



JEAN-GUY BERTAULT
CIRAD-Forêt/Projet STREK

PLINIO SIST
CIRAD-Forêt/Projet STREK

IMPACT DE L'EXPLOITATION EN FORÊT NATURELLE



Une équipe du projet STREK en train de mesurer les différents types de volumes (rebutis, écorce, commercialisés) à chaque étape de l'exploitation.
STREK's team measuring different types of volume (bark, wastes, commercial) at each step of the harvesting process.



Les auteurs évaluent ici l'impact de l'exploitation forestière dans un dispositif expérimental situé en Est-Kalimantan et en tirent des conclusions qui peuvent s'appliquer à l'échelle d'une concession forestière de plusieurs dizaines de milliers d'hectares.

Par le degré de son impact, l'exploitation forestière détermine une nouvelle structure des peuplements qui feront l'objet des futurs cycles de production. Il est donc nécessaire, dans une forêt soumise à un aménagement de type polycyclique, de contrôler les opérations de mobilisation de la ressource et de réduire au minimum les dommages portés au peuplement. Les interventions sylvicoles que l'on pourra y faire par la suite auront toujours moins d'effet que cet impact de l'exploitation. C'est ainsi par exemple que pour le Sud-Est asiatique, NICHOLSON (1979) estime les dommages portés aux peuplements de diptérocarpées lors de l'exploitation à 43,7 %. Ce chiffre est très voisin des estimations faites dans la région Amérique Latine-Caraïbes (JONKERS, 1987 ; HENDRISON, 1989 ; COSTA FILHO, 1991).

Parallèlement au développement des techniques d'exploitation à impact réduit, le Principe 25 des Directives de l'O.I.B.T.* pour l'aménagement durable des forêts tropicales (1990) exige que les concessionnaires procèdent après exploitation à une évaluation des dommages et de l'état du peuplement résiduel. Il reste cependant à définir des cri-

tères qui permettent de déterminer un degré acceptable de dommage porté à l'écosystème afin de le préserver d'une dégradation irréversible. Nous nous appuyerons dans cet article sur les résultats du Projet STREK**, entrepris en 1989 en Est-Kalimantan (Indonésie), dont l'un des volets porte sur l'évaluation des dégâts d'exploitation dans des peuplements soumis à différentes méthodes et intensités d'exploitation observées dans un réseau de parcelles permanentes. Après avoir décrit cet impact, nous verrons comment ces observations et résultats peuvent être utilisables à une échelle de plusieurs dizaines de milliers d'hectares.

IMPACT DE L'EXPLOITATION SUR LE PEUPEMENT RÉSIDUEL

Avant exploitation, la zone d'étude était couverte d'une forêt primaire à

* Organisation Internationale des Bois Tropicaux.

** Cf. Bois et Forêts des Tropiques n° 232, p. 26-28 et n° 242, p. 77-81.



Route ouverte et parc à bois créé en forêt vierge durant la mise en place des essais de réduction des dégâts causés par l'exploitation forestière.
View of the logging road and a roadside open in the previous virgin forest for reduced impact logging (RIL) experimentation.

Les radeaux et les barges sont communément utilisés sur la rivière Segah pour transporter les grumes en fonction de leur densité qui peut atteindre $1\,300\text{ kg/m}^3$.

A raft and a barge on the Segah river respectively utilized to transport the logs with a light/medium density (floaters) and those with a heavier density (sinkers).



diptérocarpacées. La densité d'arbres de diamètre supérieur ou égal à 10 cm était de 530 tiges/ha ($\sigma = 63,3$, N (parcelles) = 12), la surface terrière de $31,4\text{ m}^2/\text{ha}$ ($\sigma = 3,2$, $N = 12$). Les diptérocarpacées représentaient 25 % du nombre d'arbres (134 tiges/ha, $\sigma = 28,4$, $N = 12$) et environ 50 % de la surface terrière, soit $15,7\text{ m}^2/\text{ha}$, $\sigma = 2,2$, $N = 12$ (SIST, 1994).

MÉTHODES

Avant exploitation, douze parcelles de quatre hectares chacune ont été délimitées en forêt primaire. En fonction des similitudes de topographie, de richesse spécifique et de densité des peuplements, elles ont été regroupées en trois blocs (BERTAULT *et al.*, 1993). Tous les arbres de diamètre ≥ 10 cm ont été mesurés, cartographiés et identifiés au moins au niveau de la famille. Quatre traitements différents ont été définis, chacun avec trois répétitions : deux traitements privilégiant des techniques d'extraction à impact réduit ($E \geq 50$, $E \geq 60$), un traitement d'exploitation selon la méthode tra-

ditionnelle (CNV) et enfin un témoin soustrait à toute exploitation. Les deux traitements expérimentaux d'exploitation, $E \geq 50$ et $E \geq 60$, ne diffèrent que par le diamètre minimal des arbres à abattre, soit respectivement 50 et 60 cm. Trois mois avant exploitation, un déliantage autour de chaque arbre à abattre a été effectué. Le réseau principal de pistes de débardage a été implanté en fonction de la topographie et de l'emplacement des arbres à extraire. La direction de la chute des arbres a été fixée afin qu'ils se trouvent en position favorable pour le débardage. Les dommages dus à l'abattage et au débardage ont été évalués séparément, en utilisant deux méthodes complémentaires :

- La première méthode comportait un recensement des arbres blessés et morts ($d \geq 10$ cm) à la fin de chaque opération, en utilisant un système de code pour la description des dommages.
- La seconde méthode évaluait les dégâts d'exploitation en délimitant, par la localisation des arbres blessés ou morts, les surfaces dégradées par chaque phase (abattage, dé-

bardage). Enfin, un recensement effectué trois mois après l'exploitation enregistrerait comme vivants les arbres cassés ayant rejeté, tandis que ceux ne portant pas de rejets étaient considérés comme morts.

RÉSULTATS

□ Appréciation d'ensemble des dégâts d'exploitation

Les dégâts d'exploitation portent en moyenne sur environ 40 % de la population initiale (tableau I, p. 9), les arbres blessés et morts se trouvant sensiblement dans la même proportion (21 % et 19 %, tableau I). L'abattage a provoqué surtout des blessures tandis que le débardage était la principale cause de la mortalité (fig. 1, p. 8). Les blessures les plus fréquentes portent sur la cime (surtout du fait de l'abattage), suivies par les blessures observées à la base des fûts (écorce et bois), qui résultent du débardage (fig. 2, p. 8). Un test χ^2 a été effectué pour vérifier si les dommages dans chaque classe de diamètre sont distribués en fonction de l'abondance relative de cette classe dans le peuplement initial. La différence entre les arbres

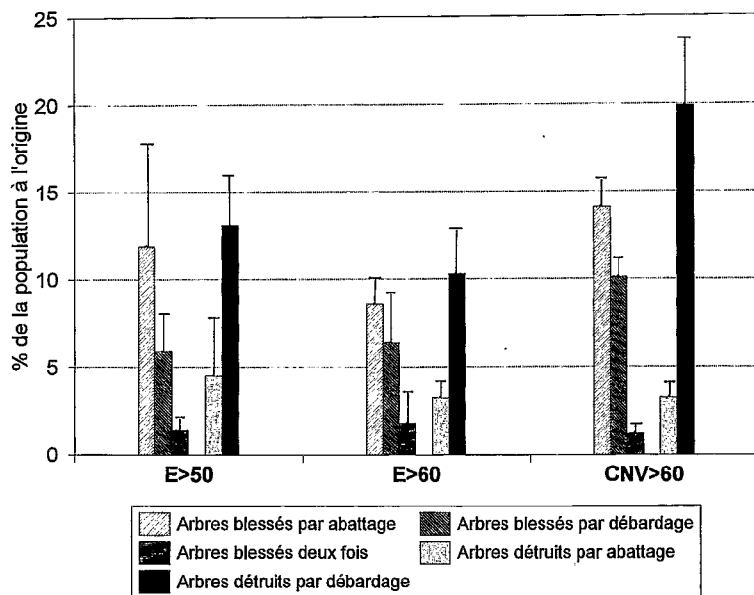


Figure 1. Pourcentage moyen (et écart-type) d'arbres endommagés (blessés ou détruits) par l'abattage, le débardage ou les deux, selon le traitement. E > 50 et E > 60 : exploitation sélective à faible impact, avec diamètre minimal d'exploitabilité de 50 et 60 cm respectivement. CNV > 60 : exploitation sélective traditionnelle.

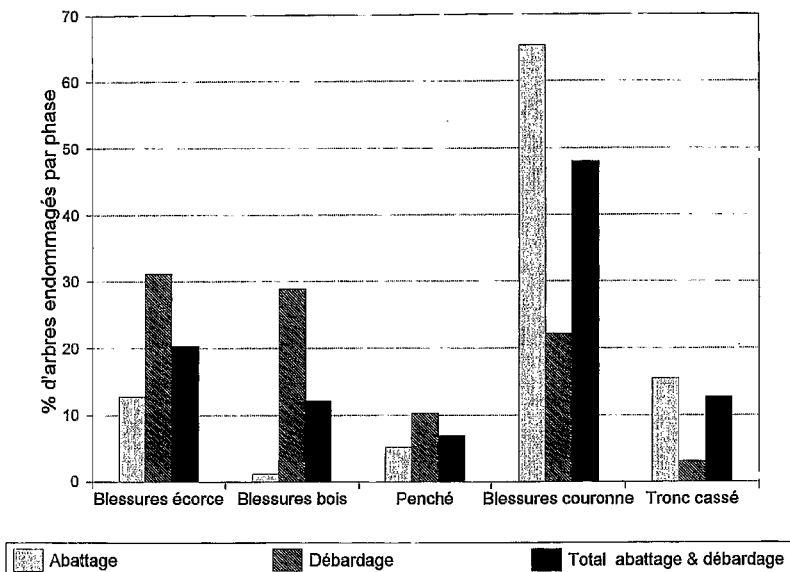


Figure 2. Pourcentage d'arbres blessés par l'abattage et le débardage par types de dommages. Tous traitements et arbres endommagés combinés (3 993 arbres endommagés pour les 9 parcelles).

blessés et la population d'origine est hautement significative $\chi^2 = 73,05$, $ddl = 5$, $P < 0,01$, en raison notamment de la plus forte proportion d'arbres blessés dans les classes moyennes de diamètres, entre 30 et 50 cm (fig. 3).

La principale cause de mortalité est le déracinement lors du débardage et de l'abattage (76,5 % et 10,1 % respectivement). La mortalité par bris du tronc intervient surtout lors de l'abattage (8,1 % contre 3,7 % lors du débardage). La probabilité d'être

détruits est plus élevée pour les petits arbres que pour les gros ($\chi^2 = 178,91$, $ddl = 5$, $P < 0,01$, fig. 3). La lame du tracteur de débardage déracine plus facilement les petits arbres (diamètre de 10 à 20 cm) que les plus gros, naturelle-

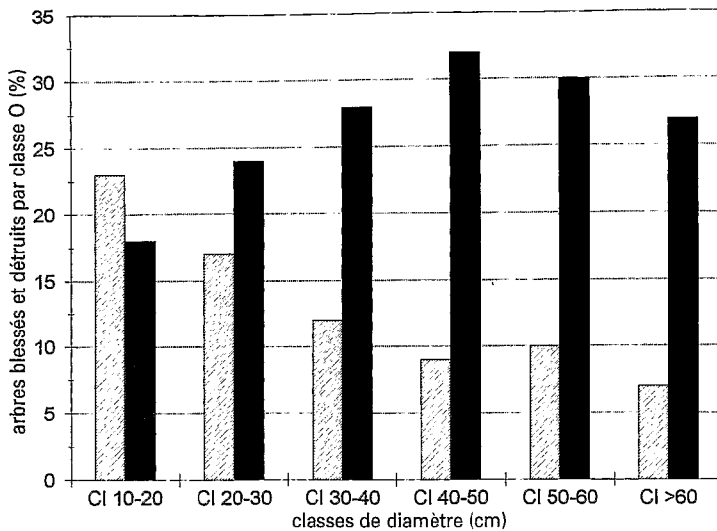


Figure 3. Proportions d'arbres blessés (en noir) et détruits (en gris) en fonction de la densité avant l'exploitation dans chaque classe de diamètre. Toutes parcelles et tous traitements combinés (19 149 arbres avant l'exploitation et 7 706 arbres blessés et détruits après la coupe).

ment plus résistants. Les dommages aux plus gros arbres se limitent en général à des blessures de l'écorce et du bois. En outre, les petits arbres sont aisément brisés lors de l'abattage tandis que, pour les plus gros, les blessures sont concentrées dans la cime. Ces résultats confirment la spécificité des dégâts provoqués lors de chacune des deux phases d'exploitation, abattage et débardage : l'abattage provoque principalement des blessures sur des arbres de 30 à 50 cm de diamètre, tandis que le débardage cause la mort principalement des petits arbres de 10 à 20 cm de diamètre.

□ Comparaison des dégâts d'exploitation selon les traitements

Pour une même intensité d'extraction, telle qu'enregistrée dans les traitements $E \geq 50$ et $CNV \geq 60$, le total des dégâts avec une exploitation contrôlée ($E \geq 50$) est significa-

tivement moins élevé qu'avec la méthode traditionnelle ($CNV \geq 60$) ($\chi^2 = 169$, ddl = 1, $P < 0,01$, tableau I). Pour ces deux traitements,

les dégâts dus à l'abattage ne sont pas significativement différents ($\chi^2 = 1,82$, ddl = 1, $P > 0,01$), tandis que l'impact du débardage est plus faible dans le traitement $E \geq 50$ que dans le traitement $CNV \geq 60$ ($\chi^2 = 201,07$, ddl = 1, $P < 0,01$). Ces résultats indiquent que l'exploitation contrôlée a surtout réduit les dommages causés par le débardage mais n'a pas eu d'effet significatif sur ceux dus à l'abattage (tableau I). Cela résulte du peu de succès obtenu par l'abattage dirigé : seulement 30 % des arbres sont tombés dans la direction prévue (obs. pers.). Les dimensions des arbres, la forme des cimes et l'abondance des lianes et épiphytes ont certes contrarié cette opération, mais il se trouve aussi que fréquemment les abatteurs, par manque d'expérience et de formation, n'ont pas appliqué correctement les techniques d'abattage propres à diriger la chute de l'arbre. Les dommages observés dans le traitement $E \geq 60$ sont significativement inférieurs à ceux des autres traitements (pour $E \geq 60$ par rapport à $E \geq 50$, $\chi^2 = 47,06$, ddl = 1, $P < 0,01$; pour $E \geq 60$ par rapport à $CNV \geq 60$, $\chi^2 = 324,36$, ddl = 1,

TABLEAU I
PROPORTIONS D'ARBRES BLESSÉS ET DÉTRUITS LORS DE L'EXPLOITATION
DANS LES TROIS TRAITEMENTS
Les écarts-types sont calculés sur 3 parcelles, sauf pour $E \geq 60$
où ils le sont sur 2 parcelles seulement

	$E \geq 50 \pm \sigma$	$E \geq 60 \pm \sigma$	$CNV \geq 60 \pm \sigma$
Nombre d'arbres/ha avant la coupe	537,5 ± 97,6	568,0 ± 101,1	494,4 ± 27,6
Nombre d'arbres abattus/ha	10,3 ± 3,8	6,5 ± 2,1	10,3 ± 1,1
% d'arbres blessés	19,2 ± 0,5	16,9 ± 0,6	25,2 ± 0,6
% d'arbres morts	17,6 ± 0,5	13,6 ± 0,5	23,2 ± 0,5
% de dégâts à l'abattage	16,4 ± 0,5	11,8 ± 0,5	17,3 ± 0,5
% de dégâts lors du débardage	19,0 ± 0,5	16,9 ± 0,6	29,9 ± 0,6
% d'arbres blessés deux fois	1,4 ± 0,1	1,8 ± 0,2	1,2 ± 0,1



$P < 0,01$). Cela résulte d'une réduction significative des dégâts :

- tant d'abattage : pour $E \geq 60$ par rapport à $E \geq 50$, $\chi^2 = 46,92$, ddl = 1, $P < 0,01$; pour $E \geq 60$ par rapport à $CNV \geq 60$, $\chi^2 = 61,62$, ddl = 1, $P < 0,01$

- que de débardage : pour $E \geq 60$ par rapport à $E \geq 50$, $\chi^2 = 8,70$, ddl = 1, $P < 0,01$; pour $E \geq 60$ par rapport à $CNV \geq 60$, $\chi^2 = 242,11$, ddl = 1, $P < 0,01$ (tableau I). Le niveau inférieur de dommage enregistré dans le traitement $E \geq 60$ par rapport à $E \geq 50$ s'explique par la plus faible intensité d'exploitation (seulement 6 tiges/ha contre 10 tiges/ha pour $E \geq 50$, tableau I). L'impact de l'exploitation peut être sensiblement réduit par une bonne planification et une supervision étroite des opérations, ainsi que par une réduction de l'intensité d'exploitation, qui ne devrait pas excéder 6-7 tiges/ha. Dans la présente étude, les dégâts exprimés en nombre d'arbres blessés ou détruits ont été ramenés de 48,5 % (CNV : exploitation traditionnelle) à 30,5 % grâce à des

techniques améliorées. Cette réduction de 18 % représente 95 arbres/ha de plus de 10 cm de diamètre qui ont été préservés et contribueront au peuplement futur.

□ Surfaces endommagées

La surface endommagée varie selon les traitements et l'intensité d'exploitation, entre 26,3 % et 45,5 % de la surface de la parcelle (fig. 4). Pour une intensité d'exploitation inférieure à 10 arbres/ha, les surfaces endommagées par l'abattage sont très comparables et varient seulement entre 12 et 16 %. En revanche, lorsque cette intensité est supérieure à 10 arbres/ha, ce taux peut dépasser 25 %. Les surfaces endommagées par le débardage varient de 13,7 à 35,7 %. Les techniques d'exploitation à faible impact ont contribué à réduire les dégâts dus au débardage d'environ 10 %, mais n'ont pas significativement réduit les dégâts dus à l'abattage, qui sont liés principalement à l'intensité de l'exploitation. Le recouvrement limité entre les surfaces touchées par l'abattage et celles endommagées

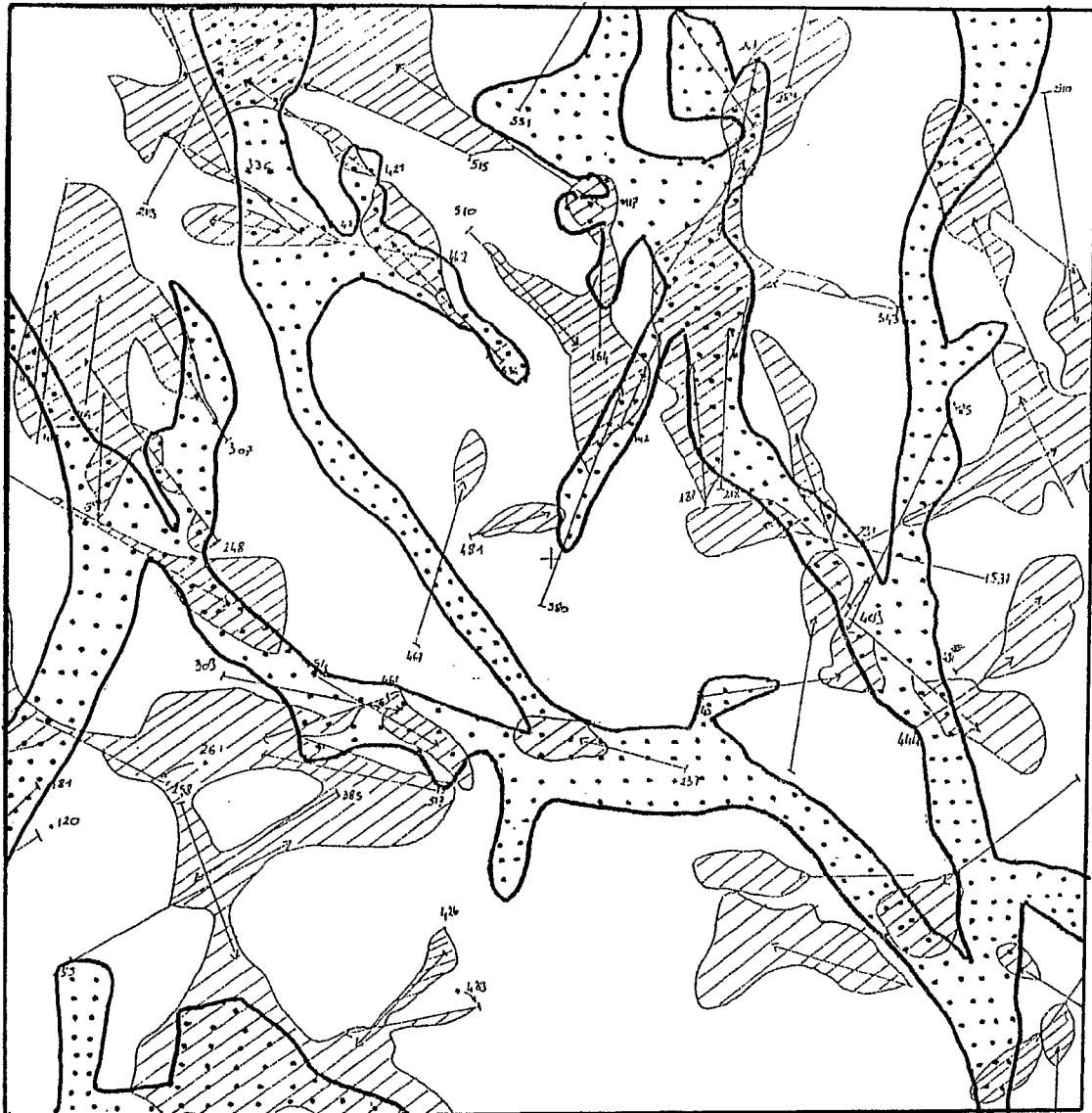
par le débardage confirme la spécificité de l'impact de l'abattage et du débardage.

□ Vers une limitation des dégâts d'exploitation

Le tableau II résume les principales caractéristiques de l'impact de l'exploitation établis d'après trois indicateurs clés enregistrés dans le cadre du projet STREK : arbres de $d \geq 10$ cm, gaulis ($2 \text{ cm} \leq d \leq 9,9 \text{ cm}$) et surface endommagée. Ces données montrent que les techniques traditionnelles d'exploitation ont un impact important sur le peuplement, qu'il s'agisse des arbres de $d \geq 10$ cm (27,6 à 56,1 %), du gaulis (30,2 à 48,2 %) ou des surfaces endommagées (28,4 à 41,5 %). Ce dernier indicateur est également un moyen commode d'évaluer la destruction de semis, en se référant à la densité de semis par unité de surface dans les parcelles témoins. Sur les surfaces soumises à une exploitation contrôlée, l'impact est relativement constant, avec des dégâts de 27,6 %, 30,2 % et 28,4 % respectivement pour les trois

Type d'exploitation	Arbres - $d \geq 10$ cm			Gaulis - $2 \text{ cm} \leq d \leq 9,9$ cm			Surfaces endommagées		
	Blessés	Morts	Total	Blessés	Morts	Total	Abattage	Débardage	Total
Prélèvement fort (15/ha) $E \geq 50$ (parcelle 12)	29	27,1	56,1	14	34,2	48,2	26,5	26	41,5
Prélèvement moyen (8-10/ha) CNV (parcelle 9)	24,9	19,7	44,5	8,7	30,6	39,3	12,9	27,8	36,6
Prélèvement moyen (8-10/ha) $E \geq 50$ (parcelles 2-3)	15,4	12,2	27,6	6,9	23,3	30,2	16,4	13,9	28,4





Abattage



Débardage

Figure 4. Carte des surfaces endommagées dans la parcelle 12, E > 50. Volume abattu : 173,8 m³/ha. Zone hachurée : surface endommagée par l'abattage = 26,5 %. Zone pointillée : surface endommagée par le débardage = 26 %. Surface totale endommagée dans la parcelle = 41,5 % (effet de recouvrement diminuant l'impact cumulatif de chaque phase).

indicateurs retenus. En conséquence, il est possible de proposer comme premier objectif réaliste que le concessionnaire limite les dégâts

à un taux maximal de 33 % (un tiers du peuplement). Ce taux pourrait passer progressivement à 25 %, et même 20 % lorsque toutes les condi-

tions seront réunies pour passer du système actuel d'exploitation à une approche plus rationnelle de la mobilisation de la ressource.





L'IMPACT DE L'EXPLOITATION À L'ÉCHELLE D'UNE CONCESSION

Après avoir proposé un taux maximal de dégâts évalué au moyen des indicateurs décrits précédemment, il est nécessaire, dans une seconde étape, de mettre au point une méthode fiable pour évaluer ces indicateurs à l'échelle d'un chantier d'exploitation. A l'heure actuelle, on ne dispose pas d'outils pratiques pouvant fournir un « diagnostic rapide » à l'échelle d'une concession forestière. L'évaluation de l'exploitation doit être conduite à deux niveaux : à l'échelle de la concession, il s'agit de vérifier la concordance entre la situation des zones en cours d'exploitation et le programme théorique ; à l'échelle d'une coupe, il s'agit d'évaluer l'impact de l'exploitation sur le peuplement. Dans le passé, de nombreux inventaires statistiques ont été réalisés dans les forêts tropicales. Ces techniques de sondage peuvent être utilisées en combinaison avec la télédétection, les photographies aériennes et les systèmes d'information géographique (S.I.G.) pour ces opérations d'évaluation.

LOCALISATION DES COUPES : CONTRIBUTION DE LA TÉLÉDÉTECTION

La télédétection spatiale pour l'analyse des forêts tropicales est une technique en plein développement. Parallèlement aux données optiques multispectrales à haute résolution, fournies principalement par les satellites LANDSAT et SPOT qui observent dans les domaines du visible et de l'infrarouge, une nouvelle génération de satellites est apparue depuis 1991, tels que ERS 1, JERS 1 et bientôt RADARSAT qui utilisent les techniques du radar. Les images SAR (*synthetic aperture radar*) ont

déjà des applications importantes grâce à leur possibilité de travailler dans le domaine des micro-ondes (sensibles à la rugosité et à l'humidité) et de pouvoir ainsi acquérir des données dans les régions tropicales au fort couvert nuageux. Par conséquent, les applications de la télédétection à la forêt tropicale vont s'accroître de façon significative. Avant de pouvoir bénéficier des résultats de ces nouveaux outils, les compositions colorées classiques (FCC : *false colour composite*) sont très utiles pour obtenir une vision globale de la zone d'étude. Des compositions colorées de type VSB, obtenues à partir de trois indices : l'indice de végétation (*VI vegetation index*), l'indice d'ombre (*SI shadow index*) et l'indice des sols nus (*BS bare soil*) permettent facilement l'identification des zones exploitées qui se traduisent en rouge sur les images. Il est également possible pour identifier des forêts exploitées d'utiliser une composition colorée type VST construite à partir de l'indice de végétation (VI), de l'indice d'ombre (SI) et de l'indice thermique (TI) qui enregistre des températures élevées pour les sols nus et des températures plus basses pour les surfaces forestières. Dans le cadre d'un système de surveillance des concessions forestières, la télédétection en permettant des observations régulières fournit un bon outil pour l'évaluation à une échelle globale.

ÉVALUATION DES DÉGÂTS SUR LE TERRAIN

Comme on l'a vu auparavant, les dommages peuvent être décrits selon trois indicateurs majeurs : les arbres au-dessus de 10 cm de diamètre, le gaulis et les surfaces endommagées. En théorie, la technique d'évaluation la mieux appropriée consisterait à mettre en place, avant exploitation, un réseau de parcelles permanentes et temporaires, selon la densité souhaitée, et

à revenir après le passage de l'exploitant sur ces parcelles afin d'y mesurer les différents impacts. En utilisant simultanément les données des parcelles temporaires et permanentes en zone exploitée, comparées aux effectifs respectifs des parcelles installées en forêt intouchée, il serait possible de déterminer si les dommages sont, par exemple, au-dessous ou au-dessus du seuil de 30 % fixé.

QUEL DISPOSITIF PRATIQUE D'ÉVALUATION ADOPTER ?

Le choix d'un dispositif statistique optimal pour l'application pratique dépendra de nombreux facteurs :

- nombre de degrés et type de stratification,
- choix entre un dispositif systématique, aléatoire ou en grappe dans la zone exploitée,
- intensité par strate tenant compte du coefficient de variation pour obtenir, à un seuil de confiance donné (0,95 ou 0,90), une marge d'erreur admissible (10 ou 15 %),
- configuration des parcelles (circulaires ou rectangulaires),
- type d'observations à enregistrer.

Ensuite, la phase de traitement des données devra être précisée ainsi que les programmes requis pour obtenir les résultats attendus (tableaux, graphiques, cartes). Cette configuration d'inventaire doit être attentivement étudiée lors de tests préliminaires concernant aussi bien l'exécution que les coûts. A ce stade, il est proposé d'utiliser, comme unité de référence pour l'inventaire, la surface théorique de la coupe annuelle et d'évaluer, à cette échelle, à l'intensité d'échantillonnage choisie, les trois principaux indicateurs retenus : arbres de diamètre ≥ 10 cm, gaulis ($2 \leq d \leq 9,9$ cm) et les surfaces endommagées, qui peuvent fournir une indication indirecte de la proportion de semis détruits.





L'utilisation d'un système d'information géographique (S.I.G.), intégrant les ressources de la télédétection, l'application cartographique et l'analyse des données liées aux observations spatiales, devrait faciliter cette tâche, qui exige une approche en grandeur réelle pour obtenir une évaluation fiable.

CONCLUSION

Comme cette étude l'a confirmé, les dommages causés par l'exploitation forestière influent considérablement sur la structure et la composition des peuplements futurs. Les techniques d'exploitation à faible impact représentent des moyens concrets de matérialiser la notion de gestion durable dans les forêts de production. Outre le premier objectif de réduction des dégâts d'exploitation, un autre est de réduire notablement les volumes de bois non utilisés et aban-

donnés lors des phases d'abattage et de débardage. Des efforts particuliers doivent être faits pour valoriser les ressources ligneuses à un moment où des questions se posent sur leur disponibilité et sur leur utilisation industrielle. En fonction des résultats du projet STREK, il est proposé de réduire rapidement ces dégâts d'exploitation à un taux de 30 % et, dans un proche avenir, à 25 %. Les observations effectuées sur plus de 20 000 arbres, avant et après exploitation, ont clairement démontré que cet objectif peut être atteint si certaines règles fondamentales sont respectées. La mise en œuvre d'un système d'exploitation à faible impact doit donc être une condition *sine qua non* de toute politique d'aménagement durable. C'est pourquoi une estimation exacte de l'impact de l'exploitation est un élément essentiel qu'il convient d'inclure dans l'étude et l'application des plans d'aménagement de type poly-

cyclique. Cette évaluation après exploitation, clairement définie dans les directives de l'O.I.B.T., fournira par ailleurs au sylviculteur une information utile pour concevoir les traitements sylvicoles qui seront nécessaires après le passage de l'exploitant. □

▷ Jean-Guy BERTAULT
CIRAD-Forêt/STREK Project
Gedung Manggala Wanabhakti
Jl. Gatot Subroto-Senayan
JAKARTA 10270
Indonesia

▷ Plinio SIST
CIRAD-Forêt/STREK Project
P.O. BOX 671
BALIKPAPAN
Indonesia

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BERTAULT (J.-G.), SIST (P.), FACHRURIZAL, ABDURACHMAN, 1993.

Logging in East Kalimantan. Volume assessment and impact on the residual stand. STREK Project, 69 p.

COSTA FILHO (P. P.), 1991.

Mechanized logging and the damages caused to tropical forests : case of the Brazilian Amazon. Actes du X^e Congrès forestier mondial, Paris, 17-26 septembre 1991 (inédit).

DYKSTRA (D. P.) & HEINRICH (R.), 1992.

Assurer la durabilité des forêts tropicales grâce à des pratiques d'exploitation

écologiquement rationnelles. Unasylva, vol. 43 (2), p. 9-15.

HENDRISON (J.), 1990.

Damage-controlled logging in managed tropical rain forests in Suriname. Wageningen, Agricultural university, 204 p.

ORGANISATION INTERNATIONALE DES BOIS TROPICAUX, 1990.

Directives de l'O.I.B.T. pour l'aménagement durable des forêts tropicales naturelles. Yokohama, Japon, O.I.B.T., 19 p.

JONKERS (W. B. J.), 1987.

Vegetation structure, logging damage and silviculture in a tropical rain forest in

Suriname, Wageningen, Agricultural university.

NICHOLSON (D. I.), 1979.

The effects of logging and treatment on the mixed dipterocarp forests of South-East Asia. Rome, F.A.O., 1979.

SIST (P.), 1994.

Richness and structure of dipterocarps in a primary lowland mixed Dipterocarp forest in East Kalimantan (Berau, STREK Project). V^e Conférence-Table ronde sur les Diptérocarpacées. Chiang-Mai, Thaïlande, 7-10 novembre 1994.





R É S U M É

IMPACT DE L'EXPLOITATION EN FORÊT NATURELLE

En Est-Kalimantan (Indonésie), au sein d'un dispositif de douze parcelles permanentes installées en forêt vierge, différents types d'exploitation intégrant des essais de réduction d'impact ont été testés et contrôlés avec des inventaires réalisés avant et après exploitation sur les différentes strates du peuplement, régénération incluse. Il est proposé de réduire rapidement les dégâts d'exploitation et de les limiter à un taux de 30 % en suivant certaines prescriptions techniques. Des critères et indicateurs pertinents à l'échelle d'une concession de plusieurs dizaines de milliers d'hectares sont proposés, couplés à l'utilisation d'images satellite et de photographies aériennes. Trois principaux critères : les surfaces perturbées, le peuplement dominant et la régénération évalués par échantillonnage après exploitation peuvent constituer la base de cette estimation.

Mots-clés : Débardage. Récolte du bois. Dégât. Impact sur l'environnement. Expérimentation. Kalimantan.

A B S T R A C T

THE EFFECTS OF LOGGING IN NATURAL FORESTS

In East Kalimantan (Indonesia), in a trial over twelve permanent sample plots established in virgin forest, two logging techniques – conventional and reduced impact logging (RIL) – were assessed based on pre- and post-harvesting stand inventories. It was proposed that the concession holders reduce logging damage to a more tolerable threshold of about 30 % initially. Based on the initial target and the present experimentation, this paper further discusses the possibility of using comprehensive criteria and indicators to assess the magnitude of the harvesting impact at a scale of a concession of several tens of thousands of hectares. Aerial photography and satellite imagery can play a key role in defining an initial typology. However, disturbed areas, saplings and mature trees may constitute the key for such assessment.

Key words : Hauling. Logging. Damage. Environmental impact. Experimentation. Kalimantan.

R E S U M E N

IMPACTO DEL APROVECHAMIENTO EN BOSQUES NATURALES

En el Este del Kalimantan (Indonesia), en el marco de un dispositivo de doce parcelas permanentes, instaladas en la selva virgen, se han sometido a prueba diversos tipos de aprovechamiento, incluyendo los ensayos de reducción del impacto y controlados por medio de inventarios llevados a cabo antes y después del aprovechamiento, en los distintos estratos de las masas forestales, incluida la regeneración. Se propone reducir rápidamente los daños derivados del aprovechamiento y reducirlos a un 30 % por aplicación de ciertas prescripciones técnicas. También se proponen diversos criterios e indicadores pertinentes a escala de una concesión de varias decenas de miles de hectáreas, utilizados conjuntamente con las imágenes de satélites y de fotografías aéreas. El fundamento de semejante evolución puede estar constituido por tres criterios principales, a saber, las superficies perturbadas, las masas forestales predominantes y la regeneración, que, evaluados por muestreo tras aprovechamiento, pueden constituir la base de semejante evaluación.

Palabras clave : Saca de la madera. Aprovechamiento de la madera. Daños. Impacto ambiental. Experimentación. Kalimantan.



THE EFFECTS OF LOGGING IN NATURAL FORESTS

By the magnitude of its impact, the harvesting process* defines a new stand structure to be managed for subsequent yield cycles. Controlling the harvesting process and minimizing the damage to the residual stand are therefore essential tasks for the silviculturist in any polycyclic system. Silvicultural activities will always have less effects than logging impacts. For example, for Southeast Asia, NICHOLSON (1979) estimated the total damage to residual stands of dipterocarps at 43.7 %, very close to assessments made in Latin America and Caribbean region (JONKERS, 1987 ; HENDRISON, 1989 ; COSTA FILHO, 1991).

Along with the development of reduced impact logging (RIL) techniques, a post-harvesting assessment is now required from concessionaires in accordance with Principle 25 of the ITTO** Guidelines for Sustainable Management of Natural Tropical Forests (1990). However, criteria to assess an acceptable level of damage to the ecosystem and which will protect against irreversible degradation, have yet to be defined. In this paper, we will refer to the results of the STREK Project***, a R & D

Project launched in East Kalimantan (Indonesia) in 1989, where one component focuses on the assessment of damage to the residual stand under various logging practices and intensities, in a network of permanent sample plots (PSP). Following presentation of observed impacts, we will further consider ways to apply these estimations and recommendations at a concession scale of several tens of thousand of hectares.

IMPACT OF LOGGING ON THE RESIDUAL STAND

Before logging, the study area was covered by primary lowland, mixed dipterocarp forest. Tree density (≥ 10 cm dbh) and basal area were 530 stems/ha (SD = 63.3, N (plots) = 12) and 31.4 m²/ha (SD = 3.2, N = 12) respectively. Dipterocarps represented 25 % of the tree population (134 stems/ha, SD = 28.4, N = 12) and about 50 % (15.7 m²/ha, SD = 2.2, N = 12) of the basal area (SIST, 1994).

METHODS

Before logging commenced, 12 plots of 4 ha each were defined in a virgin forest. These were grouped into three blocks based on similarities in topography, species richness

and tree density (BERTAULT *et al.*, 1993). In those plots all the trees ≥ 10 cm dbh were measured, mapped and identified to at least the family level. Four different treatments were defined, each being replicated three times, once in each block of similar plots. They included two damage-controlled logging techniques, a conventional (CNV) logging method and, finally, a control treatment without any logging activities. The experimental logging treatments, E ≥ 50 and E ≥ 60 , differed only in the minimum diameter of the trees to be felled, 50 and 60 cm respectively. Three months before logging, the climbers surrounding each tree to be felled were cut. The main skidtrails network was established according to the topographic features and the position of trees to be felled. Felling directions were defined in such a way that felled trees would lie in a position favourable for skidding. Felling and skidding damage were assessed separately using two complementary methods. In the first method, injured and dead trees (≥ 10 cm dbh) were recorded at the end of each operation, using a code system that described the damage. The second method assessed the logging damage by delimiting the areas disturbed by each operation according to the position of injured or dead trees. Finally, three months after logging, a survey recorded the broken trees with regrowth as alive, whereas those without sprouts were regarded as dead.

* This is a less restricted expression than « logging operation » which is used mainly for the felling and skidding phases of the harvesting process (DYKSTRA and HEINRICH, 1992).

** International Tropical Timber Organization (ITTO).

*** See Bois et Forêts des Tropiques n° 232, p. 26-28 and n° 242, p. 77-81.

RESULTS

□ Overview on logging damage

On average, logging damage affected about 40 % of the original tree population (Table 1). Injured and dead trees were recorded in roughly the same proportions (21 and 19 % respectively, Table 1). Felling mainly caused injury to trees whereas skidding was the primary cause of mortality (Fig. 1). The most common injury was crown damage

caused mainly by felling, followed by bark and wood injuries resulting from skidding (Fig. 2). A Chi-square test was conducted to assess whether damage to each diameter class was distributed in accordance with the relative abundance of the class found in the original tree population. The difference between the injured and the original population was highly significant ($\chi^2 = 73.05$, $df = 5$, $P < 0.01$) apparently because of the higher proportion of in-

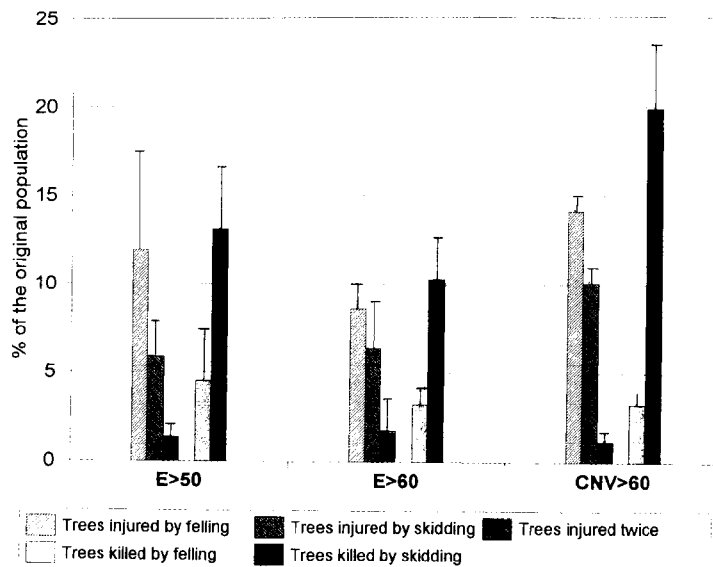
jured trees in the middle dbh classes, 30-50 cm (Fig. 3).

The main cause of mortality was uprooting during skidding and felling (76.5 and 10.1 % respectively). Mortality caused by stem breakage mainly occurred during felling (8.1 vs 3.7 % during skidding). Small trees were more likely to be killed than large trees ($\chi^2 = 178.91$, $df = 5$, $P < 0.01$, Fig. 3). The skidder's blade easily uprooted small trees (10-20 cm dbh) whereas the larger ones were naturally more resistant, and skidder damage on these larger trees was usually restricted to bark and wood injuries. Also, small trees were easily broken during felling, whereas bigger trees mostly suffered crown injuries. These results support the concept that the damage caused by felling and skidding operations is different. Felling primarily injured trees 30-50 cm in dbh whereas skidding caused mortality of small trees, 10-20 cm dbh.

Table 1. Proportions of trees injured and killed by logging in the three treatments

Mean (SD) are for 3 plots except for $E \geq 60$ which is for 2 plots only

	$E \geq 50 \pm SD$	$E \geq 60 \pm SD$	$CNV \geq 60 \pm SD$
# Trees/ha before logging	537.5 ± 97.6	568 ± 101.1	494.4 ± 27.6
# Trees felled/ha	10.3 ± 3.8	6.5 ± 2.1	10.3 ± 1.1
% Injured trees	19.2 ± 0.5	16.9 ± 0.6	25.2 ± 0.6
% Dead trees	17.6 ± 0.5	13.6 ± 0.5	23.2 ± 0.5
% Felling damage	16.4 ± 0.5	11.8 ± 0.5	17.3 ± 0.5
% Skidding damage	19.0 ± 0.5	16.9 ± 0.6	29.9 ± 0.6
% Trees injured twice	1.4 ± 0.1	1.8 ± 0.2	1.2 ± 0.1



□ Comparison of logging damage between treatments

For the same logging intensity, as recorded in $E \geq 50$ and $CNV \geq 60$, the total damage from controlled logging ($E \geq 50$) was significantly lower than when using conventional methods ($CNV \geq 60$) ($\chi^2 = 169$, $df = 1$, $P < 0.01$, Table 1). For these two treatments, felling damage was not significantly different ($\chi^2 = 1.82$, $df = 1$, $P > 0.01$), whereas skidding impact was lower in $E \geq 50$ than in $CNV \geq 60$ ($\chi^2 = 201.07$, $df = 1$, $P < 0.01$). These results suggest that controlled logging mainly reduced skidding

Figure 1. Mean percentage (bars = + SD) of trees damaged (i.e. injured or killed) by felling, skidding or both according to the treatments. $E \geq 50$, $E \geq 60$: selective controlled-damage logging with a minimum cutting of 50 and 60 cm dbh respectively; CNV: conventional selective logging.

damage but failed to decrease those of felling (Table 1). This phenomenon was the result of the poor success of directional felling, as only 30 % of the trees were felled in the planned direction (pers. obs.). Although the size, crown shape and the abundance of lianas and epiphytes influenced the success of this operation, fellers often failed to accurately apply felling techniques to direct fall because of their inexperience and lack of training. Logging damage in $E \geq 60$ was significantly lower than in the other treatments ($E \geq 60$ vs $E \geq 50$, $\chi^2 = 47.06$, $df = 1$, $P < 0.01$; $E \geq 60$ vs $CNV \geq 60$, $\chi^2 = 324.36$, $df = 1$, $P < 0.01$). This results from a significant reduction of both felling ($E \geq 60$ vs $E \geq 50$, $\chi^2 = 46.92$, $df = 1$, $P < 0.01$; $E \geq 60$ vs $CNV \geq 60$, $\chi^2 = 61.62$, $df = 1$, $P < 0.01$) and skidding damage ($E \geq 60$ vs $E \geq 50$, $\chi^2 = 8.70$, $df = 1$, $P < 0.01$; $E \geq 60$ vs $CNV \geq 60$, $\chi^2 = 242.11$, $df = 1$, $P < 0.01$) in $E \geq 60$ (Table 1). The lower damage recorded in $E \geq 60$ compared with $E \geq 50$ must be attributed to the lower logging intensity which occurred in $E \geq 60$ (only 6 stems/ha vs 10 in $E \geq 50$, Table 1). Impacts of logging can be significantly reduced by (1) close supervision and planning of the operations and (2) reduction of the felling intensity, which should not exceed 6 to 7 stems/ha. In this study, logging damage, in terms of trees injured or killed, was reduced from 48.5 % in conventional logging to 30.5 % in logging using reduced impact logging (RIL). This reduction of 18 % represents 95 trees/ha > 10 cm dbh that remained undamaged and have the potential to grow into future crop trees.

□ Disturbed areas

Total disturbed areas naturally varied according to treatments and logging intensities and ranged from 26.3 % to 45.5 % of the plot area (Fig. 4, p. 18). For a logging inten-

sity below 10 trees/ha, areas damaged by felling were quite comparable, varying only from 12 to 16 %.

However, when the logging intensity reached more than 10 trees/ha, this rate could be more than 25 %,

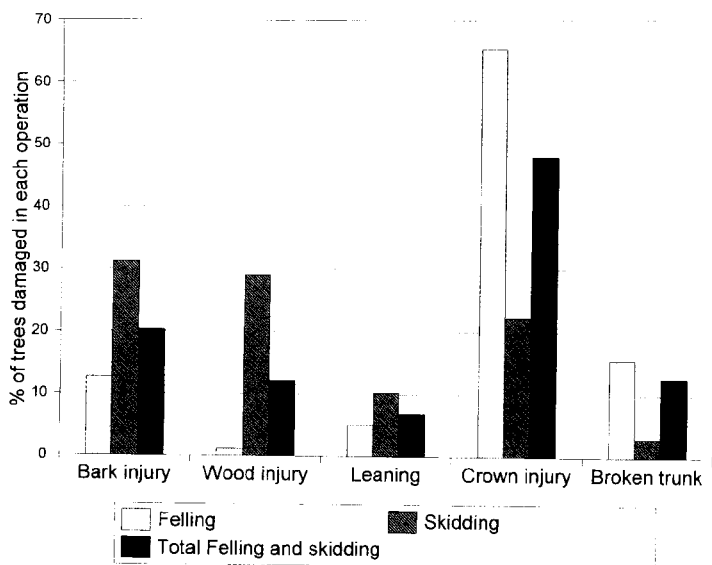


Figure 2. Percentages of trees injured by felling and skidding by general damage classes. All treatments and damaged trees combined (N = 3,993 damaged trees for the 9 plots).

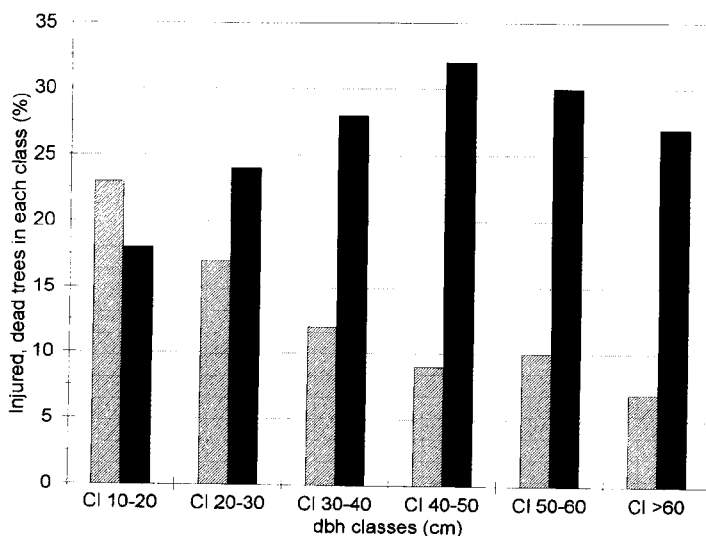
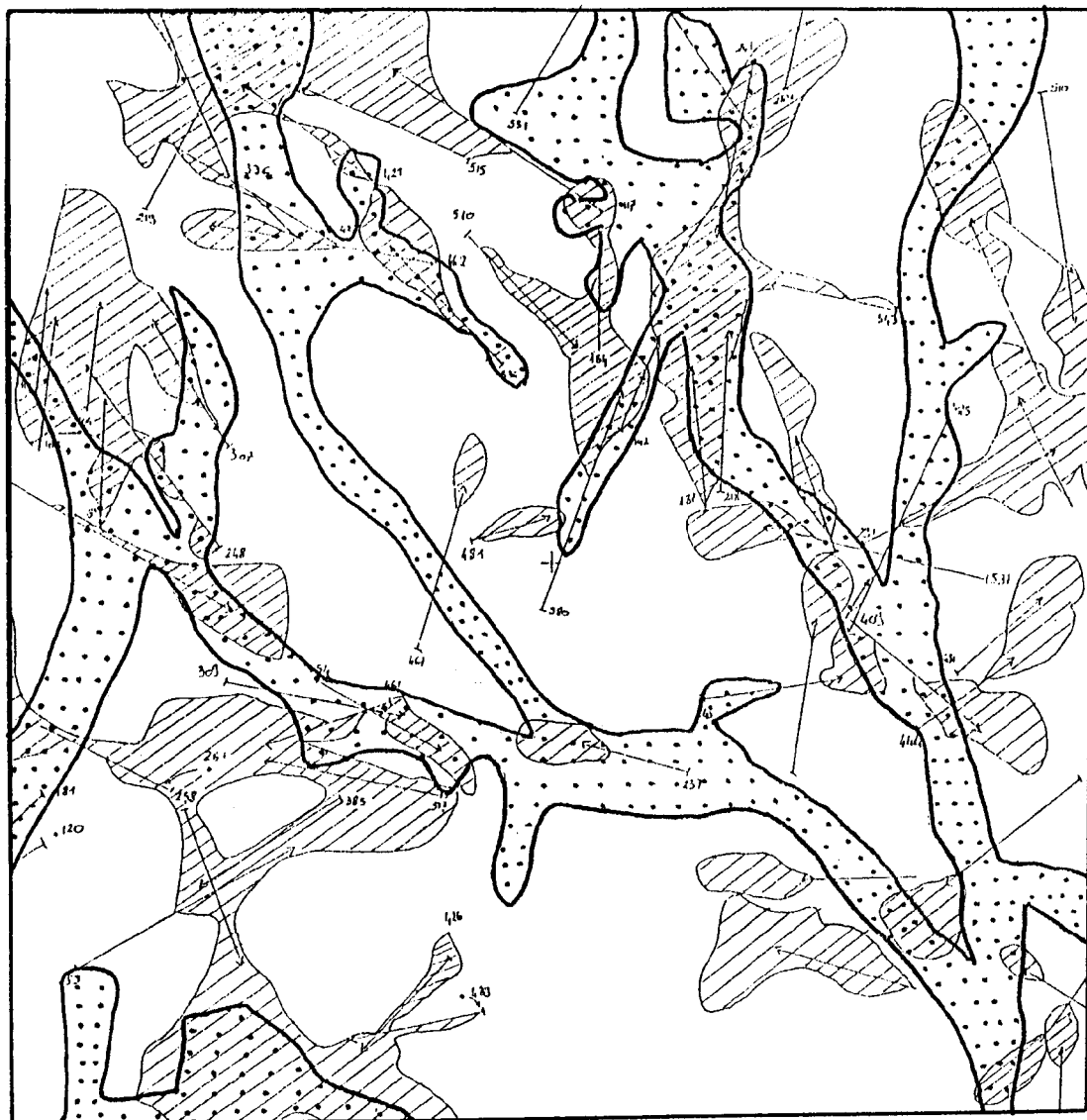


Figure 3. Proportions of injured (filled black bars) and dead trees (hatching) in relation with the tree density before logging in each dbh class. All plots and treatments combined (N = 19,149 trees before logging and N=7,706 damaged trees, injured and killed after logging).



 Felling  Yarding

Figure 4. Map of disturbed areas in plot 12, $E \geq 50$. Felled volume : $173.8 \text{ m}^3/\text{ha}$. Hatched zone : area disturbed by felling : 26.5 %. Dotted zone : area disturbed by skidding : 26 %. Total disturbed area in the plot : 41.5 % (with the overlapping effect decreasing the cumulative impact of each phase).

increasing significantly the area damaged by felling by about 10 %. Areas damaged by skidding ranged from 13.7 to 35.7 %. RIL reduced

skidding damage by about 10 % in terms of affected areas, but had no influence on reduction of felling damage, which was mainly deter-

mined by the logging intensity. The limited overlap between felling and yarding damage confirms the specificity of felling and skidding impact.

□ **Proposal for an acceptable rate of damage**

Table 2 summarizes the main characteristics of the logging impact displaying the status of three main indicators recorded during STREK experimentation : trees above 10 cm Ø, saplings (2 to 9.9 cm Ø) and disturbed area. From these data, we can see that conventional practices have a significant impact on the residual stand, whether on the trees above 10 cm Ø (27.6 to 56.1 %), the saplings (varying from 30.2 to 48.2 %) or the disturbed areas (28.4 to 41.5 %). This latter figure is also an easy way to assess the seedling destruction*. In the damage-controlled areas the impact is relatively constant with damage of 27.6, 30.2 and 28.4 % respectively for the three selected parameters. Consequently, it may be proposed as a first and realistic objective that the concessionaire achieves a rate of 33 % (one third) maximum damage as an acceptable target initially. Progressively, the objective might be fixed at 25 %

damage with a final target of 20 % when all the conditions are met to pass from the logging system to the harvesting concept.

THE LOGGING IMPACT ON A CONCESSION SCALE

After determining an acceptable level of damage by use of standards, the second step requires a reliable method to assess these data in the field. At the present time, there are no practical tools such as a « quick harvesting diagnostic » designed for evaluation on the concession scale to serve as a norm. On the other hand, the logging evaluation has to encompass, at the macro (concession) level, a way to relate

* The ratio of seedlings richness per m² derived from permanent plots/area disturbed.

the theoretical programme and the cutting area, whereas field operations have to assess the impact on the residual stand in the cutting area. In the past, to conduct these surveys at the field level, numerous statistical inventories were carried out in tropical forests and these techniques may be adapted to the present situation in combination with remote sensing and aerial photos, statistical inventories and GIS.

LOCATION OF LOGGING ACTIVITIES : REMOTE SENSING (RS) CONTRIBUTION

Space remote sensing for tropical forest analysis is now in full development. As well as the high resolution, optical multispectral data provided mainly by Landsat and Spot which observe in the visible and infrared spectral ranges, a new generation of satellite utilizing the radar technology as ESR-1, JERS-1 and soon Radarsat, has been appearing since 1991. The synthetic aperture radar or SAR images al-

Table 2. Impact on the residual stand (%)

Types of Logging	Trees above 10 cm Ø			Saplings (2 to 9.9 cm Ø)			Disturbed area		
	Injury	Mortality	Total	Injury	Mortality	Total	Felling	Skidding	Total area
Heavy Logging (15/ha) E ≥ 50 (Plot 12)	29	27.1	56.1	14	34.2	48.2	26.5	26	41,5
CNV Logging (8-10/ha) CNV (Plot 9)	24.9	19.7	44.5	8.7	30.6	39.3	12.9	27.8	36.6
Damage-Controlled (RIL) (8-10/ha) E ≥ 50 (Plots 2-3)	15.4	12.2	27.6	6.9	23.3	30.2	16.4	13.9	28.4

ready show significant application with the use of the microwave range (sensitive to roughness and moisture), thus overcoming the high cloud cover incidence in tropical countries. Therefore, the applicability of remote sensing for forestry will increase significantly. Even before being able to use these soon-to-be available new outputs, the false colour composite images (FCC) are very useful for acquiring a general view of the study zone. VSB colour composite images created with three indexes, vegetation index (VI), shadow index (SI) and bare soil (BS) allow easy identification of the logged-over areas which appear on the images in red. To identify these logged-over forests, it is also conceivable to utilize a VST composite image built with three indexes (vegetation index, shadow index and thermal index) which records high temperature on the bare soils and lower temperature in the forest areas. In the case of concession monitoring, the remote sensing technology is a valuable tool for this macrolevel evaluation because of its regular observation frequency.

FIELD DAMAGE ASSESSMENT

As explained above, damage can be summarized in three main categories : trees above 10 cm dbh, the saplings and the area disturbed. The ideal post-harvesting assessment technique would be to establish, before logging, a network of permanent and temporary sample plots with the required density and to come back after harvesting in these plots to compare the different impacts. By simultaneously using temporary and permanent plots, a reliable assessment can be achieved at this field level : calculat-

ing the trees and saplings destroyed by logging compared with the data recorded in the PSP in untouched forest will allow a decision of whether damages are, for example, less than or above the 30 % threshold required.

WHAT TYPE OF ASSESSMENT DEVICE FOR IMPLEMENTATION ?

Selection of the optimal statistical device for implementation will depend on many factors :

- Number of degrees.
- Type of stratification.
- Choice of systematic, random or cluster device in the cutting area.
- The intensity by stratum based on the coefficient of variation (CV) to calculate for a given threshold of confidence (0.95 or 090) with an acceptable error (10 or 15 %) ; the configuration of the plots, circular or rectangular.
- The type of observations to be recorded.

Following this, the data-processing phase and the software required to generate the outputs will have to be defined (tables, graphs, maps) together with their relevant costs. This inventory configuration has to be closely studied by preliminary testing in terms of both implementation and cost-effectiveness. At this stage, it is suggested that the theoretical annual cutting area be used as the forest unit for inventory and on this scale to assess, at the selected sampling intensity, the three main components : stands above 10 cm Ø, the saplings (2 to 9.9 cm Ø) and the disturbed areas which can indirectly indicate the proportion of destroyed seedlings. Utilization of GIS, integrating remote sensing capacities, cartography application and data

analysis correlated to spatial observations, should readily facilitate this work where a full-scale approach is necessary for a reliable assessment.

CONCLUSION

As confirmed by this study, damage during the harvesting process significantly shapes future structure and stand composition. RIL techniques represent concrete ways to translate the concept of sustainability to production forests. In addition to the first damage reduction objective, a further target is a significant decrease of the non-utilized wood abandoned in the cutting area. Specific efforts have to be made to value the existing timber resource at a time when questions arise about the adequacy of the resource and the timber industry. Based on STREK experiments, it was proposed to rapidly reduce the damage to a rate of 30 % and in the near future to 25 %. Close monitoring of more than 20,000 trees, before and after logging, has clearly demonstrated that it is possible to reach this objective if some basic rules are respected. Thus, implementing a low-impact harvesting regime should always be a prerequisite in a sustainable management policy. Therefore, accurate estimation of the impact has to be accepted as an essential component of any polycyclic management system. This post-harvesting assessment, clearly outlined in ITTO guidelines, will also provide the silviculturist with information for a better design of any silvicultural treatments required after exploitation. □

For bibliography, see the French version.