



Dynamique de la forêt mixte à diptérocarpacées de basse altitude avant et après traitement sylvicole

Tout en étudiant la croissance, la mortalité et la productivité d'une forêt indonésienne, cet article analyse l'impact de l'exploitation et d'un traitement sylvicole sur les arbres par dévitalisation.

Nicolas NGUYEN-THE
Vincent FAVRICHON
Plinio SIST
Louis HOUDE
Nicolas FAUVET

L'étude des caractéristiques et de la dynamique des peuplements est une condition préalable fondamentale de l'aménagement forestier, car il est essentiel de savoir comment la forêt réagira aux perturbations occasionnelles ou aux traitements sylvicoles. Croissance et mortalité sont deux aspects importants de la dynamique forestière.

Les taux de croissance et de mortalité avant et après exploitation ont été largement étudiés, autant pour les forêts à diptérocarpacées d'Asie (NICHOLSON, 1979 ; MILLER, 1981 ; PRIMACK *et al.*, 1985 ; MANOKARAN, KOCHUMMEN, 1987) que pour d'autres forêts tropicales : Amérique (DURRIEU, 1993 ; LIEBERMAN *et al.*, 1985 ; SILVA *et al.*, 1995) ou Afrique (MERVART, 1972 ; SWAINE *et al.*, 1987b). En dépit de différences parfois très marquées entre les types de forêt, on retrouve des points communs à toutes les forêts tropicales. En forêt primaire, la mortalité varie selon les catégories d'essences, les classes de diamètre et les conditions de la station, avec une part non négligeable de hasard, mais le taux de mortalité est généralement compris entre 1 et 2 % par an (SWAINE *et al.*, 1987a). Ces faibles taux de mortalité naturelle, alliés à la taille souvent réduite des sites d'étude et à la courte durée des observations, rendent la mortalité difficile à estimer et à étudier avec précision. La croissance moyenne en diamètre est généralement de l'ordre de quelques millimètres par an, avec d'importantes variations (NICHOLSON, 1965 ; TANG, 1976 ; MANOKARAN, KOCHUMMEN, 1987 ; YONG TENG KOON, 1990 ; LIEBERMANN, LIEBERMANN, 1987 ; SWAINE *et al.*, 1987a ; RIERA *et al.*, 1990). La croissance dépend en particulier de l'essence, de la classe de diamètre et de la forme ou de la position du houppier (ALDER, 1983 ; WADSWORTH, 1988).

Lors de l'exploitation, des dégâts importants se produisent, et de nom-

breux arbres sont blessés. En outre, l'ouverture du couvert et la perturbation du sol ont probablement un impact sur l'écosystème (plus forte chaleur ou moindre disponibilité d'eau sur les surfaces exploitées). Toutes ces perturbations contribuent à un accroissement de la mortalité après exploitation. Par ailleurs, la pénétration soudaine de lumière entraîne une augmentation marquée de la croissance (NICHOLSON, 1979), bien que des taux supérieurs à 1 cm/an demeurent exceptionnels (ALDER, 1983). La croissance est stimulée de la même manière par des traitements sylvicoles d'éclaircie par dévitalisation (KORSGAARD, 1981 ; MAITRE, 1985).

Quelques questions subsistent :

- Existe-t-il un lien direct entre mortalité après exploitation et intensité de coupe ?
- Quelle est la contribution des arbres blessés, et y a-t-il une différence selon le type de blessure ?
- Enfin, combien de temps cette mortalité élevée persiste-t-elle après la coupe ?
- De même, pendant combien de temps se maintiennent les forts taux de croissance après exploitation ?

Ce sont autant de paramètres qui conditionnent la reconstitution du stock initial et la durée de rotation jusqu'à la prochaine coupe.

Nous discuterons, dans cet article, de la croissance et de la mortalité dans la forêt à diptérocarpacées de la région de Berau, à partir des données enregistrées sur les 18 parcelles de 4 ha du projet STREK. Ces données portent sur une période de trois ans et demi. Nous étudierons tout d'abord la croissance dans une forêt primaire, à titre de référence, et ensuite la réaction des peuplements à l'exploitation, en considérant tout particulièrement le comportement des arbres blessés. Les données d'une forêt exploitée quinze ans auparavant seront analysées

à titre de comparaison. Les effets des traitements sylvicoles destinés à stimuler la croissance seront également examinés. Enfin, nous calculerons le bilan en volume entre mortalité, croissance et recrutement afin d'évaluer la croissance nette par hectare après chaque traitement.

MÉTHODES

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

La méthodologie générale du projet STREK est exposée dans le chapitre «Objectifs et Méthodologie». Nous ne donnons ici que des précisions sur les spécificités de cette étude.

Trois campagnes de mesures ont été menées dans les deux RKL (unités d'exploitation) au cours de la période d'étude de trois ans et demi. La première a été effectuée avant exploitation dans le RKL 4 et avant la dévitalisation dans le RKL 1, en vue d'évaluer l'état initial de la forêt avant traitement. La deuxième campagne de mesures a été faite juste après les interventions (environ trois mois après le passage de la coupe dans le RKL 4 et deux mois après la dévitalisation dans le RKL 1). La dernière campagne de mesures, enfin, a eu lieu deux ans plus tard. Ces trois campagnes ont permis de définir deux périodes de croissance et de mortalité : une période de référence avant traitement et une période après traitement, représentant la réponse initiale à ceux-ci.

Nous avons étudié la croissance et la mortalité en forêt primaire à partir des données des trois parcelles du RKL 4 gardées comme témoins (12 ha), sur la période de trois ans et demi. L'impact de l'exploitation après deux ans a été étudié sur le peuplement résiduel des 9 parcelles exploitées du RKL 4 (36 ha), et l'impact de la coupe après 15 ans sur les deux parcelles-témoins du RKL 1

(8 ha). Enfin, l'effet de la dévitalisation après deux ans a été étudié à partir des données des quatre parcelles traitées (16 ha) du RKL 1.

Nous nous sommes intéressés plus particulièrement aux arbres de la famille des diptérocarpacées, car ils constituent l'essentiel des arbres marchands. Dans un but de comparaison, nous avons fait une distinction systématique entre diptérocarpacées et non-diptérocarpacées, mais nous n'avons pas cherché à étudier plus dans le détail ce dernier groupe, étant donné qu'il se compose d'un trop grand nombre d'espèces et de familles ayant des dynamiques très différentes. L'approche s'en serait avérée trop complexe pour le temps disponible.

MORTALITÉ

Le taux de mortalité entre deux mesures M_i et M_{i+1} est défini comme étant le rapport du nombre d'arbres morts lors de la mesure M_{i+1} au nombre d'individus lors de la mesure précédente M_i , exprimé en pourcentage. Tous les taux mentionnés dans cette étude sont des taux de mortalité annuelle, calculés en tenant compte de l'intervalle de temps entre deux mesures. Après exploitation, nous n'avons pas cherché à distinguer la mortalité naturelle de celle induite par les opérations de coupe. Nous avons simplement calculé un taux général de «mortalité après exploitation».

Pour l'étude de la mortalité chez les arbres blessés, ont été regroupés en cinq grandes catégories :

- blessures du bois et de l'écorce ;
- arbres penchés ;
- bris de branches ;
- arbres écimés avec des branches subsistantes ;
- arbres cassés.

CROISSANCE

Dans cette étude, les taux de croissance indiqués sont des accroissements annuels moyens en diamètre, correspondant à la différence moyenne de diamètre entre deux mesures, ramenée à un an.

Dans le RKL 4, la croissance calculée avant exploitation aurait dû être une représentation de la «croissance initiale» de ces parcelles. Cependant, la deuxième campagne de mesures ayant été faite environ trois mois après la coupe, la première valeur de la croissance, «avant exploitation», comprenait par conséquent une petite période après exploitation durant laquelle la forêt avait poussé dans des conditions de station différentes de celles de la forêt primaire. Par conséquent, nous n'avons pas la certitude que la croissance calculée avant exploitation de ces parcelles était réellement représentative de leur croissance dans des conditions de forêt primaire. En conséquence, seules les parcelles-témoins (1, 4 et 10) ont été utilisées comme référence de la croissance pour l'ensemble du RKL 4. L'étude botanique a démontré que ces parcelles n'étaient pas significativement différentes des 9 autres parcelles du point de vue des caractéristiques de la forêt et qu'elles constituaient donc une bonne référence de la dynamique des peuplements du RKL 4.

Dans le RKL 4, le taux d'extraction ayant été laissé au gré du concessionnaire, l'intensité de coupe s'est révélée très hétérogène selon les parcelles et indépendante du traitement appliqué. L'objet de cet article est d'étudier le comportement des peuplements forestiers avant et après exploitation, qui dépend principalement de l'ouverture du couvert et de l'intensité d'exploitation. Nous avons en conséquence attribué une plus grande importance à l'analyse des données en fonction du niveau d'intensité de coupe plutôt qu'en

fonction des traitements. Au contraire, dans le RKL 1, étant donné que les traitements sylvicoles étaient appliqués de manière homogène, nous avons conservé l'approche par traitement, ce qui permettait de mieux comparer l'effet de chacun.

ÉTUDE SPATIALE PAR S.I.G.

Pour mieux appréhender la dynamique forestière au niveau spatial en relation avec les dégâts d'exploitation, nous avons utilisé un Système d'Information Géographique (S.I.G.). A titre d'exemple, nous l'avons appliqué sur une parcelle (parcelle 5, RKL 4) dont les dégâts étaient bien localisés (fig. 1), et permettaient de bien individualiser des zones perturbées et non perturbées.

Les limites des dégâts (abattage et débardage) ont été digitalisées. Les arbres de diamètre supérieur à 10 cm, localisés en coordonnées X,Y, ont pu être superposés. Trois zones géographiques ont alors été définies :

- la zone de dégâts (abattage et débardage compris),
- une zone-tampon de 10 m (choisie arbitrairement) autour de la zone de dégâts,
- et enfin la zone extérieure à la zone-tampon définissant une zone non perturbée.

Finalement, pour chacune de ces trois zones, les taux de mortalité et de croissance ont été calculés avant et après exploitation.

BILAN

Pour mesurer la dynamique forestière en termes de stock (volume) et le renouvellement de celui-ci après les traitements appliqués, nous avons calculé un bilan en volume. Ce bilan est calculé par l'équation «croissance - mortalité + recrutement». Il est exprimé en $m^3/ha/an$. Nous avons effectué cette étude pour les diptéro-

carpacées entre les campagnes de mesures 2 et 3 dans les deux RKL, afin d'évaluer d'une part les effets de l'exploitation et, d'autre part, les effets de la dévitalisation. Les calculs ont été faits par traitement.

Dans le RKL 1, sur les parcelles traitées, nous n'avons pas l'identification des nouvelles diptérocarpacées apparues à la dernière campagne de mesure, de sorte

que nous avons dû faire une estimation du recrutement pour calculer le bilan.

Notre estimation a été basée sur l'hypothèse que la proportion de diptérocarpacées dans le recrutement total n'était pas influencée par les traitements sylvicoles, et nous avons utilisé comme référence la proportion de diptérocarpacées trouvée dans les parcelles-témoins.

Répartition spatiale des arbres morts deux ans après exploitation (RKL 4 - Parcelle 5)

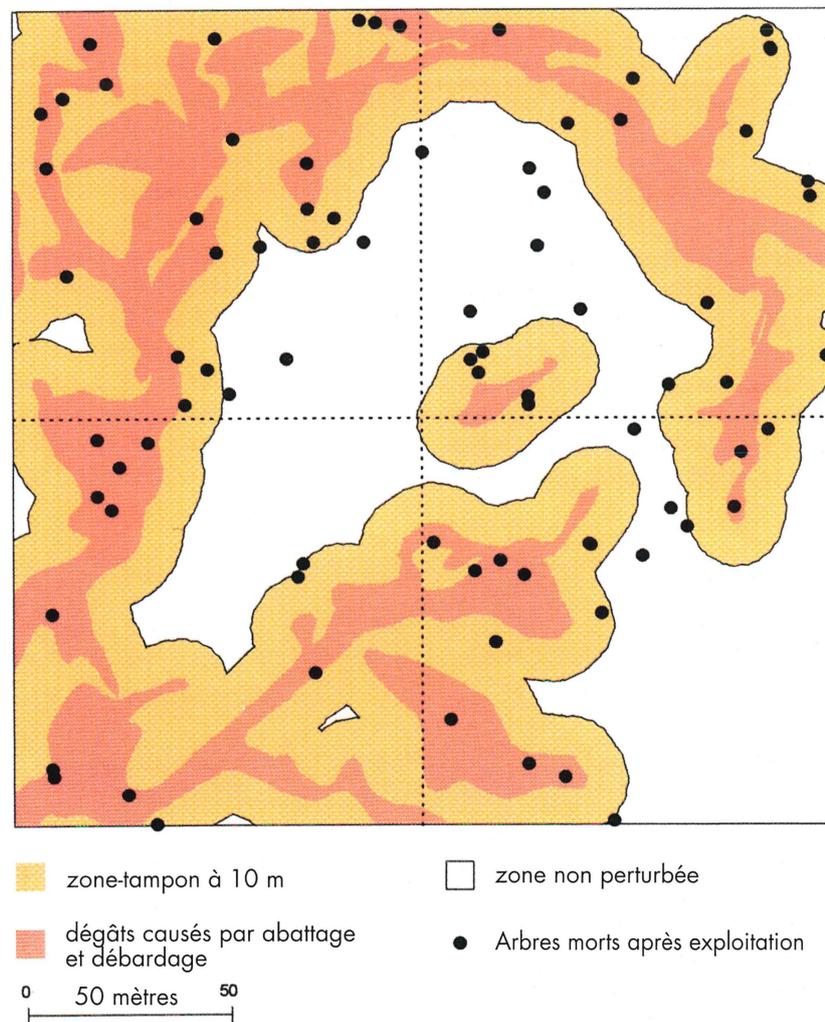
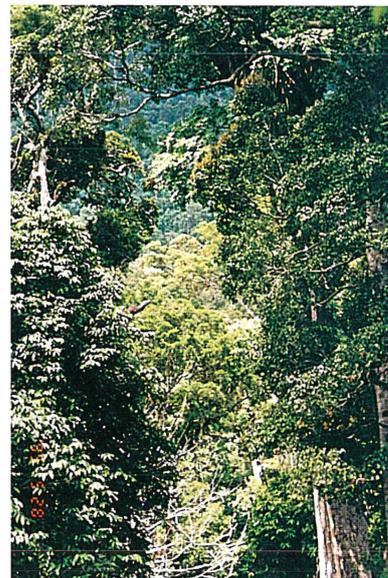


Figure 1. Approche spatiale de la dynamique forestière par S.I.G.
Spatial approach of the forest dynamics by GIS.

Mortalité avant et après exploitation

diamètres confondus, nous n'avons pas trouvé de différence significative entre diptérocarpacées et non-diptérocarpacées ($\chi^2 = 0,04$, $p = 0,84$, $dl = 1$) ; la mortalité semble plutôt s'expliquer par la croissance antérieure. Les arbres ayant eu une croissance négative ou nulle ont une mortalité significativement supérieure (2 %/an) à celle des arbres dont la croissance avait été strictement positive : 1,1 %/an ($\chi^2 = 14$, $p = 0,001$).



Etudier la dynamique et les caractéristiques d'un peuplement est indispensable à tout projet de gestion durable de la forêt.

Studying stand dynamics and characteristics is a basic prerequisite to the sustainable management of a forest.

régressions calculées entre la mortalité et la surface terrière abattue (exprimant l'intensité d'exploitation) d'une part, et la surface terrière restante (exprimant l'intensité des dé-

RÉSULTATS

MORTALITÉ EN FORÊT PRIMAIRE

En forêt primaire, le taux de mortalité annuelle d'ensemble est de 1,5 %/an, soit en moyenne 9 tiges/ha/an, ou encore 0,57 m²/ha/an en surface terrière. Il y a toutefois une grande variabilité entre les carrés, la mortalité allant de 0,5 à 2,9 %/an. La grande majorité des arbres morts restent «sur pied» (62,5 %). Les chablis représentent 25,7 % et les arbres entraînés par la chute d'un autre arbre 9,8 %. Aucune différence significative n'a été trouvée entre les classes de diamètre ($\chi^2 = 9,1$, $p = 0,33$, $dl = 5$). De même, tous types de mortalités et classes de

MORTALITÉ APRÈS EXPLOITATION

□ Mortalité deux ans après exploitation (RKL 4)

Toutes parcelles confondues, la mortalité après la coupe est de 2,5 %/an, chiffre significativement différent de la mortalité des parcelles-témoins durant la même période ($\chi^2 = 46,7$, $p = 0,001$, $dl = 1$). On a constaté une plus grande hétérogénéité entre carrés que dans la forêt primaire, les taux variant entre 1 et 5 %/an, sans mentionner une valeur extrême de 10,3 %/an dans un carré, due à un glissement de terrain. Cette hétérogénéité peut s'expliquer en partie par la sévérité de l'exploitation. Des

TABLEAU I

TAUX DE MORTALITÉ ANNUELLE APRÈS EXPLOITATION EN FONCTION DE L'IMPORTANCE DES DÉGÂTS*
DIPTÉROCARPACÉES

Importance des dégâts	Surface terrière restante (%)	Nombre de carrés pris en compte	Taux de mortalité (%/an)	Intervalle de confiance
Modérée	≥ 80 %	11	1,6	± 0,17 (n = 5 389)
Moyenne	≤ 70-80 %	14	2,4	± 0,2 (n = 6 090)
Forte	< 70 %	11	2,9	± 0,29 (n = 3 350)

* Exprimés en surface terrière restante après exploitation.
n = effectifs pris en compte pour le calcul.

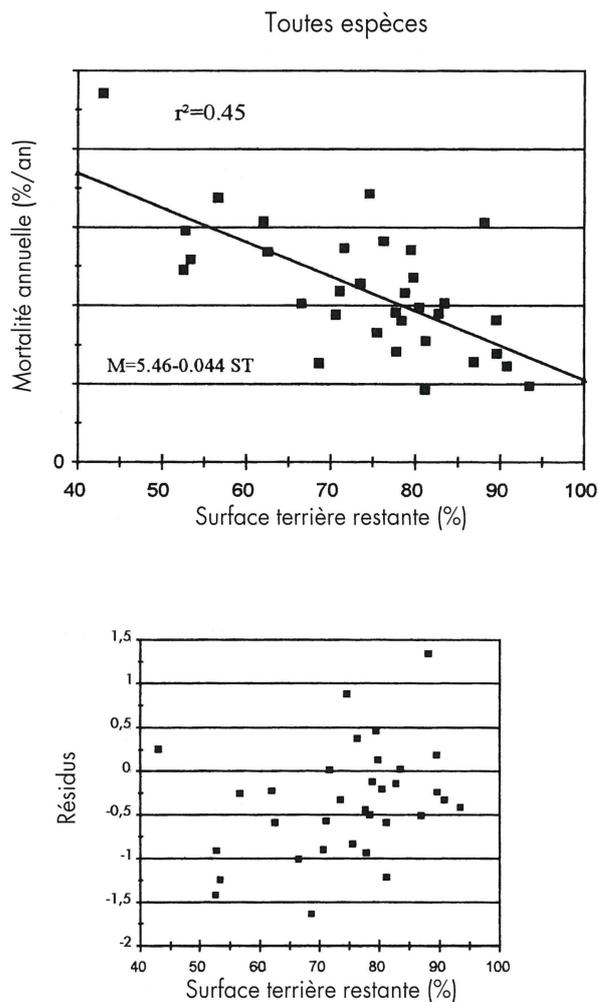


Figure 2. Mortalité annuelle en fonction de la surface terrière restante après exploitation.
Annual mortality versus remaining basal area after logging. Regression and residuals.

gâts) d'autre part, ont donné dans les deux cas des corrélations significatives : $p = 0,01$ (fig. 2). Les dégâts permettent de mieux rendre compte de cette mortalité après exploitation ($r^2 = 0,43$) que l'intensité même de l'exploitation ($r^2 = 0,33$).

Suite à ce résultat et pour mieux cerner l'importance de la mortalité, nous avons calculé la mortalité en fonction de trois niveaux d'exploitation :

- « Exploitation modérée », avec une surface terrière restante ≥ 80 % ;

- « Exploitation moyenne », avec une surface terrière restante comprise entre 70 et 80 % ;

- « Exploitation forte », avec une surface terrière restante < 70 % (tableau I).

Ces trois catégories ont été définies de telle sorte qu'elles soient centrées sur la surface terrière restante moyenne de toutes les parcelles (74 %), et qu'il y ait une distribution équitable des 36 carrés étudiés entre les trois catégories (tableau I). Les résultats

obtenus montrent que les surfaces soumises à une exploitation modérée ont une mortalité moyenne de 1,6 %/an, et ne sont pas significativement différentes des parcelles témoins durant la même période ($\chi^2 = 2,6$, $p = 0,1$, $dl = 2$). À l'inverse, les surfaces soumises à une exploitation moyenne ou forte ont des taux de mortalité significativement plus élevés ($p = 0,001$), respectivement de 2,4 et 2,9 %/an.

Finalement, de même que dans la forêt primaire, nous n'avons pas trouvé après exploitation de différence de mortalité ni entre classes de diamètre, au vu du recouvrement des intervalles de confiance, ni entre les diptérocarpacées et les autres essences ($\chi^2 = 0,67$, $p = 0,41$, $dl = 1$).

□ Approche spatiale par S.I.G.

Dans chacune des trois zones (dégâts, zone-tampon et zone non perturbée), cf. fig. 1, nous avons calculé les taux de mortalité avant et après la coupe (tableau II, p. 30).

Chez les arbres localisés dans la zone de dégâts, le taux de mortalité après exploitation est très élevé (6,7 %/an). Dans la zone non perturbée, au contraire, la mortalité est comparable à celle observée en forêt primaire (1 %/an). Le taux de mortalité de la zone-tampon n'est pas statistiquement différent de celui de la zone non perturbée, vu le large recouvrement de l'intervalle de confiance. Bien que ce large intervalle de confiance soit dû à la petite taille de l'échantillon, ce résultat pourrait indiquer que la mortalité provoquée par l'exploitation à la limite de la zone de dégâts se concentre sur une distance plus faible que les 10 m de la zone-tampon. La forte mortalité observée après la coupe s'avère, par conséquent, localisée dans la zone de dégâts elle-même et à son voisinage immédiat.

□ **Mortalité des arbres blessés deux ans après la coupe**

Les arbres blessés constituent 26 % du peuplement subsistant après la coupe, et ils représentent plus de la moitié (51 %) de tous les arbres morts au cours des deux années suivantes. Ce résultat est dû au

taux de mortalité significativement plus élevé des arbres blessés par comparaison avec les arbres non blessés (5,4 %/an contre 1,1 %/an, $\chi^2 = 316,2$, $p = 0,001$, $dl = 1$). On observe cependant des différences selon les divers types de blessures.

La fréquence et la mortalité respective des arbres blessés sont résumées dans le tableau III. Les deux types de blessures les plus meurtrières sont les arbres penchés (16 %/an) et les troncs brisés (13,6 %/an). On peut noter que ces dégâts sont aussi les principales causes de mortalité lors

TABLEAU II
MORTALITÉ ET CROISSANCE PAR ZONE DE PERTURBATION SUR LA PARCELLE 5 (RKL 4)
TOUTES ESPÈCES CONFONDUES

Zone de perturbations	Mortalité deux ans après exploitation (%/an)	Croissance avant exploitation (cm/an)	Croissance après exploitation (cm/an)
Zones des dégâts	6,7 ± 0,52	0,26 ± 0,04 (n = 64)	0,42 ± 0,05 (n = 70)
Zone-tampon (10 m)	2,1 ± 0,48	0,24 ± 0,01 (n = 634)	0,37 ± 0,01 (n = 665)
Zone non perturbée	1,0 ± 0,36	0,26 ± 0,01 (n = 660)	0,28 ± 0,01 (n = 685)
Total	2,2 ± 0,34	0,25 ± 0,01 (n = 1 365)	0,33 ± 0,01 (n = 1 427)

TABLEAU III
FRÉQUENCE ET TAUX DE MORTALITÉ DES DIFFÉRENTS TYPES DE BLESSURE

Types de blessure	Contribution au total de blessés (%)	Taux de mortalité (%/an)	Contribution à la mortalité totale (%)
1 : dégâts d'écorce	35,1	3,2 ± 0,51 (n = 1 169)	21,1
2 : arbres penchés	7,0	16,0 ± 2,4 (n = 234)	21,1
3 : branches cassées	36,8	3,1 ± 0,5 (n = 1 202)	21,5
4 : arbres étêtés	12,1	5,9 ± 1,2 (n = 402)	13,4
5 : arbres coupés sans branches restantes	8,8	13,6 ± 2 (n = 287)	22,6
Total	100 (3 221 arbres)	5,4 ± 0,4 (n = 3 481)	100

des opérations de coupe (BERTAULT, SIST, 1995), et il n'est donc pas étonnant que ces types de blessures causent une forte mortalité après exploitation. Ces blessures présentant les plus forts taux de mortalité sont aussi les moins fréquentes (respectivement 7 % et 8,8 %). Au contraire, les blessures de l'écorce ou du bois, ainsi que les bris de branches, qui sont les plus fréquentes et concernent près des trois-quarts des arbres (72 %), occasionnent des taux de mortalité faibles (respectivement 3,2 % et 3,1 %/an), bien que toujours significativement supérieurs à la mortalité en forêt primaire durant la même période ($\chi^2 = 45,9$, $p = 0,001$, $dl = 1$). En résumé, les blessures les plus meurtrières sont les moins fréquentes, et inversement les moins meurtrières sont les plus fréquentes. En compensation, on note finalement que chaque type de blessure contribue approximativement dans la même proportion (≈ 20 %) à la mortalité globale des arbres blessés (tableau III). Seuls les arbres écimés représentent une part plus faible avec 13 %.

□ Mortalité quinze ans après la coupe (RKL 1)

Les taux de mortalité calculés dans le RKL 1 sont très comparables à ceux du RKL 4 après exploitation. La moyenne est de 2,5 %/an, avec une grande hétérogénéité entre les carrés. La question qui se pose est de savoir si ce taux élevé est dû à l'exploitation antérieure, ce qui voudrait dire que la mortalité provoquée par l'exploitation peut persister pendant au moins 15 ans après celle-ci, ou si le RKL 1 et le RKL 4 ont à la base des dynamiques différentes. Afin d'estimer l'intensité de la coupe antérieure dans le RKL 1, nous avons compté les souches subsistantes dans toutes les parcelles et trouvé une moyenne de 3 tiges/ha ($s = 2,4$ tiges/ha), ce qui est moins de la moitié du RKL 4 (8 tiges/ha). Il paraît, par consé-

quent, très improbable que cette intensité puisse avoir entraîné des taux de mortalité aussi élevés. En outre, sur la parcelle 2, aucune souche restante n'a été trouvée ; cependant, la mortalité y a atteint en moyenne 2,5 %, un des carrés ayant un taux de 5,6 %. En définitive, nous pouvons supposer que le RKL 1 avait à l'origine un taux de mortalité supérieur à celui du RKL 4 avant l'exploitation et, pour cette raison, il apparaît imprudent de comparer directement RKL 1 et RKL 4.

DISCUSSION

MORTALITÉ EN FORÊT PRIMAIRE

Le taux de mortalité de 1,5 %/an que nous avons calculé sur 12 ha de forêt vierge est très comparable à celui trouvé par de nombreux auteurs dans les forêts mélangées à diptérocarpacées d'Asie (WYATT-SMITH, 1961; PRIMACK *et al.*, 1985; MANOKARAN, KOCHUMMEN, 1987) ou dans des forêts tropicales humides d'autres continents (LIEBERMANN *et al.*, 1985; DURRIEU, 1993 et 1994). Il faut noter, toutefois, que les taux de mortalité peuvent varier considérablement d'une station à l'autre et entre des périodes successives, probablement en raison du nombre et de la complexité des facteurs qui entrent en jeu. Comme l'indiquent SWAINE *et al.* (1987a), on ne sait pas, en fait, si cette variation est prévisible ou stochastique. En tout état de cause, les taux calculés dans n'importe quelle forêt primaire varieront d'autant plus qu'ils seront calculés sur un court intervalle de temps et sur une petite parcelle.

Comme le concluent LIEBERMANN *et al.* (1985) ou ALDER (1983), la classe de diamètre ne s'avère pas déterminante pour expliquer les différences observées. En revanche, il doit y avoir une influence de la catégorie d'essences. KORNING et BALSLEV (1994) ont trouvé une corré-

lation négative entre l'âge maximal des essences et leur taux de mortalité, résultat corroboré par les observations de MANOKARAN et KOCHUMMEN (1987) ; ils ont constaté que la mortalité varie entre les catégories d'essences selon la séquence suivante :

émergents < couvert principal < sous-étage < essences secondaires.

Les diptérocarpacées constituent la majeure partie des émergents (3/4 des arbres de plus de 60 cm de diamètre). Cependant, nous n'avons trouvé à Berau aucune différence entre les diptérocarpacées et les autres essences. Ce résultat tient vraisemblablement à ce que cette division est trop sommaire et rassemble des genres de comportements trop divers. Il serait intéressant de vérifier cette hypothèse en classant toutes les essences selon les quatre grands groupes définis par SIST dans la section sur la flore. La mortalité semble plus nettement liée à la croissance antérieure comme l'indiquent NICHOLSON (1979, cité par ALDER, 1983), FEFILI (1995), SWAINE *et al.* (1987a) et BERGONZINI (1989) ; les arbres ayant une croissance nulle ont plus de chances de dépérir. Comme nous le verrons plus loin dans l'étude sur la croissance, ce phénomène est directement lié à la densité du peuplement et à l'appartenance des arbres aux étages dominés.

MORTALITÉ APRÈS EXPLOITATION

Après exploitation, la mortalité s'accroît de manière significative, avec une moyenne de 2,5 %/an et avec une plus grande hétérogénéité qu'en forêt primaire. Nous n'avons trouvé de différence de mortalité ni entre les classes de diamètre, ni entre diptérocarpacées et non-diptérocarpacées. Selon les résultats de TANG (1976), l'hétérogénéité s'explique en partie par l'intensité de la

coupe et l'importance des dégâts qu'elle entraîne. Notre regroupement des carrés par niveau de perturbation confirme ce résultat puisque la mortalité atteint 2,9 % en moyenne après exploitation dans les zones les plus endommagées, tandis que les moins perturbées ont une mortalité comparable à celle de la forêt primaire. Les Systèmes d'Information Géographique (S.I.G.) apportent une information supplémentaire en ce qui concerne la distribution spatiale de la mortalité. Au travers de l'exemple d'une parcelle, la mortalité semble particulièrement concentrée sur les arbres situés dans la zone de dégâts et dans une frange étroite entourant celle-ci (sans doute moins de 10 m). Le peuplement situé au-delà a une mortalité comparable à celle d'une forêt primaire, et la perturbation éventuelle n'est pas mesurable. Cet exemple montre bien que des taux calculés sur des parcelles entières masquent considérablement l'hétérogénéité spatiale de la mortalité.

Dans la modélisation de la dynamique de la forêt et pour les prédictions concernant les peuplements, il importe de savoir pendant combien de temps ces taux de mortalité élevés se maintiendront et combien d'années il faudra pour revenir aux taux de la forêt primaire. Nous avons vu que deux types de blessure entraînaient des taux de mortalité particulièrement élevés (arbres penchés et arbres brisés). Comme ces arbres ont une mortalité élevée et

qu'ils sont peu nombreux, on peut supposer qu'ils disparaîtront rapidement. Ensuite, seuls les arbres légèrement blessés subsisteront, de sorte que nous pouvons nous attendre à un maximum de mortalité juste après l'exploitation, et ensuite à une diminution rapide pour revenir enfin progressivement aux taux de la forêt primaire ; c'est ce qu'ont observé divers auteurs, avec un maximum de mortalité deux ans après la coupe (TANG, WAN RAZALI, 1981 ; DURRIEU, 1993 ; PETRUCCI, TANDEAU DE MARSAC, 1994). Dans la plupart des cas, les taux de mortalité redeviennent comparables à ceux de la forêt vierge après cinq ans environ (YONG TENG KOON, 1990 ; DURRIEU, 1994 ; PETRUCCI, TANDEAU DE MARSAC, 1994), bien que SILVA *et al.* (1995) en Amazonie n'aient constaté aucune diminution sur une période de onze ans après une coupe enlevant 16 arbres/ha. Nos données dans le RKL 1, sur une forêt exploitée quinze ans auparavant, n'ont pas permis d'arriver à une conclusion. Quinze ans après une exploitation pouvant être qualifiée de coupe «de faible intensité», on a trouvé une mortalité aussi élevée que dans le RKL 4 juste après exploitation. Cette constatation nous a amenés à conclure que la forêt du RKL 1 a sans doute une dynamique et un comportement différents de ceux du RKL 4, et qu'ils ne sont pas directement comparables.

L'étude sur les arbres blessés confirme les propos de ALDER (1983)

selon lequel ceux-ci ont une mortalité plus forte que les arbres sains. Le dispositif du projet STREK montre que ces arbres blessés constituent une part non négligeable du peuplement résiduel après exploitation (près de 25 %) et que ce sont surtout eux qui contribuent à augmenter la mortalité après exploitation. Ce qu'il faut considérer, c'est l'évolution des différentes blessures avec le temps. Les arbres qui ont leur tronc brisé ou qui sont étêtés se trouvent définitivement perdus pour la coupe suivante s'ils survivent à leurs blessures, mais ce cas ne concerne qu'un petit nombre de sujets. Plus importantes sont les blessures affectant le bois, l'écorce et les bris de branches, qui représentent la majeure partie des blessures. Elles entraînent une faible probabilité de dépérissement, mais elles risquent de favoriser les attaques d'agents pathogènes ou des déformations qui rendront les grumes impropres à la vente. En fait, la question est moins de savoir «combien d'entre ces arbres mourront ?» que «quelle sera leur qualité future ?». Il est sans aucun doute plus important d'éviter de nombreuses blessures mineures ayant des effets à long terme sur la qualité des grumes que d'éviter un petit nombre de blessures meurtrières. Les méthodes d'exploitation à faible impact (EFI), qui permettent une réduction significative des dégâts et des blessures (-18 % d'après BERTAULT et SIST, 1995, 1997) sont donc particulièrement pertinentes à ce niveau.

Taux de croissance avant et après exploitation. Effets des traitements sylvicoles

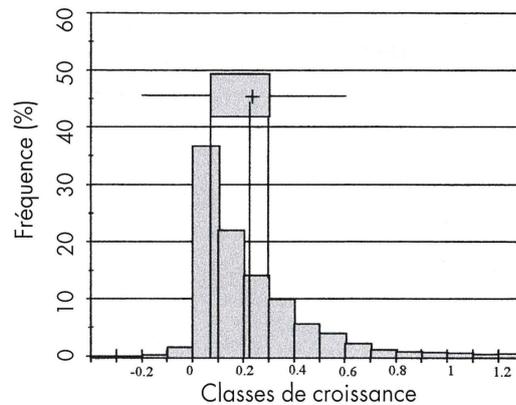


Figure 3. Fréquence des croissances annuelles en forêt primaire - toutes espèces confondues.
Annual growth rate in primary forest - all species.

RÉSULTATS

CROISSANCE EN FORÊT PRIMAIRE

Toutes classes de diamètre et toutes essences confondues, le taux d'accroissement moyen de la forêt primaire est de 0,22 cm/an ($\pm 0,003$, $n = 5813$). On a observé peu de cas d'accroissements excédant 1 cm/an (seulement 1,2%) et 75 % des peuplements sont en dessous de 0,3 cm/an (fig. 3). Les accroissements les plus fréquents sont compris entre 0 et 0,1 cm/an. Les diptérocarpacées ont un accroissement moyen de 0,3 cm/an ($\pm 0,01$, $n = 1419$), tandis que les non-diptérocarpacées ont un accroissement moyen de 0,2 cm/an ($\pm 0,005$, $n = 4394$). Les diptérocarpacées poussent significativement plus vite que les

autres essences ($t = 4,32$, $p < 0,01$, $dl = 11$).

Dans l'intervalle de trois ans et demi, 10,6 % des arbres ont eu une croissance nulle ou négative. Si l'on considère seulement une période de croissance d'environ deux ans, cette proportion atteint 25 % du peuplement, avec de grandes variations entre les parcelles (de 17,9 % dans la parcelle 10 à 30,7 % dans la parcelle 1). Le test du χ^2 montre que les arbres concernés ne sont pas distribués régulièrement par classe de diamètre ($\chi^2 = 66,3$, $p = 0,001$, $dl = 8$). Ils sont plus nombreux dans les plus petites classes de diamètre et, en particulier, dans la première 10-20. Nous avons trouvé une corrélation significative entre la proportion d'arbres ne s'accroissant pas et la surface terrière/ha ($p = 0,001$, $r^2 = 0,46$). Leur proportion s'accroît

avec la surface terrière, probablement en raison de la concurrence entre individus.

La distribution des taux d'accroissement par classes de diamètre pour les diptérocarpacées montre que le taux le plus bas (0,25 cm/an) s'observe dans la première classe 10-20 ; le taux d'accroissement annuel moyen en diamètre augmente légèrement ensuite à mesure que l'on s'élève dans les classes de diamètre, avec un maximum (0,44 cm/an) dans la classe 40-50. Au-dessus de 50 cm de diamètre, la croissance semble stable vis-à-vis du diamètre, si l'on excepte une légère diminution au-dessus de 90 cm (0,33 cm/an). Nous avons distingué par la suite quatre grandes classes de diamètre: 10-20 ; 20-40 ; 40-60 ; ≥ 60 (tableau IV) ; la classe 10-20 a été particulièrement distinguée des autres

TABLEAU IV

CROISSANCE MOYENNE ANNUELLE EN DIAMÈTRE PAR CLASSE DE DIAMÈTRE DIPTÉROCARPACÉES EN FORÊT PRIMAIRE

	Classes de diamètre (cm)				Total
	10-20	20-40	40-60	≥ 60	
Croissance (cm/an)	0,25 \pm 0,01 ($n = 691$)	0,32 \pm 0,01 ($n = 396$)	0,41 \pm 0,03 ($n = 167$)	0,38 \pm 0,02 ($n = 165$)	0,30 \pm 0,01 ($n = 1419$)

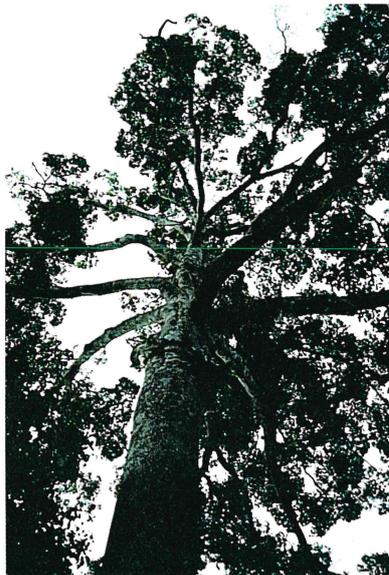
TABLEAU V
CROISSANCE MOYENNE ANNUELLE EN DIAMÈTRE PAR CLASSE DE DIAMÈTRE
POUR LES PRINCIPAUX GENRES DE DIPTÉROCARPACÉES EN FORÊT PRIMAIRE

	Classes de diamètres (cm)				Total
	10-20	20-40	40-60	≥ 60	
<i>Dipterocarpus spp.</i>	0,21 ± 0,02 (154)	0,28 ± 0,02 (89)	0,34 ± 0,03 (59)	0,31 ± 0,03 (59)	0,26 ± 0,01 (361)
<i>Shorea spp.</i>	0,30 ± 0,01 (304)	0,39 ± 0,02 (191)	0,47 ± 0,04 (84)	0,43 ± 0,03 (95)	0,37 ± 0,01 (674)
<i>Vatica spp.</i>	0,14 ± 0,01 (136)	0,15 ± 0,01 (65)	0,16 ± 0,02 (14)	-	0,14 ± 0,01 (215)
<i>Hopea spp.</i>	0,28 ± 0,02 (53)	0,34 ± 0,04 (30)	-	-	0,31 ± 0,02 (84)
<i>Parashorea spp.</i>	0,39 ± 0,07 (30)	0,34 ± 0,06 (19)	-	-	0,41 ± 0,05 (60)
Total	0,25 ± 0,01 (677)	0,32 ± 0,01 (394)	0,41 ± 0,03 (166)	0,39 ± 0,02 (157)	0,30 ± 0,01 (1 394)

Note : les croissances ne sont pas données si n ≤ 5.

en raison du grand nombre d'individus qu'elle contient. Avec ce groupement, les intervalles de confiance au niveau 5 % des trois premières classes de diamètre ne se recouvrent pas. Le taux d'accroissement le plus élevé est constaté dans la classe 40-60.

Nous avons calculé les taux d'accroissement pour les principaux genres de diptérocarpacées rencontrés dans les parcelles-témoins (tableau V). Pour les trois genres *Vatica*, *Hopea* et *Parashorea*, il n'y a pas de taux au-dessus de 40 cm de diamètre en raison du nombre insuffisant d'individus ; en effet, *Vatica* et *Hopea* sont des arbres de sous-étage. Sur l'ensemble, le taux d'accroissement le plus élevé (0,47 cm/an) est observé chez le genre *Shorea* dans la classe 40-60, et le plus bas (0,14 cm/an) chez le genre *Vatica* dans la classe 10-20. Dans les deux



Importance du houppier dans la dynamique des cycles. Ici *Shorea* sp.
 Importance of the crown shape in tree dynamics. In this photo we can see *Shorea* sp.

premières classes de diamètre, les seules où l'on puisse comparer les cinq genres, les taux d'accroissement les plus élevés (0,39 cm/an) sont ceux de *Shorea* dans la classe 20-40 et de *Parashorea* dans la classe 10-20, bien que pour ce dernier l'intervalle de confiance soit très grand en raison du faible nombre d'individus. Viennent ensuite, dans l'ordre décroissant, *Hopea* (max. 0,34 cm/an) et *Dipterocarpus*. La croissance la plus lente est observée chez *Vatica* (max. 0,15 cm/an).

Les taux d'accroissement calculés en distinguant les codes de Dawkins (DAWKINS, 1958) montrent une influence de la forme et de la position du houppier seulement lorsque sont comparés les codes 1/2 et 3/4/5 pris ensemble. La faible influence de ce facteur est certainement liée à la difficulté d'attribuer ces codes sur le terrain.

TAUX D'ACCROISSEMENT APRÈS EXPLOITATION

□ Accroissement deux ans après exploitation (RKL 4)

Le taux d'accroissement d'ensemble est de 0,39 cm/an ($\pm 0,003$, $n = 12\ 792$), ce qui est d'environ deux fois supérieur au taux observé en forêt primaire. Les arbres ayant un taux d'accroissement excédant 1 cm/an, qui représentaient à peine 1,2 % du peuplement en forêt primaire, rassemblent cette fois 10,6 % du total. Cependant, 75 % des arbres enregistrés restent encore en dessous de 0,56 cm/an. Les diptérocarpacées atteignent en moyenne 0,51 cm/an ($\pm 0,007$, $n = 3\ 210$), et les autres familles 0,34 cm/an ($\pm 0,003$, $n = 9\ 582$). Suite à la stimulation de la croissance, la proportion d'arbres ayant une croissance nulle ou négative a diminué. Durant la même période, les parcelles-témoins renfermaient 24 % d'arbres ne s'accroissant pas, tandis que cette proportion n'était que de moitié (12,5 %) dans les parcelles exploitées. La distribution de ces arbres par classe de diamètre avant et après exploitation montre une diminution significative, notamment dans les plus petites tailles 10-30. Ce sont les plus petits arbres souffrant de la concurrence qui ont la réponse la plus élevée à de meilleures conditions de croissance.

Comme indiqué plus haut, dans l'étude sur la mortalité, l'intensité de la coupe a varié de 1 à 17 tiges/ha (2 à 40 % de la surface terrière initiale). En conséquence, certains carrés peu perturbés ont une dynamique de peuplement très comparable à celle de la forêt primaire, tandis que d'autres, fortement perturbés, subissent des changements profonds. Il y a une corrélation significative entre l'accroissement annuel moyen en diamètre et le pourcentage de surface terrière subsistante après la coupe (fig. 4, p. 36). Plus le couvert est ouvert après la



Développement d'espèces pionnières, *Macaranga sp.* en bordure d'une zone exploitée.
Pioneer species development on the edge of a logged area.

coupe, et plus rapide est la croissance moyenne du peuplement restant. Il semble, par conséquent, important pour le calcul des taux d'accroissement après la coupe de distinguer non seulement la catégorie d'essences et la classe de diamètre mais également l'importance de l'ouverture du couvert. C'est ainsi que, comme pour la mortalité, nous avons calculé l'accroissement annuel moyen après exploitation pour les trois niveaux de sévérité d'exploitation :

- «Exploitation modérée» avec une surface terrière restante > 80 % ;
- «Exploitation moyenne» avec une surface terrière restante comprise entre 70 et 80 % ;
- «Exploitation forte» avec une surface terrière subsistante < 70 % et pour les quatre grandes classes de diamètre (tableau VI, p. 36). En accord avec la corrélation, les taux d'accroissement augmentent avec un degré croissant d'ouverture du couvert, dans toutes les classes de diamètre et toutes les catégories d'essences. Le taux d'accroissement maximal dans le cas d'exploitation

forte est de 0,71 cm/an pour les diptérocarpacées dans la classe 10-20. La réponse des non-diptérocarpacées est comparable à celle des diptérocarpacées. Les facteurs de multiplication entre la croissance des témoins et la croissance pour les différentes intensités de coupe sont les mêmes.

Les taux d'accroissement calculés par traitement ne permettent pas de faire de différence entre eux.

□ Approche spatiale par S.I.G.

De la même façon que pour la mortalité, nous avons calculé dans la parcelle 405 l'accroissement après exploitation dans les trois zones précédemment définies : zone de dégâts, zone-tampon de 10 m autour des dégâts, et zone située en dehors, qualifiée de «non perturbée» (fig. 1). Par comparaison, nous avons calculé également la croissance avant exploitation dans les trois zones (tableau II), bien que celle-ci doive être considérée avec prudence si l'on tient compte de notre remarque dans la section méthodologie. Avant

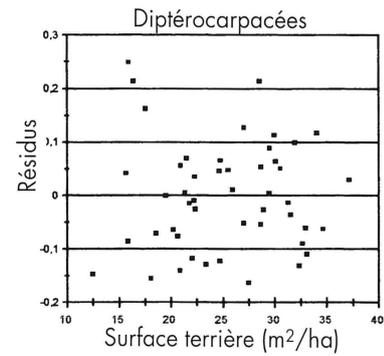
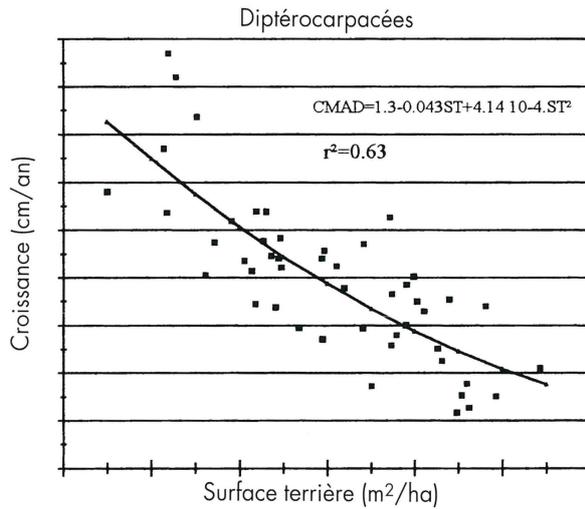


Figure 4. Croissance en fonction de la surface terrière restante après exploitation - *Diptérocarpacées*.
Growth according to the basal area left after logging - *Dipterocarpaceae*

la coupe, la croissance est comparable dans les trois zones. Après la coupe, la croissance de la zone non perturbée reste constante, tandis que dans la zone-tampon et dans la zone perturbée elle est nettement augmentée. La croissance dans la zone-tampon n'est pas nettement différente de celle de la zone perturbée, ce qui semble indiquer que la stimulation

de la croissance provoquée par l'ouverture du couvert pourrait concerner le peuplement résiduel sur une surface plus large que les 10 m de la zone-tampon.

□ **Accroissement quinze ans après exploitation (RKL 1)**

Nous avons effectué la même étude de corrélation entre les accroisse-

ments annuels moyens et la surface terrière avec les données du RKL 1 et du RKL 4. Pour les diptérocarpacées, les non-diptérocarpacées et pour toutes les essences prises ensemble, nous avons trouvé une régression significative mais avec une corrélation plus faible (respectivement $r^2 = 0,52$, $r^2 = 0,59$ et $r^2 = 0,57$). Les équations de régres-

TABLEAU VI						
CROISSANCE PAR CLASSE DE DIAMÈTRE EN FONCTION DE L'IMPORTANCE DES DÉGÂTS DIPTÉROCARPACÉES						
Importance des dégâts	Surface terrière restante (%)	Classes de diamètres (cm)				Total
		10-20	20-40	40-60	≥ 60	
Modérée	≥ 80 %	0,40 ± 0,01 (675)	0,47 ± 0,02 (455)	0,47 ± 0,03 (186)	0,46 ± 0,04 (96)	0,44 ± 0,01 (1 412)
Moyenne	≤ 70-80 <	0,47 ± 0,02 (553)	0,52 ± 0,02 (390)	0,54 ± 0,03 (173)	0,53 ± 0,04 (89)	0,50 ± 0,01 (1 205)
Forte	< 70 %	0,71 ± 0,03 (364)	0,68 ± 0,04 (193)	0,68 ± 0,05 (80)	0,62 ± 0,07 (41)	0,69 ± 0,02 (678)
Total exploitation		0,50 ± 0,01 (1 592)	0,53 ± 0,01 (1 038)	0,53 ± 0,02 (439)	0,52 ± 0,03 (226)	0,51 ± 0,01 (3 295)
Témoin		0,25 ± 0,01 (691)	0,32 ± 0,01 (396)	0,41 ± 0,03 (167)	0,38 ± 0,02 (165)	0,30 ± 0,01 (1 419)

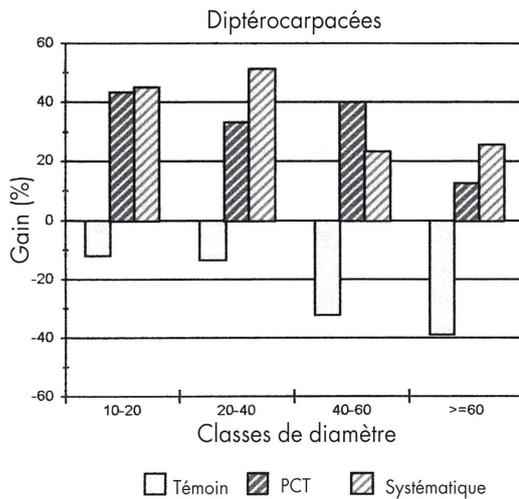


Figure 5. Gain en croissance sur deux ans après traitement sylvicole par dévitalisation sélective (PCT) et systématique (RKL 1).

Gain in growth after two years' silvicultural treatment by devitalization.

sion des deux RKL sont cependant nettement comparables étant donné qu'il y a un large recouvrement de l'intervalle de confiance pour tous les paramètres ; les deux zones d'étude montrent donc des comportements de croissance semblables en fonction de la surface terrière à l'hectare. La surface terrière moyenne dans le RKL 1 est de 25,1 m²/ha, ce qui est très proche de celle du RKL 4 après exploitation (23,5 m²/ha), et les taux d'accroissement d'ensemble sont très comparables dans les deux RKL : toutes essences 0,37 cm/an ($\pm 0,004$, n = 10 569), diptérocarpacées 0,53 cm/an ($\pm 0,01$, n = 2 173), autres essences 0,33 cm/an ($\pm 0,004$, n = 8 396).

Le RKL 1 a une surface terrière moyenne comparable à celle du RKL 4, bien que selon notre estimation l'intensité de coupe y ait été diminuée de plus de la moitié par rapport au RKL 4 (3 tiges/ha contre 8 dans le RKL 4). En conséquence, les coupes antérieures ne sont pas suffisantes pour expliquer cette faible surface terrière résiduelle, et il est très probable que le RKL 1 avait à l'origine une densité inférieure à

celle du RKL 4. Les très forts taux d'accroissement en diamètre calculés dans le RKL 1 sont probablement liés davantage à une faible densité naturelle de tiges dans cette zone qu'à l'effet de la coupe.

EFFETS DES TRAITEMENTS SYLVICOLES

Dans cette étude décrite ci-après, nous nous sommes intéressés à l'activation de la croissance des diptérocarpacées avec les deux traitements sylvicoles appliqués (PCT : éclaircie sélective et systématique). Avant traitement, les peuplements se caractérisaient par des taux d'accroissement élevés, allant de 0,39 à 0,73 cm/an. Dans l'ensemble, la courbe accroissement/diamètre s'apparentait à celle d'un peuplement exploité avec une croissance indépendante de la classe de diamètre. Il y avait toutefois des disparités marquées entre les futurs traitements : les parcelles de traitement PCT avaient le plus bas taux d'ensemble (0,4 cm/an) par rapport à celles de traitement systématique (0,66 cm/an). Avant traitement, les

plus forts taux d'accroissement ont été observés dans le traitement systématique, avec 0,73 cm/an dans la classe 10-20.

Deux ans après les traitements sylvicoles, en dépit de fortes croissances initiales, on a observé dans tous les cas une nette activation de la croissance. Dans le traitement systématique, les diptérocarpacées ont atteint 1 cm/an en moyenne dans les deux premières classes de diamètre. Dans l'ensemble, cette stimulation s'est révélée décroissante en fonction des classes de diamètre: dans la première classe, le gain net est d'environ 50 %, et il diminue jusqu'à 20-25 % au-dessus de 60 cm de diamètre (fig. 5). Deux ans après le traitement, on n'observe pas de différence nette entre PCT et traitement systématique; le gain est le même et varie de la même façon selon la classe de diamètre.

Il faut noter que, durant la même période, les parcelles-témoins ont accusé une diminution générale de la croissance, qui a entraîné un gain négatif dans toutes les classes de diamètre sur ces parcelles (fig. 5). Si cette diminution de la croissance entre les deux périodes a été une tendance générale dans tout le RKL 1, on pourrait en déduire que les gains dus aux traitements sylvicoles ont été sous-estimés.

DISCUSSION

ACCROISSEMENTS EN FORÊT PRIMAIRE

Nous avons trouvé dans la forêt primaire un taux d'accroissement d'ensemble de 0,22 cm/an, et 0,3 cm/an pour les diptérocarpacées, ce qui est comparable aux taux trouvés par MANOKARAN et KOCHUMMEN (1987) ou YONG TENG KOON (1990) dans des forêts mixtes à diptérocarpacées de Malaisie péninsulaire. Notons, cependant, que

NICHOLSON (1965) a constaté un taux d'accroissement d'ensemble de 0,48 cm/an dans la réserve forestière de Sepilok au Sabah. La croissance en forêt primaire est, dans l'ensemble, très lente, mais elle est aussi très variable puisqu'on trouve des accroissements individuels négatifs à côté d'accroissements individuels de plus de 1 cm/an. De nombreux facteurs interviennent pour expliquer cette hétérogénéité :

- D'abord, la densité du peuplement : les régressions montrent que plus la densité est forte et plus la croissance moyenne du peuplement est faible. Sur une période de deux ans en forêt primaire, près du quart du peuplement a des accroissements nuls ou négatifs. Nous avons vu qu'il s'agit plus particulièrement de petits arbres qui souffrent de la concurrence des arbres environnants (BERGONZINI, 1989).

- Ensuite la classe de diamètre : les accroissements augmentent avec la classe de diamètre, et le maximum a été observé dans la classe 40-60. Cette classe correspond aux arbres de la canopée qui souffrent moins de la compétition pour un accès à la lumière.

- La croissance dépend aussi clairement de l'essence. Les diptérocarpacées poussent plus vite que les autres essences de la forêt primaire et, à l'intérieur même de la famille des diptérocarpacées, nous avons vu qu'il y a des différences selon le genre. Les genres ayant la croissance la plus rapide sont *Shorea* et *Parashorea*, suivis par *Hopea* et *Dipterocarpus*. Le genre *Vatica* s'est avéré pousser nettement moins vite que les genres précédents. Différentes études (NICHOLSON, 1965 ; NG, TANG, 1974 ; PRIMACK *et al.*, 1985 ; MANOKARAN, KOCHUMMEN, 1987) ont montré une hétérogénéité encore plus grande entre espèces.

- Enfin, les caractéristiques du houppier sont également un paramètre important qui contribuent à la croissance. ALDER (1983), KOORSGAARD (1986) et SILVA *et al.* (1995) mentionnent l'importance de la position du houppier, tandis que NICHOLSON (1965) et WADSWORTH *et al.* (1988) soulignent l'importance de sa forme ou du diamètre. Forme et position sont incontestablement liées entre elles, et nous avons constaté un effet déterminant des deux. Cependant, peut-être en partie en raison de la faible précision des codes de Dawkins, nous n'avons trouvé une différence significative qu'entre deux groupes composés des codes 1/2 d'une part, 3/4/5 d'autre part. Hormis les facteurs cités, il faut aussi mentionner les facteurs édaphiques (topographie, sol...) dont nous n'avons pas pu mesurer l'impact sur la dynamique du peuplement mais qui sont sans doute très importants pour expliquer la croissance. Il est donc difficile de caractériser la dynamique d'un peuplement et il faut faire preuve d'une grande prudence dans le calcul et l'utilisation de taux de croissance.

ACCROISSEMENTS APRÈS EXPLOITATION

La coupe a un effet stimulant sur la croissance, conséquence de l'ouverture du couvert et de la pénétration soudaine de lumière dans le sous-étage. Les taux d'accroissement d'ensemble après le passage de la coupe sont de 0,3 cm/an, tandis que les diptérocarpacées ont un taux moyen de 0,5 cm/an. Plus les arbres ont bénéficié de cette situation et ont réagi, plus ils ont souffert de la concurrence avant la coupe. Il s'agit surtout d'arbres du sous-étage des plus petites classes de diamètre, notamment la classe 10-20. La stimulation de la croissance a eu aussi pour effet de diminuer la proportion d'arbres ayant une croissance nulle ou négative.

La réponse du peuplement dépend manifestement du degré d'ouverture du couvert, c'est-à-dire de l'intensité de la coupe. Nous avons montré qu'il y a une bonne corrélation entre la croissance après exploitation et la surface terrière résiduelle. Dans le cas des plus fortes intensités de coupe, les taux d'accroissement maximaux ont été de 0,71 cm/an en moyenne pour les diptérocarpacées, dans la classe 10-20. L'approche spatiale par S.I.G. a démontré que la croissance était stimulée dans un voisinage peut être supérieur à 10 m autour des dégâts d'exploitation. Clairement, la forêt après exploitation doit être considérée comme une mosaïque de peuplements allant de la forêt primaire avec une dynamique inchangée à des surfaces très perturbées avec accélération importante de la dynamique.

En moyenne, les diptérocarpacées réagissent de la même façon que les autres essences à l'ouverture du couvert. Cependant, cette homogénéité est due sans aucun doute au fait que cette division est trop sommaire et rassemble des essences de comportements très différents. Il est probable que certaines essences sciaphiles ont souffert d'une trop forte intensité d'éclaircissement au bénéfice d'essences plus exigeantes en lumière, sans compter l'intrusion d'essences pionnières qui n'ont pas été prises en compte dans l'étude, étant donné qu'elles n'avaient pas encore atteint le diamètre limite de 10 cm pour être enregistrées. SIST (cf. chap. Structure et floristique, p. 16) émet l'idée qu'il y a un changement de composition après la coupe qui favorise les genres de diptérocarpacées *Parashorea* et *Dryobalanops*. Effectivement, ces deux genres sont particulièrement abondants dans le RKL 1.

Selon SILVA *et al.* (1995) au Brésil et PRIMACK *et al.* (1985) au Sarawak, la stimulation de la croissance due à la

coupe ne dure qu'environ trois ans. En revanche, FAVRICHON et HIGUCHI (1996) au Brésil ont montré un retour à la croissance initiale après sept ans, et sur deux sites du CIRAD-Forêt en Afrique et en Guyane française, les taux élevés se sont maintenus pendant au moins huit ans (FAVRICHON, comm. pers.). Les données du RKL 1 n'ont pas permis de déterminer quel est le comportement de la forêt à Berau ; quinze ans après l'exploitation, les taux d'accroissement restaient aussi élevés que dans le RKL 4 au bout de deux ans, en dépit d'une très faible intensité supposée de la coupe. Le RKL 1 a vraisemblablement une dynamique de peuplement différente de celle du RKL 4 avec, en particulier, un turnover plus rapide.

De même que pour la mortalité, aucune différence nette entre les traitements n'a été observée, ce qui est certainement dû à la variabilité na-

turelle de la croissance ajoutée à la variabilité de l'intensité de la coupe au sein d'un même traitement. Mais l'effet du traitement doit être considéré à longue échéance. Nous avons démontré l'importance du houppier pour la croissance. Les blessures de houppier provoquées par l'exploitation peuvent donc avoir un effet considérable sur la croissance ultérieure. BERTAULT et SIST (1995) ont démontré que les blessures du houppier sont plus particulièrement provoquées au moment de l'abattage. L'abattage directionnel préconisé dans les techniques d'exploitation à faible impact, dont l'objet est de faire tomber les arbres dans une direction prévue permettant d'éviter d'occasionner trop de dégâts, apparaît donc comme particulièrement opportun ; il aura sans aucun doute un effet positif sur la régénération et la croissance du peuplement résiduel.

EFFETS DU TRAITEMENT SYLVICOLE

Deux ans après la dévitalisation, nous estimons que la croissance a été améliorée de 50 %, ce qui est en accord avec les résultats obtenus sur différents sites d'étude. MAITRE (1985) a constaté des gains variant de 50 à 100 % quatre ans après le traitement, dans le cas d'essences commerciales africaines avec une méthodologie comparable ; BRYAN (1980, in ALDER, 1983) indique au Sarawak un gain net de 51 % avec le Malayan Uniform System, un an après le traitement. Ces auteurs notent que l'effet s'atténue rapidement en raison d'une concurrence renouvelée. Il sera, par conséquent, intéressant de poursuivre cette expérimentation dans le temps. Nous pouvons nous attendre toutefois à ce que la croissance soit activée pendant encore quelques années, du fait que l'ouverture du couvert par les arbres dévitalisés qui meurent se fait progressivement.

VIÈ CONFÉRENCE SUR LES DIPTÉROCARPACÉES

*Conservation et gestion durable
des forêts à Diptérocarpacées*

8-12 février 1999

BANGALORE - Etat de Karnataka - INDE

Cette conférence est organisée conjointement par :

- le groupe de travail international sur les Diptérocarpacées (Division IUFRO S1.07-17)
- l'Institut français de Pondichéry
- et le département forestier de Karnataka.

Les objectifs de cette manifestation à Bangalore sont d'établir un forum à l'intention des chercheurs et forestiers pour qu'ils puissent échanger leurs connaissances et leurs expériences sur un large éventail de sujets touchant aux Diptérocarpacées et d'évaluer les recherches récentes sur les forêts.

Pour plus d'information :

Dr. Claire Elouard

French Institute of Pondicherry - P.O. Box 33 - 11, Saint Louis Street - Pondichéry - 605 001 - Inde
Tél: (91) 413-34168/34170 - Télécopie : (91) 413-39534 - Email: instfran@giasmd01.vsnl.net.in

Bilan en volume après traitement

RÉSULTATS

MORTALITÉ DES DIPTÉROCARPACÉES

Dans l'ensemble, la mortalité exprimée en volume varie largement (entre 0 et 18 m³/ha/an, selon les carrés) avec une moyenne par traitement comprise entre 1 et 3 m³/ha/an (tableau VII). Dans le RKL 4, après exploitation, il n'y a pas de différence significative de la mortalité en volume entre les parcelles-témoins et les parcelles traitées ($t = 0,25$, $p = 0,80$), ni entre les traitements de coupe eux-mêmes ($F = 0,4$, $p = 0,67$). Dans le RKL 1, le test du χ^2 n'a pas montré clairement si la mortalité en pour cent dans les parcelles traitées

était supérieure à celle des parcelles-témoins ($\chi^2 = 3,6$, $p = 0,06$). En volume, il n'y a pas de différence significative entre les parcelles-témoins et les parcelles traitées ($t = 0,37$, $p = 0,7$).

CROISSANCE DES DIPTÉROCARPACÉES

La croissance en volume varie aussi considérablement entre les carrés (entre 1 et 10 m³/ha/an) mais avec une moyenne par traitement comprise entre 3 et 4 m³/ha/an dans le RKL 4 et 4 et 5 m³/ha/an dans le RKL 1 après traitement (tableau VII). Dans le RKL 4, il n'y a pas de différence significative entre les quatre traitements, parcelles-témoins incluses ($F = 0,41$, $p = 0,75$). Dans le RKL 1, la croissance des parcelles traitées a été significativement plus forte que celle des parcelles-témoins ($t = 2,98$, $p = 0,07$), mais les deux traitements ne sont pas significativement différents entre eux ($t = 0,26$, $p = 0,79$).

RECRUTEMENT DES DIPTÉROCARPACÉES

Le recrutement (arbres supérieurs à 10 cm de diamètre) est nettement

plus négligeable que la croissance et la mortalité, généralement compris entre 0 et 1 m³/ha/an. Dans le RKL 4, les parcelles exploitées ont eu un recrutement significativement plus élevé que les parcelles-témoins (0,42 contre 0,17 m³/ha/an, $t = 3,35$, $p < 0,05$). Dans le RKL 1, le recrutement n'était pas différent selon les traitements ($F = 1,96$, $p = 0,16$). Nos approximations conduisent toutefois à un recrutement nettement plus élevé dans le RKL 1 que dans le RKL 4, alors que rien ne le justifie réellement.

BILAN

Le bilan en volume est représenté pour chaque traitement sur la figure 6. Dans le RKL 4, il varie de - 11 à + 4 m³/ha/an, avec une moyenne par traitement d'environ 1 m³/ha/an. Dans le RKL 1, le bilan varie de - 5 à + 11 m³/ha/an, avec une moyenne par traitement de l'ordre de 4 m³/ha/an. Tant dans le RKL 1 que dans le RKL 4, il n'y a pas de différence significative entre les parcelles-témoins et les traitements, en raison de la large variance entre carrés :

(RKL4: $t = 1,6$, $p = 0,11$; RKL1: $t = 0,16$, $p = 0,86$).

TABLEAU VII
CROISSANCE, MORTALITÉ ET RECRUTEMENT EN VOLUME/HA/AN PAR TRAITEMENT
DIPTÉROCARPACÉES

Traitement	Mortalité (m ³ /ha/an)	Croissance (m ³ /ha/an)	Recrutement (m ³ /ha/an)	Bilan (m ³ /ha/an)
Témoin RKL 1	1,31	2,31	0,58	+ 1,58
Systématique	1,32	4,85	1,37	+ 4,9
PCT	2,08	4,56	0,63	+ 3,11
Témoin RKL 4	2,62	3,36	0,17	+ 0,91
EFI 50	2,15	3,44	0,34	+ 1,67
EFI 60	3,09	3,74	0,24	+ 0,88
CNV 60	3,55	3,67	0,63	+ 0,75

CNV : Exploitation conventionnelle.

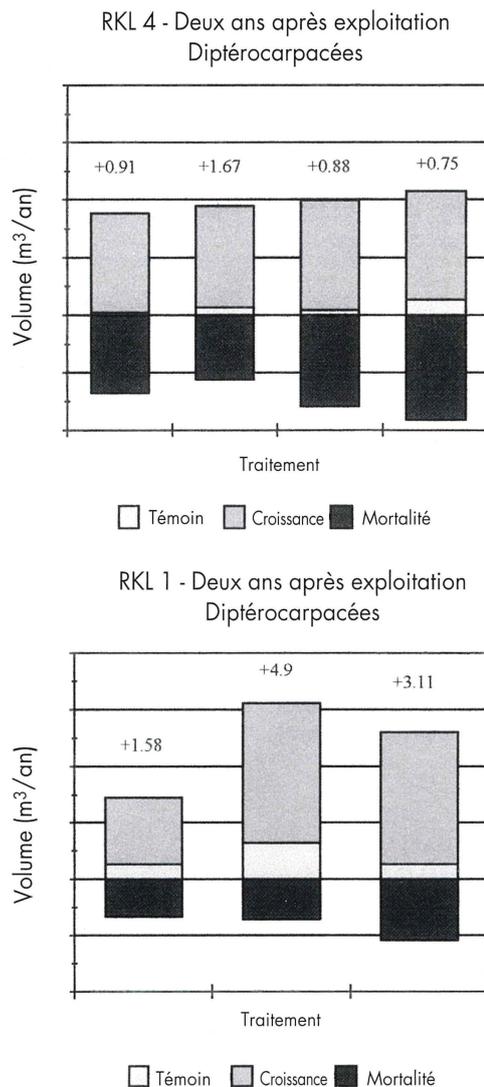


Figure 6. Bilan croissance/mortalité/recrutement en volume pour les différents traitements.

Balance in volume of growth/mortality/recruitment for the different treatments applied.

DISCUSSION

Si l'emploi du volume donne une vision plus immédiate des chiffres que la surface terrière, il dépend de l'exactitude des tarifs de cubage qui sont définis avec une certaine marge d'erreur. Outre la variance naturelle entre carrés, cela peut ex-

pliquer l'absence de différence significative dans certains cas. Dans l'ensemble, un bilan moyen de $1 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$, comme c'est le cas dans le RKL 4, ne peut être considéré comme réellement significatif.

On peut cependant faire quelques remarques générales. En ce qui concerne l'exploitation, il est inté-

ressant de noter que, deux ans après la coupe, le bilan dans les parcelles exploitées est positif mais pas nettement différent de celui des parcelles-témoins. Nous avons vu que l'ouverture du couvert par l'exploitation entraîne une augmentation de la croissance du peuplement résiduel mais l'exploitation provoque aussi une réduction conséquente du peuplement initial. Finalement, les forts taux de croissance s'appliquent à un peuplement résiduel limité, ce qui explique en termes de volume que la croissance des parcelles exploitées ne soit pas différente de celle des parcelles-témoins. Cependant, nous pouvons espérer avoir dans les années à venir une mortalité plus faible et surtout un recrutement plus important ; d'où un bilan plus positif. Ces deux années après la coupe seraient donc une période de transition où la forêt souffre encore du traumatisme causé par la coupe et n'a pas encore atteint un état stable de reconstitution.

Dans le RKL 1, au contraire, l'accroissement en volume a été nettement amélioré par les traitements sylvicoles tandis que la mortalité restait à peu près stable. Il serait sans aucun doute imprudent, à ce stade de l'étude, de faire une distinction entre les deux traitements, en dépit d'une plus forte mortalité et d'une croissance relativement plus lente avec le traitement PCT. Dans tous les cas, le bilan est positif et, dans les parcelles traitées, il y a eu un gain net d'environ 2 ou $3 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ par rapport aux parcelles-témoins, soit un doublement de la production naturelle. Il sera nécessaire de poursuivre l'étude pour confirmer ce résultat. □

Crédit photos : N. NGUYEN-THE.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALDER D., 1983.
Growth and yield of mixed Dipterocarp forests. Part 1 : Current knowledge. Unpublished consultancy report prepared for the FAO.
- BERGONZINI J.C., 1989.
SAS à Paracou. Paris, France, CIRAD, 25 p.
- BERTAULT J.G., SIST P., 1995.
Impact de l'exploitation en forêt primaire. Bois et Forêts des Tropiques 245 : 5-20.
- BRYAN M.B., 1980.
Studies of timber growth and mortality in the mixed Dipterocarp forest of Sarawak. Consultancy report to FAO project MAL/76/008.
- DAWKINS H.C., 1958.
The management of natural tropical high-forest with reference to Uganda. Inst. Pap. no. 34. Oxford, UK, Imperial Forestry Institute, 154 p.
- DURRIEU de MADRON L., 1993.
Mortalité, chablis et rôle des trouées dans la sylvigénèse avant et après exploitation sur le dispositif d'étude sylvicole de Paracou. Thèse ENGREF/CIRAD, 204 p.
- DURRIEU de MADRON L., 1994.
Mortalité des arbres en forêt primaire de Guyane Française. Bois et Forêts des Tropiques 239 : 43-57.
- FAVRICHON V., HIGUCHI N., 1996.
Dynamics of 2 Amazonian tropical rainforests before and after silvicultural treatments. Comparison between ZF-2 (Manaus, Brazil) and Paracou (French Guiana). Submitted for publication.
- FELFILI J.M., 1995.
Growth, recruitment and mortality in the Gama gallery forest in central Brazil over a 6 year period (1985-1991). Journal of tropical ecology (1995) 11 : 67-83.
- KORNING J., BALSLEV H., 1994.
Growth rates and mortality patterns of tropical lowland tree species and the relation to forest structure in Amazonian Ecuador. Journal of Tropical Ecology 10 : 151-166.
- KORSGAARD S., 1981.
Growth studies in the selectively harvested mixed dipterocarp forest in Sarawak, Malaysia. Internal report. Copenhagen, Denmark, Royal Danish Veterinary and Agricultural University.
- KORSGAARD S., 1986.
An analysis of the potential timber production under conservation management in the tropical rainforest of south-east Asia. Draft Ph-D thesis, Copenhagen, Denmark, Royal Danish Veterinary and Agricultural University.
- LIEBERMAN D., LIEBERMAN M., PERALTA R., HARTSHORN G.S., 1985.
Mortality patterns and stand turnover in a wet tropical forest in Costa-Rica. Journal of Tropical Ecology (1985) 73 : 915-924.
- MAITRE H.-F., 1985.
Dispositif d'étude de l'évolution de la forêt dense ivoirienne suivant différentes modalités d'intervention sylvicoles. Présentation des résultats après 4 ans d'expérimentation. Nogent-sur-Marne, France, C.T.F.T., 83 p.
- MANOKARAN N., KOCHUMMEN K.M., 1987.
Recruitment, growth and mortality of tree species in a lowland dipterocarp forest in Peninsular Malaysia. Journal of Tropical Ecology 3 : 315-330.
- MERVART J., 1972.
Growth and mortality rates in the natural high forest of Western Nigeria. Nigeria Forestry Information Bulletin 22.
- MILLER T., 1981.
Growth and yield of logged-over mixed Dipterocarp forest in East Kalimantan. Malaysian Forester 44 (2 & 3).
- NG F.S.P., TANG H.T., 1974.
Comparative growth rates of Malaysian trees. Malaysian Forester 37 : 127-132.
- NICHOLSON D.I., 1965.
A study of virgin forest near Sandakan, North Borneo. In : Symposium of humid tropics vegetation, Kuching. UNESCO, Paris, p. 67-87.
- NICHOLSON D.I., 1979.
The effects of logging and treatment on the mixed dipterocarp forest in South-East Asia. Rome, Italie, FAO, 65 p.
- PETRUCCI Y., TANDEAU de MARSAC G., 1994.
Evolution du peuplement adulte et de la régénération acquise après interventions sylvicoles. Dispositif de recherche en forêt dense de Boukoko-La Lole. Projet de Coopération République Centrafricaine/CIRAD-Forêt.
- PRIMACK R.B., ASHTON P., CHAI P., LEE H.S., 1985.
Growth rates and population structure of Moraceae trees in Sarawak, East Malaysia. Ecology 66 : 577-588.
- RIERA B., PUIG H., LESCURE J.P., 1990.
La dynamique de la forêt naturelle. Bois et Forêts des Tropiques 219 : 69-78.
- SILVA J.N.M., de CARVALHO J.O.P., LOPES J. do C.A. de ALMEIDA B.F., COSTA D.H.M., de OLIVEIRA L.C., VANCLAY J.K., SKOVSGAARD J.P., 1995.
Growth and yield of a tropical rainforest in the Brazilian Amazon 13 years after

- logging. *Forest ecology and management* 71 : 267-274.
- SIST P., BERTAULT J.G., 1998.
Reduced impact logging experiments : impact of harvesting intensities and logging techniques on stand damage. *In* : *Silvicultural research in a lowland mixed dipterocarp forest of East Kalimantan*. Montpellier, France, CIRAD-Forêt, 250 p.
- SWAINE M.D., LIEBERMAN D., PUTZ F.E., 1987a.
The dynamics of tree populations in tropical forest : a review. *Journal of Tropical Ecology* 3 : 359-366.
- SWAINE M.D., HALL J.B., ALEXANDER I.J., 1987b.
Tree populations dynamics at Kade, Ghana (1968-1982). *Journal of Tropical Ecology* 3 : 331-345.
- TANG H.T., 1976.
Studies on the stocking and growth of some mixed dipterocarp forests after logging in Peninsular Malaysia. M. Sc. Thesis, Jesus college. Oxford, UK, Oxford university.
- TANG H.T., WAN RAZALI M., 1981.
Report on growth and yield studies in inland mixed indigenous forests in Peninsular Malaysia. Compilation and critical review on existing knowledge on growth and yield studies on mixed tropical forests. Rome, Italie, FAO.
- WADSWORTH F.H., PARRESOL B.R., COLON J.C.F., 1988.
Tree increment indicators in subtropical wet forest. IUFRO report, 15 p.
- WYATT-SMITH J., 1961.
Ecological studies on Malayan forests. Forest Research Institute of Malaysia.
- YONG TENG KOON, 1990.
Growth and yield of a mixed dipterocarp forest in Peninsular Malaysia. Kuala Lumpur, Malaysia, ASEAN Institute of Forest Management.

R É S U M É

DYNAMIQUE DE LA FORÊT MIXTE À DIPTÉROCARPACÉES DE BASSE ALTITUDE
AVANT ET APRÈS TRAITEMENT SYLVICOLE

Dans le cadre du projet STREK, la dynamique forestière a été analysée pour étudier, d'une part, l'impact de l'exploitation et notamment de techniques à faible impact et, d'autre part, l'intérêt de traitements sylvicoles pour favoriser la croissance des espèces commerciales. L'étude est menée plus particulièrement sur la croissance et la mortalité en privilégiant la famille des Diptérocarpacées qui composent le quart du peuplement et la quasi-totalité des essences commerciales.

La productivité de la forêt primaire est inférieure à 1 m³/ha/an. Les Diptérocarpacées ont les plus forts taux de croissance. Croissance et mortalité sont influencées par la densité du peuplement, le diamètre des arbres, la taille et la forme du houppier qui expriment la compétition entre les arbres. Les arbres les plus petits en diamètre sont ceux qui en souffrent le plus.

Deux ans après l'exploitation, la productivité des parcelles exploitées est aussi faible qu'en forêt primaire. La forêt n'est pas encore en phase de reconstitution. Par contre, la dévitalisation au profit des Diptérocarpacées permet un gain conséquent en productivité compris entre 3 et 5 m³/ha/an.

Mots-clés : Diptérocarpacées. Dynamique des populations. Croissance. Productivité. Mortalité. Exploitation. Dévitalisation. Kalimantan. Indonésie.

A B S T R A C T

DYNAMICS OF A LOWLAND MIXED DIPTEROCARP FOREST
BEFORE AND AFTER SILVICULTURAL TREATMENT

As part of the STREK project, forest dynamics were analysed to assess the impact of logging, especially relatively environment-friendly techniques, and the potential benefits of silvicultural regimes that favour the growth of commercial species. The study was mainly focused on growth and mortality rates, especially concerning species of the *Dipterocarpaceae* family, which represents 25 % of the trees in the stand and literally all of the commercial species.

Productivity of the primary forest was found to be lower than 1 m³/ha/year. *Dipterocarpaceae* species had the highest growth rates. Growth and mortality rates were dependent on the stand density, tree diameter, the size and shape of the canopy, which is an indicator of between-tree competition. The conditions were most detrimental to small-diameter trees.

Two years after logging, productivity in the logged plots was as low as in the primary forest. The reforestation process is not yet under way. However, forest degradation to the benefit of *Dipterocarpaceae* species prompted a productivity gain of 3 to 5 m³/ha/year.

Key words : *Dipterocarpaceae*. Population dynamics. Growth. Productivity. Mortality. Logging. Degradation. Kalimantan. Indonesia.

R E S U M E N

DINÁMICA DEL BOSQUE MIXTO DE TIERRAS BAJAS DE DIPTEROCARPÁCEAS
ANTES Y DESPUÉS DE TRATAMIENTO SILVÍCOLA

Se analizó, en el marco del proyecto STREK, la dinámica forestal para estudiar por una parte el impacto de la explotación, especialmente las técnicas de impacto reducido, y por otra parte el interés de tratamientos silvícolas para favorecer el crecimiento de especies comerciales. Este estudio se centró en el crecimiento y mortalidad, privilegiando la familia de dipterocarpaceas que constituyen el 25 % de la masa forestal y la práctica totalidad de especies comerciales.

La productividad del bosque primario es inferior a 1 m³/ha/año. Las dipterocarpaceas presentan el índice de crecimiento más alto. Crecimiento y mortalidad están influenciados por la densidad de la masa, diámetro de los árboles, dimensión y forma de la copa que refleja la competición entre los árboles. Los árboles con el diámetro más reducido son los que sufren más.

Dos años después de la explotación, la productividad de las parcelas explotadas es tan baja como en el bosque primario. El bosque no se halla todavía en periodo de reconstitución. Sin embargo, la desvitalización en beneficio de las dipterocarpaceas permite aumentar la productividad situándola entre 3 y 5 m³/ha/año.

Palabras clave: *Dipterocarpaceae*. Dinámica de poblaciones. Crecimiento. Productividad. Mortalidad. Explotaciones. Kalimantan. Indonesia.