

# Rendement des fours traditionnels de production de charbon à *Acacia auriculiformis* et *A. mangium* sur le plateau des Batéké, RD Congo

J. SEMEKI NGABINZEKE<sup>1\*</sup>, E YUSUFU KACHAKA<sup>1,2</sup>, R DAASSI<sup>2</sup>, C BASUSU MASIMO<sup>1</sup>, M KANI KANI<sup>3</sup>, J LEJOLY<sup>3</sup>

(Reçu le 17/07/2024; Accepté le 09/09/2024)

## Résumé

Ce travail a été mené dans le but d'évaluer le rendement en charbon de bois des fours traditionnels installés à Ibi Village sur le plateau des Batéké, en République démocratique du Congo. Plus spécifiquement, il s'agissait de comparer les rendements de deux espèces d'*Acacia* (*Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium*), et de déterminer les facteurs qui influencent leur rendement. Au total, 30 fours ont été évalués, parmi lesquelles, 15 fours à *Acacia auriculiformis* et 15 autres à *Acacia mangium*. Les résultats obtenus montrent que les fours à *A. mangium* ont présenté un rendement significativement plus élevé (21,0 %) que ceux à *A. auriculiformis* (17,1 %). Les régressions linéaires ( $R^2 = 0,96$  et  $R^2 = 0,88$ , respectivement pour l'*A. auriculiformis* et l'*A. mangium*) ont permis d'identifier les variables qui influencent significativement les rendements, à savoir, le volume de bois empilé dans le four, la surface de celui-ci, la masse totale du charbon de bois produit ainsi que la réduction des pertes (charbon de bois incuits). Ces facteurs dépendent en grande partie des compétences du charbonnier en ce qui concerne le montage des fours ainsi que le suivi du processus de carbonisation.

**Mots-clés:** charbon de bois, four traditionnel, rendement, carbonisation, Ibi Village, Plateau des Batéké

## Yields of traditional *Acacia auriculiformis* and *A. mangium* charcoal kilns on the Batéké Plateau, DR Congo

### Abstract

The objective of this study was to assess the charcoal yield of traditional kilns installed at Ibi Village on the Batéké Plateau, in the Democratic Republic of Congo. More specifically, the objective was to compare the yields of two *Acacia* species (*Acacia auriculiformis* and *Acacia mangium*), and to determine the factors influencing their performance. A total of 30 kilns were evaluated, including 15 *Acacia auriculiformis* and 15 *Acacia mangium* kilns. The results show that *A. mangium* kilns had a significantly higher yield (21%) than *A. auriculiformis* kilns (17.1%). Linear regressions ( $R^2 = 0.96$  and  $R^2 = 0.88$ , respectively for *A. auriculiformis* and *A. mangium*) identified the variables that significantly influence yields, namely, the volume of wood stacked in the kiln, the surface area of the kiln, the total mass of charcoal produced, and the reduction of losses (uncooked charcoal). These factors largely depend on the charcoal-maker's skills in setting up the kilns and monitoring the carbonization process.

**Keywords:** charcoal, traditional kiln, yield, carbonization, Ibi Village, Batéké Plateau

## INTRODUCTION

En République démocratique du Congo (RDC), comme dans de nombreux autres pays africains, les ménages dépendent fortement du bois-énergie pour leurs besoins quotidiens en énergie de cuisson (Rodrigues et Junior, 2019; Mwampamba *et al.*, 2023). À Kinshasa, capitale de la RDC, qui abrite plus de 12 millions d'habitants (Shomba *et al.*, 2015), près de 85 % de la population utilise le charbon de bois comme source d'énergie (Schure *et al.*, 2011). Malgré son immense potentiel hydroélectrique, le pays accuse un faible taux d'électrification, estimé à 9% en moyenne, avec une desserte en milieux urbains de près de 19% (Belani *et al.*, 2023). Ce déficit d'accès à l'électricité, contraint la population de la ville de Kinshasa à ne dépendre en grande partie que du charbon de bois (appelé *Makala* en lingala) pour satisfaire ses besoins de cuisson. Ainsi, la consommation domestique journalière en charbon de bois est estimée à 0,52 kg dans la ville de Kinshasa, soit l'équivalent annuel en bois rond de 24,7 millions de m<sup>3</sup> (Dubiez *et al.*, 2022). Pourtant, malgré son rôle prépondérant comme l'une des principales sources de revenus des populations périurbaines (Schure *et al.*, 2010), la production de bois-énergie avec l'agriculture itinérante sur brûlis, restent les premiers moteurs de la déforestation et de dégradation des forêts en RDC (Molinario *et al.*, 2015; Péroche *et al.*, 2019). Ce changement est d'autant plus ressenti à Kinshasa avec bassin d'approvisionnement en charbon de bois qui

couvre la partie Sud-est (Kongo-Central) et Est sur le plateau des Batéké et qui s'étend sur plus de 200 km le long des routes (Schure *et al.*, 2010). Environ 40% du charbon de bois consommé à Kinshasa, provient du plateau des Batéké (Gazull *et al.*, 2020). Il est surtout produit dans les savanes arbustives, les jachères secondaires et les galeries forestières constituant ainsi, le front de déforestation (Mengevand *et al.*, 2013; Gond *et al.*, 2016).

Pour pallier ce problème de demande accrue en charbon de bois à Kinshasa, et de la dégradation des écosystèmes savanicoles et forestiers, des projets de boisement et d'agroforesterie ont été initiés depuis 1980 sur le plateau des Batéké, dans le but de développer une filière durable en bois-énergie. C'est le cas du projet agroforestier de Mampu, du projet Makala (2009-2013) et Ibi Village (Bisiaux *et al.*, 2009; Péroches *et al.*, 2019; Belani *et al.*, 2023). L'*Acacia auriculiformis* et l'*Acacia mangium*, sont les principales espèces utilisées pour la production de charbon de bois à Kinshasa (SalvaTerra, 2014). La plupart de charbonniers, utilisent en effet, des fours traditionnels pour produire le charbon de bois. Pourtant, ces fours en raison de leur faible technologie, produisent des faibles rendements de 10 à 22% en masse (Rodrigues et Junior, 2019), nécessitant davantage de matière ligneuse pour satisfaire la demande (Schure *et al.*, 2021). L'amélioration de l'efficacité du processus de carbonisation influe positivement sur la préservation des arbres et la déforestation. Raison pour

<sup>1</sup> Département de gestion des ressources naturelles, Centre de recherche en foresterie et biodiversité tropicales, Faculté des Sciences agronomiques et environnement, Université de Kinshasa, RDC

<sup>2</sup> Département des sciences du bois et de la forêt, Centre d'étude de la forêt, Faculté de foresterie, géographie et géomatique, Université Laval, Québec, Canada

<sup>3</sup> GI Agro, Ibi Village, plateau des Batéké, RDC

laquelle, la RDC a actuellement l'ambition de développer des techniques de carbonisation à haut rendement pour accroître la qualité et le rendement du charbon de bois en plantation (MECNT, 2020). Cela nécessite d'investir davantage dans l'amélioration continue des fours et la maîtrise du processus de carbonisation par les charbonniers locaux. En effet, le rendement et la qualité du charbon de bois sont, entre autres, liés à la qualité du bois, au type de four de carbonisation ainsi qu'au contrôle du processus de carbonisation (Rodrigues et Junior, 2019). Pourtant, l'efficacité du processus de carbonisation demeure un paramètre primordial pouvant contribuer à rendre plus durable la filière charbon de bois (Schure *et al.*, 2019; 2021). Mais, il existe peu d'informations quantitatives et qualitatives sur les rendements des fours traditionnels utilisés à Ibi Village.

Les charbonniers venant de Kinshasa ou locaux, acquièrent des lopins de terre boisés avec *Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium* pour faire la carbonisation avec des fours traditionnels. La connaissance des rendements de ces fours permettrait d'estimer l'efficacité du processus de carbonisation ainsi que d'identifier les moyens de les améliorer et de réduire les pertes. Cette étude a été ainsi initiée pour évaluer la productivité des fours traditionnels de deux espèces d'*Acacia* communément utilisées pour produire le charbon de bois à Ibi ainsi que sur le plateau des Batéké de manière générale. En particulier, il s'agit d'identifier les facteurs qui influencent les rendements des fours traditionnels des charbonniers de Ibi Village.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

### Milieu d'étude

L'étude a été menée à Ibi Village, sur le plateau des Batéké, à environ 120 km à l'Est de Kinshasa entre 4°19' et 4°25'S, et 16°4' et 16°9'E (Figure 1) (NOVACEL, 2006). Le site s'étend sur un périmètre de près 4200 ha destiné à développer les plantations d'agroforesterie (SalvaTerra, 2014). Le climat tropical chaud humide du type AW4 d'après la classification de Köppen, se caractérise par une pluviosité annuelle de 1500 mm et une température moyenne annuelle de 24,5°C (Lubalega *et al.*, 2017). La végétation est essentiellement constituée des savanes herbeuses à dominance d'*Hymenocardia acida*, établie sur un sol sableux acide dérivé de la série des sables ocres du Kalahari (Nsombo *et al.*, 2016). Environ, 2000 ha sont boisés avec les espèces à croissance rapide dont, *Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium*, représentent près de 90% de la plantation (Lele, 2016). Initialement prévu pour un puit de carbone, ces plantations sont actuellement dédiées à la production de charbon de bois pour alimenter la ville de Kinshasa. Les producteurs (locaux et allochtones) achètent des lopins de terres boisées pour faire la carbonisation, avec des fours traditionnels.

### Collecte des données

La collecte des données a été faite à partir de 30 fours traditionnels dont 15 fours d'*Acacia auriculiformis* et 15 autres d'*Acacia mangium*, et ce, durant la période allant du 07 septembre au 15 octobre 2022. Les fours ont été sélectionnés

### Localisation de la concession d'Ibi-Village en République Démocratique du Congo

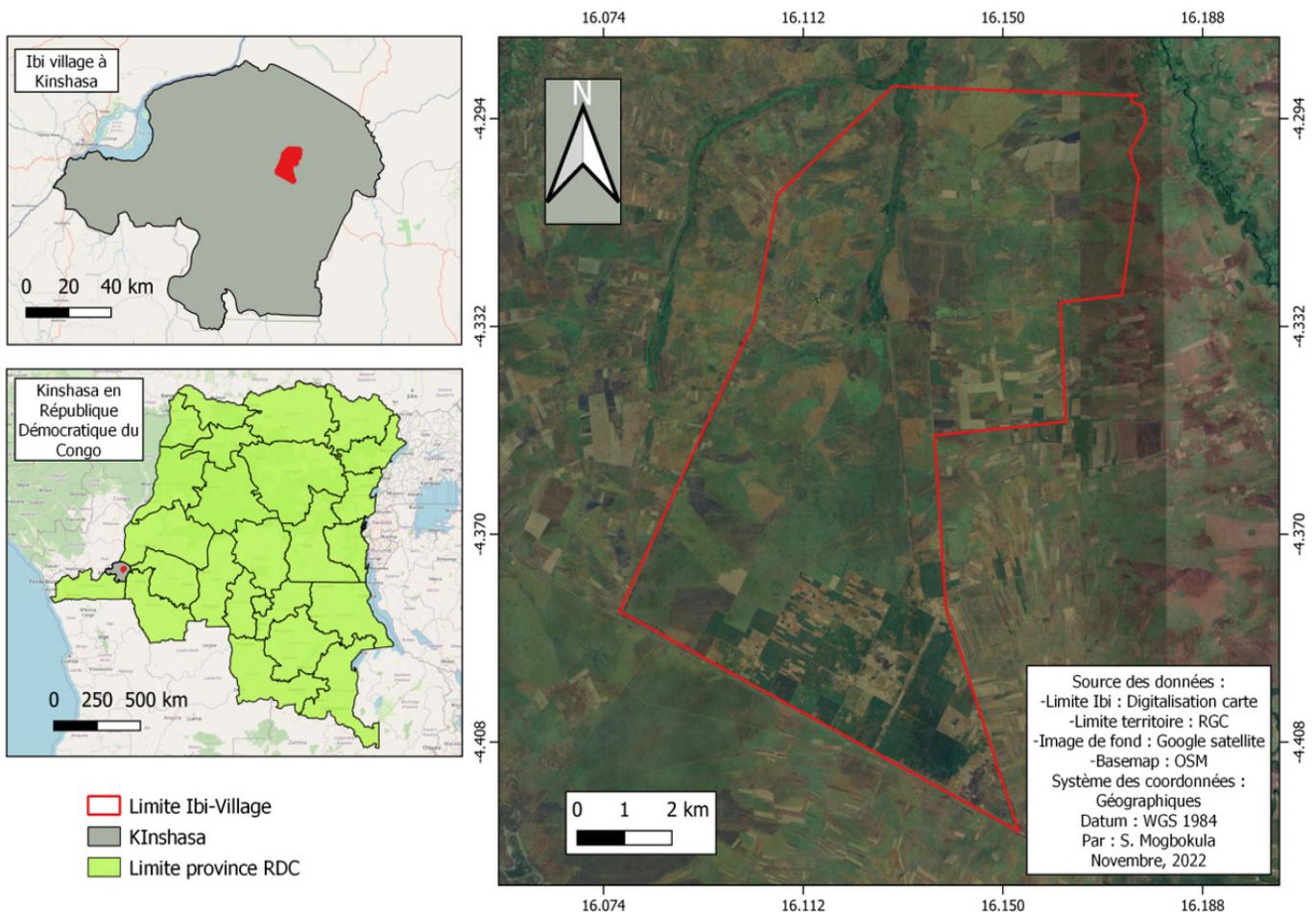


Figure 1: Localisation du domaine d'Ibi Village en République démocratique du Congo

tionnés selon la disponibilité des charbonniers qui ont eu à donner leur consentement avant de procéder à la collecte des données. Différentes mesures ont été effectuées pour évaluer le rendement de la carbonisation des fours sélectionnés, incluant les calculs du volume de bois empilé, de la surface du four, de la masse d'un stère de bois, le taux d'humidité, le nombre de sacs produits et les incuits.

Avant l'enfournement, la longueur, la largeur et la hauteur de chaque four ont été mesurées à l'aide d'un décimètre. Ces informations ont permis de déduire le volume de bois empilé en utilisant la formule suivante:  $L \times l \times h$  où L=longueur, l=largeur et h=hauteur (Abourachid, 2022). La surface d'un four a été obtenue à l'aide de la formule suivante:  $L \times l$ .

Pour estimer la masse d'un stère de bois, un four à *Acacia auriculiformis* a été choisie pour ses caractéristiques moyennes (mélange de rondins de divers diamètres). Un mètre a été utilisé pour marquer les limites d'un stère au marqueur. Le stère a été découpé à l'aide d'une tronçonneuse. Le bois coupé a été extrait du four, puis pesé avec un dynamomètre à ressort fixé à une potence en bois. Pour *Acacia mangium*, les travaux de Chowdhury *et al.* (2005) et de Tonouhéwa *et al.* (2020) ont servi de références. Ces auteurs ont relevé que l'*Acacia mangium* présente une densité d'environ 88% de celle d'*Acacia auriculiformis* au même âge.

Le taux d'humidité du bois a été obtenu à l'aide d'un hygromètre numérique inséré à l'intérieur des bûches de bois de différents diamètres, prélevés aléatoirement dans sept à dix bûches pendant l'enfournement, afin d'obtenir une valeur moyenne (Schure *et al.*, 2021). Après le défournement, un dixième du nombre de sacs produits a été choisi de manière aléatoire pour être pesés au niveau de chaque four afin d'aider à calculer les rendements.

Par la suite, tous les charbons de bois incuits produits dans chaque four ont été rassemblés puis pesés à l'aide du dynamomètre. Cela pour faire partie de la formule servant à calculer le rendement. Enfin, pour chaque four, le rendement et la masse anhydre des bois empilés ont été calculés en utilisant les formules issues des travaux de Girard (1992) et Schenkel *et al.* (1997) comme suit:

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Masse totale du charbon produit}}{\text{Masse anhydre de la meule} - \text{Masse d'incuits}} \times 100$$

$$\text{Masse anhydre des bois empilés} = \text{Masse humide} \times \left(1 - \frac{\text{Humidité}}{100}\right)$$

### Analyses statistiques

Le logiciel R (version 4.2.3) a été utilisé pour effectuer une analyse de variance (ANOVA). Les données ont fait l'objet d'une vérification pour la normalité des résidus et l'homoscédasticité. Les tests de comparaison LSD (Least significant difference) ont permis de comparer les différences entre les moyennes des variables mesurées au seuil de 5%. Les figures ont également été créées à l'aide du logiciel R en utilisant le package ggplot2. La régression linéaire construite après vérification de l'absence de colli-

néarité entre variables explicatives ainsi que la vérification des postulats de la régression linéaire a permis d'examiner la relation existante entre les rendements en charbon de bois de deux espèces d'*Acacia* avec les différentes variables pouvant les influencer. La régression linéaire utilisée est la suivante:  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon_i$  [où:  $Y_i$ : Variable dépendante (Rendement en charbon de bois),  $\beta_0$ : coefficient, ordonné à l'origine,  $X_1..n$ : variables explicatives (volume de bois, surface du four, humidité du bois, masse totale de charbon de bois obtenue, masse des incuits, masse des charbons de taille fine),  $\beta_1..n$ : coefficient de la pente,  $\epsilon_i$ : terme d'erreur.

## RÉSULTATS

### Caractéristiques et productions des fours

Le tableau 1 reprend les caractéristiques et les quantités de charbon de bois produites par les 30 fours évalués dans le cadre de cette étude. Les volumes de bois empilés dans les fours à *A. auriculiformis* sont significativement plus importants que ceux à *A. mangium* ( $P=0,04$ ). La même tendance a été observée concernant la masse totale de charbon de bois, bien que la différence ne soit pas significative ( $P=0,0507$ ). Les bois d'*Acacia mangium* présentent des teneurs plus élevées en humidité par rapport à ceux d'*A. auriculiformis* ( $P<0,001$ ). Les quantités de charbon de bois incuits ne sont pas significativement différents entre les deux espèces d'*Acacia* mais, les fours à *Acacia auriculiformis* ont produit plus de masse fine de charbon de bois que celles d'*Acacia mangium* ( $P<0,001$ ).

### Rendements des fours pour les deux espèces

La Figure 2 illustre les rendements en charbon de bois de deux espèces d'*Acacia* étudiées. Les fours à *A. mangium* avec une productivité de 21 %, présentent des rendements significativement supérieurs ( $P = 0.01$ ) par rapport à ceux à *A. auriculiformis* (17%).

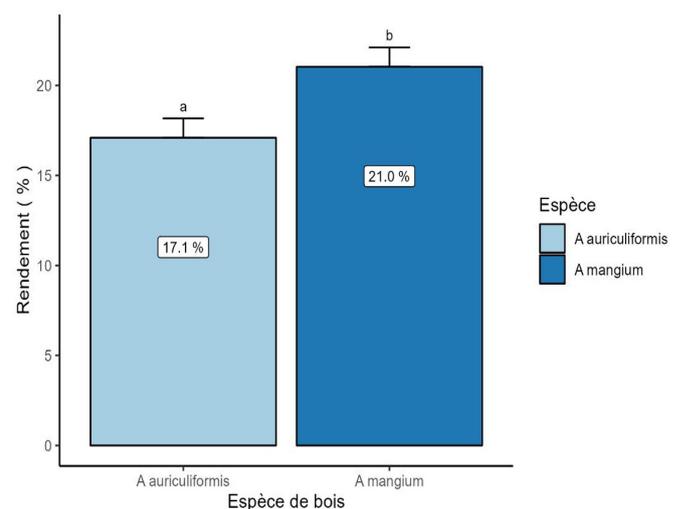


Figure 2: Rendements en charbon de bois des fours de deux espèces d'*Acacia*

Tableau 1: Caractéristiques et productions des fours pour les deux espèces d'*Acacia*

Fours	N	Volume de bois empilé (m <sup>3</sup> )	Surface du four (m <sup>2</sup> )	Humidité (%)	Masse totale de charbon obtenu (kg)	Masse des incuits (kg)	Masse fine (kg)
<i>Acacia auriculiformis</i>	15	61,6 ± 6,8 a	46,4 ± 0,2 a	12,6 ± 0,2 a	4753 ± 582 a	494 ± 106 a	2214 ± 317 a
<i>Acacia mangium</i>	15	40,8 ± 6,8 b	32,4 ± 0,2 b	14,7 ± 0,2 b	3068 ± 582 a	421 ± 106 a	1322 ± 317 b

Les moyennes partageant la même lettre ne sont pas statistiquement différentes (LSD,  $P<0,05$ ). Moyennes et erreur-types, N = effectifs

**Facteurs influençant les rendements**

La régression linéaire ( $R^2=0,96$ ) sur les rendements des fours à *A. auriculiformis* a révélé que le volume de bois ( $P=0,000264$ ), la masse totale de charbon de bois ( $P<0,001$ ) et la surface des fours ( $P=0,0096$ ), sont des facteurs qui influencent significatives le rendement des fours à *A. auriculiformis* (Figure 3).

Pour ce qui est des fours à *A. mangium*, la régression linéaire ( $R^2 = 0,88$ ) a montré que le volume de bois ( $P=0,035$ ), la masse totale de charbon de bois ( $P=0,00875$ ), ainsi que la masse de charbon de bois incuits ( $P=0,033$ ) constituent des facteurs qui influencent significativement le rendement des fours à *A. mangium* (Figure 4).

**DISCUSSION**

**Caractéristiques et rendements des fours**

Les valeurs des rendements obtenus lors de cette étude (17,1 % et 21,0 %) sont en accord avec les conclusions de Muninathan *et al.* (2020) qui rapportent que les fours traditionnels ont de faibles rendements, généralement compris entre 15 et 20 %. D'autres auteurs ont également rapporté de faibles rendements obtenus à partir des fours traditionnels. Schure *et al.* (2021), par exemple, ont rapporté un rendement de 22 % pour des fours traditionnels améliorés (avec et sans cheminée) auprès des communautés structurées dans le paysage de Yangambi, en RDC. A Ibi Village, les fours à *Acacia mangium* ont permis

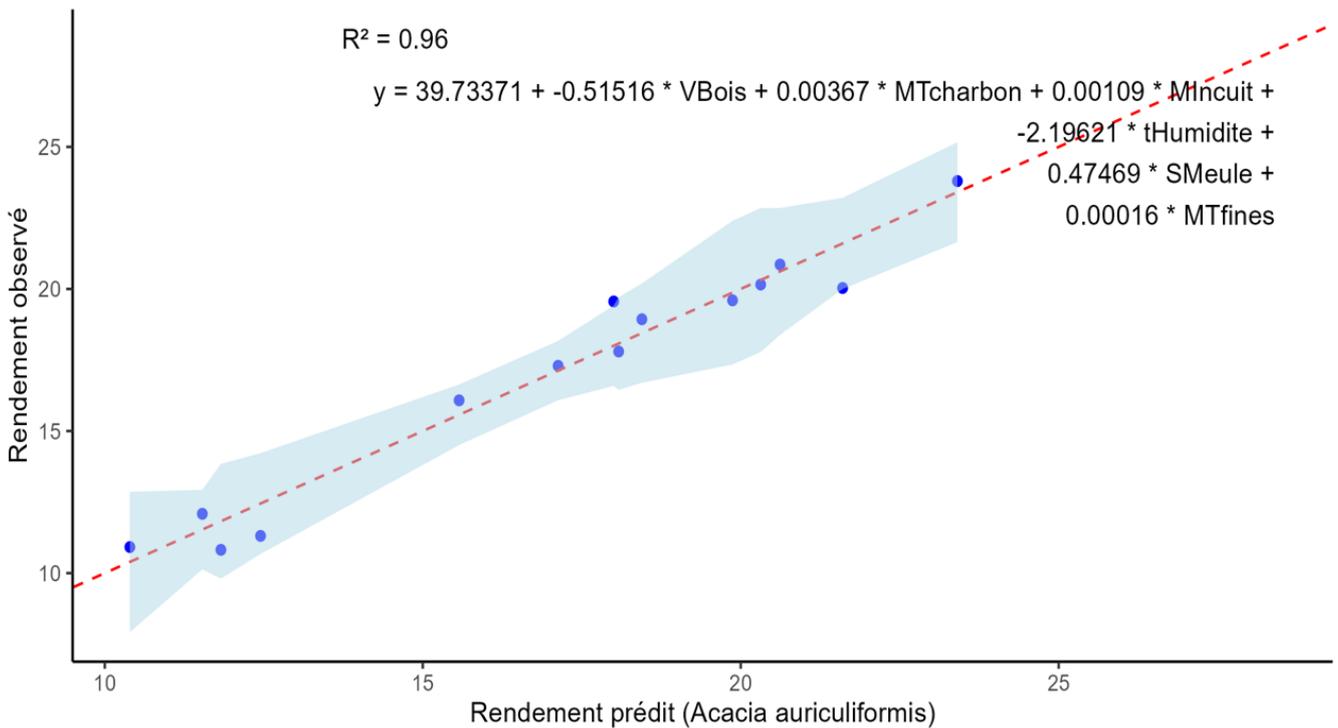


Figure 3: Modèle de régression linéaire pour les fours à *A. auriculiformis*

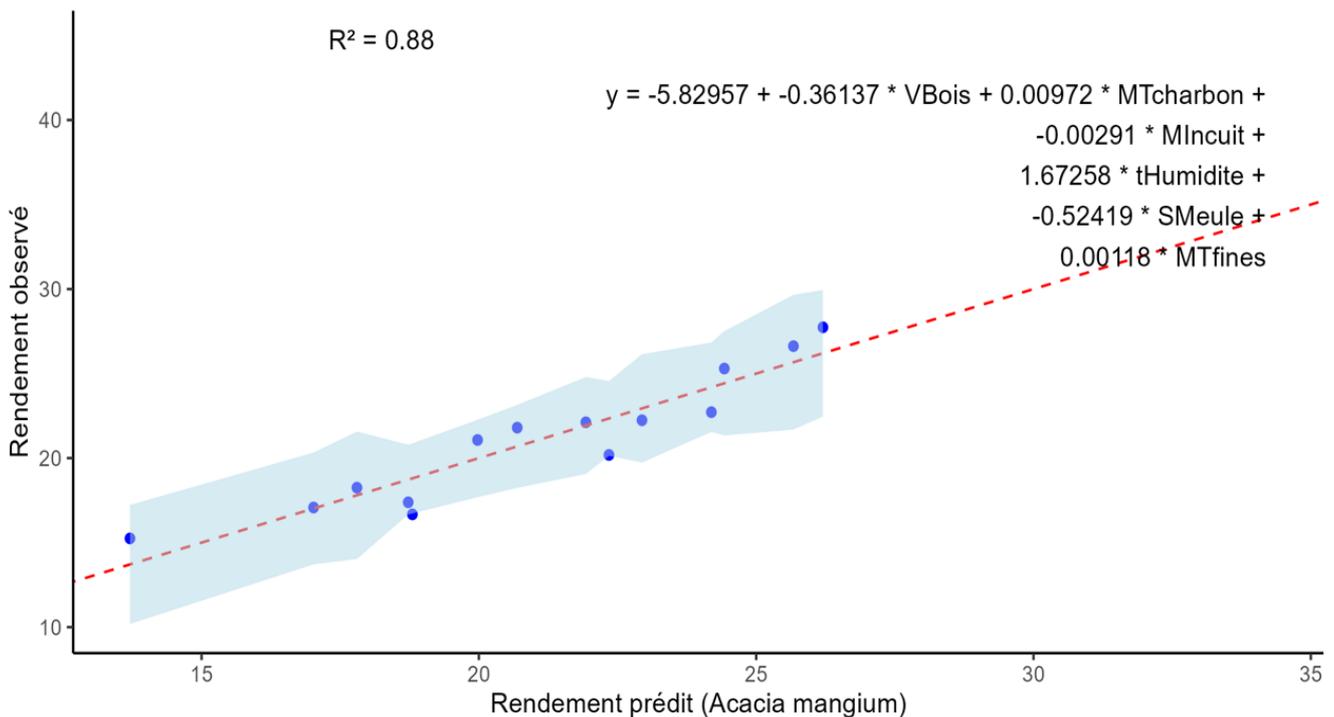


Figure 4: Modèle de régression pour les fours à *A. mangium*

d'obtenir des rendements plus élevés que les fours à *A. auriculiformis*. Pourtant, les fours à *A. auriculiformis* ont présenté de plus grands volumes de bois, mais aussi, plus de masse totale de charbon de bois. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que ces fours ont eu à enregistrer plus de pertes (masse de charbon de bois incuits et masse de charbon de bois de taille fine) que ceux à *A. mangium*. Il arrive en effet que la combustion à l'intérieur des fours ne soit pas uniforme en raison des pertes de chaleur pouvant s'y produire ou encore des incendies (Gomaa et Fathi, 2000; Muminathan *et al.*, 2020). À l'issue du processus de combustion, ce sont les morceaux de charbon de bois de bonnes tailles qui peuvent être vendus sur le marché, les morceaux trop fins et la poudre ne sont pas pris en compte (Kammen et Lew, 2005; Kajina *et al.*, 2019). Il peut également se produire des fragmentations de charbon de bois lors du défournement, car la plupart de ces fours traditionnels sont dépourvus d'instruments permettant de contrôler le processus, ce qui impact négativement sur le rendement (Kajina *et al.*, 2019).

## Facteurs pouvant influencer les rendements des fours

### Volume de bois empilé et surface du four

Une carbonisation efficace dépend de nombreux facteurs, notamment l'expérience et les compétences du charbonnier (Kammen et Lew, 2005). En effet, la construction efficace des fours, le séchage du bois, la disposition appropriée du bois ainsi que le suivi du processus de carbonisation qui dure environ 10 à 15 jours exigent des aptitudes de la part du charbonnier (Schure *et al.*, 2019).

Un charbonnier expérimenté saura déterminer le volume de bois convenable à la taille du four dont il dispose. Dans le cas de la présente étude, comme mentionné plus haut, les charbonniers présentent des compétences et des moyens différents. La plupart d'entre eux accusent un déficit sur les techniques durables de montage des fours et de la carbonisation améliorée. Les faibles rendements obtenus par les charbonniers pourraient être liés à leur manque d'expérience en raison du fait que plusieurs sont novices dans le secteur et viennent récemment d'être installés sur le site.

Certains fours avaient moins de 75 m<sup>3</sup> de volume de bois empilé alors que d'autres pouvaient aller au-delà de 100m<sup>3</sup> de volume de bois. De même, les surfaces des fours ont varié énormément, allant de 7,4 m<sup>2</sup> à 63,6 m<sup>2</sup>. Les régressions linéaires ont révélé que le volume de bois avait un impact négatif sur le rendement (coefficients négatifs: -0,51 et -0,36, respectivement pour les fours à *A. auriculiformis* ainsi que celles à *A. mangium*), ce qui signifierait que certains fours auraient reçu trop de bois par rapport à leur capacité. Aussi, la durée du processus de carbonisation semblerait ne pas avoir été optimale, empêchant ainsi une carbonisation efficace. Malheureusement, il n'a pas été possible d'obtenir de données sur la durée du processus de carbonisation pour chacun des fours. Cette information aurait pu aider à déterminer le temps optimal pour une carbonisation efficace. Seulement, un grand nombre de charbonniers réduisent la durée de la carbonisation afin de vendre plus rapidement le charbon de bois pour subvenir à leurs besoins, ce qui pourrait avoir une influence sur le rendement de la carbonisation obtenue par la plupart de charbonniers enquêtés.

### Humidité, masse totale de charbon de bois obtenu et pertes

Pour être efficace, la carbonisation dépend de la qualité du four utilisé, mais aussi d'autres facteurs comme les propriétés du bois, incluant son niveau d'humidité, sa densité ainsi que les diamètres des bûches et leur arrangement dans le four (Kammen et Lew, 2005; Schure *et al.*, 2019). Les résultats obtenus à Ibi village montrent que l'humidité du bois n'a pas eu d'effet significatif sur les rendements en charbon de bois. Une évaluation des rendements de fours traditionnels à Yangambi, en RDC, a révélé que des bois ayant une humidité de 35 % avaient donné des rendements en charbon de bois de 12,8 % (Schure *et al.*, 2019). L'humidité des bois relevée dans la présente étude était bien plus faible (comprise entre 12,0 et 18,3 %) et cela pourrait expliquer que celle-ci n'ait pas eu d'influence sur le processus de carbonisation. Ce constat est appuyé par les conclusions de Wanjira *et al.* (2021) selon lesquels, il est important que les taux d'humidité du bois soient inférieurs à 20 % pour que l'humidité ait peu d'influence sur le processus de carbonisation. La masse totale de charbon de bois a un impact sur le rendement. Les quantités de charbon de bois obtenues à l'issue de cette étude demeurent faibles, et ce, au regard des rendements rapportés ici. Pourtant, une carbonisation ne peut être considérée comme étant efficace uniquement si celle-ci permet de produire une grande quantité de charbon de bois de bonne qualité à partir de la plus petite quantité de bois et de main-d'œuvre (Schure *et al.*, 2019). Concernant les pertes (morceaux de bois incuits ainsi que ceux de taille trop fine), lors du processus de combustion, la température à l'intérieur du four augmente progressivement jusqu'à dépasser 350 °C, moment au cours duquel la décomposition finale du bois se produit. Au-delà de cette température (entre 450 et 550 °C), le rendement en charbon de bois diminue et le charbon de bois commence à se consumer (Gomaa et Fathi, 2000). Bien qu'au cours de cette étude la température n'ait pas été mesurée, ce paramètre pourrait cependant avoir eu un impact sur l'efficacité de la carbonisation, et ce, au regard des charbons de bois incuits ainsi que de ceux ayant une taille trop fine.

## CONCLUSION

Les rendements de 30 fours traditionnels ont été évalués au cours de cette étude. Ces derniers étaient compris entre 17,1 et 21,0 %. Ces faibles rendements témoignent de l'inefficacité du processus de carbonisation tel que pratiqué actuellement par les charbonniers à Ibi village sur le plateau des Batéké. Cet article exploratoire contribue à la connaissance des rendements des fours traditionnels pour la fabrication de charbon de bois de carbonisation et cette démarche constitue une importante étape dans le processus d'amélioration de cette pratique. Les volumes de bois empilés dans les fours ne correspondent pas nécessairement à la capacité des fours et ne permettent pas une carbonisation efficace du bois à l'intérieur de ces derniers. La carbonisation dépend de nombreux facteurs parmi lesquels, les compétences du charbonnier sont nécessaires, car elles lui permettent de mieux construire le four, avec des quantités optimales de bois. De même, ces aptitudes lui permettraient également de suivre le processus de carbonisation et de connaître le moment où a lieu la décomposition optimale du bois. Cela nécessite la mise en place par les gestionnaires du site d'Ibi village d'un mécanisme d'encadrement des charbonniers

sur les techniques de production durable pour les aider à améliorer l'efficacité de la carbonisation. Cette étude a été réalisée grâce aux données directement collectées auprès des charbonniers de Ibi qui travaillent de manière isolée, ce qui est une bonne chose en soi. Cependant, une expérimentation plus contrôlée au cours de laquelle les volumes de bois, la taille des fours ainsi que la durée de la carbonisation auraient été déterminés permettrait de mieux mettre en évidence l'influence des facteurs sur les rendements. En effet, les volumes de bois ainsi que la taille des fours étaient différents d'un four à l'autre et l'information sur la durée de carbonisation pour chacune de ces fours n'a pas été renseignée.

## RÉFÉRENCES

- Abourachid, C. (2022). Étude du système de production de charbon de bois en vue d'une industrialisation à Ibi-Village, plateaux des Batéké, RD Congo. Mémoire de master, Haute École Condorcet, 75p.
- Belani, M.J., Mpanzu, B.P., Ngonde, N.H., Kinkela, S.C. (2023). État des lieux de l'utilisation des énergies de cuisson dans les ménages de Kinshasa: analyse de la substitution du bois-énergie. *Bois et Forêts des Tropiques*, 355: 35-46.
- Bisiaux, F., Peltier, R., Muliele, J.C. (2009). Plantations industrielles et agroforesterie au service des populations des plateaux Batéké, Mampou, en République démocratique du Congo. *Bois et forêts des tropiques*, 301: 21-32.
- Dubiez, E., Péroches, A., Mayimba, C., Gazull, L. (2022). Note de synthèse des études des filières bois-énergie de la ville de Kinshasa en République Démocratique du Congo, Note technique, 4p.
- Gazull, L., Dubiez, E., Akalakou, M.C., Péroches, A. (2020). Rapport d'étude de la consommation en énergies domestiques des ménages de la ville de Kinshasa. Cirad-Cafi, 52 p.
- Girard, P. (1992). Techniques et matériels de carbonisation. Contrôle de performance. *Bois et Forêts des Tropiques* 232:53-65.
- Gomaa, H., Fathi, M. (2000). A simple charcoal kiln. *Proceedings of the ICEHM2000, Giza, Egypt*, 9-12.
- Gond, V., Dubiez, E., Boulogne, M., Gigaud, M., Péroches, A., Pennec, A. (2016). Forest cover and carbon stock change dynamics in the Democratic Republic of Congo: Case of the wood-fuel supply basin of Kinshasa. *Bois et Forêts des Tropiques*, 327: 19-28.
- Kajina, W., Junpen, A., Garivait, S., Kamnoet, O., Keeratiisariyakul, P., Rousset, P. (2019). Charcoal production processes: An overview. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 10:19-25.
- Kammen, D.M., Lew, D.J. (2005). Review of Technologies for the Production and Use of Charcoal. *Renewable and appropriate energy laboratory report*, 1, 19p.
- Lele, B.N. (2016). Potentiel d'amélioration de la fertilité des sols sableux et acides de Kinshasa (RDC) par l'usage du charbon des bois (biochar), de la biomasse végétale et des engrais minéraux. Thèse de doctorat, École régionale post-universitaire d'aménagement et de gestion intégrée des forêts et territoires tropicaux (ERAIFT), 176p.
- Lubalega, T. K., Lubini, C., Ruel, J. C., Khasa, D. P., Ndembo, J., Lejoly, J. (2017). Structure et composition floristique de savanes arbustives en système préservé du feu à Ibi, plateau des Bateke, en République Démocratique du Congo. *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, 9: 20-30
- MECNT (2020). Document de politique forestière en République démocratique du Congo. Document de politique forestière nationale. Ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature et Tourisme, p.27.
- Megevand, C., Sanders, K., Doetinchem, N. (2013). Dynamiques de déforestation dans le bassin du Congo: Réconcilier la croissance économique et la protection de la forêt. Washington, DC: World Bank.
- Molinario, G., Hansen, M. C., Potapov, P. V. (2015). Forest cover dynamics of shifting cultivation in the Democratic Republic of Congo: a remote sensing-based assessment for 2000-2010. *Environmental Research Letters*, 10: 1-15.
- Muninathan, K., Venkataramanan, M., Prabhu, G.A., Vikneshpriya, K., Daarthi, C. (2020). Experimental Investigation of Eco-Friendly and Energy Efficient Auto and Allo Thermal Charcoal Kiln. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 923, No. 1, p. 012067). IOP Publishing.
- Mwampamba, T.H., Herzog, S., Pelletier, J., Kachaka, E.Y., Agyei, F., Aniston, A., Chinder, G., Mabele, M.B., Muvatsi, L.K., Ramilanajoroharivelo, M. (2023). Are policies in Africa conducive to sustainability interventions in the charcoal sector? A preliminary assessment of 31 countries. *Forestry Working Paper* No. 36 Rome, FAO.
- NOVACEL (2006). Puits de carbone d'Ibi en République Démocratique du Congo, Plantation forestière dans la savane du plateau des Batéké. Note de présentation technique et financière, *Nouvelles Sociétés d'Agriculture, Cultures et Élevage*, 27 p.
- Nsombo, M.B., Lumbuenamo, S.R., Aloni, K.J., Lejoly, J., Mafuka, M-M.P. (2016). Effet des plantations d'*Acacia* sp sur les macronutriments primaires des sols sableux d'Ibi village au plateau des Bateke (Kinshasa, République Démocratique du Congo), *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, 6: 20-27.
- Péroches, A., Dubiez, E., Peltier, R., Proce, P., Diowo, S., Yamba-Yamba, T., Vermeulen, C. (2019). Les Plans Simples de Gestion destinés à la production de bois-énergie en périphérie de Kinshasa: la participation et la restauration à l'épreuve du foncier. *Bois et Forêts des Tropiques*, 340: 71-90.
- R Development Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rodrigues, T., Junior, A. B. (2019). Charcoal: A discussion on carbonization kilns. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 143: 1-16.
- SalvaTerra (2014). Carbonisation et commercialisation du makala produit à partir des plantations commerciales du Puits de carbone agroforestier d'Ibi Batéké en périphérie de Kinshasa, République Démocratique du Congo. Rapport final. GIZ, 71p.
- Şchenkel, Y., Bertaux, P., Vanwijberghe, S. Carré, J. (1997). Évaluation de la technique de carbonisation en meule. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 1: 113-124.
- Schure, J., Assembe, M.A., Awono, A., Ingram, V., Lescuyer, G., Sonwa, D., Somorin, O. (2010). L'état de l'art du bois énergie en RDC: Analyse institutionnelle et socio économique de la filière bois énergie. Projet Makala, CIFOR, 103p.
- Schure, J., Ingram, V., Marien, J.N., Nasi, R. Dubiez, E. (2011). Le bois pour les centres urbains en République Démocratique du Congo, le principal produit forestier et énergétique remis à l'ordre du jour de l'agenda politique. CIFOR, n°8, 4p.
- Schure, J., Hubert, D., Ducenne, H., Kirimi, M., Awono, A., Mpututa-Ka-Tito, R., Mumbere, G., Njenga, M. (2021). Carbonisation 2.0: Comment produire plus de charbon de bois tout en réduisant la quantité de bois et d'émissions de gaz à effet de serre? Dossier n° 1. Série de dossiers sur le bois-énergie durable. Projet Gouvernance des paysages multifonctionnels (GML). Bogor, Indonésie et Nairobi, Kenya: CIFOR-ICRAF, 26p.
- Shomba, S.K., Mukoka, F.N., Olela, D.N., Kaminar, T.M., Mbalanda, W. (2015) Monographie de la ville de Kinshasa (2015). Seconde édition. CRDI, UKAID, Kinshasa, pp. 40-41.
- Wanjira, E.O., Kirimi, M., Kinyua, J.G., Koech, G., Siko, I., Bourne, M., Muriuki, J., Sola, P., Njenga, M. (2021). Using improved kilns to produce charcoal in Kenya: A practical guide. Nairobi: World Agroforestry.