

Cette étude a été réalisée avec la collaboration de :
T. DAMIO, F. DOUMBIA, B. DUPUY,
N. HIGUCHI, KOKASI KADIR, H.-F. MAÎTRE,
N. NGUYEN-THE, Y. PETRUCCI, P. SIST

VINCENT FAVRICHON
CIRAD-Forêt

RÉACTION DE PEUPELEMENTS FORESTIERS TROPICAUX A DES INTERVENTIONS SYLVICOLES

Cette synthèse présente quelques résultats parmi les plus significatifs obtenus jusqu'à ce jour sur la dynamique de la forêt dense humide. Elle propose une vision comparative et prospective de la réaction des peuplements sur différents continents.



En République Centrafricaine, inventaire d'un arbre à contreforts sur le dispositif de M'Baiki.
Inventory of a tree with buttresses at the M'Baiki station, in Central African Republic.

La gestion durable de la forêt tropicale humide représente un enjeu social, économique et écologique, qui a été admis au niveau politique lors de la Conférence de Rio en 1992. C'est aussi, pour diverses raisons, un pari difficile à tenir car ce type de forêt est un écosystème dont le fonctionnement est particulièrement complexe et insuffisamment connu. En forêt naturelle non perturbée, de nombreuses études ayant trait à la régénération, la phénologie, la croissance... sont disponibles mais elles sont souvent dispersées dans des sites différents, avec des méthodes disparates et couvrent des périodes de temps discontinues. Les organismes de recherche se sont également lancés, depuis quelques décennies, dans l'étude de la dynamique forestière de peuplements artificiellement perturbés pour tenter de définir des itinéraires sylvicoles adaptés à la production durable de bois d'œuvre. Le souci d'une vision quantifiée de la forêt n'est pas nouveau et fut bien exprimé en zone tempérée par GURNAUD en 1886 : « En faisant des expériences sur l'accroissement des futaies dans les massifs à l'aide d'inventaires renouvelés par intervalles, nous avons remarqué que la comparaison de ces inventaires, en révélant la marche de l'accroissement, indiquait tout à la fois le temps nécessaire à la reproduction du matériel que l'on pouvait enlever par la coupe, et la manière de choisir les arbres à exploiter pour rétablir les conditions initiales de l'accroissement et même pour améliorer ces conditions ». Pour sa part, le CIRAD-Forêt participe depuis vingt ans à la gestion et à l'analyse de tels dispositifs de recherche. Ces travaux sont conduits en collaboration étroite avec des organismes nationaux de recherche en région tropicale. De nombreux documents font état des résultats de ces recherches, tel que celui présenté au Congrès de l'IUFRO en 1992 et intitulé « Recherches sylvicoles pour un aménagement durable en forêt

dense humide » (BERTAULT, DUPUY et MAÎTRE, 1992).

Cette nouvelle synthèse, enrichie d'apports complémentaires liés à l'obtention de nouvelles données, offre une vision plus prospective. Elle a plusieurs objectifs :

- Donner l'image d'un réseau de dispositifs relativement cohérents de par leur méthodologie et leur gestion.
- Permettre de « faire le point » en fournissant des résultats généraux sur la réaction à court terme des peuplements à une perturbation exogène.
- Relever quelques invariants et particularités pouvant aussi bien servir de clés pour évaluer la dynamique à long terme de la forêt que de guide pour les choix du sylviculteur.

GESTION DE LA FORÊT DENSE ET PRODUCTION DE BOIS D'ŒUVRE

Ce réseau de dispositifs (cf. tableau I) se trouve :

- **En Afrique**, sur cinq sites principaux (République de Côte-d'Ivoire : Mopri, Téné et Irobo ; République Centrafricaine : Boukoko et La Lolé à M'baïki).
- **En Amérique néotropicale** (Brésil : « ZF2 » à Manaus ; Guyane française : Paracou).
- **En Asie du Sud-Est** (Indonésie : « Strek » à Berau).

Ces dispositifs visent à étudier l'impact de l'exploitation forestière, et de traitements sylvicoles complémentaires, sur la dynamique d'un peuplement. Le forestier aménagiste est en quête d'un système sylvicole permettant de constituer une forêt anthropisée, façonnée, différente

de la forêt initiale, mais présentant les caractéristiques suivantes :

- Une dynamique basée sur des processus identiques aux processus naturels avec, en particulier, une régénération s'effectuant essentiellement par voie naturelle.

- Une productivité accélérée en bois d'œuvre, obtenue par le renouvellement des tiges d'espèces commerciales et par une croissance plus soutenue de leur volume.

Il s'agit en quelque sorte d'imiter la nature tout en dynamisant et orientant sa productivité. Ce système idéal à atteindre s'apparente à un traitement de type futaie jardinée et se justifie en particulier par la préservation de l'état forestier dont les conséquences sont :

- Le maintien des services non marchands mais vitaux tels que la conservation des sols et la participation à l'équilibre du climat.
- La diminution des risques d'irréversibilité écologique dans un milieu très sensible.
- La préservation du rôle de réservoir de biodiversité.
- La garantie des conditions traditionnelles de vie des populations locales.

Dans un contexte socio-économique donné, la faisabilité technique de cette gestion doit être évaluée, ce qui suppose de connaître les processus de la dynamique naturelle, puis de construire des outils de diagnostic d'impact des interventions. Étant donné la complexité des processus naturels, ce diagnostic ne peut être basé que sur des indicateurs sectoriels et approximatifs dont le choix judicieux doit fournir des garde-fous.

La dynamique forestière, dans des conditions climatiques et pédologiques données, peut schématiquement être décrite par la combinaison :

TABLEAU I
DESCRIPTION DES DISPOSITIFS

Pays partenaires	Site (code)	Latitude Longitude	Précipitations (mm) T (°C)	Alt. (m)	Début d'observation	Surface totale (ha) (nb ^s) ¹	N (ha) G (m ² /ha)	Mortalité (ha/an)	Recrutement (ha/an)	Croissance (m ² /ha/an)	Bilan	Turnover (%)	Nombre de taxons	NbEP*** N:EP G:EP
Guyane fr. GIS Silvob (P)	Paracou	5°15'N. 52°5'O.	3.159 26	10	1984	75 12*6,25	N: 626 G: 30,6	N: 6,2 (1,0%) G: 0,33	N: 4,8 (0,79%) G: 0,042	N: 1,4 G: 0,3034	N: 1,4 G: 0,02	0,91	229 183	58 13,7
Brésil	ZF2 INPA Manaus (Z)	2°37'S. 60°1'O.	2.478 28	50	(1980) 1986	18 18*1	N: 613 G: 28	N: 6,5 (1,0%) G: 0,4754	N: 7,4 (1,2%) G: 0,177	N: 0,9 G: 0,4738	N: 0,9 G: 0,18	1,11	324	47 190 9,6
République Centrafricaine	Boukoko (B)	3°15'N. 18°0'E.	1.760 25	100	1982	24 6*4	N: 646 G: 32,6	N: 8,3 (1,38%) G: 0,465	N: 10,2 (1,7%) G: 0,089	N: 1,9 G: 0,576	N: 1,9 G: 0,2	1,54	231	36 130 11,5
République Centrafricaine	La Lolé (LL)	3°15'N. 18°0'E.	1.760 25	100	1982	16 4*4	N: 584 G: 34,4	*	*	*	*	*	231	36 102 14,2
Indonésie ARD/PT Inhutani I	Sirek (S)	2°N. 117°E.	2.000 26	500	1990	72 18*4	N: 530 G: 30,7	N: 9 (1,5%) G: 0,4334	N: 7,8 (1,49%) G: 0,06	N: 12 G: 0,4739	N: 12 G: 0,1	1,49 579	> 36	135 16,0
Côte-d'Ivoire SODEFOR IDEFOR	Téné (T)	6°3'N. 5°2'O.	1.400	70	1976	100 25*4	N: 436 G: 28,4	*	*	*	*	*	*	*
Côte-d'Ivoire SODEFOR IDEFOR	Mopri (M)	5°6'N. 5°2'O.	1.600	70	1976	100 25*4	N: 361 G: 28,4	**	**	**	**	**	**	**
Côte-d'Ivoire SODEFOR IDEFOR	Irobo (I)	5°3'N. 4°4'O.	1.750 27	70	1976	100 25*4	N: 45 G: 24,5	**	**	**	**	**	**	**

1 : nombre de places x surface unitaire. * Passage du feu pendant la durée d'observation. ** Peuplement initial exploité dans le passé. *** NbEP : nombre d'espèces principales.
N:EP : effectif des espèces. G:EP : surface terrière.

- d'un phénomène discontinu et aléatoire, la mort des arbres, mort sur pied ou par chablis de plus ou moins grande taille qui modifie les conditions de station et provoque une libération locale d'énergie et de nutriments,

- et de la capacité à occuper ces espaces et ressources libres, soit par croissance à partir d'individus préexistants, soit par régénération. La phénologie de la reproduction et le tempérament écophysiological des espèces jouent alors un rôle fondamental mais le hasard reste toujours présent dans l'occupation finale de l'espace.

L'intervention en forêt s'articule, quant à elle, autour de deux actions principales :

□ **L'exploitation** d'un certain nombre d'individus commerciaux avec, comme corollaire, la destruction par dégâts directs d'une partie du peuplement résiduel. L'exploitation représente donc à la fois une action de récolte et une action sylvicole réduisant la compétition mais pouvant aussi réduire le potentiel d'arbres d'avenir.

□ **L'éclaircie** par élimination d'individus d'espèces non commercialisées, qui se pratique « par le haut », au dépens des plus gros arbres, de façon systématique ou sélective. Elle réduit non seulement la compétition mais elle rétablit aussi, au moins temporairement, un équilibre numérique entre espèces prélevées et espèces délaissées par l'exploitation.

Ces interventions humaines représentent une mortalité artificiellement accrue et dirigée vers certains groupes d'espèces. Tout l'art du gestionnaire consiste à doser au mieux les prélèvements pour que la forêt produise du bois de valeur sans que sa dynamique ne soit fondamentalement modifiée.

Les effets observés ou probables des interventions sont principalement :

- l'ouverture de la forêt par créations de trouées plus nombreuses et plus vastes,
- la modification des populations animales,
- la modification du patrimoine génétique des populations reproductives,
- la modification du fonctionnement des sols.

Quels sont les indicateurs de l'état et du fonctionnement des peuplements accessibles aujourd'hui à travers les dispositifs ? Nous étudions successivement :

- la compétition moyenne en définissant un indice de perturbation et en étudiant sa vitesse de retour vers l'état initial,
- le degré d'ouverture du couvert quantifié par la surface des trouées au sol,
- l'évolution de la composition floristique estimée par la place des es-

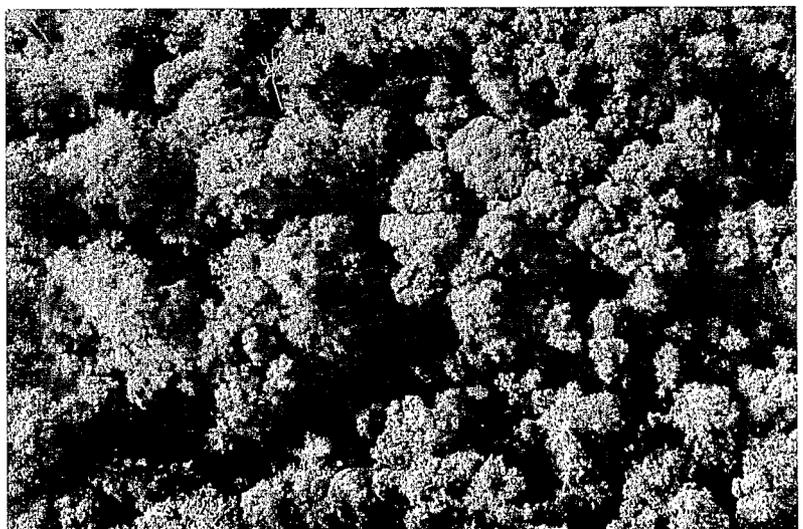
pèces pionnières dans le peuplement adulte et le contrôle *a posteriori* de la régénération naturelle.

BREF RAPPEL

DES MATÉRIELS ET MÉTHODES

□ Les dispositifs de recherche

Les principes de réalisation sur le terrain sont simples. On délimite en forêt naturelle des parcelles permanentes de grande taille (de 1 à 6 ha) selon un dispositif en blocs de richesse en espèces commerciales homogène. Différents traitements sont appliqués ; on mesure la croissance en diamètre et on note la mortalité et le recrutement de tous les individus ligneux à partir d'un certain diamètre, en général 10 cm, à intervalle de temps régulier de un ou deux ans. Si possible, l'appartenance botanique des arbres est déterminée, du moins pour les espèces commerciales. La dynamique induite par les traitements est comparée à celle de parcelles témoins, restées intouchées, sur lesquelles les mêmes observations sont réalisées. On a



Vue aérienne d'une parcelle à Paracou, Guyane.
Aerial view of a plot at Paracou, French Guiana.

ainsi testé l'effet de l'exploitation forestière à Paracou, ZF2, Boukoko, La Lolé et Strek mais aussi l'effet combiné de l'exploitation et de l'éclaircie à Paracou, Boukoko, La Lolé, Strek et dans les trois sites de Côte-d'Ivoire. En complément à l'étude des peuplements adultes, la régénération naturelle est également suivie de manière systématique par des sondages au sein de sous-parcelles.

□ Quelques méthodes d'analyse

Le peuplement « témoin », c'est-à-dire idéalement celui de la forêt non perturbée par l'homme, peut en moyenne être caractérisé par sa densité N ou sa surface terrière G , sa structure diamétrique, sa composition floristique et sa dynamique. La densité N_t est le nombre de tiges par unité de surface au temps t ; elle traduit la compétition moyenne. La structure diamétrique totale est définie comme la répartition des arbres, toutes espèces confondues, par catégories de diamètre. La composition floristique rassemble les informations sur le type et la fréquence des espèces présentes dans le peuplement.

La dynamique, pendant une période de temps unitaire, est appréciée par trois paramètres : le recrutement R_t , la mortalité M_t et l'accroissement A_t . Dans le cas de suivi annuel des tiges, le calcul classique des différents paramètres par unité de surface est le suivant :

- le recrutement est estimé par le nombre d'arbres dépassant le diamètre de précomptage entre les temps t et $t + 1$,
- la mortalité est estimée par le nombre d'arbres vivants au temps t et morts au temps $t + 1$,
- la croissance individuelle en diamètre est estimée par la différence

entre les diamètres aux temps $t + 1$ et t .

Ces trois paramètres permettent de calculer un bilan annuel, en densité ou en surface terrière, et un indice de dynamique ou temps de renouvellement.

Le bilan annuel s'écrit de la façon suivante :

$$\text{en effectifs : } N_{t+1} = N_t + R_t - M_t,$$

en surface terrière :

$$G_{t+1} = G_t + R_t - M_t + A_t.$$

Le temps de renouvellement (*turn-over*) sera défini ici comme la moyenne des taux annuels de mortalité et de recrutement.

Le suivi des parcelles dans le temps permet de quantifier l'évolution de ces différents paramètres et de comparer les parcelles traitées aux parcelles témoins, avec de nombreuses précautions rendues nécessaires par l'hétérogénéité de la forêt naturelle.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

On comparera d'abord très brièvement les forêts naturelles étudiées dans les différents continents et leur dynamique moyenne. Puis on décrira les perturbations par un indice simple. L'effet de ces perturbations sera ensuite analysé plus en détail à travers deux critères :

- Les variations de mortalité, recrutement et croissance après exploitation ou éclaircie. Une modélisation simple donnera une idée de la vitesse de retour de la densité vers l'état initial suivant les sites, indicateur qui fournit une idée des durées possibles pour les cycles de coupe.
- Le degré d'ouverture du couvert et ses conséquences sur la composition floristique.

STRUCTURE INITIALE ÉQUILBRÉE ET DYNAMIQUE STABLE EN FORÊT NATURELLE

La figure 1, p. 10, montre la distribution des peuplements initiaux en fonction de la densité et de la surface terrière. Les peuplements néotropicaux, ZF2 et Paracou, présentent un nombre élevé de tiges pour une surface terrière moyenne ($N > 600$, $G < 31 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). À l'opposé, la forêt à Diptérocarpacées de Bornéo, Strek, comporte peu de tiges pour une surface terrière moyenne ($N < 550$, $G = 31$). En forêt semi-décidue de Centrafrique, la densité, comme la surface terrière, est élevée ($N > 600$, $G > 32$). Les peuplements de Côte-d'Ivoire sont très différents car les parcelles ont déjà été exploitées dans le passé. Seul le peuplement semi-décidu de la Téné serait intouché ; il présente une densité faible et une surface terrière moyenne ($N = 436$, $G = 28,4$). Ces données sont cohérentes avec celles d'autres dispositifs (SWAINE *et al.*, 1987 ; CONDIT, 1995) et avec les observations de DAWKINS en Ouganda (DAWKINS, 1958). Rappelons toutefois que des variations locales peuvent être très importantes en fonction des sols ou de la topographie (PUIG *et al.*, 1990 ; PASCAL, 1995).

La figure 2, p. 10, présente la structure diamétrique totale en coordonnées semi-logarithmique pour chacun des peuplements naturels hors Côte-d'Ivoire. Elle confirme la différence entre les forêts néotropicales de Paracou et de la ZF2, d'une part, et les forêts semi-décidues de République Centrafricaine et à Diptérocarpacées d'Indonésie, d'autre part. Ces deux dernières possèdent relativement moins de tiges dans les diamètres moyens (de 20 à 60 cm) et beaucoup plus dans les gros diamètres ($> 70 \text{ cm}$).

Il est impossible de comparer valablement les compositions floristiques

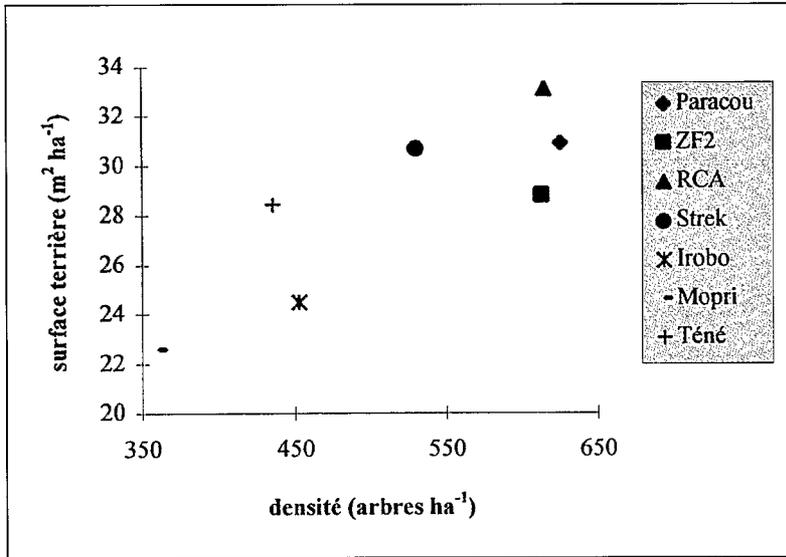


Figure 1. Diversité des situations initiales en forêts « témoins ». Relation entre la densité et la surface terrière.
 Diversity of initial situations in « demonstration » forests: Relationship between density and land area.

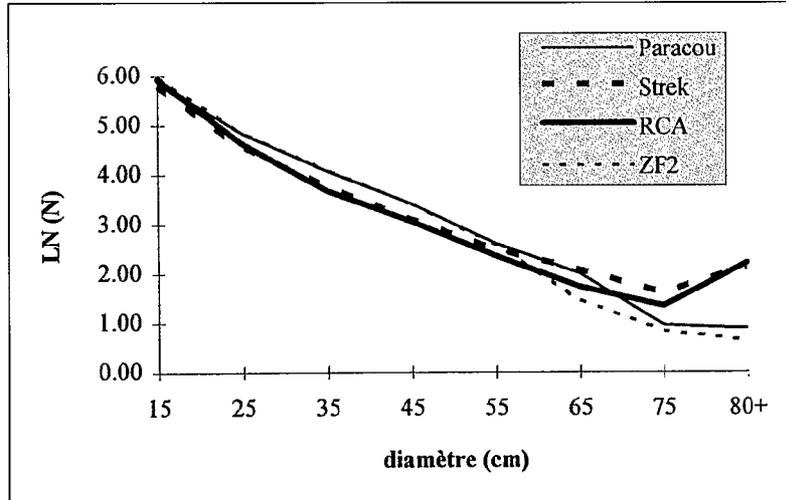


Figure 2. Structures diamétriques en parcelles témoins.
 Diametric structures in control plots.

entre les dispositifs car le degré de précision des déterminations est très inégal et les surfaces inventoriées différentes. La valeur du nombre de taxons est donnée à titre indicatif dans le tableau I, ainsi que le

nombre de taxons commerciaux et leur place dans le peuplement témoin.

La valeur brute et le taux de recrutement et de mortalité ainsi que l'ac-

croissement brut sont donnés dans le tableau I, pour les parcelles témoins. La mortalité concerne entre 6 et 9 tiges/ha/an, soit entre 1 et 1,5 % du peuplement. Le recrutement représente un apport variant entre 5 et 10 tiges/ha/an, soit de 0,8 à 1,7 % du peuplement initial. Ces valeurs sont comparables à celles observées dans de nombreux autres sites (SWAINE *et al.*, 1987 ; PHILIPPS, GENTRY, 1994). Le turnover varie quant à lui entre 0,9 et 1,5 %. Il est plus faible pour les forêts néotropicales que pour les forêts semi-décidues d'Afrique et à Diptérocarpacées d'Asie. Le gain brut en surface terrière varie entre 0,30 et 0,57 m²/ha/an, soit entre 1 et 1,7 % de la surface terrière initiale. On observe une corrélation linéaire positive entre le turnover et la productivité brute ($r^2 = 0,73$, $p = 0,001$). Le bilan en surface terrière indique, dans les quatre cas cités au tableau I, une augmentation annuelle nette de l'ordre de 0,5 %/ha/an sur des périodes allant de 4 à 12 ans. L'hypothèse classique de stabilité globale de la forêt à long terme, avec localement des phases de gain ou de perte, mérite donc un suivi sur une période de temps très longue pour être validée.

CARACTÉRISATION DE L'INTENSITÉ DES PERTURBATIONS

Les tableaux II et III présentent par site et traitement les effectifs et surfaces terrières prélevés au cours des différentes opérations sylvicoles – exploitation+dégâts directs, éclaircie – en fonction des situations initiales. L'exploitation, compte tenu des dégâts provoqués sur le reste du peuplement, induit une baisse d'effectif et de surface terrière en proportions relativement égales (cf. fig. 3). C'est le cas à Paracou (T1), ZF2 (T1, T2 et T3) et Strek (T1, T2 et T3), où l'exploitation touche des arbres de diamètre en général supé-

TABLEAU II

DONNÉES RELATIVES AUX EFFECTIFS PRÉSENTS AVANT (N0)
ET APRÈS TRAITEMENT (Nf)
PRÉLEVÉS PAR EXPLOITATION (Nex) OU ÉCLAIRCIE (Nec)
ET MORTS PAR DÉGÂTS (Nd) DANS LES DIFFÉRENTS TRAITEMENTS

Site	Tr	N0	Nex	Nd	Nec	Nf
Paracou	T0	613	-	-	-	613
	T1	595	10	69	-	515
	T2	613	11	75	29	498
	T3	613	29	133	15	436
ZF2	T0	623	-	-	-	623
	T1	621	6,3	102	-	513
	T2	607	8	104	-	495
	T3	602	18,6	123	-	460
Boukoko	T0	594	-	-	-	594
	T1	592	3,6	90	-	498
	T2	614	2,0	41	19,7	541
	T3					
La Lolé	T0	530	*	*	*	*
	T1	524	5,7	76	-	442
	T2	567	3,8	71	18,1	484
	T3					
Strek	T0	525	-	-	-	525
	T1	538	10,6	95	-	434
	T2	564	7,3	100	-	459
	T3	495	10,3	114	-	369
	T4 (c)	443	(1975)**	-	-	443
	T5 (s)	458	(1975)**	-	(74)***	457
	T6 (pct)	510	(1975)**	-	(83)***	483

Diamètre minimal d'exploitation : Paracou (50 ou 60 cm), République Centrafricaine (80 cm),
Strek (T1 RIL 50 cm, T2 RIL 60 cm, T3 conv. 60 cm), ZF2 (55, 50 ou 40 cm selon le traitement).
Diamètre minimal d'éclaircie : Paracou (40 cm pour T2 et 50 cm pour T3), République
Centrafricaine (50 cm), Strek (systematic : 20 cm, PCT : cf. Sistr, 1994).

* Passage du feu pendant la période considérée.

** Date supposée d'exploitation.

*** Nombre théorique mais l'effet arboricide est lent et seulement 45 % des arbres sont morts
après 18 mois.

TABLEAU III

DONNÉES RELATIVES AUX SURFACES TERRIÈRES PRÉSENTES AVANT (G0)
ET APRÈS (Gf), TRAITEMENT
PRÉLEVÉES PAR EXPLOITATION (Gex) OU ÉCLAIRCIE (Gec) ET MORTS
PAR DÉGÂTS (Gd) DANS LES DIFFÉRENTS TRAITEMENTS

Site	Tr	G0	Gex	Gd	Gec	Gf
Paracou	T0	30,6	-	-	-	30,6
	T1	30,4	3,2	1,9	-	25,3
	T2	31,7	3,8	2,2	7,4	18,3
	T3	31,8	6,3	3,6	5,0	16,8
ZF2	T0	28	-	-	-	28
	T1	29,8	3,5	2,5	-	23,8
	T2	28,3	2,5	2,8	-	23
	T3	29,1	5,2	2,3	-	21,6
Btkk	T0	32,6	-	-	-	32,6
	T1	31,6	4,1	3,7	-	23,8
	T2	29,6	2,6	1,5	5,9	19,7
	T3					
La Lolé	T0	32,8	*	*	*	*
	T1	34,0	6,6	1,5	-	25,9
	T2	34,8	5,2	3,1	4,9	21,5
	T3					
Strek	T0	30,7	-	-	-	30,7
	T1	32,4	5,4	3,1	-	23,9
	T2	31,4	3,5	3,4	-	24,5
	T3	31,4	5,5	3,8	-	22,1
	T4 (c)	22,7	(1975)**	-	-	22,7
	T5 (s)	25,2	(1975)**	-	(6,7)***	23,2
	T6 (pct)	27,6	(1975)**	-	(8,0)***	24,7

* Passage du feu pendant la période considérée.

** Date supposée d'exploitation.

*** Nombre théorique mais l'effet arboricide est lent et seulement 45 % des arbres sont morts
après 18 mois.

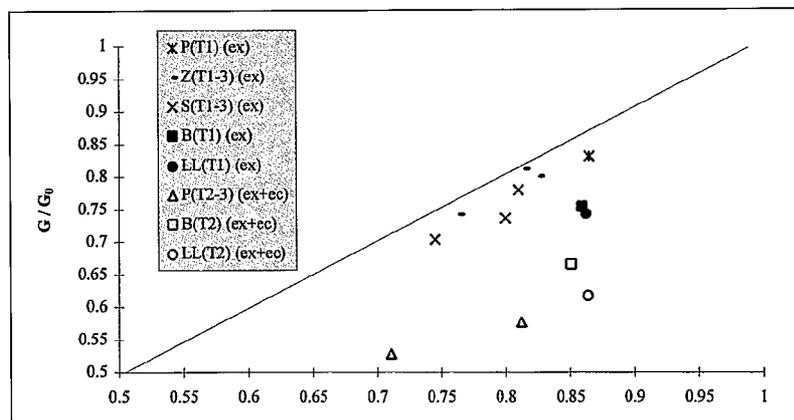


Figure 3. Représentation de l'intensité des perturbations en effectif et en surface terrière (rapport des surfaces terrières après et avant traitement en fonction du rapport des effectifs après et avant traitement).

Graph of the level of disturbance in numbers and basal area (relationship of basal areas before and after treatment according to the ratio of numbers before and after treatment).

rieur ou égal à 50 cm. On peut caractériser l'exploitation dans ces sites par un ratio de perturbation : le prélèvement y varie entre 15 et 25 % de l'effectif total initial. On observe par contre que l'exploitation en République Centrafricaine (Boukoko T1 et La Lolé T1), qui prélève seulement des arbres d'un diamètre supérieur à 80 cm, entraîne une baisse relativement modérée en effectifs (< 15 %) mais comparative-ment forte en surface terrière (25 %).

L'éclaircie pratiquée comme complément à l'exploitation est en général systématique, sauf dans un traitement de Strek. Elle prélève proportionnellement plus en surface terrière qu'en effectif car ce sont en priorité de grands arbres d'espèces non commerciales qui sont retirés, sans provoquer de dégâts significatifs au reste du peuplement. Dans les traitements combinant exploitation du bois d'œuvre et éclaircie à Paracou (T2) et en République Centrafricaine (Boukoko T2 et La Lolé T2), l'effectif diminue de 15 à 20 % et la

surface terrière perd entre 35 et 45 %. L'éclaircie permet donc de diminuer la compétition en minimisant le prélèvement en effectif. Elle est mieux ciblée que l'exploitation. Le traitement le plus fort est le T3 de Paracou provoquant une baisse de 30 % de l'effectif et 50 % de la surface terrière.

EFFET DES PERTURBATIONS SUR LA DYNAMIQUE ET LA VITESSE DE RECONSTITUTION

On donnera ici une brève synthèse des effets des perturbations sur les paramètres de mortalité, recrutement et croissance à partir de nombreux travaux comme par exemple ceux de SCHMITT, BARITEAU (1990) et DURRIEU (1993) en Guyane ; HIGUCHI *et al.* (1992) au Brésil ; DUPUY *et al.* (1996) en Côte-d'Ivoire ; NGUYEN-THE *et al.* (1996) en Indonésie ; TRAN-HOANG *et al.* (1991) en République Centrafricaine. Rappelons les questions fondamentales pour l'aménagiste :

- Quel est l'effet de l'exploitation et des traitements sylvicoles ?
- Pendant combien de temps cet effet dure-t-il ?
- Cet effet est-il variable suivant les populations (espèces, classes de diamètre) ?

□ La mortalité

La figure 4, p. 13, présente le taux annuel de mortalité en effectif en fonction du temps pour les dispositifs de Paracou, ZF2 et M'baiki. On observe d'abord les pics de mortalité liés à l'exploitation et aux dégâts directs. Au moment de l'exploitation, le taux de mortalité atteint 15 à 30 % du peuplement sur pied. Puis la mortalité se stabilise rapidement à un niveau qui varie entre 2 % et 3 %. Ce taux est supérieur à celui des parcelles témoins et la différence semble se maintenir durant les périodes d'observation avec, toutefois, une tendance à la baisse observable en Guyane. Ce taux élevé s'expliquerait par la perturbation du microclimat, par la vulnérabilité structurale des peuplements au vent et surtout par l'affaiblissement de certains arbres par des blessures, visibles ou non. Ainsi, sur le dispositif de Strek, la mortalité naturelle est de 1,5 % par an en parcelles témoins. Elle atteint 2,5 % après traitement et même 5,4 % pour les arbres blessés qui représentent 26 % du peuplement résiduel (NGUYEN-THE *et al.*, 1996).

L'éclaircie produit également un nouveau pic de mortalité observable en République Centrafricaine et en Guyane mais n'induit pas une fragilisation à moyen terme de la forêt. En République de Côte-d'Ivoire, le dispositif ne permet pas de mettre en évidence de différence entre les taux de mortalité des parcelles éclaircies et témoins. Le taux de mortalité par dégâts directs n'est pas affecté par l'espèce ou la classe de diamètre.

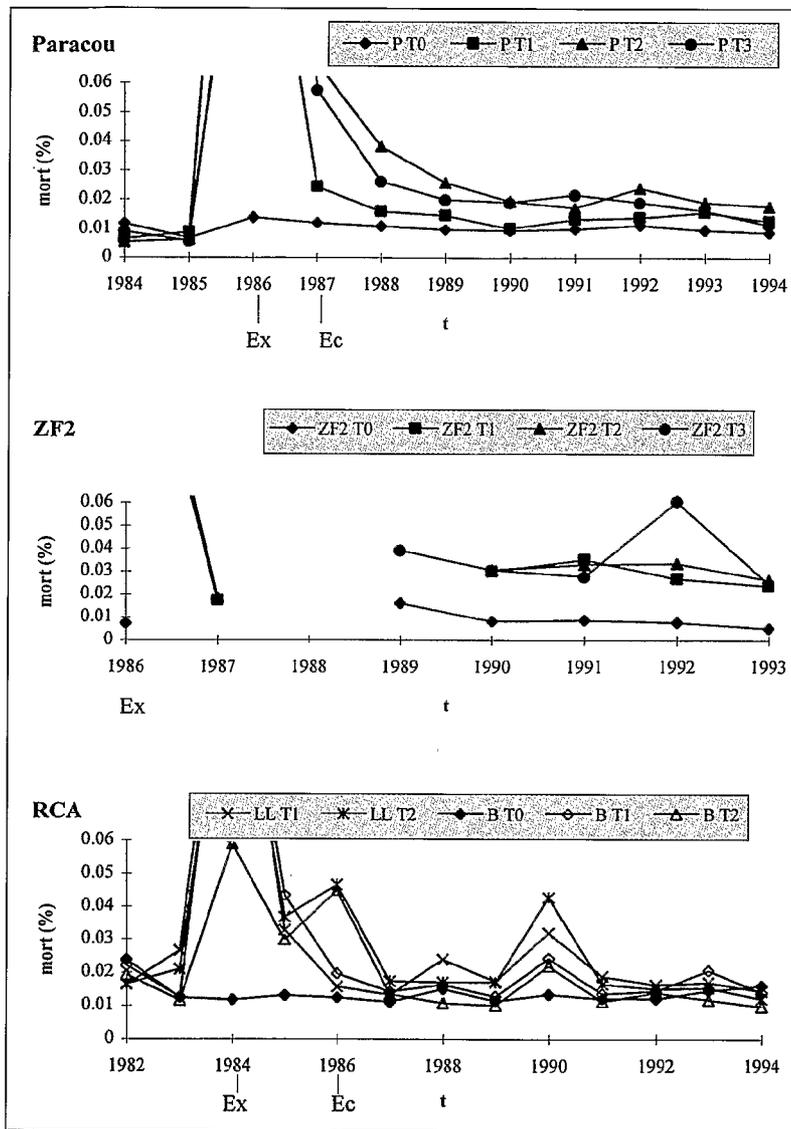


Figure 4. Evolution du taux annuel de mortalité selon les traitements (la mortalité affichée au temps t est estimée sur l'intervalle [t; t+1]).
Changes of annual mortality rate by treatments (the rate given in time t is estimated on the interval [t; t+1]).

temps, c'est la croissance des jeunes tiges en place qui est favorisée puis, à échéance de deux ou trois ans, apparaissent de nouveaux individus d'espèces héliophiles, voire pionnières, qui envahissent les trouées, modifiant ainsi la composition floristique de la population des jeunes tiges. La relation entre le degré d'ouverture du couvert et le taux de recrutement est nette dans tous les dispositifs. A Paracou et ZF2 par exemple, la proportion d'espèces pionnières passe de 1 % environ en parcelles témoins à 4 à 8 % dans les parcelles traitées. Cette proportion est liée au degré d'ouverture du couvert.

□ La croissance individuelle

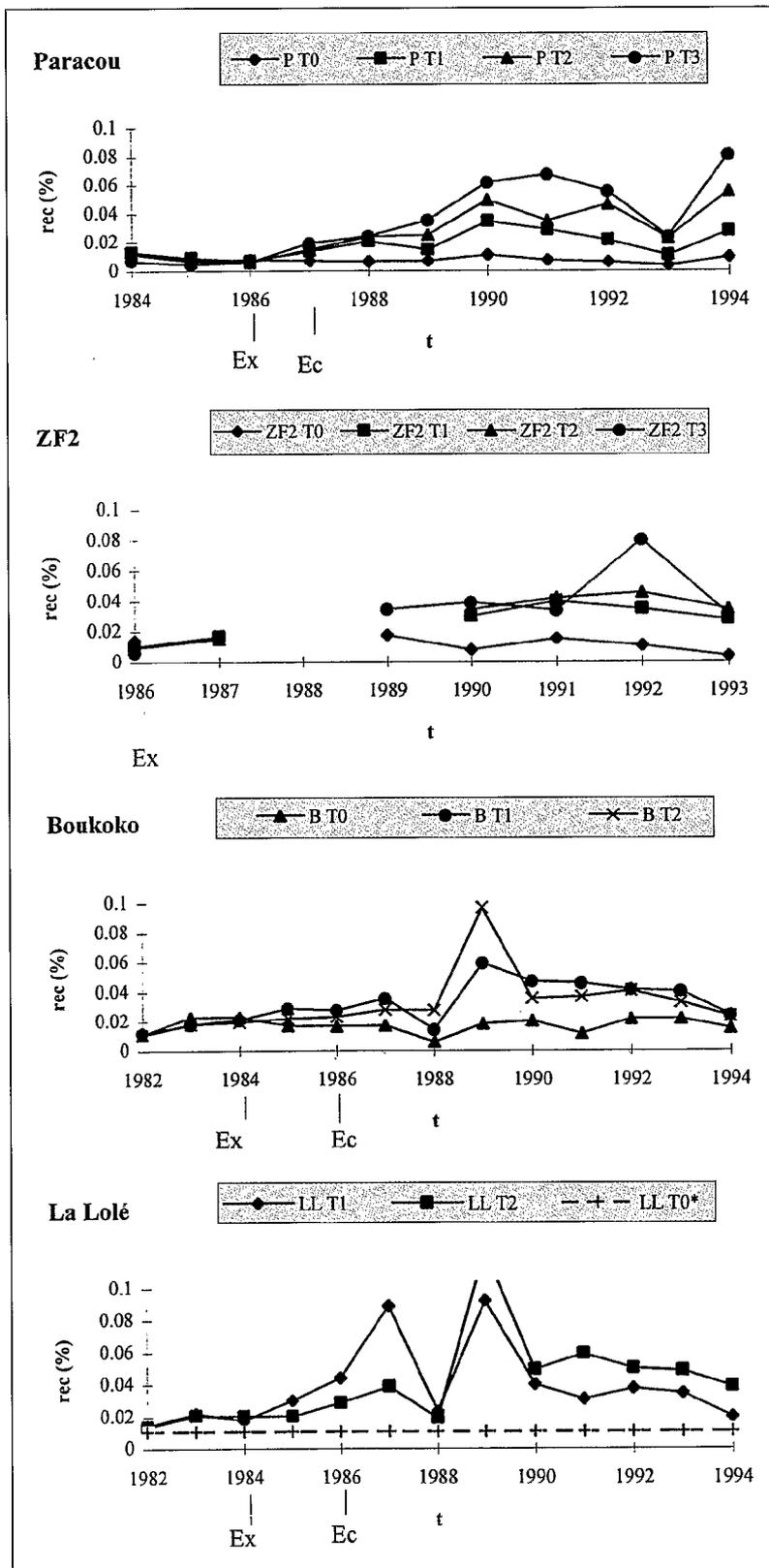
La figure 6, p. 15, présente l'effet de l'ouverture du couvert sur la croissance individuelle. Dès la deuxième année après exploitation modérée (T1 de Paracou, T1-2-3 de ZF2...), la croissance individuelle moyenne est multipliée par un facteur 2 par rapport aux peuplements témoins. Cet effet sur la croissance se prolonge pendant 6 ans à ZF2, 8 ans à Paracou et 10 ans à M'baïki. On observe, après ces périodes, un infléchissement de cet effet sans toutefois pouvoir dire qu'il s'agit déjà d'une phase de retour à l'état initial. Dans le cas de M'baïki, l'infléchissement de la croissance se manifeste dès la sixième année après exploitation quand on ne considère que les espèces commerciales.

Cette différence de croissance après exploitation peut être due à la composition floristique et à la structure diamétrique du peuplement. Les études comparant entre elles des populations homogènes, par exemple les arbres d'avenir par groupes d'espèces à tempérament homogène, confirme les résultats précédents. Par exemple en Guyane, des tests de Kruskal-Wallis montrent un effet traitement net par rapport au témoin ($p \leq 0,001$) et une supériorité

□ Le recrutement

La figure 5, p. 14, présente l'évolution du taux annuel de recrutement sur les mêmes dispositifs. On observe une augmentation du taux de recrutement : il passe d'environ 1 % avant traitement à 2 % dès la deuxième année après intervention

et jusqu'à 4 à 6 % ensuite. Cet effet semble se maintenir pendant au moins 7-8 ans à Paracou et ZF2 et 10 ans en République Centrafricaine même si un fléchissement du nombre de recrutés est observé dans ce dispositif. L'augmentation du recrutement traduit l'effet de l'ouverture du couvert. Dans un premier



des traitements forts par rapport aux traitements faibles ($T2 > T1$, $p \leq 0,01$ et $T3 > T2$, $p \leq 0,01$) pour chacun des groupes étudiés, allant des espèces les plus sciaphiles aux plus héliophiles, et pour la classe de diamètre 30-50 cm. Pour étudier la durée de l'effet du traitement on a comparé, de la même façon, l'accroissement individuel en parcelle traitée diminué de la valeur moyenne de l'accroissement pendant la même période en parcelles témoins. Les tests montrent l'effet positif du traitement dans la première période considérée après intervention (1989-1991) par rapport au témoin et donnent des différences faiblement significatives pour les périodes suivantes.

Quant à l'éclaircie, elle renforce toujours le gain de croissance. Ainsi à Paracou, l'exploitation complétée par une éclaircie multiplie la croissance moyenne par un facteur 3. Dans le traitement par éclaircie de Strok, l'éclaircie appliquée seule multiplie la croissance par 1,5 à 2. D'après les observations de Côte-d'Ivoire, l'effet des éclaircies dure pendant 10 à 12 ans avec un gain plus fort pour les arbres de petit diamètre.

Figure 5. Evolution du taux annuel de recrutement selon les traitements (le taux affiché au temps t est calculé sur l'intervalle [t ; t + 1]).
Changes of the annual recruitment rate based on treatments (the rate given in time t is estimated on the interval [t ; t + 1]).

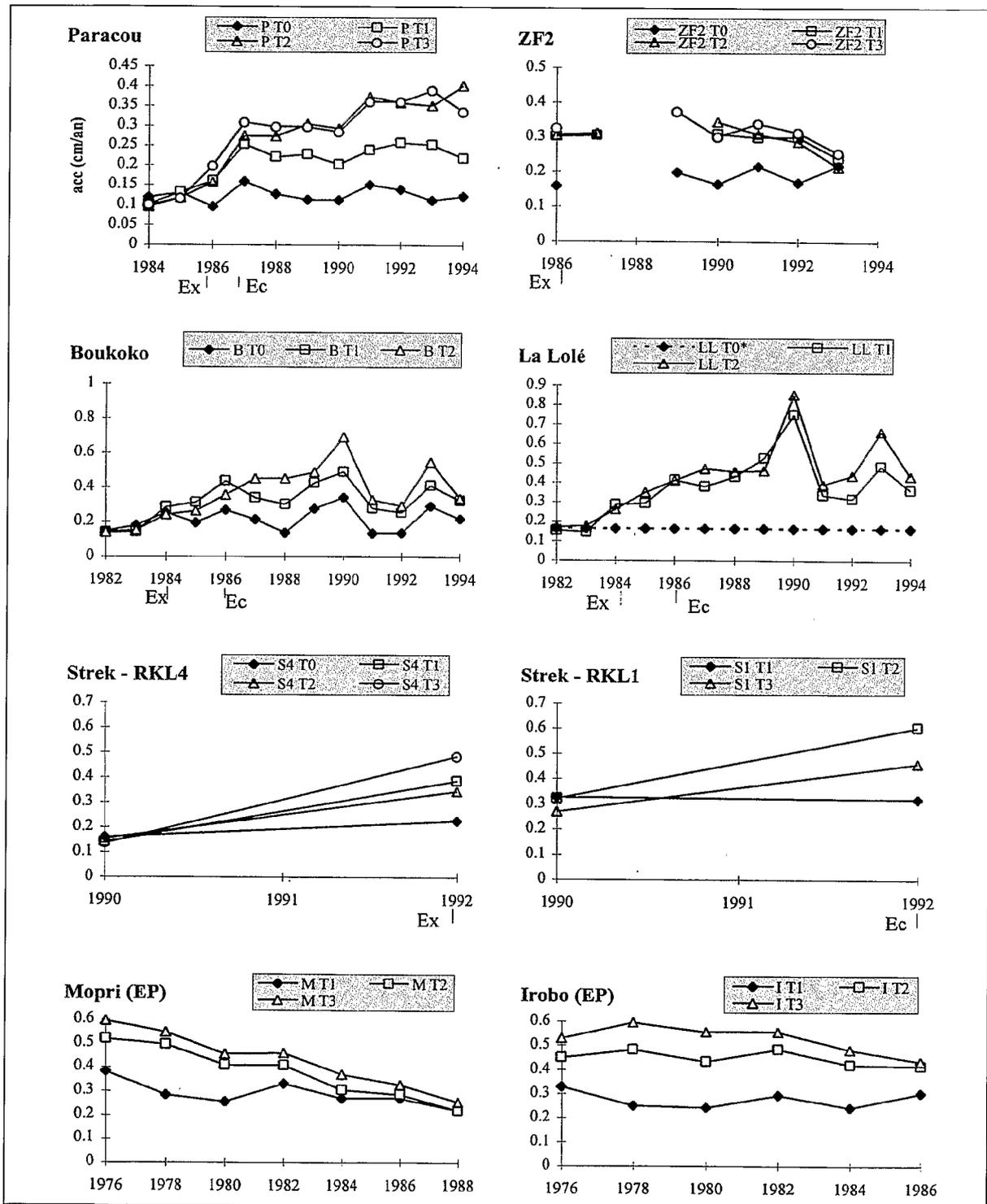


Figure 6. Accroissement individuel moyen sur le diamètre (cm/an). L'accroissement affiché au temps t est calculé sur l'intervalle $[t; t + 1]$.
 Average individual diameter growth on the diameter (cm/year). The growth given in time t is estimated on the interval $[t; t + 1]$.

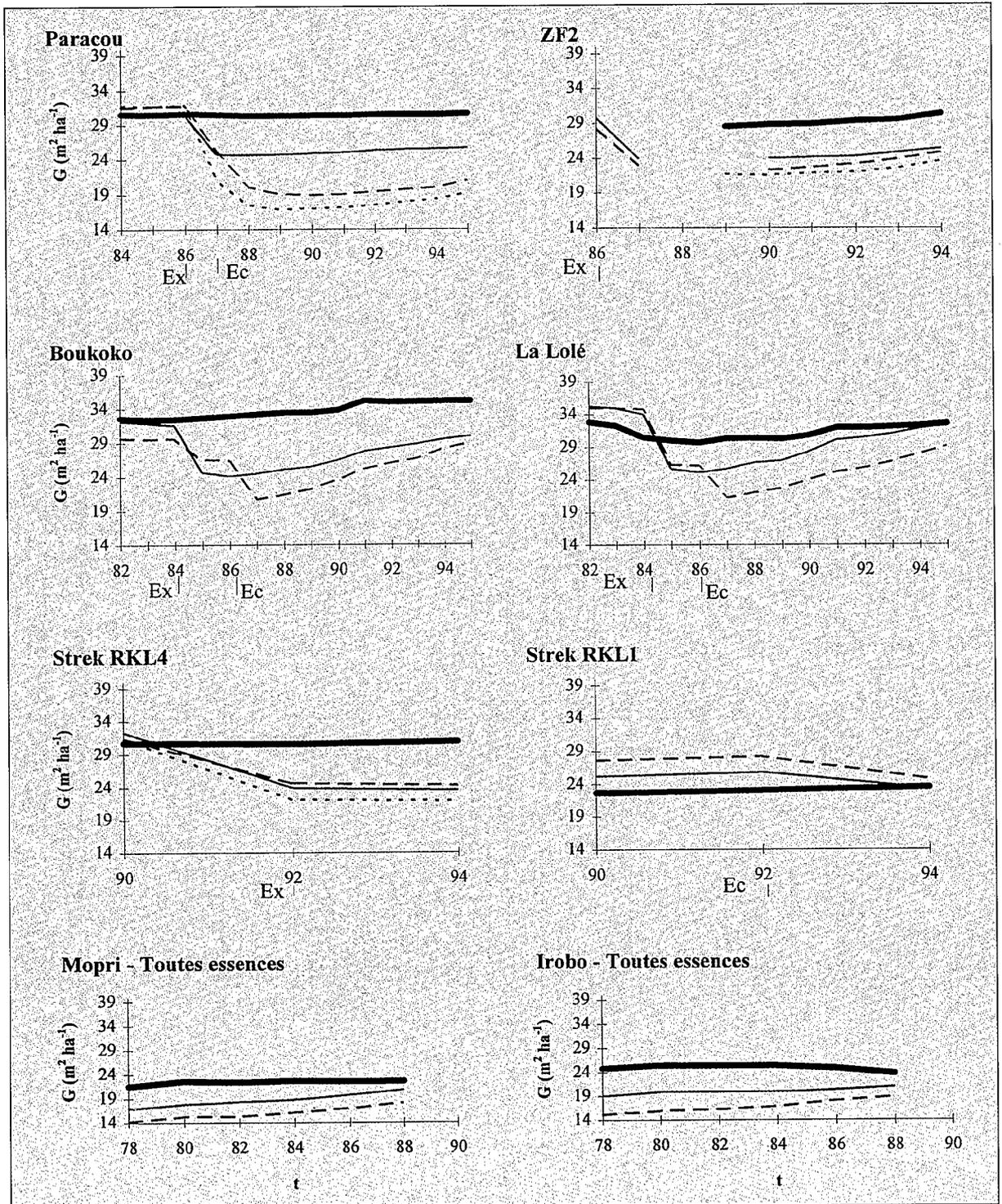


Figure 7. Evolution de la surface terrière en fonction du temps selon les traitements sylvicoles. Témoin (ligne épaisse) ; T1 (ligne simple) ; T2 (tirets) ; T3 (pointillés). Pour Strek RKL1, Irobo et Mopri, les « témoins » ont été exploités dans le passé. Changes of basal area with time according to silvicultural treatments: Control (thick line) ; T1 (thin line) ; T2 (broken line) ; T3 (dotted line). For Strek RKL1, Irobo and Mopri, the « controls » have been logged in the past.

□ La vitesse de reconstitution

Il est intéressant de connaître la vitesse de reconstitution de la surface terrière totale. Dans un premier temps, les données observées permettent de calculer un Indice global de reconstitution, comme étant le pourcentage de la surface terrière initiale retrouvé au bout de « x » années après intervention (cf. fig. 7). Ainsi, les peuplements de Paracou T1, Manaus T1-2-3 et Boukoko T1 se trouvent respectivement à 84, 85 et 89 % de la surface terrière initiale, 8 années après une exploitation qui les avait ramenés, toutes espèces confondues, à 81, 80 et 78 %.

Malgré nos connaissances très fragmentaires et insuffisantes pour construire des modèles fidèles de la dynamique forestière (PUIG, 1995), il est possible de prolonger ces résultats à travers un calcul simple du bilan en fonction du temps :

$$P_n = P_b(X) + R(X) - M(X)$$

où :

P_n est la production nette,

P_b est la production brute en fonction de X,

R est le recrutement en fonction de X,

M est la mortalité exprimée en fonction de X,

X est une variable caractérisant l'état du peuplement. Nous prendrons ici le rapport G_t/G_0 de la surface terrière au temps t sur la surface terrière initiale en forêt non perturbée.

Pour chaque site, une relation peut être estimée entre les paramètres de croissance, recrutement et mortalité, d'une part, et la variable choisie pour caractériser l'état de perturbation du peuplement, d'autre part. La connaissance approximative de la forme de ces liaisons permet alors de rendre compte de la vitesse de reconstitution de la biomasse forestière sans distinction d'espèces ni de stades de développement (HOULLIER, 1995).

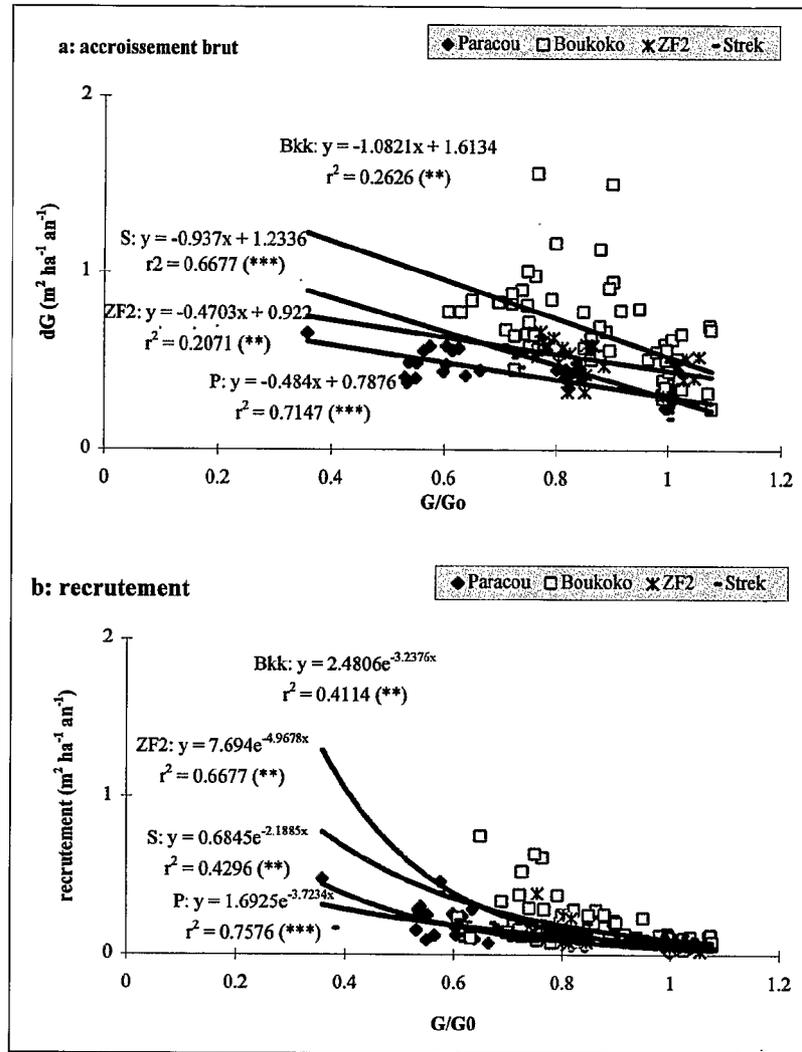


Figure 8. Relations entre l'accroissement brut (a) et le recrutement (b) en surface terrière et l'intensité des perturbations exprimée par G_t/G_0 (niveau de signification de l'ajustement : 0,001 (***) ; 0,01 (**); 0,05 (*)).
Relationships between overall growth (a) and recruitment (b) in terms of basal area and level of disturbances expressed by G_t/G_0 (level of significance of adjustment : 0,001 (***) ; 0,01 (**); 0,05 (*)).

L'état du peuplement est caractérisé ici par le rapport de la surface terrière totale au temps t (G_t) sur la surface terrière totale au temps initial avant perturbation G_0 , considérée comme état de référence. L'observation des courbes dans le cas de la croissance (cf. fig. 8a) montre le comportement assez

proche des deux peuplements néotropicaux de Manaus et Paracou et la réaction plus marquée des parcelles de forêt semi-décidue (Boukoko) et du peuplement à Diptérocarpacées d'Asie (Strek). On ne dispose pas de données pour l'ensemble du peuplement en Côte-d'Ivoire mais il existe également un

lien pour les espèces commerciales significatif à Mopri et non significatif à Irobo. Concernant le recrutement (cf. fig. 8b), une relation non linéaire de type exponentiel s'ajuste bien aux données. Dans ce cas également, le recrutement augmente de façon plus sensible après l'ouverture du couvert en forêt semi-décidue de République Centrafricaine et à Strek qu'à Paracou et ZF2. Pour ce qui est de la mortalité, elle semble difficile à relier à l'état du peuplement et on la pose ici constante sur le long terme, de façon à assurer l'équilibre de la surface terrière dans les parcelles témoins.

On peut alors estimer, avec ces différents ajustements, le temps nécessaire pour retrouver, après exploitation, la surface terrière initiale (ou tout au moins une proportion donnée de celle-ci étant donné la forme asymptotique des courbes d'évolution estimées par le modèle). La figure 9 montre la valeur de G en fonction du temps après une intervention prélevant environ 20 % de la surface terrière initiale que l'on pose égale à $31 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ pour chaque dispositif. La réaction de la forêt semi-décidue à Boukoko est rapide ainsi que celle de Strek (même si, dans ce dernier cas, on ne dispose de données que sur deux ans après intervention pour calibrer le modèle). Les forêts néotropicales de la ZF2 et surtout de Paracou réagissent beaucoup plus lentement. Le temps de retour vers une surface terrière comparable à la surface initiale serait de 100 ans à Paracou, 85 ans à Manaus et seulement 50 ans à Boukoko.

EFFET DES PERTURBATIONS SUR L'OUVERTURE DU COUVERT ET LA COMPOSITION FLORISTIQUE

On mettra ici en parallèle quelques résultats sur la fréquence et la taille des trouées en parcelles témoins et

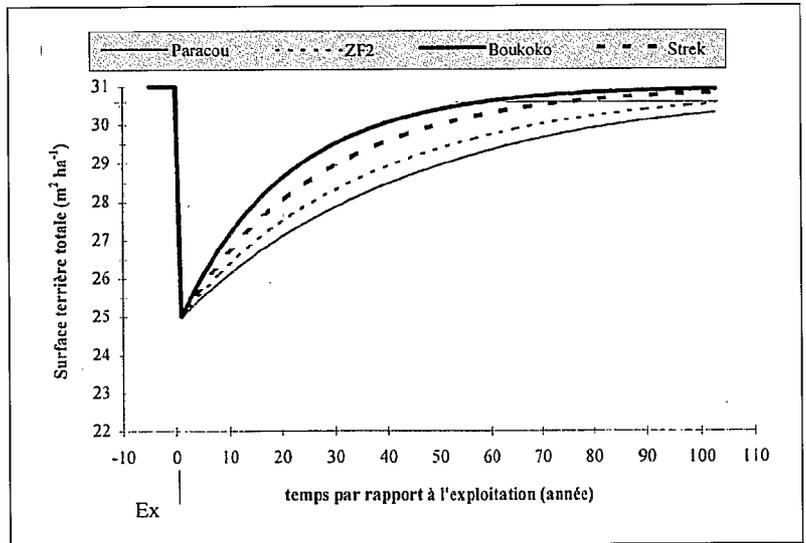


Figure 9. Simulation de l'évolution de la surface terrière totale en fonction du temps après exploitation (le trait horizontal indique 98 % de la surface terrière initiale).
Simulation of the development of total basal area based on time after logging (the horizontal line represents 98% of the initial basal area).

en parcelles exploitées. L'ouverture du couvert est d'une grande importance pour la dynamique forestière, et en particulier pour la régénération naturelle.

□ Les ouvertures de la voûte

Environ 1 à 1,5 % de la surface totale sont affectés annuellement par les chablis en forêt naturelle (RIERA,



Dans l'est du Kalimantan, ouverture d'une piste en forêt à diptérocarpacées.
Opening up a track in dipterocarpaceous forest in eastern Kalimantan.

ALEXANDRE, 1988 ; DURRIEU DE MADRON, 1993). La taille moyenne des trouées est de 120 à 156 m² suivant les parcelles pour ce dernier auteur. DENSLOW et DIAZ (1990) à La Selva observent que 76 % des trouées ont moins de 200 m² et VAN DER MEER et BONGERS (1996) indiquent qu'aux Nouragues 75 % des trouées ont moins de 25 m² et que le maximum est de 100 m². Les trouées sont donc de petite taille en général, favorisant la régénération des espèces plutôt tolérantes à l'ombre.

Dans les forêts exploitées, l'ouverture du couvert est brutale et d'un tout autre ordre de grandeur, malgré les imprécisions dues aux techniques d'estimation des surfaces. Ainsi à Yapo, en Côte-d'Ivoire, DUPUY *et al.* (1996) donnent une valeur de 40 à 50 % de la surface au sol touchée par l'exploitation et le débardage. En Indonésie, SIST (1994) indique que les trouées au sol représentent en moyenne 35 % de la surface pour l'abattage de 10 arbres de plus de 50 cm ha⁻¹. En Guyane, SCHMITT et BARITEAU (1990) indiquent que la surface totale affectée varie de 33 % (T1 avec 10 arbres de plus de 50 cm exploités par ha) à 54 % (T3 avec exploitation de 30 arbres de plus de 40 cm). En République Centrafricaine, enfin, CHATELPERRON et COMMERÇON (1986) donnent un taux d'ouverture de 20 % pour l'abattage et le débardage de 3,6 tiges de plus de 80 cm de diamètre /ha, avec une surface moyenne de 550 m²/arbre abattu.

□ La composition spécifique du recrutement

Si le recrutement augmente de façon globale, comme constaté sur

la figure 5, la proportion des espèces principales est par contre peu modifiée (les individus préexistants poussent plus vite grâce à la mise en lumière). La proportion d'espèces pionnières est nettement favorisée, et ce d'autant plus que le degré d'ouverture du couvert est important. Ainsi en Guyane comme en République Centrafricaine, la proportion des espèces principales dans le recrutement se maintient autour de 20 % mais la part des espèces pionnières passe d'environ 10 % en témoins, à 30 à 50 % en parcelles traitées.

□ La régénération naturelle

La régénération naturelle est essentielle pour l'évaluation à long terme des traitements sylvicoles. On peut tenter de déceler, à travers la composition spécifique des semis et surtout des jeunes tiges, quelle sera la composition du peuplement adulte pour les prochaines rotations. Les protocoles d'étude font en général appel à des inventaires par sondages à taux variable suivant les populations étudiées, classées souvent en stades de type « petits semis » (hauteur < 1,5 m) ou « grands semis » (hauteur > 1,5 m et diamètre < 10 cm). La complexité des processus en jeu pose toutefois des problèmes d'analyse et d'interprétation des données obtenues à partir des protocoles de mesure classiques.

En Guyane, BARITEAU (1993) souligne que, dans le cas de l'exploitation seule -T1-, il y a peu de modifications de la régénération préexistante, un recrutement modéré des espèces cicatricielles et une stimulation des croissances en hauteur. Dans le cas du traitement fort -T3-, il y a secondarisation de la forêt par diminution du stock des essences dites sciaphiles et appa-

rition massive des pionnières et cicatricielles. MONTPIED (1995) utilise comme indice la variation du taux d'occupation des placeaux par les semis des différentes espèces cinq ans après traitement. Parmi douze espèces étudiées, il distingue trois types de réaction au stade jeune tige :

- Les espèces pionnières réagissant fortement à l'ouverture à partir des graines du sol ou du flux direct, mais dont les individus sont à durée de vie courte.
- Les espèces sciaphiles strictes qui réagissent peu ou négativement à l'ouverture.
- Les autres espèces, qui sont en général toutes favorisées par l'ouverture mais parmi lesquelles les héliophiles prennent une place plus importante que dans les peuplements naturels.

De même en Côte-d'Ivoire, DUPUY *et al.* (1996) soulignent que l'éclaircie stimule la régénération de toutes les espèces par mise en lumière du sous-bois mais que les espèces secondaires, parmi lesquelles on trouve la plupart des héliophiles, sont les principales bénéficiaires de cette augmentation. En République Centrafricaine, les résultats sont variables suivant les espèces et il est délicat de tirer des conclusions objectives. Les espèces de catégorie commerciale A sont favorisées dans les parcelles faiblement exploitées et éclaircies. Dans les parcelles fortement exploitées, l'abondance des lianes augmente significativement.

CONCLUSION

La dynamique observée dans différents types de forêts primaires présente, sur les périodes de temps considérées, une phase d'augmen-

tation de la surface terrière. On peut toutefois considérer ces forêts comme stables à moyen terme, sur une durée de l'ordre de 30 ans, correspondant à l'échéance classique d'un plan d'aménagement.

Les perturbations moyennes provoquées au peuplement lors de l'exploitation et de l'éclaircie peuvent être aisément caractérisées par un ratio de prélèvement en surface terrière. A court terme, la reconstitution de la biomasse ligneuse pourrait être scindée en trois phases :

- Dans un premier temps, le peuplement est très déstabilisé avec une forte mortalité qui masque les effets positifs sur la croissance et le recrutement.
- Après une période de deux à trois ans, la mortalité diminue mais reste plus forte que celle observée en peuplements intacts. La croissance ainsi que le recrutement bénéficient quant à eux pleinement de l'ouverture du couvert. Cet effet positif des interventions (exploitation et éclaircie) se prolonge pendant une dizaine d'années mais les dispositifs actuels ne permettent pas de décrire avec certitude la durée de cette phase.
- La phase suivante commence seulement à se manifester à travers les observations ; elle correspond à un retour à la dynamique des peuplements témoins.

On peut parler de convergence dans la réaction à court terme des différentes forêts. Une étude à plus long terme module cette conclusion. Les données recueillies peuvent en effet être synthétisées pour construire un modèle simplifié de dynamique des peuplements. C'est un outil d'estimation des durées de retour à l'état initial en terme de surface terrière, indicateur de biomasse. Selon le modèle, ces du-

rées seraient de l'ordre de 50 à 60 ans en République Centrafricaine ou en Indonésie et voisines de 80 à 100 ans en forêt néotropicale (Brésil et Guyane).

Malgré l'incertitude de ces chiffres, il faut souligner deux faits essentiels : l'existence d'un différentiel de réaction entre les forêts et la lenteur du retour vers l'état initial.

Le différentiel de réaction est mis en évidence à l'échelle des continents mais on peut le supposer vrai aussi à une échelle plus locale. Des études sur des sites plus nombreux sont donc nécessaires pour confirmer ce résultat. Il en découle la nécessité d'établir les plans d'aménagement sur des données de dynamique valables localement. La recherche d'estimateurs simples des potentialités de chaque forêt et d'indices de reconstitution de la productivité allant vers une véritable typologie de stations est donc une voie à explorer. Pour valider les conclusions précédentes, il est indispensable de favoriser le suivi « en réseau » des dispositifs en cours et de privilégier leur observation à long terme. On peut en outre envisager une nouvelle intervention sur les plus anciens dispositifs, de type éclaircie différée par exemple.

Grâce au modèle, des simulations de coupes répétées permettent aussi de visualiser et quantifier une règle connue, qu'il est bon de rappeler : compte tenu du potentiel de croissance de l'écosystème, on devra choisir entre des coupes faibles et fréquentes ou des coupes fortes et espacées dans le temps. Des calculs économiques, incluant si nécessaire les produits non ligneux, devraient permettre de trouver les meilleures opportunités de gestion pour l'ensemble des acteurs. Ces chiffres globaux sont

toutefois à nuancer car la composition floristique du peuplement est également perturbée. Même si la proportion d'espèces commerciales dans le recrutement reste assez stable à court terme, on observe une apparition d'espèces héliophiles et pionnières. Elle est d'autant plus forte que l'ouverture est intense. On estime qu'à partir d'un seuil d'ouverture de l'ordre de 30 % de la surface terrière totale, le recrutement comme la régénération sont fortement déstabilisés en faveur des espèces pionnières. Beaucoup de ces espèces ont toutefois une durée de vie courte et disparaissent presque totalement du peuplement. Mais la composition floristique restera affectée à moyen terme par la plus grande place prise par les espèces héliophiles à durée de vie longue. Aussi, pour compléter la règle du seuil d'ouverture énoncée plus haut, on souligne également que des prélèvements de faible intensité mais à fréquence rapide favoriseraient la récolte d'espèces à bois dur de qualité, alors que des ouvertures plus intenses et moins fréquentes orienteraient la production vers des espèces à bois plus tendre. □

► Vincent FAVRICHON
CIRAD-Forêt/Baillarguet

Crédit photos : F. Bedel, S. Gourlet-Fleury, J.-G. Bertault.

Cet article a fait l'objet d'une communication au congrès forestier mondial d'Antalya.

R E F E R E N C E S B I B L I O G R A P H I Q U E S

- BARITEAU M., 1993.
La régénération naturelle avant et après exploitation sur le dispositif d'expérimentation sylvicole de Paracou en Guyane française. Thèse Université Paris VI, 264 p.
- BERTAULT J.-G., DUPUY B., MAÎTRE H.-F., 1992.
Recherches sylvicoles pour un aménagement durable en forêt dense humide. In : Congrès IUFRO, Berlin 1992, 19 p.
- CAILLIEZ F., 1991.
L'aménagement des forêts tropicales. Bois et Forêts des Tropiques 227 : 17-23.
- CHATELPERRON G. de, COMMERÇON R., 1986.
Mise en exploitation du dispositif de recherche en forêt naturelle dans les forêts naturelles de Boukoko et La Lolé en République Centrafricaine. Nogent-sur-Marne, France, CIRAD-C.T.F.T., 58 p.
- CONDIT R., 1995.
Research in large, long-term tropical forest plots. Tree 10(1) : 18-22.
- DAWKINS H. C., 1958.
The management of the natural tropical high forest with special reference to Uganda. University of Oxford, Inst. Pap. 34, 155 p.
- DENSLOW J. S., DIAZ A. E. G., 1990.
Seed rain to tree-fall gaps in a Neotropical rain forest. Can. J. For. Res. 20 : 642-648.
- DUPUY B., DOUMBIA F., DIAHUISSIÉ A., 1997.
Régénération naturelle en forêt dense humide ivoirienne de production. Bois et Forêts des Tropiques 254 : 25-37.
- HIGUCHI N., VELOSO DE FREITAS J., COÏC A., 1992.
Experimental forest management on a sustainable yield basis at ZF2 (Manaus, Amazonas, Brazil). Manaus, Brésil, INPA-C.P.S.T., 19 p.
- HOULLIER F., 1995.
A propos des modèles de la dynamique des peuplements hétérogènes : structures, processus démographiques et mécanismes de régulation. Revue d'Ecologie (Terre et Vie) 50 : 273-282.
- MONTPIED P., 1995.
La régénération naturelle en forêt tropicale humide, effet de traitements sylvicoles d'intensité variable. Bilan des inventaires INRA à Paracou, Guyane française. In : 1^{er} Colloque Silvolab, juillet 1993, Kourou, Guyane, 20 p.
- NGUYEN-THE N., FAVRICHON V., SIST P., HOUDE L., FAUVET N., 1996.
Growth and yield in a mixed Dipterocarp forest of East Kalimantan. In : Workshop STREK, Djakarta, Indonésie, juin 1996, 17 p. + annexes.
- PASCAL J.-P., 1995.
Quelques exemples de problèmes posés à l'analyste et au modélisateur par la complexité de la forêt tropicale humide. Rev. Ecol. (Terre et Vie) 50(3) : 237-249.
- PETRUCCI Y., TANDEAU DE MARSAC G., 1994.
Evolution du peuplement adulte et de la régénération acquise après interventions sylvicoles (Boukoko et La Lolé, Campagne 1993). Bangui, R.C.A., Ministère des Eaux et Forêts, 50 p. + annexes.
- PHILLIPS O. L., GENTRY A. H., 1994.
Increasing turnover through time in tropical forests. Science 263 : 954-958.
- PUIG H., 1995.
Éléments pour une réflexion sur la modélisation de la forêt tropicale humide : a-t-on les connaissances requises ? Rev. Ecol. (Terre et Vie) 50(3) : 199-208.
- PUIG H., RIERA B., LESCURE J.-P., 1990.
Phytomasse et productivité en forêt primaire de Guyane française Bois et Forêts des Tropiques 220 : 25-32.
- RIERA B., ALEXANDRE D. Y., 1988.
Surface des chablis et temps de renouvellement en forêt dense tropicale. Acta Oecol. Oecol. Gen. 9(2) : 211-220.
- SCHMITT L., BARITEAU M., 1990.
Gestion de l'écosystème forestier guyanais. Etude de la croissance et de la régénération naturelle (dispositif de Paracou). Bois et Forêts des Tropiques 220 : 3-23.
- SIST P., 1994.
Logging in East Kalimantan : volume assessment and impact on residual stand. In : Workshop STREK, Djakarta, juin 1994. 31 p.
- SWAINE M. D., LIEBERMAN D., PUTZ F. E., 1987.
The dynamics of tree populations in tropical forest : a review. J. Trop. Ecol. 3 : 359-369.
- TRAN-HOANG A., FAVRICHON V., MAÎTRE H.-F., 1991.
Dispositif d'étude de l'évolution de la forêt dense centrafricaine suivant différentes modalités d'intervention sylvicole. Nogent-sur-Marne, France, CIRAD-C.T.F.T., 63 p.
- VAN DER MEER P. J., BONGERS F., 1996.
Patterns of tree-fall and branch-fall in a tropical rain forest in French Guiana. J. Ecol. 84 : 19-29.

R É S U M É

RÉACTION DE PEUPELEMENTS FORESTIERS TROPICAUX
À DES RÉACTIONS SYLVICOLES

Le programme de recherche du CIRAD-Forêt sur la dynamique de la forêt tropicale humide s'est développé depuis 1974 en collaboration avec différents instituts nationaux de recherche forestière. Il s'appuie sur un réseau de dispositifs expérimentaux dont les plus importants sont situés en Afrique (Mopri, Irobo, La Téné en Côte-d'Ivoire et M'baïki en République Centrafricaine), en Amérique du Sud (ZF2 à Manaus au Brésil, Paracou en Guyane française) et en Asie (Sirek à Berau en Indonésie). Ces dispositifs procèdent d'une conception commune et font l'objet d'un suivi cohérent. Ils permettent d'étudier la dynamique de différents écosystèmes forestiers tropicaux humides et la réaction de ces forêts aux interventions telles que l'exploitation du bois d'œuvre et l'éclaircie d'amélioration. De nombreux travaux de recherche ont été conduits sur ces dispositifs. Les résultats obtenus ont déjà permis, dans certains cas, de mettre en place des aménagements en vraie grandeur basés sur des règles de gestion durable (Yapo en Côte-d'Ivoire par exemple). Nous présentons ici de façon très synthétique ces dispositifs et tentons de dégager les grandes tendances de la réaction des peuplements aux interventions sylvicoles. Dans un premier temps, les valeurs moyennes de dynamique en forêt naturelle sont présentées (vitesse de croissance, taux de recrutement et de mortalité). En montrant l'évolution de ces grandeurs en fonction du temps après une intervention sylvicole, on tente de quantifier l'effet de la densité du peuplement sur la production de biomasse et l'influence de l'exploitation et de l'éclaircie sur la vitesse de reconstitution de la biomasse forestière.

Mots-clés : Forêt tropicale. Sylviculture. Dynamique des populations. Population végétale. Parcelles expérimentales.

A B S T R A C T

FOREST STAND REACTIONS TO SILVICULTURAL OPERATIONS

CIRAD-Forêt research on the dynamics of tropical moist forests has been carried out since 1974, in collaboration with different tropical forest research institutes. Research is based on a worldwide network of experimental layouts whose most important sites are located in Africa (Mopri, Irobo and La Téné in Côte-d'Ivoire and M'baïki in Central African Republic), in South-America (ZF2 at Manaus in Brazil, Paracou in French Guiana) and in Asia (STREK at Berau in Indonesia). These layouts have been designed with a common methodology and are followed-up in a coherent way. They permit to study the dynamics of the tropical moist forest ecosystem and the response of different forest types to various interventions such as logging and the silvicultural treatments. Many studies have been carried out in these permanent plots. Some results have already led to the implementation of large scale forest management projects (for example Yapo in Côte-d'Ivoire). The aim of this paper is to present an overview of these layouts and to describe some main trends in the forest stand response after artificial disturbances. Firstly, we will present the average parameters of the natural forest dynamics (growth, mortality and recruitment). Then we will show the changes in these parameters following an artificial disturbance and the relationship between the stand density and its dynamics. Lastly, we will use these relations to calculate the time required for the forest stand to recover its original state after logging.

Key words : Tropical forest. Silvicultural systems. Population dynamics. Plant population. Experimental plots.

R E S U M E N

REACCIÓN DE PLANTACIONES FORESTALES TROPICALES
CON RESPECTO A INTERVENCIONES SILVÍCOLAS

El programa de investigaciones del CIRAD-Forêt acerca de la dinámica del bosque tropical húmedo se viene desarrollando desde 1974 en colaboración con diversos institutos nacionales de investigación forestal. Para tal finalidad, toma apoyo sobre una red de dispositivos experimentales, entre los cuales los más importantes se encuentran ubicados en África (Mopri, Irobo, La Téné en Côte-d'Ivoire y M'baïki en la República Centroafricana), en América del Sur (ZF2 en Manaus, en Brasil y Paracou en Guayana Francesa), así como en Asia (Strek, en Berau en Indonesia). Tales institutos tienen como origen un concepto común y son objeto de un seguimiento coherente y permiten estudiar la dinámica de diversos ecosistemas forestales tropicales húmedos y la reacción de estos bosques a las intervenciones como, por ejemplo, la explotación de madera para la construcción y las cortas de aclareo de mejora. Son numerosos los trabajos de investigación que se han llevado a cabo acerca de estos dispositivos. En ciertos casos, los resultados conseguidos han permitido ya implementar acondicionamientos a escala real, fundados en reglas de gestión sostenible (por ejemplo, en Yapo, Côte-d'Ivoire). Presentamos en este artículo, de forma sumamente sintética, tales dispositivos y tratamos de despejar las grandes tendencias de la reacción de las plantaciones ante las intervenciones silvícolas. En una primera etapa, se presentan los valores de promedio de la dinámica en bosque natural (velocidad de crecimiento, tasa de repoblación y de mortalidad). Al demostrar la evolución de estas magnitudes en función del tiempo y tras una intervención silvícola, se intenta cuantificar el efecto de la densidad de plantación con respecto a la producción de biomasa y asimismo, la influencia de la explotación y de las cortas de aclareo respecto a la velocidad de reconstitución de la biomasa forestal.

Palabras clave : Bosque tropical. Silvicultura. Dinámica de plantación. Población vegetal. Parcelas permanentes.

SYNOPSIS

FOREST STAND REACTIONS TO SILVICULTURAL INTERVENTIONS

VINCENT FAVRICHON

This study gives an analysis of the findings resulting from research systems in rain forest monitored by the CIRAD-Forêt in collaboration with national forest research institutes.

It paints a picture of a network of systems and mechanisms lent relative coherence by their methodology and management. This network is based on five main sites in different parts of Africa (Côte-d'Ivoire : Mopri, Téné and Irobo in 1976/1996 ; Central African Republic : Boukoko and La Lolé at M'baiki in 1982/1996) ; neotropical America (Brazil : ZF2 at Manaus in 1986/1996, and French Guiana : Paracou in 1984/1996), and Southeast Asia (Indonesia : Strek at Berau in 1990/1996).

The purpose of these systems is to examine the impact of logging, and other silvicultural treatment methods, on stand dynamics. Overall findings are given for the short-term reaction of stands to an exogenous disturbance. Certain constants and special factors are recorded which may also be used both as keys for assessing long-term forest dynamics and as a guide helping the forester to make his decisions.

METHOD

Forest dynamics are measured by the three basic parameters, growth, recruitment and mortality. With the systems adopted, it is possible to compare the development of these parameters based on two silvicultural treatments, logging and systematic thinning.

One of the targets is to pinpoint indicators of the state and functioning of stands

that are nowadays accessible by way of these systems. We examine in order :

- average competition, by defining a disturbance index and studying the speed at which it reverts to the initial state,
- the degree of openness of the cover quantified by the area of breaks on the ground, and
- the development of the floristic composition estimated by the place of pioneer species in the adult stand and the subsequent monitoring of natural regeneration.

MAIN FINDINGS**□ Structure of natural stands**

Neotropical stands, at ZF2 and Paracou, present a large number of stems per average land area ($N > 600$, $G > 31 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). Conversely, the dipterocarpaceous Borneo Strek forest has few stems per average land area ($N < 550$, $G = 31$). In semi-deciduous forest in Central African Republic, both density and land area are high ($N > 600$, $G > 32$). Observation of the total diametric structure confirms the difference between the neotropical forests of Paracou and ZF2, on the one hand, and the semi-deciduous forests of Central African Republic and dipterocarpaceous forests of Indonesia, on the other.

□ Dynamics of natural stands

Mortality affects between 6 and 9 stems/ha/year, i.e. between 1 and 1.5 % of the stand. Recruitment represents an input varying between 5 and 10 stems/ha/year, i.e. 0.8 to 1.7 % of the initial stand. The turnover varies for its part from 0.9 and 1.5 %. It is lower for

neotropical forests than for the semi-deciduous forests of Africa and the dipterocarpaceous forests of Asia.

□ Direct impact of silvicultural operations

Taking the damage caused to the rest of the stand into account, logging causes a drop in numbers and a reduction in land area, in relatively equal proportions. Logging can be described by a disturbance ratio : in it, extraction varies from 15 to 25% of the total initial numbers. Thinning carried out as a complement to logging is usually systematic, except in the Strek treatment. Proportionately, it removes more in land area than in numbers, because large trees belonging to non-commercial species are usually removed as a priority, without causing any significant damage to the rest of the stand.

In logged forests, the opening-up of the cover is sudden and marked. The area opened up is close to 30% after logging as opposed to an average natural rate of cover of 1 to 1.5% in demonstration forest.

□ Mortality after silvicultural operations

The first factors noted are mortality peaks associated with logging and direct damage. During logging, the mortality rate reaches 15 to 30 % of the standing trees in the stand. The mortality rate then quickly stabilizes at a level ranging from 2 to 3 %. This rate is higher than that of the control plots and the difference seems to be upheld during observation periods, but with an observable downward tendency in French Guiana.

SYNOPSIS

□ Recruitment and natural regeneration after logging and other operations

A rapid and vigorous rise in the recruitment rate is noted. It increases by about 1% after treatment to 2% as from the second year after logging, and then up to 4 to 6%. This effect seems to hold steady for at least 7-8 years at Paracou and ZF2 and 10 years in Central African Republic, even if an easing off of the number of trees recruited is observed in this system. If recruitment rises overall, the proportion of commercial species does not, on the contrary, change much (pre-existing individuals grow faster because of their exposure to light). The proportion of pioneer species is definitely favoured, and all the more so the greater the degree of cover openness.

Natural regeneration is essential for the long-term assessment of silvicultural treatments. In Côte-d'Ivoire, for example, thinning stimulates the regeneration of all species by exposing the underwood to light, but lesser-known species, which include most shade-intolerant species, are those which derive most advantage from this increase.

□ Individual growth after logging and other operations

As from the second year after moderate logging, average individual growth is multiplied by a factor of two as compared with control stands. This effect on growth is nevertheless spread over six years at ZF2, eight years at Paracou, and ten years at M'baïki. After these periods, a slight shift of this effect is observed, although this does not mean that a reversion to the initial state is involved. Studies comparing homogeneous populations—for example, future trees by groups of species with homogeneous behaviour—confirm previous findings. As far as thinning is concerned, this invariably steps up growth gains. So at Paracou, logging

rounded off by thinning increases the average growth by a factor of three. In the thinning treatment carried out at Strek, thinning applied on its own increases growth by a factor of 1.5 to 2. According to observations made in Côte d'Ivoire, the effect of thinning operations lasts for 10-12 years with a more marked gain for small diameter trees.

□ Re-establishment rates after logging and other operations

It is useful to know the speed at which the total land area is re-established. In the first instance, the data observed help to calculate an Overall Re-establishment Index, this being the percentage of the initial land area found after x years of logging and/or thinning. Thus the Paracou T1, Manaus T1-2-3, and T1 Boukoko stands are respectively at 84, 85 and 89% of the initial land area, eight years after a logging operation which took all species considered together to 81, 80 and 78%.

These findings can be extended by way of the simple calculation of the resulting land area in terms of time. For each site, a relationship can be estimated between growth parameters, recruitment and mortality, on the one hand, and the variable selected to describe the state of disturbance of the stand, on the other. The approximate growth of the form of these connections then helps to assess the speed at which the forest biomass is re-established, lumping all species and stages of development together. With these different adjustments, it is then possible to estimate the time needed to find the initial land area, after logging. The semi-deciduous forest at Boukoko, and the forest at Strek react fast. The neotropical forests of ZF2 and, above all, Paracou, react much more slowly. The reversion time to a land area comparable to the initial area is 100 years at Paracou, 85 years at Manaus, and just 50 years at Boukoko.

CONCLUSION

In the short term, the re-establishment of the forest biomass can be split into three phases. In an initial phase, the stand is markedly destabilized with a high mortality rate which veils the positive effects on growth and recruitment. After a period of 2-3 years, the mortality rate drops but is still higher than in intact stands. Growth and recruitment alike both greatly benefit from the opening-up of the cover. This positive effect of logging and thinning operations is spread over ten years or so, but current systems do not permit any surefire description of the duration of this phase. The following phase only starts to become evident as a result of observation. It corresponds to a reversion to the dynamics of control stands. We can talk here in terms of a convergence in the short-term reaction of the different forest types, but a longer-term study, involving modelling, shows that the reversion periods to the initial state, in terms of land area, are very variable from one site to the next.

These research projects underscore two essential facts :

- the existence of a reaction differential between forests, and
- the slow rate of reversion to the initial state, which is incompatible with felling rotation periods usually included in management plans.

It is estimated, furthermore, that, based on an openness threshold of 30% of the total land area, recruitment, and regeneration, are markedly destabilized in favour of pioneer species. So to complete the openness threshold rule referred to above, it must also be stressed that extraction operations of low intensity, but carried out in swift succession, encourage the harvesting of quality hardwood species, whereas more intense and less frequent opening-up operations steer production towards species giving softer wood.