, utiliser un plan factoriel standard.

Distribution des parcelles : taille indiquée pour des plans factoriels : 9 x 9 arbres.

Pratiques culturales : espacement de 2 x 2 m. Un désherbage intégral est indispensable tout au long de l'expérience afin d'éviter de complexes interactions nutriments-flore adventice.

Durée : un à cinq ans.

Mesures d'évaluation suggérées : lors d'essais systématiques visant à évaluer les niveaux extrêmes de fertilisation, on doit s'attendre à ce que quelques arbres meurent du fait de la toxicité. Dans tous les autres essais, d'autres morts ne sont pas à redouter ; on s'attendra au contraire à un meilleur taux de survie et à une plus forte croissance. Les évaluations recommandées sont donc la survie à un an ainsi que la hauteur et le diamètre (ou d'autres paramètres permettant d'évaluer la biomasse) à intervalles d'un an. L'analyse statistique de plans systématiques n'est possible que lorsque la parcelle principale est suffisamment répétée et que la direction du changement systématique a été aléatoire sur les parcelles principales.

Fiche 8 : comparaisons d'essences sur grandes parcelles

Référence : ET/L

Type de recherche : essai de provenances ou d'essences.

Objectif principal : comparer le taux de survie initial de différentes essences et recueillir des indications préliminaires sur la forme et la phénologie, en vue de la production de bois et de poteaux et, le cas échéant, comparer la réponse à l'ébranchage. Pour une évaluation, l'essai doit comprendre au moins une essence locale et une essence exotique bien connue comme témoins, de façon à faire le lien entre les résultats et d'autres expériences.

Pratiques agroforestières concernées : toutes.

Objectifs précis (exemples) : évaluation d'essences exotiques peu connues, exception faite des comparaisons des conditions climatiques effectuées par le biais de recherches sur bases de données et des essences indigènes identifiées grâce à des études ethnobotaniques. En ce qui concerne des essences très répandues, inclure deux ou trois provenances.

Traitements accessoires : réponse à la fréquence ou à la hauteur de recépage ou d'ébranchage, ou à l'apport d'engrais.

Plan expérimental : blocs complets aléatoires, treillis et plans alpha sont recommandés, selon le nombre de populations et le degré de variabilité du site.

Distribution des parcelles : espacement de 3 x 3 m, exception faite des essences dont on s'attend à ce qu'elles atteignent plus de trois mètres de hauteur en un an, pour lesquelles un espacement supérieur est indiqué. De larges bandes ou ceintures sont nécessaires entre les parcelles recelant des essences aux ports différents.

Pratiques culturales : désherbage intégral ou céréale intercalaire de densité constante ; le recépage ou l'ébranchage peut commencer après trois ans.

Durée : entre deux et trois ans pour l'estimation du taux de survie et du port. Cinq à huit années supplémentaires pour l'étude de la production de bois ou de poteaux, ou deux à trois pour la seule étude de recépage ou émondage, le cas échéant.

Mesures d'évaluation suggérées : hauteur au repiquage, en centimètres. Taux de survie à la fin de chaque période de croissance (décompte par parcelle et pourcentage par essence). Taux de survie à la fin de chaque saison sèche (décompte par parcelle et pourcentage par essence). Annuellement : longueur de la branche la plus longue et hauteur au point le plus haut, en mètres. Le rapport hauteur/longueur de branche décrit le port de l'arbre. Nombre de tiges de plus d'un centimètre de diamètre à dix centimètres au-dessus du sol, et, chaque année, diamètre de chaque tige.

Fiche 9 : comparaisons d'essences ou de provenances sur petites parcelles

Référence : ET/S

Type de recherche : essai de provenances ou d'essences.

Objectif principal : comparer le taux de survie initial de différentes essences et recueillir des indications préliminaires sur la phénologie, le port et la réaction au recépage. L'essai doit comprendre au moins une essence locale et une essence exotique bien connue comme témoins, de façon à faire le lien entre les résultats et d'autres expériences.

Pratiques agroforestières concernées : toutes, mais particulièrement les jachères cultivées, les cultures intercalaires mixtes, les parcelles à bois et à fourrage.

Objectifs précis (exemples) : évaluation d'essences exotiques peu connues, exception faite des comparaisons des conditions climatiques effectuées par le biais de recherches sur bases de données et des essences indigènes identifiées grâce à des études ethnobotaniques. Pour certaines essences très répandues, inclure deux ou trois provenances.

Plan expérimental : blocs complets aléatoires, treillis et plans alpha sont recommandés, selon le nombre de populations et le degré de variabilité du site.

Distribution des parcelles : cinq parcelles d'arbres alignés ou 2 x 5 parcelles de 10 arbres. Espacement recommandé : 2 x 2 mètres.

Pratiques culturales : désherbage intégral recommandé, sans éclaircissage, mais recépage après trois ans.

Durée : entre deux et trois ans pour l'estimation du taux de survie et du port. Trois années supplémentaires pour la réponse au recépage.

Mesures d'évaluation suggérées : hauteur au repiquage, en centimètres. Taux de survie à la fin de chaque période de croissance (décompte par parcelle et pourcentage par essence). Annuellement : longueur de la branche la plus longue et hauteur au point le plus haut, en mètres. Le rapport hauteur/longueur de branche décrit le port de l'arbre. Nombre de tiges de plus d'un centimètre de diamètre à dix centimètres au-dessus du sol, et, chaque année, diamètre de chaque tige.



Fiche 10 : études de vigueur et de comportement phénologique

Référence : VIG/L

Type de recherche : essai de provenances ou d'essences.

Objectif principal : déterminer la source de semences optimum d'essences très répandues, pour introduction sur des sites précis, en fonction du taux de survie, de la production de biomasse, de la forme et de la tolérance au recépage. On donnera la préférence à des provenances appartenant à des essences très courantes et bien connues présentant des possibilités manifestes au vu des conditions locales.

Pratiques agroforestières concernées : toutes, l'accent étant mis sur les peuplements à bois et à fourrage.

Objectifs précis (exemples) :

- ♦ évaluer un maximum de 20 provenances ainsi que toutes races locales prometteuses, originaires de la région même ou non ;
- ♦ recueillir des données relatives au taux de croissance ou au recépage et à l'émondage.

Plan expérimental : les blocs complets aléatoires, plans en treillis ou plans alpha sont recommandés, suivant le nombre de populations et le degré de variabilité du site.

Distribution des parcelles : il est suggéré de planter selon une grille de 2 x 2 ou 1,5 x 1,5 mètres d'espacement, la taille des parcelles allant de 25 à 64 arbres, plus un rang périphérique n'entrant pas en ligne de compte.

Pratiques culturales : coupe sélective de cinquante pour cent dès fermeture du couvert de la provenance la plus précoce. Désherbage intégral recommandé, sans éclaircie ni recépage après trois ans.

Durée : dix ans.

Mesures d'évaluation suggérées : hauteur au repiquage, en centimètres. Taux de survie à la fin de chaque période de croissance (décompte par parcelle et pourcentage par essence). Taux de survie à la fin de chaque saison sèche (décompte par parcelle et pourcentage par essence). Annuellement : longueur de la branche la plus longue et hauteur au point le plus haut, en mètres. Le rapport hauteur/longueur de branche décrit le port de l'arbre. Nombre de tiges de plus d'un centimètre de diamètre à dix centimètres au-dessus du sol, et, chaque année, diamètre de chaque tige. Hauteur au moment de l'éclaircie et lors de la coupe finale. A douze mois, au moment de l'éclaircie et à celui de la coupe finale, diamètre de la tige principale à 30 centimètres au-dessus du sol. Analyses chimiques et autres sur un échantillon de deux arbres lors de la coupe finale.

Fiche 11 : test de confirmation d'espèces et de provenances pour conduites en haies

Référence : PROV/H

Type de recherche : essai de provenances ou d'espèces.

Objectif principal : isoler la source de semences optimum d'espèces très répandues, pour introduction sur des sites précis, principalement pour les cultures intercalaires en haies, en fonction du taux de survie, de la tolérance au recépage et à l'ébranchage, de la production de biomasse et de l'incidence sur les cultures voisines. On donnera la préférence à des provenances appartenant à des essences très courantes présentant des possibilités manifestes pour la constitution de haies et la production de feuillage.

Pratiques agroforestières concernées : haies, association haies/culture.

Objectifs précis (exemples) :

- ♦ évaluer 20 provenances ainsi que toutes races locales prometteuses, originaires de la région même ou non ;
- ♦ étudier la composition des feuilles.

Plan expérimental : les blocs complets aléatoires, plans en treillis ou plans alpha sont recommandés, suivant le nombre de populations et le degré de variabilité du site.

Distribution des parcelles : dix arbres en rangs simples de 10 ou en rangs doubles de 5, à 0,5 mètre d'espacement dans le rang, 4 mètres entre les rangs et 1 mètre entre les rangs de la culture associée. Deux rangs d'arbres autour de l'ensemble de la zone réservée à l'expérience. Une autre possibilité est le recours à un plan à espacement systématique, de façon à produire des éléments d'information supplémentaires. Pour ce faire, planter les arbres très près les uns des autres à une extrémité d'un rang, en accroissant peu à peu l'espacement de façon à avoir des arbres poussant isolément à l'autre extrémité du rang.

Pratiques culturales : ébranchage des arbres à un an ou lorsque la hauteur moyenne atteint 1,5 mètre, ensuite ébranchage tous les trois mois à une hauteur de 0,5 à 1 mètre au-dessus du sol. Après détermination du poids frais, la biomasse coupée sera soit répandue sur le sol de l'allée adjacente, soit utilisée ailleurs.

Durée : cinq ans.

Mesures d'évaluation suggérées : hauteur au repiquage, en centimètres. Survie (nombre d'arbres par parcelle et pourcentage par provenance après deux semaines et annuellement). Poids de la biomasse fraîche à chaque ébranchage, triée en feuilles entières (pétioles compris), tiges et branches ligneuses. Poids sec déterminé pour chaque parcelle à partir d'un sous-échantillon constitué de deux arbres. Longueur de la branche ou tige la plus épaisse lors du premier ébranchage. Nombre de branches de plus d'un centimètre de diamètre à 30 centimètres au-dessus du sol lors du premier ébranchage. Nombre de nouvelles branches au moment du deuxième ébranchage. Rendement de chaque rang de la culture associée. Analyse de la structure et de la chimie du sol après un et cinq ans.

Fiche 12 : vigueur et phénologie d'arbres cultivés isolément

Référence : VIG/S

Type de recherche : essai de provenances ou d'essences.

Objectif principal : disposer de spécimen d'arbres à usages multiples en croissance libre pour l'observation phénologique et l'étude morphologique après divers types d'ébranchage.

Pratiques agroforestières concernées : clôtures vives et haies, association haies/culture, culture intercalaire mixte.

Objectifs précis (exemples) : évaluer divers traitements (élagage ou taille de formation).

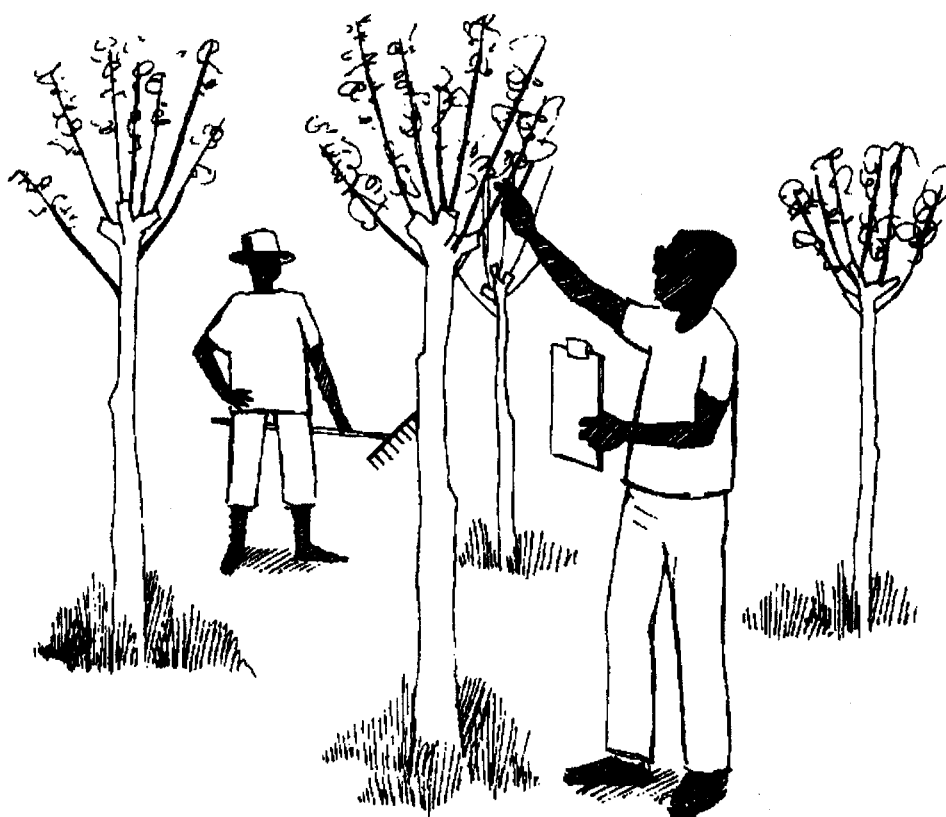
Plan expérimental : les blocs complets aléatoires, plans en treillis ou plans alpha sont recommandés, suivant le nombre de populations et le degré de variabilité du site.

Distribution des parcelles : grille de 5 x 5 mètres d'espacement (un seul arbre par parcelle).

Pratiques culturales : repiquage et culture selon les pratiques courantes, avec céréale intercalaire si l'objectif est l'association haies/culture ou la culture intercalaire mixte. Elagage ou taille de formation, selon qu'on désire obtenir une clôture ou une haie.

Durée : entre 5 et 10 ans.

Mesures d'évaluation suggérées : phénologie de la production de feuilles, de pousses et de fleurs à intervalles de deux semaines. Données climatiques quotidiennes et moyenne mensuelle. Description générale de la morphologie de chaque plant.



Fiche 13 : écartement pour clôtures ou haies

Référence : SPACE

Type de recherche : essai de provenances ou d'essences.

Objectif principal : évaluer les possibilités présentées par les arbres à usages multiples pour la constitution de clôtures et de haies, et déterminer des espacements adaptés en vue de recherches ultérieures sur les sites concernés. Examiner, en début de croissance, la phénologie d'arbres à usages multiples cultivés isolément ou en concurrence. Sélectionner un petit nombre d'essences éprouvées ou très prometteuses.

Pratiques agroforestières concernées : haies, clôtures vives, association haies/culture.

Objectifs précis (exemples) : pour évaluer les effets de l'ébranchage à un an, puis à la fin de chaque année suivante, ébranchage à un an, puis tous les trois mois, éclaircie à un an et maintien des tiges uniques à la hauteur de poteaux ou de piquets.

Plan expérimental : blocs aléatoires.

Distribution des parcelles : espacement de 0,5 m, 2,5 m et 5,0 m entre les plants d'un même rang (60, 12 et 6 plants, respectivement), 4 mètres entre les rangs, et trois rangs de la culture associée avec espacement standard.

Pratiques culturales : préparation du terrain et culture optimales ; désherbage intégral recommandé. Eventuellement traitement des arbres.

Durée : cinq ans.

Mesures d'évaluation suggérées : taux de survie (annuellement). Poids frais du produit de l'ébranchage. Analyse des qualités fourragères, le cas échéant. Diamètre des branches et des tiges à 30 centimètres au-dessus du sol après chaque ébranchage ou éclaircie. Rendement de chaque rang de la culture associée. Etude phénologique du temps de production des feuilles.



Glossaire des termes et expressions utilisés en recherche agroforestière

Remarque :

le présent glossaire s'appuie principalement sur les travaux de Huxley (1986). Tous les termes ou expressions n'apparaissent pas dans le corps de l'ouvrage.

A

Albedo : mesure du pouvoir réfléchissant d'une surface exprimée par le rapport rayonnement réfléchi/rayonnement incident, donné en général en pourcentage de végétation ou de sol.

Accroissement : augmentation de la circonférence, de la hauteur, du volume, du poids ou de la valeur d'un arbre ou d'une culture donnée.

Accroissement moyen annuel (AMA) : accroissement total jusqu'à un âge donné, divisé par cet âge. L'AMA d'une rotation complète s'appelle l'AMA final.

Action tampon : action régulatrice visant à éviter un changement soudain au sein du système biologique.

Allélopathie : influence des végétaux (et non des micro-organismes) les uns sur les autres résultant des produits de leur métabolisme.

Amplitude : (déviations) écart entre deux valeurs ou étendue finie (d'un ensemble de données).

Analyse des facteurs multidimensionnels : méthode mathématique d'analyse d'ensembles de données en vue d'éta-

blir quelles variables sont statistiquement liées les unes aux autres par des facteurs causatifs ou autres.

Analyse multidimensionnelle : terme général se rapportant à l'analyse de données qui sont multidimensionnelles en ce sens qu'à chaque observation correspond la valeur d'un certain nombre de variables, par exemple, analyse de la composante principale, analyse de corrélation canonique.

Analyse de covariance : analyse de la variance dans laquelle la variable dépendante analysée dépend d'un certain nombre de variables indépendantes sur lesquelles le plan expérimental n'a pas prise.

Arbre plus : arbre phénotype jugé supérieur, mais dont il n'a pas encore été prouvé, par test de descendance, qu'il s'agit d'un arbre d'élite.

Arbuste : terme descriptif ne correspondant pas à une définition stricte; se rapporte à un végétal ligneux de faible hauteur, dont les tiges ou troncs se ramifient dès la base et qui n'a donc pas l'aspect d'un arbre à proprement parler.

Association : ensemble de végétaux d'un type ou d'une qualité particuliers.

Attribut : en statistique, qualité que possède un individu; voir également « variable ».

B

Bloc : ensemble d'individus ou d'unités expérimentales en traitement ou en observation, regroupés en vue de minimiser l'incidence du milieu ou toute autre différence initiale entre unités.

Bordure tampon : rang de végétaux plantés autour d'une parcelle en vue de minimiser les effets de traitements appliqués sur d'autres parcelles; ne sont pas pris en compte dans le cadre de l'expérience.

Broutement : action de se nourrir de bourgeons, de rameaux et de feuilles d'arbres ou d'arbustes (bétail ou animaux sauvages).

C

Caractère : qualité d'un organisme résultant de l'interaction entre le génotype et le milieu.

Carré latin : plan d'expérience visant à isoler deux sources d'erreur (lignes et colonnes) de la variation résiduelle. Un carré 5 x 5 comporte 25 parcelles sur 5 lignes (5 parcelles par ligne), chaque traitement apparaissant une seule fois par ligne et par colonne.

Certificat phytosanitaire : déclaration écrite relative à la santé de végétaux, nécessaire à leur exportation ou importation; revêt généralement une forme agréée sur le plan international rendant compte des inspections sur le terrain, du traitement des semences, etc.

Cime : (houppier) ensemble des branches et du feuillage surmontant le ou les fûts plus ou moins dégagés d'un ligneux.

Classe de diamètre : ensemble de plants dont le diamètre des tiges correspond à une gamme de valeurs prédéterminées.

Cline : séquence progressive de différences d'origine génétique au sein d'une essence, liées à des gradients du milieu.

Clone : organisme ou organismes issus de la mitose d'un ancêtre commun.

Coefficient de régression : paramètre dans un modèle régressif, généralement la pente d'une régression linéaire.

Collet : transition entre la racine et la tige.

Cotylédon : embryon de feuille présent dans la graine; forme la première feuille verte après germination. Le cotylédon est souvent un organe de stockage d'éléments nutritifs.

Covariance : somme des produits des écarts par rapport à leurs moyennes de deux ou plusieurs variables corrélées. Mesure statistique des rapports entre variables.

Croissance libre : croissance d'une plante dont la cime est relative-

ment libre de toute concurrence.

Cultivar : variété cultivée.

Culture en couloirs : système agroforestier où des cultures herbacées sont cultivées entre des lignes de ligneux plantés à faible écartement.

D

Défilement : diminution de l'épaisseur, généralement par rapport au diamètre, d'une grume ou de la tige d'un arbre, de bas en haut.

Degrés de liberté : nombre de comparaisons indépendantes pouvant être faites à partir d'un ensemble de données.

Densité apparente (sèche) du sol : masse par unité de volume.

Descendance : progéniture.

Diamètre de la cime : moyenne entre la plus grande et la plus petite des dimensions transversales de la projection d'une cime sur un plan horizontal.

Diguette : matière organique ou terre disposée le long des courbes de niveau d'une pente afin de faire obstacle au ruissellement ou à l'érosion.

E

Ebranchage : coupe d'une ou de plusieurs branches d'un arbre sur pied pour les utiliser comme combustible ou comme fourrage.

Ecart-type : mesure de la fourchette de variation d'une série d'observations.

Echantillon : partie d'une population consistant en un certain nombre d'unités d'échantillonnage considérées comme représentatives de l'ensemble et sélectionnées pour examen.

Eclaircie : élimination de jeunes plants en surnombre dans un groupe ou sur des rangs serrés afin de donner à chaque plant conservé l'espace nécessaire à sa croissance. Fait d'éliminer les rejets de taillis et d'en conserver un ou quelques-uns.

Elagage : fait de rabattre la croissance d'un végétal, racines y compris, et plus particulièrement la coupe des branches latérales d'un arbre.

Emondage : taille plus ou moins systématique de la cime d'un arbre en vue de recueillir du petit bois et du fourrage, d'induire une repousse hors de la portée des animaux ou de réduire l'ombre portée de la cime.

Ensemble génétique : ensemble de tous les gènes des producteurs de semence dans une population à reproduction sexuée.

Ensemencement direct : ensemencement sur le terrain même où les plants doivent être cultivés.

Erreur-type : écart type d'un estimateur, généralement une valeur moyenne, qui indique avec quelle précision a été faite l'estimation.

Essai : activité, méthode ou traitement visant un résultat donné; généralement d'envergure ou d'importance réduite par rapport à une expérience.

Etiolement : état d'une plante chlorophyllienne qui n'a pas bénéficié d'un éclairage suffisant ou est attaquée par certaines maladies, caractérisée par de longues tiges minces et manquant de tissus, ainsi que des feuilles jaunâtres ou blanchâtres.

Exotique : au sens strict, se dit de tout végétal poussant en dehors de son aire naturelle.

Expérience factorielle : expérience dans laquelle tous les niveaux d'au moins deux traitements sont appliqués individuellement et selon toutes les combinaisons utiles possibles, en vue d'en observer les principaux effets et interactions.

F

Forme d'un arbre : degré et type de défilement d'un tronc d'arbre ou d'une grume; peut aussi s'appliquer à la forme générale du tronc et à son utilité éventuelle.

Fût : tige d'un arbre de dimension suffisante pour donner du bois d'œuvre ou de poteau.

G

Génécologie : discipline combinant l'écologie et la génétique; étudie les variations génétiques liées à l'habitat présentées par des populations d'une même essence.

Génotype : constitution génétique totale d'un individu, avec ou sans l'expression phénotypique des caractères qu'elle détermine. Le génotype dépend principalement de la performance de la descendance et d'individus apparentés. Génotype x milieu = phénotype.

Genre : catégorie relativement arbitraire de la hiérarchie taxonomique; se situe entre famille et essence. Les genres d'arbres et d'arbustes consistent en un certain nombre d'essences étroitement apparentées et se définissent principalement par rapport aux caractéristiques de leur fleur ou fruit.

Germoplasme : (patrimoine génétique) ensemble des matériels héréditaires d'une essence, c'est-à-dire ses gènes et les facteurs cytoplasmiques gouvernant l'hérédité; matériel héréditaire transmis à la descendance par les gamètes.

Greffon : partie de la plante servant au greffage.

H

Hauteur d'homme : par convention internationale, point du tronc d'un arbre situé à 1,3 m au-dessus du sol.

Hauteur de la cime : distance verticale entre le sol et la base de la cime d'un arbre.

Herbacé : non ligneux; qui meurt en fin de saison.

Hybride : descendance d'organismes de génotypes différents; souvent le produit d'un croisement d'espèces différentes.

I

Idéotype : modèle conceptuel du type de végétal idéalement adapté à un ensemble donné de conditions. Un idéotype peut être défini tant en termes de conformation que de fonction. Genres d'idéotypes : d'isolement, compétitifs, de culture.

Indépendance : relation entre variables où la variation de l'une n'est pas influencée par celle des autres.

Indice foliaire : rapport de la surface des feuilles d'une culture à la surface de terrain occupée par cette culture; peut également être estimé pour des plants individuels ou des plants faisant partie d'une haie.

Indigène : né dans une région donnée; s'oppose à « introduit ».

Inhibition : état d'un végétal en croissance nulle ou ralentie du fait de la concurrence, d'une maladie ou de l'état du sol (on parle aussi de blocage).

Interaction génotype-milieu : lorsque l'on exécute des tests sur différents sites ou dans différentes conditions culturales, fait de ne pas conserver, pour les différentes populations, les mêmes rangs ou niveaux de différences dans les différents milieux.

Interface arbre-culture : zone dans laquelle une forme quelconque d'interférence existe entre les composantes arbres et cultures d'un système agroforestier.

L

Lignée : groupe d'individus semblables au sein d'une variété.

Litière : couche supérieure de débris organiques jonchant le sol, composée de matériaux végétaux récemment tombés ou légèrement décomposés.

M	P	
Macroclimat : climat à l'échelle d'une région.	Paramètre : caractéristique d'une population.	Plan en rangs parallèles : type d'espacement systématique dans lequel la surface par plant change systématiquement en fonction de la variation de l'espacement inter- et intrarangs, tous les rangs étant parallèles les uns aux autres.
Microclimat : climat qui règne aux environs immédiats d'un végétal.	Parcelle : toute unité expérimentale présentant certains aspects uniformes.	Plan géométrique : type simple de distribution des parcelles visant à examiner l'interface arbres-culture et à mesurer les modifications des végétaux et du milieu induites par l'association d'au moins deux essences.
Modèle : représentation quantitative dont la complexité éventuelle peut nécessiter des manipulations algébriques et arithmétiques. De tels modèles sont très importants en matière d'analyse de système, d'analyse statistique et de nombreux types de simulations informatiques.	Pérenne : qualifie un végétal dont la croissance se poursuit d'année en année.	Population : en génétique, ensemble d'individus ayant le même patrimoine génétique. En statistique, série hypothétique et infinie d'observations possibles dont les observations effectivement réalisées constituent un échantillon.
Monoculture : culture répétée de la même plante sur le même terrain.	Peuplement homogène : ensemble d'arbres présentant un degré suffisant d'uniformité (du point de vue de la composition, de la constitution, de l'âge, de la répartition dans l'espace ou de l'état) pour se distinguer d'autres groupes d'arbres voisins, formant ainsi une unité sylvicole ou culturale.	Porte-greffe : plante ou partie d'un végétal racinée, généralement une tige ou une racine, sur laquelle on greffe une autre partie de plante; également, racines collectives d'un bouquet d'arbres, capables de rejeter.
Morphologie : forme ou aspect extérieur d'un végétal.	Phénologie : étude de l'apparition périodique de phénomènes caractéristiques du cycle vital des organismes dans la nature, par exemple la floraison ou la chute du feuillage, tout particulièrement sous l'influence des facteurs du milieu.	Précision : degré de concordance attendu entre une succession d'estimations indépendantes effectuées par la répétition du procédé d'échantillonnage.
N		
Nodules : nodosités fixatrices d'azote apparaissant sur les racines de légumineuses grâce à des bactéries appartenant entre autres au genre <i>Rhizobium</i> ; leurs forme et taille varient selon l'essence en question.	Phénotype : ensemble des propriétés perceptibles d'un organisme, résultant de l'interaction du génotype et du milieu. Des phénotypes similaires ne donnent pas nécessairement une descendance identique.	Provenance : lieu où se trouvent des arbres, indigènes ou non.
O		R
Origine : pour un peuplement forestier indigène, lieu où se trouvent les arbres dont les semences proviennent. Pour un peuplement non indigène, lieu d'où provenaient les graines ou plants initialement introduits.	Phyllosphère : environnement immédiat des feuilles d'un végétal influencé par celles-ci.	Race locale : population aux caractéristiques génétiques propres dérivant d'une sélection et d'une multiplication artificielle (agriculteurs individuels) ou naturelle (régions reculées).
Orthogonal : qui maintient d'autres facteurs à un niveau constant lors de la comparaison d'un ensemble quelconque de facteurs.	Phytotoxique : toxique pour au moins quelques végétaux.	
	Plan (dispositif) de Nelder : plan systématique d'étude de l'écartement dans lequel les plants sont disposés, le long de rayons et d'arcs, à des distances augmentant systématiquement.	

Ramet : individu faisant partie d'un clone.

Ravageurs : organismes qui, de façon générale, causent des dommages aux végétaux et aux animaux. Il peut s'agir d'insectes, d'oiseaux, de rongeurs ou d'autres mammifères, de plantes adventices, de champignons ou d'autres agents pathogènes.

Recépage : coupe près du sol d'arbres feuillus pour favoriser les rejets.

Recherche : démarche visant à découvrir des faits quelconques par l'étude approfondie d'un sujet donné; enquête de nature critique ou scientifique.

Régression multiple : rapport entre les valeurs fixées d'au moins deux variables (« indépendantes ») et l'estimation d'une variable aléatoire (« dépendante ») dont la distribution dépend des valeurs choisies par les chercheurs.

Régression : technique statistique de modélisation du mode de prédiction d'une variable par une autre.

Répéter : appliquer plus d'une fois un traitement ou une série de traitements en vue d'accroître la précision des comparaisons et de fournir une évaluation de la variabilité parmi des unités expérimentales ayant subi le même traitement.

Rhizobium Spp. : type de bactérie capable de s'associer avec les racines de certaines essences de légumineuses et de fixer l'azote atmosphérique qui pourra être capté ensuite par ces dernières.

S

Scarification : abrasion de l'enveloppe d'une semence ou d'un fruit par des moyens mécaniques, chimiques ou physiques (par exemple, chaleur sèche); souvent nécessaire pour améliorer la germination des graines dures.

Semence récalcitrante : semences de certaines essences dont la viabilité est relativement courte et qui ne se conservent qu'en milieu humide.

Semence certifiée : semence utilisée pour la production commerciale, provenant d'une source de semences agréée sous l'égide d'un organisme reconnu légalement.

Sink : région d'un tissu organique où les matières nutritives ou autres substances se dirigent de façon préférentielle.

Sous-parcelles : dans un ensemble expérimental où les parcelles entières (parcelles principales) subissent un ou plusieurs traitements et où des portions de parcelles subissent un ou plusieurs traitements différents, ces portions sont appelées sous-parcelles.

Stochastique : qui est de nature aléatoire ; dans un processus stochastique, tel événement est lié à des événements antérieurs par le jeu des probabilités.

Stratification : 1. procédé d'échantillonnage selon lequel une population est divisée en strates, chaque strate est échantillonnée et les résultats sont combinés, afin d'accroître la précision ; 2. fait de placer une semence dans un mi-

lieu humide (tourbe, sable, etc.), souvent refroidi, en vue de maintenir sa viabilité et de mettre fin à sa dormance.

Stump : jeune plant dont la tige et la racine ont été rabattues (jusqu'à une longueur de 2 ou 3 centimètres pour la tige et de 10 à 20 centimètres pour la racine), pour être aisément transportable sur le lieu de plantation.

Sylvopastoralisme : combinaison des arbres avec les pâturages.

Systématique : qualifie un plan expérimental dans lequel on applique des traitements méthodiquement, sans randomisation; par exemple, dispositif de Nelder ou plan dans lequel des parcelles adjacentes présentent un espacement ou des taux d'application de traitements qui s'accroissent progressivement.

Système : ensemble de composantes liées les unes aux autres en vue d'un objectif ou d'une fonction analogue ; on parle ainsi de « système agricole », de « système agroforestier », etc.

T

Taungya (système ou méthode) : établissement d'une plantation forestière conjointement à des cultures saisonnières en vue de produire de la nourriture et de réduire le coût de l'implantation.

Test de descendance : test de la constitution génétique d'un individu reposant sur la performance de sa descendance obtenue par un procédé de reproduction défini.

Topoclimat : climat en un lieu donné, tel qu'un champ ou une pente; généralement considéré comme englobant une plus grande zone qu'un microclimat (qui concerne l'environnement immédiat d'un végétal ou groupe de végétaux) et une plus petite zone que le macroclimat (qui concerne une région dans son ensemble).

Treillis : plan en blocs incomplets servant aux essais d'espèces ou de provenances. Dans un treillis carré, le nombre de populations doit être un carré parfait - 9, 16, 25, 49, 64. Les treillis rectangulaires permettent de tester 12, 20, 30, 42 ou 56 populations. L'analyse des treillis est relativement simple.

Variable : toute quantité ou qualité susceptible de varier d'un individu à

l'autre, au sein d'une même population.

Variable aléatoire : observation ou mesure isolée.

Variété : subdivision d'une essence; voir également « cultivar ».

Zone racinaire : couche du sol pénétrée par les racines d'un végétal.

Bibliographie

- Andrew, I.A.** (1986). *Simple experimental designs for forestry trials*. Bulletin N° 75. Rotorua, Nouvelle-Zélande : Forestry Research Institute, 45 p.
- Bogden, A.V.** (1977). *Tropical pasture and fodder plants*. Londres : Longman, 476 p.
- Boland, A.V.** (1986). Selection of species and provenances for tree introduction. J.W. Turnbull, ed. *Multipurpose Australian trees and shrubs : lesser-known species for fuelwood and agroforestry*. Canberra : ACIAR, pp. 45-58.
- Booth, T.H.** (1985). A new method for assisting species selection. *Commonwealth Forestry Review* 64(3) : 241-50.
- Booth, T.H., Nix, H.A., Hutchinson, M.F. et Busby, J.R.** (1987). Grid matching : a new method for homoclimate analysis. *Agriculture and Forest Meteorology* 39(2-3) : 241-55.
- Booth, T.H. et Saunders, J.C.** (1984). Tree species trials in Australia. *Commonwealth Forestry Review*. 63(2) : 93-101.
- Brewbaker, J.L.** (1987). *Leucaena* : a multipurpose tree genus for tropical agroforestry. H.A. Steppeler et P.K. Nair, eds. *Agroforestry : a decade of development*. Nairobi : ICRAF, pp. 289-323.
- Bunting, A.H.** (1976). Maximizing the product, or how to have it both ways. M.G.R. Cannell et F.T. Last, eds. *Tree physiology and yield improvement*. Londres : Academic Press, pp. 1-20.
- Burley, J.** (1985). Global needs and problems of collection, storage and distribution of multipurpose tree germplasm. J. Burley et P. von Carlowitz, eds. *Multipurpose tree germplasm*. Nairobi : ICRAF, pp. 143-221.
- Burley, J.** (1987). Exploitation of the potential of multipurpose trees and shrubs in agroforestry. H.A. Steppeler et P.K.R. Nair, eds. *Agroforestry : a decade of development*. Nairobi : ICRAF, pp. 273-87.
- Burley, J., Huxley, P.A. et Owino, F.** (1984). Design, management and assessment of species, provenance and breeding trials of multipurpose trees. R.D. Barnes et G.L. Gibson, eds. *Provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees*. Oxford, Royaume-Uni : Commonwealth Forestry Institute, pp. 70-80.
- Burley, J. et Styles, B.T.** (1976). *Tropical trees : variation, breeding and conservation*. Londres : Academic Press, 260 p.
- Burley, J. et von Carlowitz, P., eds.** (1984). *Multipurpose tree germplasm*. Nairobi : ICRAF, 318 p.
- Burley, J. et Wood, P.J., comps.** (1976). *A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics*. Tropical Forestry Papers N°10. Oxford, Royaume-Uni : Commonwealth Forestry Institute, 236 p.
- Burns, D.P., comp.** (1986). *Evaluation and planning of forestry research*. NE-GTR-117. Washington, DC : USDA Forest Service, 186 p.
- Cannell, M.G.R.** (1982). «Crop» and «isolation» ideotypes : evidence for progeny differences in nursery-grown *Picea sitchensis*. *Silvae Genetica* 31 : 60-66.
- Cochran, W.G. et Cox, G.M.** (1957). *Experimental designs*. Deuxième édition. New York : Wiley, 618 p.
- Cox, D.R.** (1958). *Planning of experiments*. New York : Wiley, 308 p.
- Darnhofer, T.** (1983). Microclimatic effects and designs considerations of shelterbelts. D.A. Hoekstra et F.M. Kuguru, eds. *Agroforestry systems for small-scale farmers*. Nairobi : ICRAF, pp. 95-111.
- Darnhofer, T.** (1985). *Meteorological elements and their observation*. Document de travail N°14. Nairobi : ICRAF, 42 p.
- Delwaulle, J.C.** (1979). Plantations forestières en Afrique tropicale sèche et espèces à utiliser. *Bois et forêts des tropiques*. Numéro spécial, 178 p.
- Donald, C.M.** (1968). The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17 : 385-403.
- Doran, J.C.** (1986). Seed nursery practice and establishment. J.W. Turnbull, ed. *Multipurpose Australian trees and shrubs : lesser-known species for fuelwood and agroforestry*. Canberra : ACIAR, pp. 59-80.

- Elez, D., ed.** (1984). *The planning and management of agricultural research*. Washington, DC : Banque mondiale, 160 p.
- Evans, J.** (1982). *Plantation forestry in the tropics*. Oxford, Royaume-Uni : Clarendon Press, 449 p.
- FAO** (1973-). *Forest Genetic Resources Information*. Documents divers.
- FAO** (1974). *Tree planting practices in African savannas*. Forestry Development Paper N°19. Rome : FAO, 198 p.
- FAO** (1977). *Savanna afforestation in Africa*. Forestry Paper N° 11. Rome : FAO, 318 p.
- Felker, P., ed.** (1986). *Tree plantings in semi-arid regions*. Amsterdam : Elsevier, 452 p.
- Fernandes, E.C.M.** (1984). *Considerations for the planning, implementation and evaluation of on-farm experimentation in agroforestry farming systems*. Document de travail N°35. Nairobi : ICRAF, 20 p.
- Fisher, R.A. et Yates, F.** (1963). *Statistical tables for biological, agricultural and medical research*. Sixième édition. Edimbourg : Oliver and Boyd, 146 p.
- Goering, H.K. et van Soest, P.J.** (1975). *Forage, fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications)*. Agricultural Handbook 379. Washington, DC : USDA, Agricultural Research Service, 20 p.
- Greaves, A. et Hughes, J.F.** (1976). Site assessment in species and provenance research. J. Burley et P.J. Wood, comps. *A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics*. Tropical Forestry Papers N°10. Oxford, Royaume-Uni : Commonwealth Forestry Institute, pp. 49-66.
- Hartmann, H.T. et Kester, D.E.** (1975). *Plant propagation : principles and practice*. Troisième édition. New York : Prentice Hall, 662 p.
- Hughes, C.** (1987). *International provenance trial of Gliricidia sepium : trial protocol*. Oxford, Royaume-Uni : Oxford Forestry Institute, 47 p.
- Hughes, J.F., Plumptre, R.A. et Burley, J.** (1976). Assessment of wood quality. J. Burley et P.J. Wood, comps. *A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics*. Tropical Forestry Papers N°10. Oxford, Royaume-Uni : Commonwealth Forestry Institute, pp. 143-57.
- Hunt, R.** (1982). *Plant growth analysis*. Statistical Checklist N°4. Cambridge, Royaume-Uni : Institute of Terrestrial Ecology, 7 p.
- Hutchinson, M.F.** (1981). *MAPROJ - a computer map projection system*. Document technique N°39. Canberra : CSIRO Division of Land-use Research.
- Huxley, P.A.** (1983a). *Simplifying the biological / environmental study of mixed cropping agroforestry systems*. Document de travail N°13. Nairobi : ICRAF, 30 p.
- Huxley, P.A.** (1983b). Phenology of tropical woody perennials and seasonal crop plants with reference to their management in agroforestry systems. P.A. Huxley, ed. *Plant research and agroforestry*. Nairobi : ICRAF, pp. 503-25.
- Huxley, P.A.** (1984a). *The basis of selection, management and evaluation of multipurpose trees : an overview*. Document de travail N°25. Nairobi : ICRAF, 112 p.
- Huxley, P.A.** (1984b). Some characteristics of trees to be considered in agroforestry. P.A. Huxley, ed. *Plant research and agroforestry*. Nairobi : ICRAF, pp. 3-12.
- Huxley, P.A.** (1986). *Glossary of terms used in agroforestry*. Methodology for Exploration and Assessment of Multipurpose Trees 6c. Edition revue et corrigée. Nairobi : ICRAF, 134 p.
- Huxley, P.A., comp.** (1987). *Working committee recommendations for initial research proposals*. From the Workshop/Training Course on Agroforestry Research, Hyderabad, Inde. Nairobi : ICRAF, 84 p.
- Huxley, P.A., Akunda, E. et Repollo, A.** (1989). Climate and plant responses : the use of phenological data to help with the choice of woody species for agroforestry systems. W.E. Reifsnyder et T.O. Darnhofer, eds. *Meteorology and agroforestry*. Nairobi : ICRAF, pp. 99-113.
- Huxley, P.A., Burley, J. Darnhofer, T. et Young, A.** (1984). *Assessment methodologies*. Methodology for the Exploration and Assessment of Multipurpose Trees N°3 E. Nairobi : ICRAF, 74 p.
- Huxley, P.A., Mead, R. et Ngugi, D.** (1987). *National agroforestry research proposals for Southern Africa AFRENA*. Nairobi : ICRAF, 94 p.
- Huxley, P.A. et van Eck, W.A.** (1974). Seasonal changes in growth and development of some woody perennials near Kampala, Uganda. *Journal of Ecology* 62 : 579-92.

- Huxley, P.A. et Wood, P.J.** (1984). *Technology and research considerations in ICRAF's «diagnosis and design» procedures*. Document de travail N°26. Nairobi : ICRAF, 80 p.
- International Seed Testing Association** (1976). International rules for seed testing : rules and annexes. *Seed Science and Technology* 4 : 3-177.
- Ivory, M.N.** (1984). Plant health legislation and forest trees. J. Burley et P. von Carlowitz, eds. *Multipurpose tree germplasm*. Nairobi : ICRAF, pp. 241-48.
- Jeffers, J.N.R.** (1959). *Experimental design and analysis in forest research*. Stockholm : Almqvist and Wiksell, 172 p.
- Jeffers, J.N.R.** (1978). *Design and experiments*. Statistical Checklists N° 1. Cambridge, Royaume-Uni : Institute of Terrestrial Ecology, 7 p.
- Jeffers, J.N.R.** (1979). *Sampling*. Statistical Checklists N°2. Cambridge, Royaume-Uni : Institute of Terrestrial Ecology, 7 p.
- Jeffers, J.N.R.** (1980). *Modelling*. Statistical Checklists N°3. Cambridge, Royaume-Uni : Institute of Terrestrial Ecology, 7 p.
- Johnson, D.V.** (1984). Multipurpose palm germplasm. J. Burley et P. von Carlowitz, eds. *Multipurpose tree germplasm*. Nairobi : ICRAF, pp. 249-78.
- Jones, N. et Burley, J.** (1973). Seed certification, provenance nomenclature and genetic history in forestry. *Silvae Genetica* 22(3) : 53-58.
- Kemp, R.H.** (1976). Seed procurement for species and provenance research. J. Burley et P.J., Wood, comps. *A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics*. Tropical Forestry Papers N°10. Oxford, Royaume-Uni : Commonwealth Forestry Institute, pp. 32-48.
- Khosla, P.K. et Khurana, D.K., eds.** (1987). *Agroforestry for rural needs*. Volume 1. Solan, Inde : Indian Society of Tree Scientists, 372 p.
- Lauridsen, E.B., Wellendorf, H. et Keiding, H.** (1987). *Evaluation of an international series of Gmelina provenance trials*. Humlebaek, Danemark : DANIDA Forest Seed Centre, 116 p.
- Mead, R. et Curnow, R.N.** (1983). *Statistical methods in agriculture and experimental biology*. Londres : Chapman and Hall, 348 p.
- Nair, P.K.R., ed.** (1989). *Agroforestry systems in the tropics*. Dordrecht, Pays-Bas : Kluwer, 674 p.
- Namkoong, G.** (1981). *Introduction to quantitative genetics*. Tunbridge Wells, Royaume-Uni : Castle House, 342 p.
- Namkoong, G., Barnes, R.D. et Burley, J.** (1980). *A philosophy of breeding strategy for tropical forest trees*. Tropical Forestry Paper N°16. Oxford, Royaume-Uni : Commonwealth Forestry Institute, 67 p.
- Nelder, J.A.** (1962). New kinds of systematic designs for spacing experiments. *Biometrics* 18 : 283-307.
- Paterson, H.D. et Williams, E.R.** (1976). A new class of resolvable incomplete block designs. *Biometrika* 63 : 83-92.
- Pearce, S.C.** (1976). *Field experiments with fruit trees and other perennial plants*. Deuxième édition. Farnham Royal, Royaume-Uni : CABI, 194 p.
- Raintree, J.B., comp. et ed.** (1983). *Resources for agroforestry diagnosis and design : draft for comment*. Document de travail N°7. Nairobi : ICRAF, 394 p.
- Raintree, J.B., comp. et ed.** (1987). *D&D user's manual : an introduction to agroforestry diagnosis and design*. Nairobi : ICRAF, 114 p.
- Raintree, J.B. et Young, A.** (1983). *Guidelines for agroforestry diagnosis and design : draft for comment*. Document de travail N°6. Nairobi : ICRAF, 36 p.
- Robbins, A.M.J.** (1986). *Home-made hot-wire seed scarifier*. Note technique N°29. Humlebaek; Danemark : DANIDA Forest Seed Centre, 4 p.
- Rocheleau, D., Weber, F. et Field-Juma, A.** (1988). *Agroforestry in dryland Africa*. Nairobi : ICRAF, 312 p.
- Shaw, N.H. et Bryan, W.W., eds.** (1976). *Tropical pasture research : principles and methods*. Bulletin N°51. Slough, Royaume-Uni : Commonwealth Bureau for Pasture and Field Crops, 454 p.
- Simmonds, N.W.** (1985). *Farming systems research : a review*. Document technique N°43. Washington, DC : Banque mondiale, 118 p.

- Stewart, J.L.** (1988). *International trial of central American dry zone hardwood species*. Oxford, Royaume-Uni : Oxford Forestry Institute, 90 p.
- Styles, B.T.** (1976). Taxonomic and biosystematic studies. J. Burley et P.J. Wood, comps. *A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics*. Tropical Forestry Papers N°10. Oxford, Royaume-Uni : Commonwealth Forestry Institute, pp. 15-25.
- Turnbull, J.W.** (1975). *Report on the FAO/DANIDA training course on forest seed collection and handling*. Volumes 1 et 2. Rome : FAO.
- Turnbull, J.W.** (1984). Tree seed supply - a critical factor for the success of agroforestry projects. J. Burley et P. von Carlowitz, eds. *Multipurpose tree germplasm*. Nairobi : ICRAF, pp. 279-98.
- van Soest, P.J.** (1983). *Nutritional ecology of the ruminant*. Oregon, Etats-Unis : O&B Books.
- van Soest, P.J. et Robertson, J.B.** (1985). *Analysis of forages and fibrous foods*. Laboratory Manual for Animal Science N°613. Ithaca, New York, Etats-Unis : Cornell University, 201 p.
- von Carlowitz, P.G.** (1986a). *Multipurpose tree and shrub seed directory*. Nairobi : ICRAF, 272 p.
- von Carlowitz, P.G.** (1986b). *Defining ideotypes of multipurpose trees for their phenotypic selection and subsequent breeding*. Paper presented at an International Workshop on Biological Diversity and Genetic Resources of Underexploited Plants, Kew, Royaume-Uni, octobre 1986, 14 p.
- von Maydell, H.-J.** (1986). *Trees and shrubs of the Sahel : their characteristics and uses*. Eschborn, Allemagne : Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ), 532 p.
- Webb, D.B., Wood, P.J., Smith, J.P. et Henman, G.S.** (1984). *A guide to species selection for tropical and subtropical plantations*. Tropical Forestry Papers N°15. Deuxième édition (revue et corrigée). Oxford, Royaume-Uni : Commonwealth Forestry Institute, 260 p.
- Willan, R.L., comp.** (1985). *A guide to forest seed handling with special reference to the tropics*. Forestry Paper N°20/2. Rome : FAO, 379 p.
- Wood, P.J.** (1987). *The formulation of agroforestry research programmes*. Paper presented at a joint ISTS/IUFRO meeting on agroforestry for rural needs, New Delhi, Inde, 22-26 février 1987, 10 p.
- Wood, P.J.** (1989). Designing agroforestry research programmes. P.A. Huxley et S.B. Westley, eds. *Multipurpose trees : choosing the right trees for the right job*. Nairobi : ICRAF, pp. 53-60.
- Wright, H.L. et Andrew, I.A.** (1976a). Principles of experimental design. J. Burley et P.J. Wood, comps. *A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics*. Tropical Forestry Papers N°10. Oxford, Royaume-Uni : Commonwealth Forestry Institute, pp. 67-82.
- Wright, H.L. et Andrew, I.A.** (1976b). Assessment and analysis. J. Burley et P.J. Wood, comps. *A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics*. Tropical Forestry Papers N°10. Oxford, Royaume-Uni : Commonwealth Forestry Institute, pp. 108-30.
- Yates, F.** (1939). The recovery of inter-block information in variety trials arranged in three dimensional lattices. *Annals of Eugenics* 9 : 136-56.
- Young, A.** (1984). *Land evaluation for agroforestry : the tasks ahead*. Document de travail N°24. Nairobi : ICRAF, 58 p.
- Zobel, B.J., Van Wyk, G. et Stahl, P.** (1987). *Growing exotic forests*. New York : Wiley, 508 p.

Abréviations et acronymes

ACIAR : Australian Centre for International Agricultural Research (Canberra, Australie)	DANIDA : Danish International Development Agency (Copenhague, Danemark)
ADN : Acide désoxyribonucléique	EMBRAPA : Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Brasília, Brésil)
AGRICOLA : Base de données de la Bibliothèque nationale d'agriculture des Etats-Unis	FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
AGRIS : Système international d'information scientifique et technique en matière agricole (FAO, Rome, Italie)	IGM : Interaction génotype-milieu
AMA : Accroissement moyen annuel	ICRAF : Centre international pour la recherche en agroforesterie (Nairobi, Kenya)
AUM : Arbre à usages multiples	ISTA : International Seed Testing Association (Association internationale d'essais de semences - Zurich, Suisse)
BCA : Bloc complet aléatoire	ISTS : Indian Society of Tree Scientists (New Delhi, Inde)
CABI : CAB International (Wallingford, Royaume-Uni - connu auparavant sous le nom de Commonwealth Agricultural Bureau)	IUFRO : International Union of Forestry Research Organizations (Vienne, Autriche)
CATIE : Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Ensenanza (Turrialba, Costa Rica)	KEFRI : Kenya Forestry Research Institute (Muguga, Kenya)
GCRAI : Groupe consultatif sur la recherche agronomique internationale (Washington DC, Etats-Unis)	NFTA : Nitrogen-Fixing Tree Association (Waimanolo, Hawaii, Etats-Unis)
CSIRO : Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (Canberra, Australie)	USDA : United States Department of Agriculture (ministère de l'Agriculture des Etats-Unis - Beltsville, Etats-Unis)
CTFT : Centre technique forestier tropical (Nogent-sur-Marne, France)	

Noms et adresses d'organismes de recherche sur les arbres à usages multiples

**Commonwealth
Scientific and Industrial
Research Organization
(CSIRO)**

Division of Forestry and Forest
Products
Queen Victoria Terrace
Canberra, ACT 2600
Australie

Pakistan Forest Institute
Peshawar, NWFP
Pakistan

**Forestry Research
Institute of Nigeria**
P M B 5054
Ibadan
Nigéria

**Centro Agronómica Tropical
de Investigación y Enseñanza
(CATIE)**
Turrialba 7170
Costa Rica

**Forest Research
Institute and Colleges**
P O New Forest
Dehra Dun, UP 248 006
Inde

**Kenya Forestry
Research Institute
(KEFRI)**
P O Box 20412
Nairobi
Kenya

**Forest Research
Institute of Malaysia**

Locked Bag 201
Kepong
Kuala Lumpur 52109
Malaisie

**Zambia
Forest Research Institute**

P O Box 22099
Kitwe
Zambie

Seed Centre
Escuela Nacional de Ciencias
Forestales
Apartado 2
Siquatepeque
Honduras

**South African
Forest Research Institute**
P O Box 727
Pretoria
Afrique du Sud

**Nitrogen Fixing
Tree Association
(NFTA)**
P O Box 680
Waimanalo, Hawaii 96795
USA

Forest Seed Centre

Danish International Development
Agency (DANIDA)
Krogerupvej 3A
DK-3050 Humlebaek
Danemark

**Zimbabwe Forest
Research Centre**

P O Box HG595
Harare
Zimbabwe

**Organisation
des Nations unies pour
l'alimentation et l'agriculture
(FAO)**

Via delle Terme di Caracalla
Rome 00100
Italie

**Centre technique
forestier tropical
(CTFT)**

45 bis, Avenue de la Belle Gabrielle
94736 Nogent-sur-Marne Cedex
France

**Empresa Brasileira
de Pesquisa Agropecuária
(EMBRAPA)**

C P 04-0315
70312 Brasília, DF
Brésil

Index

A

Acacia, pp. 23, 24, 68, 84
 agriculteur, pp. 14, 15, 16, 18, 21, 29, 41, 61-62, 76
 agriculture, p. 29
 agroforesterie, pp. 11, 20-29, 30, 31, 37, 57, 59, 61, 75, 76, 80, 101, 103
 intervention, pp. 39, 45, 46, 81
 pratique, p. 11
 technique, pp. 13, 15, 16-18, 29, 30, 35, 48, 52, 76, 77, 79, 80, 82, 123
 Agroforestry Systems Inventory, p. 11
 analyse, pp. 37, 81, 83, 102, 106, 108, 109, 111, 117, 128, 130
 chimique, pp. 57, 71, 127
 statistique, pp. 33, 86, 124
 arbre, pp. 54, 55, 65
 implantation, pp. 75-78
 parent, p. 66
 produits, p. 91
 arbre à usages multiples (AUM), pp. 11-15, 21, 22-24, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 39, 41, 46, 47, 51-59, 91-116
 qualités, pp. 22, 23, 25
 tolérance au milieu, p. 91
 aspect génétique, p. 23
 association, pp. 24, 58, 81, 82, 86, 126, 128-130
 Australie, pp. 13, 14, 30

B

bactérie, pp. 72, 76
 banque de données, pp. 13, 14, 30, 125, 126
 basidiomycètes, p. 72
 biologie, p. 30
 biomasse, pp. 55, 56, 82, 84, 86, 123, 127, 128
 bloc, pp. 37, 55, 62, 68, 82, 101-112, 113, 122, 130
 constitution, pp. 35-37, 47, 109
 bois, pp. 51, 55, 91, 125
 bois de feu, pp. 51, 56, 91
 bordure tampon, p. 101
 bouturage, p. 120

C

calcul de surface terrière, p. 56
 carré latin, pp. 35, 109, 110
 carré gréco-latin, pp. 36, 110
Casuarina, p. 72
 Centre de production de semences d'arbres forestiers (Danemark), p. 68

certificat phytosanitaire, p. 41
 champ, pp. 65-67, 106, 108, 111
 champignon, pp. 72, 76
 climat, pp. 13, 32, 46, 47, 53, 75, 80
 clone, p. 33
 clôture, p. 130
 communauté, p. 14
 comparaison homoclimale, pp. 13, 125, 126
 confusion, pp. 36, 37, 87
 CSIRO, pp. 13, 30, 67, 84

D

D&D (Diagnosis and Design), pp. 16-19, 21, 31, 45, 51, 75
 DANIDA, p. 67
 date de repiquage, pp. 75, 121
 décision, pp. 15, 29
 densité du feuillage, p. 51
 descendance, p. 23
 désherbage, pp. 76, 82, 112, 118, 121, 123-125, 130
 diamètre, pp. 51, 53, 55
 fût, p. 56
 tige, pp. 51, 55
 disposition dans l'espace, p. 18

E

eau, pp. 71, 81
 ébranchage, pp. 37, 58, 81, 83, 86, 87, 91, 112, 125, 128-130
 engrais, pp. 75, 76, 89, 111, 123, 124
 enquête, pp. 31, 47
 diagnostic, pp. 51, 61
 ethnobotanique, pp. 15, 125, 126
 préliminaire, p. 18
 terrain, p. 29
 enregistrement des résultats, p. 41
 ensemencement direct, pp. 75, 91, 118
 environnement, pp. 33, 35-37, 53, 76, 81
 espacement, pp. 86-87, 111, 113, 115-117, 130
 essai, pp. 29, 31, 32, 34, 36, 37, 39, 40, 41, 45, 46, 51-59, 65, 69, 75, 101
 agencement, pp. 112, 113
 alimentation, p. 57
 délimitation, p. 112
 élimination, p. 79
 engrais, p. 76
 espèce, pp. 35-37, 62, 125-130
 implantation, pp. 118, 121-124
 pépinière, pp. 119, 120
 pesticide, p. 76
 phénologie, pp. 51, 79

provenance, pp. 35-37, 126-130
 système prototype, p. 62
 vigueur, pp. 51, 79, 127, 129
 essence, pp. 11, 25, 29, 30, 33, 34, 35, 37, 39, 40, 43, 51, 71, 79, 91, 101
 conifère, p. 65
 élimination, p. 51
 exotique, pp. 15, 40, 125, 126
 indicatrice, p. 47
 indigène, pp. 125, 126
 légumineuse, pp. 71, 72
 Etats-Unis, pp. 30, 84
Eucalyptus, p. 84
 évaluation, pp. 30, 39, 45, 51, 62, 69, 70, 101-113
 génétique, pp. 35, 36, 79-87, 93-99
 évaluation, pp. 24, 31, 33, 34, 36, 51-59
 formulaires, pp. 95, 99
 expérience, pp. 11, 16, 29, 30, 31, 33-37, 45-47, 52, 55, 59, 69, 71, 73, 75, 77, 79, 101-113, 117, 130

F

facteur socio-économique, pp. 14, 24
 FAO, p. 65
 foresterie, pp. 12, 15, 29, 79, 80, 84, 85, 102
 forme, pp. 51, 52, 85
 fourrage, pp. 51, 57, 58, 83, 84, 86, 87, 127, 130
 surface, pp. 76, 77, 84, 124
Frankia, pp. 72, 91
 fût, pp. 51, 53, 56

G

GCRAI, p. 30
 génotype, pp. 33, 40
 géologie, p. 47
 germination, pp. 66, 67, 71, 75, 91, 118
 germoplasme, pp. 30, 31, 33, 35, 39-43, 85, 119, 121
 gestion, pp. 11, 18, 29, 31, 35, 51, 53, 57, 71, 73, 75, 81, 82, 84, 85, 91, 102, 112, 117
 eugénique, p. 41
Gliricidia sepium, p. 84
 greffage, p. 119

H

haie, pp. 81, 82, 85, 86, 118, 128, 129, 130
 hauteur, pp. 51, 55, 56
 fourche, p. 56
 tige, p. 51

I

ICRAF, pp. 11, 13, 14, 16, 30, 33, 43, 59, 67
 idéotype, pp. 21-25, 67
 associatif, p. 21
 compétitif, p. 21
 de culture, p. 21
 solitaire, p. 21
 interaction génotype/milieu (IGM), pp. 33, 45
 ISTA, pp. 41, 68

L

Leucaena, p. 84

M

macroclimat, pp. 46, 47, 58
 matériel à repiquer, pp. 69, 75, 120
 matériel, pp. 69, 70-73
 repiquage, p. 122
 matériel de multiplication, pp. 39, 65
 microclimat, pp. 34, 35, 46, 47
 microsite, p. 112
 morphologie, pp. 23, 70, 93, 94, 129
 multiplication, pp. 91, 119, 120
 greffage, p. 119

N

NFTA, pp. 30, 84

O

objectif, pp. 29-32, 33, 35, 52
 ombrage, p. 72
 origine, p. 40
 Oxford Forestry Institute, pp. 13, 14, 56, 67, 84, 96-99

P

paillis, pp. 51, 57, 58, 86, 91
 patrimoine génétique, p. 39
 pépinière, pp. 34, 36, 41, 51, 55, 65, 68, 69-73, 75, 80, 102, 110, 113, 119, 120
 permutation, pp. 101, 106
 pesticide, p. 77
 phénologie, pp. 51, 53-55, 65, 76, 82, 85, 93, 94, 125, 126, 129, 130
 phénophase, p. 53
 phénotype, pp. 33, 67, 120
 plagiotropisme, p. 120
 plan en blocs complets aléatoires (BCA), pp. 101-103, 105, 106, 117, 121, 122, 125, 127-130

plan, pp. 37, 69, 76, 81, 85, 101-113, 117-130
 alpha, pp. 103, 108, 109, 117, 125-129
 bloc-famille, pp. 109, 110
 bloc complet aléatoire, pp. 101, 102, 117
 bloc incomplet, pp. 102-108
 carré latin, p. 109
 classique, pp. 112, 113
 complètement randomisé, p. 109
 expérimental, pp. 33-38, 45, 62
 simplicité de, p. 35
 sous-parcelle, pp. 37, 111, 123
 systématique, pp. 109, 111, 124
 treillis, pp. 102-108, 117
 planification, pp. 29-47
 plante ligneuse pérenne, pp. 11, 12, 14, 80
 population, pp. 40, 55, 67, 80
 d'arbres, pp. 40, 101-103
 de plants, pp. 33-37
 locale, p. 61
 poteaux, pp. 51, 56, 83, 87, 125, 130
 pratique, pp. 11, 13-18
 préparation du sol, pp. 76, 123
 problèmes liés à l'exploitation des terres, pp. 16-18
 produits dérivés, pp. 91-94
 profondeur de pénétration, p. 75
Prosopis, p. 23
 provenance, pp. 14, 23, 34, 35, 37, 39, 40, 43, 69, 71, 79, 82, 83, 86, 101, 102, 125-128

R

race locale, pp. 40, 84, 85, 127, 128
 racine, pp. 120, 122
 habillage, p. 71
 inoculation, p. 72
 produit, p. 91
 système racinaire, pp. 73, 75, 122
 ramification, pp. 51, 56
 randomisation, pp. 35, 36, 101, 106
 ravageurs et maladies, pp. 33, 47, 51, 91, 93-94, 117
 recépage, pp. 24, 58, 81, 83, 91, 112, 120, 12-128
 recherche, pp. 13, 14, 16, 18, 19, 21, 29-47, 52, 59, 61-87
 renseignement, p. 33
 répétition, pp. 37, 70, 71, 87, 101, 103
 fractionnelle, p. 37
 repiquage, p. 71
 reproduction, p. 23
 ressource, pp. 16, 21, 23, 29, 31, 36, 37, 58, 81, 101
 capitaux, pp. 29, 30
 génétique, pp. 29, 39

main-d'oeuvre, pp. 29, 31
 savoir-faire, pp. 29, 31
 terre, pp. 29, 31
Rhizobium, pp. 35, 72, 91
 Royaume-Unie, p. 84

S

sélection, pp. 23, 25
 semence, pp. 14, 39, 83, 85, 118, 119, 127, 128
 approvisionnement, p. 40
 certification, p. 41
 conservation, pp. 39, 65, 67, 91
 essai, pp. 39, 41, 65, 68
 exotique, p. 67
 prétraitement, pp. 67-68, 91
 récolte, pp. 39, 65, 66, 84, 103
 site, pp. 33, 35, 45, 59, 70, 82, 84, 85
 essai, pp. 14, 102
 expérimental, pp. 35, 36, 37, 45-47, 102
 sol, pp. 13, 33, 34, 36, 46, 47, 71, 80, 81, 82, 86, 124
 évaluation, p. 59
 source d'information, p. 30
 station météorologique, pp. 13, 33, 59
 statisticien, p. 117
 stratification froide, p. 67
 stump, p. 122
 survie, pp. 51, 52, 69, 70, 75, 76, 82, 87, 118
 systèmes d'exploitation des terres, pp. 11, 15-18

T

topoclimat, p. 46
 treillis, pp. 35, 36, 103-108, 117, 125-129
 cubique, p. 108

U

utilité, pp. 51, 56, 57

V

valeur calorique, pp. 56, 83
 variabilité phénotypique, p. 23
 variation, pp. 34-37, 47, 58, 67, 83, 85
 aléatoire, p. 102
 échantillonnage, p. 34
 physique, pp. 102, 109, 110
 résiduelle, pp. 34, 35, 37, 101, 110
 site, pp. 102, 106, 109
 topographie, p. 47
 végétation, p. 47
 variété, p. 23
 verger horticulural, pp. 23, 119
 vulgarisation, pp. 16, 19