

techniques de plantations forestières

par
g. w. chapman
et
f. g. allan

département des forêts
division des ressources forestières

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

M-31

ISBN 92-5-200535-8

Reproduction interdite, en tout ou en partie, par quelque procédé que ce soit, sans l'autorisation écrite de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, seule détentrice des droits. Adresser une demande motivée au Directeur de la Division des publications, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie, en indiquant les passages ou illustrations en cause.

© FAO 1979

AVANT-PROPOS

La FAO est redevable à G.W. Chapman et T.G. Allan de la rédaction du présent ouvrage sur les techniques de plantations forestières, dont M. Chapman, qui a une longue expérience des problèmes forestiers de la région méditerranéenne et du Proche Orient, avait élaboré une première version inspirée en grande partie des communications présentées au Colloque Mondial de la FAO sur les peuplements forestiers artificiels et leur importance industrielle tenu à Canberra (Australie) en 1967, complétées par d'autres sources d'information. Ce premier texte a été largement diffusé, et les nombreux commentaires reçus, ainsi que les données nouvelles fournies par la documentation récente, ont permis à M. Allan, qui possède par ailleurs une longue expérience des problèmes de reboisement en Afrique, de le refondre et le remettre à jour en 1977.

Nos remerciements vont également à MM. H.C. Dawkins, L.R. Letourneau, A.I. Fraser et B. Kingston, dont les travaux ont fourni matière aux annexes.

Louis Huguet
Directeur
Division des Ressources Forestières

	<u>Page</u>
Avant-propos	iii
Préface	vii
Préparation du terrain	1
Considérations générales	1
Méthodes manuelles	3
Mécanisation du défrichage	12
Traction animale	35
Méthodes chimiques	36
Sémiss direct	47
Considérations générales	47
Prétraitement des semences	48
Enrobage des semences	51
Préparation du terrain	51
Epoques de semis	52
Méthodes de semis direct	52
Plantation et entretien	57
Plantation	57
Travaux d'entretien	74
Reboisement de terrains présentant des difficultés particulières	85
Terrains où les mesures de conservation des sols et des eaux sont des facteurs déterminants pour le reboisement	85
Terrains irrigables	96
Reboisement des dunes	105
Terrains mouilleux ou marécageux	110
Terrils, crassiers et autres terrains de décharge	118
Protection des reboisements	127
Agents atmosphériques	127
Dégâts d'insectes et de champignons	128
dégâts d'animaux	132
Protection contre le feu	134
Planification de reboisement	141
Introduction	141
Planification des projets de reboisement	142
Rassemblement des données	142
Plan de gestion du projet de reboisement	146
Programme annuel de travaux	152

Annexes	<u>Page</u>
A. Critères de réussite pour les plantations en layons	155
B. Guide pour les tracés et la construction des routes dans les périmètres de reboisement	157
C. Liste succincte d'équipements et d'approvisionnements pour un projet de reboisement	166
D. Planification de la récolte et du traitement des semences	167
E. Analyse de réseau	170
F. Prévisions des travaux à moyen terme	176
G. Exemple de répartition des besoins mensuels de main-d'oeuvre	177
H. Diagramme des flux de dépenses et calculs de prix de revient	178
Bibliographie générale	179
Index	183

PREFACE

Le Colloque mondial de la FAO sur les peuplements forestiers artificiels et leur importance industrielle, tenu à Canberra (Australie) en 1967, a attiré l'attention sur la contribution croissante apportée par les reboisements dans le domaine de la mise en valeur forestière et de la production ligneuse. Selon les estimations faites à la date de ce colloque, la superficie mondiale des forêts artificielles s'élevait à environ 80 millions d'hectares en 1965, et pourrait atteindre en 1985, 200 millions d'hectares (FAO, 1967). Dans certains pays une grosse part de la consommation nationale de bois est, d'ores et déjà fournie par les plantations forestières, tandis que dans d'autres pays on prend de plus en plus conscience des possibilités et des avantages qu'offrent les peuplements artificiels, même là où l'on dispose de réserves importantes de forêts naturelles.

La présente étude est destinée à servir d'ouvrage de référence sur les principales méthodes d'installation des peuplements forestiers artificiels utilisées, dans le monde entier, mais plus particulièrement sur celles convenant aux régions tropicales et subtropicales.

On considérera ici la phase d'installation des peuplements artificiels comme allant du stade de préparation initiale du site de plantation jusqu'au moment où le peuplement a fermé son couvert. Le présent ouvrage traitera donc de la préparation du site de la plantation, de la plantation et du semis direct, des premières opérations d'entretien et de protection, ainsi que des mesures de planification nécessaires pour assurer le bon déroulement des opérations - à l'exclusion de la gestion des peuplements une fois qu'ils ont fermé leur couvert, et des opérations précédant la préparation du terrain telles que la production des plants en pépinière ou le choix des essences et des sites de plantation.

On s'en est tenu aux grandes lignes du sujet et on s'est limité aux techniques les plus importantes et aux principes généraux qui régissent l'installation des peuplements et le planning des opérations. On trouvera de plus en plus des renseignements sur les techniques particulières applicables à telle ou telle zone dans les manuels établis pour des régions ou pour des projets bien déterminés, et dont beaucoup figurent dans l'abondante bibliographie fournie à la fin de chaque chapitre. Une autre bibliographie indiquant les sources d'information de portée plus générale est en outre donnée à la fin de l'ouvrage.

CHAPITRE 1

PREPARATION DU TERRAIN

CONSIDERATIONS GENERALES

Nous traiterons ici de la préparation du terrain uniquement dans le cas de stations à sol consistant, bien drainé ou sec, déjà occupées par une couverture végétale généralement spontanée (le cas des stations offrant des conditions plus difficiles sera examiné au Chapitre 4). Cette couverture végétale peut parfois compromettre le succès de la plantation du fait qu'elle occupe et utilise le sol, qu'elle accapare à l'excès l'eau ou les éléments nutritifs, qu'elle prive de lumière les jeunes plants, ou qu'elle empêche l'application des techniques propres à assurer une bonne installation du reboisement. En pareils cas, il est essentiel de définir des méthodes efficaces et économiques pour éliminer cette concurrence nuisible. Parfois le simple enlèvement de la végétation suffira à créer des conditions favorables à l'installation des jeunes plants sans autre intervention, mais dans d'autres cas il faudra faire en sorte de pouvoir contrôler aisément le recrû et les adventices pendant toute la période d'installation, qui peut durer plusieurs années. La préparation du terrain est un investissement initial qui représente souvent une part importante du coût total du reboisement. L'incidence qu'elle peut avoir sur la rentabilité financière des projets souligne la nécessité de méthodes efficaces et économiques.

L'enlèvement de la couverture végétale spontanée entraînant une modification importante des conditions écologiques, on ne doit jamais entreprendre d'opérations de défrichement du terrain sans savoir quelles en seront les conséquences probables et sans s'assurer, par une planification attentive, que le terrain défriché sera rationnellement utilisé et que toutes les précautions voulues seront prises afin d'éviter l'érosion ou la dégradation du sol.

Dans certaines circonstances favorables, il sera possible d'installer la plantation forestière avec un minimum de perturbation de la végétation naturelle, et peu ou même pas de travail du sol. C'est ainsi par exemple que, là où l'on plante des pins tropicaux à croissance rapide sur des terrains couverts de graminées basses, il est de pratique courante de planter les jeunes pins sans culture préalable du sol, et sans autres travaux préparatoires qu'une incinération de l'herbe au cours de la saison sèche qui précède la plantation. A l'autre extrême, il se peut que l'on ait à supprimer une forêt tropicale humide dense, souvent sous un climat pénible et dans un terrain difficile, avant de pouvoir commencer la plantation. Les sols de ces forêts humides sont souvent fragiles, et de grandes

précautions doivent être prises si l'on veut éviter qu'il en résulte une érosion excessive. Entre ces deux extrêmes on trouve toute une gamme de stations offrant une grande variété de conditions quant au choix des méthodes de préparation du terrain à adopter.

La méthode de préparation du terrain la plus ancienne, et qui reste la plus couramment employée, est celle qui utilise la main d'oeuvre et les outils manuels. Au cours de la période récente, notamment dans les pays où la main d'oeuvre est rare ou chère, on a mis au point des techniques mécanisées, dont beaucoup font appel à des équipements spécialisés pour le défrichement et le travail du sol. La préparation du terrain dans des zones de forêt ou de boisement clair, en particulier sous les climats chauds, est un travail très pénible, auquel des machines puissantes peuvent apporter quelque allègement. La mécanisation permet des rendements horaires ou journaliers élevés, mais elle implique des investissements initiaux importants, et requiert un personnel qualifié pour l'utilisation et l'entretien de l'équipement. Un nouveau progrès a été apporté par l'introduction des phytocides chimiques pour le contrôle ou l'élimination de la végétation indésirable. Certaines méthodes chimiques sont employées à une échelle d'application pratique, mais d'autres en sont encore au stade expérimental; pour beaucoup d'entre elles on ne dispose pas d'information suffisamment complète sur les effets nuisibles qu'elles pourraient avoir sur l'environnement.

Avant d'entreprendre la réalisation d'un projet de reboisement, il convient d'étudier et de mettre au point les méthodes de préparation du terrain, et d'évaluer leur efficacité et leur coût. Dans beaucoup de pays on dispose de techniques manuelles bien connues et bien rodées, mais pour certaines opérations l'emploi de techniques mécanisées ou chimiques peut permettre un abaissement des coûts, ou un accroissement des superficies reboisées. En l'absence d'études antérieures concernant la préparation du terrain, il y aura lieu de procéder à une série d'essais en vue de comparer les techniques locales traditionnelles avec d'autres méthodes nouvelles paraissant susceptibles de convenir dans les stations considérées. Les comparaisons doivent porter sur les mêmes stations ou sur des stations très semblables, et ne pas se limiter à la préparation du terrain mais relier celle-ci aux opérations suivantes de mise en place et d'entretien, et de gestion des peuplements.

Les travaux de préparation du terrain, comprenant l'enlèvement de la végétation et le travail du sol, ou une seule de ces opérations, ont pour objectifs généraux:

- 1) de débarrasser le terrain de la végétation existante de façon à réduire ou supprimer la concurrence qui pourrait gêner la bonne reprise des plants ou avoir des effets défavorables sur les peuplements;
- 2) de cultiver le sol:
 - a) pour faciliter la plantation, favoriser la reprise des plants, et stimuler un développement rapide du système racinaire;
 - b) pour réduire le couvert d'adventices;
 - c) pour diminuer l'érosion en opposant des obstacles physiques ou ruissellement superficiel;
 - d) lorsque l'on prévoit des désherbages mécaniques après la plantation, pour enlever au moment du labour ou avant tous les obstacles superficiels ou souterrains qui pourraient gêner les opérations de désherbage.

Dans des conditions définies il se peut que certains seulement de ces objectifs s'appliquent à une région ou à un projet donnés.

METHODES MANUELLES

On fait appel aux méthodes manuelles de défrichement et de préparation du sol principalement dans les cas suivants:

- 1) lorsqu'il convient de perturber le moins possible le couvert végétal préalablement à la plantation ou au semis;
- 2) lorsque la main d'oeuvre est abondante, bon marché et efficace, ou, dans certains cas, lorsqu'il est socialement désirable d'employer la main d'oeuvre de préférence à d'autres méthodes;
- 3) lorsqu'on ne dispose pas d'équipement mécanique, ou encore que le terrain est trop en pente, trop rocheux, trop humide, ou pour toute autre raison interdisant l'emploi des machines.

Terrains herbeux ou broussailleux

Plantation directe sans défrichement

Dans certaines stations où le couvert végétal est surtout constitué d'espèces herbacées ou d'espèces arbustives de faible hauteur, la plantation peut être effectuée directement avec un minimum de préparation du terrain. C'est le cas des plantations de pins au Zoulouland (Afrique du Sud), où des pins originaires du Sud des Etats-Unis (Pinus eliottii) ont montré une aptitude remarquable à pousser au travers d'un couvert herbacé au stade de maturité, laissé intact, pourvu que l'on veille à maintenir leurs têtes bien dégagées. Aucune préparation du sol n'est nécessaire, et les plants sont simplement mis en place dans des trous ou des fentes ouverts à l'aide d'un plantoir.

La plantation directe sans préparation préalable du sol se pratique également dans beaucoup de pays tempérés septentrionaux, par exemple sur les vieilles forêts de conifères après coupe rase ou sur des landes sèches de bruyères, où le sol contient suffisamment d'éléments nutritifs et d'humidité pour subvenir à la fois aux besoins des jeunes plants et de la végétation spontanée. Dans certains cas il est même souhaitable de maintenir le couvert végétal en raison de la protection qu'il procure aux jeunes plants contre le gel ou l'insolation, ou de son rôle anti-érosif dans les terrains à forte pente. La particularité essentielle de la méthode de plantation directe est que le forestier compte principalement sur les sarclages et dégagements ultérieurs pour éviter aux jeunes plants forestiers d'être étouffés par la végétation spontanée.

Défrichement par bandes ou placeaux

Dans les cas où la concurrence de la végétation herbacée ou buissonnante peut nuire à la jeune plantation, comme il arrive fréquemment dans la région méditerranéenne ou dans d'autres régions à saison sèche marquée, il est indispensable d'éliminer cette végétation avant de planter. Lorsqu'on ne peut pratiquer le brûlage sans danger, ou qu'il serait trop coûteux de défricher et travailler toute la surface du terrain, on limite le défrichement à des placeaux relativement peu étendus ou à des bandes étroites, où l'on mettra en place ensuite les plants forestiers. Les placeaux ou bandes défrichés auront une largeur d'au moins 1 mètre, ou mieux 1,50 mètre, et seront soigneusement piochés de façon à obtenir une bonne couche de sol meuble pour le semis ou la plantation. Les outils les plus communément employés pour ce travail sont la pioche, la houe lourde et le hoyau, le plus efficace étant la pioche avec d'un côté un fer de houe ou de pioche, de l'autre un pic ou une lame tranchante (pioche-hache).

Sur les versants sujets à l'érosion, les placeaux et bandes défrichés sont habituellement disposés suivant les courbes de niveau, la végétation dessouchée étant empilée le long du bord inférieur pour éviter l'entraînement de la terre par le ruissellement. Là où les conditions de sol le permettent, on peut labourer les bandes de niveau.

Au Maroc, la méthode de préparation du sol la plus usitée pour la plantation d'Eucalyptus gomphocephala et Pinus halepensis, dans des sols de piémonts couverts de broussailles, consiste à défricher et piocher des placeaux de 50 à 70 cm au carré. Ce travail du sol est fréquemment associé à des mesures de conservation du sol et des eaux telles que fossés de niveau, gradins ou banquettes.

Brûlage

Le brûlage contrôlé des terrains couverts d'herbe ou de broussailles basses préalablement à la plantation est de pratique courante dans beaucoup de pays, et l'on peut dire que c'est la plus ancienne méthode connue de destruction de la végétation, et sans doute la moins coûteuse. Le brûlage contrôlé exige une bonne organisation des opérations. En général on commence par établir, par défrichage ou recépage, un coupe-feu tout autour du terrain, et par brûler une bande d'au moins 50 mètres de large en direction du vent, le feu étant contrôlé par des ouvriers disposés à la périphérie. Une fois qu'une bande sous le vent suffisamment large a été débarrassée de toute matière inflammable, le reste du périmètre est mis à feu, et on laisse le feu se propager avec le vent. Le meilleur moment pour pratiquer ce brûlage est en fin d'après-midi ou à la tombée de la nuit, où le vent se calme généralement; le feu risque alors moins d'échapper au contrôle.

Le brûlage peut dans certains cas être nuisible, par exemple en stimulant la régénération d'espèces indésirables, en aggravant l'érosion, ou en favorisant l'éclosion de maladies cryptogamiques (exemple: Rhizina undulata sur Pinus sylvestris).

Terrains couverts de végétation arbustive ou de forêt

Sur les terrains couverts de végétation ligneuse on emploie deux grandes catégories de techniques:

- 1) le recépage, qui laisse les racines dans le sol;
- 2) le dessouchage, qui comporte une extirpation des racines.

Recépage sans extraction des racines

Coupe rase

Le défrichage d'un terrain couvert d'une végétation arbustive ou arborescente plus ou moins dense est presque toujours coûteux en main d'oeuvre, bien que l'on puisse réduire le coût en argent d'un projet lorsqu'une bonne partie du bois extrait a une certaine valeur commerciale, comme bois de chauffage ou de carbonisation, piquets, perches, bois de pâte ou même bois de sciage. Dans ce cas, les opérations de défrichage sont souvent confiées à des entrepreneurs ou à des tâcherons. La forme de ces contrats de défrichage varie naturellement beaucoup d'une région à l'autre du globe, en fonction notamment de la valeur marchande et de l'utilisation possible des bois à enlever. Dans des cas favorables, le défrichage peut se solder par un revenu net, qui sera récupéré soit en espèces, soit sous la forme de prestations supplémentaires concernant la préparation du terrain telles que clôtures, fossés, ou la construction de routes d'accès.

Dans d'autres cas, le terrain à préparer pour la plantation peut consister en une forêt précédemment exploitée, dans laquelle la totalité ou presque des bois utilisables a déjà été extraite, ne laissant que les déchets de coupe mêlés à des grumes non marchandes, rejets de taillis, sous-étage forestier, bambous, etc. Il n'y a alors guère d'autre solution que d'y entrer avec des équipes de nettoyage pour couper toute la végétation et l'incinérer sur place, ou l'empiler en tas ou en andains que l'on pourra brûler ou laisser pourrir.

En Nouvelle Guinée Papouasie, on coupe à blanc par des méthodes manuelles la forêt dense primitive sur les terrains à planter. Une première équipe parcourt la coupe en recépant le sous-bois et les tiges jusqu'à 7,5 cm de diamètre, ouvrant ainsi la voie à l'équipe suivante qui abat tous les arbres de plus gros diamètre et ébranche les plus grands. 6 à 8 semaines plus tard, pendant une courte période sèche, on brûle systématiquement les surfaces exploitées; en général seules les grumes les plus grosses ne sont pas consommées. Le recépage du sous-bois et l'abattage des arbres requièrent à eux seuls jusqu'à 50 journées de travail par hectare.

Au Ghana, la futaie tropicale est également défrichée manuellement avant la plantation. Après un passage en exploitation sélective, les peuplements de densité insuffisante sont débarrassés du sous-bois et des arbres de faible diamètre par des ouvriers munis de machettes, et les grands arbres sont ensuite abattus à la scie à moteur ou empoisonnés. On effectue lors de l'abattage un ébranchage partiel pour faciliter l'incinération, mais on ne procède pas à une mise en tas ou en andains. Le brûlage en plein se fait pendant la saison sèche. Les opérations d'abattage et de brûlage requièrent en moyenne 86 journées de travail par hectare.

On pratique un défrichement manuel similaire à grande échelle dans des forêts denses tropicales de plaine de faible valeur commerciale dans le projet du Rio Jari en Amazonie (Brésil); les tracteurs lourds y ont fait place à des équipes nombreuses de tâcherons étroitement supervisés (Palmer, 1977).

En Nouvelle Guinée Papouasie comme au Ghana et au Brésil, les essences que l'on plante après défrichement sont des essences de lumière, qui exigent une élimination complète de la végétation existante. Avec des essences moins héliophiles il n'est pas nécessaire et il peut même être contre-indiqué d'enlever toute la végétation forestière spontanée. C'est pourquoi on a mis au point des méthodes de défrichement partiel, que l'on peut appeler défrichement "par bandes" ou "par layons", dans lequel la végétation est complètement éliminée sur des layons ou bandes à intervalles réguliers, ou "coupe d'éclaircissement en vue de plantation en sous-étage", dans laquelle on élimine totalement la strate basse et les essences de sous-étage tout en éclaircissant systématiquement l'étage dominant de sorte que les houppiers des grands arbres conservés projettent sur le sol une mosaïque d'ombre et de lumière.

Défrichement par bandes

Cette méthode a été largement employée sous les tropiques en liaison avec:

- 1) des plantations d'enrichissement, visant à accroître la proportion d'essences nobles dans la forêt naturelle sans éliminer les arbres de valeur existants;
- 2) des plantations de conversion, visant à remplacer totalement le peuplement existant par une nouvelle forêt entièrement artificielle (FAO, 1970).

Bien que ces deux méthodes de reboisement diffèrent quant à leur but, les techniques employées sont souvent très semblables. Dans les deux cas on plante des essences de lumière à croissance rapide sur des layons ouverts à travers la forêt après une réduction variable du couvert; dans les plantations d'enrichissement une partie des arbres de la forêt naturelle est destinée à être conservée, tandis que dans les plantations de conversion tous seront finalement enlevés. La largeur des bandes défrichées et leur écartement varient, mais la méthode d'exécution est essentiellement la même.

La première étape consiste à défricher un layon de base (s'il n'existe pas de route ou de sentier pouvant en tenir lieu) perpendiculairement à la direction prévue des lignes de plantation, que l'on détermine en fonction de la topographie, des futures voies de vidange, ou encore de l'ombrage latéral (dans beaucoup de pays d'Afrique occidentale on préfère une orientation est-ouest). Les layons de plantation sont ensuite "flachés"

perpendiculairement au layon de base par une équipe de machettes, l'orientation correct étant maintenu à l'aide d'une boussole de poche ou d'une simple alidade. Les layons flachés sont ensuite défrichés à la largeur voulue par des équipes de débroussaillage et d'abattage. Les matériaux abattus sont empilés sur un des côtés du layon pour les laisser pourrir, ou de préférence brûlés si les conditions atmosphériques s'y prêtent. Les bandes défrichées sont piochées à la houe en lignes ou par placeaux, et sont alors prêtes pour la plantation ou le semis. Les arbres se trouvant sur les interbandes qui pourraient ombrager verticalement ou latéralement les jeunes plants sont soit abattus, soit tués par annélation circulaire ou empoisonnement, l'intensité de cette élimination variant selon que l'objectif de la plantation est l'enrichissement ou la conversion.

Bien que la plantation en layons ait été largement utilisée sous les tropiques, elle a connu des succès variables. Un certain nombre d'auteurs ont cherché à identifier les causes de réussite ou d'échec (Catinot, 1969; Dawkins ex Lamb, 1967; Groulez, 1976; Jackson, 1974; Lamb, 1969). Les meilleurs résultats ont été obtenus avec les plantations de conversion en layons en Afrique occidentale francophone. Les plantations d'enrichissement en layons, par contre, ont été abandonnées dans certains pays, après avoir été pratiquées pendant un certain nombre d'années. Dans certains cas la raison en était que les techniques employées s'avéraient inefficaces; mais nombre de ces échecs auraient pu être évités si l'on avait respecté les critères généraux de réussite formulés par Dawkins (ex Lamb, 1967), et reproduits en Annexe A. En particulier, il est indispensable d'ouvrir rapidement et complètement le couvert vertical, et d'utiliser des essences susceptibles d'avoir une croissance initiale rapide et de résister à la concurrence des adventices (Jackson, 1974). Dans d'autres cas la demande croissante de produits ligneux, notamment ceux provenant d'éclaircie, a fait opter en faveur des plantations en plein de préférence aux plantations en layons. Dans l'ensemble on observe une tendance à passer des plantations en layons à des formes plus intensives, telles que la plantation en plein ou la plantation en taungya. La plantation en layons est cependant encore largement usitée dans certains pays, et fait l'objet d'études dans un certain nombre d'autres pays. Elle conserve toute sa valeur pour la régénération des forêts exploitées lorsqu'un système d'aménagement plus intensif serait antiéconomique, ou lorsqu'il convient de maintenir les conditions de la forêt naturelle dans un but de protection de l'environnement.

Dans le Protectorat Britannique des Iles Salomon, par exemple, la plantation en layons est maintenant la méthode classique de reboisement à grande échelle dans les forêts naturelles après passage en exploitation (Jackson, 1964). Des layons de 3 mètres de large sont ouverts à 13 mètres d'intervalle; les plants sont espacés de 3,60 mètres sur la ligne. Dans les interbandes tous les arbres de plus de 5 cm de diamètre environ qui ne peuvent être abattus économiquement à la machette sont empoisonnés à l'arsénite de sodium par incisions annulaires deux mois après la plantation. Les deux premiers nettoiemnts sont faits au niveau du sol à 2-3 mois d'intervalle, les suivants à hauteur de genou à 3-4 mois d'intervalle pendant les 18 premiers mois. Ensuite on procède à des déliages lorsque nécessaire. En 1970 les besoins en main d'oeuvre, à l'exclusion de la surveillance, étaient de 55 hommes-jours/ha, se répartissant comme suit:

<u>Opération</u>	<u>Homme-jours/ha</u>
Préparation du terrain (défrichement des layons, empoisonnement, chemins d'accès)	19
Production des plants et plantation	11
Entretien (dégagements, déliage, entretien des limites) pendant 3 ans	25
	<hr/>
	55

Coupe d'éclaircissement en vue de plantation en sous-étage

Cette méthode pourrait être considérée comme une transposition ou une adaptation du système européen de régénération par "coupes d'ensemencement" ou "coupes progressives". Elle s'applique plus particulièrement dans les cas où:

- 1) l'essence à introduire demande (ou tolère) un ombrage vertical au cours des premières années suivant la plantation;
- 2) la forêt existante renferme un nombre relativement élevé de tiges indésirables de fort diamètre dont l'extraction serait exagérément coûteuse ou difficile;
- 3) la forêt existante renferme un certain nombre d'essences de valeur qu'il est souhaitable de conserver, l'objectif de la plantation étant soit d'enrichir la forêt avec les mêmes essences, soit d'y introduire un nouveau peuplement composé d'autres essences.

La pratique habituelle consiste à rabattre ou recéper toute la végétation basse (taillis bas et arbres de moins de 10 cm de diamètre), qui est ensuite empilée et brûlée lorsque c'est possible, de façon à laisser la surface du sol suffisamment accessible pour la plantation. On cerne ensuite une partie des arbres restants, en laissant suffisamment de tiges dans l'étage dominant pour obtenir au niveau du sol la mosaïque désirée de soleil et d'ombre. On supprime sélectivement, par annélation circulaire, les arbres restants au cours des années suivantes, en fonction de l'évolution du peuplement planté en sous-étage. La densité optimale du peuplement abri est celle qui assure un ombrage suffisant pour maintenir le sol plus ou moins libre d'adventices et de recrû, tout en laissant pénétrer assez de lumière pour permettre une bonne installation du jeune peuplement.

L'annélation circulaire a le maximum d'efficacité lorsqu'on l'effectue pendant la saison de végétation active. Il faut avoir soin d'enlever une bande complète d'écorce, en entamant le bois de façon à s'assurer que le cambium est complètement sectionné. Beaucoup d'essences ne sont pas tuées complètement la première année qui suit l'annélation, et végètent encore pendant plusieurs années avant de mourir. On tend de plus en plus à pratiquer l'annélation avec application de phytocide, décrite plus loin dans le présent chapitre.

A moins que les arbres de l'étage dominant aient une certaine valeur commerciale, auquel cas ils sont abattus et vidangés au travers de la jeune plantation en sous-étage, la pratique normale consiste à les laisser pourrir sur pied: les branches latérales tombent au fur et à mesure qu'elles pourrissent, et le chandelier qui reste finit par s'abattre, en ne causant en général que des dégâts négligeables à la jeune plantation. L'expérience montre toutefois que sur de fortes pentes les troncs, en tombant, peuvent rouler et occasionner un dommage considérable au jeune peuplement. Il faut mentionner également le danger présenté par les branches qui tombent des arbres morts, ce qui fait que la main-d'oeuvre répugne à travailler dans les zones ainsi traitées.

On peut trouver un exemple de plantation sous abri après coupe d'éclaircissement en Grande Bretagne, où Tsuga heterophylla est souvent planté en sous-étage de feuillus tels que Bouleau (Betula), vieux taillis de chêne (Quercus) ou Frêne (Fraxinus).

Dessouchage

Il est nécessaire de dessoucher lorsqu'on prévoit ultérieurement un travail du sol, souvent mécanisé, qui requiert l'élimination des racines. Le dessouchage manuel est la méthode la plus ancienne et la plus courante. Il peut être exécuté en régie ou par des tâcherons, à l'aide principalement de bèches, houes, pioches et haches. L'opération comprend l'excavation, la coupe des racines et l'abattage; dans la plupart des cas on élève l'arbre entier au moment du dessouchage. On creuse le sol autour de l'arbre, la profondeur et la largeur de l'excavation variant selon la taille de l'arbre et du système racinaire. Lorsqu'elle est terminée, on sectionne les racines latérales et on abat ensuite l'arbre en

couplant le pivot. Au Nigeria, le rendement du travail de dessouchage varie selon la surface terrière unitaire: le dessouchage d'un hectare de savane, avec une surface terrière de 9 m²/ha, exige une moyenne de 65 hommes-jours/hectare, tandis qu'une forêt claire avec 13 m²/ha requiert 123 hommes-jours (Allan et Akwada, 1977).



Le dessouchage manuel, encore largement usité en Afrique, est une tâche pénible qui requiert beaucoup de main-d'oeuvre. (Photo T.G. Allan)

Elimination des déchets

Si la végétation coupée est suffisamment dense pour alimenter un feu intense, on peut l'incinérer sur place sans l'empiler en tas ou en andains. Dans le cas contraire, les ouvriers ramassent et empiètent les matériaux coupés à l'écart des lignes de plantation, où on peut les incinérer ou les laisser se décomposer. Si les andains ne sont pas brûlés, on doit y ménager des brèches de place en place pour permettre l'accès en vue de l'entretien de la plantation, ou de la lutte contre le feu. Dans le cas de l'incinération, les déchets sont le plus souvent ramassés en andains, ou débités en rondins que l'on empile autour des bois de gros diamètre pour en faciliter l'inflammation et la combustion. Le brûlage des andains est décrit plus loin page 63, et l'opération suivante de mise en place de la plantation pages 148 et 149.

Lorsque le défrichement est effectué à proximité de centres de population, on peut souvent écouler les produits comme bois de chauffage, ce qui non seulement constitue une utilisation rationnelle de cette ressource mais peut également être socialement et économiquement profitable du point de vue du projet de reboisement. Une autre possibilité est d'autoriser la fabrication de charbon de bois, qui permet une utilisation plus complète des produits du défrichement que le bois de chauffage; en outre le charbon de bois étant plus léger peut être économiquement transporté sur de plus longues distances.

Taungya

L'agrosylviculture peut être définie comme un système combinant cultures agricoles ou élevage - ou les deux - avec la culture d'essences forestières, dans le but d'obtenir une production totale par unité de surface optimale tout en étant compatible avec l'objectif principal et avec une utilisation rationnelle des terres. On peut faire entrer dans cette définition la taungya ou shamba, système dans lequel on combine la plantation forestière avec une culture agricole temporaire. Avec ce système, la préparation manuelle du terrain est effectuée par les agriculteurs, qui utilisent la terre pour leurs cultures vivrières pendant la période d'installation du peuplement forestier.

Taungya est un mot birman qui désigne une parcelle de terrain soumise à la culture itinérante telle qu'elle est pratiquée dans les forêts denses des régions montagneuses. Shamba est le terme swahéli employé dans l'Est africain pour un défrichement similaire en savane ou en forêt.

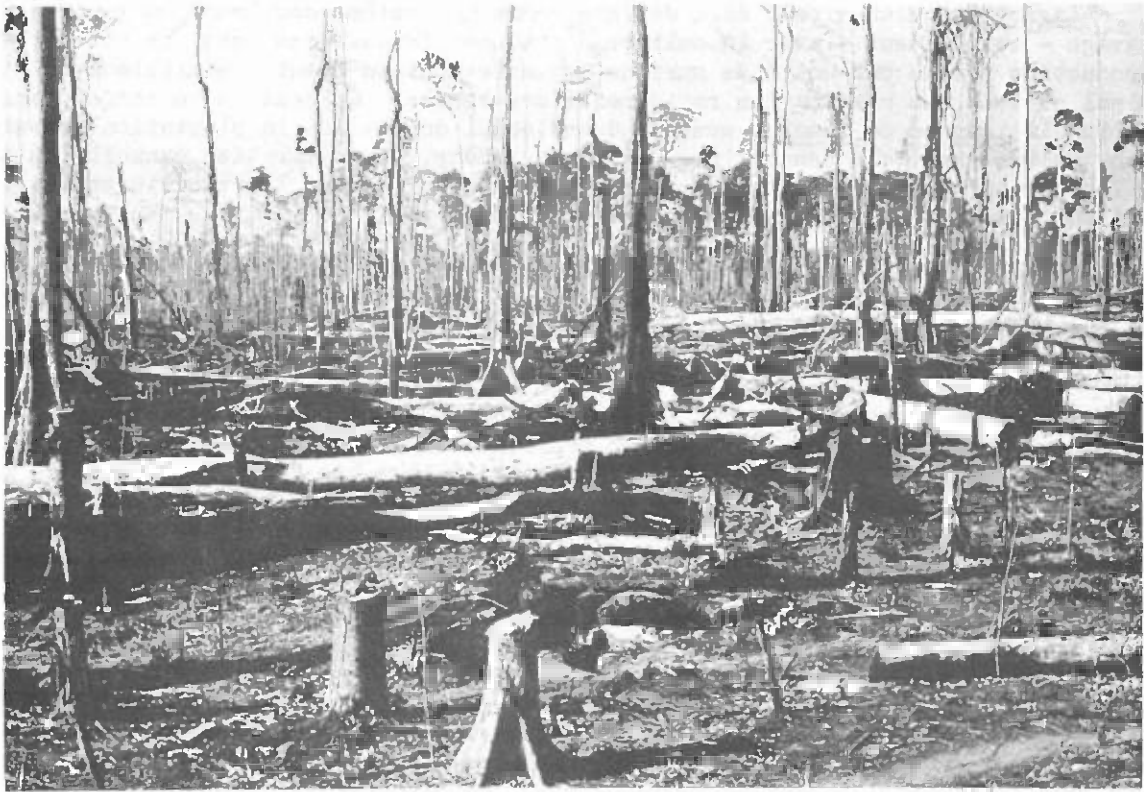
Le système de plantation en taungya est très souvent répandu dans les régions tropicales où la culture itinérante est de pratique courante. La culture itinérante est une forme d'agriculture primitive mais efficace là où la terre n'est pas limitée. La caractéristique essentielle des sols de ces régions est une diminution rapide de leur fertilité lorsqu'ils sont cultivés; même si l'application d'engrais chimiques permettait d'y remédier, les agriculteurs n'auraient pas les moyens de les acheter. A défaut d'engrais, on recourt à une jachère arbustive pour restaurer la fertilité du sol. Cependant, partout où la terre est limitée en regard d'une population en expansion, le cycle cultural est raccourci, avec pour conséquence une perte de fertilité, et souvent une dégradation des sols.

L'instauration du système traditionnel de plantation en taungya n'est possible que là où il y a une forte demande de terre, et des agriculteurs laborieux et démunis de terres. Dans ce système, l'agriculteur reçoit en attribution une parcelle de forêt naturelle qu'il défriche par dessouchage, coupe et incinération. La parcelle est ensuite cultivée avec des outils manuels et utilisée pour la production de cultures vivrières pour l'agriculteur et sa famille, la vente des surplus de récoltes fournissant en outre un revenu en argent. On introduit les plants forestiers dans la culture agricole à un moment tel qu'ils puissent être désherbés pendant au moins une année, et être bien installés lorsque l'agriculteur abandonnera la parcelle pour aller défricher et cultiver une autre surface de taungya.

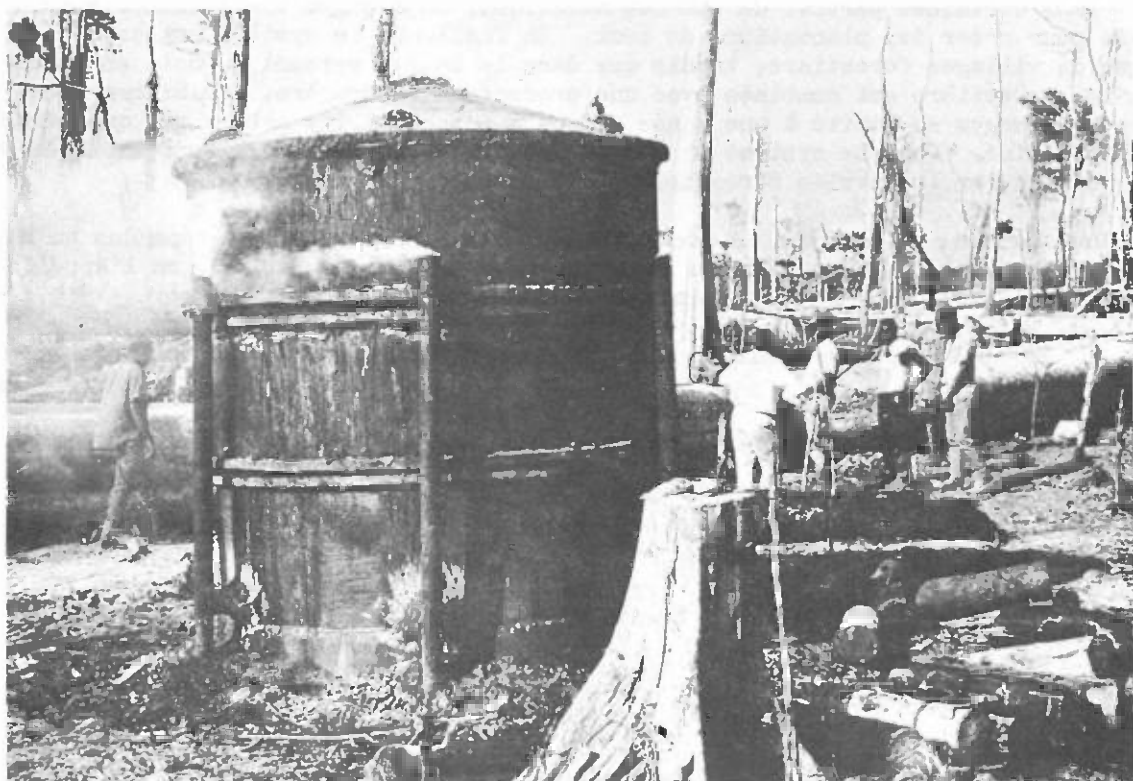
Dans certaines parties du Sud-Est asiatique, la taungya traditionnelle est très utilisée pour créer des plantations de teck. En Thaïlande, ce système est associé à la création de villages forestiers, tandis que dans le bassin versant du Solo en Indonésie la plantation forestière est combinée avec une production fourragère. Au Sierra Leone la culture en taungya se limite à une année, et on y introduit les arbres dès que le défrichement est terminé. Dans le système shamba au Kenya, les cultivateurs sont employés 9 mois par an ou plus par le Service forestier.

Une variante du système de taungya traditionnel est largement répandue au Nigéria sous le nom de "culture rémunérée" ou "taungya directe", et au Ghana où on l'appelle "taungya en régie". Les principales caractéristiques en sont les suivantes (Olamoye, 1975):

- 1) Les cultivateurs employés à la taungya sont recrutés comme salariés du service forestier.
- 2) Il n'est pas indispensable qu'il y ait pénurie de terres pour pouvoir pratiquer cette taungya.
- 3) Le service forestier reste propriétaire des récoltes agricoles en même temps que des arbres plantés.
- 4) Il n'y a pas attribution de parcelles de culture individuelles.



Au Ghana une grande partie des déchets lourds restant sur les terrains à reboiser après exploitation sélective de la forêt dense, défrichage manuel et brûlage en plein sont utilisés pour la production de charbon de bois. La plantation et les travaux d'entretien sont ensuite effectués manuellement. (Photo D.A. Harcharick)



Bien qu'il y ait de nombreuses modalités d'application du système taungya, les stimulants employés résident dans tous les cas essentiellement sur la participation. Le tableau ci-dessous montre les apports respectifs des partenaires, et les profits et avantages à en attendre:

	Apports	Profits et avantages
Cultivateurs	Travail (en échange de l'usage de la terre et de salaires)	Revenus en salaires ou autres avantages Aliments pour la consommation domestique Argent provenant de la vente des surplus de récoltes Logement, services sociaux, écoles, infrastructure
Service forestier (ou gouvernement)	Terre Encadrement, outils et équipement Logements et services Emploi	Réduction des coûts directs du reboisement Production de bois à long terme Réduction de la culture itinérante

On ne retrouve pas tous ces éléments dans tous les cas, mais ils constituent un schéma général. Pour les agriculteurs itinérants sans terres l'attribution de terres pour leurs cultures vivrières est l'un des stimulants les plus efficaces pour les inciter à participer aux plantations en taungya.

Le système taungya est né du désir de trouver un substitut aux pratiques néfastes de la culture itinérante, et de réduire les coûts d'installation des plantations forestières. Etant une forme de culture itinérante contrôlée, qui réduit au minimum le dommage causé au sol du fait de la création d'un couvert arborescent efficace, ce système n'occasionne pas les perturbations qu'un changement trop radical des pratiques agricoles pourrait entraîner pour les agriculteurs traditionnels. Dans le passé, la taungya a permis de réduire le coût du reboisement; plus récemment, les économies incontestables ainsi réalisées ont été consacrées en partie sinon en totalité, comme en Thaïlande ou au Kenya, à des actions de développement communautaire en faveur des populations forestières, qui se voient ainsi récompensées de leur contribution aux actions de reboisement. La taungya traditionnelle peut être considérée comme une forme intermédiaire de mise en valeur, dans une évolution menant de l'agriculture itinérante à une agriculture sédentaire ou à un régime d'emploi permanent en forêt, ou encore, peut-être, à un système mixte de petite exploitation et d'emploi à temps partiel.

La culture intensive des parcelles de taungya fait baisser la fertilité du sol, notamment du fait que l'on apporte rarement un appoint de fertilisation, et qu'il y a concurrence entre les cultures vivrières et les plants forestiers. C'est ainsi qu'au Kenya, par exemple, des arbres plantés sur un sol cultivé nu ont montré une croissance en hauteur de 15% supérieure à celle d'arbres plantés dans une shamba de maïs, et de 8% supérieure à celle d'arbres plantés dans une shamba de haricots (Kenya, Forest Department, 1967). Dans une autre région, celle de Turbo, par contre, on n'a noté aucune diminution relative de la croissance dans un maïs ayant reçu une fertilisation.

MECANISATION DU DEFRICHEMENT

Le travail manuel permet d'effectuer à peu près toutes les opérations de reboisement, et il peut même à grande échelle s'avérer efficace et économique. Au Brésil, par exemple, on a commencé par défricher la forêt spontanée avec des tracteurs, mais les coûts élevés et les faibles rendements ont amené à revenir à des méthodes manuelles; à l'heure actuelle presque toutes les opérations sont exécutées par des équipes nombreuses de tâcherons travaillant sous la surveillance des responsables des projets (Palmer, 1977). Dans d'autres régions, par contre, les effectifs de main-d'oeuvre nécessaires pour l'exécution des projets, et les coûts correspondants, peuvent rendre cette solution tout à fait irréalisable. La mécanisation offre alors un recours efficace.

Un grande partie des opérations de préparation du terrain décrites ci-dessus peuvent être mécanisées, et l'on dispose pour cela d'une large gamme de machines et d'équipements. L'objet principal de la mécanisation dans les plantations forestières est d'effectuer certaines opérations plus efficacement et plus économiquement. Là où les méthodes manuelles permettent de faire un travail satisfaisant et économique, et où la main-d'oeuvre est abondante et qualifiée, seules les opérations dépassant les possibilités de la main-d'oeuvre et de l'encadrement appellent une mécanisation.

On objecte souvent que la mécanisation réduit les possibilités d'emploi. Lorsqu'on compare les avantages respectifs du travail manuel et de la mécanisation, il convient de peser les bénéfices sociaux par rapport aux coûts-bénéfices d'autres solutions plus efficaces. Par exemple, un projet de reboisement bien étudié et réalisé avec succès, qu'il soit mécanisé ou à base de main-d'oeuvre nombreuse, procurera à long terme davantage d'emplois directs permanents, et d'emplois indirects supplémentaires dans les industries du bois, qu'une opération qui ne serait pas viable. En règle générale, par conséquent, lorsque la mécanisation de grands projets de reboisement permet de réduire les coûts et d'assurer la viabilité des projets, il en résulte rarement une diminution de l'emploi, mais bien plutôt un accroissement des possibilités d'emploi dans la limite des critères économiques définis lors de la planification des projets.

La mécanisation au sens strict du mot signifie l'introduction de machines pour suppléer la main d'oeuvre employée à l'exécution d'opérations données. Dans le présent ouvrage ce terme désigne essentiellement des engins mobiles mûs par moteur tels que les tracteurs, mais il comprend aussi les scies à chaîne et autres engins portatifs à moteur, dont l'utilisation emploie beaucoup de main d'oeuvre. L'emploi de la traction animale est traitée à part.

Principes de la mécanisation

Lorsqu'on projette de faire appel à la mécanisation, il convient d'observer certains principes fondamentaux, qui ne s'appliquent d'ailleurs pas seulement à la phase de préparation du terrain mais également à l'ensemble des opérations de reboisement.

Dans le choix des machines et des outils pour le reboisement, il est essentiel de s'assurer qu'ils seront pleinement adaptés au travail qu'on en attend. Il peut par exemple sembler avantageux d'acquérir une machine capable d'effectuer un certain nombre d'opérations différentes, mais si un tel compromis amène à choisir un équipement qui n'est pas parfaitement adapté à l'opération clé, son utilité réelle s'en trouvera quelque peu dépréciée. Cette remarque souligne la nécessité d'effectuer des essais en vue de déterminer les types d'équipements les mieux adaptés et les plus efficaces pour une opération donnée.

La planification des opérations sur le terrain doit viser à une efficacité maximale dans l'emploi des machines sélectionnées. Dans l'implantation du parcellaire de reboisement on doit se rappeler que des blocs de grande étendue permettent une meilleure efficacité que des petites surfaces disséminées. Le tracé du réseau de routes et chemins doit permettre un accès facile et ménager des tournières pour les véhicules et engins. Afin de réduire les temps morts employés à tourner, il faut prévoir de longs trajets de tracteur, de préférence dans deux directions perpendiculaires. La question de l'espacement des plants est un autre

facteur clé qui affecte l'avenir du peuplement et l'efficacité de l'équipement; la comparaison entre les nombreux choix possibles demande beaucoup de réflexion et de discernement. Un espacement de moins de 2,80 mètres, par exemple, est rarement possible lorsqu'on utilise des tracteurs agricoles normaux.

Une condition essentielle est que tous les conducteurs de machines soient parfaitement qualifiés dans l'emploi de l'équipement qui leur est confié. Une conduite défectueuse et un mauvais emploi du matériel entraînent couramment une baisse de plus de 50% dans le rendement des tracteurs. Dans beaucoup de pays en développement où l'on manque de conducteurs de machines qualifiés, il est indispensable de prévoir les moyens de leur donner une formation professionnelle satisfaisante. Pour les inciter ensuite à maintenir et améliorer la qualité de leur travail, il y a lieu de leur accorder des avantages financiers ou autres, basés sur l'état d'entretien du matériel employé.

Un point extrêmement important en matière de mécanisation est l'organisation d'un service de réparation et d'entretien pourvu d'un personnel compétent, et assuré d'un approvisionnement en pièces de rechange qui permette d'effectuer en temps voulu tous les travaux nécessaires. Comme pour les conducteurs de machines, il existe dans beaucoup de régions du globe un besoin de formation en matière de réparation et d'entretien du matériel. Une machine n'a de valeur réelle que si elle peut faire efficacement le travail pour lequel elle est prévue.

La mécanisation coûte cher, et avant d'y recourir il faut s'assurer qu'elle permettra de réaliser les objectifs du projet efficacement et économiquement. Une bonne gestion du projet exige que l'on évalue les coûts comparatifs des diverses méthodes mécanisées et autres possibles pour l'exécution de telle ou telle opération de reboisement. Pour encourager le succès de la mécanisation, il convient qu'elle soit organisée sur des bases économiques aussi saines que possible.

Il arrive au début, lorsqu'on entreprend des actions de reboisement, que la mécanisation intervienne sans que soient remplies toutes les conditions discutées ci-dessus, ce qui évidemment ne manque pas de susciter des problèmes, et d'entraîner une certaine baisse d'efficacité. Entreprendre une opération à grande échelle en négligeant les principes indiqués ne saurait mener qu'à une mécanisation techniquement et économiquement non valable.

Avantages et inconvénients de la préparation mécanisée du terrain

Les principales raisons qui font opter pour la mécanisation dans les opérations de défrichage se rapportent généralement aux disponibilités en main-d'oeuvre, à la rentabilité financière, à l'échelle de l'opération, à la rapidité et à la qualité du travail effectué.

Disponibilités en main d'oeuvre

L'absence ou la pénurie de main-d'oeuvre qualifiée peut être un facteur déterminant pour l'adoption de la mécanisation. L'époque la plus favorable pour accomplir une grande partie du travail de préparation du terrain se situe au moment où le sol est humide, or dans beaucoup de régions ce moment coïncide avec la période de plus grande activité agricole, d'où il résulte une pénurie de main-d'oeuvre locale et saisonnière. Par ailleurs les travaux manuels de défrichage et de préparation du terrain sont particulièrement pénibles, et une mécanisation rationnelle permet de supprimer cette contrainte physique.

Rentabilité financière

En règle générale, le défrichage de grandes surfaces de terrain peut s'effectuer à un coût moindre avec des techniques mécanisées qu'avec des méthodes manuelles. Un autre facteur qui intervient en particulier dans les pays en développement est le fait que les salaires tendent à augmenter plus vite que le coût des machines, ce qui fait croître le rapport efficacité-coût relatif des méthodes mécanisées. Lorsqu'il y a un fort sous-emploi, toutefois, l'application de salaires virtuels pour la main-d'oeuvre peut indiquer un rapport bénéfices-coûts sociaux favorable aux méthodes employant beaucoup de main-d'oeuvre.

Echelle de l'opération

L'échelle de l'opération est en relation avec l'efficacité. Il n'y aucune règle fixe qui permette de déterminer à partir de quel niveau ou échelle on doit ou peut faire appel à la mécanisation. Pour un projet donné il faut examiner et peser tous les facteurs qui entrent en jeu avant de décider à quel moment et dans quelle mesure on peut mécaniser. En règle générale, dans les projets importants, les problèmes de contrôle et de productivité de la main-d'oeuvre tendent à justifier un certain degré de mécanisation. Les considérations économiques militent également en faveur de la mécanisation pour les opérations à grande échelle.

Rapidité du travail

Dans le déroulement des opérations de reboisement il est souvent d'une importance primordiale que les travaux soient effectués en temps voulu; un retard dans la préparation du terrain, par exemple, peut entraîner des retards dans les opérations suivantes, souvent au détriment de l'avenir du peuplement et de la rentabilité du reboisement. Lorsque la main-d'oeuvre ou les facteurs connexes constituent un facteur limitant freinant l'exécution, la mécanisation, par la rapidité plus grande de travail qu'elle permet, fournit un moyen d'intensifier le rendement et de terminer les opérations en temps voulu.

Qualité du travail

En raison de la puissance et du poids des machines employées, la qualité du défrichement mécanique tend à être supérieure à celle du travail manuel. Le dessouchage par engins mécaniques extirpe en général une plus grande proportion de racines, et à une profondeur plus grande, qu'un travail manuel comparable. De même, le labour ou le hersage mécanisés sont plus efficaces que le travail du sol à la houe.

Les obstacles les plus fréquents à la mécanisation des opérations de reboisement sont les suivants:

- 1) les difficultés du terrain, lorsqu'une pente excessive, des ravines ou des rochers interdisent un emploi efficace des machines;
- 2) un coût initial, souvent en devises étrangères, trop élevé pour mettre sur pied une opération mécanisée, en même temps que des coûts de fonctionnement excessifs par suite du prix croissant des carburants et lubrifiants;
- 3) un mauvais état des tracteurs, dû au manque de personnel qualifié pour gérer, conduire et entretenir le matériel, souvent aggravé par:
 - a) le manque de pièces de rechange,
 - b) des délais administratifs dans les commandes et règlements de pièces ou de services,
 - c) un défrichement défectueux, entraînant une détérioration du matériel de culture lors des opérations suivantes,
 - d) l'absence de stimulation pour le personnel;
- 4) un mauvais emploi des machines entraînant souvent un bouleversement ou un compactage inutiles du sol, nuisant à la croissance ultérieure des plants;
- 5) l'opinion, souvent irraisonnée, que la mécanisation entraîne des suppressions d'emploi.

Opérations de préparation du terrain

Dans cette section nous traiterons essentiellement des méthodes mécanisées d'enlèvement ou de destruction du couvert végétal, et du travail du sol préalable à la plantation ou au semis. Dans beaucoup de régions du monde, notamment dans les zones à saison sèche marquée telles que les savanes, la réussite de la plantation est conditionnée par un désherbage complet dans le jeune âge. Sauf s'il s'agit de petites superficies, ou que la plantation en taungya soit possible, les sarclages nécessitent un apport de travail mécanique considérable. Pour un travail efficace des machines, le terrain doit être débarrassé de toute végétation ligneuse en surface, et des racines et souches jusqu'à la profondeur maxima de pénétration des outils de sarclage, ce qui nécessite le dessouchage de tous les arbres sur pied et l'élimination totale des souches, racines et autres déchets ligneux.

Les principales opérations sont les suivantes:

- 1) abattage ou dessouchage par engin pousseur de la végétation ligneuse spontanée;
- 2) mise en andains;
- 3) nettoyage;
- 4) incinération ou enlèvement des déchets;
- 5) délimitation des parcelles;
- 6) travail du sol avant plantation.

Les opérations 1 à 4 supposent la présence d'une végétation ligneuse spontanée qui doit être enlevée ou détruite avant de commencer les opérations de plantation. Sur des terrains couverts de végétation herbacée la séquence débiterait avec les opérations 4, 5 ou 6, l'incinération, si on y recourt, se limitant à l'élimination du couvert herbacé au cours de la saison sèche précédant la plantation. Le nettoyage, le brûlage et le tracé des parcelles sont en général des opérations manuelles, bien que certains travaux mécanisés complémentaires puissent être nécessaires.

Enlèvement du couvert ligneux spontané

Il existe une grande variété de techniques de défrichement mécanique; les méthodes employées varient en fonction de la nature et de la densité de la végétation, de la topographie, du climat, et des techniques de reboisement adoptées. Si l'on n'envisage pas de sarclage mécanique, par exemple, l'enlèvement des racines est facultatif, et les arbres peuvent être coupés au niveau du sol ou même au-dessus. Par contre, si l'on doit sarcler à la herse à disques, il faut en plus de la végétation ligneuse extraire les racines et les souches jusqu'à la profondeur maxima de travail des outils. La densité de la végétation intervient du fait que plus le couvert arboré est dense plus il faut de puissance pour l'enlever. Il en résulte, par conséquent, que l'équipement et les techniques varieront en fonction des types de végétation : maquis, boisement clair, forêt dense, etc. La pente et le relief du terrain imposent certaines limites quant à l'opportunité du défrichement et aux modalités d'application des techniques choisies. Le régime des pluies affecte également bien des aspects du défrichement, mais il est surtout décisif vis-à-vis du calendrier des opérations. Il est recommandé de n'entreprendre le défrichement que lorsque les sols sont humides, ce qui facilite l'extraction des racines, par ailleurs les arbres sont alors pleins de sève et sont moins sujets à se briser.

Coupe sans extraction des racines

On emploie pour couper la végétation ligneuse un tracteur à chenilles à l'avant duquel est montée une lame tranchante qui sectionne les arbres au niveau du sol ou juste au-dessus. La lame coupante oblique convient pour trancher des brins de maquis ou des arbres de savane jusqu'à 30 cm de diamètre ou plus, la lame delta pour des arbres de plus fort diamètre.

Sur des petites surfaces, ou sur des pentes où l'on ne peut utiliser de tracteurs, les arbres peuvent être abattus à l'aide de scies à chaîne de modèles divers; pour les broussailles et maquis on peut employer une débroussailleuse portative, comportant une lame de scie circulaire à l'extrémité d'un bâti tubulaire, mue par un petit moteur à essence porté à dos.

Aux Etats-Unis on utilise couramment pour le défrichage de la végétation buissonnante des rouleaux débroussailleurs lourds, comprenant un tambour de grand diamètre muni de lames coupantes, et tirés par un tracteur à chenilles. Ils coupent la végétation en petits fragments, et l'enfouissent dans le sol. Il existe toute une gamme de rouleaux débroussailleurs de diverses marques et divers modèles, depuis des engins à tambour simple allant de petits à très grand diamètre jusqu'à des rouleaux multiples attelés en tandem. L'effet de coupe et broyage peut être accru en remplissant d'eau le tambour. En général, il faut une vitesse d'au moins 8 km/h, sinon le rouleau passe par-dessus la végétation sans la déchiqueter convenablement. Pour maintenir cette vitesse, il faut que le moteur du tracteur soit en prise directe.

Le rouleau débroussailleur léger de 4 $\frac{1}{2}$ tonnes rempli d'eau demande une puissance à la barre de 35 à 60 CV; il est efficace pour les broussailles jusqu'à 5 cm de diamètre. Le modèle de 8 tonnes demande de 50 à 75 CV à la barre, et convient pour des brousses ou maquis jusqu'à 8 cm de diamètre. Le modèle de 11 tonnes, qui demande de 70 à 125 CV à la barre, peut déchiqueter des végétations feuillues jusqu'à 10 cm de diamètre. Enfin il existe des modèles encore plus gros, jusqu'à 16 tonnes, qui demandent une puissance de traction de 250 CV à la barre, pour les grandes superficies de brousse dense. La taille d'engin requise pour un travail donné est déterminée principalement par la densité et la taille des espèces feuillues arbustives. Dans des essais sur sols sableux dans le Sud-Est des Etats-Unis (Burns et Hebb, 1972), on a constaté que le modèle de 11 tonnes était plus efficace qu'aucun autre de type plus léger, et qu'il détruisait davantage de feuillus de toutes tailles, d'où il résultait un taux de survie plus élevé dans les jeunes pins plantés. Ces essais étaient limités, et ne comprenaient pas de rouleaux de poids supérieur à 16 tonnes.

La firme Fleco Corporation (1968) donne les estimations de rendement suivantes:

<u>Unité de débroussaillement</u>	<u>Rendement en ha/h</u>
385 CV ^{1/} + rouleau 4,90 m (16 ft.)	1,5 à 4,1
216 CV ^{2/} + rouleau 4,30 m (14 ft.)	1,3 à 2,3
52 CV ^{2/} + rouleau 2,10 m (7 ft.)	0,7 à 1,4

Un simple passage de rouleau débroussailleur ne suffit pas à maîtriser la végétation feuillue, quels que soient la taille et le poids des engins utilisés. Des rejets se développent au niveau du collet, ce qui nécessite un second passage. Cela s'applique à toutes les opérations de coupe des parties aériennes; à moins que l'on ne fasse le nécessaire ensuite pour tuer les souches, on aura un recrû de rejets et de drageons, et le couvert ligneux se rétablira rapidement.

^{1/} Puissance au volant

^{2/} Puissance à la barre

En Turquie, on a utilisé un broyeur ou "tritter" de fabrication australienne pour déchiqueter des maquis (*Quercus coccifera*, *Arbutus unedo*, *Erica* spp.) jusqu'à 8 cm de diamètre (Deveria, 1977). Le tritter est une débroussailleuse tractée de largeur variable; celui expérimenté en Turquie avait une largeur de 1,58 m. Il est entraîné par la prise de force du tracteur au moyen de courroies trapézoïdales; il demande une puissance de 100 CV à la boîte de vitesses, avec un réducteur de vitesse. Cette machine fragmente la végétation ligneuse au moyen de marteaux libres, laissant sur le sol un paillis de végétation déchiquetée. Le résultat dépend de la taille et de la densité de la végétation et de la vitesse d'avancement du tracteur, la taille des matériaux qu'il peut traiter étant inversement proportionnelle à la vitesse. Pour des maquis normaux en Turquie, on a obtenu un rendement moyen de 0,28 hectare défriché par heure.



Tracteur à roues 4 x 4 County avec broyeur semi-porté à l'arrière, utilisé en Turquie pour broyer le maquis avant le labour. Un homme placé en vigie veille aux blocs de roche. (Photo E.N.G. Cooling).

Défrichement avec dessouchage

Pour le dessouchage ou l'abattage à culée noire, on utilise des tracteurs à chenilles équipés de dispositifs destinés à renverser les arbres par poussée ou traction, en extirpant en même temps les racines. Un des principaux objectifs de ces opérations mécanisées est de réduire au minimum le bouleversement du sol; c'est pourquoi aucune des techniques employées ne comporte de retournement ou de raclage du sol.

1. Techniques utilisant un seul tracteur

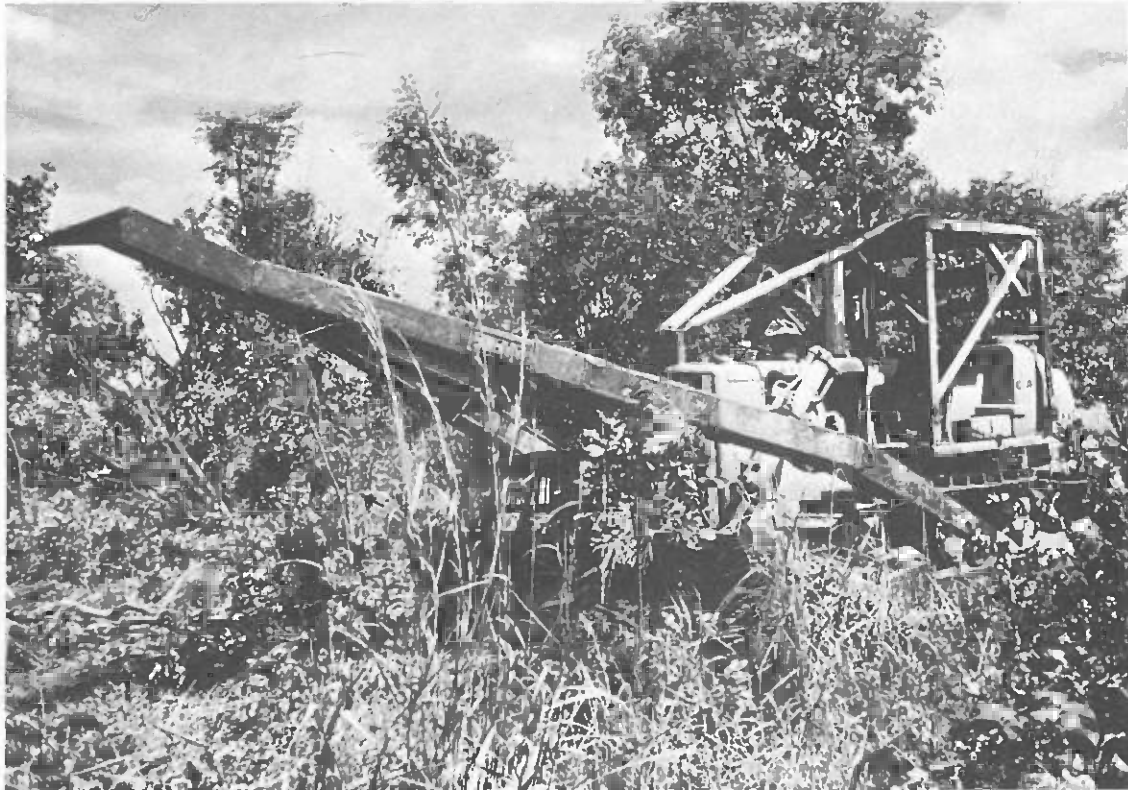
Un des meilleurs engins pour l'abattage par renversement est un tracteur à chenilles équipé d'un rateau monté à l'avant et muni au sommet d'une barre de poussée. En forêt claire, par exemple, le tracteur fait une première passe en appliquant la barre de poussée le plus haut possible sur le tronc de l'arbre à abattre, et le renverse. Le rateau est alors abaissé et appliqué sur les racines qui ont été détériorées; le pivot et les grosses racines latérales sont arrachés, et on peut alors pousser l'arbre pour l'empiler. Le tracteur fait ensuite marche arrière avant de s'attaquer à l'arbre suivant, et l'opération se répète. Lorsqu'un gros arbre refuse de céder à la poussée de la barre, on abaisse les lames de ripper portées à l'arrière, et on fait une passe autour de l'arbre pour couper les racines latérales; il est ensuite facile en général d'abattre l'arbre en le poussant.



Le rateau frontal convient pour le débroussaillage léger et l'andainage. En Turquie on l'utilise, monté sur le bâti porte-outil d'un tracteur à chenilles, pour dessoucher et empiler des taillis de chêne dégradés et autres végétations similaires de petits diamètres, avec une forte masse radiculaire (Photo E.N. Cooling).

Dans une végétation épaisse, ou en forêt dense, on peut adapter ce système en effectuant le travail en deux temps. Dans un premier temps, un tracteur équipé d'une lame oblique (par exemple "Klearing blade" dont on a enlevé le tranchant) et d'un bélier à commande hydraulique avance à travers le boisement en abattant tout le sous-étage et les arbres de petits diamètres. Ensuite, la visibilité étant dégagée, un deuxième tracteur muni d'un éperon d'abattage s'avance et renverse tous les grands arbres restants. En pratique, le travail est habituellement effectué par deux tracteurs qui tournent autour de la parcelle à défricher. Ils opèrent individuellement, le tracteur débroussailleur étant en général à au moins 100 mètres en avant du tracteur pousseur.

On employait autrefois le plus couramment, pour le défrichage des formations arbustives, un tracteur à chenilles muni d'une lame de bulldozer à commande hydraulique. Bien qu'encore utilisé, notamment pour des petites surfaces, le bulldozer est beaucoup moins efficace pour le défrichage que le rateau débroussailleur avec barre d'abattage. Dans la plupart des végétations de maquis et de broussailles le rateau débroussailleur ou rateau défricheur lourd est l'outil le plus pratique pour l'extraction des racines et des tiges ligneuses.

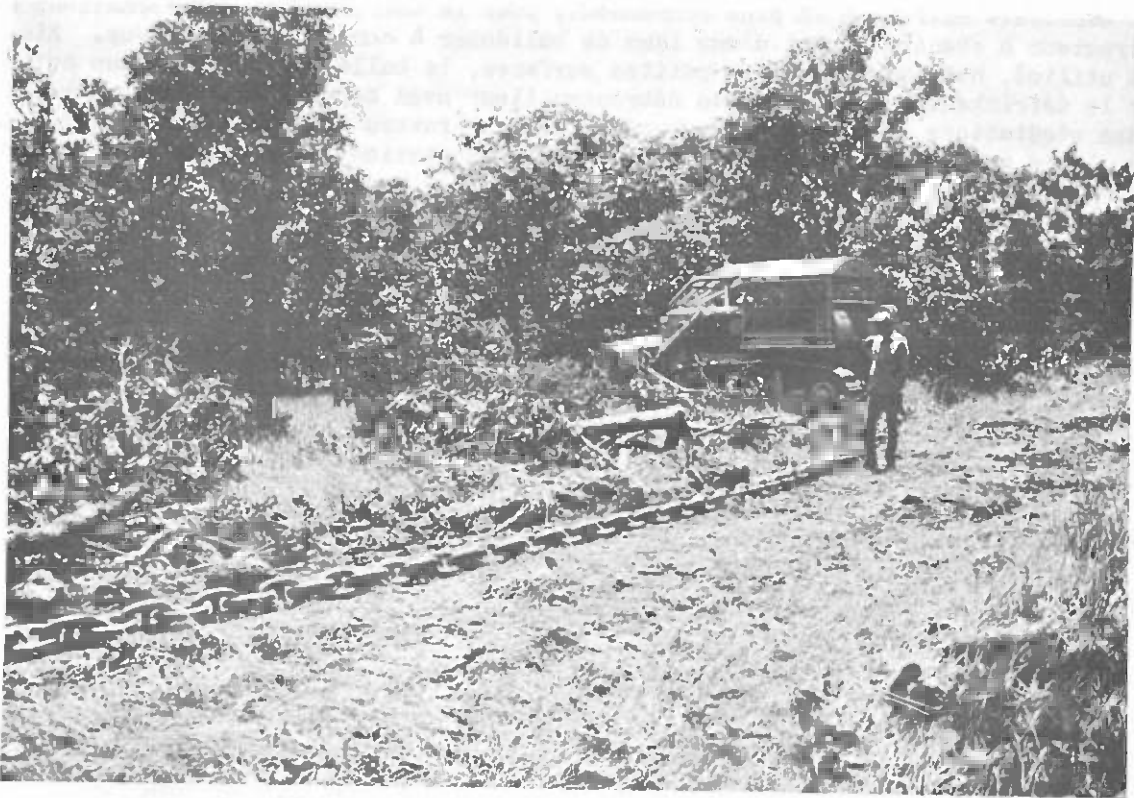


Le tracteur à chenilles équipé d'un éperon d'abattage peut être utilisé pour abattre les arbres en savane boisée ou forêt dense lorsqu'ils sont trop gros pour les arracher avec des chaînes ou avec un bulldozer ou angledozer classique. (Photo T. Allan)

2. Défrichage par traînage de chaînes

Dans cette méthode on utilise deux tracteurs à chenilles à lame ou rateau frontal, reliés par une chaîne lourde (chaîne d'ancre) de 90 mètres ou plus de longueur, amarrée à l'arrière. Dans les terrains où il y a des arbres de gros diamètre, ou fortement enracinés, il est indispensable d'avoir des tracteurs accompagnateurs équipés d'un éperon, pour abattre tous les arbres qui arrêteraient la progression de la chaîne.

En boisement clair les deux tracteurs avancent à la même vitesse régulière, à 15-25 mètres l'un de l'autre, en traînant la chaîne derrière eux. La distance entre les deux tracteurs varie selon la densité du boisement; plus le boisement est dense et plus les tracteurs doivent être rapprochés. Le tracteur extérieur progresse à la lisière de la brousse non défrichée, et le second tracteur, à 15-25 mètres à l'intérieur, avance parallèlement au



Le défrichement à grande échelle des forêts claires de savane se fait à l'aide de 2 tracteurs ordinaires D-8, recouverts d'un auvent de protection, qui tirent une lourde chaîne d'au moins 90 m de long. Un troisième tracteur équipé d'un déracineur aide à pousser les gros arbres.



Pour empêcher la chaîne de vriller, on l'équipe de gros émerillons à proximité des tracteurs.

premier aussi en ligne droite que possible. Il est important que les conducteurs des tracteurs puissent se voir l'un l'autre, et que celui qui est à l'extérieur conserve la même vitesse que celui qui est à l'intérieur du boisement. Les tracteurs progressent à vitesse modérée, et la chaîne qu'ils traînent avance en formant une boucle sinuose, frappant rarement plus de deux arbres à la fois, et n'imposant pas aux tracteurs d'efforts excessifs. Il est essentiel de maintenir une vitesse suffisante de la chaîne sur le sol, étant donné que c'est l'effet de choc qui renverse l'arbre et ainsi ébranle et arrache les racines. La chaîne roule en général librement par dessus les arbres abattus. Lorsque l'arbre est renversé, le pivot et les grosses racines latérales sont arrachés en même temps. Avec des arbres de grande taille, les racines latérales qui s'étendent dans la direction de la chute ne sont que partiellement extraites, mais elles sont généralement extirpées au moment de l'andainage. Si celui-ci n'est pas pratiqué, un passage de chaîne en sens inverse peut permettre d'en venir à bout.

Les trajets doivent être aussi longs que possible, les retournements occasionnant des temps morts importants. A la fin de chaque trajet, les tracteurs se retournent pour défricher une nouvelle bande de boisement immédiatement adjacente. Le tracteur intérieur se retrouve alors à l'extérieur et vice versa, ce qui permet un partage équitable du travail entre les deux conducteurs, le poste intérieur étant généralement le plus pénible.

Le défrichement par chaîne convient surtout pour une végétation de forêt claire ou de savane. Il ne convient pas pour certains types de maquis où les brins ont tendance à plier sous la chaîne, ce qui rend leur extraction difficile; on ne peut pas l'utiliser non plus en forêt dense, où la visibilité médiocre empêche le travail en équipe indispensable au succès de l'opération.

La taille de la chaîne dépend de la puissance de traction disponible et du type de végétation, mais sa longueur doit être au moins égale à 2 fois $\frac{1}{2}$ la hauteur des plus grands arbres. Une chaîne à "mailles étançonnées" de 5 cm, de 90 mètres de longueur et pesant environ 500 kg convient pour un boisement clair de faibles dimensions. On dispose de chaînes plus lourdes pour des types de végétation plus épaisse.

Conditions particulières

On trouve souvent des terrains couverts de taillis, maquis ou autres formations arbustives avec un fort système racinaire situés près d'agglomérations, et où la forêt a été exploitée pour le bois de chauffage. On peut défricher ces terrains en dessouchant soit manuellement, soit mécaniquement à l'aide d'un tracteur à chenilles équipé à l'arrière d'un extirpateur de racines ("root plough"). Celui-ci est composé d'une lame coupante en V ouvert, qui tractée horizontalement se meut à une profondeur déterminée dans le sol, sectionnant toutes les racines qu'elle rencontre. Monté à l'arrière d'un tracteur à chenilles de 180 CV, cet outil travaille efficacement jusqu'à une profondeur de 42 cm. Des ailerons ramènent en surface les racines coupées avec un minimum de bouleversement du sol. A condition de maintenir le tranchant bien affûté, c'est un outil de dessouchage et de sous-solage très efficace, que l'on peut également utiliser pour éliminer les souches sur les surfaces qui ont été exploitées.



Tracteur à chenilles équipé à l'arrière d'un extirpateur de racines, très efficace pour défricher les maquis à fort système radiculaire. La lame est enfoncée à une profondeur déterminée dans le sol, et sectionne les racines qui sont ramenées en surface par des ailerons spéciaux. (Photo T.G. Allan)

Mise en andains

Après l'abattage, il faut se débarrasser des déchets qui jonchent le sol. Les mêmes tracteurs à chenilles qui ont été utilisés pour l'abattage peuvent être équipés à l'avant de rateaux andaineurs; dans certains cas on peut employer des tracteurs lourds à roues. En terrain plat les tas pourront être rectilignes et parallèles, tandis que sur les pentes ils seront disposés suivant les courbes de niveau. La mise en andains peut être effectuée à n'importe quelle époque de l'année. En forêt claire on pourra adopter un écartement de 50 mètres entre les andains. L'opération se déroule comme suit: on abaisse le rateau jusqu'au niveau du sol, et on pousse tous les déchets sur le tas par une passe de 25 mètres perpendiculairement à l'andain. Le tracteur recule ensuite de 25 mètres, et on recommence l'opération. On répète ensuite le ratelage des débris de l'autre côté de l'andain, en laissant environ 50 mètres entre les tas linéaires. Il est important de bien tasser les andains, et d'y incorporer aussi peu de terre que possible. Pour permettre l'accès, on doit laisser des brèches de 5 mètres de large à 100 ou 200 mètres d'intervalle dans les andains. En forêt dense avec beaucoup de déchets, les andains peuvent n'être qu'à 25 mètres d'écartement.

Une autre méthode consiste à empiler les déchets autour des grands arbres abattus. On obtient ainsi des tas irrégulièrement disposés, et le travail tend à prendre plus de temps que dans le cas d'andains rectilignes.

Les engins habituellement utilisés pour la mise en andains sont des tracteurs lourds à chenilles ou à roues, de préférence à convertisseur de couple hydraulique ("power-shift"), avec un rateau monté à l'avant. Les dents renforcées du rateau sont enfoncées dans le sol, et lorsque le tracteur avance elles ramassent la plus grande partie de la végétation ligneuse à la surface du sol, et une partie de celle qui est enterrée, tandis que la plus grande partie de la terre tombe entre les dents du rateau, mais même si l'on opère avec soin une partie du sol superficiel est balayée avec les débris ligneux et déposée dans les andains ou à côté.



Un rateau frontal monté sur un tracteur à chenilles est utilisé en Côte-d'Ivoire pour andainer des déchets de forêt dense après abattage à culée noir. (Photo T.G. Allan)



Ce rateau frontal permet d'enlever les roches et les racines, et d'empiler des broussailles denses. (T.G. Allan)

Nettoisement

Quelle que soit la méthode employée pour l'abattage et l'andainage, il reste habituellement sur le terrain défriché des déchets et des souches. Les souches restées en terre doivent être piquetées ou marquées. S'il n'y a pas beaucoup de déchets résiduels on utilise habituellement la main-d'oeuvre pour les ramasser en tas ou en andains, ainsi que pour extraire les souches qu'il est nécessaire d'enlever. S'il y a un gros travail de nettoyage à faire, l'opération peut être mécanisée; on utilise alors des tracteurs à chenilles équipés de dents de dessouchage montées à l'arrière ou à l'avant, ou de rateaux. S'il y a des trous à l'emplacement des souches extraites, il faut les combler et les niveler.

Incinération

Une fois que les tas ou andains sont secs, on doit les incinérer au moment le plus favorable, c'est-à-dire en fait le plus tard possible au cours de la saison sèche. Il peut être nécessaire de protéger les tas contre un brûlage accidentel et incomplet survenant plus tôt en saison sèche. Dans les régions de forêt tropicale humide où les périodes sèches sont de courte durée, il peut être nécessaire d'aider ou intensifier la combustion à l'aide de combustibles liquides; même dans ce cas il peut s'avérer difficile d'obtenir une combustion complète satisfaisante. On doit chercher à avoir un feu aussi intense que possible; pour cela il faut procéder au brûlage pendant la journée, de préférence lorsqu'il y a du vent. On allume le feu du côté au vent, de façon à avoir un meilleur tirage. Lorsque la combustion est incomplète il est recommandé d'avoir un tracteur à chenilles équipé d'un rateau pour empiler à nouveau les déchets. Lorsque le feu commence à perdre de son intensité, on doit remettre en tas les billes et les souches de façon à réactiver leur combustion.

Rendement du défrichement et choix de l'équipement

La planification et le choix des méthodes de défrichement se basent sur les données de rendement. Un chiffre de rendement ou de coût du défrichement à l'hectare n'a de signification que si on le rapporte à la densité de la végétation et à la puissance du tracteur. La surface terrière des végétaux ligneux exprimée en m²/ha fournit une bonne estimation de la densité - bien qu'il faille l'affecter d'un coefficient de correction dans le cas de différences importantes de hauteurs. Une étude effectuée au Nigéria (Allan, 1977) montre que:

- 1) dans une savane claire de 9 m²/ha de surface terrière, une unité de défrichement par chaîne composée de 2 tracteurs de 180 CV peut défricher 5,5 hectares par heure; un tracteur à chenilles de 65 CV abat par poussage dans le même temps 0,48 hectare, et andain sur 0,49 hectare, tandis que le dessouchage et l'empilage manuels emploient respectivement 69 hommes-jours et 63 hommes-jours à l'hectare.
- 2) dans une savane plus dense de 13 m²/ha de surface terrière, une unité composée de 3 tracteurs de 180 CV (deux remorquant une chaîne et le troisième les accompagnant pour abattre les arbres à l'éperon) défriche 2,8 hectares par heure; un tracteur à chenilles de 180 CV andain sur 0,57 hectares par heure; le dessouchage et l'empilage manuels demandent respectivement 134 et 99 hommes-jours à l'hectare.

Ces chiffres donnent une idée de l'éventail des rendements, et des choix qui se présentent pour les responsables. Si l'on convertit ces rendements en coûts, en prenant pour les opérations manuelles le chiffre de 100%, le coût du défrichement par chaîne dans les savanes nigériennes est de l'ordre de 5%, celui de l'abattage par poussée avec un seul tracteur environ 10%, et l'andainage mécanisé moins de 12%. On peut établir des données similaires par des essais pour n'importe quel projet de reboisement. Dans le "campo cerrado" brésilien, le rendement d'une unité de défrichement par chaîne composée de deux tracteurs de 160 CV varie selon la densité du boisement entre 0,5 et 8 hectares/heure (Terêncio da Silva et Lourenço, 1977).

En forêt dense de Côte-d'Ivoire, le défrichement d'un hectare à l'aide de tracteurs à chenilles lourds de 180 à 220 CV demande entre 8 et 12 heures de tracteur à l'hectare, le chiffre le plus bas se décomposant comme suit: 3 heures pour l'abattage, 3 heures pour la mise en andains, et 2 heures pour le nettoyage (Allan, 1973a). Les chiffres de surfaces terrières n'étaient pas indiqués.

On a le choix pour le défrichement entre le travail manuel, le travail à un seul tracteur, l'abattage par chaîne, ou une combinaison de ces diverses techniques. Si l'un des objectifs majeurs du projet est d'employer la main-d'oeuvre, toutes les opérations peuvent être manuelles, alors que si la réduction des coûts est un facteur déterminant il peut être préférable de les mécaniser. Malheureusement la décision entre les choix possibles est rarement aussi simple et clairement tranchée. Il faut tout d'abord évaluer les ressources dont on dispose. En ce qui concerne la main-d'oeuvre, les effectifs nécessaires sont-ils disponibles dans les conditions requises et au moment opportun? Pour les opérations mécanisées quelques uns des points essentiels à considérer sont les suivants:

- 1) expérience antérieure en matière de travail mécanisé;
- 2) équipement disponible dans la région ou localement;
- 3) adaptation de l'équipement existant aux tâches requises;
- 4) disponibilités en conducteurs d'engins qualifiés;
- 5) existence d'une infrastructure adéquate, ou possibilité de la créer rapidement.

La décision exige que l'on dispose de données et d'informations se rapportant aux conditions locales. L'échelle de l'opération à cet égard a une grande influence. Pour des petits projets le défrichement manuel sera préférable, tandis que pour des grands projets la mécanisation est généralement plus économique et plus efficace. Les petits projets ne se prêtent en général pas à la mécanisation parce que les tracteurs ne peuvent travailler pendant un temps suffisant pour être rentables. C'est ainsi que, par exemple, une unité de défrichement mécanique ne peut en général se justifier que si les tracteurs travaillent de l'ordre de 1.250 heures ou plus par an. Bien qu'il n'y ait pas de règles rigides en ce qui concerne l'échelle, un temps de travail se maintenant aux environs de 4.000 heures par an peut certainement être considéré comme correspondant à un programme à grande échelle, qui peut d'ailleurs aussi bien consister en un certain nombre de petits projets, ou comporter une combinaison d'actions forestières et agricoles.

Une unité de défrichement par traînage de chaîne composée de 4 tracteurs de 180 CV et équipée de chaînes, rateaux, éperons d'abattage, extirpateurs de racines et autres outils nécessaires pourrait effectuer en une année les travaux suivants:

- 1) abattage - 4 000 à 6 000 hectares au cours d'une saison des pluies de 4 mois;
- 2) mise en andains - 5 000 à 6 000 hectares au cours d'une saison sèche de 6 mois;
- 3) révision générale, entretien et réparations - 2 mois.

Tous les temps qui ne seraient pas utilisés comme indiqué ci-dessus peuvent être affectés au travail du sol, à la construction des routes et autres travaux importants.

En ce qui concerne le choix de l'équipement, il existe une gamme considérable de tracteurs à chenilles; l'essentiel est de choisir le ou les modèles les mieux adaptés aux tâches prévues. Le défrichement peut être un travail dangereux, et tous les tracteurs doivent être équipés de cabines renforcées et autres protections. En brousse, les abeilles et autres insectes peuvent être un problème, et il peut être nécessaire de s'en protéger.

Les principaux équipements adaptables sur tracteurs utilisés pour le défrichement sont les suivants:

éperon d'abattage ("tree stinger");	extirpateurs de racines ("root plough");
rateau débroussailleurs;	chaîne d'ancre;
rateau combiné avec barre de poussée ou	rouleau débroussailleur;
bélier d'abattage;	dents de dessouchage;
lame de bulldozer;	rateau défricheur tracté;
lame coupante oblique;	cultivateur.
lame delta;	
rippers;	

Le choix des tracteurs et des outils adaptés est une décision importante. Un heureux assortiment des machines et équipements aux conditions locales peut facilement permettre une économie de 50% ou plus sur les coûts totaux de la mécanisation, par rapport à un matériel moins bien adapté ou mal assorti.

Un autre critère capital est l'état de bon fonctionnement du matériel, et il convient de donner la préférence aux fournisseurs locaux qui assurent le meilleur service après vente et le meilleur approvisionnement en pièces de rechange. Tous les accessoires doivent s'harmoniser avec les machines sur lesquelles ils seront montés. Comme il existe une gamme considérable de matériels, leurs caractéristiques doivent être étudiées très attentivement, et il est souvent recommandé de faire appel aux avis d'un spécialiste.

Tracé de la plantation

Cette opération consiste à lever et délimiter sur le terrain les blocs, parcelles, routes et chemins, layons et pare-feux. Comme le tracé de la plantation est un élément important de la planification, il sera traité également au Chapitre 6. Les principaux aspects qui intéressent la mécanisation sont la culture des pare-feux, et l'ouverture, l'assainissement et le revêtement des routes. Pour le travail du sol sur les pare-feux on peut utiliser les mêmes tracteurs à chenilles et les mêmes pulvérisateurs lourds à disques offset que pour le labour de défrichage. Les tracteurs à chenilles de défrichage équipés de lames de bulldozer peuvent être utilisés pour l'ouverture sommaire des routes, qui une fois équipées de ponts et ponceaux serviront de chemins de service (classe 3) ou pistes de plantation. Pour les travaux de nivellement et de revêtement tout temps correspondant aux normes des routes forestières (classes 1 et 2) il faudra d'autres machines telles que niveleuses, pelles chargeuses, camions à benne, etc... L'Annexe B donne des indications plus détaillées sur la construction des routes dans les périmètres de reboisement.

Travail mécanisé du sol avant la plantation

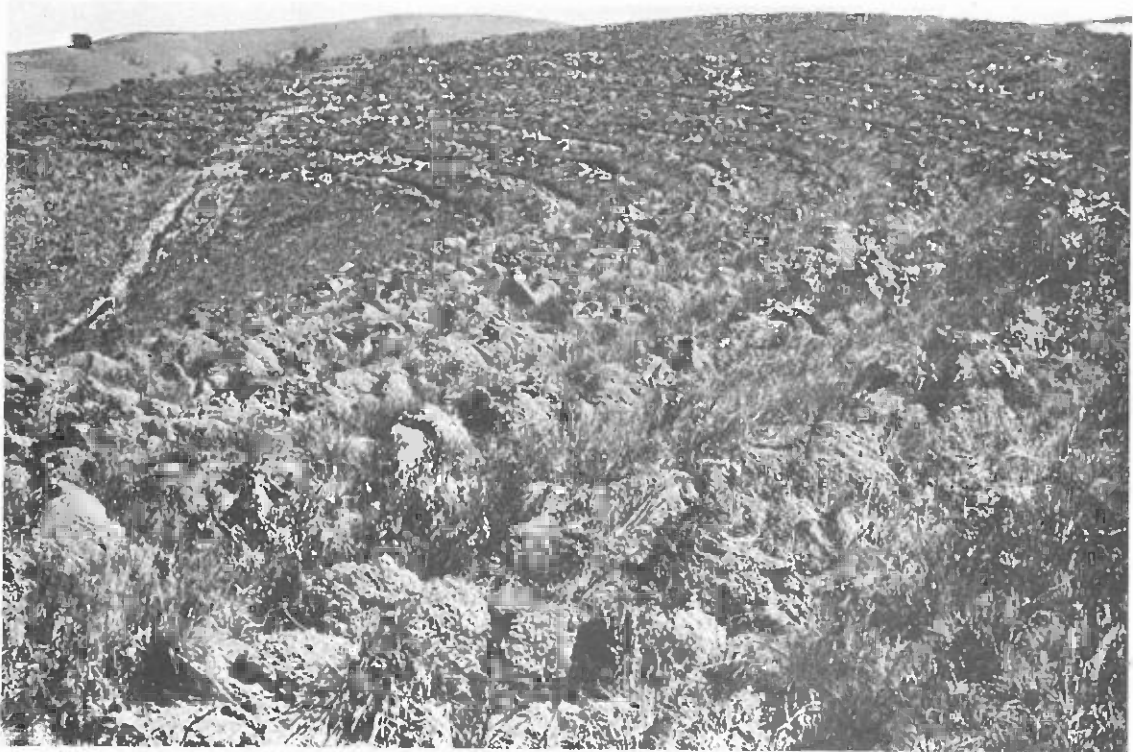
L'enlèvement des racines et déchets ligneux a pour objet principal de permettre la culture du sol avant et après la plantation. Le défrichage et le labour créent des conditions particulièrement favorables au jeune peuplement du fait de l'élimination ou de la réduction de la concurrence de la végétation, et de l'amélioration de la perméabilité, susceptible de réduire les pertes en eau du sol. Cette amélioration du bilan hydrique est particulièrement importante pour les régions à pluviométrie faible ou saisonnière. Il est également indiqué de réduire la concurrence sur certains terrains couverts de graminées denses ou élevées, ou les plantations forestières ont du mal à s'installer si l'on néglige le travail du sol.

Le travail du sol peut être partiel comme dans la culture en bandes alternées et le labour en billons, en plein comme dans la culture à sol nu, ou avoir un caractère complémentaire comme dans le rippage ou sous-solage.

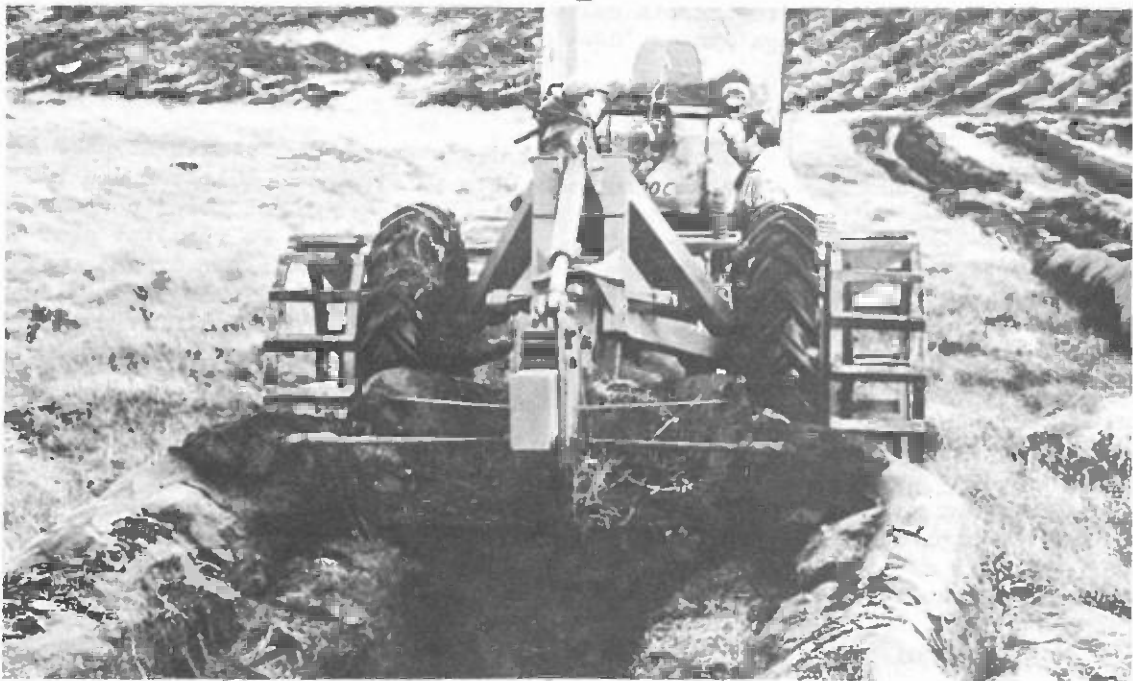
Culture en bandes

Dans certaines conditions de station, avec des essences qui n'exigent pour leur bon développement qu'un désherbage localisé, il peut être suffisant de cultiver une bande étroite (1 à 2 mètres de large) suivant les lignes de plantation, ce qui est assez pour affranchir les jeunes arbres de la concurrence pendant la période initiale. Ce résultat peut souvent être obtenu par l'action de hersage d'une planteuse mécanique (voir par exemple page 29). Les plants utilisés dans ces conditions doivent être vigoureux. Si nécessaire, on peut procéder à un travail complémentaire du sol par outils manuels. La culture en bandes, qui ne dénude que partiellement le terrain, peut être particulièrement intéressante lorsqu'il y a un risque élevé d'érosion.

Le labour en bandes de niveau sur terrain en faible pente est très usité pour les reboisement en Pinus patula sur le plateau de Viphya au Malawi. On utilise une charrue réversible à 3 disques tirée par un tracteur à roues de 70 CV pour rompre le tapis herbacé des prairies montagnardes. Le labour initial ne descend pas à plus de 30 cm de profondeur; le hersage qui suit améliore l'ameublissement du sol. Dans les sols superficiels sur croûte de quartzite décomposée, où la charrue pénètre peu, il faut sous-soler dans la direction des lignes de plantation. Sur des terrains libres de pierres, on utilise parfois un rotavator de 1,55 m de large, qui peut travailler jusqu'à 12,5 cm de profondeur à condition que l'herbe soit préalablement incinérée. Sur des terrains plus accidentés ou à pentes fortes, il faut ouvrir les trous de plantation à la pioche, ce qui revient à près du double du labour en bandes.



Terrain de prairie en faible pente sur le Plateau de Viphya au Malawi, préparé pour la plantation par labour à la charrue à disques de bandes de niveau de 1,20 mètre de large. (Photo D.A. Harcharick)



Le drainage de sols lourds humides en Grande Bretagne peut être amélioré par labour à l'aide d'une charrue à versoir. Celle que l'on voit ici est utilisée avec un avant-train normal, attelé à un tracteur FIAT 100 C. (Photo D.A. Thompson)

Labour en billons

Le labour en billons est très usité en Grande Bretagne et dans d'autres régions montagneuses tempérées, en particulier sur sols mouilleux et tourbières. On utilise une charrue à versoir spéciale, généralement tirée par un tracteur lourd à chenilles, pour retourner une large bande de gazon ou de tourbe, ouvrant ainsi un sillon net et profond qui contribue au drainage du terrain. Dans les terrains difficiles à tourbe profonde, les sillons sont espacés de 1,50 à 1,80 mètre. Sur des sols plus favorables, moins humides, on les espace de 5,00 à 6,50 mètres. Les mottes de tourbe sont ensuite découpées manuellement en carrés que l'on dispose à l'écartement voulu pour la plantation, et sur lesquels on plantera les jeunes arbres.

Sur des terrains de landes plus secs, notamment les landes de bruyères à Calluna, il s'agit de réduire la concurrence de la végétation arbustive et de remédier au tassement du sol, et de briser l'horizon induré lorsqu'il est présent. On ouvre des sillons à l'espacement de plantation, avec une charrue à versoir à un soc ou avec une charrue spéciale à griffe fouilleuse. Les plants sont mis en place dans une fente ouverte soit dans le fond du sillon soit sur le flanc du billon.

Culture en plein

La culture en plein du terrain avant la plantation est nécessaire lorsque les sarclages ultérieurs se font mécaniquement. Elle est de pratique courante par exemple dans les régions à longue saison sèche, où il faut un désherbage total pour éviter une concurrence excessive de l'herbe vis-à-vis d'une quantité d'eau limitée dans le sol. Elle comprend deux opérations principales: 1) le labour de défrichement; 2) le hersage avant plantation.

1. Labour de défrichement

Ce labour a pour but d'opérer un premier défoncement du sol et d'enfouir toute l'herbe ou autre végétation. Il s'agit d'un travail grossier, qui n'exige pas la même précision ou les mêmes normes qu'un labour agricole. On doit en règle générale labourer lorsque le sol est humide mais non détrempé, et à une profondeur supérieure à celle atteinte par les outils plus légers utilisés pour les sarclages ultérieurs, soit en général plus de 20 cm. La pénétration est souvent difficile dans les sols secs.

On peut utiliser pour ce labour un tracteur à chenilles avec un pulvérisateur à disques lourd ou "défonceur à disques" ^{1/} adapté, à disques d'acier de plus de 75 cm de diamètre, monté en offset. Cet outil a une pénétration supérieure à 30 cm en conditions idéales et, bien qu'il ait une action de hersage profond plutôt que de labour, il donne en pratique des résultats satisfaisants pour la plantation ultérieure. Quoique ce pulvérisateur lourd soit suffisamment robuste pour ébranler la plupart des souches, et puisse par conséquent être utilisé en terrain non dessouché, ce travail brutal risque de réduire la durée de vie du matériel et d'accroître le coût de l'opération.

^{1/} En anglais "disc plough", ou "disc harrow plough", qu'il serait incorrect de traduire en français par "charrue à disques". (N.d.T.)



Pulvérisateur à disques offset lourd attelé à un tracteur à chenilles, utilisé pour le labour de défrichement. (Photo T.G. Allan)

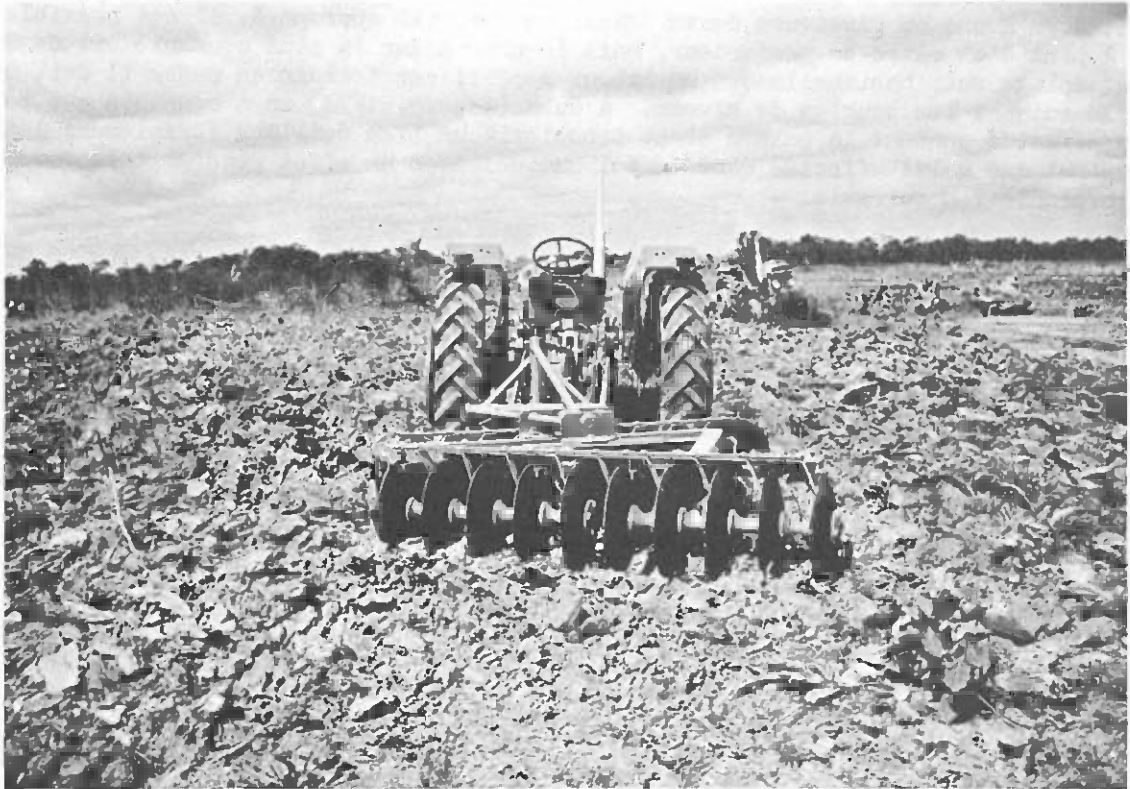
Le labour de défrichement peut aussi s'effectuer avec un tracteur moyen à roues et une charrue à disques portée qui fait un bon travail, mais en général moins profond que le pulvérisateur lourd. La charrue à disques est également moins robuste pour les terrains difficiles.

On utilise en Turquie, sur des terrains en pente, la charrue à griffe sous-soleuse à double versoir Clark pour le labour de défrichement en courbes de niveau (Deveria, 1977). Cette charrue sous-soleuse laisse vers le bas une butte de 1,50 mètre de large et 0,50 mètre de haut, et au-dessus un sillon de 0,30 mètre de profondeur et 0,50 mètre de large, complété par une raie de sous-solage de 0,30 mètre de profondeur.

2. Hersage avant plantation

Le hersage s'effectue habituellement juste avant la plantation. Il a pour but de briser les mottes et ameublir les horizons supérieurs, niveler la surface du sol, enfouir toute la végétation adventice, et laisser un terrain bien propre pour la plantation. Un sol libre de mauvaises herbes, avec une couche bien ameublie d'au moins 15 cm, facilite la plantation et les sarclages mécaniques ultérieurs. On emploie en général un tracteur à roues de puissance moyenne avec un pulvérisateur à disques porté de type agricole. Le travail doit se faire dans le même sens que le labour. Si l'importance du travail à effectuer le justifie, on peut employer un pulvérisateur à disques lourd de grande largeur spécialement destiné à cet usage, sinon on pourra utiliser les herse à disques de plus petite taille servant pour les travaux d'entretien. On peut aussi effectuer le travail avec un rotavator, ou cultivateur rotatif, mais cet outil est d'un emploi plus délicat. Il existe aussi divers modèles

de herse lourdes pouvant être utilisées avec un tracteur à chenilles, mais un outil tel que la herse émietteuse a tendance à trop pulvériser le sol, et il faut être très prudent dans l'emploi de ces matériels, particulièrement sur les terrains sujets à l'érosion.



Après le labour, un hersage au pulvérisateur à disques offset améliore l'ameublissement du sol. Un tracteur à roues convient pour ce travail. (Photo T.G. Allan)

Dans certaines régions du Sud-Est des Etats-Unis, et dans d'autres régions où le niveau de la nappe est élevé pendant une grande partie de l'année, le façonnage du terrain en billons ou ados facilite la plantation et favorise la croissance des plants en améliorant le drainage et les conditions de la microstation. Cette opération s'effectue à l'aide d'un billonneur à disques qui ramasse le sol superficiel, la litière et les débris végétaux en billons de 15 à 30 cm de haut sur environ 1,20 mètre de largeur à la base. On utilise souvent derrière le billonneur un rouleau en forme de diabolos, muni en son centre d'un couteau circulaire, pour façonner et rasseoir le billon. Le terrain doit être bien débarrassé de déchets de coupe et de débris de végétation pour que le billon soit bien formé. Les billons doivent être orientés de telle sorte qu'ils canalisent les eaux de ruissellement vers des fossés et exutoires naturels; sauf si le terrain est plat, ils doivent suivre les courbes de niveau. Cette méthode n'est pas valable là où les plants risquent de souffrir de sécheresse saisonnière (Haines et al., 1975 et Balmer et al., 1976).

Sous-solage

Dans les sols superficiels sur roche-mère décomposée, les sols compactés, et les sols sur croûte, où la croissance des racines est contrariée, on peut souvent améliorer l'infiltration de l'eau et la pénétration des racines par un sous-solage. Celui-ci consiste à ameublir les couches profondes du sol sans retournement à l'aide de dents sous-soleuses ou de rippers portés à l'arrière d'un tracteur à roues ou à chenilles. Les sous-soleuses peuvent être à une ou plusieurs dents. Avec un matériel approprié, il est possible de sous-soler à plus d'un mètre de profondeur, mais la profondeur la plus courante est de 60-70 cm. Le sous-solage suit habituellement un labour normal; sur terrain en pente il doit être effectué suivant les courbes de niveau. A Cuba (Masson, 1973) on a constaté que le sous-solage effectué pendant la saison sèche produisait un bien meilleur ébranlement latéral du sous-sol que celui effectué dans un sol humide, avec un effet général très favorable pour la plantation qui suit.



Les horizons de sol induré peuvent être brisés par sous-solage pour améliorer l'infiltration de l'eau et la pénétration des racines des plants forestiers. La surface du sol n'est pas retournée. (Photo T.G. Allan)



On peut améliorer le drainage superficiel et les conditions de la microstation en utilisant un billonneur à disques et un rouleau spécial pour façonner des ados de plantation. (Photo T.G. Allan)



Rendement des façons culturales et choix de l'équipement

Les données pratiques dont on dispose sur le labour et le hersage indiquent les ordres de grandeur suivants pour les rendements:

Opération - Matériel utilisé	Rendement en ha/h	
	Régions 1/ tropicales	Régions 2/ tempérées
<u>Labour</u>		
Tracteur à roues 65 CV avec charrue portée à 3 disques	0,35 à 0,40	0,46 à 0,56
Tracteur à chenilles 80-100 CV avec pulvériseur à disques lourd adapté	0,50 à 0,75	-
<u>Hersage avant plantation</u>		
Tracteur à roues 65 CV avec pulvériseur à disques de 2 m	0,5 à 0,9	1,0 à 1,2
Tracteur à roues 65 CV avec pulvériseur à disques de 3 m	0,9 à 1,1	1,1 à 1,7
Tracteur à chenilles 80-100 CV avec herse émietteuse	1,0 à 1,2	-

1/ Les chiffres indiqués pour la zone tropicale se rapportent aux résultats d'essais pratiques en Afrique orientale et occidentale.

2/ Les chiffres indiqués pour la zone tempérée sont ceux donnés par Culpin (1975) pour des terres agricoles.

Note: Le rendement dépend d'un si grand nombre d'éléments variables tels que l'état du matériel, l'habilité du conducteur, la nature et l'état du sol, ... que les chiffres mentionnés n'ont qu'une valeur indicative. Les rendements en régions tropicales tendent à être moins élevés parce qu'il s'agit d'opérations de première mise en valeur dans des conditions de terrain difficiles, alors que les chiffres indiqués pour les régions tempérées se rapportent à des travaux effectués en terrains agricoles.

Il existe une gamme étendue de tracteurs et d'outils de culture convenant à la préparation du sol pour la plantation; le choix le plus important est celui à faire entre tracteur à roues et tracteur à chenilles. Pour le labour, le tracteur à roues tend à avoir marginalement un rapport coût-efficacité plus favorable, mais le tracteur à chenilles lourd permet de travailler à plus grande profondeur, et d'extirper les racines et autres obstacles souterrains. Comme pour le matériel de défrichement, on doit se baser sur l'expérience locale, et si celle-ci est inexistante sur les résultats d'essais ou de projets réalisés dans des conditions comparables.

Si le facteur essentiel est d'effectuer à temps les travaux préparatoires à la plantation, il faut donner la préférence aux équipements qui ont le rendement le plus élevé. Efficacité et taux d'utilisation peuvent toutefois être des éléments importants à considérer, et on pourra chercher à réduire les coûts par une utilisation plus intensive du matériel lourd de défrichage pour la préparation du sol, ou encore en affectant à ce travail les tracteurs à roues destinés aux opérations ultérieures d'entretien.

Séquence des travaux de préparation du terrain

Comme on l'a déjà noté, les facteurs climatiques affectent fortement les opérations de préparation du terrain. Le tableau ci-dessous donne un schéma de séquence de travaux pour une région à saison sèche de 6 mois, en admettant que le terrain défriché pendant une saison des pluies sera planté au début de la saison des pluies suivantes. Cette séquence peut être adaptée à des régimes climatiques différents, et peut même être étalée sur deux ans, mais avec une durée plus longue on se heurte aux problèmes dus au recrû et aux adventices.

<u>Saison</u>	<u>Opération</u>
Début des pluies (après 100 mm de précipitations) année 0	Début de l'abatage ou du dessouchage. La mise en tas, le nettoyage et le labour entre les andains peuvent également commencer.
20 jours la fin des pluies, année 0	Arrêt de l'abatage ou du dessouchage. Achèvement de la mise en andains. Nettoyement entre les andains.
Avant la fin de la saison sèche, année 0	Brûlage des andains.
Début des pluies, année 1	Achèvement du labour. Hersage avant plantation.
Début des pluies (après 100 mm de précipitations), année 1	Début de la plantation. Début de l'abatage et du labour dans la zone à planter année 2.

TRACTION ANIMALE



La préparation du sol avec des attelages de boeufs tirant une charrue ou une herse à dents peut être une solution économique pour les travaux de reboisement à petite échelle dans certains terrains. (Photo T.G. Allan)

Dans le cas de reboisements à petite échelle en sols légers, les essais effectués au Nord Nigéria avec des boeufs tirant une charrue ou une herse à dents bien adaptées ont montré qu'un tel attelage convient bien et s'avère économique pour le labour de défrichage et pour le hersage précédant la plantation (Allan, 1973b). La traction animale requiert toutefois une formation poussée de la main-d'oeuvre, et est rarement utilisée en forêt.

METHODES CHIMIQUES

Les produits chimiques sont utilisés dans la préparation du terrain principalement pour tuer la végétation herbacée et arbustive, les arbres et les souches. Dans certains cas l'emploi des produits chimiques peut permettre à lui seul une bonne préparation du terrain, mais le plus souvent on les utilise en association ou en complément avec d'autres techniques de défrichage. On peut par exemple tuer la végétation herbacée avec des herbicides de façon à pouvoir l'incinérer à un moment où la végétation alentour est encore verte. Les produits chimiques peuvent également être employés pour tuer le recrû après abattage, dessouchage ou débroussaillage.

En dehors de leur emploi pour la préparation du terrain, les produits chimiques sont également très utilisés pour le contrôle des adventices dans la phase d'installation du reboisement. Il faut dans ce cas appliquer le produit de la manière et à la saison les plus propres à réduire au minimum les risques de dommage aux jeunes arbres.

Les produits chimiques utilisés pour la préparation du terrain et l'entretien des plantations sont désignés sous diverses appellations. "Phytocide" est un terme général qui désigne toute préparation chimique employée pour tuer des végétaux ou inhiber leur croissance. Il comprend les "arboricides" et "débroussaillants", utilisés contre les arbres et autres végétaux ligneux, les "herbicides", qui au sens strict du mot sont employés contre les végétaux herbacés, et les "fongicides", employés contre les cryptogames. Le terme d'herbicide est souvent employé abusivement pour désigner toutes les substances chimiques utilisées pour tuer des végétaux, notamment adventices, qu'ils soient herbacés ou ligneux; il vaut mieux toutefois s'en tenir au terme général plus correct de "phytocides".

Les phytocides sont généralement commercialisés sous des marques déposées, et le même composé chimique peut avoir des noms différents selon les pays. Certains sont toxiques vis-à-vis de tous les végétaux, tandis que d'autres sont sélectifs, n'agissant par exemple que sur les dicotylédones, ou sur les graminées, ou encore sur certains genres botaniques.

Les phytocides agissent de diverses manières sur les végétaux:

- 1) Les phytocides "de contact" empoisonnent les parties des plantes venant en contact avec le produit.
- 2) Les phytocides "de transfert" sont absorbés par les racines, par les feuilles ou par la tige, et sont transportés par les canaux du bois ou du liber.
- 3) Les phytocides "de préémergence" agissent dans le sol sur les semences au stade de la germination.
- 4) Les phytocides "totaux", tels que le chlorate de soude, tuent toute végétation lorsqu'on les incorpore au sol, qui reste empoisonné pendant plusieurs mois après le traitement.

L'efficacité des phytocides dépend d'un certain nombre de facteurs tels que l'époque d'application, l'espèce et la taille des végétaux, la structure de la forêt, l'humidité du sol, les conditions atmosphériques. Les traitements effectués pendant la saison de végétation active sont généralement plus efficaces. La fin du printemps ou le début de l'été, au moment où les réserves radiculaires sont faibles, sont des périodes particulièrement favorables. D'une manière générale, les grands arbres sont plus difficiles à tuer que les petits, et plus l'arbre est vigoureux plus il est difficile à tuer. Les sujets de moins

d'un an sont particulièrement sensibles aux phytocides. Les peuplements forestiers comprenant deux ou plusieurs étages exigeront soit deux traitements différents, soit deux applications du même traitement, et dans les peuplements particulièrement denses les phytocides peuvent perdre toute efficacité pratique. L'humidité du sol influe sur l'efficacité des phytocides de transfert; bien qu'un déficit modéré en eau dans le sol n'affecte pas l'absorption, il peut retarder la propagation du produit chez les feuillus. La pluie peut avoir un effet défavorable en entraînant le produit pulvérisé sur l'écorce et le feuillage, et un fort vent rend la pulvérisation inefficace, ou provoque une répartition irrégulière du produit. Une chaleur modérée et une humidité élevée sont considérées comme des conditions favorables, mais les fortes températures peuvent affecter physiquement le phytocide, du fait que même les esters à faible volatilité commencent à se vaporiser au-dessus de 32°C. Ce ne sont là que quelques exemples parmi tous les divers facteurs pouvant influencer sur l'efficacité des traitements phytocides.

Dans certains pays un travail considérable a été réalisé en ce qui concerne les types de phytocides et leurs emplois, et on peut spécifier les dosages et modes d'application convenant à tel ou tel type de végétation. Dans beaucoup d'autres régions on n'en est encore qu'au stade expérimental, et il reste beaucoup à faire pour mettre au point des techniques efficaces et sûres. En raison des nombreuses variables qui interviennent, et des effets secondaires toxiques de beaucoup des produits utilisés, il est évidemment nécessaire de procéder à des études et à des essais minutieux avant d'appliquer ces techniques dans de nouvelles régions. Kimmins (1975) a passé en revue les "Conséquences écologiques de l'emploi des phytocides en sylviculture", dans un rapport qui contient de nombreuses références bibliographiques utiles.

Principaux phytocides utilisés en sylviculture

Les paragraphes qui suivent décrivent brièvement les principaux phytocides qui ont trouvé des applications en sylviculture. Cette liste est loin d'être exhaustive; pour des informations plus complètes et plus détaillées sur les divers types de phytocides et sur leur emploi, le lecteur pourra consulter un des nombreux manuels traitant du sujet, tels que par exemple Crafts (1975), Fryer et Evans (1970), Fryer et Makepeace (1972).

Phytocides utilisés pour le contrôle des adventices ligneux et herbacés

2,4,5-T (acide 2,4,5-trichlorophénoxyacétique)

Le 2,4,5-T est un phytocide de transfert, particulièrement efficace contre les espèces feuillues. La plupart des conifères sont résistants pendant la période de repos de la végétation, mais certaines espèces telles que les mélèzes et certains pins (Pinus radiata par exemple) y sont sensibles.

Le 2,4,5-T est disponible sous différentes formes, dont les plus courantes sont: 1) les sels d'amines; 2) les esters non formulés; 3) les esters formulés ou émulsifiables. Les amines se trouvent sous forme liquide, et sont solubles soit dans l'eau soit dans le gas oil pour pulvérisations foliaires. Les esters non formulés ne se trouvent que sous forme soluble dans le gas oil (lui-même toxique pour les arbres), ce qui restreint leur emploi à l'élimination de la végétation avant la plantation forestière, ou à l'application sur les souches, les troncs, et en entailles annulaires. Les esters formulés ou émulsifiables de 2,4,5-T sont présentés sous forme émulsifiable dans l'eau. Bien que d'un prix plus élevé, ils sont très utilisés en pulvérisation, dilués dans l'eau.

La plupart des essences feuillues communes, dans toutes les zones climatiques, sont sensibles au 2,4,5-T en pulvérisation foliaire, certaines plus que d'autres, et ce phytocide est maintenant l'un des plus connus et des plus utilisés. Dans les zones tempérées, les genres les plus sensibles sont Acer, Aesculus, Alnus, Betula, Carpinus, Corylus, Populus, Frunus, Salix, Sambucus et Ulex. Les genres résistants sont Ilex, Ligustrum, Rhododendron. Les Quercus spp., quoique partiellement résistants aux traitements foliaires, peuvent être détruits par pulvérisation sur l'écorce. Un phytocide voisin à radical phénoxy, connu sous le nom de Silvex (acide 2(2,4,5-trichlorophénoxy)propionique), est plus efficace que 2,4,5-T pour détruire certains végétaux ligneux, notamment les chênes.

Aux Etats-Unis le 2,4,5-T a été largement utilisé pour la préparation du terrain et pour la destruction des adventices. Les doses d'application sont approximativement les suivantes:

<u>Méthode</u>	<u>Dose à appliquer</u>
Pulvérisation foliaire	2,5 à 5,0 kg d'équivalent-acide per hectare
Pulvérisation sur rejets	5 à 7,5 kg d'équivalent-acide per hectare
Traitement sur écorce au pied de l'arbre ou sur souche fraîchement coupée	6 à 8 kg d'équivalent-acide pour 450 litres de gas oil

En Australie, on signale que le 2,4,5-T est efficace pour détruire les rejets d'eucalyptus dans les plantations de pins.

2,4-D (acide 2,4-dichlorophénoxyacétique)

Ce phytocide de transfert est utile pour détruire une grande variété de dicotylédones herbacées. Il est disponible sous les mêmes formes que le 2,4,5-T. En sylviculture, le 2,4-D a trouvé une utilisation particulière pour éliminer les bruyères (Calluna et Erica spp.), les ronces (Rubus) et autres espèces de landes. Pour cet usage, on peut employer en pulvérisation foliaire l'ester monylique du 2,4-D à faible volatilité, contenant 500 grammes d'acide par litre, sous forme émulsifiable dans l'eau. Les jeunes plants de conifères sont sensibles au 2,4-D en période de végétation active. La formulation de sel d'ammine est utilisée sous forme non diluée en application sur des entailles pratiquées dans l'écorce des arbres.

La combinaison d'esters émulsifiables de 2,4-D et de 2,4,5-T constitue un traitement double pour la destruction de végétations comprenant des espèces ligneuses et herbacées de dicotylédones. On emploie généralement de l'ordre de 2 à 5 kg d'équivalent-acide par hectare, mais les espèces particulièrement tenaces peuvent exiger des doses plus fortes.

Sulfamate d'ammonium (AMS)

Ce produit très soluble, se présentant sous forme cristallisée, détruit de nombreuses espèces ligneuses. On l'emploie surtout en application sur les souches coupées ou sur la tige des espèces résistantes au 2,4,5-T. On utilise normalement une solution à 400 grammes de sulfamate par litre d'eau, mais l'application d'une petite quantité sous forme cristallisée directement sur la souche fraîchement coupée ou sur incisions annulaires est également efficace. On peut aussi l'appliquer en pulvérisation foliaire. Les zones traitées au sulfamate par pulvérisateur ou atomiseur ne doivent pas être plantées avant un délai de 12 semaines après le traitement.

Le sulfamate corrode rapidement tous les métaux, et ne doit par conséquent être conservé que dans des récipients en plastique; le matériel de pulvérisation doit être nettoyé à fond immédiatement après usage.

Arsénite de sodium

Ce composé très toxique a trouvé un large emploi dans toutes les régions tropicales pour empoisonner par entailles annulaires les tiges d'essences indésirables de dimensions trop grandes pour pouvoir les abattre et les extraire économiquement. Cette méthode est de pratique courante notamment pour la plantation en layons en forêt dense. Aux Iles Salomon, par exemple, on l'emploie normalement pour empoisonner les tiges de l'étage dominant; on utilise en moyenne 170 grammes d'arsénite de sodium par hectare. Sa toxicité élevée pour

les mammifères, toutefois, constitue un risque sérieux pour le personnel qui le manipule, et dans beaucoup de pays son emploi comme phytocide est interdit. Il est dangereux pour le bétail et pour le gibier, qui viennent le lécher comme s'il s'agissait de sel.

Pentachlorophénol (PCP)

Ce produit, disponible en solution concentrée à 15%, a été utilisé en Nouvelle Guinée Papouasie en pulvérisation foliaire, pour tuer les dicotylédones et graminées annuelles adventices tant en pépinière qu'en plantations.

Picloram (acide 4-amino-3,5,6-trichloropicalinique)

Le Picloram est un phytocide de post-émergence et de transfert, extrêmement efficace contre les végétaux ligneux et particulièrement utile pour prévenir la pousse des rejets. La plupart des graminées y sont tolérantes. On l'a employé dans le Sud-Ouest de l'Australie pour tuer les recrûs d'eucalyptus dans les plantations de Pinus radiata, qui est moins sensible au Picloram qu'au 2,4,5-T. On l'utilise aussi pour débroussailler les emprises et accotements de routes et les pare-feux. Il est présenté sous forme de poudre soluble dans l'eau pour les traitements aériens ou de granulés pour application à la main ou par épandeur.

Triazines

Les triazines, qui comprennent la simazine et l'atrazine, agissent sur les semis émergents en intervenant sur les mécanismes de la photosynthèse. Comme elles circulent difficilement dans les vaisseaux du liber, on les applique sur le sol, où elles sont rapidement absorbées par les racines et transportées vers les feuilles par les vaisseaux du bois. Leur efficacité est en général optimale après une bonne préparation du sol.

L'atrazine est sans doute la triazine la plus employée en agriculture. En sylviculture on l'utilise comme phytocide de préémergence en pépinière ou en plantations.

La simazine est également un phytocide de préémergence, mais elle est plus persistante dans le sol que l'atrazine. Généralement commercialisée sous la forme de poudre mouillable contenant de 50 à 80% de simazine, on l'applique habituellement sur le sol avant la plantation. Aux Etats-Unis on l'a employée avec succès pour détruire les mauvaises herbes, en pulvérisation le long des lignes de plantation au début du printemps, avant la plantation de pin sylvestre. Mais on l'utilise surtout dans les pépinières forestières pour détruire les mauvaises herbes dans les planches de repiquage.

Chlorate de soude

C'est un phytocide "total", que l'on applique sur le sol pour tuer la végétation pérenne sur les routes, pistes et pare-feux, parcs à grumes, chantiers, etc. La toxicité persiste dans le sol pendant plusieurs mois, et pour certaines espèces jusqu'à un an et plus.

Herbicides sélectifs pour la destruction des graminées

La concurrence des graminées pérennes dans les jeunes plantations est un problème couramment rencontré; elle retarde souvent la croissance du peuplement et oblige à des désherbages coûteux. Deux produits ont à ce jour donné satisfaction, le dalapon et la paraquat.

Dalapon (Dowpon)

Le dalapon est un phytocide de transfert qui n'agit que sur les monocotylédones. Certaines graminées sont plus sensibles que d'autres: Agrostis, Deschampsia, Molinia et Nardus sont très sensibles, Agropyron et Holcus spp. le sont moins. Pour le désherbage des terrains couverts de graminées avant la plantation, on pulvérise une solution contenant de 8 à 17 kg de dalapon dans 350 à 450 litres d'eau par hectare, au plus 6 semaines et au moins 3 semaines avant la plantation. On peut alors mettre en place les plants au milieu de l'herbe tuée par le produit.

Sur les terrains plantés en conifères le dalapon peut être employé pour détruire les graminées entre les rangs de plantation à la dose de 11 kg/ha, sans dommage pour les jeunes plants de conifères à la condition que le traitement soit effectué en période de repos de la végétation. Des pulvérisations de contrôle doivent être répétées par intervalles en fonction de la vigueur de recrû.

Le dalapon est un des rares produits qui puissent être employés pour détruire les monocotylédones aquatiques dans les fossés, cours d'eau et étangs sans danger pour les poissons et autres organismes aquatiques. Son efficacité vis-à-vis des herbes aquatiques, laïches et joncs dans les stations humides est souvent accrue par addition d'acide 2,2,3-trichloropropionique.

Paraquat (Gramoxone)

Ce composé appartenant au groupe dipyridylum agit par transfert. Il est promptement absorbé, et a une action extrêmement rapide sur presque toutes les parties vertes des végétaux. Le paraquat est particulièrement efficace pour la destruction des graminées annuelles, des espèces à racines fibreuses et des espèces stolonifères. Il peut défolier les espèces ligneuses, mais les tue rarement, c'est pourquoi son emploi se limite principalement aux terrains où l'on a affaire à des espèces herbacées. Le produit est généralement rendu inactif par contact avec le sol, de sorte que la plantation peut être effectuée peu après le traitement.

Le paraquat peut être utilisé dans les jeunes reboisements, à la condition de bien protéger les jeunes plants contre le jet pulvérisé. Son efficacité est optimale au début du printemps, avant que les mauvaises herbes n'aient atteint une hauteur supérieure à 20-25 cm.

La dose normale d'application est de 11 litres de gramoxone dans 550 litres d'eau par hectare. Le produit est très toxique, et doit être manipulé avec précaution.

Méthodes d'application des phytocides

Les principales méthodes d'application des phytocides font appel à des appareils portés à dos d'homme, à des matériels mûs par moteur, et à la pulvérisation aérienne. L'équipement le plus courant consiste en pulvérisateurs dorsaux de divers modèles, qui pulvérisent finement le produit par compression et passage à travers un orifice calibré. L'orientation et arrêt du jet, ainsi que la finesse de pulvérisation, sont commandés par l'opérateur. Dans cette même catégorie d'appareils on trouve des atomiseurs dorsaux à moteur pour l'application de faibles volumes de liquide, et des appareils pour l'épandage de phytocides granulés.

Des pulvérisateurs à très faible débit ("ultra low volume" ou "U.L.V.") ont été récemment mis au point; ils pulvérisent le produit en très fines gouttelettes de diamètre relativement homogène, qui sont dispersées uniformément sur la surface à traiter au moyen d'une soufflerie, ou encore par gravité et mouvement naturel de l'air. L'appareil comprend un manche tubulaire en plastique qui sert de boîtier pour les piles, et de support pour la tête de pulvérisation. Celle-ci comporte un disque à deux étages mû par un moteur électrique, et sur lequel le produit est amené à partir d'un réservoir de 1 litre. Ce disque a un bord denté, et en tournant à grande vitesse (jusqu'à 6.000 tours/minute) produit une dispersion extrêmement fine. Le principal avantage de l'appareil U.L.V. est qu'il permet d'obtenir avec de 2 à 10 litres de solution concentrée la même dispersion de produit actif qu'avec 100 à 700 litres de phytocide dilué lorsqu'on utilise un pulvérisateur classique. Il en résulte une économie évidente de transport de liquide, ce qui ouvre de nouvelles perspectives pour les zones arides, où les disponibilités en eau constituent un obstacle à l'emploi de pulvérisateurs classiques. Des recherches sont en cours dans un certain nombre de pays en vue de l'application des techniques U.L.V. en sylviculture.

Il existe une variété d'appareils servant à injecter des phytocides dans les tissus des arbres ou arbustes indésirables. Ils comprennent en général un fer de hache ou un ciseau, à travers lequel le produit est injecté à partir d'un réservoir lorsque le tranchant est en contact avec le cambium. Ces outils apportent un perfectionnement à la technique des entailles annulaires, qui peut être complétée si nécessaire par une application de phytocide en pulvérisation ou au pinceau.

Il existe toute une gamme de matériels portés ou remorqués par tracteur pour les traitements à plus grande échelle. Les équipements utilisés comprennent des jets de pulvérisation sur tuyau souple, des atomiseurs, des épandeurs de granulés.

On étudie actuellement la mise au point d'atomiseurs U.L.V. montés sur tracteurs. Le traitement par avion ou hélicoptère est sans doute la meilleure méthode pour couvrir rapidement de grandes surfaces; il comporte cependant un risque sérieux d'entraînement de produit phytocide vers les terrains avoisinants, cours d'eau et cultures agricoles, ce qui restreint considérablement son emploi.

Beaucoup de phytocides ont des effets toxiques ou irritants pour le personnel qui les manipule si l'on ne prend pas les mesures de protection et de sécurité nécessaires. Il importe par conséquent de bien étudier les effets possibles d'un produit quelconque avant de le mettre en usage, et d'observer toutes les mesures de sécurité recommandées ou prescrites par la loi. L'emploi de tous les phytocides exige le port de vêtements protecteurs, et souvent de gants et de masques de protection. Cette exigence limite l'emploi des phytocides sous les climats chauds.

Caractéristiques de l'emploi des phytocides

Un des principaux avantages des méthodes chimiques de préparation du terrain est qu'elles peuvent avoir un effet plus durable que les autres méthodes, et dans ce cas le problème du recrû se trouve atténué. Sur les terrains sensibles à l'érosion, la végétation tuée agit souvent comme un paillage protecteur, et limite l'érosion sans concurrencer la plantation forestière, mais dans les régions arides la présence de ces matériaux secs accroît les dangers d'incendie. Le débroussaillage chimique peut être employé dans les terrains trop difficiles pour les méthodes mécaniques. Bien que le défrichage par méthodes chimiques soit souvent plus coûteux que les autres méthodes, on a mis au point dans un certain nombre de pays des techniques économiques d'empoisonnement des arbres indésirables par entailles annulaires ou pulvérisation au collet. Un inconvénient sérieux réside dans la nécessité de transporter de grandes quantités de liquide, ce qui restreint les possibilités d'emploi des pulvérisateurs ordinaires. Fort heureusement, la mise au point de la pulvérisation à très faible volume permettra vraisemblablement de résoudre ce problème.

BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES

- Adams, J.L. Prescribed burning techniques for site preparation in cut-over jack pine
1966 southeastern Manitoba. Pulp and Paper Magazine of Canada, December, 1966, 8 p.
- Akwada, E.C.C. Report on tour to Ivory Coast to witness land clearing in rain forest
1973 conditions, 4 p. (Unpublished document).
- Aldhous, J.R. Chemical control of weeds in the forest. Second edition. London,
1969 Her Majesty's Stationery Office. 49 p. Forestry Commission Leaflet No. 51.
- Allan, T.G. Notes on a visit to Ivory Coast with particular reference to land-
1973a clearing. 4 p. (Unpublished document).
- Allan, T.G. Trial use of bullocks for cultivation in establishing of small-scale
1973b plantations or woodlots in Nigerian savanna areas. Samaru, Nigeria, Savanna
Forestry Research Station. Research Paper No. 13.
- Allan, T.G. Handbook of plantation establishment techniques in the Nigerian savanna.
1977 Savanna Forestry Research Station, Nigeria. Rome, FAO. DP:NIR/73/007.
Project Working Document. p. 64.
- Allan, T.G., and Akwada, E.C.C. Land clearing and site preparation in the Nigerian
1977 savanna. In Savanna Afforestation in Africa. Rome, FAO. FOR:TF-RAF 95 (DEN).
pp. 123-138.
- Allison, C.E. Provisional standard times for operations in industrial plantations.
1970 Zambia, FAO. (mimeographed).
- Ball, J.B. Notes on chemical weed control in savanna plantation forestry. In Savanna
1977 afforestation in Africa. pp. 149-151. Rome, FAO. FOR:TF-RAF 95 (DEN).
- Balmer, W.E. et al. Site preparation - why and how. Atlanta, Georgia, U.S.A., U.S.D.A.,
1976 Forest Service. Forest Management Bulletin. p. 8.
- Bennouna, A. La mechanisation dans l'implantation du rideau forestier de l'oriental
1967 marocain. In Proceedings of FAO World Symposium on Man-Made Forests and
their Industrial Importance, Vol. 2. pp. 1099-1120. Rome, FAO. FO/MMF:67-9a/3.
- Blatchford, O.N. (ed.) Chemical control. The Entopath News, October, 1976. British
1976 Forestry Commission. 88 p.
- Bol, M. The role of mechanization in small-scale forestry. In Proceedings of Joint
1976 IUFRO/FAO Meeting on Ways and Means of Reconciling silvicultural and
operational methods in modern forestry, pp. 48-64. Oslo, FAO.
- British Forestry Commission. The safety of the herbicides 2,4-D and 2,4,5-T. Forestry
1977 Commission Bulletin No. 57, in press.
- Brown, A.G. Soil preparation for plantation establishment in Australia. Paper for
1971 15th IUFRO Congress, Gainesville, U.S.A. 11 p. (mimeographed).
- Brown, R.M. Chemical control of weeds in the forest. London, Her Majesty's Stationery
1975 Office. 65 p. Forestry Commission Booklet 40.

- Brown, R.M., and Thomson, J.H. Trials of ULV applications of herbicides in British
1975 forestry. Commonwealth Forestry Review, 54(1): 38-44.
- Brunck, F. L'utilisation de phytocides dans les pépinières et plantations forestières
1972 tropicales. Revue bois et Forêts des Tropiques, no. 141: 31-39.
- Burns, R.M., and Hebb, E.A. Site preparation and reforestation of droughty, acid sands.
1972 Washington, D.C., U.S. Government Printing Office. U.S.D.A. Agricultural
Handbook No. 426, p.61.
- Caterpillar Tractor Co., The clearing of land for development. 111 p.
1974
- Caterpillar Tractor Co., Land improvement contractors, application handbook, U.S.A.,
no date Caterpillar Tractor Co., AEO-30049-01, p. 36.
- Catinot, R. Formes spéciales de boisement-plantations en ligne, plantations d'enrichisse-
1967 ment, rideaux coupe-vent et brise-vent. In Proceedings of FAO World Symposium
on Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. I, pp. 529-550. Rome,
FAO. FO/MMF:67-11c/1.
- Catinot, R. Results of enrichment planting in the tropics. In Report of the Second
1970 Session of the FAO Committee on Forest Development in the Tropics, pp. 38-43.
Rome, FAO.
- Centre technique forestier. Débroussaillage et destruction de la végétation indésirable
1968 en forêt. Inventaires des matériels et des techniques. Paris. Cahier No. 78,
Série II, Exploitations forestières et scieries.
- Chavasse, C.G.R. (comp.) Proceedings of the Symposium on Mechanisation of Nursery
1973 Production, Forest Establishment and Tending in New Zealand. Rotorua,
New Zealand, Forest Research Institute. Vol. 1: proceedings and papers, 239 p.
Vol. 2: appendices, 119 p. Forest Research Institute Symposium No. 13.
- Chavasse, C.G.R. A review of land clearing for site preparation for intensive plantation
1974 forestry. In Proceedings of the IUFRO Symposium on Stand Establishment,
pp. 109-132. Wageningen, The Netherlands.
- Chavasse, C.G.R., and Fitzpatrick, J. Weed control in forest establishment in New Zealand.
1973 Proceedings of the Fourth Asian-Pacific Weed Science Society Conference,
Rotorua, New Zealand, p. 267-273.
- Cheney, N.P. Guidelines for fire management on forested watersheds, based on Australian
1977 experience. In FAO Conservation Guide No. 4. Rome, FAO. in press.
- Council for Agricultural Science and Technology, Department of Agronomy, Iowa State
1975 University. The phenoxy herbicides. Weed Science, 23(3):253-263.
- Crafts, A.S. Modern weed control. Berkeley, U.S.A., University of California Press.
1975 440 p.
- Crowther, R.E. Guidelines to forest weed control. London, Her Majesty's Stationery
1976 Office. 7 p. Forestry Commission Leaflet No. 66.
- Culpin, C. Farm mechanization. London, Crosby Lockwood and Son, Ltd.
1975

- Deval, J.L. Mise au point sur l'utilisation de nouvelles armes chimiques en sylviculture tropicale. Revue Bois et Forêts des Tropiques, no. 132: 23-29.
1970
- Devéria, N.E. Final (technical) report: plantation mechanization. Industrial Forestry Plantations, Turkey. Rome, FAO. FO:DP/TUR/71/521. Working Document 27, p. 115.
1977
- FAO Report of the Second Session of the FAO Committee on Forest Development in the Tropics, Rome, FAO. 162 p.
1970
- FAO Some aspects of earth-moving machines as used in agriculture. FAO, Rome. 56 p.
1975 Agricultural Services Bulletin 27.
- FAO Mechanization of irrigated crop production. Proceedings of an expert consultation held in Adana, Turkey, 5-9 April 1976. 404 p. FAO Agricultural Services Bulletin 28.
1977
- FAO/ECE Culture mecanique du sol forestier. Geneva, Economic Commission for Europe.
1963 49 p. FAO/ECE/LOG/112.
- Fleco Corporation. Land clearing equipment. (Catalogue of equipment)
1968
- Foot, D.L. Nursery and establishment technique on the Vipya Plateau, Malawi, with special reference to the formation of a man-made pulpwood forest. In Proceedings of the FAO World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. 3, pp. 1545-1554. Rome, FAO. FO/MMF:67-5b/c.
1967
- Fryer, J.D., and Evans, S.A. Weed control handbook. Vol. I: Principles. Oxford, Blackwell.
1970
- Fryer, J.D., and Makepeace, R.J. Weed control handbook. Vol. II: Recommendations. Oxford, Blackwell.
1972
- Gratkowski, H. Silvicultural use of herbicides in Pacific Northwest forests. Portland, U.S.A., Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. 44 p. USDA Forest Service General Technical Report PNW-37.
1975
- Groulez, J. Conversion planting in tropical moist forests. Paper for Fourth Session of Committee on Forest Development in the Tropics. Rome, FAO. 22 p.
1976
- Groupement Technique Forestier. Reboisement: Application des traitements par produits chimiques phytocides pour le reboisement. Nogent-sur-Vernisson, France, centre technique du génie rural, des eaux et des forêts, Ministère de l'Agriculture. 39 p. Note technique No. 26.
1974
- Groupement Technique Forestier. Reboisement: matériels mécaniques, 2nd ed. Nogent-sur-Vernisson, France, Centre technique du génie rural, des eaux et des forêts, Ministère de l'Agriculture. 51 p. Note technique no. 29.
1975
- Haines, L.W. et al. The effect of mechanical site preparation treatments on soil productivity and tree (*Pinus taeda* L. and *P. elliottii* Engelm. var. *elliottii*) growth. In Bernier, B. and Winget, C.H. (eds.), Forest soils and forest land management, 379-395. Québec, Les Presses de l'Université Laval.
1975

- Harrington, G. and Carter, N. Clearing bush in Uganda with tordon 101 mixture herbicide. 1972 Down to Earth, 28(3): 10-11.
- Heigeson, E.A. Methods of weed control. Rome, FAO. 189 p. FAO Agricultural Studies No.36. 1957
- Institut pour le Développement forestier. L'emploi des phytocides en sylviculture. Paris. 1971 8 p. Bulletin de la vulgarisation forestière no. 71/1.
- Jackson, J.K. Enrichment planting. Secretariat note for Third Session of Committee on 1974 Forest Development in the Tropics. Rome, FAO. 66 p.
- Kenya Forest Department. Taungya in Kenya: the "shamba system". In Proceedings of the 1967 FAO World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. 2, pp. 1057-1068. Rome, FAO. FO/MMF:67-6/4.
- Kimmins, J.P. Review of the ecological effects of herbicide usage in forestry. Victoria, 1975 British Columbia, Canadian Forestry Service. 44 p. Information Report No. BC-X-139.
- King, K.F.S. Agrisilviculture (the taungya system). Ibadan, Nigeria, Depart. of Forestry, 1968 University of Ibadan. 109 p. Bulletin No. 1.
- Lamb, A.F.A. Artificial regeneration within the humid lowland tropical forest. In Report 1968 of the First Session of the FAO Committee on Forest Development in the Tropics, pp. 73-88. Rome, FAO.
- Lamb, A.F.A. Enrichment planting in English-speaking countries of the tropics. In Report 1970 of the Second Session of the FAO Committee on Forest Development in the Tropics, pp. 44-56. Rome, FAO.
- Little, E.C.S., and Ivens, G.W. The control of brush by herbicides in tropical and sub- 1965 tropical grassland. Herbage Abstracts, Vol. 35(1): 1-11.
- Moir, T. Burning off for planting. New Zealand Journal of Agriculture, November, 1970, 1970 5 p.
- Masson, J.L. Subsoliación. Unpublished report, Centro de Investigaciones y Capacitación 1973 Forestales, Cuba. 14 p.
- Nash, C.A.M. Mechanization in other parts of the world with particular reference to 1968 Africa. Paper for Group Study Tour on Mechanization of Forest Site Preparation, U.S.S.R. Rome, FAO (mimeographed).
- Navarro Garnica, M., and Molina Rodríguez, J.J. Técnicas de forestación. Madrid, 1975 Instituto Nacional para la Conservación de la naturaleza, Ministerio de Agricultura. 201 p. Monografía 9.
- Norris, L.A. Behaviour of pesticides in plants. Portland, U.S.A., Pacific Northwest 1974 Forest and Range Experiment Station. 6 p. USDA Forest Service General Technical Report PNW-19.
- Olawoye, O.O. The agri-silvicultural system in Nigeria. Commonwealth Forestry Review, 1975 Vol. 54 (3 and 4), Nos. 161 and 162: 229-236.

- Packer, P.E. Site preparation in relation to environmental quality. In Proceedings of 1971 Annual Meeting of Western Reforestation Coordinating Committee, pp. 23-28. Portland, U.S.A., Western Forestry and Conservation Association.
- Palmer, J.R. Forestry in Brazil - Arrazonia. Commonwealth Forestry Review, Vol. 56(2): 1977 115-130.
- Post, B.W. Soil preparation in stand establishment. In Proceedings of IUFRO Symposium on 1974 Stand Establishment, pp. 141-176. Wageningen, The Netherlands.
- Roche, L. The practice of agrisilviculture in the tropics with special reference to Nigeria. In Shifting cultivation and soil conservation in Africa, pp. 179-190. Rome, FAO. Soils Bulletin 24.
- Rogers, E.V. Ultra low volume herbicide spraying. Edinburgh, Scotland, Her Majesty's 1975 Stationery Office. Forestry Commission Leaflet 62, p. 20.
- Höhrig, E. Herbicides for site preparation with stand establishment. In Proceedings of 1974 IUFRO Symposium on Stand Establishment, pp. 133-140. Wageningen, The Netherlands.
- Romancier, R.M. 2,4-D, 2,4,5-T and related chemicals for woody plant control in the 1965 southeastern United States. Macon, Georgia, U.S.A., Georgia Forest Research Council. Report Number 16, p. 46.
- Sampson, A.W., and Schultz, A.M. Control of brush and undesirable trees. Rome, FAO. 49 p. 1957
- Shipman, R.D. Preparing planting sites with herbicides. Tree Planters' Notes, 26(1): 1-4. 1974
- Tarrant, R.F. et al. The future role of chemicals in forestry. Portland, U.S.A., Pacific 1973 Northwest Forest and Range Experiment Station. 10 p. USDA Forest Service General Technical Report PNW-6.
- Terêncio da Silva, F., and Lourenco, M. The importance of the utilization of bulldozers 1977 in the development of cerrado soils in Brazil. In Mechanization of irrigated crop production, pp. 165-177. Rome, FAO. Agricultural Services Bulletin 28.
- Walstad, J.D. Weed control for better southern pine management. Hot Springs, U.S.A. 1976 Weyerhaeuser Company. 44 p. Weyerhaeuser Forestry Paper No. 15.
- White, K.J. Notes on enrichment planting in lowland rain forests of Papua New Guinea. 1976 Boroko, Papua New Guinea, Office of Forests. 13 p. Tropical Forestry Research Note SR. 31.
- Williston, H.L. et al. Chemical control of vegetation in southern forests. Atlanta, U.S.A., 1976 Southeastern Area State and Private Forestry, USDA Forest Service. 6 p. Forest Management Bulletin.
- Wittering, W.O. Weeding in the forest: a work study approach. London, Her Majesty's 1974 Stationery Office. 168 p. Forestry Commission Bulletin No. 48.

CHAPITRE 2

SEMIS DIRECT

CONSIDERATIONS GENERALES

Une fois terminée la préparation du terrain à reboiser, on y introduit le peuplement forestier soit par semis direct soit par plantation de plants de pépinière, stumps, sauvages ou boutures. Le choix entre semis et plantation dépend d'un certain nombre de facteurs. Les raisons qui peuvent jouer en faveur du semis direct sont les suivantes:

- 1) Coût. Le semis direct, lorsqu'il est réussi, revient généralement moins cher que la plantation: il évite tous les frais d'élevage des plants en pépinière, et est en lui-même le plus souvent moins coûteux que la plantation. Le coût du semis peut être encore abaissé lorsqu'on peut l'effectuer par moyens aériens, notamment dans les zones d'accès difficile.
- 2) Abondance et faible coût des semences. Le semis direct exige pour l'obtention d'un peuplement suffisamment complet des quantités de semences beaucoup plus importantes que la plantation avec des plants élevés en pépinière. Un facteur déterminant est, par conséquent la possibilité de se procurer aisément et à faible coût de grandes quantités de semences, ce qui est souvent le cas lorsqu'on utilise des essences locales.
- 3) Essences difficiles à élever en pépinière. Certaines essences (par exemple Pinus roxburghii de l'Himalaya) sont difficiles à élever en pépinière, et le semis direct donne alors de meilleurs résultats. Par ailleurs, les plants de la plupart des essences forestières subissent une crise de transplantation lorsqu'on les transfère de la pépinière sur le terrain à reboiser, et dans certains cas il vaut mieux pour cette raison recourir au semis direct. Les plants provenant de semis direct ont souvent, en particulier dans les sols à texture fine, un meilleur développement racinaire que des plants de pépinière plantés en fente, dont les racines ne se développent souvent que dans le plan de la fente de plantation.
- 4) Essences à croissance rapide faciles à installer par semis, ou encore concurrence négligeable des adventices. Le semis direct est préférable lorsque les jeunes plants poussent assez vite pour survivre et prendre le dessus sur la végétation concurrente, rendant ainsi inutile une longue période d'entretien et de désherbage; sinon on perd l'avantage financier du semis. On a utilisé avec beaucoup de

succès le semis aérien pour semer Pinus radiata sur des prairies de graminées basses dans certaines régions de Nouvelle Zélande, et pour diverses autres espèces de pins dans le Sud des Etats-Unis, ainsi que dans la Prairie canadienne. En Finlande il est de pratique courante de semer le pin sylvestre sur certains types de tourbières récemment drainées sans autre préparation du sol; la surface humide offre un bon substrat pour la germination, la végétation concurrente est moins abondante et les parasites et maladies sont également moins fréquents que sur un sol minéral.

- 5) Bon pouvoir germinatif. Les essences choisies doivent présenter une germination sûre et prévisible dans les conditions réelles du milieu. On préfère souvent les espèces à grosses graines, parce qu'elles donnent des semis de plus grande taille, qui résistent mieux aux conditions adverses du milieu que les espèces à petites graines.

Les principaux inconvénients du semis direct sont:

- 1) Les quantités relativement importantes de semences nécessaires pour compenser les pertes dues aux oiseaux granivores, rongeurs et insectes, ainsi qu'aux conditions de climat et de sol et à la concurrence des adventices. Il peut y avoir également des pertes dues au gel, qui tue ou déchausse les jeunes semis, et aux animaux qui les broutent ou les piétinent. Lorsque le coût d'obtention des semences est élevé, par exemple lorsqu'il faut les importer, ou qu'il s'agit de semences de provenances particulières ou récoltées dans un verger à graines, ou encore lorsqu'il est difficile d'en obtenir les quantités voulues, il est souvent plus économique et plus efficace d'élever des plants en pépinière.
- 2) L'irrégularité du peuplement obtenu, en particulier dans le cas de semis à la volée, et la moins bonne utilisation de l'espace qui en résulte, par comparaison avec la plantation. Une densité trop forte nécessitera des dégagements précoces, comme cela a été le cas en Nouvelle Zélande où ce travail supplémentaire a absorbé une bonne partie du bénéfice du semis direct. Par contre, le semis direct s'accommode mieux de variations continues dans les conditions de la station (par exemple la fertilité du sol).

L'économie permise par le semis aérien a incité à étudier des méthodes d'enrobage des semences avec des pesticides et des substances propres à favoriser la germination. Les résultats intéressants obtenus dans ce domaine ont fait adopter le semis direct comme méthode courante de reboisement dans beaucoup de régions du monde. Néanmoins, la tendance générale est plutôt en faveur de la plantation, qui quoique plus coûteuse est en général plus sûre et permet une plus grande maîtrise du reboisement.

PRETRAITEMENT DES SEMENCES

Certaines graines peuvent être semées telles qu'elles sont récoltées sur les semenciers; d'autres passent par une phase de dormance au cours de laquelle l'embryon achève son développement. On procède souvent à un prétraitement dans le but de hâter la germination, ou d'obtenir une germination plus régulière. Les traitements varient en fonction du type de dormance des graines; les principaux types de dormance sont les suivants:

- 1) Dormance exogène, en rapport avec les propriétés mécaniques, physiques ou chimiques du péricarpe ou du tégument;
- 2) Dormance endogène, déterminée par les propriétés morphologiques ou physiologiques de l'embryon ou de l'endosperme;
- 3) Dormance mixte.

Prétraitement des semences dans le cas de dormance exogène

Trempage dans l'eau froide

Avec un grand nombre d'essences, un trempage à l'eau froide d'un ou plusieurs jours suffit à assurer la germination. Le trempage dans l'eau, chaude ou froide, agit en ramollissant l'enveloppe de la graine et en permettant une bonne absorption de l'eau par les tissus vivants. Le trempage à l'eau froide est employé entre autres pour les pins himalayens et au Japon pour les semences de pins et d'épicéas. Si le trempage doit durer longtemps il est recommandé de changer l'eau de temps en temps. Il faut généralement semer les graines immédiatement après le trempage lorsqu'elles sont encore humides, la dessiccation entraînant d'ordinaire une diminution du pouvoir germinatif. Font exception à cette règle les graines d'Acacia mearnsii en Afrique du Sud, que l'on sèche après le traitement à l'eau chaude et que l'on conserve en magasin pendant 3 semaines. De même, dans certains pays, on fait subir aux graines de teck une alternance de trempage et de séchage.

Trempage dans l'eau chaude ou bouillante

Les graines de nombreuses espèces de légumineuses ont des téguments extrêmement coriaces qui peuvent retarder la germination pendant des mois ou même des années, à moins qu'on ne leur fasse subir un prétraitement par immersion dans l'eau bouillante; c'est le cas par exemple d'Acacia decurrens, A. mearnsii, A. arabica. On plonge les graines dans 2 à 3 fois leur volume d'eau bouillante, et on les laisse tremper jusqu'à ce que l'eau soit refroidie. La gomme mucilagineuse qui exsude du tégument est alors lavée par agitation dans plusieurs bains d'eau propre.

Les glands, châtaignes et autres graines charnues voient parfois leur germination améliorée par l'échaudage, qui consiste à les tremper pendant seulement 15 à 30 secondes dans l'eau bouillante, ce qui tue les insectes et larves se trouvant fréquemment sur ces semences. Si ce trempage durait plus d'une minute, toutefois, la graine pourrait être tuée.

Traitement par l'acide

On recourt au trempage dans des solutions d'acide dans le cas de semences à téguments très durs telles qu'Acacia nilotica et Albizia lebbek. On emploie le plus souvent l'acide sulfurique concentré; après trempage la semence doit être immédiatement lavée dans de l'eau claire. Il convient de procéder à des essais pour déterminer la durée optimale de traitement pour chaque espèce ou même pour chaque provenance, un trempage trop long pouvant facilement endommager la semence.

Les exemples suivants indiquent le temps de trempage dans l'acide recommandés pour les semences de quelques Acacia:

<u>Espèce</u>	<u>Temps (minutes)</u>
<u>Acacia albida</u>	20
<u>A. nilotica</u>	60 à 80
<u>A. senegal</u>	40

Autres traitements

Dans certains cas les semences sont scarifiées, par exemple en les plaçant dans des tambours rotatifs, pour fendre ou percer le tégument de la graine. Il est parfois nécessaire, pour obtenir une bonne germination, de fendre ou ouvrir les graines à la main, ou même de les couper partiellement (exemple: Pterocarpus angolensis et P. pedatus). La germination de Pinus lambertiana peut être améliorée par enlèvement du tégument et de la

membrane qui recouvrent la graine. Dans certains pays (Inde, Soudan) on fait absorber les graines de certaines espèces d'Acacia et de Prosopis par des chèvres, et on les récupère ensuite dans les déjections; la digestion partielle des graines qui s'opère dans l'intestin de l'animal favoriserait leur germination, mais cette méthode présente des difficultés évidentes d'application, et n'est plus utilisée que lorsqu'un traitement par l'acide n'est pas possible.

Prétraitement des semences dans le cas de dormance endogène

Stratification

La stratification consiste à stocker les semences en milieu humide, par exemple dans de la tourbe ou du sable humidifiés, de façon à maintenir leur viabilité et supprimer la dormance. Lorsque la semence est conservée humide à une température voisine de zéro, on parle de stratification froide, même si aucune matière support n'est utilisée. La stratification est couramment employée pour les grosses graines charnues, telles que glands, noix, semences de teck. La semence est généralement stockée dans une fosse ou une tranchée en couches alternées avec du sable, de la tourbe, des feuilles ou de la paille humides, et couverte pour l'abriter de la pluie et la protéger contre les attaques des rongeurs.

La stratification froide humide est également couramment utilisée pour interrompre la dormance ou favoriser la germination de diverses espèces de pins (Schubert et Adams, 1971). La méthode est la suivante:

- 1) Les semences sont intimement mélangées à du sable stérile de rivière ou de la vermiculite humidifiée;
- 2) Le mélange est versé dans des plateaux ou des récipients métalliques pourvus au fond de trous de drainage;
- 3) Les récipients sont placés dans un réfrigérateur à une température de 0°,5 à 2°,0 C pendant le temps nécessaire pour supprimer la dormance.

Le substrat doit être maintenu constamment humide pendant toute la durée du stockage. Afin de limiter l'apparition de moisissures les semences doivent être préalablement traitées avec un fongicide tel que le Captan. On peut aussi tremper les semences pendant un ou deux jours et, après les avoir laissés égoutter, les placer dans des sacs en polyéthylène scellés et les stocker à 0°-2°C. Le temps nécessaire pour rompre la dormance peut varier par exemple de 40 à 150 jours pour Pseudotsuga menziesii selon l'origine de la semence, tandis qu'il est de 30 jours pour Pinus ponderosa, de sorte qu'il est indispensable de procéder à des essais et à des recherches pour déterminer la durée de stratification optimale pour une essence et une région données.

Au Japon, on pratique une forme particulière de stratification sous la neige pour hâter la germination de certaines essences (par exemple (Abies sachalinensis, A. homolopis, A. firma)). Après un court trempage, on étale les semences en couche uniforme sur une aire préparée, et on les recouvre de sable de rivière propre. Le sable est ensuite recouvert de paille, sur laquelle on tasse une épaisseur de neige de 1,50 à 2 mètres. On renouvelle la neige de temps en temps jusqu'à l'arrivée du dégel de printemps; les graines sont alors prêtes pour le semis.

La stratification à température normale suivie d'une stratification froide s'est avérée efficace pour un grand nombre d'essences (par exemple Fraxinus excelsior). Les semences sont maintenues à la température de germination pendant un ou plusieurs mois, après quoi on les fait passer dans une chambre froide ou un réfrigérateur, où on les maintient à nouveau pendant un ou plusieurs mois à basse température.

Traitements chimiques

Certains produits chimiques tels que le peroxyde d'hydrogène se sont révélés efficaces pour rompre la dormance interne de la plupart des graines (par exemple Pseudotsuga, Abies, pins du Sud des Etats-Unis). On a montré que l'acide gibbérélique accroît la faculté germinative et stimule même la croissance méristématique, et que, par ailleurs, un certain nombre de semences forestières répondent à un traitement par divers composés organiques, dont l'acide citrique et l'acide tartrique. D'autres produits chimiques se sont révélés efficaces, tels que la nitrate de potassium à 1-4% pendant 24 heures, ou l'oxyde rouge de cuivre et l'oxyde de zinc pulvérulents.

Prétraitement des semences dans le cas de double dormance

Pour vaincre la double dormance il faut à la fois traiter la semence de façon à rendre son enveloppe perméable, et provoquer dans l'embryon les modifications indispensables à la germination. La stratification à froid est parfois suffisante, mais le plus souvent il faut un trempage à l'eau chaude, un traitement à l'acide ou une scarification, suivis d'une stratification. La stratification à température normale suivie d'une stratification froide a également donné de bons résultats dans bien des cas.

ENROBAGE DES SEMENCES

Là où les parasites animaux causent des pertes sérieuses, les graines doivent être traitées avant le semis avec des insecticides et des produits répulsifs contre les rongeurs et les oiseaux. On utilise contre les insectes et les rongeurs des produits tels que l'arséniate ou l'endrine; l'arasan et l'antraquinone sont efficaces comme répulsifs contre les oiseaux et comme fongicides.

Le développement du semis aérien a encouragé des essais ayant pour objet d'enrober les semences avec des substances hygroscopiques contenant des éléments nutritifs et des produits répulsifs toxiques. Cet enrobage accroît le poids de certaines graines légères et améliore ainsi leur répartition lors du semis aérien. On a utilisé avec succès pour Pinus palustris et P. taeda dans le Sud des Etats-Unis une formule d'enrobage composée d'endrine et d'arasan comme répulsifs, avec une colle à base de latex servant de liant. Les proportions relatives de semis obtenus sur le terrain avec des semences enrobées et avec des semences non traitées étaient dans le rapport de 55 : 1 pour Pinus palustris et 12 : 1 pour P. taeda (Deer et Mann, 1971). La poudre d'aluminium s'est révélée utile comme lubrifiant pour les semences enrobées. En Afrique Orientale, on emploie le Rhizoctol combi pour protéger les semences enrobées de Pinus patula contre la fonte des semis.

PREPARATION DU TERRAIN

Dans la plupart de cas, le semis direct ne réussira qu'à la condition que les graines soient en contact avec le sol minéral, et de préférence recouvertes d'une mince couche de terre protectrice. Le contact avec le sol minéral peut être obtenu par brûlage ou par défrichage et culture du sol. Le brûlage contrôlé constitue en Australie une importante méthode de préparation du terrain pour les eucalyptus, notamment dans les forêts de types humides; il est également très employé dans le Sud des Etats-Unis pour le semis aérien des pins.

Le défrichage et le labour préalables ou semis peuvent être effectués sur toute la surface, ou se limiter à des bandes ou placeaux. Sur les terrains en pente le labour se fait généralement par bandes, continues ou non, suivant les courbes de niveau. S'il y a danger d'érosion, on laisse habituellement la végétation spontanée intouchée dans les interbandes.

On a employé avec succès en Tanzanie, spécialement pour Cassia siamea, la méthode dite des "bourrelets cloisonnés", qui consiste à cultiver toute la surface et à élever à la houe des bourrelets à intervalles réguliers. Les bourrelets principaux suivent les courbes de niveau, et sont reliés entre eux par des bourrelets plus petits à angle droit, ce qui forme un ensemble de cuvettes rectangulaires peu profondes, limitées par les bourrelets dont l'espacement est normalement d'environ 3 mètres. Les bourrelets cloisonnés sont généralement employés sur les terrains à faible pente, où ils interceptent très efficacement les eaux de ruissellement. Les semis effectués sur les bourrelets ont donné de très bons résultats. Chaque fois que cela est possible on associe au peuplement forestier une culture vivrière.

On emploie également dans certaines régions de savanes sèches la méthode indienne du "rab", qui consiste à empiler les rémanents, après défrichage, en andains ou en tas, et les brûler lorsqu'ils sont secs. On sème directement sur la cendre après le brûlage. L'avantage de cette méthode est que le feu stérilise partiellement le sol, tuant toutes les mauvaises herbes et les populations de termites et de fourmis se trouvant en surface. Les bandes semées demeurent libres de végétation adventice pendant un temps appréciable, et la cendre constitue un engrais utile pour les jeunes semis. On a employé en Zambie, sous le nom de "citemene", une méthode similaire, mais elle a été abandonnée en raison des problèmes posés par la nécessité de brûler au moment opportun de grandes surfaces à la fois, et par la protection des jeunes peuplements contre le feu.

EPOQUES DE SEMIS

En règle générale, le semis doit avoir lieu lorsque l'humidité et la température du sol sont suffisantes pour permettre à la germination de démarrer et pour favoriser une bonne croissance initiale des jeunes semis, c'est-à-dire, selon les régions, au printemps ou au début des pluies. L'humidité et la pluviométrie sont les facteurs prépondérants, de sorte que la date effective du semis peut varier d'une année à l'autre. Si l'on fixait une date de semis rigide sans se préoccuper de l'humidité du sol, on risquerait que les premières pluies soient suffisantes pour faire démarrer la germination, mais non pour l'entretenir. Le sol doit également être complètement dégelé, mais certaines essences exigent pour leur germination une température du sol plus élevée.

Dans les régions sujettes aux chutes de neige, particulièrement en zones sèches, on a parfois avantage à semer avant l'enneigement. La neige protège les semences contre les oiseaux et autres animaux granivores pendant l'hiver, et elles germent immédiatement après la fonte des neiges lorsque les conditions sont favorables, ce qui est un avantage dans le cas où la sécheresse estivale suit de près le dégel. Dans d'autres cas on sème immédiatement après la disparition de la neige, ou parfois sur la surface de la neige aussitôt que le dégel a commencé.

Dans le Sud des Etats-Unis (Derr et Mann, 1971) le semis peut se faire au printemps ou à l'automne, mais ce sont en général les semis de début du printemps qui donnent les meilleurs résultats. En Californie par contre, le semis de fin d'automne peut s'étaler sur une plus longue période, évite la nécessité de stratifier les semences, et assure une germination plus précoce au printemps.

METHODES DE SEMIS DIRECT

Semis à la volée

Le semis à la volée peut se faire:

- à la main;
- à l'aide d'un distributeur centrifuge monté sur tracteur, du type utilisé en agriculture pour l'épandage des engrais complets;
- par avion ou hélicoptère (semis aérien).

Le semis est employé pour de nombreuses essences, mais il consomme beaucoup plus de semence à l'hectare (2 à 3 fois plus que les autres méthodes citées). On l'emploie dans les cas où les semences sont abondantes et peu coûteuses, admettant qu'une fraction relativement faible (30% ou moins) des graines qui germent survivront. Si les conditions de germination et de survie sont bonnes, on risque avec le semis à la volée d'avoir une densité trop forte du jeune peuplement, ce qui oblige à l'éclaircir par la suite par des dégagements énergiques à la main ou par moyens mécaniques. Dans ces conditions, le semis en lignes (à la main ou au semoir mécanique) ou même en placeaux évite une consommation excessive de semences. Dans les cas où le semis aérien est possible, cependant, on considère parfois l'excès de densité du peuplement et la nécessité de l'éclaircir comme un inconvénient acceptable.

Beaucoup de reboisements en Pinus radiata ont été réalisés en Nouvelle Zélande par semis aérien, et au Canada le semis direct de Pinus contorta, P. banksiana et Picea glauca, soit par avion soit au moyen de semoirs montés sur tracteurs, est entré dans la pratique courante, grâce à la mise au point des techniques d'enrobage des semences. Au Canada on utilise pour le semis à la volée de 150 à 450 g/ha de semences, selon l'essence et selon les conditions locales.

Le semis aérien a également été utilisé à grande échelle avec beaucoup de succès pour Pinus elliottii et autres pins à croissance rapide dans les Etats du Sud des Etats-Unis. C'est la méthode la plus rapide et la moins coûteuse, un avion pouvant semer 600 hectares par jour et un hélicoptère jusqu'à 1.000 hectares. Le semis à la volée ou semoir mécanique est beaucoup plus lent, couvrant tout au plus 35 hectares par jour, tandis que le maximum qu'un ouvrier puisse semer à la main dans une journée est de 8 hectares.

Les techniques de reboisement des dunes par semis aérien suivi de pulvérisation d'un produit coagulant pour fixer le sable mobile seront examinées dans le Chapitre 4.

Chaque fois que cela est possible la semence doit être recouverte d'une épaisseur de terre égale à 2 ou 3 fois son diamètre. Si le terrain a été préalablement cultivé à sol nu on peut y parvenir en enterrant les semences par un passage de rouleau agricole tiré par un tracteur, ou encore en traînant sur le sol une bille de bois ou un madrier attelés par des cordes ou chaînes fixées à chaque extrémité à un tracteur ou à des animaux de trait. Le fait de couvrir les semences a un effet marqué sur le pourcentage de germination et de survie des semis.

Semis en lignes

Le semis en lignes peut être commodément employé sur un terrain cultivé en plein ou en lignes ou bandes. La semence est mise en terre à la main ou au moyen d'un semoir en lignes agricole modifié. Le semis en lignes utilise de 2 à 3 fois moins de semence que le semis à la volée. C'est également la méthode la plus appropriée pour semer les grosses graines. L'écartement entre les lignes peut être fixé en fonction de la rapidité de croissance ou des techniques d'entretien ultérieur, et l'espacement des semences sur la ligne doit être tel qu'il assure une densité convenable du peuplement.

Le semis en lignes est encore couramment usité dans beaucoup de pays, en particulier pour les reboisements à petite échelle. C'est la seule méthode possible sur les terrains préparés avec des bourrelets cloisonnés et sur les banquettes et gradins dans les terrains en pente. On trace parfois un sillon peu profond dans lequel on laisse tomber les semences, et que l'on referme ensuite à la houe ou au rateau.

Les semences très grosses peuvent être semées en poquets ouverts dans le sol à l'aide d'un bâton plantoir. Au Brésil on sème ainsi Araucaria angustifolia, dans des poquets profonds de 10 à 20 cm, à l'écartement de 1 à 3 mètres aussi bien sur la ligne qu'entre les lignes (NTIMA, 1968). On sème de une à trois graines par poquet. Une méthode similaire est employée en Argentine, où les lignes sont écartées de 1 mètre, avec un espacement des poquets de 0,50 mètre sur la ligne. Avec ce faible espacement il faut de 40 à 120 kg de semence à l'hectare. À la troisième année on éclaircit les semis à 2.500 plants/hectare. Le semis en lignes est la méthode généralement employée en Italie pour les reboisement en Pin pignon (Pinus pinea); on utilise de 50 à 120 kg de graines à l'hectare. Les semences sont enfouies à "un doigt de profondeur".

Lorsque son emploi est possible, le semoir en lignes attelé à un tracteur permet souvent d'effectuer le semis en temps plus opportun et plus efficacement qu'à la main. Il peut semer 5 hectares par jour, alors qu'il faudrait 25 hommes pour effectuer le même travail dans le même temps. Au Canada on utilise depuis peu un semoir en lignes spécialement étudié, attelé à un tracteur à chenilles équipé d'une lame de bulldozer en V. Ce matériel permet d'effectuer en une seule opération le scarifiage du sol et le semis.

Semis en placeau

Cette méthode consiste à semer sur des taches cultivées de faible surface, disposées à intervalles réguliers correspondant à la densité désirée pour le peuplement. On l'emploie couramment en zones tropicales pour les reboisements en Swietenia et Gmelina, à raison de 2 ou 3 graines par placeau.

En Nouvelle Galles du Sud (Australie), le semis en placeaux est la méthode normale employée pour les reboisements en Eucalyptus pilularis et E. grandis. On défriche tout d'abord le terrain, et on incinère ensuite sur place les déchets. Les graines sont semées en petits placeaux de 20 cm de diamètre à l'écartement de 2,80 x 2,80 m ou 3 x 3 m, à l'aide d'un semoir "poivrier" constitué par un bocal à couvercle vissé, ou une boîte en plastique avec un couvercle perforé, que l'on secoue pour faire tomber juste la quantité voulue de graines. On utilise de 250 à 500 grammes de semences à l'hectare. La même méthode est employée en Zambie et au Congo pour semer les eucalyptus, avec toutefois de moins bons résultats qu'en Nouvelle Galles du Sud dont sont originaires les deux espèces mentionnées. D'une manière générale, la plantation donne de meilleurs résultats que le semis direct pour les Eucalyptus hors de leur aire d'origine.

Le semis en placeaux est couramment employé pour les reboisements de conifères en terrains montagneux, notamment dans certains pays méditerranéens, dans l'Himalays et au Japon. Au Japon les placeaux ont environ un demi-mètre de diamètre, et on y sème une cinquantaine de graines de Pinus densiflora, que l'on recouvre par un ratissage léger.

Les placeaux peuvent prendre la forme de rectangles, qui ont couramment 1,50 mètre de large sur 2 à 4 mètres de long, le grand côté étant orienté suivant la courbe de niveau. Après débroussaillage, les placeaux sont ameublés à la pioche ou à la houe. En Italie Pinus pinaster et P. laricio sont normalement semés de cette façon, ou encore sur des bandes cultivées continues, à raison de 6 à 15 kg de semences à l'hectare. Cette méthode est également très employée à Chypre pour ressemer en Pinus brutia les forêts incendiées. Des techniques similaires ont été employées avec succès pour reboiser en Cedrus deodara, Pinus griffithii, P. roxburghii, à raison de 2,1 kg de graines de cèdre et 1,5 kg de graines de pins à l'hectare. Il faut environ deux fois cette quantité de graines pour semer en bandes de niveau continues.

Une autre variante de la méthode est le semis sur buttes ou sur billons, spécialement employée en stations humides ou dans des sols mal drainés. La terre prélevée dans des trous est déposée en petites buttes à sommet plat, sur lesquelles on sème ensuite à la volée ou en poquets.

Le semis en placeaux est parfois utilisé pour le reboisement en taungya; les placeaux sont alors marqués par un piquet planté en terre afin que le cultivateur évite d'endommager les semis lors du sarclage ou de la récolte de sa culture.



La canne-semoir "Panama" est un outil individuel léger qui permet de semer en poquets directement dans le sol minéral. Elle est munie d'une gâchette de distribution et d'un orifice réglable qui permettent à l'opérateur de doser le nombre de graines par poquet. (Photo U.S. Forest Service)

Semis de remplacement

Les manques qui se présentent après le semis sont regarnis par un ressemis l'année suivante, ou par transplantation de jeunes semis se trouvant en excédent dans d'autres parties de la zone à reboiser. Dans le cas d'essences à croissance rapide, il est préférable de combler les vides avec des plants élevés en pépinière plutôt que d'y tenter un ressemis. Il importe de déterminer les causes d'échec, de façon à éviter autant que possible que les mêmes facteurs accidentels ne compromettent pareillement le nouveau semis.

BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES

- Appelroth, S.E. Work study aspects of planting and direct seeding in forestry. In IUFRO
1974 Symposium on Stand Establishment, pp. 202-275. Wageningen, The Netherlands.
- Cayford, J.H. (ed.) Direct seeding symposium. Ottawa, Canada, Department of the
1974 Environment. 178 p. Canadian Forestry Service Publication No. 1339.
- Derr, H.J., and Mann, W.F., Jr. Direct-seeding pines in the South. Washington D.C.,
1971 USDA Forest Service. 68 p. Agriculture Handbook No. 391.
- Hadri, H., and Tschinkel, H. Semis direct de pin d'Alep. Ariana, Tunisia, Institut
1975 National de Recherches Forestieres. 26 p. Note de Recherche No. 5.
- Kerr, E. Can direct seeding bridge the South's "regeneration gap"? Journal of Forestry,
1975 November, 1975 : 720-723.
- Laurie, M.V. Tree planting practices in African savannas. Rome, FAO. FAO Forestry
1974 Development Paper No. 19, p. 185.
- Lohrey, R.E. Site preparation improves survival and growth of direct-seeded pines. New
1974 Orleans, U.S.A., Southern Forest Experiment Station. 4 p. USDA Forest Service
Research Note 50-185.
- Mann, W.F. Jr. et al. Status of aerial row seeding. Forest Farmer, 34(2): 12-13, 38-40.
1974
- Ntima, O.O. The araucarias. Oxford, Commonwealth Forestry Institute. 139 p. Fast Growing
1968 Timber Trees of the Lowland Tropics No. 3.
- Rietveld, W.J., and Heidmann, L.J. Direct seeding ponderosa pine on recent burns in
1976 Arizona. Fort Collins, U.S.A., Rocky Mountain Forest and Range Experiment
Station. 8 p. USDA Forest Service Research Note RM-312.
- Schubert, G.H., and Adams, R.S. Reforestation practices for conifers in California.
1971 Sacramento, U.S.A., Division of Forestry, State of California. p. 359.
- USDA Forest Service. Pine seed drill. San Dimas, U.S.A., Equipment Development Center.
1967 24 p. Equipment Development and Test Report 2400-1.
- Williston, H.L., and Balmer, W.E. Direct seeding of southern pines - a regeneration
1977 alternative. Atlanta, U.S.A., Southeastern Area State and Private Forestry,
USDA Forest Service. 6 p. Forest Management Bulletin.

CHAPITRE 3
PLANTATION ET ENTRETIEN

PLANTATION

Avant d'entreprendre un programme de reboisement de quelque importance, il convient de procéder à une série d'essais et de recherches en vue de décider de la méthode la plus appropriée. Il faut envisager aussi bien l'hypothèse du semis en raison surtout de son coût souvent moins élevé, que de la plantation avec des plants élevés en pépinière, mais celle-ci est de loin la méthode la plus couramment employée.

La plantation permet un espacement régulier qui assure une bonne utilisation du terrain et facilite les travaux d'entretien ultérieurs et la gestion des peuplements. En conditions difficiles, notamment dans les zones sèches, la plantation s'est avérée la méthode de reboisement de loin la plus efficace, sinon dans bien des cas la seule possible. C'est souvent, également, la méthode qui donne les meilleurs résultats dans des stations à sol fertile où la concurrence des adventices est sévère. Lorsque les semences sont rares ou coûteuses, la production de plants en pépinière et la plantation permettent de tirer le meilleur profit des semences disponibles. Enfin, pour les essences que l'on multiplie par voie végétative, telles que les peupliers hybrides, ou pour celles qui ne produisent que peu ou pas de semences viables, il n'y a d'autre solution que la plantation.

Les principaux inconvénients de la plantation par rapport au semis direct sont les suivants:

- le coût et le temps nécessaires pour produire les plants en pépinière;
- le coût élevé du transport des plants, et les problèmes qu'il pose pour les acheminer sans dommage de la pépinière au site de plantation;
- les besoins en main d'oeuvre, tant en ce qui concerne ses effectifs que sa qualification, une plantation réalisée sans soin se traduisant par un faible taux de survie ou par une malformation des racines qui influe défavorablement sur la croissance des arbres et sur la solidité de leur enracinement.

Les principes fondamentaux de la plantation sont les suivants:

- 1) Les plants utilisés doivent être sains et vigoureux;
- 2) Les essences choisies doivent être bien adaptées à la station, et le terrain doit être convenablement préparé pour recevoir les plants;

- 3) La plantation doit être exécutée correctement et en temps opportun, et les plants doivent recevoir tous les soins et toute la protection nécessaires pendant et après leur mise en place.

Divers types de plants forestiers

La nature des plants utilisés a une incidence directe sur la méthode de plantation. Les principaux types de plants forestiers sont: les plants à racines nues, les plants en mottes, en pots, sachets ou tubes, les stumps et les boutures.

Plants à racines nues

Les plants à racines nues sont des plants que l'on extrait des planches et que l'on secoue pour enlever l'excédent de terre sur les racines, en n'en laissant qu'une fine couche pour les protéger. On lie les plants en bottes et on les protège de la dessiccation pendant le transport en enveloppant les racines dans de la mousse ou des feuilles humides, ou en les pralinant par trempage dans de la boue liquide ou dans un mélange spécialement préparé. Les bottes de plants sont ensuite placées dans des sacs en papier ou en plastique, des cartons, etc... pour le transport. Les sacs en plastique, ou en papier doublé d'une feuille de plastique, présentent l'avantage d'être perméables au gaz carbonique, mais imperméables à l'eau, ce qui réduit au minimum les risques de dessiccation.

Les plants à racines nues sont surtout utilisés dans les régions tempérées ou les régions où l'humidité atmosphérique est relativement élevée durant la saison de plantation. Dans les régions tempérées, les plants se trouvent généralement à l'état de repos végétatif à l'époque de la transplantation, ce qui facilite la plantation à racines nues. Les plants risquent toutefois de perdre leur viabilité, même sous les climats humides, si leur racines sont exposées au soleil ou au vent; il faut par conséquent toujours les maintenir couverts lorsqu'ils arrivent au site de plantation, jusqu'au moment de leur mise en place. Chaque fois que le délai entre la livraison des plants et leur mise en place risque de dépasser quelques heures, il faut les mettre en jauge, c'est-à-dire les placer dans des tranchées et recouvrir les racines de sable humide, de tourbe ou de terre légère. Des plants convenablement mis en jauge et arrosés régulièrement peuvent être conservés sans dommage pendant plusieurs jours, voire plusieurs semaines.

Les plants effeuillés ou "striplings" sont des plants de grande taille, avec une tige de 1 à 2 mètres de hauteur, que l'on dépouille de leurs feuilles avant de les expédier vers les lieux de plantation. L'effeuillage a pour effet de réduire les pertes par transpiration. Les striplings sont utilisés surtout en zone tropicale, lorsqu'il y a risque d'abrutissement par le gibier.

Les sauvageons (en anglais "wildlings") sont des semis ou drageons spontanés, que l'on utilise parfois lorsqu'on manque de plants de pépinière, ou que ceux-ci sont trop petits. Ils sont surtout employés pour les plantations d'enrichissement.

Plants en mottes, en pots ou en sachets

Les plants en mottes sont des plants que l'on expédie avec les racines enrobées de terre de pépinière, ce qui les protège contre la dessiccation et réduit les dommages au système racinaire lorsqu'on les prélève dans les planches de pépinière. Une méthode mise au point en Afrique Orientale, par exemple, consiste à découper la planche de semis en tranches que l'on place dans des caisses plates, ou encore à faire pousser les plants directement dans les caisses. Sur les lieux de plantation, on découpe une petite motte de terre autour de chaque plant pour la mise en place.

Le gros problème avec la plantation en mottes est d'éviter que la terre ne tombe des racines pendant le transport. Pour y remédier, on a expérimenté diverses techniques, telles que d'enrober les racines des plants dans des boulettes de terre comprimée, consistant habituellement en un mélange d'argile, de limon sableux et de tourbe ou d'humus par parties égales. Ces plants sont appelés "plants en boulettes". Une méthode voisine mise au point au Brésil, où on l'a utilisée à grande échelle, consiste à mouler des blocs de terre comprimée avec une machine spéciale pour former des pots de terre crue, appelés torrão paulista, dans lesquels on sème les graines.

A une échelle beaucoup plus grande, le problème de la protection des racines a été en grande partie résolu par l'emploi de plants élevés dans des récipients. La plantation avec des plants en récipients est maintenant courante dans presque toutes les régions du monde, et c'est presque la seule utilisée dans les régions à saison sèche marquée. Les plants en récipients ont une aptitude remarquable à supporter des périodes limitées de sécheresse après la plantation; leur emploi peut par conséquent permettre de prolonger la saison de plantation, surtout dans les régions tempérées, et à un degré moindre dans des conditions écologiques plus difficiles.

Les récipients peuvent être des "pots", qui ont un fond fermé, de préférence avec des trous de drainage, ou des "tubes", qui n'ont pas de fond et exigent l'emploi d'un mélange de terre assez cohérent pour ne pas s'écouler lorsqu'on les manipule.

L'emploi de récipients en polyéthylène est maintenant largement répandu; avant leur introduction, on utilisait diverses autres matières telles que métal, bambous, placage de bois, feuilles de bananier ou de palmier, carton, papier imperméabilisé, etc... Bien qu'étant encore en usage dans certaines régions, la plupart de ces matières s'avèrent plus chères ou moins commodes d'emploi que le polyéthylène, qui réunit les avantages de bon marché, de légèreté et de facilité d'emploi, et s'est généralement montré approprié pour une grande variété de conditions. Le polyéthylène utilisé est habituellement de numéro 150 à 250 (0,0375 à 0,0625 mm d'épaisseur), et généralement noir ou transparent, le noir étant plus durable.

La taille des récipients varie selon l'essence, l'âge et la taille des plants adoptés, et selon la sévérité des conditions de la station. Au Nigéria par exemple, dans des zones recevant moins de 800 mm de pluies annuelles, avec une saison sèche d'au moins 6 mois, on utilise des sachets de 25 cm de long et 25 cm de circonférence, tandis que dans les zones à plus de 800 mm on utilise des sachets plus petits de 15 cm x 25 cm, et on poursuit des essais avec des sachets de 15 cm x 15 cm. En Zambie où l'on employait normalement des sachets de 15 cm x 25 cm, l'utilisation des "mini-sachets" de 15 cm par 15 cm s'est largement répandue. La taille du récipient a une incidence évidente sur son poids lorsqu'il est rempli de terre; c'est ainsi qu'au Nigéria les différentes tailles de sachets emplis de terre pèsent approximativement: grand modèle 1,9 kg, moyen 1,1 kg et petit 0,4 kg. Les coûts en travail et en argent du transport des plants en récipients s'accroissent avec la taille de ceux-ci, ce qui incite à étudier activement les possibilités d'emploi de minipots et minitubes ("tubelings"). On doit chercher à utiliser des récipients de la plus petite taille compatible avec une bonne croissance ultérieure des plants.

L'emploi de sachets de plastique peut être la cause de malformation des racines, avec des conséquences défavorables sur la croissance ultérieure des plants, et l'un des inconvénients des petits récipients peut être d'accroître les chances de telles malformations (BALL, 1976). Lorsque les plants sont maintenus trop longtemps dans les récipients, la gêne apportée à la croissance des racines latérales peut provoquer une déformation, un enroulement en spirale et la formation d'un chignon, ce qui se traduira ultérieurement par des ruptures de tiges au niveau du collet, une moins bonne tenue au vent et une végétation rabougrie, et dans des cas extrêmes par l'étranglement mutuel des racines et la mort de l'arbre. Ces symptômes, toutefois, peuvent ne pas se manifester, ou n'apparaître que plusieurs années après la plantation. Au Nigéria par exemple, des essais comparatifs portant sur l'enlèvement total ou partiel des sachets de polyéthylène, ou leur maintien au moment de la plantation, ont montré une mortalité accrue sur des pins âgés de 4 ans lorsque les

sachets n'étaient pas enlevés, mais avec des eucalyptus, jusqu'à l'âge de 7 ans, l'enlèvement tardif des sachets n'entraînait pas de différence sensible (FAO, 1976). Pour réduire le risque d'enroulement des racines, il importe d'établir le calendrier des travaux de pépinière de telle sorte que les plants ne soient pas trop grands pour les récipients au moment de leur transplantation, et pour atténuer les inconvénients dus à l'enroulement des racines il est recommandé d'enlever complètement le sachet au moment de la mise en place. Ben Salem (1971) Stone (1971) et Donald (1971) recommandent en outre de pratiquer 2 ou 3 incisions verticales profondes d'environ 1 cm le long de la génératrice du cylindre de terre à l'aide d'un instrument tranchant, de façon à couper toutes les racines spiralées.

On a récemment mis au point aux Etats-Unis de nouveaux types de récipients destinés à réduire au minimum les risques d'enroulement des racines (Tinus et al., 1974). Les parois intérieures de ces récipients présentent des nervures qui canalisent les racines vers un trou central situé au fond. En maintenant les récipients au-dessus du sol, les racines qui en émergent sont tuées par "élagage atmosphérique", ce qui favorise la croissance de nombreuses racines latérales de forme effilée. Le plant et la motte de terre qui entoure les racines sont enlevés du récipient au moment de la plantation, et mis en place dans le sol au moyen d'un plantoir spécial.

Stumps, boutures et plançons

Le terme de "stump" désigne des plants de grande taille de certaines essences feuillues dont on a sévèrement rabattu les racines et la tige. On coupe généralement la tige à 2 cm et la racine à 22 cm environ (Parry, 1956). La plantation en stumps convient particulièrement pour les essences à pivot développé, et est fréquemment employée pour le teck, le Gmelina et un certain nombre d'autres essences tropicales importantes (appartenant entre autres aux genres Azalia, Cassia, Chlorophora, Entandrophragma, Khaya, Lovoa, Pterocarpus, Terminalia, Triplochiton, Bischofia, Dalbergia, ainsi que de nombreuses Légumineuses). On utilise également des stumps d'Acacia cyanophylla en zones arides pour les plantations de fixation de dunes. Durant le transport les stumps sont habituellement couverts avec des sacs humides ou de grandes feuilles.

On utilise couramment en reboisement, également, les boutures et plançons. Une bouture est un court tronçon prélevé sur une tige ou une branche vivante, que l'on plante en terre et qui produira un nouvel individu. Une bouture racinée est une bouture qui a préalablement été plantée en pépinière pour s'enraciner avant la mise en place définitive. Les plançons sont des boutures longues, relativement fines, constituées par des sections de tiges ou des branches entières; on les utilise parfois, par exemple pour multiplier les saules.

Parmi les essences facilement et couramment multipliées par boutures on peut mentionner les peupliers, les saules et le Gmelina. Pour certaines essences plus difficiles à enracer, on utilise parfois en reboisement des boutures racinées pour suppléer à un manque de graines ou comme moyen d'amélioration génétique (Brix et Van Den Driessche, 1977). On utilise couramment au Japon, par exemple, des boutures racinées de Cryptomeria japonica, et les boutures racinées de Picea abies sont utilisées en Allemagne de l'Ouest et en Finlande. D'importants travaux de recherches sur les boutures racinées se poursuivent actuellement en Nouvelle Zélande et en Australie pour Pinus radiata, aux Etats-Unis pour Pseudotsuga menziesii, au Nigéria pour Triplochiton et au Congo pour Eucalyptus spp.

Taille et qualité des plants

La taille admise comme optimum pour les plants de reboisement varie dans des proportions considérables. Elle dépend des facteurs suivants:

- 1) plants à racines nues ou élevés en récipients;
- 2) l'essence;
- 3) les caractéristiques de la station.

On admet généralement que des plants qui ont une proportion racines/tige équilibrée sont des plants bons pour le reboisement, mais à moins de conditions exactement définies il n'est pas facile de déterminer un rapport racines/tige optimum. Si l'on se base sur la longueur il pourra varier en règle générale entre 0,4 et 1,0; mais une appréciation basée sur le poids en donnerait une mesure plus exacte. Le diamètre de la tige et sa hauteur sont d'autres critères de classement des plants qui peuvent permettre de fixer une taille minimum admissible. En Grande Bretagne par exemple, on classe les plants par hauteur et diamètre: pour le conifères à racines nues la hauteur minima varie entre 15 et 22 cm, et le diamètre minimum entre 2,5 et 4,0 mm (Aldhous, 1972). Les plants de cette taille sont généralement âgés de 1 à 4 ans, et ont passé 1 ou 2 ans dans les planches de repiquage. En zones tropicales les plants sont prêts à planter après 3 à 6 mois. L'expérience montre que des plants de taille moyenne, par exemple entre 15 et 40 cm pour les conifères, avec un collet lignifié, ont d'ordinaire un meilleur taux de reprise que des plants plus petits.

Le classement morphologique des plants doit se fonder autant que possible sur l'expérience locale et sur des essais, qui permettent de fixer des normes locales. Des études effectuées aux Etats-Unis ont jeté un certain doute sur la valeur de ce classement morphologique comme indice de taux de reprise, et des recherches sont actuellement en cours, en vue de déterminer des critères physiologiques, notamment l'aptitude à un développement rapide du système racinaire après la plantation (Kozlowski, 1973).

Dans le cas de plants élevés en tubes, en sachets ou en pots, la taille maxima de plantation est déterminée en grande partie par la taille du récipient. Plus le récipient est grand, plus grande est la taille du plant qu'on peut y élever; on est limité par le moment où il commence à y avoir gêne au développement des racines. Pour les eucalyptus au Soudan et au Nigéria, les plants ont habituellement de 20 à 30 cm de hauteur du collet au bourgeon terminal. En Zambie on a tendance à utiliser des plants d'eucalyptus plus petits, de 10 à 15 cm de hauteur, et pour les pins on prescrit 15 à 20 cm avec des tubes de polyéthylène standard, 10 à 15 cm pour les minisachets. Les plants trop petits risquent d'être déchaussés par le gel dans les régions tempérées, tandis que des plants trop grands peuvent être arrachés ou ébranlés par le vent, et le développement de leur système racinaire peut être trop faible par rapport à celui des parties aériennes pour satisfaire les besoins de la transpiration.

Les plants doivent autant que possible avoir été endurcis dans la pépinière avant la plantation, mais cela n'est pas toujours possible avec les essences à croissance rapide telles que les eucalyptus.

Un autre facteur qui influe sur la taille des plants est l'état de préparation du terrain. On peut par exemple utiliser des plants plus petits sur un terrain cultivé à sol nu que sur un terrain non cultivé et couvert de végétation adventice. Des sarclages soignés par la suite peuvent également compenser une taille plus petite des plants.

Calendrier de plantation

En règle générale, le meilleur moment pour planter se situe lorsque le sol est humide et libre de gel, l'humidité atmosphérique élevée et le taux d'évaporation minimum, et si possible lorsque les pousses des plants sont à l'état de dormance. Il faut éviter les journées sèches, ensoleillées et venteuses. Dans beaucoup de régions tempérées froides la meilleure époque est au printemps lorsque la température du sol dépasse 4-5°C. Dans les régions tempérées d'Australie la plantation se fait principalement pendant l'hiver; en Californie on plante à la fin de l'automne, en hiver et au début du printemps. La plantation de printemps limite en général la période favorable à un mois environ, sauf pour les plants en mottes pour lesquels la saison de plantation peut être légèrement plus longue. Les retards dans les travaux qui empêchent de profiter des périodes optimum nuisent au succès de la plantation, et un retard trop long peut même entraîner un échec total.

Sous certains climats tropicaux humides à saisons peu différenciées, on peut planter pendant une grande partie de l'année, par contre dans les régions à saisons sèches et humides marquées les travaux de plantation doivent coïncider avec le début de la période de pluies régulières et continues, et démarrer aussitôt que le sol est suffisamment humide. En Zambie,

par exemple, on commence la plantation lorsque le sol est humide jusqu'à une profondeur de 30 cm. En Afrique Orientale on a élaboré une formule pour déterminer l'évolution de l'humidité du sol en fonction des précipitations journalières et des températures (Griffith, 1957). En bref, cette méthode évalue la perte journalière d'humidité du sol par évaporation et mesure le gain provenant des pluies. On tient un relevé permanent des gains et pertes, et lorsqu'une certaine quantité d'humidité a été emmagasinée dans le sol on commence la plantation. Cette quantité doit être calculée pour chaque localité, et dépend de la nature du sol, de l'altitude, des probabilités locales de pluies et de l'essence plantée. Cette méthode permet de décider avec une plus grande certitude de la date de démarrage de la plantation, mais comporte cependant une grande part d'appréciation, basée sur la connaissance du régime pluviométrique local.

Dans beaucoup de régions de savanes la période optimale de plantation ne dure qu'un mois ou même moins. Pour réaliser un programme de plantation important dans une si courte période, il faut un travail de préparation considérable, et une appréciation exacte des dates probables de plantation. Au Nigéria, par exemple, Kowal (1975) a estimé les dates de plantation pour un certain nombre de stations de savane au moyen de la formule de Penman, en utilisant les données de stations synoptiques sûres. En planifiant les travaux de pépinière et de préparation du terrain en fonction de ces dates de plantation, on pourra avancer ou retarder légèrement la date effective de plantation pour profiter des conditions atmosphériques favorables qui se présenteraient autour de ces dates estimées.

L'utilisation de plants en mottes permet de prolonger la période de plantation, du fait qu'ils supportent mieux les aléas climatiques, notamment les périodes sèches, que les plants à racines nues. Même dans les régions sèches la plantation peut être prolongée au-delà de la période normale, à condition que les plants soient arrosés ou irrigués jusqu'à ce qu'ils soient bien installés.

Densité de plantation

L'écartement entre les plants variant en fonction d'un certain nombre d'exigences souvent contradictoires, la densité de plantation adoptée résultera sans doute d'un compromis entre les objectifs poursuivis tant par le sylviculteur que par l'aménagiste. Une forte densité, par exemple, peut être désirable pour obtenir une fermeture rapide du couvert, avec pour conséquence une suppression des adventices et une réduction de la période de désherbage, mais si l'humidité du sol constitue un facteur limitant à certaines époques de l'année un espacement plus large peut être nécessaire pour éviter une stagnation dans la croissance du peuplement due à un déficit en eau. Une occupation rapide du terrain par le peuplement planté non seulement est importante pour supprimer la concurrence des adventices, mais en outre réduit le danger d'incendie à un stade où le peuplement est particulièrement vulnérable. Toutefois, si une plantation serrée permet une rapide fermeture du couvert, elle peut par ailleurs entraîner la nécessité d'éclaircies précoces qui ne donneront pas de produits vendables.

Parmi les facteurs influençant le choix de l'espacement, on peut mentionner:

- 1) La rapidité de croissance de l'essence plantée. Les essences à croissance lente demandent un espacement plus serré que celles à croissance rapide, c'est pourquoi les espacements adoptés en zones tropicales tendent à être plus larges que dans les régions tempérées.
- 2) Le port de l'essence plantée. Certaines essences ont un port très branchu et demandent à être plantées plus serré pour favoriser la formation d'un fût principal bien défini. D'autres essences, dont un grand nombre d'essences tropicales, présentent un bon élagage naturel et peuvent par conséquent être plantées à plus grand écartement.

- 3) Le danger de concurrence des adventices. Un espacement plus serré réduit certes le temps nécessaire pour que le couvert se ferme, mais par ailleurs il se peut qu'il accroisse les difficultés et le coût du désherbage. Le sarclage mécanique exige un écartement entre les rangs de plantation suffisant pour permettre le passage d'un tracteur avec ses outils. Une distance de 2,80 mètres entre les rangs est considérée comme un minimum dans ce cas.
- 4) Les disponibilités du sol en éléments nutritifs et en eau. Dans les sols superficiels, et dans les terrains présentant des roches apparentes, l'écartement tendra à être plus large de façon à assurer un espace plus grand pour le développement racinaire; il pourra aussi être irrégulier, pour tenir compte de la distribution des poches de sol entre les rochers. Dans les régions arides, où l'humidité du sol est souvent un facteur limitant, on adopte généralement des écartements plus grands, notamment dans le cas où l'on cultive le sol entre les rangs pour favoriser la rétention des eaux de pluie.
- 5) L'incidence des travaux de drainage ou d'irrigation. La disposition des canaux de drainage dans les sols humides, ou des canaux d'irrigation dans les plantations irriguées, peut également influencer sur l'espacement des lignes de plantation. Dans les plantations sur tourbières, par exemple, où les arbres sont plantés sur les billons laissés par la charrue rigoleuse, il doit y avoir corrélation entre l'espacement des plants et la disposition du réseau de drainage.
- 6) La gestion future des peuplements. Si l'on cherche à réduire le nombre des éclaircies précoces, dont les produits sont souvent invendables, il est recommandé d'adopter un écartement plus grand, comme c'est le cas dans certaines plantations de conifères tropicaux à croissance rapide où la fermeture du couvert est retardée au profit de la croissance en diamètre, le coût de l'élagage du peuplement étant pris en compte comme une charge supplémentaire. Par contre, on pourra adopter un espacement plus faible si le but recherché est la production de bois de chauffage, de perches de petits diamètres ou de bois de pâte. Dans les reboisements après exploitation en forêt tropicale, on adopte un écartement entre lignes de plantation coïncidant sensiblement avec celui du peuplement final, laissant des interbandes de recrû naturel, et dans les plantations en taungya l'écartement entre les arbres doit être assez grand pour permettre au cultivateur de poursuivre la culture agricole pendant un nombre suffisant d'années.
- 7) Aspects financiers. Le coût des plants et de la main d'oeuvre s'accroît en fonction inverse de l'espacement, par contre le coût du désherbage croît dans le même sens que l'écartement des plants.

Organisation des travaux de plantation

Tracé général

Le plan général du périmètre de reboisement avec le parcellaire, le réseau routier, le réseau de drainage, etc... est tracé au préalable sur le fond topographique, comme indiqué au Chapitre 6 à propos de la planification du reboisement.

La surface à planter dans l'année sera normalement préparée à l'avance avant la date prévue de plantation. Les parcelles seront levées et délimitées par des routes, pistes, layons ou pare-feu. Tous les angles et points d'intersection doivent être marqués par des bornes bien visibles, plus ou moins permanentes. Un point important est qu'il y ait suffisamment de routes tous temps dans le secteur de reboisement pour permettre le transport des plants et l'accès de la main-d'oeuvre en vue de l'exécution de la plantation et des travaux ultérieurs. Si l'on prévoit des travaux mécanisés, tels que des sarclages, il faut ménager des tournières pour les tracteurs, non pas nécessairement à l'extrémité de chaque parcelle mais aux endroits susceptibles de servir de limites aux trajets de tracteur.

Piquetage

A l'exception des plantations en terrain accidenté où il faut des travaux de conservation des sols suivant les courbes de niveau, la plantation doit se faire autant que possible en lignes droites, en vue notamment de faciliter les travaux ultérieurs de désherbage; ceci est valable quelle que soit la méthode de désherbage employée, manuelle, mécanique ou chimique. Les plants qui sortent de la ligne - et sont souvent cachés par la végétation adventice - ont plus de chances d'être coupés ou endommagés lors du sarclage. Le respect de la ligne droite a moins d'importance lorsqu'il n'y a pas de sarclages ultérieurs.

Il n'est évidemment pas possible de planter en lignes droites, sinon dans le sens de la pente, sur les terrains accidentés où les ouvrages de conservation du sol et des eaux constituent une partie du travail de préparation. Dans ce cas les lignes de plantation suivent normalement la direction des banquettes, gradins ou bourrelets.

Il y a beaucoup de manières différentes d'effectuer le marquage ou le piquetage des lignes de plantation, mais pour la plantation en lignes droites on procède le plus souvent par quadrillage. En partant d'un angle de la parcelle, on délimite et piquette à l'aide d'une boussole ou d'une équerre optique un carré dont les côtés ont une longueur égale à celle de la chaîne d'arpenteur utilisée pour la plantation, et multiple de l'espacement entre les plants. Sur la chaîne, qui a généralement entre 30 et 80 mètres de longueur, sont fixées des marques de tissu à l'écartement des plants. Partant des piquets extérieurs du premier carré, on trace deux lignes de base perpendiculaires, en plaçant des piquets à l'extrémité de chaque longueur de chaîne. Retournant au point de départ, on place les sommets des autres carrés par chaînage et visée à partir des piquets de base jusqu'à ce que toute la surface soit ainsi quadrillée. Le piquetage des parcelles adjacentes doit être aligné avec celui de la première de façon à faciliter les travaux ultérieurs. Il importe de vérifier de temps en temps que la distance entre les piquets est exactement maintenue, et que la chaîne ne s'est pas allongée pendant l'opération. Lorsqu'à la limite de la parcelle on a un côté de longueur inférieure à celle de la chaîne, on doit placer un piquet à la dernière marque qui tombe à l'intérieur de la parcelle. Lorsqu'on prévoit un sarclage mécanique, il faut laisser une marge de 2 mètres ou plus entre le bord de la route et la première ligne de plantation pour permettre le passage des machines. Le quadrillage ainsi réalisé est généralement suffisant pour les opérations ultérieures de trouaison et de plantation; dans certaines régions toutefois on utilise la chaîne graduée également pour piqueter les côtés opposés de chaque carré à l'écartement de plantation.

Une autre méthode de traçage de la plantation consiste à utiliser un tracteur léger équipé d'une barre portant à intervalles réguliers des dents qui marquent les lignes de plantation en traçant sur le sol des sillons parallèles. En répétant l'opération perpendiculairement, les intersections marquent l'emplacement des plants. Cette méthode repose sur l'habileté du conducteur du tracteur à suivre une ligne droite en s'alignant sur un point de repère, et n'est praticable que sur des terrains suffisamment plats et libres d'obstacles. De même, lorsque la préparation du terrain comporte un sous-solage, les lignes de plantation correspondent aux raies de sous-solage, ou leur sont parallèles.

Dans le cas où l'on prévoit des hersages d'entretien ou des sarclages croisés au tracteur, il convient de s'assurer que le piquetage est bien aligné dans les deux sens.

Lorsqu'on plante en potées, ceux-ci peuvent être creusés aussitôt après le piquetage, ou au moment de la plantation. Lorsqu'on plante en fente, d'ordinaire les ouvriers planteurs mesurent les intervalles entre les plants au pas, un ouvrier habile étant capable de conserver l'alignement à l'oeil. Il peut cependant y avoir des erreurs si l'ouvrier est négligent ou fatigué, de sorte que lorsqu'on prévoit des travaux d'entretien mécanique entre les rangs il vaut toujours mieux prendre la peine de piqueter ou chaîner les lignes de plantation.

Organisation du chantier de plantation

La séquence d'opérations précédant la plantation proprement dite doit être réglée de telle sorte que la plantation puisse commencer aussitôt que les conditions deviennent favorables. Si, comme nous l'avons noté, la campagne de plantation est relativement courte, il importe de s'assurer que des approvisionnements suffisants de plants soient distribués dans des dépôts aisément accessibles à proximité du site de plantation.

Le succès ou l'échec d'un reboisement dépendent pour une large part de la compétence des ouvriers planteurs. Si l'on ne dispose pas d'une main-d'oeuvre qualifiée pour faire ce travail il sera avisé de lui donner la formation voulue avant de commencer la plantation.

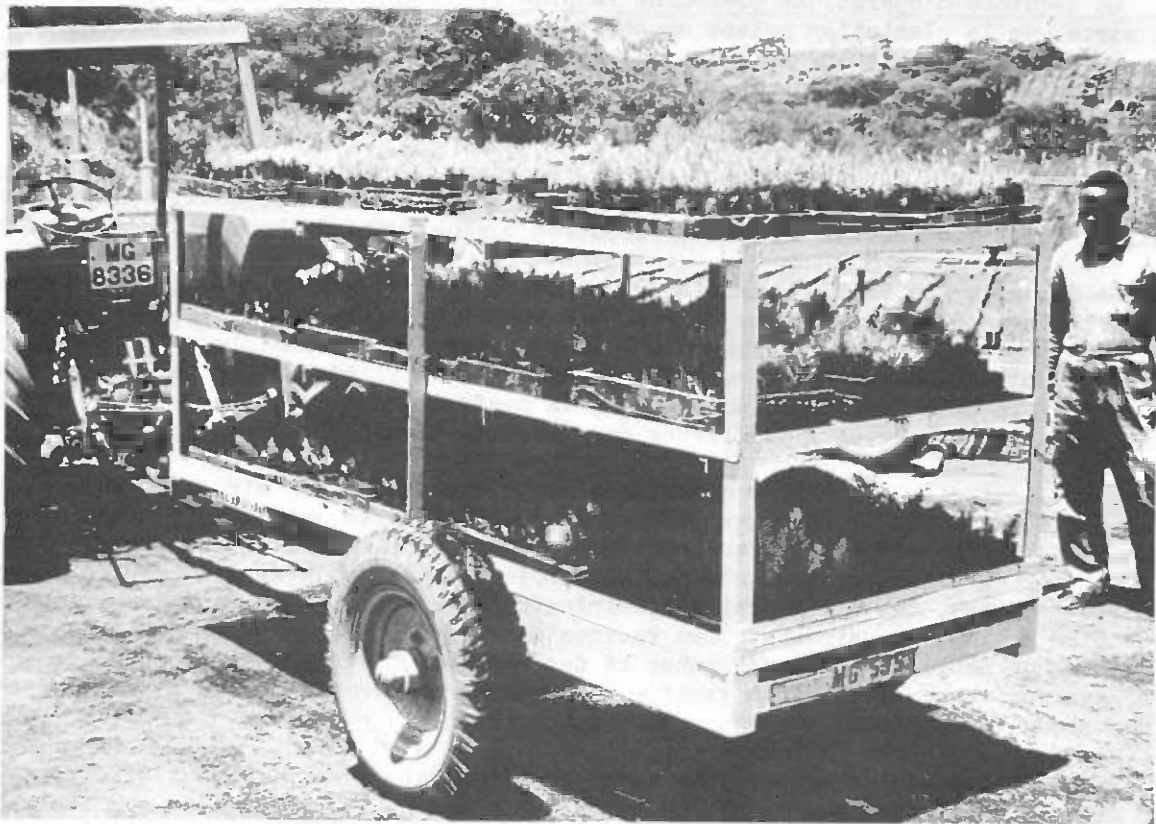
Le forestier ou chef de chantier responsable doit s'assurer que les livraisons de plants en provenance des pépinières soient suffisantes pour que les équipes de plantation travaillent à plein et sans interruption. Il doit pour cela connaître: 1) le rendement moyen de la main-d'oeuvre; 2) la méthode de plantation utilisée; 3) la taille et le type des plants (à racines nues ou en mottes); 4) la configuration du terrain et la nature du sol, et 5) la compétence et l'expérience des ouvriers planteurs.

Les plants risquant d'être détériorés par l'exposition à l'air et au soleil, le responsable doit en régler les livraisons pour faire en sorte qu'ils soient mis en place le même jour, mais généralement il faut maintenir un stock de sécurité pour parer à toute éventualité. Les plants dont on n'a pas un besoin immédiat doivent être mis en jauge s'ils sont à racines nues, ou, s'ils sont en récipients ou en mottes, placés dans un dépôt où ils peuvent être ombragés et arrosés. Les racines de tous les plants quels qu'ils soient doivent être maintenues humides. Des recherches et des essais sont actuellement en cours dans plusieurs pays sur la possibilité de traiter les pousses ou les racines de plants forestiers avec des produits chimiques empêchant la transpiration.

Dans des cas exceptionnels, par exemple lorsque les plants doivent être transportés sur le site de plantation avant que les neiges ne bloquent la circulation sur les routes, on devra envisager l'installation de pépinières de stockage temporaire.

Le mode de distribution des plants du point principal de déchargement ou de livraison au site de plantation variera en fonction notamment du relief du terrain, des moyens de transport disponibles et du type de plants utilisé. Les bottes de plants à racines nues peuvent être transportées jusqu'au site de plantation à dos d'homme, par bêtes de somme ou par véhicules tous-terrains, selon le relief. Les plants sont ensuite repris par les ouvriers planteurs qui viennent remplir leurs sacs ou récipients à des dépôts locaux répartis à courts intervalles sur la superficie à planter dans la journée.

Les plants en récipients sont normalement expédiés de la pépinière rangés dans des plateaux ou caissettes de bois de dimensions standard, qu'un ouvrier peut commodément manipuler et porter. Le nombre de plants par caissette peut aussi avantageusement être proportionné au nombre de plants à mettre en place dans un carré piqueté. Les caissettes sont chargées sur des remorques de tracteurs pour être transportées jusqu'au lieu de plantation; dans les terrains très accidentés où l'on recourt au transport à dos d'animal, on les charge sur des bâts d'un modèle spécial. On les décharge à intervalles réguliers le long des lignes de plantation, en avant des équipes de planteurs. On peut accroître considérablement la capacité de transport des camions et remorques en les équipant de rayonnages qui permettent d'empiler les caissettes sur plusieurs étages.



On peut aménager des remorques à plusieurs étages de diverses tailles pour le transport des plants par tracteur de la pépinière à la plantation. La remorque de capacité modeste montrée ici convient pour la plantation de petites surfaces à faible distance de la pépinière et pour les regarnissages; pour des superficies plus importantes, on aura un meilleur rendement avec des remorques de plus grande taille. (Photo D.A. Harcharik)

Méthodes de plantation

Une bonne attention aux détails d'exécution a souvent plus d'importance que la méthode de plantation en elle-même. On a montré (Wakely, 1954) que la profondeur de plantation et un bon rebouchage du potet étaient les principaux facteurs influant sur la reprise des plants.

Plantation manuelle

Les deux principales techniques manuelles sont la plantation en fente et la plantation en potets. La première n'est employée que pour les plants à racines nues. Dans sa forme la plus simple elle consiste à ouvrir dans le sol, à la bêche ou à la pioche, une fente suffisamment large pour pouvoir y introduire les racines du plant, et à refermer ensuite la fente en tassant avec le pied ou avec le talon. Les fentes en T et en croix en sont des variantes; toutes deux requièrent une double fente, ce qui prend plus de temps à moins d'utiliser un outil spécial, mais les racines du plant peuvent être mieux étalées qu'avec la simple fente qui tend à disposer les racines dans un seul plan. Lorsqu'on plante sur des billons ou buttes de gazon ou de tourbe, la fente ne doit pas pénétrer plus bas que la surface originelle du sol, l'expérience montrant que le taux de survie est moins bon si les racines sont placées plus profond que ce niveau.

La plantation au plantoir est une variante de la plantation en fente, qui consiste à ouvrir à l'aide d'une barre métallique ou d'un bâton plantoir un trou étroit dans lequel on introduit le plant; on referme ensuite le trou en enfonçant la barre dans le sol à côté du plant et en exerçant une action de levier pour tasser légèrement la terre autour du plant. On emploie cette méthode de plantation pour les plants à racines nues, les boutures non racinées, les plançons, et parfois les plants en stumps.

Les plants en mottes ou en récipients ne peuvent être plantés qu'en potets. Ceux-ci sont souvent de dimensions très supérieures à celles de la motte ou du récipient. On a avancé que des grands potets auraient un effet favorable en terrain non labouré, en offrant un espace plus grand pour un développement rapide des racines. Mais en général un potet dans lequel on peut faire entrer aisément les racines du plant sera parfaitement suffisant.



Pour les plants élevés en récipients le creusement manuel des trous de plantation est la technique classique. La houe, telle que celle montrée ici, en usage près d'Aïn Beida (Algérie), est un outil approprié pour ce travail. (Photo FAO)

Les potets sont habituellement creusés à l'aide de bêches de différents types, ou d'une pioche à fer large. On met la terre de surface à part, de façon à la remettre au fond du trou au moment de la plantation. Dans certains pays on creuse les potets plusieurs mois avant la plantation, pour permettre à la pluie de mouiller la terre de déblai ainsi que les parois du trou. Dans les terrains qui ont été labourés cela n'est pas nécessaire, et on creuse les potets peu de temps avant ou au moment même de la plantation.

On peut aussi creuser les potets au moyen d'un tarière à moteur. Celle-ci peut être portative ou montée sur tracteur; dans ce dernier cas elle est entraînée par la prise de force. Une tarière montée sur tracteur peut travailler environ dix fois plus vite qu'un ouvrier, mais son emploi est coûteux, et limité aux terrains plats; elle convient très bien cependant pour les peupliers et autres plants de grande taille, pour lesquels il faut un trou profond (50 cm et plus). Un inconvénient de la tarière à moteur est le danger de glaçage ou de compactage des parois du trou de plantation.

Tous les types de plants peuvent être plantés en potets. Lorsqu'on utilise des plants à racines nues, on tient le plant dans le trou de telle façon qu'il soit placé sensiblement au même niveau ou au maximum 3 cm plus bas qu'il n'était en pépinière, et on étale bien les racines. Avec l'autre main on emplit à moitié le trou de terre humide que l'on tasse. On rebouche ensuite le reste du trou et on tasse bien la terre autour du plant. A la fin de l'opération la terre dans le trou doit être au même niveau que la surface du sol, ou légèrement plus haut, pour tenir compte de l'affaissement qui se produira après une pluie ou un arrosage. C'est pour cette raison que l'on enterre habituellement le collet de 2 à 3 cm, afin qu'après tassement il se trouve sensiblement au niveau de la surface. Si le collet se trouve déchaussé, la reprise du plant peut être compromise. Dans les régions sèches il est d'usage de ne pas remplir le trou jusqu'au niveau du sol alentour, de façon à ménager une cuvette pour collecter les eaux de pluie ou la rosée, mais dans les sols lourds à faible perméabilité ces cuvettes peuvent retenir l'eau pendant plusieurs semaines, d'où engorgement localisé qui peut causer la mort du plant.

On pratique la plantation profonde, dans laquelle le plant est presque complètement enterré, ne laissant que le sommet de la tige hors du sol, dans les régions arides sur sables meubles ou sols à texture légère où les horizons superficiels sont susceptibles de se dessécher complètement pendant l'été. Ces sols présentent souvent une couche humide en dessous de la zone de remontée capillaire (la couche jusqu'à laquelle l'eau souterraine remonte sous l'effet des forces capillaires), dans laquelle les racines doivent être plantées.

Lorsqu'on utilise des plants en mottes, on creuse un trou légèrement plus grand que le récipient à l'aide d'un transplantoir, d'un plantoir ou d'une pioche. Il faut en général enlever le plant du récipient, ou fendre ou couper celui-ci avant la mise en terre. Pour enlever complètement un sachet de polyéthylène, on utilise un couteau ou une lame de rasoir pour fendre le sachet, on déchire le fond et on retire le reste du sachet lorsqu'on place le plant dans le potet. L'enlèvement partiel se fait de la même manière, à part que l'on conserve au sommet du cylindre de terre un manchon de tube plastique d'environ 7 cm de hauteur, dont on laisse environ 3 cm au-dessus du niveau du sol après plantation. Cette pratique est courante dans les régions où l'on a des problèmes de termites, telles que les savanes africaines. Le rôle de cette collerette est d'éviter que la terre du sachet, traitée à l'insecticide, ne soit recouverte lors des sarclages par la terre non traitée alentour, ce qui fournirait aux termites un passage pour aller attaquer les plants d'essences sensibles.

Une fois que le plant est en place dans le trou, on utilise la terre de déblai pour combler tous les vides, et on affermit bien le plant avec le pied.

La terre autour de tous les plants doit être bien tassée par piétinement pour éviter la formation de vides et pour amener la terre en contact intime avec les racines. Ce tassement réduit également les dommages dus au vent, qui peut ébranler le plant et déranger les racines entre la plantation et le moment où le sol est bien raffermi. Les plants de grande taille sont beaucoup plus sujets aux dégâts dus au vent, et dans les régions très ventées il peut être nécessaire de les tuteurer à l'aide de piquets de bois solidement enfoncés dans le sol. Le tuteurage des plants de peupliers, qui ont souvent 2 à 3 mètres de hauteur, est de pratique courante.

Plantation mécanisée

Les planteuses mécaniques sont employées à l'heure actuelle surtout avec des plants à racines nues. Bien réglées et utilisées correctement, elles donnent en général une bonne reprise, avec une torsion des racines réduite au minimum; elles permettent de travailler rapidement (jusqu'à 12 000 plants et plus par jour), mais ne peuvent être utilisées économiquement que sur de grandes surfaces, de plus elles sont limitées par la topographie et la végétation. Du fait qu'elle utilise principalement des plants à racines nues, la plantation mécanique est surtout limitée aux régions de climat tempéré, mais on travaille actuellement à mettre au point des machines pouvant planter des plants en petits récipients, et d'autres pour les boutures et plançons de peupliers.

Les planteuses mécaniques sont soit portées, soit attelées à un tracteur. Les planteuses tractées sont les plus couramment utilisées, bien que des planteuses portées plus lourdes semblent plus intéressantes en terrain difficile et sur les pentes. La machine effectue les opérations élémentaires suivantes: 1) elle fend verticalement le sol; 2) elle écarte les bords de cette fente pour y placer le plant; 3) elle referme la fente et tasse le sol autour du plant. Ces opérations de base peuvent être complétées par des dispositifs pour enlever la végétation, arroser, distribuer de l'engrais, ou encore par un compteur chronométrique pour un espacement plus précis des plants. La fente verticale peut être ouverte par une lame tranchante ou un soc, mais l'outil le plus couramment utilisé est un couteau circulaire, qui a l'avantage de réduire la force de traction nécessaire, de passer par dessus les obstacles et de pénétrer aisément dans la plupart des sols. Le "sabot planteur", qui a pour rôle d'élargir la fente, est composé d'une cornière d'acier avec un angle pointu à l'avant qui pénètre dans la fente, laissant à l'arrière un espace assez large pour y introduire le plant. Un ouvrier assis sur un siège à l'arrière distribue les plants dans l'évidement du sabot planteur à l'espacement désiré. L'opération finale de fermeture de la fente est effectuée par deux roues inclinées, normalement équipées de pneumatiques. La provision de plants est placée dans des claies sur la machine à portée de main de l'ouvrier, avec toutes les précautions voulues pour éviter leur dessèchement.



La plupart des planteuses mécaniques, telle que celle-ci utilisée aux Etats-Unis, sont étudiées pour planter des plants à racines nues. La mise au point de machines pour planter des plants en récipients est actuellement en cours. (Photo K.P. Karamchandani)



On peut obtenir des rendements de travail élevés avec la plantation mécanisée sur des terrains plats avec peu d'obstacles, tels que ces prairies du Venezuela que l'on reboise en Pinus caribaea. (Photo B.J. Zobel)

Regarnis

Les "regarnis" ou "regarnissages" ont pour but de remplacer les plants morts dans les jeunes plantations forestières. L'idéal dans toute plantation serait de n'avoir aucun regarni à faire, mais il se produit inévitablement des manques dus à des facteurs tels que plantation défectueuse, sécheresse, gel ou bris de plants. Lorsqu'une partie des plants meurt, il faut procéder à un inventaire de la plantation afin de déterminer si les arbres restants sont en nombre suffisant pour constituer un peuplement acceptable. Le moment auquel cet inventaire doit avoir lieu dépend en règle générale de la rapidité de croissance: pour les essences à croissance rapide il se situe entre quelques semaines et 3-4 mois, tandis que pour des arbres à croissance plus lente il pourra être effectué entre 6 mois et un an, ou parfois davantage, après la plantation.

Le taux de reprise que l'on peut considérer comme satisfaisant varie selon les régions. En Californie, par exemple, pour les reboisements de production de pins plantés à 3 m x 3 m, un taux de survie de 46% à 5 ans représente un peuplement acceptable. C'est toutefois un minimum, et une densité restante plus élevée est souhaitable (Schubert et Adams, 1971). Dans les savanes du Nigéria, une survie de 90% est souhaitable pour les eucalyptus et les pins plantés à 3 m x 3 m; si ce pourcentage tombe en-dessous de 80% il faut procéder à une évaluation pour décider si un regarnissage ou une replantation complète est nécessaire. S'il y a une forte mortalité l'occupation du terrain par le reboisement peut ne pas être réalisée, et son invasion par les adventices aura un effet nuisible sur les arbres restants, tout en représentant souvent un danger d'incendie inacceptable. En Grande Bretagne on considère rarement comme nécessaire de regarnir lorsque le taux de reprise est de 80% ou plus.

La répartition des manquants intervient aussi dans la nécessité, ou non, de regarnir. Par exemple, si les manquants sont uniformément répartis un taux de reprise moyen peut être acceptable, mais cela peut ne pas être le cas lorsque les manques se produisent par bouquets ou par taches. Pour être efficace, le regarnissage doit se faire aussitôt qu'il est raisonnablement possible, et dans la majorité des cas au maximum un an après la plantation, même avec des essences à croissance lente. Par conséquent il importe d'effectuer cette opération avec beaucoup de soin, et d'utiliser des plants d'excellente qualité, au moins aussi bons que ceux utilisés pour la plantation initiale.

Les échecs sérieux dans les reboisements, bien qu'imputables parfois à des conditions climatiques exceptionnelles, sont souvent dus à des erreurs d'appréciation ou de technique, par exemple un mauvais choix de stations ou d'essences, une mauvaise préparation du terrain, l'emploi de plants de mauvaise qualité, une manipulation peu soignée des plants ou une absence de protection pendant le transport, une plantation défectueuse, des dégâts de ravageurs ou de maladies, un entretien négligé. Tout échec sérieux requiert une enquête attentive pour en déterminer les causes possibles, de façon à pouvoir y remédier par la suite, avant de procéder aux regarnis.

Fertilisation. Mycorrhizes

Fertilité minérale des sols

Les arbres, tout comme les autres végétaux, demandent au sol des quantités suffisantes des 13 éléments essentiels indispensables à une croissance saine et vigoureuse. Ce sont d'une part les macro-éléments: azote, phosphore, potassium, magnésium, calcium et soufre, d'autre part les oligo-éléments ou éléments-traces: bore, cuivre, fer, zinc, manganèse, molybdène et chlore. Une croissance chétive ou même la mort des plants peuvent indiquer une déficience en un ou plusieurs de ces éléments, mais une mauvaise croissance peut aussi être due à d'autres causes telles que:

- 1) humidité du sol excessive ou insuffisante;
- 2) mauvaise aération du sol;
- 3) conditions pathologiques (attaques d'insectes, champignons, bactéries, virus ou nématodes);
- 4) conditions édaphiques inhibent l'action de la flore ou de la faune du sol.

Si c'est une déficience du sol en éléments nutritifs que l'on soupçonne être la cause de la mauvaise croissance, il faut faire une analyse du sol pour déterminer quels sont les éléments manquants. L'analyse foliaire est une autre technique de diagnostic qui est de plus en plus employée. Des essais sur le terrain devront confirmer la composition et les quantités d'engrais à utiliser, et les méthodes et époques d'application appropriées pour remédier aux déficiences minérales et obtenir une croissance vigoureuse.

Le phosphore et l'azote sont les éléments qui se trouvent le plus fréquemment en quantité insuffisante dans le sol, et qui dans les essais ont le plus souvent permis une amélioration de la croissance. Toutefois, une fertilisation azotée avec une insuffisance de phosphore, soit dans le sol soit dans l'engrais, peut parfois avoir une action défavorable, et même en présence de quantités suffisantes de phosphore elle ne donne pas toujours de réponse positive à moins qu'il n'y ait des précipitations, et d'une manière générale des conditions d'humidité suffisantes.

La potasse semble ne donner que rarement de réponse positive.

Dans les zones sèches la fertilisation minérale provoque parfois un accroissement de la mortalité dans les jeunes plantations, ce qui peut être dû à une concentration excessive de sels minéraux dans la solution du sol s'il n'a pas plu suffisamment ensuite. Les dommages les plus graves peuvent se produire après des pluies légères suivies d'une période

sèche; dans les régions où à la saison de plantation les pluies sont irrégulières il peut être judicieux de retarder l'application d'engrais jusqu'à ce que les pluies soient bien établies, et qu'il n'y ait plus de danger de dessiccation du sol (Laurie, 1974).

Application d'engrais

Les principales raisons d'utiliser des engrais sont les suivantes:

- 1) permettre l'installation et la croissance d'essences déterminées dans des stations défavorables en raison d'un manque général de fertilité ou de déficience en certains éléments;
- 2) accélérer la croissance des arbres après la plantation pour améliorer leurs chances de survie et raccourcir la durée de la phase d'installation.

Les progrès en matière de connaissance théorique et pratique de la fertilisation forestière ont été assez rapides au cours des vingt dernières années. Des déficiences en phosphore et en azote constatées sur de grandes étendues de reboisements ont pu être rapidement et efficacement combattues par application de techniques de fertilisation adaptées de la pratique agricole (Bengston, 1973). On a mis au point et on continue d'étudier des formules de fertilisation forestière phosphatée et azotée convenant à des cas définis.

L'époque d'application de la fumure est importante. Pour certaines essences et certains sols un apport d'engrais au moment de la plantation ou peu après peut être utile; dans d'autres cas on les applique plusieurs années après la plantation. De nombreux essais de fertilisation ont été réalisés, souvent avec des résultats contradictoires, ce à quoi l'on pouvait sans doute s'attendre si l'on considère la très grande variété de sols et d'essences qui entrent en jeu. C'est pourquoi il est difficile de formuler des recommandations générales valables pour chaque essence ou pour chaque milieu.

Les engrais sont souvent épandus à la main, mais il existe à l'heure actuelle toute une gamme d'épandeurs mécaniques, notamment pour l'emploi à grande échelle. Ils se rangent dans les catégories suivantes:

- 1) épandeurs portés sur tracteur, utilisant une soufflerie ou un dispositif de dispersion mécanique pour épandre à la volée les engrais et la chaux.
- 2) semoirs d'engrais portés sur tracteur, pouvant appliquer des doses contrôlées d'engrais simultanément avec la préparation du sol ou avec la plantation.
- 3) épandeurs aériens montés sur avion ou hélicoptère.

L'épandage aérien est excellent pour de grandes surfaces. Sa technique a fait de rapides progrès grâce à la mise au point de réservoirs amovibles et de touques en emballages perdus pouvant être rapidement fixés et enlevés. Depuis 1974, toutefois, la hausse rapide du prix des engrais a incité à étudier des matériels et des techniques visant à économiser l'engrais par une localisation plus précise de l'application.

Réponse des arbres à la fertilisation

Une application d'engrais pour remédier à une déficience minérale peut souvent donner des résultats remarquables. Dans beaucoup de régions de savanes, par exemple, les eucalyptus, notamment Eucalyptus grandis, se montrent très sensibles à un manque de fertilité, en particulier à une déficience en bore, dont les symptômes sont des déformations des feuilles un important séchage en cime pendant la saison sèche, et souvent la mort des arbres. Des essais effectués en Zambie, au Nigéria et ailleurs ont confirmé la nécessité d'apporter dans ces régions des engrais boratés; en Zambie on applique des doses élevées, allant de 57 à 144 grammes de borate (à 14% de bore) par arbre, selon la station. Des peuplements souffrant d'une déficience en bore ne donneront aucun produit vendable alors qu'E. grandis ayant reçu une fumure boratée atteint souvent des accroissements annuels moyens supérieurs à 25 m³/ha.

On a beaucoup étudié la question de la fertilisation minérale pour les pins, notamment en ce qui concerne l'acide phosphorique (Waring, 1973), et certains des résultats obtenus sont assez largement appliqués. En Australie on a constaté que pour obtenir une production maximum avec Pinus radiata il fallait apporter de l'engrais à la plantation et détruire les adventices. La première réponse à la fertilisation est encore nettement visible au moment où le couvert se ferme, et son effet s'accroît avec le temps jusqu'à l'âge d'au moins 25 ans sans autre apport d'engrais. Une application tardive de l'engrais peut réduire sensiblement la productivité du peuplement. La quantité et le type d'engrais employés, l'époque d'application, le mode et la qualité de préparation du terrain, le degré de contrôle des adventices se conjuguent pour influencer la première réponse du peuplement et par conséquent la production totale. Une bonne gestion du reboisement, optimisant ces divers facteurs, permet d'obtenir un accroissement maximum. Au Nigéria on a observé qu'une dose de 114 grammes de phosphate par pied améliorerait tant la reprise que la croissance de Pinus caribaea (Jackson, 1974), et en Australie Occidentale un apport de zinc a permis d'améliorer la croissance de peuplements artificiels de P. pinaster.

Une déficience en azote constitue un facteur limitant dans certaines stations, telles que bien souvent les terres de culture abandonnées et dégradées, ou les zones de sables mobiles. Sur de tels terrains un apport d'engrais composés à haute teneur en azote, d'urée ou de fumure organique est nécessaire pour donner un bon départ aux jeunes arbres. Il y a toutefois sur certains sols un danger d'acidification par suite d'une dose excessive d'urée ou d'autres engrais azotés. On plante parfois des essences fixatrices d'azote telles que les aulnes (Alnus spp.), ou de nombreuses espèces de légumineuses, soit comme peuplement abri pionnier soit en sous-étage en mélange avec le peuplement principal. La luzerne et autres légumineuses herbacées cultivées comme engrais vert peuvent également être utilisées pour améliorer les disponibilités en azote dans le sol.

Mycorrhizes

La plupart des arbres forestiers présentent des champignons mycorrhizaux associés avec leurs racines, et on pense qu'ils ne se développent vigoureusement qu'à la condition qu'il s'établisse une symbiose satisfaisante avec une ou plusieurs espèces de mycorrhizes. C'est pourquoi l'usage s'est largement répandu d'inoculer le sol des pépinières avec de la terre infectée de mycorrhizes provenant de forêt ou de reboisements. On a signalé des exemples de plantations mal-venantes de pins tropicaux, en Afrique Orientale et en Amérique Latine, qui avaient retrouvé santé et vigueur à la suite d'inoculation du sol par des cultures de mycorrhizes provenant de régions où ces pins sont indigènes ou bien acclimatés. Il est bien connu que beaucoup d'espèces d'Araucaria ne prospèrent bien hors de leur aire d'origine qu'à la condition que les formes ectotrophiques aussi bien qu'endotrophiques de mycorrhizes normalement associées avec leurs racines soient présentes dans le sol.

Des recherches récentes ont montré que dans des sols très fertiles les racines des arbres tendent à n'avoir qu'une association beaucoup plus limitée, sinon inexistante, avec des mycorrhizes; de même un apport d'engrais semble également réduire la dépendance vis-à-vis des symbiotes. On n'a pas encore établi avec certitude si l'association mycorrhizale est indispensable au développement de l'arbre, ou si l'arbre utilise cette association comme un moyen d'accroître les disponibilités en éléments nutritifs dans les sols de fertilité médiocre. Au cours de ces dernières années beaucoup de recherches ont été axées sur la comparaison entre les effets de différentes espèces de champignons mycorrhizaux, souvent avec des résultats intéressants. Marx et Bryan (1975), par exemple, ont montré que des plants de Pinus taeda inoculés avec Pisolithus tinctorius poussaient mieux sur des stations ingrates, infertiles et perturbées avec des températures périodiquement élevées dans le sol que des plants inoculés avec Telephora terrestris, qui est l'inoculum le plus couramment employé dans les pépinières de pins du Sud-Est des Etats-Unis. P. tinctorius paraît intéressant également pour inoculer les pins sous les climats tropicaux à températures élevées; au Nigéria, Momoh et al. (1977) ont constaté qu'il résistait à des températures plus élevées que Rhizopogon luteolus, le champignon mycorrhizal généralement utilisé dans ce pays.

TRAVAUX D'ENTRETIEN

Les travaux d'entretien ont pour objet de créer des conditions favorables à la reprise des plants et de stimuler une croissance vigoureuse jusqu'à ce que le peuplement soit bien installé. Dans la plupart des reboisements, l'entretien vise essentiellement à éviter aux plants d'être étouffés par la végétation adventice concurrente. Les autres opérations d'entretien sont l'arrosage ou l'irrigation des plants dans les régions sèches, et l'élagage et la taille des arbres qui peuvent également être nécessaires dans certains cas.

Désherbage

Le désherbage peut être défini d'une manière générale comme une opération culturale éliminant ou neutralisant la végétation indésirable qui, si l'on n'intervenait pas, gênerait la croissance du jeune peuplement. Les adventices concurrencent le peuplement forestier vis-à-vis de la lumière, de l'eau et des éléments nutritifs, et le désherbage doit accroître la disponibilité de tous ces éléments, ou de ceux qui sont les plus importants pour le peuplement forestier. L'objectif principal est de favoriser le développement du peuplement tout en maintenant le coût des opérations d'entretien dans des limites acceptables.

Le principal facteur influant sur l'intensité et la durée des dés herbages est l'action réciproque entre le peuplement forestier et les adventices. Dans certaines stations le peuplement forestier finirait par percer à travers les adventices et les supplanter, et par occuper solidement le terrain; la principale fonction du dés herbage est dans ce cas d'accroître l'homogénéité du peuplement et de hâter son installation. En d'autres endroits, la nature ou la densité de la végétation adventice sont telles que dans le premier âge de la plantation elle étouffera et éliminera une partie ou la totalité des jeunes arbres, et dans ce cas il s'agit surtout de réduire la mortalité et de maintenir une densité suffisante du peuplement jusqu'à ce qu'il soit bien installé. Lorsqu'on aura déterminé et analysé les actions réciproques entre peuplement forestier et végétation adventice, on aura une idée des principes généraux à suivre et des choix à faire en ce qui concerne la fréquence et la durée du dés herbage; on peut noter à ce sujet les points suivants:

- 1) Pour la plupart des peuplements un dés herbage total serait profitable, mais très souvent il n'est ni pratiquement réalisable ni économiquement justifié.
- 2) Avec des essences plus ou moins tolérantes vis-à-vis des adventices, on peut appliquer des dés herbages d'intensité variable, sans descendre en-dessous du niveau minimum d'intensité qui permette une installation satisfaisante du peuplement.
- 3) Les essences non tolérantes vis-à-vis des adventices exigent des dés herbages intensifs jusqu'à ce que le peuplement soit bien installé et occupe complètement le terrain.



Le désherbage total n'est pas limité aux régions tropicales. En Italie du Nord, par exemple, les plantations industrielles de Pinus strobus sont cultivées mécaniquement à sol nu au cours de la phase d'installation. (Photo Istituto Nazionale per Piante da Legno, Turin).

D'autres facteurs importants entrant en jeu sont la pluviométrie, la température, l'écartement initial de plantation, la taille des plants, la rapidité de croissance, la composition floristique et la densité de la végétation adventice, son aptitude à se régénérer, les caractéristiques de la station telles que fertilité, disponibilités en eau, pente, et enfin la compétence de la main d'oeuvre dont on dispose.

Méthodes de désherbage

On distingue deux grandes méthodes de désherbage selon que l'on cherche à réduire ou à éliminer complètement la végétation adventice; toutes deux peuvent être réalisées manuellement, mécaniquement ou chimiquement. La réduction de la végétation adventice s'effectue par rabattage, par broyage, par sarclage ou par recépage au niveau du sol ou au-dessus. L'élimination des adventices se fait en les tuant, soit par destruction des plantes entières par la culture, soit par emploi de produits chimiques. Le désherbage peut être total ou partiel, les principales méthodes de désherbage partiel étant le désherbage par placeaux et en lignes.

Réduction des adventices

La méthode la plus simple consiste à écraser ou à abattre la végétation adventice en l'écartant des jeunes arbres. Cette opération peut être mécanisée en utilisant un rouleau attelé à un tracteur, mais celui-ci ne peut pas travailler trop près des plants forestiers.

La méthode manuelle la plus courante consiste à recéper la végétation adventice à l'aide d'outils tranchants de types divers tels que faucilles, croissants et faux. Dans beaucoup de pays on utilise la machette de coupeur de canne ou "coupe-coupe"; bien que ce ne soit pas toujours l'outil idéal pour ce type de végétation, les ouvriers la manient avec beaucoup d'habileté, et n'ont pas à s'adapter à de nouveaux outils.

Il existe une grande variété de machines pour couper les végétaux adventices, telles que:

- 1) la débroussailleuse portative, décrite au Chapitre 1;
- 2) les machines sur essieu à deux roues, maniées par un opérateur à pied, telles que les motofaucheuses à barre de coupe alternative et machines similaires à lame circulaire ou fléaux rotatifs;
- 3) les débroussailleuses et broyeurs mûs par un tracteur, le plus souvent portés à l'arrière et couplés à la prise de force du tracteur:
 - a) broyeurs à chaînes tournant horizontalement;
 - b) machines à lames rotatives horizontales;
 - c) machines à fléaux tournant dans un plan vertical.

Elimination des adventices

Dans le désherbage par sarclage il s'agit d'extirper les adventices avec leurs racines pour ensuite soit les laisser en surface soit les tronçonner et les enfouir dans le sol. Outre la destruction des mauvaises herbes, le sarclage peut avoir pour effet d'accroître l'infiltration des eaux de pluie et de réduire l'évaporation du sol, ce qui est très important dans certaines régions à saison sèche marquée.

Le sarclage manuel se fait le plus souvent à l'aide de houes droites à long manche ou, dans les régions tropicales, de houes courbes à manche plus court. Le travail est plus efficace si l'on utilise la houe en piochant et retournant le sol, plutôt que de simplement couper les mauvaises herbes en raclant la surface. Le sarclage manuel en plein étant coûteux en main d'oeuvre (au Nigéria par exemple, 25 à 30 hommes-jours/ha), on restreint en général le travail à des placeaux ou à des bandes étroites. Dans le premier cas on bine une surface circulaire de 1 à 2 mètres de diamètre autour des arbres; dans le sarclage en lignes on bine une bande d'environ 1 mètre de large suivant les rangs de plantation. Le coût du désherbage est réduit dans le cas de plantation en taungya, où le cultivateur, en entretenant ses cultures, opère un sarclage total ou partiel de la parcelle durant la saison de végétation.

Dans certaines régions à saison sèche marquée, comme les zones de savanes, on a constaté qu'un sarclage par placeaux ou en lignes était insuffisant pour assurer une reprise ou une croissance satisfaisantes du peuplement, et on a adopté un système de culture en plein par moyens mécaniques sur les terrains plats ou en pente douce où elle est possible. La culture en plein, dans les grands reboisements, comporte un sarclage mécanique entre les rangs et un sarclage manuel complémentaire autour des plants. La seule opération culturale entièrement mécanisée est le hersage précédant la plantation, qui quoique se classant dans les opérations de préparation du sol joue le même rôle qu'un sarclage effectué immédiatement avant la plantation.

Il existe toute une gamme de matériels de sarclage mécanique, y compris les motoculteurs à deux roues et les houes sarcleuses à traction bovine pour le travail sur de petites surfaces; pour les travaux à plus grande échelle on utilise:

- 1) des tracteurs agricoles équipés de pulvérisateurs lourds à disques montés en offset et portés à l'arrière;
- 2) des tracteurs agricoles équipés de cultivateurs rotatifs à axe horizontal ou "rotavators" portés à l'arrière.

Les herses ou pulvérisateurs à disques sont très employés, et, à l'exception de terrains à végétation adventice exceptionnellement dense, donnent satisfaction en pratique. Le rotavator fait également un travail satisfaisant, et peut être utilisé sur une végétation plus dense que les houes à disques, mais c'est une machine plus complexe et plus délicate, et qui demande une plus grande attention dans son maniement.

Lorsque le sarclage entre les rangs est effectué dans une seule direction il est complété par un sarclage manuel en lignes, et si l'on fait deux passages croisés on les complète par un sarclage par placeaux. Le sarclage en lignes demande environ 60% de main-d'oeuvre de plus que le sarclage par placeaux. Avec le sarclage mécanique croisé, par contre, les deux tiers environ de la surface entre les rangs sont travaillés deux fois. Un inconvénient sérieux du sarclage croisé est que le tracteur doit repasser à angle droit sur les sillons tracés par la machine lors du premier passage, et que les cahots et les chocs qui en résultent peuvent accroître sérieusement la fatigue et l'usure du matériel.

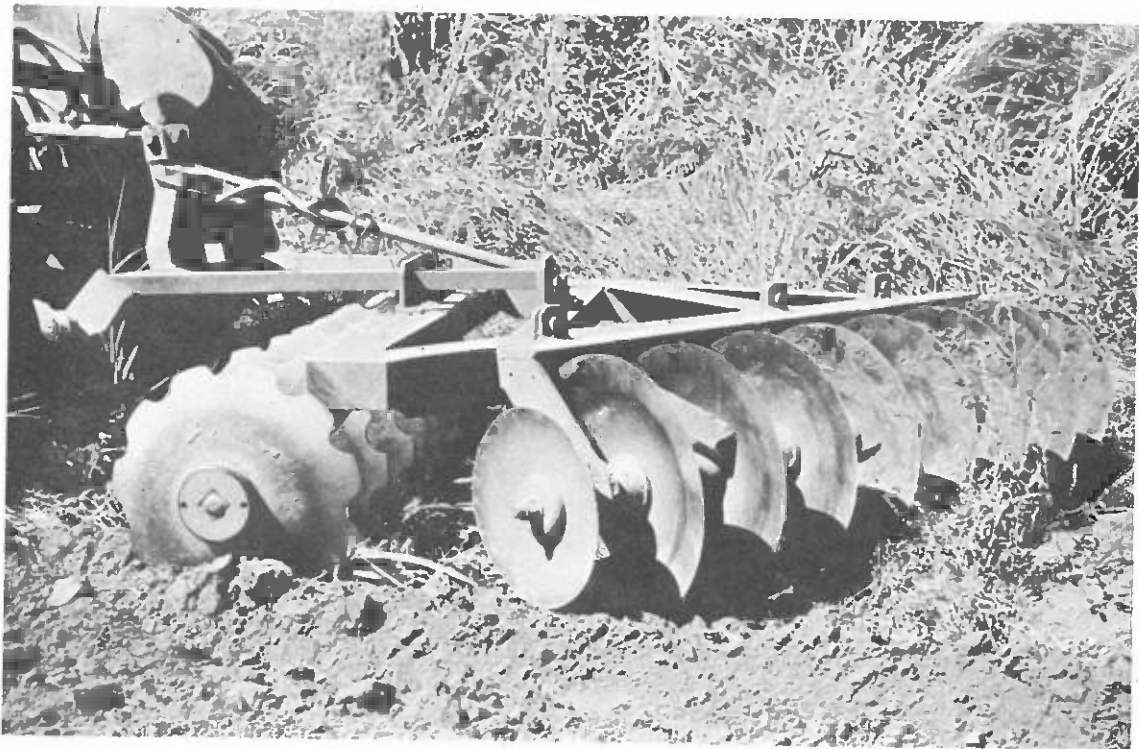
Les méthodes de désherbage total ou partiel à l'aide de phytocides chimiques ont fait et font encore des progrès considérables. Les produits les plus couramment employés figurent dans la liste donnée au Chapitre 1 à propos de la préparation du terrain. Il faut noter surtout que l'on doit procéder à des essais pour déterminer les types de phytocides et les méthodes d'application appropriées aux essences de reboisement et aux stations considérées. Les principales méthodes d'application font appel aux matériels suivants:

- 1) Pulvérisateurs à dos actionnés à la main.
- 2) Atomiseurs à dos à moteur.
- 3) Epandeurs d'herbicide granulé.
- 4) Atomiseurs et pulvérisateurs à grand volume montés sur tracteurs.
- 5) Pulvérisateurs à très faible volume.
- 6) Traitement aérien.

Le choix du matériel de traitement est surtout une question d'échelle et d'expérience pratique. La mise au point des pulvérisateurs à très faible volume a élargi les possibilités d'emploi des phytocides. La pulvérisation aérienne est praticable dans certains grands périmètres de reboisement; on l'utilise largement, par exemple, en Nouvelle Zélande où quelques 25 000 hectares, soit 87% du programme annuel de désherbage, sont traités par cette méthode (Chavasse et Fitzpatrick, 1973).



Tracteur à roues avec herse à disques portée, employée pour le sarclage des interbandes dans les jeunes plantations de pins et d'eucalyptus en savanes africaines. (Photo T.G. Allan)



Régimes de désherbage

Dans les régions tempérées où l'on effectue des désherbages partiels par coupe ou par phytocides, il est de pratique courante de faire un désherbage d'été une fois par an jusqu'à ce que les plants forestiers dominent la végétation adventice, ce qui peut représenter un programme de désherbage d'une durée de 2 à 5 ans. Les peupliers, par exemple, demandent des désherbages pendant les 2 ou 3 années qui suivent la plantation. Une pratique courante dans les régions tempérées consiste à couper la végétation et à faire à chaque fois un paillage sur 1,20 à 2 mètres autour des arbres.

Dans les régions de savanes un calendrier normal de désherbage mécanique dans les reboisements d'eucalyptus serait le suivant:

<u>Epoque de l'opération</u>	<u>Type et nombre de désherbages</u>
Régime de 1ère année (âge 0 à 8 mois), pendant la saison des pluies	6 sarclages mécaniques des interbandes en directions alternées, complétés par 5 binages par placeaux
Régime de 2ème année (âge 12 à 20 mois)	1 à 4 sarclages mécaniques des interbandes, aucun binage manuel nécessaire

Un régime similaire serait adopté pour les pins, mais la durée serait de 3 à 5 ans au lieu de 2. Les eucalyptus et les pins, dans les régions tropicales, poussent pendant la saison sèche alors que la quantité d'humidité dans le sol est limitée, et le sarclage total est destiné à accroître les disponibilités en eau pour les arbres, particulièrement au cours de la première année, où se fait le développement du système racinaire.

Arrosage et irrigation

Les plantations en zones arides et semi-arides nécessitent souvent des arrosages périodiques au cours de la première saison de végétation si l'on veut obtenir un taux de survie satisfaisant. Les arrosages doivent commencer après la fin des pluies au moment où l'humidité du sol est tombée au voisinage du point de flétrissement, et doivent être répétés de temps à autre jusqu'au début de la saison des pluies suivante. Avant chaque arrosage on doit biner autour des arbres pour éliminer les mauvaises herbes et façonner une cuvette peu profonde autour de chaque pied. Là où l'évaporation est forte un arrosage copieux (20 litres ou plus par arbre) à intervalles relativement longs est plus efficace que des arrosages légers plus fréquents.

L'arrosage est généralement une opération coûteuse, notamment dans les terrains en pente forte ou trop accidentés pour permettre le passage de citernes sur roues, et où il faut amener l'eau dans des tonnelets à dos d'animal. L'arrosage n'est pas économiquement rentable pour les grands reboisements, surtout si l'eau se trouve à une certaine distance, mais il peut se justifier dans le cas de petites plantations d'agrément, ou de plantations d'alignement. Dans beaucoup de pays semi-arides, un bon travail du sol et des binages réguliers, particulièrement au cours de la première saison de végétation, suffisent à conserver assez d'humidité dans le sol pour une bonne survie des plants, ce qui dispense de les arroser.

Dans le cas de plantations irriguées, l'irrigation périodique constitue la principale opération d'entretien, qui peut se poursuivre jusqu'à la fin de la révolution. Les canaux d'irrigation doivent être faucardés ou désherbés de temps à autre pour éviter que les mauvaises herbes ne gênent l'écoulement de l'eau. Une méthode efficace consiste à traiter les berges des canaux avec des herbicides, à intervalles assez fréquents avant que les herbes ne soient trop hautes. La question des plantations irriguées sera traitée plus en détail dans le Chapitre 4.

Élagage et taille

A l'exception de plantations à grand écartement, l'élagage n'est normalement pas pratiqué durant la phase d'installation du peuplement. Toutefois, avec certaines espèces de pins tropicaux, telles que Pinus khasya et P. oocarpa, un élagage bas peut être nécessaire pour enlever les branches adventives indésirables qui se développent au niveau du sol. L'élagage peut également être pratiqué occasionnellement moins pour améliorer la qualité des produits que pour permettre un libre accès, ou réduire le danger de feux se propageant du niveau du sol dans les cimes.

Des opérations de taille, y compris l'enlèvement des doubles tiges, sont pratiquées dans certaines plantations, notamment celles provenant de stumps ou de boutures. Elles peuvent souvent être couplées avec les opérations de délianage.

L'élagage précoce des branches latérales et rameaux adventifs est d'usage dans les plantations de peupliers à grand écartement où les arbres sont destinés à fournir des billes de déroulage pour la fabrication d'allumettes ou de placages. Les fûts sont normalement élagués jusqu'à mi-hauteur pendant les 5 premières années, après quoi on réduit la cime jusqu'à environ un tiers de la hauteur totale du fût. Les rameaux adventifs qui apparaissent à chaque printemps sur la partie élaguée du fût sont émondés aussitôt que possible. L'élagage des grosses branches se fait de préférence au printemps avant la montée de la sève, ce qui a également pour effet d'accélérer la cicatrisation des blessures. Les blessures d'élagage et les blessures à l'écorce occasionnées par les travaux de sarclage peuvent être traitées avec une préparation de lanoline et d'acide indolacétique, ou de lanoline et d'Angrosan (composé organo-mercurique), qui hâte la cicatrisation.

BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES

- Aldhous, J.R. Nursery practice. London, Her Majesty's Stationery Office. 184 p.
1972 Forestry Commission Bulletin No. 43.
- Allan, T.G. Observations and studies of planting methods for forestry plantations in
1975 the savanna regions of Nigeria. Savanna Forestry Research Station, Nigeria.
14 p. Project Working Document NUR/73/007.
- Appelroth, S.E. Work study aspects of planting and direct seeding in forestry. In
1974 IUFRO Symposium on Stand Establishment, pp. 202-275. Wageningen, The
Netherlands.
- Bailly, C. et al. Fertilisation des plantations de pins à Madagascar. Revue Bois et
1974 Forêts des Tropiques no. 158 : 13-32.
- Bakshi, B.K. Mycorrhiza - its role in man-made forests. In Proceedings of FAO World
1967 Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. 2,
pp. 1031-1042. Rome, FAO.
- Ball, J.B. Plastic containers and coiling roots. Unasylva, Vol. 28(1), No. 111 : 27.
1976
- Balmer, W.E., and Williston, H.L. Guide for planting southern pines. Atlanta, Georgia,
1974 U.S.A., USDA Forest Service, State and Private Forestry. 17 p.
- Bærring, U. Treatment of young stands : chemical weed control. In Proceedings of IUFRO
1974 Symposium on Stand Establishment, pp. 377-406. Wageningen, The Netherlands.
- Binns, W.O. Fertilisers in the forest : a guide to materials. London, Her Majesty's
Stationery Office. 14 p. Forestry Commission Leaflet No. 63.

- Bengston, G.W. Fertilizer use in forestry: materials and methods of application. In 1973 Proceedings of the FAO/IUFRO International Symposium on Forest Fertilization, pp. 97-153. Paris, Ministère de l'Agriculture.
- Ben Salem, B. Root strangulation: a neglected factor in container grown nursery stock. 1971 Berkeley, University of California. Thesis.
- Blatchford, O.N. (e.i.). Chemical control. The Entopath News, October, 1976. British 1976 Forestry Commission. 88 p.
- British Forestry Commission. Influence of spacing on crop characteristics and yield. 1974 Forestry Commission Bulletin No. 52.
- Brix, H., and van den Driessche, R. Use of rooted cuttings in reforestation. Victoria, 1977 Canada, British Columbia Forest Service/Canadian Forestry Service. 16 p. Joint Report No. 6.
- Brown, R.M. Chemical control of weeds in the forest. London, Her Majesty's Stationery 1975 Office. 65 p. Forestry Commission Booklet 40.
- Chavasse, C.G.R., and Fitzpatrick, J. Weed control in forest establishment in New Zealand. 1973 Proceedings of the Fourth Asian-Pacific Weed Science Society Conference, Rotorua, New Zealand, P. 267-273.
- Cooling, E.N., and Jones, B.E. The importance of boron and NPK fertilizers to Eucalyptus 1970 in the Southern Province, Zambia. East African Agricultural and Forestry Journal, October, 1970 : 185-194.
- Crafts, A.S. Modern weed control. Berkeley, U.S.A., University of California Press. 1975 440 p.
- Crowther, R.E. Guidelines to forest weed control. London, Her Majesty's Stationery 1976 Office. 7 p. Forestry Commission Leaflet No. 66.
- Donald, D.G.M. Planting of trees in polythene bags. Letter to South African Journal of 1968 Forestry, No. 67.
- Everard, J.E. Fertilisers in the establishment of conifers in Wales and southern England. 1974 London, Her Majesty's Stationery Office. 49 p. Forestry Commission Booklet 41.
- Evert, F. Spacing studies - a review. Ottawa, Canada, Canadian Forestry Service. 95 p. 1971 Forest Management Institute Information Report FMR-X-37.
- FAO 1976 Project findings and recommendations. Savanna Forestry Research Station, Nigeria. Rome, FAO. FO:DP/NIR/73/007, Terminal Report. 66 p.
- FAO/IUFRO 1973 Proceedings of the International Symposium on Forest Fertilization. Paris, Ministère de l'Agriculture. 404 p.
- Fryer, J.D. and Evans, S.A. Weed control handbook. Vol. I: Principles. Oxford, 1970 Blackwell.
- Fryer, J.D., and Makepeace, R.J. Weed control handbook. Vol. II: Recommendations. 1972 Oxford, Blackwell.

- Gentle, S.W., and Humpreys, F.R. Experience with phosphatic fertilizers in man-made forests
1967 of Pinus radiata in New South Wales. In Proceedings of FAO World Symposium on
Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. 3, pp. 1753-1800.
Rome, FAO.
- Gessel, S.P. et al. How to fertilize trees and measure response. Washington, D.C.,
1960 National Plant Food Institute. 67 p.
- Goor, C.P. van. Fertilization of conifer plantations. Irish Forestry, 27(2): 68-80.
1970
- Griffith, A.L. The best date of planting softwoods at Muguga (Kenya). Empire Forestry
1957 Review, 36(1): 94.
- Hackskaylo, E. (ed.). Mycorrhizal - proceedings of the First North American Conference on
1971 Mycorrhizal. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office. 255 p.
Miscellaneous Publication 1189.
- Jackson, J.K. Silviculture and mensuration. Savanna Forestry Research Station, Nigeria.
1974 Rome, FAO. 65 p. FO:SF/NIR 16, Technical Report 7.
- Jackson, J.K. Use of fertilizers in savanna plantations. In Savanna Afforestation in
1977 Africa, pp. 152-159. Rome, FAO. FOR:TF-RAF 95 (DEN).
- Kowal, J.M. Report on research proposals for the soil physics and soil chemistry sections
1975 of the Savanna Forestry Research Station. Rome, FAO. FAO: DP/NIR/73/007,
unpublished report.
- Kozlowski, T.T. Implications of tree physiology in forestry. In Proceedings of tree
1973 Physiology Colloquium, pp. 1-25. Madison, U.S.A., University of Wisconsin.
- Laurie, M.V. Tree planting practices in African savannas. Rome, FAO. 185 p. FAO Forestry
1974 Development Paper No. 19.
- Lejeune, D.R. Development of a mechanical fertilizer dispensing device for planting
1976 machines. Technical Notes. Australian Forestry, 39(1): 57-61.
- Low, A.J., and Oakley, J.S. Tubed seedlings. London, Her Majesty's Stationery Office,
1975 Forestry Commission Leaflet 61.
- Low, A.J., and Col, G. van. Initial spacing in relation to stand establishment. In
1974 Proceedings of IUFRO Symposium on Stand Establishment, pp. 296-319.
Wageningen, The Netherlands.
- Maki, T.E. The dependence of forestry and wood production and fertilizers. Paper for
1972 Seventh World Forestry Congress, Buenos Aires. 6 p.
- Manktelow, E. Machine planting in Tarawera Forest. New Zealand Journal of Forestry,
1967 12(2): 183-188.
- Marx, D.H. and Bryab, W.C. The significance of mycorrhizae to forest trees. In Forest
1975 soils and forest land management. Bernier, B., and Winget, C.H. pp. 107-117.
Quebec, Les Presses de l'Université Laval.
- Mikola, P. Afforestation of treeless areas: importance and technique of mycorrhizal
1969 inoculation. Unasylva, 23(1), No. 92: 35-48.

- Momoh, Z.O. et al. The role of mycorrhizal in afforestation - the Nigerian experience. 1977 In Savanna afforestation in Africa, pp. 100-105. Rome, FAO. FOR:TF-RAF 95 (DEN).
- Nao, T.V. Fertilizers in forest management. Span, 17(2): 68-72. 1974
- Parry, M.S. Tree planting practices in tropical Africa. Rome, FAO. 298 p. FAO Forestry 1956 Development Paper No. 8.
- Pritchett, W.L., and Gooding, J.W. Fertilizer recommendations for pines in the Southeastern 1975 Coastal Plain of the United States. Gainesville, U.S.A., University of Florida. 23 p. Bulletin 774.
- Pritchett, W.L., and Smith, W.H. Management of wet savanna forest soils for pine production. 1974 Gainesville, U.S.A., University of Florida. 22 p. Bulletin 762 (Technical).
- Rennie, P.J. Forest fertilization in Canada. Paper for Seventh World Forestry Congress, 1972 Buenos Aires. 13 p.
- Ronco, F. Planting Engelmann spruce. Fort Collins, U.S.A., Rocky Mountain Forest and 1972 Range Experiment Station. 24 p. USDA Forest Service Research Paper RM-89.
- Sandvik, M. Biological aspects of planting and direct seeding in forestry. In 1974 Proceedings of IUFRO Symposium on Stand Establishment, pp. 184-201. Wageningen, The Netherlands.
- Schmidt-Vogt, H. Influence of plant size on survival and growth of young forest 1967 plantations. In Proceedings of FAO World Symposium on Man-Made Forests and Their Industrial Importance, Vol. 3, pp. 1615-1630. Rome, FAO.
- Schmidt-Vogt, H. Planting material. In Proceedings IUFRO Symposium on Stand Establishment, 1974 pp. 70-90. Wageningen, The Netherlands.
- Schubert, G.H., and Adams, R.S. Reforestation practices for conifers in California. 1971 Sacramento, U.S.A., Division of Forestry, State of California. p. 359.
- Shoulders, E., and McKee, W.H. Jr. Pine nutrition in the West Gulf Coastal Plain: a 1973 status report. New Orleans, U.S.A., Southern Forest Experiment Station. USDA Forest Service General Technical Report SO-2.
- Stone, E.C. Prevention of container-induced root malformation in Pinus pinaster and 1971 Pinus halepensis seedlings following transplanting. (Mimeographed).
- Strehlke, B. Ergonomic aspects of planting machines. In Proceedings of IUFRO Symposium 1974 on Stand Establishment, pp. 277-290. Wageningen, The Netherlands.
- Swan, H.S.D. The fertilization of man-made forests. In Proceedings of FAO World 1967 Symposium on Man-Made Forests and Their Industrial Importance, Vol. 1, pp. 415-434. Rome, FAO.
- Tinus, R.W. et al. Proceedings of the North American Containerized Forest Tree Seedling 1974 Symposium. Denver, U.S.A. 458 p. Great Plains Agricultural Council Publication No. 68.
- Touzet, G. Les plantations forestières en mottes. Revue Bois et Forêts des Tropiques, 1972 no. 142: 3-13.

- Wakely, P.C. Planting the southern pines. Washington, USDA Forest Service. 233 p.
1954 Agriculture monograph No. 18.
- Walker, L.C. Forest Fertilization in North America. Paper for Seventh World Forestry
1972 Congress, Buenos Aires. 3 p.
- Waring, H.D. The role of nitrogen in the maintenance of productivity in conifer
1967 plantations. In Proceedings of FAO World Symposium on Man-Made Forests
and Their Industrial Importance, Vol. 2, pp. 1249-1273. Rome, FAO.
- Waring, H.D. Early fertilization for maximum production. In Proceedings of the
1973 FAO/IUFRO International Symposium on Forest Fertilization, pp. 215-241.
Paris, Ministère de l'Agriculture.
- Wilde, S.A. Mucorrhizal: their role in tree nutrition and timber production. Madison,
1968 U.S.A., The University of Wisconsin. 30 p. Research Bulletin 272.
- Wilde, S.A. et al. Tree spacing in forest plantations as related to soils and revenue.
1968 Madison, U.S.A., University of Wisconsin. 22 p. Bulletin 589.
- Woods, R.V. Early silviculture for upgrading productivity on marginal Pinus radiata
1976 sites in the south-eastern region of South Australia. South Australia,
Government Printer. 90 p. Woods and Forests Department Bulletin 24.

CHAPITRE 4
REBOISEMENT DE TERRAINS PRESENTANT
DES DIFFICULTES PARTICULIERES

Dans les Chapitres 1 à 3 nous avons parlé essentiellement des méthodes de préparation du terrain et de plantation s'appliquant à des terrains à sol consistant, à relief peu accidenté, et dans lesquels l'humidité du sol n'est ni excessive ni déficiente au point de nécessiter une irrigation ou la construction d'ouvrages de conservation des eaux. Le présent chapitre a pour objet de décrire les techniques appropriées aux stations de conditions particulièrement difficiles: 1) zones où les mesures de conservation des sols et des eaux constituent des facteurs déterminants pour le reboisement, 2) terrain irrigables, 3) dunes de sable, 4) terrains présentant un excès d'humidité, 5) déblais de mine et terrains de décharge.

TERRAINS OU LES MESURES DE CONSERVATION DES SOLS ET DES
EAUX SONT DES FACTEURS DETERMINANTS POUR LE REBOISEMENT

Cette section se rapporte à deux catégories bien distinctes de milieux qui ont entre elles un point commun important: la nécessité de retarder ou empêcher les ruissellements des eaux de pluie tombant sur le sol. Ces deux catégories de milieux sont les terrains sujets à l'érosion, et les stations arides; toutes deux ont en commun la nécessité d'associer au reboisement des techniques de conservation des sols et des eaux. Certaines de ces techniques sont très anciennes, mais à l'époque moderne beaucoup de techniques nouvelles ont vu le jour, tout d'abord utilisant le travail manuel, mais à une époque plus récente faisant appel de plus en plus largement à la machine.

Caractéristiques du milieu et ruissellement

Terrains sujets à l'érosion

Il s'agit de zones de sols soumis ou sensibles à l'érosion, généralement en pente modérée à forte, qui subissent de temps à autre des intensités de pluies susceptibles d'entraîner dans les bassins versants un ruissellement de surface préjudiciable à la structure des sols. Ce ruissellement excessif peut également causer des dommages en aval sous la forme d'alluvionnement et d'inondations destructrices.

Les terrains soumis à une érosion sévère se rencontrent communément dans les régions montagneuses situées sous des climats à saison sèche et pluvieuse fortement différenciée, mais également dans des régions à pluviométrie élevée et régulière. Dans les régions à

saison sèche marquée, les couches superficielles du sol ont tendance à se dessécher et à se compacter, et ont alors une moindre capacité d'absorption des eaux de pluie à l'entrée de la saison pluvieuse. Même lorsque le sol est réhumidifié jusqu'au point de capacité de rétention, les précipitations occasionnelles de forte intensité lors des orages peuvent excéder la capacité d'infiltration, de percolation et de drainage profond du sol, d'où il résulte un ruissellement superficiel d'une intensité provoquant l'érosion.

Une couverture végétale dense et permanente constitue dans de tels milieux la meilleure forme de protection du sol. Les parties aériennes des végétaux offrent un obstacle physique aux fortes pluies et à un ruissellement rapide, tandis que les racines et les horizons humifères favorisent l'infiltration et l'absorption des eaux de pluie par le sol. La destruction totale de cette couverture végétale par le défrichage en vue de la culture ou par des feux répétés entraîne rapidement une érosion intense et une chute de rendement hydrologique du bassin versant, accompagnées de dégradation des sols, de baisse des rendements agricoles, et d'inondations. L'enlèvement de la couverture morte et de la végétation pour leur emploi comme combustible est un autre facteur contribuant à la dégradation des sols. Dans de tels cas la reconstitution du couvert végétal - généralement, mais pas nécessairement toujours par le reboisement - est une condition sine qua non pour contrôler l'érosion et arrêter la dégradation du milieu.

Stations arides

Les zones arides et subdésertiques se caractérisent par une longue saison sèche et des précipitations annuelles faibles se situant entre 10 et 200 mm. Ces zones présentent une végétation plus ou moins clairsemée composée d'arbrisseaux, arbustes et arbres bas xérophytes, à enracinement profond. La saison des pluies est généralement de courte durée, mais les pluies, lorsqu'elles se produisent, prennent souvent la forme d'orages de forte intensité donnant lieu à un ruissellement superficiel important, de sorte qu'une grande partie des eaux se perdent par les crues. La mise au point de techniques permettant de retenir dans le sol une proportion élevée de ce ruissellement a rendu possible le reboisement avec des essences d'intérêt économique plus grand que les xérophytes indigènes dans certaines régions telles que l'Afrique du Nord. Au Sud du Sahara, dans la zone sahélienne, l'installation d'arbres forestiers sous des pluviométries annuelles de 200 à 500 mm pose d'énormes problèmes, à l'exception de rares stations exceptionnellement favorables.

Le problème du ruissellement superficiel

L'objet fondamental de la conservation des sols et des eaux est de créer des conditions qui permettent la rétention et favorisent l'infiltration directe dans le sol des eaux provenant de la pluie ou de la fonte des neiges. En d'autres termes, on cherche à réduire le ruissellement au minimum, dans la mesure du moins où l'on n'en a pas besoin pour remplir les barrages.

Dans les régions où les pluies sont suffisamment abondantes, il se peut que l'humidité du sol permette d'entretenir à la fois un peuplement forestier et un couvert herbacé plus ou moins dense. Dans ce cas, le reboisement requiert un minimum de perturbation du couvert végétal existant, juste suffisant pour permettre aux arbres introduits de se développer sans souffrir de la concurrence. Le problème est alors de contrôler le ruissellement et l'entraînement du sol jusqu'au moment où le couvert forestier devient capable d'assurer lui-même la protection du sol. L'importance et le coût des travaux préliminaires de conservation du sol peuvent souvent être réduits lorsqu'on peut améliorer le couvert végétal spontané, en le protégeant contre les facteurs de destruction tels que labour de terrains impropres à la culture, pâturage abusif, ou feux répétés. À Chypre, l'élimination totale du pâturage des chèvres dans les forêts incendiées des zones montagneuses a permis en 2 ou 3 ans une régénération si dense des broussailles et maquis spontanés que l'on a pu se dispenser presque entièrement des coûteux travaux de conservation du sol pratiqués jusqu'alors.

Dans les stations arides il s'agit surtout de recueillir et conserver les pluies tombées pour que les arbres forestiers puissent les utiliser durant la saison de végétation. Dans ces conditions la concurrence de la végétation existante vis-à-vis de réserves hydriques

limitées dans le sol peut s'avérer dangereuse, de sorte que les techniques de reboisement en zones arides donnent priorité à la culture à sol nu et aux ouvrages de rétention des eaux.

L'objectif de toutes les techniques de conservation des sols et des eaux est de créer ou maintenir les conditions les plus favorables à l'infiltration, à l'absorption et au drainage profond des eaux. Pour chaque station il existe un niveau optimum d'absorption de l'eau, qui est fonction du couvert végétal, de la couverture morte, et de la texture de tous les horizons du sol jusqu'à la roche-mère sous-jacente. Les techniques de conservation doivent viser à rétablir la capacité de rétention en eau de la station à son niveau optimum. Lors des fortes pluies, l'intensité des précipitations excède souvent la capacité d'infiltration du sol, et l'eau commence à ruisseler. Les mesures de conservation doivent par conséquent viser à emmagasiner la plus grande partie possible du ruissellement, et à évacuer sans dommage toutes les eaux en excédent par rapport à la capacité d'emmagasinement. Dans certains cas, notamment sur les pentes schisteuses et les sols instables, une rétention d'eau accrue peut donner lieu à des glissements de terrain, et sur de tels sols certaines mesures de conservation des eaux peuvent s'avérer néfastes.

La nature des travaux de conservation, leur capacité et leur complexité, et par conséquent leur coût, seront déterminés en fonction du relief et des prévisions de hauteurs et d'intensité de pluies par comparaison avec la capacité de rétention en eau de la station. Ces prévisions peuvent être suffisamment précises si l'on dispose pour la région de données pluviométriques (y compris les relevés d'intensité de pluies) portant sur une assez longue période, en même temps que de données sur le ruissellement, provenant des résultats enregistrés sur parcelles expérimentales et de mesures de débit des cours d'eau. En l'absence de telles données le forestier devra élaborer son plan de conservation en s'appuyant au mieux sur l'expérience locale, étant donné que l'on ne dispose souvent que d'un temps limité pour la recherche et l'expérimentation.

Moins on dispose d'informations et de données détaillées et sûres pour estimer les débits de pointe du ruissellement en un endroit donné, plus il faudra donner d'importance aux fossés et autres ouvrages destinés à évacuer le surplus de ruissellement vers des exutoires aménagés.

Méthodes de conservation des sols et des eaux dans les régions à bonne pluviométrie

On dispose d'une abondante documentation technique sur les problèmes d'érosion et les méthodes de conservation des sols et des eaux. Notre propos est ici de décrire brièvement les mesures de conservation qui sont couramment associées aux travaux de reboisement.

Restauration du couvert végétal

Dans les régions où les pluies sont suffisamment abondantes ou bien réparties au cours de l'année pour maintenir sur le sol un couvert assez luxuriant d'espèces spontanées, la première mesure à prendre est d'assurer la protection du terrain contre toute forme d'utilisation susceptible de diminuer l'efficacité de ce couvert végétal naturel.

Les facteurs de destruction les plus couramment rencontrés sont les feux, le surpâturage, et la culture itinérante. La protection contre ces causes de dégradation implique dans presque tous les cas une rupture dans les pratiques agricoles traditionnelles et l'introduction de nouvelles formes d'aménagement des terres. De tels changements peuvent provoquer de la part des collectivités concernées des réactions hostiles, à moins qu'on n'ait su identifier et analyser les problèmes sociaux en cause et leur trouver des solutions satisfaisantes. Dans l'exemple de Chypre mentionné plus haut, les terrains affectés au reboisement consistaient en réserves forestières montagneuses, traditionnellement pâturées par le bétail des collectivités riveraines. En compensation de leur abandon du pastoralisme forestier, les bergers, qui constituaient généralement une minorité dépourvue de terres, se

sont vu attribuer des terres cultivables, parfois prélevées dans d'autres parties de la réserve, ou des subventions en espèces suffisantes pour leur permettre de s'établir dans un autre emploi. Avec la suppression du pâturage, les dangers d'incendie se trouvèrent fortement réduits.

A Chypre le remède au surpâturage était relativement simple; dans d'autres pays confrontés avec des problèmes d'érosion analogues, on recherche d'autres solutions adaptées aux conditions locales. En Yougoslavie, l'abolition du pâturage en forêt a été grandement facilitée par les projets de développement industriel qui étaient à même d'absorber les populations pastorales déplacées de la forêt. En Grèce et en Turquie on se préoccupe plutôt de développer les terrains de parcours améliorés et d'introduire du bétail plus productif, pour compenser indirectement la mise en défens d'autres secteurs de bassins versants affectés au reboisement.

En Corée du Sud les mesures d'encouragement prises par l'Etat pour assurer l'auto-suffisance des collectivités et favoriser la création de forêts de villages se sont avérées des moyens efficaces pour reboiser des terrains montagneux marginaux soumis à l'érosion. En Thaïlande la création de villages forestiers, associée à l'attribution de terres de culture et aux revenus procurés par les travaux forestiers, fait régresser la culture itinérante en offrant aux cultivateurs des possibilités de sédentarisation et d'amélioration de leur niveau de vie. En Indonésie, l'allocation de primes en espèces et l'instauration d'un système associant une production fourragère avec la production de bois destiné à la commercialisation ont persuadé les agriculteurs d'entreprendre le reboisement de versants à fortes pentes qu'ils avaient auparavant défrichés, mais qui s'étaient avérées impropres à une culture prolongée.

L'interdiction du pâturage ou de la culture itinérante par des mesures juridiques ou administratives est rarement efficace, à moins d'être accompagnée de mesures compensatoires satisfaisantes.

Ouvrages de rétention des eaux et du sol

Le principe fondamental de ces ouvrages est de contenir ou retarder l'écoulement des eaux de pluie au fur et à mesure qu'elles tombent sur le sol, en empêchant le ruissellement de surface de se concentrer en volumes suffisants pour provoquer la dégradation du sol par affouillement.

Terrasses

La méthode ancestrale consistait à niveler le terrain en une série de degrés le long des versants, ces degrés étant maintenus par des murs de soutènement en pierres sèches là où la pierre se trouvait sur place en abondance; dans les terrains dépourvus de pierres les terrasses étaient soutenues par des talus ou des diguettes protégées par une végétation naturelle. Les techniques modernes, telles que décrites par Shung (1977), sont pour la plupart adaptées de ces anciens ouvrages de conservation.



La construction de terrasses étroites suivant les courbes de niveau est une technique courante de préparation du terrain sur les pentes fortes sensibles à l'érosion dans le Nord-Ouest de la Turquie. (Photo FAO)

Banquettes et fossés de niveau

Les banquettes et gradins consistent en un replat ou marche taillé dans la pente du terrain le long des courbes de niveau, le bord extérieur étant surélevé par rapport au bord intérieur. Le fossé de niveau n'en diffère que par son profil qui présente un creux et un bourrelet plus prononcés.

Les banquettes et fossés de niveau peuvent être calculés de façon que leur capacité d'emmagasinage corresponde au ruissellement prévu sur la bande de terrain qui les surplombe immédiatement, jusqu'à l'ouvrage de niveau le plus proche. Ou encore, si l'on se fixe la capacité d'emmagasinage, la densité des ouvrages de niveau - ou la largeur de l'intervalle qui les sépare - peut être rapportée au ruissellement d'intensité maxima probable. Il existe un certain nombre de formules pour le calcul de dimensions et de l'espacement des fossés de niveau ou banquettes. Saccardy (1950 et 1959) a utilisé en Algérie la formule suivante:

$$\frac{H^3}{S} = 260 \pm 10$$

dans laquelle H est l'intervalle vertical entre banquettes ou fossés de niveau, et S la pente exprimée en pour cent.

Une formule analogue utilisée à Ceylan, entre autres, est :

$$H = \frac{30}{4n} (n+9)$$

dans laquelle H est la distance en mètre entre banquettes et n la pente en %.

Le tableau ci-dessous indique les espacements à adopter entre terrasse, gradins ou fossés de niveau dans des terrains sensibles à l'érosion :

Tableau 1: Distance entre ouvrage de niveau en fonction de la pente

Pente %	Distance en mètres	
	Verticale	Horizontale
3	2,0	67,0
6	2,5	42,0
10	3,0	30,0
15	3,4	23,0
25	4,0	16,0
35	4,5	13,0
50	5,0	10,0

Plus la pente est forte, plus la distance verticale entre les ouvrages augmente et plus la distance horizontale diminue. Ces chiffres sont calculés en fonction de la surface de réception des pluies entre deux ouvrages de niveau.

Ces ouvrages sont généralement réalisés manuellement, à la pioche-pic ou à la houe. Un homme peut faire en une journée de 10 à 40 mètres d'ouvrage de 1 mètre à 1,50 mètre de large, selon le profil et les dimensions du fossé ou de la banquette, le couvert végétal, et la structure du sol. Des banquettes de 2,30 mètres de large peuvent aussi - être construites mécaniquement, même sur des pentes allant jusqu'à 60%, au moyen d'un tracteur à chenilles équipé en angledozer. Cette méthode est utilisée en Algérie et à Chypre. Un sous-solage effectué ensuite sur la banquette accroît la capacité d'absorption du sol, et par conséquent améliore l'efficacité de toute l'opération.

En terrain plus facile, avec des pentes inférieures à 25%, et un sol souvent plus profond, on peut confectionner les fossés de niveau au moyen d'une charrue à socs attelée à un tracteur, qui retourne le sol vers l'aval.

Un exemple de coûts comparatifs à l'hectare de reboisement et de travaux de conservation du sol est fourni par des données provenant de Tunisie, où on utilise couramment tant les méthodes manuelles que mécanisées. La confection manuelle de 550 à 600 mètres linéaires de banquettes par hectare nécessite 235 journées d'ouvriers. Les machines effectuent le même travail en une journée, à un coût trois fois moindre. Le Tableau 2 indique les coûts totaux du reboisement en 1966.

Pour être efficaces les fossés doivent impérativement être tracés avec précision, à l'aide d'un niveau de chantier, et ensuite être ouverts en suivant exactement les lignes piquetées. Néanmoins l'expérience montre qu'il est difficile de réaliser les ouvrages exactement suivant les courbes de niveau, quelle que soit la précision du piquetage, d'où il résulte que là où il y a eu des erreurs dans l'exécution l'eau qui s'accumule dans ces points bas finit tôt ou tard par déborder, donnant lieu à ce même ruissellement néfaste que l'on se proposait justement de supprimer. On peut dans une certaine mesure pallier les inconvénients résultant de faibles écarts par rapport à la courbe de niveau en établissant des cloisons transversales qui ont pour effet de diviser le fossé en une série de compartiments ou bassins, accroissant ainsi la quantité d'eau retenue par les ouvrages qui présentent une légère déclivité.

Tableau 2: Coûts du reboisement associé à des travaux de conservation de sols en Tunisie (1966)
en Dollars E.U. (1Dinar. = \$E.U. 1.90) et hommes-jours (h/j)

Opération élémentaire	Manuel		Mécanisé	
	Avec banquettes	Avec gradins	Avec banquettes	Sur pentes moins fortes
Défrichage	\$ 123,98 150 m/d	\$ 123,98 150 m/d	\$ 93,88 126 m/d	\$ 62,32 80 m/d
Confection de banquettes (550-600 m linéaires/ha)	\$ 177,13 235 m/d		\$ 57,90 1 m/d	
Confection d'éléments de gradins (800-1000 ml/ha)		\$ 73,44 105 m/d		
Sous-solage	-	-	\$ 41,80 1 m/d	\$ 32,30 1 m/d
Construction de routes d'accès	\$ 17,95 13 m/d		\$ 13,63 5 m/d	
Coûts des plants		\$ 45,16 22 m/d		
Transport et mise en place des plants		\$ 31,16 40 m/d		
Entretien et regarnis	\$ 45,36 25 m/d		\$ 49,16 25 m/d	\$ 39,33 20 m/d
TOTAL	\$ 440,00 485 m/d	\$ 337,00 355 m/d	\$ 332,00 220 m/d	\$ 224,00 168 m/d

L'imprécision fréquente constatée dans la construction des ouvrages, notamment en terrain difficile ou avec une main d'oeuvre inexpérimentée, a amené à recourir à d'autres systèmes comportant par intervalles des fossés à pente longitudinale entre des réseaux de fossés de niveau ou banquettes en lignes interrompues (telles que par exemple les "éléments de banquettes").

Fossés de niveau à pente variable

Une méthode qui permet de pallier le danger d'accélération de l'érosion due à un nivellement défectueux des fossés de niveau consiste à établir par intervalles sur le versant de fossés à pente longitudinale destinés à évacuer les eaux de ruissellement vers des déversoirs spécialement aménagés dans le lit des exutoires naturels. La pente à donner à ces fossés d'écoulement doit être de 0,5%, et augmenter progressivement jusqu'à 1% vers le point de déversement. Leur longueur dépendra de la topographie, mais il est recommandé qu'elle soit aussi limitée que possible. Plus la longueur du fossé augmente, plus sa section, et par conséquent son coût, s'accroissent également. Il faut autant que possible éviter des longueurs supérieures à 500 mètres.

Ces fossés à pente longitudinale doivent être tracés et exécutés avec une grande précision. Leur densité et leur emplacement seront déterminés en tenant compte à la fois de l'importance du ruissellement estimé et de la présence de roches et autres obstacles que le tracé doit éviter. Le principal inconvénient de ce type de fossé est la nécessité absolue de maintenir le canal en bon état en enlevant à intervalles fréquents les détritiques, la terre et les pierres qui peuvent être entraînés lors des fortes pluies d'orage et s'accumuler dans le fossé. Si l'on néglige cet entretien le canal risque de s'obstruer et de déverser son eau aux points d'engorgement sur le versant non protégé, ce qui peut dans certains cas submerger tout le réseau de fossés situés en aval et aggraver, parfois de manière spectaculaire, les problèmes d'érosion que les fossés avaient justement pour but de résoudre.

La difficulté d'assurer l'entretien de ces fossés, à laquelle on s'est heurté dans maint projet de reboisement, où l'on peut avoir à concentrer la main d'œuvre et le personnel d'encadrement dans d'autres parties du périmètre, a amené à limiter leur emploi à l'établissement de place en place, entre des ouvrages de conservation d'autres types, d'une ligne de fossés d'écoulement destinés à servir en quelque sorte de soupape de sûreté.

Ouvrages en lignes de niveau interrompues

Ces ouvrages dérivent de la méthode des fossés de niveau et banquettes précédemment décrites, et consistent en potets ou gradins de plantation établis sur les pentes entre les courbes de niveau. Dans leur forme la plus simple, ils seront constitués par des gradins de 0,60 à 1,00 mètre au carré, taillés à la pioche sur la pente à l'écartement dicté par la densité de plantation prescrite. Chaque carré reçoit quelques graines, ou un plant.

Lorsque la plantation est faite à espacement relativement dense, on prolonge ces gradins le long de la courbe de niveau pour former des tronçons de banquettes ou de fossés, en laissant entre eux un court intervalle de sol non défriché. La rangée située en-dessous doit être décalée de façon à intercepter le ruissellement qui passe dans les intervalles de la ligne supérieure. Ce type d'ouvrage a été très employé au Maroc et en Algérie sous le nom d'éléments de banquettes. Cette méthode présente l'avantage de pouvoir se dispenser d'effectuer un nivellement très précis, étant donné qu'elle repose sur une multiplicité de petits gradins pour assurer la protection contre le ruissellement et l'érosion. Même lorsqu'on utilise les éléments de banquettes ou les fossés à pente variable il est souvent nécessaire de placer des trous de plantation ou des tronçons de gradins ou de fossés entre les ouvrages principaux, de façon à maintenir un espacement plus ou moins régulier de la plantation.

Une variante du système des éléments de banquettes, généralement connue sous le nom de "méthode des croissants", consiste à creuser une cuvette d'où partent latéralement des rigoles légèrement inclinées vers le haut, qui concentrent l'eau de ruissellement vers la cuvette. Le plant est généralement placé au-dessus. Cette méthode est particulièrement valable pour les stations sèches, avec des écartements de plantation relativement larges.

Méthode dite des "bourrelets cloisonnés" ("tied-ridging")

Cette méthode est adaptée d'un système de conservation des eaux utilisé par l'agriculture en Afrique orientale et rappelant la méthode nord-américaine dite "basin-listing", qui consiste à couvrir toute la surface du terrain de petites cuvettes, creusées le long des courbes de niveau au moyen d'une charrue spéciale selon ce système, tel qu'on l'applique au reboisement en Afrique orientale, on laboure ou pioche tout d'abord le terrain, puis on façonne des bourrelets en lignes distantes de 2,50 mètres suivant approximativement les courbes de niveau, ces bourrelets étant ensuite reliés entre eux par des bourrelets secondaires perpendiculaires aux premiers à intervalles de 3 mètres, formant ainsi une série de petits bassins capables d'intercepter une averse soudaine de 50 mm. Dans les sols compactés cette méthode s'est avérée supérieure au sous-solage, parce qu'elle permet d'intercepter et d'utiliser la totalité des précipitations. Son application est toutefois limitée aux terrains plats ou à faible pente.

Clayonnages

Sur les fortes pentes où le sol est instable et sujet aux glissements, la construction de banquettes ou gradins en courbes de niveau peut ne servir qu'à accroître l'instabilité et même à favoriser les glissements de masse. Dans de telles conditions l'implantation de barrières en clayonnages grossiers suivant les courbes de niveau peut aider à stabiliser le sol temporairement jusqu'à ce qu'une fixation permanente soit réalisée par les racines des arbres plantés et par une couverture végétale spontanée. On les réalise en enfonçant dans le sol une ligne de piquets en bois d'essences durables à environ 1 mètre d'intervalle, et en entre-tenant entre ces piquets des branchages. La hauteur de cette haie varie entre 0,50 et 1 mètre. Au Japon on paille parfois les pentes instables avec de la paille de riz fixée par des piquets pour couvrir complètement les bandes de terrain entre les lignes de clayonnages.

Sur les sols instables et les éboulis de pierres, les haies de clayonnages sont souvent utiles, mais ces terrains sont en général trop appauvris pour pouvoir les planter sans autre traitement. Il peut par conséquent, être nécessaire d'amener de la bonne terre végétale ou du sol de forêt pour remplir les trous de plantation afin de donner aux plants forestiers un bon départ, mais c'est évidemment une opération coûteuse. On peut également utiliser du treillis métallique pour retenir et stabiliser les pentes d'éboulis.

Correction des ravines et torrents

Dans les zones où l'érosion a atteint un stade avancé, il est courant de voir le terrain profondément découpé par des ravines creusées par les eaux de ruissellement. A moins d'être stabilisées par la végétation ou par l'action mécanique de petits barrages de correction, ces ravines s'approfondissent progressivement sous l'action d'affouillement de l'eau, qui sape également les berges, provoquant leur éboulement et un élargissement progressif de la ravine. Les ravines soumises à une érosion active doivent être stabilisées en même temps que les versants, sinon elles pourraient finalement annihiler l'effet des ouvrages de conservation sur les terrains à reboiser. On trouvera dans Heede (1977) une description des ouvrages de correction des ravines.

Aux points d'interception des banquettes ou fossés de niveau avec les ravines, les berges des fossés demandent à être renforcées par un revêtement de pierres, mais dans le cas de ravines dont la section excède un mètre carré, il est recommandé d'arrêter l'ouvrage à quelques mètres du bord de la ravine pour parer à l'éventualité d'un affouillement latéral de la ravine et d'une "capture" de l'ouvrage.

Aux points de déversement des fossés d'écoulement dans les ravines, il faut absolument éviter que l'eau n'y tombe en cascade, ce qui provoquerait une érosion régressive du canal de l'ouvrage. S'il y a des pierres disponibles, on construira un barrage en maçonnerie en travers de la ravine, de niveau avec le talus du fossé et plus ou moins continu avec celui-ci. L'eau qui vient du fossé peut ainsi s'écouler dans la ravine derrière le barrage sans tomber en cascade. Le mur du barrage doit comporter à son sommet un déversoir, et à sa base un radier en maçonnerie pour éviter l'affouillement des fondations par l'eau.

Pour la construction des barrages les points suivants doivent être notés:

- 1) Les fondations doivent être solidement établies, et assises sur la roche;
- 2) Les extrémités doivent comporter un revêtement s'étendant sur les berges du ravin afin d'éviter que l'eau ne s'infilte en contournant le mur du barrage, ce qui finirait par causer son effondrement;
- 3) Il faut donner à la face aval du mur une inclinaison, ou "fruit", prononcée (1:2 par rapport à la verticale si l'on utilise des blocs roulés ou des pierres non taillées; 1:3 pour un mur en maçonnerie de pierre sèche avec des pierres grossièrement taillées; 1:4 à 1:6 dans le cas de maçonnerie assemblée au mortier ou de béton coulé). La face amont peut être verticale mais elle doit être remblayée avec des blocs et de la pierraille jusqu'au niveau du déversoir;

- 4) Il faut ménager au sommet du barrage un déversoir central, assez large pour laisser passer le débit maximum prévu. Ce déversoir doit être construit avec de grandes pierres plates, de préférence liées au mortier dans le dernier lit de maçonnerie.

Pour assurer une stabilisation complète de la ravine, on doit construire une série de petits barrages ou seuils du sommet jusqu'au point le plus bas, à un écartement tel que leurs effets se complètent mutuellement. Cette règle peut être assouplie en admettant qu'une pente de 5% au maximum s'établira dans le lit du torrent entre deux seuils voisins.

Les barrages et seuils peuvent être réalisés:

- 1) Avec des billes de bois et des fascines disposées en travers de la ravine et maintenues en place par des piquets bien enfoncés dans le sol;
- 2) En maçonnerie (là où il y a des pierres qui conviennent);
- 3) En gabions ("paniers" et "saucisses" en treillis galvanisés remplis de pierres et de galets);
- 4) En béton armé.

Les barrages de branchages sont utiles dans les petites ravines, notamment si ces branchages proviennent d'espèces capables de se multiplier végétativement, et si la face amont du barrage est bien engazonnée. Le choix des matériaux employés pour les barrages dépend des facteurs suivants:

- 1) La pente du lit du ravin et sa section, donc le volume et la vitesse du débit torrentiel à maîtriser;
- 2) Le type de matériau convenant le mieux au site;
- 3) La valeur des terrains, y compris les voies de communication, habitations, etc., situés en aval et que les ouvrages de stabilisation doivent protéger. Dans certains cas le coût de la stabilisation d'un ravin peut excéder la valeur de la protection obtenue, auquel cas il faut adopter une solution de compromis au stade de l'élaboration du projet. Ce compromis peut par exemple consister à limiter les ouvrages de stabilisation aux ramifications secondaires, et à réduire le nombre des ouvrages plus importants et plus coûteux dans les ravins principaux.

Méthodes de conservation des eaux en zones arides

La réussite du reboisement dans les régions à très faible pluviométrie (pouvant descendre jusqu'à 200 mm) est conditionnée par l'obtention d'une absorption et d'une rétention maxima des pluies sporadiques dans le sol dans l'espace qui sera occupé par les racines des arbres. L'écartement des arbres augmente en règle générale lorsque la pluviométrie diminue. Le terrain entre les lignes de plantation qui n'est pas destiné à être occupé ultérieurement par les racines des arbres peut être considéré comme zone d'impluvium pour les parties plantées. Il s'ensuit que toute végétation spontanée doit en être éliminée de façon à réduire au minimum la concurrence pour l'eau dans le sol, à l'exception des terrains sur lesquels la dénudation du sol pourrait entraîner une érosion éolienne des horizons superficiels.

Digues de niveau

Une méthode de préparation du terrain destinée à assurer un emmagasinage d'eau maximum pour le reboisement de stations arides consiste à implanter une série de digues ou levées de terre disposées exactement suivant les courbes de niveau, et réalisées à l'aide de terre et de pierres prélevées dans la zone d'impluvium. Les arbres forestiers sont plantés soit sur les talus, soit juste en-dessous, ou encore juste au-dessus.

Dans la plupart des cas, notamment si le sol est tassé ou s'il y a un encroûtement à faible profondeur, il faut effectuer un sous-solage ou rippage profond avant de construire le remblai. La bande sous-solée doit être assez large pour s'étendre de part et d'autre du remblai, de façon à ameublir le sol dans toute la zone qui sera occupée par les racines. La végétation existante doit être éliminée à la pioche ou à la houe, ou au moyen d'une herse à disques, et utilisée comme paillage autour des arbres après plantation.

La hauteur à donner aux remblais est déterminée par la quantité estimée d'eau de ruissellement à retenir après une forte pluie. S'il y a risque d'averses très intenses, ils devront être pourvus de dispositifs destinés à évacuer le surplus d'eau vers des exutoires aménagés. Ces déversoirs de sûreté doivent être solidement construits de façon à éviter le creusement de brèches dans les remblais, et assez largement dimensionnés pour assurer une ample marge de sécurité qui permette de faire face à l'écoulement de pluies torrentielles.

La construction de ces grands ouvrages en terre est un travail ardu et coûteux, que l'on ne saurait envisager de réaliser autrement qu'avec des engins de terrassement lourds.

En milieux arides la plantation d'arbres dans de simples trous sans travaux de conservation des eaux n'est que rarement couronnée de succès, à moins qu'on n'ait les moyens d'arroser ou irriguer les arbres chaque année pendant toute la durée de la saison sèche jusqu'à ce que la plantation soit bien établie.

Méthode steppique

Au cours de la période récente les possibilités croissantes d'utilisation d'outils agricoles spéciaux et d'engins lourds ont permis aux forestiers des zones arides et sub-désertiques d'entreprendre des reboisements dans des régions qui étaient auparavant considérées comme techniquement impossibles à planter. Certaines des réussites les plus spectaculaires en matière de reboisement en zones arides ont été accomplies au Maroc et en Algérie, grâce à la mise au point de techniques connues sous le nom de "méthode steppique".

Dans ces deux pays, dans les conditions de milieu les plus favorables (c'est-à-dire sur des sols profonds, plats ou en pente douce, avec une pluviométrie annuelle de 300 à 500 mm répartie sur 5 mois d'hiver), la préparation du sol se limite à un sous-solage profond, exécuté par un roter lourd équipé de 2 ou 3 dents qui pénètrent à une profondeur de 60 à 80 cm. Toute la surface est sous-solée en lignes continues dans une direction, et parfois dans deux directions croisées. Le sous-solage ameublir le sol suffisamment pour que toutes les eaux de pluie soient absorbées. Les arbres sont ensuite plantés à écartement d'au moins 3 m x 3 m ou 4 m x 4 m. Dans certains cas on peut se dispenser totalement du sous-solage, et il suffit de travailler le sol avec des outils agricoles pour briser la surface et détruire la végétation existante. La plupart des grandes plantations d'eucalyptus dans la région de la Mamora au Maroc ont été réalisées de cette manière.

Plus généralement, le sous-solage s'accompagne de la construction de remblais ou bourrelets de 0,50 à 1,00 mètre de haut et de 2 à 3 mètres de largeur à la base. Ces ouvrages sont réalisés par des tracteurs lourds (150 à 230 CV) équipés de lames de bulldozer ou angledozer. Les plus petits, de 0,50 mètre de haut, sont exécutés par un passage d'angledozer suivant la courbe de niveau, suivi d'un deuxième passage de retour en inversant l'angle d'attaque de la lame. Les remblais plus importants sont réalisés en poussant la terre de l'amont au moyen d'un bulldozer par allers et retours successifs. Les bandes de terrain entre les remblais peuvent ensuite être sous-solées si nécessaire. Sur les pentes faibles, les remblais sont souvent faits en lignes interrompues disposées en chicane, ce qui oblige les eaux de ruissellement à s'écouler en zigzag dans les intervalles des remblais, et améliore leur infiltration dans le sol par l'étalement qui en résulte.

Bien que dans certaines régions, comme à Cuba (Masson, 1973), le sous-solage soit pratiqué sur des pentes allant jusqu'à 40%, il se limite en général à des pentes de moins de 25%. Pour des pentes plus fortes la méthode utilisée est celle des banquettes étroites ouvertes au moyen d'un angledozer - telles que les banquettes cypristes décrites page 88. On peut faire un passage de sous-soleuse sur le replat de la banquette une fois que l'angledozer a terminé le travail de terrassement.

Les arbres sont normalement plantés sur la pente du talus à une hauteur correspondant au niveau originel du sol. La masse de sol meuble qui constitue le talus favorise la pénétration des racines, et l'expérience montre que les arbres plantés sur les talus poussent beaucoup mieux que ceux plantés sur un terrain qui a été seulement sous-solé.

Dans les régions soumises à de forts vents desséchants une méthode qui s'est avérée efficace consiste à creuser à la charrue de profonds sillons (en Algérie on utilise de préférence la charrue à versoir monosoc), et à planter les arbres dans le fond du sillon, ce qui leur assure une bonne protection contre le vent pendant la ou les deux premières années. Une combinaison de bourrelets et de sillons profonds assure une protection encore meilleure contre le vent.

Il faut souligner la nécessité d'éliminer toute végétation de la surface à planter, et de la maintenir libre de mauvaises herbes pendant les 2 ou 3 années qui suivent la plantation, jusqu'à ce que les arbres soient bien installés. La végétation xérophyte a généralement un enracinement profond, et rejette avec vigueur et ténacité. Il est par conséquent indispensable de l'extirper aussi profondément que possible au moyen d'un pulvérisateur à disques, ou par piochage manuel lorsque cette végétation renferme une forte proportion d'espèces ligneuses. L'extirpation manuelle est un travail pénible et coûteux; le défrichage mécanique est plus facile, et l'on dispose pour l'effectuer de sous-soleuses spécialement adaptées, équipées d'une lame coupante horizontale ou rasette joignant les pointes des dents sous-soleuses. Lorsque le tracteur avance, cette lame passe horizontalement dans le sol et sectionne les racines, retournant les souches derrière la sous-soleuse. L'extirpateur de racines ("root plough") monté sur tracteur à chenilles a un rôle similaire, mais sa fonction essentielle est de couper le système racinaire.

Au Maroc oriental la préparation du sol consiste principalement en un sous-solage, effectué par un tracteur de forte puissance (230 CV) tirant un rooter de 7 à 10 tonnes capable de briser un encroûtement ou une croûte compacte jusqu'à 70 ou 80 cm de profondeur. On ne fait généralement pas de levées de terre, à l'exception des surfaces limitées de sols profonds sans croûte où l'on utilise une forte charrue avec laquelle on peut ouvrir des sillons de 50 cm de profondeur et façonner des billons en courbes de niveau sur lesquels les arbres seront plantés. Sur la plus grande partie de la surface, les grandes dalles de croûte calcaire retournées par les rooters rendent tout travail mécanique superficiel impossible. Les arbres sont plantés dans des cuvettes exécutées manuellement à l'intersection des raies de sous-solage. On soigne particulièrement le désherbage des plantations pendant les deux premières années; on utilise soit des tracteurs à roues et herses à disques si le terrain le permet, soit le travail manuel. Ces méthodes de reboisement ont permis à des plantations de Pinus halepensis de survivre à une année de sécheresse extrême, au cours de laquelle on n'a pas enregistré plus de 64 mm de pluies.

TERRAINS IRRIGABLES

Considérations générales

Les reboisements irrigués se situent généralement dans des zones arides où la pluviométrie annuelle dépasse rarement 200 mm, et dans des zones semi-arides à saison des pluies courte; dans les deux cas, on a de longues périodes de déficit en eau dans le sol. La végétation forestière y est soit absente soit réduite à des espèces xérophytes à enracinement pivotant très profond, et possédant des mécanismes très développés de contrôle de la transpiration. Ces zones ont une productivité très basse, et sont généralement d'un faible intérêt économique.

Certaines zones désertiques ou subdésertiques se sont pourtant avérées aptes à une production forestière rentable grâce à l'irrigation, et l'on trouve des reboisements irrigués remarquables en particulier dans le désert du Sind au Pakistan, en Irak, en Égypte et dans le Centre Soudan.

En dehors de ces régions désertiques et subdésertiques, l'irrigation a également été appliquée à la populiculture, et à une échelle moindre à la saliciculture, dans des régions caractérisées par des pluies hivernales ou saisonnières relativement élevées alternant avec un été à sécheresse marquée, telles que les zones d'altitude de la région méditerranéenne, ou les pays à climat continental. Sous ces climats le régime hydrique du sol n'est normalement pas un facteur limitant pour la croissance des arbres, à l'exception d'essences à croissance rapide telles que les peupliers qui demandent un sol humide pendant toute l'année.

La culture irriguée d'essences forestières s'est développée à partir des plantations d'alignement et d'ornement dans les zones agricoles, et la plupart des méthodes d'irrigation employées pour les reboisements dérivent de celles usitées localement pour les cultures agricoles. La recherche forestière s'est toutefois interrogée au cours de ces dernières années sur l'opportunité de suivre aussi étroitement les pratiques d'irrigation agricole. Certaines des questions qui se posent à ce propos sont les suivantes:

- 1) La consommation annuelle d'eau optimale (c'est-à-dire les besoins en eau de la culture) pour chaque essence, autrement dit la quantité et la périodicité des arrosages nécessaires. Les besoins en eau varient en fonction du climat, de l'essence, et pour une même essence de la provenance;
- 2) Les meilleurs modes d'application des irrigations, en considération de facteurs tels que les pertes dans les canaux, l'infiltration profonde, de même que les sarclages et les éclaircies prévus, et l'exploitation du peuplement;
- 3) La réponse à l'irrigation des essences indigènes et exotiques.

Plantation forestières dans les périmètres agricoles irrigués

En raison de leur coût initial élevé, les plantations forestières irriguées ne se justifient que dans certaines régions où sévit une sérieuse pénurie de bois, ou dans les cas où l'on doit prendre en considération la prévention de l'érosion ou la lutte contre la désertification. Le plus souvent les reboisements irrigués ne seront considérés que comme une production accessoire dans un projet existant, auquel cas le coût supplémentaire se rapportant à la production ligneuse en irrigation peut être maintenu dans des limites acceptables. En revanche, lorsqu'on établit des plantations forestières dans un périmètre irrigué agricole, le réseau d'irrigation a généralement été étudié en fonction du rythme des cultures agricoles, qui peut ne pas être l'idéal pour les arbres forestiers, mais le forestier doit y adapter ses méthodes. Beaucoup de systèmes d'irrigation agricole, par ailleurs, se fondent sur une certaine intensité de culture alors que les besoins en eau des plantations forestières peuvent être relativement constants tout au long de l'année; aussi est-il préférable de situer ces plantations sur des terrains proches des canaux principaux qui restent en eau toute l'année.

L'eau d'irrigation est parfois coupée pendant de longues périodes de l'année en fonction du régime saisonnier des cours d'eau d'où elle est captée, de la capacité de réserve des barrages, ou des droits d'eau pour les cultures situées en aval. Au Pakistan certains périmètres d'irrigation de la plaine de l'Indus n'ont d'eau que pendant 6 mois de l'année; le reste de l'année les cultures sont tributaires de l'humidité résiduelle du sol. Au Soudan les accords soudano-égyptiens limitent les prélèvements d'eau dans le Nil à certaines époques de l'année, et dans le périmètre de la Gezira et autres périmètres irrigués par les eaux du Nil, on ne dispose d'aucune eau d'irrigation pendant 3 mois $\frac{1}{2}$ (de la mi-mars à fin juin) à la saison la plus chaude de l'année, ce qui fait que l'on ne peut utiliser que des essences susceptibles de s'accommoder de cette période de sécheresse.

La plupart des projets d'irrigation anciens étaient conçus uniquement dans une optique agricole, sans considération de plantations forestières. Aussi celles-ci ont-elles souvent été reléguées dans des terrains impropres à l'agriculture, ou situés en queue des

canaux d'irrigation. L'eau n'y est souvent disponible qu'irrégulièrement, parfois en excès -ce qui se traduit par un engorgement du sol- et à d'autres moments en quantités insuffisantes, lorsqu'on donne la priorité aux besoins en eau des cultures agricoles.

Dans certains projets d'irrigation plus récents on a reconnu la nécessité de plantations d'agrément, et de production de bois d'oeuvre et surtout de bois de chauffage pour les habitants des périmètres.

Projets de reboisements irrigués

Bien que la plupart des plantations forestières irriguées soient réalisées dans le cadre de projets d'irrigation agricole existants, il arrive que l'on crée un système d'irrigation uniquement pour irriguer des reboisements. Dans le Nord de l'Irak, par exemple, un certain nombre de reboisements ont été réalisés dans les terrains broussailleux désignés sous le nom d'"Ahrash", qui forment de larges bandes le long des rives du Tigre et de ses affluents; ces reboisements sont irrigués par pompage dans les rivières. Des reboisements similaires existent au Soudan dans les terres de "Gerf" qui bordent le Nil sur certaines parties de son cours.

Dans ce genre de projets le forestier est responsable du tracé, de la construction et du fonctionnement de tout le réseau d'irrigation; si cela lui impose des tâches qui sortent de ses compétences techniques normales, en revanche il a le grand avantage de pouvoir, en faisant appel généralement à l'assistance de spécialistes, étudier un système d'irrigation qui réponde aux besoins particuliers des plantations forestières.

Influence des caractéristiques pédologiques

Le choix de la méthode d'irrigation, ainsi que les volumes d'eau à apporter et la fréquence des arrosages, sont déterminés par deux caractéristiques du sol qui sont: la vitesse avec laquelle l'eau pénètre dans le sol (taux d'infiltration), et l'aptitude du sol à conserver l'eau pour les cultures (capacité de rétention en eau). Les sols sableux ou graveleux sont les plus perméables, mais ils ont une capacité de rétention bien inférieure à celle des sols de texture moyenne ou fine.

La présence d'une nappe phréatique peut aussi représenter une réserve d'eau souterraine pour le peuplement forestier, et une fois que les racines l'ont atteinte les arbres peuvent croître sans irrigation ou avec une irrigation beaucoup plus faible, à la condition qu'il n'y ait pas de problèmes de salure ou autres. C'est ainsi que dans le cas de la Ceinture Verte de Khartoum, plantée sur des sols d'argile lourde, l'infiltration à travers les horizons superficiels se trouve réduite au point qu'il s'interpose entre la nappe et le sol humide en surface un horizon sec qui empêche les racines des arbres d'atteindre le niveau phréatique.

Il y a toujours présence de sels dans le sol et dans l'eau d'irrigation. Si on laisse ces sels s'accumuler dans les horizons supérieurs du sol ils peuvent nuire à la croissance des cultures. Lors de l'irrigation, il faut apporter un excédent d'eau pour assurer le lessivage des sels jusqu'en-dessous de la zone occupée par les racines. Le danger de la salure est également sérieux lorsque le drainage se fait mal. Lorsqu'on a affaire à des sols salins, il peut être nécessaire de ne planter que des essences connues pour leur tolérance au sel; il peut également être nécessaire de compléter le réseau d'irrigation par un système de drains propres à évacuer les sels dissous dans l'eau d'irrigation. Il est recommandé de procéder avant la plantation à un lessivage du sol. Dans certains cas, on peut semer pendant la période de lessivage une culture agricole telle que l'orge, ce qui permet d'amortir en partie les frais de l'opération.

Ce qui précède souligne la nécessité absolue d'une étude pédologique complète préalablement à l'étude du réseau d'irrigation et au choix des essences de reboisement.

Méthodes d'irrigation

De tous les systèmes d'irrigation, l'irrigation de surface est le moins coûteux et le mieux adapté aux plantations forestières. Elle se fait par diverses méthodes: irrigation par submersion, par rigoles d'infiltration ou "à la raie", en planches ou "par calants", les deux premières étant les plus couramment employées pour les plantations forestières. Dans l'irrigation par submersion, l'eau s'étale uniformément sur toute la surface dans l'irrigation à la raie l'eau imbibe le sol par infiltration latérale.

Irrigation par submersion et irrigation par calants

L'irrigation par submersion convient surtout pour des terrains en pente douce et à surface plus ou moins plane. Elle consiste en une série de bassins de 20 à 30 mètres de côté, délimités par des diguettes en terre, que l'on emplit l'un après l'autre avec une hauteur d'eau de 10 à 20 cm, selon la capacité de rétention en eau du sol.

Le système d'irrigation par calants se rapproche de la méthode par submersion mais s'applique à des terrains en pente unie. On divise la surface en parcelles rectangulaires de 15 à 30 mètres de large sur 100 à 150 mètres de longueur, orientées suivant la ligne de plus grande pente, et séparées entre elles par des levées de terre de 20 cm de haut. L'eau est amenée par des fossés à la partie supérieure de chaque parcelle, et s'écoule sur toute la surface jusqu'au fossé de décharge situé en bas.

Une autre variante de l'irrigation par submersion, très souvent employée pour les cultures de peupliers dans les vallées de montagne, consiste à niveler le terrain en une série de terrasses suivant les courbes de niveau, entourées de diguettes qui délimitent autant de bassins. L'eau arrive par en haut, et irrigue successivement chaque terrasse en s'écoulant par des déversoirs aménagés dans les diguettes.

Irrigation par rigoles d'infiltration

Dans ce système on creuse des rigoles partant du canal d'aménée en lignes parallèles espacées de façon à permettre à l'eau d'imbiber la zone occupée par les racines des arbres. L'espacement et la section des rigoles dépendent par conséquent de la perméabilité du sol.



Les peupliers répondent bien à l'irrigation. La plantation photographiée ici dans la plaine du Rharb au Maroc est âgée de 4 ans. (Photo FAO)

En règle générale plus le sol est lourd, plus la section et l'écartement des rigoles augmente, et inversement pour les sols plus perméables. Dans les sols argileux lourds de la Ceinture Verte de Khartoum, les rigoles sont normalement espacées de 2,50 mètres, mais des observations récentes ont montré qu'on pouvait obtenir une bonne humidification de la zone radiculaire avec des rigoles espacées de 6 mètres.

Ce système est appliqué d'une manière particulière dans les parties de périmètres d'irrigation dont le niveau est trop élevé pour pouvoir les irriguer par gravité. A la condition que le terrain ne soit pas à plus d'un mètre au-dessus du niveau de l'eau, on creuse des fossés larges et profonds, et on plante les arbres sur les berges de ces fossés. Cette méthode est usitée en Irak, en particulier pour les plantations de grenadiers et autres arbres fruitiers, et également d'Eucalyptus et Casuarina. Le creusement manuel de ces fossés profonds est toutefois coûteux. Un autre inconvénient sérieux de cette méthode pour les plantations forestières réside dans l'obstacle que les fossés opposent au passage des tracteurs, par exemple lors du saclage des interbandes. Ce mode d'irrigation souterraine peut aussi causer de sérieux problèmes d'engorgement et de salure.

Irrigation au goutte à goutte

L'irrigation au goutte à goutte est une méthode d'irrigation moderne, complexe et précise qui a été étudiée pour les cultures agricoles et horticoles, mais qui a été récemment adaptée aux plantations forestières dans des régions où l'on dispose de ressources financières suffisantes pour faire face au coût élevé de cette technique. Les principaux avantages en sont la réduction des pertes d'eau, une bonne réponse des arbres, une valorisation optimale des engrais et un moindre envahissement par les mauvaises herbes. Dans des essais effectués au Pakistan, l'irrigation au goutte à goutte a consommé seulement 22% du volume d'eau nécessaire pour l'irrigation à la raie, 15% du volume nécessaire avec la submersion. Les principales limitations résident dans le coût élevé en comparaison de l'irrigation à la raie, dans le haut niveau technique requis pour l'étude, l'installation et le fonctionnement, dans les problèmes de répartition de l'humidité dus notamment à la propension du matériel à s'obstruer, et enfin dans les dangers de salure (FAO, 1973).

L'irrigation au goutte à goutte est un système d'arrosage qui permet de distribuer l'eau par points sans la pulvériser et sans détremper le sol. La densité des points d'arrosage peut être réglée de façon à humidifier convenablement le sol en profondeur aux endroits voulus, tandis que la plus grande partie de la surface reste sèche. L'eau est distribuée par des tuyaux plastiques, de polyéthylène ou autre, munis de buses appelées "goutteurs" ou "tricklers" qui fournissent un débit "goutte à goutte" à basse pression, normalement entre 1 et 2 atmosphères. La tuyauterie est souvent enterrée de façon à amener l'eau à la profondeur voulue au niveau de racines, mais dans certains cas elle peut être placée en surface, ce qui permet de l'enlever facilement si nécessaire. L'obstruction des orifices distributeurs est souvent un problème, que l'on a cherché à résoudre de diverses manières par l'emploi de types appropriés de buses.

Besoins en eau des plantations forestières

Par besoins en eau on entend l'épaisseur de la lame d'eau nécessaire pour reconstituer la réserve d'eau disponible dans la zone radiculaire et compenser l'évapotranspiration. La quantité d'eau nécessaire pour permettre la croissance optimum d'une plantation forestière varie généralement selon la saison; elle augmente d'année en année tant que le couvert ne s'est pas fermé. Si la nappe est près de la surface, les besoins diminuent à partir de l'époque où les racines l'ont atteinte. De même que les cultures agricoles, les différentes essences forestières ont des besoins en eau différents, qui dépendent pour une large part de leur mécanisme de régulation de la transpiration.

Les besoins en eau des cultures; qu'il s'agisse de plantes agricoles ou d'arbres, peuvent être calculés au moyen de la formule ci-dessous:

$$ET \text{ cult.} = Kc. ETo$$

où ET cult. représente les besoins en eau de la culture, en mm, pendant une période déterminée (c'est-à-dire l'équivalent de l'évapotranspiration quand les disponibilités d'eau dans le sol ne la limitent pas; ET. est l'évapotranspiration de la culture de référence en mm pour la même période et Kc est le coefficient de culture. Pour une description plus complète de la méthode voir FAO 1977a.)

L'évapotranspiration de la culture de référence (ETo) définit le taux d'évaporation d'une surface étendue de gazon vert, ayant une hauteur uniforme de 8 à 15 cm, poussant activement et ne manquant pas d'eau. Des formules empiriques ont été établies pour calculer ETo. Les méthodes courantes sont (i) la méthode Blaney-Criddle, utilisée quand on dispose de données seulement sur la température; (ii) la méthode du rayonnement, utilisée quand les données climatologiques comprennent les mesures de la température de l'air et de l'insolation, de la nébulosité ou du rayonnement; (iii) la méthode Penman utilisée quand on dispose de mesures de la température, de l'humidité, du vent, et de l'insolation ou du rayonnement.

Coefficient de culture (Kc). Les besoins en eau des cultures dépendent de plusieurs facteurs notamment des caractéristiques de la culture, du stade de croissance, et des conditions météorologiques. On a établi des valeurs de Kc pour des cultures maraîchères et fruitières. Si l'on prend comme indication les valeurs de Kc pour les arbres fruitiers, on obtient comme estimation du coefficient des arbres à faible transpiration environ 0,5; pour les arbres à transpiration forte, le coefficient serait de l'ordre de 0,9 ou plus. Par exemple, en climat subtropical avec des pluies d'hiver, ETo est de l'ordre de 1 000 à 1 300 mm/an et le coefficient de culture pour les arbres fruitiers à faible transpiration tels que les agrumes atteint en juin-juillet un maximum d'environ 0,7; ET cult. serait alors de l'ordre de 700 à 900 mm/an. Les oliviers, bien connus pour leur très faible transpiration, auraient un coefficient de culture estimé à 0,4 - 0,5 et ET cult. se situerait donc entre 400 et 440 mm/an. Les essences à forte transpiration peuvent avoir des Kc considérablement plus élevés. Les besoins en eau pour une croissance optimale des cultures forestières n'ont pas été suffisamment étudiés.

Besoins d'irrigation des peuplements forestiers

Le principal but de l'irrigation est de prévenir tout ralentissement de la croissance des arbres dû au manque d'eau. Les besoins nets en eau d'irrigation d'un peuplement peuvent être calculés au moyen de la formule suivante:

$$B = ET \text{ cult} - (Pu + Es + Res)$$

(pertes) (gains)

ou

$$B = \text{Besoins nets d'irrigation (mm/période considérée)}$$
$$ET \text{ cult} = \text{Besoins en eau du peuplement (mm/période considérée)}$$
$$Pu = \text{Précipitations utiles} \quad " \quad "$$
$$Es = \text{Apport d'eau souterraine} \quad " \quad "$$
$$Res = \text{Eau en réserve dans le sol au début de chaque période considérée}$$

Précipitations utiles (Pu). Les précipitations ne sont pas toutes utilisées, car une partie de l'eau se perd par ruissellement superficiel, par percolation profonde et par évaporation directe. La partie de l'eau qui pénètre dans le sol et qui est effectivement accessible aux racines est définie comme "précipitations utiles". La quantité d'eau ainsi utilisable dépend de l'intensité, du volume et de la fréquence des précipitations.

Apport d'eau souterraine (Es). La nappe phréatique peut contribuer à l'alimentation hydrique des arbres quand elle est accessible aux racines. Il est donc utile de déterminer la profondeur de la nappe eu égard à la profondeur prévue d'enracinement des arbres. La profondeur de la nappe varie souvent selon la saison, d'où la nécessité de la mesurer pour chaque saisons. Quand elle est proche de la surface, par exemple dans les vallées, les arbres adultes n'ont généralement pas besoin d'irrigation; dans ces cas, il est nécessaire d'irriguer les plantations seulement pour assurer l'installation du jeune peuplement et on peut arrêter quand les racines ont atteint la nappe.

Réserve d'eau dans le sol (Res). La capacité de rétention du sol est la quantité d'eau disponible; elle est comprise entre la capacité au champ (tension de l'eau du sol 0,2 atm.) et le point de flétrissement (15 atm.). La quantité qui peut être retenue dans le sol dépend de la texture de celui-ci; les sols lourds emmagasinent environ 200 mm/m, les sols de texture moyenne environ 140 mm/m et les sols légers quelque 60 mm/m ou moins. On notera qu'en appliquant la formule ci-dessus on aura théoriquement $Res = 0$ pour toutes les périodes d'irrigation successives à la première.

En irrigation, le taux d'absorption de l'eau du sol par les arbres et la capacité de rétention du sol jouent un rôle très important pour déterminer la profondeur et la fréquence des arrosages. Les sols lourds peuvent être irrigués abondamment à des intervalles prolongés tandis que les sols légers ont besoin d'arrosages plus faibles, mais plus fréquents.

Relativement peu de recherches ont été consacrées aux besoins nets d'irrigation des plantations forestières. Au Pakistan, les expériences indiquent que la quantité optimale d'eau pour Dalbergia sissoo (la plus importante essence de plantation) est comprise entre 900 et 1 350 mm; les arrosages doivent se faire tous les 14 jours pendant la période d'irrigation, qui dure six mois. Le manque d'eau d'irrigation pendant les six autres mois secs d'hiver limite le choix des essences : seules celles qui ont une période prolongée de repos végétatif peuvent être plantées.

Au Soudan des études sur les besoins nets d'irrigation dans les plantations d'Eucalyptus microtheca dans les sols noirs à coton de la Gézira indiquent que l'on obtient de bons résultats avec 2 400 mm par an, appliqués en 13 fois. Les arrosages se font une semaine sur deux en juillet et décembre, quand on dispose d'eau à volonté, et toutes les six semaines entre janvier et mars, quand il y a peu d'eau. De la mi-mars à juin, il n'y a pas d'eau pour l'irrigation aux termes de l'accord Soudan-Egypte. Les précipitations, de 230 à 450 mm par an, tombent essentiellement pendant les mois d'été, entre juillet et septembre. D'après des recherches dans la Ceinture Verte de Khartoum, on obtient une croissance optimale en appliquant 750 mm/ha/an d'eau d'irrigation, bien que les précipitations annuelles moyennes n'atteignent pas 200 mm. Une irrigation plus abondante provoque un engorgement des argiles alcalines lourdes de cette région et ralentit la croissance.

En Turquie, les chercheurs de l'Institut national du peuplier ont calculé les besoins en eau des plantations de peupliers dans un grand nombre de stations situées dans les différentes régions climatiques du pays; ces calculs tiennent compte des précipitations, des températures normales à l'ombre, de l'humidité, du coefficient de Gaussen et du rayonnement global calculé. Il faut normalement irriguer entre mai et septembre, en accroissant les doses jusqu'en juillet et août (mois les plus chauds et les plus secs), puis en les diminuant. C'est dans la région de Diyarbakir, dans le sud-est de la Turquie, que les besoins d'eau sont le plus élevés (1 000 à 1 100 mm pour la saison d'irrigation de six mois). A Rize (dans la région côtière de la Mer Noire dans le nord-est), aucune irrigation n'est nécessaire, car les précipitations sont bien réparties dans l'année et atteignent une moyenne annuelle de 2 440 mm, soit plus que l'évapotranspiration maximum calculée. Pour la plupart des plantations de peupliers de Turquie, les besoins nets en eau sont compris entre 500 et 700 mm.

Les chiffres ci-dessus se réfèrent aux besoins nets d'irrigation. Pour les besoins bruts, il faut ajouter la quantité nécessaire pour le lessivage (quantité d'eau supplémentaire qui doit s'écouler en-dessous de la zone racinaire pour éviter un accroissement de la salinité); il faut aussi tenir compte de l'efficacité du système de distribution.

Réponse à des disponibilités hydriques limitées

On connaît très mal les réponses comparatives des différentes essences forestières à des disponibilités limitées d'eau du sol. La plupart des études portent sur le niveau optimum d'irrigation pour produire une croissance optimale. Dans de nombreuses zones sèches, il peut être nécessaire de limiter en certaines saisons, les disponibilités d'eau à un niveau inférieur à l'optimum. Il faut de nouvelles recherches sur la réponse des différentes essences à l'épuisement de l'eau du sol, exprimée en réduction des taux de transpiration et de la croissance.

Tracé des plantations forestières irriguées

Comme nous l'avons déjà noté, le reboisement dans les périmètres irrigués est généralement accessoire par rapport à l'agriculture, et il est rare que l'on ait à établir un système d'irrigation uniquement pour des plantations forestières. L'étude et le tracé d'un réseau d'irrigation représentent une tâche hautement technique, qui exige beaucoup de soin et de précision, et pour laquelle il convient de faire appel à des spécialistes compétents.

Certains des facteurs influant sur le tracé et sur l'étendue des plantations irriguées sont esquissés ci-dessous:

- 1) Superficie brute dominée par le canal principal. Elle se compose de a) la superficie brute irrigable, où l'irrigation peut être introduite et b) la superficie non irrigable, c'est-à-dire tous les terrains impropres à l'irrigation. La superficie brute irrigable se divise en superficie nette irrigable, et superficie requise pour les routes, canaux et bâtiments.
- 2) Disponibilités en eau, et leur variation saisonnière, par rapport aux besoins en eau estimés de l'essence choisie.
- 3) Qualité de l'eau d'irrigation, notamment en ce qui concerne les teneurs en sels et autres éléments toxiques.
- 4) Topographie. Les sites les plus convenables sont les terrains plats ou en pente douce. Une pente trop forte, ou un terrain présentant des ondulations et de nombreuses irrégularités de surface accroissent la complexité du système de distribution d'eau et le coût des travaux de nivellement. Un levé topographique détaillé, avec courbes de niveau équidistantes de 1 mètre, est un préalable indispensable à l'étude d'ensemble du périmètre.
- 5) Les sols, en particulier en ce qui concerne leur perméabilité et leurs propriétés chimiques, et les eaux souterraines.

Le plan général du périmètre doit indiquer sur le fond topographique: 1) le tracé du canal principal de son point de départ, ou de la prise d'eau, jusqu'au point le plus haut dominant les terres à irriguer; 2) la direction des canaux primaires à l'intérieur de la surface dominée; 3) l'emplacement et l'étendue des enclaves de terrains impropres à l'irrigation ou au reboisement. Une carte pédologique détaillée doit être établie sur le fond topographique. Enfin, le tracé des futures parcelles de reboisement et des compartiments d'irrigation sera déterminé de telle manière que la capacité de débit des canaux secondaires desservant chaque compartiment d'irrigation puisse être proportionnée aux superficies irriguées, à la périodicité des irrigations et aux besoins en eau des essences utilisées.

Préparation du terrain et construction du réseau de canaux

Après défrichage de la végétation existante, toute la surface doit être sommairement nivelée. Le nivellement a pour but d'obtenir une bonne répartition de l'arrosage par un écoulement uniforme de l'eau à la surface du sol. Toutefois, comme les plantations forestières justifient rarement le coût supplémentaire d'un nivellement complet, il est recommandé de choisir des terrains ayant une pente aussi uniforme que possible, et de limiter le nivellement à un travail simple d'aplanissement des irrégularités les plus importantes.

L'opération suivante consiste à jalonner et construire les canaux de distribution principaux et le réseau routier. Les bulldozers et niveleuses, si on en dispose, conviennent pour le nivellement et la construction des remblais. Les canaux peuvent être ouverts à la charrue fossoyeuse à double versoir, ou avec une excavatrice, selon la dimension requise. Enfin, on construira le réseau des canaux de distribution alimentant chaque parcelle.

Avant de planter, il est indispensable de procéder à des essais d'irrigation afin de déceler toutes les imperfections et points bas dans le réseau de canaux, et également les parties de parcelles qui requièrent un nivellement plus poussé.

Capacité de débit des canaux d'irrigation

Le débit de l'eau dans un canal est fonction de sa section, de sa pente, et de la rugosité du fond et des parois. On l'exprime en mètres-cubes par seconde (m^3/s). Il existe divers types d'appareils qui permettent de mesurer le débit d'un canal, mais à défaut de ceux-ci une méthode approchée consiste à multiplier la section du canal correspondant au "périmètre mouillé" par la vitesse d'écoulement (obtenue en chronométrant le déplacement d'un bouchon sur une longueur mesurée de canal). On obtient ainsi le volume d'eau passant en un point donné en une seconde. Ce chiffre brut doit être affecté d'un coefficient de réduction qui représente la résistance à l'écoulement exercée par la rugosité des parois du canal. Ce coefficient dépend de l'état des parois et des dimensions et de la pente du canal. On peut indiquer comme chiffres approximatifs, pour un canal de pente 1 pour 5 000:

Canaux bétonnés	0,80
Canaux en terre propres	0,70
Canaux à parois enherbées	0,60
Canaux obstrués par une végétation assez dense	0,50

Dans le cas de canaux non bétonnés, le coefficient de réduction tient compte des pertes par infiltration.

Déversoirs, régulateurs de débit et siphons

Tous les canaux de distribution doivent être munis de déversoirs ou régulateurs de débit à tous les points de départ des canaux tertiaires. Ils doivent être de préférence en béton ou en maçonnerie, mais on les fait quelquefois en bois. Le système le plus simple consiste en une vanne coulissante qui peut être levée ou abaissée pour contrôler le volume d'eau entrant dans le canal tertiaire.

On utilise des siphons en béton à tous les passages de routes où le canal se trouve au même niveau ou plus haut que la chaussée.

Irrigation par pompage

Il arrive que le terrain destiné aux plantations irriguées se trouve plus haut que le niveau d'alimentation en eau. Il faut alors élever l'eau par pompage jusqu'au niveau du canal principal.

L'irrigation par pompage nécessite en général de gros débits avec une faible hauteur de refoulement. Les pompes les mieux adaptées pour cet usage sont les pompes hélice ou pompes hélico-centrifuges qui peuvent débiter de 1 à 10 m^3/sec ou plus à une hauteur de 3 à 10 mètres, ou davantage si on utilise plusieurs étages. On doit employer plusieurs pompes, de préférence de même modèle, pour obtenir le débit total requis pour la superficie à irriguer; si elles travaillent 24 heures sur 24, il faut prévoir une pompe de secours en cas de panne. Ces pompes ont en général un très bon rendement; elles ont un régime lent qui leur permet de fournir un travail prolongé sans avarie. L'usure est faible, et la durée de vie peut aller jusqu'à 20 ans. Les pompes à turbine sont de grande dimension, et les stations de pompage dans lesquelles elles sont installées doivent être spécialement construites pour les recevoir. A la partie supérieure se trouvent les moteurs, fixés sur un plancher très solide pour supporter leur poids élevé. En dessous se trouve un niveau intermédiaire composé de diverses buses verticales par où l'eau monte pour sortir de la station. A la partie inférieure sont installées les pompes. Les prises d'eau doivent être situées suffisamment en dessous du niveau d'eau minimum pour éviter la formation des tourbillons, et des effets de

cavitation sur les pales. Des grilles d'entrée d'eau doivent être installées en amont de la station de pompage pour arrêter toutes les matières flottantes de grande dimension qui pourraient endommager les pompes. Il faut également des vannes permettant d'isoler chaque pompe en vue d'entretien ou de réparation.

On peut employer des pompes beaucoup plus petites pour irriguer des surfaces très réduites. Elles peuvent être du type vertical ou horizontal, mais dans ce dernier cas le tuyau de prise doit être aussi court et aussi près de l'eau que possible. Un clapet de retenue installé à la base permettra de remédier aux problèmes de succion.

Réseau routier

Le réseau routier doit être étudié et réalisé en même temps que le réseau d'irrigation, de façon à réduire au minimum le nombre de ponts, ponceaux et siphons. Tous les canaux principaux et canaux de distribution doivent être pourvus de routes permettant d'y accéder pour l'entretien; il faut éviter d'y planter des arbres d'alignement qui pourraient plus tard gêner le passage des machines d'entretien des canaux, précaution qui est souvent perdue de vue.

Coût d'installation des plantations irriguées

L'établissement d'un périmètre d'irrigation est toujours très coûteux. En prix 1966, une simple irrigation de surface nécessite un investissement initial d'au moins \$E.U. 1 500 par hectare. Le poste de dépense le plus important est le coût de construction du réseau de canaux et de routes, surtout si tout le coût du réseau d'irrigation est inclus dans le budget du reboisement. Dans les périmètres d'irrigation agricole existants, le coût de construction du canal principal et du réseau de distribution est supporté en totalité par l'autorité responsable de l'irrigation, qui peut faire payer ou non l'eau fournie au service forestier. Dans le désert de l'Indus au Pakistan, les plantations forestières paient une redevance par hectare pour l'eau d'irrigation; par contre au Soudan l'eau d'irrigation pour les plantations de la Gezira et de la Ceinture Verte est fournie gratuitement au service forestier, qui n'a par conséquent à prendre en charge que l'installation du réseau de canaux secondaires à l'intérieur de la plantation.

REBOISEMENT DES DUNES

Considérations générales

Il existe à travers le monde de vastes zones de dunes de sable mobile dans toutes les régions où soufflent régulièrement des vents forts et où se rencontrent des sols friables en surface. Certaines ont pour origine un littoral bordé de larges plages de sable; lorsqu'il souffle des vents forts ceux-ci emportent le sable vers l'intérieur des terres, où il forme ce que l'on appelle des dunes maritimes, par opposition aux dunes continentales, qui n'ont aucun rapport avec la mer et qui résultent généralement de la destruction de la végétation spontanée par les cultures ou le surpâturage. On trouve des exemples remarquables de dunes continentales dans le "dust-bowl" du Centre des Etats-Unis et dans les steppes sableuses semi-arides des bassins inférieurs du Don et de la Volga en URSS.

Lorsqu'il y a érosion éolienne, les particules les plus grossières du sable ou du sol sont transportées au voisinage de la surface; environ 90% des matériaux se déplacent dans une tranche de 30 cm, et 57% dans une tranche de 5 cm au-dessus de la surface du sol. Ces particules avancent par à-coups et transmettent leur mouvement à d'autres particules, d'où il résulte une sorte de progression par bonds. Des dunes ou des buttes se forment lorsque le sable poussé par le vent rencontre des buissons, des arbres ou tout autre obstacle susceptible de créer des turbulences, qui réduisent la capacité de transport du vent tant au vent que sous le vent de l'obstacle; le sable se dépose alors en monticules, jusqu'à ce que l'obstacle soit complètement submergé par la dune. Les dunes progressent dans la direction du vent au fur et à mesure que le sable entraîné par le vent sur la face au vent franchit la crête et se redépose par turbulence du côté sous le vent. On a observé des vitesses de progression allant jusqu'à un mètre par mois lors de périodes de très forts vents.

Les sables mobiles peuvent présenter un danger lorsqu'ils envahissent des terres agricoles, obstruent les canaux et voies de communication, ou même engloutissent les habitations. Si par contre on réussit à les stabiliser, l'expérience montre qu'on peut souvent les reboiser avec succès, et que dans des conditions climatiques favorables ils peuvent être très productifs. Les forêts de pin maritime (Pinus pinaster) des Landes dans le Sud-Ouest de la France fournissent un bon exemple de mise en valeur d'une région autrefois improductive, couverte de dunes formées par les forts vents dominants qui soufflent de l'Atlantique dans le Golfe de Gascogne. On peut trouver de nombreux exemples de formations dunaires stabilisées avec succès, comme dans le Nord Jutland au Danemark, en Tunisie et en Tripolitaine, où la fixation et le reboisement de vastes zones de dunes maritimes et continentales constituent l'une des tâches principales des services forestiers.

Les sables dunaires, bien que généralement pauvres en éléments minéraux et souvent dépourvus de matière organique, ont en général une bonne capacité de rétention de l'humidité. Même dans des zones très arides, où la pluviométrie annuelle dépasse rarement 200 mm et est concentrée sur une courte saison des pluies, le sable reste humide à une profondeur de 50-60 cm alors que les horizons superficiels sont desséchés par l'évaporation. Une exception est constituée par les sables très perméables, dans lesquels l'eau s'infiltrerait rapidement, et qui dans des conditions climatiques extrêmes n'ont pas de réserves d'humidité suffisantes pour permettre l'installation des arbres. Le problème fondamental, en matière de reboisement de dunes, est de fixer le sable pendant un temps suffisant pour permettre aux jeunes arbres de s'installer. Une fois établie, la plantation est en mesure d'assurer sa propre protection, et d'enrichir peu à peu le sable par l'humus provenant de la décomposition des feuilles, à la condition évidemment que l'on empêche le sable venant de l'extérieur de submerger et ensevelir la jeune plantation. La stabilisation des sables dunaires comporte par conséquent l'établissement de barrières ou de brise-vent dans la zone de départ du sable, et ensuite des mesures empêchant sa mise en mouvement par les remous et turbulences dans la zone protégée par les brise-vent.

Il y a heureusement dans la plupart des régions de dunes des périodes de l'année où le sable n'est pas en mouvement, soit parce que les grands vents se calment soit parce que des pluies abondantes donnent une cohésion temporaire aux horizons superficiels. Ces périodes de repos peuvent durer assez longtemps pour favoriser la survie de la végétation spontanée, qui peut se propager rapidement une fois qu'on établit des brise-vent, ce qui contribue fortement au processus de stabilisation.

Dans des cas très favorables où l'on a des périodes bien définies de vents forts réguliers alternant avec des périodes relativement longues de pluies abondantes et de températures élevées, il peut même être possible de stabiliser les sables dunaires simplement en plantant des arbres d'essences bien adaptées et à croissance rapide pendant les périodes exemptes de vent. C'est le cas, par exemple des zones dunaires littorales du Sud Vietnam, où les dunes peuvent être stabilisées en plantant des rangées de Casuarina sans qu'il soit nécessaire de recourir à d'autres techniques particulières de fixation.

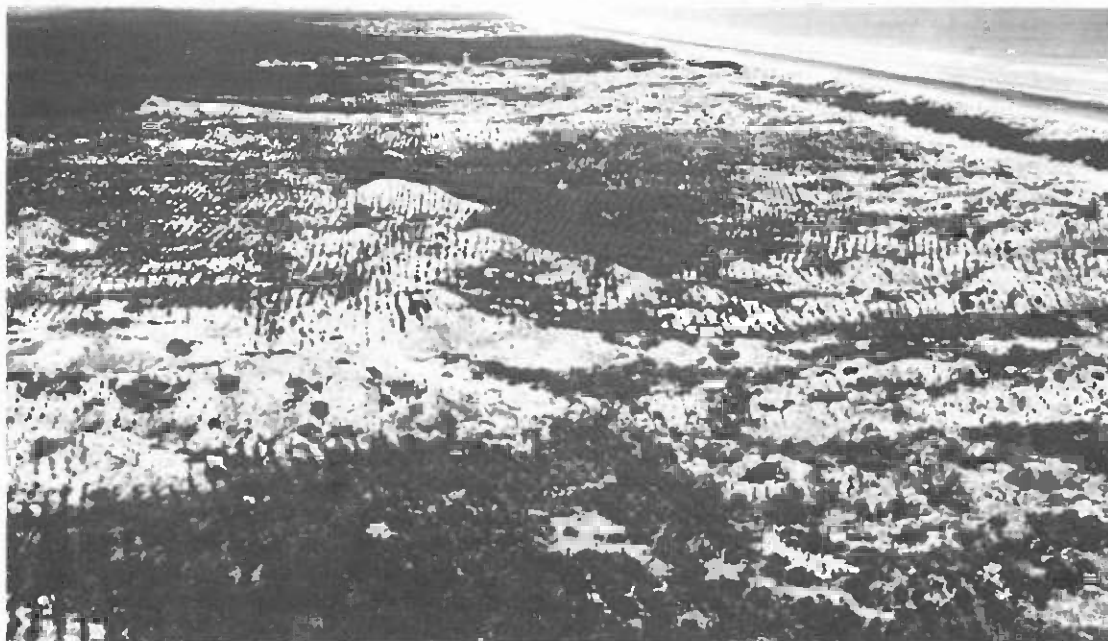
En règle générale, toutefois, le succès des plantations est conditionné par des mesures préalables destinées à empêcher ou réduire les mouvements des sables.

Méthodes de fixation des sables dunaires

Il s'agit tout d'abord d'identifier l'origine des matériaux dunaires et, si possible, de créer des obstacles pour empêcher ou contenir toute nouvelle invasion. Ces barrages de protection doivent normalement être répétés à certains intervalles sous le vent de la zone de départ du sable de façon à créer des zones abritées où la force du vent est brisée en remous turbulents qui n'ont qu'une action localisée à la surface du sol. La seconde étape consiste à protéger la surface du sol contre l'effet relativement localisé d'ablation et de dépôt des turbulences à l'intérieur des zones abritées. On peut réaliser cette protection par diverses méthodes qui agissent en fait comme un paillage de surface.

Barrières de protection primaires

Lorsque les sables ont pour origine des plages côtières, la pratique habituelle consiste à créer une dune le long du littoral. Pour cela on établit une haie continue mais perméable de piquets, fascines ou toute autre matière appropriée. Au fur et à mesure que le sable s'accumule et ensevelit la haie on en construit une autre semblable au sommet de la dune sous le vent de la crête, et lorsqu'elle est ensevelie sous le sable on en établit une troisième, et ainsi de suite. On peut édifier de cette manière en peu d'années une dune d'une dizaine de mètres de hauteur. Si nécessaire, on peut établir plusieurs lignes de dunes parallèles à la côte, les intervalles étant stabilisés par plantation de végétaux herbacés et de bandes d'arbres pour constituer une première ligne de défense contre l'envahissement des sables. Les essences utilisées dans la première zone de protection doivent pouvoir résister au vent et aux embruns salés qu'il charrie.



A Waitarere (Nouvelle Zélande) une bande boisée de Pinus radiata stabilise les dunes côtières et protège les terres agricoles avoisinantes. On a planté sur les dunes de l'Oyat (Ammophila arenaria) avant d'y introduire les arbres. (Photo Service Forestier Néo-Zélandais)

Dans le cas des dunes continentales, la zone d'origine des sables est souvent plus difficile à contrôler que dans le cas des dunes maritimes. Le sable peut être prélevé par le vent sur de grandes étendues de plaines cultivées, ou bien, comme en Afrique du Nord, de déserts sans pluies tels que le Sahara. La première mesure à prendre est donc logiquement de chercher à remédier aux facteurs qui exposent le sol à l'action du vent. On peut y parvenir par le maintien des chaumes sur pied dans les zones céréalières, par le contrôle du surpâturage, par la plantation systématique de brise-vent sur les terres de culture et de pâturage là où les horizons superficiels du sol sont sensibles à l'érosion éolienne. Même lorsque de telles mesures ne sont pas possibles, comme dans le Sahara, une exploration systématique du terrain peut permettre de découvrir des points où le relief produit un "effet de cheminée". Il se peut qu'un chaînon montagneux oppose une barrière au mouvement des sables, qui réussissent à le franchir en un point bas, ou en un endroit où un cours d'eau y a creusé une brèche. De tels emplacements offrent des possibilités de stabilisation, par la création de dunes de protection perpendiculairement à la direction du vent, par des méthodes semblables à celles utilisées pour les dunes littorales.

L'objectif principal poursuivi dans l'établissement de barrières de protection est de réduire la force des vents dominants à moins de 18-25 km/h, ce qui représente le seuil de vitesse au-dessus duquel les sols se mettent en mouvement. Une grande partie des données qui ont été accumulées par les études sur les plantations de brise-vent dans diverses régions du monde peuvent s'appliquer au contrôle et à la stabilisation des sables dunaires. Les effets généraux des brise-vent peuvent se résumer comme suit:

- 1) La distance à laquelle l'effet de protection du brise-vent s'étend sous le vent est proportionnelle à sa hauteur; lorsque la direction du vent est perpendiculaire à l'obstacle, sa vitesse est sensiblement réduite jusqu'à une distance égale à 20 fois la hauteur du brise-vent. Le coefficient de réduction de la vitesse du vent varie également selon la densité du brise-vent et selon la distance sous le vent. Il y a également une zone au vent où la vitesse du vent est réduite, sur une distance variant entre 2 et 5 fois la hauteur du brise-vent;
- 2) Un brise-vent large n'est pas forcément plus efficace qu'un brise-vent étroit, les meilleurs résultats étant obtenus avec des brise-vent dont la largeur est égale à la hauteur;
- 3) L'évaporation est fortement diminuée sous le vent du brise-vent, en raison de la réduction des mouvements de l'air, de l'abaissement de la température et de l'élévation de l'humidité atmosphérique. Cet effet peut se faire sentir jusqu'à une distance de 24 fois la hauteur du brise-vent. Il est proportionnel à la densité du brise-vent, de sorte qu'un brise-vent perméable, notamment si l'étage inférieur est peu garni, n'est pas aussi efficace qu'un brise-vent dense pour réduire l'évaporation. Cet effet de réduction de l'évaporation est particulièrement important pour les reboisements de dunes dans les régions chaudes semi-arides.

Méthodes de stabilisation superficielle

Il se peut que, en dépit de la protection fournie par les dunes littorales ou les brise-vent, la vitesse du vent soit à certains moments et en certains endroits assez forte pour mettre en mouvement le sable, qui peut avoir un effet d'abrasion très nocif, notamment sur les jeunes plants. Par ailleurs, les tourbillons de vent peuvent provoquer localement des ablations et dépôts, de sorte qu'une partie des jeunes arbres se trouvent soit déchaussés soit ensevelis par le sable. Il est par conséquent presque toujours nécessaire de couvrir toute la surface d'une couche protectrice ou de la garnir d'un réseau de petits brise-vent, de façon à empêcher la mobilisation du sable par le vent. On a expérimenté depuis quelques années une technique de protection de la surface par pulvérisation d'émulsions de bitume, qui semble très efficace et a été utilisée à grande échelle dans certaines régions du monde.

Méthodes classiques

La méthode la plus couramment employée consiste à quadriller toute la surface par un réseau de brise-vent en réduction, qui peuvent se composer de clayonnages confectionnés avec des branchages ou avec des graminées à tige raide ou des roseaux, ou encore de haies constituées avec des végétaux vivants. La hauteur des clayonnages ou haies varie de 0,50 à 2 mètres, et leur écartement peut aller jusqu'à 40 mètres ou au contraire se réduire à 2 mètres, auquel cas on ne plantera qu'un arbre par carré. Lorsqu'on adopte de grands écartements, il s'avère parfois nécessaire de couvrir la surface du sol de branchages ou de paille, ou encore d'y bouturer des graminées pour assurer une protection supplémentaire. Parfois une couverture de branchages suffit par elle-même pour arrêter le mouvement du sable sans qu'il soit nécessaire d'établir un quadrillage de brise-vent.

En Tunisie on utilise toutes les méthodes décrites ci-dessus. En dépit de la protection procurée par la dune littorale, on couvre toute la surface des dunes d'un réseau de haies composées de branchages coupés dans les maquis voisins. On peut aussi planter des haies vives de canne d'Égypte (*Saccharum aegyptiacum*) en carrés de 15 à 20 mètres de côté,

et recouvrir ensuite le sol d'une couche de branchages. A Chypre, par contre, une simple couverture de branchages s'est avérée une protection suffisante pour permettre aux plantations d'Acacia cyanophylla de survivre la première année, après quoi les plants couvrent suffisamment le sol pour le protéger. Lorsque les conditions ne sont pas trop défavorables, on parvient par la plantation directe de stumps d'Acacia cyanophylla à installer un couvert qui dispense de toute autre mesure de fixation.

Cette méthode classique de fixation des dunes est généralement coûteuse, en particulier lorsqu'on ne dispose pas de branchages ou d'herbes au voisinage des zones à stabiliser. Et même dans le cas contraire, les quantités importantes qui sont nécessaires peuvent amener à démuner une zone pour en protéger une autre. Les méthodes de fixation faisant appel à des graminées vivaces ou à des boutures d'arbres retardent souvent la plantation de l'essence principale jusqu'au moment où le couvert végétal ou les haies vives sont assez développés pour stabiliser la surface du sol, et lorsque ce résultat est obtenu, il se peut que leurs racines s'étendant dans l'espace intermédiaire concurrencent sérieusement les arbres plantés. Par ailleurs les haies et clôtures en quadrillages serrés gênent les déplacements, notamment au moment des plantations, et il est inévitable qu'elles soient endommagées et que des brèches y apparaissent, provoquant localement une érosion éolienne par "effet de cheminée".

Techniques de pulvérisation

On a utilisé la pulvérisation de mazout ou de produits bitumineux comme méthode de fixation des sables dunaires dans de nombreux pays. On emploie ces produits aux Etats-Unis et au Koweït, par exemple, pour protéger les routes contre l'ensablement, et en Inde et au Pakistan pour fixer les dunes qui menacent d'obstruer les canaux d'irrigation. Depuis quelques années on a appliqué cette méthode de fixation, en liaison avec le reboisement, à assez grande échelle en Libye et en Tunisie; le type de bitume utilisé peut être fourni par la plupart des compagnies pétrolières. L'Institut Pakistanais de Recherche sur l'Irrigation a récemment effectué des recherches sur les propriétés stabilisatrices de ces produits commerciaux en comparaison avec des émulsions bitumineuses similaires préparées en laboratoire, et se composant de bitume, de potasse caustique et de carbonate de potasse associés à du brai de stéarine, du savon de résine de vinsol plus 5% de lait de bentonite, le tout émulsionné dans l'eau à 95°C. Ces émulsions, pulvérisées sur le sable, pénètrent dans les couches superficielles et sèchent rapidement, formant une croûte qui assure une protection totale de la surface contre le vent. La profondeur de pénétration varie dans une certaine mesure selon le produit utilisé, selon la proportion d'eau dans le mélange et selon la quantité pulvérisée par unité de surface. Pour une bonne efficacité, il faut obtenir une pénétration de 1 à 3 cm. La pulvérisation a également pour effet d'accroître la portance du sable dans une proportion allant jusqu'à 20 - 30 tonnes par mètre carré.

En Libye une société travaillant sous contrat avec le service forestier a traité ainsi plusieurs milliers d'hectares de dunes; des techniques similaires ont été expérimentées en Tunisie. Au début on employait des camions-citernes classiques, spécialement équipés pour le désert, pour amener le produit dans les zones à reboiser. La pulvérisation se faisait ensuite à l'aide de lances à main. Pour accélérer le travail la société a mis au point un véhicule spécial, consistant en un traineau métallique équipé d'un réservoir de 800 litres et de larges rampes de pulvérisation, qu'un bulldozer remorque ou treuille sur les dunes. L'équipement de pulvérisation peut de cette façon venir à bout des dunes les plus accidentées, laissant derrière lui une bande traitée de 25 mètres de large. Chaque engin peut traiter 4 hectares par jour, utilisant environ 4 000 litres de produit par hectare. En Libye on a constaté que la pulvérisation avait des effets toxiques sur les plants de certaines essences de reboisement (généralement Acacia et Eucalyptus), c'est pourquoi on l'effectue maintenant avant la plantation, ce qui permet par ailleurs de travailler pendant des périodes de l'année où l'on ne peut planter. En Tunisie les essais effectués avec le même produit bitumineux ont montré qu'il était préférable de procéder à la pulvérisation après la plantation, étant donné qu'elle n'apparaissait pas dommageable pour les jeunes plants d'acacias et de pins. Dans les zones traitées avant la plantation les mouvements des ouvriers transportant et mettant en place les plants perturbaient la croûte superficielle stabilisée au point de réduire considérablement son effet protecteur.

Avec l'expérience les techniques de pulvérisation, de même que la composition des produits stabilisants employés, feront certainement de nouveaux progrès. Si l'on tient compte des avantages de rapidité et d'économie, il semble probable que les techniques de pulvérisation tendront à remplacer les méthodes classiques de fixation des dunes. Cette tendance a des chances de s'accélérer si les essais de pulvérisation aérienne effectués en Libye donnent des résultats favorables. Ces essais utilisent un nouveau type de stabilisant chimique, composé d'un produit agglutinant qui se coagule en absorbant l'humidité et forme une mince couche stabilisatrice sur la surface des dunes. En effectuant un semis aérien en même temps que le traitement chimique, on aurait peut-être le moyen de révolutionner complètement les techniques de reboisement des dunes. Les premiers résultats montrent que les techniques de pulvérisation ont un rapport efficacité/coût plus élevé que les méthodes classiques de fixation des dunes.

TERRAINS MOUILLEUX OU MARECAGEUX

Les terrains marécageux sont ceux où le sol est engorgé pendant la totalité ou la plus grande partie de l'année, et qui ne peuvent être reboisés qu'après drainage.

Les vastes étendues de marais, portant des forêts spontanées se régénérant naturellement, d'essences hygrophytes d'intérêt économique, qui se trouvent tant dans les régions tropicales que dans la zone des conifères boréaux, ne seront pas étudiées ici étant donné que les essences forestières qu'on y rencontre ont développé des mécanismes qui leur permettent de surmonter les difficultés du milieu. Il existe par contre des étendues tout aussi vastes de marécages et de tourbières qui sont entièrement dépouillées d'arbres, ou ne portent qu'une végétation arborescente composée d'essences de faible valeur. On a estimé leur superficie à quelque 200 millions d'hectares, dont une grande partie pourrait, après drainage, être reboisée avec des essences de grande valeur économique.

A côté de ces grandes étendues marécageuses, le forestier est souvent confronté avec de petites surfaces de sols marécageux à l'intérieur de périmètres de reboisement situés en majorité sur des sols bien drainés. Ces stations particulières peuvent se rencontrer dans des petites dépressions ou dans des bas-fonds alluviaux au voisinage d'une rivière, et il peut être nécessaire d'envisager leur drainage dans le cadre du projet général de reboisement.

Que l'engorgement du sol soit une caractéristique de toute la zone à reboiser ou seulement d'une partie relativement faible de celle-ci, les techniques de drainage et d'amendement des sols à appliquer sont essentiellement les mêmes.

Terrains nécessitant un drainage

Marais à eau libre

Avant d'entreprendre le drainage ou l'assèchement du sol, il faut tout d'abord évacuer l'eau libre se trouvant à la surface, ce qui exige que l'on connaisse l'origine de l'eau qui pénètre dans le marais, et les raisons pour lesquelles elle s'y rassemble et y stagne.

Dans le cas où l'eau provient de terrains situés plus haut, on pourra si la topographie s'y prête intercepter l'écoulement en des points convenables au-dessus du niveau du marais, et l'envoyer par un fossé ou canal de dérivation vers un exutoire naturel.

Les marécages engendrés le long des cours d'eau par les inondations périodiques ne peuvent être assainis que par la construction de digues susceptibles d'empêcher les eaux de crue de pénétrer dans ces bas-fonds. Il peut être nécessaire ensuite de creuser une série de fossés de drainage à travers le marécage pour assécher les flaques subsistant dans les anciens bras d'inondation ou pour évacuer l'eau qui entre par infiltration souterraine à partir du lit du cours d'eau. Si, comme c'est parfois le cas, la topographie ne permet pas d'évacuer l'eau de ces drains par gravité, il peut être nécessaire de la concentrer dans un bassin collecteur d'où on pourra la pomper vers le cours d'eau par-dessus la digue de protection.

De même, dans le cas de marécages côtiers de type lagunaire, il faut à tous les exutoires vers la mer des vannes régulatrices, que l'on ferme à marée haute et que l'on ouvre à marée basse pour permettre à l'eau de s'évacuer vers la mer. Ces vannes peuvent être fermées par un système automatique, actionné par la montée de l'eau à marée montante.

Un marécage peut parfois avoir pour origine une obstruction de l'exutoire naturel provoquée par une faille géologique, ou par des glissements de terrain ou éboulements rocheux. Beaucoup de marécages d'altitude représentent les vestiges d'anciens lacs ou des vallées noyées formées par des soulèvements géologiques qui ont verrouillé un thalweg. Avec le temps, le déversoir naturel est entaillé par l'érosion, et le niveau du lac s'abaisse peu à peu jusqu'à ce que ses eaux soient assez basses pour donner naissance à un marécage. Ce type de marécage peut être asséché par un canal creusé dans la digue naturelle ou un tunnel percé à travers, toujours en supposant que le coût n'est pas prohibitif en regard des superficies à assainir.

Certains marécages se forment sur les berges basses de lacs à la suite d'élévations périodiques de niveau consécutives aux fortes pluies. On peut les assainir en construisant des digues plus hautes que le niveau maximum du lac, et en asséchant ensuite les marécages par pompage, ou à l'aide de vannes régulatrices placées à la sortie des collecteurs de drainage vers le lac.

On emploie à grande échelle une méthode similaire dans les parties basses du delta du Paraná en Argentine, pour assainir des terrains qui sont périodiquement couverts d'une mince nappe d'eau par les eaux de crue. On compartimente les terrains marécageux par des digues et on les assèche par pompage, et les flots ainsi assainis sont ensuite reboisés. En saison sèche, on utilise les pompes pour pomper l'eau en sens inverse, des canaux bas vers les plantations forestières pour les irriguer.

Tourbières et sols de gley

Les sols tourbeux mal drainés se rencontrent principalement dans les régions du globe où les précipitations annuelles excèdent de beaucoup les précipitations, et où la température est assez élevée pour entraîner une production abondante de matière organique, mais trop basse pour permettre sa décomposition rapide. Dans de telles conditions climatiques, on observe couramment une accumulation de débris végétaux, et la formation de tourbe. Outre les facteurs climatiques, une topographie plane et une faible perméabilité du sous-sol favorisent la formation de tourbières. Des sols marécageux ou engorgés se rencontrent par suite assez couramment dans les terres basses plates même en climat tropical ou subtropical, bien qu'en raison d'une décomposition plus rapide dans les régions chaudes la tourbe véritable puisse être absente. Par contre il peut exister dans des climats maritimes très humides des tourbières avec des dépôts de tourbe très épais même sur des pentes raides, comme par exemple en Ecosse ou dans l'Ouest de la Norvège.

On peut également rencontrer, lorsque les conditions de drainage sont mauvaises, des sols minéraux hydromorphes avec peu ou pas de formation de tourbe. Il s'agit en général de sols argileux lourds, qui montrent la décoloration en marbrures caractéristique des sols de gley. Le mauvais drainage peut être dû à un substrat imperméable, ou à la présence d'un horizon concrétionné de type podzolique ou latéritique.

Même dans les sols engorgés l'horizon supérieur peut être suffisamment aéré pour porter une couverture de mousses ou autres végétaux hygrophiles; dans certains cas cette couche peut être assez épaisse pour porter des arbres, bien que ceux-ci soient souvent déformés, avec un système racinaire très superficiel, et sujets au renversement par le vent. En Grande Bretagne des essais anciens de reboisement de tourbières après drainage par fossés superficiels ont montré que les peuplements, après un bon développement dans les premières années, ne pouvaient résister aux vents forts au stade de perchis. Il est indispensable d'obtenir une couche superficielle de sol aéré d'au moins 30 cm d'épaisseur, et de préférence davantage. Pour cela il faut creuser les fossés de drainage nettement plus profond pour tenir compte de l'existence de ce qu'on appelle la "frange capillaire", qui n'est autre qu'une zone saturée d'eau formée par les forces capillaires immédiatement au-dessus

du niveau réel de la nappe phréatique, ou au-dessus du niveau de l'eau libre dans les fossés de drainage. Cette frange capillaire peut parfois atteindre 30 cm de hauteur, ce qui explique que des drains superficiels semblent parfois n'avoir aucun effet sur l'engorgement. Pour tenir compte de ce fait, il faut par conséquent donner aux fossés de drainage une profondeur d'au moins 40-60 cm, et même davantage, afin d'assurer la formation d'une couche suffisante de sol bien aéré pour permettre le développement des racines.

Terres salées et marécages salins

On trouve des sols engorgés et des marécages dans des zones où une salinité élevée vient s'ajouter au facteur limitant constitué par l'humidité excessive du sol. Les marécages salés ou saumâtres formés le long des côtes et soumis à des incursions d'eau de mer se rencontrent dans beaucoup de régions du monde. Dans les climats arides, les terres salées peuvent résulter de l'évaporation d'eaux de crue salées accumulées dans des dépressions continentales.

Bien qu'il existe quelques espèces arborescentes d'intérêt économique telles que Rhizophora spp., Tamarix articulata, Prosopis tamarugo, de même que le dattier, qui tolèrent une teneur en sels élevée dans le sol (et en outre, dans le cas des mangroves, des conditions marécageuses), le reboisement des terres salées est impossible à moins de drainer le terrain et de réduire ou supprimer la salure du sol en le lessivant avec de grandes quantités d'eau douce. Cela peut être envisagé dans le cas où le terrain peut être drainé, de telle sorte que les eaux de crue qui y pénètrent puissent être utilisées pour lessiver le sel; ou encore dans le cas où l'on peut obtenir le même résultat par l'irrigation combinée avec le drainage. Le dessalement d'un sol est toutefois presque toujours une opération coûteuse, et peut rarement se justifier pour le reboisement seul. Nous avons déjà évoqué cette question par ailleurs à propos des plantations forestières irriguées.

Lorsqu'un drainage permanent n'est pas possible, la seule solution consiste à édifier un ensemble de buttes et de fossés alternés, la terre enlevée dans les fossés étant étalée sur les buttes intermédiaires que l'on pourra planter lorsque les sels auront été lessivés au bout d'un certain temps par les pluies. Les buttes doivent avoir des dimensions suffisantes pour que les arbres puissent développer librement leur système racinaire au-dessus du plus haut niveau atteint par la nappe phréatique. Mais, encore une fois, c'est une opération très coûteuse, que l'on pourra rarement justifier en fonction de critères économiques de production.

En définitive l'attitude la plus sage sera pour le forestier de ne pas chercher à assainir et reboiser des zones marécageuses où aux difficultés de préparation du terrain s'ajoutent encore de sérieux problèmes de salure.

Techniques de drainage

Caractéristiques et tracé d'un réseau de drainage par fossés

Avant d'étudier le tracé d'un réseau de drainage dans des sols mouilleux ou marécageux, il est indispensable d'effectuer un levé topographique détaillé de la zone. Il faut également, dans les sols marécageux ou dans les marais dont on a drainé l'eau libre, procéder à une étude pédologique pour déterminer la nature du sol, et éventuellement l'épaisseur des couches tourbeuses ou la présence et la profondeur d'horizons indurés. Une analyse chimique du sol fournira les éléments qui pourront servir de guide à une fertilisation éventuelle.

Il faut implanter des parcelles expérimentales pour étudier l'efficacité de réseaux de fossés de drainage de densité et de profondeur variables, par mesure des fluctuations du niveau de l'eau dans des puits creusés dans l'intervalle des fossés.



Dans les sols marécageux, on doit creuser des fossés de drainage avant la plantation pour la plupart des essences de reboisement. La photographie ci-dessus montre un peuplement vigoureux de pins dans le Queensland (Australie). (Photo D.A. Harcharik)

On distingue trois types de fossés à ciel ouvert: fossés de dérivation, fossés de drainage, et collecteurs.

Fossés de dérivation

Ils ont pour rôle d'intercepter l'eau qui pénètre dans la zone et de la conduire vers un exutoire naturel, court-circuitant ainsi le marécage. Leurs dimensions doivent être suffisantes pour absorber le débit maximum entrant dans le marécage en périodes de fortes pluies ou de crues.

Fossés de drainage

Ce sont ceux qui reçoivent l'eau filtrant du sol; leur espacement doit donc être en rapport avec la vitesse de percolation de l'eau dans le sol. Plus le sol est lourd, c'est-à-dire plus il contient d'argile, et plus cette vitesse de percolation est faible, et par conséquent plus les fossés doivent être rapprochés. La tourbe retient également l'eau très fortement, et les terrains présentant des couches de tourbe épaisses exigent par conséquent des systèmes de drainage très intensifs. Sur les terrains en pente, les fossés de drainage doivent être orientés autant que possible suivant les courbes de niveau, en leur donnant une pente juste suffisante pour permettre l'écoulement vers les collecteurs principaux. On obtient ainsi une interception maximum, avec un minimum de longueur de fossés. Un fossé faisant un angle plus grand avec la courbe de niveau aurait, à efficacité égale, une pente plus forte et une longueur plus grande, tandis qu'un fossé perpendiculaire aux courbes de niveau perd toute capacité d'interception.

La section des fossés de drainage est déterminée principalement par la nature du sol, mais normalement ils devraient avoir au moins 40 cm, et même si possible 1 mètre de profondeur. L'ouverture en gueule doit être au moins égale à la profondeur, les parois descendant en talus vers le fond doivent avoir au moins 20 cm de large, et même 30 cm dans les sols tourbeux, pour tenir compte de leur tendance à se refermer.

La pente des fossés (c'est-à-dire l'inclinaison du fond vers le point de décharge) doit être comprise entre 0,25 et 3,0%. En dessous de 0,25% il y a danger d'envasement excessif, et au-dessus de 3,0% on risque d'avoir affouillement et érosion à moins que le fossé ne soit creusé dans un sol très résistant. On peut obtenir la pente voulue soit en approfondissant graduellement le fossé, soit, sur terrain en pente, en orientant les fossés obliquement par rapport aux courbes de niveau sans faire varier leur profondeur. C'est cette dernière méthode qui est utilisée lorsque les fossés sont creusés avec une charrue rigoleuse à profondeur fixe.

La longueur des fossés de drainage doit en règle générale être comprise entre 50 et 100 mètres; avec une longueur plus grande, on accroît les chances d'erreur sur la pente, en particulier lorsqu'on rencontre des variations dans l'orientation de la pente du terrain. En outre, plus le fossé est long, plus grand est le risque d'accumulation excessive d'eau en périodes de fortes pluies.

L'écartement entre les fossés variera en fonction du type de sol et également de la pente du terrain. Comme nous l'avons noté plus haut, en règle générale, plus le sol est lourd et plus les drains doivent être rapprochés. L'écartement normal adopté par la "British Forestry Commission" pour les sols de gley et de gley tourbeux est de 7 mètres sur des pentes jusqu'à 5%, 10 mètres de 5,0 à 7,5%, 13,50 mètres au-dessus de 7,5%. Sur des sols moins lourds, tels que par exemple les podzols tourbeux caractéristiques de certaines landes d'altitude en Grande Bretagne, ces écartements peuvent être doublés.

En Suède, en Finlande et en Russie, on espère en général davantage les fossés de drainage. Lorsqu'on commença à drainer les tourbières dans ces pays, les fossés étaient espacés de 80 à 100 mètres, avec une profondeur de 1,00 à 1,50 mètre, mais à l'expérience il est apparu que de tels écartements étaient trop forts pour pouvoir assurer un drainage efficace. Plus tard, lorsqu'on put remplacer le creusement manuel des fossés par la machine, on réduisit leur écartement à 20-30 mètres et leur profondeur à 40-60 cm. Sur les terrains en pente, et en particulier sur des sols minéraux engorgés avec une couche mince de tourbe, on a introduit avec succès le système britannique de fossés plus rapprochés. Un calcul d'optimisation économique montre qu'il faut adopter des écartements plus faibles dans des terrains marécageux plats que dans des terrains en pente, des écartements plus larges en terrains pauvres, et plus faibles sur des sols de tourbière riches.

Collecteurs

Les fossés de drainage se déversent dans des fossés collecteurs, dont le rôle est d'amener l'eau vers un point d'où on puisse l'évacuer en l'envoyant par gravité dans un cours d'eau naturel, ou en la pompant.

Le tracé du réseau de collecteurs doit être étudié de façon à desservir le plus grand nombre possible de fossés de drainage. L'expérience montre que le système le plus efficace en général est celui dit "en arête de poisson", avec un collecteur central d'où partent de chaque côté des fossés de drainage.

Les dimensions et la pente des collecteurs sont normalement plus grandes que celles des fossés de drainage; ils doivent être calculés assez largement pour absorber des débits exceptionnels en périodes de fortes pluies. Ils ont une section trapézoïdale analogue à celle des fossés de drainage.

Autres formes de drainage du sol

Dans le cas où l'engorgement du sol peut être attribué à la présence d'une cuirasse imperméable, on pourra souvent en brisant celle-ci par un sous-solage, drainer le sol en permettant à l'eau de s'infiltrer à travers les brèches ainsi ouvertes. C'est le cas dans certains sols à texture grossière surmontant une cuirasse podzolique ("alios") dans des landes tourbeuses des montagnes d'Ecosse.

L'efficacité du drainage peut parfois être améliorée par un passage de charrue-taupe (voir page 116), notamment dans des sols d'argile dure exempts de pierres. Les drains ainsi ouverts dans le sous-sol peuvent accélérer l'action des fossés de drainage, et dans des cas favorables des passages de charrue-taupe aboutissant directement aux collecteurs permettent d'espacer davantage les fossés de drainage, ou même de s'en passer totalement. La "British Forestry Commission" expérimente actuellement, avec des résultats intéressants, une charrue-taupe forestière d'un modèle spécial, qui peut ouvrir une galerie de drainage dans le sous-sol des tourbières. Cette charrue extrait un ruban de tourbe de 38 x 20 cm, ne laissant qu'une fente étroite à la surface du sol.

Matériel de drainage

L'ouverture manuelle des fossés de drainage, bien qu'encore utilisée sur des terrains de trop peu d'étendue pour justifier la dépense de la mécanisation, a maintenant été supplantée presque partout par les méthodes mécanisées. Il existe à l'heure actuelle une grande variété de machines pour le creusement des fossés, mais les deux types qui conviennent le mieux pour les travaux forestiers sont les charrues fossoyeuses, et les pelles hydrauliques montées sur tracteur ou train automoteur à roues ou à chenilles.

Charrues fossoyeuses

Dans le sol tourbeux et autres sols peu consistants exempts de pierres, les charrues offrent la méthode de loin la moins chère pour creuser les fossés. Le modèle le plus courant est la charrue rigoleuse ou fossoyeuse à double versoir attelée à un tracteur, ou tirée par un tracteur muni d'un treuil. Cette charrue creuse un fossé trapézoïdal en rejetant la terre de part et d'autre. Grâce à des ailes boulonnées au sommet des socs et s'étendant latéralement légèrement au-dessus du niveau du sol, la terre rejetée par les socs est repoussée à l'écart des bords du fossé, ce qui évite qu'elle n'y retombe.

On utilise moins souvent les charrues à simple versoir que les charrues fossoyeuses à double versoir, mais on les préfère cependant dans certains cas. Ainsi, lorsqu'on ouvre des fossés de drainage en courbes de niveau sur un terrain en pente, il peut être préférable de rejeter toute la terre vers le bas. En Grande Bretagne on utilise beaucoup la charrue monosoc pour ouvrir des rigoles peu profondes (20 à 30 cm) dans des sols tourbeux, le but principal de l'opération étant cependant de former avec les mottes de tourbe des billons sur lesquels on pourra planter les arbres. Les sillons laissés par la charrue contribuent évidemment au drainage de surface en périodes de fortes pluies, mais ils ne sont normalement pas assez profonds pour assécher le sol, notamment en raison de l'effet de frange capillaire dont nous avons parlé plus haut. La "British Forestry Commission" a mis au point des modifications de cette charrue pour ouvrir des fossés plus profonds, qui ont quelquefois jusqu'à 90 cm. Ces fossés présentent toutefois certains inconvénients par comparaison avec ceux ouverts à la charrue à double soc:

- 1) On obtient rarement en pratique la profondeur maxima de fossé, parce que l'énorme poussée latérale exercée par le soc unique, soulevant et retournant le ruban continu de tourbe, repousse la charrue vers le haut du talus du côté opposé à celui où le sol est déposé. Il en résulte que le fond du fossé est inégal et ondulé, tandis que l'arête et la paroi, du côté opposé à celui où s'exerce la poussée, sont irréguliers. La charrue à double soc, au contraire, travaille à profondeur maximale et constante, et la poussée de la terre se répartissant de manière égale sur les deux parois a pour effet de produire un fossé mieux formé et plus stable.

- 2) Sur les sols minéraux, où l'on rencontre parfois un horizon induré ou graveleux, la même difficulté se présente. La charrue à simple versoir tend à se soulever lorsqu'elle passe sur cette couche dure, ce qui produit un fossé très irrégulier.
- 3) La charrue monosoc ne peut être utilisée que pour approfondir et curer les fossés existants, comme la charrue fossoyeuse à double versoir.

Le labour des sols marécageux requiert généralement des roues ou chenilles d'un modèle spécial, aussi bien pour le tracteur que pour la charrue elle-même, afin d'éviter les pertes de puissance de traction et les risques d'enlèvement. On dispose pour cela de roues et de pneumatiques à large bande de roulement; on peut également utiliser sur le tracteur des doubles roues. Les tracteurs à 4 roues motrices, bien que plus chers ont dans ces conditions un avantage sur les tracteurs à transmission normale. Les tracteurs à chenilles peuvent être équipés de trains de chenilles plus larges que la normale. Les charrues pour sols humides doivent être équipées de roues-cages métalliques, ou de roues type tracteur.

En Finlande, en Suède et dans le Nord de la Russie, on utilise pour drainer les terrains de tourbières des charrues fossoyeuses très lourdes (4 à 6 tonnes) attelées à un tracteur à chenilles de 9 à 18 tonnes équipé d'un treuil. Ce matériel lourd s'est avéré supérieur pour des terrains de marécages avec une mince couche de tourbe renfermant des troncs et des souches, et un sous-sol fréquemment rocheux.

Charrues-taupes

La charrue draineuse ou charrue-taupe est en somme une sous-soleuse à une dent, dont la pointe travaillante est remplacée par une tête en forme de torpille courte, appelée obus. Cet obus ouvre dans le sol un passage tubulaire, en partant du talus du fossé ou d'un point de décharge en direction du haut de la pente. La charrue-taupe est montée directement sur le tracteur, au moyen d'un attelage EDES qui permet d'obtenir un canal en pente régulière en dépit des irrégularités de surface.

La charrue-taupe ne peut être utilisée efficacement que dans des sols argileux de texture régulière et sans pierres; dans ces conditions elle représente le mode de drainage le moins coûteux. On a utilisé dans des sols tourbeux une charrue-taupe modifiée, munie d'un "dilatateur" de 15 cm de diamètre, pour accélérer le drainage de l'eau vers les fossés; par ailleurs, comme nous l'avons dit plus haut, la British Forestry Commission essaie également des charrues-taupes spéciales pour le drainage du sous-sol dans les tourbières.

Le principal inconvénient du drainage par charrue-taupe est que les drains ne peuvent être curés, de sorte qu'une fois qu'ils sont obstrués le travail doit être refait complètement.

Excavatrices

Il existe une grande variété de matériels d'excavation, mais la plupart se rangent dans l'une des trois catégories suivantes: pelles mécaniques à benne traînante, pelles hydrauliques et machines à travail continu.

Pelles mécaniques à benne traînante

Ces pelles comportent une longue flèche et un godet excavateur actionné par treuils et câbles d'acier. Elles sont montées sur des trains de chenilles larges, et sont spécialement adaptées pour travailler sur terrains mous et marécageux. On peut utiliser des paillassons pour améliorer encore la stabilité lorsqu'on travaille sur sols mous.

Ces machines peuvent être utilisées pratiquement pour tous les travaux de creusement et d'entretien des fossés. Leurs avantages résident 1) dans leur aptitude à travailler sur terrains mouilleux; 2) dans l'importance du rayon d'action de la flèche, qui permet d'étaler

la terre sur un plus grand rayon et 3) dans la variété des dimensions de fossés qu'elles permettent. Par contre, elles sont moins mobiles et moins maniables que les pelles hydrauliques, dont l'emploi est généralement moins coûteux.

Pelles hydrauliques

Dans ce type de machines le godet est fixé à l'extrémité d'un bras articulé, et commandé par des vérins hydrauliques. L'ensemble est monté sur un tracteur à chenilles ou à roues. La plupart des modèles sont équipés d'une lame de pelle chargeuse qui, en dehors de son emploi occasionnel pour le chargement, et de l'avantage qu'elle offre de pouvoir aplanir les talus et autres obstacles, est indispensable pour traverser les fossés larges, et joue également le rôle de stabilisateur.

Les modèles à roues peuvent être employés sur la plupart des sols minéraux marécageux, mais sur les sols de tourbière et les sols très mous un tracteur à chenilles est indispensable; il doit être équipé de chenilles de 76 cm ou plus de largeur. Les pelles hydrauliques peuvent être utilisées pour le creusement de fossés de largeurs et profondeurs couramment employées en travaux forestiers, et également pour l'entretien de fossés larges, la machine se déplaçant sur les berges de part et d'autre du fossé.

Pour l'entretien et le curage des fossés il existe des modèles de pelles légères montées sur un tracteur agricole à roues ordinaires.

Machine à travail continu

Ce sont des excavatrices équipées de chaînes portant des godets ou des lames racleuses et travaillant en drague, ou d'une vis sans fin. L'expérience a montré toutefois que ces machines avaient des possibilités limitées par comparaison avec les autres types de matériel de drainage en ce qui concerne la profondeur et le façonnage des fossés, et que par ailleurs la plupart ont des difficultés à travailler dans des sols où l'on rencontre des pierres, des souches et des racines. D'une manière générale on peut dire que les charrières fossoyuses et pelles hydrauliques font le même travail plus efficacement et à moindre coût que les excavatrices continues.

Préparation du terrain après drainage

Travail du sol en surface

Le drainage seul n'améliore pas toujours suffisamment le sol pour assurer la réussite du reboisement. Dans certains cas il faut améliorer la porosité et l'aération des sols de marécages assainis par un labour, et celui-ci peut requérir la destruction préalable de la végétation hygrophyte herbacée ou ligneuse. Chaque fois que cela est possible, cette végétation doit être incinérée, et les cendres riches en phosphore et en potasse enfouies par le labour. Si une préparation plus poussée du sol n'est pas nécessaire, les plants peuvent être mis en place par fente directement dans le terrain drainé. C'est la pratique courante en usage en Finlande, mais on utilise également le semis direct à la volée pour reboiser en pin les tourbières assainies. En Grande Bretagne, la plantation ou le semis direct sur tourbière drainée ne donne que des résultats limités, et la méthode la plus couramment employée est la plantation en fente dans les mottes de tourbe retournées par la charrue sur les lignes de plantation. Un autre avantage de cette méthode est que la bande de sol retournée retarde la croissance de la végétation concurrente pendant un temps suffisant pour permettre aux jeunes plants de s'installer. Sous des climats plus doux ces avantages de la plantation sur mottes ou sur billons ont des chances d'être moins durables en raison de la croissance plus rapide des adventices. La présence de grandes buttes de labour peut par ailleurs constituer un obstacle gênant le passage des herbes ou cultivateurs utilisés par la suite pour le sarclage entre les rangs et le travail du sol.

Le billonnage est également employé aux Etats-Unis, soit seul, soit associé, à des fossés à ciel ouvert pour améliorer le drainage et faciliter la plantation dans des stations humides. Ce travail, déjà décrit page 32, est effectué au moyen de pulvérisateurs à disques

lourds (du modèle décrit à propos du labour de défrichement) montés de telle sorte qu'ils rejettent la terre vers l'intérieur pour former un ados, ce qui élève le lit de plantation au-dessus du niveau général du terrain.

Fertilisation

Les sols de marécages assainis présentent souvent des déficiences en éléments nutritifs, en même temps qu'une réaction fortement acide. Les terres salées, par contre, sont souvent fortement alcalines, et pauvres en azote et autres éléments fertilisants. Dans les sols de tourbière qui n'ont pas fait l'objet d'une classification en types bien définis, il faut effectuer des analyses chimiques détaillées suffisamment tôt avant le reboisement pour déterminer quels sont les éléments minéraux déficients, et également procéder à des essais de fertilisation en vue de déterminer les techniques et les dosages appropriés pour reconstituer la fertilité du sol et stimuler la croissance des arbres.

L'azote est généralement abondant dans les sols marécageux, bien que souvent sous une forme organique non soluble, mais le drainage et l'apport d'engrais minéraux accroissent généralement le taux de mobilisation de l'azote au point qu'un apport supplémentaire d'azote peut ne pas être nécessaire.

Le phosphore est l'élément qui constitue souvent le facteur limitant dans les sols de tourbe et de gley, et dans la plupart des cas un apport de phosphore provoque une réponse marquée dans la croissance des arbres. En Grande Bretagne et en Scandinavie l'apport d'engrais phosphaté dans les reboisements sur tourbières est de pratique courante. L'engrais est appliqué au moment de la plantation, sous forme du phosphate naturel moulu ou de scories de déphosphoration, en particulier lorsque l'épandage se fait mécaniquement, et de superphosphate ou de super triple dans le cas d'épandage manuel. On emploie également pour le reboisement des tourbières des engrais composés phosphopotassiques à 16,5% de P et 16,5% de K.

Sur les sols très acides, un chaulage copieux est souvent bénéfique; la chaux améliore les propriétés physiques et réduit l'acidité du sol, stimulant ainsi la mobilisation de l'azote. Les sols alcalins à forte teneur en chlorure de sodium peuvent dans certains cas être amendés par un apport de gypse moulu, c'est-à-dire en déplaçant le sodium par le calcium.

TERRILS, CRASSIERS ET AUTRES TERRAINS DE DECHARGE

Les exploitations minières et les activités industrielles, notamment la métallurgie, créent souvent de vastes zones de décharge où les matériaux de rebut sont amassés en terrils, crassiers et bassins de décantation, barrant le paysage d'autant de cicatrices qui offensent la vue, et les autorités responsables sont souvent sollicitées de restaurer ces superficies ou de les masquer par un couvert de verdure ou des plantations forestières. Il est parfois possible par le reboisement de créer des parcs pour l'agrément des populations urbaines voisines, ou de restaurer la productivité des terrains en cause.

Dans beaucoup de ces zones de détritiques créées par l'industrie humaine, existent des conditions de milieu qui inhibent la revégétation naturelle à partir des semences apportées par le vent des zones voisines non polluées, et qui sont directement liées au type d'exploitation minière ou d'industrie concerné, ce qui permet de distinguer dans ces zones de détritiques un certain nombre de catégories, que nous décrirons ci-dessous.

Divers types de déchets industriels

Déblais de mines à ciel ouvert

Dans l'exploitation à ciel ouvert, le sol superficiel et les morts-terrains sont décapés pour mettre au jour les couches minières de charbon ou autres minéraux. Après l'exploitation, il subsiste des terrains stériles, où l'on trouve des excavations cratéri-formes alternant avec des amas de déblais dont la texture va du sol superficiel originel à des fragments de roches avec peu ou pas de terre.

Dans les zones accidentées l'extraction se fait en général en courbes de niveau, ce qui donne naissance à une série de terrasses rocheuses, et de talus d'éboulis abrupts là où les déblais ont été déversés.

Si les matériaux de déblais contiennent 20% ou plus de terre, il se peut que la végétation se réinstalle par des graines et spores apportées par le vent des zones intactes voisines peu de temps après la cessation des activités minières, ce qui indique une fertilité potentielle du sol permettant un reboisement direct. Ailleurs les couches rocheuses mises à nu, les amas de blocs et de pierraille, souvent compactés par les passages des engins de terrassement lourds, doivent attendre que le lent processus de décomposition par les agents atmosphériques et de remodelage par le vent et l'érosion pluviale y créent peu à peu un sol. L'absence d'humus et d'azote est caractéristique de la plupart de ces terrains dans leur état initial.

La préparation du terrain pour le reboisement consiste idéalement à remodeler la surface avec des engins de terrassement, à combler les trous et à niveler ou aplanir les déblais avant de finalement recouvrir toute la surface de terre arable. On doit utiliser de préférence le sol qui couvrait originellement le terrain, si on l'a mis de côté en tas séparés, sinon il faut apporter de la terre d'ailleurs. Ce travail est très coûteux, mais dans certains pays la restauration du site est inscrite dans les clauses du permis d'exploitation minière.

Si le remodelage n'est pas possible, on peut commencer le reboisement sur les parties déjà colonisées par la végétation naturelle, tandis que sur les surfaces restantes encore stériles on peut planter des arbres d'essences pionnières peu exigeantes, dans de grands potets que l'on a remplis de terre rapportée. Dans ces endroits tels que les glaisières de briqueteries, on transforme souvent les excavations abandonnées en lacs artificiels en les remplissant d'eau pour y faire des terrains de loisirs, les plantations d'agrément se limitant alors aux pourtours des lacs.

Terrils de houillères et autres mines profondes

Les déblais de "stériles" provenant d'exploitations minières profondes sont généralement ramenés à la surface et déchargés en grands tas coniques ou à sommet plat. Ces "terrils" ont généralement des versants en pente raide très instables, et sont par suite sujets à des glissements de masse si le pied est sapé par un cours d'eau ou par des eaux qui s'accumulent au milieu des déblais qui obstruent leurs lignes d'écoulement naturel. Les terrils sont formés de roches broyées et parfois même pulvérisées, et se caractérisent par des variations brusques dans la taille des éléments selon l'origine du matériau, mais en tous cas par une porosité élevée, permettant une pénétration facile de l'air et de l'eau de pluie, et également des racines des végétaux. Ce matériau ne peut toutefois être considéré comme un sol, et il demeurera stérile jusqu'à ce que les particules de roche aient été altérées par les agents atmosphériques et soient, avec le temps, colonisées par des organismes pédoformateurs et finalement par une végétation pionnière.

La préparation de tels terrains pour le reboisement implique en premier lieu des mesures de stabilisation afin de réduire au minimum les risques de glissement de terrain et d'érosion. Il peut pour cela être nécessaire de construire des murs de soutènement au pied des terrils qui empiètent sur les cours d'eau naturels pour empêcher l'eau d'affouiller et saper la pente et, si nécessaire, de canaliser ceux-ci dans des exutoires maçonnés ou des buses de béton. Les flaques d'eau qui se forment dans le complexe de terrils doivent être asséchées par des drains enterrés s'il y a danger d'éboulements dus à l'érosion. Le sommet plat de certains terrils peut être recouvert de terre arable, mais sur les pentes il peut être nécessaire d'établir des fossés de niveau ou banquettes, et d'apporter de la terre pour emplir les trous de plantation.

On doit construire des routes d'accès avant le reboisement, et étudier avec soin l'évacuation des eaux d'écoulement de façon à réduire au minimum l'érosion du sol et la formation de ravines dans le matériau relativement tendre des terrils.

Pour la première révolution il sera en général recommandé de planter des espèces pionnières d'arbres et d'arbustes rustiques et susceptibles de s'adapter aux sévères contraintes du milieu, tout en améliorant les conditions du sol et du microclimat. La seconde génération d'arbres forestiers pourra avoir une valeur économique plus grande; elle pourra parfois être introduite par plantation en sous-étage du peuplement pionnier.

Dépôts de déchets de traitement mécanique

Dans certaines industries minières on utilise pour séparer le charbon ou le minerai métallique des stériles ou de la gangue des concasseurs, broyeurs et laveries qui produisent des particules fines. Beaucoup de déchets fins, comme par exemple les limons de mines de lignite à ciel ouvert, ou les résidus de traitement des charbons bitumineux, peuvent être mis en suspension dans l'eau et pompés par une conduite vers des bassins en remblais ou des fosses de décantation où ils se déposent en formant des surfaces planes. Ces champs de limon sédimentaire sont très fertiles à moins d'être rendus toxiques pour les plantes par l'accumulation de composés nocifs provenant d'une oxydation des particules de sulfures à un taux plus rapide que celui du lessivage. Dans ce cas le terrain restera stérile pendant longtemps, à moins que l'on ne puisse utiliser un système d'irrigation par submersion associée à un drainage profond pour lessiver les sels contenus dans le sol.

Si les matériaux fins sont mis en tas, les dangers de glissement de terrain se trouvent accrus, à moins d'employer des techniques de stabilisation telles que celles décrites plus haut.

Dépôts de déchets de traitement chimique

On peut classer les innombrables déchets de traitement chimique en deux catégories: matières calcinées et non calcinées. Les matières calcinées, telles que les cendres et scories provenant des centrales électriques, sont composées d'oxydes, silicates et sulfates de fer, aluminium, calcium, magnésium, potassium et sodium. En raison de leur teneur en bases libres, la plupart de ces cendres ont une alcalinité et une teneur en sels élevées, qui peuvent au début empêcher la croissance des plantes. Le lessivage des sels solubles et leur réaction avec le gaz carbonique de l'atmosphère réduisent avec le temps leur effet toxique, à moins que les déchets ne contiennent du bore ou autres éléments très toxiques pour les plantes. Les déchets de briqueterie et de cimenterie, le mâchefer, le verre cassé sont d'autres exemples de détritiques calcinés, mais qui contiennent en général moins de sels solubles que les cendres mentionnées plus haut.

Les déchets de traitement chimique non calcinés sont produits par l'industries métallurgique lorsque le minerai broyé est traité par "flottation" pour séparer la roche du métal. Ces déchets sont généralement pompés vers des bassins de sédimentation, formant ainsi des étendues de terrains plans. Les agents de flottation utilisés pour les différents minerais peuvent communiquer aux sédiments une forte réaction acide ou alcaline selon l'agent utilisé; on peut citer comme exemple le procédé de flottation au cyanure employé pour l'extraction des minerais de cuivre et de fer, par opposition aux agents alcalins employés dans les mines d'or d'Afrique du Sud qui donnent aux déchets un pH allant jusqu'à 11,0.

Le reboisement des déchets traités chimiquement ne peut généralement être tenté qu'une fois que les composés nocifs ont été lessivés et le pH relevé ou abaissé à des valeurs compatibles avec la vie végétale (pH = 3,5 à 8,5). On peut accélérer le processus naturel de lessivage par des méthodes de lavage des sols, bien que cela accroisse considérablement le coût.

Autres formes de déchets

L'élimination des ordures ménagères, notamment au voisinage de grandes agglomérations, a dans le passé été à l'origine de vastes décharges formées de matières organiques et non organiques. En règle générale, les terrains de décharge d'ordures ménagères constituent des sites favorables pour les plantations forestières à la condition qu'ils soient bien drainés. Lorsqu'un mauvais drainage engendre des conditions d'anaérobiose le sol peut devenir toxique du fait de la décomposition de la matière organique et de la libération d'hydrogène sulfuré.

L'amoncellement de déchets provenant des industries chimiques de synthèse peut donner naissance à des terrains de détritiques plus difficiles à traiter. On peut détruire les matières synthétiques d'origine organique par combustion, tandis que les sels et autres composés inorganiques doivent être mis en tas ou enfouis dans des couches profondes perméables du sous-sol.

Choix des techniques de reboisements

Avant d'entreprendre le reboisement de terrains de déchets industriels, le forestier doit procéder à une étude détaillée des facteurs limitants du milieu, qui conditionnent pour une large part la portée et l'intensité du travail de préparation nécessaire, le choix des essences qui doivent combiner adaptabilité à des sols bruts et valeur économique, et les résultats sociaux et économiques finaux à attendre du reboisement.

Etude du milieu

Le site de plantation doit être étudié en vue d'apprécier sa fertilité actuelle ou potentielle, ce qui implique des recherches pour déterminer l'origine des matériaux et leur granulométrie, la topographie des déblais, notamment en rapport avec les risques d'érosion et de glissements, et la présence de sels et composés chimiques nocifs. Lorsque la végétation spontanée a déjà colonisé les déblais, une étude des espèces qui la composent peut permettre de déceler les parties où les conditions de sol se rapprochent des exigences des peuplements forestiers, et donner des indications utiles pour le choix des essences à utiliser dans les différentes stations ou expositions. Les zones évitées par la végétation spontanée peuvent indiquer la présence dans le milieu de facteurs limitants requérant un traitement spécial; la répartition des surfaces colonisées par la végétation aidera certainement à cartographier les divers milieux rencontrés.

Choix des essences

A l'exception des cas favorables où il est possible de couvrir les terrains de déchets d'une bonne couche de sol fertile, le choix des essences de reboisement sera normalement limité dans chaque zone climatique à un petit nombre d'espèces susceptibles de survivre dans des sols plus ou moins bruts et de les enrichir progressivement en humus et en azote. Il se peut que l'on choisisse un mélange d'espèces, dont certaines seront simplement destinées à former un sous-bois ou même un couvert herbacé stabilisant le sol. Des valeurs extrêmes du pH du sol, ou la présence de sels toxiques, peuvent limiter davantage encore le choix possible. Dans tous les cas il est à conseiller d'installer une série de parcelles d'essai pour déterminer quelles sont les espèces les mieux adaptées et les techniques de plantation et de fertilisation qui donneront les meilleurs résultats. Ces essais montreront s'il est possible de planter directement les essences choisies, ou si au contraire il est nécessaire d'installer un peuplement pionnier pour améliorer le milieu en vue de reboiser dans une phase ultérieure. L'apport de bonne terre fertile, ne serait-ce que pour remplir les trous de plantation, sera presque toujours nécessaire pour inoculer le sol avec des microorganismes pédo-formateurs et des symbiotes mycorrhizaux.

Aspects économiques

Le choix du traitement à appliquer se fera en fonction du coût, de l'efficacité des méthodes de reboisement, de la valeur future à attendre du peuplement, et des objectifs finaux de la récupération des terrains.

Les terrains de déchets industriels n'offriront que rarement les conditions d'un reboisement facile et peu coûteux, mais on dispose d'un grand choix de techniques pour améliorer les conditions de croissance des arbres. Pour récapituler, rappelons parmi celles qui sont le plus couramment employées:

- 1) Travaux en courbes de niveau pour réduire les risques d'érosion ou pour faciliter la gestion future;
- 2) Recouvrement des matériaux toxiques ou infertiles par de la terre ou par des déchets de meilleure qualité;

- 3) Neutralisation des déchets fortement acides ou alcalins par l'emploi de chaux, de soufre, ou de déchets de réaction opposée;
- 4) Tamponnement des éléments toxiques par l'emploi de tourbe, d'humus, d'argile, ou d'autres matières ayant une capacité d'échange élevée. La capacité de rétention en eau et la richesse en éléments nutritifs assimilables se trouveront améliorés du même coup;
- 5) Lessivage des sels, acides ou alcalis au moyen d'eau de pluie recueillie par des fossés et des cuvettes ou par irrigation, accompagnée de drainage sur les sols lourds;
- 6) Ameublissement du sol par sous-solage sur les terrains compactés et les déchets sulfurés afin d'améliorer l'aération;
- 7) Fertilisation par apport de fumure organique, d'engrais vert ou d'engrais chimiques;
- 8) Stabilisation superficielle des déblais composés de particules très fines, par pulvérisation de produits agglutinants ou mulch de branchages, ou par l'établissement de brise-vent lorsqu'il y a risque d'érosion éolienne;
- 9) Arrosage ou irrigation des plants si cela est nécessaire pour leur bonne reprise.

Le coût du reboisement sera souvent plus élevé que ne le justifierait la valeur marchande escomptée des produits, mais il convient d'apprécier également certains bénéfices incorporels tels qu'amélioration de l'environnement, création d'espaces de loisirs pour des zones industrielles très peuplées, ou encore protection des terrains contre une poursuite de la dégradation, souvent en rapport avec la lutte contre l'érosion et contre l'alluvionnement et les inondations qui en résulteraient pour les terres agricoles fertiles situées en aval.

BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES

- Al'benskii and Nikitin, P.D. (eds.). Handbook of afforestation and soil melioration. 1967 Translated from Russian in Jerusalem by Israel Program for Scientific Translation. 516 p.
- Atterson, J. and Binns, W.O. Peat nutrients and tree requirements in Forestry Commission plantations. In Peatland forestry: proceedings of NERC Symposium, pp. 127-137. 1975
- Ayers, R.S., and Westcot, D.W. Water quality for agriculture. Rome, FAO. 97 p. Irrigation and Drainage Paper 29. 1976
- Bay, R.R. Rehabilitation potentials and limitations of surface mined land. In Transactions of the 41st North American Wildlife and Natural Resources Conference, pp. 345-355. Washington, D.C., Wildlife Management Institute. 1976
- Ben Aissa, J. Fixation et reboisement des dunes littorales en Tunisie. In Proceedings of 1967 FAO World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. 2, pp. 1087-1097. Rome, FAO.
- Bhimaya, C.P. Sand dune stabilization. Report to the Government of Iran. Rome, FAO. 32 p. 1971 FAO no. TA 2959.
- Bhimaya, C.P. Sand dune fixation. Report to the Government of Iran. Rome, FAO 49 p. 1974 FAO no. TA 3252.
- Binns, W.O. Silviculture on drained areas: fertilisation. In Co-ordinators papers and discussions of the International Symposium on Forest Drainage, pp. 101-107. 1974

- Birot, Y. and Galabert, J. Economie de l'eau et travail du sol dans les plantations forestières de zone sèche. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, no. 127: 29-44; no. 128: 23-37; no. 129: 3-20; no. 130: 12-22.
1969-70
- Booher, L.J. Surface irrigation. Rome, FAO. 160 p. FAO Agricultural Development Paper No. 95.
1974
- Bosshard, W.C. Irrigation methods in Khartoum greenbelt. Forestry Research and Education Project, Sudan. Khartoum Forest Research Institute. 25 p. Pamphlet No. 21.
1966
- Bostanoglu, L. Cours d'aménagement des bassins versants. Démonstration et Formation en Aménagement des Forêts et des Pâturages, Afghanistan. Rome, FAO. 187 p. FO: SF/AFG/67/515, Document de travail.
1973
- British Forestry Commission. Peatland ploughing. Research Information Note 13E16/76/SILN.
1976
- British Forestry Commission. Plough nomenclature and equipment. Research Information Note 28/77/SILN.
1977
- Catinot, R. Sylviculture tropicale dans les zones sèches de l'Afrique. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, no. 111: 19-32 and no. 112: 3-29.
1967
- Constantinesco, I. Soil conservation for developing countries. Rome, FAO. 92 p. Soils Bulletin 30.
1976
- Costin, E. Forestry with special reference to sand dune fixation and establishment of windbreaks. The Agricultural Demonstration and Training Project at El-Kod and Giar, People's Democratic Republic of Yemen. Rome, FAO. 59 p. ESR: SF/SOY3, Research Series No. 5.
1972
- Dastane, N.G. Effective rainfall in irrigated agriculture. Rome, FAO. 62 p. Irrigation and Drainage Paper 25.
1974
- Delwaille, J.C. Le rôle du forestier dans l'aménagement du Sahel. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, no. 160: 3-22.
1975
- Doorenbos, J., and Pruitt, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome, 1977 (revised) FAO. 144 p. Irrigation and Drainage Paper 24.
- FAO 1971a Salinity seminar, Baghdad. Rome, FAO. 254 p. Irrigation and Drainage Paper 7.
- FAO 1971b Irrigation practice and water management. Rome, FAO. 84 p. Irrigation and Drainage Paper 1.
- FAO 1973 Trickle irrigation. European Commission on Agriculture Working Party on Water Resources and Irrigation, Bucharest. Rome, FAO. 153 p. Irrigation and Drainage Paper 14.
- FAO 1974 Report on the FAO/DANIDA inter-regional training centre on heathland and sand dune afforestation. Rome, FAO. 239 p. FOR: TF-INT 56 (DEN).
- FAO 1976 Conservation in arid and semi-arid zones. Rome, FAO. 125 p. FAO Conservation Guide 3.
- FAO 1977 Guidelines for watershed management. Rome, FAO. 293 p. FAO Conservation Guide 1.

- FAO/UNESCO
1973 Irrigation, drainage and salinity. London, Hutchinson and Co., 510 p.
- Firmin, R.
1971 Afforestation. Report to the Government of Kuwait. Rome, FAO. 69 p.
FAO/KU/TF-46.
- Fox, A.V.
1977 Afforestation of difficult sites, eroded areas and steep slopes, with special
emphasis on the Mambilla Plateau (Nigeria). In Savanna afforestation in
Africa, pp. 181-189. Rome, FAO.
- Gaussen, H.
1954 Théories et classification des climats et microclimats. Proceedings of the
eighth International Botanical Congress, Paris, p. 125-130.
- Goor, A.Y., and Barney, C.W.
1976 Forest tree planting in arid zones. New York, The Ronald
Press Co., second edition, p. 504.
- Gormaz, G. M.
1974 Las dunas, Santiago, Chile, Corporación National Forestal. 138 p.
- Gülçür, M., and Nouri, A.K.
1975 Planning of irrigated tree plantation in Iraq. Forestry
Research, Demonstration and Training, Iraq. Baghdad, FAO. 82 p. FO:
SF/IRQ 518, Working Document.
- Heede, B.H.
1976 Gully development and control: the status of our knowledge. Fort Collins,
U.S.A., Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 42 p. USDA
Forest Service Research Paper RM-169.
- Heede, B.H.
1977 Gully control structures and systems. In Guidelines for watershed management,
pp. 181-222. Rome, FAO. FAO Conservation Guide No. 1.
- Horning, H.M. et al.
1977 General aspects of the planning and design of irrigation and drainage
projects. In Mechanization of irrigated crop production, pp. 36-46. Rome,
FAO. FAO Agricultural Services Bulletin 28.
- Iqbal Sheikh, M.
1974 Afforestation in waterlogged and saline areas. The Pakistan Journal of
Forestry, April, 1974.
- Iqbal Sheikh, M., and Masrur, A.
1972 Drip irrigation - a new method of irrigation developed
at Pakistan Forest Institute, Peshawar. The Pakistan Journal of Forestry,
October, 1972: 446-462.
- Jobling, G.A.
1974 Trickle irrigation design manual. Lincoln College, New Zealand Agricultural
Engineering Institute. Miscellaneous Publication nos. 6 and 7.
- Kaul, R.N. (ed.).
1970 Afforestation in arid zones. The Hague, Dr. W. Junk N.V.
- Knabe, W.
1967 Man-made forests on man-made ground. In Proceedings of FAO World Symposium on
Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. 2, pp. 1165-1176.
Rome, FAO.
- Kunkle, S.H., and Thames, J.L.
1976 Hydrological techniques for upstream conservation. Rome,
FAO. 134 p. Conservation Guide 2.
- le Roux, P.J.
1975 Afforestation in low rainfall areas. South African Forestry Journal,
no. 93: 1-6.

- Libyan Ministry of Agriculture. Sand dunes: stabilisation and afforestation. Tripoli, 1973 Agricultural Extension. 32 p. Bulletin no. 33.
- Macmillen, E.H. Rationalization of ploughing operations for drainage. Geneva, ECE/FAO/1965 ILO. 27+ p. UN Publication 65.II.E/Mim. 14.
- Masson, J.L. Subsolación. Unpublished report, Centro de Investigaciones y Capacitación Forestales, Cuba. 14 p. 1973
- Mikola, P. Special techniques for poorly drained sites, including peat bogs, swamps, etc. 1967 In Proceedings of FAO World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. 1, pp. 367-386. Rome, FAO.
- Monjauze, M. Afforestation with the aid of heavy soil working implements. Indian Forester, 1960 86(7): 388-394.
- Netherlands State Agricultural University. Afforestation on eroded soils in Java 1973 (Indonesia). Wageningen, State Agricultural University. 58 p.
- Penman, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the 1948 Royal Society, Series A, 193: 120-145.
- Proceedings of A Symposium on Strip-Mine Reclamation. The Ohio Journal of Science, 64(2): 1964 65-175.
- Research Committee on Coal Mine Spoil Revegetation in Pennsylvania. A guide for revegetating 1965 bituminous strip-mine spoils in Pennsylvania. 46 p. (revised 1971)
- Saccardy, L. Notes sur le calcul des banquettes de restauration des sols. Terres et Eaux, 1950 11: 3-9.
- Saccardy, L. Nécessité de la lutte contre les érosions: méthodes modernes de conservation 1959 des sols et des eaux. Bulletin Technique d'Information, 142 (July - Aug): 411-419.
- Saeed Khan, A. An appraisal of the existing water utilization practices in irrigated 1966 plantations. In Proceedings of the Second Pakistan Silviculture Conference, pp. 149-158. Peshawar, Pakistan Forest Institute.
- Seth, S.K. Methode steppique. Indian Forester, 86(7): 385-387. 1960
- Sheng, T.C. Protection of cultivated slopes - terrains steep slopes in humid regions. In 1977 Guidelines for watershed management, pp. 147-179, Rome. FAO. FAO Conservation Guide No. 1.
- Siddiqui, K.M. Irrigated forest plantations in West Pakistan. In Proceedings of FAO World 1967 Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. 2, pp. 1121-1136. Rome, FAO.
- Skoupy, J. Afforestation in the arid Mediterranean and Near East regions. Silvicultura 1976 Tropica et Subtropica, 5: 3-19.
- Stone, E.C., and Goor, A.Y. Afforestation techniques for arid conditions. In Proceedings 1967 of FAO World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. 1, pp. 345-366. Rome, FAO.

- Terry T.A., and Hughes, J.H. The effects of intensive management on planted loblolly pine
1975 (Pinus taeda L.) growth on poorly drained soils of the Atlantic coastal plain.
In Bernier, B. and Winget, C.H. (eds.), forest soils and forest land management,
pp. 351-377. Quebec Les Presses de l'Université Laval.
- Thames, J.L. (ed.). Reclamation and use of disturbed land in the Southwest. Tucson, U.S.A.
The University of Arizona Press.
- Thornthwaite, C.W. An approach toward a rational classification of climate. Geographical
1948 Review, 38(1): 55-94.
- Tsuriell, D.E. Sand dune stabilization in Israel. Rome, FAO. 21 p. FAO/DEN/TF 114.
1974
- Ursic, S.J. Planting loblolly pine for erosion control in north Mississippi. New Orleans,
1963 U.S.A., Southern Forest Experiment Station. 20 p. USDA Forest Service Research
Paper SO-3.
- USDA Forest Service. Y-LT erosion control handbook. Atlanta, U.S.A., Southeastern Area
1974 State and Private Forestry. 55 p.
- Weidelt, H.J. (compiler). Manual on reforestation and erosion control for the Philippines.
1976 Eschborn, Germany, F.R., German Agency for Technical Cooperation. 569 p.
- Wimbush, S.H. Afforestation of restored tin-mining land in Nigeria. Commonwealth Forestry
1963 Review, 42(3): 255-262.
- Wood P.J. et al. An irrigated plantation project in Abu Dhabi. Commonwealth Forestry
1975 Review, 54(2): 139-146.

CHAPITRE 5
PROTECTION DES REBOISEMENTS

Toute nouvelle plantation est susceptible de subir des dommages dus aux agents atmosphériques, aux attaques d'insectes, de champignons ou de virus, au feu, aux animaux sauvages et domestiques, et à l'homme lui-même. Le degré de risque relatif à chacune de ces causes varie selon les conditions particulières de milieu de la plantation, et doit être évalué au stade de l'élaboration du projet de reboisement, de façon à pouvoir prendre ou tout au moins prévoir les mesures nécessaires lors de l'exécution des travaux.

En théorie on peut imaginer des remèdes pour se protéger contre la plupart des formes de dommages possibles, à l'exception peut-être des ouragans, orages de grêle et autres circonstances atmosphériques extrêmes pour lesquelles les compagnies d'assurances emploient le terme de "cas de force majeure". Les forêts naturelles ou artificielles, en raison du couvert et de l'abri qu'elles procurent, peuvent parfois souffrir d'actes de guerre imprévisibles, mais pour tous les risques prévisibles le principal problème auquel est confronté le forestier est l'appréciation du rapport coût/risque/bénéfice. Une protection totale contre tous les risques, ou contre un ou plusieurs des risques les plus probables, pourra souvent s'avérer si coûteuse que l'investissement du reboisement ne produirait finalement aucun bénéfice financier. Dans ce cas il faut prendre la décision soit d'abandonner le projet, soit d'accepter le compromis d'un certain degré de risque, ramenant ainsi le coût des mesures de protection à un niveau plus acceptable. Il n'est pas toujours facile de prévoir, ou d'évaluer les risques; c'est le cas en particulier lorsqu'on plante des essences exotiques dans un nouveau milieu où les insectes et les champignons locaux peuvent s'adapter à ces nouveaux hôtes. Par contre, la probabilité des autres types de dommages peut souvent être évaluée d'une manière plus exacte, et on peut alors estimer le rapport coût/efficacité des mesures curatives ou préventives à prendre.

On examinera dans les paragraphes qui suivent certains des principaux risques qui menacent les reboisements, et les moyens dont on dispose pour assurer leur protection contre les diverses catégories de dommages possibles.

AGENTS ATMOSPHERIQUES

La fréquence des phénomènes atmosphériques dommageables tels que cyclones, ouragans, orages de grêle, vents desséchants ou chargés de sel, gel intense, fortes chutes de neige, avalanches, etc... est généralement prévisible, mais le forestier ne peut pas faire grand chose pour en protéger les reboisements, sinon planter des essences réputées résistantes, ou localiser les peuplements dans des stations abritées. Certaines essences résistent mieux au vent que d'autres, ou sont moins sujettes aux dommages dus au bris des cimes et des branches lors des coups de vent. D'autres essences tolèrent les embruns salés et

peuvent être plantées en bandes abris le long des rivages pour protéger les essences moins tolérantes qui formeront la plantation principale. Les essences à écorce mince sont plus sensibles que les autres à ce dommage (et aux attaques consécutives d'insectes et de champignons). Les reboisements de Pinus radiata et P. patula ont dû être abandonnés dans beaucoup de régions d'Afrique du Sud en raison des graves attaques de champignons Diplodia pinea associés aux dégâts de grêle; on plante à leur place Pinus elliottii et P. palustris, qui résistent bien aux attaques de Diplodia. Le gel peut parfois causer des dégâts même sur des essences réputées résistantes au froid dans leur habitat d'origine. Les gels tardifs ou hors saison, survenant en dehors de la période de repos de la végétation, peuvent occasionner de sérieux retards de croissance parmi les jeunes plants en tuant les bourgeons tendres des nouvelles pousses terminales. Le remède consiste à choisir des espèces ou provenances à végétation tardive; Picea sitchensis, par exemple, résiste généralement mieux au gel que P. abies, et certaines espèces et provenances d'eucalyptus sont plus résistantes au gel que d'autres. On peut également assurer une certaine protection à des arbres sensibles en les plantant au mélange avec des essences résistantes au froid. Dans les régions très enneigées, il est indispensable de choisir des essences moins sujettes à se rompre sous le poids de la neige.

DEGATS D'INSECTES ET DE CHAMPIGNONS

La plupart des insectes et champignons parasites sont spécifiques de l'espèce hôte. Dans leur habitat naturel, les arbres forestiers, qu'ils soient spontanés ou plantés, parviennent normalement à un état d'équilibre avec les parasites indigènes. Lorsqu'on plante des essences exotiques, il se peut que leurs parasites soient introduits en même temps, et parfois ils acquièrent dans les conditions de leur nouvel habitat une virulence fortement accrue. Des exemples bien connus de ce phénomène sont la rouille du châtaignier (Endothia parasitica), originaire d'Asie, qui a fait des ravages dans les châtaigneraies d'Europe et d'Amérique du Nord, et la maladie de l'orme (Ceratocystis ulmi) qui s'est également propagée en Europe et en Amérique à partir de l'Asie, où la plupart des espèces du genre Ulmus sont résistantes à cette maladie. Il arrive aussi que des essences exotiques soient attaquées par des parasites locaux qui s'adaptent à elles. En Nouvelle Zélande un insecte phytophage indigène (Selidosema suavis) est devenu un danger sérieux pour les plantations de Pinus radiata. Le chancre du cyprès (Monochaetia unicornis) est en Afrique Orientale une maladie bénigne du Juniperus procera indigène, mais est devenue peut-être à la suite d'une mutation génétique, épidémique dans les grandes plantations de l'exotique Cupressus macrocarpa. C'est pourquoi cette essence n'est plus utilisée en reboisement, et est actuellement remplacée par C. lusitanica.

Le risque de dégâts de parasites et de maladies est en règle générale plus élevé si les arbres sont physiologiquement affaiblis, à la suite par exemple d'une préparation insuffisante du terrain, d'une mauvaise exécution de la plantation, de conditions de sol ou de climat défavorable, ou de négligence dans les opérations de désherbage et d'entretien. Mais même des arbres sains sont parfois attaqués. Pour beaucoup de maladies cryptogamiques et virales importantes des arbres forestiers on ne dispose jusqu'à présent d'aucun moyen de lutte, et la meilleure précaution consiste à planter des espèces ou variétés connues pour leur résistance à la maladie.

Les principales précautions à prendre pour se préserver contre des dégâts possibles de parasites et de maladies consistent par conséquent à veiller à ce que les essences de reboisement choisies soient bien adaptées aux conditions climatiques et édaphiques de la station, et à inventorier les parasites indigènes pour s'assurer qu'aucun n'appartient aux formes auxquelles l'espèce choisie est sensible. C'est une tâche qui n'est généralement pas facile, en raison notamment des lacunes de nos connaissances sur les exigences écologiques et la sensibilité aux maladies de beaucoup d'essences exotiques importantes; raison de plus, par conséquent, pour procéder à des essais soigneusement contrôlés et à des plantations expérimentales avant d'entreprendre des travaux de reboisement à grande échelle.

Les soins que l'on apporte à l'installation et à l'entretien des plantations pendant les premières années, en produisant des arbres sains et vigoureux, accroissent leur résistance aux parasites et aux maladies. Si toutefois des symptômes d'attaques apparaissent, il conviendrait de les étudier immédiatement et de chercher à en identifier les causes. Diverses mesures de lutte sont possibles; elles peuvent être sylvicoles, chimiques, biologiques, ou physiques.

Mesures de lutte sylvicoles

Parmi ces mesures sylvicoles on peut mentionner les éclaircies, faites en temps voulu et bien menées, intervenant surtout après que la phase d'installation des peuplements est achevée. Elles aident les plantations à résister aux attaques par l'élimination des arbres mal conformés et dominés, maintenant une végétation saine et vigoureuse. L'extraction et la destruction immédiate des arbres contaminés dans les jeunes plantations peut empêcher efficacement l'extension de l'attaque au reste du peuplement. La plantation d'essences mélangées peut également être considérée comme une méthode de lutte sylvicole là où l'on sait qu'il existe une menace d'infestation. On peut éviter les inconvénients de la plantation en mélange dans une même parcelle ou une même unité de reboisement, qui donnent lieu à des complications dans la gestion ultérieure, en plantant par blocs ou larges bandes alternées de différentes espèces ou genres, par exemple conifères et feuillus, pour faire barrage à l'extension d'une maladie à partir d'un point d'infection initial.

Lutte chimique

On peut également lutter contre les insectes et champignons parasites par l'emploi d'insecticides ou de fongicides chimiques appropriés, qui sont généralement disponibles sous forme liquide (ou poudre mouillable), pulvérulente ou en fumigation. On utilise les pulvérisateurs à dos ou atomiseurs portatifs pour traiter les très jeunes plantations, mais une fois que le couvert est fermé les traitements aériens en pulvérisation, poudrage ou fumigation sont généralement moins coûteux et plus efficaces.

La dieldrine et l'aldrine ont été utilisées avec succès contre les attaques de termites dans les plantations d'eucalyptus tropicaux. On mélange une petite dose d'insecticide à la terre de remplissage des pots en pépinière, ou bien on arrose avec une suspension aqueuse. Ces insecticides sont également efficaces en application sur le sol autour des plants au moment de la plantation.

Les fourmis coupeuses de feuilles, appartenant généralement aux genres Atta et Acromyrmex, sont les principaux parasites des plantations forestières en Amérique du Sud. On peut les détruire avant la plantation et durant la phase d'installation des peuplements par fumigation des nids au bromure de méthyle (parfois mélangé à la chloropicrine pour lui donner une odeur détectable), ou par traitement des nids et des sentiers de fourmis par le mirex ou autres produits. Les appâts empoisonnés, que les fourmis emportent dans les nids souterrains, sont particulièrement efficaces.

Le Dothistroma sur Pinus radiata en Nouvelle Zélande a été combattu avec succès par des pulvérisations cupriques (Gilmour et Noorderhaven, 1973), et une maladie de brunissage des aiguilles, probablement Cercospora pini-densiflorae, qui attaquait sérieusement les plants de pépinière de Pinus caribaea en Malaisie a été maîtrisée par des applications de fongicides tels que Benlate, Topsin N, Daconil et Difolatan 4F (Ivory, 1975).

Les insecticides et fongicides les plus couramment utilisés sont indiqués dans les tableaux 3 et 4.

Lutte biologique

La lutte biologique a été employée contre les insectes avec succès dans certains cas, en général une fois que l'attaque de parasites a pris des proportions épidémiques. En Afrique du Sud et en Afrique Orientale, par exemple, un Mymaride parasite des oeufs importé d'Australie s'est avéré un agent de lutte efficace contre le Charançon de l'eucalyptus, Gonipterus scutellatus, qui est un défoliateur important d'Eucalyptus spp. (Browne, 1968).

Lutte par moyens physiques

La lutte par moyens physiques peut se faire soit par récolte et destruction physique des parasites, soit par élimination d'un hôte alternant. Certaines maladies cryptogamiques, par exemple, ont des hôtes alternants; l'exemple le plus connu est la rouille vésiculeuse du pin Weymouth (Cronartium ribicola) sur Pinus strobus et autres pins à 5 feuilles, l'hôte alternant appartenant à diverses espèces de groseilliers (Ribes). La méthode de lutte employée dans ce cas consiste à éliminer l'hôte alternant par coupe ou par phytocides dans les périmètres de reboisement et dans un rayon d'au moins 3 km alentour.

En Tunisie on a pu lutter contre le Longicorne de l'eucalyptus, Phoracantha semipunctata, par l'emploi d'arbres pièges. On utilise de 10 à 50 arbres pièges par hectare, selon la gravité de l'invasion. On coupe les arbres pièges et, après avoir incisé l'écorce à l'aide d'une machette, on les appuie sur les cimes des arbres restants. Après quelques semaines on extrait les arbres pièges et on enlève et brûle l'écorce avec les insectes qui s'y trouvent. Le bois reste utilisable. On peut également utiliser des stimulants sexuels pour attirer les insectes vers les arbres pièges.

Dans le cas d'insectes indésirables qui font leurs chrysalides dans la couverture morte ou dans l'horizon superficiel du sol, on peut réduire l'incidence des attaques en ratissant et brûlant la litière. Les porcs fougeant dans la litière se sont avérés utiles dans les plantations de pins en Afrique du Sud. En Amérique du Sud, on brûle parfois les fourmis coupeuses de feuilles en imbibant leurs nids de pétrole et en y mettant le feu. On préfère toutefois la lutte chimique.

Tableau 3
Insecticides courants

Parasite	Produits de traitement
Pucerons	DDT, Déméthon-méthyle ^o , Diazimon, Diméthoate ^o , Malathion, Menazon ^o , Mevinphos ^o , Nicotine, Oxydéméton-méthyle, Parathion, Phosphamidon ^o , Schradane ^o , HCH (ou DDT avec HCH), Endrine, Mecarbam.
Coléoptères	HCH, DDT, HCH avec Thirame, Derris, Malathion.
Capsides	DNOC dans les huiles de pétrole (seulement pour les feuillus en période de repos de la végétation), HCH, DDT, Diazinon, Nicotine.
Chenilles	DDT, Derris, Mevinphos ^o , DNOC dans les huiles de pétrole, Arséniate de plomb, "Rhothane", Carbaryl, Endrine.
Fourmis coupeuses de feuilles	Mirex, Aldrine, Dieldrine, Heptachlore, Chlordane, HCH, Lindane
Cicadelles et mineuses de la feuille	HCH, DDT, Malathion, Diazinon, Nicotine, Parathion.
Acaris et araignées rouges	Déméton-méthyle ^o , Oxydéméton-méthyle ^o , Schradane ^o , Tétradifon, Azinphos-méthyle, Chlorbenseide, Chlorfenson, Diméthoate ^o , Ethion, "Kelthane", Malathion, Phosphamidon ^o .
Tenthredes	HCH, HCH avec DDT, Endrine, Phosphamidon ^o .
Parasites du sol (termites, vers blancs, vers gris)	Aldrine, Dieldrine, HCH, DDT, Arséniate de plomb.
Charançons	DDT, Aldrine, Dieldrine, Rhothane.

*Insecticides systémiques (qui sont absorbés et circulent dans la sève)

Tableau 4
Fongicides courants

Maladie	Produits de traitement
Fonte des semis dans les pépinières, rouille des aiguilles (<u>Scirrhiza acicola</u>), rouille vésiculeuse (<u>Cronartium comptoniae</u>).	Bouillie bordelaise, Captan Orthicide
Rouille des cônes ("Southern cone rust") (<u>Cronartium strobolinum</u>).	Ferbame
Rouille du Genévrier de Virginie ("Cedar blight") (<u>Phomopsis juniperovora</u>).	Lactate phényl-mercurique de triéthanol-ammonium
Mildios, Gale, <u>Dothichiza</u> sp.	Bouillie sulfo-calciqne
Rouille des aiguilles ("Needle blight") (<u>Dothistroma pini</u>), Rouge du pin (<u>Lophodermium pinastri</u>).	Fongicides cupriques
Pourritures des racines (<u>Fomes annosus</u> , <u>Armillaria mellea</u>).	Créosote (appliquée au pinceau sur les souches fraîchement coupées)

DEGATS D'ANIMAUX

Animaux sauvages

Les dégâts causés aux forêts par les animaux sauvages prennent principalement la forme d'abrutissement ou décorçage des arbres. Les animaux responsables de ces dommages appartiennent à trois ordres principaux:

- les rongeurs (rats, souris, campagnols, écureuils, chipmunks, porcs-épics);
- les lagomorphes (lièvres et lapins);
- les artiodactyles (cervidés, antilopes, suidés et buffles).

Dans certaines régions du monde, des dégâts sérieux sont causés également par des proboscidiens (éléphants en Afrique et en Asie méridionale), des marsupiaux (opossums en Australasie et dans les Amériques) et des primates (singes en Afrique, en Asie et en Amérique du Sud). Les oiseaux granivores sont également une source fréquente d'ennuis, notamment lorsqu'on reboise par semis direct.

Les principales méthodes de lutte contre les dégâts d'animaux sauvages utilisent: 1) les clôtures, haies et fossés; 2) les appâts empoisonnés; 3) le tir et le piégeage.

Clôtures, haies et fossés

L'établissement de barrières telles que clôtures en barbelé ou haies vives impénétrables (buissons épineux, cactus, etc...) représente le moyen le plus efficace pour prévenir les incursions de la plupart des animaux sauvages, à l'exception des grimpeurs, des très petits animaux (rats, campagnols, etc...) et des très grands (éléphants, buffles).

Les clôtures sont faciles à établir au moment du reboisement, mais sont généralement coûteuses. Lorsqu'on ne peut employer un autre moyen de protection, il faut bien consentir à cette dépense.

Les types de clôture varient selon le genre d'animaux qu'il faut écarter, et selon les matériaux dont on dispose. Les clôtures courantes contre les cervidés ont 2 mètres de haut et sont constituées de 6 fils de fer barbelé tendus sur des piquets de fer cornière ou des poteaux de bois à intervalles de 3 à 4 mètres. En Europe, une clôture pour cerfs durable sur piquets métalliques coûte cher; une clôture en treillis métallique sur poteaux de bois créosotés est beaucoup moins coûteuse. Lorsque les lapins et les lièvres sont la principale source d'ennuis, il est indispensable de placer un treillis à mailles fines (107 cm x 3 cm) à la partie inférieure de la clôture. En Grande Bretagne, il est pratique courante d'enterrer en outre la base du treillis à 15 cm dans le sol pour empêcher les lapins de creuser par-dessous la clôture. On a également utilisé la clôture électrique contre les animaux sauvages et le bétail domestique, mais en général elle ne s'est pas avérée satisfaisante. Dans les climats très secs, les clôtures électriques sont inefficaces si elles ne sont pas pourvues d'un fil de retour.

On utilise parfois des clôtures en palissade, lorsque le barbelé est trop coûteux ou trop difficile à se procurer et qu'on dispose en abondance de petits bois ronds. On a utilisé au Kenya un type de palissade qui s'est avéré efficace contre la plupart des animaux sauvages pour les plantations en taungya. Elle consiste en poteaux plantés par paires tous les 2 mètres, laissant entre eux un intervalle de 1 mètre que l'on remplit de perches et de branchages provenant du défrichage. Dans la zone sahélienne d'Afrique, on construit parfois des clôtures ou "zeriba" à l'aide de branches d'épineux plantées en terre.

Pour écarter les éléphants et autres grands animaux, un système de douves constitué de fossés de 2 x 1,50 mètres recouverts de branchages s'est révélé très efficace au Kenya.

On utilise dans beaucoup de pays, pour écarter les animaux sauvages ou, plus souvent, les herbivores domestiques, des haies formées de buissons ou d'arbres, souvent d'espèces épineuses, plantés à intervalles serrés sur toute la périphérie. Au Kenya on signale que des essais de plantation d'eucalyptus à 1 mètre d'intervalle autour des reboisements conifères ont donné des résultats satisfaisants pour écarter les très grand animaux.

Les haies vives présentent dans leur emploi un certain nombre de limitations:

- 1) Elles doivent être installées plusieurs années avant les travaux de plantation, ce qui est souvent peu pratique ou même impossible;
- 2) Elles requièrent un entretien fréquent, et il faut les tailler et les former pour maintenir leur efficacité;
- 3) Elles ne sont pas efficaces contre les petits animaux;
- 4) Elles sont sujettes aux dommages par abroustissement et écorçage, et par le feu;
- 5) Elles occupent plus d'espace que les clôtures mortes;
- 6) Elles gênent la circulation des véhicules.

Appâts empoisonnés

La destruction des petits mammifères tels que rongeurs et léporidés se fait principalement par l'emploi de poison, distribué en appâts ou appliqué directement sur la végétation basse ou sur les semences forestières. La plupart des produits employés sont du type poison "de contact", et ne sont efficaces que tant qu'ils restent à la surface des végétaux ou des semences, mais on étudie actuellement la possibilité d'employer des poisons systémiques, absorbés et circulant dans la plante, et assurant une protection de beaucoup plus longue durée.

La strychnine, le phosphore de zinc, l'arsénite de sodium, la warfarine, le "1080", le sulfate de thallium, sont quelques exemples parmi les nombreux produits employés en appâts empoisonnés. En Australie on emploie couramment pour détruire les lapins la distribution par avion de carottes hachées traitées au "1080".

On a utilisé comme répulsif des émulsions d'endrine et d'aldrine et du toxaphène (camphène chloré) en pulvérisation sur la végétation ou sur les jeunes arbres.

On a utilisé divers poisons pour traiter les semences en vue de réduire les dégâts de rongeurs et d'oiseaux. L'endrine, formulation non phytotoxique contenant du thirame (bisulfure de tétraméthylthiurame), est le produit le plus employé notamment pour les semences de conifères. L'endrine a trouvé récemment de nouvelles applications comme répulsif sur les semences forestières, à dose sublétales.

Les animaux grégaires vivant en terriers peuvent être détruits par fumigation ou gazage à l'aide de chloropicrine, phosphine, monoxyde de carbone ou cyanure. Un nouveau produit de fumigation, qui fait l'objet d'essais à grande échelle au Victoria et en Australie Occidentale, se compose de monoxyde de carbone combiné à un agent moussant, que l'on injecte dans les terriers pour tuer les lapins et laisser les galeries enduites d'une écume répulsive.

Les principales limitations à l'utilisation des poisons chimiques sont leur toxicité pour les ouvriers qui les manipulent et pour les animaux non nuisibles, et les interdictions d'emploi en vigueur dans de nombreux pays.

Tir et piégeage

On emploie également le tir et le piégeage comme moyens de destruction des animaux sauvages, souvent en association avec les clôtures et le poison. Lorsque ces animaux ont une certaine valeur par leur chair ou leurs trophées, leur destruction peut souvent être effectuée par des chasseurs bénévoles sans dépense (et même parfois avec un profit financier) pour le projet de reboisement.

Dégâts d'animaux domestiques

L'abrutissement par les troupeaux de moutons, chèvres et bovins, et plus rarement d'équidés, peut dans certains pays constituer un danger majeur pour les jeunes reboisements.

On utilise couramment des haies et clôtures pour empêcher les incursions d'animaux domestiques. Dans d'autres cas, notamment lorsque le coût des clôtures est prohibitif, on peut les réprimer par gardiennage, et par poursuites judiciaires à l'encontre des propriétaires de bétail divagant. La mise en fourrière et la confiscation des animaux sont parfois des moyens de dissuasion efficaces.

Dans nombreuses régions, particulièrement dans les zones sèches, la libre pâture des chèvres est une pratique traditionnelle sur les terres de parcours dégradées et soumises à l'érosion. Le clôturage de grandes superficies pour le reboisement peut entraîner un bouleversement dans les habitudes et dans l'économie des collectivités intéressées. Dans ce cas il serait malavisé de commencer le reboisement avant de leur avoir procuré de nouveaux moyens d'existence pour compenser les restrictions apportées à leur utilisation traditionnelle des terres. Cela implique généralement la nécessité de mettre en oeuvre des programmes de développement rural intégré comportant une amélioration de l'agriculture et de l'élevage, ainsi que des voies de communication, la construction d'écoles et de dispensaires, la création de nouveaux emplois par le développement d'activités rurales, y compris les travaux de reboisement et les petites industries du bois. Dans certains cas, les actions de développement peuvent comporter un encouragement à une émigration localisée vers de nouveaux centres industriels, comme cela s'est passé dans le Sud de la Yougoslavie à la suite de l'interdiction de la libre pâture des chèvres dans les années cinquante.

Domages causés par l'homme

Ils peuvent prendre de nombreuses formes: empiètement des cultures, détournement des cours d'eau, prélèvement de bois et autres produits forestiers, chasse et pêche illégales, dégâts de promeneurs. En général le risque de dégâts dus au passage des humains n'est pas très élevé dans le cas de jeunes plantations, sinon dans la mesure où il accroît les dangers d'incendie. Là où ces formes d'infraction constituent un danger, ou risquent de devenir plus tard une source d'ennuis, on sera avisé de faire la part des besoins des collectivités locales dès le début des travaux de reboisement. On pourra à cet effet, par exemple, réserver une partie des surfaces reboisées pour la production de bois de chauffage, perches et autres produits recherchés par les populations locales, offrir des possibilités de chasse et de pêche autorisées, ou encore cantonner les promeneurs dans des parties de forêts spécialement réservées pour les loisirs, et pourvues d'aires de pique-nique, de terrains de camping et de gîtes forestiers.

PROTECTION CONTRE LE FEU

Le risque d'incendie

Le feu représente dans la plupart des pays une menace sérieuse pour les plantations forestières. Le risque d'incendie s'accroît naturellement dans les climats arides, mais même dans les climats humides et à forte pluviométrie il y a souvent des périodes chaudes et sèches où le risque d'incendie est élevé. Dans beaucoup de régions du monde le brûlage annuel ou périodique de la végétation est de pratique courante, et lorsqu'on veut y entreprendre des reboisements il faut dès le début accorder une attention toute particulière au problème des incendies.

Les feux de forêt peuvent avoir pour origine des causes naturelles telles que la foudre, mais la plupart résultent des activités humaines. Les incendies dans les reboisements peuvent partir de feux allumés par les campeurs et les pique-niqueurs, de l'extension de feux allumés sur les terres agricoles en lisière de forêt, des activités des chasseurs, ou des brûlages pratiqués par les bergers pour régénérer le pâturage. On relève même des cas de mise à feu délibérée pour créer de l'emploi dans la lutte contre le feu ou la replantation des superficies brûlées, ou encore pour manifester contre la politique suivie par le service forestier. Les adjudicataires forestiers ayant souvent un comportement négligent vis-à-vis du feu, il est recommandé d'insérer dans leurs contrats des clauses concernant la protection contre les incendies. Si l'on ne peut empêcher que les conditions climatiques engendrent un danger potentiel d'incendie élevé, on peut par contre faire beaucoup pour réduire les risques de mise à feu en éduquant le public, en intéressant la population locale à la sauvegarde de la forêt, et en poursuivant une politique qui tienne compte des intérêts politiques, sociaux et économiques de la collectivité.

Lorsque les reboisements ne sont pas, ou sont seulement partiellement dés herbés, ils sont particulièrement vulnérables au feu durant la phase d'installation. Par contre, lorsqu'ils sont entretenus à sol nu, il n'y a aucun risque d'incendie; le travail du sol élimine tout combustible à la surface du sol et assure une protection totale des surfaces plantées. Une fois que le couvert du peuplement se ferme, s'il est suffisamment dense pour empêcher la croissance des graminées et autres adventices, le risque d'incendie reste faible. Il est élevé par contre si les cimes des arbres sont clairsemées et permettent le développement d'une végétation herbacée dense.

Le principe fondamental de la protection des reboisements contre le feu est que lorsqu'il n'y a pas suffisamment de matériaux combustibles pour permettre à un feu de surface de se propager il y a peu ou pas de danger d'incendie. Il ne peut y avoir d'incendie dangereux que lorsque le feu peut se développer au niveau du sol.

Prévention des incendies et réduction du risque potentiel

Le tracé d'un parcellaire de reboisement est conditionné par un certain nombre de facteurs déjà mentionnés, mais la lutte contre l'incendie est l'un des éléments les plus importants à considérer; elle influe non seulement sur le tracé des routes et pare-feu, mais également sur les dimensions des parcelles et des blocs, entre autres points. Un reboisement demande à la fois l'établissement d'un "plan d'incendie", et la création d'une section d'intervention contre le feu. Un des aspects les plus importants du plan d'incendie doit être de pourvoir à l'entraînement du personnel en matière de lutte contre le feu. La section de lutte contre l'incendie sera responsable des brûlages contrôlés, de l'entretien des pare-feu, de l'évaluation du danger d'incendie, de l'entretien des postes-vigies, de la détection et de l'alerte, et des premières interventions.

Le feu peut partir de l'extérieur et pénétrer dans le reboisement, ou s'étendre à partir d'un point situé à l'intérieur. Les actions de prévention et de lutte doivent donc être étudiées en vue de faire face à ces deux origines possibles d'incendie.

Pare-feu

Le rôle d'un pare-feu est à la fois de fournir une voie d'accès à travers les reboisements, et de constituer une barrière contre le feu débarrassée de combustibles. On les oriente en général perpendiculairement à la direction des vents dominants pendant la saison sèche. Une route peut constituer par elle-même un pare-feu; on peut la compléter par une bande labourée de faible largeur pour former un pare-feu mixte. Les pare-feu entretenus par labour peuvent être inefficaces si le couvert herbacé dense n'est qu'incomplètement éliminé par le travail du sol; par ailleurs celui-ci accroît le coût du pare-feu. Les pare-feu larges à sol cultivé ont toutes les apparences de l'efficacité, mais leur largeur est rarement suffisante pour empêcher leur franchissement par des flammèches lors de feux de forte intensité. En outre de leur coût élevé d'établissement et d'entretien, ils présentent le défaut de canaliser l'écoulement de l'air le long de la tranchée et de provoquer des turbulences à la lisière des peuplements.

Les pare-feu verts plantés d'essences appropriées, généralement à feuillage persistant, représentent une autre possibilité. On demande avant tout à un pare-feu boisé d'avoir un couvert fermé et un sol propre, que l'on maintient libre de litière par brûlage périodique. Lorsqu'on pratique le brûlage contrôlé, les pare-feu boisés deviennent en grande partie superflus, étant donné qu'on leur applique le même traitement qu'au reste du reboisement.

En raison des défauts présentés par les divers types de pare-feu, on s'oriente vers la formule de réseaux internes serrés de pistes étroites, avec une emprise nettoyée d'au moins 7 mètres, servant de voies d'accès et de pare-feu entre les parcelles. On maintient en même temps des routes-pare-feu périphériques lorsqu'il y a risque de feux provenant de l'extérieur du périmètre. Pour empêcher le feu venant de zones avoisinantes de pénétrer dans les reboisements, on pratique souvent un brûlage contrôlé sur les limites.



Bien que la tendance actuelle soit aux pare-feu étroits, on utilise encore des pare-feu larges, comme par exemple dans les plantations de Pinus patula du plateau de Viphya au Malawi, où l'on donne la préférence à des pare-feu de 200 mètres de largeur. Là où c'est possible, on les implante de façon à tirer parti des accidents topographiques tels que crêtes rocheuses par exemple. Les pare-feu sont incinérés chaque année pour réduire la masse de combustible; en outre on laboure une bande de 2 mètres de large sur tout le pourtour des reboisements pour prévenir la pénétration des feux de surface.
(Photo D.A. Harcharik)

Brûlage préventif

On procède à un brûlage préventif dans les reboisements de manière telle qu'il n'en résulte aucun dommage pour le peuplement. Il est par conséquent restreint aux essences à écorce épaisse, et est rarement possible avant que les cimes des arbres ne soient largement hors d'atteinte des feux de surface (c'est-à-dire après fermeture du couvert). L'époque du

premier brûlage préventif dans les jeunes plantations est un point délicat à déterminer; pour les pins une hauteur moyenne comprise entre 8 et 11 mètres pourra représenter l'optimum dans un grand nombre de cas, mais cet optimum variera selon les conditions locales.

Lorsque la couche de combustible est épaisse, le brûlage ne doit pas viser à l'éliminer complètement en une seule opération, du fait que des conditions favorables pour un brûlage unique pourraient engendrer un feu trop intense qui endommagerait inévitablement les arbres. Les combustibles lourds peuvent au contraire être éliminés par plusieurs brûlages successifs, consommant à chaque passage une certaine proportion de matériaux combustibles.

Le brûlage préventif s'effectue dans des conditions atmosphériques exactement définies, qui permettent d'obtenir le modèle de comportement du feu prescrit. Le moment le plus favorable se situe à la fin de la saison des pluies, ou au début de la saison sèche, et à la nuit, ou du moins après les heures les plus chaudes de la journée. Avec l'expérience on doit pouvoir apprécier quelle sera, pour un ensemble donné de conditions, la période à laquelle le brûlage préventif sera le plus efficace.

Les prescriptions générales suivantes valent pour la plupart des cas (Cheney, 1971):

- 1) Procéder à des essais de brûlage pour déterminer a) la vitesse de propagation du feu et b) à quel moment le feu est susceptible de s'éteindre de lui-même; ces essais doivent avoir lieu avant la date des opérations de brûlage principales.
- 2) Si la vitesse de progression du feu excède 60 cm par minute, le brûlage ne doit pas être effectué.
- 3) Le brûlage ne doit avoir lieu que par vent calme ou de vitesse inférieure à 8 km/h.
- 4) On ne doit faire aucun brûlage si l'humidité relative tombe en-dessous de 35% pendant la journée.
- 5) Le brûlage doit commencer dans l'après-midi ou plus tard lorsque l'humidité relative remonte au-dessus de 50%.
- 6) S'il y a des herbes hautes dans le reboisement, le brûlage doit se faire avant que ces herbes annuelles ne soient complètement sèches.

Détection et évaluation du danger d'incendie

Détection des incendies

Un bon système de détection est généralement basé sur un réseau de tours-vigies, implanté de façon à assurer une couverture maxima des reboisements et des zones alentour, et à permettre une triangulation aisée pour pouvoir reporter des visées croisées précises. Chaque tour doit être équipée d'une alidade, de jumelles et de radio ou téléphone. Le réseau de détection doit être mis en place dès le début des opérations de reboisement.

Évaluation du danger d'incendie

Là où les risques potentiels d'incendie sont élevés, il est recommandé de mettre sur pied un système de calcul de l'indice de danger d'incendie. Ce système de calcul qui fait intervenir les quatre grands facteurs météorologiques influant sur le comportement du feu - température, humidité relative, vitesse du vent et effets de la sécheresse à court et long termes - peut être aisément adapté à la plupart des cas.

Techniques de lutte contre l'incendie

Un point essentiel dans la lutte contre le feu est d'avoir des moyens de transport appropriés pour amener le personnel sur place le plus rapidement possible. Si on les attaque promptement, la plupart des feux peuvent être facilement éteints avec des moyens manuels. La liste suivante indique les équipements appropriés pour une équipe d'intervention:

- pompes à dos
- Pelles - légères, à bout pointu
- Haches (de préférence de 1,8 kg)
- machettes
- houes - (à long manche et lame large)
- torches électriques - (pour les opérations de nuit)
- provisions d'eau de boisson
- trousse médicale

Comme autres équipements individuels on peut mentionner le rateau-houe australien ou outil MacLeod, et les torches pour allumage de contre-feux.

Il existe une variété considérable de matériels mécaniques pour la lutte contre les incendies de forêt: pompes, camions citernes et unités de tracteurs, qui peuvent être nécessaires dans certaines circonstances. Pour pouvoir utiliser efficacement les pompes d'incendie, il faut disposer de réserves d'eau adéquates accessibles à faible distance. Si l'eau se trouve en quantité insuffisante ou à trop grande distance, on doit recourir à des méthodes de lutte qui n'exigent pas de grands volumes d'eau.

Il n'y a sans doute pas deux feux qui se comportent de la même manière, mais les principes généraux de lutte indiqués ci-dessous sont susceptibles de s'appliquer dans des situations déterminées:

- 1) Le premier point d'attaque doit être le front du feu, suivi par le flanc au vent.
- 2) Des lignes d'arrêt parallèles à la lisière du feu pourront être établies:
 - a) par ratissage ou piochage à la houe découvrant le sol minéral;
 - b) en repoussant les matériaux combustibles directement dans le feu.
- 3) Les contre-feux peuvent être très efficaces mais requièrent des équipes expérimentées. On ne doit les entreprendre qu'à moins de 100 mètres en ligne droite du front du feu.
- 4) Lorsque l'eau est rare, il faut l'utiliser efficacement; cela est particulièrement important dans les opérations de nettoyage.
- 5) Le nettoyage du terrain consiste à éteindre tous les matériaux en ignition se trouvant dans les 20 mètres à l'intérieur de la ligne d'arrêt. Il est indispensable de poursuivre le nettoyage et les patrouilles jusqu'à extinction complète du feu. De nombreux feux apparemment éteints sont repartis après avoir été abandonnés trop tôt.

Il est indispensable d'entraîner les cadres et la main d'oeuvre aux techniques de lutte contre l'incendie. Des exercices d'entraînement doivent être organisés périodiquement, mais un entraînement trop fréquent peut diminuer plutôt qu'accroître l'intérêt et l'efficacité.

BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES

- Bakshi, B.K. Diseases of man-made forests. In Proceedings of FAO World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. 1, pp. 639-661. Rome, FAO. 1967
- Boyce, J.S. Forest plantation protection against diseases and insect pests. Rome, FAO. 1954 41 p. FAO Forestry Development Paper No. 3.
- Boyce, J.S. Forest pathology. New York, McGraw-Hill Book Co., 572 p. 1961
- British Forestry Commission. Principal butt rots of conifers. London, Her Majesty's Stationery Office. Forestry Commission Booklet No. 13. 1965
- British Forestry Commission. Forest fencing. London, Her Majesty's Stationery Office. 1972 Forest Record No. 80.
- Browne, F.G. Pests and diseases of forest plantation trees. Oxford, Clarendon Press. 1968 1330 p.
- Brüning, E.F. Protection against inorganic damage - types of damage other than fire. In Proceedings of FAO World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. 1, 757-772 p. Rome, FAO. 1967
- Cheney, N.P. Fire protection of industrial plantations. Forest industries feasibility study, Zambia. Rome, FAO. Technical Report 4. 1971
- Czabator, F.J. Fusiform rust of southern pines - a critical review. New Orleans, U.S.A., Southern Forest Experiment Station. 39 p. USDA Forest Service Research Paper 50-65. 1971
- FAO Proceedings of FAO/IUFRO Symposium on Internationally Dangerous Forest Diseases and Insects. Rome, FAO 2 vols. 1964
- FAO Proceedings of Second FAO World Technical Consultation on Forest Diseases and Insects. New Delhi, India. in press
- Fettes, J.J. & Buckner, C.H. Biocides in the forest - use and misuse. Paper for Seventh World Forestry Congress, Buenos Aires. 8 p. 1972
- Gibson, I.A. Diseases of forest trees widely planted as exotics in the tropics and southern hemisphere. Part I: important members of the Myrtaceae, Leguminosae, Verbenaceae and Meliaceae. Kew, U.K., Commonwealth Mycological Institute. 51 p. 1975
- Gilmour, J.W. & Noorderhaven, A. Control of Dothistroma needle blight by low volume aerial application of copper fungicides. New Zealand Journal of Forestry Science, 3(1): 120-136. 1973
- Gooding, C.D. Rabbit fumigation. Western Australia, Department of Agriculture. Bulletin 1963 No. 3096.
- Gray, B. Economic tropical forest entomology. Annual Review of Entomology, Vol. 17: 313-354 p. 1972
- Greig, B.J.W. & McNabb, H.S., Jr. Management of Fomes annosus root rot disease in pine crops in Britain. Iowa State Journal of Research, 50(3): 287-292 p. 1976
- Hancock, M.J.D. Control del fuego en el establecimiento y mantenimiento de bosques de Pinus caribaea. Investigación sobre el Fomento de la Producción de los Bosques del Noreste de Nicaragua. Rome, FAO. 113 p. FO:SF/NIC/9, Informe Técnico 4. 1973

- Heidmann, L.J. Frost heaving of tree seedlings: a literature review of causes and possible control. Fort Collins, U.S.A., Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 10 p. USDA Forest Service General Technical Report RM-21. 1976
- Gepting, G.H. Diseases of forest and shade trees of the United States. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office. 658 p. Agriculture Handbook 386. 1971
- Hochmust, R. & Milán Manso, D. Protección contra las plagas forestales en Cuba. Habana, Instituto Cubano del Libro. 290 p. 1975
- Holloway, C.W. The protection of man-made forests from wildlife. In Proceedings of FAO World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. 1, 697-715 p. Rome, FAO. 1967
- IUFRO. Diseases of widely planted forest trees. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office. 237 p. 1964
- Ivory, M.H. The pathology of Pinus spp. in West Africa. The Commonwealth Forestry Review, 54(2), No. 160: 154-165. 1975
- Kimball, E.C. Fire control. Demonstration and Training in Forest, Forest Range and Watershed Management, the Philippines. Rome, FAO. 62 p. FO: SF/PHI 16, Technical Report 10. 1971
- McArthur, A.G. Fire protection of man-made forests. In Proceedings of FAO World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. 1 717-745. Rome, FAO. 1967
- Mobley, H.E. et al. A guide to prescribed fire in southern forests. Atlanta, Georgia, U.S.A., USDA Forest Service, State and Private Forestry. 40 p. 1973
- Nordin, V.J. Biological control of forest diseases. Ottawa, Canadian Forestry Service. 65 p. 1972
- Pawsey, R.G. & Rahman, M.A. Chemical control of infection by honey fungus, Armillaria mellea: a review. The Arboricultural Journal, 2(8). 1976
- Roberts, R.B. (ed.). Pesticide spray applications, behaviour and assessment: workshop proceedings. Berkely, U.S.A., Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. 68 p. USDA Forest Service General Technical Report PSW-15. 1973
- Roth, E.R. Resistance: a literature review of important insects and diseases. Atlanta, U.S.A., USDA Forest Service. 59 p. 1970
- Show, S.B. & Clarke, B. Elements of forest fire control. Rome, FAO, 110 p, FAO Forestry and Forest Products Studies No. 5. 1953
- Smalley, E.B. Results in practice - forestry. Chapter II, Part V of Systemic fungicides, R.W. Marsh (ed.), 294-319 p. London, Longman. 1977
- Torrent, J. & Romanyk, N. Protección contra plagas. In Proceedings of FAO World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol.1, 663-696 p. Rome, FAO. 1967
- USDA Forest Service. Prescribed Burning Symposium Proceedings. Asheville, U.S.A., Southeastern Forest Experiment Station. 160 p. 1971
- Wilson, C.C. Protecting conifer plantations against fire in the Mediterranean Region. Paper for the FAO/UNESCO Technical Consultation on Forest Fires in the Mediterranean Region. Rome, FAO. 29 p. 1977

CHAPITRE 6

PLANIFICATION DU REBOISEMENT*

INTRODUCTION

La planification peut se faire à différents niveaux. L'exemple ci-dessous montre le type d'objectifs que l'on peut se fixer à ces différents niveaux de planification:

<u>Niveau</u>	<u>Exemple</u>
1. Politique forestière nationale ou objectif national en matière de forêts	Assurer l'autosuffisance du pays en bois en 2010.
2. Objectif de production forestière nationale	produire annuellement X millions de m ³ de bois de pâte en 2010, avec un taux d'accroissement ultérieur de 5% par an.
3. But du projet	Plantation annuelle de 2 000 ha de <u>Pinus patula</u> et 500 ha d' <u>Eucalyptus grandis</u> dans la région A, pour la production annuelle de Y m ³ de bois de pâte à fibres longues et Z m ³ de bois de pâte à fibres courtes à une révolution de 20 ans et 10 ans respectivement.
4. Planification des opérations	Prévoir à l'avance les méthodes et les époques de récolte des semences, la création de pépinières, les travaux de préparation du terrain, etc.... de manière à réaliser l'objectif du projet de la manière la plus efficace possible.
5. Exécution ou gestion	Traduire les plans d'opérations en action réelle.

Une publication précédente (FAO, 1974) a passé en revue les principaux aspects de la planification de la mise en valeur forestière et les méthodes à employer pour déterminer le rôle à attribuer au secteur forestier dans la planification nationale, définir ce rôle en termes d'objectifs sectoriels, traduire ceux-ci en données quantitatives, et enfin identifier et évaluer les projets à l'intérieur de ce cadre. On n'y traitait pas de la planification des opérations, c'est-à-dire la recherche d'un équilibre à court terme entre travaux et

ressources et la réalisation des programmes de travaux en fonction d'un calendrier d'exécution. Un autre document (Fraser, 1973), traitant de la planification des reboisements, comprenait un chapitre sur la planification des opérations, mais celle-ci concernait surtout les phases de définition des projets, rassemblement des données et évaluation des projets.

Dans le présent chapitre on traitera uniquement de la planification des travaux de reboisement, autrement dit, des prévisions relatives à la gestion des projets de reboisement. Ce genre de planification suppose l'existence de directives précises laissant au responsable du projet peu de liberté de choix sur ce qu'il doit faire mais une certaine latitude en ce qui concerne la manière dont il peut le faire.

Bien qu'on se limite délibérément dans ce chapitre à la planification au niveau exécution des projets de reboisement, il convient de souligner les relations étroites qui existent entre les différents niveaux ou phases de la planification. Les méthodes élaborées pour réaliser un objectif à un certain niveau de planification peuvent souvent devenir à leur tour objectif au niveau de planification immédiatement inférieur. Par exemple, l'expérience acquise dans l'exécution d'un plan d'opération peut indiquer comment il doit être amélioré, tandis que les objectifs des projets peuvent être modifiés périodiquement pour répondre aux changements dans les besoins nationaux. Comme on l'a souvent énoncé, la planification est un processus itératif.

PLANIFICATION DES PROJETS DE REBOISEMENT

La planification des opérations de reboisement fournit un programme d'action destiné à réaliser les objectifs du projet. Elle indique quels sont les travaux à effectuer, et où, comment et dans quels délais ils doivent être exécutés. Les actions forestières étant par nature des actions à long terme, il est indispensable que les directives de la planification du reboisement soient consignées sous la forme d'un plan d'exécution précis.

Le responsable d'un projet de reboisement pourra être concerné par trois niveaux de planification du projet:

1. Un plan-cadre de gestion à long terme du projet, pouvant couvrir une révolution ou plus. Etabli lors de la phase de définition et d'évaluation du projet, il fournit le cadre dans lequel le responsable du projet devra préparer un plan de gestion plus détaillé lors de la phase de planification de l'exécution.
2. Le plan de gestion du projet de reboisement, couvrant le moyen terme et fournissant les informations de base et les prescriptions de gestion.
3. Un programme annuel de travaux, indiquant les travaux à faire, les moyens à mettre en oeuvre, et le calendrier d'exécution. On peut généralement l'établir sous une forme normalisée, avec une répartition par mois et par semaine.

RASSEMBLEMENT DES DONNEES

L'obtention des données utiles est un point essentiel à toutes les phases de la planification, et la quantité et la nature des données complémentaires nécessaires dans la phase d'exécution dépendra dans une large mesure de la qualité des données rassemblées lors des phases précédentes. Dans certains cas, lorsque les phases de définition et d'évaluation du projet ont été promptement et judicieusement menées, on pourra n'avoir besoin que de très peu de données complémentaires. Les données nécessaires pour un plan de gestion de projet de reboisement concernent les ressources disponibles, les modalités d'exécution, et les données institutionnelles; elles serviront à la fois dans la partie descriptive et dans les prescriptions d'exécution. Une grande partie des données techniques et économiques proviendront de travaux de reboisement antérieurs, de projets pilotes ou d'expérimentations. Les données concernant l'organisation des travaux seront tirées des résultats enregistrés

précédemment soit dans la zone du projet soit dans des conditions comparables ailleurs. Là où l'on n'a pas encore rassemblé de données suffisantes, il pourra être nécessaire de procéder à des études préalables sur le terrain. Il arrive très souvent que l'on ne dispose pas de données telles que les éléments de coût, et il faut alors recourir à des estimations, tout en soulignant la nécessité de combler par la suite les lacunes en rassemblant les données nécessaires.

Données sur les ressources

Les données à rassembler concernent les ressources en terres, en plants forestiers, en équipement et fournitures, en main d'oeuvre et encadrement, et les ressources financières. Pour chacune de ces ressources il faut connaître: les disponibilités, la productivité, et les coûts.

Ressources en terres

La première condition pour un projet de reboisement est de disposer d'une superficie suffisante de terrains susceptibles d'être reboisés; il est souhaitable en fait de disposer d'un excédent de terres pour faire face aux problèmes imprévus et à une future extension possible. S'il existe des droits tribaux ou autres qui affectent l'utilisation à long terme ou la disponibilité des terres, ces questions doivent être clairement précisées avant de poursuivre la planification.

Aux premiers stades de la mise en valeur il n'est pas possible de définir des classes de qualité de stations en fonction des types de sols, mais une classification simple d'aptitude au reboisement peut indiquer les zones les plus favorables. L'évaluation de l'aptitude au reboisement requiert une étude pédologique et l'établissement de cartes indiquant les types de sols, l'aptitude forestière et les types de végétation. En même temps que l'étude de la végétation on procède à des mesures par sondage de surfaces terrières, en vue de déterminer la densité du peuplement spontané qui est un facteur important vis-à-vis du défrichement.

Il faut disposer d'essais de croissance des essences de reboisement afin de connaître leur productivité pour les divers sites à reboiser. Il serait avisé de prévoir le reboisement en premier lieu des meilleurs terrains, en attendant que les études et essais de croissance aient fourni davantage d'informations sur les terrains de qualité moyenne ou marginale.

Lorsqu'on dispose de terrains forestiers classés, il n'y a aucun coût direct à imputer, mais s'il faut acquérir le terrain par achat ou indemnisation, les coûts correspondants doivent être comptabilisés. Les besoins annuels de terrains à reboiser doivent être indiqués sur une carte d'aptitude au reboisement.

Ressources en plants forestiers

Il faut avant tout s'assurer un approvisionnement suffisant et continu en semences des espèces et provenances choisies. Le choix des essences de reboisement est un point essentiel, mais on suppose que l'on a analysé les résultats des essais d'espèces et de provenances préalablement à l'élaboration du programme de reboisement. Les disponibilités en graines constituent souvent une contrainte à l'égard du rythme de reboisement proposé. Les sources d'approvisionnement et les possibilités de stockage doivent être exactement appréciées. Si l'importation de semences présente un risque quelconque, il faut donner la priorité à la production locale de semences et aux moyens de l'activer. Les disponibilités en semences influenceront forcément sur le rythme de plantation des essences qui auront été choisies en fonction de considérations sylvicoles et technologiques. Les techniques d'élevage des plants en pépinière doivent être très soignées si l'on veut obtenir un nombre maximum de plants vigoureux bons à planter à partir d'une quantité donnée de semences. Lorsqu'on achète les semences, ce qui importe c'est le coût par plant utilisable et non le prix du kilogramme de graines. Les besoins annuels en semences et en plants, ainsi que leur coût, doivent pouvoir être aisément calculés à partir des données recueillies.

Équipements et fournitures

Les équipements et fournitures se classent en trois catégories, selon qu'ils sont nécessaires pour la gestion administrative, pour les opérations de reboisement proprement dites, ou pour l'entretien et les services généraux. Les besoins administratifs comprennent les bureaux et bâtiments, et des postes accessoires communs à toutes les entreprises, tels qu'équipements et fournitures de bureau. Les équipements et fournitures pour l'exécution technique sont spécifiques des travaux de reboisement; l'Annexe C en donne un aperçu. Dans les besoins concernant l'entretien et les services généraux on trouve l'équipement des ateliers, les moyens de transport et les pièces de rechange. Les points essentiels, en ce qui concerne le matériel, sont d'une part de choisir celui qui est le mieux adapté au travail à effectuer et à l'échelle du projet, et d'autre part de s'assurer que l'équipement et les fournitures, de même que les pièces de rechange, soient disponibles sur le terrain lorsqu'on en aura besoin, ce qui implique la constitution de stocks importants.

L'équipement offre une grande variété de choix possibles, et les modèles adaptés au travail à effectuer doivent être déterminés dès la phase d'évaluation du projet.

Le rendement du matériel est un facteur essentiel de rentabilité du projet. Son évaluation peut n'avoir que peu d'intérêt si l'on ne tient pas compte des éléments variables et si l'on ne précise pas les conditions de mesure. Une bonne productivité exige une utilisation annuelle ou saisonnière du matériel aussi intensive que possible. Avant de pouvoir évaluer les besoins en matériel et fournitures, il faudra en général avoir les données concernant l'échelle et les modalités d'exécution des opérations. Lorsqu'on aura fait un choix définitif, on pourra déterminer les besoins totaux par année pour toute la durée du projet.

Le prix d'achat, ou encore la valeur d'immobilisation des équipements et fournitures, doivent intervenir dans les estimations budgétaires et dans l'évaluation du coût total du projet. Pour pouvoir procéder à des estimations comparatives, le planificateur doit connaître le coût de fonctionnement horaire du matériel, à partir duquel on peut calculer les prix de revient unitaires. On peut avoir à estimer ces données au stade initial du projet.

Ressources humaines

L'homme représente la ressource la plus importante dans un projet, et il faut prendre en considération ses aptitudes et ses réactions avant de décider de l'orientation des actions possibles. Il faudra étudier les sources possibles de main d'oeuvre et de cadres, étant donné qu'elles déterminent les besoins en investissements supplémentaires pour les transports ou le logement. Le profit que les salariés tirent d'un projet de reboisement ne s'exprime pas seulement en rémunération en espèces, mais également en formation professionnelle, en amélioration de l'habitat, et en sécurité. L'expérience du Swaziland fait ressortir les avantages qu'ont les employés à vivre dans des collectivités mixtes plutôt que dans des villages créés pour les seuls besoins des projets (Hastie et Mackenzie, 1967). Un projet de reboisement fait appel à des compétences multiples et demande des cadres de direction, des chefs de chantier, des mécaniciens, des conducteurs d'engins, du personnel d'administration et de secrétariat, des services sanitaires, et enfin des ouvriers qualifiés et des manoeuvres. En particulier, si le projet doit être plus ou moins mécanisé, il faut obligatoirement prévoir le recrutement de mécaniciens et de conducteurs d'engins qualifiés, et il sera souvent nécessaire d'assurer leur formation. Les ressources en personnel de direction et de surveillance compétent, par ailleurs, doivent être soigneusement évaluées.

Le coût des moyens humains est la somme des salaires, avantages sociaux et autres, congés et absences pour maladie. Les besoins en personnel du projet doivent être établis pour les cadres par année, par catégorie et par responsabilités. La main d'oeuvre fait l'objet d'états analogues, en remplaçant les responsabilités par les tâches. Un calendrier des travaux et de l'emploi de la main d'oeuvre permettra non seulement d'estimer les effectifs annuels nécessaires mais encore d'atténuer les fluctuations dans les besoins de main d'oeuvre de façon à procurer un emploi plus régulier. Les informations sur les rendements et les coûts unitaires de main d'oeuvre seront tirées des données du plan d'exécution.

Ressources financières

On aura généralement déjà une indication des financements disponibles pour l'ensemble ou pour une phase du projet, au stade de définition ou d'évaluation du projet. Le plan d'exécution du projet doit être ajusté en fonction de ce cadre financier, mais dans le cas où les fonds disponibles constitueraient une contrainte majeure il y aurait lieu de rechercher une allocation supplémentaire. Les coûts totaux de terrain, de plants, de fournitures et de personnel, plus divers et imprévus, représentent les dotations nécessaires, que l'on ventilera pour déterminer les besoins annuels pour toute la durée du projet.

Il importe que les responsables du financement comprennent bien qu'un reboisement est une entreprise dynamique qui ne s'accommode guère de la notion d'exercice budgétaire. Les opérations de reboisement telles que défrichage, pépinières, désherbages, sont liées entre elles dans le temps, en ce sens que le programme fixé pour une année peut influencer tant sur celui de l'année précédente que sur celui de l'année suivante. Cela signifie que des retards ou des à-coups dans l'allocation des crédits n'affecteront pas seulement l'année considérée, mais également les investissements antérieurs et futurs. Deux possibilités s'offrent pour résoudre ce problème: soit de considérer le projet comme un investissement de capital jusqu'à ce qu'on ait atteint un régime normal, soit de débloquer les fonds pour 3 à 5 années. Le fait de disposer librement des fonds ne dispense pas, toutefois, de planifier attentivement leur mise en oeuvre.

Données concernant l'exécution

Les données à enregistrer sous cette rubrique sont pour toutes les opérations de reboisement les suivantes:

- 1) Unités de mesure - par exemple hectares, kilomètres ou milliers de plants;
- 2) Input - journées de travail, heures de machines, fournitures;
- 3) Output - unités par heure, par jour, etc....
- 4) Coûts - pour chaque ressource par unité.

Ces données permettent d'évaluer aisément le rendement de la main d'oeuvre et des machines, ainsi que les besoins pour une opération donnée. Le rassemblement de ces données opérationnelles est un aspect essentiel du processus de planification. On doit se baser sur les informations les plus sûres dont on dispose; elles pourront être tirées des comptabilités et comptes-rendus de travaux, mais s'il n'en existe pas il pourra être nécessaire de faire des mesures-tests de rendements pour avoir des chiffres indicatifs. Les données opérationnelles fournissent une base d'évaluation pour l'estimation des besoins en ressources et pour l'établissement du budget; il importe par conséquent de bien indiquer l'origine et le degré de certitude de ces données. Un projet ou un plan d'exécution ne sont réalistes et viables que dans la mesure des données utilisées dans leur élaboration. Les données concernant les ressources et les opérations se combinent entre elles pour aboutir par un simple calcul arithmétique aux prescriptions d'exécution. L'Annexe D en donne un exemple simple se rapportant à la récolte et au traitement des semences.

Données institutionnelles

Les facteurs institutionnels à noter sont essentiellement de nature politique, mais comprennent aussi le cadre juridique du projet et les engagements de l'administration tutélaire dans d'autres domaines, tels que la formation professionnelle. D'autres points sur lesquels on doit recueillir des informations sont: les rapports entre la collectivité locale et le projet, les possibilités de mise en valeur multiples, et les informations sur les recherches en matière de reboisement qui sont en cours mais ne sont pas suffisamment avancées pour être utilisables.

Le cadre juridique doit fournir une réglementation appropriée et efficace, et les moyens de l'appliquer. Il faut également s'assurer qu'il existe des structures de gestion et d'administration adéquates, ou qu'elles seront en place pour la réalisation du projet.

PLAN DE GESTION DU PROJET DE REBOISEMENT

Objet et contenu

Le plan de gestion constitue la base d'exécution du projet; il prévoit d'une manière détaillée ce que le responsable du projet doit réaliser au cours d'une période déterminée. Dans le cas d'une révolution de 30 ans, par exemple, le plan de gestion initial pourra couvrir une période de 5 ans, ou peut-être moins. Le reste de la durée du projet fera l'objet de plans périodiques analogues. Cette planification périodique permet une gestion souple du projet; plus le cadre général dans lequel se place le projet est stable et bien défini, plus longue pourra être la durée du plan. La présentation du plan de gestion doit rester aussi simple que possible, en raison de la souplesse nécessaire dans l'exécution du programme de travail prévu. Dans le cas de projets complexes ou de conditions locales difficiles, l'analyse de réseau peut s'avérer un outil utile pour résoudre les problèmes d'organisation ou faire sauter les goulets d'étranglement. L'Annexe E présente une introduction à cette méthode.

Il n'y a pas de forme fixe pour ce plan de gestion, dont la présentation variera en fonction des conditions locales et des besoins, cependant on peut distinguer dans tous les cas 3 parties principales:

- Ière partie: Directives;
- IIème partie: Description du projet;
- IIIème partie: Prescriptions.

La Ière partie (Directives) contient les instructions émanant de l'autorité tutélaire et indiquant au responsable du projet ce que le projet doit réaliser. Elle ne peut être modifiée par le responsable du projet, mais seulement par l'autorité dont elle émane.

La IIème partie (Description du projet) fournit des informations sur le cadre général du projet et les conditions locales de milieu, l'historique du projet, les ressources existantes en personnel, routes, bâtiments, etc..., qui constituent les données de base pour les prescriptions d'exécution.

La IIIème partie (Prescriptions) indique comment, quand et avec quels moyens les opérations futures devront être menées en vue de réaliser les objectifs du projet tels que fixés dans la Ière partie. Le responsable du projet a normalement toute latitude pour modifier ces prescriptions à la lumière de l'expérience, auquel cas il doit informer l'autorité de tutelle et amender la rédaction du plan. Cette IIIème partie requiert des révisions plus fréquentes que les parties I et II.

Le tableau ci-dessous indique schématiquement les rubriques que peut contenir un plan de gestion de projet de reboisement.

Schéma de plan de gestion

Ière Partie
(Directives)

Politique forestière et objectifs
Politique forestière
Objectifs

IIème Partie
(Description du projet)

Informations de base

L'environnement du projet
Disponibilités en terres et aptitudes des sols
Cadre institutionnel
Gestion antérieure et historique du projet

IIIème Partie
(Prescriptions)

Etat actuel et gestion future

Affectations de secteurs d'intervention.
Prescriptions de travaux détaillées
- Opérations de plantation
- Autres travaux
- Mise en oeuvre des ressources
- Financement: budget de dépenses et recettes
- Coûts, états et comptes-rendus, contrôle
- Documents cartographiques

Plan de gestion de reboisement, Ière partie

La Ière partie représente pour le responsable du projet les directives émanant de l'autorité supérieure. Il doit veiller à ce qu'elles soient bien incluses dans le plan de gestion. Les objectifs du projet doivent être énoncés très clairement; s'ils ne le sont pas, le responsable du projet doit chercher à obtenir les éclaircissements nécessaires avant d'entreprendre sa propre planification.

Plan de gestion de reboisement, IIème partie

La Partie II expose les données de base du projet. Elle doit comprendre:

- 1) Une description de l'environnement du projet: localisation, données sur la géologie, le climat, l'hydrologie et la végétation naturelle;
- 2) Une description des terrains à reboiser et des aptitudes des sols, appuyée par des tableaux et des cartes. Lorsque les classes de milieux sont connues elles doivent être définies et délimitées;
- 3) Le cadre institutionnel du projet, y compris son statut juridique, de même que son organigramme;
- 4) La gestion passée et l'historique du projet, comprenant une brève description du déroulement du projet et toutes informations concernant sa gestion passée et données relatives à son exécution. Cette section doit indiquer toutes les particularités notables sur lesquelles est basée la planification du projet. Elle sera mise à jour à la fin de chaque période, en y ajoutant ce qui a été réalisé au cours de cette période.

Plan de gestion de reboisement, IIIème partie

La IIIème partie est la plus importante; elle contient une prévision des opérations à réaliser. Si nécessaire, les travaux peuvent être répartis, en fonction des différentes essences utilisées ou des différents traitements sylvicoles, en secteurs d'intervention ou séries de reboisement. Les programmes de plantation sont établis par année pour chaque secteur ou série de reboisement pour la période considérée (voir par exemple Annexe F). Il sera facile d'en extraire les programmes annuels par secteur, dont l'ensemble représentera le "programme annuel des travaux" pour toutes les activités du projet. On peut ensuite décomposer ce programme annuel par périodes et par sous-secteurs pour fournir des plans de travail aux adjoints du chef de projet et aux chefs de chantiers. Voir également page 152.

Les prescriptions détaillées d'activités indiquent en général la situation actuelle, et les actions à réaliser sous les grandes rubriques suivantes:

- 1) Opérations de plantation et autres travaux
- 2) Mise en oeuvre des ressources
- 3) Budget de dépenses et recettes
- 4) Coûts, états et comptes-rendus, contrôle
- 5) Documents cartographiques

Opérations de plantation et autres travaux

Cette section concerne les principales opérations de plantation, et les travaux de construction. On y indique la situation initiale, et on y inclut des prescriptions détaillées concernant les méthodes d'exécution, ainsi que les prévisions quantitatives et le calendrier des moyens à mettre en oeuvre et des résultats attendus pour chaque opération.

Les principales opérations concernées sont les suivantes:

Opérations de plantation

Affectation de terrains
Levés topographiques
Installation des pépinières
Elevage des plants
Défrichage et préparation du terrain
Implantation du parcellaire et construction des
voies d'accès
Plantation
Regarnis
Fertilisation
Désherbages
Elagage
Eclaircies
Exploitation finale
Protection contre le feu
Entretien des routes

Autres travaux

Bâtiment et services
Entretien des bâtiments et
des services
Entretien des véhicules et
de l'équipement

L'état d'avancement et les travaux à exécuter pour chaque opération sont très souvent présentés sous forme de tableaux. Les prescriptions de travaux sont généralement appuyées d'estimations détaillées des moyens en main d'oeuvre, fournitures et équipement à prévoir pour les principales opérations. Elles portent essentiellement sur ce qui doit être fait, où et quand, et la méthode à employer peut être indiquée par référence à un manuel ou à un recueil d'instructions, ou décrite en détail si ceux-ci ne sont pas disponibles.

Les prévisions de plantation sont conditionnées par les terrains disponibles, la vitesse de croissance et les rendements des essences de reboisement, la durée de la révolution, les marchés, et les autres ressources disponibles. Dans le cas de grands périmètres de reboisement il peut être commode de diviser la surface en autant de blocs de plantation qu'il y a d'années dans la révolution. En pratique, on commence le plus souvent à planter à échelle réduite, et on accroît le rythme au fur et à mesure de l'expérience acquise. Par contre, si l'on a les capacités et moyens voulus, on peut démarrer à un rythme rapide, ce qui augmentera par la suite la latitude de choix pour la durée de la révolution, et, en période d'inflation, réduira les coûts totaux du reboisement.

Le tracé de la plantation comprend la délimitation des parcelles et blocs, le tracé des routes principales et secondaires, des layons et des pare-feu. C'est un aspect important de la planification, qui requiert une grande attention. Le plan initial doit être ajusté en fonction de la répartition des sols aptes au reboisement, de la topographie et des accidents naturels, mais le tracé est également conditionné par les nécessités de la lutte contre l'incendie et des méthodes d'exploitation et de vidange envisagées.

Certains projets de reboisement les parcelles ont une superficie exceptionnellement grande, dépassant 200 hectares, mais la moyenne se situe plus généralement entre 20 et 40 hectares. Les blocs peuvent avoir une taille quelconque, mais se limitent généralement à une année de plantation.

La densité du réseau routier est variable, mais est généralement de l'ordre de 1 à 4 kilomètres par kilomètre carré, selon le relief du terrain. Une faible proportion seulement des routes doit répondre à des normes élevées; la plupart peuvent être de normes inférieures. Au début, beaucoup de routes secondaires sont à chaussée non revêtue ou sommairement empierrées; on les améliore peu de temps avant l'exploitation des peuplements. Les routes principales sont généralement construites comme routes tout temps pour permettre l'accès en vue des travaux de plantation et d'entretien et de la lutte contre les incendies, mais non selon les normes correspondant aux besoins du débardage. L'Annexe B donne quelques règles générales pour l'implantation des routes forestières dans les périmètres de reboisement.

Les principaux aspects de la protection sont la prévention et la lutte contre les incendies; le plan spécifiera les ouvertures de pare-feu, les brûlages de lisière et brûlages contrôlés, et autres mesures nécessaires. Lorsqu'il y a de sérieux risques d'incendie il faut prévoir un équipement radio ou téléphonique relié aux postes-vigies, de même que la mise en place d'une organisation de lutte. Les risques de dégâts dus à des facteurs biologiques doivent être évalués avec soin lors de la phase de rassemblement des données, et le choix des essences et des techniques de reboisement doit être étudié de façon à réduire au minimum ces risques.

Ressources à mettre en oeuvre

La section précédente, concernant les opérations de reboisement et autres travaux, donne déjà une indication générale des ressources nécessaires pour la durée du plan. Dans la présente section on spécifiera quels moyens doivent être disponibles à des dates déterminées. Les principaux besoins sont les suivants:

Personnel

- Affectation des cadres et définition de leurs responsabilités
- Affectation de la main d'oeuvre et calendrier des besoins
- Formation du personnel et exécution des travaux

Equipement

- Engins, véhicules et autres équipements
- Matériaux de construction
- Semences et fournitures diverses
- Pièces de rechange indispensables

Le développement des actions de reboisement exige souvent le renforcement du service forestier existant et, dans certains cas, la création d'une nouvelle division pour diriger l'exécution des projets. Le plan doit détailler par année le personnel requis pour réaliser le programme, et comprenant des forestiers de niveau ingénieur et technicien, et des conducteurs de travaux. Les responsabilités du chef de projet et de ses collaborateurs doivent être bien définies. L'affectation de la main d'oeuvre comprend un résumé des besoins relatifs aux diverses opérations élémentaires, et se présente sous la forme d'un calendrier des opérations, dont un exemple est donné en Annexe G. L'élaboration de ce calendrier de travaux permet d'étaler les besoins de main d'oeuvre au cours de l'année de même que pour la durée du plan, afin d'éviter des licenciements désordonnés et d'assurer la continuité de l'emploi pour la grande masse des travailleurs forestiers.

Au fur et à mesure que les surfaces boisées s'accroîtront, il y aura une demande continue de cadres supplémentaires, et il faudra prévoir des possibilités de formation du personnel à divers niveaux en matière de conduite et d'exécution des travaux de reboisement. Il en va de même pour la main d'oeuvre, qui devra pouvoir se perfectionner en matière de sylviculture, de travaux de pépinière, et dans certains cas de mécanisation et d'irrigation.

Les prescriptions en matière d'équipement et de fournitures indiquent quels seront les besoins à telle ou telle date pour réaliser le programme prévu. Un calendrier mensuel des besoins en matériel, analogue à celui établi pour la main d'oeuvre (voir Annexe G), sera nécessaire. Les besoins peuvent être estimés en fonction des normes connues, tel qu'un tracteur par X hectares, ou la quantité d'engrais par 100 hectares ou par 1 000 plants de pépinière.

Les besoins en fournitures et équipement seront déjà ventilés pour chaque opération de plantation ou autre, et pourront être collationnés soit pour fournir une évaluation des besoins totaux soit pour recouper les estimations globales. Il peut être nécessaire de faire appel à des spécialistes pour les spécifications concernant par exemple l'équipement mécanique, les moyens de transport et les matériaux de construction. Si l'on prévoit des délais de livraison pour certains articles, il convient de les commander à l'avance, et pour beaucoup de fournitures et pièces de rechange il est indispensable de constituer un stock stratégique en magasin. Les retards d'approvisionnement créent souvent des goulets d'étranglement dans l'exécution; les commandes d'équipement, par conséquent, méritent d'être planifiées avec soin et en détail, de façon à être exécutées correctement et en temps voulu.

L'Annexe C donne une liste sommaire d'équipements et approvisionnements pouvant être nécessaires pour les travaux de reboisement.

Financement: budget de dépenses et recettes

Le plan comporte en général un budget de dépenses, qui représente le coût estimé de tous les moyens requis pour réaliser le programme fixé. Il est habituellement établi par année, et disposé selon des rubriques fonctionnelles telles que:

Défrichage et préparation du terrain	Entretien des bâtiments
Pépinières	Équipement et fournitures
Travaux de plantation	Entretien du matériel
Coût d'immobilisation des terrains et bâtiments	Administration et encadrement

Le budget approuvé est le document qui fait autorité pour l'affectation de fonds au projet. Toutes les dépenses font l'objet de vérifications, et les documents comptables doivent rendre compte de toutes les sommes déboursées, et permettre de connaître à tout moment l'état des dépenses totales du projet. En comparant en cours d'exécution les dépenses réelles avec les prévisions budgétaires pour une période donnée, on peut dans une certaine mesure apprécier l'efficacité de la planification et de la gestion. Les dépenses de personnel sont habituellement enregistrées sur des rôles de journées ou feuilles de paye, tandis que les charges d'équipement sont consignées sur les bons et récépissés de commandes.

Les recettes sont en général peu importantes durant la phase d'installation des reboisements, mais apparaissent assez rapidement avec les coupes d'éclaircie jusqu'à la coupe définitive. On établit habituellement des prévisions de recettes par année. Le plan doit obligatoirement prescrire un système approprié de comptabilisation de ces recettes, enregistrant les quantités et la nature des produits, leur origine, ainsi que les dates de sortie et de paiement.

Les dépenses et recettes sont habituellement inscrites en débit et crédit dans un registre général, et on peut en tirer des bilans à intervalles déterminés, et en tout cas à la fin de chaque exercice comptable.

Etablissement des prix de revient, états et comptes-rendus, contrôle

Les systèmes de comptabilité et de calcul de prix de revient trop compliqués sont coûteux et donnent souvent lieu à des difficultés et à des échecs. Il est donc indispensable de s'en tenir à des systèmes simples, surtout au niveau du terrain, et à n'enregistrer

que les données essentielles. Le plan prescrira un système de contrôle de l'exécution. Ce contrôle a pour objet 1) de maintenir les rendements au niveau fixé dans le programme des travaux et 2) de maintenir les coûts dans les limites prévues pour des opérations déterminées dans une période donnée.

Il existe de nombreux modèles de "rapports périodiques d'état d'avancement" qui enregistrent le travail réalisé et donnent en même temps une ventilation des coûts. Ces états d'avancement, qui sont souvent établis mensuellement, doivent être exacts, et être soumis régulièrement aux dates prescrites. Ils enregistrent en général pour une période donnée les divers postes de dépense sous la forme indiquée ci-dessous à titre d'exemple:

Opérations et No. de Code	Unités	Inputs et coûts					Travail exécuté	Coût unitaire
		Main d'oeuvre	Coût	Ateliers véhicules, machines	Coût	Fournitures		

Les moyens physiques mis en oeuvre sont mesurés en unités définies telles que journées de travail pour la main d'oeuvre, heures pour ateliers ou tracteurs, kilomètres pour les véhicules, et nombre, poids ou volume pour les matériaux et fournitures. On établit périodiquement des normes de coûts unitaires pour ces postes, et on les utilise pour le calcul des coûts des inputs. Les résultats physiques sont mesurés en unités telles que mètres pour les routes, hectares pour la plantation ou le désherbage, milliers de plants pour la production des pépinières. Le rapport peut également incorporer à ce stade, ou plus tard 1) les prévisions de résultats et de coûts du plan et 2) les résultats et coûts réels cumulés, ces chiffres fournissant la base du système de contrôle prescrit. Il est d'usage de donner à chaque opération un numéro de code, pour faciliter le travail et pouvoir éventuellement traiter les calculs par ordinateur. Le rapport du projet présente une ventilation des coûts; au chapitre travaux de reboisement, par exemple, il peut y avoir un certain nombre de rubriques concernant les phases de préparation du terrain, plantation, sarclage mécanique, sarclage manuel, fertilisation, élagage, etc... Le responsable du projet utilise ces coûts pour l'évaluation économique et le contrôle des dépenses. Lorsqu'il y a des variations dans les coûts unitaires réels, il faut pouvoir choisir et appliquer les solutions les plus efficaces. Il convient d'entraîner les surveillants de travaux à l'élaboration de ces rapports, et de leur faire bien comprendre l'importance des données recueillies. Dans les régions où l'on manque de cadres de terrain qualifiés, les rapports peuvent ne comporter que les données physiques, les coûts étant appliqués à l'échelon central. Il est tout aussi important que la direction du projet vérifie ces états sans délai, consigne son appréciation sur les résultats obtenus et s'informe sur les causes d'écart sensibles par rapport aux prévisions budgétaires, ou de variations importantes des coûts unitaires pour une même opération dans différentes zones.

Le total annuel des coûts d'exécution pour la main d'oeuvre et les fournitures doit pouvoir être aisément confronté avec les dépenses pour la même période. Pour les coûts relatifs aux ateliers, aux véhicules et aux machines cette opération est un peu plus compliquée mais, à la condition que les bases de calcul des coûts unitaires pour l'équipement soient convenablement choisies, on peut parvenir à les confronter de manière satisfaisante avec les dépenses réelles. L'Annexe H, "diagramme des flux de dépenses", montre schématiquement comment on procède à l'établissement des prix de revient.

Le document de base du projet de reboisement est le registre de parcelles. Celui-ci doit donner une description complète et précise et un historique des diverses parcelles du périmètre. Ce registre peut être un document simple ou complexe, contenant en général les informations suivantes:

- 1) Une carte détaillée de la zone de reboisement;
- 2) Les particularités détaillées du milieu physique: altitude, aspect, exposition, pente, forme de relief, géologie, sols et végétation;

- 3) Caractéristiques des stations, notamment l'aptitude au reboisement et les classes de fertilité;
- 4) Historique.

Le plan prescrira de consigner tous les travaux exécutés dans ce registre, qui contiendra un ou plusieurs formulaires pour y inscrire:

- 1) les travaux de préparation du terrain et de plantation ou de semis;
- 2) les travaux d'entretien;
- 3) l'inventaire du peuplement;
- 4) les produits récoltés.

Les détails matériels des travaux effectués dans une parcelle peuvent être aisément tirés des états d'avancement. Certains registres de parcelles inscrivent également les coûts, mais à moins qu'il n'y ait de raison particulière de le faire à ce niveau, il vaut mieux ne consigner dans le registre de parcelles que les éléments physiques. Si l'on a ultérieurement besoin de connaître le coût des travaux dans une parcelle ou un groupe de parcelles donné, on pourra le tirer des états de prix de revient.

Documents cartographiques

Le plan de gestion, en plus du registre de parcelles, doit contenir certaines ou la totalité des cartes suivantes:

- 1) Carte de situation (échelle 1:50 000 ou 1:100 000) et cartes de gestion (échelle 1:20 000 à 1:50 000);
- 2) Carte pédologique et d'aptitude au reboisement;
- 3) Carte de la végétation;
- 4) Carte des infrastructures existantes et projetées, indiquant les routes, le parcellaire, les pépinières, etc.
- 5) Carte de préparation du terrain et plantation, montrant l'état actuel et le programme prévu;
- 6) Carte(s) d'entretien des plantations, montrant l'état actuel et le programme prévu pour les principaux travaux;
- 7) Carte de protection contre l'incendie, montrant l'état actuel et le programme prévu.

Les cartes de gestion peuvent être établis sur un fond topographique auquel on superpose les différentes informations. Le nombre de cartes peut être réduit en réunissant sur une seule feuille les données de plusieurs cartes ayant un certain rapport entre elles. Les cartes de gestion offrent une image visuelle et un outil de contrôle des opérations de reboisement, et le plan prescrira de les remettre à jour annuellement ou à intervalles périodiques plus courts.

En conclusion, on doit retenir que le plan de gestion du projet de reboisement peut prendre de nombreuses formes, et qu'il n'est qu'un outil pour traduire dans la réalité les objectifs de la politique forestière et les buts spécifiques du projet. La mesure réelle de son efficacité n'est pas de savoir s'il est bien conçu mais s'il est appliqué avec succès. Une bonne gestion exige non seulement une bonne planification mais également une bonne exécution.

PROGRAMME ANNUEL DE TRAVAUX

Il couvre la campagne de reboisement à venir et doit être préparé quelques mois à l'avance, pour ménager le temps nécessaire à l'approbation du budget annuel et à la réunion des ressources nécessaires (Fraser, 1973). La planification peut se faire sur des formulaires divisés en périodes mensuelles ou hebdomadaires et donnant une prévision des quantités de travail à effectuer au cours de chaque période par opération. Une fois que le plan de gestion de reboisement a été rodé pendant quelques années, il ne devrait pas y avoir de grandes difficultés à établir le programme annuel de travaux directement à partir de ce plan de gestion.

BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES

- Allan, T.G. Planning of savanna plantation projects. In Savanna afforestation in Africa, 1977 pp. 220-233, Rome, FAO.
- Bands, D.P. Organization for the production of a district forest management book. 1962 Lusaka, Forest Department, 13 p.
- Ball, J.B. Cost accounting and the maintenance of records for monitoring and evaluating plantation projects. In Savanna afforestation in Africa, pp. 234-246. 1977 Rome, FAO.
- Cooling, E.N.G. Compartment registers for pilot plantations and demonstration areas. 1976 Industrial Forestry Plantations, Turkey. Izmit, FAO: DP/TUR/71/521, Working Document No. 26. p. 13.
- Dargavel, J.B. et al. An information system for plantation management. Commonwealth 1975 Forestry Review, 54(1): 27-37.
- FAO Report of UNDP/FAO seminar on the methodology of planning land and water 1972 development projects. Rome, FAO. 128 p. Irrigation and Drainage Paper II.
- FAO An introduction to planning forestry development. Rome, FAO. 86 p. 1974 FAO/SWE/TF 18.
- Foggie, A. A forest working plan manual; report to the Government of the Sudan. FAO, 1970 Rome, 105 p. No. TA 2869.
- Fraser, A.I. A manual on the planning of man-made forests. Rome, FAO. FO: MISC/73/22, 1973 p. 129.
- Fraser, A.I. A manual on the management of plantation forests. Penicuik, Scotland, no date International Forestry Consultancy. p. 126.
- Frith, A.C. The Fiji Forest Department costing system. Forest Management Project, Fiji. 1976 Suva, FAO. FO: DP/FIJ/72/006, Working Paper No. 4. p. 47.
- Grayson, A.J. Afforestation planning at the national and project levels. In Proceedings 1967 of FAO World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, Vol. 1, pp. 551-572. Rome, FAO.
- Gittinger, J.P. Economic analysis of agricultural projects. Baltimore, U.S.A., The 1972 Johns Hopkins University Press. 221 p.
- Grut, M. Records of costs and revenues in forestry. Industrial Forestry Plantations, 1975 Turkey. Izmit, FAO. Working Document No. 5, FO: DF/TUR/71/521. p. 28.
- Hastie, W.P. and Mackenzie, J. Planning an integrated forest programme. In Proceedings 1967 of the FAO World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, pp. 905-922. Rome, FAO.

- Johnston, D.R. et al. Forest planning. London, Faber and Faber Limited. p. 541.
1967
- Kingston, B. Final report: Plantation management. Industrial Forestry Plantations,
1977 Turkey. Rome, FAO. FO: DP/TUR/71/521. Working Document 29, p. 127.
- Krug, H.P. Planning for afforestation and planting in Brazil. In Proceedings of FAO
1967 World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance,
Vol. 2, pp. 1219-1235. Rome, FAO.
- Levingston, R. Plantation management procedures for large-scale plantations in Peninsular
1975 Malaysia. Forestry and Forest Industries Development, Malaysia. Kuala Lumpur,
FAO. 205 p. FO: DP/MAL/72/009. Working Paper 36.
- Savory, B.M. Plantation planning for conifers in Northern Rhodesia. Lusaka, Forest
1962 Department. 10 p.
- Wendelken, W.J. Records of plantation history: expenditure and revenue accounts. In
1967 Proceedings of FAO World Symposium on Man-Made Forests and their
Industrial Importance, Vol. 1, pp. 605-638. Rome, FAO.
- Watt, C.R. The planning and evaluation of forestry projects. London, Commonwealth Forestry
1973 Institute. 83 p. Institute Paper No. 45.

CRITERES DE REUSSITE POUR LES PLANTATIONS EN LAYONS

(par H.C. Dawkins, cité par A.F. Lamb, 1969)

Pour qu'une plantation d'enrichissement permette d'obtenir un peuplement satisfaisant d'essences de bois d'oeuvre, il faut qu'un certain nombre de conditions soient respectées. Ces critères de réussite ont été clairement énoncés par Dawkins, et sont reproduits ici avec son autorisation.

Dans le sens employé ici, la plantation d'enrichissement en layons consiste en l'installation d'un peuplement devant être fermé à l'âge d'exploitabilité, en lignes espacées à intervalles égaux ou légèrement supérieurs au diamètre présumé des cimes des arbres adultes.

La plantation en layons doit, en plus des conditions normales de réussite valables pour toute plantation forestière, satisfaire cinq conditions qui sont les suivants:

1. Il doit y avoir peu ou pas de demande pour les produits d'éclaircie dans la région. S'il faut des coupes d'éclaircie, la méthode ne convient pas; par contre s'il y a une demande pour des grumes de sciage ou de déroulage de grande dimension, ce système est approprié.
2. Les essences plantées doivent avoir une croissance rapide (1,50 m par an au minimum pour la croissance en hauteur), et un fût rectiligne s'élaguant naturellement, autrement dit il s'agira en règle générale d'essences pionnières de lumière.
3. Il ne doit pas y avoir de couvert haut; seules conviennent une forêt coupée à blanc ou éliminée par empoisonnement, ou une forêt secondaire de faible hauteur.
4. Le recrû entre les lignes de plantation doit être peu inflammable, sinon il faut un système de prévention des incendies parfaitement efficace.
5. Les animaux herbivores doivent être absents, ou rares, ou n'avoir qu'un effet négligeable sur les plants de reboisement.

Si ces cinq conditions sont remplies, la méthode peut réduire le coût du peuplement adulte à moins d'un tiers de ce qu'il serait pour une plantation en plein. Cette technique de reboisement exige en outre les conditions suivantes:

6. Les lignes de plantation doivent être à intervalles égaux ou légèrement supérieurs - on peut aller jusqu'à 20% - au diamètre présumé des cimes d'arbres adultes sains des essences utilisées. Cette règle a pour objet d'éviter toute possibilité de concurrence sérieuse des cimes des arbres entre bandes voisines avant maturité du peuplement, de réduire les coûts du reboisement, et de laisser plus d'espace pour des essences spontanées de valeur supérieure qui pourraient apparaître entre les lignes de plantation.
7. Les plants doivent être espacés sur la ligne à environ un cinquième de l'écartement entre les lignes, de façon à permettre une sélection laissant dans le peuplement adulte environ une tige sur quatre. S'il y a un couvert dominant abondant que l'on a tué par phytocides, ou encore si l'on plante dans une forêt naturelle peu éclaircie, on pourra avoir jusqu'à 30% de pertes, et l'espacement sur la ligne doit alors descendre à 1/6 ou 1/7 de l'écartement entre les lignes. Ce n'est que par ce moyen qu'on sera assuré d'avoir un peuplement adulte de bonne forme.

8. Les layons de plantation doivent être bien nettoyés, sur environ 1,80 mètre de large au début, et on doit pouvoir y circuler aisément au moins sur un côté de la ligne de plantation; il faudra donc enlever à peu près tous les bois gisants et souches. Une fois plantés, les layons doivent être maintenus propres, et sans végétation les surplombant dangereusement. Le défrichage se limitant à une faible portion de la surface, le coût en main d'oeuvre en est peu élevé, ce qui permet de faire plusieurs nettoiements (jusqu'à 6 ou 7 sont parfois nécessaires) au cours des 12 premiers mois.
9. Les plants doivent avoir un démarrage rapide. Pour la plupart des essences cela signifie que l'on doit utiliser des plants en pots; les stumps ou les striplings ont peu de chances de convenir. Le Cedrela s'est avéré susceptible de partir de semis direct, mais c'est un cas tout à fait exceptionnel.
10. La plantation doit suivre immédiatement le défrichage des layons; les ouvrir au début de la saison sèche, et les planter 3 à 5 mois plus tard aux premières pluies, est une méthode à déconseiller sans réserve, qui nécessiterait au moins deux nettoiements de plus que la normale. L'empoisonnement du couvert doit par ailleurs être effectué en temps voulu pour laisser entrer la lumière au moment de la plantation, et non avant; il s'avère toutefois que cela n'est pas facile à déterminer avec précision.
11. Les arbres poussant entre les lignes, à moins d'être de valeur supérieure aux essences plantées, doivent être abattus ou empoisonnés dès qu'ils menacent les plants, c'est-à-dire avant qu'ils ne leur fassent de l'ombre. Les espèces les plus dangereuses sont Musanga, Trema et Macaranga. De même, les lianes grim-pant sur le recrú au bord des layons doivent être énergiquement rabattues avant qu'elles ne surplombent et ombragent les plants, et qu'elles ne fournissent un support à d'autres lianes, ou obstruent le passage sur les layons.
12. L'éclaircie sur la ligne a pour objet de sélectionner les tiges de meilleure forme et hauteur. (A moins que la différence de taille ne soit très grande, la forme et la hauteur doivent être considérées comme plus importantes que le diamètre seul). La première éclaircie se fera généralement à 3-4 ans; les arbres devraient alors être nettement au-dessus du recrú de sous-bois et de lianes. Elle devra enlever sans doute environ 50% des tiges.

Les 5 principes de base et les 7 règles culturelles énoncés ci-dessus doivent être scrupuleusement respectés. Les plantations en layons ont très souvent échoué, et ont acquis une mauvaise réputation notamment auprès des forestiers tropicaux anglophones, parce que l'un ou l'autre de ces principes avaient été ignorés. Si l'on se conforme à ce qui a été dit ci-dessus et que l'on choisisse bien l'essence, cette technique a de très bonnes chances de réussite en forêt tropicale.

GUIDE POUR LE TRACE ET LA CONSTRUCTION DES ROUTES
DANS LES PERIMETRES DE REBOISEMENT

par L.R. Letourneau

Programme de développement des
industries de pâte et papier,
FAO, Rome

PLANIFICATION

L'implantation d'un système routier dans un périmètre de reboisement a pour objet de fournir un réseau de voies d'accès permettant d'effectuer les travaux de plantation et d'entretien en temps voulu et à un coût global le plus bas possible, de pénétrer rapidement dans les peuplements pour assurer leur protection, et enfin de vidanger les produits lors de l'exploitation finale.

Il n'y a pas de règles fixes et rigides pour la planification du réseau routier dans les zones à reboiser; on doit essentiellement tenir compte des besoins immédiats et futurs en voies de communication. Etant donné qu'au début il faut des voies d'accès pour les travaux de reboisement, on doit considérer le rythme de plantation pouvant être réalisé avec différentes densités de routes, ce qui n'est pas facile à déterminer sans données valables sur le rendement des équipes de plantation, l'aptitude des véhicules à circuler en tous terrains, les coûts de construction des routes, mais le plan routier doit chercher à atteindre un équilibre entre le rythme de plantation, compte tenu des distances de transport, et le coût d'établissement du réseau routier.

Il faut prendre en considération dans le plan routier la nécessité d'accès rapide en cas d'incendie ou autres circonstances exceptionnelles. En particulier, tout bloc de plantation doit être accessible par plus d'une route tous temps, de sorte que l'accès des équipes et des engins de lutte contre l'incendie soit encore possible même si une route principale est obstruée ou impraticable.

Dans la planification du réseau routier il faut également tenir compte de l'utilisation finale des produits de la forêt. Comme dans la majorité des cas la forêt créée est destinée à être exploitée, il faut s'assurer que l'emplacement des routes principales à ouvrir en vue de la plantation sera également approprié pour l'exploitation future. Il n'est pas toujours possible de savoir d'avance quelles méthodes d'exploitation et de débarquement seront employées dans 10 ou même 25 ans, mais on doit s'aider dans la prise de décision de toutes les informations disponibles sur ce point.

Le tracé de tout le réseau routier doit être arrêté avant le début des travaux de reboisement, cependant on peut réduire les coûts en différant la construction des routes jusqu'au moment où on en a effectivement besoin. Il ne faut pas oublier que le coût d'ouverture des routes représente une part importante du coût total du reboisement. On ne construit les routes nécessaires pour les travaux de plantation et d'entretien, par conséquent, qu'au fur et à mesure des besoins, et aux longueurs et normes requises pour ces opérations. Lors de la phase de plantation il est inutile de construire des routes répondant aux normes de trafic lourd exigées pour le transport des bois, ce qui amènerait à supporter des charges superflues pendant toute la durée de la révolution et accroîtrait les coûts globaux, alors qu'il suffit de disposer d'un réseau routier de base qui se prêtera à toutes les améliorations et extensions nécessaires pour les travaux d'exploitation future.

Dans les zones où l'on convertit une forêt naturelle en plantations forestières, il importe de procéder au tracé du réseau routier, de même qu'à son implantation et à sa construction, avant l'exploitation des peuplements naturels, en effet, à moins qu'il ne soit imposé des conditions exceptionnellement strictes et des créations supplémentaires de routes, le coût de ce réseau sera imputé à l'exploitation et ne constituera pas une charge financière pour les projets de reboisement.

CARTES ROUTIERES

L'emplacement des routes doit être indiqué sur des cartes à échelle appropriée, comportant autant que possible des courbes de niveau. Une échelle de 1:25.000 convient pour des périmètres de reboisement d'étendue moyenne, de l'ordre de 25 000 hectares; on peut afficher la carte au mur pour la consulter plus facilement, et en même temps l'échelle est assez grande pour qu'on puisse y porter les détails importants. Cette carte d'ensemble doit indiquer toutes les routes existantes et projetées, les accidents de terrain remarquables tels que cours d'eau, reliefs, etc... et tous autres détails importants tels que parcelles de reboisement, pare-feu, postes-vigies, pépinières, bâtiments.

Il faudra également des cartes à plus grande échelle montrant avec tous les détails utiles les routes à créer dans les blocs de reboisement annuels. Une échelle de 1:5.000 est suffisamment détaillée, et compatible avec l'échelle de 1:25.000 indiquée pour la carte d'ensemble.

Pour les routes sur lesquelles on a besoin d'une plus grande finesse de détail (par exemple pour leur réfection, ou pour des adjudications de travaux), les cartes et plants d'exécution doivent être à une échelle maxima de 1:1.000. Si nécessaire, on fera des profils en long en utilisant un rapport d'échelle verticale/échelle horizontale de 10 : 1 ou 20 : 1, suivant le relief du terrain.

NUMEROTATION DES ROUTES

Il est indispensable d'avoir un système de numérotation des routes, et de le reporter sur une carte. Les routes doivent être numérotées de telle sorte que l'on puisse se diriger facilement vers n'importe quel point du périmètre. Cette numérotation doit être systématique, et tenir compte des diverses catégories de routes et des principales zones qu'elles desservent. Comme les routes s'arrêtent rarement à une limite de secteur annuel de reboisement, il est difficile de les désigner par l'année, mais un système numérique simple sera facile à appliquer tout en étant efficace.

CLASSEMENT DES ROUTES

On trouvera ci-dessous un système de classement des routes répondant aux besoins des travaux de reboisement, de la lutte anti-incendie et de la surveillance. Les catégories indiquées conviennent pour un périmètre de reboisement important d'un seul tenant; en fonction de l'expérience acquise, toutefois, on ne doit pas hésiter à ajuster ce système pour mieux répondre aux besoins locaux, ou pour réduire les coûts. Un réseau de base bien tracé en tenant compte du relief répondra également bien aux besoins de l'exploitation.

Catégorie

1 Route principale

Elle constitue l'accès principal du réseau routier public au quartier général et aux limites du périmètre. Elle permet une circulation rapide en tous temps.

Catégorie

2 Routes secondaires

Le réseau de routes secondaires est destiné à la circulation en tous temps à vitesse modérée pour accéder de la route principale aux secteurs de plantation annuels, et pour circuler à l'intérieur de ceux-ci.

3 Routes latérales et épis routiers

Ce sont les routes de service général, étudiées pour le transport des équipes de reboisement sur les chantiers, en général à faible vitesse avec des véhicules à 4 roues motrices. Ce ne sont pas des routes tous temps, à l'exception des tronçons des épis les plus longs qui sont empierrés de manière à ce que l'extrémité d'un épi routier ne se trouve jamais à plus de 1,5 km environ d'une partie de route empierrée.

4 Pistes de chantiers

Ces pistes ouvertes au bulldozer et simplement nivelées sont les voies les plus nombreuses; elles répondent aux besoins essentiels des travaux de plantation et d'entretien. Elles conviennent aux véhicules et engins à 4 roues motrices, et comport un strict minimum de ponts et ponceaux.

Les routes de catégories 1, 2 et 3 sont implantées sur le terrain et piquetées avant les opérations de défrichement. Les voies de catégorie 4 sont implantées une fois terminés le défrichement et l'incinération; il peut toutefois être avantageux de les implanter avant le défrichement si c'est possible. Les routes de catégories 2, 3 et 4 doivent être dans une proportion de 1 - 2 - 4, ou aussi proche que possible de ces chiffres.

DENSITE ET ESPACEMENT DES ROUTES

La densité du réseau routier nécessaire variera notablement d'un périmètre de reboisement à un autre, mais un chiffre de 2,5 km de routes par kilomètre carré de superficie brute représente une moyenne valable dans beaucoup de cas. Avec cette densité, et une proportion de 1-2-4 entre les diverses catégories, les kilométrages nécessaires seront les suivants:

<u>Catégorie de routes</u>	<u>Km de route par 100 ha de superficie reboisée brute</u>
2 (secondaires)	0,35
3 (latérales et épis routiers)	0,71
4 (pistes de chantiers)	1,44
Total	2,50

Les routes principales peuvent être incluses dans ces chiffres lorsque certains de leurs tronçons sont utilisés pour les travaux de reboisement.

Avec cette densité, la distance moyenne entre les routes serait de 400 mètres. En l'absence de données précises sur le rendement des équipes de plantation, cet espacement représente une estimation raisonnable à retenir pour une première planification. Par la suite, l'écartement des pistes de chantiers devra être basé sur la distance correspondant à un rendement optimum des équipes de plantation, évalué en nombre de plants mis en place dans une journée. Avec l'expérience et en fonction de l'amélioration des rendements, par conséquent, l'espacement et la longueur totale des pistes de chantiers nécessaires pourront varier. L'espacement peut aussi varier dans une certaine mesure en fonction du relief.

Le tracé des routes secondaires et épis routiers sera également souvent dicté par les contraintes topographiques, mais il correspondra en général à la densité indiquée ci-dessus.

NORMES ROUTIERES

Les normes doivent être appliquées en fonction de la topographie et des conditions de sols et de climat existantes, ou en considération de leur incidence sur le coût et le rythme de construction des routes. En d'autres termes, bien que l'ingénieur routier doive s'efforcer de respecter les normes fixées, il devra les modifier pour les adapter aux conditions réelles, sans perdre de vue que le relèvement ou l'abaissement des normes qu'il sera amené à effectuer ne doivent pas avoir d'incidence trop forte sur les conditions d'utilisation de la route. Autrement dit, il doit toujours se rappeler que les routes qu'il construit doivent finalement permettre de maintenir dans les limites les plus basses possibles le coût global du reboisement parvenu à l'âge d'exploitation.

Le Tableau A1 détaille les normes applicables à deux types de relief et quatre catégories de routes. Les notes qui suivent se rapportent à ces normes et à leur application.

Largeur d'emprise

Elle représente le terrain affecté à la route. C'est la largeur totale qui doit être défrichée et sur laquelle on ne doit pas planter d'arbres. La largeur supplémentaire par rapport à la largeur réelle de la route assure un ressuyage plus rapide de la route après une pluie, permet un élargissement éventuel, et améliore la visibilité.

Plate-forme

On doit adopter une marge de sécurité suffisante pour faire face à la densité de trafic prévue, et pour permettre l'évacuation des eaux de ruissellement. En terrain montagneux, avec des pentes très fortes, la route doit être entièrement en déblai (et non en remblai). Tous les remblais doivent être compactés.

Talus

Les talus varieront selon la topographie, mais en règle générale leur pente doit être de 1 : 2 ou moins.

Places de croisement

Les places de croisement ne doivent pas forcément être régulièrement espacées, mais doivent être disposées de façon à permettre au mieux le croisement des véhicules et éviter les accidents. Elles seront également utilisées pour le stationnement des véhicules transportant le personnel et le matériel.

En terrain plat les places de croisement peuvent être régulièrement espacées, mais en terrain montagneux elles doivent être situées à chaque extrémité des courbes prononcées, ou bien, dans le cas d'une courbe contournant une arête aigüe, à l'extérieur de la courbe, au droit de l'arête pour tirer profit de la surface en remblai et également assurer une bonne visibilité. Les zones d'emprunt de matériaux doivent être utilisées comme places de croisement chaque fois que cela est possible.

Pour les routes devant être empierrées les places de croisement doivent être revêtues suivant les mêmes normes.

NORMES ROUTIERS 1/

Caractéristique 2/	Terrain plat, vallonné ou moyennement accidenté				Terrain montagneux			
	Route principale	Route secondaire	Route latérale	Piste de chantier	Route principale	Route secondaire	Route latérale	Piste de chantier
Largeur d'emprise	20	15	12	5	20	15	12	5
Largeur de la plateforme	5	4	3.5	3.5	5	3.5	3.5	3.5
Largeur des fossés	1	0,6	0.6	minimum	1	0.6	0.6	minimum
Chaussée (a) largeur (b) épaisseur (cm)	3,5 10 (Min)	3,0 10 (Min)	2.5 10	- -	3.5 10 (Min)	2.5 10 (Min)	2.5 10	- -
Pentes ^{3/} (a) défavorable %	6	8	10	15	6	8	10	15
(b) favorable maximum	8	10	10	15	8	10	10	15
Rayon de courbure minimum	120	60	30	-	85	60	30	-
Place de (a) Nb. par km croise- (b) largeur x ment longueur	6 4x15	5 4x12	3 4x12	3 4x12	6 4x15	5 4x12	3 4x12	3 4x12
Type de ponceaux	Béton	Bois	Bois	Bois 4/	Béton	Bois	Bois	Bois
Type de ponts (bois)	Crib et/ou culée en corps mort travure en grumes, platelage en bois	Crib et/ou culée en corps mort travure en grumes, tablier en terre	Comme routes se- condaires	Comme routes se- condaires si néces- saire	Crib et/ou culée en corps mort, travure en grumes, platelage en bois	Crib et/ou culée en corps mort, travure en grumes, tablier en terre	Comme routes se- condaires	Comme routes se- condaires si néces- saire

1/ Etablies à l'origine pour un programme de plantation de 1500 à 2000 ha par an.

2/ Tous les chiffres sont en mètres, sauf indication contraire.

3/ Il n'y a pas lieu de tenir compte des pentes en sens favorable ou défavorable pendant la phase de plantation, mais il faut y faire attention pour éviter d'avoir à refaire les routes au moment de l'exploitation.

4/ Eventuellement tronc évidé.

Chaussée

Comme matériaux de revêtement on emploiera des roches dures concassées, de la latérite de bonne qualité contenant de nombreuses concrétions ferrugineuses, ou toute autre matière agréée par l'autorité de contrôle.

Les épaisseurs de chaussée indiquées dans le tableau de normes sont mesurées après compactage, et correspondent aux exigences du trafic au cours de la phase de reboisement. On ne doit toutefois pas les interpréter comme des normes rigides; l'ingénieur responsable pourra les modifier en fonction de l'expérience pratique acquise en matière de construction de routes dans la région.

Sur les routes principales et secondaires la largeur de la bande de roulement doit être amplement calculée pour les types de véhicules devant utiliser ces routes, tels que camions transportant les plants, les engrais et les équipes de travailleurs, qui ne sont normalement pas lourdement chargés ni de dimensions exceptionnelles. Une bonne partie du trafic sera constitué par des véhicules à 4 roues motrices. La largeur de la chaussée empierrée s'accroîtra peu à peu par déplacement des matériaux de revêtement du centre vers les bas-côtés du fait du passage des véhicules et des niveleuses d'entretien qui en déplacent une petite quantité à chaque passe. Le croisement sera finalement possible sur les routes à chaussée large sans utiliser les emplacements prévus à cet effet. De même, une surélévation se produira dans les courbes du fait des véhicules rapides. Il faut un bombement suffisant pour assurer l'écoulement des eaux.

Les routes latérales et épis routiers n'ont pas besoin d'être revêtus sur toute leur longueur. Il suffit normalement de revêtir certains tronçons en prenant comme critère que l'extrémité d'un épi routier ne doit pas être à plus de 1,5 km d'une partie de route empierrée. Le calcul montre souvent que seulement 20% environ de la longueur totale de routes latérales nécessaire sera empierrée.

Il faut noter que dans certaines régions où l'on manque de matériaux de revêtement le coût du revêtement représente souvent le poste le plus important dans les coûts totaux de construction des routes.

Rayons de courbure et vitesse des véhicules

Les rayons de courbure minima ont été fixés à un niveau qui permette de conserver des vitesses minima de circulation sur les routes de catégories 1, 2 et 3. En fixant ces normes comme des minima, on peut supposer que la plupart des rayons de courbure seront supérieurs, ce qui permettra des vitesses plus élevées, donc des vitesses moyennes supérieures sur de longues distances.

On a adopté des vitesses moyennes de 65, 50 et 35 km/h respectivement pour les routes principales, secondaires et latérales, comme critères correspondant à une vitesse de déplacement normale pour les équipes de travailleurs, et à une vitesse satisfaisante pour les équipes de lutte contre l'incendie, en tenant compte des coûts supplémentaires qui résulteraient de l'adoption de courbes à rayon beaucoup plus grand. Ces vitesses seront sans doute légèrement inférieures en terrain accidenté, où l'on a raccourci les rayons de courbure minima comme le montre le tableau de normes.

Pentes

Les normes de pente ont été fixées de façon à parer aux risques d'érosion et à réduire au minimum les coûts d'entretien tout en assurant des transports suffisamment rapides. On doit éviter de longues déclivités uniformes, en prévoyant des ruptures de pente dans le profil.

Écoulement des eaux

Étant donné qu'il est impossible d'agir sur la quantité de pluies qu'une zone de reboisement est susceptible de recevoir, il suffira de souligner quelques points que les responsables doivent considérer pour assurer un bon écoulement des eaux.

Dans les régions très pluvieuses il faudra un système d'écoulement meilleur que dans les régions sèches; il ne faut toutefois pas oublier que dans certaines régions, bien que la pluviométrie annuelle puisse être considérée comme modérée (jusqu'à 2 000 mm par an, pour fixer les idées), une forte proportion de ces pluies peut se produire sur une courte période, et par conséquent le système d'écoulement doit être étudié pour absorber ces forts volumes.

Les forces exercées par de grands volumes d'eau, rassemblés et dérivés par le réseau routier peuvent provoquer des dégâts sérieux sur les routes et une forte érosion. On peut y remédier par un bon système de fossés, canalisant l'eau vers des points où elle causera moins de dommage.

En terrain plat, il faut établir des fossés des deux côtés de la route, avec des dalots et des fossés perpendiculaires d'évacuation, tandis qu'en terrain accidenté il n'y aura de fossé que du côté amont. En terrain vallonné il faut placer des dalots aux points bas des remblais.

Quelle que soit la topographie, les routes doivent traverser les cours d'eau de manière à ne pas entraver l'écoulement naturel de l'eau, ce que l'on obtient par un dimensionnement approprié des ponceaux ou ponts. Le ponceaux doivent être disposés de façon à éviter l'accumulation de l'eau. Il faut éviter que l'eau puisse s'écouler en un flot grossissant dans les fossés sur de longs tronçons de route de pente uniforme; l'écoulement doit être interrompu en des points convenables par des seuils, et envoyé dans des fossés latéraux. Les dalots ne doivent pas être situés en des points tels qu'ils déversent sur un remblai, à moins que celui-ci ne soit protégé par un ouvrage approprié tel qu'un enrochement par exemple.

Sur les routes à longues déclivités continues, où l'eau risque de se rassembler et de s'écouler sur la chaussée en entraînant les matériaux de revêtement, il faut établir des cassis pour dévier le flot et éviter les dégâts sur la chaussée.

En règle générale, les ponts peuvent être de modèle simple; si l'on emploie pour leur construction les bois les plus durables ils devraient durer pendant au moins une courte révolution. Deux types de ponts sont employés couramment: l'un avec un platelage en bois, l'autre recouvert de terre compactée. Les deux types utilisent des travures en grumes, reposant sur un crib ou sur une culée en corps mort.

Profil en travers

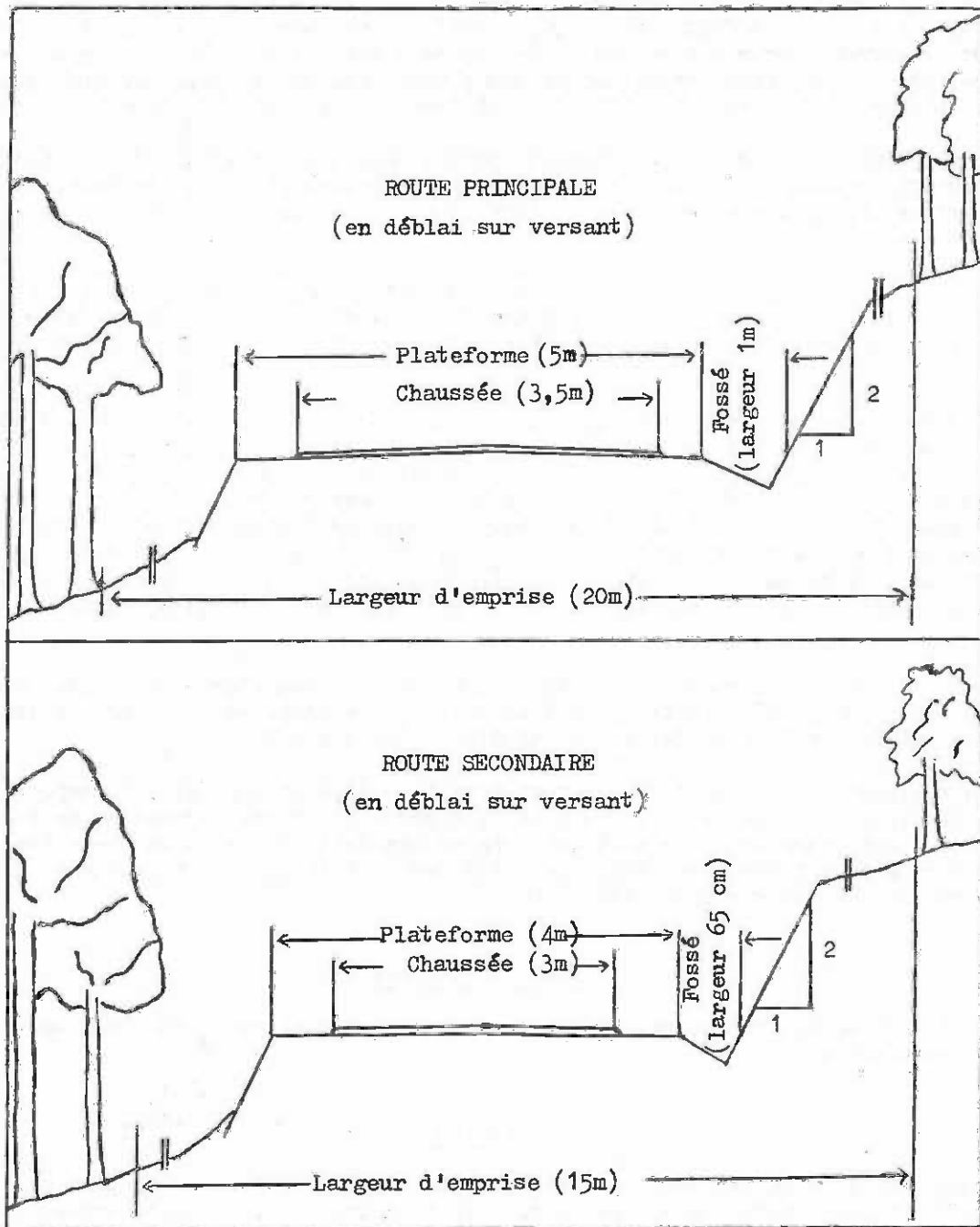
La figure B1 montre des profils en travers caractéristiques pour les routes principales et secondaires.

Entretien

L'entretien du réseau routier doit être continu dès le début. On peut utiliser des matériels mécaniques (niveleuses, tracteurs, pelles chargeuses, camions-bennes, etc....) qui peuvent - ce qui est préférable - appartenir au projet et être conduits par une équipe d'entretien. Les ouvriers préposés à l'entretien des routes doivent également régulièrement curer les dalots et fossés, et éliminer les broussailles autour des fossés et des virages serrés.

Figure B1

PROFILS EN TRAVERS DE ROUTES-TYPES DE PERIMETRES DE REBOISEMENT



BIBLIOGRAPHIE

- British Forestry Commission. Forest road planning. London, Her Majesty's Stationery
1976 Office. Forestry Commission Booklet No. 43.
- Byback, P.O. Forest Roads. Forestry College Project, Kapong (Peninsular Malaysia).
1976 Kuala Lumpur, FAO. FO:SF/MAL/71/531.
- McNally, J. Logging and log transport in man-made forests in developing Countries.
1974 Rome, FAO. 134 p. FAO/SWE/TF 116.

LISTE SUCCINCTE D'EQUIPEMENTS ET APPROVISIONNEMENTS POUR UN PROJET DE REBOISEMENT

OPERATIONS	EQUIPEMENTS	FOURNITURES
Défrichage	Instruments topographiques Tracteurs à chenilles Chaînes d'ancre Lame du bulldozer Eperon d'abattage Rateau défricheur Extirpateur de racines	Phytocides Carburants et lubrifiants Outils manuels Photographies aériennes
Préparation du terrain	Tracteurs 50-100 CV Charrues à disques Lame d'anglezozer	Phytocides Carburants et lubrifiants Outils manuels
Pépinières	Tracteur à roues Remorque Pelle chargeuse adaptable Matériel d'aspersion Mélangeur de terre Outils manuels: bêches, fourches, houes Matériel de pulvérisation.	Engrais Pots ou sachets Mélange pour empotage Insecticides Fongicides Herbicides Carburants et lubrifiants Outils manuels
Plantation	Tracteurs, 50-100 CV Remorque	Engrais Piquets de clôture Barbelé Outils manuels: bêches, pioches Carburants et lubrifiants Caissettes pour transport des plants
Entretien et protection	Tracteur, 50-100 CV Cultivateurs Scies d'élagage Tours-vigies d'incendie Pompes d'incendie Pompes à eau et tuyaux	Engrais Phytocides Carburants et lubrifiants Insecticides Outils manuels
Construction des routes	Bulldozers Camions-bennes Niveleuses Rouleaux compresseurs à pneus Excavatrices	Buses Carburants et lubrifiants Pierraille et gravier Matériaux pour ponts Ciment Explosifs

PLANIFICATION DE LA RECOLTE ET DU TRAITEMENT DES SEMENCES ^{1/}

(Exemple)

I. Données de baseA. BESOINS EN SEMENCES

	<u>Eucalyptus camaldulensis</u>	
1. Essence		
2. Nombre de plants par ha		
(a) mise en place	1 110	(3 x 3 m)
(b) plus regarnis 20%	222	
(c) besoins totaux en plants bons à planter	1 322	
(d) plus pertes et sélection en pépinière 15% ^{2/}	235	
(e) besoins totaux en semences germées	1 567	
Arrondi à	1 600	
3. Nombre estimé de semences germées par kg de graines non nettoyées	400 000	
4. Kg de graines non nettoyées par ha de reboisement	0 004 kg	(env. 250 ha par kg)
5. Surface plantée annuellement	250 ha	
6. Besoins annuels en semences	1.0 kg	

^{1/} Extrait de "Report on the FAO/DANIDA Training Course on Forest Seed Collection and Handling", Vol. II, Rome, FAO, FOR:TF - RAS 11 (DEN), 453 p., 1975.

^{2/} Les pertes et plants défectueux éliminés représentent 15% du nombre de graines germées, ce qui équivaut à environ 18% des plants restants bons à planter.

B. APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES

7.	Sources d'obtention des semences	Peuplements semenciers locaux
8.	Récolte des graines, rendement présumé	5 kg/ha
9.	Surfaces minima de peuplement semencier requis	0,2 ha
10.	Surface de peuplement semencier disponible.	1,5 ha
11.	Récolte de graines, périodicité	Annuelle, assurée dans les peuplements de plus de 10 ans
12.	Epoque de récolte	Début de la saison sèche, juin-juillet
13.	Problèmes particuliers de récolte	Néant
14.	Rendement du travail de récolte	Equivalent à 100-200 g de graines non nettoyées par journée d'ouvrier
15.	Temps nécessaire pour l'extraction des graines	10-15 jours (séchage au soleil)
16.	Problèmes particuliers d'extraction et de nettoyage	Il n'est pas possible de séparer la balle des graines. On sème par conséquent un mélange de graines et de balles

C. STOCKAGE DES SEMENCES

17.	Saison normale de semis	Fin de la saison sèche, septembre-octobre
18.	Temps écoulé entre récolte et semis	
	(a) Semis la même année	3 - 4 mois
	(b) Stockage de plus d'un an	Sans objet
19.	Capacité de stockage nécessaire	
	(a) Volume net à poids spécifique 0,5 = 500 kg par m ³	0,002 m ³ (un bocal de deux litres de capacité)
20.	Problèmes particuliers de stockage	Néant

D. PRETRAITEMENT, TESTS, SEMIS

21.	Problèmes particuliers de prétraitement	Néant
22.	Problèmes particuliers de tests de germination	Il est difficile de séparer la balle des graines. La détermination de l'espèce par les semences n'est pas possible
23.	Problèmes particuliers de semis et de traitement des planches de semis	Les graines étant très petites doivent être semées en mélange avec du sable

II. Evaluation des besoins

A. RECOLTE

1. Méthodes recommandées Escalade des semenciers
2. Equipement et moyens de transport recommandés Ceintures et lignes de sécurité, chaussures et griffes de grimpeur. Utilisation temporaire de land rover.
3. Main d'oeuvre et encadrement recommandés 5-10 hommes-jours et 1 surveillant
4. Remarques Les grimpeurs doivent être assurés. Il faut assurer la protection et l'aménagement des peuplements semenciers, étant donné que les peuplements normaux, exploités en taillis à 6 ans, ne produisent que très peu de semences viables.

B. EXTRACTION ET NETTOYAGE

1. Méthodes recommandées Après séchage au soleil, les capsules seront secouées vigoureusement et criblées manuellement.
2. Equipement recommandé (1) Bâche
(2) Tamis
3. Main d'oeuvre et encadrement recommandés 1 garde forestier et 2 ouvriers.
4. Remarques Aucun nettoyage à faire, les graines étant semées avec la balle.

C. STOCKAGE

1. Méthodes recommandées Stockage dans une pièce fraîche et bien ventilée en boîtes métalliques, bocaux ou sacs de coton.
2. Equipement recommandé Boîtes métalliques, bocaux, sacs de coton.
3. Main d'oeuvre et encadrement recommandés Aucun besoin particulier, le même personnel indiqué pour "Extraction et nettoyage" pouvant également effectuer ce travail.
4. Remarques Le stockage des semences ne pose aucun problème, la période de stockage n'étant que de 2 à 3 mois en saison sèche, alors que l'humidité atmosphérique est basse. La température dans une pièce bien aérée est en moyenne de 25-30°C pendant la durée du stockage. La production annuelle régulière de graines, et le fait que la superficie de peuplements semenciers est susceptible de produire en année normale au moins 7 fois les besoins annuels de semences, excluent la nécessité de conserver les semences d'une année sur l'autre.

D. PRETRAITEMENT

Aucun prétraitement nécessaire.

ANALYSE DE RESEAU^{1/}

par

A.I. FRASER
Consultant en Sciences forestières
Penicuik, Midlothian, Grande Bretagne

Un projet de reboisement se compose d'activités multiples, se répartissant sur une vaste étendue de terrain et mettant en jeu un personnel nombreux. En raison de l'influence des facteurs saisonniers, beaucoup des activités qui interviennent dans la réalisation du projet sont étroitement liées au respect d'un calendrier d'exécution judicieusement établi.

Si l'on n'était limité ni par le temps ni par l'argent, il n'y aurait pas de problème: les travaux qui n'auraient pas été effectués au cours d'une saison pourraient être reportés à la saison suivante, et les activités qui dépendent de l'exécution d'autres tâches pourraient être différées jusqu'à ce que celles-ci soient achevées. Mais dans la pratique le temps et l'argent imposent des limites strictes, et le responsable du projet doit planifier et contrôler toutes les activités de telle sorte que la totalité du programme de travail nécessaire pour mener le projet à bonne fin soit exécutée dans les limites de temps et de dépenses fixées.

C'est là un problème commun à tous les chefs d'entreprise, aussi a-t-on vu au cours de ces dernières années apparaître et se développer un certain nombre de méthodes visant à les résoudre. Une des méthodes les plus efficaces pour planifier et contrôler des opérations complexes est l'analyse de réseau, qui a pour but d'optimiser le rendement d'un ensemble complet d'opérations, tel qu'un programme annuel de plantation, ou encore l'ensemble des opérations intervenant dans le reboisement d'un secteur donné. Elle ne se préoccupe pas de rechercher le rendement optimum de l'effort physique mis en jeu dans chacune des activités qui composent l'ensemble; ceci est du domaine de l'étude du travail, qui s'intéresse aux tâches individuelles, par exemple la recherche des meilleurs outils ou des meilleures méthodes pour planter un arbre.

^{1/} Extrait de "Manuel de planification des peuplements forestiers artificiels", FAO, Rome, FO:MISC/73/22, septembre 1974, 129 p.

Le gain de temps et d'argent possible dans un grand projet, par une optimisation de la séquence logique d'opérations, est souvent considérable. Lorsque les activités deviennent plus ou moins routinières, on a tendance à croire qu'il ne subsiste que peu de possibilités d'améliorations nouvelles, pourtant il est surprenant de constater comment, après un retard imprévu, le temps perdu peut bien souvent être rattrapé. Cela montre que beaucoup d'opérations pourraient être accélérées, ou qu'en modifiant leur séquence chronologique il est possible d'améliorer le rendement global de l'ensemble.

En présence de tâches aussi complexes que celles qui composent un grand projet de reboisement, on ne saurait s'attendre à pouvoir les mener à bien dans les délais impartis sans un contrôle permanent de l'avancement de chacune des activités constituantes. Ce contrôle est pratiquement impossible si l'on ne dispose pas d'une technique qui permette de condenser l'ensemble du projet sous une forme simple, et d'en représenter graphiquement les parties constituantes de façon à pouvoir saisir d'un simple coup d'oeil toutes les interdépendances.

L'analyse de réseau (que l'on désigne aussi parfois sous le nom de "technique d'évaluation et de révision de programme") est un mode de représentation graphique de toutes les composantes et corrélations d'une opération complexe - quelque chose comme la partition d'un chef d'orchestre.

Le principe de base de l'analyse de réseau est la représentation des activités élémentaires et des événements importants tels que le début et la fin de chaque activité sous une forme graphique, dans l'ordre logique où ils doivent avoir lieu. Par convention on représente généralement les événements par des cercles, reliés par des flèches figurant les activités:

Figure 1



La représentation logique de l'ensemble d'une opération impose que le temps s'écoule dans une seule direction, de sorte que les activités s'échelonnent dans le temps de la gauche vers la droite du graphique. Au fur et à mesure que les activités s'incorporent dans le graphique, elles forment un réseau qui montre de la gauche vers la droite l'ordre chronologique dans lequel elles doivent se dérouler. Pour déterminer la position d'une activité quelconque dans le réseau, il suffit de connaître celles qui doivent la précéder et celles qui peuvent se dérouler simultanément. Certaines opérations peuvent s'effectuer en même temps que d'autres mais non se terminer avant, aussi est-il très important de déterminer quelles sont les activités qui en commandent le début et la fin.

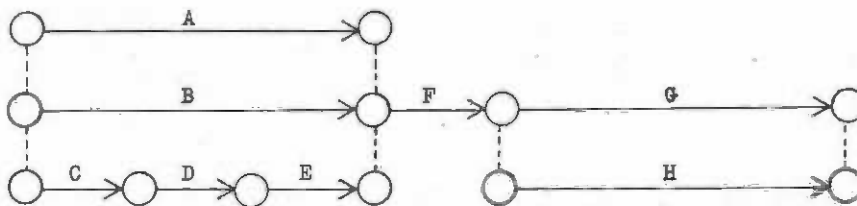
A titre d'exemple de construction et d'utilisation d'un réseau, considérons les activités intervenant dans le reboisement d'un terrain défriché. Les principales activités mises en jeu sont les suivantes:

<u>Activités</u>	<u>Durée relative</u>
A. Piquetage	8
B. Creusement des trous de plantation	16
C. Extraction des plants dans la pépinière	4
D. Transport des plants jusqu'au terrain à réboiser	1
E. Distribution des plants du bord de piste aux trous de plantation	1

<u>Activités</u>	<u>Durée relative</u>
F. Mise en place des plants dans les trous	1
G. Remplissage des potets	4
H. Application d'engrais	4

Les activités A, B et C peuvent commencer en même temps, mais A doit se terminer avant B. D ne peut pas démarrer avant que C ne soit achevé, ni E avant la fin de D. F ne peut pas commencer avant que B et E soient terminés, tandis que G et H doivent attendre pour commencer que F soit achevé. G et H doivent démarrer en même temps, mais H ne peut se terminer avant G. On peut donc représenter comme suit les corrélations entre ces activités:

Figure 2



Ces graphiques permettent de vérifier l'enchaînement logique des diverses activités, et de remédier à des erreurs telles qu'une séquence inversée dans une boucle fermée, ou des opérations non reliées entre elles dans une boucle ouverte. Deux règles fondamentales doivent être respectées:

- 1) Tout événement, à l'exception du premier et du dernier, doit comporter au moins une activité y aboutissant et une activité en partant.
- 2) Toutes les activités doivent commencer et se terminer par un événement.

Une fois établie la séquence logique telle que représentée ci-dessus, l'étape suivante consiste à y introduire une échelle des temps afin de pouvoir évaluer le bon fonctionnement du réseau et le bon déroulement de l'opération. Il n'est pas toujours facile d'évaluer le temps nécessaire pour chaque activité. Les estimations les plus sûres proviennent soit de relevés antérieurs, soit d'études de travail, mais à défaut il faut recourir à des hypothèses. Si possible, on doit évaluer:

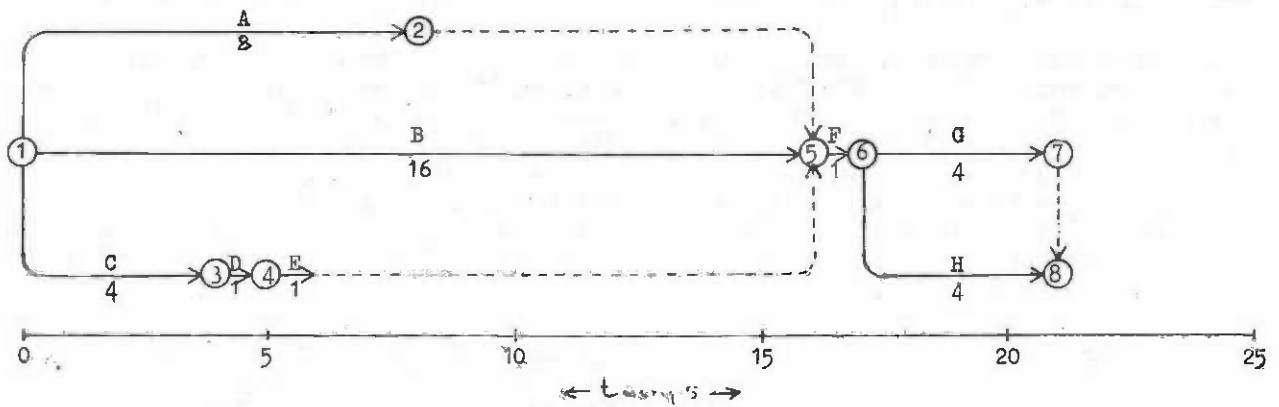
- la durée la plus optimiste (o),
- la durée la plus probable (1),
- la durée la plus pessimiste (p),

dont on calculera la moyenne pondérée selon la formule:

$$\frac{o + 4(1) + p}{6}$$

Dans la mesure du possible, ces estimations de durée devront se baser sur des calculs faisant intervenir la quantité de travail physique mise en jeu et la probabilité de facteurs extérieurs influant sur le travail, tels que facteurs climatiques, maladie, facteurs économiques. Lorsqu'on ne connaît pas la probabilité d'un facteur extérieur, il suffit d'estimer la durée la plus probable. On redessine alors le réseau avec une échelle des temps, en inscrivant la durée de chaque activité comme dans le diagramme ci-après:

Figure 3



On peut alors analyser le réseau de manière à déterminer:

- 1) le moment auquel une activité peut démarrer au plus tôt sans retarder l'achèvement du projet (TO);
- 2) le moment auquel une activité peut démarrer au plus tard sans retarder l'achèvement du projet (TA);
- 3) le "chemin critique", qui est la séquence d'activités déterminant le temps minimum dans lequel l'ensemble de l'opération peut être exécuté; c'est aussi le cheminement le plus long à travers le réseau;
- 4) l'importance de la marge ou "flottement" relative à chaque opération, c'est-à-dire, pour les parties du réseau qui ne sont pas situées sur le chemin critique, la marge de temps dont on dispose pour faire varier le démarrage et la fin d'une activité sans affecter la durée totale de l'opération.

<u>Activité</u>	<u>TO</u>	<u>TA</u>	<u>Marge</u>
A	0	8	8
B	0	0	0
C	0	10	10
D	4	14	10
E	5	15	10
F	16	16	0
G	17	17	0
H	17	17	0

Ce tableau montre que, dans l'exemple simple choisi, le chemin critique se situe le long des activités B, F, G, H, qui ne disposent d'aucune marge de flottement. Les deux dernières prennent 4 jours et commencent au 17^{ème} jour, si bien que le temps minimum pour achever toute l'opération est de 21 jours. On dispose par contre d'une marge considérable pour l'extraction des plants (C), leur transport (D) et leur distribution (E). S'il est souhaitable de réduire au minimum le temps qui s'écoule entre l'extraction des plants et leur mise en place, il convient alors de ne pas commencer l'extraction avant la date la plus tardive TA.

Moins une activité dispose de marge, plus elle devient critique. Si l'on considère un chemin quelconque traversant le réseau son caractère critique est en rapport inverse avec la marge; le chemin critique est celui qui requiert le plus d'attention de la part du responsable du projet, pour être sûr que l'ensemble de l'opération ne se trouve pas retardé.

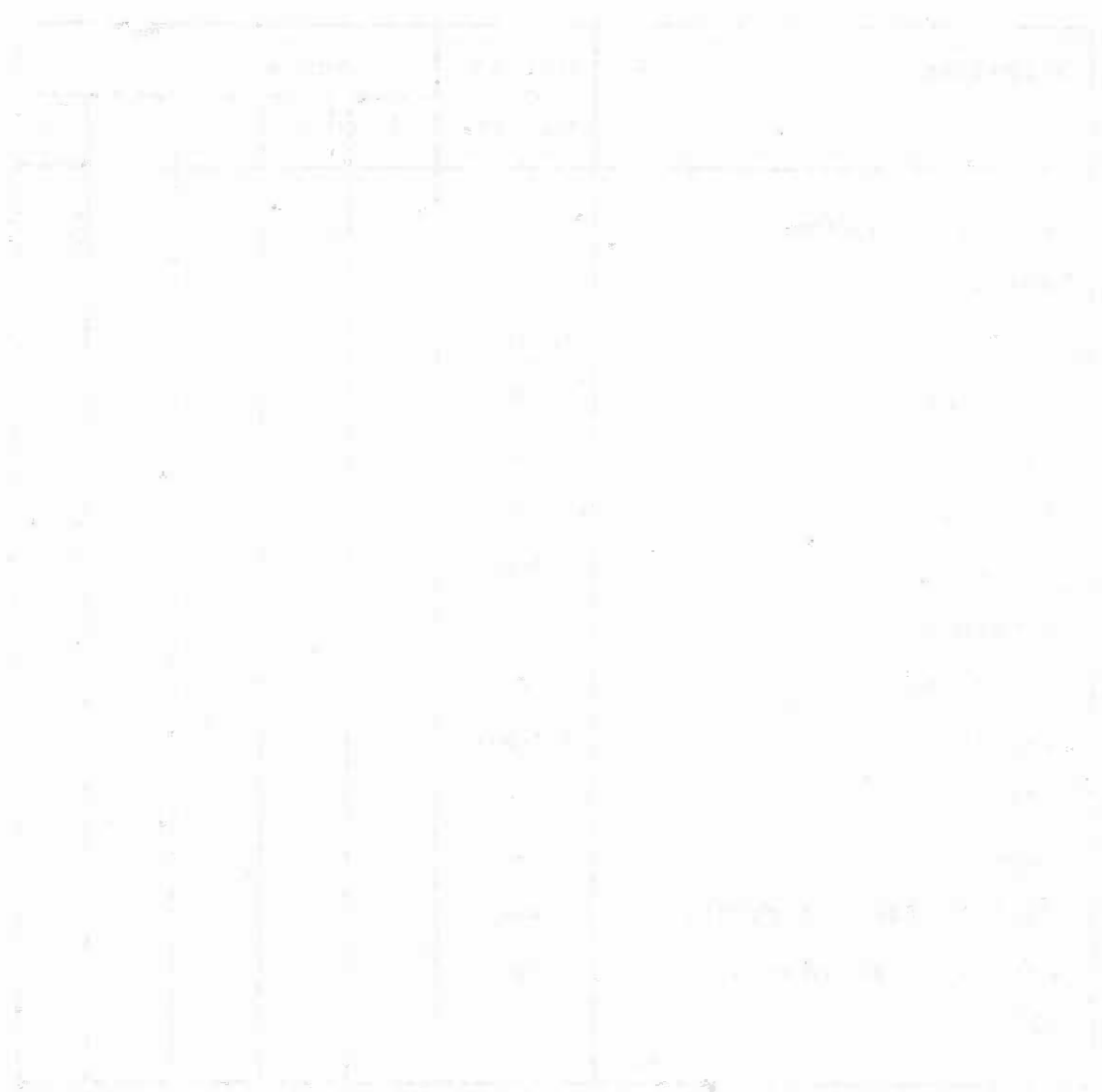
Une autre application importante du réseau concerne la détermination des dates limites. Si l'on suppose que la plantation doit démarrer ou être achevée à une certaine date, afin d'échapper aux aléas climatiques, on pourra alors situer dans le temps toutes les activités qui précèdent cette activité critique. Ainsi, supposons dans l'exemple précédent que l'activité F, la mise en place des plants, ne doive pas démarrer avant le 1^{er} avril, ni se terminer après le 16 mai, les durées relatives étant mesurées en jours. L'évènement 5 représentant le début de la plantation et l'évènement 6 son achèvement, on pourra remplacer par ces dates, dans la figure 3, les temps TO (le plus tôt) et TA (le plus tard), et calculer les autres dates en conséquence.

<u>Evènement N°</u>	<u>Date à laquelle il doit se produire</u>	
	<u>au plus tôt</u>	<u>au plus tard</u>
1	16 mars	29 avril
2	24 mars	15 mai
3	20 mars	13 mai
4	21 mars	14 mai
5	<u>1 avril</u>	15 mai
6	<u>2 avril</u>	<u>16 mai</u>
7	6 avril	20 mai
8	6 avril	20 mai

Ainsi, la date à laquelle les opérations pourront commencer au plus tôt, pour être prêts à planter le 1^{er} avril, est le 16 mars; celle à laquelle elles devront démarrer au plus tard, pour avoir terminé la plantation au 16 mai, est le 29 avril.

L'analyse de réseau, enfin, permet de déceler quelles sont les activités qui pourraient empêcher l'ensemble de l'opération de s'achever dans les délais fixés. Si l'opération prise ci-dessus comme exemple devait être achevée en 18 jours, certaines activités auraient alors une marge négative et l'objectif serait impossible à atteindre. Dans ce cas il faudrait transférer des ressources (main d'oeuvre) des opérations disposant d'une marge vers celles qui ont une marge négative. Il est facile de voir dans notre exemple simple que le creusement des trous de plantation présente une marge négative de 3 jours lorsque la durée totale de l'opération ne doit pas excéder 18 jours. La marge pour l'extraction des plants se trouve réduite de 10 à 7 jours, mais elle est encore suffisante pour que l'on puisse admettre pour cette opération un temps d'exécution double avec moitié moins de main-d'oeuvre, ce qui permettrait d'en libérer une partie pour le creusement des trous. Ce n'est pas toujours aussi simple qu'il apparaît ici, en effet il se pourrait par exemple qu'un seul ouvrier soit employé à l'extraction des plants; mais le principe général, qui consiste à rechercher les activités disposant de marge pour dégager des excédents de moyens, peut contribuer utilement à optimiser l'ensemble de l'opération. Si l'on redistribue les ressources dans ce sens, il faut alors refaire le réseau pour s'assurer qu'il reste logiquement valable, et contrôler s'il y a des changements dans le chemin critique.

Une fois que le réseau a été tracé et que les opérations commencent, il ne s'agit pas de l'oublier au fond d'un tiroir; c'est au contraire en le remettant constamment à jour et en s'y référant régulièrement au fur et à mesure de l'avancement des travaux que l'on pourra déceler à l'avance l'apparition de nouveaux chemins critiques, et par conséquent prendre à temps les mesures nécessaires pour procéder à une nouvelle allocation des ressources en vue de se maintenir dans les limites des objectifs fixés.



3/1/1968

PREVISIONS DE TRAVAUX A MOYEN TERME ^{1/}

Opération	Unité de mesure	Année				
		1	2	3	4	5
Levé topographique	ha					
Pépinière	ha					
Plants	(1000)					
Défrichement	ha					
Labour	ha					
Plantation	ha					
Clôtures	km					
Désherbage	ha					
Fertilisation	ha					
Elagage	(1000)					
Eclaircie	ha					
Coupe	ha					
Construction des routes	km					
Entretien des routes	km					
Divers						

^{1/} Adapté de A.I. Fraser, "Manuel de planification des peuplements forestiers artificiels", Rome, FAO. Document de travail FO:MISC/73/22, 133 p., septembre 1974.

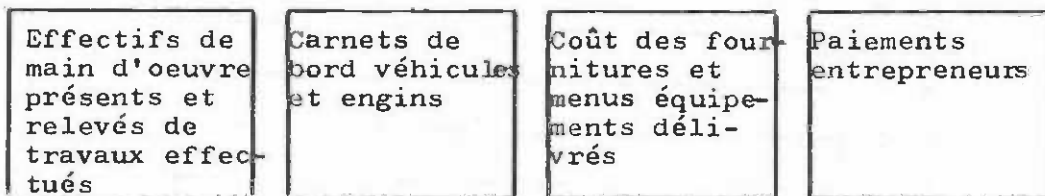
EXEMPLE DE REPARTITION DES BESOINS MENSUELS DE MAIN D'OEUVRE ^{1/}

Opération	Rendement hj/ha	Super- ficie ha	Total des besoins annuels hj	Calendrier ajusté de répartition de la main d'oeuvre par opérations													
				J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Plantation																	
Regarnis																	
Travail du sol en lignes																	
1ère année																	
2ème année																	
Premier élagage																	
Total hommes-jours																	
Répartition des effectifs de main d'oeuvre																	

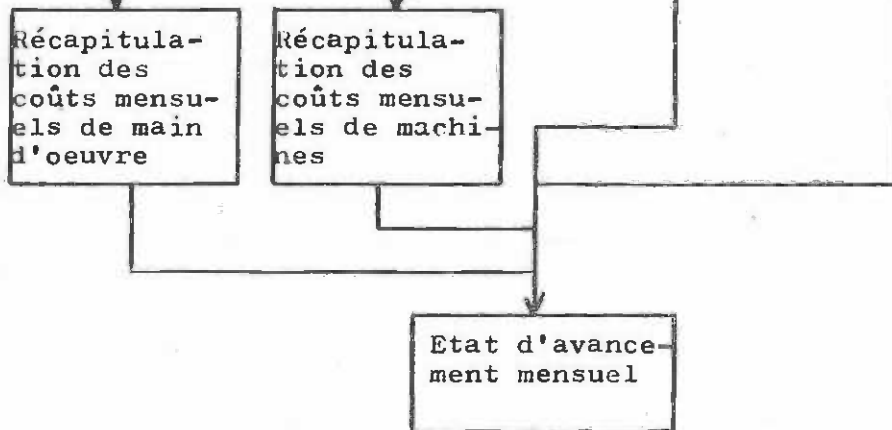
^{1/} D'après B. Kingston, "Final Report: plantation management". Industrial Forestry Plantations, Turkey. Rome, FAO. Working Document No. 29, FO:DP/TUR/71/521, 127 p., 1977.

DIAGRAMME DES FLUX DE DEPENSES ET CALCULS DE PRIX DE REVIENT

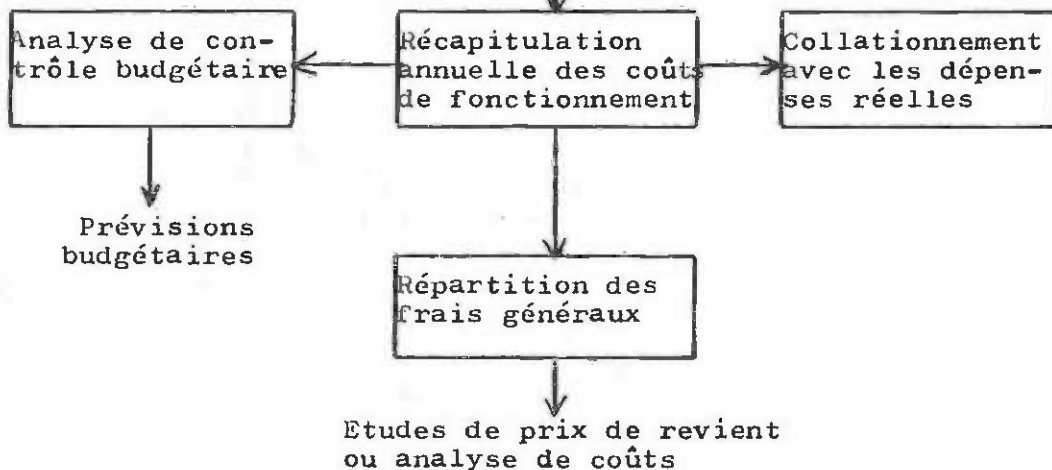
Journaliers



Mensuels



Annuels



BIBLIOGRAPHIE GENERALE

- Al'benskii and Nikitin, P.D. (eds). Handbook of afforestation and soil melioration. 1967 Translated from Russian in Jerusalem by Israel Program for Scientific Translation. 516 p.
- Allan, T.G., and Endean, F. Manual of plantation techniques. Departmental instruction. 1966 Lusaka, Zambia, Forest Department.
- Allan, T.G. Handbook of plantation establishment techniques in the Nigerian savanna. 1977 Savanna Forestry Research Station, Nigeria. Rome, FAO. 64 p. Project Working Document DP:NIR/73/007.
- Balmer, W.E., and Williston, H.L. Guide for planting southern pines. Atlanta, Georgia, 1974 U.S.A., USDA Forest Service, State and Private Forestry. 17 p.
- Balmer, W.E., and Williston, H.L. Early considerations in pine management. Atlanta, 1975 U.S.A., Southwestern Area State and Private Forestry. 8 p. Forest Management Bulletin.
- Binmore, A. An outline of problems arising in the replanting of clear felled Eucalyptus stands in Zambia. Paper for Seventh World Forestry Congress, Buenos Aires. 4 p. 1972
- British Forestry Commission. Work study in forestry. Forestry Commission Bulletin No. 47. 1973
- British Forestry Commission. Report on forest research. London, Her Majesty's Stationery Office. 1976
- Cozzo, D. Tecnologia de la forestación en Argentina y América Latina. Buenos Aires, 1976 Editorial Hemisferio Sur. 610 p.
- Edlin, H.L. (e.d.). Forestry practice. Eighth edition. London, Her Majesty's Stationery Office. 103 p. Forestry Commission Bulletin No. 14. 1964
- FAO Essai de présentation uniformisée des conditions d'exécution, des résultats et des coûts des reboisements. Rome, FAO. 199 p. FO:MISC/74/3. 1974
- FAO FAO World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance. Rome. FAO. 3 Vols. 1967
- FAO Savanna afforestation in Africa. FAO, Rome. 312 p. FOR:TF-RAF 95 (DEN). 1977
- FAO Irrigation and Drainage Paper 24. Crop water requirement. FAO, Rome. 144 p. 1977a.
- Fielding, J.M. A handbook of methods for the establishment of pine plantations in West Malaysia. Pilot Plantations of Quick-Growing Industrial Tree Species, Malaysia. Kuala Lumpur, UNDP/FAO. 44 p. FO:SF/MAL 12, Working Paper No. 20. 1972
- Flinta, C.M. Prácticas de plantación forestal en América Latina. Rome, FAO. 499 p. FAO Forestry Department Paper No. 15. 1960
- Goor, A.Y., and Barney, C.W. Forest tree planting in arid zones. Second Edition. New York, 1976 The Ronald Press Co. 504 p.
- Groulez, J. Conversion planting in tropical moist forests. Paper for Fourth Session of Committee on Forest Development in the Tropics. Rome, FAO. 22 p. 1976

- Groulez, J., and Quillet, G. Peuplements d'eucalyptus et de résineux tropicaux au Congo
1976 Brazzaville. Nogent-sur-Marne, France, Centre Technique Forestier Tropical.
140 p.
- Haig, R.A., and Scott, J.D. Mechanized silviculture in Canada. Paper for Seventh World
1972 Forestry Congress, Buenos Aires, 5 p.
- IUFRO Proceedings of the Symposium on Stand Establishment. Wageningen, The Netherlands.
1974 438 p.
- Jacobs, M.R. Eucalypts for planting. Draft second edition. Rome, FAO. 398 p.
1976 FO:MISC/76/10.
- Laurie, M.V. Tree planting practices in African savannas. Rome, FAO. 185 p. FAO Forestry
1974 Development Paper No. 19.
- Letourneux, C. Tree planting practices in tropical Asia. Rome, FAO. 172 p. FAO Forestry
1957 Development Paper No. 11.
- Levingston, R. Plantation management procedures for large-scale plantations in Peninsular
1975 Malaysia. Forestry and Forest Industries Development, Malaysia. Kuala Lumpur,
FAO. 205 p. FO:DP/MAL/72/009. Working Paper 36.
- Marion J., and Poupon, J. Manuel pratique de reboisement. Institut de Reboisement,
1974 Tunisie. Rome, FAO. 345 p. FO:SF/TUN 11, Rapport technique 2.
- Navarro Garnica, M., and Molina Rodriguez, J.J. (comps.). Técnicas de forestación. Madrid,
1975 Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA). 201 p.
- Parry, M.S. Tree planting practices in tropical Africa. Rome, FAO. 297 p. FAO Forestry
1956 Development Paper No. 8.
- Schubert, G.H. et al. Artificial reforestation practices for the Southwest. Washington,
1970 D.C., U.S. Government Printing Office. 25 p. Agricultural Handbook No. 370.
- Schubert, G.H., and Adams, R.S. Reforestation practices for conifers in California.
1971 Sacramento, U.S.A., Division of Forestry, State of California. 359 p.
- Smith, D.M. The practice of silviculture. Seventh edition. New York, John Wiley and
1962 Sons, Inc. 578 p.
- Suri, P.N., and Seth, S.K. Tree planting practices in temperate Asia: Burma, India and
1959 Pakistan Rome, FAO. 150 pp. FAO Forestry Development Paper No. 14.
- USDA Forest Service. Intensive plantation culture: five years research. St. Paul, U.S.A.,
1976 North Central Forest Experiment Station. 117 p. General Technical Report NC-21.
- USDA Forest Service. Proceedings of Symposium on Management of Young Pines. Atlanta,
1974 U.S.A., Southeastern Area State and Private Forestry. 349 p.
- USDA Forest Service. Proceedings of the Symposium on Intensive Culture of Northern Forest
1977 Types. Upper Darby, U.S.A., Northeastern Forest Experiment Station. 356 p.
USDA Forest Service General Technical Report NE-29.
- Whalenberg, W.G. (ed.). A guide to loblolly and slash pine plantation management in south-
eastern U.S.A. Macon, U.S.A., Georgia Forest Research Council. 360 p.
Report No. 14.

Wakeley, P.C. Planting the southern pines. Washington, D.C., U.S. Government Printing
1954 Office. 233 p. Agriculture Monograph No. 18.

Weidelt, H.J. (compiler). Manual on reforestation and erosion control for the Philippines.
1976 Eschborn, Germany, F.R., German Agency for Technical Cooperation. 569 p.

INDEX

- Abattage (voir défrichage avant plantation)
- Abattage des animaux sauvages, 134
- Accord sur l'utilisation des eaux du Nil, 97
- Acide citrique, pour rompre la dormance, 51
- Acide gibérellique employé pour rompre la dormance des semences, 51
- Acide indolacétique pour le traitement des blessures sur les arbres, 80
- Acide sulfurique pour prétraitement des semences, 49
- Acide tartrique pour rompre la dormance des semences, 51
- Acidité du sol, 117, 120
- Acromyrmex, 129
- Adventices
- concurrence, 57, 62-63
 - destruction, 70-71
 - élimination, 70-79
- Agriculture
- amélioration apportée par le reboisement, 105-106
 - concurrence pour l'eau d'irrigation, 98-103
 - pression sur les terres pour l', 9, 11
- Agrosan pour le traitement des blessures sur les arbres, 80
- Agrosylviculture, 9
- Aldrine (insecticide), 129-130
- Aménagement, incidence sur la densité de plantation, 63
- AMS (phytocide), 37
- Analyse de réseau, 169-174
- Animaux, protection des plantations contre les 87-88, 132-134
- Annélation circulaire, 5-7, 35-40
- Annélation des arbres indésirables (voir aussi Annélation circulaire) 7, 35-40
- Anthraquinone (répulsif), 51
- Appâts empoisonnés, 133
- Arasan (répulsif) 51
- Arbocides, 35 (voir aussi Phytocides)
- Arbres piâges, 131
- Arrosage des plantations (voir aussi irrigation des plantations), 79
- Arséniate (répulsif), 51
- Arsénite de sodium (phytocide), 6, 37-38
- Atrazine (phytocide), 38
- Atta, 129
- Avion
- épandage d'engrais par 51, 72
 - semis direct par, 47-48, 51, 110
 - traitements fongicides par, 129
 - traitements insecticides par, 129
 - traitements phytocides par 39-40, 77
- Avion (Utilisation de l')
- pour épandage d'engrais, 72
 - pour traitements fongicides, 129
 - pour traitements insecticides, 129
 - pour traitements phytocides, 39-40, 77
- Azote
- engrais azotés, 71-73
 - fixation, 73
 - teneur dans le sol, 71
- Bandes brise-vent, 108
- Bandes de niveau, 3-4
- Banquettes 3-4, 89-92
- coût de construction en Tunisie, 91
- Banquettes et gradins, semis sur 53-54
- Barre pousseuse, emploi avec tracteur à chenilles, 18
- Basin-listing, méthode de préparation du terrain, 92
- Besoins nets en eau d'irrigation, 100-103
- Bétail, protection contre le, 86-88, 134
- Billonage, 28-32
- dans les marécages salés, 112
- Billonneur à disques 30, 32
- Billons cloisonnés
- façonnage des, 51-52, 92
 - semis des, 51-55
- Bois de chauffage, 9-10
- Bourrelets cloisonnés
- construction, 52, 92
 - semis, 52, 53
- Boutures, 60
- Boutures racinées, 60
- Brise-vent, 107-109
- Bromure de méthyle (fumigation), 129
- Broyeur de broussailles, 16-17
- Brûlage, 4, 35, 31
- après plantation, 136-137
 - avant plantation, 4, 35, 51
 - des andains et déchets d'abattage, 8, 23, 51
 - des déchets industriels synthétiques, 121
 - pour l'aménagement des pâturage, 86
- Brûlage contrôlé
- après plantation, 136-137
 - avant plantation 4, 35, 51
- Brûlage décrit (voir brûlage contrôlé)
- Bulldozers, emploi pour le défrichage, 19, 103
- Capacité de débit des canaux d'irrigation, 104
- Capacité de rétention en eau du sol, 101-102
- Captan (fongicide), 50
- Cartes pour la planification et l'exécution des reboisements 143, 151-152, 158

- Catastrips, 89-90
Ceratocystis ulmi, 128
Cercospora pini-densiflorae, 129
Chaîne (défrichement par), 19-20
Charbon de bois, utilisation des déchets pour le, 8-10
Charrues
à dent sous-soleuse, 28-29
à disques, 26-29
à versoir, 28-29, 96, 115-116
Charrue à versoir
pour drainage, 26-28, 115-116
pour labour en courbes de niveau, 29
pour sillons profonds, 96
Charrue-taupe, 116
Chaulage, 118
Chlorate de soude (phytocide), 35, 38.
Chloropicrine (emploi avec le bromure de méthyle), 129
Choix de l'équipement
pour le drainage, 115-117
pour l'établissement des plantations 12-13, 24-25, 33-34
Choix des essences
généralités vii, 143
pour la résistance aux maladies et aux insectes 127-128
pour les déblais de mine, 114, 121
Choix du terrain, vii
Citimene (technique de préparation du terrain), 52
Classement des plants, 60-61
Clayonnages, 93, 108-109
Clôtures de protection contre les animaux 132-133
Collecteurs (de drainage), 114
Concurrence pour l'humidité du sol 1,26,86,94
Comptes-rendus d'exécution des travaux de reboisement, 150-151, 177
Condition physiologique des plants, 60-61
Consommation en eau des plantes 96-97
Correction des torrents, 93-94
Coupe d'éclaircissement, 7
Coupe rase 4-5, 15-20, 95-96
Correction des ravines, 93-94
Coupe d'ensemencement, 7
Coupe par lame oblique, 16
Coûts
de la plantation, 91
des mesures anti-érosive, 91
des plantations irriguées, 105
du défrichement et de la préparation du terrain, 11-13, 91
du semis direct, 47
enregistrement des, 150-152, 177
Cronartium ribicola, 131
Culture du sol
après plantation, 74-79
avant plantation, 26-34
manuelle, 28, 75-77
mécanisée, 26-34, 75-77
billonage, 30, 32, 117-118
culture en bandes, 26, 76-77
culture en plein, 28-31, 76, 87, 95-96
hersage après plantation, 76-79
hersage avant plantation, 26-34, 95-96
labour de défrichement, 28-29, 34
labour en billons, 28, 117-118
sous-solage 20,26,28-29,91,95-96,115
par traction animal, 32-35, 76
rendement, 33-34
Culture en bandes, 26-27, 75-76
Culture en plein, 28-30, 76-77, 87, 96
Culture itinérante, 9, 11, 87
Culture rémunérée, 9, 11
Dalapon (phytocide) 38-39
Déblais de mines
choix des essences, 121
considérations économiques, 121-122
étude du milieu, 121
préparation en vue du reboisement, 118-122
Débroussailleuses employées pour le défrichement, 16
Déchaussement par le gel 48, 52, 61
Déficience en bore, 72
Déformation des racines dans les récipients 57, 59-60
Défrichement en layons, 5-6, 156
Défrichement en vue de plantation
méthodes chimiques, 35-40
choix des méthodes et des équipements 2-3, 13-14, 24-25
méthodes manuelles 3-11
brûlage 4, 35, 51
coupe rase 4-5
élimination des déchets, 8
défrichement par placeaux 3-4
coupe d'éclaircissement 5-8,
défrichement par bandes 3-4, 5-6, 51-52
dessouchement 7-8
taungya 9-11
méthodes mécanisées 12-25
défrichement par chaîne 19-20
scies à chaîne 16
rouleaux débroussailleurs 16
élimination des déchets 21-23
principes 12-15
extirpateur de racines 20-21, 95-96
débroussailleuses 16-17
coupe par lame oblique 16-17
dessouchage 17, 20, 23
techniques à plusieurs tracteurs 19-20
techniques à un tracteur 18-19
broyeurs 17
rendement 23-24
Défrichement par bandes 3-4, 5-6, 50-52
Défrichement par placeaux, 3-4
Dégâts de gel 127-128
Déliantage 156

- Densité de plantation (voir espacement)
Densité de réseau routier 149, 159-160
Désherbage en lignes 75-77
Désherbage, 74-79
 chimique, 76-77
 des plantations irriguées, 79
 en plein 15, 28, 74-77, 95-96
 par incinération 136, 137
 régime, 79
Désherbage par placeaux, 76-77
Dessalement, 112
Dessouchage
 manuelle, 7-8
 mécanisé 17, 20, 23
 normes de travail, 24
Digues de niveau, 94-95
Diplodia pinea, 128
Dieldrine (insecticide) 129-130
Distribution des plants, 65-66
Données institutionnelles pour la planification, 145-146
Données opérationnelles pour la planification 145 (voir aussi rendement du travail et normes de travaux)
Données sur les ressources pour la planification, 143-145
Dormance des semences
 prétraitement des graines, 49-51
 Types, 48-49
Dormance endogène, 48, 50
Dormance exogène, 48-49
Dothistroma pini, 129, 131
Dowpon (phytocide), 38-39
Drainage
 des routes, 162
 des terrains à reboiser, 26-27, 31-32, 110-118
 incidence sur la densité de plantation, 63
 matériels mécaniques, 115-117
 techniques, 112-115
Dunes, 105-110
 distribution géographique, 105-106
 formation des, 105-106
 méthodes de stabilisation, 106-110
Eau
 méthodes de conservation, 86-96
 capacité de réserve, 98
 prétraitement des semences, 49-51
 qualité, 98-102
 besoins, 96-97, 100-102
 capacité de rétention, 87
 ouvrages de rétention, 86-94
 barrages de rétention, 87
Eclaircie, 63, 129
 des plantations d'enrichissement en layons, 155-156
Echelle des opérations, 14, 25
Elagage, 62-63, 80
Elagage atmosphérique, 60
Eléments de banquettes, 92
 déficiences, 71, 118
 incidence sur la densité de plantation, 62-63
 teneur dans le sol
 bore, 72
 azote, 71-73, 118
 phosphore, 71-73, 118
 potassium, 71, 118
 utilisation par les plantations en taungya, 11
Elimination des déchets de coupe, 8, 21-23
Embruns salés, 127-128
Empoisonnement des arbres indésirables, 5-7, 36-38, 40, 156
Encouragements
 pour le reboisement, 87-88
 pour la taungya, 9-11
Encroûtements et horizons indurés, 26, 28, 31, 115
Endothia parasitica, 128
Endrine (répulsif), 51
Endurcissement des plants, 61
Engrais, 71-73
Enlèvement des sachets avant la plantation, 59-60, 67-68
Enregistrement des coûts, 150-152
Enrobage des semences, 51
Entretien des plantations
 irrigation, 79, 99-105
 élagage, 62-63, 80
 taille, 80
 éclaircies, 63, 129, 155-156
 désherbages, 74-79
Enroulement des racines dans les récipients 57-60
Eperon pour défrichage mécanisé, 19
Epoques
 de semis direct, 52
 de plantation, 14, 33-34, 61-62, 156
Erosion
 méthodes de lutte mécanisées, 86-96
 lutte par reconstitution du couvert végétal, 86-88
 dangers d', 1-4, 29-30, 40, 51-52
 éolienne, 105-106, 122
Espacement
 des plantations, 12-13, 62-63
 en relation avec l'eau disponible dans le sol, 95
 des raies d'irrigation, 99-100
 dans les plantations d'enrichissement en layons, 155
 des routes, 157-158
Essences, choix des
 pour la résistance aux maladies et aux parasites, 127-128
 pour les déblais de mines, 114, 121
 généralité vii, 143

- Etudes de milieux préalables au reboisement
des déblais de mines, 121
Etude du travail, 169
Evapotranspiration
réelle, 100-102
potentielle, 100-102
Excavatrices dragues, 116-117
Excavatrices pour drainage, 116-117
Extirpateur de racines, 20-21, 95-96
- Formation de la main-d'oeuvre, 13, 34, 144, 149
Fossés de dérivation, 113
Fossés de drainage, 113-114
Fossés de niveau, 4, 89-92
Fossés de niveau à pente variable, 91-92
Fossés de protection contre les animaux, 132-133
Fongicides, 35, 129, 131
Fourmis, lutte contre les, 129-130
Fourmis coupeuses de feuilles, 129-130
Frange capillaire, 111-112
- Gezira (Soudan), périmètre d'irrigation de la, 97
Gonipterus scutellatus, 130
Gradins, 4, 89-91
semis sur, 53-54
Gramoxone (phytocide), 39
- Haies
de protection contre les animaux, 132-133
pour la stabilisation des dunes, 108-109
Hersage-après plantation, 76-79
avant plantation, 26-34, 95-96
rendement, 33
Hersage par pulvérisateur à disques, 29-32, 76-78, 95-96
Herse à dents, 34
Herses émietteuses, 29-30
- Inoculation de mycorrhizes, 73
Incendie
danger d', 40, 86-88, 134-135
protection contre l', 86-88, 134-138
Insecticides, 129-130
Irrigation à la raie, 99-100
Irrigation de surface, 99-100
Irrigation des plantations
aspects économiques, 105
incidence sur la densité de plantation, 62-63
considérations générales 79, 96-98
méthodes 99-100
planification et implantation, 103-105
besoins en eau, 100-102
Irrigation goutte à goutte, 100
Irrigation par calants, 99
Irrigation par submersion, 99
- Jachère, 9
- Labour de défrichement, 28, 34
Labour en billons, 28
Labour en billons dans les tourbières, 28-29, 115, 117
Labour et disquage, 26-30
des pare-feu, 26, 135-136
de défrichement, 27-28, 34
rendement, 33
en billons, 28
en bandes, 26
par traction animale, 34-35
Lame coupante oblique, 16, 18
Lame delta pour défrichement mécanisé, 16
Lame oblique pour défrichement mécanisé 16, 18, 95
Lanoline pour le traitement des blessures sur les arbres, 80
Landes de bruyère, labour des, 28
Lapins, lutte contre les, 133
Lessivage
des déblais de mines, 120
des sols salés, 98, 112
Lutte biologique contre les parasites et maladies
Lutte contre les insectes, 128-130
Lutte mécanisé
contre l'érosion, 85-96
contre les parasites et maladies, 131
- Macro-éléments, 71
Main-d'oeuvre
disponibilités, 2-3, 13, 24
organisation, 65
besoins, 144, 149-150, 176
contre mécanisation, 3, 12-14, 24-25
Maladies, protection contre les (voir aussi le noms de maladies), 128-131
Maladies cryptogamiques, 128-131
Marécages, drainage des, 110-112
Marécages salés, 112
Marquage des lignes de plantation, 64
Méthodes de lutte sylvicoles, 129
Méthodes de reboisement manuelles
défrichement et préparation du terrain, 3-13, 75-77
plantation, 91
désherbages, 74-77
contre méthodes mécanisées, 3, 12-14, 24-25
Méthode des croissants, 92
Méthode du rab, 52
Méthode steppique, 95-96
Méthodes de reboisement mécanisées
définition, 12
défrichement et préparation du terrain, 12-34
plantation, 68-70
désherbages, 75-78
incidence sur la densité de plantation, 62-63

- contre méthodes manuelles, 3, 12-14, 24-25
- Mines à ciel ouvert, 119-120, voir aussi déblais de mines)
- Minipots et minitubes, 59
- Mise en andains des déchets, 8, 21-24
- Mise en jauge, 58, 65
- Monochaetia unicornis, 128
- Mulching
 - sur sols arides, 94-95
 - sur dunes, 108-110
 - sur pentes instables, 93
- Multiplication végétative, 57
- Mycorrhizes, 73

- Nettoisement des terrains à planter, 23
- Nitrate de potassium employé pour rompre la dormance des semences, 51
- Nivellement
 - du terrain pour plantations irriguées, 109
 - des déblais de mines à ciel ouvert, 119
- Normes de travaux (voir rendements et normes de travail)

- Oligoéléments, 71
- Ouvrages de correction des ravines, 93-94
- Ouvrages en lignes de niveau interrompues, 92
- Oxyde de cuivre employé pour rompre la dormance de semences, 51
- Oxyde de zinc employé pour rompre la dormance des semences, 51

- Paraquat (phytocide), 39
- Pare-feu, 26, 135-136
- Pâturage, contrôle du, 86-88, 134
- Pentachlorophénol (phytocide), 38
- Percolation, 86-87
- Peroxyde d'hydrogène employé pour rompre la dormance des semences, 51
- Petits barrages, 93-94
- Peuplements abris, 73
- Phase d'installation, définition vii
- Phoracantha semipunctata, 131
- Phosphore
 - engrais phosphatés, 71-73
 - teneur dans le sol, 71-118
- Phytocides
 - définition, 35
 - pour désherbage après plantation, 77
 - pour désherbage avant plantation, 35-40
 - types
 - Sulfamate d'ammonium, 37
 - AMS, 37
 - Atrazine, 38
 - Dowpon, 38-39
 - Gramoxone, 39
 - Paraquat, 39
 - Pentachlorophénol, 38
 - Picloram, 38
 - Silvex, 36
 - Simazine, 38
 - Arsénite de sodium, 37-38
 - Chlorate de soude, 35, 38
 - Tordon, 38
 - Tria zines, 38
 - 2, 4-D, 37
 - 2, 4, 5-T, 36
- Phytocides de contact, 35
- Phytocides de préémergence, 35, 38
- Phytocides de transfert, 35-39
- Phytocides totaux, 35, 38
- Picloram (phytocide), 35-40
- Piégeage des animaux sauvages, 134
- Piquetage des lignes de plantation, 64
- Plan-cadre, 142
- Plançons, 60-61
- Planification
 - de la mise en valeur, 141-142
 - Nationale, 141
 - Analyse de réseau, 145, 169-174
 - des plantations, 141-152
 - des plantations irriguées, 103
 - des routes, 157-158
 - de la récolte et du traitement des semences, 166-168
 - opérationnelle, 141-152
 - périodique, 145
 - de la gestion du reboisement, 141-152
 - sectorielle, 141
- Planification des projets de reboisement 141-152
- Planification des travaux, 141-152
- Plans
 - de gestion du reboisement, 146-152
 - plan-cadre, 142
- Plantation
 - avantages et inconvénients par rapport au semis direct, 47-48, 57
 - soins, 57, 66-68
 - coûts, 90-91
 - d'enrichissement, 5, 155-156
 - en layons, 5-6, 155-156
 - machines, 68-70
 - méthodes
 - manuelles, 66-68
 - mécanisées, 68-70
 - principes, 57-64
 - organisation des, 65-66
 - remplacement des manquants, 70-71
 - époques de, 61-62, 65
 - plants
 - en mottes, 58
 - à racines nues, 58
 - soins aux, 58, 65
 - boutures, 60
 - classement des, 60-61
 - condition physiologique des, 60-61
 - en pots, 58-60
 - ressources en, 143-145
 - boutures racinées, 60
 - plançons, 60

- taille des, 60-61
- striplings, 58
- stumps, 60
- transport des, 58-59, 65-66
- en tubes, 58-60
- sauvageons, 58
- Plantation au plantoir, 67
- Plantation d'enrichissement, 5, 155-156
- Plantation de conversion, 5
- Plantation de remplacement, 70-71
- Plantation directe, 3
- Plantation en fente, 66-67
- Plantation en layons, 6, 155-156
- Plantation en potets, 12, 26, 66-68
- Plantation en sous-étage, 6, 7
- Plantation profonde, 68
- Plantations
 - défrichement et préparation du terrain, 1-40
 - coûts, 90-91
 - fertilisation, 71-73, 118
 - irrigation, 63, 79, 95-105
 - tracé, 12, 26, 63, 148-149
- Plantations
 - défrichement et préparation du terrain, 1-40
 - coûts, 90-91
 - fertilisation, 71-73, 118
 - irrigation, 63, 79, 95-105
 - tracé, 12, 26, 63, 148-149
 - planification, 141-152
 - protection contre
 - les animaux, 86-88, 132-134
 - les maladies, 128-131
 - le feu, 86-88, 134-138
 - le pâturage, 86-88, 134
 - les insectes, 128-131
 - l'homme, 86-88, 134
 - les agents atmosphérique, 127-128
 - élagage, 62-63, 80
 - densité, 12-13, 62-63
 - taungya, 9, 11, 55, 63, 76
 - entretien, 74-80
 - désherbage, 74-79
- Plantations mélangées, 128-129
- Plants à racines nues, 58-59
- Plants élevés en récipient, 58-60, 62
- déformation des racines, 57, 59-60
- Plants en boulettes, 59
- Pompes d'irrigation, 104-105
- Possibilités d'emploi, 12, 144
- Potassium
 - engrais potassiques, 71
 - teneur dans le sol, 71, 118
- Potets, 3
- Pots (voir récipients en polyéthylène)
- Poudre d'aluminium (lubrifiant pour les semences enrobées), 51
- Précipitations
 - accumulation dans le sol avant la plantation, 61-62
 - intensité, 85-87
 - répartition saisonnière, 85-86
- Précipitations utiles, 101-102
- Préparation du terrain
- Pression sur les terres cultivables, 9, 11
- Prétraitement des semences, 48-51
 - à l'acide, 49-51
 - par scarification, 49-51
 - par stratification, 50-51
 - par trempage dans l'eau, 49-51
- Prétraitement des semences à l'eau chaude 49-51
- Prétraitement des semences à l'eau bouillante, 49
- Prévision de travaux, 147-149, 175
- Problèmes de salure dans les plantations irriguées, 98, 100
- Produits chimiques
 - pour la lutte contre les parasites et maladies, 129-131
 - pour la destruction des adventices, 77
 - types
 - engrais, 71-73, 118
 - fongicides, 35, 129-131
 - phytotoxiques, 35-40, 77
 - insecticides, 129-130
 - répulsifs et produits de traitement des semences, 49-51
- Programme annuel de travaux, 142, 152
- Protection des plantations contre
 - les animaux, 86-88, 132-134
 - les maladies, 128-131
 - le feu, 85-88, 134-138
 - le pâturage, 86-88, 134
 - les insectes, 128-131
 - l'homme, 86-88, 134
 - les agents atmosphériques, 127-128
- Protection des plantations contre l'abrutissement, 132-134
- Protection des plants contre
 - les termites, 68, 129-130
 - le vent, 68, 96
- Pulvérisation de bitume pour la fixation des sables, 108-110
- Pulvérisateur à disques lourd, 28-30
- Pulvérisations à très faible volume, 39-40
- Rapidité de croissance, 62
- Rapport racine/tige
 - pour les boutures, 60, 109
 - pour les plants, 60
- Rasettes, 96 (voir aussi sous-solage)
- Rassemblement des données en vue de la planification, 142-146
- Rateaux montés sur tracteur pour défrichement et mise en andains, 18-19, 21-23
- Reboisements villageois, 88
- Récipients en polyéthylène pour plants de pépinière, 58-60

- Regarnis ou regarnissages, 70-71
Registre des parcelles, 152
Rendements et normes de travail
travaux manuels
 banquettes, 91
 débroussaillage et abattage, 4-5
 défrichement, 91
 gradins, 91
 abattage et brûlage, 4-5
 défrichement en layons, 6
 semis en lignes, 53-54
 empilage des déchets, 24
 plantation, 91
 production de plants, 91
 remplacement des manquants, 91
 routes, 91
 dessouchage, 7-8
 entretien, 91
 désherbages, 75
travaux mécanisés
 banquettes, 91
 défrichement par chaîne, 24-25
 rouleau débroussailleur, 16
 défrichement, 24, 91
 semis en lignes, 53-54
 labour, 33
 hersage avant plantation, 33
 remplacement des manquants, 91
 routes, 91
 sous-solage, 91
 entretien, 91
 broyeurs, 17
 andainage, 24
Repulsifs
 sur les plants, 133
 sur les semences, 51
Répulsifs contre les oiseaux, 51
Ressources financières dans la planification, 145
Ressources humaines, 144, 149-150
Rhizoctol combi pour l'enrobage des semences, 51
Rippage (voir sous-solage)
Rotavator, 26, 29, 76
Rouleaux débroussailleurs, 16
Routes, 25-26, 157-164
 classement, 158-159
 coût de construction en Tunisie, 91
 densité, 149, 159-160
 système de classement, 158
 tracé, 12
 dans les plantations irriguées, 105
 cartes routières, 158
 planification, 12, 149, 157-158
 normes de construction, 160-163
Saccardy, formule de, 89
Saisons de plantation, 61-62, 65
Sauvageons, 58
Scarification des semences, 49-50, 51
Scie à chaîne (emploi pour le défrichement) 16
Selidosema suavis, 128
Semences
 disponibilités, 47-48, 57, 143
 récoltem planification de la, 166-168
 coût, 47
 semis direct
 avantages et inconvénients 47-48, 57
 méthodes, 52-55
 sur dunes, 109-110
 époques, 52
 dormance, 48-51
 enrobage des, 51
 prétraitement des, 48-51
 scarification, 49-51
 stratification, 50-51
Semis à la volée, 52-53
Semis aérien, 47-48, 51-53, 110
Semis de remplacement, 55
Semis direct
 avantages et inconvénients, 47-48, 57-58
 méthodes, 53-55
 sur dunes 110
 époques de, 52
Semis en lignes, 53-54
Semis en placeaux, 54-55, 76-77
Semis en poquets, 54-55
Semis sur billons, 54
Séquence des opérations de plantation, 34
Shamba (voir aussi taungya), 9, 11
Silvex (phytocide), 36
Simazine (phytocide), 38
Soins aux plants, 58-60
Soin dans la plantation, 57-58, 66-68
Sols
 ouvrages de conservation, 86-96
 dégradation, 1, 9, 86-87
 bouleversement, 14, 17, 21-22
 érosion
 lutte par moyens mécaniques, 86-96
 contrôle par la végétation, 86-88
 dangers d'érosion, 1-4, 26, 40, 51-52
 érosion éolienne, 105-106, 122
 encroûtements, 26, 28, 31, 97-98, 115
 apport de terre sur les terrains à reboiser, 119, 121
 humidité, 26, 63, 87
 accumulée avant plantation, 61-62
 capacité de rétention, 102
 éléments fertilisants, 63, 71, 118
 réaction, 118, 120
 ouvrages de retenue, 86-96
 texture, incidence sur les méthodes d'irrigation, 100
 capacité de rétention en eau, 98
Sols salés, reboisement des, 98, 103, 112

- Sous-solage, 20, 26, 29-31, 115
sur banquettes, 94-95
coûts en Tunisie, 91
méthode steppique, 95-96
des catastrips, 90
- Stabilisation
des terrils, 119
des dunes, 106-110
- Stations arides (voir aussi irrigation des plantations)
techniques de reboisement pour, 94-96
généralités, 85-87
- Stratification des semences, 50-51
- Stratification froide, 49
- Striplings, 58
- Stumps, 60, 109
- Sulfamate d'ammonium (phytocide), 37
- Tâcherons, 4, 7-8
- Taille des arbres, 80
- Taille des parcelles de reboisement, 148-149
- Taille et classement des plants, 59-61
- Tarières, emploi en plantation, 67
- Taungya
incidence sur la densité de plantation, 9, 11, 55, 76
- Taungya directe, 9
- Taungya en règle, 9
- Terrain
défrichement du (voir Défrichement du)
nivellement du, 103, 119
- Terrains
choix des, pour le reboisement viii
évaluation des terrains de déchets industriels, 121
préparation
brûlage, 4, 35, 51-52
coupe rase, 4-5, 15-20, 95-96
méthodes chimiques, 35-40
citemene, 52
fossés et banquettes de niveau, 3, 89-93
drainage, 26-27, 30-31, 63, 110-118
pour semis direct, 51-52
pour plantations irriguées, 103-104
nivellement, 103, 119
méthodes manuelles, 2-13, 28
méthodes mécanisées, 12-35
objectifs, 2
défrichement par placeaux, 3-4
défrichement par bandes, 3-4, 5-6, 51-52
terrasses et banquettes, 88-92
bourrelets cloisonnés, 52, 92
- Terrains de décharge (voir déblais de mines)
- Terrains de déchets industriels
préparation en vue du reboisement, 121-122
types, 118-121
- Terrains érodibles, reboisement des, 85-94
- Terrains humides (voir terrains mouilleux)
- Terrains marécageux, 110-118
drainage, 112-118
distribution géographique, 110-112
- Terrains mouilleux
drainage, 112-118
dans les périmètres d'irrigation, 98, 100, 102
distribution géographique, 110-112
- Terrasses et banquettes, 88-89
- Terres
pression sur les, et incidence sur la taungya, 9, 11
ressources en, pour la planification du reboisement, 143
- Termites, 68, 129-130
- Tordon (phytocide), 38
- Torrão paulista, 58
- Tourbières, préparation en vue du reboisement, 28, 110-118
- Tracé
d'un réseau de drainage, 112-114
des plantations irriguées, 103-105
des plantations, 12, 26, 63, 148-149
des routes, 12, 105, 149
- Traction animale, 35, 76
- Transport des plants, 58, 65-66
- Triazines (phytocides), 38
- Tubes pour l'élevage des plants, 59-60
- Vent
dégâts dus au, 61, 68, 96, 127
érosion éolienne, 105
- Yougoslavie, 88
- Zinc, engrais à base de, 73