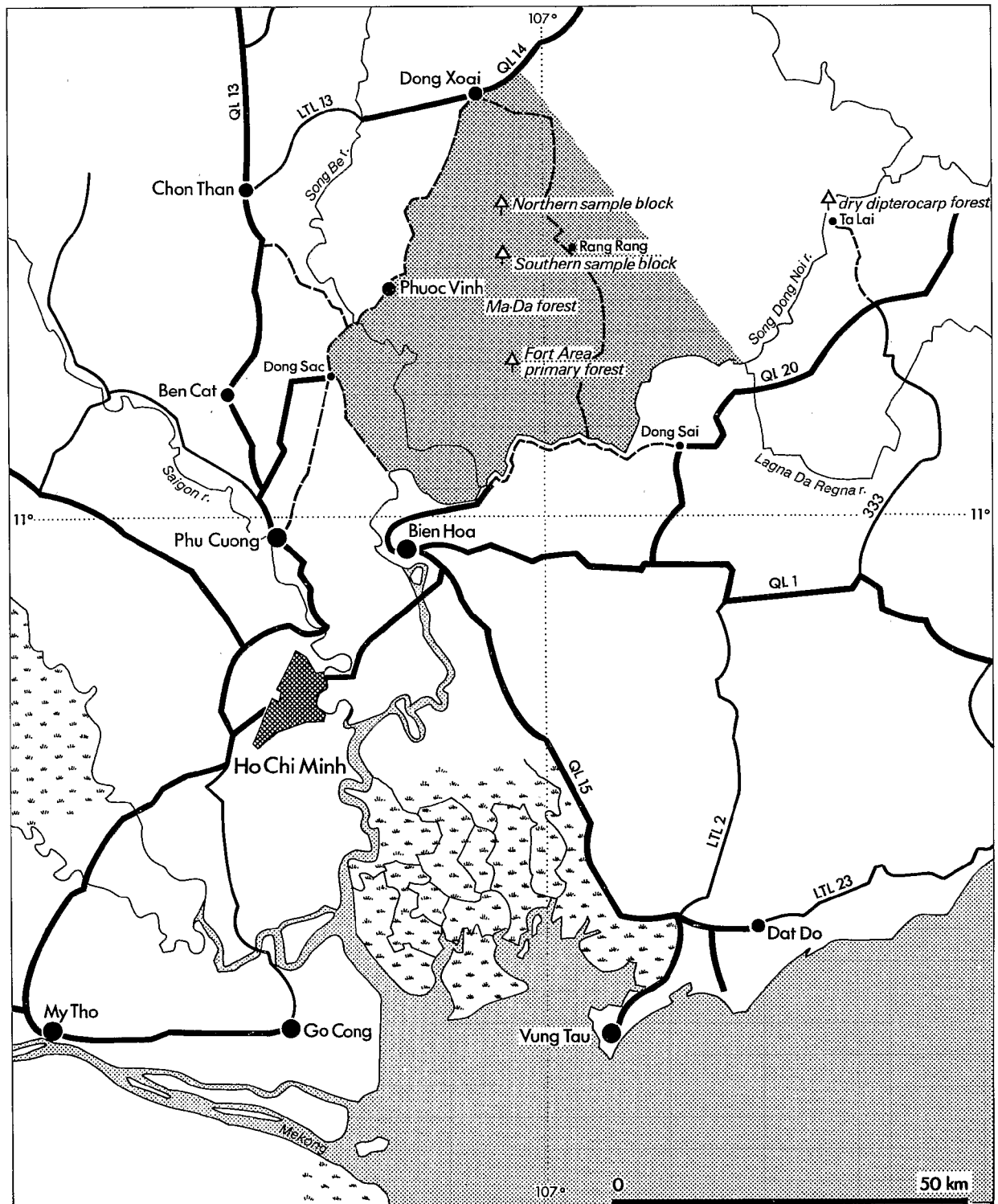


MAP OF THE FOREST AREAS VISITED






-  Dong Xoai Forest District.
-  Main road.
-  Unpaved road.

FIG. 2. — Map indicating the forest visited.

1. Northern.
2. Southern sample block, Ma-Da forest.
3. Fort area primary forest, Ma-Da.
4. Dry dipterocarp forest, Talai Boundary of Dong Xoai forest district.

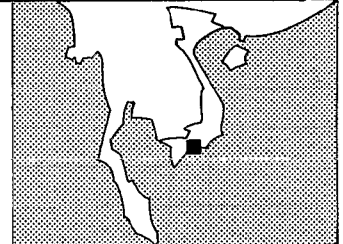




FIG. 3. — U.S. Air force records of Agent Orange spraying missions over the two Ma-Da sample blocks. Each number represents the number of times a 100 m square block was sprayed.

ne persistent pas dans l'écosystème. Le dommage résultant varie beaucoup en intensité. En général seul le couvert a été détruit et la régénération existante a survécu pour former un nouveau peuplement. Mais dans des portions importantes des deux forêts examinées, toutes les espèces d'arbres ont été détruites à de rares exceptions près ; par action probable de l'homme le feu parcourt tous les ans ces surfaces, arrêtant la succession et conduisant à des savanes secondaires plus ou moins stables. L'impact spatial des dégâts résultant de l'effet direct de la défoliation n'est, par conséquent, plus discernable en général. Deux climax forestiers principaux se rencontrent au Sud Viêt-Nam, tous deux dominés par la famille des Diptérocarpées importante pour les bois d'œuvre. La formation prédominante est une forêt sempervirente légèrement décidue et sensible au feu mais dans l'ouest on trouve des savanes arborées plus sèches et pyrophiles (*).

Dans ces savanes, beaucoup d'arbres ont rejeté de souche ou se sont couverts de gourmands après pulvérisation. On conclut que toutes les forêts affectées demanderont longtemps pour se régénérer par voie naturelle et que le principal effet de la défoliation est d'avoir facilité la pénétration des savanes en forêt dense. On recommande de faire un investissement substantiel dans le domaine des recherches et le développement des plantations.

ABSTRACT

REGENERATION IN INLAND LOWLAND FORESTS IN SOUTH VIET-NAM ONE DECADE AFTER AERIAL SPRAYING BY AGENT ORANGE AS A DEFOLIANT

In January 1983, lowland evergreen forests in southern Viet-Nam, for which aerial photographic and chemical spraying records were available, were visited to evaluate residual effects one decade after spraying had ceased. The direct effects of chemical defoliants on forests were immediate, and the chemicals responsible for defoliation do not persist in the ecosystem. The resultant damage varied greatly in intensity. In the majority only the canopy was destroyed, and regeneration existing below has survived to form a new stand. In substantial areas of the two forests examined, though, all but a few tree species were killed. In these areas burning, presumably man-induced, ensued and continues to occur annually in accessible areas, arresting woody succession and leading to semi-stable secondary savannas. The spatial pattern of damage resulting as a direct effect of defoliation is therefore generally no longer discernable. Two principal inland dry land climax forest formations occur in the seasonal lowlands of South Viet-Nam, both generally dominated by the important timber family Dipterocarpaceae. The predominant is a seasonal evergreen forest, which is fire-sensitive ; but in drier, western areas fire-climax savanna woodlands occur. In the savanna woodlands many trees, following spraying, sprouted from the butt, or higher on the trunk. It is concluded that all forests effected will take long to recover through natural regeneration, and that the main consequence of defoliation has been to facilitate the penetration of secondary savanna into the evergreen zone. Substantial investment in research and development of plantation forestry is recommended.

RESUMEN

REGENERACION EN LOS BOSQUES DE PLANICIE EN EL INTERIOR DEL VIET-NAM DEL SUR, DIEZ AÑOS DESPUES DE LA PULVERIZACION AEREA DEL AGENTE NARANJA UTILIZADO COMO DEFOLIANTE

En 1983, se ha procedido a la visita de los bosques densos de planicie de Viet-Nam del Sur, para los cuales se disponía de fotografías aéreas y de datos diversos acerca de la pulverización química, con objeto de proceder a una evaluación de los efectos residuales diez años después de la pulverización. Los efectos directos de los defoliantes químicos en los bosques fueron inmediatos y los productos químicos responsables de la defoliación no persisten en el ecosistema. Los daños resultantes varían mucho en cuanto a su intensidad. Por lo general, únicamente fue destruido el vuelo vegetal y la regeneración existente se ha manifestado positivamente para constituir una nueva repoblación. Pero, en cambio, en dos importantes áreas de los dos bosques examinados, se ha comprobado que todas las especies de árboles quedaron destruidas, salvo en casos muy contados. Debido probablemente a la acción del hombre, el fuego hace su aparición todos los años en estas áreas, interrumpiéndolo la sucesión y dando lugar a sabanas secundarias, más o menos estables. El impacto espacial de los daños derivados del efecto directo de la defoliación ha dejado así de ser discernible, por lo general. Dos climax forestales principales se encuentran en Viet-Nam del Sur, ambos dominados por la familia de las Dipterocarpaceas, importante para la madera para la construcción. La formación predominante es un bosque de perennifolia ligeramente caduco y sensible al fuego, pero en cambio, se encuentran hacia el oeste sabanas arbóreas más secas y pirófilas (*).

(*) Traducción aproximativa du fire climax de CLEMENTS, expression discutable. Une expression plus appropriée serait fire pseudoclimax, ou fire peniclimax. Dans la suite de l'article l'expression seasonal evergreen dipterocarp forest a été traduite (approximativement et en abrégé) par forêt dense à Diptérocarpées. Le mot seasonal indique qu'une très faible proportion du couvert est décidue en saison sèche, N.d.T.

(*) Traducción aproximada del fire climax de Clements, que nos parece una expresión discutible. Una expresión más propia podría ser la de fire pseudoclimax, o fire peniclimax. Poco más adelante en este artículo, la expresión seasonal evergreen dipterocarp se ha traducido (aproximadamente y de forma resumida), por bosque denso de Dipterocarpaceas. El término seasonal indica que, durante la estación seca, una proporción muy reducida del vuelo vegetal es caduca. Nota del traductor francés.

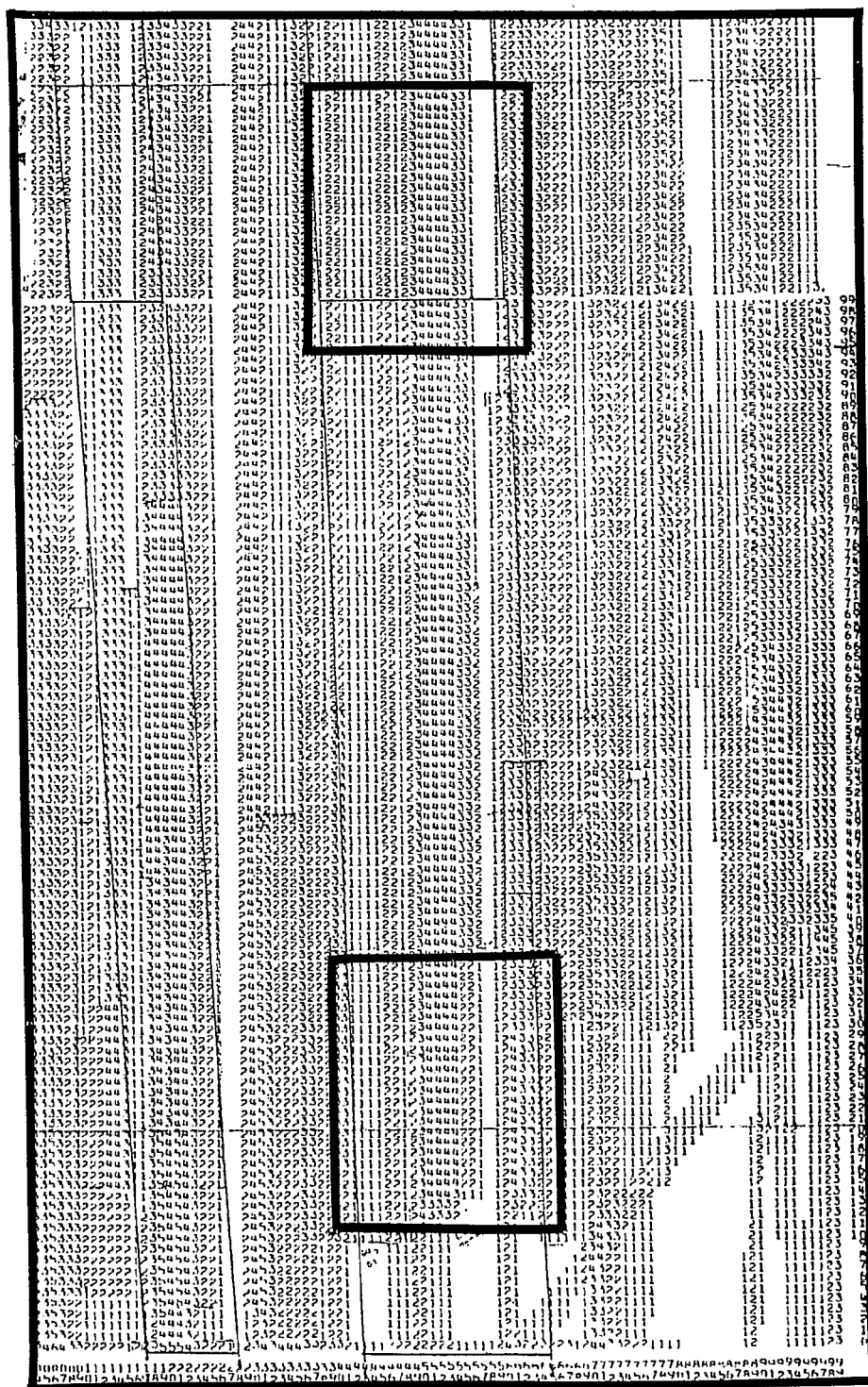


FIG. 3. — Enregistrement des vols de pulvérisation de l'Agent Orange par l'US Air Force sur les 2 blocs échantillons de Ma-Da : chaque chiffre représente le nombre de fois qu'un hectare a été pulvérisé.

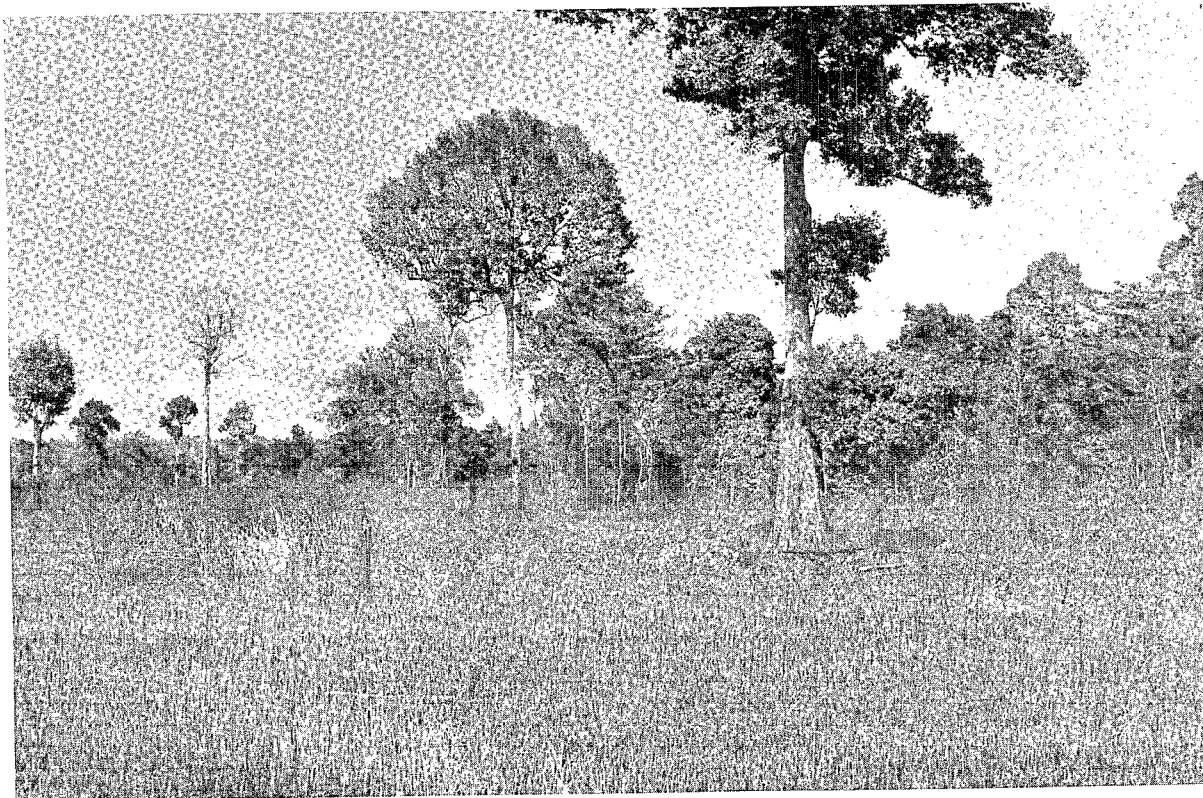


FIG. 1. — Lisière Forêt-savane, 2 km à l'ouest de la vieille piste de Rang Rang 1982 : au premier plan récemment brûlé les arbres isolés sont *Irvingia malayana*. Le jeune émergent dans la forêt à droite est un *Dipterocarpus turbinatus*.

LA RÉGÉNÉRATION DANS LES FORÊTS DE PLAINE DE L'INTÉRIEUR DU SUD VIÊT-NAM DIX ANS APRÈS PULVÉRISATION AÉRIENNE DE L'AGENT ORANGE COMME DÉFOLIANT (1)

Peter S. ASHTON

Arnold Arboretum, Harvard University, Cambridge, MA. USA

RÉSUMÉ

En janvier 1983, l'auteur a visité des forêts denses de plaine au Sud Viêt-Nam pour lesquelles des photos aériennes et des données sur la pulvérisation chimique étaient disponibles, et dans le but d'évaluer les effets résiduels dix ans après l'arrêt de la pulvérisation. Les effets directs des défeuillants chimiques sur les forêts ont été immédiats et les produits chimiques responsables de la défoliation

(1) Cet article est le développement d'une conférence présentée au Symposium international tenu en janvier 1983 à Hô Chi Minh Ville sur les conséquences écologiques et humaines à long terme de la guerre chimique au Viêt-Nam.

A partir de ces données, on a pu tirer les conclusions suivantes avant l'inspection sur le terrain.

1) La forêt originelle variait considérablement dans la structure du couvert. Une cause, peut-être la seule, pourrait expliquer cette variation (cf. ROLLET, 1952) : l'existence de taches importantes de culture itinérante souvent en bordure des principales rivières se traduisant par un damier de champs récents, avec recrû plus ou moins nettement délimité et ressemblant à la forêt environnante au couvert hétérogène. D'autres surfaces étendues occupant presque la moitié du bloc Nord et constituées de forêt à petits houppiers peuvent être interprétées comme des fourrés de bambous, d'origine secondaire probable (DINH HIEP, comm. pers.). HIEP (1984) estime que 68 % de la province du Dong Nai étaient sous forêt en 1965 ; mais 15 % seulement de cette forêt étaient « riches », c'est-à-dire, je le pense, constitués de forêt dense primaire.

2) Un changement d'albedo dans certaines portions de la forêt bordant la route 322 au Sud de la rivière Ma Da était déjà apparent en 1965, ce qui suggère qu'il y avait déjà eu pulvérisation, tandis qu'une bande défeuillée, nettement délimitée le long de la vallée de la Ma Da, était présente immédiatement à l'Ouest et sur une certaine distance vers l'Est du croisement de la route 322 (la piste d'atterrissage militaire Rang Rang avait été établie dans les années soixante immédiatement au Sud du croisement. Le terrain fut abandonné avant 1972).

Les photos 1969 indiquaient d'abord des bandes nord-sud de pulvérisation dans les blocs étudiés. A cette époque l'effet de la pulvérisation se manifestait par des changements d'albedo du couvert : les houppiers étaient devenus uniformément blanc grisâtre pâle sur les photos en noir et blanc ; la défoliation n'était pas apparente, la mauvaise qualité des photos ne l'excluant cependant pas.

Vers 1972, l'effet des pulvérisations dans les 2 blocs était presque complet et la structure du couvert était devenue très hétérogène. Le taux de changement manifesté dans les 2 blocs semble typique des portions centrale et méridionale de l'ensemble de la forêt. Il semblerait influencé par la nature du couvert originel et par la chronologie des pulvérisations. Malheureusement leur rôle respectif restera toujours du domaine de l'interprétation spéculative, aucune connaissance de terrain n'existant pour les blocs, et même pour la forêt dans son ensemble, avant l'application des défeuillants (GALSTON et RICHARDS, 1984). De plus, les relevés du nombre des missions défoliantes ne sont pas très en corrélation avec la structure des destructions observées sur les photos de 1972. Ceci est peut-être dû aux imprécisions de positionnement, aux différences de concentration du produit, aux quantités utilisées, aux transports latéraux, aux effets différentiels liés à la saison, aux



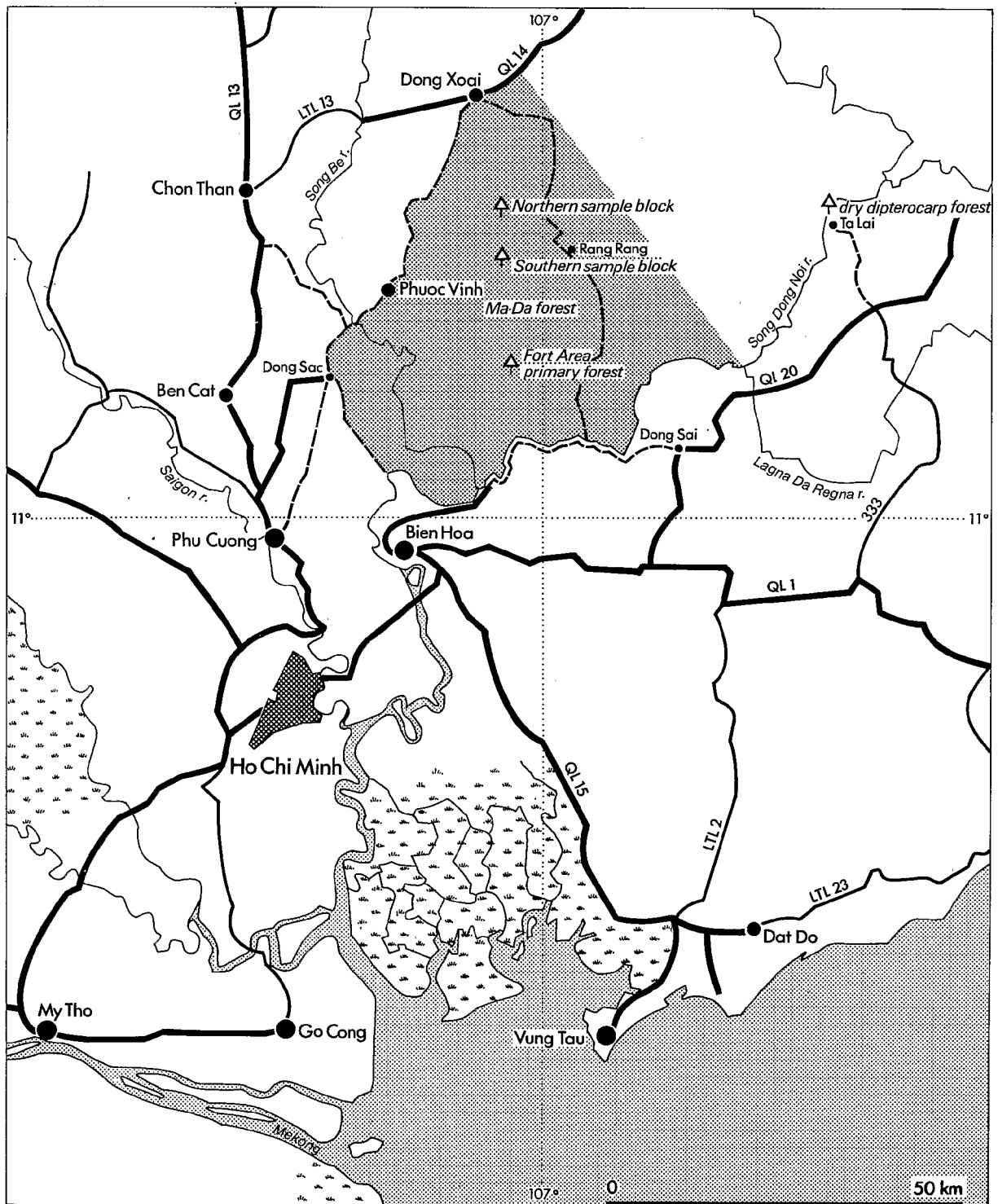
FIG. 4. — Bloc-échantillon Sud Ma-Da, 1965.
Le bloc a 2,5 km de côté.

conditions climatiques ou phénologiques au moment de la pulvérisation. Il n'y a plus aucun moyen de vérification. Les relevés des bandes de pulvérisation sont mieux corrélés avec la structure des dommages dans le bloc sud, visibles sur les photos de 1969 et 1972, bien que le dommage réel semble être dévié de 300 m à l'ouest de ce que le positionnement des bandes indique. Dans le bloc nord, la corrélation est généralement obscure. De plus, la structure de 1972 diffère considérablement de celle de 1969 et suggère qu'il y a eu d'autres pulvérisations entre les deux dates. Comme les 2 blocs sont dans les mêmes bandes, je conclus que leurs dissemblances proviennent en partie des réponses différentes de la végétation dues aux conditions pédologiques, mais surtout de la pratique des cultures, des brûlis et autres modifications sans relation ou seulement en relation indirecte avec la pulvérisation avant, pendant et après la pulvérisation elle-même.

A partir de l'examen approfondi de l'histoire des 2 blocs entre 1965 et 1972 telle qu'elle nous est révélée par les photos aériennes, on peut s'interroger sur la réhabilitation de ces forêts, les interrogations étant complétées par des observations sur le terrain et par l'expérimentation.

Le bloc Sud (Fig. 4-6) est à cheval sur la rivière Ma Da mais principalement au Nord Ouest de la rivière. En

CARTE DES ZONES FORESTIÈRES VISITÉES



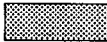


-  Dong Xoai Forest District.
-  Main road.
Route principale.
-  Unpaved road.
Route en terre.

Fig. 2. — Carte indiquant les forêts visitées.

1. Bloc nord.
2. Bloc sud. Forêt de Ma-Da.
3. Forêt primitive, environs du Fort, Ma-Da.
4. Forêt claire, limite de Talai, District forestier de Dong Xoai.

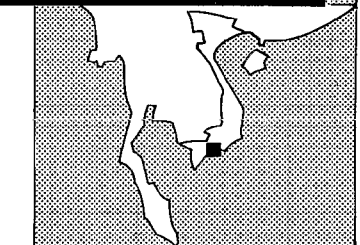




FIG. 5. — *Bloc-échantillon Sud Ma-Da, 1969.*

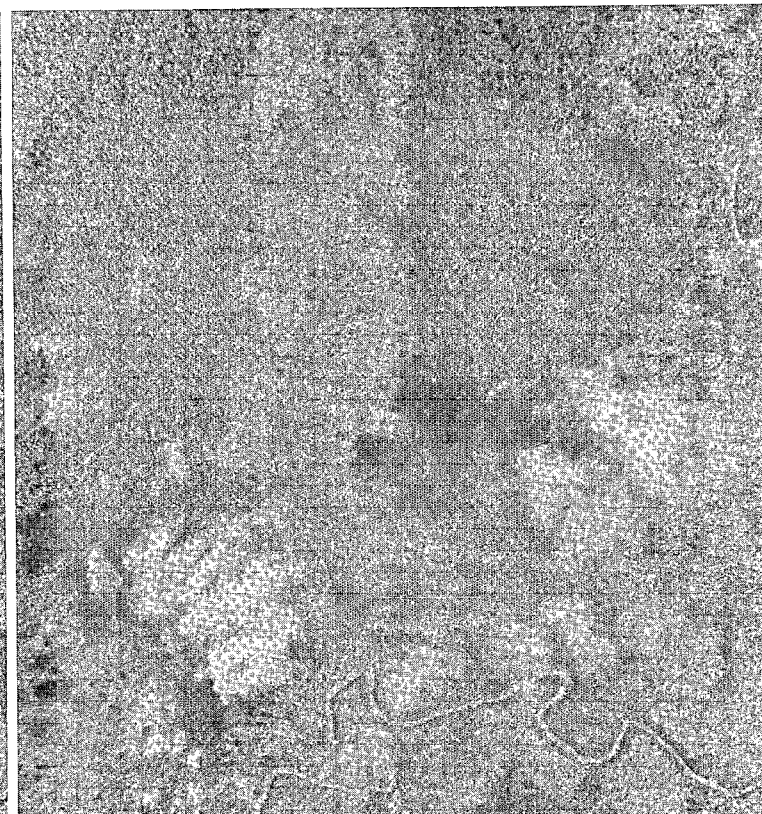


FIG. 6. — *Bloc-échantillon Sud Ma-Da, 1972.*

1965, une grande partie du Nord et de l'Ouest du bloc était occupée par de la forêt à petits houppiers très bien délimitée. Ceci représente une succession dans une série, probablement surtout des espèces pionnières d'au moins 12 ans puisque l'aspect était déjà similaire sur les photos de 1953. Des taches à contours vagues de forêt à petits houppiers dans la vallée représentent probablement des stades plus anciens de succession après culture. En fait, la culture itinérante était active dans la vallée dans le Sud Est du bloc en 1965, avait diminué en 1969 et cessé en 1972. Le reste du bloc était occupé en 1965 par de la forêt à grands houppiers à structure hétérogène dans le couvert, caractéristique des forêts denses à Diptérocarpacées.

Dans ce bloc, la structure la plus frappante sur les photos de 1969 et 1972 était les trois larges traînées Nord Sud de teinte pâle, le long du bord Ouest, légèrement à l'Ouest du centre, et dans le quart Est du bloc. En 1972, une nette différenciation des types de couvert apparaissait à l'intérieur de ces traînées et le couvert entre ces traînées avait aussi subi une modification. Toute la traînée centrale et l'extrémité méridionale des deux autres s'étaient transformées alors en une végétation à couvert uniforme qui est très probablement de la prairie avec quelques arbustes ou arbres disséminés. Les traînées, sous forme de forêt à houppiers clairs en 1969,

étaient parsemées de disques sombres, lesquels se retrouvent, quoique en nombre réduit, dans les prairies de la photographie de 1972. Ceci représente des populations d'une ou plusieurs espèces du couvert qui ont résisté aux agents chimiques.

Sous les tropiques humides, les prairies ne s'établissent que si le feu intervient après la déforestation. La lisière très nette des prairies dans le bloc fortifie la conclusion que le feu a été la cause directe de l'invasion des prairies.

Entre les traînées, il reste de la forêt jusqu'en 1972. L'examen attentif des photos de 1972 indique cependant que les arbres émergents et peut-être tout le couvert supérieur sont morts sauf les disques sombres qui ont visiblement la même densité et les mêmes dimensions que dans la prairie. Il n'est pas possible de déterminer la composition et le stade de succession de la végétation résiduelle sous émergents morts aux houppiers démembrés mais on peut conclure avec certitude qu'elle n'a pas été soumise aux feux. Il n'est pas sans intérêt que le couvert de la succession forestière au Nord et à l'Ouest du bloc semble n'avoir pas été affecté, à l'inverse de la forêt mature des zones plus faiblement pulvérisées. C'est visible dans l'agrandissement des figures 7 et 8 où, en 1972, la forêt résiduelle faiblement pulvérisée était devenue indiscernable des taches

adjacentes de forêt secondaire. L'élimination totale de la forêt mature le long de la marge ouest de la moitié Ouest de l'agrandissement supposée fortement pulvérisée est frappante ; le peu d'arbres tombés y suggère de nouveau qu'ils ont été brûlés. Un autre changement discernable est à noter dans la forêt riveraine d'un petit cours d'eau à l'Ouest de la boucle de la Ma Da qui pénètre au Nord-Est du bloc. Sur la photo 1965, le cours d'eau n'est discernable que grâce à la topographie, mais en 1972, la végétation riveraine est devenue nettement plus pâle que la forêt modifiée environnante. Il peut s'agir de bambusaie.

Le tiers Nord du bloc Nord (non illustré ici) consistait en forêt dense mature en 1965. Au Nord-Ouest, un cours d'eau coulait dans une étroite plaine alluviale avec de la végétation arbustive. La corrélation exacte avec la topographie suggérait que cette végétation était naturelle, et probablement associée à une inondation périodique. Le reste du bloc était occupé par une mosaïque de forêt à petits houppiers entremêlée de bandes et de taches de forêt à grands houppiers hétérogènes, peut-être reliques de la forêt originelle. DINH HIEP, à l'examen de cette photo, a interprété la forêt à petits houppiers comme de la bambusaie. Bien que les types de couverts en 1972 ressemblent en gros à ceux du bloc Sud, leur structure ni ne ressemble beaucoup aux traînées pâles discernables sur la photo de 1969 ni ne se rattache aux données de pulvérisation. L'énormité des dégâts était comparable à ceux du bloc Sud et dans ce qui avait été de la haute forêt on pouvait voir clairement les couronnes squelettiques des émergents morts au-dessus du sous-bois.

HIEP (1984) concluait, probablement avec raison, qu'il ne subsistait pratiquement plus de bonne forêt dans le Dong Nai en 1972. C'est intéressant car les données de pulvérisation et les photos indiquent que des surfaces importantes de forêt n'ont jamais été pulvérisées. Les cartes de 1965 et 1973 de HIEP indiquent aussi la conversion pendant cette période d'une grande étendue de forêt en savane dans la moitié Ouest de la province du Dong Nai. Ainsi que le notent GALSTON et RICHARDS (1984) dans leur article, la cartographie, d'après photos, des structures complexes du couvert après pulvérisation et feu partiel, est extrêmement difficile et inévitablement partiellement arbitraire. Les estimations de volumes de bois résiduels et de volumes perdus seront de ce fait hautement approximatives et ne seront pas tentées ici. J'attire l'attention sur ces difficultés d'interprétation dont dépendra fortement la décision à prendre pour réhabiliter la forêt. Bien que l'augmentation des terres nues (savanes avec ou sans arbustes ou arbres) puisse avoir été surestimée entre 1965 et 1973 par HIEP (1984), la substance de ses conclusions n'est pas remise en cause : les dégâts directement provoqués par la pulvérisation de défoliants et, indirectement, par les feux répétés dans les forêts totalement détruites de la province du Dong Nai ont été immenses.

A partir de ces observations on peut se poser un certain nombre de questions après observation sur le terrain bien que les détails botaniques du dégât originel

soient certainement obscurcis après plus d'une décennie.

1) Quelle est l'amplitude actuelle et l'effet du feu sur la régénération forestière ? La régénération des bonnes essences, en fait de la plupart des espèces de la forêt dense à Diptérocarpacées, est sensible au feu. La forêt à Diptérocarpacées ne peut pas non plus se réinstaller directement dans la masse dense d'herbes vivaces qui envahissent, après le feu, en particulier s'il n'y a pas à proximité une source de semences.

2) Quelles sont les espèces pionnières ligneuses qui se régénèrent dans les savanes herbeuses et dans quelles conditions s'y régénèrent-elles ?

3) Quelles espèces ligneuses survivent à des applications répétées de défoliants ?

4) Quelle est la composition de la forêt résiduelle dans les zones où l'on pense que la pulvérisation n'est passée qu'une ou deux fois ? En particulier est-ce qu'un nombre suffisant de jeunes tiges de Diptérocarpacées et Légumineuses commerciales survit et si oui, établissent-elles maintenant un nouveau peuplement commercial, avec fructification et naissance de régénération sous un couvert réinstallé ?

Sur la base de ces observations et connaissant la littérature sur des forêts similaires de l'Inde et de Birmanie, on peut formuler quelques recommandations concernant les méthodes de reforestation.

Deux zones de la forêt de Ma Da ont été inspectées à pied ; la lisière le long de la route 322 à partir des berges du Dong Nai au Nord de la Piste de Rang Rang a été examinée de loin en voiture. Deux zones sont indiquées sur la figure 2. Celle du Nord est une tentative d'atteindre la partie Sud des blocs dont l'histoire a été interprétée sur photos. Bien qu'on n'ait pas atteint les blocs, on a pu pénétrer les taches de forêt résiduelle modifiée par une pulvérisation relativement faible, ainsi que les plus à l'Est des passages fortement pulvérisés. La zone Sud visitée était en bordure d'une piste vers un fort abandonné.

Selon le personnel de l'entreprise forestière en train d'exploiter la forêt résiduelle, une tache de forêt semi-décidue à Diptérocarpacées soumise à l'exploitation sélective et non pulvérisée subsiste, ce qui est confirmé par les relevés des passages de pulvérisation. Ceci fournissait l'occasion de comparer deux forêts, pulvérisée ou non.

La route 322 suit une bande de savane herbeuse de 500 m de large environ sur presque toute sa longueur. L'histoire de cette bande est inconnue bien que sur les photos il ne semble pas s'agir de débroussaillage (par engin « Rome »). Les sols en bordure de route étaient surtout du type podsolique jaune rouge pâle ; des petits nodules de latérite faiblement concrétionnés étaient visibles par place à la surface ou proche de la surface du sol. Vers l'extrémité Sud, la bande avait été reboisée par des plantations expérimentales. Un petit affleurement de basalte était planté de bananiers. Dans la partie centrale, les feux passent fréquemment en bordure et on trouve de grandes portions herbeuses dominées par *Imperata cylindrica* et *Pennisetum polystachyon* avec

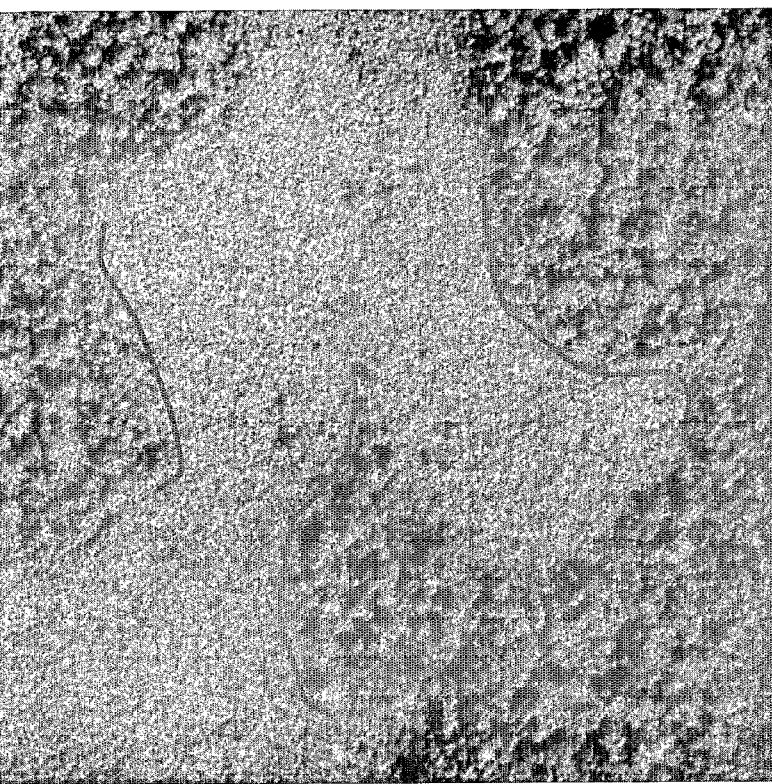


FIG. 7. — Encart, bloc-échantillon sud, 1965 agrandi.

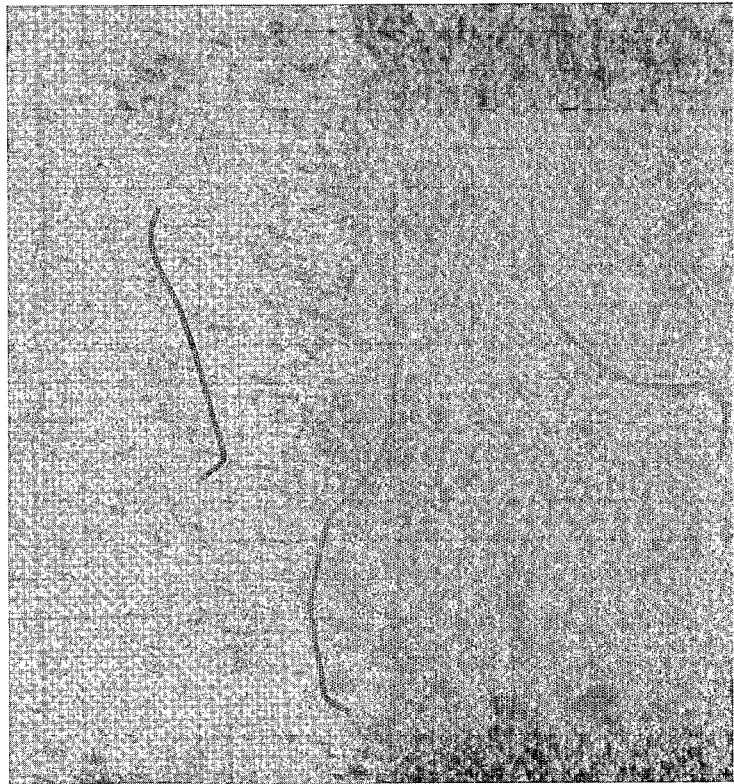


FIG. 8. — Encart, bloc-échantillon sud, 1972 agrandi.

des taches de 2 m de haut d'une espèce épineuse de *Mimosa*. Il y avait des évidences nombreuses de feux récents. Dans la soirée, nous avons vu des ouvriers de l'entreprise, armés et casqués comme des mineurs, partir pour la chasse. Plus tard, lorsqu'on a pénétré la forêt et la savane herbeuse immédiatement au Sud de Rang Rang, on a été impressionné par l'abondance des traces de bovins et de cervidés ainsi que des crottins d'éléphants. Il est très clair que les ongulés prospèrent sur les jeunes pousses après les feux. Tous les chasseurs sous les tropiques brûlent en saison sèche les herbes dures immangeables pour cette raison.

Vers l'extrémité Nord de la route 322 visitée, une végétation ligneuse pionnière était en train d'envahir la savane avec *Adina sessilifolia*, *Randia tomentosa* et *Colona auriculata*. Par endroits le recré surcimentait la route. Nous avons vu aussi quelques jeunes tiges de la légumineuse de forêt mature, *Sindora cochinchinensis*, mais les autres espèces semblaient sans valeur. Néanmoins il n'y a pas de raison que le couvert produit ne favorise pas la réinstallation des essences commerciales de Légumineuses et de Diptérocarpacées qui reviennent, quoique lentement, en raison de leur dispersion limitée et de leur exigence en lumière pour le succès de leur établissement. Des individus isolés de la forêt mature, surtout des Diptérocarpacées, semblent avoir

survécu occasionnellement dans la bande du bord de route mais le survivant ubiquiste, identifié par ses houppiers sombre sur photos, est *Irvingia malayana* (Fig. 1), un arbre de la forêt mature dont le bois est très dur mais peu durable et sans valeur (voir aussi GALSTON et RICHARDS, 1984).

Derrière la bande de savane et de végétation ligneuse pionnière en bordure de route, la lisière abrupte de la forêt dense d'environ 20-35 m de haut était très nette (Fig. 1), sauf près du Dong Nai, où restaient quelques individus-reliques, et près du camp forestier à mi-chemin. L'apparence générale de cette forêt était très similaire à celle de la forêt à Diptérocarpacées en régénération après coupe à blanc, sauf qu'il n'y avait pas les nombreuses pistes de débardage et la destruction qui les accompagne.

Les arbres mûrs étaient totalement absents ou presque, mais il y avait un couvert émergent en reconstitution, atteignant maintenant environ 20 m et de densité modérée, quoique en taches où les principales espèces étaient *Dipterocarpus turbinatus* et *Dipterocarpus dyeri*. En dessous, le couvert restait infesté de lianes.

Nous avons parcouru à pied cette forêt immédiatement au Sud de la Ma Da. Nous avons trouvé des individus et des petits bouquets de jeunes *Dipterocarpus* atteignant jusqu'à 60 cm de diamètre avec des taches

étendues de forêt de hauteur moyenne dans laquelle la phase mature d'essences commerciales semblait absente. Beaucoup plus rares cependant étaient les perchis de Légumineuses : *Sindora*, *Pahudia*, *Dalbergia*, *Pterocarpus* et nous n'avons pas vu la Diptérocarpacée commerciale importante *Anisoptera costata* (= *A. cochinchinensis*), autrefois réputée commune dans ces forêts.

La structure de la végétation observée peut parfaitement s'interpréter comme la régénération du sous-bois de la mosaïque forestière antérieure, forêt dense à Diptérocarpacées et série de succession suivant la culture itinérante, qui était manifeste jusqu'en 1969 sur les photos aériennes de cette région.

Nous avons recherché rapidement les semis des essences commerciales, en particulier des Diptérocarpacées. Plusieurs semis de *Sindora cochinchinensis* furent notés à nouveau dans des petites trouées. Bien que la régénération du bois lourd *Shorea thorelii* (section *Shorea*) soit fréquente en taches, les semis de *Dipterocarpus* étaient rares. Ces observations sont en accord avec les données de régénération levées à Ma Da par l'Institut d'Inventaire. La densité des semis, toutes essences comprises, était d'environ 1.000/ha et de seulement 300 pour les essences commerciales. C'est à cause des faibles densités de régénération d'essences commerciales, en particulier de *Dipterocarpus* que j'avais étudiées au Sud Cambodge dans des forêts denses non exploitées (ASHTON, 1970) et qui sont aussi mentionnées dans la littérature indienne (ex. SETH et DABRAL, 1960) qu'une visite séparée a été faite à une tache relique de forêt supposée non pulvérisée quelques kilomètres au Sud

(Fig. 2). Une pauvre régénération sous cette forêt suggérerait que c'est une situation normale, non liée à la défoliation. C'est ce qui a été le cas.

Des nodules de latérite ont été également notés çà et là à la surface du sol dans cette tache non pulvérisée, ce qui suggère que celles observées dans les savanes secondaires ne sont pas nécessairement la conséquence de la déforestation.

Des arbres du couvert des 2 espèces de *Dipterocarpus* étaient en pleine floraison. Des discussions avec les forestiers confirmèrent que la production des semences était annuelle mais variable et que peu de graines sont viables à cause des insectes et de la prédation, après abattage, par les sangliers et les cervidés, bien que le problème des perruches, noté dans la littérature indienne et rapporté par moi au Cambodge, fut inconnu des ouvriers de Ma Da.

Les Membres de l'équipe qui, en avion, inspectèrent les forêts défeuillées au début des années 70 observèrent que le sous-bois était fréquemment envahi par des bambous. Bien que les bambous aient été présents dans la région visitée, ils étaient dominants le long des berges, comme ce qui était indiqué sur les photos de 1972. Il s'agissait de *Oxytenanthera* spp.

Nous pûmes entrer dans le coin Est de la bande totalement défeuillée la plus à l'Est. Là, les feux récents étaient partout apparents, et il y avait des indications que certains étaient suffisamment intenses pour pénétrer la lisière forestière. Ceci suggère qu'une partie au moins de la déforestation indiquée par HIEP a dû se faire depuis 1973.

DISCUSSION

1. — Zones où du couvert forestier a survécu

La régénération des forêts denses tropicales de plaine après destruction (et même l'aménagement productif de ces forêts par la régénération naturelle) s'est révélée difficile. Les difficultés comprennent le faible taux de croissance des essences commerciales, la disponibilité erratique des graines et semis, les exigences de l'établissement de la régénération.

Un système d'aménagement pratique virtuellement unique parmi les forêts denses tropicales a été conçu pour les forêts à Diptérocarpacées ; unique, en partie parce qu'il y a eu plus de recherches faites sur ce type que sur les autres, en partie aussi, parce que ce type possède certaines caractéristiques sylvoles favorables (WHITMORE, 1984). La forêt dense à Diptérocarpacées est le couvert naturel des régions basses sans saison sèche de Malaysia, Sumatra, Bornéo et des Philippines. Au point de vue composition floristique par familles, en particulier pour la dominance des Diptérocarpacées

dans le couvert, ces forêts à Diptérocarpacées sont analogues à la forêt dense à saison sèche du Viêt-Nam qui ont été principalement soumises aux défoliants. Le « Malayan Uniform System » (BARNARD, 1950 ; WYATT-SMITH, 1963) est une méthode d'aménagement sylvoles visant à constituer un peuplement équienne d'essences commerciales, principalement de Diptérocarpacées, au moyen de la régénération naturelle. Ce système dépend de certaines caractéristiques sylvoles de la forêt dense à Diptérocarpacées, parmi lesquelles quelques-unes sont partagées par la forêt dense à saison sèche. On peut éclairer le problème d'aménagement de cette dernière au moyen de la régénération naturelle par une comparaison.

Les Diptérocarpacées et beaucoup d'autres essences commerciales dans la forêt dense à Diptérocarpacées ont des semences à faible dispersion et sans dormance. Les conditions pour le succès d'établissement des semis

sont contraignantes et impliquent une surface du sol constamment humide et fraîche (ils possèdent des mycorhizes ectotrophes) et l'absence d'une litière épaisse au moment de la chute des graines. L'établissement des semis est par conséquent favorisé dans l'ombre de la forêt ou dans les petites trouées, mais non en pleine exposition à la lumière ou sur les passages compactés des tracteurs. Une fois établis, les semis des essences à bois léger, principalement les Merantis (Diptérocarpacées du genre *Shorea*, sections *Mutica*, *Brachypterae*, *Pachycarpae*, *Rubella*) exigent l'ouverture du couvert pour une croissance optimale (NICHOLSON, 1965). Cependant beaucoup survivent à l'ombre, pendant des périodes allant jusqu'à 5 ans. Par conséquent, après la fructification, des quantités massives de semis s'établissent sous les pieds mères et leur nombre diminue graduellement pendant plusieurs années, en l'absence d'ouverture du couvert.

Le « Malayan Uniform System » prescrit une ouverture maximum du couvert au moyen d'une coupe unique de toutes les essences commerciales suivie de l'empoisonnement du reste des essences, afin de libérer pour la prochaine récolte la régénération déjà établie sur le parterre de la forêt. Le nouveau peuplement sera par conséquent équienne et bien qu'il soit composé d'espèces du peuplement mature plutôt que d'espèces pionnières, il sera dominé par les essences à bois léger et à croissance rapide comme les merantis. La longueur de la rotation est supposée être entre 40 et 70 ans pour les merantis rouges. L'expérience a montré que cela dépendait surtout du régime hydrique dans le sol et de l'ouverture du couvert.

Le « Malayan Uniform System » a encore le sérieux inconvénient d'avoir une révolution trop longue pour que la méthode d'aménagement soit commercialement attrayante, particulièrement s'il y a beaucoup de chômage. La valeur du produit, calculée sur la base de l'unité de temps et de surface, ne peut se comparer avec celle de plantations industrielles comme le palmier à huile ou l'hévéa qui peuvent être développées sur le même terrain. Un système sélectif selon lequel les plus grands arbres sont exploités, mais où les arbres de taille moyenne sont laissés pour la prochaine récolte dans 35 à 40 ans, s'est révélé généralement impraticable à cause de la haute mortalité des arbres de taille moyenne, à la fois dans le peuplement d'origine et aussi comme conséquence des dégâts dus à l'exploitation. Le « Malayan Uniform System » est dépendant d'un emploi prudent des méthodes d'extraction, sinon la régénération préexistante dont dépendent les coupes futures sera détruite.

Superficiellement, une défoliation légère (c'est-à-dire du couvert uniquement) en forêt décidue à Diptérocarpacées du Viêt-Nam semblerait simuler les conditions après exploitation encouragées par le « Malayan Uniform System ». Mais cette forêt à Diptérocarpacées diffère des forêts malaises à plusieurs points de vue fondamentaux. Au lieu des Merantis prédominants les *Dipterocarpus* et *Anisoptera* à croissance plus lente. Il n'est pas possible de prédire la durée de la rotation en

l'absence de données publiées sur l'accroissement ; ce pourrait être de 120 ans (ANON, 1971 ; ASHTON, 1970) mais plus probablement de 80 à 100 ans.

En Inde, la régénération des forêts denses à Diptérocarpacées a été considérée comme difficile pendant longtemps et un grand nombre d'expériences sylvicoles ont été faites pour établir une méthode pratique et fiable. Elles ont été résumées par H. B. JOSHI et ses collaborateurs (cf. TROUP, 1980). A l'inverse de la forêt à Diptérocarpacées de Malaisie où la fructification a lieu à des intervalles pouvant atteindre jusqu'à 8 ans, celle-ci est annuelle mais d'intensité variable dans les forêts denses à Diptérocarpacées soumises à une saison sèche.

Les semences des Diptérocarpacées sont riches en graisses à longue chaîne. Dans les Tropiques à saison sèche, les peuplements sont généralement fortement parasités par les larves de scolytes et souvent aussi par les perruches (cf. CHENGAPA, 1934). Les semences des Légumineuses commerciales qui sont les principales associées des Diptérocarpacées dans les forêts de plaines du Sud Viêt-Nam sont probablement aussi parasitées par des larves de bruchides, comme c'est le cas dans d'autres forêts (cf. JANZEN, 1975). La chute des graines coïncide avec l'installation des pluies de mousson.

Sauf avec les régimes hydriques les plus favorables et au cours d'années exceptionnellement humides, la grande majorité des semis qui s'installent pendant la mousson ne survit pas à la première année. Beaucoup de graines germées meurent parce que la radicule ne peut pénétrer la litière épaisse encore existante au début de la mousson, en particulier sous les *Dipterocarpus*. Chez le Sal (*Shorea robusta*) du Nord-Est tropical de l'Inde, la mortalité est la plus forte pendant la première mousson et est considérée comme associée à la densité de la litière sous l'arbre mère (ex. BAILEY et CHAMPION, 1927). La plupart du temps il n'y a aucun survivant. Il est probable, par conséquent que la régénération existe dans la nature grâce à la survie, à longs intervalles, de taches de semis résultant de la coïncidence de fortes fructifications et de conditions climatiques exceptionnellement favorables au moment de l'installation et après elle. Des observations minutieuses, portant sur de nombreuses années, sont nécessaires pour confirmer cette supposition. C'est pour ces raisons qu'il est probable que la régénération est à tout moment très variable sur le parterre de la forêt, et généralement inadéquate pour assurer un nouveau peuplement (ASHTON, 1971 ; JOSHI et coll. in TROUP, 1980). Il serait donc obligatoire, en général, de réserver des semenciers. Mais ainsi, la régénération est problématique à cause de la faible dispersion des Diptérocarpacées et de la plupart des Légumineuses, et en raison des exigences d'installation, conditions qui ne sont certainement pas rencontrées dans les fourrés denses qui suivent une coupe à blanc. C'est apparemment pour ces raisons qu'en Indochine les forêts denses à Diptérocarpacées ont été aménagées par coupes d'abri : plusieurs coupes partielles sont faites pendant 10 à 20 ans, ce qui ouvre progressivement le couvert et assure en même temps une source continue de semences, dans le but d'établir un nouveau

peuplement équienne. Ce système s'est révélé insatisfaisant avec les engins lourds de l'exploitation industrielle parce que trop de dommages sont causés à la régénération installée.

Il n'est donc pas surprenant que la destruction du couvert forestier par les défoliant conduise à un changement dans la composition floristique, notamment à la diminution de la densité des Diptérocarpacées et des Légumineuses, voire à leur élimination, dans le sous-bois, si les pulvérisations sont répétées sur de grandes superficies. Cela dépend beaucoup de la proportion de la régénération qui a été détruite. Si elle survit, quelques Diptérocarpacées et Légumineuses peuvent proba-

blement se frayer un chemin à travers le fourré dense des lianes et bambous qui dominera sans doute les premiers stades de la succession.

Je conclus donc de nos observations que dans la forêt à Diptérocarpacées de Ma Da qui a été pulvérisée **moins de 3 fois**, il subsiste un sous-bois avec des perches d'essences commerciales suffisant quoique appauvri, pour assurer un nouveau peuplement. Il pourra atteindre la maturité environ 40 ans après défoliation. De plus, l'établissement de semis à partir des jeunes arbres survivants ayant déjà atteint l'âge de reproduction devrait pouvoir se transformer en un peuplement comparable à l'ancien en 80 à 100 ans.

2. — Régions où la forêt originelle a été presque totalement détruite

Quand il y a eu 3 pulvérisations ou plus sur une large bande, le feu est généralement intervenu et la forêt a été complètement détruite comme d'autres observateurs l'on rapporté pour la mangrove. Il n'est pas possible, dans notre levé limité à Ma Da, 10 ans après la défoliation, d'identifier les zones qui ont été pulvérisées mais jamais brûlées, même avec l'aide des photos aériennes 1972. Par conséquent, il reste impossible de connaître si une régénération quelconque de forêt primaire a survécu dans des surfaces pulvérisées 3 fois ou plus mais non soumises au feu.

Alors que je crois que les conclusions obtenues à partir de mes observations à Ma Da concernant les effets de moins de 2 pulvérisations sur la forêt dense peuvent être généralement extrapolées à d'autres forêts denses de plaine du Sud Viêt-Nam, celles qui concernent les surfaces plus fréquemment pulvérisées doivent d'abord être vérifiées par une étude de terrain plus approfondie basée sur le calendrier des pulvérisations et la photographie de 1972.

Les intrusions de savanes, quelles que soient leurs origines, constituent un problème d'aménagement encore plus préoccupant que les zones forestières survivantes. A moins que le feu puisse être exclu pendant une période suffisamment longue pour engendrer un couvert fermé, la reforestation se révélera probablement impossible. Bien qu'il existe des espèces ligneuses pionnières résistant au feu, comme *Prosopis* spp. et *Eupatorium odoratum*, elles sont hautement envahissantes et ont exclu, par compétition, la régénération des essences commerciales dans d'autres régions tropicales. Une alternative moins risquée serait d'essayer de planter des espèces résistant au feu de la forêt claire à Diptérocarpacées. *Dipterocarpus intricatus*, par exemple, qui pousse au Viêt-Nam, à la fois en forêt claire et en forêt dense, semblerait particulièrement prometteur. Cependant, ces espèces sont aussi sensibles au feu pendant les premières années qui suivent la plantation.

Si la défense contre les feux peut être assurée quelque temps, deux approches de reforestation des savanes

secondaires peuvent être envisagées. Aucune ne compte sur la régénération naturelle. Trop peu des premiers arbres pionniers sont d'intérêt commercial et la faible dissémination des graines des essences de qualité de la forêt dense, jointe à leurs exigences pour l'installation des semis, interdit leur retour rapide.

La solution la plus simple est celle adoptée actuellement par l'entreprise forestière, c'est-à-dire la plantation d'espèces de bois de feu et d'industrie à croissance rapide. *Acacia auriculaeformis* marche bien comme on pouvait s'y attendre. D'autres espèces qui vaudraient la peine d'être essayées sont *Acacia mangium*, *Albizia falcataria*, *Albizia lebbek* et *Gmelina arborea* qui, toutes, constituent un couvert empêchant le feu. Parmi elles *A. falcataria* et *G. arborea* décevront très probablement sur les sols pauvres qui dominent à Ma Da. *Pinus* spp (ex. *P. caribaea*, *P. merkusii*), *Eucalyptus* spp et l'essence pour allumettes et bois de feu *Gymnostoma nobile* (confondue autrefois avec *Casuarina sumatrana*) pourraient être essayées mais sont susceptibles au feu pendant une longue période parfois même en permanence. Parmi elles *Acacia*, *Albizia*, et *Casuarina* sont porteurs de nodules et fixent l'azote.

L'autre alternative serait d'établir un couvert, de préférence avec une essence commerciale à croissance rapide, et houppier large et léger comme *Albizia falcataria* ou, mieux peut-être, l'essence de qualité *Samanea saman*, avec plus tard en sous-bois des essences commerciales de forêt dense à croissance plus lente. Parmi elles, celles à préférer par leur meilleure croissance seraient : *Dipterocarpus* spp, *Anisoptera costata* et *Heritiera javanica* (*Tarrietia cochinchinensis*).

Il est clair que pour l'instant nous avons une connaissance inadéquate des conditions de milieu pour recommander des espèces et des méthodes concernant des plantations à grande échelle dans des zones à risque d'incendies. Par conséquent, il faudrait d'abord essayer des plantations expérimentales à petite échelle dans des conditions variées de milieu.

Les latosols rouges dérivés des basaltes qui, au Viêt-Nam, portent quelques forêts denses qui ont été soumises à la défoliation conviennent au Teck le quel y a déjà

été planté mais des cultures industrielles, en particulier le palmier à huile, le cacao et l'hévéa sont probablement plus rémunératrices, en général.

FORÊT CLAIRE À DIPTÉROCARPACÉES

DISCUSSION

Nous n'avons pu visiter qu'une station où de la forêt claire avait été défoliée, apparemment fortement. C'était près du village de Talui, dans le Sud Est de la Province de Lam Dong et au Nord de la Route QL 20. Les observations suivantes et les conclusions sont provisoires en raison de l'information limitée.

La zone endommagée consiste en une ceinture d'environ 500 m de large qui traverse des reliefs bas, sur alluvions sableuses à l'endroit visité. La forêt claire occupe la plaine sableuse, tandis que les *Irvingia* isolés qui parsèment les pentes adjacentes occupées seulement de graminées et de bambous, attestent qu'elles portaient autrefois de la forêt dense.

Des taches de forêt claire plus ou moins perturbée persistaient de chaque côté de la bande défoliée. La forêt y avait une hauteur d'environ 30 m avec un couvert semi-décidu dominé par des *Dipterocarpus* surtout *D. intricatus*. En dessous on observait une strate herbacée dense avec une régénération ligneuse éparsée.

Dans la zone défoliée, la plupart des arbres étaient morts mais de nombreux fûts étaient encore debout, la base calcinée jusqu'à 15 m de haut quelquefois. En supposant que la défoliation soit vraiment la cause de la mortalité, il est difficile de comprendre pourquoi ces arbres sont encore debout, à l'inverse de ce qui se passe en forêt dense. Il est possible que l'inondation périodique empêche les racines de pourrir. Mais de nombreux arbres montrent des gourmands (Fig. 9) et une explication plus probable est que les espèces de ce type forestier ont une propension plus grande à donner des gourmands que la plupart des espèces de forêt dense. L'interprétation se complique du fait de la culture presque totale, actuellement ou dans le passé, du sol sous forêt défoliée. On a noté du sésame et des chaumes de culture annuelle de riz, et dans ces champs, des souches rejetant de *D. intricatus* (Fig. 10), de *Parinari annamense*, ainsi que d'autres espèces, mais les rejets sont coupés annuellement par les cultivateurs. Nous avons été informés (HOANG HOE, comm. per.) que *P. annamense*, espèce présente aussi en forêt dense, y résiste exceptionnellement bien à la défoliation, mais nos observations ont été trop limitées pour le confirmer.

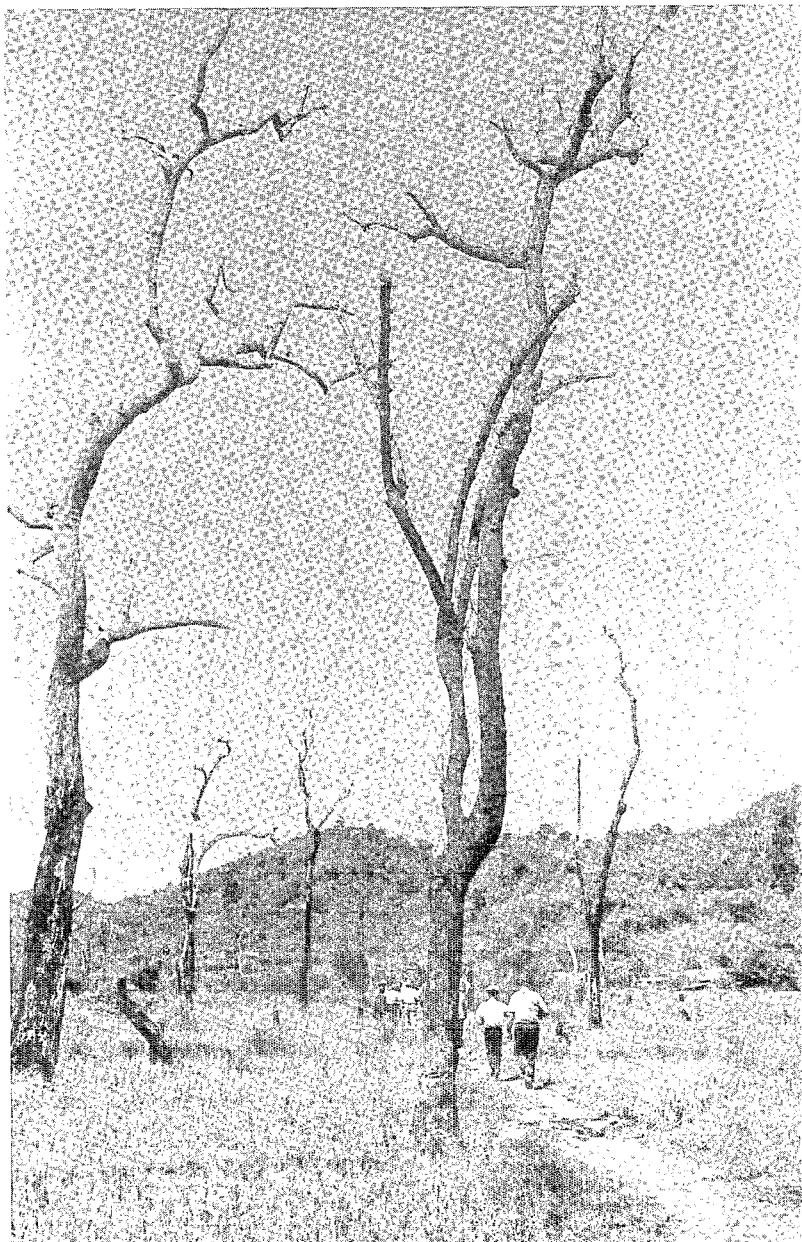


FIG. 9. — Forêt claire morte, défoliée et incendiée, Talui, 1982. Noter les fûts calcinés et les gourmands morts sur les troncs et les branches de l'*Hopea odorata* annelé, au centre. Les autres arbres sont *Dipterocarpus intricatus*.

latérites. Sur les sols squelettiques, issus de roches granitiques ou volcaniques, *Shorea* (Pentacme) *siamensis*, *Shorea roxburghii* (*S. cochinchinensis*) et des Légumineuses décidues dominent (ROLLET, 1952 ; VIDAL, 1960). Le sous-bois consiste en régénération ligneuse sempervirente, ou en un tapis herbacé pérenne si les feux sont fréquents. Bien qu'une seule espèce commerciale puisse être dominante dans le couvert, le volume sur pied, généralement bas, les formes défectueuses et bas branchues font que ces forêts ont une valeur moindre que les forêts denses.

L'espèce des forêts sèches indiennes à Diptérocarpacées (*Shorea robusta*) est l'un des arbres tropicaux qui ont été le plus étudiés. JOSHI et coll., in TROUP (1980), présentent une revue détaillée de la littérature. Le succès de l'installation des semis de forêts claires est notablement erratique dans la nature mais peut être amélioré par des feux courants avant la chute des graines, ce qui élimine l'incendie pendant plusieurs années. Une fois le pivot établi, les jeunes tiges survivent des années bien qu'elles soient rabattues annuellement par les feux. Un système racinaire robuste se développe qui rejette en début de mousson. Des conditions favorables peuvent permettre à un leader de s'affranchir et de développer une écorce épaisse résistant au feu.

De nombreuses espèces de ces forêts ont une grande capacité à rejeter et à développer des gourmands à l'inverse des espèces de forêts denses rappelant ainsi d'autres arbres de savanes comme les Eucalyptus. Des

forestiers Vietnamiens nous ont rapporté que certaines Diptérocarpacées peuvent développer des gourmands après défoliation. Je n'en ai pas vu l'évidence à Ma Da et je soupçonne que les espèces évoquées se réfèrent à la forêt claire.

Je conclus provisoirement que la défoliation semble avoir eu un effet très différent, quoique sérieux, sur les forêts claires. Si les feux fréquents et quelquefois intenses comme les fûts morts en témoignent, avaient pu être empêchés, il est fort probable que beaucoup d'arbres du couvert auraient survécu et développé des rejets. Néanmoins leur forme aurait été affectée et leur valeur commerciale diminuée. La pulvérisation du couvert ayant grandement augmenté le risque d'incendie, la régénération par rejets ou brins préexistants n'aurait pu se faire qu'en cas de feux courants et peu fréquents.

Par conséquent, dans le cas des forêts claires, et si on envisage la reforestation, on recommande l'exploitation des arbres survivants mais endommagés, et de faire suivre, autant d'années qu'il sera nécessaire, par des feux légers contrôlés en début de saison sèche pour permettre aux rejets des essences commerciales de se développer suffisamment pour s'affranchir des feux. En l'absence de systèmes racinaires suffisants pour installer par rejets un nouveau peuplement, la plantation sera alors nécessaire. On aura ainsi le même type de problème que pour les savanes secondaires en forêt dense, mais encore plus épineux ici à cause de la saison sèche plus longue et de la combustibilité encore plus grande.

POUR LE FUTUR

De ce qui précède, il est tentant de conclure que le futur de la foresterie dans les plaines du Viêt-Nam doit être dans les plantations pures. Quoique les plantations doivent jouer un rôle important, l'expérience dans d'autres pays indique qu'il serait extrêmement dangereux de dépendre d'elles exclusivement. L'inconvénient principal à long terme des plantations forestières monospécifiques dans les terres basses tropicales humides est leur propension aux insectes et aux maladies. Le climat de plaines au Viêt-Nam surtout dans les zones à forêts denses est tel que les insectes et les maladies cryptogamiques peuvent se développer et se multiplier toute l'année sans obstacle climatique. Le coût des traitements pesticides, même pour des cultures pérennes, peut devenir rapidement prohibitif. Le moyen le meilleur marché pour réduire les épidémies est l'utilisation mixte des terres, y compris le maintien des surfaces importantes sous forêt naturelle, et plantations mélangées (KLINGAUF, 1983).

La foresterie de plantation, et en particulier les systèmes d'aménagement à courte révolution pour la pâte à papier et le bois de feu, expose complètement le sol au moment de l'exploitation. Sur les terrains pentus et les sols sableux infertiles où les concentrations suffisantes

d'éléments minéraux sont liées à un horizon organique de surface, la foresterie de plantation comprend un sérieux risque, en termes respectifs d'érosion physique et climatique du sol. Ici la nécessité d'un aménagement prudent des forêts naturelles restantes, soit comme protection, soit en rendement soutenu par coupes d'abri, est indiscutable.

Les principaux facteurs de faisabilité d'une foresterie par essences mélangées sont socio-économiques. L'aménagement en rendement soutenu des forêts tropicales pour un produit uniforme à grande échelle, soit pour l'exportation soit pour la grande industrie comme la pâte à papier se révèle très difficile. Les plus grands succès ont été obtenus avec des essences exotiques, comme l'Hévéa du Brésil, en Extrême Orient, ou le Gmelina, au Brésil, mais même là les maladies augmentent et demandent une protection chimique de plus en plus onéreuse.

Si au contraire, dans la politique forestière, priorité est donnée aux besoins des communautés nationales et locales, et par conséquent au développement de petites et moyennes entreprises locales pour les besoins locaux de bois de construction, les meubles, le bois de feu, la



FIG. 10. — *Souche de Dipterocarpus intricatus rejetant en forêt claire défoliée convertie en rizière, Talai, 1982.*

pisciculture et la chasse, la conservation et la qualité des eaux, alors les besoins sylvicoles, économiques et sociaux coïncideront avec une politique mixte de foresterie et d'utilisation des terres. Une telle foresterie doit reposer sur une main-d'œuvre et un machinisme légers, procurant ainsi un emploi élevé et durable, d'une part, et des dégâts minimums à la régénération naturelle, d'autre part. Ceci a été la base de l'utilisation traditionnelle des terres à haut rendement en Asie : les terres irriguées sont réservées au riz, les habitations sont situées sur des terres inaptes à l'irrigation et sont entourées de vergers à espèces mélangées ; sur les collines environnantes, la forêt primitive est conservée et utilisée comme source de bois de feu, de bois de construction, de protéines, fibres et autres produits. On retiendra que la population du Viêt-Nam aura doublé lors de la prochaine rotation tandis que la population des principaux pays importateurs de bois n'aura probablement pas augmenté de plus de 10 %.

L'utilisation mixte des terres qu'on recommande ici, et qui inclurait des forêts multispécifiques, ainsi que des plantations pures ou mélangées quand la forêt originelle a été détruite par défoliation exige un aménagement rigoureux. Le test sera la lutte contre les feux. Celle-ci peut être assurée par un personnel forestier spécial et bien entraîné, ou par une autorité commissionnée et bien informée dans les communautés locales.

Un tel aménagement prudent, à la fois dans les plantations et la forêt naturelle, doit être atteint au Viêt-Nam, pour servir à la fois l'économie locale et régionale. Sur cette base, il y a la possibilité d'énormes progrès dans la productivité. Une grande partie de la terre autrefois sous forêt et affectée par la défoliation semble convenir à un tel mode de colonisation et d'utilisation. Comme partie intégrante de l'utilisation des terres la plus haute priorité doit être donnée à la conservation et à l'aménagement prudent des forêts naturelles qui subsistent encore.

BIBLIOGRAPHIE

ANON, 1971. — *Forest Survey of the lowlands west of the Cardamomes Mountains. Cambodia. Final report.* FAO/SF : 9 ; CAM6. UNDP-FAO, Rome.

ASHTON (P. S.), 1970. — *Inventaire forestier des terres basses du versant occidental des monts Cardamomes.* FAO/SF/CAM6. Rapport technique 5. UNDP-FAO, Rome.

- ASHTON (P. S.), 1978. — Crown characteristics of tropical trees. In P. B. Tomlinson and M. H. Zimmermann (eds.). *Tropical trees as living systems*, Cambridge University Press, 591.
- BAILEY (W. A.), CHAMPION (H. G.), 1927. — Sal germination in the United Provinces. *Ind. For.* 53 : 190-194.
- BARNARD (R. C.), 1950. — The elements of Malayan silviculture. *Malayan Forester*, 13 : 122.
- BLANFORD (H. R.), 1915. — Some notes on the regeneration of In and Kanyin in an Upper Burma division. *Ind. For.*, 41 : 78.
- BURGESS (P. F.), 1975. — In T. C. Whitmore. *Tropical forests of the Far East*. Clarendon, Oxford.
- CHAMPION (H. G.), 1936. — A preliminary survey of the forest types of India and Burma. *India For. Rec.* (New Series) 1.
- CHENGAPA (B. S.), 1934. — Andaman forests and their reproduction. *Ind. For.*, 60 : 56, 117, 185.
- GALSTON (A. W.), RICHARDS (P. W.), 1984. — Terrestrial plant ecology : and overview. In A. H. Westing, ed. *Herbicides in War. The long-term technological and human consequences*. SIPRI, Stockholm, pp. 39-42.
- HIEP (Dinh.), 1984. — Long-term changes in dense inland forest following herbicidal attack. In A. H. Westing, ed. *Herbicides in War. The long-term technological and human consequences*. SIPRI, Stockholm, pp. 39-42.
- JANZEN (D. H.), 1971. — Escape of *Cassia grandis* L. beans from predators in time and space. *Ecology*, 52 : 964.
- JANZEN (D. H.), 1975. — Behavior of *Hymenaea courbaril* when its predispersal seed predator is absent. *Science*, 189 : 145.
- KLINGAUF (F.), 1982. — Do developing countries require chemical plant protection ? *Plant research and Development*, 16 : 74 (Tubingen).
- MYERS (N.), 1980. — *Conversion of tropical moist forest*. National Academy of Sciences. Washington, p. 205.
- NICHOLSON (D. I.), 1965. — A study of virgin forest near Sandakan, North Borneo. *Proceedings of the symposium on ecological research into humid tropics vegetation*. UNESCO. Kuching, p. 67.
- NIXON (A. B.), 1929. — The uniform compartment system in the Yinke reserve, Burma. *Ind. For.*, 55 : 293.
- ROLLET (B.), 1952. — Etudes sur les forêts claires du sud indochinois. *Recherches forestières (Saigon)*, p. 250.
- ROLLET (B.), 1962. — Inventaire forestier de l'Est Mekong. Rapport FAO, 1500, p. 184.
- SETH (S. K.), DABRAL (S. N.), 1960. — Characteristic features of natural regeneration under various tending schedules in Holong-Nahor (*Dipterocarpus-Mesua*) forests of Assam. *Ind. For.*, 86 : 355.
- SIPRI, 1976. — *Ecological consequences of the second Indochina war*. Almquist and Wiksell, Stockholm, 119 p.
- TROUP (R. S.), 1980. — *Silviculture of Indian Trees* (new revised edition). II. Dipterocarpaceae. Joshi, H. B. and editorial staff. Dehra Dun.
- UNWIN (R.), 1931. — Regeneration of « In » (*Dipterocarpus tuberculatus*), Yinke reserve, Katha Division. *Ind. For.*, 57 : 150.
- VIDAL (J.), 1960. — La végétation du Laos. 2. Groupements végétaux et flore. Toulouse : Douladoure, 541 p.
- WHITMORE (T. C.), 1984. — *Tropical Rain Forests of the Far East*. Clarendon, Oxford, 352 p.

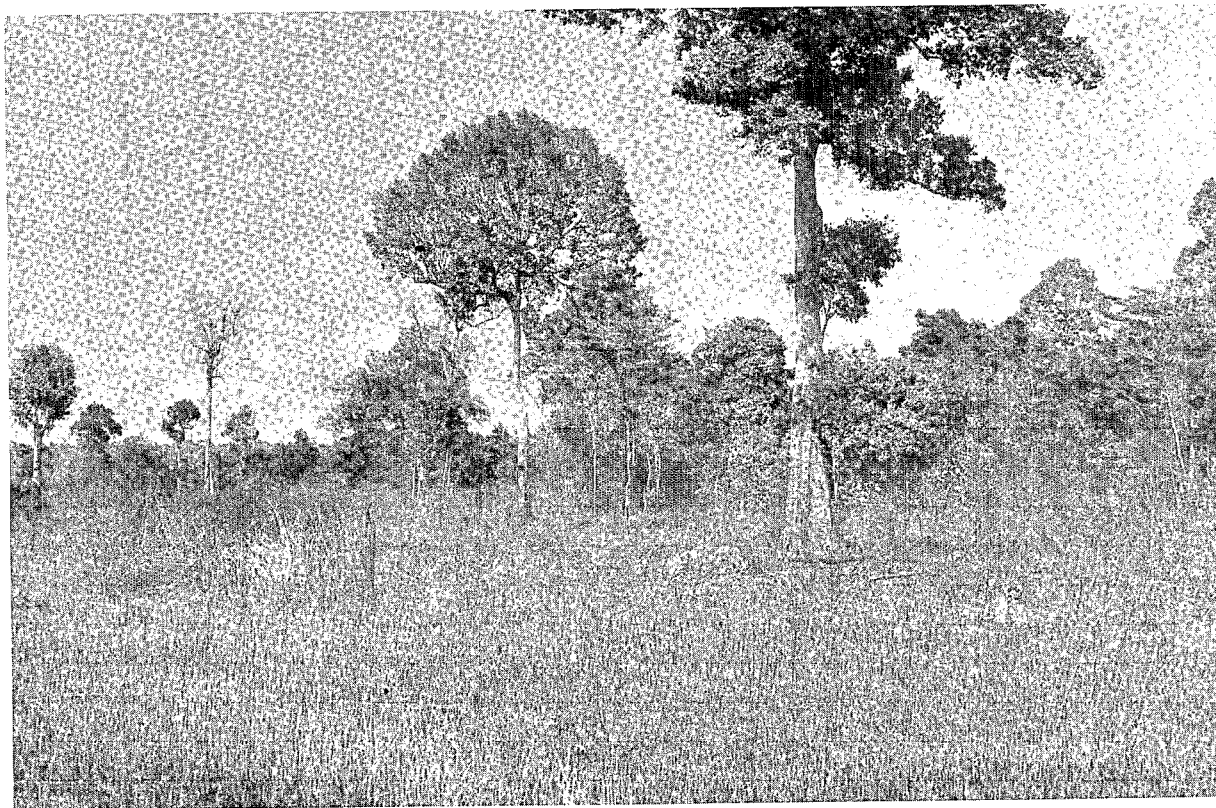


FIG. 1. — Forest grassland edge, 2 km west of former Rang-Rang air-strip, 1982. Recently burned in foreground. Free standing trees are *Irvingia malayana*. Young emergent in forest on right is *Dipterocarpus turbinatus*.

REGENERATION IN INLAND LOWLAND FORESTS IN SOUTH VIET-NAM ONE DECADE AFTER AERIAL SPRAYING BY AGENT ORANGE AS A DEFOLIANT *

by Peter S. ASHTON

Arnold Arboretum, Harvard University, Cambridge, MA. USA

ABSTRACT

In January 1983, lowland evergreen forests in southern Viet-Nam, for which aerial photographic and chemical spraying records were available, were visited to evaluate residual effects one decade after spraying had ceased. The direct effects of chemical defoliants on forests were immediate, and the chemicals responsible for defoliation do not persist in the ecosystem. The resultant

* This paper is expanded from a lecture presented at an International Symposium, held in January 1983, in Ho Chi

Minh City on the long-term ecological and human consequences of chemical warfare in Viet-Nam.

damage varied greatly in intensity. In the majority only the canopy was destroyed, and regeneration existing below has survived to form a new stand. In substantial areas of the two forests examined, though, all but a few tree species were killed. In these areas burning, presumably man-induced, ensued and continues to occur annually in accessible areas, arresting woody succession and leading to semi-stable secondary savannas. The spatial pattern of damage resulting as a direct effect of defoliation is therefore generally no longer discernable. Two principal inland dry land climax forest formations occur in the seasonal lowlands of South Viet-Nam, both generally dominated by the important timber family Dipterocarpaceae. The predominant is a seasonal evergreen forest, which is fire-sensitive; but in drier, western areas fire-climax savanna woodlands occur. In the savanna woodlands many trees, following spraying, sprouted from the butt, or higher on the trunk. It is concluded that all forests effected will take long to recover through natural regeneration, and that the main consequence of defoliation has been to facilitate the penetration of secondary savanna into the evergreen zone. Substantial investment in research and development of plantation forestry is recommended.

RÉSUMÉ

LA RÉGÉNÉRATION DANS LES FORÊTS DE PLAINE DE L'INTÉRIEUR DU SUD-VIÊT-NAM DIX ANS APRÈS PULVÉRISATION AÉRIENNE DE L'AGENT ORANGE COMME DÉFOLIANT

En janvier 1983, l'auteur a visité des forêts denses de plaine au Sud Viêt-Nam pour lesquelles des photos aériennes et des données sur la pulvérisation chimique étaient disponibles, et dans le but d'évaluer les effets résiduels dix ans après l'arrêt de la pulvérisation. Les effets directs des défeuillants chimiques sur les forêts ont été immédiats et les produits chimiques responsables de la défoliation ne persistent pas dans l'écosystème. Le dommage résultant varie beaucoup en intensité. En général seul le couvert a été détruit et la régénération existante a survécu pour former un nouveau peuplement. Mais dans des portions importantes des deux forêts examinées, toutes les espèces d'arbres ont été détruites à de rares exceptions près; par action probable de l'homme le feu parcourt tous les ans ces surfaces, arrêtant la succession et conduisant à des savanes secondaires plus ou moins stables. L'impact spatial des dégâts résultant de l'effet direct de la défoliation n'est, par conséquent, plus discernable en général. Deux climax forestiers principaux se rencontrent au Sud Viêt-Nam, tous deux dominés par la famille des Diptérocarpées importante pour les bois d'œuvre. La formation prédominante est une forêt sempervirente légèrement décidue et sensible au feu mais dans l'ouest on trouve des savanes arborées plus sèches et pyrophiles (*).

Dans ces savanes, beaucoup d'arbres ont rejeté de souche ou se sont couverts de gourmands après pulvérisation. On conclut que toutes les forêts affectées demanderont longtemps pour se régénérer par voie naturelle et que le principal effet de la défoliation est d'avoir facilité la pénétration des savanes en forêt dense. On recommande de faire un investissement substantiel dans le domaine des recherches et le développement des plantations.

(*) Traduction approximative du fire climax de CLEMENTS, expression discutable. Une expression plus appropriée serait fire pseudoclimax, ou fire peniclimax. Dans la suite de l'article l'expression seasonal evergreen dipterocarp forest a été tra-

duite (approximativement et en abrégé) par forêt dense à Diptérocarpées. Le mot seasonal indique qu'une très faible proportion du couvert est décidue en saison sèche, N.d.T.

RESUMEN

REGENERACION EN LOS BOSQUES DE PLANICIE EN EL INTERIOR DEL VIET-NAM DEL SUR; DIEZ AÑOS DESPUES DE LA PULVERIZACION AEREA DEL AGENTE NARANJA UTILIZADO COMO DEFOLIANTE

En 1983, se ha procedido a la visita de los bosques densos de planicie de Viet-Nam del Sur, para los cuales se disponía de fotografías aéreas y de datos diversos acerca de la pulverización química, con objeto de proceder a una evaluación de los efectos residuales diez años después de la pulverización. Los efectos directos de los defoliantes químicos en los bosques fueron inmediatos y los productos químicos responsables de la defoliación no persisten en el ecosistema. Los daños resultantes varían mucho en cuanto a su intensidad. Por lo general, únicamente fue destruido el vuelo vegetal y la regeneración existente se ha manifestado positivamente para constituir una nueva repoblación. Pero, en cambio, en dos importantes áreas de los dos bosques examinados, se ha comprobado que todas las especies de árboles quedaron destruidas, salvo en casos muy contados. Debido probablemente a la acción del hombre, el fuego hace su aparición todos los años en estas áreas, interrumpiéndolo la sucesión y dando lugar a sabanas secundarias, más o menos estables. El impacto espacial de los daños derivados del efecto directo de la defoliación ha dejado así de ser discernible, por lo general. Dos climax forestales principales se encuentran en Viet-Nam del Sur, ambos dominados por la familia de las Dipteroarpáceas, importante para la madera para la construcción. La formación predominante es un bosque de perennifolia ligeramente caduco y sensible al fuego, pero en cambio, se encuentran hacia el oeste sabanas arbóreas más secas y pirófilas (*).

(*) Traducción aproximada del fire climax de Clements, que nos parece una expresión discutible. Una expresión más propia podría ser la de fire pseudoclimax, o fire peniclimax. Poco más adelante en este artículo, la expresión seasonal evergreen dipterocarp se ha traducido (aproximadamente y de forma resu-

mida), por bosque denso de Dipteroarpáceas. El término seasonal indica que, durante la estación seca, una proporción muy reducida del vuelo vegetal es caduca. Nota del traductor francés.

to the surrounding heterogeneous-canopied forest, could provide one if not the only explanation for canopy variation (e.g., ROLLET, 1952). Other extensive areas of small-crowned forest, which occupied almost half of the northern block, can be interpreted as bamboo brakes, which may also be of secondary origin (DINH HIEP. pers. comm.). HIEP (1984) estimates that 68 % of Dong Nai Province was forested in 1965 ; but, of this forest, only 15 % was « rich », which I understand to mean primary evergreen dipterocarp forest.

2. A change of albedo in parts of the forest bordering route 322 south of the Ma-Da river was already apparent in 1965, suggesting that some spraying had already occurred, while a clearly defined defoliated strip following the Ma-Da river valley, immediately west and for some distance to the east of the crossing of route 322, had appeared. (The Rang-Rang army airstrip had been established immediately south of the road crossing in the sixties. The strip was abandoned prior to 1972.)

The 1969 photography first indicated the extensive, north-south, swaths of spraying that occurred in the area of the blocks under observation. At that time, the effects of spraying were manifested as changes in the albedo of the forest canopy : the crowns had turned a uniform pale greyishwhite in the black-and-white photographs ; defoliation was not apparent though the quality of the photography was poor and it could not be precluded.

By 1972, the effect of the sprayings within the two blocks was almost ubiquitous, and the pattern of vegetation cover had become extremely heterogeneous. The range of change manifested in the two blocks seems to be typical of the central and southern parts of the forest as a whole. It appeared to be influenced both by the nature of the original cover, and the history of the spraying. Unfortunately, interpretation of the relative role of each must remain speculative. No ground truth existed for the blocks, or indeed for the forest as a whole, prior to the application of the defoliants (GALSTON and RICHARDS, 1984). Also, the records of the number of spraying missions do not correlate closely with the pattern of forest destruction seen in the 1972 photographs. This could be due to inaccuracies in the records, to differences in the quantity or concentrations applied, to drift, or to differential effects caused by the season or climatic conditions when the spraying took place or the phenological conditions of the trees at the time. There is no way now to be certain. The records of the numbers of spraying runs correlate best with the pattern of damage seen in both 1969 and 1972 photography of the southern block, though the actual damage there seems to be shifted c. 300 m west of what the records indicate. In the northern block, correlation was mainly obscure. Further, the 1972 pattern differs



FIG. 4. — Southern sample block, Ma-Da, 1965. The block is 2.5 km square.

considerably from the 1969, suggesting additional spraying between these two dates. As the two blocks are situated along the same spraying runs, I conclude that the differences in pattern between them are attributable to differences in the vegetational response in different site conditions, and more particularly to the history of cultivation, burning, and other modification unrelated or only indirectly related to the spraying, prior, during, and subsequent to the spraying itself.

From detailed examination of the history of the two blocks between 1965-1972, as manifested in the aerial photographs, questions concerning the rehabilitation of the forest could be formulated. These could then be addressed through field observation and experiment.

The southern block (figs. 4-6) lies astride but principally northwest of the Ma-Da river. Much of the north and west of the block was in 1965 occupied by clearly delineated small-crowned forest. This represents serial succession, presumably mainly of pioneer species of at least twelve years age as it appears very similar in the 1953 photograph. Obscurely demarcated patches of smaller crowned forest in the river valley probably represent older successional stages following cultiva-



FIG. 5. — *Southern sample block, Ma-Da, 1969.*



FIG. 6. — *Southern sample block, Ma-Da, 1972.*

tion. Swidden cultivation, in fact, was active in the river valley in the southeast of the block in 1965, had declined by 1969, and ceased by 1972. The rest of the block was occupied in 1965 by large crowned forest with the heterogeneous canopy structure characteristic of evergreen dipterocarp forest.

The most striking pattern in both 1969 and 1972 photography in this block was the three broad pale north-south trending swaths : along the west margin, slightly west of center, and in the eastern quarter of the block. In 1972, a clear differentiation of different cover types within these swaths had occurred, and the canopy of the intervening stand had also suffered modification. The whole central swath, and the southern end of the others had by then changed to an even canopy vegetation, which almost certainly represents perennial grassland with some indications of a scattering of small shrubs or trees. The swaths, which in 1969 were manifested as pale canopied forest, were then conspicuously dotted throughout with scattered dark discs, which though reduced in numbers are exactly repeated in the grasslands of the 1972 photography. These appear to represent populations of one or more canopy species which had proved to be resistant to the chemicals sprayed.

Grassland only establishes in the humid tropics if fire intercedes following deforestation. The sharp margin of the grassland areas in this block gives further support to the conclusion that fire was the direct cause of the invasion of grassland.

Between the swaths, the land remained forested until 1972. Close scrutiny of the 1972 photograph indicates though that the emergent trees, and possibly all the upper canopy, are dead but for dark disks of ostensibly the same diameter and density as in the grassland. It is not possible to determine the composition or successional status of the residual woody vegetation beneath the dead stag-headed canopy crowns, but it is safe to conclude that it has not been subject to fire. It is of some interest that the canopy of the serial woodlands in the north and west of the block seems to have been virtually unaffected, in contrast to that of the mature forest in these presumably more lightly sprayed areas. This is apparent in the enlarged inset shown in figs. 7 and 8 where, by 1972, the residual woody vegetation in the lightly sprayed primary forest has become almost indistinguishable from the adjacent patch of secondary forest. The total elimination of the mature forest along the western margin of the presumably heavily sprayed western half of the inset is striking, and the paucity of

fallen timber there again suggests that it has been burned. One further discernable feature of change is in the riparian forest following a small branching stream, to the west of the loop of the Ma-Da river which intrudes at the northeast of the block. In the 1965 photograph, the stream is only discernable on account of the topography but, by 1972, the vegetation along its valleys has become noticeably paler than that of the adjacent modified forest. It may then represent bamboo brake.

The northern third of the northern block (not illustrated here) appeared to comprise mature seasonal evergreen dipterocarp forest in 1965. To the northwest, a stream flowed in a narrow floodplain with shrubby vegetation. The exact correlation with the topography suggested this valley vegetation to be natural, and possibly associated with periodic inundation. The rest of the block was occupied by a mosaic of small crowned forest interspersed with strands and patches with large crowned heterogeneous canopy structure, presumably representing relict mature forest. DINH HIEP, on seeing this photograph, interpreted the small crowned forest as bamboo brake. Though the types of vegetation cover seen in 1972 broadly resembled those in the southern block, their pattern of distribution bore no close resemblance either to the pale swaths discernable in the 1969 photograph, or yet to the spraying records. The enormity of the damage was comparable to that in the southern block, and in once high forested areas the gaunt crown of dead emergents were clearly discernable above the underbrush.

HIEP (1984) concluded, probably rightly, that virtually no good quality evergreen forest remained in Dong Nai forest by 1972. This is interesting, for both records and photographs indicate that substantial areas of the forest were never sprayed. Hiep's 1965 and 1973 maps also indicate the conversion, during that period, of a great tract of evergreen forest to savanna grassland in the western half of Dong Nai province.

As GALSTON and RICHARDS (1984) state in their paper, photogrammetric mapping of the complex patterns of canopy structure resultant on spraying and partial burning is exceedingly difficult, and inevitably partially arbitrary. Estimates of residual timber volume and volume lost will inevitably be highly approximate and will not be attempted here. I draw attention to these difficulties of interpretation because they are clearly critical when evaluating what action will be necessary to rehabilitate the forest. Though the increase in extent of « bare land », that is grassland with or without small trees and shrubs, between 1965 and 1973 may have been overestimated by HIEP (1984), the substance of his conclusions are not disputed: the damage directly caused by chemical spraying, and indirectly through repeated burning of the totally destroyed forest areas of Dong Nai Province has been immense.

From these observations, a number of questions had to be addressed through field observation, though after more than a decade the fine botanical details of the original devastation will certainly be obscured.

1. What is the current extent and effect of fire on forest regeneration? Regeneration of the quality hardwood species, indeed most species of the seasonal evergreen dipterocarp forest, is fire-sensitive. Neither can the dipterocarp forest reestablish directly in the dense swath of perennial grasses that invades following repeated burning, particularly if there is no seed source nearby.

2. Which woody pioneers are regenerating in the grasslands, and under what conditions is this woody regeneration taking place?

3. Which woody species survived repeated application of defoliants?

4. What is the composition of the residual woodland, found in areas considered to have been sprayed once or twice only? In particular, did a sufficient number of young trees of the emergent commercial dipterocarps and legumes survive and, if so, are they now themselves establishing a new commercial stand, and fruiting and contributing young regeneration beneath a reestablished canopy?

Upon the basis of these observations, and with a knowledge of the literature on similar forests elsewhere in Indo-Burma, some recommendations might be made concerning methods of reforestation.

Two areas of Ma-Da forest were inspected on foot, and the forest margin along route 322 from the banks of the Dong Nai river north of the abandoned Rang-Rang airport viewed at a distance by vehicle. Two areas are indicated in fig. 2. The northern represented an attempt to reach the southern of the blocks whose history has been interpreted photogrammetrically. Though the block was not reached, we were able to penetrate patches of relict forest modified by relatively light spraying, and the eastern most of the heavily sprayed swaths. The southern area visited was along the margin of a track to an abandoned fort. According to the foresters at the headquarters of the state timber enterprise currently exploiting the residual forest, a patch of unsprayed, selectively logged but otherwise intact, semi-evergreen dipterocarp forest persists there and this is supported by the spraying records. This thus provided an opportunity to compare unsprayed with sprayed forest.

Route 322 follows a band of grassland, c. 500 m wide, along most of its length. The history of this land is unknown, though there is no clear indication of Rome ploughing in the aerial photographs. The soils along the roadside were mainly pale yellow-red podsolics; small laterite nodules were loosely aggregated in places near or on the surface. Towards the southern end, the band has been reforested with experimental tree plantations. A small basalt extrusion there has been planted with bananas. In the central section, frequent burning continues along the bank and extensive areas of grassland dominated by *Imperata cylindrica* and *Pennisetum polystachyon* occur, with patches of a spiny *Mimosa* species c. 2 m tall. Signs of recent bur-

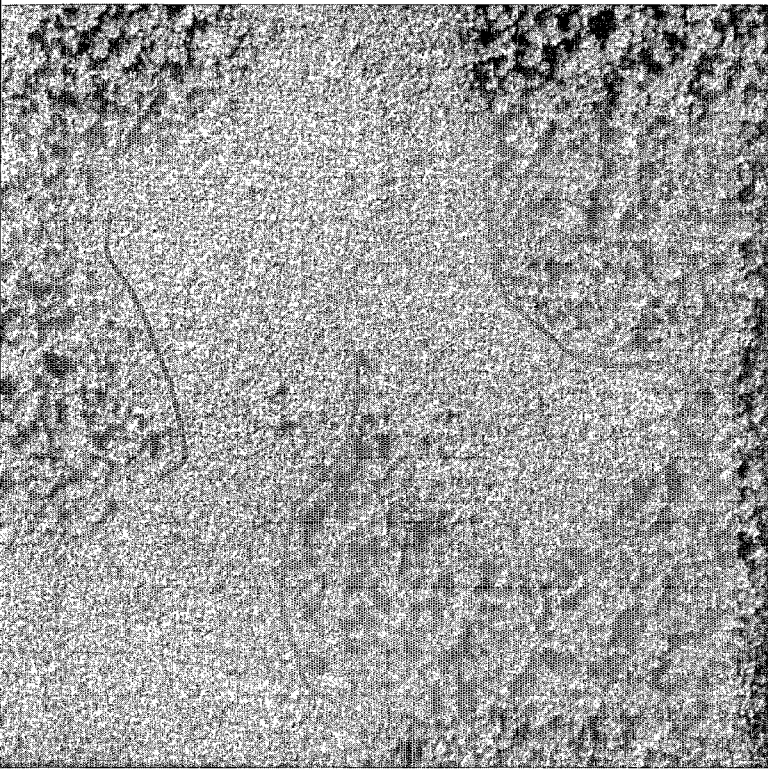


FIG. 7. — Inset, southern sample block 1965, enlarged.

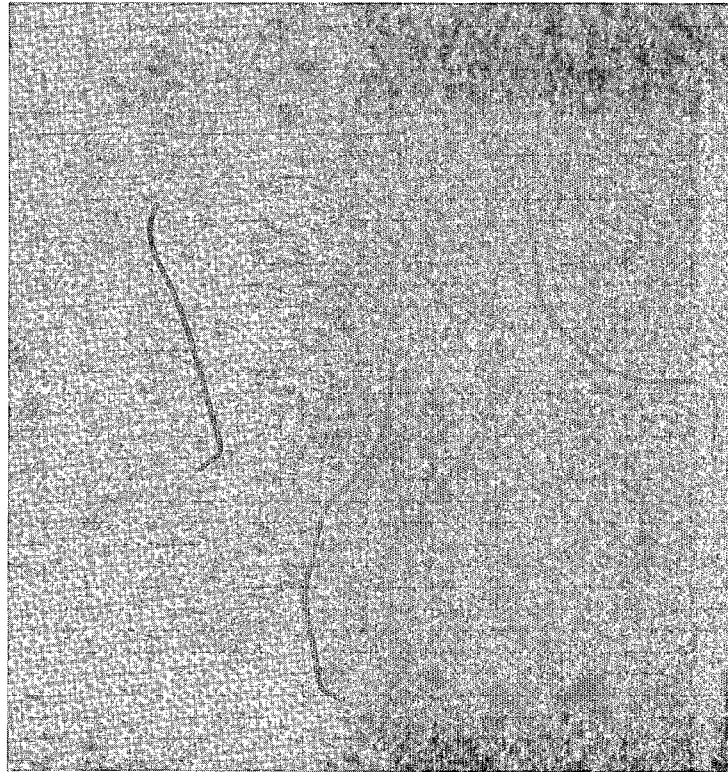


FIG. 8. — Inset, southern sample block, 1972, enlarged.

ning were abundant. In the evening, we observed workers from the forest enterprise, armed and with miners' helmets, going out to hunt. Later, when we penetrated the forest and grassland immediately south of Rang Rang, we were impressed with the abundance of bovine and deer footprints, as well as of elephant dung. It appears clear that the ungulates are prospering on the young grass shoots following burning. Hunters throughout the humid tropics burn the coarse inedible native grassland through the dry season for this reason. Towards the northern end of that part of route 322 visited, pioneer woody vegetation which included *Adina sessilifolia*, *Randia tomentosa* and *Colona auriculata* was invading the grassland. In a few places the regrowth over-arched the road. We also saw a few young individuals of the mature forest leguminous timber tree *Sindora cochinchinensis*, but the other species in this pioneer vegetation appeared to be valueless. Nevertheless, there is no reason why the cover it provides should not favor successful reestablishment of the commercial leguminous and dipterocarp hardwoods, which will reinvade slowly on account of their limited seed dispersal and the demanding conditions required for their successful establishment. Isolated individuals of mature phase timber trees, notably dipterocarps, seem to have occasionally survived in the roadside band

but the ubiquitous survivor, which we identify with the persistent dark crowns in the aerial photography, is *Irvingia malayana* (fig. 8), a mature phase canopy tree whose timber is very hard but not durable and thus valueless (see also GALSTON and RICHARDS, 1984).

Behind the band of savanna and pioneer woody succession bordering the road, the sharply demarcated edge of heterogeneous canopied forest, of c. 20-35 m height was clearly apparent (fig. 1) except near the Dong Nai River, where a few relict individuals alone remain, and near the timber camp half-way up the route. The general appearance of this forest was very similar to regenerating mixed evergreen dipterocarp forest following clear-felling, except for the absence of frequent extraction roads with their attendant destruction. Mature trees were almost or totally absent, but there was an emergent canopy reestablishing, now reaching c. 20 m and of moderate density though patchy, in which *Dipterocarpus turbinatus* and *Dipterocarpus dyeri* were leading species. Below these, the main canopy remains climber infested.

We walked into this forest immediately south of the Ma-Da river. We found individuals and small clumps of young *Dipterocarpus* up to 60 cm dbh, with extensive patches of medium stature forest in which the mature phase quality hardwood species appeared to be

absent. Much rarer, however, was pole-size regeneration of the quality legumes such as *Sindora*, *Pahudia*, *Dalbergia*, and *Pterocarpus*, nor did we see the important dipterocarp veneer species *Anisoptera costata* (*A. cochinchinensis*), all formerly reputedly common in these forests.

The vegetational pattern observed could reasonably be interpreted as regeneration of the understory of the former patchwork, of seasonal evergreen dipterocarp forest and serial woody succession following swidden cultivation, which was manifest in the serial photography of this area until 1969.

We cursorily searched for seedling regeneration of the quality hardwood species, notably dipterocarps. Several saplings of *Sindora cochinchinensis* were again noted, in light gaps. Though regeneration of the heavy hardwood *Shorea thorelii* (section *Shorea*) was frequent in patches, young regeneration of *Dipterocarpus* was rare. These observations are consistent with regeneration survey data for Ma-Da at the Institute of Forest Planning. Seedling density for all tree species is there recorded to be c. 1,000/ha, but for commercial species only 300/ha. It was because low density of commercial hardwood, particularly *Dipterocarpus* regeneration had been my experience in unexploited seasonal evergreen dipterocarp forests in southern Cambodia (ASHTON, 1970), and is reported in some of the Indian literature (e.g. SETH and DABRAL, 1960) that a separate visit was made to a relict patch of putatively unsprayed forest some kilometers to the south (fig. 2). Poor regeneration

under this forest would suggest that the condition is a normal one, not related to defoliation. Such proved to be the case.

A scattering of laterite nodules was noted on the soil surface within this unsprayed forest too, suggesting that those observed in the secondary grasslands are not necessarily consequent on deforestation.

Canopy individuals of both species of *Dipterocarpus* were in abundant flower. Discussion with foresters at the camp confirmed that fruit production was annual but variable, and that few seeds were viable owing to insect predation and post-fall predation by deer and pigs, though the problem of parakeets noted in Indian literature and reported to me in Cambodia was not known to workers at Ma-Da.

Members of the team that inspected defoliated forest from the air in the early seventies observed that much of the understory appeared to have been invaded by bamboo. Though bamboo was present in the area we visited, it was dominant only along stream banks, as was indicated by the 1972 aerial photography. The species seen there were *Oxytenanthera* spp.

We were able to enter the eastern edge of the easternmost band of total defoliation, near the southern most of the blocks identified in the 1972 aerial photography. Here, the recent burning was apparent everywhere, and there were indications that some burns were sufficiently intense to penetrate the forest fringe. This suggests that some, at least, of the deforestation indicated by Hiep may have taken place since 1973.

DISCUSSION

1. — Areas in which some forest cover survived

Regeneration of tropical lowland evergreen forests following destruction, and even the productive management of these forests through natural regeneration, has generally proved difficult. Difficulties include the slow growth rate of the commercial species, erratic availability of seeds and seedlings, and the demanding conditions for seedling establishment.

A workable management system has been devised for mixed dipterocarp forest, virtually alone among tropical evergreen forests; partially because more research has been done on this forest type than others in the tropics, but partially also because it possesses certain favorable silvicultural characteristics (WHITMORE, 1984). Mixed dipterocarp forest is the natural cover of the aseasonal wet lowlands of Malaysia, Sumatra, Borneo, and the Philippines. In tree family composition, and in particular in the dominance of dipterocarps in the canopy, mixed dipterocarp forest is analogous to the seasonal evergreen dipterocarp forests of Viet-Nam that have been the inland forests principally subjected to

defoliant. The Malayan Uniform System (BARNARD, 1950; WYATT-SMITH, 1963) is a method of silvicultural management aimed at producing an even-aged stand of economic species, mainly dipterocarps, through natural regeneration. It depends on certain silvicultural features of mixed dipterocarp forest, only some of which are common to seasonal evergreen forest. A comparison can provide insight into the problem of managing the latter through natural regeneration.

Dipterocarps, and many other economic species in mixed dipterocarp forest, possess poorly dispersed seeds which lack dormancy. Conditions for successful seedling establishment are demanding, and include constantly moist cool soil surface conditions (they are ectotrophic mycorrhizal) and absence of thick litter accumulation at the time of seed fall. Seedling establishment is therefore favored in the shade of the forest or in small gaps, but not in the fully exposed conditions and compacted soil of logging tracks. Once established, the

seedlings of light hardwoods, principally meranti (*Shorea* spp. sections *Mutica*, *Brachypterae*, *Pachycarpae*, *Rubella*; *Dipterocarpaceae*), require canopy opening to grow at optimal rates (NICHOLSON, 1965). Many survive in shade initially though, for periods as long as five years. Following fruiting, therefore, masses of young seedlings become established beneath the parent trees and their numbers gradually decline, in the absence of canopy opening, over several years.

The Malayan Uniform System prescribes maximal canopy opening through a single felling of all economic timber, and subsequent poisoning of the remainder, in order to free regeneration already established on the forest floor for the next crop. The new crop will thus be even aged and, though composed of mature forest rather than pioneer species, will be dominated by the faster growing light hardwoods such as the merantis. The length of the rotation has been predicted to be between forty and seventy years for red merantis. Experience has shown this to vary, mainly according to soil water regime and the degree of canopy opening.

The Malayan Uniform System still has the serious disadvantage that the felling cycle is too long to make it an attractive commercial management system, particularly where there is high unemployment. The value of the product, calculated on the basis of unit time and unit area, does not compare with plantation crops such as oil palm and rubber which can be grown on the same land. A selection system, whereby the largest trees are exploited but trees of medium size are left to provide the next crop, on a 35-40 year cycle, has usually proved impractical owing to the high mortality of medium-sized trees, both in the original stand and also as a consequence of logging damage. The Malayan Uniform System is dependent on careful management of the extraction process for, without it, the established regeneration upon which subsequent crops are to depend will be destroyed.

Superficially, light (*i.e.* canopy only) defoliation in semi-evergreen dipterocarp forest in Viet-Nam might seem to simulate the post-exploitation conditions encouraged by the Malayan Uniform System. But seasonal evergreen dipterocarp forests differ in some fundamental respects from mixed dipterocarp forests. Rather than merantis, the slower growing *Dipterocarpus* and *Anisoptera* species predominate. It is not possible to predict the length of the felling cycle in the absence of published increment data. It could be as long as 120 years (ANON, 1971; ASHTON, 1970), but 80-100 years is more likely.

The regeneration of seasonal evergreen dipterocarp forest has been recognized in India as difficult for a long time, and a number of silvicultural experiments have been carried out in order to establish a reliable and practical method. These have been well summarized by H. B. JOSHI and his colleagues (in TROUP, 1980). Unlike in mixed dipterocarp forest, where fruiting is supraannual at intervals of as long as eight years, fruiting in seasonal evergreen dipterocarp forest is annual but of variable intensity.

Dipterocarp seeds are rich in long-chain fats. In the seasonal tropics, the crop is generally heavily predated on the tree by scolytid beetle larvae and often also by parakeets (*e.g.* CHENGAPA, 1934). The seeds of the quality leguminous hardwood species, which are the principal associates of the dipterocarps in southern Vietnamese lowland evergreen forests, are likely to be similarly predated by bruchid beetle larvae as has been found in other tropical regions (*e.g.* JANZEN, 1971, 1975). Fruitfall coincides with the onset of the monsoon rains.

Except under the most favorable water regimes and in unusually wet years, the great majority of seedlings, which become established during the monsoon, fail to survive their first year. Many germinating seeds die because the radicle fails to penetrate the dense litter still persisting at the beginning of the monsoon, particularly under the crowns of *Dipterocarpus* species. In Sal (*Shorea robusta*) of seasonal north-east India mortality is greatest during the first monsoon, and is said to be associated also with the density of the parental litter (*e.g.* BAILEY and CHAMPION, 1927). In many years none survive. It is likely, then, that regeneration occurs in nature through the survival, at long intervals, of cohorts of seedlings resulting from the coincidence of an exceptionally heavy fruiting with unusually favorable weather at and following establishment. Careful observations over many years are needed to confirm this supposition. It is probably for these reasons though that regeneration on the ground at any time is very variable, and is generally inadequate to provide a new crop (ASHTON, 1971; JOSHI *et al.* in TROUP, 1980). The retention of seed trees would therefore generally be obligatory. Even then, regeneration is problematic, owing to the poor seed dispersal of dipterocarps and most of the legumes; and the demanding conditions for their early establishment, which are not likely to be met in the dense thickets that establish following a clear felling. Apparently for these reasons, seasonal evergreen dipterocarp forests in Indo-China have been managed by a shelterwood system: several partial fellings are conducted over ten to twenty years, thus gradually opening the canopy and simultaneously ensuring a continued seed source, with the aim of establishing an even-aged new crop. This system has proved unsatisfactory with heavy machinery on an industrial scale because too much damage is caused to established regeneration during exploitation.

It is not surprising therefore that destruction of the forest canopy by chemical defoliation will lead to a change in forest composition, including a diminution in dipterocarp and leguminous stand density and even their elimination in the understory too if repeated spraying has been applied over extensive areas. Much depends on the extent to which regeneration has been destroyed. If it survives, some dipterocarps and legumes can be expected eventually to grow through the dense vine and bamboo thickets that will likely dominate the first, prolonged, stages of seral succession.

From our observations I therefore conclude that

when the seasonal evergreen dipterocarp forest at Ma-Da was sprayed less than three times sufficient understory, including pole-size commercial tree regeneration, remained for a new commercial stand, albeit impoverished, to reach maturity within c. 40 years following

defoliation. Further, seedling establishment from the fruit of the surviving young trees, which have already reached reproductive maturity, should mature into a new stand comparable to the original in about 80-100 years.

2. — Areas in which the original forest cover has been almost totally destroyed

Where more than three sprayings took place over a wide swath, fire generally interceded and the forest was completely destroyed as has been reported by other observers in the mangrove. It is not possible, in our limited survey at Ma-Da ten years following defoliation, to identify areas which had been thus sprayed but never burned, even with the help of 1972 aerial photography. It therefore remains unknown whether any primary forest regeneration survived in areas which were sprayed three or more times, but were not subjected to burning.

Whereas I believe that the conclusions reached from my observations at Ma-Da, concerning the effects of less than three sprayings on seasonal evergreen forest can be generally extrapolated to other evergreen forests in lowland South Viet-Nam, those concerning the more frequently sprayed areas must be checked first, by a more extensive field study planned on the basis of the spraying records and the 1972 photography.

The grassland intrusions, whatever their origins, provide a yet more challenging management problem than the surviving forested areas. Unless fire can be excluded for long enough to induce closed woody canopy, reforestation will likely prove impossible. Though fire-tolerant woody pioneers do exist, such as *Prosopis* spp. and *Eupatorium odoratum*, they are highly invasive and have competitively excluded regeneration of commercial species in other tropical regions. A less risky alternative might be to attempt plantation of fire-tolerant dry dipterocarp forest species. *Dipterocarpus intricatus*, for instance, which grows in both dry and seasonal evergreen dipterocarp forest in Viet-Nam, would seem particularly promising. However, these species are also fire-sensitive in the first few years following establishment.

If fire prevention can be achieved for a time, two approaches to reforestation of secondary savanna might be considered. Neither envisages natural regeneration. Too few of the early pioneer trees are of commercial value, and poor seed dispersal of the quality mature

forest hardwood species combines with demanding conditions for seedling establishment to preclude their early return.

The simplest solution is the one presently being adopted by the local forest enterprise, which is to plant fast growing industrial and firewood species. *Acacia auriculiformis* is proving successful, as expected. Other species worth trying are *Acacia mangium*, *Albizia falcataria*, *Albizia lebbek* and *Gmelina arborea*, all of which will eventually form a cover that will exclude fire. Of them, *A. falcataria* and *G. arborea* are most likely to disappoint in the poor soils prevalent at Ma-Da. *Pinus* spp. (e.g. *P. caribaea*, *P. merkusii*), *Eucalyptus* spp. and the fire and match wood species *Gymnostoma nobile* (formerly confused with *Casuarina sumatrana*) are also worth trying, but will remain fire-prone for a long period initially, and even permanently so. Of these, *Acacia*, *Albizia* and *Casuarina* bear root nodules and fix nitrogen.

The other alternative would be to establish a tree cover crop, preferably a fast growing commercial species with broad crown and light shade such as *Albizia falcataria* or, perhaps better, the quality hardwood *Samanea saman*, and later underplant with the slower growing mature phase quality hardwoods. Among the latter, the faster growing and thus preferable species might be *Dipterocarpus* spp., *Anisoptera costata* and *Heritiera javanica* (*Tarrietia cochinchinensis*).

It is clear that, for the present, we have inadequate knowledge of the site conditions to recommend species and methods for large-scale plantation in fire prone areas. Therefore, small-scale experimental plantations should first be attempted under the various site conditions.

The red latosolic basalt-derived soils that underlie a few of the seasonal evergreen forests which have been defoliated in Viet-Nam are suitable for teak and it is already being grown on them there; but woody agricultural crops, particularly oil palm, cocoa and rubber are generally likely to be more profitable.

DRY DIPTEROCARP FOREST

We were only able to visit one site where dry dipterocarp forest has been defoliated, apparently heavily. This was near the village of Talai, in southeast Lam Dong province and to the north of Route QL20. In view of the limited experience gained, the following observations and conclusions are tentative.

The depleted area consisted of a belt, c. 500 m wide, which passed over low ridges and sandy alluvium at the side visited. The dry dipterocarp forest occupied the sandy plain, while the isolated *Irvingia* trees which dotted the adjacent slopes, which were otherwise vegetated with grasses and bamboo, proclaimed them to have originally born seasonal evergreen dipterocarp forest.

Blocks of more or less disturbed dry dipterocarp forest persisted on either side of the defoliated swath. There the forest was of c. 30 m stature, with a closed semi-evergreen canopy dominated by *Dipterocarpus* spp. especially *D. intricatus*. Beneath we observed a dense grassy field layer with sparse woody regeneration.

In the defoliated area most trees were dead, but many trunks still stood, their bark blackened at the base and sometimes up to 15 m by fire. Assuming that defoliation was indeed the cause of mortality, it is unclear why these trees still stood, in contrast with those of the evergreen forest. It is possible that periodic water-logging may have impeded the rotting of their root systems. Many had sprouted epicormic shoots though (fig. 9), and a more likely explanation is that the species of this forest type had a greater capacity to do so than the majority in seasonal evergreen dipterocarp forest. Interpretation was complicated by the almost total cultivation, at present or in the recent past, of the ground beneath the defoliated forest. Sesame, and stubble from single crops of rice were noted. Sprouting stumps of *D. intricatus* (fig. 10), *Parinari annamense* and other species were noted in these fields, but the shoots were being cut back annually by farmers. We were informed (HOANG HOE pers. comm.) that *P. annamense*, which occurs also in seasonal evergreen forest, is another species which proved exceptionally resistant to defoliation in the latter though our own observations were too limited to confirm this.

DISCUSSION

The fire-climax dipterocarp forests of southeast Asia are of low to moderate stature, and support an even canopy dominated by a few species. On infertile sandy soils *Dipterocarpus obtusifolius* and *D. intricatus* are the usual dominants in southern Vier-Nam, though *D. tuberculatus* does also occur, especially on laterites. On skeletal soils overlying granitic and volcanic rocks *Shorea* (Pentacme) *siamensis*, *Shorea roxburghii* (*S. cochinchinensis*) and deciduous leguminous hardwood species prevail (ROLLET, 1952 ; VIDAL, 1960). The understory consists of evergreen woody regenera-

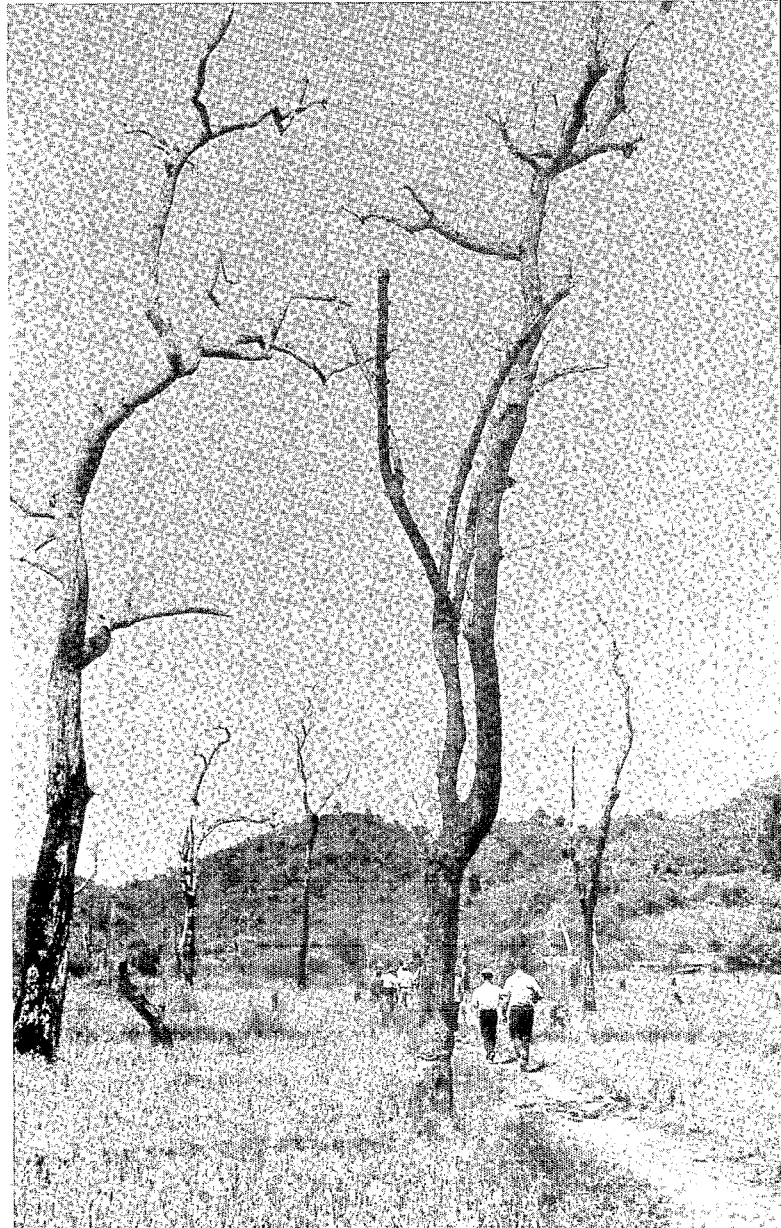


FIG. 9. — Dead, defoliated and burned dry dipterocarp forest, Talai, 1982. Note blackened trunks and dead epicormic shoots on trunks and branches of the girdled *Hopea odorata* tree, center. Other trees are *Dipterocarpus intricatus*.

tion or, if burning is frequent, perennial grassland. Though single timber species are often dominant in the canopy, the generally low standing volume, and low branching and poor form, make these forests of less value than seasonal evergreen dipterocarp forest.

The Indian dry dipterocarp forest species *Shorea robusta* is one of the most studied of all tropical forest trees. JOSHI *et al.* in Troup (1980) present a comprehensive review of the literature. Successful seedling establishment of dry forest dipterocarps is notoriously erratic in nature, but can be promoted by ground burning prior to fruitfall, then excluding burning for several years thereafter. Once a tap root is established, saplings will survive for years though burned off annually to the ground. A stout stock develops, which sprouts at the commencement of each monsoon. Eventually, favorable conditions allow a permanent leader to establish, which develops thick fire-resistant bark.

Many trees of these forests have a strong capacity to coppice or send out epicormic shoots, in contrast to the majority of evergreen dipterocarp forest species but recalling other savanna trees such as many eucalyptus. We heard reports from Vietnamese foresters of the capacity of some dipterocarps to develop epicormic sprouts following defoliation. I saw no evidence of this at Ma-Da, and suspect that it may have been dry dipterocarp forest species that were alluded to.

I tentatively conclude that defoliation is likely to have had a very different, though still serious, effect on the dry dipterocarp forest. Were the frequent and sometimes intense burns, to which the dead trunks bore clear testimony, temporarily prevented it would seem most likely that many of the canopy trees would have survived and developed epicormic shoots. Their form would have therefore been further impaired nevertheless, limiting their value as timber. The spraying of the canopy would have greatly increased the fire hazard, and regeneration from coppices and existing saplings would likely succeed only if burning is light and infrequent at first.

In the case, then, of dry dipterocarp forest initial felling of surviving but damaged canopy trees, followed by a controlled light burn at the beginning of each dry season to allow coppice shoots of economic species to grow to sufficient size to be fire resistant, is recommended for as many years as are needed if the land is designated for reforestation. In the absence of sufficient surviving rootstocks to establish a new stand by coppicing, plantations will of course be necessary. The same problems will then come into play as those facing reforestation of secondary grasslands in the evergreen forest zone, but here further exacerbated by the greater length of the dry season and consequent even greater combustibility.

FOR THE FUTURE

From the foregoing, it is tempting to conclude that the future of forestry in lowland Viet-Nam must lie with single species plantations. Though plantations must play an important part, experience elsewhere indicates that it would be highly dangerous to rely exclusively on them. The principal long-term disadvantage of single species tree plantations in the lowland humid tropics is their proneness to pests and disease. The climate of lowland Viet-Nam, and especially the areas where evergreen forests grow in nature, is one in which insect pests and pathogens can grow and multiply throughout the year, unchecked by adverse weather. The cost of pesticide applications, even for long-lived agricultural crops, can quickly become prohibitive. The cheapest means to reduce pest epidemics is through mixed land use, including the maintenance of substantial tracts of mixed species plantations and natural forests (KLINGGAUF, 1983).

Plantation forestry, and especially short rotation management systems for pulp and firewood, fully exposes the soil at the time of exploitation. On steep terrain, and on sandy infertile soils where significant nutrient concentrations are bound in a surface organic horizon, plantation forestry poses a serious hazard, in physical

and chemical soil erosion respectively. Here, the case for careful management of the remaining natural forests, either as protection forests or for sustained yields through a shelterwood system, is incontrovertible.

The principal determinants of the feasibility of mixed species forestry are socioeconomic. The sustained yield management of tropical forests for a uniform product on a large scale, either for export or for large scale industry such as pulp, is proving very difficult. The best success is being achieved with exotic species, as in the case of the Brazilian *Hevea* rubber trees in the Far East and *Gmelina* in Brazil, but even here pests are accumulating, requiring increasingly expensive chemical protection.

If, in contrast, priority in forest policy is given to national and local community needs, and therefore to building up small- to medium-scale local industry for local construction and furniture timber demands, for firewood, fish and game, for water conservation and quality then economic, social and silvicultural needs will coincide in a mixed forest land-use policy. Such forestry must depend on human labor and light machinery, thus providing high and sustained employment



FIG. 10. — *Sprouting stump of Dipterocarpus intricatus in defoliated dry dipterocarp forest converted to dry rice fields, Talai, 1982.*

opportunities on the one hand, minimum damage to natural regeneration on the other. This has been the basis for traditional and highly productive forms of land-use in Asia : irrigable lands are reserved for rice, dwellings are placed on adjacent land unamenable to irrigation and surrounded by mixed species orchards ; on the surrounding hills the primeval forest is retained and used as a source of firewood, timber, protein, cordage and other produce. It should be borne in mind that the population of Viet-Nam will have doubled by the time of the next felling cycle, whereas it may have increased no more than ten percent in the major timber importing nations.

The mixed land-use advocated here, which would include mixed species forests, and single species as well as mixed species plantations where the original forest

has been destroyed through defoliation, requires rigorous management. Adequate fire control will be the test. This must either be provided by a committed and well-trained forest service, or by well-informed and committed leadership in the local community.

Such careful management of both plantations and natural forest, to serve both the local and regional economy, should be attainable in Viet-Nam. There are opportunities for enormous improvements in productivity on this basis. Much of the once-forested land affected by chemical defoliation would appear to be well-suited to such a form of settlement and land-use. As an integral part of land-use, highest priority must be given to the conservation and careful management of those natural forests which still remain.

BIBLIOGRAPHY

- ANON, 1971. — Forest Survey of the lowlands west of the Cardamomes Mountains. Cambodia. Final report. FAO/SF : 9 ; CAM6. UNDP-FAO, Rome.
 ASHTON (P. S.), 1970. — Inventaire forestier des terres basses

- du versant occidental des monts Cardamomes. FAO/SF/CAM6. Rapport technique 5. UNDP-FAO, Rome.
 ASHTON (P. S.), 1978. — Crown characteristics of tropical

- trees. In P. B. Tomlinson and M. H. Zimmermann (eds.). *Tropical trees as living systems*, Cambridge University Press, 591.
- BAILEY (W. A.), CHAMPION (H. G.), 1927. — Sal germination in the United Provinces. *Ind. For.* 53 : 190-194.
- BARNARD (R. C.), 1950. — The elements of Malayan silviculture. *Malayan Forester*, 13 : 122.
- BLANFORD (H. R.), 1915. — Some notes on the regeneration of In and Kanyin in an Upper Burma division. *Ind. For.*, 41 : 78.
- BURGESS (P. F.), 1975. In T. C. Whitmore. *Tropical forests of the Far East*. Clarendon, Oxford.
- CHAMPION (H. G.), 1936. — A preliminary survey of the forest types of India and Burma. *Indian For. Rec.* (New Series), 1.
- CHENGAPA (B. S.), 1934. — Andaman forests and their reproduction. *Ind. For.*, 60 : 56, 117, 185.
- GALSTON (A. W.), RICHARDS (P. W.), 1984. — Terrestrial plant ecology : an overview. In A. H. Westing, ed. *Herbicides in War. The long-term technological and human consequences*. SIPRI, Stockholm, pp. 39-42.
- HIEP (Dinh.), 1984. — Long-term changes in dense inland forest following herbicidal attack. In A. H. Westing, ed. *Herbicides in War. The long-term technological and human consequences*. SIPRI, Stockholm, pp. 39-42.
- JANZEN (D. H.), 1971. — Escape of *Cassia grandis* L. beans from predators in time and space. *Ecology*, 52 : 964.
- JANZEN (D. H.), 1975. — Behavior of *Hymenaea courbaril* when its predispersal seed predator is absent. *Science*, 189 : 145.
- KLINGAUF (F.), 1982. — Do developing countries require chemical plant protection ? *Plant research and Development*, 16 : 74 (Tubingen).
- MYERS (N.), 1980. — Conversion of tropical moist forest. National Academy of Sciences. Washington, p. 205.
- NICHOLSON (D. I.), 1965. — A study of virgin forest near Sandakan, North Borneo. Proceedings of the symposium on ecological research into humid tropics vegetation. UNESCO, Kuching, p. 67.
- NIXON (A. B.), 1929. — The uniform compartment system in the Yinke reserve, Burma. *Ind. For.*, 55 : 293.
- ROLLET (B.), 1952. — Etudes sur les forêts claires du sud indochinois. Recherches forestières (Saigon), p. 250.
- ROLLET (B.), 1962. — Inventaire forestier de l'Est Mékong. Rapport FAO, 1500, p. 184.
- SETH (S. K.), DABRAL (S. N.), 1960. — Characteristic features of natural regeneration under various tending schedules in Holong-Nahor (*Dipterocarpus-Mesua*) forests of Assam. *Ind. For.*, 86 : 355.
- SIPRI, 1976. — Ecological consequences of the second Indochina war. Almquist and Wiksell, Stockholm, 119 p.
- TROUP (R. S.), 1980. — Silviculture of Indian Trees (new revised edition). II. *Dipterocarpaceae*. JOSHI, H. B. and editorial staff. Dehra Dun.
- UNWIN (R.), 1931. — Regeneration of « In » (*Dipterocarpus tuberculatus*), Yinke reserve, Katha Division. *Ind. For.*, 57 : 150.
- VIDAL (J.), 1960. — La végétation du Laos. 2. Groupements végétaux et flore. Toulouse-Douladoure, 541 p.
- WHITMORE (T. C.), 1984. — Tropical Rain Forests of the Far East. Clarendon, Oxford, 352 p.