

Les types d'utilisation

Introduction

Limites biologiques de la transformation des écosystèmes forestiers tropicaux

- Caractéristiques critiques
 - Diversité spécifique
 - Variabilité génétique
 - Reproduction
 - Distribution spatiale
 - Environnement atmosphérique
 - Le bilan hydrique et le cycle des matières nutritives
- Prédiction et évaluation de l'impact des manipulations sur la production et l'environnement
- Conclusion

Divers types d'utilisation

- Utilisation sans transformation majeure
 - Sylviculture
 - Stimulation de la régénération désirable
 - Dégâts d'exploitation
 - Échantillonnage de diagnostic prospectif et niveaux de matériel sur pied
 - Plantations d'enrichissement
 - Coupes jardinées
 - Systèmes polycycliques
 - Reproduction végétative
 - Conclusions
 - Exploitation forestière
 - Aménagement de la faune
 - Utilisations actuelles de la faune sauvage
 - Aménagement forestier et faune sauvage
 - Aménagement de la faune sauvage
 - Conclusions
 - Parcours en forêt
 - Parcours sans modification de la forêt
 - Parcours avec modification de la forêt
- Écosystèmes simplifiés
 - Plantations forestières
 - Facteurs limitants
 - Vent
 - Feu
 - Érosion
 - Termites et autres ravageurs
 - Pâturage et broutage
 - Extension des plantations forestières et amélioration des essences
 - Conclusion

Prairies améliorées en forêt

- Défrichement total (Queensland)
- Mise en valeur pastorale à partir de la pluvisylve
- Mise en valeur pastorale et reboisement sur sols pauvres
- Cultures itinérantes et autres systèmes agri-sylvicoles
 - Agriculture itinérante
 - Terminologie
 - Populations
 - Systèmes stables
 - Systèmes épuisants et accélérés
 - Effets
 - Production alimentaire et énergie
 - Conclusions
- Autres systèmes agri-sylvicoles
 - Élevage sous plantations
 - Conclusions
- Lutte contre l'enherbement et l'embroussaillage
 - Définition
 - Les problèmes des espèces indésirables
 - Pépinières forestières
 - Plantations
 - Espèces d'arbres indésirables
 - Espèces parasites
 - Entretien des pare-feux

Conséquences des travaux forestiers sur l'environnement

- Biocides
- Exploitations et routes forestières
- Lacs artificiels
- Effluents des industries de pâte et de papier
- Industries, mines et établissements humains

Les recherches nécessaires et les priorités

- Limites biologiques de la transformation des écosystèmes forestiers tropicaux
- Les divers types d'utilisation
 - Sylviculture
 - Plantations
 - Aménagement de la faune sauvage
 - Systèmes agri-sylvicoles
- Lutte contre l'enherbement et l'embroussaillage
- Conséquences des travaux forestiers sur l'environnement

Bibliographie

Introduction

Les différents modes d'exploitation des diverses ressources existant dans les écosystèmes forestiers tropicaux dépendent des objectifs que l'on se propose d'atteindre en termes de production, de conservation et de qualité de la vie mais, auparavant et surtout, des possibilités de manipulation et même de transformation de ces écosystèmes pour augmenter leur disponibilité ainsi que la quantité et la qualité des biens et des services pour répondre aux demandes des populations, des industries et du commerce.

Les types d'exploitation ont été examinés dans de nombreuses conférences ou colloques internationaux. En se limitant à la période qui a suivi la deuxième guerre mondiale, on citera la Conférence des Nations Unies sur l'utilisation des ressources naturelles (Lake Success, 1949), le Colloque organisé par la Wenner Gren Foundation sur le thème « Man's role in changing the face of the earth », la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technologie au développement (Genève, 1963), la Conférence de l'Unesco sur l'utilisation rationnelle des ressources de la biosphère (Paris, 1968) et finalement, les conférences organisées par la FAO sur l'alimentation, respectivement à Washington et La Haye en 1963 et 1970, et la Conférence des Nations Unies sur l'alimentation, tenue à Rome en 1974. Il convient également de signaler la neuvième réunion technique sur l'écologie de l'homme dans le milieu tropical, organisée par l'UICN à Nairobi en 1963.

Force toutefois est de reconnaître que la littérature traitant de l'utilisation des terres tropicales humides reste vague lorsqu'il s'agit de leurs potentialités à long terme. Elle ne souligne pas assez la différence entre les régions qui ont une saison sèche marquée et celles qui n'en ont pas. Dans les premières, la simplification de l'écosystème forestier, c'est-à-dire sa transformation en plantations forestières, en prairies permanentes ou en cultures intensives, a donné des résultats positifs compte tenu également des possibilités que donne la saison sèche et moins chaude de lutter contre les insectes et les maladies ; dans les secondes qui correspondent aux forêts tropicales humides sempervirentes, en dehors des terres alluvionnaires ou volcaniques, des terrasses irriguées et des terres à proximité des villages où la lutte contre la compétition des mauvaises herbes est possible, les résultats obtenus jusqu'à maintenant ont été souvent décevants. Cette question des possibilités et limitations dans l'utilisation des terres tropicales est de la plus grande importance et mérite d'être suivie car de grands espoirs continuent à être fondés sur les possibilités de mise en valeur des régions tropicales humides. C'est ainsi que le document sur la situation de l'agriculture mondiale, présenté à la Conférence des Nations Unies sur l'alimentation (1974) prévoit qu'il sera possible d'augmenter les terres cultivées des pays en développement, de 737 millions d'hectares en 1970 à environ 900 millions d'hectares en 1985, et qu'on pourra compter, si l'on vient à bout de la trypanosomiase, sur 120 millions de têtes de bétail supplémentaires, et cela principalement dans les terres tropicales humides.

Cela souligne l'importance des recherches poursuivies par certains instituts internationaux sous l'égide du Groupe consultatif de la recherche agronomique et de son Comité technique consultatif. Il s'agit en particulier de l'Institut international d'agriculture tropicale d'Ibadan (IITA), du Centre international de l'élevage pour l'Afrique à Addis-Abéba (ILCA), du Centre international de l'amélioration du maïs et du blé du Mexique (CIMMYT) et de l'Institut international de recherches sur le riz à Los Baños (IRRI). Il y a toutefois lieu de signaler que pour le moment les recherches poursuivies par ces instituts portent essentiellement sur l'augmentation de la production alimentaire et sur les conditions socio-économiques d'un tel accroissement de production. En Afrique, des recherches récentes effectuées à Ibadan sur les systèmes de culture et les assolements donnent des résultats très encourageants pour la zone soudano-guinéenne sans que l'on puisse toutefois, pour le moment, transférer ces résultats dans la zone guinéenne.

Enfin, les infrastructures mises en place (routes, barrages, etc.) ainsi que les opérations effectuées pour l'amélioration de la récolte des ressources ont une influence à plus ou moins long terme sur l'environnement. Ces influences sont souvent sous-estimées et il est absolument indispensable d'en tenir compte dans les projets de mise en valeur soit pour les comptabiliser sous forme de coûts ou bénéfices associés, soit pour prévoir les actions nécessaires à leur contrôle.

Dans ce chapitre on examinera les différentes utilisations des écosystèmes forestiers tropicaux humides, en laissant de côté la transformation complète en systèmes agricoles. Le cas de la prairie améliorée sera présenté surtout pour montrer les possibilités d'existence d'une simplification de l'écosystème forestier à une certaine échelle, souvent en association avec des cultures arborées, sans prétendre en dégager un programme de recherche. Le problème de l'élevage du gibier ne sera pas traité mais simplement mentionné quand on traitera de l'aménagement de la faune sauvage. Il convient de préciser que les aspects socio-économiques de la mise en valeur agricole, pastorale ou forestière (qui ont pourtant une influence directe ou indirecte sur l'utilisation), ne seront pas examinés, sauf s'ils apparaissent nécessaires pour dégager certaines orientations en matière de recherche. Il en sera de même des problèmes relatifs à la récolte et au transport des produits.

Limites biologiques de la transformation des écosystèmes forestiers tropicaux

Caractéristiques critiques

Pour évaluer les limites biologiques aux transformations de l'écosystème forestier tropical, il faudrait prendre en considération toutes ses caractéristiques et voir dans quelle mesure elles s'opposent aux manipulations ou les facilitent. Ces caractéristiques ou ces attributs ne sont pas complète-

ment indépendants et l'on examinera seulement quelques-uns d'entre eux, les plus importants dans la mesure où ils traduisent une limite ou une contrainte. On laissera donc de côté les caractéristiques très générales telles que l'entropie ou l'information qui apparaissent comme la synthèse d'autres caractéristiques et dont les relations avec les possibilités de manipulation seraient plus difficiles à mettre en évidence d'un point de vue pratique. On laissera également de côté les caractéristiques relatives au bilan énergétique, comme la production brute ou nette, qui ne semblent pas devoir poser de limites théoriques dans les zones tropicales. Une autre approche proposée par Golley (communication personnelle) serait d'explorer la nature des attributs des diverses communautés de la succession puisqu'ils sont à la base de la stabilité. Ces attributs sont la masse du système, le nombre des choix fonctionnels et le temps de réponse du système aux perturbations de l'environnement. « Premièrement, la masse d'êtres vivants que comprend le système présente au moins deux propriétés. Une biomasse importante amortit sans doute les oscillations, aussi bien en raison de son inertie propre que par la zone qui l'entoure et sur laquelle elle étend son influence (cycles des éléments minéraux). En outre l'homme peut exercer une forte influence sur le climat local. Deuxièmement, le nombre des choix fonctionnels au sein d'une communauté correspond aux diverses tâches et possibilités à l'intérieur du système. Cette latitude de choix peut influer sur la stabilité en offrant des éléments et/ou des voies de substitution en cas de perturbation du système. Enfin la stabilité est liée à l'échelonnement dans le temps des diverses interactions entre les membres d'une communauté. Le temps de réponse revêt parfois une importance extrême pour la stabilité car des rétroactions entre les unités peuvent amplifier ou amortir une oscillation. Pour être stable une communauté doit avoir un répertoire de réponses adaptées à l'échelonnement dans le temps des perturbations mésologiques et au délai qu'impliquent les interactions entre les unités. La réponse rapide d'une unité pourrait par exemple réduire le temps de réponse d'autres unités et provoquer une adaptation de l'ensemble du système » (Golley, communication personnelle).

Dans le chapitre 9, on a déjà mentionné les caractéristiques des divers stades de la succession et leur utilité dans l'utilisation des terres. Parmi les caractéristiques à étudier on retiendra la diversité spécifique, la variabilité génétique, la reproduction, la distribution spatiale, l'environnement atmosphérique et le cycle des matières nutritives.

Diversité spécifique

La diversité spécifique est une caractéristique bien connue des forêts tropicales humides (voir les chapitres 4, 5 et 7). La richesse spécifique (nombre d'espèces) est distincte de la diversité spécifique (importance relative des différentes espèces) et le terme stabilité a différentes significations selon les auteurs : constance, inertie, élasticité, stabilité directionnelle, etc. De nombreux auteurs (Golley, Goodman, Orians, Whittaker et autres) ont apporté des précisions sur ces concepts. Un examen plus approfondi des

propriétés des espèces montre que celles-ci sont hautement sensibles à toutes sortes de perturbations parce qu'ayant évolué dans des conditions d'une relative constance de l'environnement, elles ont en général un faible taux de reproduction et de dispersion, et peu ou pas de dormance. Elles tendent par ailleurs à être plus spécialisées dans leur gamme d'utilisation des habitats.

May (1975) a traité des concepts de sélection r et sélection K (r étant la capacité de reproduction de chaque individu et K la population maximale pouvant exister dans un écosystème donné) dérivant des paramètres conventionnels de l'équation logistique, $\frac{dN}{dt} = rN \frac{(K-N)}{N}$, où N est le nombre d'individus, et qui représente la courbe sigmoïde familière de la croissance d'une population dans un environnement limité. Les conclusions de cet auteur sont les suivantes.

« 1. Les écosystèmes naturels complexes (comme la pluviisylve) avec leurs nombreuses espèces et leur riche secteur d'interaction sont en général dynamiquement fragiles. Bien qu'ils soient bien adaptés pour se maintenir dans un milieu relativement stable au sein duquel ils ont évolué, ils sont beaucoup moins résistants aux perturbations causées par l'homme que ne le sont les simples et robustes écosystèmes forestiers tempérés.

» 2. Dans les tropiques, les stratégies de reproduction pour les plantes et les animaux sont adaptées à un milieu relativement constant. Elles sont moins adaptées que les organismes des zones tempérées pour surmonter de graves perturbations.

» 3. La plupart des forêts tropicales humides croissent sur des sols impropres à une agriculture permanente. Une foresterie de production est donc l'utilisation la plus rationnelle de ces surfaces; mais en raison de 1 et 2, les forêts tropicales humides exigeront des techniques de gestion sous rendement soutenu bien plus compliquées que pour les forêts tempérées. Des restrictions, des recherches et l'exclusion d'une utilisation sans examen préalable des méthodes de récolte sont nécessaires si l'on veut éviter que les forêts tropicales humides n'aient le même destin que les organismes résultant d'une sélection K tels que le bison ou la baleine bleue. »

Hartshorn et Orians (1975) examinent de quelle façon les interactions entre les organismes individuels peuvent influencer le nombre d'espèces vivant ensemble et comment ces interactions affectent théoriquement et pratiquement la stabilité des écosystèmes forestiers tropicaux. Ils précisent d'abord que le concept de stabilité s'applique à certaines composantes de la capacité d'un système de se maintenir près d'un point d'équilibre ou d'y revenir après une perturbation. Ces composantes sont : la constance, la persistance, l'inertie, l'élasticité, l'amplitude, la stabilité cyclique et la stabilité directionnelle. Ils analysent ensuite les caractéristiques des forêts tropicales vis-à-vis de ces sept composantes utilisant les informations disponibles (Budowski, Holdridge, Janzen) sur les attributs des arbres des différentes phases de la succession dans la forêt tropicale. En conclusion, ils soulignent l'importance de la pluie et de sa répartition sur la survie et la destruction des forêts tropicales, l'incertitude

qui subsiste concernant l'amplitude (la gamme des états où le système reste stable) et le rôle de la stabilité cyclique qui est à la base de la théorie de la mosaïque pour la régénération et qui va à l'encontre de l'interprétation traditionnelle de la stabilité directionnelle des successions secondaires.

Enfin il faut mentionner (Synnoth, 1975) que les animaux de toutes tailles qui dépendent des plantes pour leur nourriture, et les prédateurs de ces animaux, ont leur milieu modifié, favorablement ou défavorablement, par les changements dans la composition spécifique et la structure physique de la forêt. Les changements dans les populations animales peuvent avoir un effet important sur la pollinisation des fleurs et la dissémination des graines, qui peut alors à son tour affecter la composition spécifique de tous les stades ultérieurs de la succession. Enfin, les effets des modifications de structure sur les animaux arboricoles et de l'enlèvement de vieux arbres qui abritent certains animaux (notamment les écureuils et les chauves-souris) doivent être soulignés.

Variabilité génétique

Bouvalet (1975, voir chapitre 21) écrit : « En forêt dense, la concurrence s'exerce entre espèces et il est probable que le mécanisme de cette compétition est extrêmement complexe (intra et interstrate), et que le hasard du voisinage joue, pour la survie d'un individu, un rôle plus important que son aptitude génétique. Quel est dans ces conditions le meilleur système d'adaptation ? D'abord celui qui assure la survie par une quantité importante de graines, même si le semencier se trouve éloigné d'autres arbres de la même espèce; ensuite, celui qui produit pour chaque individu de l'espèce un niveau moyen d'adaptation sans grands écarts par rapport à cette moyenne, c'est-à-dire sans variabilité individuelle forte. En effet, une espèce à variabilité individuelle forte peut voir ses génotypes les mieux adaptés 'gagner' sur les autres espèces mais seulement lorsque ces génotypes se trouvent chacun, par hasard, dans une situation écologique individuelle favorable. Le risque est grand du hasard contraire : les meilleurs génotypes défavorisés, les moins bons favorisés mais ne pouvant dominer en raison de leurs mauvais génotypes. Ces deux conditions, fertilité d'arbres isolés et niveaux moyens d'adaptation, sont remplies par un système de reproduction basé sur l'autogamie. » Développant sa pensée il présente comme la plus favorable l'hypothèse que les espèces de la forêt dense sont à autogamie dominante.

Reproduction

La forêt tropicale humide est facile à détruire et difficile à recréer en raison, d'une part, des moyens généralement limités de dispersion des semences et, d'autre part, des conditions très particulières nécessaires pour une germination de la graine et une installation réussie du plant, sans parler de l'effet de l'enlèvement de la matière organique et de l'humus sur la disponibilité en éléments nutritifs. C'est ainsi que les essences secondaires généralement héliophiles ont des graines dont la dormance et la vitalité sont longues

alors que les graines des essences primaires ont une dormance et une longévité limitées et que leurs semis ont besoin d'un couvert assez important. Cette connaissance insuffisante des mécanismes de reproduction explique les difficultés rencontrées par les méthodes classiques de régénération qui dérivent le plus souvent de la forêt tempérée, et souligne la nécessité d'entreprendre de nouvelles recherches dans ce domaine. Les chapitres 8 et 9 contiennent des informations sur la vitalité et la dormance des essences primaires et secondaires, sur les mécanismes de dispersion et sur le mécanisme, encore mal compris, d'adaptation de certaines essences tropicales à l'ouverture du couvert.

Distribution spatiale

Si on peut constater un étagement vertical dans la discontinuité des arbres, lianes et épiphytes, on observe également une hétérogénéité latérale se manifestant par l'existence de chablis d'ancienneté variable, par la discontinuité des arbres émergents et de la strate herbacée et par une tendance des petits arbres à s'aggréger. Cette organisation tend à assurer une exploitation maximale de l'espace aérien et à réduire la compétition. D'autre part, il n'y a pas d'arrêt saisonnier de l'activité végétale dans les forêts denses humides équatoriales (ce qui n'est pas le cas dans les forêts semi-caducifoliées, comme le montre l'observation des cernes : voir chapitre 8) ; l'occupation maximale du temps se joint à celle de l'espace. Cette hétérogénéité spatiale dont on doit tenir compte dans la planification d'un inventaire a aussi son importance dans l'application des méthodes d'aménagement et d'abattage. Elle pourrait exclure en effet tout dispositif géométrique d'abattage.

Environnement atmosphérique

De nombreuses informations existent sur les paramètres de l'environnement atmosphérique : rayonnement, température, vitesse du vent, etc... et sur leur variation du sol au couvert, en comparant les milieux à l'intérieur et hors de la forêt. On connaît toutefois beaucoup moins les effets des manipulations de la forêt sur ces paramètres et ce sont précisément eux qui doivent orienter les manipulations pour obtenir la régénération ou le développement des essences souhaitables.

En ce qui concerne la température et l'humidité ainsi que les indicateurs qui leur sont liés, tels la tension de vapeur, le déficit de saturation et l'évapotranspiration, il existe des variations diurnes et saisonnières ; on sait peu de choses sur l'influence des différents traitements forestiers sur elles. On sait toutefois que ces variations diurnes et saisonnières sont plus importantes dans les surfaces dégradées et dans une moindre mesure dans les petites trouées, quand les surfaces défrichées sont grandes, que dans les vieilles forêts secondaires non manipulées, la vitesse du vent à l'intérieur d'un massif est faible au sol, soit moins de 1 % de la vitesse à l'extérieur du massif. La vitesse augmente avec la hauteur mais elle est, dans les houppiers, égale à 10 % de la vitesse au-dessus du couvert. L'apparent isolement de la forêt peut entraîner une grande résistance aux échanges gazeux à la surface des feuilles dans le sous-étage,

tout en stabilisant les régimes de température et d'humidité. La vitesse du vent ainsi que la quantité et l'intensité de la turbulence augmentent à tous les niveaux dans la forêt quand le couvert est interrompu par l'abattage ou d'autres opérations forestières, augmentant ainsi le taux des échanges gazeux et des pertes en eau du sol et des plantes.

En ce qui concerne les radiations lumineuses, des recherches ont été faites sur la proportion de celles-ci qui parvient au sol et qui varie selon la structure du couvert et la disposition des vides et des trouées de lumière. La lumière parvenant au sol représente environ de 1 à 4 % de la lumière incidente sur le couvert. La composition spectrale de la lumière dans les forêts tropicales a été aussi étudiée mais les taches de lumière posent des problèmes plus complexes encore pour dégager les caractéristiques non seulement quantitatives mais surtout qualitatives de la lumière. Alors que la qualité de la lumière des plages bien éclairées peut être voisine de celle des zones de plein soleil, celle des radiations diffusées dans l'ombre est différente, avec une proportion plus grande des longueurs d'onde voisines du vert et une proportion moindre de celles voisines du bleu et du rouge (photosynthétiquement actives). Il y a aussi une augmentation dans le rapport du rouge lointain au rouge qui peut être important pour la germination des graines et pour la physiologie des feuilles d'ombre, en faisant intervenir le phytochrome. Bien entendu toute opération forestière qui permettra l'arrivée du rayonnement solaire aura pour conséquence une composition spectrale des radiations de la forêt proche de celle du dehors. Ce changement peut être partiellement responsable des modifications dans le taux de croissance du sous-étage et dans la composition de la régénération après intervention.

La concentration en CO₂ en forêt peut être supérieure à celle de l'extérieur en raison d'un excès de respiration par rapport à la photosynthèse durant la nuit. Au Nigéria, on a montré que la concentration variait entre la valeur atmosphérique normale (environ 330 ppm) et le double de cette valeur. Les valeurs les plus hautes ont été constatées tôt le matin et les plus basses tard dans l'après-midi. La destruction de la forêt, par le feu ou la dégradation, restitue à l'atmosphère la plus grande partie du carbone accumulé sous forme de CO₂.

Le bilan hydrique et le cycle des matières nutritives (voir chapitres 12 et 13)

On sait que dans la forêt tropicale humide, plus de la moitié des éléments minéraux (quelquefois près de 80 % se trouve dans la biomasse et la partie superficielle du sol et qu'un recyclage rapide permet à la forêt de prospérer même sur des sols pauvres et notamment des ferralsols grâce à un système de racines relativement profondes. La forêt permet néanmoins une certaine érosion par suite d'un ruissellement hypodermique ralenti mais encore actif entre la litière végétale et le sol lui-même. Elle n'empêche pas non plus la perte de fertilité due à la ferralitisaiton, mais ce dernier phénomène est très lent.

Il est maintenant reconnu que le couvert forestier réduit le ruissellement. Synnott (1975) mentionne que

l'interception de la pluie peut atteindre 50 % et qu'elle est bien inférieure quand le couvert est ouvert. Par ailleurs, dans un bassin versant, le couvert forestier régularise les débits saisonniers en facilitant l'infiltration dans le sol aux dépens du ruissellement. L'érosion est plus élevée dans un peuplement dégradé que dans un peuplement intact et augmente avec l'exploitation forestière ; mais le niveau d'intervention créant l'érosion varie avec la pente, la nature du sol et la roche mère. La mise en culture provoque très souvent une accélération de l'érosion. En 1956, il a été constaté que la forêt secondaire de Côte-d'Ivoire, à Adiopodoumé, avait perdu 2,4 t/ha de terre alors qu'au même endroit, sur un sol défriché et cultivé en manioc, la perte en terre s'était élevée à 92,8 t/ha. En 1957, ces valeurs étaient respectivement de 0,03 et de 28,7 t/ha. Brünig (1975) donne des indications sur les taux annuels d'érosion :

Intensité annuelle d'érosion en fonction du type de couvert et de terrain en région tropicale humide

| Type de terrain et de couvert | Intensité annuelle d'érosion | |
|--------------------------------------------------|------------------------------|-------------|
| | mm | t/ha |
| Presque plat | | |
| Coton | 4 | 80 |
| Cultures annuelles | 1,6 | 32 |
| Pâturage, dense | 0,1 - 0,5 | 2 - 10 |
| Pâturage, ouvert | 1 - 10 | 20 - 200 |
| Terrain ondulé, pente modérée | | |
| Forêt naturelle | 0,01- 0,5 | 0,2- 10 |
| Plantation de teck | | |
| — à large espacement, sous-étage mélangé | 0,1 - 0,5 | 2 - 10 |
| — serrée, sans sous-étage | 1 - 8 | 20 - 160 |
| Pentes modérées à fortes | | |
| Forêts naturelles | 0,5 - 2 | 10 - 40 |
| Culture itinérante pendant les années de récolte | 30 - 60 | 600 - 1 200 |

Hasan (1975, voir chapitre 21) donne des renseignements intéressants sur le rôle particulier du bambou qui améliore son proche habitat : « En raison de la masse des rhizomes et des racines fibreuses, les bambous protègent mieux le sol (White et Chandler, 1945), les berges des rivières des inondations (Urdo, 1960), servent à la restauration des ravines (Kaul, 1963) et sont supérieurs aux autres espèces feuillues et résineuses pour retourner au sol les éléments nutritifs, mais inférieurs en ce qui concerne la matière organique (Seth, Kaul et Ramswarup, 1963). Parmi les espèces de bambou, Qureshi, Yadar et Prakash (1969) considèrent que *Bambusa tulda* retourne plus de calcium au sol sous-jacent et *Nehouzeana dulloa* et *Oxytenanthera nigrociliata* plus de magnésium. »

Ces aspects de nutrition minérale et d'érosion soulignent les précautions à prendre dans l'exploitation forestière, notamment si la totalité de l'arbre, à l'exception des racines était enlevée, comme c'est la tendance dans une exploitation forestière moderne.

Enfin, il est intéressant de relier les questions de fertilité des sols forestiers à la production primaire et à la stabilité.

Des travaux récents suggèrent que l'accroissement moyen (et même la biomasse) sur les sols moins fertiles et plus secs rejoint ou même dépasse celui observé sur les sols moyennement arrosés, ceci grâce à une surface foliaire plus grande due aux nombreux étages ; mais si l'on effectue des abatages ou des coupes rases, la reconstitution de la forêt sera possible dans les stations assez humides alors que la succession sera déviée dans les stations plus sèches vers un état régressif avec dégradation ultérieure du sol.

Prédiction et évaluation de l'impact des manipulations sur la production et l'environnement

L'analyse de systèmes et les modèles ont été utilisés dès 1968 pour essayer d'évaluer les conséquences des manipulations ou de certaines interventions sur la productivité biologique. Au Congrès de l'Association des Sciences du Pacifique à Canberra, Bethel (1971) écrivait à propos des forêts tropicales : « Parmi les informations de base qu'on peut dégager lors du passage d'une forêt naturelle à un peuplement aménagé, les plus importantes sont celles concernant les propriétés des sols, la biologie de la reproduction, la forme des arbres, la structure et les propriétés du bois et la réponse de la forêt aux divers traitements sylvicoles. De telles informations sont nécessaires pour évaluer la productivité biologique et économique et ses possibilités. C'est ici que les études écologiques quantitatives comme celles qui ont été encouragées par les nombreuses activités du Programme biologique international peuvent faciliter la tâche de l'aménagiste forestier et de ses collaborateurs pour les prises de décisions. Des modèles qui décrivent le comportement des écosystèmes forestiers naturels peuvent être vérifiés et transformés en modèles pour le comportement des écosystèmes forestiers manipulés résultant des décisions de l'aménagement. Dans la situation très complexe qui caractérise la conversion des divers peuplements feuillus tropicaux de l'état naturel à l'état aménagé, l'emploi de modèles de simulation des plans d'aménagement projetés peut beaucoup contribuer aux exercices de prise de décision en matière forestière ». Ce sont d'ailleurs de telles recherches qui ont permis de préciser l'influence des manipulations sur certaines caractéristiques de l'écosystème, notamment en matière de nutrition, de richesse et diversité spécifiques, de cycle hydrologique, etc., surtout pour les forêts tempérées. Celles-ci ont fait aussi l'objet de modèles pour les successions et l'érosion.

Goodall (1975), après avoir rappelé les conditions préalables à une prédiction satisfaisante et l'incertitude de cette prédiction qui reste stochastique, analyse les types de prédictions basés sur l'observation, l'expérimentation et l'analyse. Ce dernier type implique l'analyse de systèmes et l'élaboration de modèles où la dynamique et les interactions à l'intérieur du système sont traduites en termes mathématiques et logiques, de façon que les effets des manipulations proposées puissent être suivis et étudiés par des manipulations mathématiques plutôt qu'en les observant dans la réalité. L'auteur examine alors comment définir l'état du

système à partir des valeurs de certaines variables, en introduisant des variables exogènes dans le cas le plus fréquent où il ne s'agit pas d'un système fermé. Il conclut que la construction de modèles reflétant aussi bien que possible les mécanismes physiques et biologiques des écosystèmes est la meilleure façon de prédire l'effet des interventions humaines dans les forêts tropicales humides, le modèle étant lui-même, si besoin est, divisé en sous-modèles, mais en vérifiant la cohérence des entrées et sorties entre les différents sous-modèles.

L'analyse de systèmes et l'établissement de modèles semblent ainsi la voie à suivre pour prédire et évaluer l'impact sur l'environnement des manipulations possibles de la forêt tropicale humide. Jeffers (1974) a exprimé une opinion très positive sur l'emploi des modèles au I^{er} Congrès international d'écologie : « L'analyse de systèmes dans un contexte de responsabilité sociale doit permettre de faire la synthèse entre la collection de données et l'établissement de modèles, où l'on reconnaît cinq phases : établissement d'objectifs et synthèse préliminaire, expérimentation, aménagement, évaluation et synthèse finale. »

C'est d'ailleurs ce que se propose de réaliser le Programme sur l'homme et la biosphère (MAB) de l'Unesco, dont les éléments essentiels sont : l'analyse des systèmes écologiques, des études sur les relations réciproques homme/environnement, l'intégration de l'information à des niveaux variés dans l'espace, et l'utilisation de la technique des modèles pour parvenir à une prévision quantitative.

Conclusion

L'écosystème forestier tropical est très complexe. Si dans un environnement constant, il a une grande stabilité, il résiste mal aux interventions mal planifiées et notamment à celles de l'homme. L'enlèvement d'individus ou d'espèces, l'exploitation excessive d'une partie de la biomasse, l'exposition du sol à la lumière, etc., entraînent souvent des conséquences irréversibles et une dérive écologique dans certains cas. Les interventions doivent donc être quantitativement, qualitativement et spatialement très bien réfléchies de façon à éviter les traumatismes qui dépasseraient le seuil auquel les dégâts deviennent alors irréparables.

Le rôle des relations interspécifiques est très important ainsi que les conséquences d'un déséquilibre entre les espèces, qui pourrait être analogue à celui récemment constaté dans les écosystèmes océaniques (Aubert, 1971), où certains ont été conduits à concevoir que la régulation de la vie biologique marine peut se faire par l'intermédiaire de substances chimiques répandues dans les milieux marins par les êtres qui y vivent. Cette notion paraît particulièrement intéressante pour la compréhension des relations interspécifiques, ainsi que du déclenchement ou du blocage de certaines voies métaboliques.

Il existe en effet des résultats de recherche prouvant qu'un facteur microbien dans la rhizosphère ou un facteur associé aux feuilles vivantes, peut inhiber la croissance des propres semis d'espèces forestières, aussi bien en forêt naturelle qu'en monoculture (espèces dites non grégaires).

Aussi se pose-t-il la question de savoir si l'on peut généraliser ces résultats.

La production par les plantes de substances censées être phytostatiques et/ou phytotoxiques a fait l'objet d'un grand nombre de publications et de discussions ; par exemple Bonner (1950), Börner (1960), Woods (1960), Aamissep et Osvald (1961), Garb (1961), Muller (1966, 1969), Rovira (1969) et Whittaker et Feeny (1971). Bien que les preuves d'une action allélopathique sur la répartition de la végétation s'accumulent, il ne semble pas qu'il existe jusqu'à présent de nombreux comptes rendus de recherches sur cette question (Connell, 1970). C'est un aspect de l'écologie tropicale qui a été presque complètement ignoré. On ne possède pas à l'heure actuelle, de conception claire sur les effets pratiques des relations entre microflore et faune du sol, exsudats des plantes et les produits de leur décomposition, et la réussite ou l'échec des espèces végétales. Le cas de *Terminalia ivorensis* (framiré) mérite d'être signalé : cette espèce de forêt dense ne survivrait pas en peuplements monospécifiques. Les recherches conduites par le CTFT et l'ORSTOM tendent à montrer que ces peuplements créés par l'homme disparaissent au bout de 12 à 20 ans ; on constate une inhibition totale de la minéralisation de l'azote dans la litière et une accumulation considérable de calcium dans les rhytidomes. Bernhard-Reversat (ORSTOM) a montré, sur un échantillon restreint, qu'un extrait de feuilles de *Terminalia ivorensis* inhibait la minéralisation de l'azote dans le sol. Il semblerait donc que cette espèce s'auto-intoxique lorsqu'elle est seule à occuper le sol. Dans les forêts non manipulées, elle existe sous forme de pieds isolés et l'on n'observe pas de mortalité. Il y a dans ce cas une limite biologique à la transformation de l'écosystème, en même temps qu'une explication de nature biologique de la répartition d'une espèce particulière.

Divers types d'utilisation

Les écosystèmes forestiers tropicaux peuvent être utilisés : a) tels quels, ou après de légères manipulations, pour la sylviculture et l'exploitation forestière, le parcours du bétail ou l'aménagement de la faune ; b) après transformation complète en écosystèmes simplifiés, notamment en plantations forestières ou en prairies améliorées ; c) en faisant appel à des techniques agri-sylvicoles comme l'agriculture itinérante.

Utilisation sans transformation majeure

Sylviculture

Les méthodes d'écrémage ou de jardinage donnent, pour les essences commercialisables, des rendements à l'hectare qui restent faibles : 5 à 25 m³/ha en Afrique tropicale alors qu'une coupe rase peut produire jusqu'à plusieurs centaines de m³. C'est pourquoi les forestiers, sur la base de l'expérience acquise dans les régions tempérées, ont essayé de manipuler l'écosystème forestier tropical pour en améliorer

la constitution en essences demandées par le marché ou bien pour l'enrichir en ces mêmes essences, en favorisant leur régénération ou leur croissance à partir de pré-existants. C'est ainsi que sont nées, avec des fortunes diverses, les méthodes concernant l'amélioration des peuplements naturels d'okoumé (*Aucoumea klaineana*), de limba (*Terminalia superba*) et d'autres peuplements de Côte-d'Ivoire, le « Shelterwood System » au Nigéria, le « Selection System au Ghana », etc. D'autres méthodes se proposent d'enrichir la forêt en espèces de valeur en plantant ces dernières, préalablement produites en pépinière, et en détruisant la forêt existante par des procédés divers (ceinturage, empoisonnement, etc.). C'est ainsi qu'est née la méthode *taungya*, etc. La tendance actuelle serait d'enrichir la forêt par des plantations au moment de l'exploitation tout en notant les résultats pratiques des opérations de terrain. C'est dans cette perspective que le Comité de la mise en valeur des forêts dans les tropiques de la FAO a proposé la généralisation d'un protocole d'aménagement mis au point par Catinot (1969) et Dawkins (1958b) d'après leur expérience respective du continent africain et de l'Ouganda. Les travaux forestiers et les études qu'il comporte peuvent être résumés de la manière suivante.

Après avoir défini les objectifs de l'aménagement, le plan de gestion doit fixer le programme des travaux forestiers et celui des coupes d'exploitation. Les techniques sylvicoles étant le plus souvent de nature expérimentale, il faut envisager plusieurs essais portant sur :

Les travaux d'amélioration des peuplements naturels (éclaircie et dégagement) ;

L'étude de l'accroissement et des temps de passage ;

La régénération naturelle, en utilisant un dispositif expérimental constitué de bandes d'exploitation orientées est-ouest, de 100 m de large, alternant avec des interbandes de même largeur laissées en réserve pour la rotation de la coupe suivante ;

La régénération artificielle par la méthode des grands layons.

Pour le programme d'exploitation, il convient de faire un inventaire précis (erreur inférieure à $\pm 20\%$ par secteur de superficie inférieure à 30 000-35 000 ha) dénombant et classant les arbres de plus de 20 cm de diamètre en 3 catégories (20 à 45 cm, 45 à 60 cm et au-dessus de 60 cm). Si cet inventaire n'existe pas, il est possible de procéder par sondage. Il faut également procéder à des recherches et études sur l'exploitation forestière (variation des prix selon les essences retenues), le terrain et la dimension des lots, sur le transport (prix selon les axes de transport et les charges à subir) et sur l'économie forestière (calcul du prix maximal du bois de coupe à partir du prix FOB ou du prix usine) afin de déterminer les prix du bois qu'on pourra produire en provenance de telle ou telle zone.

Exception faite des interventions, très légères, ce qui autrefois était le cas quand on recherchait seulement des arbres d'espèces spécifiques de grandes dimensions, elles ont en général des conséquences à plus ou moins long terme sur le peuplement et son environnement. Il s'agit notamment de sa composition spécifique et génétique à la suite de

prélèvements sélectifs, de sa structure et de sa croissance, de son microclimat à la suite d'une exposition accrue aux radiations, au vent et à la pluie, du cycle des matières nutritives à la suite de l'exploitation du bois ou de l'augmentation des bois morts, du cycle hydrologique en agissant sur l'interception et l'évapotranspiration, etc. Synnott (1975) donne des renseignements détaillés sur les conséquences des interventions et confirme les limitations biologiques précédemment exposées.

Plutôt que de faire l'historique et de décrire en détail les méthodes mentionnées ci-dessus, on tâchera, sans faire état de considérations socio-économiques qui sont du ressort de l'aménagement (voir chapitre 21), de faire le point des enseignements qui ont pu être tirés et des problèmes restant à résoudre pour dégager les bases des orientations actuelles.

Stimulation de la régénération désirable

Il semble que les interventions dans les peuplements, destinées à faciliter la régénération de telle ou telle espèce, ne font que favoriser la survie et le taux de croissance de pré-existants désirables en réduisant la croissance des arbres indésirables. Ceci est l'expérience des Services forestiers de l'Afrique occidentale et orientale. Il faut noter cependant que des observations de longue durée sur les parcelles de Sungei Kech, dans la péninsule malaise, montrent combien lent et dispersé est le taux d'augmentation des essences désirables, même si les semis provenant des porte-graines laissés en place sont abondants (Wyatt-Smith, 1949, 1954, 1955, 1958; Kochummen, 1966). Il faudrait pour obtenir de meilleurs résultats une connaissance bien plus grande du comportement des diverses espèces.

Dégâts d'exploitation

Les dégâts d'exploitation sont inévitables. La nature des arbres est telle que la moitié ou plus de la hauteur totale des arbres dominants est comprise dans le houppier, alors que le rapport du diamètre du houppier au diamètre du fût est élevé (15 à 25 selon Palmer, 20 à 40 selon Catinot); ce même rapport est d'environ 9 à 12 dans les peuplements de conifères et d'eucalyptus (Palmer, 1975). D'une façon générale l'importance du dommage dépend plus directement du nombre des arbres abattus que de la surface terrière ou du volume enlevé. Il est aussi possible de réduire quelque peu les dégâts en élevant les limites de la circonférence d'exploitation et par conséquent en réduisant le nombre des arbres à abattre, sans diminuer substantiellement le rendement en volume; sous réserve cependant que les arbres plus grands n'aient pas de défauts tels que leur volume utile soit inférieur à celui d'arbres plus petits. Cependant les dégâts causés aux arbres restants sont moins étudiés que les dégâts occasionnés au sol superficiel par les matériels utilisés.

Échantillonnage de diagnostic prospectif et niveaux de matériel sur pied

Aussitôt après la coupe il est nécessaire de décider rapidement si la régénération naturelle est suffisante ou si une

certaine régénération artificielle est nécessaire. C'est le but des sondages statistiques qui permettent d'apprécier la richesse du peuplement en jeunes tiges d'essences désirables et leur chance de subsister jusqu'à la fin de la rotation. Toutefois de nombreux facteurs inconnus entrent dans cette décision. Palmer (1975) recommande que la décision concernant l'essence ou les essences désirables dominantes se réfère seulement à la situation au moment du sondage et que la prise en considération, par quadrat, d'une ou plusieurs essences désirables dominantes dépende essentiellement de leurs valeurs relatives. Selon Palmer (1975), la valeur à la fin de la rotation ne peut être prédite avec certitude; par conséquent, s'il existe un marché actuel ou potentiel pour une espèce, elle doit être également classée avec les espèces désirables. Dans le cas de courtes rotations Palmer accepterait un sondage portant sur plusieurs essences. Cependant les instructions deviennent alors très complexes et la synthèse et le diagnostic dépendent dans une large mesure du traitement des données sur ordinateur.

Il est bien évident qu'une décision correcte dépend de la connaissance de la croissance, de la mortalité et du taux de remplacement des essences désirables dominantes. Cette connaissance est pauvre ou fait complètement défaut. Des règles temporaires empiriques concernant les niveaux de densité adéquats ont donc été établies pour l'Afrique, en référence à une expérience acquise en Ouganda (Dawkins, 1958b) et tout changement proposé des niveaux critiques doit être fondé sur de bonnes raisons. Généralement quand on constate après une coupe une densité d'essences désirables inférieure à 20 %, il faut intervenir artificiellement pour induire une régénération sur tout ou partie de la surface.

Plantations d'enrichissement

Les semis naturels d'essences désirables constituent un processus lent et incertain, principalement après l'exploitation quand le sol a été tassé par certaines opérations. L'enrichissement doit intervenir aussitôt après l'abattage et être combiné avec d'autres traitements sylvicoles pour ouvrir le couvert. Tout délai entraîne la fermeture du couvert et la reprise d'une forte concurrence des racines. De nombreuses méthodes d'enrichissement ont été décrites mais elles peuvent être groupées en Afrique, mais aussi ailleurs en deux grandes catégories :

Les plantations d'enrichissement dans les trouées, où il n'existe pas de jeunes essences de valeur; la future récolte comprendra alors les jeunes arbres de valeur non récoltés et le recrû ultérieur d'essences de valeur complété dans une certaine mesure par les arbres plantés;

Les plantations d'enrichissement en lignes ou en groupes. L'intensité de la plantation peut varier d'un léger enrichissement pour compléter la régénération naturelle à une densité suffisante pour une récolte finale complète, tendant ainsi à une conversion.

Lors de sa dernière session (Rome, 1974), le Comité de la mise en valeur des forêts dans les tropiques de la FAO a passé en revue les méthodes d'enrichissement et a examiné un document préparé par Lamb sur la base de réponses à

un questionnaire et de recherches dans la littérature existante. Il en résulte que les échecs constatés peuvent être attribués à deux causes. La première est une ouverture insuffisante ou trop tardive du couvert, car le besoin d'un éclairage vertical est l'une des exigences le plus souvent signalée. La deuxième est un mauvais choix des espèces; en fait, les arbres plantés doivent être capables d'une croissance initiale rapide pour échapper à la concurrence des herbes et du recrû, et un accroissement moyen annuel de 1,50 m a été suggéré.

Coupes jardinées

Si l'objectif est la production continue de bois d'œuvre (en entendant par rendement soutenu la production de grumes de mêmes type et dimensions), le jardinage est possible seulement dans les forêts riches en espèces désirables. Par ailleurs, la structure dynamique du peuplement peut changer après l'abattage et former, lors de l'abattage suivant, une structure concernant des dimensions commercialisables équivalentes à celles que le peuplement avait lors de l'abattage précédent, ou celle conforme aux objectifs de l'aménagement.

Au début de l'aménagement, on avait remarqué que la plupart des forêts avaient une distribution des tiges pour toutes les espèces (table des peuplements) qui avait la forme classique d'un J inversé. Le coefficient de diminution de de Liocourt est cependant plutôt variable (voir chapitre 5). Toutefois des difficultés surgissent quand les fréquences des dimensions de l'ensemble des tiges sont réparties entre les différentes espèces qui les composent. Les espèces commerciales sont alors non seulement représentées par un nombre plutôt faible de tiges, mais leur distribution selon la dimension est plutôt irrégulière. La plupart des services forestiers tropicaux africains ont d'abondantes collections de ces graphiques de distribution qui proviennent des inventaires de qualité variable. Que la distribution ne soit pas conforme à celle de de Liocourt, cela n'exclut pas la possibilité d'un aménagement basé sur le jardinage, si les essences désirables peuvent être, après avoir été groupées selon leur écologie, stimulées par un traitement sylvicole. Les conditions suivantes doivent être remplies :

Une proportion suffisante d'essences désirables doit passer dans la classe des dimensions commerciales, entre deux exploitations;

Ces arbres ne doivent pas être trop affectés par les dégâts d'exploitation, c'est-à-dire que la pourriture ou les attaques des insectes résultantes ne les rendent pas impropres au marché.

Selon Palmer (1975) il n'y a que quelques forêts qui sont assez riches pour permettre un véritable jardinage, c'est-à-dire l'enlèvement de chaque arbre quand il atteint les dimensions commerciales; mais le problème est qu'actuellement les dimensions commerciales sont plutôt élevées, de l'ordre de plus de 60 cm de DBH. Chaque arbre causera donc des dommages importants en tombant, mais de tels arbres nécessitent aussi un équipement d'abattage lourd qui entraînera d'autres dégâts. En résumé, à moins que les dimensions commerciales minimales diminuent de

façon substantielle, un véritable jardinage est impossible, quels que soient la structure, la composition et le dynamisme du peuplement d'origine. Dawkins (1958b) arrive en Ouganda à une telle conclusion avec des arguments légèrement différents.

Systemes polycycliques

Une exploitation polycyclique est possible quand, quels que soient les dommages subis pendant les opérations d'abattage, une forêt est capable de produire, à partir de la régénération préexistante, un rendement soutenu d'essences désirables, en volume et en dimensions qui dépassent celles de gaulis ou de perchis. On estime souvent qu'une distribution positive des dimensions, en forme de J inversé, est nécessaire (Dawkins, 1958b); mais ce n'est pas nécessairement le cas. Un déficit dans les dimensions faibles et majeures n'est pas un désavantage si l'espèce désirable peut croître rapidement de la dimension d'une perche à celle d'un arbre plus grand. En général, les espèces commercialement désirables sont les espèces secondaires tardives en Afrique de l'ouest — telles que les acajous, *Terminalia* spp., ou *Triplochiton scleroxylon*. Ces espèces croissent relativement vite et ont un bois relativement léger. Les informations sont plutôt rares, mais il semble que ces espèces puissent concurrencer avec succès les essences indésirables dans les forêts en régénération, après exploitation. Mervart (1972) estime par ailleurs, sur la base d'observations faites au Nigéria, qu'une fois passé le stade du bas-perchis, la mortalité des arbres d'essences à croissance rapide est plutôt moindre que celle des arbres à croissance plus lente, si bien qu'avec le temps, les essences désirables amélioreraient leur pourcentage en volume. Qu'une telle amélioration se produise ou non, cela dépend des espèces présentes, de leur taux de croissance et des dégâts d'abattage subis dans les différentes zones.

Des expériences d'exploitation polycycliques ont été engagées de par le monde et des arguments contraires à cette exploitation ont été émis.

Ils sont fondés sur :

- L'intérêt général financier d'enlever la totalité des bois commercialisables du peuplement en une seule fois ;
- Les dégâts plus ou moins incontrôlables causés aux fortes tiges restantes ;
- L'absence fréquente de tiges suffisantes dans les classes moyennes des essences désirables ;
- La destruction de la régénération existante par les passages des tracteurs, les installations de câblage et les dépôts de grumes qui tendent à occuper une place de plus en plus grande dans la surface boisée.

L'exploitation polycyclique implique un retour régulier à la même surface en vue de récolter, avec une périodicité supérieure au temps nécessaire à une espèce désirable pour passer de la jeune tige à une dimension commerciale. Pour maintenir le même rendement régulier, l'exploitation polycyclique exige une surface de coupe annuelle plus grande que l'exploitation monocyclique. L'expérience africaine en la matière montre que les opérations de sauvetage et la

conversion en deux stades, présentées par Dawkins (1958b), ne sont pas de véritables exploitations polycycliques.

Baidoe (1972), au Ghana, montre que le prétendu cycle d'abattage de 15 ans (qui était auparavant de 25 ans) n'en est pas un. On avait indiqué en fait au gouvernement qu'un cycle long permettait de pallier la détérioration des arbres qui devaient être récoltés ultérieurement et divers calculs sur la longévité des espèces désirables en Afrique occidentale (par exemple, Redhead, 1960) ne fournissent pas de justifications en faveur d'un changement de 25 à 15 ans. Il est évident qu'il s'agit d'une manœuvre commerciale pour permettre l'enlèvement d'arbres plus gros et meilleurs en plus grandes quantités ; les conséquences en sont évidemment regrettables.

Reproduction végétative

La régénération végétative, c'est-à-dire le traitement en taillis ou taillis sous futaie, a été peu étudiée dans les régions tropicales humides. Dans un rapport de Ramakrishna soumis à la FAO figurent des observations intéressantes sur la régression observée après deux rotations (40 à 60 ans), transformant une forêt vigoureuse hétérogène en une « mer d'herbes », favorable à l'incendie et par conséquent à une nouvelle régression. Palmer (1975) estime que la plupart des espèces de la forêt tropicale dense ne rejettent pas facilement de souche dès qu'elles ont atteint un diamètre de 5 cm. Cependant des études fondamentales et appliquées devraient permettre de dégager quelques règles pour la conduite des traitements. Des études sur le fonctionnement des méristèmes apicaux des espèces tropicales semblent indispensables pour éviter des tâtonnements trop longs dans la recherche des méthodes de bouturage.

Conclusions

Les difficultés rencontrées et les échecs enregistrés dans la régénération de la forêt naturelle ont conduit les forestiers à s'orienter vers le remplacement pur et simple de la forêt naturelle par des plantations et à négliger les recherches sur la forêt naturelle. Elles ont aussi conduit certains à se demander s'il ne faudrait pas reprendre la question sur d'autres bases, la tendance en Afrique ayant été souvent de transférer l'expérience acquise dans les régions tempérées. Cela a conduit à développer des recherches fondamentales sur la structure et le fonctionnement de l'écosystème forestier tropical. L'expérience acquise dans l'inventaire et l'échantillonnage, les méthodes de régénération et d'enrichissement, les plantations, et l'exploitation forestière, permettent d'avoir certainement une meilleure connaissance du fonctionnement et de la structure de l'écosystème forestier tropical et par conséquent des possibilités de manipulation, en attendant qu'on puisse dégager, aussi bien des recherches fondamentales en cours que des nouvelles expériences, les règles d'une sylviculture tropicale. Mais il est probable que le coût par mètre cube de cette sylviculture sera assez élevé et qu'elle sera alors justifiée par la qualité des produits ou par le rôle du biome forêt tropicale dans l'équilibre de la biosphère. A cet égard la position de Duvigneaud (1971) mérite d'être rappelée : « il convient

d'insister sur l'œuvre immense accomplie depuis un siècle par les forestiers dans le domaine de la productivité forestière. Leurs buts sont différents des nôtres, mais ils se rejoignent au bout d'un chemin encore long à parcourir ». Il faut souhaiter que forestiers et écologistes puissent échanger rapidement leurs connaissances et expériences, et mettre au point cette sylviculture nouvelle si nécessaire et si attendue.

Exploitation forestière

Les techniques d'abattage et de transport des bois ont fait, en raison du développement des méthodes d'organisation du travail et de la mécanisation, des progrès considérables, non sans créer quelques inquiétudes pour l'environnement. La FAO a fait le point des techniques et équipements actuels dans deux publications récentes : *Exploitation et transport des grumes en forêt dense tropicale* et *Exploitation et transport des grumes dans les forêts artificielles dans les pays en voie de développement*. Elle a également confié au Centre technique forestier tropical (CTFT) une étude sur le coût des routes forestières dans les forêts tropicales. Enfin, les études ergonomiques sont en progrès constant et seront évoquées au chapitre 21. Il convient de signaler qu'aussi bien pour faire face à la crise de matières premières que pour augmenter la productivité par travailleur, on observe une tendance à une utilisation totale de l'arbre (tronc, houppier, souche, etc.) par des machines complexes et que cette tendance pourrait avoir dans certains cas des conséquences défavorables sur le cycle des éléments nutritifs. Un symposium a examiné ce sujet en 1975, en Suède, sous l'égide de la FAO et de la CEE.

Aménagement de la faune

Entre les tropiques du Cancer et du Capricorne, on peut trouver les meilleurs échantillons de faune sauvage du monde. On examinera ici les utilisations possibles de la faune, la manière dont l'aménagement forestier exerce une influence sur ces utilisations, les tendances actuelles de la mise en valeur de la faune sauvage.

Utilisations actuelles de la faune sauvage

Dans les forêts tropicales d'Afrique, la chasse est pratiquée par les populations locales utilisant les méthodes traditionnelles, par les professionnels de la chasse commerciale, ou bien encore par les chasseurs sportifs qui s'intéressent aux oiseaux, aux petits et grands mammifères ou aux prédateurs. La production de fourrures, de cuirs et de peaux, et d'autres sous-produits animaux tels que l'ivoire, constitue un aspect important de l'utilisation de la faune. L'utilisation de celle-ci comme source de protéines est traditionnelle chez les habitants des forêts et, au cours des dernières années, cette forme d'utilisation des terres a été intensifiée par la mise en œuvre de plans d'exploitation commerciale de la faune sauvage ayant pour objet de prélever chaque année une quantité régulière d'animaux. On a pu, dans quelques régions forestières, améliorer l'habitat en vue d'augmenter la productivité des populations animales.

Au Ghana, la faune sauvage produit 65 % des porcs consommés dans les régions rurales. Au Nigéria, le rat géant africain (*Cricetomys gambianus*) a été domestiqué et élevé avec succès et l'on dispose de données économiques et écologiques pour déterminer la fiabilité d'un élevage industriel. Des études analogues ont été effectuées sur l'escargot géant (*Achatina* sp.).

Aménagement forestier et faune sauvage

L'aménagement forestier exerce une influence sur l'habitat. Les éclaircies, les coupes sélectives ou l'abattage par parcelles exercent, par exemple, une profonde influence sur les populations animales de la forêt car, lorsque l'habitat forestier se modifie, le potentiel de production animale évolue en conséquence. S'il existe des espèces animales indésirables, l'aménagement forestier peut, en transformant l'habitat des animaux, limiter ou aggraver les dégâts qu'ils occasionnent à la forêt. Par ailleurs, l'introduction de plantations exotiques diminue généralement la diversité des communautés végétales et chaque plantation, dans chaque région, a son propre potentiel de production animale. De même, en faisant pâturer des animaux domestiques dans une forêt, on modifie l'habitat animal et par suite le comportement et la productivité de la faune sauvage.

Aménagement de la faune sauvage

Des modifications importantes de l'habitat peuvent donc entraîner des changements importants dans les populations animales. Des exemples de ces phénomènes ont été récemment donnés par Riney (1967). Pour les biologistes de la faune sauvage, le plus grand potentiel de celle-ci existe là où l'on peut conserver la plus grande diversité d'habitats. L'agriculture itinérante pratiquée sur les terres forestières augmente souvent de manière considérable le potentiel de l'ensemble de la zone forestière en tant qu'habitat de la faune sauvage, bien que souvent on n'ait pas conscience des possibilités ainsi offertes. Certes, l'agriculteur itinérant compte souvent sur la faune sauvage comme source supplémentaire de nourriture et cette chasse, en général non réglementée, est assez intense pour empêcher la faune de se développer jusqu'à la charge utile de la forêt modifiée ; mais, avec un aménagement rationnel, le nombre de prises admissibles pourrait être beaucoup plus élevé.

En ce qui concerne la chasse seulement, on s'efforce de régulariser les prélèvements et d'exploiter si possible les ressources pour obtenir un rendement optimal soutenu, plutôt que de procéder à des destructions irréparables ; cela repose sur une évaluation aussi exacte que possible de l'importance des populations animales, de leur structure (âge et sexe) et de leur dynamique. On peut parvenir à ce rendement soutenu maximal par approximation successive, mais cette méthode est dangereuse car elle peut entraîner la disparition d'une population, les signes de surexploitation apparaissant quand le mal est déjà fait. Il serait préférable d'avoir recours aux méthodes déjà mises au point, ou en cours d'étude, par calcul direct qui sont toutefois loin d'être actuellement acceptées par tous les experts et qui devraient

être améliorées. L'application de ces méthodes nécessite un perfectionnement des techniques d'inventaire, des études sur la charge utile des divers biotopes et enfin une connaissance de la dynamique des populations (pyramide des âges et rapport des sexes) pour permettre des abattages plus sélectifs.

Il est nécessaire d'améliorer sérieusement l'exploitation, la transformation et la commercialisation des produits de la faune sauvage. De même, le transport et la conservation des animaux vivants doivent être développés aussi efficacement que possible pour diminuer les pertes et augmenter les recettes en monnaie locale ou en devises. Un autre objectif important de la mise en valeur de la faune sauvage dans les tropiques devrait être la conservation des espèces animales rares ou menacées d'extinction.

Conclusions

La foresterie devra faire une place de plus en plus grande aux aspects autres que ceux de l'exploitation du bois ; l'aménagement de la faune sauvage en particulier a non seulement accru la valeur des terres forestières, mais devient rapidement une forme particulière d'utilisation de celles-ci. La notion d'utilisation multiple, employée à l'origine d'une manière vague et générale, devient une notion importante selon laquelle les utilisations combinées de la forêt contribuent à la productivité totale de celles-ci, sans s'écarter indûment des objectifs majeurs de l'aménagement forestier.

Toutefois le Comité de la mise en valeur des forêts dans les tropiques de la FAO a exprimé son inquiétude sur le manque de données écologiques, qui sont nécessaires à une gestion rationnelle de la faune sauvage. D'autres préoccupations ont trait à l'usage inconsidéré des pesticides, à l'introduction d'animaux exotiques et au danger de l'extermination d'espèces rares. Le comité a reconnu l'importance de la faune sauvage en tant que source de protéines pour beaucoup de régions tropicales, l'Afrique en particulier, mais cette importance pourrait par ailleurs constituer un obstacle à l'aménagement forestier. Le comité a conclu que l'aménagement de la faune sauvage doit former partie intégrante des plans de gestion forestière.

Parcours en forêt

Parcours sans modification de la forêt

La pluvii sylve est très peu utilisée pour le pâturage. En cas de grave sécheresse dans les zones pastorales voisines, on peut faire entrer le bétail dans la forêt qui contient une assez grande quantité de légumineuses à brouter mais très peu de graminées ou de fourrage herbacé sur le sol. Dans les zones les plus humides, le pâturage est généralement moins nourrissant en raison de la fertilité plus faible du sol, du lessivage et d'une épiaison plus rapide des graminées présentes. Des herbes de moindre qualité comme *Imperata cylindrica* apparaissent couramment comme recru secondaire après incendie. Le brûlis annuel du couvert végétal est une pratique normale là où il y a une saison sèche marquée.

Parcours avec modification de la forêt

Plusieurs méthodes de modification de la forêt à des fins

pastorales ont été utilisées. Avant l'apparition des béliers mécaniques et d'autres matériels de défrichage mécanique, les arbres étaient généralement tués par écorçage circulaire à la hache. Les espèces forestières ont des réactions différentes à l'écorçage annulaire : certaines meurent rapidement, d'autres émettent une série de rejets, à partir de la section, nécessitant un traitement ultérieur pour leur destruction. L'élimination des arbres annule leur concurrence vis-à-vis de la lumière, de l'eau et des éléments nutritifs, et par conséquent améliore la production herbacée. La charge utile des surfaces ainsi traitées était au moins double de celle de la forêt originale. Un écorçage bien conduit permet de sélectionner les arbres à laisser pour l'ombre, les brise-vent, la protection des rives des cours d'eau et l'alimentation du bétail, mais la tendance a été souvent de détruire trop d'arbres avec pour conséquence le danger d'érosion.

Des millions d'hectares de terrains de parcours ont été créés dans les régions subtropicales par écorçage annulaire, et ces terres représentent les surfaces les plus importantes pour l'élevage bovin. Mais à la suite d'une pression croissante, les zones plus fertiles situées en climat plus favorable ont tendance à être occupées par des cultures de rente. Les surfaces provenant de l'écorçage des arbres sont alors destinées à un élevage naisseur et les animaux sont ensuite engraisés pour la vente sur des prairies améliorées, avec des fourrages d'appoint, ou dans des parcs d'embouche. L'écorçage annulaire est à présent moins pratiqué, car il exige beaucoup de temps et de main-d'œuvre qui n'est pas toujours disponible ; on a tendance à employer plus souvent les arboricides.

Les écosystèmes simplifiés

Plantations forestières

L'échec ou la difficulté de la régénération naturelle et les succès obtenus dans certaines plantations de *Pinus caribaea*, *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, notamment dans les zones présentant une saison sèche plus ou moins marquée, ont conduit beaucoup de forestiers à renoncer à la régénération naturelle pour proposer la destruction de la forêt et son remplacement par une plantation le plus souvent monospécifique. Cette tendance se justifiait également en raison de la croissance très lente des forêts feuillues mélangées et du rendement élevé observé dans les plantations. C'est ainsi qu'après la deuxième guerre mondiale, mais surtout au cours de la décennie 1960-70, on a assisté à un développement remarquable des plantations tropicales, stimulé par la coopération, les expéditions pour la récolte des graines, l'échange de connaissances sur le comportement des essences et leur provenance, et les essais effectués en plantation sur les bois des espèces cultivées d'une durée suffisante pour fournir des renseignements valables sur leurs caractéristiques mécaniques et papetières. Cette tendance à s'orienter vers les plantations a été consacrée par le Congrès forestier mondial réuni à Buenos Aires en octobre 1972.

La transformation de l'écosystème forestier en un écosystème simplifié peut se concevoir, en dehors de la culture, dans deux directions, transformation en un écosystème forestier ou arboré et transformation en un écosystème herbacé.

La transformation en un autre peuplement forestier a souvent été réalisée et a pour but de remplacer la formation initiale par une formation répondant mieux aux impératifs définis par l'homme (production bois d'œuvre, d'industrie, protection, récréation). Les méthodes utilisées en milieu tropical ont été de plusieurs types à savoir :

Les systèmes basés sur l'amélioration du peuplement par la régénération naturelle. Ils ont été souvent mis au point en Asie du Sud-Est ; ce sont surtout le Malayan Uniform System, le Tropical Shelter Wood System. L'amélioration des peuplements naturels en Côte-d'Ivoire relève de ces systèmes. Ils ont le grand mérite de ne modifier que très peu l'écologie initiale mais par suite de la composition de la forêt dense africaine (faiblesse du nombre de porte-graine) ils n'ont eu dans cette région que des succès limités. Ils consistent à provoquer la régénération naturelle grâce à des dégagements d'arbres gênants à l'intérieur des trouées produites par l'exploitation forestière.

Les systèmes basés sur l'enrichissement de la forêt en utilisant la régénération artificielle. Ils sont également nombreux et sont basés sur la mise en place dans la forêt de jeunes plants d'espèces « enrichissantes » et d'en assurer la croissance la meilleure, en effectuant des travaux divers plus ou moins importants.

Il n'est pas utile de rentrer dans le détail des méthodes utilisées en forêt dense de l'Afrique de l'Ouest, citons quelques-unes de celles-ci : méthode des layons (plants introduits dans des layons ouverts dans la forêt), méthode des bandes, méthode des placeaux, etc. Ces méthodes ont été et sont largement utilisées.

Les systèmes basés sur l'introduction de bonnes espèces exotiques après destruction de la forêt préexistante. Il faut rattacher à ce type la méthode Taungya qui fait intervenir un stade de mise en culture ; c'est ainsi qu'on pu être créées des plantations artificielles de Teck, *Gmelina*, Pins et *Eucalyptus*, qui constituent des écosystèmes nouveaux très simplifiés souvent sans sous-étage (Pins) et dont les caractéristiques sont totalement différentes de l'écosystème initial. Si, sur le plan de la production de bois, ces nouvelles formations présentent des caractéristiques très favorables, la simplification extrême de l'écosystème qui ne comprend souvent plus la moindre composante végétale initiale modifie sensiblement l'effet protecteur et l'effet du couvert sur l'environnement. Quelques recherches ont été démarrées déjà ayant pour but de voir quel pourrait être l'effet des modifications du couvert naturel sur les caractéristiques du bilan de l'eau. Ces recherches devraient pouvoir être poursuivies et améliorées (bilan hydrique et caractéristique des sols, cycle de la matière organique et des éléments minéraux, faune et flore, etc.).

La transformation de l'écosystème forestier en un écosystème arboré de cultures arbustives a souvent été réalisée, notamment en Afrique de l'Ouest (Côte-d'Ivoire) et au Cameroun. Il s'agit essentiellement de cultures arbustives pérennes, café, cacao, etc., l'installation se fait généralement avec destruction de la forêt et travail du sol plus ou moins important. L'écosystème initial est remplacé par un écosystème très simplifié, très différent; ce processus est très comparable à celui décrit plus haut et traitant du reboisement en exotiques et les remarques faites à son sujet sont applicables ici. Sur le plan économique cette transformation a souvent été un succès, les résultats sont bons à la seule condition que la fertilité initiale soit convenable et que des mesures conservatoires soient prises. L'étude de l'influence comparée de l'écosystème de substitution et de l'écosystème initial a été peu abordée à ce jour : ce domaine devrait être approfondi.

Enfin rappelons pour mémoire que sous l'action de facteurs anthropiques associés au feu, l'écosystème forestier peut évoluer vers des écosystèmes simplifiés plus ou moins arborés : savane arborée — forêt claire, c'est ce qui a été vu dans un paragraphe antérieur.

Les plantations forestières dont l'établissement peut être justifié aussi bien par la satisfaction des besoins prévisibles en bois, en augmentation marquée, que par leur rôle protecteur des forêts voisines, ne présentent pas de graves dangers pour l'environnement quand leur surface est limitée et quand elles bénéficient de tous les investissements nécessaires. Par contre, l'établissement de plantations forestières monospécifiques sur de grandes surfaces, avec des espèces souvent mal adaptées et sans contrôle préalable de l'origine des graines ou des plants, peut causer quelques inquiétudes, surtout s'il s'agit de sols pauvres et si la pollution des usines qui les accompagnent constitue un facteur aggravant. A l'exception de celles installées sur de bons sols (le plus souvent réservés à l'agriculture), les plantations des régions tropicales humides, sans saison sèche marquée pour lutter contre les insectes, les maladies et les mauvaises herbes, n'ont pas toujours donné les résultats escomptés. Les cycles de vie longs des espèces forestières ne permettent pas, comme en agriculture, de créer facilement et d'utiliser des races résistantes aux insectes et aux maladies. L'invasion des herbes constitue un problème lors de l'établissement de plantations et le cycle des éléments nutritifs n'est pas toujours rétabli de façon satisfaisante après l'ouverture de la forêt et du fait de la qualité de l'humus provenant d'une seule espèce.

Facteurs limitants

Vent

Certaines zones tropicales subissent souvent des ouragans, des cyclones et des typhons. L'exemple le plus remarquable est peut-être la « forêt de la tempête » dans le Kelantan, en

Malaisie péninsulaire, dont on attribue l'origine à une tempête exceptionnelle qui eut lieu lors de l'éruption du Krakatoa en 1883 (Browne, 1949; Wyatt-Smith, 1954). Whitmore (1974) pense qu'un refroidissement atmosphérique mondial pousse vers l'équateur les principales zones d'activité de la circulation atmosphérique. Ce qui se passe dans les îles Salomon laisse supposer que les régions équatoriales sont de plus en plus sujettes aux dégâts des cyclones. Des données sûres sur le trajet des cyclones dans les forêts tropicales et les zones plantées sont insuffisantes pour permettre des prédictions (Gane, 1970). On a toutefois certaines preuves que la topographie locale affecte le trajet suivi par une tempête (Wadsworth et Englerth, 1959; Gane, 1970; Hindley, communication personnelle). Des enchevêtrements de lianes au-dessus d'un couvert forestier bas et inégal indiquent généralement l'existence de fortes perturbations répétées.

Wadsworth et Englerth (1959) font remarquer que des types différents de forêts et de plantations ainsi que des essences forestières distinctes ne réagissent pas de la même façon aux ouragans : généralement les plantations subissent des dommages légers ou sérieux alors que les dégâts aux forêts sont plus sporadiques; mais il arrive que d'importants massifs forestiers naturels soient détruits par des tempêtes. En dehors de la zone des ouragans, les dégâts sont plus marqués dans certains types de forêts que dans d'autres. Des arbres isolés ou dominants semblent souffrir particulièrement. Il semble qu'un effet analogue se retrouve dans les plantations : les surfaces fortement éclaircies souffrent plus que les plantations non éclaircies, à cause de l'augmentation de la rugosité aérodynamique, à un moment où les tiges sont plus fines et adaptées aux conditions d'un peuplement dense. Quelques espèces résistent bien aux dégâts des tempêtes; King (1945) montre comment dans l'île Maurice les espèces indigènes souffrent moins que les espèces exotiques; les houppiers des premières sont bas et en forme de parapluie, les feuilles sont petites et coriaces, les bois sont durs et croissent lentement.

Beaucoup plus de recherches quantitatives sont actuellement nécessaires pour déterminer la résistance d'une espèce aux dégâts dans une station particulière. Trois échelles ont été proposées pour évaluer les dommages causés à un arbre donné; elles se fondent sur les échelles de Nicholson (1958) concernant les dégâts d'exploitation. D'autres observations devraient être faites sur le sol, en particulier la profondeur effective d'enracinement et sur la tendance à plier sous l'effet de violentes pluies, sur l'aspect, les dimensions des arbres et des récoltes, la topographie, le couvert et sur les caractéristiques locales de la tempête.

Échelles approximatives d'évaluation des dégâts :

Tronc

Aucun dégât 0

Brisé 1

Courbé 2

Déraciné 3

Houppier

Aucun dégât 0

| | |
|------------------------------------|---|
| Défoliation | 1 |
| Rameaux et petites branches brisés | 2 |
| 1 grosse branche brisée | 3 |
| 2 grosses branches brisées | 4 |
| 1/4 du houppier détruit | 5 |
| 1/2 du houppier détruit | 6 |
| 3/4 du houppier détruit | 7 |
| Houppier entièrement détruit | 8 |
| Écorce | |
| Aucun dégât | 0 |
| Bois découvert sur moins de 30 cm | 1 |
| Bois découvert sur 30 à 150 cm | 2 |
| Bois découvert sur 150 à 300 cm | 3 |
| Bois découvert sur 300 à 600 cm | 4 |
| Bois découvert sur plus de 600 cm | 5 |

Dans une zone à ouragans, l'aménagement est fortement conditionné par les probabilités des dégâts causés par le vent. Bennett (1974) distingue parmi les cyclones ceux qui endommagent et ceux qui détruisent. A titre indicatif, il propose que les plantations peuvent être conduites à la rentabilité financière en : a) utilisant les essences à croissance rapide résistantes aux vents ; b) plantant serré, par petits blocs, entourés de forêts naturelles ; c) plantant en ligne, en maintenant le plus possible la végétation entre les lignes ; d) répartissant les programmes de plantation sur toutes les îles au lieu de les concentrer sur une ou deux.

L'effet limitant a été résumé par Baur (1962) : la foresterie de plantation passe du domaine des problèmes sylvicoles normaux et économiques à une situation où la probabilité statistique de la vraisemblance des dommages des cyclones devient d'une importance fondamentale. Les petits pays relativement pauvres et susceptibles de subir les dégâts des ouragans et des cyclones ne peuvent se permettre de voir leurs précieux investissements gaspillés à la suite de techniques inadaptées.

Feu

Aux contacts des terres agricoles et des savanes et à mesure qu'on se rapproche des forêts à saison sèche marquée, le feu est une menace permanente. Les effets durables du feu ont été étudiés dans les parcelles d'Olokemejiau Nigéria et dans d'autres régions d'Afrique occidentale (Charter et Keay, 1960 ; Ramsey et Rose Innes, 1963).

Les effets du feu sur la végétation forestière peuvent être de plusieurs ordres. En règle générale, sur la forêt humide, le feu ne peut pas se développer à l'intérieur du massif, mais le feu venant de la prairie limitrophe, en général bien fournie, attaque les lisières qui sont plus sensibles par suite de la lumière latérale et la forêt recule ainsi à chaque incendie. Sur la forêt secondaire l'incendie peut se propager à l'intérieur du peuplement par la couverture morte et tuer les petits puis les grands arbres, et si le passage est répété détruire la forêt. Il faut noter que dans certains cas ces feux de couverture morte peuvent s'observer en forêt humide (exemple de l'Est de Madagascar). A l'échelle des plantations commerciales, l'atténuation des effets du feu dépend essentiellement des

investissements consentis pour la lutte contre l'incendie, eu égard à la valeur des arbres ou de leurs produits finaux probables. Il ne semble pas que le feu ait été en lui-même un facteur limitant dans l'établissement ou la gestion des plantations dans les zones tropicales humides. Ses effets sont sérieux lorsqu'il détruit la couverture végétale qui protège le sol contre l'érosion.

Érosion

On doit généralement éviter les pentes trop fortes pour établir des plantations à caractère agricole ou pour l'exploitation du bois, en raison des problèmes soulevés et des coûts de récolte élevés. Même sur des pentes peu accusées, les pertes en sol peuvent être considérables (voir chapitre 12). On dispose de peu d'informations sur la vitesse de formation du sol. Baillie (1971) a estimé que la vitesse d'accumulation du sol à la partie supérieure d'une forte pente sous une formation forestière à Diptérocarpacées (à Ulu Balleh, Sarawak) pourrait être de l'ordre de 0,2 mm/an, mais qu'en raison de la pente la vitesse d'accumulation par glissement à travers ce site à charbon de bois pourrait atteindre 1 mm/an. Si l'on admet qu'un millimètre de sol superficiel représente 10 t/ha (Nye et Greenland, 1960), une perte moyenne de 2-10 t/ha/an pourrait être compensée par la vitesse de la pédogenèse.

Il est cependant clair que les pertes de sol ne seront pas toutes compensées de la sorte et que l'érosion devra donc être combattue. Nye et Greenland (1960), en Afrique occidentale, ont souligné que les sols les plus recherchés par les agriculteurs itinérants étaient sur des pentes raides ou relativement fortes. Si des systèmes agrisylvicoles doivent être introduits dans de telles zones pour remplacer d'autres modes de culture, il sera important de favoriser la formation d'un sous-étage réduisant l'érosion et les espèces choisies ne devront pas porter ombrage à ce sous-bois au point de l'éliminer. On doit accepter une certaine réduction du rendement final, et même aussi dans la forme et la qualité, si on veut maintenir la stabilité des versants.

Les recherches porteront donc sur le choix des espèces et l'espacement convenable des arbres dans la plantation. Ultérieurement, on portera une attention particulière à l'intensité et au mode d'éclaircie et aux outils mécaniques utilisés pour la récolte.

Termites et autres ravageurs

Pendant de nombreuses années, notamment dans les zones plus sèches, il était presque impossible de pratiquer des cultures en raison des attaques de termites et l'on considérait, par exemple, comme un succès la survie d'au moins 30 des eucalyptus plantés. L'introduction d'insecticides organiques de synthèse dans les années 1940 a modifié la situation. Des essais faits au Brésil, au Cameroun (Monnier, 1958), au Nigéria (Kemp, 1956 ; Lowe, 1961) et en Tanzanie (Parry, 1959) ont montré que l'application d'aldrine et de diéldrine pouvait conférer une protection suffisante pour la période critique représentée par la première saison de croissance. Il est maintenant normal

d'ajouter une petite quantité d'une poudre à 2 % de diéldrène aux mélanges des pots ou aux planches de transplantation.

Les termites représentent une réelle difficulté pour des plantations dans des stations occupées auparavant et de manière récente par la pluviisylve.

Les fourmis coupeuses de feuilles (*Attinae*) représentent un problème particulier au Nouveau Monde. La lutte nécessite le repérage et la destruction des colonies avant de commencer la plantation. Quand il s'agit d'opérations importantes on procède à la destruction mécanique en insufflant fortement de la poudre Mirex dans les nids ; sur des surfaces plus faibles, des appâts à base de Mirex et d'autres composés ont été utilisés avec plus ou moins de succès (Cherrett, 1969).

Un certain nombre d'espèces produisant un bois de valeur ne peuvent être cultivées en plantation en raison des attaques des insectes perceurs des pousses et provoquant des galles. Les arbres de la famille des Méliacées sont particulièrement vulnérables aux attaques de *Hypsipyla* (voir chapitre 14).

Pâturage et broutage

Les plantations sur des stations occupées autrefois par la pluviisylve renferment souvent non seulement des pousses riches en éléments minéraux, mais encore des plages herbacées dans de nombreuses zones. Quand les éleveurs et leurs troupeaux pénètrent dans les plantations, des feux ont toutes chances de se produire. Les mesures de surveillance et de réglementation constituent un remède à court terme. A plus long terme, en particulier si les plantations se trouvent situées sur les voies de transhumance des pasteurs, des méthodes sylvicoles peuvent être adoptées qui permettront de compenser un rendement plus faible en bois en améliorant le pâturage. Les progrès très nets accomplis aux États-Unis d'Amérique et en Nouvelle-Zélande ne sont peut-être pas directement transférables aux stations tropicales d'Afrique, mais l'expérience conduite dans les îles Fidji est prometteuse pour les pays tropicaux. Un service forestier peut très bien tirer profit de l'amélioration du parcours dans ses plantations de manière à décourager l'écobuage de la zone par les pasteurs.

En général les mammifères sauvages ne sont pas un facteur limitant dans les plantations denses d'une certaine importance, bien que dans certaines régions la production potentielle de bois ne soit pas atteinte en raison des dommages causés par les singes, les opossums, les écurcuiils, les rats, etc.

L'accroissement des populations humaines refoule les animaux sauvages vers les forêts restantes pour des périodes plus longues ; avec pour conséquence une plus grande densité. Les coupes ainsi que les zones enrichies, avec un recré succulent et accessible, attirent en Afrique les grands mammifères herbivores. Dans la forêt de Budongo, en Ouganda, les éléphants posent des problèmes particuliers (Philip, 1965 ; Johnstone, 1968 ; Laws, Parker et Johnstone, 1975) ; leurs préférences alimentaires sont connues, mais ils brou-

tent une grande variété d'espèces désirables et indésirables et ils causent des dégâts aux plantes qu'ils ne consomment pas. La lutte contre les mammifères herbivores est difficile sinon impossible ; les zones ayant de fortes populations animales et renfermant des espèces particulièrement appétibles ne doivent pas servir pour l'enrichissement (Foury, 1956 ; Dawkins, in Lamb, 1969).

Extension des plantations forestières et amélioration des essences

L'état des connaissances sur les plantations forestières en général et leur importance industrielle en particulier a fait l'objet d'une mise au point lors d'un colloque international réuni à Canberra, en 1967, sous l'égide de la FAO. Les plantations forestières recouvraient, en 1965, 80 millions d'hectares et l'on estimait que leur superficie doublerait en vingt ans (FAO, 1967). La FAO a publié une série de monographies traitant des *Plantations en Afrique tropicale* (1956), en *Asie tropicale* (1957) et en *Amérique latine* (1960), du choix des espèces forestières pour les plantations (1952), ainsi que des *Notes sur les graines forestières dans les tropiques humides* (1955).

Un rapport sur les plantations dans les zones tropicales a été présenté par Lamb au Congrès forestier mondial de Buenos Aires (1972), alors que Catinot et Wood ont traité particulièrement des plantations dans les zones guinéennes lors de la conférence de la FAO sur l'établissement d'un programme coopératif de recherche agronomique entre pays ayant des conditions écologiques comparables en Afrique (Catinot, 1972). Groulez (1976) a fait le point sur la situation des plantations de conversion dans les forêts tropicales humides. Les plantations de conversion ont été effectuées principalement en Afrique (26 000 ha en *Aucoumea klaineana* au Gabon, 6 000 ha en *Terminalia superba* au Congo, 16 000 ha en essences diverses en Côte-d'Ivoire, par exemple) mais aussi en Amérique tropicale (50 000 ha, principalement en *Gmelina arborea*, au Brésil), en Asie et Australasie. Les avantages de ces plantations sont de concentrer, en un site choisi, une productivité optimale à partir de plants (au besoin sélectionnés) d'essences de lumière à croissance rapide qu'on peut exploiter avec une révolution relativement courte selon un aménagement simplifié. En revanche, les difficultés, les inconvénients et les limites proviennent essentiellement des problèmes posés par la forêt préexistante, par la chute des bois morts et des arbres morts sur pied, par les risques phytopathologiques et par le maintien de la fertilité des sols, ainsi que par les coûts, la rentabilité et le manque de stabilité du financement.

Les recherches à entreprendre porteraient essentiellement sur la destruction de la forêt naturelle (utilisation totale et étude des structures des forêts à détruire), l'écologie, la biologie et la physiologie des principales espèces à introduire (y compris l'aptitude à la propagation végétative), l'amélioration génétique du matériel végétal forestier (essais de provenance, test de descendance, isolement de clones, hybridation et exploitation de l'hétérosis, etc.), les pratiques sylvicoles (mise en place et espacement, fertili-

sation, etc.), les ravageurs et les maladies ainsi que sur les aspects d'ordre économique.

Quant à l'introduction et à l'amélioration des espèces forestières tropicales, la coopération internationale s'est d'abord traduite par l'organisation de consultations mondiales sur l'amélioration des arbres forestiers, à Stockholm en 1962 et à Washington en 1969. Une troisième consultation organisée conjointement par la FAO et l'IUFRO a eu lieu à Canberra en 1977 sur invitation du gouvernement australien et l'on y attacha une importance toute particulière à l'amélioration des essences à croissance rapide. Un groupe d'experts sur les ressources génétiques forestières a alors été constitué en 1968 par la FAO et a tenu trois sessions. Étant donné que les activités dans ce domaine s'étaient limitées, en raison des fonds disponibles, à l'exploration et à la collecte des données, et comme les résultats de ces premières opérations avaient montré la nécessité d'un programme plus complet en matière de ressources génétiques forestières, les propositions pour un programme international pour l'amélioration de l'utilisation des ressources génétiques ont été en 1972 soumises par la FAO au nouveau Groupe international des ressources génétiques végétales (GIRGV) du Groupe consultatif de la recherche agricole internationale (GCRAI), auquel contribuent le PNUD aussi bien que le PNUE. Ce programme vise essentiellement à :

- Identifier les espèces et les opérations de terrain qui demandent une action au cours des deux prochaines décennies;
- Donner une priorité relative aux diverses combinaisons d'espèces et d'opérations de terrain quand cela est possible;
- Incorporer les espèces et opérations de terrain de toute première priorité dans un programme d'action de cinq ans (1975-1979).

Une liste mise à jour des espèces pour lesquelles une action est nécessaire a été donnée par le GIRGV, ainsi que les ressources génétiques forestières prioritaires (par région, espèce et opérations). Le degré d'importance d'une espèce qui devrait rester constant durant une à quelques décennies, contraste avec celui des opérations individuelles qui peut changer en quelques années. Les espèces tropicales suivantes ont reçu la première priorité pour le continent africain : *Aucoumea klaineana*, *Chlorophora excelsa*, *C. regia*, *Entandrophragma angolense*, *E. cylindricum*, *E. utile*, *Gymnostermum zaizou*, *Khaya anthotheca*, *K. grandiflora*, *K. ivorensis*, *Terminalia ivorensis*, *T. superba*, *Triplochiton scleroxylon*, *Turraeanthus africana*.

A côté des espèces importantes pour les plantations, il faut mentionner l'existence d'écotypes et de races locales qui jouent un rôle important dans les plantations quand leurs caractéristiques ont été bien établies; la conservation de ces écotypes et les recherches les concernant ont un caractère d'urgence (voir chapitre 21).

Les opérations de terrain consistent surtout en exploration botanique, exploration généalogique, en collection pour évaluation, essais de provenance, conservation *in situ*, collection pour conservation et sélection *ex situ*, en stoc-

kage de graines, en recherches sur les graines et sur la biologie florale, en utilisation massale, en sélection individuelle et amélioration.

La collection d'échantillons d'une vaste gamme d'espèces pour des essais de provenance doit être suivie de l'établissement immédiat des dispositifs d'essais eux-mêmes. Dans certains cas, la collection de graines peut être mise dans des chambres de conservation pendant quelques années jusqu'à ce que la supervision soignée et nécessaire des essais puisse être assurée. Une assistance internationale permettant de mettre à la disposition des pays des procédures normalisées pour les schémas et dispositifs de recherche, la détermination et l'analyse des résultats, est souhaitable. Comme le volume d'informations résultant des essais de provenance augmente sans cesse, le besoin de programmes reconnus internationalement pour le stockage et la récupération automatique des données est de plus en plus évident.

Des programmes coopératifs concernent *Cedrela odorata*, *Pinus caribaea* et *Pinus oocarpa*, par le Commonwealth Forestry Institute d'Oxford; *Pinus kesiya* et *Eucalyptus* spp. par l'Institut de recherches forestières de Canberra; *Pinus kesiya*, *P. merkusii*, *P. merkusiana* et *Tectona grandis* par les Centres du Pin et du Teck en Thaïlande, en coopération avec le gouvernement danois; *Terminalia superba* et *Aucoumea klaineana* par la Station de recherches forestières de Côte-d'Ivoire, en coopération avec le Centre technique forestier tropical de Paris. Un manuel sur les espèces tropicales et les provenances est en préparation à la FAO.

Conclusion

On a insisté, d'une part, sur les obstacles à l'installation des plantations et, d'autre part, sur les perspectives offertes sous réserve que les essences soient non seulement bien choisies, mais encore de provenance convenable. Les plantations nécessitent des investissements sous forme de main-d'œuvre ou de capital et ne sont justifiées que si les rendements sont suffisants. On doit éviter de les installer sur des sols pauvres. Il faut aussi essayer de quantifier et d'évaluer les gains résultant de l'amélioration génétique, du travail du sol et des engrais, des éclaircies et élagages, de l'irrigation, des cultures associées, etc.

Avant d'entreprendre des reboisements importants, on pourrait, à l'exemple de certains pays (Nigéria), développer les plantations dans le cadre de l'exploitation agricole, bénéficiant ainsi de l'équipement et de la main-d'œuvre disponibles.

Prairies améliorées en forêt

Le Queensland en Australie, offrant une illustration complète de ce problème, il a été choisi de s'y référer ici de préférence à un exemple africain qui ne resterait que partiel.

Le défrichement total était autrefois exécuté par la hache et le feu. Cette pratique est toujours utilisée, mais depuis 1945 la plupart des défrichements ont été exécutés avec des béliers mécaniques. Il peut arriver que le sol superficiel soit enlevé et

l'on préfère souvent utiliser des râtaux qui n'enlèvent pas le sol de surface entre les lignes, au lieu de la lame pleine.

Défrichement total (Queensland)

Au Queensland, en Australie, quelque 7 millions d'hectares de formations buissonneuses d'*Acacia harpophylla* et de forêts de mousson ont été défrichés pour faire des pâturages pour l'élevage de bétail. Ces zones se trouvent situées entre les isohyètes 600 et 750 mm. Les sols sont des argiles brunes fertiles formant leur mulch, de bonne capacité de rétention en eau, qui ne sont pas normalement fertilisées pour l'établissement de pâturages. Ces formations ont été défrichées au moyen de deux béliers mécaniques montés sur tracteurs à chenille, traînant entre eux une lourde chaîne ou un câble d'acier, et se déplaçant à une distance d'environ 40-50 m. On parvient ainsi à un aplanissement total de la zone, mais des bandes de formations buissonneuses sont laissées intactes pour fournir de l'ombre, un abri et les piquets de clôture. La végétation arrachée est brûlée quand elle est assez sèche, sans faire d'andains ni l'empiler, car elle s'enflamme facilement et brûle généralement très bien en donnant une cendre blanche. Le débroussaillage est effectué à temps pour permettre de brûler le bois juste avant le début de la saison des pluies. Une semaine environ après le brûlis, *Chloris gayana*, *Panicum maximum* var. *trichoglume*, *Cenchrus ciliaris*, ou un mélange de ces espèces sont semés dans les cendres à partir d'avions volant à 100 m du sol. Les graines germent bien dans la cendre, sans la concurrence de plantes indésirables, si une pluie suffisante tombe immédiatement après le semis; une prairie luxuriante est normalement en place au bout de deux mois. Il y a une bonne quantité d'azote accumulée dans le sol ainsi dégagé, provenant des nodosités de l'*Acacia harpophylla*, et la production pastorale est excellente pendant dix ans environ. *Chloris gayana* disparaît quand la teneur du sol en azote baisse. Le terrain est alors labouré pour des cultures de sorgho, de tournesol, d'arachide ou d'autres plantes appropriées en assolement. La capacité de charge d'un peuplement naturel de *A. harpophylla* est d'une tête de bovin/10-15 ha; de une/4 ha sur pâturage amélioré et de une/2 ha sous aménagement intensif avec introduction d'une légumineuse.

Les problèmes pour l'établissement d'une prairie améliorée surviennent lorsque la pluie ne tombe pas aussitôt après le brûlis. Lors du défrichement par arrachage et du brûlis qui suit, les lignotubers (renflements ligneux au niveau du collet) de *A. harpophylla* sont endommagés et produisent rapidement des dragons. Quand un pâturage est bien établi, ce recrû forestier peut être supprimé, mais si la germination des espèces pastorales est retardée, la repousse de la végétation forestière devient alors un problème et l'on vient à bout par l'épandage d'herbicides. Le recrû forestier peut constituer un problème jusqu'à douze ans après le défrichement et le brûlis initiaux.

Mise en valeur pastorale à partir de la pluviisylve

Le défrichement de la pluviisylve pour établir un pâturage se fait habituellement avec des béliers mécaniques ou avec

des appareils pour l'écrasement des arbres, le bois étant ensuite rassemblé en andains pour le brûler. Un travail du sol complet après brûlis est maintenant recommandé pour l'installation d'un pâturage, étant donné que les graines et les engrais coûtent cher et que la lutte contre les essences indésirables et l'aménagement pastoral sont difficiles si trop de bois reste sur le terrain (Teitzel, 1969). La repousse de quelques espèces originelles est également supprimée par une bonne préparation du terrain.

Les problèmes rencontrés dans cette mise en valeur pastorale comprennent un recrû excessif dû à la mise en valeur d'une trop grande surface à la fois, au développement important d'espèces indésirables, à une fertilisation d'entretien inadéquate et à un aménagement pastoral médiocre. Le déclin de la fertilité des sols de la pluviisylve après le défrichement est extrêmement rapide en raison de l'insolation, de l'oxydation et du lessivage; des différences notables dans les rendements apparaissent au bout de cinq à huit ans. Sous une prairie mixte de graminées et de légumineuses, convenablement fertilisée et aménagée, la fertilité du sol peut être maintenue. Le phosphore est le principal élément nécessaire. Bruce (1965) a montré qu'un terrain recouvert auparavant d'une pluviisylve à Innisfail, dans le Queensland septentrional, où la pluviosité moyenne est de 3 750 mm/an, ensemencé avec *Panicum maximum* et *Centrosema pubescens* pour l'installation d'une pâture, avait une teneur en azote total dans les 7,5 premiers cm du sol de 0,432 %, alors que dans le sol d'une pluviisylve voisine non manipulée ce pourcentage était de 0,423. Le gain annuel de poids vif pour le bétail sur cette prairie était de 610 kg/ha et, sur un pâturage pur de *Panicum maximum*, il était de 440 kg/ha (Grof, 1965).

Mise en valeur pastorale et reboisement sur sols pauvres

Dans la partie côtière du Queensland, on trouve près de 2 millions d'hectares de sols à gley et tourbeux, mal drainés, recouverts de formations buissonneuses et de forêts à *Melaleuca* et *Banksia*. Une grande partie de cette région est périodiquement inondée, le reste se trouvant à une altitude pouvant aller jusqu'à 60 m au-dessus du niveau de la mer. Les sols sont pauvres en éléments nutritifs et pour l'installation d'une prairie améliorée à base de graminées et de légumineuses, un apport de quelque 620 kg de chaux et de superphosphate respectivement, de 130 kg de muriate de potasse, de 8 kg de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc respectivement ainsi que de 280 g de molybdate de sodium, est nécessaire par hectare (Barr, 1971). Les besoins ultérieurs annuels d'engrais sont de 250 kg de superphosphate simple et de 130 kg de muriate de potasse par hectare. La pluviosité dans la région est de l'ordre de 1 200-1 500 mm/an. Des pâturages mixtes assez productifs de graminées et de légumineuses tropicales ont été constitués et les gains de poids vif ont été de 250-350 kg/ha/an (Evans, 1971). Dans la même région, le Service forestier du Queensland a cultivé depuis quarante

ans environ l'espèce exotique, *Pinus elliottii*, avec un apport d'engrais phosphatés.

La question de la meilleure utilisation économique des terres pour cette région a été examinée par McCarthy *et al.* (1970). Leurs conclusions étaient les suivantes : « Étant donné les conditions existantes et les critères utilisés, on a constaté qu'une culture de bois à pâte, à la rotation de 40 ans, était la plus profitable, immédiatement suivie d'un élevage de bovins combiné avec la commercialisation de bêtes de 1 an, les animaux de remplacement étant acquis sur le marché des bêtes finies mais non engraisées. L'engraissement de bovins finis était supérieur à une plantation de bois à pâte à la rotation de 20 ans, alors que l'élevage de bovins et la commercialisation de bêtes âgées de 1 an, tout en entretenant un troupeau de reproducteurs, représentaient la spéculation la moins profitable. Les niveaux des prix des produits auraient dû augmenter de 5-10 % pour toutes les solutions, les autres conditions restant les mêmes, pour que l'avantage soit en faveur de l'élevage bovin. Cependant, si tous les prix baissaient, l'élevage de bovins serait relativement moins avantageux que la plantation forestière. » Avec un marché mondial de viande bovine en difficulté (1973-1974), l'aménagement forestier serait sans aucun doute plus profitable.

Cultures itinérantes et autres systèmes agri-sylvicoles

Les techniques agri-sylvicoles sont celles qui combinent production agricole et production forestière dans le temps ou dans l'espace. Elles reposent essentiellement sur la jachère forestière qui reconstitue la fertilité des sols dans le cas de l'agriculture itinérante et sur l'influence de l'environnement forestier dans le cas des plantations spécialisées, qui sont d'ailleurs souvent associées à l'élevage.

Agriculture itinérante

L'agriculture itinérante a fait l'objet depuis 1945 de nombreuses études et de discussions. Les comités de l'agriculture et des forêts de la FAO en ont discuté au cours de réunions conjointes. Enfin le Comité de la mise en valeur des forêts dans les tropiques de la FAO s'est intéressé aux aspects qualitatifs et quantitatifs de l'agriculture itinérante au cours de ses deux premières sessions. Elle reste toutefois d'actualité étant donné, d'une part, le peu de succès obtenu dans les zones tropicales humides, sauf sur les sols alluviaux ou volcaniques, par l'agriculture permanente intensive, et, d'autre part, en raison de son rôle dans la destruction et la régression des forêts équatoriales. Par ailleurs la productivité élevée par homme-jour et la faiblesse des investissements en capitaux à consentir retiennent l'attention. Un séminaire régional FAO/SIDA/ARCN (1974) a fait le point de la situation en Afrique (juillet 1973) et la FAO (1974) a consacré une étude aux ferralsols et à leur aménagement, qui contient des renseignements sur la jachère en forêt tropicale humide.

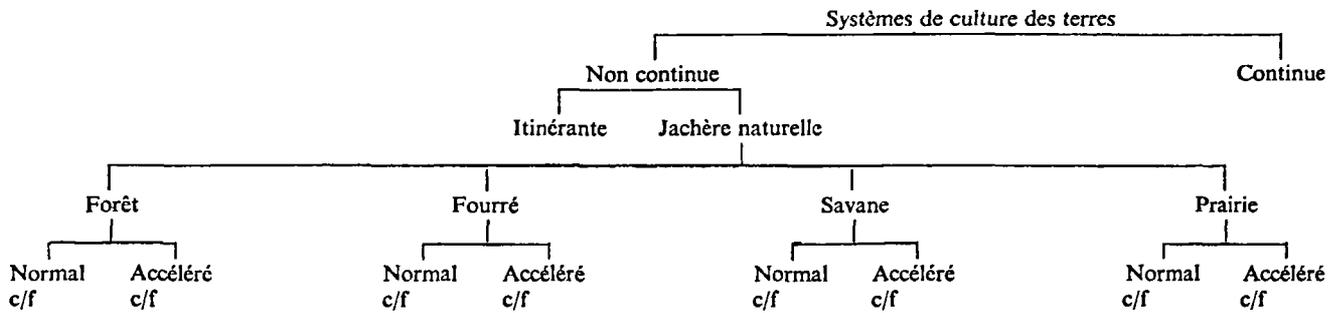
Dans la plupart des cas, le défrichement est incomplet et les perturbations du sol limitées (Nye et Greenland,

1960). Si donc la culture n'est pas prolongée, une rapide régénération de la végétation forestière secondaire apparaît quand la terre est abandonnée (voir chapitre 9). Cela toutefois n'arrivera pas si une forte érosion des sols survient, comme c'est le cas pour les cultures sur des pentes trop raides, ou lorsque le défrichement intense est complètement mécanisé, ou encore lorsque la culture dure longtemps, ce qui entraîne une réduction de la réserve de semences des essences forestières et la prédominance des plantes herbacées. Mais si une culture prolongée s'accompagne de mesures de maintien de la fertilité des sols, on n'enregistre pas de dommages définitifs. Les conséquences de l'agriculture en milieu forestier tropical diffèrent considérablement suivant les circonstances.

Terminologie

Les caractéristiques essentielles de l'agriculture itinérante sont les suivantes : une portion de forêt est défrichée, généralement assez incomplètement, les débris sont brûlés, et la terre est cultivée pendant quelques années, moins de cinq ans en règle générale, puis retourne à la forêt ou à une formation secondaire, avant d'être défrichée et cultivée de nouveau. Les détails du système varient d'une région à une autre et, par suite, plusieurs noms ont servi à le désigner. Ils méritent d'être signalés pour aider au transfert des connaissances. Nye et Greenland (1960) et de nombreux autres auteurs utilisent l'expression d'agriculture itinérante pour englober plusieurs variantes de l'agriculture à jachère naturelle. Conklin (1957) a repris le terme d'essartage redevenu à la mode et il propose son emploi pour décrire l'agriculture itinérante en général, réservant cette dernière expression pour des types plus particuliers de pratique agricole. Dix variables sont ainsi proposées pour distinguer les différents types d'agriculture itinérante selon les pratiques agronomiques et culturales. Spencer (1966) fait la liste des nombreux termes relatifs à l'agriculture itinérante, le plus souvent dans le Sud-Est asiatique et il propose 19 éléments qualitatifs fondamentaux, comme l'adaptation écologique, la productivité du travail, la lutte contre l'érosion, etc., pour introduire des distinctions. Watters (1971) fait intervenir dans la définition de l'agriculture itinérante l'utilisation d'outils primitifs et l'économie de subsistance habituellement associée à ce mode d'exploitation. Lors du Colloque FAO/SIDA (1974), on a proposé de faire une différence entre les systèmes de culture continue et non continue, les premiers ayant trait aux cas où un type d'aménagement continu est pratiqué. La catégorie des systèmes non continus est subdivisée en jachère naturelle et, si l'habitat des cultivateurs est déplacé, en culture itinérante. La terminologie recommandée dans le rapport du colloque est résumée dans le tableau 1. Greenland (1974), dans une synthèse sur l'évolution de l'agriculture itinérante, a pu dégager un développement en 4 phases, fondé sur l'intensité de l'utilisation des terres et la mobilité de l'habitat : I. Agriculture itinérante simple ; II. Agriculture itinérante récurrente ; III. Culture récurrente avec parcelles cultivées en permanence ; IV. Culture continue (tableau 2). Les phases II et

TABLEAU I. Terminologie recommandée (Colloque FAO/SIDA sur l'agriculture itinérante et la conservation des sols en Afrique, 1974)



1. Division initiale entre systèmes de culture continue et non continue.

2. Les systèmes de culture continue comprennent tous ceux où il est question d'un aménagement continu, par exemple les systèmes où la culture alterne avec une jachère cultivée, une culture d'arbres, une prairie améliorée ou aménagée, le système taungya.

3. Les systèmes itinérants sont ceux dans lesquels l'habitat des cultivateurs se déplace avec la zone de culture. Les systèmes de culture avec jachère naturelle sont ceux où l'habitat n'est généralement pas mobile en même temps que le déplacement des zones cultivées.

4. Les systèmes de culture avec jachère naturelle sont largement répandus, et il est nécessaire de les subdiviser en tenant compte des éléments suivants :

a. La nature de la végétation constituant la jachère :

La forêt représente une formation ligneuse, avec un couvert fermé où les arbres sont écologiquement dominants;

Le fourré est un type de végétation ligneuse dense sans fûts;

La savane comprend un mélange d'arbres pyrroésistants et d'herbes qui sont écologiquement dominantes;

La prairie est une formation herbacée sans végétation ligneuse;

b. La longueur de la période de jachère : la période de jachère normale est celle adoptée quand la disponibilité en terre n'est pas soumise à des limites; si la longueur de la période de jachère est inférieure à celle qui aurait été choisie volontairement en raison de la pression démographique ou d'autres facteurs, l'adjectif *accélééré* doit être employé;

c. Les durées en années des périodes de culture et de jachère, la fin de la période de culture étant fixée à l'époque où la terre n'est plus travaillée. Ces durées sont indiquées car *c/f* où *c* représente la durée de la période de culture et *f* celle de la période de jachère, en années.

Les systèmes de culture avec jachère naturelle doivent être alors désignés ainsi :

| | | |
|-----------|---------|-------------------------|
| normal | forêt | |
| ou | ou | |
| accélééré | fourré | |
| | ou | système de jachère, c/f |
| | savane | |
| | ou | |
| | prairie | |

par exemple, un système de culture non continue avec jachère forestière accélééré, 2/5.

III peuvent être subdivisées selon l'intensité de l'utilisation des terres, donnée par le facteur d'Allan :

$$L = \frac{C + F}{C}$$

L étant le facteur d'utilisation des terres, *C* la longueur de la période de culture et *F* la durée de la jachère (Allan, 1965). Ces catégories (tableau 3) sont utiles eu égard à la définition écologique des types de terrain. Watters (1971) distingue deux catégories principales : la culture itinérante traditionnelle et celle imposée par la nécessité, ce qui correspond approximativement aux systèmes normaux et accéléérés de la classification de la FAO.

Le groupe de travail sur la terminologie (FAO/SIDA, 1974) a proposé quatre types de végétation pour décrire le

système de jachère naturelle : forêt, fourré, savane et prairie. Les descriptions peuvent être développées en utilisant le système unifié de classification et de cartographie de la végétation adopté par l'Unesco (1973), portant sur les types de végétation naturelle et semi-naturelle, y compris la végétation secondaire jeune; cette classification s'est révélée utile dans les régions tropicales (Kuechler et Montoya, 1971). Il est important d'en éclaircir tous les aspects afin d'éviter la duplication des recherches dans des zones agro-écologiques semblables, alors que d'autres zones demeurent inconnues. Ruthenberg (1971, 1974) a présenté une classification de l'agriculture itinérante basée sur les types de végétation, les subdivisions ultérieures étant en rapport avec les migrations, les rotations, les méthodes de défrichement, les assolements et les outils utilisés.

TABLEAU 2. Les phases de la culture des terres (Greenland, 1974)

| Phase I | Phase II | Phase III | Phase IV |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Culture itinérante simple | Culture récurrente | Culture récurrente avec des parcelles cultivées de façon continue | Culture continue |
| L'habitat et les parcelles cultivées se déplacent ensemble | Les parcelles cultivées se déplacent plus fréquemment que l'habitat Peut être complexe, avec des champs de types différents | Toujours complexe, avec des champs de types différents | Peut comprendre la combinaison de l'agriculture avec des prairies plantées et cultivées, et des jachères cultivées |

TABLEAU 3. Les catégories de culture récurrente (Greenland, 1974, utilisant le facteur d'Allan, 1965)

| | | Facteur d'utilisation des terres, <i>L</i> |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1. Culture récurrente intensive | Seulement sur des sols très fertiles | 1 à 2 |
| 2. Culture récurrente intensive intermittente | Généralement sur des sols très fertiles | 2 à 4 |
| 3. a. Culture récurrente à court terme | Peut évoluer vers un système plus intensif ou à court terme, sous l'effet de la pression démographique | 4 à 5 |
| b. Culture récurrente à moyen terme | | 5 à 7 |
| c. Culture récurrente à long terme | | 7 à 10. |

Populations

On a estimé qu'environ 200 millions d'habitants des pays tropicaux vivaient d'agriculture itinérante (FAO, 1957). Ces nombres ont probablement augmenté étant donné le peu de succès obtenu avec les systèmes d'agriculture continue dans ces régions. La population totale des pays tropicaux est passée de 585 millions d'âmes en 1960 à 811 millions en 1972. Les populations pratiquant ou vivant de l'agriculture itinérante doivent être de l'ordre de 240 millions ou plus.

On ne connaît pas avec une précision raisonnable la surface totale de la forêt tropicale soumise à l'agriculture itinérante en Afrique. Les surfaces caractérisées par une agriculture nomade du type de la phase I sont probablement limitées à des fractions restreintes des forêts de l'Ituri au Zaïre. Les systèmes avec rotation de jachère naturelle des phases II et III sont très courants ; on les rencontre en Afrique occidentale et ils font vivre une population d'environ 80 millions de personnes. Au Zaïre et dans les zones forestières voisines d'Afrique centrale, les systèmes avec jachère naturelle sont aussi largement répandus, bien que la densité humaine soit plus faible.

Systèmes stables

De Schlippe (1955) a fait probablement le compte rendu le plus détaillé de l'agriculture itinérante telle qu'elle est pratiquée dans une zone de savane, dans le sud du Soudan, comme système stable de la phase III. Une agriculture continue est pratiquée sur les anciens emplacements des cases et près de l'habitat, représentant l'exploitation agricole ; les zones éloignées sont cultivées selon un système de

jachère naturelle en rotation, avec une intensité qui est fonction du type de sol, les terres situées près des rivières étant particulièrement recherchées et utilisées plus intensivement. Les périodes de culture sont de deux à trois ans, la terre étant abandonnée quand le rendement baisse et que la concurrence des adventices devient intense. La remise en culture de la jachère dépend de la succession écologique, certaines plantes étant considérées comme indicatrices.

Les ajustements de ces systèmes aux conditions mésologiques locales traduisent l'équilibre réalisé entre l'homme et son milieu, qui a été atteint au bout d'une période assez longue. Cela est vrai le plus souvent dans les régions où la population n'est pas trop nombreuse et la pluviosité pas trop élevée (pour que le lessivage des éléments nutritifs ne soit pas excessif), c'est-à-dire dans les forêts et les savanes dérivées de celles-ci où la pluviosité varie entre 1 200 et 1 800 mm/an. Les types de sol les plus répandus sont des ultisols, des alfisols et des entisols, et non les oxysols bien plus pauvres.

Dans certaines zones plus humides, les teneurs plus faibles en éléments nutritifs des sols ne sont compatibles qu'avec une utilisation peu intensive (facteurs d'utilisation des terres > 10). C'est ainsi que dans le bassin du Congo (Miracle, 1973) on observe des densités humaines très faibles (< 4/km²).

Il y a toutefois quelques exceptions. Dans le sud-est du Nigéria, sur des sols sédimentaires pauvres, où la pluviosité est supérieure à 2 000 mm/a, des densités de l'ordre de 300/km² existent grâce à l'agriculture itinérante. La différence essentielle réside dans l'association de la culture avec un couvert permanent de palmiers à huile (Morgan, 1955). Dans les zones intermédiaires, telles que

les forêts semi-caducifoliées humides du Ghana et du Nigéria, avec une pluviosité de 1 400 à 1 800 mm/an, la circulation des éléments à travers la végétation est suffisante pour que les sols aient un pH neutre en surface, alors que le sous-sol est fortement acide. Dans ces zones, des facteurs d'utilisation des terres de l'ordre de 5 à 10 sont fréquents et paraissent maintenir la fertilité (Nye et Greenland, 1960). Allan (1965) a décrit les techniques utilisées ailleurs en Afrique.

Systèmes épuisants et accélérés

Les dommages causés aux écosystèmes forestiers tropicaux peuvent intervenir dans trois sortes de situations : quand le type de terrain est par nature impropre à la culture; quand les agriculteurs ne se rendent pas compte de la sensibilité de l'écosystème à la dégradation, ou ne se préoccupent pas de tels dommages et ne prennent pas soin d'ajuster leurs pratiques agricoles en fonction de cette vulnérabilité; quand les agriculteurs sont conscients des dommages qu'ils peuvent causer, mais qu'ils sont contraints à une exploitation destructrice pour survivre.

Les dommages dus à l'utilisation de sols impropres à la culture sont fréquents dans les zones à fortes pentes, car l'exposition du sol par le défrichement s'accompagne d'une forte érosion et de la mise à nu d'un horizon beaucoup moins fertile. Dans de nombreux ultisols et oxysols, la matière organique et les éléments nutritifs sont fortement concentrés dans un mince horizon A, grâce aux apports de litière. Le départ du sol superficiel a pour conséquence la disparition des éléments nutritifs ainsi que des graines servant à la régénération de la forêt. L'érosion des pentes entraîne aussi le dépôt de sédiments dans d'autres zones, modifiant leur fertilité, et par ailleurs provoque des inondations, la capacité des sols à absorber les précipitations ayant été considérablement réduite; les vallées peuvent être alors envasées. Cela est important dans les bassins versants, où, quand ils sont boisés, la culture doit être interdite; des mesures législatives doivent être prises et appliquées à cet effet, car ne rien faire aura pour conséquence de rendre les sols inutilisables.

Quand un groupe humain est en équilibre avec son milieu, l'agriculture itinérante n'est pas destructrice. L'adaptation se produit principalement lorsque les personnes sont déplacées d'un milieu où elles étaient établies et qu'elles doivent faire face à une situation nouvelle et inconnue. Plusieurs exemples d'agriculture itinérante décrits par Watters (1971) en Amérique latine appartiennent à cette catégorie. Quand les citadins quittent la ville parce qu'ils n'y trouvent pas leur gagne-pain, ils reviennent à la terre et le défrichement de la forêt est la seule possibilité leur permettant de subsister, généralement sur les sols les plus pauvres qui sont les seuls disponibles. Une chute rapide de la productivité s'ensuit presque toujours (fig. 1), car les éléments nutritifs incorporés au sol lors du brûlis sont lessivés et la concurrence des espèces indésirables devient plus intense. Alors que le paysan traditionnel a appris à abandonner la terre assez tôt, permettant ainsi à la forêt de se régénérer lors des dernières plantations de manioc et

de banane plantain, le paysan qui est au contraire installé sur une terre qu'il ne connaît pas s'efforcera d'en tirer le maximum. En conséquence, la fertilité sera encore réduite, la régénération de la forêt retardée et le risque d'érosion accru. Le terrain n'est abandonné que lorsque la dégradation devient évidente.

Les raisons du déclin de la fertilité ont été maintes fois débattues. Il n'est pas dû à l'exportation des éléments nutritifs par les récoltes, qui représentent une faible proportion des quantités apportées au sol par la forêt (Nye et Greenland, 1960). Il peut être dû au lessivage des éléments nutritifs hors de portée des racines; cela paraît tout à fait vraisemblable dans les zones de forte pluviosité. La baisse de la fertilité est une des raisons de l'abandon des terres; la concurrence du recrû, et plus particulièrement des adventices, est une raison tout aussi importante. Les données rassemblées par Kang à l'Institut international d'agriculture tropicale d'Ibadan, au Nigéria (fig. 2), le montrent : sur des sols ferrallitiques lessivés, dans une zone de forêt plus sèche à la limite de la savane, la diminution du rendement après défrichement résulte nettement de l'effet combiné des pertes en éléments nutritifs et de la concurrence des espèces indésirables.

Une mauvaise utilisation des terres se trouve généralement associée à l'augmentation de la densité humaine. Dans les systèmes traditionnels, on constate un ajustement de l'intensité de l'utilisation des terres aux propriétés fondamentales du sol, des jachères de plus grande durée étant nécessaires dans le cas de sols plus pauvres (Allan, 1965). Tant qu'il y a des terres disponibles, les durées convenables des périodes de cultures et de jachères peuvent être respectées. Dans les plans II et III de l'agriculture itinérante, cela implique une utilisation des terres de plus en plus distantes de l'habitat fixe quand la population augmente, et éventuellement une transplantation de quelques demeures, pour éviter des déplacements excessifs. Par ailleurs, la terre peut ne pas être disponible, même à de grandes distances. La réaction générale est alors de raccourcir la durée de la jachère, de réduire le facteur d'utilisation des terres et d'entamer un cycle accéléré. De telles situations sont de plus en plus fréquentes dans les régions d'agriculture itinérante, à l'exception des bassins de l'Amazone et du Congo où les densités humaines sont encore très faibles.

L'accroissement démographique a pour conséquence l'allongement des périodes de culture et la réduction de celles de jachère, menaçant alors l'alternance bien équilibrée entre périodes de culture et de jachère. Par ailleurs la capacité de régénération de la forêt est réduite au point que la végétation de savane devient envahissante et que la succession se trouve déviée des espèces forestières à celles de savane. Un autre facteur pouvant aggraver la situation est l'introduction de cultures d'arbres relativement permanentes qui restreint la mobilité et entraîne la surexploitation de la jachère naturelle.

Effets

La culture en zone forestière a des effets sur la végétation et les sols. Les données sur la viabilité des graines d'essences

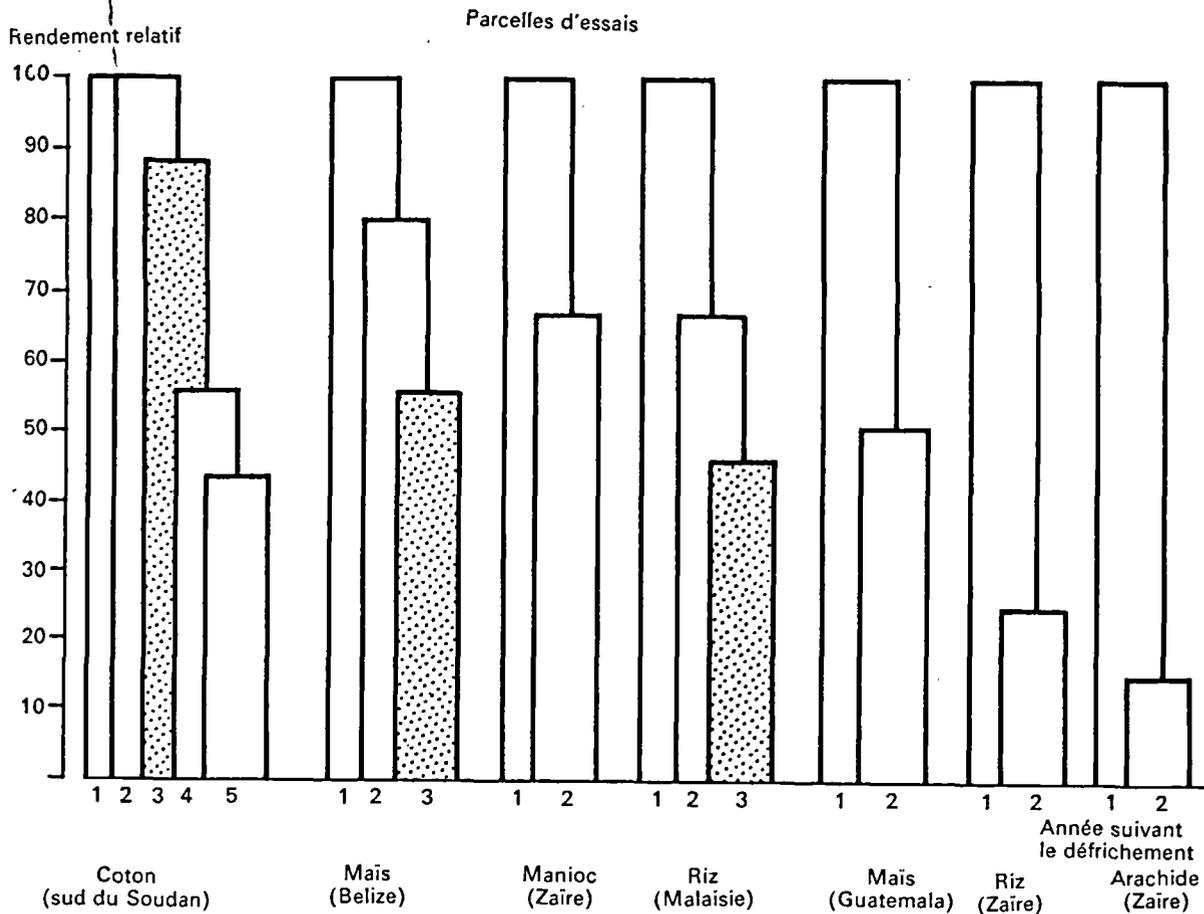


FIG. 1. Évolution des rendements après défrichement de la jachère naturelle (d'après Ruthenberg, 1971, utilisant les données de Nye et Greenland, 1960).

forestières après défrichement et culture sont insuffisantes, bien que Gómez-Pompa *et al.* (1972) aient étudié les sols de quelques pluvisylves d'Amérique du Sud et discuté les causes de la déviation des successions, et que Brinkmann et Vieira (1971) aient examiné les effets de l'écobuage après défrichement sur la viabilité des graines. Keay (1960) a constaté que la régénération dans les forêts du Nigéria se faisait surtout à partir des graines existant dans la forêt avant le défrichement.

La pénétration de la savane dans la forêt a été mieux étudiée. A cet égard, la pratique courante de l'écobuage des herbes sèches à la fin de la saison sèche a été beaucoup observée, car elle aboutit à la suppression des espèces forestières et à une dominance des espèces savaniques pyrophiles. Une bibliographie très complète a été préparée par Bartlett (1955, 1957, 1961) sur ce thème. Les effets de la culture et du feu sur la succession forestière ont été passés en revue par Budowski (1956, 1961), Bazilevič et Rodin (1966) et par Daubenmire (1972). Les effets généraux de l'agriculture itinérante ont été aussi discutés par Donis et Denevan (1975) dans deux rapports soumis à la FAO. Selon Donis, « cette pratique culturale favorise les essences

de lumière parmi lesquelles plusieurs essences économiques, simplifie la structure des peuplements, altère de nombreuses forêts transformées en brousses secondaires dégradées sans potentiel de production, avec savanisation d'immenses territoires où une érosion intense est la conséquence des feux annuels ». Denevan, après avoir passé en revue les changements physiques et chimiques des sols soumis à des systèmes de jachère longue ou courte, a examiné leurs conséquences sur l'environnement : « Les effets sur la faune sauvage sont évidents; si la végétation change, on peut s'attendre à un changement quantitatif et qualitatif de la faune sauvage. Là où les systèmes avec longue jachère prédominent, une restauration complète des stations perturbées peut être très rapide. Cependant, même si les populations humaines sont très dispersées, elles peuvent modifier la faune sauvage par la chasse plus que ne peuvent le faire quelques changements temporaires de la végétation. D'autre part, quand des forêts de protection subsistent autour des essarts, certaines espèces sont favorisées par la présence de certaines cultures ou par les premiers stades de la succession de la jachère forestière. De nombreux essarteurs acceptent certaines pertes de leurs

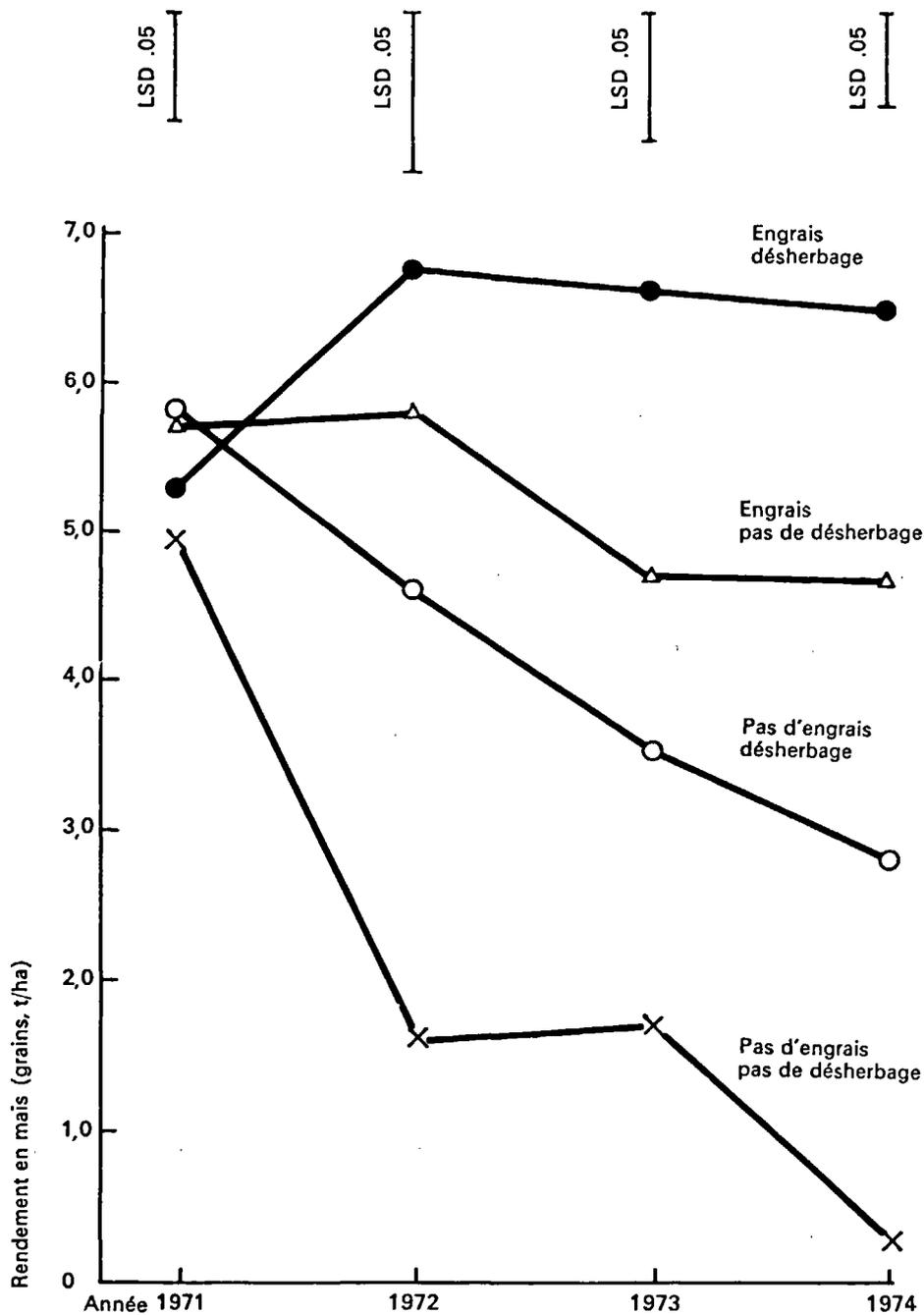


FIG. 2. Effet des pratiques culturales sur les rendements en maïs dans le cas des essais sur sol Egbeda à l'IIAT (Kang, 1975, non publié).

récoltes dues aux cerfs, singes, oiseaux, rongeurs, et à d'autres animaux nuisibles parce que la chasse est alors possible et facilitée. Avec les systèmes de culture à courte jachère, le remplacement des cultures par des pâturages permanents ou par une savane buissonneuse, les effets sur la faune sauvage sont dévastateurs. Les espèces préférant les milieux ouverts peuvent être systématiquement éli-

minées pour diminuer leur concurrence vis-à-vis du bétail pour le fourrage. Quand le défrichement à des fins forestières est massif, des conditions hydrologiques sont modifiées de façon notable : sans un couvert forestier, l'érosion est plus rapide, entraînant des crues plus brèves mais plus fortes et plus dévastatrices; les sols s'assèchent plus rapidement, affectant végétation et cultures, et l'abaissement des

TABLEAU 4. Teneurs et répartition des éléments nutritifs dans le sol et dans la biomasse et importance relative de la litière dans trois forêts tropicales

| Localité | Types de forêt et de sol | Compartiment de l'écosystème | Biomasse (t/ha) | Quantités totales emmagasinées en kg/ha et en pourcentage | | | | | Pourcentage du total | Auteurs |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|----------------------|-----------------------------------|
| | | | | N | P | K | Ca | Mg | | |
| Kade, Ghana | Forêt secondaire arrivée à maturité de 40 ans | Biomasse vivante (y compris les racines) | 361 | 2 009 (30,3) | 136 (91,3) | 896 (57,6) | 2 625 (50,0) | 384 (50,5) | 42,2 | Nye et Greenland (1960) |
| | | Litière | | 35 (0,5) | 1 (0,7) | 10 (0,7) | 45 (0,9) | 6 (0,8) | 0,68 | |
| | Limon brun à mi-pente sur phyllite (ultisol?) | Sol (0-30 cm) | | 4 592 (69,2) | 12 (8,1) | 650 (41,8) | 2 576 (49,1) | 370 (48,7) | 57,2 | |
| | Sol lessivé | TOTAUX | | 6 636 | 149 | 1 556 | 5 246 | 760 | | |
| Marafunga, Nouvelle-Guinée | Forêt de basse montagne, 2 500 m | Biomasse vivante (y compris les racines) | 592 | 1 415 (7,2) | 74 (78,7) | 1 227 (60,7) | 2 060 (33,1) | 452 (33,6) | 17,8 | Edwards (1973) |
| | | Litière | | 106 (0,54) | 6 (6,4) | 17 (0,9) | 115 (1,9) | 18 (1,3) | 0,89 | |
| | Argile brune humide développée sur cendres volcaniques (entisol) | Sol (0-30 cm) | | 18 200 (92,3) | 14 (14,9) | 777 (38,5) | 4 048 (65,0) | 874 (65,0) | 81,3 | |
| | Sol peu évolué | TOTAUX | | 19 626 | 94 | 2 021 | 6 223 | 1 344 | | |
| Manaus, Brésil | Forêt ombrophile sur alluvions | Biomasse vivante (Estimation) | 450 | 5 355 (61,9) | 149 (91,4) | 1 320 (90,5) | 1 290 (88,8) | 810 (93,8) | 70,9 | Klinge <i>et al.</i> (1973, 1975) |
| | | Litière | | 280 (3,2) | 3 (1,8) | 9 (0,6) | 51 (3,5) | 24 (2,8) | 2,9 | |
| | Podzol sableux (tropaquod?) | Sol (0-30 cm) | | 3 012 (34,8) | 11 (6,8) | 130 (8,9) | 112 (7,7) | 30 (3,5) | 26,2 | |
| | | TOTAUX | | 8 647 | 163 | 1 458 | 1 450 | 864 | | |

La répartition et les quantités totales des éléments nutritifs dans un écosystème forestier déterminé sont des facteurs importants quand on examine les effets d'une modification du système à des fins agricoles et les possibilités de succès ou d'échec de l'opération. D'autre part, la reconstitution de la forêt après défrichement dépend de ces facteurs. Dans le tableau 4 sont présentées trois situations différentes :

La jachère de quarante ans du Ghana représente un cas intermédiaire où la réserve totale de cations est répartie presque exactement pour moitié dans le sol et pour moitié dans la biomasse (y compris les racines) ; la litière ne contribue que pour moins de 1 % de tous les éléments nutritifs. Les deux tiers de l'azote et plus de 90 % du phosphore sont stockés dans la biomasse.

La forêt de Nouvelle-Guinée montre un cas extrême d'accumulation d'azote et de cations dans le sol, à l'exception du potassium et du phosphore qui sont accumulés surtout dans la biomasse. La litière est relativement riche en phosphore. Pour les sols sableux blancs plus pauvres qui sont couverts de forêts dans les régions les plus humides, les teneurs en éléments nutritifs dans les différents compartiments de la biomasse et dans le sol ont été données (Bazilevič et Rodin, 1966; Stark, 1971; Klinge, 1973).

Dans le cas de l'Amazonie (Manaus) on a calculé les quantités accumulées dans le sol, la biomasse et la litière, sur la base d'une valeur de 450/ha pour la biomasse ; les quantités d'azote et de phosphore dans cette biomasse et leurs rapports à celles existant dans le sol sont comparables à celles trouvées au Ghana ; mais une quantité quatre fois plus grande de phosphore et d'azote est présente dans la litière très acide (Klinge *et al.*, 1973, 1975). Les quantités de K, Ca et Mg sont très inférieures dans la forêt brésilienne à celles de Nouvelle-Guinée ou du Ghana, le Ca étant le plus faiblement représenté, eu égard au lessivage plus fort et à l'acidité plus grande des sols de ces régions (oxysols).

nappes phréatiques entraîne un abaissement des étiages durant la saison sèche. Le défrichage sur les pentes est particulièrement dangereux, car l'érosion est très accélérée et les pertes et dégâts peuvent être catastrophiques lors des fortes pluies. Les torrents de boue provenant des pentes dénudées par les agriculteurs itinérants furent responsables des pertes humaines enregistrées lors de l'ouragan au Honduras en 1974. Les effets du déboisement sur le climat sont mal connus. Les microclimats sont de toute évidence modifiés, avec pour conséquence un réchauffement plus grand en surface. Quelquefois les fumées des feux des essarteurs couvrent de vastes surfaces, et les particules en suspension dans l'air peuvent réduire le rayonnement solaire incident. Des défrichements massifs peuvent réduire l'évapotranspiration localement ou même régionalement; or si l'océan est la principale source d'eau pour les précipitations, l'évapotranspiration y contribue également. Une étude préliminaire faite sur le bilan d'eau de l'Amazonie montre que si la pluvisylve était complètement détruite, la pluviosité à l'intérieur de cette région serait réduite d'environ 25 % (Wise, non daté). »

Les effets de l'agriculture itinérante sur les propriétés édaphiques ont été passés en revue par Nye et Greenland (1960), par Vine (1968), Sanchez (1972), Fassbender (1974) et Greenland (1974). Le calcul de la variation des teneurs en éléments nutritifs dans les sols soumis à l'agriculture itinérante, à la suite des travaux de Nye et Greenland (1960), ont fait l'objet de comptes rendus par Cunningham (1963), Nye et Greenland (1960), Sanchez (1972) et Brinkmann et Nascimento (1973). Ces effets généraux sont à présent bien établis. La végétation forestière sur pied contient de grandes quantités d'éléments nutritifs (tableau 4; voir aussi chapitres 10 et 13). Quand la forêt est abattue et brûlée, une grande partie du carbone, de l'azote et du soufre est volatilisée sous forme d'oxydes, alors que les éléments nutritifs résiduels s'ajoutent au sol sous forme de carbonates essentiellement, les quantités de silicates et de phosphates étant plus faibles. Les carbonates entraînent une augmentation du pH, de l'ordre de 2 unités (tableau 5). Bien que le soufre et l'azote de l'écosystème soient en grande partie perdus lors de l'écobuage, les réserves de ces éléments dans le sol sont peu ou pas affectées (Nye et Greenland, 1960; Sanchez, 1972; Brinkmann et Nascimento, 1973). La libération importante des éléments nutritifs immédiatement après le brûlis peut conduire à une perte rapide de ces éléments par lessivage, en particulier dans les régions à forte pluviosité (Brinkmann et Nascimento, 1973); mais dans la forêt semi-caducifoliée le lessivage est généralement moins prononcé et les carences nutritionnelles peuvent apparaître seulement après plusieurs années de culture (Greenland, 1974).

L'étude du cycle des éléments nutritifs entre la forêt et le sol a reçu une attention particulière au cours des dernières années (voir chapitre 13).

Les modifications des propriétés physiques des sols après le défrichage (Van der Weert, 1974; Wilkinson et Aina, 1975) consistent dans la réduction importante des macropores, surtout si le déboisement a été effectué avec de l'équipement lourd, ce qui a pour conséquence une diminution de la vitesse d'infiltration de l'eau et de la per-

TABLEAU 5. Modifications des propriétés édaphiques après défrichage d'une forêt semi-caducifoliée, à Kade (Ghana)

a) Selon les pratiques culturelles locales

| | | Avant défrichage | Après défrichage et écobuage | Après 1 an de culture | Après 2 ans de culture |
|----------------------|----|------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|
| 0-5 cm | pH | 5,2 | 8,1 | 7,5 | 7,0 |
| Cations échangeables | K | 0,5 | 2,5 | 0,6 | 0,3 |
| | Ca | 7,2 | 21,2 | 20,5 | 14,5 |
| még/100 g | Mg | 2,6 | 3,9 | 2,4 | 2,0 |
| C organique (%) | | 2,86 | 2,34 | 2,67 | 2,19 |
| N organique (%) | | 0,26 | 0,25 | 0,24 | 0,19 |
| 5-15 cm | pH | 4,9 | 6,2 | 5,4 | 6,0 |
| Cations échangeables | K | 0,3 | 0,9 | 0,4 | 0,2 |
| | Ca | 2,0 | 5,0 | 3,2 | 5,2 |
| még/100 g | Mg | 1,2 | 1,6 | 1,2 | 1,1 |
| C organique (%) | | 1,06 | 1,18 | 1,01 | 1,06 |
| N organique (%) | | 0,11 | 0,13 | 0,10 | 0,11 |
| 15-30 cm | pH | 4,9 | 6,2 | 5,0 | 5,2 |
| Cations échangeables | K | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,2 |
| | Ca | 1,7 | 3,8 | 2,5 | 3,2 |
| még/100 g | Mg | 1,2 | 1,4 | 1,1 | 1,1 |
| C organique (%) | | 0,84 | 0,85 | 0,63 | 0,71 |
| N organique (%) | | 0,092 | 0,092 | 0,072 | 0,070 |

b) Avec labour et assolement maïs-manioc-maïs

| | | | | | |
|----------------------|----|--------|-------|-------|-------|
| 0-5 cm | pH | 5,2 | 8,0 | 6,8 | 6,6 |
| Cations échangeables | K | 0,4 | 1,5 | 0,4 | 0,2 |
| | Ca | 4,0 | 12,7 | 7,2 | 6,8 |
| még/100 g | Mg | 1,9 | 2,9 | 1,7 | 1,3 |
| C organique (%) | | 2,26 | 2,06 | 1,64 | 1,60 |
| N organique (%) | | 0,24 | 0,19 | 0,15 | 0,15 |
| 5-15 cm | pH | (4,7)* | 7,4 | 5,5 | 5,5 |
| Cations échangeables | K | (0,2) | 0,8 | 0,4 | 0,2 |
| | Ca | (1,2) | 5,0 | 3,0 | 3,0 |
| még/100 g | Mg | (0,9) | 1,5 | 1,2 | 1,0 |
| C organique (%) | | (0,78) | 1,17 | 1,07 | 0,97 |
| N organique (%) | | (0,18) | 0,13 | 0,10 | 0,094 |
| 15-30 cm | pH | (4,7)* | 5,5 | 4,8 | 4,9 |
| Cations échangeables | K | (0,2) | 0,5 | 0,2 | 0,2 |
| | Ca | (1,2) | 2,5 | 1,2 | 1,5 |
| még/100 g | Mg | (0,9) | 1,1 | 0,7 | 0,8 |
| C organique (%) | | (0,78) | 0,98 | 0,61 | 0,59 |
| N organique (%) | | (0,08) | 0,093 | 0,061 | 0,059 |

* Échantillons de 5-30 cm analysés ensemble.

Données de Nye et Greenland (1960). Voir aussi Cunningham (1963). Les données concernent un sol ferrallitique à la station de recherche de l'Université du Ghana, à Kade (pluviosité 1 500 mm/an). La culture a été effectuée : a) selon les pratiques locales, sans travail du sol, les graines étant enfouies au bâton plantoir; le maïs a été semé en alternance avec le manioc, le taro et le bananier plantain; b) avec labour du sol, et assolement maïs-manioc-maïs.

méabilité. Ces modifications sont moindres si le défrichement se fait à la main. Des vitesses d'infiltration réduites augmentent le ruissellement; sur un sol découvert, l'arrachement des particules de terres par les gouttes de pluie et le transport des matériaux détachés par le ruissellement provoquent une érosion importante (Barnett *et al.*, 1972; Lal, 1974). Mais si le sol est protégé par un mulch ou un couvert végétal, les particules de sol ne sont pas arrachées et l'érosion se trouve réduite (Lal, 1974).

L'emploi de mulch ou le paillage est une pratique courante chez de nombreux essarteurs (Allan, 1965) et le système de cultures mixtes qui est quasi universel, contribue au maintien de la couverture du sol. Mais ces opérations de défrichement et de plantation doivent entraîner une certaine exposition du sol et une forte pluviosité augmentera l'érosion. Si l'on cultive des pentes trop fortes, ou si les pratiques culturales sont inadaptées, l'intensité de l'érosion peut être très élevée.

Quelques études assez détaillées ont été récemment effectuées sur la faune et la flore du sol. Fittkau et Klinge (1973) ont passé en revue la bibliographie et fourni des données pour la pluvieuse amazonienne, et le groupe de travail de l'IIAT, avec l'aide du Centre for Overseas Pest Research (COPR), a aussi produit de nombreuses données sur les populations du sol et sur les changements intervenant après le défrichement et l'écobuage (IIAT, Rapport annuel, 1974). Ce groupe a aussi rassemblé des informations sur les effets de l'application des insecticides. En général, les effets du défrichement et de l'écobuage sont bien plus graves que ceux des insecticides. Les relations entre les populations du sol et la productivité édaphique restent cependant mal connues, et il est difficile de savoir si les changements observés sont d'importance pour la production forestière ou pour la production agricole.

Production alimentaire et énergie

La productivité de l'agriculture itinérante est très variable. Les essarteurs tirent de la chasse, de la pêche et de la cueillette de produits végétaux spontanés dans la jachère naturelle une part importante de leur régime alimentaire. Dans la plupart des cas, la plus grande partie des calories consommées provient d'une culture essentielle : maïs, taro, patate douce et manioc. Le manioc est la plante la plus productive pour ce qui est des glucides et présente en outre l'avantage de pouvoir être stockée dans le sol pendant près de deux ans avant d'être récoltée. A la suite de l'introduction du manioc en Afrique et de sa large diffusion parmi les essarteurs, certains auteurs l'ont considéré comme une cause non seulement de malnutrition en raison de sa basse teneur en protéines, mais aussi de nombreux troubles nerveux dus à des substances cyanogènes présentes dans les variétés amères (Lowenstein, 1973). Le manioc peut produire trois fois plus de calories que le maïs, en raison d'une période de croissance de 12 mois (contre 4 à 6 pour les céréales), d'une plus grande tolérance pour les sols pauvres, de sa capacité de reproduction végétative et de la quasi-absence de pertes postmessaies (Miracle, 1973).

Les transferts d'énergie dans l'agriculture itinérante et dans l'agriculture moderne permettent de souligner quelques différences fondamentales des deux systèmes. L'agriculture itinérante, à la différence de l'agriculture moderne, n'utilise guère l'énergie provenant de combustibles fossiles. Dans l'essartage qui repose sur le travail manuel, la tendance est davantage vers une économie de l'effort que vers une rentabilité économique. Conklin (1957), Nye et Greenland (1960), pour l'Afrique Spencer (1966) et Watters (1971) ont montré que c'était bien le cas quel que soit le mode d'exercice de l'essartage, mais que ce dernier s'adaptait mal à une économie de marché imposée par les grandes concentrations humaines.

Quand l'agriculture itinérante doit s'intensifier, elle peut perdre son caractère de stabilité. Des recherches sont encore nécessaires sur les bilans énergétiques de cette forme d'agriculture ainsi que sur les systèmes de culture continue. Même s'il était techniquement possible de produire les aliments nécessaires aux 4 milliards d'hommes de la planète, avec une efficacité comparable à celle de l'agriculture la plus mécanisée, les réserves connues de pétrole seraient épuisées en vingt-neuf ans seulement — en supposant que le pétrole soit la seule source d'énergie et qu'il soit utilisé seulement pour la production alimentaire (Pimentel *et al.*, 1973). Le type d'agriculture et de régime alimentaire de l'homme doit être évidemment évalué de façon plus réaliste si l'on veut parvenir à un système stable de production. Les nombreux programmes internationaux d'augmentation de la production alimentaire tendent à obtenir de hauts rendements par unité de surface, sans tenir compte des intrants énergétiques nécessaires pour atteindre une telle production. Dans la publication *A new look at energy resources* (McCloud, 1974), une étude critique de la situation présente est faite et trois solutions sont proposées : un prix plus avantageux du combustible pour l'agriculture; une meilleure utilisation de l'énergie dans les exploitations agricoles, grâce à un recyclage des déchets mais aussi à la production de plantes combustibles; et l'amélioration de la transformation biologique de l'énergie solaire en produits agricoles. Pimentel *et al.* (1973) ont examiné diverses possibilités comme les assolements et les engrais verts pour réduire les besoins élevés d'énergie à partir des combustibles fossiles entrant dans la composition des engrais et des biocides. La dépense d'énergie pourrait être réduite si l'on ne s'orientait pas vers une agriculture très mécanisée convenant à des contextes physiques et économiques différents. Les conséquences de ce changement d'orientation dans le développement d'une agronomie moderne devraient être prises en considération quand on planifie la mise en valeur agricole dans les régions tropicales.

Conclusions

On peut conclure avec Denevan (1975) que « toutes les formes d'agriculture itinérante ont une influence destructrice et modificatrice sur les forêts tropicales. Mais la nature de

cette influence varie considérablement : dispersée et temporaire, d'un côté, massive et permanente, de l'autre. Les systèmes d'agriculture itinérante peuvent être classés comme à longue jachère, à courte jachère, à jachère instable et à caractère migratoire.

» Il est généralement admis (Conklin, 1957) que les systèmes à longue jachère ou à jachère forestière sont convenables sur le plan écologique ; ils ne laissent que quelques cicatrices réduites qui ne diffèrent pas beaucoup des perturbations naturelles (inondations, glissements de terrain, chutes d'arbres) et qui sont rapidement effacées (voir chapitre 8). La période de culture est courte (1-2 ans), la période de jachère forestière relativement longue (plus de 20 ans environ), et les champs sont généralement très dispersés. Les petits essarts en forêt sont protégés des vents, de l'érosion et conservent bien l'humidité du sol. La régénération après l'abandon des essarts est rapide, car les réserves de graines sont abondantes et immédiates et la diversité biotique se trouve ainsi assurée (Gómez-Pompa *et al.*, 1972). Ces systèmes sont caractéristiques dans une certaine mesure des zones très humides d'Afrique centrale. Ils renouvellent la fertilité des sols mais peuvent ne pas être suffisants pour permettre une remontée biologique complète, c'est-à-dire la formation de forêts climaciques, qui peut prendre un siècle ou plus. Les premiers stades de la succession forestière peuvent contenir un pourcentage relativement élevé d'espèces de valeur économique et à croissance rapide telles que le pin, le teck, le fromager, l'acajou et le *Cedrela*, ainsi que des arbres fruitiers ou d'autres plantes spontanées ou domestiquées, présents dans les essarts abandonnés. Comme à un moment donné une faible proportion seulement de la surface totale est utilisée, les systèmes à longue jachère ne peuvent faire vivre que des populations dispersées ou groupées en petites communautés.

» Là où les jachères durent entre quatre et vingt ans, la restauration d'une formation buissonneuse ou d'une forêt basse peut être suffisante pour renouveler la fertilité et l'humidité, améliorer la structure du sol et réduire la propagation des adventices et des ravageurs pour permettre une reprise de la culture. L'écosystème forestier tropical ne pourra se restaurer que partiellement dans le cadre d'une telle jachère, pour ce qui est des dimensions des arbres, de la diversité spécifique et de la faune sauvage. La régénération de la forêt peut être facilitée en intercalant les essarts avec des réserves forestières qui jouent le rôle de réserves de graines et d'humidité, et de brise-vent, comme dans le cas du système des couloirs dans le bassin du Congo (Kellog, 1963). La vitesse et la composition de la reconstitution de la forêt peuvent être influencées par la plantation d'arbres durant la culture, y compris celle d'arbres choisis pour leur valeur commerciale (bois d'œuvre, espèces utiles), comme dans le système taungya (Watters, 1971), par l'introduction d'espèces fixatrices d'azote ou d'essences à croissance rapide telles que le *Casuarina*. L'agriculture itinérante pourrait alors entrer dans une rotation avec une arboriculture ou une forêt aménagée qui est à la fois productrice et protectrice, plutôt qu'avec une jachère naturelle. Des systèmes à jachère courte sont courants en

Afrique parmi les paysans respectant les traditions, connaissant bien les besoins et les limites de leurs milieux et ajustant leurs techniques en conséquence (Watters, 1971). Une densité humaine de l'ordre de 50 hab/km² est tolérable, mais, quand la population augmente, on constate soit une dégradation du milieu, soit le passage à une agriculture plus intensive, soit les deux phénomènes (voir chapitre 19).

» Quand la jachère est inférieure à quatre ans environ, elle est dominée par des herbes et des arbustes et la régénération de la végétation ligneuse et des sols devient insuffisante. Deux types de mise en valeur des terres peuvent être distingués, les facteurs déterminants étant complexes et pas toujours bien compris, mais la densité humaine semble être un élément crucial. Premièrement, la fertilité naturelle peut être reconstituée par le mulching, l'apport de composts, de fumiers, de cendres et quelquefois d'engrais chimiques, la structure du sol peut être améliorée et les adventices éliminées par le sarclage, le billonnage et le terrassement (Denevan, 1975). La dégradation du milieu peut être sérieuse, entraînant en définitive l'abandon de la terre, mais elle peut être combattue par des techniques agricoles comme la construction de terrasses ou de banquettes. La culture devient permanente ou quasi permanente. Les densités humaines sont élevées, comme le sont aussi les investissements en travail et les coûts de production ; en conséquence, les niveaux de vie sont bas. Il n'y a plus de forêts, mais une intensification de l'agriculture avec concentration de la population dans une zone permettrait de sauver d'autres forêts de la destruction par une extension de l'agriculture itinérante. Certaines savanes dérivées de l'Ancien Monde sont maintenant cultivées intensivement avec jachère arbustive ou herbeuse. D'autre part, les cycles avec jachère courte s'accompagnent d'une détérioration des sols, d'un accroissement des espèces indésirables et des ravageurs ainsi que d'un déclin des rendements. Le sol pourra alors se dégrader au point que la forêt se réinstallera lentement ou sera remplacée par une savane arbustive qui se maintiendra avec un minimum d'interventions humaines (Budowski, 1956).

» L'agriculture migratoire ou pionnière sans jachère forestière peut consister en quelques cycles à jachère courte, suivis d'abandon du sol, ou d'une ou deux années de culture seulement. Les immigrants nouveaux venus n'ont pas appris à pratiquer des techniques capables de conserver la fertilité ; ils ont tendance à cultiver trop longtemps et à réduire les jachères. Quand la production baisse, au lieu d'entreprendre les travaux nécessaires au maintien de la fertilité et à la lutte contre les adventices, qui exigent des investissements importants sous forme de travail ou de capital, la terre est abandonnée et l'on recherche une autre parcelle forestière. Le champ ainsi abandonné peut retourner à la jachère forestière ou même être utilisé pour des cultures ; mais le plus souvent il devient un terrain de parcours pour le bétail. La couverture végétale est faite d'herbes et d'arbustes, avec ou sans rotation avec les cultures ou la forêt. La reconstitution de la forêt est empêchée volontairement par l'écobuage et la coupe, ou involontairement par les feux, l'invasion d'adventices et de fougères, ainsi que par la dégradation de la structure du sol et de sa

fertilité. Cette savanisation s'étend sur de grandes surfaces et les réserves de graines pour la régénération de la forêt disparaissent.

» C'est la transformation de la forêt en une prairie permanente ou en savane arbustive qui représente la plus grande menace à la survie des forêts tropicales humides. Ce processus domine l'histoire récente de l'utilisation des terres dans une grande partie de l'Afrique. Le défrichement des forêts exprime la pression démographique qui est parfois lointaine par rapport aux zones déboisées. L'échec à établir une culture stable avec courte jachère ou une agriculture permanente traduit ce défaut de pression de la population locale. Cependant, en dépit de la disponibilité en terres, on constate rarement de longues jachères forestières. Les essarts abandonnés sont livrés à bas prix aux éleveurs qui maintiennent la végétation à l'état de pelouse : l'agriculture itinérante est alors remplacée par une utilisation des terres encore plus extensive, l'élevage du bétail. Sur des sols pauvres, le pâturage est médiocre, la qualité et la quantité du bétail sont faibles. La viande et le lait sont trop chers, mais il existe un marché et la demande de terres de parcours, même de qualité médiocre, reste forte. Ainsi donc, alors que l'agriculture itinérante est l'instrument de la destruction de la forêt, c'est l'élevage de type ranching qui empêche sa régénération rapide ».

Plusieurs voies s'offrent alors pour conduire l'agriculture itinérante selon les objectifs, et de nombreuses recherches biologiques ou socio-économiques restent à faire. Le système taungya a bien réussi dans de nombreuses parties du monde (King, 1968); dans un tel système, les cultivateurs font pousser des plantes vivrières pendant un an ou deux, puis une espèce ligneuse commercialement utile; après les récoltes, les débris sont brûlés sur place et le cycle recommence. On peut concevoir le système taungya soit comme de la foresterie paysanne, soit comme un élément d'une mise en valeur pour la production de bois industriel. Dans le premier cas, la description en a été faite par Lowe (1975) au Nigéria, où les services forestiers

ont généralement laissé la production alimentaire aux cultivateurs ayant défriché la forêt; une certaine aide pouvait leur être toutefois consentie pour l'abattage des plus gros arbres; ces derniers pourraient rester en place ou subir des tentatives de destruction par le feu. Le personnel forestier inventorierait les terres qu'il distribuait aux fermiers. Dans une certaine mesure, les activités des cultivateurs étaient réglées en coordonnant le débroussaillage, l'abattage, l'empilage et le brûlis des déchets, ainsi que l'enlèvement des grumes utilisables. Les fermiers en retard étaient rappelés à l'ordre, les opérations d'abattage ou d'écobuage étant retardées jusqu'à ce que tous les fermiers aient terminé les travaux préliminaires. Les cultures étaient dans une certaine mesure réglementées de façon à protéger la récolte forestière; la culture du bananier plantain était, par exemple, interdite ou limitée à la bordure des exploitations; il était également courant d'interdire la culture de manioc au début de la première saison de culture et de fixer l'espacement de la plantation. Les variétés non ramifiées de manioc, qui gênent moins les plantations arborées, pouvaient être encouragées. Les services forestiers avaient habitué les fermiers à planter les arbres avec un large espacement (tableau 6) et leur permettaient d'élaguer les branches latérales des jeunes arbres; dans l'État du Bénin, une prime était versée, puis cette pratique fut interrompue. Les fermiers ont également aidé à la plantation sans recevoir de paiement, mais cela a pu être une erreur, car il peut en résulter des plantations de qualité médiocre avec un pourcentage de reprise insuffisant.

Les paysans sont enclins à défricher et à cultiver dans les réserves forestières pour deux raisons : tout d'abord à cause de la fertilité des terres nouvellement défrichées; ensuite parce qu'une grande partie de leurs propres terres peut être occupée par des cultures pérennes et qu'en conséquence il y a, dans certaines régions, un manque de terre pour la production vivrière. La faim de terre n'est pas en soi essentielle pour la réussite des opérations de taungya et, là où elle existe (comme dans l'État du Centre-Est), les

TABLEAU 6. Espacements des arbres en système taungya au Nigéria

| Essence forestière | Matériel de plantation | Espacement (m) | Nombre d'arbres/ha | État |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------|--------------------|-------------|
| <i>Gmelina arborea</i> | Stumps ^a | 3 × 3 | 1 076 | Ouest |
| | | 2,5 × 2,5 | 1 682 | Sud-Est |
| <i>Nauclea diderrichii</i> Méliacées (acajous) mélanges 5/1 | Stumps | 3,5 × 3,5 | 742 | Moyen-Ouest |
| <i>Tectona grandis</i> | Stumps et/ou « polipots » 7,5 × 12 cm | 2,5 × 2,5 | 1 682 | Ouest |
| <i>Terminalia ivorensis</i> | Stumps | 5 × 5 | 420 | Ouest |
| | | 5,5 × 5,5 | 332 | Moyen-Ouest |

a. Stump : matériel végétal destiné à être planté, produit en pépinière en élaguant les racines et les rameaux des jeunes plants de façon à ne laisser subsister que la partie inférieure de la tige et les plus grosses racines (planter des stumps).

Des « polipots » de 7,5 × 12 cm conviennent aussi au *Nauclea* et au *Terminalia*, donnant une reprise et une croissance supérieures à celles enregistrées à partir de stumps.

seules terres disponibles pour la mise en réserve forestière sont impropres à toute culture ou sujettes à l'érosion. Les méthodes de culture employées dans le système taungya sont traditionnelles; il s'agit de réaliser un mélange des plantes cultivées pour utiliser la terre au maximum. Les paysans sont probablement mieux nantis que la moyenne et sont souvent enclins à s'orienter vers une agriculture de rente. Le besoin qu'ils ont de défricher la forêt primaire exprime leur force et leur dynamisme. Quand des surfaces supérieures à 0,5 ha sont allouées, la qualité de l'agriculture tend à se dégrader et le fermier doit chercher assistance. Un résumé des cycles culturaux dans trois localités est donné au tableau 7. Les cultures vivrières courantes sont le melon egusi (*Citrullus vulgaris*) en alternance avec des ignames (*Dioscorea* spp.) ou du maïs, qui peut être suivi par une seconde culture de maïs. Ces cultures peuvent être toutes interplantées. On trouve en plus des piments (*Cap-sicum* spp.), des tomates, du gombo (*Hibiscus esculentus*), des « épinards » (*Amaranthus*) et quelquefois des haricots ainsi que d'autres légumes. On termine généralement le cycle agricole avec le manioc; c'est toujours la récolte

finale du cycle. Le cycle exact dépend des conditions et coutumes locales, et aussi de l'énergie de chaque cultivateur. Les ignames, qui rapportent le plus, nécessitent aussi les efforts les plus grands, et la surface qu'elles occupent est fonction du désir et des besoins monétaires de l'exploitant agricole. Le Service forestier s'adapte bien à ce schéma traditionnel de travaux et de revenus, organisant les cultures et obtenant la plantation de ses arbres, ce qui exige du cultivateur un faible supplément de travail.

Le système taungya ne peut être pratiqué que dans des zones limitées, généralement sur les terres forestières voisines des communautés existantes. L'ouverture de massifs forestiers à l'agriculture pourrait ne pas être une mesure sage en raison d'éventuels problèmes socio-économiques. Il est souhaitable d'établir des communautés rurales stables et chaque opération taungya doit être convenablement planifiée. Il est peu probable qu'on disposera indéfiniment d'un réservoir illimité de paysans désireux de participer aux opérations taungya. De toute façon les systèmes taungya ont une existence limitée, les exploitations devant être raisonnablement proches de l'habitat; les cultivateurs

TABLEAU 7. Cycle agricole en système taungya au Nigéria (Lowe, 1975)

| État | Ouest | Moyen-Ouest | Sud-Est | |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Pluviosité annuelle (mm) | 1 250-1 600 | 1 500-2 000 | 1 700-2 600 | |
| Formation géologique | Bouclier | Sable sédimentaire | Bouclier | |
| Entité responsable | Exploitant agricole | Exploitant agricole | Service forestier | |
| <i>Année 0</i> | | | | |
| Octobre | — | — | Délimitation des exploitations | |
| Novembre | Délimitation des exploitations | Délimitation des exploitations | Débroussaillage | |
| Décembre | | | Abattage | |
| <i>Année 1</i> | | | | |
| Janvier | Débroussaillage | Débroussaillage | Écobuage et empilage | |
| Février | | | | Abattage |
| Mars | | | | Écobuage et empilage |
| Avril | Semences du maïs, des melons, du gombo; confection des buttes pour les ignames | Semences du maïs, des melons, du gombo, de <i>Amaranthus</i> et de piments | — | |
| Mai, plantation des arbres | Plantation d'ignames quand le maïs a germé | Confection des buttes et plantation d'ignames | — | |
| Juin, plantation des arbres | Récolte du maïs | — | Récolte du maïs | |
| Juillet | Récolte du melon | Récolte du maïs et du melon | Plantation du manioc | |
| Août | Plantation du manioc | | | |
| Septembre | Nouvelles semences du maïs | — | Nouvelles semences du maïs | |
| Octobre | — | — | — | |
| Novembre | Seconde récolte du maïs | Récolte des ignames | Seconde récolte du maïs | |
| Décembre | Récolte des ignames | | | |
| <i>Année 2</i> | | | | |
| Janvier | — | Plantation du manioc | — | |
| Avril-août | Récolte du manioc | — | — | |
| Juillet-décembre | — | — | Récolte du manioc | |
| <i>Année 3</i> | | | | |
| Janvier-mars | — | Récolte du manioc | — | |

ne sont pas disposés à se déplacer à plus de 5 km de marche, jusqu'à 10 km si l'accessibilité par la route était améliorée. Lorsque les terres accessibles seront toutes transformées en plantations, le domaine forestier aura été développé au point d'offrir des emplois suffisants grâce aux activités forestières et aux industries basées sur l'utilisation du bois. Cela peut se produire en dix ans environ avec *Gmelina* et en trente ans pour *Tectona*, *Terminalia* ou *Nauclea* en mélange avec des Méliacées. La bonne marche des projets taungya peut dépendre des dispositions prises pour la commercialisation des produits agricoles et des produits d'éclaircie. Quand de nouvelles opérations sont mises en route, tous ces facteurs doivent être soigneusement examinés et traduits dans un règlement d'exploitation.

Par contre, s'il s'agit de développer une production industrielle de bois, Donis (1975) souligne que les facilités de transport et d'exploitation ainsi que d'exportation sont déterminantes pour la localisation d'une telle production et que les régions présentant une telle vocation seront celles qui ont fait déjà l'objet d'une exploitation grumière, ou celles qui pourraient être ouvertes par l'établissement de nouvelles voies d'évacuation routières, ferroviaires ou fluviales. Les régions à vocation forestière industrielle comprendront donc les zones côtières et les zones drainées par les grands fleuves ou les axes routiers et de chemin de fer, une distance d'évacuation de 100 à 200 km pouvant être tolérée économiquement. Enfin ces programmes devront se dérouler dans des régions ayant des sols caractérisés par des profondeurs utiles d'au moins 25 à 30 cm.

Autres systèmes agri-sylvicoles

De nombreux systèmes agricoles autres que l'agriculture itinérante ont été et sont utilisés dans les régions forestières tropicales (Duckham et Masefield, 1971; Ruthenberg, 1971). Ceux qui ont le mieux réussi ont fait appel à des espèces vivaces, maintenant ainsi un couvert végétal permanent. Les mises en valeur par plantations, aussi bien que l'incorporation de plantes cultivées arborées dans les systèmes d'agriculture itinérante, ont donné de bons résultats (Coulter, 1972).

L'accroissement de la population urbaine par rapport à la population rurale, sans développement parallèle des techniques agricoles, conduit à exiger des agriculteurs itinérants une production vivrière accrue. Une faible proportion de la population se trouve, avec des techniques inadéquates, dans l'obligation de se nourrir elle-même et d'alimenter les villes (voir chapitre 19). En outre, la tendance à développer les cultures de rente au lieu des cultures vivrières aggrave encore la situation. Les faibles rendements obtenus obligent généralement le paysan à diminuer la durée des jachères et à prolonger les périodes de culture, ce qui entraîne une nouvelle baisse des rendements. Pour résoudre ce problème on a essayé plusieurs méthodes plus appropriées pour remplacer l'agriculture nomade par des systèmes de culture continue.

Dans le cas des sols hydromorphes des basses terres, la riziculture continue est possible, comme cela est bien

établi en Extrême-Orient; mais dans de nombreuses régions d'Afrique, cette culture continue est combinée à un essartage sur les parties supérieures des versants. C'est dans les zones d'ultisols et d'alfisols — les terres rouges et latosols des anciens systèmes de classification —, qui sont cultivées avec un facteur d'utilisation des terres ≥ 5 , que les plus grandes réserves de terres existent. En Afrique occidentale et dans plusieurs autres régions, l'alternative classique n'est pas entre leur conservation sous forêts et l'exploitation agricole, mais entre leur exploitation par des techniques agricoles destructrices et leur mise en valeur par des méthodes satisfaisantes et conservatrices du milieu. Dans les bassins du Congo les faibles densités humaines permettent d'envisager la mise en œuvre d'une politique d'utilisation des terres plus prudente, comprenant la conservation intégrale de certaines forêts naturelles et la mise en valeur sylvicole ou agricole d'autres régions forestières.

Les exigences cruciales d'une mise en valeur agricole appropriée sont de préserver ou d'accroître la fertilité du sol. Dans le cas de l'agriculture itinérante, les conditions édaphiques sont maintenues de telle sorte qu'une faible productivité soit au moins conservée. Les difficultés qui accompagnent les essais de mécanisation sont liées à un défrichement sérieux, nécessaire pour permettre l'emploi des charrues, disques, herse, et autres machines; le sol se trouve exposé aux risques d'érosion, l'horizon de surface devient compact et sont détruits les pores de grande taille qui permettent l'infiltration de l'eau; de plus, la faune du sol disparaît en grande partie. Ainsi, les sols qui étaient stables deviennent très vulnérables à l'érosion, avec pour conséquence des mesures très coûteuses de conservation des sols: il s'agit de terrasses selon les courbes de niveau et de canaux d'évacuation de l'eau dont la pente doit être soigneusement calculée; il est exact qu'avec un aménagement du terrain ainsi conduit on peut empêcher une érosion sérieuse et maintenir la fertilité à un niveau raisonnable, en particulier si les cultures de jachère sont bien choisies (Vine, 1953); mais on a enregistré de nombreux échecs.

Les raisons des échecs de l'agriculture dans les zones forestières tropicales d'Afrique ont été examinées. Malgré les nombreux exemples de mise en valeur avec mécanisation, combinée avec l'emploi d'engrais et de biocides appropriés, donnant des rendements élevés pour plusieurs années dans les stations de recherche, de telles techniques n'ont pas été commercialement couronnées de succès ailleurs; c'est la preuve qu'elles ne conviennent pas tout à fait. Il faut donc élaborer des méthodes spécialement adaptées aux tropiques humides (Greenland, 1975): elles doivent éviter l'érosion du sol, réduire au maximum les investissements coûteux sous forme de mécanisation et de biocides, et d'engrais dans la mesure du possible; elles doivent aussi combattre la tendance des sols de ces zones à devenir très acides.

Les travaux du Programme sur les systèmes de culture à l'Institut international d'agriculture tropicale au Nigéria ont montré comment ces nouvelles techniques pouvaient être mises au point. Les techniques de labour minimal ou

nul (Rockwood et Lal, 1974), dans lesquelles tous les résidus des récoltes sont utilisés comme mulch, réduisent très efficacement le ruissellement et entraînent une érosion du sol bien inférieure à ce qu'elle est lorsque la terre est labourée et hersée (voir tableaux 8 et 9). La lutte contre les mauvaises herbes peut être conduite avec des herbicides ou par un travail manuel ou mécanique de la surface, soigneusement programmé et effectué de façon à produire le minimum de perturbation du sol. Un couvert végétal est obtenu grâce au mulch et par la réalisation de cultures mélangées et consécutives (comparables à celles mises au point à l'Institut international de recherches sur le riz par Bradfield, 1969). En mélangeant les cultures et en utilisant un matériel de plantation résistant aux ravageurs et aux maladies, l'emploi de biocides chimiques peut être réduit. L'emploi d'engrais est inévitable pour remplacer les éléments nutritifs exportés par les récoltes et pour améliorer le niveau de fertilité du sol; mais dans le cas de l'azote, son besoin peut être réduit de toute façon en introduisant des légumineuses possédant des nodosités efficaces : le niébé (*Vigna unguiculata*), le haricot de Lima (*Phaseolus lunatus*), ou *Psophocarpus tetragonolobus*. Comme la chaux n'est pas facilement disponible, la méthode la plus économique pour lutter contre l'acidité est l'emploi d'une jachère cultivée, avec des plantes à racines profondes. On peut aussi faire pousser cette plante ailleurs et transporter les cendres et

TABLEAU 8. Effets du non-labour sur les pertes en sol et en eau sous une culture de maïs (Ibadan, première saison, 1973; pluviosité 780 mm; parcelles 25 × 4 m). Données non publiées de Lal (IIAT)

| Pente (%) | Perte en sol (t/ha) | | Ruissellement (mm) | |
|-----------|---------------------|--------|--------------------|--------|
| | Pas de labour | Labour | Pas de labour | Labour |
| 1 | 0,03 | 1,2 | 11,4 | 55,0 |
| 10 | 0,08 | 4,4 | 20,3 | 52,4 |
| 15 | 0,14 | 23,6 | 21,0 | 89,9 |

TABLEAU 9. Rendements de niébé et de niébé associé au maïs selon différentes méthodes de labour (Ibadan, deuxième saison, 1974). Toutes les parcelles ont reçu 30 kg d'azote/ha, 30 kg de phosphore/ha et 30 kg de potassium/ha comme engrais (paleustalf, série d'Egbeda). Données non publiées de Nangju (IIAT)

| Méthode de labour | Rendement en grain (kg/ha) | | | |
|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------|-------|
| | Culture unique | Association culturale | | |
| | | Niébé | Niébé | Maïs |
| Labour en planche | 1 185 | 665 | 1 705 | 2 370 |
| Labour à plat | 1 274 | 725 | 1 675 | 2 400 |
| Labour par bande | 1 538 | 1 022 | 2 337 | 3 359 |
| Pas de labour | 1 649 | 941 | 2 809 | 3 750 |

les matières organiques sur le terrain cultivé. On peut espérer que les systèmes agricoles basés sur ces méthodes combineront les principaux mérites de l'agriculture itinérante, la stabilité, avec une haute productivité. S'ils sont associés à une politique satisfaisante de l'utilisation des terres et à la protection des forêts dans les bassins versants principaux et secondaires, la mise en valeur agricole doit être compatible avec une conservation convenable des surfaces boisées.

Merz (1975) a fourni des informations sur les plantations de cacaoyer en forêt tropicale humide. Le cacaoyer fut introduit au Ghana vers 1883 et, à partir de cette date, la plantation de cet arbre s'est répandue progressivement jusqu'à atteindre dans les années 1950 la bordure nord de la forêt humide. Les fermes à cacaoyer étaient initialement éparpillées dans la plupart des régions forestières, les arbres formant une sorte de sous-étage laissant une grande partie du couvert intact; les denrées alimentaires comme le riz étaient importées à bon marché. Mais, à la suite de l'accroissement démographique, les forêts restantes entre les fermes à cacaoyer furent progressivement défrichées pour la production vivrière; et, quand l'industrie du bois s'est développée, les paysans ont suivi les routes d'exploitation forestière et ont occupé la forêt, quelquefois pour la culture du cacaoyer, mais surtout pour la production vivrière. En conséquence, il ne subsiste rien de la forêt primaire du Ghana, à l'exception de quelques îlots; elle a été remplacée par une forêt de transition.

Élevage sous plantations

La culture de légumineuses, comme plantes de couverture et aussi pour s'assurer une récolte supplémentaire, sous les arbres plantés, a été une pratique répandue en zone tropicale humide. Les légumineuses fournissent de l'azote au sol et protègent ce dernier contre l'érosion, mais il existe une concurrence entre ces deux types de plantes.

Les pâturages sous cocoteraies illustrent cette pratique. L'ombre des cocotiers fait généralement disparaître la prairie sous-jacente, mais les plantations dont les arbres dépassent vingt ans laissent passer assez de lumière pour permettre le développement du pâturage. La concurrence vis-à-vis des éléments nutritifs dépend de la fertilité du sol et des espèces pastorales. Généralement, dans le cas de cultures mélangées, si l'on apporte suffisamment d'engrais, il ne devrait y avoir aucune baisse de rendement des différentes cultures composantes, mais il faut déterminer les aspects économiques de cet apport d'engrais (Rodrigo, 1943). La concurrence à l'égard de l'eau peut n'apparaître que dans les années sèches (Krishna Marar, 1953, 1961). La concurrence est plus vive dans le cas de jeunes arbres que dans celui de plantations plus âgées où l'on a semé *Centrosema pubescens* (Fremond et Brumin, 1966). L'amélioration de la structure du sol due à la pénétration des racines quand la pelouse se constitue peut conduire à une meilleure infiltration de l'eau (de Silva, 1961).

L'aménagement du parcours sous les cocotiers doit maintenir les légumineuses et la hauteur de l'herbage doit permettre de trouver facilement les noix tombées à terre. En République-Unie de Tanzanie, *Alisycarpus vaginalis* est considéré comme une bonne légumineuse fourragère en raison de son port prostré.

Fernandez (1968) a cité enfin une charge possible du bétail sous cocoteraies de 0,75 tête par ha et par jour sur sol sablonneux avec *Centrosema pubescens*.

Bien que des légumineuses de couverture soient traditionnellement associées aux plantations de palmier à huile et d'hévéa, peu d'essais de pâturage ont été effectués, principalement en raison des problèmes d'aménagement pastoral dans les jeunes plantations et du fait qu'un couvert fermé élimine les légumineuses semées sous les arbres à cause du manque de lumière. Rombaut (1972, 1974) a fait des essais dans les plantations de palmier à huile en Côte-d'Ivoire et il a montré que l'élevage était possible si : a) des animaux trypanotolérants de race baoulé étaient élevés; b) un pâturage en rotation était réalisé, la charge étant limitée de 125 kg de poids vif/ha, ou dans le cas de la race baoulé à 0,5 tête/ha.

Le gain maximal de poids vif était de 500 g/jour, sans dégradation de la prairie. Le coût d'entretien du troupeau était compensé par les économies réalisées dans la lutte contre les mauvaises herbes. La prairie était constituée principalement de la légumineuse *Pueraria phaseoloides*, qui était éliminée par l'ombre des palmiers dès la cinquième année et remplacée alors par des graminées.

Conclusions

« Le but de l'aménagement des terres tropicales doit être la mise en place d'agro-écosystèmes à rendement soutenu (Denevan, 1975). Les formes d'exploitation les plus stables et les moins nuisibles à l'environnement sont celles qui font appel à la culture des plantes vivaces et à l'élevage, c'est-à-dire des systèmes de champs permanents où les cultures annuelles sont faites en rotation au sein d'un couvert de végétation à plusieurs étages comprenant arbres et arbustes produisant des fruits, des noix, des fibres textiles, du bois, des plantes médicinales, des plantes pour la confection de breuvages, des plantes d'ombrage et d'ornement, en plus d'un élevage de volailles, de porcs et d'un peu de bétail. Ce couvert a une physionomie qui reproduit autant que possible le paysage naturel, protégeant ainsi le sol et maintenant le cycle des éléments nutritifs sans apport d'engrais chimiques; en outre la diversité de l'écosystème réduit les risques de ravageurs et de maladies. De tels systèmes qui existent plus en théorie qu'en pratique, si ce n'est sous forme de jardins relativement petits au voisinage des habitations, ont une production très moyenne et nécessitent une assez grande quantité de travail, mais ils ne dépendent pas de la fourniture de combustibles fossiles. Ils peuvent être à la base d'une économie de subsistance satisfaisante et fournir quelques produits commercialisables. Ils sont durables et peuvent maintenir la population sur place et par conséquent diminuer l'impact de l'agriculture

à courtes jachères ou nomade qui est si destructrice pour les forêts et les sols des régions tropicales. »

Lutte contre l'enherbement et l'embroussaillage

Définition

La caractéristique essentielle des adventices ou espèces indésirables est qu'elles interfèrent avec l'utilisation des terres par l'homme dans un but déterminé, c'est-à-dire qu'il s'agit de « plantes croissant là où cela n'est pas souhaitable » (Shaw, 1956). Cette définition comprend non seulement la grande variété des herbes envahissantes, mais aussi, dans le contexte forestier, les nombreuses espèces d'arbres des forêts naturelles qui ne peuvent pas être commercialement exploitées. A la suite de la modification des conditions économiques et des progrès techniques, il est probable que plusieurs espèces arborées considérées comme indésirables pourront devenir des espèces ayant une certaine valeur (voir chapitre 21).

Les problèmes des espèces indésirables

Dans les forêts naturelles, les arbres de faible valeur commerciale, les lianes, les plantes parasites, etc., sont en concurrence permanente avec les espèces plus recherchées, et le but de l'aménagement est de dégager ces dernières des effets de la concurrence des plantes indésirables par un abattage sélectif ou par l'empoisonnement. Dans les plantations, les essences indésirables sont importantes surtout dans les premières phases d'établissement, peu de plantes pouvant en effet survivre après la fermeture du couvert arboré. Les problèmes des espèces indésirables et les méthodes de lutte dans les premiers stades des plantations forestières sont analogues à ceux rencontrés dans la reprise des plantes cultivées transplantées. De même, les problèmes de la croissance des adventices dans les planches de semis forestiers en pépinière sont comparables à ceux rencontrés lors des semilles. Les terres qui ont une longue histoire d'utilisation agricole ont tendance à engendrer une flore d'espèces indésirables liées au système agricole particulier pratiqué; mais lors des premières phases de la mise en valeur agricole, la similitude entre les flores indésirables des terres agricoles et des plantations forestières peut être très étroite, et les informations rassemblées dans un domaine peuvent être aussi très pertinentes pour l'autre.

Pour réaliser des cultures dans un écosystème forestier, la régénération doit être inhibée pendant plusieurs années. L'enlèvement du couvert forestier facilite non seulement le recré de nombreuses espèces forestières initiales, mais encore il permet l'envahissement par de nombreuses espèces indésirables des terrains cultivés voisins. Il ne s'agit pas de traiter ici de la lutte contre les adventices dans des cultures tropicales, qui ont fait l'objet d'une synthèse par Kasasian (1971). Les problèmes de la conversion des forêts pour la mise en valeur agricole ont beaucoup de points communs avec ceux du défrichement pour l'établissement des plantations et des pâturages améliorés, et cet aspect de la production agricole sera examiné brièvement.

Le coût de la lutte contre les espèces indésirables est sans doute élevé si on le compare à celui de la lutte contre les ravageurs et les maladies, mais il varie en grande partie selon l'importance de la végétation considérée comme indésirable. Ce coût est généralement élevé dans les pépinières forestières et après la plantation. La FAO (1974) cite, par exemple, des nombres montrant que, lorsque toutes les opérations sont faites à la main pour établir une plantation dans une zone aride, plus de la moitié du coût total de la main-d'œuvre pendant les deux premières années concerne le désherbage. Les coûts consécutifs à l'élimination des arbres indésirables en forêt naturelle sont considérables, mais si le défrichement de la forêt avant la plantation est aussi considéré comme faisant partie de cette lutte, on a affaire, là, à l'opération de lutte la plus coûteuse dans l'écosystème forestier.

Pépinières forestières

Dans les conditions de certaines pépinières forestières, comme en Afrique orientale, les semis restent seulement deux ou trois mois dans les planches de semis et le sol des planches de repiquage est relativement dépourvu de toute semence, de sorte que la lutte contre les adventices est un problème secondaire (Dyson, 1964). Dans d'autres régions, l'emploi d'herbicides en pépinière est intéressant, notamment pour les conifères et *Eucalyptus* spp.

Les herbicides essayés sur les conifères sont surtout des produits du groupe des triazines, et l'on a constaté des variations considérables dans leur action. Un travail sur les pins tropicaux et les eucalyptus a été effectué en Zambie et passé en revue par Thomson (1968).

Les produits chimiques utilisés dans les planches de semis d'*Eucalyptus* avant la plantation contribuent surtout à stériliser les sols, tuant les champignons, les nématodes, etc., en plus des mauvaises herbes, mais ils ne sont pas rémanents. Avec le bromure de méthyle qui est le produit le plus efficace, on a obtenu de bons résultats en Afrique du Sud. Le bromure de méthyle augmente de 15 fois la germination de *E. grandis* (Knuffel, 1967) et en Rhodésie, Barnes (1969) a constaté une augmentation de la germination et de la croissance en même temps que l'inhibition des mauvaises herbes dans le cas de *E. cloeziana*.

En outre, *Terminalia ivorensis* a été traité avec succès pour les adventices par application de simazine en Côte-d'Ivoire, et une augmentation de la germination et de la croissance de cette espèce à la suite du traitement a été constatée par Fabre et Brunck (1971). Les herbicides peuvent être employés pour une lutte sélective contre les adventices dans les planches de semis de conifères et dans les layons de transplantation. La lutte chimique s'est révélée avantageuse par rapport au désherbage manuel pour certaines espèces, mais les espèces indésirables ne paraissent pas représenter un problème grave sous certaines conditions dans les pépinières tropicales. On connaît moins bien la question pour les feuillus tropicaux. Les eucalyptus semblent cependant poser des problèmes particuliers, car les semis sont sensibles aux effets des herbicides rémanents.

Plantations

Quelques arbres forestiers tropicaux seulement, comme *Gmelina arborea*, ont une croissance si rapide lorsqu'ils sont plantés dans des conditions favorables qu'ils sont peu affectés par la concurrence des espèces indésirables. Dans la majorité des cas cependant, la lutte est nécessaire par la préparation du sol à la plantation, suivie de sarclage, de recépage ou de traitement chimique pendant plusieurs années. Les problèmes de la concurrence des espèces indésirables sont également importants, que les arbres soient plantés en sous-étage ou bien en terrain découvert, et l'on note souvent une tendance à une succession de communautés d'indésirables, des essences annuelles aux essences vivaces et éventuellement ligneuses.

La nature du site joue un rôle important. Dans quelques stations forestières d'Afrique du Sud, *Pinus radiata* n'a pas réagi à la lutte contre les espèces indésirables (Donald, 1971).

Les rapports sur les plantations font souvent état des effets bénéfiques de la lutte contre les espèces indésirables, qui peut être d'une importance particulière au stade de la préparation du terrain pour l'installation de pâturages. Par exemple, avec *Eucalyptus* spp., un labour complet s'est révélé nécessaire en Afrique du Sud (Poynton, 1965) et un labour par bande au Ghana (Ankah et Amayaw, 1971).

Après la plantation, le désherbage entre les lignes est indispensable dans les plantations forestières de la région de savanes du Nigéria (Allan, 1973b) et le besoin d'une lutte semblable est souligné pour *Pinus kesiya* en Zambie (Endean et Jones, 1972) et pour le teck en Tanzanie (Bryant, 1968). Takle et Mujumdar (1958) considèrent le premier désherbage dans les plantations de teck comme crucial pour le succès ou l'échec de leur établissement et recommandent le déracinement des espèces indésirables plutôt que le recépage ou l'arrachage. Un désherbage régulier au moins pendant cinq ans s'est révélé également important pour faciliter la régénération naturelle de *Newtonia buchananti* au Malawi (Foot, 1967a). Les coûts élevés de la lutte contre les espèces indésirables dans les plantations ont été évalués par Wang et Kuo (1971) qui soulignent que les 10 à 12 désherbages nécessaires pendant les cinq premières années de plantation à Taïwan représentent plus de la moitié des coûts de reboisement et par Baur (1967) qui montre que, dans la Nouvelle-Galles du Sud la lutte contre les adventices est dans les plantations sept fois plus chère qu'en pépinière.

Les techniques manuelles de lutte contre les mauvaises herbes sont encore largement répandues soit par sarclage, soit par recépage. Dans les zones convenables, le sol entre les lignes plantées d'arbres peut être cultivé (Allan, 1973b) ou les plantes indésirables coupées par des machines traînées par tracteur.

Ces techniques manuelles sont particulièrement importantes dans le cas du système taungya (Kadambi, 1958). Le désherbage des cultures vivrières assure de bonnes conditions de développement pour les jeunes arbres. Au terme du cycle de culture, les mauvaises herbes et les restes

des plantes cultivées (par exemple le manioc) présentent une croissance généralement rapide, mais les feuillus tropicaux à croissance rapide normalement plantés (teck, *Gmelina arborea*, *Shorea robusta*, *Terminalia ivorensis*) sont alors suffisamment développés pour qu'un léger désherbage supplémentaire soit nécessaire. Le système a ce grand avantage que le désherbage précoce crucial est fait sans frais pour les services forestiers et il est particulièrement adapté aux zones où les pratiques culturales sont relativement peu intensives.

Les techniques de lutte chimique sont de plus en plus employées. Les stations à planter peuvent être débarrassées des espèces indésirables dans les tout premiers stades de croissance grâce aux mêmes traitements du sol que ceux utilisés dans les planches de repiquage en pépinière.

Plus tard, quand les effets des herbicides utilisés ont disparu et qu'une nouvelle reprise des espèces indésirables est constatée, l'herbicide le plus couramment employé est le paraquat, qui n'est pas sélectif et qui doit être vaporisé avec soin de façon à ne pas mouiller le feuillage des arbres.

Le paraquat est efficace pour tuer la majorité des plantes annuelles, mais comme il est mal transporté, il n'a que des effets temporaires sur les espèces vivaces et autres espèces indésirables qui présentent des moyens de régénération au ras du sol ou au-dessous de ce dernier.

Une lutte efficace contre les graminées à rhizomes, *Imperata cylindrica* et *Digitaria abyssinica* (*Digitaria scalarum*), avec comme résultat une augmentation de l'accroissement des arbres, a été menée avec l'herbicide dalapon (acide 2,2-dichloropropionique) dans les plantations d'eucalyptus et de conifères en Ouganda (Ball, 1970a).

Les bambous posent de sérieux problèmes dans certaines régions, et Kadambi (1958) considère le traitement pour favoriser la régénération du teck comme une lutte constante contre ces plantes ligneuses qui doivent être souvent coupées. Une lutte chimique contre les bambous est difficile, mais de bons résultats ont été obtenus contre une espèce aux Antilles par vaporisation du dalapon, d'acide trichloroacétique ou de chlorate de soude (Kasasian, 1964).

Pour la lutte contre les espèces dicotylédones vivaces et les adventices ligneuses, on peut utiliser soit le 2,4-D, soit un mélange de 2,4-D et de 2,4,5-T (acide 2,4,5-trichlorophénoxyacétique), vaporisé de façon à ne pas toucher le feuillage des arbres. On a signalé à Trinidad (University of West Indies, 1968) des essais réussis avec ce mélange dans des plantations de *Pinus caribaea* âgées de 2 ans. Le teck cependant semble très sensible à ces produits chimiques et leur application doit être limitée à la période de dormance (Murray, 1967). Un guide pratique pour l'utilisation des herbicides contre les espèces indésirables en forêt a été rédigé par Forrest et Richardson (1965).

Plusieurs espèces indésirables très agressives se sont largement répandues après leur introduction en zone tropicale. *Lantana camara*, par exemple, est gênant dans de nombreuses forêts africaines ; cet arbuste a empêché la

régénération naturelle après l'ouverture de forêts mélangées, et cela malgré de fréquentes coupes (Ghani, 1958). Des études sur la lutte biologique ont été menées en Afrique comme dans diverses parties du monde, à la suite des résultats spectaculaires obtenus aux îles Hawaii. Les difficultés rencontrées dans ce domaine sont cependant illustrées par les expériences conduites en Afrique du Sud, où un Lépidoptère introduit, *Catabena esula*, a été très affecté par une maladie (Oosthuizen, 1964). *Eupatorium odoratum* (herbe du Siam) a le même type de croissance et constitue un sérieux problème dans les jeunes plantations de palmier à huile, particulièrement au Nigéria, mais cette plante est considérée comme moins gênante dans les plantations forestières. Au Nigéria, dans les plantations de *Gmelina arborea*, elle est vite éliminée par la croissance des arbres (Ivens, 1974).

On peut aussi envisager l'introduction d'une plante de couverture pour éliminer les mauvaises herbes. Plusieurs espèces de légumineuses ont beaucoup servi à cette fin dans des plantations d'arbres tels que le palmier à huile, l'hévéa, etc., mais on ne dispose que de peu d'informations sur les plantations d'arbres forestiers. Les espèces à croissance rapide, *Leucaena leucocephala* (*Leucaena glauca*) et *Anogeissus acuminata*, ont été semées avec le teck et Letourneux (FAO, 1957) a estimé qu'on pouvait ainsi éliminer *Imperata* et ne pas gêner la croissance des arbres s'ils sont élagués une année après la plantation. En outre, l'enrichissement du sol en azote par *L. leucocephala* a été souligné par Van Alphen de Veer (1958).

En conclusion, la lutte contre les espèces indésirables peut être nécessaire lors de la préparation du terrain pour la plantation d'arbres. Elle est en outre essentielle pendant plusieurs années après la plantation, dans la majorité des stations, pour soulager les jeunes arbres de la concurrence, pour diminuer les risques d'incendie et pour réduire les problèmes posés par les ravageurs et les maladies. Les techniques de lutte manuelles sont très répandues, mais la supériorité de la lutte chimique devient évidente et l'on dispose actuellement de plusieurs herbicides et de types d'appareils pour leur application. Les méthodes de lutte biologique ont donné des résultats prometteurs dans le cas d'un petit nombre d'espèces et l'emploi plus généralisé de plantes légumineuses de couverture dans les plantations forestières présente un intérêt certain.

• Espèces d'arbres indésirables

L'empoisonnement des arbres sans valeur commerciale est une opération courante en zone forestière tropicale. Le rôle joué par cette technique dans l'ouverture du couvert et pour faciliter une meilleure croissance des espèces souhaitables est présenté dans *Sylviculture tropicale* (FAO, 1958). Un compte-rendu détaillé de l'amélioration des conditions de régénération des plantules est donné par Philip (1968) en Ouganda. Pendant longtemps, l'arsénite de sodium était le produit le plus utilisé à cette fin soit en solution aqueuse, soit en pâte appliquée à une annélation circulaire permettant l'accès aux tissus conducteurs. Des recommandations détaillées relatives à ce

traitement sont données dans de nombreux ouvrages de sylviculture générale : celui de Catinot (1965) doit être cité à cet égard pour l'Afrique occidentale. La majorité des espèces sont tuées rapidement. Des essais concernant les espèces les plus résistantes de l'Ouest africain sont décrits par Hombert (1954). L'arsénite de sodium a cependant l'inconvénient d'être très toxique pour l'homme et les animaux, et l'on a de ce fait utilisé des herbicides régulateurs de la croissance et moins dangereux, le 2,4-D et le 2,4,5-T.

Un travail de pionnier dans ce domaine fut entrepris par Dawkins (1953) en Ouganda : en appliquant un mélange d'esters de 2,4-D et de 2,4,5-T dans de l'huile de moteur usagée, dans un anneau autour du tronc, la plupart des arbres d'espèces indésirables étaient tués sans qu'il soit nécessaire de procéder par annélation ou par griffage. Plus tard, on constata que l'huile diesel était un meilleur solvant que l'huile de moteur et que, avec certaines des espèces les plus résistantes, l'action des produits était améliorée par application sur les troncs entamés à la scie (Dawkins, 1954). Outre une toxicité plus faible, le traitement avec un mélange de 2,4-D et de 2,4,5-T a été considéré comme supérieur à celui par l'arsénite de sodium, car il faut moins de main-d'œuvre et les arbres traités mouraient plus lentement et à des vitesses différentes, ce qui permettait une ouverture progressive du couvert. Les détails des techniques utilisées pour appliquer ce traitement à grande échelle en Ouganda ont été donnés par Hughes et Lang Brown (1962).

Des essais ont été plus tard effectués dans différentes parties du monde pour comparer les mérites respectifs de l'arsénite de sodium et du 2,4,5-T (seul ou mélangé au 2,4-D) comme arboricides. Des essais en Malaisie sont décrits par Beveridge (1957) et Wong (1966), en Afrique par Letourneux (1956) et Cebren (1957), et en Amérique du Sud par Boerboom (1964) et King (1965). La lutte contre les figuiers étrangleurs (*Ficus* spp.) avec le 2,4,5-T à Sabah est décrite par Liew et Charington (1972). Malgré la supériorité indiscutable des mélanges de 2,4-D et 2,4,5-T en Ouganda, on préfère l'arsénite de sodium en raison de son prix inférieur dans de nombreux pays où l'emploi des biocides arsenicaux n'a pas encore été interdit et où les arbres plus résistants nécessitant l'annélation circulaire prédominent, comme c'est le cas au Ghana (Amediwole, 1967). En Guyane, l'action plus rapide de l'arsénite de sodium a été considérée comme un avantage (King, 1965). L'arsenic était encore considéré comme le meilleur produit chimique pour l'empoisonnement des arbres en Malaisie, en 1967, mais l'imposition de restrictions dans son usage a provoqué un intérêt accru pour d'autres produits moins toxiques.

Les innovations plus récentes comprennent l'introduction de nouveaux produits chimiques et de nouvelles techniques d'application. Le pichloram (acide 4-amino-3,5,6-trichloropicolinique, commercialisé sous le nom de Tordon; Huriaux, 1970) a, comme les 2,4-D et 2,4,5-T, une action de type hormonal. Il est plus efficace dans la mesure où il est mieux transporté et il agit sur un grand nombre de plantes ligneuses. Il est le plus souvent employé

sous la forme d'une amine soluble dans l'eau, par injection (à l'aide d'un injecteur spécialement conçu pour les arbres) ou en faisant des incisions à la hache à travers l'écorce et tout autour du tronc et en y disposant de petites quantités de solutions concentrées. La technique de l'injection a l'avantage de n'utiliser que de petites quantités de solution herbicide, de pouvoir être pratiquée plus rapidement que la vaporisation ou le brossage nécessaires avec le 2,4,5-T dans l'huile, et d'éviter le coût de l'huile comme solvant. Des sels aminés hydrosolubles de 2,4-D et 2,4,5-T peuvent être également injectés (Peevy, 1968) et certaines formules de Tordon sont en fait des mélanges de l'un de ces produits chimiques avec le pichloram.

Des composés organiques arsenicaux de faible toxicité pour les mammifères, tels que l'acide cacodylique (acide diméthylarsénique) et le MSMA (méthylarséniate monosodique), ont été mis au point et conviennent pour l'injection. Les détails des techniques recommandées avec les nouveaux produits ont été résumés par Newton (1974). Un certain nombre d'outils d'injection employés en France et aux États-Unis sont décrits par Leroy-Deval (1970) et Ivens (1970) rend compte des essais avec injecteurs faits en Afrique orientale.

On n'a pas accordé assez d'attention à l'utilisation des arbres indésirables à d'autres fins que la production de bois, plutôt que de les tuer simplement. Dans la plupart des forêts tropicales d'Afrique cependant, les espèces non commerciales peuvent servir de bois de feu ou à la confection de charbon de bois, et, en Ouganda, Earl (1969) a mis au point une technique combinant la production de combustible et le reboisement des forêts denses naturelles, qui pourrait être largement diffusée : les arbres indésirables sont transformés en charbon de bois et des espèces désirables, à croissance rapide, sont plantées sur les lieux de fabrication du charbon de bois. Le coût est beaucoup moins élevé que l'utilisation d'arboricides pour tuer les espèces indésirables.

Les produits chimiques sont utilisés dans les plantations surtout dans les travaux d'éclaircie. Dans certains cas, il peut être souhaitable de tuer des arbres infectés afin d'empêcher l'extension d'une maladie (Knutz et Nair, 1967). Les techniques utilisées sont généralement semblables à celles mises en œuvre dans les forêts naturelles. L'éclaircie dans les plantations par des produits chimiques est une opération qui a été très étudiée en Australie, où l'injection de produits à base de pichloram a été jugée particulièrement efficace contre les eucalyptus, aussi bien pour les arbres sur pied (Kimber, 1967) que pour les souches (Jack, 1968). En Afrique du Sud, des produits chimiques ont été essayés dans des plantations d'eucalyptus convertis en plantations de pins et la sensibilité de 45 espèces d'*Eucalyptus* à un mélange de pichloram et de 2,4-D a été enregistrée par Morze (1971). Un taillis indésirable de *Gmelina arborea* a été supprimé avec succès au Malawi par le traitement de la souche et de l'écorce de la base du tronc au 2,4,5-T en solution dans l'huile diesel (Foot, 1967b).

Un problème lié à l'emploi des arboricides est le danger que des arbres désirables soient endommagés par l'absorp-

tion radicale de ces produits appliqués aux arbres indésirables voisins; cela est encore plus important dans les plantations à cause de l'espacement régulier des plants. On a observé le phénomène aux États-Unis, mais Kimber (1967), travaillant sur *Eucalyptus marginata*, a trouvé qu'il y avait un transport réduit des produits chimiques des arbres traités aux arbres non traités, bien que l'anastomose des systèmes radicaux fût évidente. D'autres informations sont donc nécessaires sur les dangers des transferts d'herbicides d'une plante à une autre par les racines, mais on a jusqu'ici constaté peu de dommages résultant d'un tel phénomène.

Le défrichage des terres forestières pour la plantation d'arbres est généralement fait par abattage ou déboisement mécanique, suivi de l'écobuage. Lorsqu'il n'y a pas d'inconvénient à conserver des arbres morts, sur pied, on peut alors simplement éliminer le sous-bois, les arbres les plus gros étant tués par des arboricides. Au Ghana, par exemple, l'application à la base du tronc, sur l'écorce, d'un ester de 2,4,5-T en solution dans l'huile diesel s'est révélée une méthode de défrichage nettement moins chère que l'abattage et le brûlis (Liefsting, 1965).

Les avantages relatifs des divers systèmes de défrichage dans des régions de pluviosité différente ont été considérés par Stuart Smith (1967) qui conclut que les arboricides, bien qu'ils soient actuellement employés sur une échelle restreinte, devraient l'être davantage à mesure que les techniques s'améliorent et que le coût de la main-d'œuvre augmente. Les améliorations techniques devraient comprendre les techniques les plus récentes d'introduction des arboricides par injection, qui devront cependant être testées dans les conditions tropicales.

Stuart Smith attire aussi l'attention sur le fait que les espèces indésirables ont plus d'importance lorsqu'il s'agit d'établir des plantations dans les savanes et les prairies que dans les zones forestières. Il y a par conséquent une plus grande nécessité de travailler le sol pendant le défrichage du terrain, en particulier pour lutter contre les graminées à rhizomes, qui sont très compétitives. Un compte rendu des essais avec différents types de matériel de défrichage et de travail du sol dans les savanes du nord du Nigéria a été fait par Allan (1973a).

En conclusion, les problèmes techniques concernant l'élimination des espèces indésirables sont analogues dans les forêts naturelles et dans les opérations d'éclaircie conduites dans les plantations. L'empoisonnement des arbres implique un choix entre l'emploi de l'arsénite de sodium, peu coûteux mais très toxique, et celui de produits chimiques plus nouveaux et plus chers tels que le 2,4,5-T, le pichloram, etc., qui sont beaucoup moins toxiques. Les opinions sur l'efficacité comparée des deux types de composés chimiques varient, comme varient les évaluations des risques liés à leur emploi respectif. L'empoisonnement des arbres à l'arsénite de sodium est cependant en régression en raison des restrictions imposées à la vente de ce produit et par suite de la mise au point de techniques moins coûteuses et plus efficaces d'emploi de produits chimiques plus récents. Les mêmes herbicides peuvent être utilisés lorsque

le terrain est défriché pour être planté ultérieurement et, bien que les méthodes manuelles ou mécaniques soient encore les plus répandues, les moyens chimiques sont de plus en plus acceptés à mesure qu'augmente le coût de la main-d'œuvre.

Espèces parasites

Les arbres des forêts tropicales sont souvent parasités par des plantes appartenant surtout à la famille des Loranthacées, qui poussent sur le tronc et les branches et causent des dommages d'importance variable.

Des injections de 2,4-D ou du 2,4-DB dans la tige de l'hôte, l'emploi de paraquat ou de diquat se sont révélés favorables en divers endroits.

Entretien des pare-feu

La végétation combustible sur les pare-feu peut être considérée comme une végétation indésirable, les essences désirables étant alors celles qui sont pyrotolérantes. Après le défrichage des pare-feu, l'entretien consiste à empêcher la croissance des plantes qui ultérieurement deviendraient inflammables, notamment les graminées, et cet entretien est normalement réalisé par un travail du sol périodique ou par des coupes. On peut aussi employer des herbicides.

Des produits chimiques rémanents, non sélectifs peuvent être appliqués au sol de façon à empêcher la croissance de toutes les plantes pour une longue période. De nombreux produits efficaces ont été commercialisés pour éliminer les plantes le long des voies ferrées, dans les zones industrielles, etc., dans des conditions mésologiques variées. L'un de ces produits est le bromacil (5-bromo-6-méthyl-3 (1-méthyl-n-propyl) uracile) qui est actif contre un grand nombre d'espèces pour une durée de l'ordre de 12 mois; lorsqu'il est mélangé avec du paraquat, du 2,4-D, du dalapon ou l'amitrole (3-amino-1,2,4-triazole), il permet d'éliminer la végétation herbacée existante, puis de maintenir le sol nu. Là où une destruction totale de la végétation n'est pas nécessaire, il suffit d'utiliser un herbicide comme le dalapon.

Une autre technique qui a donné de bons résultats consiste à vaporiser le paraquat avant que les feuilles ne meurent naturellement et à brûler la zone du pare-feu alors que la végétation environnante non encore traitée est encore trop verte pour brûler (Connell et Cousins, 1969). De grandes surfaces de pare-feux peuvent être traitées par pulvérisation d'herbicides par voie aérienne en très peu de temps. Le brûlis précoce est une technique qui a été employée avec succès en Ouganda (Ball, 1970b), où son coût est moins élevé que le sarclage et presque aussi élevé que le recépage (qui est moins efficace). Pour de larges pare-feux, le coût de l'opération par des produits chimiques peut être réduit par pulvérisation et un brûlis précoce de bandes le long des bordures, et en utilisant ces bandes comme des pare-feux auxiliaires pour mettre à feu la zone principale du pare-feu quand l'herbe se dessèche naturellement.

Conséquences des travaux forestiers sur l'environnement

L'Afrique peut bénéficier des connaissances qui se développent à ce sujet de par le monde. Aussi trouvera-t-on ici des exemples qui dépassent son cadre.

Biocides

La majorité des produits chimiques utilisés dans la lutte contre les espèces indésirables sont relativement peu toxiques pour des mammifères. La méthode la plus répandue pour exprimer la toxicité des biocides consiste à déterminer la dose administrée par voie orale et causant la mort de 50 % des groupes d'animaux de laboratoire (dose létale par voie orale ou DL 50). Ces doses sont les suivantes pour les principaux herbicides :

| Composé | DL 50 (mg/kg poids vif) |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Dalapon (acide 2,2-dichloropropionique) | 7 600-9 300 |
| Pichloram (acide 4-amino-3,5,6-trichloropicolinique) | 8 200 |
| Bromacil (5-bromo-6-méthyl-3-(1-méthyl-n-propyl)uracile) | 5 200 |
| Simazine (2-chloro-4,6-biséthylamino-1,3,5-triazine) | 5 000 |
| TCA (trichloroacétate de sodium) | 3 200-5 000 |
| Atrazine (2-chloro-4-éthylamino-6-isopropyl-amino-1,3,5-triazine) | 3 100 |
| MSMA (méthylarséniate de sodium) | 700 |
| 2,4-D (acide 2,4-dichlorophénoxyacétique) | 375- 666 |
| 2,4,5-T (acide 2,4,5-trichlorophénoxyacétique) | 500 |
| Diquat (9,10-dihydro-8a,10a-diazoniaphénanthrène) | 400 |
| Paraquat (1.1'-diméthyl-4,4'-bipyridilium) | 150 |
| Arsénite de sodium | 10 |

Comme ces résultats ont été obtenus à partir d'expériences sur les rats et les souris, ils ne peuvent donner qu'une idée approximative des risques de toxicité pour les êtres humains pouvant résulter d'un autre mode d'ingestion que la voie orale. Par exemple, le TCA est irritant pour la peau et il faut donc éviter tout contact avec ce produit. Le paraquat a une toxicité pour l'homme supérieure à celle indiquée dans la liste ci-dessus et de petites doses peuvent être fatales. Le 2,4,5-T doit faire l'objet d'une attention particulière car une impureté, la dioxine (2,3,6,7-tétrachlorodibenzo-paradioxine), est très toxique et peut même avoir des effets tératogènes. L'emploi du 2,4,5-T dans les opérations de défoliation au Viet Nam a été largement commenté et les modalités de ses effets ont fait l'objet d'une publication par l'Académie nationale des sciences des États-Unis (1974). Depuis la découverte de la haute toxicité de la dioxine, les dangers de l'emploi du 2,4,5-T ont été sérieusement réduits par la limitation de la teneur en dioxine, à un niveau inférieur à 0,01 ppm. A l'occasion d'un colloque sur les utilisations forestières du 2,4,5-T en Europe, on a conclu que les règlements

de sécurité existant en 1971 étaient satisfaisants (Maier-Bode, 1971). Aux États-Unis, les risques du 2,4,5-T en milieu forestier ont été évalués par Montgomery et Norris (1970) qui ont conclu que ces risques étaient faibles quand le produit chimique était utilisé conformément aux techniques éprouvées. Norris (1971) a réexaminé par la suite les dangers des substances utilisées dans la lutte contre les plantes ligneuses et a estimé qu'aucune n'était susceptible de provoquer des affections aiguës ou chroniques aux organismes non visés (dont les mammifères, les oiseaux et les micro-organismes), si elles étaient convenablement employées.

En prenant les précautions nécessaires, il semble qu'il y ait peu de dangers dans l'emploi des herbicides pour l'homme et les animaux, bien que des précautions spéciales soient indispensables dans le cas de certains composés tels que l'arsénite de sodium et le paraquat. Des mesures de protection sont également nécessaires pour éviter des conséquences néfastes sur les plantes; les cultures peuvent être en effet endommagées par le transfert des produits vaporisés sur les espèces indésirables par les courants aériens; le cotonnier, par exemple, est particulièrement sensible à de faibles quantités de 2,4-D, 2,4,5-T et de pichloram. On doit donc prendre des précautions supplémentaires en appliquant de tels produits au voisinage de cultures sensibles, en particulier lorsqu'on procède à des vaporisations ou des pulvérisations.

Les résidus d'herbicides rémanents peuvent être aussi dangereux pour les plantules d'arbres, les légumineuses fourragères, etc., et l'introduction du pichloram relativement rémanent et mobile a soulevé quelques inquiétudes à propos de la contamination possible de l'eau. Bachelard et Johnson (1969) ont étudié l'influence des résidus du 2,4,5-T et du pichloram sur la croissance des plantules de *Pinus radiata* en Australie; ils ont constaté que les effets du 2,4,5-T n'étaient plus manifestes deux mois après son application au sol, alors qu'avec le pichloram la survie des plantules de pin était réduite jusqu'au sixième mois. Les aspects concernant la pollution de l'eau ont fait l'objet de recherches, aux États-Unis, notamment par Davis *et al.* (1968) qui ont traité au pichloram, à haute dose, un bassin versant et ont pu déceler des résidus dans les eaux d'écoulement pendant seize mois. Cependant Patric (1971), dans le cas des forêts américaines, n'a pu mettre en évidence que l'emploi convenable des herbicides ait pu rendre impropre l'eau d'écoulement des bassins versants et cet auteur a fait des recommandations visant à réduire la pollution éventuelle des eaux. Des expériences ont été également conduites dans les forêts de Diptérocarpacées de Sabah à l'occasion d'opérations de régénération faites à l'aide d'herbicides et plus précisément d'arsénite de sodium. On étudie actuellement l'influence de ces interventions sur les sols et les microclimats, sur la composition floristique de la forêt et le développement des lianes, sur le passage de la forêt secondaire à la forêt climacique et enfin sur la faune. Les premiers résultats indiquent que la destruction du sous-bois par l'arsénite entraîne la dégradation du sol et une forte mortalité des semis de Diptérocarpacées, que la disparition des espèces indésirables n'est pas nécessairement assurée en raison de la dormance

de leurs graines et de l'accroissement de la lumière disponible pour la germination, que l'évolution n'est pas accélérée vers la forêt climacique.

Par ailleurs, les résultats de certains arboricides comme le pichloram, le 2,4-D et le 2,4,5-T, ont pu être observés à grande échelle (21 336 km²) au Viet Nam. Ce sont les plantations et les mangroves qui ont le plus souffert. Dans la région de Gia-Dinh, les palétuviers (*Rhizophora*), qui occupaient 51 % de la superficie de la mangrove, n'en occupent plus que 15 %. Par ailleurs, la mangrove, où le paludisme avait disparu, est maintenant infestée par *Plasmodium vivax* et *Plasmodium falciparum* et les populations de rats se sont multipliées; la régénération est très lente et la période de reconstitution est estimée à plus d'un siècle (National Academy of Sciences, 1974). En forêt naturelle, les phénomènes sont différents : l'ouverture des strates supérieures par la défoliation rend la forêt sensible aux feux qui empêchent la régénération, détruisent les semis et favorisent l'extension des bambous. Des plantations de teck ont été particulièrement affectées par les défoliants.

Les risques d'une toxicité directe pour l'homme des herbicides sont donc faibles, en dehors du cas de l'arsénite de sodium (dont la nature toxique est bien comprise) et du paraquat (dont l'ingestion par voie orale sous forme concentrée a causé la mort). Des concentrations dangereuses de dioxine, soupçonnée d'être tératogène, ont été trouvées dans certaines livraisons de 2,4,5-T, mais les teneurs désormais permises sont extrêmement faibles et les règlements de sécurité relatifs à l'emploi du 2,4,5-T en Europe et aux États-Unis sont considérés comme satisfaisants. Les risques pour les organismes non visés sont considérés comme faibles dans les régions tempérées, sauf dans le cas des cultures susceptibles d'être endommagées par le déplacement des produits pulvérisés. Peu d'expériences de cette nature ont été faites dans les écosystèmes tropicaux, mais aussi longtemps que des doses et des méthodes d'application analogues seront employées, les risques encourus ne devraient pas être plus grands. Le pichloram est plus rémanent que les autres herbicides considérés et des résidus en ont été décelés dans les eaux d'écoulement longtemps après son application à haute dose dans un bassin versant.

Enfin il convient d'évoquer l'effet des pesticides qui pourraient être utilisés dans la lutte contre la trypanosomiase animale en Afrique puisqu'un programme à long terme a été recommandé à la FAO par la Conférence mondiale de l'alimentation, réunie à Rome en 1974. Si la maladie apparaît plus fréquemment dans les savanes qui ont remplacé les forêts humides ou dans les forêts dégradées par l'agriculture itinérante, cela ne signifie pas que la maladie n'apparaît jamais dans la forêt tropicale humide (FAO, 1974; voir aussi le chapitre 17). L'ouverture de la forêt pour l'exploitation forestière ou pour l'établissement de plantations et de pâturages pourrait favoriser les contacts entre la mouche tsé-tsé vivant en forêt et l'homme et le bétail ou conduire à la colonisation de ces surfaces par des espèces de savane. Il est difficile de prévoir dans quelle mesure les insecticides seront utilisés en forêt pour lutter contre la mouche tsé-tsé. On peut penser que les effets non désirables observés dans la campagne anti-tsé-tsé dans

les savanes seront les mêmes, c'est-à-dire essentiellement la destruction des insectes non visés et des petits mammifères, des oiseaux et des reptiles. Cela devrait permettre la mise au point de méthodes pour évaluer les effets en forêt. Les recherches sur les effets des pesticides pourraient porter sur l'importance des espèces parasites et leur abondance relative, sur les altérations possibles du métabolisme, de la reproduction, du comportement, etc., des organismes visés ou non visés; sur la rémanence, la dégradation et l'accumulation des pesticides dans les différentes composantes de l'environnement. Des techniques existent pour ces recherches et il convient de les mettre en œuvre pour disposer des données nécessaires avant l'emploi des pesticides.

Exploitation et routes forestières

Dans certaines régions, notamment sur les pentes, on a constaté des phénomènes d'érosion à la suite des travaux d'exploitation forestière et de la construction de routes. Cette question a retenu l'attention du Comité de la mise en valeur des forêts dans les tropiques de la FAO qui, lors de sa troisième session (1974), a constaté que l'emploi sans précautions de la mécanisation et des nouveaux équipements lourds ainsi que la construction des routes forestières en terrain escarpé pouvaient causer des dommages à l'environnement et particulièrement à la stabilité des sols.

En plus de l'action de dénudation du sol (jusqu'à 60 % enlevés dans certaines parties de la Tawau Hills Forest Reserve, Sabah), il est reconnu que des dommages importants résultant de l'exploitation et du transport sont causés aux arbres restant en place. On continue de discuter pour savoir quelle est la proportion du houppier qui peut être enlevée ou d'écorce qui peut être arrachée, pour que l'arbre devienne inutilisable lors d'un prochain passage; c'est là un thème de recherche à long terme; les mesures prises pour protéger les arbres restant en place sont raisonnables, mais elles ne peuvent pas être appliquées au Sabah en raison du manque de personnel. Étant donné que la régénération naturelle d'essences désirables est abondante au Sabah, la mesure la plus logique serait actuellement d'abaisser la limite d'abattage, mais elle doit être cependant assez élevée pour permettre que la dispersion de graines fertiles d'espèces désirables puisse atteindre toutes les parties de la forêt. Le rendement moyen serait ainsi considérablement augmenté, alors que la demande en grumes de petites dimensions existe, et l'on pourrait alors moins pratiquer l'empoisonnement pour ouvrir le couvert; on ne réduirait pas cependant les dégâts causés au sol. Ceux-ci ont été étudiés à Sarawak et au Sabah. L'urgence des mesures nécessaires pour lutter contre ces dommages et qui sont quelquefois appliquées en Amérique du Nord est évidente dans le cas des forêts tropicales humides. Cette application relève d'une décision politique, par exemple l'inclusion des mesures nécessaires dans les contrats à long terme ou les concessions forestières.

Aux Philippines, on a constaté que la construction des routes forestières après la saison des pluies provoquait des pertes en sol lors de l'ouverture de la forme. Les

dépôts mis sur les bas-côtés ou laissés comme remblais s'érodent à la saison des pluies suivante. L'érosion est particulièrement grave pour les routes à forte pente et dont la surface n'a pas été traitée. Pour les routes temporaires, des tranchées d'évacuation des eaux doivent être établies à certains intervalles pour éviter une érosion profonde. A Sri Lanka, en zone tropicale humide, l'exploitation par jardinage tous les vingt ans est faite à la hache ou à la scie à chaîne et le débardage est effectué par tracteur. La question s'est posée de savoir si, dans les terrains ondulés, le débardage par éléphants ne serait pas plus économique et moins nuisible au milieu que le débardage par tracteur. L'inconvénient du drainage des grumes au sol a conduit à considérer d'autres modes de débardage notamment par hélicoptère ou par câble. Dans la plupart des cas, sauf pour quelques grumes de grande valeur, le débardage par hélicoptère est à exclure; on peut faire appel dans les terrains escarpés sensibles à l'érosion au débardage par câble. Pour ce type de débardage, il faut surtout tenir compte du coût du matériel et des qualifications techniques pour la main-d'œuvre.

Les mesures visant à réduire les dégâts causés aux sols comprennent :

- L'interdiction de toutes les opérations d'abattage sur les fortes pentes, la pente limite étant fonction du type de sol et de l'abondance de la régénération naturelle;
- La mise en place de buses bien adaptées à la base de chaque digue ou butte de terre;
- L'interdiction d'employer des troncs creux comme buses sur les routes principales;
- La limitation de la longueur maximale du débardage;
- L'obligation d'une densité routière minimale, avec des normes de construction et d'entretien des routes;
- La formation pour améliorer l'emploi des tracteurs et pour faire un usage plus grand des treuils;
- L'obligation d'équiper tous les tracteurs de débardage avec des arches intégrales;
- L'utilisation de tracteurs équipés de préférence avec des pneumatiques;
- La destruction des buttes de terre après exploitation, pour rétablir l'écoulement naturel des eaux.

Des solutions techniques sont maintenant disponibles et devraient pouvoir être transférées et appliquées aux forêts tropicales humides. La technologie nord-américaine, par exemple, n'est pas exempte d'inconvénients pour l'environnement (notamment en ce qui concerne l'érosion) et exige généralement des investissements importants de capitaux. Par ailleurs, le matériel européen plus léger ne convient pas en raison de la dimension et du poids des arbres et des grumes. Il reste donc beaucoup à faire pour adapter les techniques. Les problèmes ne se posent pas de la même façon dans toutes les régions. En Asie, notamment à Sri Lanka, en Indonésie, aux Philippines et en Thaïlande, où de vastes concessions sont en cours et où les sols sont plus sensibles à l'érosion qu'en Afrique ou en Amérique latine, l'organisation des travaux forestiers doit se faire dans le cadre de l'aménagement des bassins versants, en laissant en réserve les parties sensibles et en adaptant les dispositifs

appropriés à celles qui peuvent supporter l'exploitation forestière.

En plus des conséquences directes de la construction des routes forestières, l'impact général sur l'environnement du développement d'un réseau de communications doit être souligné. L'amélioration de ce réseau est indispensable à une mise en valeur réussie de l'agriculture, de l'industrie, du tourisme et de la forêt. La plupart des forêts tropicales manquent de routes et d'autres moyens de transport. Les États et les organisations internationales d'assistance ont accordé une attention particulière à la construction de routes dans ces régions; parmi les meilleurs exemples, on peut citer la Carretera Marginal, en construction à l'est des Andes, de la Bolivie au Venezuela, et la route transamazonienne, construite à travers le bassin de l'Amazone. En 1960, l'achèvement de la grande route de 2 000 km Belém-Brasília a souligné l'importance pour le Brésil d'utiliser les routes pour faciliter la colonisation de l'intérieur du pays. Le Brésil consacre d'ailleurs de gros efforts à la construction d'un vaste réseau routier qui découpera tout le bassin de l'Amazone et qui modifiera profondément ce qui est encore le plus grand massif forestier tropical du monde. Si l'on ne veut pas que les ressources naturelles considérables de cette région soient décimées, un effort sans précédent pour étudier l'écologie de la région doit être entrepris, et des schémas d'utilisation optimale des ressources mis au point, avant que de rapides changements de l'environnement n'éliminent les choix encore possibles.

Les recherches sur les conséquences des grands réseaux de communications récents sont encore rares. Une étude a été faite par McNeal (*in* Farvar et Milton, 1972) qui décrit deux projets de colonisation rail-route associés en Amazonie brésilienne. Les deux projets ont eu pour conséquence l'élimination de la forêt, la dégradation du sol, la baisse des rendements dans les exploitations agricoles des colons et la formation éventuelle d'une végétation buissonneuse. Dans les zones où les sols sont meilleurs, le remplacement de la forêt par une agriculture stable est possible. Cependant, dans la plupart des cas, les nouveaux réseaux de transport en zone tropicale se sont accompagnés d'une colonisation spontanée et non planifiée, de la destruction de la forêt, d'une érosion et d'un ruissellement accéléré, d'une dégradation de la structure des sols et d'une diminution de leur fertilité, et de la perte des produits de la forêt et de la faune.

Il est important que les conséquences d'ordre écologique des projets de construction de routes soient soigneusement étudiées avant d'entreprendre d'autres opérations (de préférence au stade des études de factibilité). Jusqu'ici, il n'existe guère de tentatives d'insertion d'études de nature écologique sur les conséquences du développement des réseaux routiers en zone forestière tropicale.

Lacs artificiels

Si l'on a souvent étudié l'influence sur le milieu des lacs artificiels ou des réseaux d'irrigation dans les zones tropicales, notamment en épidémiologie (voir chapitre 17), leur influence sur la forêt a été moins bien étudiée. Cette

question peut toutefois devenir importante étant donné les besoins d'énergie et les perspectives de construction de barrages plus nombreux (III^e Congrès international sur les lacs artificiels, États-Unis, 1971).

Une étude a été publiée en 1969 par le PNUD et la FAO sur les problèmes de la planification et du développement des lacs artificiels; elle prévoit notamment l'étude des vecteurs de différentes maladies, l'influence sur la faune sauvage, les établissements humains, etc. La gestion des forêts (dans la mesure où elle a une influence sur l'érosion, la sédimentation et les réserves en eaux souterraines) est quelquefois envisagée, mais l'influence du plan d'eau lui-même sur la forêt est rarement évoquée. Une étude faite récemment par Leentvaar (1974) sur un lac artificiel créé au Suriname contient des observations intéressantes : la stagnation de l'eau a eu rapidement pour conséquence un développement vigoureux des jacinthes d'eau qui recouvrirent 41 200 ha deux ans après la construction du barrage; cette plante fut éliminée par épandage de 2,4-D; on constate une évolution du lac vers l'oligotrophie, à cause de l'absence de pollution, de l'évacuation continue de l'eau et de son remplacement par des rivières oligotrophes; l'action du vent dans la région du lac a augmenté.

Dans les projets de développement des bassins fluviaux et des plans d'eau, il est essentiel d'inclure des recherches et des enquêtes sur le rôle des forêts à tous les niveaux de la planification et de l'exécution. Une protection satisfaisante de la végétation naturelle des bassins versants où l'on doit construire le lac est capitale pour prévenir l'érosion, l'envasement du réservoir et les inondations, qui concourent tous à la réduction de la durée de vie économique du barrage (Milton, 1975). Une autre lacune concerne les études et enquêtes d'ordre biologique et écologique en vue de pouvoir déterminer la valeur scientifique, éducative et touristique des stations recouvertes par les plans d'eau et des bassins versants, si on les vouait à des réserves naturelles ou des parcs nationaux. De telles études sont importantes pour connaître avec exactitude les coûts et profits de tout projet de mise en valeur. Elles sont non moins importantes pour la formulation d'autres options rationnelles et écologiquement valables pour la mise en valeur des bassins fluviaux.

Effluents des industries de pâte et de papier

Comme les plantations offrent des ressources importantes de bois à pâte et que les perspectives de traiter des feuillus mélangés pour la pâte sont bonnes (voir chapitre 21), il convient de rappeler les dangers pour l'environnement des usines de pâte et de papier. Sous l'égide du Comité consultatif des pâtes et papiers de la FAO, des experts ont procédé à des études sur le traitement des effluents, sur les aspects économiques de la lutte contre la pollution et enfin sur les perspectives de la protection de l'environnement. Des documents soumis à cette réunion, il faut retenir que le coût de la lutte contre la pollution dépend essentiellement du degré de purification désiré, des techniques employées, de la dimension des installations et enfin de la capacité du milieu ambiant à absorber les nuisances. Lors de sa

dernière session (mai 1974), ce comité a constaté que les augmentations de capacité de production prévues pour faire face aux besoins croissants étaient insuffisantes en raison de l'augmentation du coût de certains facteurs de production et notamment du prix élevé de la purification requise par les gouvernements. Les règlements concernant les effets sur l'environnement des industries de pâte et de papier sont fondés sur différents principes allant de la détermination, dans chaque cas, de la capacité d'absorption du milieu ambiant à des normes uniformes ou à des taxes qui sont fonction de la quantité de polluant émis.

Industries, mines et établissements humains

L'impact des industries et des établissements humains sur les terres forestières est à la fois direct, s'il s'agit des opérations de défrichement pour fournir l'espace nécessaire pour les nouveaux villages, villes et cités, et indirect, s'il s'agit des besoins croissants en denrées alimentaires, en bois, en énergie et en d'autres ressources. Un besoin parallèle est celui de bois de feu et de charbon de bois pour le chauffage et la cuisson des aliments, qui est très important dans de nombreux pays tropicaux et subtropicaux.

L'impact des activités minières est confiné aux zones riches en minerais et en combustibles fossiles telles que les zones pétrolifères de l'est de la Colombie et de l'Équateur, les gisements de cuivre des Andes et de l'Afrique centrale, les mines d'argent du centre du Mexique, les gisements de fer du Brésil et de bauxite des Guyanes. Dans certains cas, comme dans celui des mines d'argent, les effets sur la forêt concernent des surfaces bien plus grandes que celles affectées directement par l'exploitation minière proprement dite; les forêts ont en effet souvent été dévastées sur de grandes superficies pour fournir le bois de mine et le charbon de bois nécessaire à la réduction des minerais.

Bien qu'il existe quelques recherches sur les conséquences des activités industrielles et minières et des établissements humains sur les forêts tropicales et subtropicales, un programme mondial, bien intégré, de recherches est nécessaire pour examiner toutes les conséquences d'ordre écologique et les besoins concernant ces ressources. Les recherches dans ce domaine devraient surtout concerner l'évolution des besoins consécutifs à une urbanisation rapide et les conséquences prévisibles sur l'offre locale. Le rôle des plantations forestières à forte productivité qui pourraient satisfaire les besoins croissants en bois et en combustible et à alléger la pression exercée sur les forêts naturelles marginales mérite aussi d'être étudié.

De même, des recherches internationales sont nécessaires pour connaître les surfaces forestières directement menacées par l'extension des établissements humains, les activités industrielles et minières. Des études doivent être faites pour déterminer parmi ces forêts celles qui sont capitales pour les activités récréatives, la recherche, la conservation des ressources génétiques, la protection des bassins versants, ou constituent des écosystèmes particulièrement fragiles. Les renseignements fournis par ces recherches sont en effet cruciaux pour décider des stations forestières à protéger dans les régions de forte croissance

démographique, et il est indispensable de proposer aux planificateurs d'autres modes ou types de croissance à un stade suffisamment précoce pour pouvoir être pris en considération.

Les recherches nécessaires et les priorités

Limites biologiques de la transformation des écosystèmes forestiers tropicaux

La priorité pourrait être donnée aux recherches :

- Sur les paramètres atmosphériques et sur leur influence sur la manipulation du couvert végétal;
- Sur la variabilité génétique des espèces et sur sa quantification;
- Sur la concurrence ou les relations interspécifiques et sur le rôle des télémediateurs chimiques;
- Sur l'analyse de systèmes et l'emploi de modèles pour suivre l'effet des manipulations proposées. Il convient toutefois de souligner qu'étant donné la complexité des écosystèmes forestiers tropicaux, une telle entreprise n'est pas simple et ne doit pas masquer les incertitudes. S'il faut en effet tenir compte de la plupart des facteurs connus, il faut alors passer en revue toutes les solutions possibles pour dégager la meilleure; on se heurte rapidement à ce que Dumas (communication personnelle) a appelé « le mur du combinatoire ». En fait on est rapidement limité dans le nombre des hypothèses à prendre en considération si l'on veut rester dans des limites raisonnables du temps de calcul de l'ordinateur, et l'incertitude persiste.

Les divers types d'utilisation

Les problèmes sont les suivants :

- Impact des différents systèmes sylvicoles sur la structure du sol, la rétention des éléments nutritifs, le ruissellement, le microclimat et les possibilités ultérieures d'utilisation des terres;
- Relations entre la mise en valeur intensive des ressources et l'incidence des maladies, des ravageurs et des autres parasites;
- Conséquences à long terme des divers types d'utilisation agricole et forestière, en particulier la coupe rase ou partielle, l'agriculture itinérante et la conversion en plantations d'arbres exotiques;
- Amélioration des essences par sélection et croisement; introduction et évaluation d'espèces améliorées; physiologie de la reproduction et des graines;
- Mise au point et adaptation de techniques efficaces d'abatage et de transport répondant aux besoins particuliers des forêts tropicales et de la main-d'œuvre locale;
- Restauration et régénération des sols forestiers endommagés par l'exploitation et les autres activités de mise en valeur;
- Rapports entre la productivité biologique, la variété des rendements et les différents types d'aménagement intensif et d'investissement;

Mise au point de modèles prévisionnels pour les principaux types d'utilisation de la forêt et d'agencement des terres.

Sylviculture

Il convient de rappeler le protocole déjà mentionné pour associer opérations d'abatage et enrichissement, car il a le mérite d'effectuer des recherches dans le cadre d'opérations de terrain.

Les études doivent porter d'abord sur la façon dont l'homme peut influencer la remontée biologique. Si celle-ci peut être accélérée, par exemple, par l'introduction d'organismes clés dans la série, par l'addition d'éléments nutritifs, ou par toute autre opération, il serait possible de réduire les conséquences négatives des modifications de l'habitat et de restaurer les paysages qui ont subi des contraintes excessives. De telles études doivent être intégrées à d'autres sur la stimulation de la régénération naturelle, sur les dégâts d'exploitation, sur les échantillonnages d'aménagement et les niveaux de matériel et sur pied, les systèmes d'abatage monocycliques ou polycycliques, la multiplication végétative, etc.

Des études doivent porter sur la germination et sur les besoins en lumière de ce processus ainsi que sur la croissance précoce des espèces les plus importantes, aussi bien désirables qu'indésirables; sur le matériel sur pied optimal pour une croissance maximale des différentes espèces à différents stades de développement; sur les facteurs influant sur la production maximale; sur l'établissement d'arboretums et de parcelles d'essais pour déterminer les espèces ayant les plus grandes possibilités pour les plantations.

Il faut également souligner l'importance des recherches sur la propagation végétative qui permettraient de développer le traitement en taillis ou même en taillis sous futaie. Il en a été question à propos du système taungya mais il faut insister sur l'importance des études fondamentales sur les méristèmes apicaux.

Il semble que dans le domaine de la sylviculture il y ait une duplication excessive des recherches; mais la manipulation du peuplement devant être conforme aux principes écologiques, il importe de tenir compte des conditions particulières des stations, ce qui justifie cette répétition. On pourrait toutefois au niveau régional développer les mécanismes de coopération et d'échange d'information entre les zones écologiquement voisines.

Plantations

Destruction de la forêt

Toute recherche visant à une utilisation plus complète de la forêt aura des retombées sur les plantations de conversion: commercialisation d'un plus grand nombre d'essences; utilisation du bois pour la production d'énergie, de bois de trituration et de pâte à papier.

Identification de types de forêts en fonction des difficultés d'élimination. Répartition du matériel forestier par catégories de diamètre; possibilités d'utilisation de photographies aériennes; étude plus poussée des

coûts d'élimination en fonction des structures; corrélations structure/coût; essais de destruction très longs à l'avance; évolution.

Recherches sur l'écologie, la biologie et la physiologie des principales espèces, par exemple :

- Recherche des meilleures espèces;
- Recherches de base sur le tempérament des essences utilisées (en particulier comportement vis-à-vis de l'éclaircissement, de certains types de sol, du recru, de la concurrence);
- Rythmes naturels de croissance et de reproduction sexuée; aptitude à la multiplication végétative (greffage, bouturage).

Amélioration génétique

Il s'agit de produire un matériel de plantation aux hautes performances, se dégageant rapidement de la concurrence, dont l'homogénéité facilite l'utilisation et l'entretien. En même temps, il s'agit d'assurer une source certaine, locale et concentrée de ce matériel végétal. Par exemple :

- Recherche, récolte, conservation de provenances;
- Études comparatives de provenances, sélection sur la rapidité de croissance, la qualité, la résistance aux ravageurs;
- Sélection individuelle, tests de descendance;
- Sélection, conservation, isolement de clones;
- Isolement et multiplication d'hybrides, exploitation de l'hétérosis;
- Vergers.

Recherches sylvicoles

- Étude des meilleurs types de plants (pourcentage de reprise, rapidité de reprise, résistance à la concurrence);
- Poursuite de l'observation de diverses superficies traitées en conversion; mise au point d'autres techniques; recherche de sites particulièrement favorables;
- Études sur la densité de mise en place (nombre, écartement), en fonction des risques que présentent les chutes de bois mort et, éventuellement, sur les règles d'éclaircie;
- Intérêt économique de la fertilisation;
- Évolution des recrûs forestiers, sur divers types de destruction de forêt et en fonction du type et de la structure de la forêt préexistante; répercussion sur les difficultés d'entretien;
- Possibilité d'établir des peuplements à partir de boutures.

Recherches sur les ravageurs et les maladies

- Importance relative des attaques en plantations de conversion (par rapport aux autres types de plantation);
- Création de peuplements mélangés en liaison avec l'intensité des attaques des insectes perceurs de bourgeons.

Recherches d'ordre économique

- Coûts pour chacune des phases de la conversion; possibilités de réduction;

- Éléments du coût d'une campagne de plantation dans divers cas;
- Rentabilité intégrant tous les facteurs.

Aménagement de la faune sauvage

Il est urgent d'effectuer des recherches sur l'évolution des populations animales dans les écosystèmes forestiers tropicaux, et en particulier sur les gros mammifères qui représentent des ressources alimentaires précieuses et contribuent au développement des zones touristiques. Un programme de prélèvement de ressources animales n'a des chances d'être couronné de succès que s'il est fondé sur une connaissance satisfaisante des charges utiles des divers milieux, des densités et des structures des populations des espèces concernées ainsi que de leur modification par : a) l'exploitation en vue de la production de bois; b) l'aménagement en vue de la production d'animaux sauvages; c) les changements du couvert forestier; d) les plantations; e) l'agriculture itinérante; f) les introductions d'essences forestières et d'animaux exotiques; g) l'emploi des biocides.

Systèmes agri-sylvicoles

Le Comité de la mise en valeur des forêts dans les tropiques de la FAO, devant l'impossibilité de procéder à une étude exhaustive en raison des moyens limités, a encouragé les études de cas, dans le cadre des projets de terrain (FAO/PNUD), notamment en Guinée et au Togo, en Afrique. Cette méthode avait l'avantage d'étudier le problème dans le cadre réel d'opérations de terrain. L'agriculture itinérante ne peut en effet faire l'objet de recherches sans tenir compte d'un cadre économique-social donné, d'objectifs et de moyens bien définis.

Les recherches continuent non seulement pour rationaliser l'agriculture itinérante ou pour maintenir les terres des tropiques humides partiellement sous forêts en pratiquant des cultures d'arbres ou, quand l'élevage est possible, en les transformant en prairies artificielles, mais aussi pour établir une agriculture sédentaire. Indépendamment des études agroclimatologiques (notamment pour le développement de la culture du riz dans le Sud-Est asiatique) qui permettraient d'orienter le choix des variétés et des modes de culture, d'autres études sont en cours et les possibilités de cultures dans les basses terres tropicales humides ont été résumées par Greenland (1975) : « Les systèmes agricoles possibles pour les petits exploitants que ces travaux suggèrent comprennent l'absence de labour et le mulching des résidus de récolte; des cultures mélangées de variétés à haut rendement, résistantes aux ravageurs et aux maladies; l'apport d'engrais pour remplacer les éléments nutritifs exportés; l'introduction de légumineuses avec des souches très efficaces de *Rhizobium* pour fournir l'azote au sol et aux autres cultures; et la réduction de l'acidité des sols au moyen de cendres et d'un mulch d'espèces à racines profondes ou encore de chaulage et d'apport d'oligo-éléments, quand la chaux est facilement disponible. Les éléments d'un tel système agricole n'ont

pas encore été intégrés et testés ensemble, mais ce n'est heureusement pas un préalable essentiel à leur mise en application. A mesure que des graines améliorées à haut rendement, du matériel résistant aux ravageurs et aux maladies sont disponibles, que des engrais sont apportés, que des légumineuses inoculées par des souches bactériennes fixatrices d'azote très efficaces sont plus largement diffusées et utilisées, les rendements augmenteront, et le raccourcissement des périodes de jachère ainsi que l'allongement des périodes de culture dans les systèmes d'agriculture itinérante auront des effets de moins en moins graves. L'évolution vers une agriculture sédentaire et continue se fera naturellement. »

Ces recherches, en particulier sur un plan régional, comprennent l'étude des systèmes intégrés d'utilisation des terres, des effets sur le sol de certaines plantes utilisées dans les jachères, des effets sur l'environnement des divers types d'agriculture itinérante et des facteurs démographiques, sociaux et économiques relatifs aux systèmes d'utilisation des terres.

Le système taungya mérite une attention particulière, car il peut être utilisé soit pour résoudre un problème alimentaire local, soit pour créer la base d'une industrie forestière.

Dans le premier cas, on a encore beaucoup à apprendre sur la restauration de la fertilité des sols (particulièrement dans le cas de courtes rotations), sur les pertes en éléments nutritifs au cours de la culture et sur les réactions des sols ferrallitiques aux diverses intensités d'utilisation et aux différentes techniques d'aménagement. Si l'on envisage d'adopter un programme agrisylvicole soutenu pour ces sols ferrallitiques en Afrique occidentale, on doit se poser un certain nombre de questions et leur trouver des réponses. Ces questions sont relatives aux problèmes suivants :

Influence des diverses essences forestières et des cultures sur les propriétés physico-chimiques des sols;

Tendances de la fertilité et de la productivité de ces sols sous des systèmes combinés de cultures d'arbres et de plantes herbacées, et de types d'exploitation (espace-ment, durée des cultures);

Quantité et vitesse de décomposition de la matière organique (et des éléments nutritifs qu'elle renferme) ajoutée pendant la rotation, ainsi que la nature du rétablissement de la structure originelle du sol et de ses caractéristiques à la fin d'une rotation de cinq à dix ans d'une espèce productrice de pâte de bois;

Effets de la récolte de bois et de produits agricoles sur les éléments nutritifs;

Effets de l'adoption du régime du taillis au lieu du régime de la futaie sur la production de bois et de produits agricoles, et l'exportation des éléments nutritifs;

Effets des engrais sur la productivité des cultures d'arbres et de plantes vivrières, sur le recyclage de la litière et sur l'utilisation continue de la station pour la production retirée de ces cultures ou d'une combinaison quelconque de celles-ci.

S'il s'agit au contraire de production industrielle de bois, certaines recherches spécifiques devront être développées. L'étude de l'autécologie des essences locales grégaires devra

être complétée. Des essais de sélection et de bouturage, sans méconnaître les dangers d'une grande homogénéité génétique, devront être poursuivis comme le fait déjà le Centre technique forestier tropical au Congo. La mécanisation de certains travaux, notamment en savanes guinéennes, devra être étudiée de même que le traitement particulier de certains sols à cuirasses.

Les problèmes de concurrence sont doubles. Ils concernent d'abord les éléments initiaux du recrû naturel et les plantes adventices socialisées par l'uniformisation des conditions mésologiques, domaine qui peut relever de la mécanisation ou qui pourrait bénéficier des connaissances acquises en matière d'herbicides et d'arboricides. Les principaux groupes végétaux concurrentiels préoccupants en Afrique sont les Mimosacées (*Mimosa asperata* notamment), des Scitaminées (*Aframomum*, *Palisota*, *Clinogyne* spp., etc.) et des graminées cespitueuses et rhizomateuses en savane.

Ils concernent ensuite la compétition au sein des peuplements de remplacement, qui soulève des problèmes de densité de ces peuplements et d'intensité d'éclaircie des sous-étages ainsi que de productivité. Les dangers d'incendie et l'uniformité des produits, la productivité globale, nécessitent des solutions adaptées.

Mais c'est surtout dans le domaine des travaux préparatoires à l'établissement des plans d'aménagement que les efforts initiaux devraient être consacrés à une revue et à une mise à jour des couvertures aériennes des zones favorables au point de vue des transports, quant à l'état actuel de la couverture végétale; à la connaissance de la distribution des grands groupes de sols et de leur degré d'utilisation ou de dégradation, ainsi qu'à une mise à jour des caractères démographiques de ces zones.

Lutte contre l'enherbement et l'embroussaillage

Les recherches effectuées au cours des vingt dernières années ont eu pour conséquence une bien meilleure connaissance des espèces indésirables et des techniques de lutte contre celles-ci. L'application effective de ces connaissances a varié d'une région à l'autre; cependant une expérience suffisante est à présent acquise pour orienter les recherches nécessaires. Dans de nombreux cas, des efforts de recherche relativement peu importants peuvent être suffisants pour adapter les techniques existantes aux nécessités locales.

Les recherches sont les plus avancées en Australie et aux États-Unis, où l'on a adopté des techniques de lutte modernes. Des informations nombreuses, notamment sur l'élimination des arbres indésirables dans les forêts naturelles, sont disponibles en Afrique orientale et en Afrique occidentale. Dans ces régions, il est nécessaire de trouver des solutions à des problèmes importants, mais la poursuite et le développement des programmes existants devraient fournir l'information requise en un temps relativement court. Dans plusieurs autres régions tropicales d'Afrique, cependant, y compris le bassin du Zaïre, les progrès ont été moindres et il est urgent de mettre en œuvre des programmes complets de recherches.

Quelques-uns de ces besoins en matière de recherche sont mentionnés ci-dessous et on leur a conféré des degrés de priorité selon le système suivant :

Priorité A. Recherches dont le rapport profit/coût est élevé, qui se rapportent aux problèmes essentiels et qui doivent fournir des informations pratiques dans un délai relativement bref;

Priorité B. Recherches concernant des problèmes plus restreints ou à long terme;

Priorité C. Recherches ayant quelques chances de déboucher sur des résultats pratiques.

Dans les pépinières des forêts tropicales, une lutte plus efficace et plus économique contre les espèces indésirables est possible grâce aux herbicides. Pour les planches de semis de conifères et pour les lignes de repiquage, il doit être relativement facile d'adapter les techniques déjà mises au point dans les zones tempérées (priorité A). Pour les feuillus tropicaux, des travaux plus étendus sont nécessaires. Des herbicides semblables à ceux utilisés pour les conifères donneront probablement de bons résultats pour certaines espèces, comme c'est le cas des triazines pour les arbres à grosses graines (priorité B). Pour les eucalyptus, cependant, un type différent de sélectivité est nécessaire et il faudrait faire des essais préliminaires sur une grande variété de composés (priorité A). L'utilisation possible de charbon de bois activé pour protéger quelques-unes des espèces les plus sensibles contre les effets des herbicides persistant dans le sol vaut bien d'effectuer des recherches plus poussées (priorité C).

Lors de l'établissement de plantations forestières, des traitements d'entretien sont nécessaires pendant des périodes de durée variable pour soulager les jeunes arbres des effets concurrentiels de la végétation indésirable environnante. La lutte chimique peut être plus rapide et moins coûteuse que les opérations manuelles. Des recherches sont nécessaires pour mettre au point des traitements sélectifs, efficaces et sûrs, lorsqu'ils sont appliqués à la fois aux arbres et aux espèces indésirables, ou bien, si la sélectivité est insuffisante, découvrir des traitements susceptibles d'épargner les arbres plantés (priorité A). Dans le reboisement des savanes, l'élimination des graminées vivaces indésirables est conduite lors de la préparation du terrain avant la plantation; la lutte peut être menée en cultivant quand les conditions s'y prêtent, mais des recherches supplémentaires sont nécessaires pour trouver des herbicides capables de réduire l'importance de la culture nécessaire et de permettre une lutte plus efficace à meilleur prix (priorité A). La possibilité d'utiliser des légumineuses arborées à croissance rapide et facilement manipulables pour inhiber la croissance des espèces indésirables et augmenter la teneur du sol en azote mériterait d'être plus étudiée (priorité C).

On n'a pas accordé grande attention au semis direct; l'élimination de la croissance en pépinière pourrait entraîner une économie considérable, mais les problèmes de la lutte contre les espèces indésirables ont jusqu'ici rendu cette méthode impraticable. Des traitements avec des herbicides appropriés permettraient de surmonter cette diffi-

culté et des recherches sont nécessaires surtout pour les espèces d'arbres à croissance rapide (priorité B).

En raison de la divergence d'opinion relative à la sécurité d'emploi de l'arsénite de sodium, il est nécessaire de procéder à un réexamen des risques de toxicité du traitement par ce produit dans les pays où celui-ci est encore utilisé (priorité A). Des composés moins toxiques tels que le 2,4-D, le 2,4,5-T, le pichloram, etc., peuvent remplacer l'arsénite, mais des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer les sensibilités relatives d'un grand nombre d'espèces tropicales aux différents produits, de façon à les employer au mieux. Il est très souhaitable de tester les méthodes modernes d'injection, car il s'agit probablement de la technique la plus économique (priorité A). Des recherches plus détaillées sont nécessaires sur les dommages causés aux arbres à la suite de l'absorption par les racines des herbicides répandus sur les espèces (priorité B).

Les espèces de *Loranthus*, *Amyema* et *Phtirusa* causent des pertes notables de bois; les méthodes de lutte par herbicides qui ont donné de bons résultats en Inde, en Australie et aux Antilles, devraient être essayées en Afrique (priorité B).

On manque d'informations de nature écologique sur la concurrence entre les arbres et les espèces indésirables. Certaines graminées vivaces sont des concurrents sérieux et figurent ainsi parmi les espèces indésirables les plus gênantes. On possède toutefois peu d'informations sur les inconvénients relatifs d'autres associations d'espèces indésirables ainsi que sur les situations qui permettraient l'établissement de plantations sans avoir recours à des mesures de lutte coûteuses. Les bénéfices qui pourraient résulter de mesures de lutte plus adaptées à des situations particulières seraient assez considérables (priorité B).

L'utilisation croissante des herbicides en foresterie doit s'accompagner de recherches plus intensives sur leurs effets secondaires. On a maintenant la preuve que les risques sont faibles pour les organismes non visés. Des recherches suivies sont cependant nécessaires pour prévenir la pollution des eaux et des sols par les résidus de biocides rémanents. On ne sait pas grand-chose sur les effets des herbicides sur les micro-organismes du sol et il est souhaitable de recueillir des informations sur cette question (priorité B).

Conséquences des travaux forestiers sur l'environnement

Le Comité de la mise en valeur des forêts dans les tropiques de la FAO a recommandé, lors de sa troisième session (mai 1974), que la FAO continue de donner des orientations pratiques pour les opérations forestières, y compris celles relatives aux forêts marécageuses. Il a aussi recommandé des études supplémentaires sur les systèmes de transport à longue distance. Ce comité a en effet reconnu le rôle primordial des routes forestières non seulement dans le transport des bois, mais aussi dans l'aménagement forestier et les autres modes d'utilisation des terres. Il a exprimé son inquiétude quant aux perturbations du sol résultant

de la construction des routes et il a été recommandé de traiter à fond les techniques de protection des sols dans le manuel de la FAO sur les routes forestières. Le comité a également souligné que le transport par câble devait être considéré comme une solution de rechange par rapport au transport routier dans le cas des fortes pentes sujettes à l'érosion.

Les solutions aux atteintes à l'environnement provoquées par les industries de pâte et papier varient d'un pays à l'autre; de nombreux pays continuent de promulguer une législation adéquate et de mettre au point des techniques de lutte, alors que d'autres en sont seulement à la prise en considération de ces problèmes. Les techniques de lutte contre cette forme de pollution comprennent l'amélioration de l'efficacité du lavage, la fermeture des systèmes de tamisage, la réduction de la consommation de l'eau de l'usine

de blanchiment, l'entraînement des produits de condensation, l'installation d'équipements pour réduire les émissions atmosphériques et des stations de traitement externe; mais aussi l'emploi de techniques n'ayant pas encore fait leurs preuves sur le plan commercial, en particulier les nouveaux procédés de rapage et de blanchiment, des équipements entièrement nouveaux et des procédés de traitement complètement différents. Plusieurs usines de pâte au sulfate fonctionnent avec des circuits d'eau presque entièrement fermés pour le lavage et le tamisage, et la technique du blanchiment approche du moment où l'on pourra recycler l'effluent. Alors que la recherche et le développement en matière de lutte contre la pollution sont surtout réalisés par les entreprises industrielles, il est nécessaire de procéder à un échange de données entre les pays; cela aura pour effet de réduire la duplication des efforts, avec pour conséquence une certaine inefficacité au niveau de l'application.

Bibliographie

Limites biologiques de la transformation des écosystèmes forestiers tropicaux

- AAMISEPP, A.; OSVALD, H. Influence of higher plants upon each other-allelopathy. *Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis*, ser. IV, vol. 18, no. 2, 1961, p. 1-19.
- AUBERT, M. Télémédiateurs chimiques et équilibre biologique océanique. *Théorie générale. Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, 21, 1971, p. 5-16.
- BARRETT, G. W.; VAN DYNE, G. M.; ODUM, E. P. Stress ecology. *Bio-Science*, vol. 26, no. 3, 1976, p. 192-194.
- BETHEL, J. S. Problems in relating economic to biological production. In: *Records of Proceedings 12th Pacific Science Congress* (Canberra), vol. 1 (Abstracts of papers), 1971, p. 110.
- BONNER, J. The role of toxic substances in the interactions of higher plants. *Bot. Rev.*, 16, 1950, p. 51-65.
- BÖRNER, H. Liberation of organic substances from higher plants and their role in the soil sickness problem. *Bot. Rev.*, 26, 1960, p. 393-424.
- CATINOT, R. Le présent et l'avenir des forêts tropicales humides. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 154, 1974, p. 3-26.
- CONNELL, J. H. On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and in rain forest trees. In: *Proc. Adv. Study Inst. Dynamics Numbers Popul.* (Oosterbeek, 1970), p. 298-312.
- DOBEN, W. H. van; LOWE-McCONNELL, R. H. (eds.). *Unifying concepts in ecology*. Report of the plenary sessions of the first international congress of ecology (The Hague, September 8-14, 1974). The Hague, W. Junk B. V. Publishers; Wageningen, Centre for agricultural publishing and documentation, 1975, 302 p.
- Chapters on 'Flow of energy and matter between trophic levels'; 'Comparative productivity in ecosystems'; 'Diversity, stability and maturity in natural ecosystems'; 'Diversity, stability and maturity in ecosystems influenced by human activities'; 'Strategies for management of natural and man-made ecosystems'.
- DUBOS, R. Humanizing the earth. *Science*, vol. 179, no. 4075, 1975, p. 769-772.
- FAO. *Rapport de la Conférence FAO sur l'établissement de programmes coopératifs de recherche agronomique entre pays ayant des conditions écologiques semblables en Afrique. Zone guinéenne* (Ibadan, 1971). Rome, 1972, 313 p.
- . Management properties of ferralsols (by A. Van Wambeke). *Soils Bulletin*, 23, 1974, 129 p.
- GARB, S. Differential growth inhibitors produced by plants. *Bot. Rev.*, 27, 1961, p. 422-443.
- GOLLEY, F. B. Structural and functional properties as they influence ecosystem stability. In: *Proceedings of the 1st International Congress of Ecology* (The Hague, September 1974), p. 97-102. Wageningen, Centre for agricultural publishing and documentation, 1974, 414 p.
- GOODALL, D. W. *Predicting the results of human intervention in the moist tropics*. FAO, 1975, 6 p. multigr.
- HARTSHORN, G. S.; ORIAN, G. H. *Diversity, stability and maturity in tropical forest ecosystems*. FAO, 1975, 26 p. multigr.
- JACOBS, J. Diversity, stability and maturity in ecosystems influenced by human activities. In: *Proceedings of the 1st International Congress of Ecology* (The Hague, September 1974), p. 94-95. Wageningen, Centre for agricultural publishing and documentation, 1974, 414 p.
- JEFFERS, J. N. R. Future prospects of systems analysis in ecology. In: *Proceedings of the 1st International Congress of Ecology* (The Hague, September 1974), p. 255-259. Wageningen, Centre for agricultural publishing and documentation, 1974, 414 p.
- LABORIT, H. *Biologie et structure*. Paris, Gallimard, 1968, 187 p.
- MAY, R. M. *Diversity, stability and maturity in natural ecosystems, with particular reference to the tropical moist forests*. FAO, 1975, 9 p. multigr.
- MULLER, C. H. The role of chemical inhibition (allelopathy) in vegetational composition. *Bull. Torrey Bot. Club*, 93, 1966, p. 332-351.
- . Allelopathy as a factor in ecological process. *Vegetation*, 18, 1969, p. 348-357.
- ODUM, E. P. The strategy of ecosystem development. *Science*, 164, 1969, p. 262-270.

- PRESTON, F. W. Diversity and stability in the biological world. In: *Diversity and stability in ecological systems*, p. 1-12. Upton, N.Y., Brookhaven National Laboratory, Biol. Dept., Brookhaven Symposia in Biology (May 26-28, 1969), no. 22.
- ROVIRA, A. D. Plant root exudates. *Bot. Rev.*, 35, 1969, p. 35-57.
- SINGH, K. D. Spatial variation patterns in the tropical rain forest. *Unasylva* (FAO), vol. 26, no. 106, p. 18-23.
- SYNNOTT, T. J. *The impact, short and long-term, of silvicultural, logging and other operations on tropical moist forest*. FAO, 1975, 18 p. multigr.
- Unesco. *Use and conservation of the biosphere*. Paris, Unesco, 1970, 272 p. *Utilisation et conservation de la biosphère*. Paris, Unesco, 1970, 305 p.
- . *Expert panel on the rôle of systems analysis and modelling approaches in the Programme on Man and the Biosphere (MAB)*. MAB report series no. 2. Paris, Unesco, 1972, 50 p. *Groupe d'experts sur le rôle de l'analyse des systèmes et des modèles dans le Programme sur l'Homme et la Biosphère (MAB)*. Série des rapports MAB n° 2. Paris, Unesco, 1972, 60 p.
- United Nations. *Proceedings of the United Nations Scientific Conference on the Conservation and Utilization of Resources* (17 August-6 September 1949, Lake Success, New York). New York, United Nations, Dept. of Economic Affairs, 8 vol., 1950.
- WHITTAKER, R. H.; FEENY, P. P. Allelochemics: chemical interactions between species. *Science*, 171, 1971, p. 757-770.
- WOODS, F. W. Biological antagonisms due to phytotoxic root exudates. *Bot. Rev.*, 26, 1960, p. 546-549.
- Sylviculture. Plantations d'enrichissement. Exploitation forestière*
- ANON. *Checklist of literature on ecological aspects of silviculture*. Bogor, Indonesia, BIOTROP, 1974, 76 p.
- AUBRÉVILLE, A. La forêt coloniale: les forêts de l'Afrique occidentale française. *Ann. Acad. Sci. Colon.* (Paris), 9, 1938, p. 1-245.
- BAIDOE, J. F. The management of the natural forests of Ghana. In: *7th World Forestry Congress* (Buenos Aires, Argentina), 1972, 7 CFM/C:1/4 E, 10 p.
- BAUR, G. N. *The ecological basis of rain forest management*. Forestry Commission of New South Wales, Australia, 1961-62, 499 p. Rome, FAO, André Meyer Fellowship Programme Report, 1962, 499 p.
- BRITWUM, S. P. K. *Natural and artificial regeneration practices in the high forest of Ghana*. Rome, FAO, 1975, 8 p. multigr.
- CATINOT, R. Sylviculture tropicale en forêt dense africaine. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 100, 101, 102, 103, 104, 1965, p. 5-18, 3-16, 3-16, 3-16, 17-30.
- . (en collaboration avec LÉPITRE, C.; CAILLIEZ, F.). Note condensée sur un protocole d'aménagement expérimental en forêt dense tropicale africaine. In: *Rapport 2^e session Comité de la mise en valeur des forêts dans les tropiques*, p. 30-41. Rome, FAO, 1969.
- . Les éclaircies dans les peuplements artificiels de forêt dense africaine. Principes de base et application aux peuplements artificiels d'okoumé. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 126, 1969, p. 15-38.
- . Le présent et l'avenir des forêts tropicales humides. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 154, 1974, p. 3-26.
- DAWKINS, H. C. *Felling damage*. Technical Note, Forest Department (Entebbe, Uganda), no. 6/58, 1958a, 2 p.
- . *The management of natural tropical high forest with special reference to Uganda*. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, no. 34, 1958b, 155 p.
- . Crown diameters: their relation to bole diameters in tropical forest trees. *Commonwealth Forestry Review* (London), vol. 42, no. 4, 1963, p. 318-333.
- DONIS, C. La forêt dense congolaise et sa sylviculture. *Bulletin agricole du Congo belge* (Bruxelles), n° 2, 1956, p. 47.
- DUVIGNEAUD, P. (ed.). *Productivity of forest ecosystems. Productivité des écosystèmes forestiers*. Paris, Unesco, 1971, 707 p.
- FAO. *Tropical silviculture*, vol. I, II, III. Rome, 1957, 1958, 190, 415, 101 p.
- . *Exploitation and transport of logs in dense tropical forests*. Forest Development, no. 18. *Exploitation et transport des grumes en forêt dense tropicale*. Mise en valeur des forêts, n° 18. Rome, 1974, 100 p.
- . *Logging and log transport in man-made forests in developing countries*. Rome, FAO/SWE/TF 116, 1974, 134 p.
- IUFRO. *Preliminary report of ad hoc Committee on tropical forestry research*. June 18, 1975, 9 p.
- KIO, P. R. O. What future for natural regeneration of tropical high forest? An appraisal with examples from Nigeria and Uganda. In: *Proceedings 6th annual Conference of the Forestry Association of Nigeria*, 1975.
- KOCHUMMEN, K. M. Natural plant succession after farming in Sungei Keoh. *Malayan Forester*, vol. 29, no. 3, 1966, p. 170-181.
- LAMB, A. F. A. Artificial regeneration within the humid lowland tropical forest. *Commonwealth Forestry Review*, vol. 48, no. 1, 1969, p. 41-53.
- LIEW, T. C. An analysis on staff, cost and labour in protective tree marking and climber cutting prior to logging. In: *Laporan 1971 Penyelidik Hutan, Negeri Sabah* (Sandakan, Sabah), 1973, p. 68-77.
- LOWE, R. G. Research reports and lecture notes on the Tropical Shelterwood System. Ibadan, Nigeria, Federal Department of Forest Research, 1964-66, non publié, multigr.
- . *Some effects of stand density on the growth of individual trees of several plantation species in Nigeria*. University of Ibadan, Nigeria, Faculty of Agriculture, Forestry and Veterinary Science, Ph. D. thesis, 1971, 249 p.
- . *Nigerian experience with natural regeneration in tropical moist forest*. Rome, FAO, 1975, 14 p. multigr.
- LUNDGREN, B. *Ecological comparison between softwood monoculture and natural forests in East Africa*. Stockholm, Royal College of Forestry, 1974, 33 p. multigr.
- MERVART, J. Growth and mortality rates in the natural high forest of western Nigeria. *Nigeria Forestry Information Bulletin* (Ibadan), new series, 22, 1972, 28 p.
- MOORE, D. *Enrichment of the species composition in relation to management of the tropical moist forest*. Rome, FAO, 1975, 8 p. multigr.
- PALMER, J. R. Towards more reasonable objectives in tropical high forest management for timber production. *Commonwealth Forestry Review* (London), vol. 54, no. 3-4, 1975, p. 273-289.
- ; DAWKINS, H. C. *Silvicultural research programme 1971-75*. Kuching, Sarawak, Silvicultural research section, Forest Research Branch, Forest Department, 1971.
- REDHEAD, J. F. An analysis of logging damage in lowland rain forest, western Nigeria. *Nigeria Forestry Information Bulletin* (Ibadan), new series, 10, 1960, p. 5-16.
- ROLLET, B. *L'architecture des forêts denses humides sempervirentes de plaine*. Nogent-sur-Marne, France, Centre technique forestier tropical, 1974, 298 p.

- SARGENT, K. J. *An analysis of problems affecting the development of forestry and forest industries in West Malaysia*. Technical Report, UNDP/FAO project FO:SF/MAL 16. Rome, FAO, no. 1, 1970, 229 p.
- TOMLINSON, P. B.; GILL, A. M. Growth habits of tropical trees: some guiding principles. In: Meggers, B. J.; Ayensu, E. S.; Duckworth, W. D. (eds.). *Tropical forest ecosystems in Africa and South America: a comparative review*, p. 129-143. Washington, D.C., Smithsonian Institution, 1973, 350 p.
- TROUP, R. S. Silvicultural systems. In: *Oxford manuals of forestry*. Oxford, Clarendon Press, 1928, 199 p.
- WADSWORTH, F. H. Tropical forest regeneration practices. In: *Duke University tropical forestry Symposium*. Durham, North Carolina, Duke University, School of Forestry, April 1965, 29 p.
- WYATT-SMITH, J. Survival of seedlings of meranti sarang punai (*Shorea parvifolia* Dyer) and kempas (*Koompassia malaccensis* Benth.) in belukar. *Malayan Forester*, vol. 12, no. 3, 1949a, p. 144-148.
- . Natural plant succession. *Malayan Forester*, vol. 12, no. 3, 1949b, p. 148-152.
- WYATT-SMITH, J. Survival of isolated seedbearers. *Malayan Forester*, vol. 17, no. 1, 1954, p. 30-32.
- . Changes in composition in early natural plant succession. *Malayan Forester*, vol. 18, no. 1, 1955, p. 44-49.
- . Seedling/sapling survival of *Shorea leprosula*, *Shorea parvifolia* and *Koompassia malaccensis*. *Malayan Forester*, vol. 21, no. 3, 1958, p. 185-193.
- . *Manual of Malayan silviculture for inland forests*. Kuala Lumpur, Malayan Forest Record, no. 23, 1963, 400 p.
- Aménagement de la faune sauvage*
- ASIBEY, E. O. A. Wildlife as a source of protein in Africa south of the Sahara. In: *Report of the fourth session of the working party on wildlife management of the African Forestry Commission* (Nairobi, 1-3 February 1972). Rome, FAO, 1972.
- CAUGHLEY, C. Sustained-yield harvesting. In: *Report of the fourth session of the working party on wildlife management of the African Forestry Commission* (Nairobi, 1-3 February 1972). Rome, FAO, 1972.
- CHARTER, J. R. The economic value of wildlife in Nigeria. In: *Forestry Association of Nigeria, First Annual Conference* (Ibadan), 1970, p. 1-12.
- CHOUDHURY, S. R. Forestry and wildlife conservation in the tropics. *Indian Forester*, vol. 101, no. 1, 1975, p. 45-46.
- DARLING, F. F. *Wildlife in an African territory*. London, Oxford University Press, 1960, 166 p.
- DASMANN, R. F. Biomass, yield and economic value of wild and domestic ungulates. In: *International Union of Game Biologists*, p. 227-235, 1965.
- DEN HARTOG, A. P.; de Vos, A. The use of rodents as food in tropical Africa. *FAO Nutrition Newsletter*, vol. 11, no. 2, 1973, p. 1-14.
- DE VOS, A.; JONES, T. *Proceedings Symposium on land use and wildlife management* (Nairobi, 1967). Special issue of the *East African Agriculture and Forestry J.*, 33, 1968, 297 p.
- ; KAITTANY, K. M. *Selected bibliography on the economic uses of wildlife and wildlife products in Africa*, 1972, 10 p.
- FAO. Le rôle de la faune sauvage et des parcs nationaux dans la foresterie tropicale. In: *Comité de la mise en valeur des forêts dans les tropiques. Rapport de la 2^e session*, p. 96-105. Rome, FAO, octobre 1969.
- RINEY, T. The international importance of African wildlife. *Unasylva* (FAO), vol. 15, no. 2, 1961, p. 75-80.
- . The economic use of wildlife in terms of its productivity and its development as an agricultural activity. In: *First FAO Regional Meeting on Animal Production and Health* (Addis Ababa), 1964, 3 p.
- . *Conservation and management of African wildlife*. UNDP Technical Assistance Report. Rome, FAO, 1967, 35 p.
- ; HILL, P. *Conservation and management of African wildlife. English-speaking country reports (Botswana, Ethiopia, Kenya, Malawi, Nigeria, Sierra Leone, Somali Republic)*. UNDP Technical Assistance Report. Rome, FAO, 1967, 145 p.
- ; ———. *Conservation et aménagement de la faune et de son habitat en Afrique. Rapports sur les pays francophones (Burundi, Cameroun, Congo, Dahomey, Haute-Volta, Mali, République Centrafricaine, Sénégal, Tchad)*. UNDP Technical Assistance Report. Rome, FAO, 1967, 135 p.
- SPILLET, J. J. Economic aspects of wildlife conservation; values of consumptive and non-consumptive uses of wildlife. In: *IUCN 11th Technical Meeting* (New Delhi), p. 121-129, 1970.
- TALBOT, L. M. Wild animals as source of food. In: *Proceedings 6th International Congress Nutrition* (Edinburgh), p. 243-251, 1964.
- *et al.* *The meat production potential of wild animals in Africa*. Edinburgh, Commonwealth Bureau of Animal Breeding and Genetics, 16, 1965, v+42 p.
- Parcours en forêt*
- BARR, N. C. Nutrition of grazing animals. *Tropical Grasslands*, vol. 5, no. 1, 1971, p. 50-53.
- BRUCE, R. C. Effect of *Centrosema pubescens* Benth. on soil fertility in the humid tropics. *Queensland Journal of Agricultural and Animal Science*, 22, 1965, p. 221-226.
- EVANS, T. R. Species for coastal pastures—their strengths and weaknesses. *Tropical Grasslands*, vol. 5, no. 1, 1971, p. 45-50.
- FERNANDEZ, D. E. F. Effect of pasture on the yield of coconut. Annual Report of the Coconut Research Institute of Ceylon 1967. *Ceylon Coconut Quarterly*, vol. 19, no. 1-2, 1968, p. 54-56.
- FREMOND, Y.; BRUMIN, C. Cocotier et couverture du sol. *Oléagineux*, vol. 21, n° 6, 1966, p. 361-364.
- GROF, B. Establishment of legumes in the humid tropics of northeastern Australia. In: *Proceedings of the 9th International Grassland Congress*, vol. II, 1965, p. 1137-1142.
- KRISHNA MARAR, M. M. Intercultivation in coconut gardens—its importance. *Indian Coconut Journal*, vol. 4, no. 4, 1953, p. 131-137.
- . Trial of intercultivation practices in coconut gardens. *Indian Coconut Journal*, vol. 14, no. 3, 1961, p. 87-99.
- MCCARTHY, W. D.; NUTHALL, P. L.; HIGHAM, C.; FERGUSON, D. Economic evaluation of land use alternatives for the Southern Wallum region, Queensland. *Tropical Grasslands*, vol. 4, no. 3, 1970, p. 195-212.
- RODRIGO, E. Fodder grass experiment (Lunuwila). In: *Annual Report Coconut Research Scheme*, 1943, p. 11.
- ROMBAUT, D. *Élevage bovin sous palmiers*. Rome, FAO, 1972.
- . Étude sur l'élevage bovin dans les palmeraies de Côte-d'Ivoire. *Oléagineux*, vol. 29, n° 3, 1974, p. 121-125.
- SILVA, M. A. T. de. Cover crops under coconuts. *Ceylon Coconut Planters' Review*, vol. 11, no. 1-2, 1961, p. 17-22.
- TEITZEL, J. K. Pastures for the wet tropical coast. *Queensland Agricultural Journal*, vol. 95, 1969, p. 304-314, 380-388, 464-471, 532-537.

WHITEMAN, P. C.; HUMPHREYS, L. R.; MONTEITH, N. H. (eds.). *A course manual in tropical pasture science*. Brisbane, Watson Ferguson, 1974.

Plantations forestières

AUBRÉVILLE, A. Érosion sous forêts et érosion en pays déforesté dans la zone tropicale humide. *Bois et Forêts des Tropiques* (Nogent-sur-Marne), n° 68, 1959, p. 3-14.

BAILLIE, I. C. *An occurrence of charcoal in soil under primary forest*. Kuching, Sarawak, Forest Department, unpublished report, 1971, 10 p.

BENEDICT, W. V. *Protecting plantations of long-fibre tree species from loss by insects and diseases*. Technical Report, UNDP/SP project MAL/12. Rome, FAO, no. 4, 1971, 24 p.

BENNETT, R. M. *A forest plantation scheme for the New Hebrides*. Port Vila, Department of Agriculture, 1974, 16 p.

BOYCE, J. S. *Forest plantation protection against diseases and insect pests*. Rome, FAO, 1954, 41 p.

BROWNE, F. G. Storm forest in Kelantan. *Malayan Forester* (Kuala Lumpur), vol. 12, no. 1, 1949, p. 28-33.

—. *Pests and diseases of forest plantations: an annotated list of the principal species occurring in the British Commonwealth*. Oxford, Clarendon Press, 1968, 11+1 330 p.

BURLEY, J.; KEMP, R. H. Centralised planning and international cooperation in the introduction and improvement of tropical tree species. In: *Second General Congress of the Society for the Advancement of breeding researches in Asia and Oceania* (New Delhi), 1972, 11 p.

—; NICKLES, D. G. (eds.). *Proceedings of a IUFRO meeting on tropical provenance and progeny research and international cooperation* (Nairobi, Kenya, 1973). Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1973, 597 p.

CATINOT, R. Plantation intensive des essences forestières sous les Tropiques humides. Environnement et principaux problèmes régionaux de recherches. In: *Rapport de la Conférence FAO sur l'établissement de programmes coopératifs de recherche agronomique entre pays ayant des conditions écologiques semblables en Afrique. Zone guinéenne* (Ibadan, 1971), p. 271-276. Rome, FAO, 1972, 313 p.

CHARTER, J. R.; KEAY, R. W. J. Assessment of the Olokemeji forest control experiment 28 years after institution. *Nigeria Forestry Information Bulletin* (Ibadan), new series, no. 3, 1960.

CHERRETT, J. M. Baits for the control of leaf-cutter ants. I. Formulation. *Tropical Agriculture* (Trinidad), vol. 46, no. 2, 1969, p. 81-90. II. Toxicity evaluations of Mirex 450, Aldrin and Dieldrin to *Acromyrex octospinosus*. *Tropical Agriculture* (Trinidad), vol. 46, no. 3, 1969, p. 211-219. III. Waterproofing for general broadcasting. *Tropical Agriculture* (Trinidad), vol. 46, no. 3, 1969, p. 221-231.

DUGAIN, F.; FAUCK, R. Erosion and run-off measurements in middle Guinea. Relations with certain cultivations. In: *3rd Inter-African Soils Conference* (Dalaba), 1959.

FAO. *Catalogues de graines forestières*. Rome, FAO, 1956, 1961, 1975, 178, 523, 283 p.

—. *Tree seed notes. 2. Humid tropics*. Rome, FAO, 1955, p. 187-354.

—. *Tree planting practices in tropical Africa*. Rome, FAO, 1956, 302 p.

—. *Tree planting practices in tropical Asia*. Rome, FAO, 1957, 172 p.

—. *Prácticas de plantación forestal en América latina*. Roma, FAO, 1960, 499 p.

—. World Symposium on man made forest. *Unasylya*, vol. 21, no. 3-4, 1967, p. 1-116.

—. Second world consultation on forest tree breeding (Washington, 1969). *Unasylya*, vol. 24 (2-3), no. 97-98, 1970, p. 1-132.

—. *A manual on establishment techniques in man-made forests*. FO:MISC/73/3. Rome, FAO, February 1973, 108 p.

—. *Report of the 3rd session of the FAO Panel of experts on forest gene resources*. Rome, FAO, May 1974.

—. *Forest genetic resources. Information no. 4*. Rome, FAO, Forestry occasional paper 1975/1, 68 p.

FOURY, P. Comparaison des méthodes d'enrichissement utilisées en forêt dense équatoriale. *Bois et Forêts des Tropiques* (Nogent-sur-Marne), n° 47, 1956, p. 15-25.

GANE, M. Hurricane risk assessment in Fiji. *Commonwealth Forestry Review* (London), vol. 49, no. 3, 1970, p. 253-256.

GROULEZ, J. *Les plantations de conversion dans les forêts tropicales humides*. Rome, FAO (Comité de la mise en valeur des forêts dans les tropiques, 4^e session, novembre 1976), FO:FDT/76/7(b), 1976, 31 p.

HOPKINS, B. Observations on savanna burning in the Olokemeji Forest Reserve, Nigeria. *J. Appl. Ecol.* (Oxford), vol. 2, no. 2, 1965, p. 367-381.

IUFRO. *Preliminary report of ad hoc Committee on tropical forestry research*. June 1975, 9 p.

JACOBS, M. R. *Research needs in silviculture and forest management*. Technical report, UNDP/SF project BRA/45. Rome, FAO, no. 1, 1972, 85 p.

JOHNSON, N. E. *Biological opportunities and risks associated with fast growing plantations in the tropics*. Rome, FAO, 1975, 16 p. multigr.

JOHNSTONE, R. C. B. Elephant protection problems in Budongo tropical high forest. In: *9th Commonwealth Forestry Conference* (New Delhi), 1968.

KEMP, R. H. *The control of root feeding nursery pests, with special reference to termites (especially those attacking Eucalyptus spp. in North Nigeria)*. Imperial Forestry Institute (Oxford), unpublished thesis, 1956, 39 p.

KING, H. C. Notes on three cyclones in Mauritius in 1945: their effect on exotic plantations, indigenous forest and on some timber buildings. *Empire Forestry Review* (London), vol. 24, no. 2, 1945, p. 192-195.

LAMB, A. F. A. *Impressions of Nigerian forestry after an absence of twenty-three years*. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1967, 42 p. multigr.

—. *Fast growing timber trees of the lowland tropics. No. 2. Cedrela odorata*. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1968, 46 p.

—. Artificial regeneration within the humid lowland tropical forest. *Commonwealth Forestry Review* (London), vol. 48, no. 1, 1969, p. 41-53.

—. Tropical pulp and timber plantations, a brief account of forest plantations in the tropics. In: *Proceedings 7th World Forestry Congress* (Buenos Aires), 1972, p. 14.

LAW; PARKER; JOHNSTONE, R. C. B. *Elephants and their habitats: the ecology of elephants in North Bunyoro, Uganda*. London, Oxford University Press, 1975, 376 p.

LOWE, R. G. Control of termite attack on *Eucalyptus citriodora* Hook. *Empire Forestry Review* (London), vol. 40, no. 1, 1961, p. 73-78.

MONNIER, M. F. Eucalyptus et termites. In: *CCTA Conference* (Pointe Noire), 1958.

PARRY, M. S. Control of termites in *Eucalyptus* plantations. *Empire Forestry Review* (London), vol. 38, no. 3, 1959, p. 287-292.

- PHILIP, M. S. *Working plan for Budongo Central Forest Reserve (including Budongo, Siba and Kitigo forests), third revision, for the period 1 July 1964 to 30 June 1974*. Entebbe, Uganda, Forest Department, 1965, 130 p.
- REDHEAD, J. F. *Taungya planting*. *Nigeria Forestry Information Bulletin* (Ibadan), new series, no. 5, 1960, p. 13-16.
- WADSWORTH, F. H.; ENGLERTH, G. H. Effects of the 1956 hurricane on forests in Puerto Rico. *Caribbean Forester* (Puerto Rico), vol. 20, no. 1-2, 1959, p. 38-51.
- WHITMORE, J. L. Myths about the establishment of *Cedrela*. In: *Proceedings of the first symposium on integrated control of Hypsipyla* (IICA-CATIE, Turrialba, Costa Rica), 1973.
- WHITMORE, T. C. *Change with time and the role of cyclones in tropical rain forest on Kolombangara, Solomon Islands*. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, paper no. 46, 1974, 92 p.
- WOOD, P. J. Problèmes de développement forestier dans la zone guinéenne. In: *Rapport de la Conférence FAO sur l'établissement de programmes coopératifs de recherche agronomique entre pays ayant des conditions écologiques semblables en Afrique. Zone guinéenne* (Ibadan, 1971), p. 277-283. Rome, FAO, 1972, 313 p.
- . The evaluation of fast growing species in the tropics. In: *10th Commonwealth Forestry Conference*, 1974, p. 24.
- WYATT-SMITH, J. Storm forest in Kelantan. *Malayan Forester*, vol. 17, no. 1, 1954, p. 5-11.
- Cultures itinérantes et autres systèmes agri-sylvicoles*
- AHN, P. M. Some observations on basic and applied research in shifting cultivation. In: *Report on the FAO/SIDA/ARC Regional seminar on shifting cultivation and soil conservation in Africa* (Ibadan, Nigeria), p. 54-61. Rome, FAO, 1974.
- ALLAN, W. *The African husbandman*. Edinburgh, Oliver and Boyd, 1965, 505 p.
- ANAKWENZE, F. N.; ÉTTAH, A. F. The role of forestry in food production in Nigeria. In: *Proceedings 5th annual Conference of the Forestry Association of Nigeria* (Jos), 1974.
- BARNETT, A. P.; CARREKAR, J. R.; ABRIENA, F.; JACKSON, W. A.; DOOLEY, A. E.; HOLLADAY, J. H. Soil and nutrient losses in run-off with selected cropping treatments on tropical soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 64, 1972, p. 391-394.
- BARTLETT, H. R. *Fire in relation to primitive agriculture and grazing in the tropics. Annotated bibliography*. Ann Arbor, University of Michigan, vol. I, 1955, 568 p.
- . *Fire in relation to primitive agriculture and grazing in the tropics. Annotated bibliography*. Ann Arbor, University of Michigan, vol. II, 1957, 873 p.
- . *Fire in relation to primitive agriculture and grazing in the tropics. Annotated bibliography*. Ann Arbor, University of Michigan, vol. III, 1961, 216 p.
- BATCHELDER, R. B.; HIRT, H. F. *Fire in tropical forests and grasslands*. United States Army Natick Lab. Techn. Rep., 1966, 380 p.
- BAZILEVIČ, N. I.; RODIN, L. E. The biological cycle of nitrogen and ash elements in plant communities of the tropical and subtropical zones. *Forestry Abstr.*, vol. 27, no. 3, 1966, p. 357-368.
- BRADFIELD, R. *Intensive multiple cropping*. Los Baños, International Rice Research Institute, 1969, multigr.
- BRAUN, H. Shifting cultivation in Africa. In: *Report on the FAO/SIDA/ARC Regional seminar on shifting cultivation and soil conservation in Africa* (Ibadan, Nigeria), p. 28-29. Rome, FAO, 1974.
- BRINKMANN, W. L. F.; VIEIRA, A. N. The effect of burning on germination of seeds at different soil depths, of different tropical tree species. *Turrialba*, 21, 1971, p. 77-82.
- . NASCIMENTO, J. C. de. The effect of slash-and-burn agriculture on plant nutrients in the Tertiary region of Central Amazonia. *Turrialba*, vol. 23, no. 2, 1973, p. 248-290.
- BRÜNIG, E. F. Taungya versus shifting cultivation. In: *Proceedings of International Seminar on Employment and transfer of technology in forestry*, p. 197-223. Berlin, 1974.
- BUDOWSKI, G. Tropical savannas, a sequence of forest felling and repeated burnings. *Turrialba*, 6, 1956, p. 23-33.
- BUDOWSKI, G. Forest successions in tropical lowlands. *Turrialba*, 13, 1961, p. 42-44.
- CLARKE, W. C. Maintenance of agriculture and human habitats within the tropical forest ecosystem. *Human Ecology*, vol. 4, no. 3, 1976, p. 247-259.
- CONKLIN, H. C. *Hanunó agriculture: a report on an integral system of shifting cultivation in the Philippines*. Rome, FAO Forestry Development Paper no. 12, 1957, 209 p. Re-edition, Northford, Connecticut, Elliot's Books, 1975.
- COULTER, J. K. Soil management systems. In: Drosdoff, M. (ed.). *Soils of the humid tropics*, p. 189-197. Washington, D.C., National Academy of Sciences, 1972, 219 p.
- CUNNINGHAM, R. K. The effect of clearing a tropical forest soil. *J. Soil Sci.*, 14, 1963, p. 334-345.
- DAUBENMIRE, R. Some ecological consequences of converting forest to savanna in northwestern Costa Rica. *Trop. Ecol.*, 13, 1972, p. 31-51.
- DENEVAN, W. M. *The causes and consequences of tropical shifting cultivation*. Rome, FAO, 1975, 10 p. multigr.
- DOMMERMUES, Y. Les cycles biogéochimiques des éléments minéraux dans les formations tropicales. *Bois et Forêts des Tropiques*, 87, 1963, p. 9-25.
- DONIS, C. *Agriculture itinérante et techniques sylvo-agricoles*. Rome, FAO, 1975, 7 p. multigr.
- DOUGLAS, J. S.; HART, J. R. A. de. *Forest farming*. London, Watkins, 1976, 197 p.
- DUCKHAM, A. N.; MASEFIELD, G. B., assisted by WILLEY, R. W. and DOWN, K. *Farming systems of the world*. London, Chatto and Windus, 1971, 542 p.
- ENABOR, E. E.; ADEYOJU, S. K. *An appraisal of departmental taungya as practised in the South-Eastern State of Nigeria*. Department of Forestry, Misc. Report no. 3, 1975, 80 p.
- EYRE, S. R. *Vegetation and soils; a world picture*, 2nd edition. London, Arnold, 1968.
- FAO. Shifting cultivation. *Tropical Agriculture* (Trinidad), 34, 1957, p. 159-164.
- . Management properties of ferralsols (by A. Van Wambeke). *Soils Bulletin* no. 23. Rome, FAO, 1974, 129 p.
- . Shifting cultivation and soil conservation in Africa. *Soils Bulletin* no. 24. Rome, FAO, 1974, 248 p.
- FAO/SIDA. *Shifting cultivation and soil conservation in Africa. Summaries and Recommendations* (Seminar held at University of Ibadan, Nigeria). Rome, FAO, 1974.
- FASSBENDER, H. W. Aspectos eco-pedológicos de la transformación de un ecosistema forestal a un ecosistema agrícola. *Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo*, Publicación no. 10, 1974, p. 25-43.
- FITTKAU, E. J.; KLINGE, H. On biomass and trophic structure of the Central Amazonian rain forest ecosystem. *Biotropica*, vol. 5, no. 1, 1973, p. 2-14.
- GÓMEZ-POMPA, A.; VÁZQUEZ-YANES, C.; GUEVARA, S. The tropical rain forest: a non-renewable resource. *Science*, 177, 1972, p. 762-765.

- GOUROU, P. The quality of land use of tropical cultivators. In: Thomas, W. L. (ed.). *Man's role in changing the face of the earth*. Chicago, University of Chicago Press, 1956, 1 193 p.
- GREENLAND, D. J. The maintenance of shifting cultivation versus the development of continuous management systems. In: *IITA Conference* (Ibadan, November 1970), 11 p.
- . Evolution and development of different types of shifting cultivation. In: *FAO/SIDA/ARCN Regional seminar on shifting cultivation and soil conservation in Africa* (Ibadan, Nigeria). Rome, FAO, 1974.
- . Intensification of agricultural systems with special reference to the role of potassium fertilizers. In: *10th Colloquium, International Potash Institute* (Budapest), 1974.
- . Bringing the green revolution to the shifting cultivator. *Science*, vol. 190, no. 4217, 1975, p. 841-844.
- ; KOWAL, J. M. L. Nutrient content of a moist tropical forest of Ghana. *Plant and Soil*, 12, 1960, p. 154-174.
- GRINNELL, H. R. *Agri-silviculture: a suggested research programme for West and Central Africa*. Report to International Development Research Centre (IDRC, Ottawa), 1975, 44 p. multigr.
- IUCN. *The ecology of man in the tropical environment*. Morges, Switzerland, Publication no. 4, 1964, 355 p.
- JANZEN, D. H. Tropical agroecosystems. *Science*, 182, 1973, p. 1212-1219.
- JONES, W. O. Manioc; an example of innovation in African economies. *Economic development and cultural change*, vol. 5, no. 2, 1957, p. 97-117.
- JORDAN, C. F.; KLINE, J. R. Mineral cycling: some basic concepts and their application in a tropical rain forest. *Annual Rev. Ecol. Syst.*, 3, 1972, p. 33-49.
- JURION, F.; HENRY, J. *De l'agriculture itinérante à l'agriculture intensifiée*. Bruxelles, INEAC, 1967, 498 p.
- ; —. *Can primitive farming be modernised?* ONRD/INEAC, hors série, 1969, 457 p.
- KELLOGG, C. E. Shifting cultivation. *Soil Sci.*, 95, 1963, p. 221-230.
- ; ORVEDAL, A. C. Potentially arable soils of the world and critical measures for their use. *Adv. Agron.*, 21, 1969, p. 109-170.
- KING, K. F. S. *Agri-silviculture (the taungya system)*. Bulletin no. 1, Department of Forestry, University of Ibadan, 1968, 109 p.
- KLINGE, H.; RODRIGUES, W. A. Biomass estimation in a Central Amazonian rain forest. *Acta Cientifica Venezolana*, 24, 1973, p. 225-237.
- KLINGE, H.; RODRIGUES, W. A.; BRÜNIG, E. F.; FITTKAU, E. J. Biomass and structure in a Central Amazonian rain forest. In: Golley, F. B.; Medina, E. (eds.). *Tropical ecological systems: trends in terrestrial and aquatic research*, p. 115-122. Berlin, New York, Springer Verlag, Ecological Studies no. 11, 1975, 398 p.
- KNOWLES, R. L. Farming with forestry: multiple land use. *Farm Forestry*, 14, 1972, p. 61-70.
- KUECHLER, A. W.; MONTOYA-MAQUIN, J. M. The Unesco classification of vegetation: some tests in the tropics. *Turrialba*, 21, 1971, p. 98-109.
- LAL, R. No-tillage, soil properties and maize yields. *Plant and Soil*, 40, 1974, p. 129-143, p. 321-331, p. 589-606.
- . Soil erosion and shifting cultivation. In: *FAO/SIDA/ARCN Regional seminar on shifting cultivation and soil conservation in Africa* (Ibadan, Nigeria). Rome, FAO, 1974.
- LAUDELOUT, H. *Dynamics of tropical soils in relation to their following techniques*. Rome, FAO, 1961, 111 p.
- LOWE, R. G. *Farm forestry in Nigeria*. Rome, FAO, 1975, 12 p. multigr.
- LOWENSTEIN, F. W. Some consideration of biological adaptations of aboriginal man to the tropical rain forests. In: Meggers, B. J. et al. (eds.). *Tropical forest ecosystems in Africa and South America: a comparative review*, p. 293-310. Washington, D.C., Smithsonian Institution, 1973, 350 p.
- LUGO, A. Tropical ecosystem structure and function. In: Farnworth, E. G.; Golley, F. B. (eds.). *Fragile ecosystems*, p. 67-111. Berlin, New York, Springer Verlag, 1974, 258 p.
- McCLOUD, D. E. (ed.). *A new look at energy resources*. American Society of Agronomy (Madison), Special Publication no. 22, 1974, 50 p.
- MCGINNIS, J. T.; GOLLEY, F. B.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, G. I.; DUEVER, M. J. Elemental and hydrological budgets of the Panamanian tropical moist forest. *Bio-Science*, 19, 1969, p. 697-700.
- MEGERS, B. J. et al. (eds.). *Tropical forest ecosystems in Africa and South America: a comparative review*, p. 321-334. Washington, D. C., Smithsonian Institution, 1973, 350 p.
- MERZ, K. *Environmental deterioration in the area of the deciduous moist forest of Ghana caused by utilization*. Rome, FAO, 1975, 4 p. multigr.
- MIRACLE, M. P. The Congo basin as habitat for man. In: Meggers, B. J. et al. (eds.). *Tropical forest ecosystems in Africa and South America: a comparative review*, p. 335-344. Washington, D.C., Smithsonian Institution, 1973, 350 p.
- MORGAN, W. B. Farming practice, settlement pattern, and population density in southeastern Nigeria. *Geog. J.*, 121, 1955, p. 320-333.
- NWOBOSHI, L. C. *The soil productivity aspects of agri-silviculture in the West African tropical moist forest zone*. Rome, FAO, 1975, 19 p. multigr.
- NYE, P. H. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant and Soil*, 13, 1961, p. 333-346.
- ; GREENLAND, D. J. *The soil under shifting cultivation*. Technical Comm. no. 51. Harpenden, Commonwealth Bureau of Soils, 1960, 156 p.
- . Changes in the soil after clearing tropical forest. *Plant and Soil*, 21, 1964, p. 101-112.
- OKAFOR, J. C. Interim report on breeding of some Nigerian food trees. In: *Proceedings 2nd annual Conference of the Forestry Association of Nigeria* (Zaria), 1971.
- ; OHOLO, H. C. Potentialities of some indigenous forest trees of Nigeria. In: *Proceedings 5th annual Conference of the Forestry Association of Nigeria* (Jos), 1974, 13 p.
- PHILLIPS, J. F. V. *Agriculture and ecology in Africa*. Faber, 1959.
- PIMENTEL, D.; HURD, L. E.; BELLOTTI, A. C.; FORSTER, J. M.; OKA, I. N.; SHOLES, O. D.; WHITMAN, R. J. Food production and the energy crisis. *Science*, 182, 1973, p. 443-449.
- PROTHERO, R. M. *People and land in Africa south of the Sahara*. Oxford Univ. Press, 1972, 341 p.
- ROCHE, L. *The practice of agri-silviculture in the tropics with specific reference to Nigeria*. Shifting cultivation and soil conservation in Africa. Rome, FAO, Soils Bulletin no. 24, 1973, 248 p.
- ROCKWOOD, W. G.; LAL, R. Mulch tillage; a technique for soil and water conservation in the tropics. *Span*, 17, 1974, p. 77-79.
- RUSSELL, W. M. S. The slash-and-burn technique. In: Gould, R. (ed.). *Man and man's ways*, p. 86-101. New York, National History Magazine, Harper and Row, 1973.
- RUTHENBERG, H. *Farming systems in the tropics*. Oxford, Clarendon Press, 1971, 313 p.
- . Agricultural aspects of shifting cultivation. *FAO Soils Bulletin*, 24, 1974, p. 99-111.
- SANCHEZ, P. A. (ed.). *A review of soils research in tropical Latin America*. Raleigh, North Carolina State University, 1972, 263 p.

- SANCHEZ, P. A. (ed.). Soil management under shifting cultivation. In : Sanchez, P. A. (ed.). *A review of soils research in tropical Latin America*, p. 62-92. Raleigh, North Carolina State University, 1972, 263 p.
- SCHLIPPE, P. de. *Shifting cultivation in Africa: the Zande system of agriculture*. London, Routledge and Kegan Paul, 1956, 304 p.
- SCHULTZ, T. W. *Transforming traditional agriculture*. New Haven, Conn., Yale University Press, 1964, 212 p.
- SHANTZ, M. L.; MARBUT, C. F. The vegetation and soils of Africa. *Amer. Geog. Soc.* (New York), 1923, 263 p.
- SPENCER, J. E. *Shifting cultivation in southeastern Asia*. University of California (Berkeley), publications in geography, 19. University of California Press, 1966, 247 p.
- STARK, N. Mycorrhizae and nutrient cycling in the tropics. In: *Proc. first North American conference on mycorrhizae*, p. 228-229. Washington, Misc. Publ. 1189 USDA-Forest Service, 1969.
- STARK, N. Nutrient cycling. I. Nutrient distribution in some Amazonian soils. *Tropical Ecol.*, vol. 12, no. 1, 1971, p. 24-50.
- . Nutrient cycling. II. Nutrient distribution in Amazonian vegetation. *Tropical Ecol.*, vol. 12, no. 2, 1971, p. 177-201.
- The Institute of Ecology. *Man in the living environment*. Madison, University of Wisconsin Press, 1972, 267 p.
- Unesco. *International classification and mapping of vegetation. Classification internationale et cartographie de la végétation. Clasificación internacional y cartografía de la vegetación*. Paris, Unesco, 1973, 93 p.
- Van der WEERT. Influence of mechanical clearing on soil conditions and the resulting effects on root growth. *Tropical Agric.* (Trinidad), vol. 51, no. 2, 1974, p. 325-333.
- VINE, H. Experiments on the maintenance of soil fertility at Ibadan, Nigeria, 1922-1951. *Emp. J. Expt. Agric.*, 21, 1953, p. 65-68.
- . Developments in the study of soils and shifting agriculture in tropical Africa. In: Moss, R. P. (ed.). *The soil resources of tropical Africa*, p. 89-119. Cambridge, The University Press, 1968.
- WATTERS, R. F. *Shifting cultivation in Latin America*. FAO Forestry development paper no. 17. Rome, FAO, 1971, 305 p.
- WEBSTER, C. C.; WILSON, P. N. *Agriculture in the tropics*. London, Longmans, Green and Co., 1966.
- WILKINSON, G. E.; AINA, P. O. Infiltration of water into two Nigerian soils under secondary forest and subsequent arable cropping. *Geoderma* (Amsterdam), 15, 1976, p. 51-59.
- ANKAH, E. C.; AMAYAW, M. A. The effect of cultivation on the survival and growth of *Eucalyptus tereticornis* Sm. *Tech. Newsletter For. Prod. Res. Inst. Ghana*, no. 5, 1971, p. 6-14.
- *ANNECKE, D. P.; KAMY, M.; BURGER, W. A. Improved biological control of the prickly pear *Opuntia megacantha* Salm-Dyck in South Africa through the use of an insecticide. *Phytophylactica*, 1, 1969, p. 9-13.
- AUDUS, L. J. (ed.). *Herbicides. Physiology, biochemistry, ecology*. London, New York, Academic Press, 1976, vol. 1, 636 p.; vol. 2, 475 p.
- BAILEY, D. R. Control of *Acacia flavescens* with herbicides. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 12, 1972, p. 441-446.
- *BALL, J. B. Developments in herbicide research in Uganda forestry. In: *Proc. 4th E. Afr. Herbicide Conf.* (Arusha), p. 213-220, 1970a.
- . Early burning with paraquat. In: *Proc. 4th E. Afr. Herbicide Conf.* (Arusha), p. 228-232, 1970b.
- BARNES, R. D. The use of methyl bromide soil sterilization and a coarse sand mulch in raising pines and eucalypts in the nursery. *Rhodesia Sci. News* (Salisbury), 3, 1969, p. 99-101.
- *BARRONS, K. C. Some ecological benefits of woody plant control with herbicides. *Science*, 165, 1969, p. 465-468.
- *BAUR, G. N. Economics of weeds in forestry. *Proc. Weed Soc. N.S.W.*, 1, pap. 6, 1967, 3 p.
- BEVERIDGE, A. E. Arboricide trials in lowland dipterocarp rain forest of Malaya. *Malayan Forester*, 20, 1957, p. 211-225.
- BOERBOOM, J. H. A. *The natural regeneration of the mesophytic forest of Surinam after exploitation*. Part I. Wageningen, Landbouwhogeschool, 1964, 56 p.
- BOVEY, R. W.; MILLER, F. R.; DIAZ-COLON, J. Growth of crops in soil after herbicidal treatments for brush control in the tropics. *Agron. J.*, 60, 1968, p. 678-679.
- *—; HAAS, R. H.; MEYER, R. E. Daily and seasonal response of huisache and Macartney rose to herbicides. *Weed Sci.*, 20, 1972, p. 577-580.
- BRYANT, C. L. The effect of weed control on the growth of young teak in Tanzania. *Silv. Res. Note Silv. Sect. For. Div. Lushoto*, 8, 1968, 2 p.
- *CATINOT, R. Sylviculture tropicale en forêt dense africaine. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 100, 101, 102, 103, 104, 1965, p. 5-18, 3-16, 3-16, 3-16, 17-30.
- CEBRON, P. Les essais d'empoisonnement avec phyto-hormones en forêt de teck. Application des résultats aux travaux d'enrichissement en forêt dense. *Bois et Forêts des Tropiques*, 52, 1957, p. 9-15.
- *CONNELL, C. A.; COUSINS, D. A. Practical developments in the use of chemicals for forest fire control. *Forestry*, 42, 1969, p. 119-132.
- DA SILVA, S. A. F. Contribution to the study of capim-coloniao (*Panicum maximum* var. *maximum*). 2. Its spread and control. *Vellozia*, 7, 1969, p. 3-25.
- *DAUBENMIRE, R. The ecology of fire in grasslands. *Advanced Ecol. Res.*, 5, 1968, p. 209-266.
- DAVIS, E. A.; INGEBO, P. A.; PASE, C. P. *Effect of a watershed treatment with picloram on water quality*. U.S. For. Serv. Res. Note RM 100, 1968, 4 p.
- DAWKINS, H. C. Trials of non-toxic arboricides in tropical forest. *Empire For. Rev.*, 32, 1953, p. 253-256.
- . Contact arboricides for rapid tree-weeding in tropical forest. In: *Proc. 4th World For. Cong.*, Sect. 5, 1954.

* Référence importante.

Lutte contre l'enherbement et l'embroussaillage

- ALLAN, T. G. *Land clearing and preparation trials using Caterpillar, Fleco and Rome equipment*. Res. pap. (Savanna ser.) Fed. Dept. For. Res. Nigeria, no. 17, 1973a, 22 p.
- . *Mechanized cultivation trials for forestry plantations in the savanna region of Nigeria*. Res. pap. (Savanna ser.) Fed. Dept. For. Res. Nigeria, no. 18, 1973b, 22 p.
- *ALPHEN DE VEER, E. J. van. Teak cultivation in Java. In: *Tropical silviculture*, vol. II (FAO Forestry and Forest Products Studies no. 13), 1958, p. 216-232.
- AMEDIWOLE, E. K. Experiments on tree poisoning in Bobiri Research Centre using sodium arsenite and other arboricides. *Newsletter For. Prod. Res. Inst. Ghana*, no. 2, 1967, p. 8-10.

- DELWAILLE, J. C. The increasing unproductiveness of Africa south of the Sahara. *Bois et Forêts des Tropiques*, no. 149, 1973, p. 3-20.
- *DONALD, D. G. M. Cleaning operations in South African forestry. *For. in S. Africa*, 12, 1971, p. 55-65.
- *DOUGALL, H. W.; BOGDAN, A. V. Browse plants of Kenya with special reference to those occurring in South Baringo. *E. Afr. Agric. J.*, 23, 1958, p. 236-245.
- DYSON, W. G. Possibilities for the use of soil-applied herbicides in forest management in East Africa. In: *3rd E. Afr. Conf. on soil-acting herbicides*, 1964, 9 p.
- *EARL, D. E. Latest techniques in the treatment of natural high forest in South Mengo district. In: *9th Commonwealth For. Conf.* (New Delhi), 1968, 26 p.
- EGBERINK, J. *Study of Lantana spp. and their control; chemical control of Lantana camara, 1964-1967. Final Report.* Agric. Res. (Pretoria), part 1, 1970, p. 184-185.
- ENDEAN, F.; JONES, B. E. Clean cultivation and the establishment of *Pinus kesiya* in Zambia. *E. Afr. Agric. For. J.*, 38, 1972, p. 120-129.
- *ENNIS, W. B. Economic aspects of crop losses caused by weeds. In: *FAO Symp. on crop losses* (Rome), 1967, p. 127-145.
- *EVERIST, S. L. *Use of fodder trees and shrubs.* Indooroopilly (Queensland), Dept. Primary Ind., 1969.
- FABRE, J. P.; BRUNCK, F. Pre-emergence herbicide test on an Ivory Coast species used in afforestation: framiré—*Terminalia ivorensis*. *Bois et Forêts des Tropiques*, 136, 1971, p. 35-41.
- FAO. *Tree planting practices in tropical Africa* (prepared by PARRY, M. S.). FAO Forestry Div. paper no. 8. Rome, FAO, 1956.
- . *Tree planting practices in tropical Asia* (prepared by LETOURNEUX, C.). FAO Forestry Div. paper no. 11. Rome, FAO, 1957.
- *—. *Tropical silviculture*, vol. I (prepared by HAIG, I. T.; HUBERMAN, M. A.; U Aung Din). FAO Forestry and Forest Products Studies no. 13. Rome, FAO, 1958.
- . Land and Water Development Division. *Lectures presented at the FAO/SIDA Regional seminar on shifting cultivation and soil conservation in Africa* (Ibadan, Nigeria, 2-21 July 1973). Rome, FAO, 1974.
- FITZGERALD, C. H.; MCCOMB, W. H. Damage to pine released from hardwood competition by 2,4-D. *J. Forestry*, 68, 1970, p. 164-165.
- FOOT, D. L. *Mkwerenyant (Newtonia buchananii) regeneration trials R 102, R 104/7.* Silv. Res. Rec. Silv. Res. Sta. (Dedza, Malawi), no. 2, 1967a, 2 p.
- . *Arboricide treatment for unwanted coppice of Gmelina arborea: M 360.* Silv. Res. Rec. Silv. Res. Sta. (Dedza, Malawi), no. 4, 1967b, 2 p.
- FORREST, W. G.; RICHARDSON, R. R. *Chemical control of forest weeds.* Res. Note For. Comm. N.S.W., no. 16, 1965, 22 p.
- *FRYER, J. D.; MAKEPEACE, R. J. *Weed control handbook.* Vol. 2, 7th ed. Oxford, Blackwell, 1972.
- GEORGE, K. Selective control of *Loranthus* on teak. *Curr. Sci.*, 35, 1966, p. 444.
- *GHANI, Q. Heterogeneous types of tropical forests—Chittagong forests. In: *Tropical silviculture*, vol. II, p. 24-35. Rome, FAO, 1958, 415 p.
- HARLEY, K. L. S. Biological control of *Lantana*. *P.A.N.S.*, 17, 1971, p. 433-437.
- HOMBERT, J. Empoisonnement des arbres à l'aide de l'arsénite de soude. *Bull. Inf. INEAC*, 3, 1954, p. 245-260.
- HUGHES, J. F.; LANG BROWN, J. R. The planning and organization of current silvicultural treatments in the central forest reserves of S. Mengo District, Buganda Province. In: *8th Brit. Commonwealth For. Conf.*, 1962.
- HURAU, M. J. Brush control with picloram in forestry and along rights-of-way. In: *Summs. Paps. 7th Int. Cong. Pl. Prot.* (Paris), 1970, p. 327-329.
- IVENS, G. W. *Results of bush control experiments. 5. Application of chemicals by means of tree-injectors.* Report to Range Management Div., Min. Agric. and Animal Husbandry, Nairobi, April 1970 (non publié).
- . *Results of bush control experiments. 8. Effects of grass competition on regrowth of Acacia species.* Report to Range Management Div., Min. Agric. and Animal Husbandry, Nairobi, July 1970 (non publié).
- *—. Seasonal differences in kill of two Kenya bush species after foliar herbicide treatment. *Weed Res.*, 11, 1971, p. 150-158.
- JACK, J. B. Herbicides and woody growth control in Victorian state forests. In: *Proc. 1st Victorian Weeds Conf.*, 1968, p. 4-12.
- *JOHNSON, R. W. *Ecology and control of brigalow (Acacia harpophylla) in Queensland.* Brisbane, Queensland, Dept. Primary Ind., 1964, 92 p.
- *KADAMBI, K. Methods of increasing growth and obtaining regeneration of tropical forests. In: *Tropical silviculture*, vol. II, p. 67-78. Rome, FAO, 1958, 415 p.
- KASASIAN, L. Bamboo (*Bambusa vulgaris*)—a progress report on its control by herbicides. *P.A.N.S.* (C), 10, 1964, p. 14-15.
- *—. Chemical weed control in seedling *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Commonw. For. Rev.*, 44, 1965, p. 139-142.
- *—. *Weed control in the tropics.* London, Leonard Hill, 1971, 307 p.
- KIMBER, P. C. Thinning jarrah with hormone herbicides. *Aust. For.*, 31, 1967, p. 128-136.
- KING, K. F. S. The use of arboricides in the management of tropical high forest. *Turrialba*, 15, 1965, p. 35-39.
- KNUFFEL, W. E. *Eucalyptus grandis* seed germination in soil sterilized with methyl bromide gas. *S. Afr. For. J.*, 62, 1967, p. 33-35.
- KNUTZ, J. E.; NAIR, V. M. G. Control of forest tree diseases with herbicides. In: *Proc. N. Cent. Weed Control Conf.*, 1967, p. 31.
- *LEROY-DEVAL, J. Putting new chemical weapons to use in tropical forestry. *Bois et Forêts des Tropiques*, no. 132, 1970, p. 22-29.
- LETOURNEUX, C. Les dégagements par annélation et empoisonnement. *Bois et Forêts des Tropiques*, no. 46, 1956, p. 3-10.
- LIEFSTINGH, C. Chemical clearing, a possibility. *Ghana Farmer*, 9, 1965, p. 8-14.
- LIEW, T. C.; CHARINGTON, M. S. Chemical control of giant stranglers. *Malayan Forester*, 35, 1972, p. 13-16.
- LITTLE, E. C. S. The control of bush by application of concentrated herbicide to stumps. In: *1st FAO Int. Conf. Weed Control* (Davis, California), 1970, 12 p.
- *MAIER-BODE, H. The question of 2,4,5-T. *Arz. Schädlingsk.* 45, 1971, p. 2-6.
- McKELL, C. M.; BLAISDELL, J. P.; GODIN, J. R. (eds.). *Wildland shrubs—their biology and utilization.* International Symposium (Utah State Univ., Logan, Utah, July 1971). USDA For. Serv. General Tech. Rep. INT-1, 1972, 494 p.

- MONTGOMERY, M. L.; NORRIS, L. A. *A preliminary evaluation of the hazards of 2,4,5-T in the forest environment*. U.S. For. Serv. Res. Note Pacific N. West For. Range Exp. Sta., PNW-116, 1970, 9 p.
- MOORE, R. M.; WALKER, J. *Eucalyptus populnea* shrub woodlands. Control of regenerating trees and shrubs. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 12, 1972, p. 437-440.
- MORZE, J. Chemical control of *Eucalyptus* species. *For. S. Africa*, 12, 1971, p. 49-53.
- MURRAY, C. H. Arborescences and clonal teak. *Commonw. For. Rev.*, 46, 1967, p. 133-137.
- *NORRIS, L. A. Chemical brush control: assessing the hazard. *J. For.*, 69, 1971, p. 715-720.
- OAKES, A. J. Herbicide control of *Acacia. Turrialba*, 20, 1970a, p. 213-216.
- . Herbicidal control of *Croton. Turrialba*, 20, 1970b, p. 299-301.
- *PEEVY, F. A. Controlling upland southern hardwoods by injecting undiluted 2,4-D amine. *J. Forestry*, 66, 1968, p. 483-487.
- *PHILIP, M. S. The dynamics of seedling populations in a moist semi-deciduous tropical forest in Uganda. I. Interim report on research plot 441 Uganda Forest Department—survival of seedlings following destruction of the canopy with arboricide. In: *9th Commonw. For. Conf.* (New Delhi), 1968, 31 p.
- *PHILLIPS, J. F. V. Fire as master and servant: its influence in the bioclimatic regions of trans-Sahara Africa. In: *Proc. Tall Timbers Fire Ecol. Conf.*, no. 4, 1965, p. 7-109.
- *ROSE INNES, R. Fire in West African vegetation. In: *Proc. Ann. Tall Timbers Fire Ecol. Conf.*, 11, 1972, p. 147-173.
- *STRANG, R. M. Bush encroachment and veld management in south-central Africa: the need for a reappraisal. *Biol. Conservation*, 5, 1973, p. 96-104.
- *STUART SMITH, A. M. Practice and research in establishment techniques. In: *FAO World Symp. on man-made forests and their industrial importance* (Canberra), 1, 1967, p. 265-287.
- ; BALL, J. B. Recent work on arboricides in Uganda forestry. In: *Proc. 4th E. Afr. Herbicide Conf.*, 1970, p. 221-227.
- TAKLE, G. G.; MUJUMDAR, R. B. Increasing growth and natural regeneration of teak. In: *Tropical silviculture*, vol. II, p. 237-256. Rome, FAO, 1958, 415 p.
- *VEIGA, R. A. de. Effects of soil sterilizing chemicals on the germination and seedling development of *Eucalyptus saligna* and on weed control. *Rev. Agric. Piracicaba*, 43, 1968, p. 141-148.
- WANG, T. K.; KUO, P. C. *The effects of herbicides on the control of arrow bamboo sites*. Tech. Bull. Dept. For., Nat. Taiwan Univ., no. 104, 1971, 22 p.
- WARD, H. K.; CLEGHORN, W. B. The effects of ringbarking trees in *Brachystegia* woodland on the yield of veld grasses. *Rhod. Agric. J.*, 61, 1964, p. 98-107.
- *—; —. The effects of grazing practices on tree regrowth after clearing indigenous woodland. *Rhod. J. Agric. Res.*, 8, 1970, p. 57-65.
- *WILDE, S. A.; SHAW, B. H.; FEDKENHEUER, A. W. Weeds as a factor depressing forest growth. *Weed Res.*, 8, 1968, p. 196-204.
- WONG, Y. K. Poison-girdling under the Malayan uniform system. *Malayan Forester*, 29, 1966, p. 69-77.
- *WYATT-SMITH, J. *Manual of Malayan silviculture for inland forests*. Malayan For. Rec., no. 23, 1963, 400 p.
- Conséquences des travaux forestiers sur l'environnement*
- Biocides*
- BACHELARD, E. P.; JOHNSON, M. E. A study of the persistence of herbicides in soil. *Aust. For.*, 33, 1969, p. 19-24.
- DAVIS, E. A.; INGEBO, D. A.; PASE, C. P. *Effect of watershed treatment with picloram on water quality*. U.S. Forest Service, Note RM 100, 1968, 4 p.
- DAWKINS, H. C. Trials of non toxic arboricides in tropical forest. *Empire For. Rev.*, 32, 1953, p. 253-256.
- FAO. *Programme de lutte contre la trypanosomiase animale africaine*. Rome, FAO, 1974, 20 p.
- MONTGOMERY, M. L.; NORRIS, L. A. *A preliminary evaluation of the hazards of 2,4,5-T in the forest environment*. U.S. Forest Service Res. Note, Pac. S.W. For. Range Exp. Sta., PSW 116, 1970, 9 p.
- MORTON, H. L.; COMBS, J. A. Influence of surfactants on phytotoxicity of a picloram—2,4,5-T spray on three woody plants. *Abstr. Meet. Weed Sci. Soc. Amer.*, 65, 1969.
- National Academy of Sciences. *The effects of herbicides in South Vietnam. Part A. Summary and conclusion*. Washington, National Academy of Sciences Committee on the effects of herbicides in Vietnam, 1974, 398 p.
- ORIANI, G. H.; PFEIFFER, E. W. Ecological effects of the war in Vietnam. *Science*, 168, May 1970, p. 544-554.
- RIORDAN, K. *African forests in relation to the tsetse fly problem, utilization by man and the effects of pesticides*. Rome, FAO, 1975, 13 p. multigr.
- Exploitations et routes forestières*
- FAO. *Exploitation and transport of logs in dense tropical forests*. Forest Development, no. 18. *Exploitation et transport des grumes en forêt dense tropicale*. Mise en valeur des forêts, n° 18. Rome, 1974, 100 p.
- . *Logging and log transport in man made forests in developing countries*. Rome, FAO/SWE/TF 116, 1974, 134 p.
- FAO/UNDP. *Demonstration and training in forest range and watershed management. The Philippines*. Logging and transport Technical Report no. 5, FO:SF/PHI 16. Rome, 1971, 123 p.
- FONTAINE, R. G. *Les conséquences sur l'environnement des pratiques forestières en forêts tropicales humides*. Rome, FAO (Comité de la mise en valeur des forêts dans les tropiques, 4^e session, novembre 1976), FO:FDT/76/8(b), 1976, 22 p.
- GOODLAND, R. J. A.; IRWIN, H. S. *Amazon jungle: green hell to red desert? An ecological discussion of the environmental impact of the highway construction programme in the Amazon Basin*. The Cary Arboretum of the New York Botanical Garden, 1975, 205 p. multigr.
- A selva amazônica: do inferno verde ao deserto vermelho?* Tradução de Regina Regis Junqueira; revisão técnica, prefácio e notas de Mário Guimarães Ferri. São Paulo, Ed. Itatiaia, Ed. da Universidade de São Paulo, 1975, 156 p.
- POORE, D. *Valeur des écosystèmes de la forêt tropicale et conséquences de leur destruction sur le milieu*. Rome, FAO (Comité de la mise en valeur des forêts dans les tropiques, 4^e session, novembre 1976), FO:FDT/76/8(a), 1976, 33 p.
- Lacs artificiels*
- FAO/UNDP. *Man-made lakes. Planning and development*. Rome, 1969, 71 p.

- FREEMAN, P. H. *The environmental impact of tropical dams: guidelines for impact assessment based upon a case study of Volta lake*. Washington, D.C., Smithsonian Institution, 1975.
- LEENTVAAR, P. Inundation of a tropical forest in Surinam. In: *Proceedings of the 1st International Congress of Ecology* (The Hague, September 1974), p. 348-354. Wageningen, Centre for agricultural publishing and documentation, 1974, 414 p.
- MILTON, J. P. The ecological effects of major engineering projects. In: *The use of ecological guidelines for development in the American humid tropics* (Proceedings of international meeting, 20-22 February 1974, Caracas), p. 207-222. Morges, IUCN Publications, new series no. 31, 1975, 249 p.
- Effluents des industries de pâte et de papier*
- EASTON, J. C.; MCFARLANE, M. M. *Economics of pulp and paper pollution abatement*. Rome, FAO, FO:Misc./79/9, April 1973, 34 p.
- EKONO. *Study of pulp and paper industry's effluent treatment*. Helsinki, May 1973, 34 p.
- FAO. *Guide for planning pulp and paper enterprises*. Rome, FAO, Forestry and Forest products Studies no. 18, 1973, 362 p.
- OECD. *Pollution by the pulp and paper industry: present situation and trends*. Paris, 1973, 129 p.
- SIKES, J. E. G. A clean piece of paper. Du papier « propre ». *Unosylva* (FAO), vol. 27, no. 109, 1975, p. 11-16.
- . *A perspective on the environmental protection situation in the pulp and paper industry*. UNEP Industry Sector Seminars, Pulp and paper meeting (Paris, March 1975), 14 p.