

RÉSUMÉ DE THÈSE /  
ACADEMIC THESIS ABSTRACT / RESUMEN DE TESIS ACADÉMICAVers une meilleure estimation  
des stocks de carbone dans les forêts  
exploitées à Diptérocarpées  
de Bornéo

Andes Hamuraby ROZAK

## RÉSUMÉ

Les forêts tropicales constituent le principal réservoir de biodiversité et de carbone (C), jouant un rôle central dans le cycle du carbone, le maintien de la biodiversité, la régulation du climat et l'équilibre fonctionnel général de la biosphère. Cependant, la plupart des forêts tropicales, en particulier les forêts de Bornéo en Asie du Sud-Est, subissent une pression intense et sont menacées par des activités anthropiques telles que l'exploitation forestière, l'industrie minière, l'agriculture et la conversion en plantations industrielles. L'exploitation sélective réduit la biomasse aérienne et souterraine par l'élimination de quelques grands arbres, et augmente les stocks de bois mort par des dommages collatéraux et créant des trouées dans la canopée. L'importance des dégâts, de l'ouverture de la canopée et de la rapidité du rétablissement du C s'est avérée principalement liée à l'intensité de l'exploitation forestière. La présente thèse se concentre principalement sur l'évaluation de l'effet à long terme de l'intensité de l'exploitation forestière sur les cinq principaux réservoirs de C dans une forêt à Diptérocarpées de Nord-Bornéo (district de Malinau, Kalimantan Nord) le long d'un gradient d'intensité d'exploitation allant de 0 à 57 % de la biomasse initiale perdue en 1999/2000. Nos résultats ont montré que les stocks totaux de C, 16 ans après l'exploitation, variaient de 218 à 554 Mg C/ha avec une moyenne de 314 Mg C/ha. Une différence de 95 Mg C/ha a été observée entre une faible intensité d'exploitation forestière (< 2,1 % de la biomasse initiale perdue) et une intensité d'exploitation élevée (> 19 %). La plus grande partie du C (environ 77 %) était présente dans les arbres vivants, suivie par les stocks du sol (15 %), les stocks de bois mort (6 %) et une fraction mineure des stocks de litière (1 %). L'empreinte de l'intensité de l'exploitation forestière était encore détectable 16 ans après l'exploitation. L'intensité de l'exploitation forestière s'est donc avérée être le principal facteur expliquant la réduction de l'AGC<sub>20</sub>, de la BGC<sub>20</sub>, des stocks de bois mort et de C total et l'augmentation du bois mort. Nos résultats quantifient l'effet à long terme de l'exploitation forestière sur les stocks de C forestier, en particulier sur les AGC et les bois morts. L'intensité élevée de l'exploitation forestière (réduction de 50 % de la biomasse initiale) a réduit les stocks totaux de C de 27 %. La récupération de l'AGC était plus faible dans les parcelles d'intensité d'exploitation forestière élevée, ce qui suggère une résilience plus faible de la forêt à l'exploitation forestière. Par conséquent, une intensité d'exploitation forestière inférieure à 20 % devrait être envisagée afin de limiter l'effet à long terme sur les AGC et le bois mort.

**Mots-clés :** biomasse aérienne, biomasse souterraine, bois morts, forêt à Diptérocarpées, litière, forêts tropicales exploitées, carbone organique du sol, Bornéo.

Towards better estimates of carbon stocks  
in Borneo's logged-over Dipterocarp forests

## ABSTRACT

Tropical forests are a major reservoir of biodiversity and carbon (C), playing a pivotal role in global ecosystem function and climate regulation. However, most tropical forests, especially Borneo's forests in Southeast Asia, are under intense pressure and threatened by human activities such as logging, mining, agriculture and conversion to industrial plantations. Selective logging is known to reduce both above- and below-ground biomass by removing selected large trees, while increasing deadwood stocks through collateral logging damage and creating large gaps in the canopy. The extent of incidental damage, canopy opening and the rate of C recovery were shown to be primarily related to logging intensity. This thesis assesses the long-term effects of logging intensity on five main C pools in Dipterocarp forests in northern Borneo (Malinau District, North Kalimantan) along a logging intensity gradient ranging from 0 to 57% of initial biomass removed in 1999/2000. Our results showed that total C stocks 16 years after logging ranged from 218-554 Mg C/ha with an average of 314 Mg C/ha. A difference of 95 Mg C/ha was found between low logging intensity (< 2.1% of initial biomass lost) and high logging intensity (> 19%). Most C (approx. 77%) was found in living trees, followed by soil (15%), deadwood (6%) and a small fraction in litter (1%). The imprint of logging intensity was still detectable 16 years after logging. Logging intensity was thus shown to be the main driver explaining the reduction of AGC<sub>20</sub>, BGC<sub>20</sub>, in deadwood and total C stocks and an increase in deadwood. Our results quantify the long-term effects of logging on forest C stocks, especially in AGC and deadwood. High logging intensity (50% reduction of initial biomass) reduced total C stocks by 27%. AGC recovery was lower in high logging intensity plots, suggesting lowered forest resilience to logging. Our study showed that keeping logging intensity below 20% of the initial biomass can limit the long-term effects of logging on AGC and deadwood stocks.

**Keywords:** Above-ground biomass, below-ground biomass, deadwood, Dipterocarp forests, litter, tropical logged forests, soil organic carbon, Borneo.

Hacia mejores estimaciones de las reservas  
de carbono en los bosques de dipterocarpos  
de Borneo explotados

## RESUMEN

Los bosques tropicales son una importante reserva de biodiversidad y carbono (C), desempeñando un papel fundamental en la función de los ecosistemas mundiales y la regulación del clima. Sin embargo, la mayoría de los bosques tropicales, especialmente los bosques de Borneo en el sudeste asiático, están bajo una intensa presión y están amenazados por actividades antropogénicas como la tala, la industria minera, la agricultura y la conversión a plantaciones industriales. Se sabe que la tala selectiva reduce la biomasa por encima y por debajo del suelo mediante la eliminación de algunos árboles grandes, al tiempo que aumenta las reservas de madera muerta a través de daños colaterales y crear grandes huecos en el dosel forestal. Se ha demostrado que la magnitud de los daños incidentales, la apertura del dosel y la velocidad de recuperación de C, están relacionados principalmente con la intensidad de la tala. El objetivo de la presente tesis es evaluar el efecto a largo plazo de la intensidad de la tala en cinco repositorios principales de C en un bosque de Dipterocarpo del norte de Borneo (Distrito de Malinau, Kalimantan del Norte) a lo largo de un gradiente de intensidad de tala (del 0 al 57% de biomasa inicial extraída) talado en 1999/2000. Nuestros resultados muestran que la cantidad total de C 16 años después de la tala oscila entre 218-554 Mg C/ha, con 314 Mg C/ha de promedio. Se encontró una diferencia de 95 Mg C/ha entre la intensidad de tala baja (< 2,1 % de la pérdida de biomasa inicial) y la intensidad de tala alta (> 19 %). La mayor parte de C (aprox. 77 %) se encontró en árboles vivos, seguida de suelo (15 %), madera muerta (6 %) y una fracción mínima en la hojarasca (1 %). La huella de la intensidad del registro aún era detectable 16 años después del registro. Se demostró así que la intensidad de la tala era el principal factor que explicaba la reducción de AGC<sub>20</sub>, BGC<sub>20</sub>, de la madera muerta y del total de C y el aumento de la madera muerta. Nuestros resultados cuantifican el efecto a largo plazo de la tala en los repositorios forestales de C, especialmente en AGC y madera muerta. La alta intensidad de tala (reducción del 50 % de la biomasa inicial) redujo la cantidad total de C en un 27 %. La recuperación de AGC fue menor en las parcelas de alta intensidad de tala, lo que sugiere una menor resistencia de los bosques a la tala. Nuestro estudio demuestra que mantener la intensidad de tala por debajo del 20 % de la biomasa inicial limita el efecto a largo plazo de la tala en AGC y cantidad de madera muerta.

**Palabras clave:** biomasa por encima del suelo, biomasa por debajo del suelo, madera muerta, bosques de dipterocarpo, hojarasca, bosques tropicales talados, carbono orgánico del suelo, Borneo.



Doi : [10.19182/bft2020.345.a31940](https://doi.org/10.19182/bft2020.345.a31940)

Droit d'auteur © 2020, Bois et Forêts des Tropiques © Cirad  
Date de publication : 1<sup>er</sup> novembre 2020



Licence Creative Commons :  
Attribution - Pas de Modification 4.0 International.  
Attribution-4.0 International (CC BY 4.0)

**Photo 1.**

A typical commercial tree species of Dipterocarps in Bornean lowland forests. The species can reach 2 m in diameter at breast height (DBH) or above the buttress, 100 m in height, and 40 m of crown diameter. Photo by A. H. Rozak (Berau, 2015).

**Photo 1.**

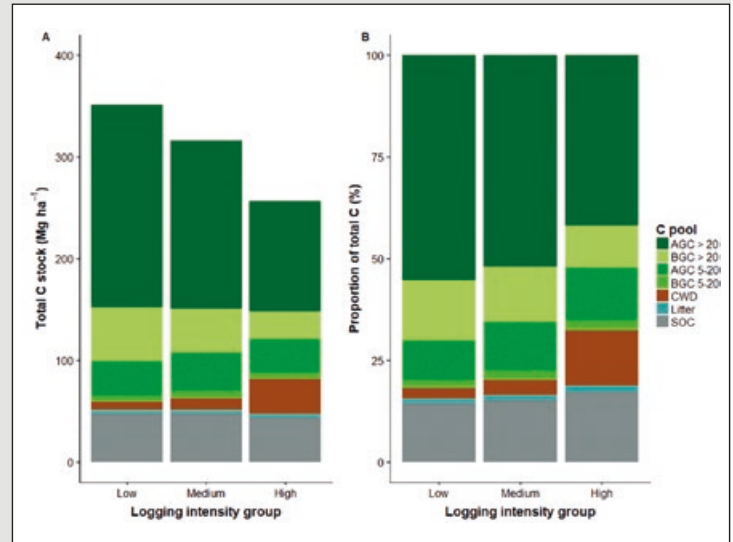
Une espèce d'arbre commerciale typique de diptérocarpes dans les forêts des basses terres de Bornéo. L'espèce peut atteindre 2 m de diamètre de hauteur de poitrine (DBH) ou au-dessus du contrefort, 100 m de hauteur, et 40 m de diamètre de houppier.

Photo par A. H. Rozak (Berau, 2015).

**Foto 1.**

Una especie arbórea comercial típica de diptérocarpos en los bosques de las tierras bajas de Borneo. La especie puede alcanzar los 2 m de diámetro de la altura del pecho (DBH) o por encima del contrafuerte, 100 m de altura y 40 m de diámetro de copa.

Foto de A.H. Rozak (Berau, 2015).

**Figure 1.**

Stocks of C totaux (A) et leur proportion (B) pour chaque réservoir de C dans différents groupes d'intensité d'exploitation 16 ans après exploitation. L'intensité d'exploitation forestière a été regroupée en 3 classes correspondant respectivement aux 0-33<sup>e</sup> (0-2,1%), 34-66<sup>e</sup> (2,1-19%) et 67-100<sup>e</sup> (19-57%) percentiles de la distribution d'intensité d'exploitation forestière. Les stocks et les proportions de AGC<sub>>20</sub>, BGC<sub>>20</sub>, AGC<sub>5-20</sub>, BGC<sub>5-20</sub>, de bois mort et de litière ont été établis à partir de la moyenne de 28 sous-parcelles, alors que le SOC a été établi à partir de 15 sous-parcelles. Les barres d'erreur indiquent un écart-type de la moyenne.

**Figure 1.**

Total C stocks (A) and their proportion (B) for each pool in different logging intensity groups 16 years after logging. Logging intensity was grouped into 3 classes corresponding to 0-33<sup>rd</sup> (0-2.1%), 34-66<sup>th</sup> (2.1-19%), and 67-100<sup>th</sup> (19-57%) percentiles of the logging intensity distribution, respectively. The stocks and proportions of AGC<sub>>20</sub>, BGC<sub>>20</sub>, AGC<sub>5-20</sub>, BGC<sub>5-20</sub>, deadwood, and litter were averaged from 28 subplots, and SOC from 15 subplots. Error bars indicate one standard error of the mean.

**Figura 1**

Cantidad total de C (A) y su proporción (B) para cada repositorio en diferentes grupos de intensidad de tala 16 años después de la tala. La intensidad de tala se agrupó en 3 clases correspondientes a los percentiles 0-33 (0-2.1%), 34-66 (2.1-19%) y 67-100 (19-57%) de la distribución de intensidad de tala, respectivamente. La cantidad y proporciones de AGC<sub>>20</sub>, BGC<sub>>20</sub>, AGC<sub>5-20</sub>, BGC<sub>5-20</sub>, madera muerta y hojarasca se promediaron para 28 subparcelas, y SOC para 15 subparcelas. Las barras de error indican el error estándar de la media.

**Publication :**

Rozak A. H., Rutishauser E., Raulund-Rasmussen K., Sist P., 2018. The imprint of logging on tropical forest carbon stocks: A Bornean case-study. *Forest Ecology Management*, 417: 154-166. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.03.007>

**Grade et diplôme :** Docteur en Écologie et Biodiversité

**Université :** AgroParisTech (France) et Université de Copenhague (Danemark)

**Date de soutenance :** 29 novembre 2018

**Direction :** Plinio SIST (Directeur de thèse, CIRAD, AgroParisTech) et Karsten RAULUND-RASMUSSEN (Co-directeur de thèse, Université de Copenhague)

**Composition du jury**

**Président :** Alexia STOKES (Directeur de Recherche, INRA, France)

**Rapporteurs :** Michelle Amy PINARD (Professeur, Université d'Aberdeen, Royaume-Uni), Yves LAUMONIER (Chercheur, CIFOR, Indonésie)

**Examineurs :** Markku KANNINEN (Professeur, Université de Helsinki, Finlande), Thomas NORD-LARSEN (Professeur Associé, Université de Copenhague, Danemark)

**Langue de rédaction :** Anglais

**Access au manuscrit :** <http://agritrop.cirad.fr/591115/>

**Contact :**

CIRAD, UR Forêts et Sociétés, TA C-105 Campus International de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5, France  
Research Center for Plant Conservation and Botanic Gardens, Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Cibodas Botanic Gardens, Jl. Kebun Raya Cibodas, Cipanas, Cianjur, West Java 43253, Indonesia  
**E-mail :** [andes.hamuraby.rozak@lipi.go.id](mailto:andes.hamuraby.rozak@lipi.go.id)