

# DETERMINATION DES PARAMETRES INFLUENTS DE LA DYNAMIQUE DES FORETS NATURELLES IVOIRIENNES

C. I. ZOB<sup>1</sup>, D. CHESSEL<sup>2</sup>, A. A. KADIO<sup>3</sup> et J. P. PASCAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unité de Recherche en Sciences Agronomiques et Génie Rural. Dynamique des Systèmes Forestiers. Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny. BP 2661 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire. E-mail : iczobi@gmail.com

<sup>2</sup>Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive. UMR CNRS 5558, Université Claude Bernard Lyon 1. 43 Bd du 11 Novembre 1918, 69622 Villeurbanne, Cedex France.

<sup>3</sup>Direction Générale. Société de Développement des Forêts. 01 BP 3770 Abidjan 01, Côte d'Ivoire.

## RESUME

En forêts naturelles, la recherche de la rentabilité économique constitue une préoccupation essentielle. Ainsi, les sylviculteurs concentrent-ils le plus souvent leurs interventions en vue de stimuler et d'accroître la dynamique des espèces commerciales au détriment des espèces non commerciales. L'efficacité de ces interventions sylvicoles a déjà été démontrée par de nombreux chercheurs en forêt sempervirente (dispositif permanent d'Irobo) et en forêt semi-décidue (dispositif permanent de Mopri). Les résultats de la présente étude confirment l'impact positif des éclaircies sélectives sur la dynamique de ces deux types de forêts. Le taux d'accroissement de la surface terrière du peuplement commercial est significativement plus élevé dans les placettes éclaircies que dans les placettes témoins. Il est proportionnel à l'intensité d'éclaircie. Il ressort en outre que la productivité des forêts naturelles ne dépend pas uniquement de la compétition interspécifique. Elle dépend aussi de la composition floristique et des propriétés individuelles des espèces au profit desquelles les éclaircies sont appliquées. Dans la forêt classée de Mopri, le taux d'accroissement de la surface terrière du peuplement commercial est dépendant de la dynamique individuelle des espèces les plus abondantes : *Celtis mildbraedii* (Ulmaceae) et *Gambeya africana* (Sapotaceae).

**Mots clés :** Forêt sempervirente, forêt semi-décidue, peuplement commercial, éclaircie sélective, taux d'accroissement, surface terrière

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF THE INFLUENTIAL PARAMETERS OF IVORIAN NATURAL FORESTS DYNAMICS

*In natural forests, the economical profitability constitutes an important concern. Thus, the interventions of silviculture managers aim generally in stimulating and increasing the commercial stand dynamics in detriment of the non commercial species. The efficiency of these silvicultural interventions has already been shown out by many researchers in evergreen forest (permanent plots of Irobo) and in semi-deciduous forest (permanent plots of Mopri). The results of this study confirm the positive effect of the selective thinning on the timber resources increase of the both forest types. Indeed, the increment rate of the commercial stand basal area is higher in the thinned plots than in un-thinned plots. It is proportional to the thinning intensity. Moreover, the results reveal that the natural forests productivity does not depend only on the interspecific competition. It depends in the same time on the floristic composition of the commercial stand and the individual properties of the species which profit from the thinning. In Mopri national forest, the increment rate of the commercial stand basal area depends significantly on the individual dynamics of both *Celtis mildbraedii* (Ulmaceae) and *Gambeya africana* (Sapotaceae) which are the most abundant species.*

**Keys words :** Evergreen forest, semi-deciduous forest, commercial stand, selective thinning, increment rate, basal area

## INTRODUCTION

Comprendre comment fonctionnent les forêts naturelles constitue une préoccupation essentielle en ingénierie écologique (Ekko and Nathalie, 1996 ; Chave, 2000 ; Grace, 2004). La gestion durable de ces forêts dépend en effet du niveau des connaissances acquises sur leur fonctionnement. En ce qui concerne les forêts de production, plusieurs chercheurs s'attèlent à améliorer le niveau actuel des connaissances. Deux approches complémentaires sont couramment utilisées. La première a pour objet d'estimer la productivité (Chave *et al.*, 2005 ; Kariuki, 2008 ; Chave *et al.*, 2008) tandis que la seconde vise à déterminer les processus écologiques qui sous-tendent cette productivité (Zhixue, 2006 ; Tietjen and Huth, 2006 ; Zobi et Chessel, 2007). La présente étude s'inscrit dans le cadre de cette seconde approche. Son objectif est de déterminer les paramètres influents de la dynamique de production de deux types forestiers ivoiriens.

Des travaux antérieurs (Dupuy, 1990 ; Durrieu *et al.*, 1998a, 1998b ; Kouassi *et al.*, 2007 ; Zobi *et al.*, 2008 ; etc.) ont déjà permis de tester l'hypothèse selon laquelle les éclaircies ont un effet positif sur la dynamique du peuplement commercial. Toutefois, les explications avancées se focalisent toutes sur le seul fait que ces éclaircies réduisent la compétition interspécifique (Leary, 1985 ; Widenfalk and Weslien, 2009).

En rapport avec la composition floristique, la présente étude propose une explication complémentaire. Elle répond à une série d'interrogations : quelle interprétation peut-on faire du taux d'accroissement courant annuel de la surface terrière du peuplement commercial ? Existe-t-il une relation directe entre la surface terrière du peuplement non commercial et ce taux d'accroissement ? Si oui, quelle est alors l'influence individuelle des espèces commerciales ?

## MATERIEL ET METHODES

L'expérimentation sylvicole a eu lieu dans les forêts classées de Mopri (forêt semi-décidue) et d'Irobo (forêt sempervirente), situées dans le sud de la Côte d'Ivoire. L'objectif d'aménagement de ces forêts naturelles est la production de bois d'œuvre. Deux dispositifs sylvicoles permanents

ont été installés, l'un à Mopri et l'autre à Irobo. L'environnement écologique (climat, relief, hydrographie, sols, etc.), le matériel biologique (types de forêts) et les traitements sylvicoles ont déjà été décrits par Zobi et Chessel (2007). Seules les principales caractéristiques sont rappelées dans ce qui suit.

## CONDUITE DE L'EXPERIMENTATION SYLVICOLE

Les techniques d'éclaircies appliquées à Mopri et à Irobo étant axées sur la valeur commerciale des arbres, les espèces inventoriées ont toutes été réparties dans deux catégories distinctes (commerciale et non commerciale). Cette approche commerciale a imposé d'étudier la compétition qui existe entre ces deux catégories d'arbres (Leary, 1985 ; Chave, 2000). Pour ce faire, chaque catégorie a été considérée comme une seule espèce d'arbres qui est en compétition avec l'autre. Les forêts de Mopri et d'Irobo sont ainsi considérées comme des peuplements constitués de seulement deux espèces "fictives" en compétition pour les ressources du milieu. Les éclaircies appliquées visent donc un double objectif : (i) stimuler la productivité ligneuse en éliminant les arbres dominants d'espèces dites non commerciales (espèces secondaires) et (ii) enrichir ainsi le cortège floristique en espèces dites commerciales (espèces principales).

## COLLECTE DES DONNEES

Le schéma de base des dispositifs est un carré de 400 ha, subdivisé en 25 parcelles de 16 ha. Chaque parcelle comporte une zone tampon et une zone de mesures de 4 ha, soit un ensemble de 4 placettes unitaires de 1 ha. Au sein de chacune des 100 placettes composant les 25 parcelles, seuls les arbres dont le diamètre à 1,30 m est supérieur ou égal 10 cm ont été considérés. Le diamètre des arbres d'espèces commerciales est mesuré au ruban manuel. Chacun de ces arbres est identifié par son nom scientifique et son nom commercial. Pour les arbres d'espèces non commerciales, le comptage s'est fait par classes de diamètre à 1,30 m. Les campagnes de mesures ou inventaires ont lieu tous les 2 ans depuis la mise en place des dispositifs en 1978. Les données analysées ici sont celles qui ont été collectées pendant les 11 premières campagnes de mesures, soit une période de 20 ans : 1978 - 1998.

## ANALYSE DES DONNEES

Afin de faciliter le traitement des données, les espèces sont désignées par leur nom commercial abrégé (Tableau 1). Pour toute placette éclaircie, la valeur de la surface terrière dévitalisée correspond au taux d'éclaircie. Ce taux exprime le degré de stress subi par le peuplement (Fredericksen and Mostacedo, 2000 ; Kouadio *et al.*, 2007). L'indicateur de la productivité est la surface terrière du peu-

plement commercial ( $G_{ep}$ ). L'évolution de cette productivité a été estimée au moyen d'une régression linéaire simple (Steel *et al.*, 1997 ; Kariuki, 2008). Du point de vue du forestier, les paramètres  $a$  (pente de la droite de régression) et  $b$  (ordonnée à l'origine) du modèle linéaire simple correspondent, respectivement, au taux d'accroissement courant annuel ( $T_x$ ) et à la surface terrière initiale du peuplement commercial ( $G_{ep}$ ).

**Tableau 1** : Abréviations utilisées pour désigner les espèces commerciales.

*Common commercial species abbreviations.*

Abréviations	Noms commerciaux	Noms scientifiques	Familles
ABO	Aboudikro	<i>Entandrophragma cylindricum</i> (Sprague) Sprague	Meliaceae
ADJ	Adjouaba	<i>Dacryodes klaineana</i> (Pierre) H.J.Lam	Burseraceae
AKA	Akossika	<i>Scottellia klaineana</i> Pierre	Flacourtiaceae
AKO	Ako	<i>Antiaris africana</i> Engl.	Moraceae
AKT	Akatio	<i>Gambeya africana</i> (Baker) Pierre (Aubréville)	Sapotaceae
ANB	Aniégré blanc	<i>Aningeria robusta</i> (A.Chev.) Aubrév. & Pellegr.	Sapotaceae
BA	Ba	<i>Celtis mildbraedii</i> Engl.	Ulmaceae
BAA	Bahia	<i>Mitragyna ciliata</i> Aubrév. & Pellegr.	Rubiaceae
BOS	Bossé	<i>Guarea cedrata</i> (A.Chev.) Pellegr.	Meliaceae
DAA	Dabéma	<i>Piptadeniastrum africanum</i> (Hook.f.) Brenan	Leguminosae-Mim.
FRK	Fraké	<i>Terminalia superba</i> Engl. & Diels	Combretaceae
FRO	Fromager	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Bombacaceae
KOB	Kotibé	<i>Nesogordonia papaverifera</i> (A.Chev.) Capuron	Sterculiaceae
KOT	Koto	<i>Pterygota macrocarpa</i> K.Schum.	Sterculiaceae
KRO	Kroma	<i>Klainedoxa gabonensis</i> Pierre ex Engl.	Irvingiaceae
LAT	Lati	<i>Amphimas pterocarpoides</i> Harms	Leguminosae-Pap.
LO	Lo	<i>Parkia bicolor</i> A.Chev.	Leguminosae-Mim.
LOL	Loloti	<i>Lannea welwitschii</i> (Hiern) Engl.	Anacardiaceae
LON	Lohonfé	<i>Celtis adolphi-frederici</i> Engl.	Ulmaceae
LOT	Lotofa	<i>Sterculia rhinopetala</i> K.Schum.	Sterculiaceae
MEL	Mélégba	<i>Berlinia confusa</i> Hoyle	Leguminosae-Ceas.
NIA	Niangon	<i>Tarrietia utilis</i> (Sprague) Sprague	Sterculiaceae
POR	Poré-Poré	<i>Sterculia tragacantha</i> Lindl.	Sterculiaceae
POU	Pouo	<i>Funtumia sp.</i>	Apocynaceae
RIK	Rikio	<i>Uapaca guineensis</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae
SAM	Samba	<i>Triplochiton scleroxylon</i> K.Schum.	Sterculiaceae
SOU	Sougué	<i>Parinari excelsa</i> Sabine	Chrysobalanaceae
TAL	Tali	<i>Erythrophleum ivorense</i> A.Chev.	Leguminosae-Ceas.
TIA	Tiama	<i>Entandrophragma angolense</i> (Welw) DC.	Meliaceae
VAA	Vaa	<i>Gilbertiodendron sp.</i>	Leguminosae-Ceas.

Bar-Hen (1998) définit l'accroissement courant annuel d'une grandeur comme étant la production moyenne de cette grandeur pendant une période donnée de la vie d'un peuplement. Il exprime donc un gain ponctuel de la production ligneuse du peuplement. Pour estimer ce gain on utilise les formules suivantes :

- dans le cas de la surface terrière :

$$T'_x = \Delta G / \Delta t \quad (\text{m}^2\text{ha}^{-1}\text{an}^{-1}) \quad [\text{i}]$$

- dans le cas du volume :

$$T'_x = \Delta V / \Delta t \quad (\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{an}^{-1}) \quad [\text{ii}]$$

Les formules [i] et [ii] sont limitées car elles ne tiennent compte que de l'état initial (1978 - campagne 1) et final (1998 - campagne 11) de la surface terrière  $G_{ep}$ . Par conséquent, le taux d'accroissement courant annuel ( $T'_x$ ) a été assimilé ici à la pente d'une droite de régression linéaire simple (paramètre  $a$ ). Estimé par la méthode des moindres carrés, le calcul de ce paramètre prend en compte toutes les valeurs successives de  $G_{ep}$  depuis 1978 jusqu'à 1998. Il traduit donc plus fidèlement le concept du taux d'accroissement  $T_x$  envisagé dans cette étude. De plus, l'évolution temporelle de la surface terrière  $G_{ep}$  étant linéaire, la notion d'accroissement courant annuel se confond aisément avec celle d'accroissement moyen.

La relation qui lie la surface terrière du peuplement non commercial ( $G_{es}$ ) au taux d'accroissement  $T_x$  a été ajustée par un modèle non linéaire (Vanclay, 1991 ; Yandell, 1997). L'influence individuelle des espèces commer-

ciales a été traduite au moyen d'une régression multiple sur les composantes principales issues d'une Analyse en Composantes Principales (ACP). Le tableau soumis à l'ACP est un tableau-espèces dont les lignes sont les valeurs de  $G_{ep}$  dans les placettes et les colonnes les espèces commerciales. Les scores des lignes-placettes ont servi de prédicteurs de la variance non expliquée de  $T_x$ . Les tests et analyses statistiques ont été effectués avec le logiciel libre R.2.9.0 (Iaka and Gentleman, 1996 ; R, 2009).

## RESULTATS

### TAUX D'ACCROISSEMENT ( $T_x$ )

L'évolution de  $G_{ep}$  en fonction du temps est linéaire (Figure 1). Le modèle linéaire simple explique 98,3 % de la variabilité totale de  $G_{ep}$  à Mopri et 97,8 % à Irobo. Cela signifie que l'ajustement linéaire simple est bon et les paramètres  $a$  et  $b$  suffisent pour décrire l'évolution de  $G_{ep}$  dans les placettes. De ce fait, le paramètre  $a$  est-il assimilable au taux d'accroissement  $T_x$  du peuplement commercial, soit  $a = T_x$ .

Dans les placettes éclaircies, on obtient  $T_x = 1,05 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}\text{an}^{-1}$  ( $\sigma = 0,46$ ) à Mopri et  $0,97 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}\text{an}^{-1}$  ( $\sigma = 0,31$ ) à Irobo. Dans les placettes témoins,  $T_x = 0,53 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}\text{an}^{-1}$  ( $\sigma = 0,42$ ) à Mopri et  $0,48 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}\text{an}^{-1}$  ( $\sigma = 0,29$ ) à Irobo. La différence entre ces valeurs est significative à Mopri et à Irobo.

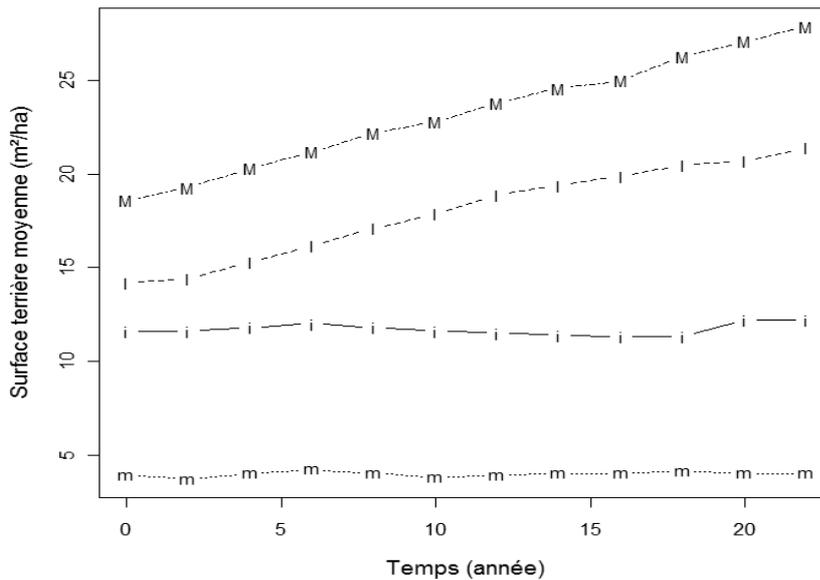


Figure 1 : Evolution générale de  $G_{es}$  à Mopri et à Irobo.

*Global evolution of  $G_{es}$  in Mopri and Irobo forests.*

M, I : peuplement commercial à Mopri et à Irobo ; m, i : peuplement non commercial à mopri et à irobo

*M, I : commercial stand in Mopri and Irobo ; m, i : non commercial stand in mopri and irobo*

#### RELATION ENTRE $G_{es}$ ET $T_x$

Sachant que les éclaircies sélectives visaient à diminuer la compétition entre les espèces commerciales et les espèces non commerciales, il convient d'analyser la relation qui lie le taux  $T_x$  et à la surface terrière  $G_{es}$ . L'ajustement par le modèle linéaire simple est bon mais l'analyse des nuages de points suggère plutôt un modèle non linéaire (Figure 2 et Figure 3). Les patates E et T distinguent le groupe des placettes éclaircies (E) de celui des placettes témoins (T). On remarque que la valeur de  $T_x$  décroît quand  $G_{es}$  croît. Le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson entre ces deux variables est égal négatif à Mopri ( $r = -0,52$ ) et à Irobo ( $r = -0,56$ ).

La recherche d'un modèle approprié a nécessité d'analyser la distribution de  $G_{es}$ . Cette analyse a montré que l'écart-type de  $G_{es}$  par placette est proportionnel à la moyenne. Or selon Steel *et al.* (1997), l'interdépendance entre la moyenne

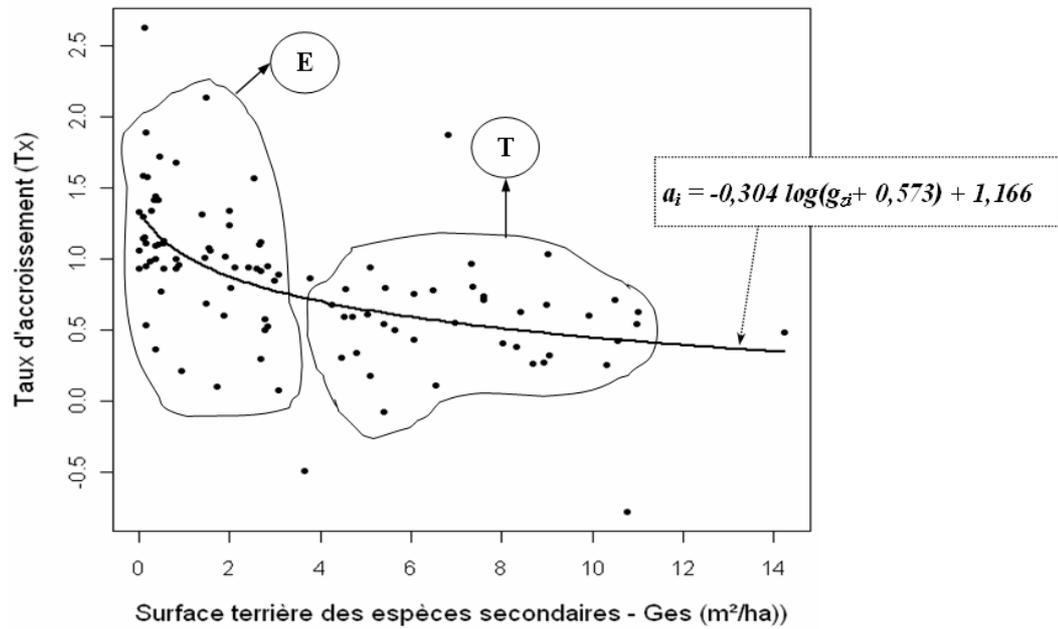
et l'écart-type est nocive pour l'analyse de la variance. On y a remédié par la transformation logarithmique de  $G_{es}$  proposée par Jeffrey (2001). Le modèle de régression non linéaire recherché s'écrit donc sous la forme :

$$T_x = p \log(G_{es} + k) + q \quad [\text{iii}]$$

à Mopri, on a :  $p = -0,304$  ;  $k = 0,573$  et  $q = 1,166$  et

à Irobo, on a :  $p = -0,659$  ;  $k = 0,561$  et  $q = 2,394$ .

Dans les deux cas, la corrélation prédictions-résidus et la symétrie sont très bonnes. Toutefois, les sommes des carrés des écarts résiduels ( $SCE_r$ ) restent trop élevées :  $SCE_r = 17,60$  à Mopri et  $SCE_r = 11,42$  à Irobo. Ces valeurs élevées traduisent qu'une part non négligeable de la variabilité de  $T_x$  n'est pas expliquée par le modèle [iii]. Il est alors indiqué d'examiner aussi l'effet de la composition floristique sur le taux  $T_x$ .

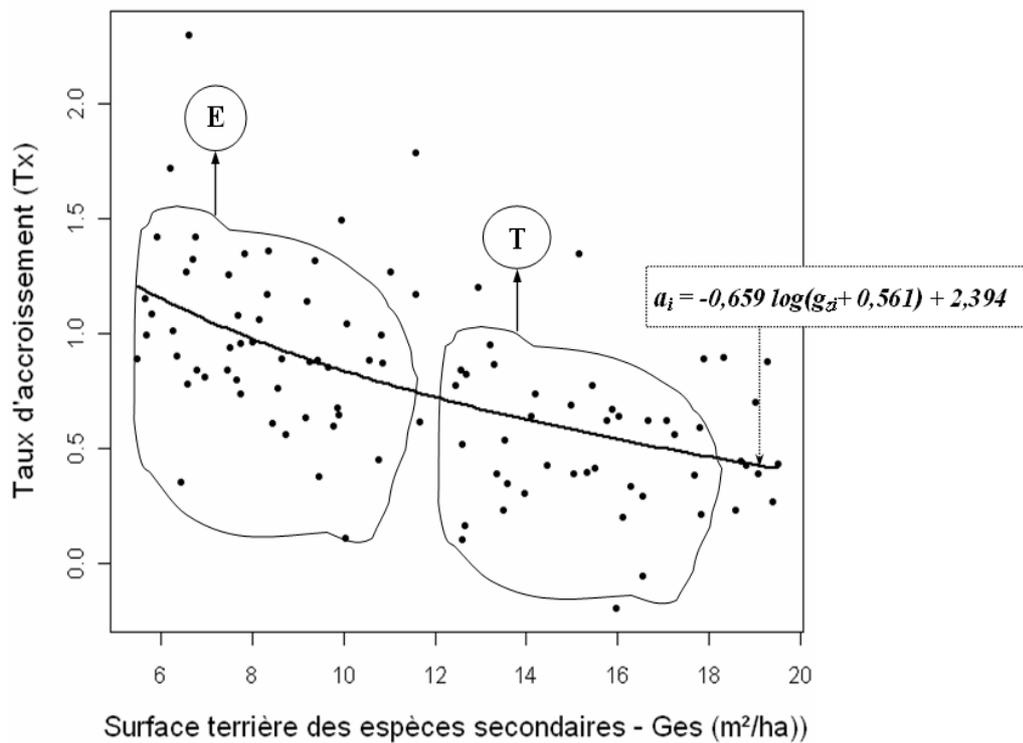


**Figure 2 :** Modélisation de la relation entre  $G_{es}$  et  $T_x$  à Mopri.

*Modeling the relationship between  $G_{es}$  and  $T_x$  in Mopri forest.*

Placettes éclaircies (E) et Placettes témoins (T).

*Thinned plots (E) and Un-thinned plots (T).*



**Figure 3 :** Modélisation de la relation entre  $G_{es}$  et  $T_x$  à Irobo.

*Modeling the relationship between  $G_{es}$  and  $T_x$  in Irobo forest.*

Placettes éclaircies (E) et Placettes témoins (T).

*Thinned plots (E) and Un-thinned plots (T).*

RELATION ENTRE LA COMPOSITION FLORISTIQUE ET LE TAUX  $T_x$

L'ACP appliquée au tableau-espèces montre que les 3 premiers axes expliquent respectivement 67 % et 52 % de l'information totale à Mopri et à Irobo. Cependant, l'analyse de régression sur les composantes principales révèle que seules les 2 premières valeurs propres sont significativement différentes de zéro (Tableau 2). Chaque valeur propre étant associée à un axe précis,

on se limitera à l'analyse du premier plan factoriel ou plan 1-2, formé par l'axe 1 et l'axe 2.

Les figures 4 (Mopri) et 5 (Irobo) présentent la projection des espèces commerciales dans ce plan factoriel, tandis que les figures 6 (Mopri) et 7 (Irobo) donnent la projection des valeurs du taux d'accroissement  $T_x$ . Ces figures permettent d'interpréter les axes 1 et 2 en fonction des valeurs de  $T_x$  et des propriétés individuelles des espèces commerciales.

**Tableau 2** : Régression sur les composantes principales à Mopri.

*Regression analysis on the principal components at Mopri forest.*

Sources de variation	d.d.l.	S.C.E.	M.C.E.	F calculé	Pr (> F)
Composante 1	1	1,04	1,04	6,50	0,013*
Composante 2	1	0,69	0,69	4,31	0,043*
Composante 3	1	0,17	0,17	1,06	0,313
Résiduelle	96	15,71	0,16	-	-
Total	99	17,61	0,18	-	-

(\*) : Seuil  $\alpha = 0,05$

Sources de variation	PROPRIETES INDIVIDUELLES DES ESPECES	S.C.E.	M.C.E.	F calculé	Pr (> F)
<i>Celtis mildbraedii</i>	1	0,95	0,95	5,61	0,02*
Résiduelle	98	16,84	0,17	-	-
Total	99	17,60	0,18	-	-
<i>Gambeya africana</i>	1	0,76	0,76	4,42	0,013*
Résiduelle	98	16,84	0,17	-	-
Total	99	17,60	0,18	-	-

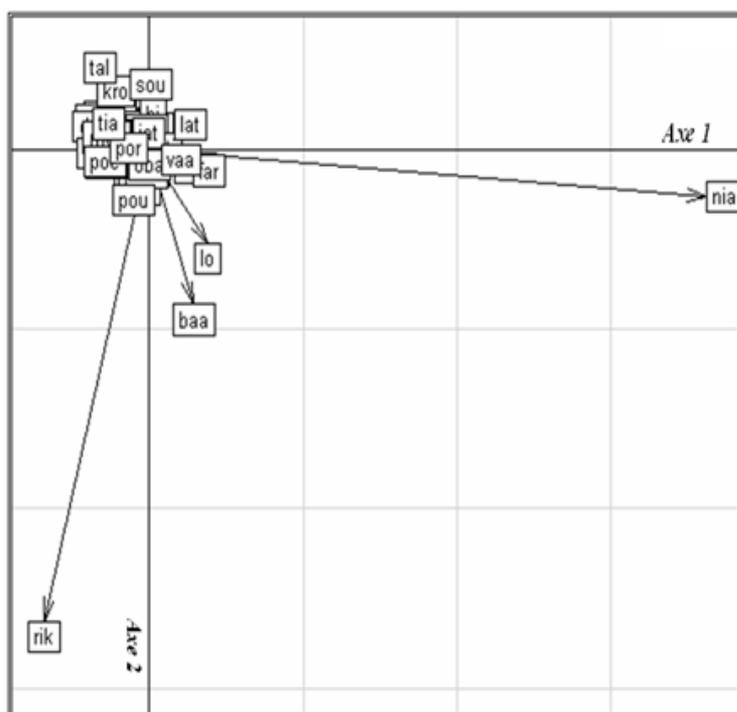
A Mopri, la projection des espèces (Figures 4) et des valeurs de  $T_x$  (Figure 6) dans le plan 1-2 met en évidence une corrélation positive entre  $T_x$  et les espèces les plus abondantes. Par ordre de densité décroissante, ce sont : *Celtis mildbraedii* (BA - 65,8 tiges.ha<sup>-1</sup>), *Gambeya africana* (AKT - 10,3 tiges.ha<sup>-1</sup>), *Sterculia rhinopetala* (LOT - 9,8 tiges.ha<sup>-1</sup>), *Guarea cedrata* (BOS - 8,2 tiges.ha<sup>-1</sup>), *Scottellia klaineana* (AKA - 7,3 tiges.ha<sup>-1</sup>), *Pterygota macrocarpa* (KOT - 7,1 tiges.ha<sup>-1</sup>) et *Celtis adolphi-frederici* (LON - 5,5 tiges.ha<sup>-1</sup>). Cette corrélation est significative pour les deux premières espèces, *Celtis mildbraedii* et *Gambeya africana*, dont la densité est supérieure à 10 tiges.ha<sup>-1</sup> (Tableau 3). Une tendance corrélatrice similaire existe à Irobo (Figures 5 et 7) pour *Tarrietia utilis* (NIA - 0,9 tiges.ha<sup>-1</sup>), *Dacryodes klaineana* (ADJ - 0,7 tiges.ha<sup>-1</sup>), *Uapaca guineensis* (RIK - 0,4 tiges.ha<sup>-1</sup>), *Scottellia klaineana* (AKA - 0,2 tiges.ha<sup>-1</sup>) et *Parkia bicolor* (LO - 0,1 tiges.ha<sup>-1</sup>). Cependant, aucun des tests statistiques réalisés n'est significatif.

**Tableau 3** : Test de l'influence individuelle de *Celtis mildbraedii* et de *Gambeya africana* sur  $T_x$ .

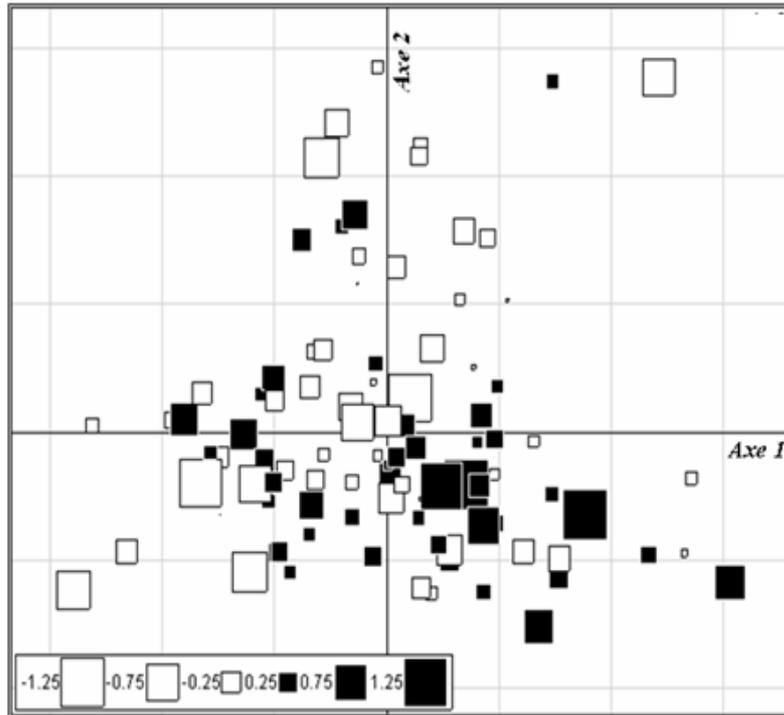
*Individual influence test of Celtis mildbraedii and Gambeya africana on  $T_x$ .*

(\*) : Seuil  $\alpha = 0,05$

**Figure 4** : Projection des espèces commerciales dans le plan 1-2 à Mopri.  
*Commercial species projection in the 1-2 plan for Mopri forest.*

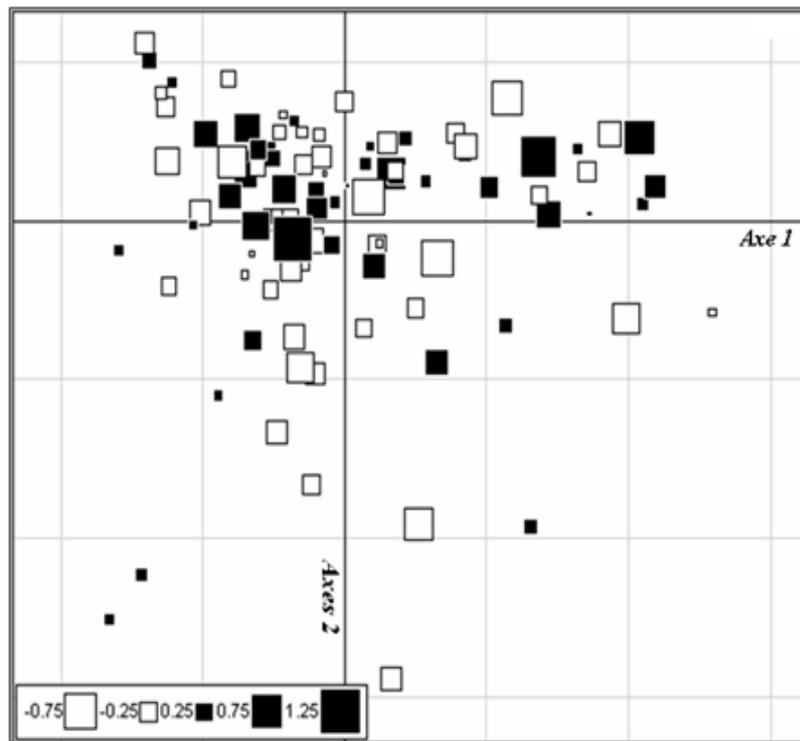


**Figure 5** : Projection des espèces commerciales dans le plan 1-2 à Irobo.  
*Commercial species projection in the 1-2 plan for Irobo forest.*



**Figure 6 :** Projection des valeurs de  $T_x$  dans le plan 1-2 à Mopri.

*$T_x$  values projection in the 1-2 plan for Mopri forest.*



**Figure 7 :** Projection des valeurs de  $T_x$  dans le plan 1-2 à Irobo.

*$T_x$  values projection in the 1-2 plan for Irobo forest.*

## DISCUSSION

### EFFET DES ÉCLAIRCIES EN FORÊTS NATURELLES

La présente étude démontre l'impact positif des éclaircies sélectives en forêts naturelles. Ce résultat confirme la conclusion des travaux de Zobi (2002) et de Kouassi *et al.* (2007). Le taux d'accroissement de la surface terrière du peuplement commercial ( $T_x$ ) est proportionnel à l'intensité d'éclaircie. Il est d'autant plus élevé que l'intensité d'éclaircie est forte. Les résultats sont par ailleurs identiques à ceux obtenus par Zobi *et al.* (2008). En effet, ces auteurs établissent que  $T_x$  est une variable normale dont la valeur moyenne est deux fois plus élevée dans les placettes éclaircies que dans les placettes témoins.

Il ressort donc que la suppression d'une certaine proportion de la surface terrière des espèces secondaires profite effectivement au peuplement commercial. L'étude établit en outre que l'effet des éclaircies ne dépend pas seulement de la compétition interspécifique, mais aussi de la composition floristique du peuplement commercial.

### MODELISATION DE L'EFFET DES ÉCLAIRCIES

Concernant l'effet des éclaircies, les résultats montrent que quel que soit le critère (commercial ou non) utilisé pour partitionner un peuplement forestier en deux catégories distinctes,  $X$  avec une proportion  $P_x$  et  $Y$  avec une proportion  $P_y$ , l'accroissement de la catégorie  $X$  par rapport à  $Y$  est fonction du rapport  $r = P_x / (P_x + P_y)$ . La catégorie  $X$  aura alors un accroissement plus fort que celui de la catégorie  $Y$  quand  $r$  tend vers 1. La situation est inverse quand  $r$  tend vers 0. En termes de compétition entre les deux catégories d'arbres, le rapport  $r = 0,5$  correspond à l'équilibre entre  $X$  et  $Y$ . Par rapport à la surface terrière, si on note  $y_i$  les valeurs possibles de  $Y$ , les accroissements courants annuels ( $T_x$ ) de  $X$  seront alors estimés par l'équation :

$$T_x = p \log (y_i + k) + q \quad [iv]$$

Les paramètres  $p$ ,  $q$  et  $k$  sont des constantes pour une valeur donnée de  $r$ . Si on fait correspondre respectivement  $X$  et  $Y$  aux groupes des espèces commerciales et non commerciales, on retrouve alors les deux cas de figure traités dans ce travail :

à Mopri,  $p = -0,30$  ;  $k = 0,57$  et  $q = 1,17$  avec  $r = 0,47$

à Irobo,  $p = -0,66$  ;  $k = 0,56$  et  $q = 2,39$  avec  $r = 0,24$ .

On établit que la détermination de l'influence d'une catégorie d'espèces (espèces non commerciales) sur l'autre catégorie (espèces commerciales) revient à modéliser la relation qui les lie l'une à l'autre. Le modèle mathématique [iv] montre bien que cette relation existe ; et elle est valable aussi bien en forêt naturelle sempervirente (Irobo) qu'en forêt naturelle semi-décidue (Mopri). L'influence du peuplement non commercial est d'autant plus forte que la surface terrière Ges après éclaircies est faible. C'est ce qui explique la supériorité des taux d'accroissement ( $T_x$ ) dans les placettes éclaircies comparativement aux placettes témoins. En réduisant de façon significative la compétition exercée par les espèces non commerciales sur le peuplement commercial, les éclaircies sélectives stimulent la productivité ( $T_x$ ) dans les deux types de forêts naturelles.

### COMPOSITION FLORISTIQUE ET DYNAMIQUE FORESTIERE

L'analyse des données floristiques a montré que le taux d'accroissement  $T_x$  ne dépend pas seulement de la compétition entre les deux catégories d'arbres, mais aussi de la composition spécifique du peuplement commercial. Selon Zobi (2002), plus la proportion d'arbres à croissance rapide (espèces héliophiles) est grande dans un peuplement, plus le taux d'accroissement courant  $T_x$  est élevé. Par rapport à Mopri, cet auteur affirme que la forêt naturelle d'Irobo est plus pauvre en espèces héliophiles. Cela expliquerait pourquoi les valeurs de  $T_x$  sont moins élevées à Irobo qu'à Mopri.

Le taux  $T_x$  qui est un indicateur de productivité des forêts dépend donc à la fois de la surface terrière initiale et de la composition floristique du peuplement commercial. *Celtis mildbraedii* et *Gambeya africana* sont les espèces commerciales les plus abondantes à Mopri et leur influence sur le taux d'accroissement  $T_x$  est significative. Or, Zobi et Chessel (2007) affirment que malgré sa richesse spécifique le peuplement commercial de Mopri est peu diversifié et dominé par un nombre restreint d'espèces. Ce serait donc à cause de leur relative abondance que *Celtis mildbraedii* (Ulmaceae) et *Gambeya africana* (Sapotaceae) influencent de façon

significative la productivité ligneuse à Mopri ; Ceci n'est pas le cas à Irobo où l'influence d'aucune espèce commerciale n'est significative.

#### PROPRIETES INDIVIDUELLES DES ESPECES

Dans les deux sites d'étude, les axes 1 et 2 de l'ACP traduisent l'abondance de certaines espèces commerciales dans la composition floristique. A Mopri, l'axe 1 présente une opposition entre les placettes riches en *Celtis mildbraedii* (BA), *Piptadeniastrum africanum* (DAA) et *Guarea cedrata* (BOS), et les placettes riches en *Triplochiton scleroxylon* (SAM) et *Ceiba pentandra* (FRO). *Celtis mildbraedii*, *Piptadeniastrum africanum* et *Guarea cedrata* produisent du bois dur et lourd tandis que le bois produit par *Triplochiton scleroxylon* et *Ceiba pentandra* est plutôt tendre et léger (Letouzey, 1982a ; 1982b). L'opposition entre ces deux groupes d'espèces sur l'axe 1 signifie donc que cet axe sépare les espèces selon la densité du bois.

Quant à l'axe 2, il est fortement corrélé avec *Gambeya africana* (AKT), *Sterculia rhinopetala* (LOT), *Ceiba pentandra* (FRO) et *Berlinia confusa* (MEL). L'opposition entre *Gambeya africana* et *Ceiba pentandra* est particulièrement intéressante. Car, selon Poorter *et al.* (2004) *Gambeya africana* est une espèce dont les arbres ne dépassent guère 50 à 60 cm de diamètre. Ces auteurs précisent qu'elle se développe préférentiellement dans le sous-bois. Son opposition à *Ceiba pentandra* qui est une espèce de lumière (Letouzey, 1982a) permet de conclure que l'axe 2 traduit la préférence pour la lumière. Cet axe oppose donc les espèces d'ombre aux espèces héliophiles. On relève également l'opposition entre *Gambeya africana* et *Berlinia confusa* sur cet axe. *Berlinia confusa* (espèce de lumière et mi-ombre) pousse préférentiellement près des rivières dans les forêts galeries ou marécageuses (Letouzey, 1982a). Ceci signifie qu'en plus de la préférence pour la lumière, l'axe 2 informe aussi sur la nature des sols rencontrés à Mopri. Car, *Berlinia confusa* et *Ceiba pentandra* tolèrent toutes les deux des sols périodiquement gorgés d'eau, ce qui n'est pas le cas pour *Gambeya africana*.

Contrairement à Mopri, il n'existe pas d'opposition triviale entre les espèces inventoriées

à Irobo. Seule *Tarrietia utilis* (NIA) est fortement corrélée avec l'axe 1. Il en est de même pour *Uapaca guineensis* (RIK) avec l'axe 2. *Tarrietia utilis* se développe bien dans les zones inondées et son tronc est généralement pourvu de racines échasses à l'âge adulte (Poorter *et al.*, 2004). Les arbres de cette espèce produisent un bois rouge et dur (Dupuy, 1990). A l'instar de *Tarrietia utilis*, *Uapaca guineensis* porte des racines échasses et vit dans les marécages ou en bordure des cours d'eau (Letouzey, 1982a). C'est une espèce grégaire et abondante par taches.

Ces similitudes écologiques entre *Tarrietia utilis* et *Uapaca guineensis* rendent difficile l'interprétation des axes 1 et 2 à Irobo. On retiendra simplement que l'axe 1 traduit l'abondance de *Tarrietia utilis* dans les placettes tandis que l'axe 2 traduit plutôt l'absence de *Uapaca guineensis* dans la composition floristique des placettes.

A Mopri, l'analyse comparative de la projection des espèces (Figure 4) et des valeurs de  $T_x$  (Figure 6) dans le plan 1-2 permet de déduire que la présence de *Ceiba pentandra* est liée aux fortes valeurs de  $T_x$  tandis que la présence de *Gambeya africana* et de *Sterculia rhinopetala* correspond aux faibles valeurs de  $T_x$ . A l'opposé de *Gambeya africana* et de *Sterculia rhinopetala*, l'abondance de *Ceiba pentandra* dans le peuplement est synonyme de forts taux d'accroissement.

Dans le cas d'Irobo, la comparaison entre la projection des espèces (Figure 5) et des valeurs de  $T_x$  (Figure 7) dans le plan 1-2 semble également révéler un lien entre la composition floristique et le taux d'accroissement du peuplement commercial. En effet, l'abondance de *Tarrietia utilis* et de *Uapaca guineensis* traduirait un faible taux d'accroissement de la surface terrière du peuplement commercial. En revanche, leur rareté ou absence est synonyme de taux d'accroissement élevés.

En définitive, la surface terrière du peuplement non commercial  $G_{es}$  constitue un paramètre influent dans les deux types de forêts humides. Le taux d'accroissement  $T_x$  dépend par ailleurs des propriétés individuelles de certaines espèces commerciales. Car, l'influence sur  $T_x$  des espèces les plus abondantes (*Celtis mildbraedii* et *Gambeya africana*) est significative à Mopri.

## CONCLUSION

L'objectif de l'étude est de déterminer les paramètres influents de la dynamique des forêts naturelles semi-décidues (forêt classée de Mopri) et sempervirentes (forêt classée d'Irobo) en Côte d'Ivoire. L'analyse des données d'inventaires de 1978 à 1998 a confirmé l'impact positif des éclaircies sélectives sur la productivité des deux types de forêts. Il ressort que cette productivité dépend non seulement de la compétition interspécifique, mais aussi de la composition floristique du peuplement commercial et des propriétés individuelles des espèces.

- La compétition interspécifique : la subdivision des espèces en deux catégories "commerciale" et "non commerciale" a permis de confirmer l'effet positif des éclaircies sélectives sur l'accroissement de la surface terrière du peuplement commercial. Il ressort que plus la surface terrière du peuplement non commercial est faible, plus le taux d'accroissement du peuplement commercial est fort et inversement.

- La composition floristique : compte tenu de leur relative abondance dans le peuplement commercial de Mopri, *Celtis mildbraedii* (Ulmaceae) et *Gambeya africana* (Sapotaceae) influencent significativement la productivité de cette forêt naturelle. Ceci démontre bien l'importance de la diversité spécifique du peuplement commercial.

- Les propriétés individuelles des espèces : la dominance des espèces à croissance lente (espèces d'ombre) ou des espèces à croissance rapide (espèces de lumière) dans le peuplement conditionne sa productivité. En effet, plus le peuplement commercial est riche en espèces de lumière (*Ceiba pentandra*, *Triplochiton scleroxylon*, *Berlinia confusa*, etc.) plus le taux d'accroissement de la surface terrière est fort.

L'influence des propriétés individuelles des espèces commerciales nécessite de considérer un quatrième paramètre : la nature des sols. En rapport avec l'écologie des espèces, la nature des sols favorise ou non l'installation et le développement des espèces forestières. *Berlinia confusa*, *Tarrietia utilis* et *Uapaca guineensis* poussent préférentiellement dans des sols marécageux ou momentanément inondés. L'étendue de ce type de sol conditionnerait donc l'abondance de telles espèces dans le peuplement. Une analyse complémentaire

intégrant la cartographie des sols devrait permettre de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse à Mopri et à Irobo.

## REFERENCES

- Bar-Hen A. 1998. Quelques méthodes statistiques pour l'analyse des dispositifs forestiers. CIRAD-Forêt, Série FORAFRI (5), 110 p.
- Chave J. 2000. Dynamique spatio-temporelle de la forêt tropicale. *Annales de Physique* 25 (6), 184 p.
- Chave J., C. Andalo, S. Brown, M. A. Cairns, J. Q. Chambers, D. Eamus, H. Fölster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J. P. Lescure, B. W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riéra and T. Yamakura. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145 : 87 - 99.
- Chave J., J. Olivier, F. Bongers, P. Châtelet, P. M. Forget, P. Meer, N. Norden, P. Riéra and P. Charles-Dominique. 2008. Above-ground biomass and productivity in a rain forest of eastern South America. *Journal of Tropical Ecology* 24 : 355 - 366.
- Dupuy B. 1990. Essais de comportement en plantation de 58 espèces ivoiriennes de forêts denses humides, résultats à 10 ans. CTFT, 59 p.
- Durrieu M. L., V. Favrichon, B. Dupuy, A. Bar Hen, L. Houde et H. F. Maître. 1998a. Croissance et productivité en forêt dense humide. Bilan des expérimentations dans le dispositif d'Irobo. Côte d'Ivoire (1978 - 1990). Document 2, Série FORAFRI, 69 p.
- Durrieu M. L., V. Favrichon, B. Dupuy, A. Bar Hen, L. Houde et H. F. Maître. 1998b. Croissance et productivité en forêt dense humide. Bilan des expérimentations dans le dispositif de Mopri. Côte d'Ivoire (1978 - 1992). Document 3, Série FORAFRI, 73 p.
- Ekko C. I. and Y. H. Nathalie. 1996. Ecological engineering : First steps towards economic analysis. *Ecological Engineering*, 7 (4) : 351 - 371.
- Fredericksen T. S. and B. Mostacedo. 2000. Regeneration of timber species following selection logging in a Bolivian tropical dry forest. *Forest Ecology and Management* 131 (1 - 3) : 47 - 55.
- Grace J. 2004. Understanding and managing the global carbon cycle. *Journal of Ecology* 92 : 189 - 202.

- Ihaka R and R. Gentleman. 1996. A language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 5 : 299 - 314.
- Jeffrey R. F. 2001. Statistical power in forest monitoring. *Forest Ecology and Management* 151 (1-3) : 211 - 222.
- Kariuki M. 2008. Modelling the impacts of various thinning intensities on tree growth and survival in a mixed species eucalypt forest in central Gippsland, Victoria, Australia. *Forest Ecology and Management* 256 (12) : 2007 - 2017.
- Kouadio K., K. E. Kouassi, N. F. Kouamé et D. Traoré. 2007. Effets de l'éclaircie sélective, par dévitalisation, sur la croissance en épaisseur des essences principales dans la forêt classée de Bossematié (Côte d'Ivoire). *Agronomie Africaine* XIX (1) : 53 - 61.
- Kouassi K., E. K. Konan, N. F. Kouamé et D. Traoré. 2007. Impact de l'éclaircie sur la régénération naturelle des essences principales, dans la forêt classée de Bossematié (Côte d'Ivoire). *Sciences & Nature* 4 (1) : 27 - 35.
- Leary R. A. 1985. *Interaction theory in forest ecology and management*. Martinus Nijhoff, Junk, Kluwer Academic, Dordrecht, 219 p.
- Letouzey R. 1982a. *Manuel de botanique forestière, Afrique tropicale*. CTFT, Tome 2A, 210 p.
- Letouzey R. 1982b. *Manuel de botanique forestière, Afrique tropicale*. CTFT, Tome 2B, 245 p.
- Poorter L., F. Bongers, F. N. Kouamé et W. D. Hawthorne. 2004. *Biodiversity of West African forests, an Ecological Atlas of Woody Plant Species*. CABI Publishing, Cambridge, 521 p.
- R Development Core Team. 2009. *R : A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Steel R. G. D., J. H. Torrie and D. A. Dickey. 1997. *Principles and procedures of statistics - A biometrical approach*. WCB, McGraw Hill, New York San Francisco, California, 688 p.
- Tietjen B. and A. Huth. 2006. Modelling dynamics of managed tropical rainforests - An aggregated approach. *Ecological Modelling* 199 (4) : 421 - 432.
- Vanclay J. K. 1991. Aggregation tree species to develop diameter increment equations for tropical rainforests. *Forest Ecology and Management* 42 (3 - 4) : 143 - 168.
- Widenfalk O. and J. Weslien. 2009. Plant species richness in managed boreal forest - Effects of stand succession and thinning. *Forest Ecology and Management* 256 (5) : 1386 - 1394.
- Yandell B. S. 1997. *Practical data analysis for designed experiments*. Chapman and Hall, New York, 437 p.
- Zhixue L. 2006. Optimal harvesting control problem for an age-dependent competing system of n species. *Applied Mathematics and Computation*. 183 (1) : 119 - 127.
- Zobi I. C. 2002. Contribution à la gestion sylvicole des forêts humides ivoiriennes à travers l'analyse des dispositifs permanents de Mopri et d'Irobo. Thèse unique, Ingénierie écologique, Université Claude Bernard Lyon I (France), 158 p.
- Zobi I. C. et D. Chessel. 2007. Analyse des processus d'apparition et de disparition des espèces commerciales dans deux types de forêts humides de Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* XIX (3) : 233 - 249.
- Zobi I. C., J. P. Pascal, P. Couteron, K. B. Kouadio. 2008. Improving the precision of a forestry experimentation with covariance analysis. *Journal of Applied Sciences*, 8 (5) : 866 - 870.