

EXPLOITATION FORESTIÈRE À FAIBLE IMPACT DANS LES TECKERAIES DE LA LAMA (BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST)

Denis GNANGUENON-GUESSE* ; Sunday Berlioz KAKPO; Augustin Kossi N. AOUDJI; Kourouma KOURA; Jean Cossi GANGLO

RESUME

Les méthodes classiques d'exploitation portent souvent atteinte aux écosystèmes forestiers. Les engins utilisés compactent le sol et détruisent la végétation, l'extraction de grands volumes de bois favorise l'érosion, réduit la diversité spécifique et diminue la capacité de régénération de la forêt. Afin d'apporter des alternatives réduisant ces impacts, pour une exploitation durable des plantations forestières particulièrement celle de la Lama, la présente étude compare les dispositifs d'exploitation forestière classique et à faible impact. L'analyse des impacts de ces deux systèmes d'exploitation a été faite sur la base des dégâts causés aux arbres de la plantation, aux essences autochtones de valeur et à la surface de sol dégradée par le tracteur. L'analyse comparative des résultats de l'Exploitation Forestière Classique et de l'Exploitation Forestière à faible Impact montre que le rendement journalier en grumes façonnées dans l'EFC subit une réduction de 11,34 % dans l'EFI. Le volume de grumes débardées est réduit de 29,45 % dans l'EFI par rapport à l'EFC. L'EFI a permis une réduction de plus de 55 % des dégâts totaux occasionnés sur le peuplement par rapport à l'EFC. La surface dérangée par les engins forestiers est de 2266,7 m² à l'hectare dans le système d'Exploitation Forestière Classique et de 631,2 m² à l'hectare dans le système d'Exploitation Forestière à faible Impact, soit une réduction de plus de 72 %.

Mots clés: Exploitation Forestière à faible Impact, forêt de la Lama, Bénin.

ABSTRACT

REDUCED IMPACT LOGGING IN PLANTATIONS OF TEAK OF LAMA (BENIN, WEST AFRICA)

The classic Logging methods often destroys forest ecosystems. The machines compact soil and disturbe vegetation, the extraction of big wood causes erosion, reduced the specific diversity and decreases the capacity of regeneration of the forest. In order to find solutions reducing these impacts, this survey compares two system, the first one is classic and the other is reduced impact. The analysis of the impacts of those two operating systems was done on the basis of damage to tree planting, the valuable indigenous species and the soil surface damaged by tractors. The comparative analysis of the results of the Conventional Logging and Reduced Impact Logging showed that the daily performance of logs shaped is reduced by 11.34 % in Reduced Impact Logging compared to Conventional Logging. The volume of logs is reduced by 29.45 % in Reduced Impact Logging compared to Conventional Logging. The experiment showed that Reduced Impact Logging has resulted in a reduction of more than 55 % of total damage on woods compared to conventional logging. The area damaged by forest machines were 2266.7 m² per hectare in conventional logging system and 631.5 m² per hectare in the Reduced Impact Logging system, i.e., a reduction of more than 72 %.

Keywords: Reduced Impact Logging, Lama forest, Benin.

Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques.
Laboratoire des Sciences Forestières. BP: 1493 Calavi Bénin;
labosciencesforestieres@gmail.com

* Auteur pour les correspondances (E-mail: guessedenis@gmail.com;
+22996741658)

Denis GNANGUENON-GUESSE* (guessedenis@gmail.com), Sunday Berlioz KAKPO (kakposunday@yahoo.fr), Kourouma KOURA (kourakourouma@yahoo.fr), Augustin Kossi N. AOUDJI (augustin.aoudji@gmail.com), Jean Cossi GANGLO (ganglocj@gmail.com)

1. INTRODUCTION

L'exploitation forestière représente une importante source de revenus en Afrique tropicale. Mais ses effets sont préjudiciables à la vitalité des peuplements et ont été soulignés par différents auteurs (Froehlich, 1979; Wingate-Hill et Jakobsen, 1982; Wåsterlund, 1994). En raison de la dégradation des écosystèmes forestiers et de la perte de la diversité biologique, la gestion durable des ressources forestières est devenue, depuis ces deux dernières décennies, un domaine de recherche prioritaire, notamment en zones tropicales (Sist, 2000). Tout aménagement viable des forêts suppose nécessairement que leur exploitation et toutes les activités qui lui sont associées, ne portent pas atteinte à leur capacité de régénération, ni n'empêchent d'en tirer les produits et services indispensables à la prospérité des générations présentes et futures (FAO, 1996).

Les pratiques classiques d'exploitation (exploitation forestière classique) sont souvent destructrices pour les

écosystèmes forestiers. Les engins lourds tassent le sol et détruisent la végétation. Ainsi, l'extraction de grands volumes de bois favorise l'érosion du sol, entraîne la réduction de la diversité spécifique et de la capacité de régénération de la forêt (CIFOR, 1998; Durrieu de Madron *et al.*, 1998). Les techniques d'Exploitation Forestière à faible Impact (EFI), récemment introduites en forêts tropicales, sont considérées aujourd'hui comme un des outils majeurs pour la gestion durable de ces forêts (Dyksta et Heinrich, 1996). Les méthodes d'exploitation à faible impact visent à réduire les dégâts provoqués par les différentes opérations d'exploitation forestière sur le peuplement lui-même et sur le sol forestier, par la mise en œuvre d'un certain nombre de dispositions pratiques (Sist, 2000). Son objectif est de préserver au mieux les ressources en bois ; mais elle consiste aussi en l'application de techniques d'exploitation planifiées et conduites dans un but de réduire les impacts sur l'écosystème forestier dans son ensemble (Yeboa *et al.*, 2004).

Dès les années 1950-60, quelques pionniers dont Nicholson

(1958) au Sabah (Malaisie), démontraient déjà le caractère destructeur de l'exploitation, pouvant endommager plus de la moitié du peuplement d'origine. Plus tard, d'autres études en Asie et en Amérique latine confirmaient ces résultats créant ainsi une véritable prise de conscience des conséquences écologiques et sylvicoles d'une exploitation incontrôlée (Estève, 1983 ; Hendrison, 1989).

En Afrique centrale, les études réalisées à grande échelle (Durrieu de Madron *et al.*, 1998 ; Parren, 1998 ; Jonkers, 2000) montrent que l'adoption de pratiques rationnelles d'exploitation permettent d'augmenter la production à l'hectare tout en réduisant les dommages au peuplement. Dans le système d'Exploitation Forestière Classique (EFC) en forêt semi-décidue, selon Durrieu de Madron *et al.* (1998), rapportés à l'hectare, les dégâts causés par l'abattage sont de l'ordre de 2% de la surface exploitée. Ce chiffre est à comparer au nombre de tiges abattues qui est de moins d'une à l'hectare. Le taux de dégâts directs dû à l'abattage est évidemment une fonction du nombre de tiges prélevées. Un mètre carré exploité pour le bois d'œuvre provoque des dégâts sur 4,3 m² de surface terrière (Mbolo, 1994). En Centrafrique, pour une exploitation de 3,7 tiges par hectare en forêt semi-décidue, la surface moyenne de trouées dues à l'abattage était de 350 m² par pied exploité, affectant 13% de la surface de la forêt (De Chatelperron et Commerçon, 1986). Pour le même nombre de tiges à l'hectare, la surface moyenne des trouées dues au débardage était de 200 m² par pied exploité, affectant 7,4% de la surface de la forêt (De Chatelperron et Commerçon, 1986). En Côte d'Ivoire, en forêt secondaire, pour des arbres de taille moyenne (40 à 50 cm de diamètre, issus d'étages intermédiaires et à houppier étriqué comme le Pouo (*Funtumia sp.*), la surface moyenne de la trouée est d'environ 50 m² par arbre abattu (Sangaré, 1990). Pour des arbres de diamètre variant de 50 à 60 cm, l'impact au sol du débardage pour différentes intensités d'exploitation a été évalué. Respectivement pour une surface de sol de 140 et 2365 m²/ha atteinte, 0,4 et 25,9 tiges par hectare sont débardées (Brevet *et al.*, 1992).

Au Bénin, particulièrement dans les plantations sous gestion de l'Office National du Bois (ONAB), l'exploitation forestière pratiquée (Exploitation Forestière Classique), provoque des dommages au peuplement par l'étêtement des arbres sur pied au cours des opérations d'abattage, des blessures et écorchures des arbres au cours du débardage. Elle impacte le sol avec les actions incontrôlées des débardeurs.

Cependant, il ressort de plusieurs travaux (Mbolo, 1994; Dyksta *et al.*, 1996; Bertault *et al.*, 1997; Durrieu de Madron *et al.*, 1998; Sist, 2000; Durrieu de Madron *et al.*, 2011; Leroy *et al.*, 2013), qu'il est possible de minimiser les dégâts occasionnés lors de l'exploitation forestière, grâce à la méthode d'Exploitation Forestière à faible Impact (EFI). Ainsi, cette étude a pour objectif global d'analyser puis de comparer les impacts des systèmes d'Exploitation Forestière Classique et à faible Impact dans les plantations forestières de la Lama. De façon spécifique, il s'agit: (1) d'évaluer les rendements des ouvriers dans les deux systèmes (EFC) et (EFI); (2) d'analyser les impacts de l'Exploitation Forestière Classique (EFC) et de l'Exploitation Forestière à faible Impact (EFI) sur le peuplement et sur le sol.

2. MILIEU D'ÉTUDE

La forêt classée de la Lama est gérée par l'Office National du Bois (ONAB) de la République du Bénin. Cette forêt est subdivisée en trois secteurs forestiers dont celui de Massi qui représente notre zone d'étude. Ce secteur occupe la partie nord-est du domaine classé de la Lama dans le bas Bénin (figure 1). Il est situé à une centaine de kilomètres de la côte, et s'étend entre les latitudes 6°56' et 7°00' nord et les longitudes 2°08' et 2°15' est.

La forêt de la Lama est soumise à l'influence d'un climat subéquatorial à deux saisons sèches et deux saisons de pluie. Le secteur forestier de Massi est caractérisé par une grande saison de pluies de mars à juillet, suivie d'une petite saison sèche correspondant au mois d'août. Viennent ensuite une petite saison de pluies de septembre à octobre et une grande saison sèche de novembre à février. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1 180 mm (ONAB, 2005). La température moyenne y est de 27°C avec des maxima de 32°C et des minima de 21°C (données calculées sur la période de 1941 à 2000). L'humidité relative varie de 52% à 95%. Elle est exceptionnellement élevée dans la Lama en saison sèche ; même en harmattan (entre décembre et janvier), l'humidité reste élevée avec un brouillard épais au levé du jour (ONAB, 2005).

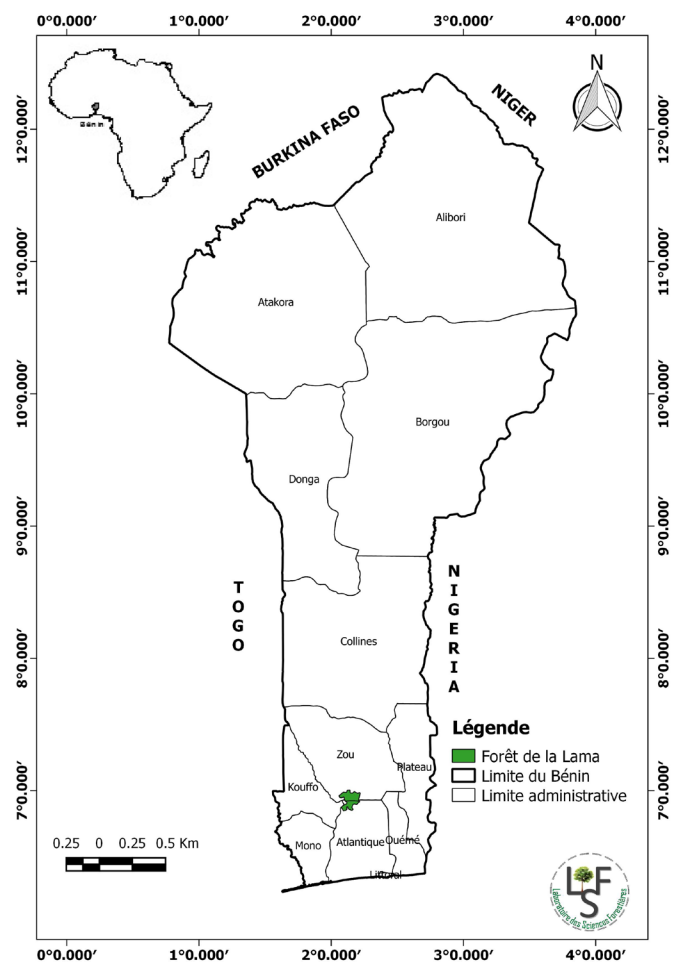


Figure 1: Situation géographique de la forêt classée de la Lama au Bénin

3. MATERIEL ET MÉTHODES

3.1. Matériel de travail

3.1.1. Matériel végétal

L'expérimentation a eu lieu dans le secteur forestier de Massi, dans une plantation de *Tectona grandis* L.f., installée en 1990. Cette plantation a été mise en place sur des parcelles qui abritaient une forêt dense semi-décidue dégradée par les pressions anthropiques (ONAB, 2005). Selon les inventaires forestiers (ONAB, 2005), la densité moyenne à l'hectare du peuplement principal est de 289 pieds/ha dont 282 pieds de teck de 26 cm de diamètre moyen avec 15,5 m²/ha de surface terrière et 7 pieds d'autres essences (*Gmelina arborea* L., *Cedrela odorata* L., *Terminalia superba* Engl. & Diels et *Khaya senegalensis* Desr) de 32 cm de diamètre moyen et 0,5 m²/ha de surface terrière.

Le sous-bois de la plantation comporte des espèces autochtones de valeur entretenues durant les différentes activités sylvicoles (ONAB, 2005). Ces espèces autochtones de valeur atteignent une densité moyenne de 25 pieds à l'hectare et sont composées de *Azelia africana* Sm. ex. Pers, *Antiaris toxicaria* Lersch, *Anogeissus leiocarpa* (DC) Guill. & Perr., *Diospyros mespiliformis* Horsch ex. DC, *Ceiba pentandra* L. Gaertn, *Dialium guineense* Willd, *Holarrhena floribunda* (G. Don) Durand & Chinz, *Zanthoxylum zanthoxyloides* Lam., *Ficus* sp. L., *Milicia excelsa* Welw, *Elaeis guineensis* Jacq.

3.1.2. Matériel de collecte

Différents matériels sont utilisés dans la réalisation de l'opération d'abattage. Une machette est utilisée pour nettoyer le pourtour de l'arbre, et procéder à l'élimination des lianes pouvant empêcher la chute de l'arbre. L'équipe de bûcheronnage se sert d'une hache pour préparer l'entaille de direction. Une paire de scies passe-partout est ensuite utilisée pour l'abattage des arbres et le façonnage des grumes. L'équipe emploie la scie en arc pour l'ébranchage de l'arbre abattu. Elle se sert d'une masse métallique pour enfoncer les coins dans le bois. Les grands coins sont utiles dans l'orientation de la chute de l'arbre dans la direction choisie ; et les petits coins facilitent la pénétration de la scie passe-partout dans le bois au cours du façonnage. D'autres matériels comme le tourne-bille et le mètre en bois sont respectivement utilisés par les bûcherons pour faire tomber les arbres encroués et mesurer les grumes durant le façonnage. L'opération de débardage est réalisée par un tracteur muni des accessoires pour le débardage à savoir treuil, chaînes, câbles, roulettes, crochets, etc.

Les cartes topographique et parcellaire du secteur de Massi ont été utilisées pour l'orientation et l'ouverture des pistes de débardage et des bandes d'expérimentation. Les coordonnées géographiques puis l'altitude des placeaux, des placettes et des bandes ont été relevées grâce à un appareil GPS de type «Garmin» tandis que le chronométrage des différentes phases de toutes les activités d'abattage et de débardage a été fait grâce à un chronomètre de marque « Smartimes». Un mètre ruban pi et un décimètre de 50 m ont été utilisés, respectivement pour mesurer les diamètres médians des grumes et la longueur des grumes et autres distances. Des cordeaux ont été utilisés pour matérialiser

les placeaux et les placettes.

3.2. Méthodes d'étude

3.2.1. Dispositifs d'étude de l'EFC et de l'EFI

L'expérimentation a été conduite dans les deux dispositifs par les ouvriers sur la même parcelle. Dans ce cadre d'étude, l'Exploitation Forestière Classique (EFC) se place dans le cas d'une exploitation industrielle (non artisanale) et les forêts étudiées sont dotées d'un plan d'aménagement participatif. En effet, dans l'EFC, deux bandes de 2,0 ha de superficie chacune (60 m x 333,333 m) ont été délimitées. La largeur des bandes a été maintenue à 60 m pour ne pas changer les conditions de travail adoptées dans les parcelles traitées en éclaircie futaie. La largeur des pistes de débardage varie de 3 à 4 m. Elles sont tracées perpendiculairement à la piste latérisée. Des placettes rectangulaires de 250 m² (12,5 m x 20 m) chacune ont été installées dans des placeaux rectangulaires de 10 ares (25 m x 40 m) chacun, distants de 10 m les uns des autres et disposés sur chaque bande d'exploitation de la manière suivante:

- le premier placeau est installé à 20 m de la piste latérisée. Il est disposé au milieu de la bande à 17,5 m de chacune des pistes de débardage dans le système d'Exploitation Forestière Classique (figure 2);
- le second placeau distant de 10 m du premier est installé au bord d'une piste de débardage ;
- le troisième placeau distant également de 10 m du second est installé en bordure de la piste opposée de débardage, et ainsi de suite comme l'indique la figure 2.

Chaque placeau est divisé en quatre placettes égales de 250 m² (12,5 m x 20 m) chacune et numérotées dans le sens des aiguilles d'une montre.

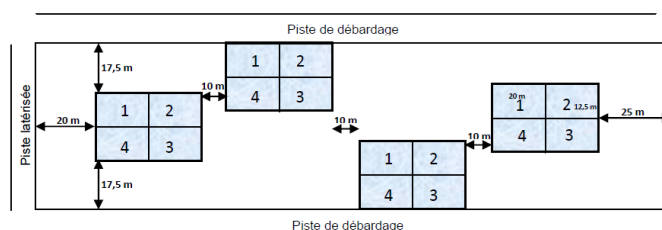


Figure 2 : Mise en place des placeaux et des placettes dans la bande (EFC)

Dans le système d'Exploitation Forestière à faible Impact (EFI), deux bandes de 2,0 ha de superficie chacune ont été délimitées. Elles ont chacune une largeur de 50 m pour permettre une couverture totale des bandes par les câbles de débardage et une longueur de 400 m. Les pistes de débardage ont une largeur de 3,75 m égale à celle des interlignes. Elles sont tracées perpendiculairement à la piste latérisée. La hauteur des souches est de 5 cm sur les pistes de débardage pour faciliter le passage des tracteurs et d'au plus 10 cm dans la plantation. L'entaille de direction est faite correctement jusqu'au tiers (1/3) du diamètre de l'arbre dans la direction de chute choisie. Le trait d'entaille réalisé à la scie passe partout est tracé à une hauteur de 5 cm du sol. Le débardeur doit veiller sur le

système de treuillage des grumes lors du débusquage afin d'éviter l'écorchure des troncs d'arbres et le décapage de la terre arable. Le tracteur chargé rentre entièrement sur la piste latérisée avant de prendre son angle de virage pour éviter de blesser les arbres qui se trouvent dans les angles et en bordure des pistes.

Des placettes rectangulaires de 250 m² (12,5 m x 20 m) chacune ont été installées dans des placeaux rectangulaires de 10 ares (25 m x 40 m) chacun, distants de 20 m les uns des autres et disposés sur chaque bande d'exploitation de la manière suivante:

- Le premier placeau est installé à 20 m de la piste latérisée. Il est disposée au milieu de la bande à 12,5 m de chacune des pistes de débardage dans l'Exploitation Forestière à faible Impact (figure 3).
- Le second placeau, distant de 20 m du premier, est installé au bord d'une piste de débardage.
- Le troisième placeau distant également de 20 m du second est installé en bordure de la piste opposée de débardage et ainsi de suite comme l'indique la figure 3, ceci pour bien couvrir la bande.
- Chaque placeau est divisé en quatre placettes égales de 250 m² (12,5 m x 20 m) chacune et numérotées dans le sens des aiguilles d'une montre.

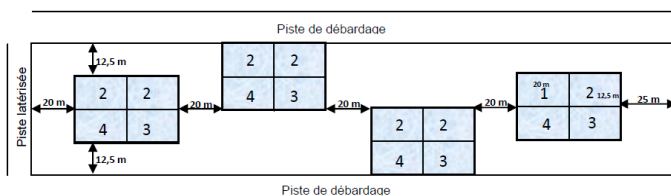


Figure 3 : Mise en place des placeaux et des placettes dans la bande (EFI)

3.2.2. Evaluation du rendement des ouvriers dans l'EFC et l'EFI

Dans le but d'étudier le rendement des ouvriers dans chaque système d'exploitation forestière, les données suivantes ont été collectées: nombre d'arbres abattus, nombre de grumes obtenues par arbre et nombre de grumes façonnées par l'équipe de bûcheronnage par jour de travail. Le diamètre médian et la longueur de chaque grume ont été mesurés. Au niveau de l'équipe de débardage, le nombre de grumes débardées par jour dans chacun des deux systèmes d'exploitation étudiés a été relevé. Les paramètres (moyennes et volumes) des grumes ont été calculés sur la base de 13 et 17 jours de travail respectivement dans l'EFC et l'EFI.

Les moyennes sont déterminées par la formule:

$$\text{Moy} = \sum_{i=1}^n X_i / n$$

Moy = la moyenne de grumes ou d'arbres abattus,
 x_i = le nombre ou la quantité de grumes ou d'arbres abattus,

n = le nombre de jours ou de placeaux.

- Le volume a été calculé grâce à la formule de HUBER:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n D_i^2 \pi L_i}{4}$$

Avec: V = volume (m³) de grumes façonnées ou débardées par équipe; D_i = diamètre médian de la grume (i); L_i = Longueur de la grume (i) et n = nombre de grumes; $\Pi = 3,14$.

Les rendements moyens des bûcherons et des débardeurs ont été calculés par la formule: $\text{Rend} = \frac{Q}{D}$

Avec: Q = Quantité ou volume de grumes et D = durée ou nombre de jours de travail.

Ces différents paramètres ont servi de critères de comparaison entre les deux méthodes d'exploitation forestière (EFC et EFI).

3.2.3. Analyse des impacts de l'EFC et de l'EFI sur le peuplement et sur le sol

Sur chaque bande, une superficie de 60 ares répartis en six (06) placeaux de 10 ares divisés en quatre placettes chacun, a été utilisée pour analyser dans chaque type d'exploitation les impacts sur: le peuplement artificiel (composé principalement de *Tectona grandis*), le peuplement naturel (composé d'essences autochtones de valeur issues de la régénération naturelle) et le sol. Pour une évaluation des dégâts occasionnés par chaque opération (abattage et débardage), il a été recensé dans chaque placette, le nombre d'arbres seulement étêtés, le nombre d'arbres seulement écorcés, le nombre d'arbres écorcés et étêtés et enfin le nombre d'arbres brisés aussi bien pour les essences autochtones de valeur que pour le teck qui est l'espèce principale de la plantation. Les essences autochtones préalablement inscrites sur la fiche de collecte des données sont marquées par une croix si elles sont blessées ou brisées. Celles qui n'étaient pas préalablement inscrites sont mentionnées dans une rubrique créée à cet effet. Le nombre de pieds de teck et des essences autochtones de valeur endommagés est calculé par hectare.

L'estimation de la surface de sol dérangé par le tracteur durant les travaux de débusquage et de débardage est basée sur l'évaluation de la fraction (1/2, 1/3, 1/4, 1/5) de la surface du sol dérangée par lesdits travaux dans chaque type d'exploitation.

3.2.4. Analyse statistique des données

En vue d'analyser les résultats obtenus, les tests statistiques de comparaison des moyennes ont été réalisés après vérification de la normalité et de l'homogénéité des variances. Lorsque ces derniers ne sont pas vérifiés, respectivement une normalisation et une homogénéisation des variances sont essayées à l'aide d'une transformation logarithmique des données. Après cette transformation, le test paramétrique t de student est réalisé en vue de comparer les résultats si la normalité et l'homogénéité des variances sont vérifiées. Lorsqu'elles ne sont pas vérifiées, le test non paramétrique de Mann Whitney est utilisé pour comparer les résultats. Ces différents tests ont été réalisés grâce au logiciel Minitab 17.

4. RÉSULTATS

4.1. Rendement des ouvriers dans les systèmes EFC et EFI

Le travail d'abattage réalisé sur les deux bandes de 2 ha chacune dans le cadre de l'étude d'Exploitation Forestière Classique a occupé l'équipe de bûcheronnage pendant

13 jours. Il ressort que dans le système EFC, le nombre de grumes façonnées et réceptionnées est de 198 pour un volume total de 69,9 m³, soit 5,38 m³ de grumes par jour. Ce nombre de grumes provient de 129 arbres balivés et abattus sur les bandes, soit environ 9 arbres coupés et façonnés par jour (tableau 1). Toujours dans le même système EFC, le débardage a été réalisé par une équipe composée d'un conducteur et deux aides débardeurs. Il a fallu six (06) jours à l'équipage pour débarder les 198 grumes façonnées

(= 0,004). Par rapport aux volumes journaliers obtenus par les bûcherons (4,8 m³ pour l'EFI et 5,38 m³ pour l'EFC) dans la mise en œuvre des deux systèmes, la différence n'est pas significative (p = 0,114). Des rendements journaliers obtenus par les débardeurs dans la mise en œuvre de l'EFI et de l'EFC, il ressort que le nombre de grumes débardées par jour dans la mise en œuvre de l'EFI est significativement inférieur au nombre de grumes débardées par jour dans le cadre de l'EFC (p = 0,00011).

Tableau 1 : Comparaison des rendements journaliers des bûcherons et des débardeurs dans l'EFC et l'EFI

Rendements		EFI	EFC	Statistique calculée	P-value
Rendements des bûcherons	Nombre d'arbres coupés par jour	6,76 ± 1,71	9,92 ± 1,38	t= +5,42	<0,0001
	Nombre de grumes façonnées par jour	11,76 ± 3,11	15,23 ± 2,86	W= 270	0,004
	Volume de grumes façonnées par jour (m ³)	4,8 ± 0,96	5,38 ± 1,06	t=+1,63	0,114
Rendements des débardeurs	Nombre de grumes débardés par jour	20,00 ± 2,58	33 ± 8,46	t= +5,27	0,00011
	Volume de grumes débardées par jour (m ³)	8,12 ± 1,46	11,7 ± 2,33	t=+3,76	0,0021
	Nombre de voyages par jour	7,20 ± 1,03	9,17 ± 2,56	W=68	0,063

t : t de student ; W : Mann Whitney

en 55 voyages. Par jour, les trois ouvriers débardent 33 grumes pour un volume moyen équivalent à 11,7 m³, soit 3,6 grumes par voyage de 1,3 m³.

Dans le système EFI, l'abattage a duré 17 jours. L'équipe de bûcherons a abattu au total 115 arbres avec une production de 200 grumes d'un volume total de 81,2 m³. Le rendement journalier de l'équipe est de 4,8 m³ correspondant à 11,8 grumes produites par 6,8 arbres coupés et façonnés. Pour le débardage, l'équipage a débardé les 200 grumes en 72 voyages pendant 10 jours. Par jour, l'équipage a débardé donc 20 grumes d'un volume moyen équivalent à 8,1 m³, soit 2,8 grumes par voyage de 1,1 m³.

Le tableau 1 présente la comparaison des rendements journaliers obtenus par les ouvriers (bûcherons et débardeurs) dans le système d'Exploitation Forestière Classique à ceux du système d'Exploitation Forestière à faible Impact.

Il ressort de ce tableau que le nombre d'arbres coupés par jour par les bûcherons dans la mise en œuvre de l'EFI est significativement inférieur au nombre d'arbres coupés par jour dans la mise en œuvre de l'EFC (p < 0,0001). Le nombre de grumes façonnées par jour dans la mise en œuvre de l'EFI est aussi significativement inférieur au nombre de grumes façonnées dans le cadre de l'EFC (p

Le volume de grumes débardées par jour dans la mise en œuvre de l'EFI est significativement inférieur au volume de grumes débardées par jour dans le cadre de l'EFC (p = 0,0021). Quant au nombre journalier de voyages effectués dans la mise en œuvre des deux systèmes, la différence n'est pas significative (p = 0,063).

4.2. Evaluation des impacts de l'EFC et de l'EFI sur le peuplement et le sol

Il ressort de notre étude qu'en moyenne 24,2 pieds/ha de teck ont été perturbés dans la mise en œuvre de l'EFC contre une moyenne de 12,5 pieds/ha dans la mise en œuvre de l'EFI. Pour les essences autochtones, en moyenne 5 pieds/ha ont été perturbés dans la mise en œuvre de l'EFI contre une moyenne de 20 pieds/ha dans la mise œuvre de l'EFC. La densité totale d'arbres endommagés est de 39,1 pieds à l'hectare dans le cadre de l'EFC et de 17,5 pieds à l'hectare dans la mise en œuvre de l'EFI, soit une réduction de 55,2 %. Une superficie de 2266,7 m²/ha a été dérangée dans le cadre de l'EFC tandis que seulement une superficie de 631,2 m² a été perturbée dans la mise en œuvre de l'EFI, soit une réduction de 72,1%.

Le tableau 2 présente les dégâts (arbres étêtés, écorcés, écorcés et étêtés, arbres brisés) sur le teck, les essences

Tableau 2: Comparaison des dégâts des deux systèmes (EFC et EFI) sur le teck, sur les essences autochtones et sur le sol

Végétation et sol	EFI	EFC	Statistique calculée	P-value
Teck (nombre moyen de pieds endommagés/ha)	12,5 ± 0,45	24,2 ± 1,16	W = 102	0,003
Essences autochtones (nombre moyen de pieds endommagés/ha)	5 ± 0,67	20 ± 1,04	W = 94,5	0,0009
Superficies dérangées (m ² /ha)	631,2 ± 21,11	2266,7 ± 50,05	W = 78	0,0000

t: t de student; W: Mann Whitney

autochtones et sur le sol (surface de sol dérangé) lors la mise en œuvre de l'EFI et de l'EFC. Il ressort que les dégâts observés sur le teck dans la mise en œuvre de l'EFI sont significativement inférieurs ($p = 0,003$) aux dégâts observés sur le teck dans le cadre de l'EFC. Ceci s'explique par les précautions prises et les actions menées par les bûcherons au cours de l'abattage ainsi que les débardeurs durant le débusquage dans la mise en œuvre de l'EFI. Les dégâts observés sur les essences autochtones dans la mise en œuvre de l'EFI sont significativement inférieurs ($p = 0,0009$) aux dégâts observés sur les essences autochtones dans le cadre de l'EFC. Ceci peut s'expliquer par l'efficacité des critères élaborés pour la mise en œuvre de l'Exploitation Forestière à faible Impact (EFI).

Les dégâts observés sur le sol dans la mise en œuvre de l'EFI sont significativement inférieurs ($p = 0,0000$) aux dégâts observés sur le sol dans le cadre de l'EFC. Ce résultat s'explique par le fait que les actions menées par les débardeurs durant les travaux de débusquage dans la mise en œuvre de l'EFI ont permis de réduire considérablement les dégâts causés au sol.

5. DISCUSSION

Le nombre d'arbres coupés par jour par les bûcherons dans la mise en œuvre de l'EFI est significativement inférieur au nombre d'arbres coupés par jour dans la mise en œuvre de l'EFC ($p < 0,0001$). Ceci s'explique par le fait que dans le cadre du système d'Exploitation Forestière à faible Impact, les bûcherons prennent toutes les précautions dans le choix de l'arbre balivé à couper afin d'éviter au mieux les dégâts au peuplement et au sol. En effet, cette technique d'abattage permet de préserver davantage les arbres sur pied mais nécessite plus de temps aux bûcherons. Egalement, le nombre de grumes façonnées par jour dans la mise en œuvre de l'EFI est significativement inférieur au nombre de grumes façonnées dans le cadre de l'EFC ($p = 0,004$). Cette différence significative s'explique par le lien existant entre le nombre d'arbres abattus et le nombre de grumes façonnées. Tous les arbres abattus sont systématiquement façonnés en grumes. Ainsi, plus il y a d'arbres abattus, plus il y aura de grumes façonnées. L'analyse des volumes journaliers de grume façonnées dans la mise en œuvre des deux systèmes montre qu'il n'existe pas une différence significative ($p = 0,114$) malgré les précautions et le temps perdus dans l'application des critères de l'EFI. En comparant les rendements journaliers obtenus par les débardeurs dans la mise en œuvre de l'EFI à ceux obtenus dans le cadre de l'EFC, il ressort que le nombre de grumes débardees par jour dans la mise en œuvre de l'EFI est significativement inférieur au nombre de grumes débardees par jour dans le cadre de l'EFC ($p = 0,00011$). Ceci peut s'expliquer par les précautions et attentions que nécessite la mise en œuvre de l'EFI pour limiter les dégâts au peuplement. Ainsi, la mise en œuvre de l'EFI entraîne donc une perte de temps aux débardeurs et partant un faible nombre de grumes débardees par jour. Le volume de grumes débardees par jour dans la mise en œuvre de l'EFI est significativement inférieur au volume de grumes débardees par jour dans le cadre de l'EFC ($p = 0,0021$). Cela s'explique par le fait que, plus il y a de grumes débardees par jour, plus le volume journalier de grumes débardees est important. Ceci signifie que la perte

de temps observée au cours du débardeage dans la mise en œuvre de l'EFI n'affecte pas significativement le nombre moyen de voyages réalisés par jour dans la mise en œuvre de l'EFI.

En effet, l'adoption de bonnes pratiques d'abattage n'affecte pas significativement le rendement journalier des bûcherons ce qui rejoint les résultats obtenus par Durrieu de Madron *et al.* (1998). Parren (1998) et Jonkers (2000) en Afrique Centrale, ont montré que l'adoption de pratiques rationnelles d'exploitation permet de maintenir la production à l'hectare. Des études menées dans plusieurs concessions forestières d'Indonésie, indiquent que l'EFI peut être mise en pratique pour augmenter la performance de la récolte en forêt (Klassen, 2000 ; Agung et Hinrichs, 2000). Pourtant, la plupart des concessionnaires forestiers en Indonésie hésitent à adopter l'EFI, essentiellement parce qu'elle nécessite du personnel bien formé et des changements majeurs dans les opérations de terrain, et parce que les coûts et bénéfices ne sont pas encore évidents (Hinrichs et Ruslim, 2001).

Les dégâts occasionnés par l'abattage, en dehors de l'ébranchage observé durant la chute de l'arbre, sont caractérisés surtout par l'étêtage des grands arbres créant ainsi une ouverture dans le couvert végétal. Au niveau du peuplement restant, la densité totale d'arbres endommagés est de 39,1 pieds à l'hectare dans le cadre de l'EFC et de 17,5 pieds à l'hectare dans la mise en œuvre de l'EFI, soit une réduction 55,2 %. Nos résultats rejoignent ceux de Durrieu de Madron *et al.* (1998) selon qui l'abattage crée d'abord une ouverture du couvert à l'emplacement de la cime de l'arbre abattu. La chute de l'arbre est la principale cause de bris des cimes des arbres avoisinants et de chablis. Ce phénomène a connu une réduction assez importante dans la mise en œuvre de l'EFI. Le taux élevé de réduction (75,0 %) des espèces autochtones endommagées et le taux de réduction (48,3 %) de pieds de teck endommagés en comparaison avec les résultats de l'EFC montrent l'efficacité des critères élaborés de l'EFI et le respect de ces principes par les bûcherons au cours de l'abattage et par les débardeurs durant le débusquage. Les dégâts occasionnés sur le peuplement dans la mise en œuvre de l'EFC sont plus importants que ceux occasionnés dans le cadre de l'EFI. Ceci confirme les résultats obtenus dans d'autres expérimentations dans les forêts naturelles d'Indonésie par Bertault et Sist (1997) qui soulignent que les techniques d'exploitation à faible impact ont permis d'une part une réduction de 33 % des dégâts totaux et d'autre part une réduction de moitié de la proportion d'arbres détruits par rapport à l'Exploitation Forestière Classique à Bornéo dans la province de Kalimantan Est.

Selon Fargeot *et al.* (2004), l'indice de reconstitution d'une espèce donnée est corrélé négativement aux dégâts d'exploitation. Les résultats de la présente étude et les travaux antérieurs montrent que les techniques d'exploitation forestière à faible impact ont un intérêt majeur pour réduire les dégâts au peuplement résiduel et améliorer la reconstitution. Les dégâts d'abattage, par la destruction des tiges de diamètre moyen, conditionnent également de façon significative la production commerciale ultérieure de la forêt. Il convient donc de limiter le plus possible la destruction des tiges d'avenir par l'utilisation des techniques d'exploitation à faible impact

(Fargeot *et al.*, 2004). Ainsi, parmi les techniques EFI, l'abattage directionnel est recommandé (Jonkers et Van Leersum, 2000; Jonkers, 2000). L'avantage de cet abattage directionnel serait de positionner l'arbre de sorte qu'il n'y ait pas besoin de réaliser un débusquage et de passer directement au débardage, permettant ainsi de limiter les dégâts liés aux manœuvres du bulldozer ou du skidder (Durrieu de Madron *et al.*, 2011). De plus, il est susceptible de faire tomber l'arbre dans une direction minimisant les dommages provoqués au sein du peuplement d'avenir resté sur pied (Durrieu de Madron *et al.*, 2011).

Par rapport au sol, une réduction de 72,1 % de superficie dégradée a été observée dans l'EFI. Ces résultats confirment ceux obtenus par les chercheurs du Centre International de Recherche forestière (CIFOR) en 1998 qui ont souligné que dans certaines expériences d'EFI menées dans les forêts tropicales de plaine, les dommages au sol et aux régénérations préexistantes ont été réduits d'environ 50 % par rapport aux méthodes classiques. Sangaré (1990), souligne également que pour des débardages de 0,4 et 25,9 tiges par hectare, la surface de sol atteinte est respectivement de 140 et 2365 m²/ha dans une forêt secondaire de la Côte d'Ivoire. Nugent *et al.* (2003) trouvent que la circulation des machines sur les sols forestiers augmente la compaction du sol de 30 à 50%. La capacité de régénération des espèces est altérée suite aux perturbations liées à l'exploitation telles que la compaction et l'érosion du sol suite au passage des engins en forêt (Pinard et Cropper, 2000 ; Wood *et al.*, 2003). Selon Deconchat et Balent (2001), plus l'état de surface du sol est perturbé, plus la diversité (en richesse spécifique ou en indice de Shannon) augmente localement à court terme. Pour Halpern et Spies (1995) au contraire, plus l'état de surface du sol est perturbé, plus la richesse spécifique diminue à court terme et plus le délai de retour à la situation d'origine est long. Le délai de retour à la situation d'origine relève souvent du moyen terme (cinq à quinze ans). Toutefois, dans certains cas (forts tassements, ornières profondes et humides), l'influence des perturbations du sol peut se prolonger sur plusieurs décennies (Halpern et Spies, 1995). La compaction des sols réduit leur porosité et leur capacité en air et peut aboutir à un défaut d'oxygénation des racines (Gosselin, 2004). Les perturbations du sol peuvent avoir des conséquences directes, sur la microfaune du sol (Gosselin, 2004 ; Ampoorter, 2011).

6. CONCLUSIONS

La présente étude a permis la comparaison de l'Exploitation Forestière Classique (EFC) à l'Exploitation Forestière à faible Impact (EFI) dans les plantations forestières de la Lama. L'expérimentation a montré principalement qu'avec les opérations d'abattage, le rendement journalier moyen de l'équipe de bûcheronnage est de 5,38 m³ dans le cadre de l'EFC et de 4,8 m³ dans la mise en œuvre de l'EFI. Le nombre d'arbres coupés par jour par les bûcherons, le nombre de grumes façonnées par jour, le nombre de grumes débardées par jour et le volume de grumes débardées par jour dans la mise en œuvre de l'EFI sont significativement inférieurs à ceux obtenus dans la mise en œuvre de l'EFC. Il a été constaté que les techniques d'exploitation

forestière à faible impact ont permis une réduction de 55,2% des dégâts totaux occasionnés sur le peuplement restant et une réduction de 72,1% de la surface dérangée par rapport à l'Exploitation Forestière Classique. Au vu de tout ceci, l'Exploitation Forestière Classique devrait faire place à des pratiques nouvelles soucieuses de la durabilité des ressources forestières. L'application des méthodes de l'Exploitation Forestière à faible Impact considérées comme l'un des outils majeurs dans la gestion durable des forêts est indispensable pour les plantations domaniales du Bénin qui accueillent de nos jours des industriels de bois et des exploitants privés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agung F. & Hinrichs A. 2000. Self-scoping handbook for sustainable management certification in Indonesia. SFMP Document N° 6a/2000.
- Alexander Hinrichs & Yosep Ruslim, 2001. Mise en œuvre de l'EFI en Indonésie. OIBT Actualités des Forêts Tropicales, Volume 9 Numéro 2.
- Ampoorter E, 2011. Soil compaction due to mechanized forest harvesting: quantification of ecosystem effects and exploration of recovery potential. PhD thesis, Ghent University, Ghent, Belgium.
- Bertault J.G., Sist P., 1997. An experimental comparison of different harvesting intensities with reduced-impact and conventional logging in East Kalimantan, Indonesia. *Forest Ecology and management*, **94**: 209-218.
- Brevet R., Tuo N. & Diahuissie A., 1992. Etudes des dégâts d'exploitation forestière en forêt dense humide. Exploitation de bois d'œuvre en forêt de Yapo-Mambo. IDEFOR-CIRAD, 30 pages.
- Fargeot C., Forni E., Nasi R., 2004. Réflexions sur l'aménagement des forêts de production dans le bassin du Congo. Bois et forêts des tropiques, 2004, N° 281
- CIFOR, 1998. Rapport annuel du Centre International de Recherche Forestière. 55 p.
- De Chatelperron G. & Commerçon R., 1986. Mise en exploitation du dispositif de recherche en forêt naturelle dans les forêts de Boukoko et La Lolé en République Centrafricaine. Projet F.A.C. A.R.R.F.C.T.F.T., 58 pages.
- Deconchat M., 2001. Effets des techniques d'exploitation forestière sur l'état de surface du sol, *Annals of Forest Sciences*, **58** : 653-661.
- Durrieu de Madron L., Bauwens S., Giraud A., Hubert D., Billand A., 2011. Estimation de l'impact de différents modes d'exploitation forestière sur les stocks de carbone en Afrique centrale. Bois et forêts des tropiques **308** (2): 12p.
- Durrieu de Madron L., Forni E. & Mekok M., 1998. Les techniques d'exploitation à impact réduit en forêt dense humide camerounaise. CIRAD-Forêt, France, 33 p.
- Dyksta D.P. & Heinrich R., 1996. Code modèle FAO des pratiques d'exploitation forestière. FAO, Rome (Italie), 85 p.
- Estève, 1983. La destruction du couvert forestier consécutive à l'exploitation forestière de bois d'œuvre en

forêt dense tropicale humide africaine ou américaine. Bois et Forêts des Tropiques, 201: 77-84.

Froehlich H. A., 1990. Soil compaction from logging equipment: effects on growth of young Ponderosa pine. *J. Soil Water Conserv.*, 34, pp. 276-277.

Gosselin M., Impacts des modalités d'exploitation : perturbations du sol, devenir des rémanents. Biodiversité et gestion forestière : connaître pour préserver. Synthèse bibliographique, Cemagref Editions, p. 257 - p. 269, 2004, Etudes Gestion des Territoires n20.

Halpern C. B. & Spies T.A., 1995, Plant species diversity in natural and managed forests of the Pacific Northwest, *Ecological Applications*, 5, 4, p. 913-934.

Hawthorne W. D., 1994. Fire damage and forest regeneration in Ghana. ODA Forestry series n°04, 53 p.

Hendriksen J., 1989. Série sur l'écologie et l'aménagement des forêts tropicales humides au Suriname, Université agricole de Wageningen, Pays-Bas, 204 p.

Jonkers W. & Van Leersum G., 2000. Logging in south Cameroon: current methods and opportunities for improvement. *International Forestry Review* 2 (1): 11-16.

Jonkers W., 2000. Logging, damage and efficiency: a study on the feasibility of reduced impact logging in Cameroon. Final report. Kribi, Cameroun, The Tropenbos-Cameroon Programme, 57 p.

Klassen A., 2000. Analisis aspek finansial dan produktivitas: reduced impact logging (RIL). Hutan Indonesia. Bulletin APHI. 9th edition, 8/2000.

Leroy M., Derroire G., Vendé J., Leménager T., 2013. La gestion durable des forêts tropicales. De l'analyse critique du concept à l'évaluation environnementale des dispositifs de gestion. AFD

Mbolo B. D., 1994. Etude des dégâts d'exploitation dans la zone d'action du projet A.P.I. de Dimako. Mémoire de fin d'étude

Dschang INADER-UDs, 79 p.

Mignanwande D. S. G., 2009. Contribution pour une Exploitation Forestière à faible Impact (EFI) dans les jeunes peuplements de la Lama (ONAB). Mémoire pour l'obtention de la licence professionnelle au Centre Autonome de Perfectionnement de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (CAP-EPAC), 44 p.

Nicholson D. I., 1958. An analysis of logging damage in tropical rain forest, *North Borneo Malayan Forester* 21: 235-245.

Nugent C., Kanali C., Owende P. M. O., Nieuwenhuis M., Ward S., 2003. Characteristic site disturbance due to harvesting and extraction machinery traffic on sensitive forest sites with peat soils. *Forest Ecology & Management* 180: 85-98.

ONAB, 2005. Plan d'Aménagement Participatif (PAP) des plantations forestières de Massi: Période 2004- 2023, 204 p.

Pinard M., Cropper W., 2000. Simulated effects of logging on carbon storage in dipterocarp forest. *Journal of Applied Ecology* 37: 267-283.

Sangaré M., 1990. Contribution à l'établissement du plan de gestion du massif forestier de SODEFOR- Côte d'Ivoire, 106 pages.

Sist P., 2000. Les techniques d'Exploitation à faible Impact. Bois et forêts des tropiques 265 : 31-43.

Wästerlund I., 1994. Environmental aspects of machine traffic. *J. Terramech.*, 31, pp. 265-277.

Wingate-Hill R. & Jakobsen B.F., 1982. Increased mechanization and soil damage in forests. *New Zealand Journal of Forest Science*, 12, pp. 380-393.

Wood M. J., Carling P. A. and Moffat A. J. (2003). Reduced ground disturbance during mechanized forest harvesting on sensitive forest soils in the UK. *Forestry* 76 (3), 345-361.

Yeboa A. K., Brechet L. & Soengas L.R.B., 2004. Evaluation des dégâts d'exploitation sur le peuplement forestier résiduel en forêt aménagée de Guyane Française. Guyane Française 14 au 22 septembre 2004, UMR ECOFOG, ONF, 32 p.