

Production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi en République Démocratique du Congo : Professionnalisation des acteurs et dynamique vers les associations pour une exploitation durable des ressources forestières

Nathan Kasanda Mukendi



COMMUNAUTÉ FRANÇAISE DE BELGIQUE
UNIVERSITÉ DE LIÈGE – GEMBLoux AGRO-BIO TECH

**Production de charbon de bois dans la zone rurale de
Lubumbashi en République Démocratique du Congo :
Professionnalisation des acteurs et dynamique vers
les associations pour une exploitation durable des
ressources forestières**

Nathan Kasanda Mukendi

Dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de doctorat en
sciences agronomiques et ingénierie biologique

Promoteur : Prof. Jan Bogaert

Co-Promoteur: Prof. Jules Nkulu Mwine Fyama

Année civile : 2025

© Nathan Kasanda Mukendi, 2025

Citation : Nathan Kasanda Mukendi, 2025. Production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi en République Démocratique du Congo : Professionnalisation des acteurs et dynamique vers les associations pour une exploitation durable des ressources forestières. Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique, 268 p. .

Photos de couverture

L'image de la page de couverture illustre le paysage ainsi que les principales étapes de la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi. Sur la partie supérieure, de gauche à droite : l'abattage des arbres, représenté par la présence de souches au sol ; le rangement du bois en vue de la carbonisation ; à droite, une meule partiellement recouverte de terre, laissant apparaître la paille disposée au-dessus du bois empilé. Sur la partie inférieure, de gauche à droite : une image illustrant la fin du processus de carbonisation, et le charbon de bois conditionné, prêt à être commercialisé.

Abstract

Title: Charcoal Production in the Rural Area of Lubumbashi, Democratic Republic of Congo: Professionalization of Stakeholders and the Shift Towards Associations for Sustainable Forest Resource Management

This doctoral dissertation is part of a study on charcoal production in the rural area of Lubumbashi, considered the main supply basin for the city. This activity faces numerous constraints that affect its sustainability. It is within this context that this study was initiated, with the general objective of analyzing charcoal production in the rural area of Lubumbashi, through a lens of professionalization and the structuring of stakeholders. Following surveys, the monitoring of kilns in the villages of Luisha, Maksem, Mwawa, and Sela, as well as the observation of marketing practices at various points of sale, the socioeconomic analysis revealed that carbonization is the most common economic activity in the rural area of Lubumbashi (50.8%). Professional charcoal producers constitute the majority (58.8%). They are mostly young (average age of 41.3 years), 97% male, and 89.6% non-native to the region. The analysis of the production system showed that professional charcoal producers mainly acquire land through purchase (55%) and hold large plots. The deforestation rate is estimated at 0.05 hectares per month. In the exploitation of forest resources, the majority do not follow any tree-felling criteria, particularly with regard to species selection (55%). The kilns built are large, with an average volume of $46.9 \pm 21.5 \text{ m}^3$, and an estimated carbonization yield of 10.2%. The correlation analysis indicates that the main determinants of carbonization yield are: kiln length ($R^2 = 0.671$), kiln width ($R^2 = 0.670$), number of days the kiln remains covered ($R^2 = 0.604$). According to the Multiple Correspondence Analysis, other factors also influence yield: the tree species used, the type of substrate on which the kiln is built, and its orientation relative to the wind direction. The commercialization of charcoal produced in the rural area of Lubumbashi is financially profitable. Profit is influenced by the selling price and the various costs, according to the correlation analysis. The economic performance evaluation shows that the sale of the largest sack (approximately 57 kg) is the most profitable per kiln, generating on average a profit of 661,062.18 CDF (equivalent to USD 322.47), with a profit margin of 0.66 and a benefit-cost ratio of 1.96. However, the selling price, costs, and profits vary depending on the sales location. Binary logistic regression revealed that membership in informal associations often depends on the ability of charcoal producers to provide services to their peers. Proximity-based social ties were also observed, fostering mutual assistance among producers in terms of tools and information sharing.

These results indicate that charcoal production is becoming increasingly professionalized, although production practices remain largely traditional. This trend intensifies the pressure on the miombo woodland surrounding Lubumbashi, despite the informal organization of charcoal producers into associations.

Thus, the formalization of charcoal producers' associations proves necessary to improve the organization of their production through the adoption of sustainable

carbonization practices, particularly those aimed at optimizing yields. Such structuring would help strengthen marketing, increase producers' incomes, and reduce the pressure on the miombo woodland.

Keywords: charcoal; Democratic Republic of Congo; yield; open forest; income; deforestation; sustainable production

Résumé

La présente thèse de doctorat s'inscrit dans le cadre de l'étude de la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi, considérée comme le principal bassin d'approvisionnement de la ville. Cette activité y est confrontée à de nombreuses contraintes qui affectent sa durabilité. C'est dans ce contexte qu'a été initiée cette étude, dont l'objectif général est d'analyser la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi, dans une dynamique de professionnalisation et de structuration des acteurs. À l'issue des enquêtes, du suivi des meules dans les villages Luisha, Maksem, Mwawa et Sela, ainsi que du suivi de la commercialisation sur les différents lieux de vente, l'analyse socioéconomique a révélé que la carbonisation constitue l'activité économique la plus exercée dans la zone rurale de Lubumbashi (50,8 %). Les charbonniers professionnels sont majoritaires (58,8 %). Ils sont en majorité jeunes (âge moyen de 41,3 ans), composés à 97 % d'hommes et à 89,6 % d'allochtones. L'analyse du système de production a montré que les charbonniers professionnels accèdent principalement à la terre par achat (55 %) et possèdent de grandes superficies. Le rythme de déforestation est estimé à 0,05 hectare par mois. Lors de l'exploitation des ressources forestières, la majorité ne respecte aucun critère d'abattage des arbres, notamment en ce qui concerne la sélection des essences (55 %). Les meules construites sont de grande taille, avec un volume moyen de $46,9 \pm 21,5 \text{ m}^3$, et un rendement de carbonisation estimé à 10,2 %. L'étude des corrélations montre que les principaux déterminants du rendement de carbonisation sont : la longueur de la meule ($R^2 = 0,671$), la largeur de la meule ($R^2 = 0,670$), le nombre de jours de couverture ($R^2 = 0,604$). Selon l'Analyse des Correspondances Multiples, d'autres facteurs influencent également le rendement : l'espèce d'arbre utilisée, le type de substrat sur lequel la meule est construite, ainsi que son orientation par rapport au vent. La commercialisation du charbon de bois produit dans la zone rurale de Lubumbashi est rentable. Le profit est influencé par le prix de vente ainsi que par les différents coûts, selon l'analyse des corrélations. L'évaluation de la performance économique montre que la vente du plus grand sac (environ 57 kg) est la plus rentable : elle génère en moyenne un profit de 661 062,18 CDF (soit 322,47 USD) par meule, avec une marge bénéficiaire de 0,66 et un ratio bénéfice/coût de 1,96. Le prix de vente, les coûts et même les profits varient cependant selon le lieu de vente. La régression logistique binaire a révélé que l'appartenance à des associations informelles dépend souvent de la capacité des charbonniers à rendre des services à leurs collègues. Des liens de proximité ont également été observés, favorisant l'entraide entre charbonniers, notamment en termes d'équipements et d'échange d'informations.

Il ressort de ces résultats que la production de charbon de bois tend à se professionnaliser, bien que les pratiques restent majoritairement traditionnelles. Cette évolution accentue la pression exercée sur la forêt claire de miombo autour de Lubumbashi, malgré l'organisation informelle des charbonniers en des associations.

Ainsi, la formalisation des associations de charbonniers s'avère nécessaire pour améliorer l'organisation de leur production, à travers l'adoption de pratiques de

carbonisation durables, notamment celles visant l'optimisation des rendements. Une telle structuration permettrait de renforcer la commercialisation, d'augmenter les revenus des producteurs et de réduire la pression exercée sur la forêt claire de miombo.

Mots clés : charbon de bois ; République Démocratique de Congo ; rendement ; forêt claire ; revenu ; déforestation ; production durable.

Remerciements

Étant arrivé au terme de notre formation doctorale, nous ne manquerons pas d'exprimer notre gratitude aux personnes qui ont contribué à l'atteinte de cet objectif de notre vie, en mentionnant leurs noms dans les lignes de cette œuvre.

Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans la direction et l'implication de nos promoteurs. Le Professeur Jan Bogaert, auprès de qui nous avons beaucoup appris scientifiquement, dont l'attention et le sens managérial nous ont permis de commencer et d'achever cette thèse. Au Professeur Jules Nkulu Mwine Fyama, pour sa disponibilité et son encadrement, et au Professeur Philippe Lebailly, qui nous a marqué par son accompagnement du début jusqu'à la fin de cette thèse, malgré ses multiples occupations : à vous, chers Professeurs, nous disons merci.

Au Professeur Yannick Useni, Coordonnateur Sud du projet CHARLU, nous sommes reconnaissants pour tout ce qu'il a fait pour nous. Il a été ce héros dans l'ombre, qui à chaque étape de cette thèse, nous a prodigué des conseils et nous a assisté scientifiquement. Voilà que nous y sommes enfin. A vous, chers Professeurs : Laurent Ndjibu, Grégory Mahi, Fabio Berti, Jean-François Bastin, François Malaisse, César Nkuku, François Munyemba, Kalambaie Moïse, Mylor Ngoy, John Tshomba, Sylvestre Cabala, Wilfried Kalenga, Michel Mazinga, Jean-Paul Katond, Jonas Lwalaba, Michel Mpundu, Appolinaire Biloso, Raoul Sambiéni, et à tout le corps professoral de l'UNILU et de l'ULiège, nous disons merci pour la formation reçue. Nous remercions également le Docteur Jules Atchoglo, administrateur de programme chez APEFE, pour tous ses conseils et orientations lors de nos travaux de terrain dans la zone rurale de Lubumbashi.

Aux membres du personnel du laboratoire d'Économie et Développement rural ainsi qu'à ceux de l'axe Biodiversité, Écosystème et Paysage, en particulier Cyntia Thomas, Émilie Vander Elst, Nadine Stoffelen. Il en est de même du centre pour le Partenariat et la Coopération au Développement (PACODEL), qui nous a facilité, par son administration, le bon déroulement de nos différents séjours en Belgique. À tout le personnel ainsi qu'aux amis de la maison Nord-Sud, merci beaucoup d'avoir rendu notre séjour agréable durant ces cinq années.

Que dire de ma famille ? Ma tendre épouse Rachel Mubingu, mes enfants Jude Kasanda, Ethan Kasanda et Kyria Kasanda. A mes parents, Jean Kasanda et Meta Kafika, à mes frères et sœurs, les Kasanda : Ruben, Josué, Michée, Rebecca, Israël, Ben et Neville, recevez toute ma gratitude.

A ma belle-famille, les Kimwanga : Papa Abraham Kimwanga, Maman Régine, Sandrine, Ken, Ruth, Anne, Elie, Job et Joseph, recevez ici mes gratitude.

A Nathan Kimwanga, Laurent Kabala, James Kabemba, Tailor Mabula, Cedou Kayimbi, Patrick Nkashama, Charles Kasala, Edmond Tshibangu, Sarah Tshilemba, Fontaine Bonkena aux Docteurs François Ntumba, Arsène Mushagalusa, Maurice Kesonga, Patrick Mutamba, Patrick Lutala, Franck Kashila, Emmanuel Kayamba et à tous mes amis, sachez que vos noms sont inscrits dans les lignes de ce travail. Vous êtes nombreux, vous qui m'avez toujours soutenu. Puissiez-vous, par ces quelques mots, recevoir l'expression de ma profonde reconnaissance.

A mon pasteur Simon Pierre Lifoko, au conseil des diacres et des administrateurs, ainsi qu'à toute la communauté Lys Tabernacle, nous disons merci.

Enfin, sans l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES), à travers son projet CHARLU, ce travail n'aurait jamais vu le jour. Merci beaucoup pour le financement dont nous avons été bénéficiaire, et un grand merci à la coordination du projet CHARLU. Merci également à Madame Mireille Samba, et je n'oublie pas mes collègues dudit projet : Esoma Okothomas, Dieudonné N'tambwe et Héritier Khoji. Recevez toute ma gratitude.

Avant-propos

Dans le cadre des projets de Recherche et Développement en République Démocratique du Congo, le projet CHARLU (Charbon Lubumbashi) a vu le jour, projet duquel est issue la présente thèse de doctorat. Ce projet a pour objectif : « Renforcer les capacités de gestion durable de la forêt claire de miombo par l'évaluation de l'impact environnemental de la production de charbon de bois et l'amélioration des pratiques vis-à-vis des ressources forestières ». Ainsi, parmi les résultats attendus, les recherches doctorales menées dans ce cadre doivent aboutir à la production de quatre thèses de doctorat traitant des aspects suivants :

1°) L'analyse de la déforestation du miombo sur plusieurs décennies, à partir des années 1990, en tenant compte du bassin d'approvisionnement en charbon de bois de la ville de Lubumbashi. Cette thèse examine également les facteurs et indicateurs de la dégradation de la forêt.

2°) L'étude de la variation des flux et stocks d'éléments minéraux lors des relations sol-plante, en fonction des types d'occupation des sols dans le miombo. Elle vise à identifier les cultures ayant besoin des éléments minéraux repérés lors de ces échanges, en vue de valoriser les différentes recrus par la mise en place de cultures vivrières, et ainsi lutter contre la dégradation du miombo.

3°) L'analyse des modes de gestion et de gouvernance des ressources forestières, en plus de la production de charbon de bois. Cette thèse porte sur les pratiques formelles et informelles, et étudie les connaissances ainsi que les attitudes liées à la gestion et à la gouvernance des ressources forestières.

4°) Enfin, les aspects économiques de la production de charbon de bois, abordés par la présente thèse, qui constitue le socle économique du projet CHARLU. Celle-ci met en évidence les pratiques de carbonisation, les modes d'organisation des charbonniers, les mécanismes de commercialisation notamment la rentabilité et les différents coûts étant donné que les revenus tirés de la production de charbon de bois sont essentiels pour les ménages des acteurs impliqués. Cette recherche propose également des pistes pour une production durable de charbon de bois, permettant ainsi une meilleure compréhension des autres volets du projet, à savoir : la déforestation, la gouvernance forestière, et les relations sol-plante après carbonisation. En plus, elle disponibilise beaucoup d'éléments nécessaires à la rédaction et l'amélioration des guides méthodologiques pouvant être utilisés pour la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi.

Table des matières

Abstract.....	i
Résumé	iii
Remerciements	v
Avant-propos	vii
Table des matières	viii
Liste des figures.....	xiv
Liste des tableaux	xvi
Liste des acronymes.....	xviii
Chapitre 1	1
Introduction générale.....	1
1.1. Contexte.....	3
1.2. Problématique.....	6
1.3. Questions de recherche, hypothèses et objectifs de la thèse.....	8
1.4. Structure de la thèse.....	9
Chapitre 2	11
Théorie et concepts de base	11
2.1. Généralités.....	13
2.1.1.Répartition des forêts et leur importance.....	13
2.1.2.Notions des services écosystémiques	14
2.1.3.Exploitation des forêts pour la collecte de bois-énergie.....	15
2.1.4.Urbanisation et Déforestation en RD Congo	16
2.1.5.Economie des ressources forestières et de l’environnement	17
2.1.6.Filières et chaînes de valeur de charbon de bois.....	18
2.1.7.Caractéristiques du bois et du charbon de bois.....	20
2.1.8.Carbonisation traditionnelle de charbon de bois	20
2.1.9.Charbon de bois dans le monde et en Afrique.....	21
2.1.10. Charbon de bois en RD Congo.....	22
2.1.11. Facteurs de production et rendements	23
2.1.12. Notions de caractérisation	23
2.1.13. Producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi.....	23
2.1.14. Exploitation des ressources forestières et activité de carbonisation dans la zone rurale de Lubumbashi	24
2.1.15. Production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi.....	24
2.1.16. Commercialisation de charbon de bois produit dans la zone rurale de Lubumbashi.....	25
2.1.17. Mouvements associatifs entre charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi.....	27
Chapitre 3	29
Matériel et méthodes	29
3.1. Localisation du milieu d’étude	31
3.2. Climat	31
3.3. Végétation.....	31

3.4. Population et activités économiques	32
3.5. Justification du choix des sites	33
3.6. Echantillonnage	34
3.6.1. Echantillonnage relatif à la caractérisation des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi	34
3.6.2. Echantillonnage relatif au suivi des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi	35
3.6.3. Echantillonnage relatif aux producteurs de charbon de bois	35
3.7. Collecte des données	35
3.7.1. Pré-enquêtes à Lubumbashi auprès des vendeurs de charbon de bois	36
3.7.2. Première phase des enquêtes exploratoires au niveau des villages des charbonniers	36
3.7.3. Deuxième phase des enquêtes exploratoires dans les villages retenus	37
3.7.4. Focus group dans les villages de charbonniers retenus dans la zone rurale de Lubumbashi	38
3.7.5. Enquête socioéconomique auprès des chefs de ménages de villages des charbonniers	39
3.7.6. Enquête auprès des charbonniers professionnels	40
3.7.7. Le suivi des charbonniers professionnels	40
3.7.8. Enquête auprès des charbonniers (Professionnels et occasionnels) de la zone rurale de Lubumbashi	43
3.8. Analyse des données	44
3.8.1. Types de données	44
3.8.2. Statistique descriptive	44
3.8.3. Tests statistiques	44
3.8.4. Autres calculs réalisés	47
Chapitre 4	49
Caractéristiques des producteurs de charbon de bois du bassin d'approvisionnement de la ville de Lubumbashi (RDC) : Analyse sociodémographique, socioethnographique, typologie et organisation de la production	49
4.1. Référence bibliographique	51
4.2. Contextualisation	51
4.3. Résumé	51
4.4. Abstract	51
4.5. Introduction	52
4.6. Matériel et méthodes	53
4.6.1. Milieu d'étude	53
4.6.2. Echantillonnage	54
4.6.3. Collecte et analyse des données	55
4.7. Résultats	56
4.7.1. Activités exercées par les chefs de ménage des villages	56
4.7.2. Caractéristiques sociodémographiques des producteurs de charbon de bois	58
4.7.3. Types de producteurs de charbon de bois	60

4.7.4. Profil socioethnographique des producteurs de charbon de bois.....	62
4.7.5. Organisation de la production par les charbonniers.....	63
4.8. Discussion.....	65
4.8.1. Activités exercées par les chefs de ménage.....	65
4.8.2. Profil sociodémographique des producteurs de charbon de bois.....	65
4.8.3. Types des producteurs.....	65
4.8.4. Mode organisationnel.....	66
4.9. Conclusion.....	67
Chapitre 5.....	69
Modes d'accès aux ressources et exploitation forestière pour la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi en RD Congo.....	69
5.1. Références bibliographiques.....	71
5.2. Contextualisation.....	71
5.3. Résumé.....	71
5.4. Abstract.....	72
5.5. Introduction.....	72
5.6. Matériel et méthodes.....	74
5.6.1. Milieu d'étude.....	74
5.6.2. Echantillonnage.....	76
5.6.3. Déroulement des enquêtes.....	77
5.6.4. Analyse des données.....	78
5.7. Résultats.....	79
5.7.1. Profil des enquêtés.....	79
5.7.2. Accès à la terre au niveau des différents villages.....	79
5.7.3. Superficies à l'acquisition de la terre et celles exploitées.....	80
5.7.4. Espèces d'arbres utilisées lors de la production de charbon de bois.....	80
5.7.5. Critères d'abattage.....	83
5.7.6. Dimensions des arbres abattus.....	83
5.7.7. Etapes de construction d'une meule de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi.....	84
5.7.8. Evaluation de la connaissance des charbonniers sur les techniques de production et rendements de carbonisation.....	85
5.7.9. Caractéristiques des moyens de production utilisés par les charbonniers ..	86
5.8. Discussion.....	87
5.8.1. Méthodologie utilisée.....	87
5.8.2. Profil des producteurs de charbon de bois.....	87
5.8.3. Accès à la terre.....	88
5.8.4. Superficies exploitées.....	88
5.8.5. Espèces d'arbres utilisées pour produire le charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi.....	89
5.8.6. Abattage des arbres par les producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi.....	90

5.8.7. Construction des meules par les charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi	90
5.8.8. Niveau de connaissance des charbonniers sur les techniques et rendements de carbonisation.....	91
5.8.9. Caractéristiques des moyens de production utilisés par les charbonniers	91
5.8.10. Implications pour une production durable de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi	91
5.9. Conclusion.....	92
Chapitre 6	95
Quantification and determinants of carbonization yield in the Rural zone of Lubumbashi, DR Congo: Implications for sustainable charcoal production.....	95
6.1. Références bibliographiques	97
6.2. Contextualisation.....	97
6.3. Abstract	97
6.4. Introduction	97
6.5. Materials and methods.....	99
6.5.1. Study area	99
6.5.2. Village selection and sampling.....	100
6.5.3. Data collection.....	101
6.5.4. Data analysis.....	102
6.6. Results	103
6.6.1. Kilns dimensions, Diameter, and wood moisture content	103
6.6.2. Wood species used in charcoal production.....	104
6.6.3. Carbonization yield	106
6.6.4. Quantitatives variables influencing kiln yields	106
6.6.5. Qualitatives variables influencing kiln yields	108
6.7. Discussion	109
6.7.1. Method used	109
6.7.2. Diameter, Wood Moisture Content, and Kiln Dimensions.....	109
6.7.3. Tree species used for charcoal production	110
6.7.4. Kiln yield.....	110
6.7.5. Implications for carbonization of forest resources	111
6.8. Conclusion.....	113
Chapitre 7	115
Marketing Strategies and Production Profitability of Charcoal in the Rural Zone of Lubumbashi, Democratic Republic of the Congo	115
7.1. Référence bibliographique	117
7.2. Contextualisation.....	117
7.3. Abstract	117
7.4. Introduction	117
7.5. Materials and Methods	119
7.5.1. Study Area.....	119
7.5.2. Selection of villages	121

7.5.3. Sampling	122
7.5.4. Data collection	123
7.5.5. Data analysis.....	124
7.6. Results	126
7.6.1. Charcoal Sales Locations.....	126
7.6.2. Charcoal Selling Prices in the Lubumbashi Region	126
7.6.3. Costs at Different Stages of Production and Marketing	129
7.6.4. Costs by Packaging Type, Sales Location, and Season.....	131
7.6.5. Charcoal Profitability in the Lubumbashi Region	133
7.6.6. Determinants of Charcoal Profitability in the Rural Area of Lubumbashi According to Sales Location.....	135
7.6.7. Determinants of Charcoal Profitability in the Rural Area of Lubumbashi According to Packaging Types.....	135
7.6.8. Determinants of Charcoal Profitability in the Rural Area of Lubumbashi According to Sales Season.....	137
7.7. Discussion.....	137
7.7.1. Methodology Used in the Present Study	137
7.7.2. Sales Locations of Produced Charcoal	138
7.7.3. Charcoal Selling Price	139
7.7.4. Costs Related to Charcoal Production and Marketing.....	140
7.7.5. Charcoal Profitability	140
7.7.6. Determinants of Profitability Following Charcoal Sales	141
7.7.7. Implications for the Future of Charcoal Production	142
7.8. Conclusion.....	143
Chapitre 8	145
Déterminants de la structuration des producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi en RD Congo	145
8.1. Référence bibliographique.....	147
8.2. Contextualisation.....	147
8.3. Résumé	147
8.4. Abstract.....	148
8.5. Introduction	148
8.6. Matériel et méthodes	150
8.6.1. Présentation de la zone rurale de Lubumbashi	150
8.6.2. Echantillonnage	152
8.6.3. Collecte des données	152
8.6.4. Analyse des données.....	153
8.7. Résultats	154
8.7.1. Expérience des charbonniers et statut dans le village.....	154
8.7.2. Services rendus à d'autres charbonniers.....	156
8.7.3. Echanges des moyens de production	156
8.7.4. Partage d'expériences entre charbonniers.....	160
8.7.5. Relations entre producteurs de charbon de bois et la main d'œuvre utilisée	162

8.7.6. Déterminants de structuration des charbonniers.....	165
8.8. Discussion	167
8.8.1. Services rendus à d'autres charbonniers.....	167
8.8.2. Echanges des moyens de production	167
8.8.3. Partage d'expériences	167
8.8.4. Relations entre producteurs de charbon de bois et la main d'œuvre utilisée	168
8.8.5. Déterminants de structuration des charbonniers.....	168
8.8.6. Limites de l'étude	169
8.8.7. Implications sur le devenir de l'activité de carbonisation	169
8.9. Conclusion.....	171
Chapitre 9	173
Discussion générale	173
9.1. Méthodologie appliquée dans la réalisation de la thèse	175
9.1.1. Choix des villages de la présente étude	175
9.1.2. Types d'échantillonnage.....	175
9.1.3. Collecte des données de thèse	177
9.1.4. Analyse des données de thèse.....	178
9.2. Résultats de la thèse	180
9.2.1. Caractéristiques des producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi	180
9.2.2. Accès aux ressources forestières par les charbonniers professionnels et modes d'exploitation	182
9.2.3. Rendement de carbonisation et ses déterminants	183
9.2.4. Rentabilité à l'issue de la production de charbon de bois et ses déterminants	184
9.2.5. Facteurs déterminants l'organisation des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi en des structurations	184
9.3. Implications pour une production durable de charbon de bois.....	185
Chapitre 10	189
Conclusion générale et perspectives.....	189
10.1. Conclusion générale	191
10.2. Perspectives	192
Références	193
ANNEXE.....	I

Liste des figures

Figure 1-1. Modèle conceptuel de la thèse	10
Figure 2-1 : Distribution de la déforestation mondiale de 1990 à 2020.	13
Figure 2-2 : Illustration des services écosystémiques	14
Figure 2-3 : Importance du service de soutien des sols forestiers	15
Figure 2-4 : Eléments constitutifs de la valeur économique totale d'une forêt.	18
Figure 2-5 : Eléments constitutifs des chaînes de valeur du bois-énergie et différents acteurs.....	19
Figure 2-6 : Etapes de construction d'une meule et production de charbon de bois à Lubumbashi.	25
Figure 2-7 : Circuit de commercialisation de charbon de bois produit dans la zone rurale de Lubumbashi	26
Figure 2-8 : Acheminement du charbon de bois vers Lubumbashi	26
Figure 2-9 : Etape de couverture du bois avec de la terre par les membres d'une association informelle au village Luisha	27
Figure 3-1 : Localisation de la ville de Lubumbashi et ses principaux axes d'approvisionnement	31
Figure 3-2 : Essences utilisées pour la production de charbon de bois autour de Lubumbashi.....	32
Figure 3-3 : Essences utilisées dans la construction au tour de Lubumbashi.	32
Figure 3-4 : Localisation des villages des charbonniers retenus dans la présente étude.	34
Figure 3-5 : Préparation à une séance de Focus group à Maksem (Axe Kasenga)	39
Figure 3-6 : Prélèvement du taux d'humidité et du diamètre des bois utilisés pour la carbonisation au village Sela.	41
Figure 3-7: Pesage d'1m ³ de bois du miombo au village Luisha	42
Figure 3-8 : Types de conditionnements de charbon de bois identifiés dans la zone rurale de Lubumbashi	43
Figure 3-9 : Collecte des données, échantillonnage et analyses.....	48
Figure 4-1 : Localisation des villages qui constituent notre milieu d'étude.....	54
Figure 5-1 : Localisation des villages des charbonniers étudiés, appartenant à la zone rurale de Lubumbashi.	76
Figure 5-2 : Répartition des producteurs de charbon de bois selon leurs critères d'abattage des arbres lors de la production du charbon de bois.	83
Figure 5-3 : Les facteurs déterminant les rendements des meules selon les producteurs de charbon de bois	86
Figure 6-1 : Location of the city of Lubumbashi in the DR Congo and the surrounding area. Where charcoal is produced.....	100
Figure 6-2 : Illustration showing the major stages of carbonization and data collection during monitoring of the kilns in the rural area of Lubumbashi, DR Congo.	102
Figure 6-3 : Correlations between the quantities of charcoal produced and the carbonization season, kiln orientation, substrate, and tree species used.....	108

Figure 7-1 : Geographic location of the selected villages in the rural zone of Lubumbashi, showing their respective distances from the urban center.121

Figure 7-2 : Selection process of the 20 professional charcoal producers monitored in this study between 4 January and 28 September 2022, from the villages of Mwawa, Sela, Maksem, and Luisha.....123

Figure 7-3: Illustration of the types of charcoal packaging identified in the rural area of Lubumbashi.....124

Figure 7-4 : Distribution of charcoal sales by point of sale. “Point of sale” refers to three locations: the forest, the village, and the city of Lubumbashi. “Village” includes the four study sites: Mwawa, Sela, Luisha, and Maksem.....126

Figure 8-1 : Localisation de la zone rurale de Lubumbashi et les villages étudiés151

Liste des tableaux

Tableau 2-1 : Evolution de la population urbaine entre 1950 et 2050.....	16
Tableau 2-2 : Comparaison des taux de déforestation, de dégradation et de régénération entre la RD Congo et d'autres pays du bassin du Congo.....	17
Tableau 2-3 : Produits obtenus lors de la variation de température pendant la carbonisation.....	21
Tableau 3-1: Dépôts de vente et effectif des vendeurs enquêtés dans la ville de Lubumbashi.....	36
Tableau 3-2 : Villages de charbonniers visités lors des enquêtes exploratoires dans la zone rurale de Lubumbashi, durant la période allant du 7 juillet au 7 août 2020.	37
Tableau 4-1: Profession des chefs de ménage des villages du bassin d'approvisionnement de Lubumbashi.....	57
Tableau 4-2: Description des producteurs de charbon de bois du bassin d'approvisionnement de Lubumbashi selon le genre, le statut matrimonial et le niveau d'études.....	59
Tableau 4-3: Typologie des producteurs de charbon de bois dans le bassin d'approvisionnement de Lubumbashi.....	61
Tableau 4-4: Répartition des producteurs de charbon de bois selon leurs ethnies d'appartenance.....	63
Tableau 4-5: Catégorisation des producteurs de charbon de bois selon leurs modes d'organisation du travail.....	64
Tableau 5-1: Age, ancienneté dans l'activité et dans le village des charbonniers. .	79
Tableau 5-2: Modes d'accès des charbonniers professionnels à la terre au niveau des villages des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi.....	79
Tableau 5-3: Superficies (m ²) à l'acquisition et exploitées, durée d'exploitation et vitesse d'exploitation.....	80
Tableau 5-4: Distribution de fréquences des citations des espèces d'arbres les plus utilisées lors de la production du charbon de bois.....	82
Tableau 5-5: Répartition du diamètre et hauteur des arbres abattus en fonction des villages.....	84
Tableau 5-6: Etapes de production de charbon de bois. Avec Moy : Moyenne et E.T : Ecart type.....	85
Tableau 5-7: Nombre, âge et coût d'acquisition des matériels utilisés lors de la production de charbon de bois.....	87
Tableau 6-1: Kiln dimensions, wood diameter, and moisture content in the kilns.....	104
Tableau 6-2: Tree species used by professional charcoal producers in the rural area of Lubumbashi.....	105
Tableau 6-3: Quantity of wood composing the kilns and carbonization yields...	106
Tableau 6-4: Correlation matrix of quantitative variables and the quantity of charcoal produced per Kiln.....	107

Tableau 7-1: Characteristics of charcoal-producing villages studied in the rural area of Lubumbashi (DR Congo).....	122
Table 7-2: Variation in charcoal selling prices (mean \pm standard deviation) by season, sales location, and packaging type in Lubumbashi and its rural area.....	128
Table 7-3: Distribution of production and marketing costs (mean \pm standard deviation) per bag of charcoal produced, according to sales location in Lubumbashi and its surrounding rural area.....	130
Table 7-4: Production and marketing costs (mean and standard deviation) by sales location, season, and packaging type..	132
Table 7-5: Profitability of charcoal by packaging type (mean \pm standard deviation).....	134
Table 7-6: Correlation between profit and various economic profitability parameters, by charcoal sales location.	135
Table 7-7: Correlations between profit and key economic profitability parameters, by charcoal packaging type.....	136
Table 7-8 : Correlations between profit and key economic profitability parameters by charcoal sales season.	137
Tableau 8-1: Expérience dans la production de charbon de bois et statut dans le village des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi.	155
Tableau 8-2: Types de services rendus en fonction des étapes de production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi.	156
Tableau 8-3: Moyens de production et intensité d'échanges entre producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi.	158
Tableau 8-4: Intensité d'échanges sur les différentes étapes de production et de commercialisation de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi.....	161
Tableau 8-5: Types de relations entre charbonniers et la main d'œuvre utilisée dans la zone rurale de Lubumbashi.....	163
Tableau 8-6 : Facteurs de structuration des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi.....	166

Liste des acronymes

ACK	: Arc Cuprifère Katangais
AFDB	: African Development Bank
CAFI	: Initiative pour les forêts d’Afrique Centrale
CDF	: Franc congolais
CEE	: Commission Economique pour l’Europe
CIFOR	: Center for Internationnal Forestry Research
CIRAD	: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CVA	: Chaine de valeur ajoutée
FAO	: Food and Agriculture Organization of the United Nations
IDH	: Indice de Developpement Humain
OSFAC	: Observatoire Satellital des Forêts d’Afrique Centrale
PCI	: Pouvoir Calorifique Inférieur
PFNL	: Produit Forestier Non Ligneux
PIB	: Produit Intérieur Brut
RBL	: Reserve de Biosphère de Lufira
UICN-PC	: Union Internationale pour la Conservation de Nature, Programme Cameroun
UNDP	: United Nations Development Programme
WWF	: World Wide Fund for Nature

Chapitre 1

Introduction générale

1.1. Contexte

Les forêts jouent un rôle essentiel dans le bien-être des êtres vivants. Les forêts naturelles, en particulier, stockent davantage de carbone que les plantations grâce à la complexité de leur structure et à l'accumulation de carbone dans le sol (Waring et al., 2020 ; Damilier et al., 2020). Occupant 31 % des terres émergées, elles abritent une biodiversité exceptionnelle : 80 % des amphibiens, 75 % des oiseaux et 68 % des mammifères (FAO et PNUE, 2020). Environ 6 milliards de personnes utilisent des produits forestiers non ligneux, dont 2,77 milliards vivent en zones rurales dans les pays du Sud (FAO, 2024). Parmi les produits issus de la forêt se trouvent les fruits, champignons ou racines, le bois de chauffe et le charbon de bois qui constituent une source de revenus pour de nombreuses communautés (Pramova et al., 2012). Le bassin du Congo, deuxième plus grande forêt tropicale humide après l'Amazonie (Doumenge et al., 2021), offre une multitude de bénéfices aux populations. En plus de nourrir près de 40 millions de personnes vivant dans les centres urbains environnants, ses forêts remplissent des fonctions écologiques, économiques, sociales et culturelles essentielles (Damilier et al., 2021).

En République Démocratique du Congo (RD Congo), les forêts couvrent environ 145 millions d'hectares, soit 62 % du territoire national. Ce pays, riche en écosystèmes, compte 37 % de forêts denses humides, 19 % de forêts sèches, 4 % de forêts marécageuses et 2 % de forêts de montagne (Debroux et al., 2007). La RD Congo connaît une croissance démographique rapide. En 2015, 42 % de sa population vivait en zone urbaine, ce qui contribue directement à la déforestation (Banque mondiale, 2018). Celle-ci est différente de la dégradation, qui en est une conséquence. Elle entraîne la perte d'habitats, l'érosion des sols, l'envasement des cours d'eau et la destruction des moyens de subsistance des populations forestières (UICN-PC, 2014). Les principales causes directes de la déforestation en RD Congo incluent les infrastructures (mines, routes), l'agriculture et la production de bois-énergie (Defourny et al., 2011 ; Gillet et al., 2016). Ses conséquences comprennent le changement climatique, la disparition des espèces, la pollution de l'air et la diminution des ressources alimentaires issues de la cueillette (Kagheni et al., 2021). Le changement climatique se manifeste par des variations des températures et conditions météorologiques, affectant les revenus issus de l'agriculture et de la forêt (Ministère de l'Agriculture RD Congo, 2022). Cela impacte également les villes, centres de consommation majeurs.

Les villes africaines font face à l'urbanisation caractérisée par des taux de croissance les plus élevés au monde, entraînant une population très jeune et une forte densité dans certaines régions, notamment en Afrique centrale (Tabutin, 1991 ; Katharine et al., 2016). Ces villes rencontrent des difficultés d'approvisionnement et dépendent souvent des importations, des zones rurales ou périurbaines (Temple et Moustier, 2004). Ces zones assurent une fonction économique, sociale, environnementale et paysagère importante (Dasylyva et al., 2020).

En RD Congo, de nombreuses villes, comme Lubumbashi, dépendent fortement des importations alimentaires, notamment en provenance de la Zambie (Tshomba et al.,

2022). Les ménages y consacrent une part importante de leurs revenus à l'alimentation, surtout pour les produits de base (Kamara et al., 2021).

Outre les produits alimentaires et manufacturés, l'énergie représente un autre enjeu crucial pour Lubumbashi, confrontée à des défis politiques, institutionnels, environnementaux et financiers dans ce domaine (UNDP, 2022). Le bois-énergie occupe une place centrale, en raison de la dépendance généralisée à cette ressource, utilisée dans la majorité des foyers pour cuisiner (Dubiez et al., 2021). La biomasse est l'énergie la plus accessible, tant en zone rurale qu'urbaine, car elle est plus abordable que l'électricité ou les produits pétroliers. Elle représente 93 % de la consommation énergétique nationale, contre 4 % pour les produits pétroliers et 3 % pour l'électricité (Kipoy, 2023). En milieu rural, sa consommation reste limitée par la faible densité de population (Behrendt et al., 2013). En ville, au contraire, la forte demande et le manque d'alternatives entraînent une forte consommation. Le bois-énergie est également utilisé par de petites industries comme les boulangeries, les restaurants ou les briqueteries (Schure et al., 2011). Le charbon de bois, en particulier, est préféré au bois de chauffe, car il produit plus d'énergie, moins de fumée, est plus facile à transporter et stocker, et offre une rentabilité élevée en zone urbaine (Behrendt et al., 2013 ; Mbuangi et al., 2021).

La production de charbon de bois ainsi que l'approvisionnement de la ville de Lubumbashi ont été documentés par plusieurs auteurs à ce jour. Le charbon de bois a toujours été utilisé depuis la nuit des temps. Malaisse et Kapinga (1980), tout en décrivant l'approvisionnement journalier en charbon de bois de la ville de Lubumbashi, l'estimaient à 2 776 sacs. Lootens et Binzangi (1982) ont décrit les différents villages de bûcherons et charbonniers du bassin d'approvisionnement de Lubumbashi, où ils ont catégorisé quatre types de villages. L'approvisionnement de la ville a évolué au fil des années. Kabulu et al. (2008) ont mentionné que la quantité de charbon de bois entrant mensuellement à Lubumbashi s'élevait à 805,4 tonnes. La description des charbonniers ainsi que celle de leur activité, à travers une étude socioéconomique menée dans la zone rurale de Lubumbashi, a été réalisée par Trefon et al. (2010), qui ont mis en évidence le travail individuel des producteurs ainsi que l'existence de charbonniers professionnels et occasionnels. Kasanda (2012), à travers une analyse économique-financière, a étudié la vente de charbon de bois à Lubumbashi par les détaillants et les grossistes, montrant que cette activité était rentable. Nge (2012) souligne que la production non durable de charbon de bois dans ce milieu est due au faible niveau d'instruction des charbonniers. Nge et al. (2013) mentionnent à nouveau la pression exercée sur le miombo, en expliquant que l'accroissement de la consommation de charbon de bois à Lubumbashi entraîne une dégradation des sols.

Par une approche fondée sur la chaîne de valeur à Lubumbashi, Munkner et al. (2015) ont mis en évidence la rentabilité à tous les niveaux. En décrivant le maillon de la production, ils ont également souligné l'existence et le rôle des charbonniers professionnels et occasionnels. Nge (2021), en réalisant un diagnostic socioéconomique et environnemental de la chaîne de valeur du charbon de bois à Lubumbashi, a révélé que la demande est supérieure à l'offre en provenance du miombo. La valeur ajoutée est générée à chaque maillon, mais plusieurs contraintes,

notamment environnementales, ont été identifiées. En ce qui concerne l'importance économique du charbon de bois, Nkulu et al. (2023) comparent les revenus issus de la carbonisation à ceux tirés du maraîchage dans la zone rurale de Lubumbashi, montrant qu'ils sont tout aussi importants.

Actuellement, l'approvisionnement en charbon de bois s'est développé grâce à l'intervention de plusieurs acteurs, notamment les producteurs, transporteurs, dépositaires, vendeurs grossistes et détaillants (Trefon et al., 2010 ; Mulondi et al., 2019 ; Schure et al., 2010). Quant à la production de charbon de bois, elle s'effectue dans les bassins d'approvisionnement situés autour de la ville de Lubumbashi, répartis sur plusieurs axes de ravitaillement (Kabulu et al., 2008). Les charbonniers de Lubumbashi, à la différence de ceux de Kinshasa, travaillent le plus souvent seuls, bien que l'activité soit pénible. À certains moments, des tentatives de constitution d'associations formelles ont été constatées, mais elles n'aboutissent généralement pas à des résultats probants (Trefon et al., 2010). Concernant leur origine, outre les autochtones des villages de charbonniers, d'autres producteurs viennent de la ville de Lubumbashi. Certains sont retraités, d'autres se lancent dans la production par manque d'emploi ou pour subvenir aux besoins de leur ménage (Munkner et al., 2015 ; Trefon et al., 2010).

Les charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi, majoritairement des hommes, travaillent de manière permanente ou occasionnelle dans la production de charbon de bois, en utilisant des moyens rudimentaires (Nge, 2021). La production constitue une source de revenu non négligeable pour les ménages producteurs, représentant près de 80 % de leurs revenus (Mpundu, 2018). La vente se fait dans différents types de conditionnements, parfois au bord des routes villageoises ou même à Lubumbashi (Nge, 2021). Malgré les revenus générés, la question de sa durabilité demeure.

Ainsi, dans les cas mentionnés ci-haut, l'approvisionnement durable en charbon de bois à Lubumbashi est important d'où des projets ont été initiés en ce sens sur le plan national que local. Tel est le cas du projet Makala (2009–2013), financé par l'Union Européenne et coordonné par le CIRAD avec le soutien du CIFOR, a été initié en vue d'approvisionner durablement Kinshasa et Kisangani (Schure et al., 2010). Le projet EcoMakala, mis en œuvre par le WWF en 2007 près du parc national de Virunga, avait pour objectif de sécuriser l'approvisionnement des populations rurales autour de Goma (Lejeune et al., 2013). D'autres initiatives ont vu le jour, telles que le « programme de consommation durable et substitution partielle au bois énergie », financé par l'initiative CAFI et mis en œuvre par le PNUD, avec des études menées par le CIRAD. Le Programme Biodiversité et Forêt (PBF), via le projet Filière Bois/Chaîne de valeur, soutenu par le gouvernement allemand, a également analysé les chaînes de valeur du bois-énergie à Lubumbashi afin de proposer un modèle d'approvisionnement durable (Munkner et al., 2015). Ainsi, c'est dans cette même optique de production et d'approvisionnement durable de la ville de Lubumbashi que la présente recherche doctorale a été initiée.

1.2. Problématique

La ville de Lubumbashi, située au sud-est de la RD Congo, est également appelée « ville cuprifère » en raison de l'exploitation du cuivre, une activité économiquement prospère qui en fait un pôle d'attraction, d'où une démographie en constante progression. Selon Dibwe (2010), Lubumbashi comptait 6 000 habitants en 1911 contre 1 360 812 en 2007. Sa croissance démographique est estimée à 5 % par an (Useni et al., 2018). L'urbanisation rapide et la croissance démographique, accentuent les besoins énergétiques des ménages, en particulier pour l'électricité, dont la qualité de fourniture est jugée de mauvaise qualité. Face à cette situation, de nombreux ménages recourent à des énergies alternatives telles que les panneaux solaires, l'usage collectif de dynamos ou encore le charbon de bois pour la cuisson des aliments (Banza et al., 2018).

Le charbon de bois est utilisé par plus de 90 % des ménages de Lubumbashi comme combustible de cuisson (Nge et al., 2013 ; Péroches et al., 2021). En 2008, la consommation urbaine mensuelle était estimée à 800 tonnes. L'approvisionnement suivait plusieurs axes routiers : les axes Likasi et Kasenga fournissaient ensemble 53,5 % du charbon de bois. En 2012, l'axe Kasenga à lui seul représentait 24,4 %, suivi de Kinseveré (19 %) et Likasi (13 %) (Kabulu et al., 2008 ; Kasanda, 2012). Ces données révèlent des changements notables dans les circuits d'approvisionnement en charbon de bois. La vente mensuelle par type de vendeur s'établissait ainsi : un grossiste écoulait en moyenne 88 sacs en saison sèche et 106 en saison des pluies ; un détaillant (vendant par tas) écoulait 40 sacs en saison sèche et 43 en saison des pluies (Kasanda, 2012). La demande en charbon de bois ne cesse de croître au fil des années.

Cette forte demande entraîne la dégradation des écosystèmes forestiers autour de Lubumbashi. La végétation locale est constituée de la forêt claire zambezienne, ou « miombo », dominée par les genres *Brachystegia*, *Julbernardia* et *Isoberlinia* (Malaisse, 1997). Outre la production de charbon de bois, cette forêt fournit divers produits forestiers non ligneux et rend de nombreux services écosystémiques (Malaisse, 1997). La pression anthropique y est forte (Kabulu et al., 2008), en raison d'une exploitation irrationnelle visant notamment à répondre aux besoins énergétiques, ce qui engendre une dégradation environnementale significative (OSFAC, 2017). Près des deux tiers du bois utilisé pour produire le charbon de bois consommé à Lubumbashi proviennent du miombo (Nge, 2021). Ainsi, la principale cause de déforestation dans la région est bien la production de charbon de bois. Entre 1984 et 2009, la forêt a régressé de 40,26 % (Munyemba et Bogaert, 2014). Le bassin d'approvisionnement en charbon de bois est passé de 77,90 % de couverture forestière en 1990 à seulement 39,92 % en 2022 (Khoji et al., 2023).

Malgré cette déforestation, la forte consommation de charbon de bois à Lubumbashi a donné naissance à une filière impliquant de nombreux acteurs et générant une valeur ajoutée annuelle estimée à 39 milliards de francs congolais (Munkner et al., 2015).

Ainsi, plusieurs études ont été menées dans la zone. Qu'il s'agisse d'analyses socioéconomiques ou d'approches basées sur les filières et les chaînes de valeur, ces travaux ont permis d'identifier deux catégories de producteurs : les producteurs

occasionnels ou saisonniers, et les producteurs professionnels, pour lesquels cette activité constitue l'occupation principale, voire exclusive (Trefon et al., 2010 ; Schure et al., 2010 ; Nge, 2012 ; Munkner, 2015). La présence d'une catégorie de charbonniers dont l'unique activité est la production de charbon de bois influence nécessairement les pratiques, les modes de gestion forestière ainsi que l'approvisionnement urbain.

Parmi les pratiques les plus courantes dans la zone rurale de Lubumbashi, on note l'accès aux ressources forestières pour la production de charbon de bois, qui semble être largement informel, cette activité se pratiquant de manière quasi libre (Nge, 2021). La production fait face à plusieurs contraintes, notamment des rendements faibles et mal maîtrisés, estimés entre 10 et 12 % (Nge, 2021), voire entre 15 et 20 % selon Binzangi et al. (1994). La méthode traditionnelle par meules offre un rendement moyen de 12,5 %, soit environ 8 kg de bois pour produire 1 kg de charbon (Dubiez et al., 2020). D'après Malaisse (2018), 800 kg soit 1 m³ de bois sec permettent d'obtenir 144 kg de charbon. Ces rendements, globalement faibles et peu documentés, varient selon les essences utilisées : environ 15 % pour *Albizia sp.*, entre 15 et 20 % pour *Brachystegia sp.* et *Julbernardia sp.*, et plus de 20 % pour *Pericopsis angolensis*. Ces valeurs demeurent nettement inférieures à celles des techniques de carbonisation améliorées, qui peuvent atteindre 22 % (Mumbere et al., 2023).

Bien que les charbonniers tirent des revenus de la vente de charbon de bois, des questions de performance économique se posent, d'autant plus que la production repose sur des faibles rendements de carbonisation (Nge, 2021). En outre, lors de la commercialisation, les producteurs sont confrontés à une multitude de taxes formelles et informelles, ainsi qu'à des coûts de transport élevés, ce qui limite la rentabilité de l'activité (Munkner et al., 2015).

Par ailleurs, la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi est principalement individuelle. Par moments, une minorité s'organise collectivement pour les étapes les plus complexes, nécessitant une main-d'œuvre importante. Ces tentatives d'organisation formelle rencontrent souvent des obstacles qui empêchent leur succès (Trefon et al., 2010). L'activité demeure largement informelle, comme dans la plupart des villes de la RD Congo (Mbuangi et al., 2021 ; Mulondi et al., 2019 ; Debroux et al., 2007). Le développement du secteur formel est entravé par le poids du secteur informel, les tracasseries administratives et la multiplicité de taxes non reversées à l'État, ce qui compromet la mise en place d'une gestion durable du bois-énergie (Mvula et Schure, 2012).

Cependant, aucune de ces études n'a mis en évidence l'importance stratégique du maillon « production » dans la chaîne de valeur du charbon de bois, en tant que point de départ essentiel de l'approvisionnement de la ville de Lubumbashi. De plus, à ce jour, aucune recherche n'a analysé en profondeur la production en lien avec les pratiques concrètes des acteurs et leurs effets sur la forêt, notamment l'impact des modes de production sur la dégradation des écosystèmes forestiers de la zone rurale de Lubumbashi.

Ainsi, compte tenu de la forte demande en charbon de bois à Lubumbashi, de l'importance de cette production dans l'approvisionnement énergétique de la ville, de la pression qu'elle exerce sur les forêts, et du rôle économique crucial qu'elle joue pour de nombreux ménages, une étude approfondie de cette activité s'impose. Elle permettra de mieux comprendre l'organisation des producteurs et d'analyser les pratiques de carbonisation en lien avec l'équilibre écosystémique, tout en visant l'amélioration des revenus des producteurs.

La présente recherche doctorale se propose d'étudier la production de charbon de bois dans la région de Lubumbashi. Elle vise à capitaliser les facteurs de réussite, à analyser les difficultés rencontrées par les acteurs de la filière, et à formuler des propositions en faveur d'une gestion durable des ressources forestières de la région de Lubumbashi.

1.3. Questions de recherche, hypothèses et objectifs de la thèse

La présente étude s'articule autour des questions de recherche et hypothèses suivantes :

Q1 : Les caractéristiques des producteurs ainsi que les pratiques développées influencent-elles le mode d'exploitation des ressources forestières lors de la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi ?

H1 : Le profil du producteur ainsi que les pratiques mises sur pied par celui-ci influenceraient le mode de production de charbon de bois. Le charbonnier professionnel exercerait plus de pression sur les ressources du fait de sa permanence dans l'activité et de la production de grandes quantités de charbon de bois, ce qui a une incidence directe sur la forêt (Schure et al., 2019 ; Mumbere et al., 2023).

Q2 : Quels sont les modes d'accès et d'exploitation des ressources forestières pour la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi ?

H2 : L'accès à la terre est diversifié. Les allochtones y accéderaient le plus souvent par achat et location, tandis que l'héritage et le don caractériseraient les autochtones. Ces charbonniers exerceraient plus de pression sur la forêt en raison de pratiques non rationnelles (Schure et al., 2011 ; Maindo et Kapa, 2014).

Q3 : Comment se présente le niveau de rendement de carbonisation ainsi que les facteurs qui le déterminent ?

H3 : Le rendement de carbonisation est faible, et plusieurs facteurs l'influencent, notamment la taille de la meule, la dimension des bois, le taux d'humidité, le type de sol sur lequel la meule est construite, l'espèce d'arbre utilisée, et l'orientation de la meule par rapport au vent (Maurice et Le Crom, 2014 ; Nge, 2021)

Q4 : La commercialisation de charbon de bois par les producteurs de la zone rurale de Lubumbashi est-elle rentable, et quels sont les déterminants de cette rentabilité ?

H4 : La commercialisation du charbon de bois produit dans la zone rurale de Lubumbashi est rentable. Les pratiques de commercialisation, telles que le type de conditionnement, le lieu de vente, la saison de vente, ainsi que des paramètres économiques comme le prix de vente et les différents coûts engagés dans le processus

de production et de commercialisation, influenceraient le niveau de rentabilité (Mere et al., 2024 ; Mensah et al., 2024).

Q5 : Existe-t-il des dynamiques d'associations entre charbonniers, et quels sont les facteurs qui les influencent ?

H5 : Il existerait des formes d'organisations de type informel entre charbonniers, dont les facteurs déterminants seraient le statut des charbonniers, notamment le genre, le statut foncier et l'âge. Il existerait également des formes d'entraide à certaines étapes de la production, ainsi que des échanges d'outils et d'informations relatives à la production et à la commercialisation entre charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi (Grouwels et al., 2021 ; Alemayehu et al., 2023).

La présente thèse a pour objectif général d'analyser la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi, dans une dynamique de professionnalisation et de structuration des acteurs, afin de proposer des modes de production durable.

Elle a pour objectifs spécifiques suivants :

- Catégoriser les charbonniers professionnels et occasionnels de la zone rurale de Lubumbashi selon leurs profils sociodémographiques et socio-ethnologiques ;
- Déterminer le mode d'accès aux ressources forestières ainsi que leur exploitation ;
- Déterminer le rendement de carbonisation ainsi que les facteurs qui l'influencent ;
- Déterminer la rentabilité à l'issue de la commercialisation et les facteurs qui l'influencent ;
- Identifier les facteurs d'organisation des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi en structures formelles.

1.4. Structure de la thèse

La présente thèse s'organise autour de dix chapitres. Le premier chapitre est l'introduction générale, qui fixe le contexte et la problématique de l'étude. Il aborde également les questions de recherche, les hypothèses, ainsi que les objectifs de la thèse. Le deuxième chapitre traite de la partie théorique, consacrée aux généralités sur le charbon de bois, en mettant l'accent sur le maillon de la production, qui constitue le socle de cette étude. Cette partie théorique suit une progression du général au particulier, en présentant d'abord la situation mondiale, puis celle du continent africain, de la République Démocratique du Congo, de la ville de Lubumbashi, jusqu'à son milieu rural, considéré comme le principal bassin d'approvisionnement en charbon de bois.

Le troisième chapitre est relatif à la méthodologie sur laquelle repose cette recherche. Il explique comment les données ont été collectées, décrit le milieu d'étude retenu, ainsi que les types d'analyses effectuées. Les chapitres 4, 5, 6, 7 et 8 présentent les résultats de la thèse. Ils abordent successivement : les caractéristiques des producteurs de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi ; les pratiques d'accès et d'exploitation des ressources forestières ; le rendement de carbonisation ;

la commercialisation du charbon de bois ; et enfin, les modes de structuration des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi. Le neuvième chapitre est consacré à la discussion générale, qui comprend une réflexion sur les choix méthodologiques, une analyse des résultats obtenus et leurs implications. Le dixième et dernier chapitre est consacré à la conclusion générale et aux suggestions formulées à l'issue de cette recherche (Figure 1-1).

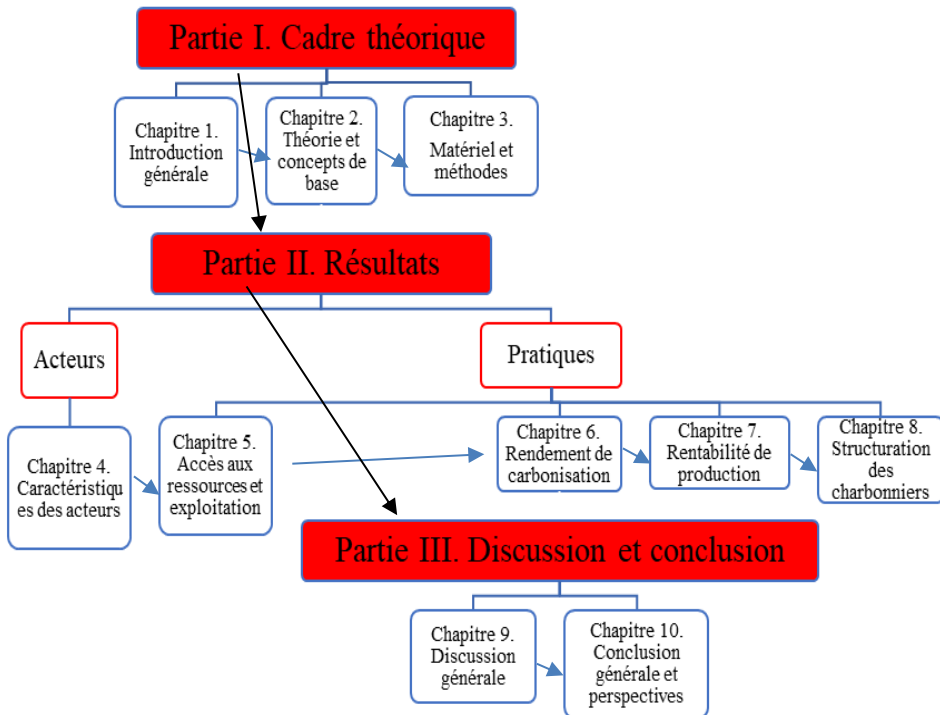


Figure 1-1. Modèle conceptuel de la thèse

Chapitre 2

Théorie et concepts de base

2.1. Généralités

2.1.1. Répartition des forêts et leur importance

La forêt se définit comme étant un terrain occupé par plus de 0,5 ha d'arbres de plus de 5 mètres de hauteur, avec une couverture arborée supérieure à 10 % (FAO, 2010).

Les forêts occupent 31 % de la surface terrestre et abritent près de 60 000 espèces d'arbres, 80 % des amphibiens, 60 % des plantes, 75 % des espèces d'oiseaux, 68 % des espèces de mammifères, ainsi que plus d'un million d'insectes et de microbes du sol (Wilkie, 2020).

Les forêts absorbent du CO₂ et émettent de l'oxygène (O₂). Elles offrent également des moyens de subsistance aux humains. Ainsi, près de 880 millions de personnes collectent du bois de chauffage ou produisent du charbon de bois dans le monde. Environ 2,4 milliards de personnes utilisent le bois-énergie pour la cuisson, et 28 000 plantes issues des forêts sont utilisées à des fins médicinales (Wilkie, 2020).

Les forêts primaires sont celles qui abritent des espèces d'arbres indigènes, sans aucune trace d'activités anthropiques constatée, et dans lesquelles les processus écologiques ne sont pas perturbés de manière significative. Celles-ci représentent 34 % des forêts de la planète (FAO, 2022).

Les forêts plantées, quant à elles, sont également importantes. En 2020, elles constituaient 7 % des superficies forestières mondiales et représentaient 294 millions d'hectares (FAO, 2022).

Le continent africain connaît un haut niveau de déforestation, comme le montre la figure 2-1 Ci-dessous, sur les trois décennies présentées, la perte est estimée à près de 3 millions d'hectares par décennie.

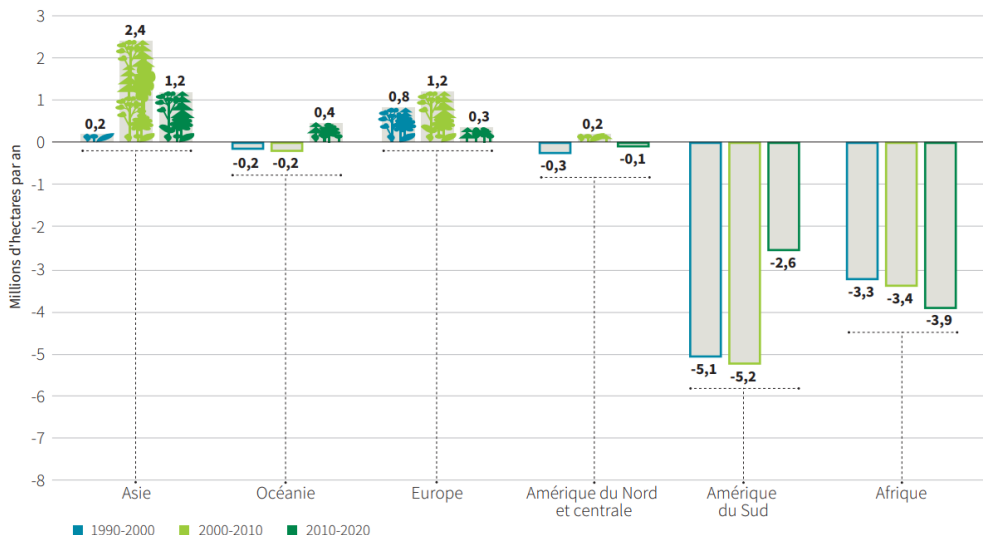


Figure 2-1 : Distribution de la déforestation mondiale de 1990 à 2020 (Source : FAO, 2020).

Il sied également de noter que près de 90 % des forêts mondiales (soit 3,75 milliards d'hectares) se sont régénérées naturellement, contre 7 % (environ 290 millions d'hectares) constituant des forêts plantées, à partir des années 1990 (FAO, 2020).

2.1.2. *Notions des services écosystémiques*

Les forêts rendent d'énormes services aux êtres humains, et ceux-ci sont connus sous le nom de services écosystémiques. Ils sont définis comme étant les bénéfices tirés par les êtres humains des structures et processus des écosystèmes. Ils sont essentiels à la survie et au bien-être humain (Maltby, 2013), comme illustré à la Figure 2-2 ci-dessous :

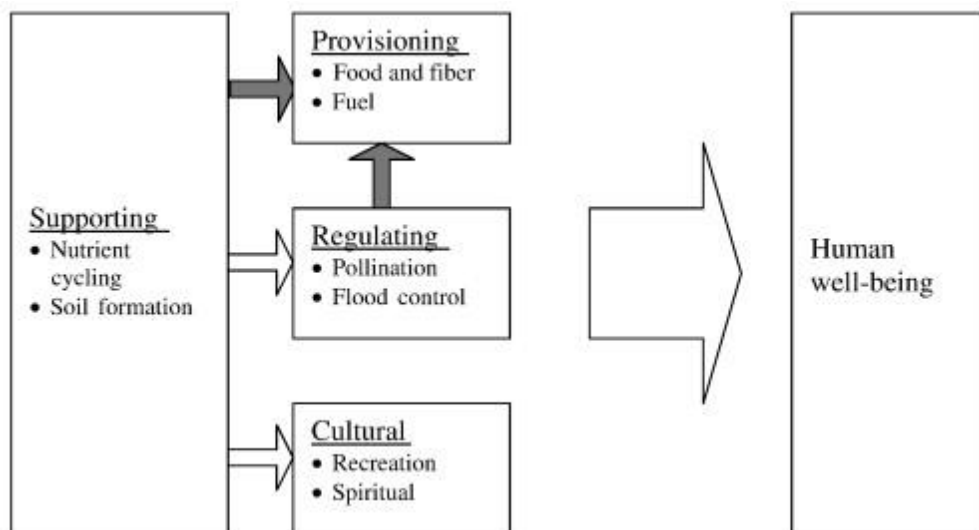


Figure 2-2 : Illustration des services écosystémiques (Source : Zhang et al., 2007).

Les services écosystémiques de régulation comprennent la réglementation de la qualité de l'air, qui se fait par l'élimination de la pollution atmosphérique par les arbres. Les forêts stockent le carbone terrestre dans leurs systèmes sol-végétation. Elles maintiennent la fertilité des sols par la couverture de litière, en tant qu'indicateur de fertilité et de productivité des sols. Les forêts constituent des habitats pour les pollinisateurs, ce qui favorise l'amélioration des rendements des cultures (Crossman et al., 2013).

Les services écosystémiques culturels contribuent au bien-être humain, en tant que bénéfices non matériels des écosystèmes (Pleasant et al., 2014).

Le service d'approvisionnement comprend l'alimentation, l'approvisionnement en eau, les matières premières, les ressources génétiques, médicinales et ornementales. La production alimentaire peut être issue des plantes et des animaux. Les matières premières peuvent être issues des produits ligneux et non ligneux, comme le latex, les gommages, les huiles, les tanins, les colorants, etc. (Crossman et al., 2013).

Le service de soutien est important, du fait que le sol sert de support aux forêts. Ces sols jouent un rôle important en ce qui concerne les besoins des êtres humains, car ils favorisent les autres services, notamment l’approvisionnement et la régulation (Figure 2-3).

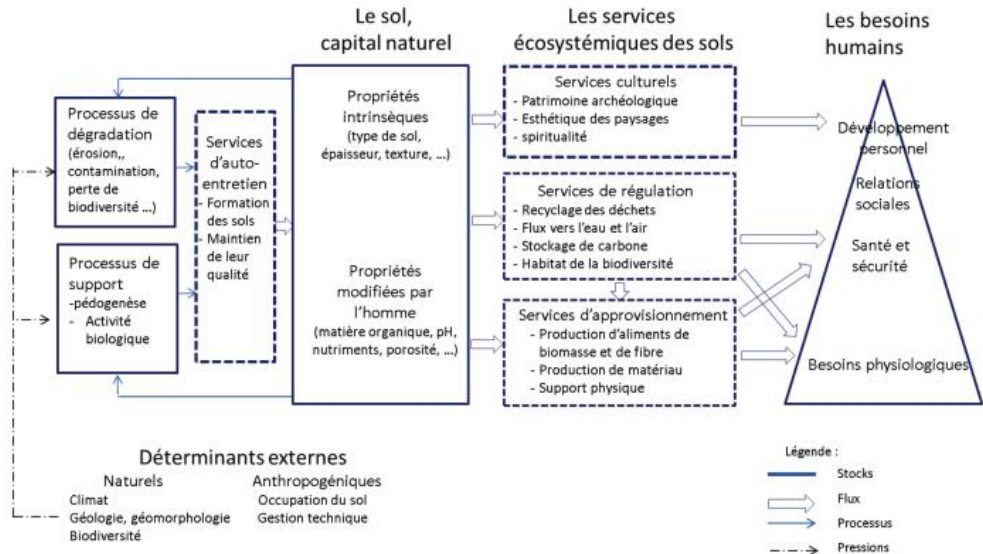


Figure 2-3 : Importance du service de soutien des sols forestiers (Source : Walter et al., 2015).

2.1.3. *Exploitation des forêts pour la collecte de bois-énergie*

Les forêts facilitent l’approvisionnement en bois-énergie, un élément important pour la survie des ménages. Le bois-énergie est le bois utilisé comme combustible, sous forme de bois de feu (ou bois de chauffe) et de charbon de bois (Ghanoun, 2020 ; Kasekete et al., 2023). Le bois de feu est du bois ramassé ou extrait directement de la forêt à des fins exclusivement énergétiques. Il exclut le bois récupéré comme produit secondaire ou résidu issu de la transformation industrielle du bois rond (FAO, 2004). Le charbon de bois, quant à lui, est le résidu formé de carbone, obtenu par une combustion incomplète du bois. Cette carbonisation se produit sous l’effet de la chaleur et en limitant l’apport en oxygène, afin d’éliminer l’humidité et les matières végétales volatiles du bois, ne laissant que le carbone (Barry, 2023 ; Ghanoun, 2020). La carbonisation, quant à elle, est la production de charbon de bois par pyrolyse lente, c’est-à-dire la transformation du bois en charbon de bois (Dufournny, 2018 ; Bito et al., 2006).

La forêt en tant que ressource environnementale avec un enjeu vital. Les forêts pourvoient des revenus, des emplois, des abris et de l’énergie. En tant que source d’énergie renouvelable, elles font face à la déforestation, vu leur importance dans la

fourniture de bois-énergie. Il est important de gérer durablement cette forêt pour le bien-être des êtres vivants (Mpanzu et al., 2018).

2.1.4. Urbanisation et Déforestation en RD Congo

L'urbanisation est un processus qui caractérise l'évolution du monde et est souvent liée à la croissance démographique. L'Afrique a vu sa population croître de manière exponentielle au cours des dernières décennies. En l'espace de quarante ans, celle-ci devrait probablement doubler. Cette population est également de plus en plus urbaine. En 2015, elle représentait 40 % (Tableau 2-1), et d'ici 2050, plus de la moitié de la population africaine (56 %) vivra en milieu urbain. Cette dynamique soulève sans doute des défis majeurs en matière d'organisation et de gestion des villes à venir (Damon, 2016).

Tableau 2-1 : Evolution de la population urbaine entre 1950 et 2050

Années	Monde (%)	Afrique (%)	Asie (%)	Europe (%)	Amérique latine (%)	Amérique du Nord (%)	Océanie (%)
1950	30	14	18	52	41	64	62
2015	54	40	48	74	80	82	71
2050	66	56	64	82	86	87	74

Source: (UN Population Division World Urbanization Prospects - The 2014 Revision; Damon, 2016).

L'urbanisation et la croissance démographique sont liées, du fait que l'on tient compte de la taille de la population ou de l'effectif de la population agglomérée. En RD Congo, dans la plupart des villes, l'on fait face à la prolifération des quartiers spontanés ou auto-construits, en contradiction avec les différents instruments urbanistiques (Makungu et Mutuka, 2015).

L'on souligne la faible participation des autorités locales à la gouvernance foncière urbaine, ce qui est à la base de l'urbanisation rapide. Cela a pour conséquences les constructions anarchiques, les conflits fonciers et la vulnérabilité aux catastrophes naturelles, notamment les glissements de terrain et l'érosion (Tshimbalanga et al., 2023).

L'urbanisation ainsi que la croissance démographique augmentent la demande urbaine et dictent l'approvisionnement des villes en énergie, notamment en charbon de bois. D'où, les forêts autour des grandes villes subissent de fortes pressions (Mpanzu et al., 2018).

La déforestation est une conversion d'une forêt à un autre usage des terres, ou une réduction à long terme du couvert arboré en dessous du seuil minimal de 10 % (FAO, 2004). En RD Congo, les forêts autour des grandes villes sont concernées par cette situation, représentant près de 145 millions d'hectares, soit 10 % des forêts tropicales, l'équivalent de 47 % des forêts africaines.

Ainsi, en RD Congo, en tant que pays du bassin du Congo, on distingue deux catégories de facteurs à la base de la déforestation :

1°) Facteurs directs : il s'agit de l'agriculture, de l'utilisation du bois ainsi que de l'exploitation minière.

2°) Facteurs indirects : la croissance démographique, les infrastructures routières, les facteurs institutionnels et économiques, les facteurs biophysiques, ainsi que bien d'autres facteurs (Tchatchou et al., 2015 ; Kengoum et al., 2015).

Ainsi, le taux de déforestation en RD Congo est l'un des plus élevés, comparé à celui des autres pays du bassin du Congo durant une vingtaine d'années. Il en est de même pour les taux de dégradation et de régénération. (Tableau 2-2)

Tableau 2-2 : Comparaison des taux de déforestation, de dégradation et de régénération entre la RD Congo et d'autres pays du bassin du Congo. Avec TDF : Taux de déforestation ; TDD : Taux de dégradation ; TDR : Taux de régénération

Pays	2000-2010			2010-2020		
	TDF (%)	TDD (%)	TDR (%)	TDF (%)	TDD (%)	TDR (%)
Cameroun	0,02	0,05	0,00	0,04	0,16	0,01
Congo	0,04	0,11	0,00	0,13	0,30	0,01
Gabon	0,01	0,06	0,00	0,02	0,07	0,00
Guinée équatoriale	0,01	0,10	0,00	0,06	0,24	0,01
RCA	0,25	0,17	0,00	0,27	0,33	0,03
RD Congo	0,19	0,32	0,00	0,46	0,54	0,05

Source : Eba'a Atyi et al., 2022.

2.1.5. *Economie des ressources forestières et de l'environnement*

L'économie des ressources forestières est une discipline qui étudie la production, la distribution, l'échange et la consommation des biens et services issus de la forêt. Elle s'intéresse également au comportement des différents acteurs vis-à-vis de ces ressources. L'analyse de ces comportements introduit la notion de valeur de la forêt, qui dépend des caractéristiques et des attentes des agents économiques. Cette notion, englobant plusieurs dimensions, est généralement abordée à travers le concept de valeur économique totale (Figure 2-4).

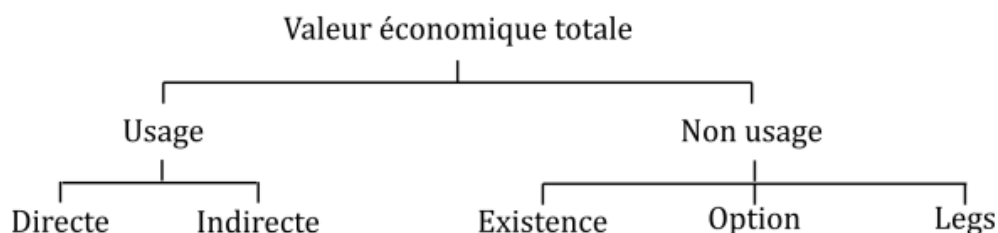


Figure 2-4 : Éléments constitutifs de la valeur économique totale d'une forêt (Source : Ligot, 2025).

La valeur économique totale représente la valeur que les individus attribuent à une ressource naturelle. Elle se compose de deux grands éléments : la valeur d'usage et la valeur de non-usage. La valeur d'usage correspond à la satisfaction qu'un agent retire de l'utilisation d'une ressource, tandis que la valeur de non-usage renvoie à la valorisation d'un bien ou service, indépendamment de son usage effectif. Les valeurs d'usage directes et indirectes sont issues de ressources extractibles ou non extractibles. La valeur d'option désigne la valeur qu'un agent attribue à une ressource en vue d'une utilisation future. La valeur de legs correspond à la valeur qu'un agent accorde à une ressource dans l'objectif de la préserver pour les générations futures.

Enfin, la valeur d'existence est celle qu'un agent confère à un actif sans intention d'usage futur, simplement pour préserver une biodiversité, une espèce ou un écosystème (Ligot, 2025).

La forêt est généralement affectée par l'activité économique, ce qui rend l'économie de l'environnement essentielle, tant pour la réparation des dommages subis que pour l'amélioration des mécanismes de protection. Plusieurs méthodes sont utilisées à cet effet, notamment celles basées sur le consentement à payer pour l'abandon de certaines activités en vue de protéger la forêt. La méthode la plus couramment employée est celle de l'évaluation contingente, qui vise à estimer la valeur d'usage réelle à travers une simulation de marché hypothétique ou contingent. Cela implique d'identifier, d'une part, les effets négatifs des dommages ou externalités, et d'autre part, ce que les agents pollueurs sont prêts à abandonner (ou payer) pour réduire ces externalités, en le traduisant en unités monétaires (Sourokou et al., 2022).

2.1.6. Filières et chaînes de valeur de charbon de bois

Le terme filière correspond en anglais à value chain. La nuance entre les deux notions réside dans le fait que la filière décrit les différentes étapes par lesquelles passe un produit jusqu'à sa consommation finale, tandis que la chaîne de valeur ajoutée, en plus d'analyser le produit et les acteurs impliqués, évalue la valeur ajoutée créée à chaque étape du processus. La chaîne se compose ainsi de plusieurs maillons (Laperche et al., 2024).

Le bois-énergie, en particulier le charbon de bois, mobilise de nombreux acteurs. Pour comprendre le parcours suivi par ce produit, des analyses de filières et de chaînes de valeur sont menées. Une chaîne de valeur est définie comme un système impliquant plusieurs intervenants, allant de la production à la transformation, puis à la distribution du produit par l'intermédiaire de fournisseurs, jusqu'à sa consommation finale (Schure et al., 2014) (Figure 2-5).

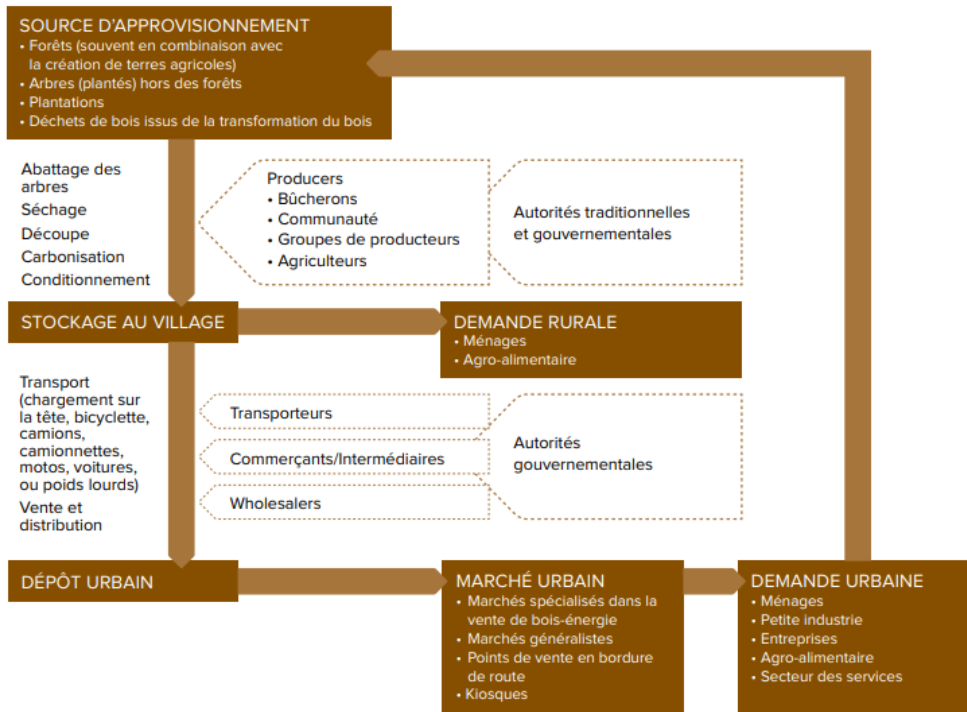


Figure 2-5 : Eléments constitutifs des chaînes de valeur du bois-énergie et différents acteurs (Source : Schure et al., 2014).

En République Démocratique du Congo, les villes sont approvisionnées en charbon de bois à partir de bassins situés dans les zones rurales qui les entourent. Ainsi, pour la ville de Kinshasa, l'acheminement du charbon de bois mobilise de nombreux acteurs, notamment les producteurs, les transporteurs et les commerçants.

Le nombre total d'acteurs impliqués dans cette filière pour l'approvisionnement de Kinshasa est estimé à 340 000 personnes (Dubiez et al., 2021).

Dans le cas de la ville de Lubumbashi, le bassin d'approvisionnement en charbon de bois est situé en milieu rural, réparti sur plusieurs villages appartenant aux secteurs de Kaponda, Kismamba, Bukanda et Kafira, dans la province du Haut-Katanga. À Lubumbashi, la filière charbon de bois génère plusieurs millions de dollars par an. Les producteurs représentent environ 144 000 personnes ; la commercialisation, incluant les grossistes et les détaillants, mobilise près de 25 500 acteurs ; et le transport est assuré par environ 2 000 personnes (Péroches et al., 2021).

Parmi ces acteurs, les producteurs occupent une place centrale dans la filière, en tant qu'acteurs primaires créateurs de revenus et d'opportunités. En République Démocratique du Congo, on distingue deux types de producteurs : ceux qui fabriquent le charbon de bois de manière occasionnelle, et ceux considérés comme des charbonniers spécialisés ou professionnels. Les transporteurs jouent également un rôle essentiel dans l'approvisionnement. Différents moyens de transport sont utilisés, notamment les vélos, les motos, les camionnettes et les camions. Quant aux vendeurs,

ils peuvent être grossistes ou détaillants. Ces deux catégories interviennent dans les villes, où ils vendent le charbon de bois aux ménages, qui en sont les consommateurs finaux (Schure et al., 2014).

2.1.7. *Caractéristiques du bois et du charbon de bois*

Les principaux constituants du bois sont la cellulose, les hémicelluloses et la lignine. La cellulose forme la structure des parois cellulaires du bois et constitue le composant principal du matériau. Les hémicelluloses, deuxièmes constituants chimiques majeurs du bois, sont des polyoses ou polysaccharides. La lignine, quant à elle, constitue la matrice rigide des parois cellulaires ; elle est formée de polymères phénoliques complexes et mal définis (Ghanoun, 2020).

Le charbon de bois, pour sa part, est le produit obtenu après une carbonisation partielle du bois. Ses caractéristiques dépendent notamment du type de bois utilisé et de la température de pyrolyse. Les principaux éléments constitutifs du charbon de bois sont les suivants : le carbone, qui représente entre 82 et 86 % du charbon de bois ; les matières volatiles, à hauteur de 12 à 15 %, composées de gaz combustibles tels que l'hydrogène et l'oxygène ; les cendres, représentant 2 à 3 %, composées principalement de silices, de fer ou de calcium. On peut également y retrouver des traces de métaux alcalins, de phosphore ou d'azote (Badea et al., 2008).

2.1.8. *Carbonisation traditionnelle de charbon de bois*

Parmi les techniques traditionnelles de production de charbon de bois figure la technique des meules. Elle se caractérise par l'utilisation de matériaux simples tels que la paille, les branches et les feuilles, à la différence d'autres types de fours, comme les fours métalliques. Les meules sont généralement considérées comme moins performantes, en raison de leurs faibles rendements de carbonisation, mais elles présentent l'avantage de ne pas exiger de moyens économiques importants pour leur construction. Selon Schenkel et al. (1997), il existe trois types de meules de carbonisation : la meule verticale traditionnelle, la meule horizontale et la meule améliorée. Ces trois types se distinguent de la manière suivante : La meule verticale traditionnelle possède une base circulaire avec un pieu central autour duquel le bois est empilé ; la meule horizontale a la forme d'un demi-cylindre, et le bois y est disposé de manière horizontale ; la meule améliorée, dont la plus répandue est la meule casamançaise, se caractérise par la présence d'évents et d'une cheminée (Schenkel et al., 1998). Outre la technique des meules, on trouve également la technique des fosses, qui consiste à creuser une fosse dans laquelle le bois est partiellement brûlé pour produire du charbon. La couverture peut être en tôle, mais, traditionnellement, elle est réalisée avec de la terre (Girard, 1997).

Ce type de carbonisation est appelé carbonisation par combustion partielle, car la réaction suit une alternance de phases : d'abord endothermique, puis exothermique, et de nouveau endothermique. Un apport de chaleur est donc nécessaire pour initier la réaction. Lors de ce processus, l'énergie est fournie par la combustion d'une partie de la charge de bois, et le rendement énergétique reste inférieur à 50 % (Louppe, 2014). Ainsi, pour obtenir un charbon de bois de qualité, la température à l'intérieur de la

meule joue un rôle déterminant. Sa variation a des effets directs sur la quantité et la qualité du charbon produit. Le tableau 2-3 ci-dessous illustre la variation de température au sein de la meule, ainsi que les produits obtenus à chaque niveau de température.

Tableau 2-3 : Produits obtenus lors de la variation de température pendant la carbonisation

Température	Produit
160°C	Perte de l'eau dans le bois
200°C	Perte d'humidité et de l'hygroscopicité, de l'acide acétique et d'autres composés volatils via la vapeur d'eau. Brunissement du bois.
200-280°C	Dégagement du CO, CO ₂ , vapeur d'eau, acide acétique, méthanol. Obtention du bois roux ou bois torréfié
270-280°C	Décomposition spontanée du bois en une réaction exothermique élevant la température
350-380°C	Obtention de charbon de bois et gaz oxygénés en faible quantité et hydrocarbures de faible poids moléculaires (méthane éthane et éthylène)

Source : Louppe, 2014.

2.1.9. Charbon de bois dans le monde et en Afrique

Le bois est largement utilisé comme combustible. Le bois de feu et le charbon de bois représentent à eux deux 70 % de la consommation énergétique en Afrique (Madon, 2018). Concernant le charbon de bois, sa production repose sur un procédé de pyrolyse, qui consiste à soumettre le bois à des températures d'environ 500 °C, pendant un long moment (quelques heures à plusieurs jours), en présence d'une quantité très faible d'oxygène. Avec un taux d'humidité compris entre 1 et 10 %, le charbon de bois présente un pouvoir calorifique inférieur (PCI) variant entre 27 et 32 MJ/kg, selon la technique employée et le savoir-faire du charbonnier (Crehay et Marchal, 2004).

Le charbon de bois est un combustible fabriqué par l'homme. Depuis l'Antiquité, il est connu qu'il faut chauffer le bois à une certaine température (modérée), sans l'enflammer, car une combustion complète le réduirait en cendres. Cela permet d'obtenir une matière combustible appelée charbon de bois. La production traditionnelle consiste à empiler du bois que l'on recouvre d'une couche de terre, pour l'isoler de l'air et donc de l'oxygène. On enflamme ensuite ce tas, ce qui permet d'extraire l'humidité et toutes les matières volatiles végétales ou organiques, afin de ne laisser que le carbone et quelques minéraux (Gastou, 2014).

Le charbon de bois reste une source d'énergie essentielle en Afrique, en particulier en Afrique subsaharienne (Schure et al., 2019). Plus de 80 % des consommateurs de charbon de bois vivent en milieu urbain, ce qui en fait la principale source d'énergie domestique pour les ménages des villes africaines. Entre 1997 et 2000, la consommation annuelle de charbon de bois a été estimée à 471 000 tonnes dans la

ville de Dar-es-Salaam. À Maputo, au Mozambique, elle a atteint 130 000 tonnes en trois ans, tandis qu'à Kampala, en Ouganda, elle se situait entre 200 000 et 230 000 tonnes (Seidel, 2008). Aujourd'hui, la production de charbon de bois s'impose comme un enjeu central des débats internationaux. La situation de plusieurs pays africains, notamment ceux de l'Afrique de l'Est, où cette source d'énergie est majoritairement utilisée à des fins domestiques, suscite l'inquiétude des institutions internationales (Frayser, 2007).

2.1.10. Charbon de bois en RD Congo

Le taux d'accès à l'énergie électrique en République Démocratique du Congo est très faible, estimé à moins de 10 %, contre une moyenne de 18 % à l'échelle du continent africain. En milieu rural, ce taux chute à seulement 1 % (AFDB, 2010). A Lubumbashi, les consommateurs d'électricité se répartissent en plusieurs catégories : les utilisateurs en haute tension, les consommateurs industriels, les consommateurs semi-industriels (incluant grandes et petites industries telles que moulins, menuiseries, pressings, etc.) et les ménages (Kyoni et al., 2022). Bien que la consommation électrique des ménages ait augmenté de manière significative, il convient de souligner la détérioration de la qualité du service, due à la vétusté des réseaux et à la multiplication des connexions illégales (Banza, 2019).

La distribution spatiale de l'électricité varie selon les communes. En raison de la croissance démographique et de l'étalement urbain, certaines zones, comme la commune Annexe, présentent un faible taux d'accès, avec une moyenne communale allant de 41,6 % à 78,3 % (Mbungu et al., 2023). L'énergie électrique demeure néanmoins la principale source d'énergie pour la ville, représentant 61 % de la consommation. Dans le quartier CRAA à Lubumbashi, la répartition des sources d'énergie est la suivante : énergie hydroélectrique (23 %), charbon de bois (12 %) et groupes électrogènes (45 %) (Twite et Balume, 2022).

D'autres formes d'énergie sont de plus en plus utilisées pour pallier les déficits et les problèmes de qualité liés à l'approvisionnement électrique, notamment le bois-énergie pour la cuisson (Bélani et al., 2023).

En raison de ces problèmes de desserte et de consommation électrique, la RD Congo figure parmi les pays où la consommation de bois-énergie en milieu urbain est particulièrement élevée. Certaines filières ont été développées, comme à Kinshasa et Kisangani, où le bois-énergie représente la principale source d'énergie pour 90 % de la population urbaine et une part importante des industries. À Kinshasa, la demande en bois-énergie dépasse déjà les capacités de production des forêts périurbaines (Schure et al., 2013). A Bukavu, la filière charbon de bois est structurée autour de trois principaux types d'acteurs : producteurs, transporteurs et commerçants. Le nombre total d'acteurs impliqués dans cette filière est estimé à 35 700. Pour la filière bois de feu, on dénombre environ 400 équipes de bûcherons (Dubiez et al., 2021).

A Lubumbashi, la quasi-totalité du charbon de bois provient des forêts de Miombo, selon les enquêtes menées auprès des commerçants et des producteurs. En effet, un seul commerçant sur 357 a déclaré s'approvisionner en bois issu de plantation. Par ailleurs, 85 % des producteurs interrogés affirment que le bois utilisé provient de

l'ouverture de leurs champs. Le charbon de bois est donc majoritairement un sous-produit des activités agricoles (Péroches et al., 2021).

2.1.11. Facteurs de production et rendements

Les facteurs de production sont les éléments qui entrent physiquement dans le processus de production. En agriculture ou dans la production de charbon de bois, ils peuvent inclure le travail ainsi que les ressources productives matérielles, comme les outils de production. Les conditions de production, quant à elles, désignent l'ensemble des caractéristiques propres à l'exploitation et à son environnement, susceptibles d'influencer la gestion de cette exploitation ainsi que ses résultats, tant sur le plan productif qu'économique (Levard, 2024).

La théorie de la production, pour sa part, cherche à répondre à plusieurs questions fondamentales : Que produire ? Combien produire ? Comment produire ? Avec quelles quantités de ressources et quelles techniques ? Elle repose sur les décisions prises par les producteurs, selon l'hypothèse que ceux-ci cherchent à maximiser leur profit, tout en étant soumis à des contraintes, telles que les ressources disponibles et les lois techniques de la production (Chia et al., 2014).

Le rendement correspond au rapport entre la quantité produite et la surface utilisée.

Cette notion est principalement utilisée dans le domaine agricole, où elle dépend de nombreux facteurs (Rain Forest Alliance, 2021). En revanche, la productivité désigne le rapport entre la production obtenue et la quantité de facteur de production mobilisé. Elle constitue un indicateur essentiel de la croissance économique et joue un rôle clé dans sa compréhension. Dans l'approche économique néoclassique, la productivité est évaluée exclusivement à partir des facteurs capital et travail (Sanouna et al., 2020).

2.1.12. Notions de caractérisation

La caractérisation peut mobiliser diverses méthodes et techniques, mais repose toujours sur des critères définis. Elle adopte une approche systémique. Ainsi, par exemple, pour caractériser l'agriculture durable, plusieurs indicateurs peuvent être utilisés. Le premier est la viabilité, qui renvoie à l'efficacité économique du système de production ainsi qu'à la sécurisation de ses sources de revenus face aux aléas du marché et à l'incertitude des aides directes. Le deuxième indicateur est la vivabilité, qui vise à évaluer si l'activité permet à l'exploitant et à sa famille de bénéficier d'une vie professionnelle et personnelle décente. Enfin, la reproductibilité environnementale concerne la capacité des écosystèmes, en lien avec les exploitations, à se maintenir dans le temps. Celle-ci peut être analysée à l'aide d'indicateurs agro-environnementaux, permettant de caractériser les impacts des pratiques agricoles sur les milieux (Zahim et al., 2008).

2.1.13. Producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi

La production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi est assurée par plusieurs personnes. Les charbonniers dans cette zone seraient estimés à environ 144

000 personnes (Péroches et al., 2021). Bien qu'étant une pratique traditionnelle, l'ampleur de la carbonisation s'est fortement accentuée au cours des dernières décennies dans la zone. Les charbonniers se considèrent comme des hommes forts, étant donné que la carbonisation exige une importante force musculaire. Ceux-ci sont soit originaires des villages (autochtones), soit non originaires de ces villages (allochtones). Ils produisent à temps partiel, voire uniquement pendant une saison (charbonniers occasionnels), tandis que d'autres travaillent de manière continue toute l'année (professionnels) (Trefon et al., 2010).

L'activité, de manière générale, est individuelle dans ce milieu et majoritairement dominée par les hommes. Les femmes interviennent le plus souvent pour prêter main-forte aux hommes, notamment à leurs époux, à certaines étapes de la production comme l'emballage du charbon de bois ainsi que la commercialisation. Il sied aussi de noter que les charbonniers sont, pour la plupart, jeunes (Nge et al., 2021).

2.1.14. Exploitation des ressources forestières et activité de carbonisation dans la zone rurale de Lubumbashi

La forêt autour de Lubumbashi est le miombo, une forêt claire caractérisée par des espèces d'arbres de la famille des Fabaceae (Nge, 2021). C'est une forêt à prédominance de *Julbernardia* et *Brachystegia* (Malaisse, 1988 ; Chidumayo, 2004).

L'accès aux ressources, comme dans d'autres contrées du pays, est dominé par le pouvoir coutumier, d'autant plus qu'il est le gestionnaire du foncier dans ces milieux (Battory et Vircoulon, 2020). C'est ainsi que les producteurs passent par ces derniers pour l'achat ; parfois, certains autres peuvent passer par d'autres ayants droit, c'est-à-dire les propriétaires terriens.

L'Etat y joue également un grand rôle, ce qui entraîne parfois un chevauchement entre le droit coutumier et le droit étatique. Les agents de l'Etat considèrent que le sol et le sous-sol appartiennent à l'Etat, d'où la présence de plusieurs taxes. De l'autre côté, ce sont les autochtones qui se considèrent comme propriétaires terriens, le chef coutumier en étant le représentant (Trefon et al., 2010). Il sied de noter que l'accès aux ressources est quasi gratuit, en raison de coûts qui ne représentent presque rien (Nge, 2021).

Parlant de l'accès à l'arbre, il faut d'abord considérer l'accès à la terre sur laquelle se trouvent ces arbres. L'accès aux ressources forestières peut se faire par achat, par héritage ou par don de la terre (Munkner et al., 2015).

2.1.15. Production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi

Pour produire le charbon de bois, les charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi construisent des meules, qui sont des fours en terre utilisés pour la production de charbon de bois, et qui consistent en une combustion partielle du bois (Schenkel et al., 1998).

La construction d'une meule passe par plusieurs étapes, à savoir l'abattage du bois. Celui-ci se fait généralement à l'aide d'une hache. Après cette étape, les arbres abattus

sont découpés, puis rangés ou empilés. Généralement, les plus gros troncs d'arbres sont placés en bas, et les plus petits au-dessus. Ensuite, ce bois est recouvert, dans un premier temps, par de la paille, puis, dans un second temps, par de la terre, aussi bien au-dessus que sur les flancs du bois empilé. L'aération, assurée par des événements, est également prévue afin de faciliter la combustion à l'intérieur de la meule. (Nge, 2021) (Figure 2-6) :



Figure 2-6 : Etapes de construction d'une meule et production de charbon de bois à Lubumbashi.

2.1.16. Commercialisation de charbon de bois produit dans la zone rurale de Lubumbashi

Après l'étape de production de charbon de bois, celui-ci doit être acheminé vers la ville de Lubumbashi, qui constitue son principal centre de consommation. Les producteurs de charbon de bois peuvent vendre directement leurs produits sur le lieu de production, à des commerçants ou revendeurs, qui, à leur tour, les écoulent à Lubumbashi. D'autres charbonniers vendent leur production au bord des routes, dans les villages, tandis qu'une autre catégorie préfère acheminer elle-même le produit jusqu'à Lubumbashi (Munkner et al., 2015) (Figure 2-7).

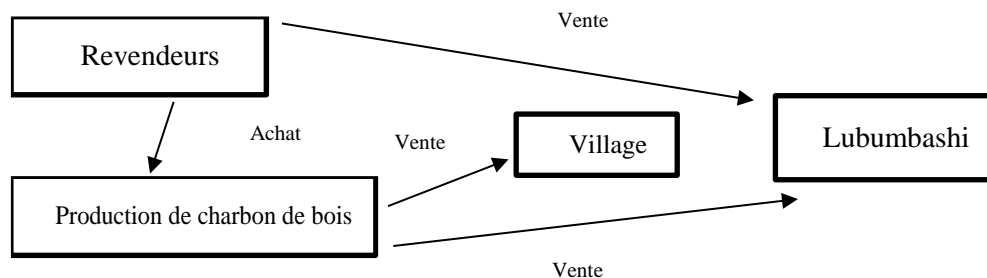


Figure 2-7 : Circuit de commercialisation de charbon de bois produit dans la zone rurale de Lubumbashi

Le transport vers Lubumbashi peut se faire par véhicules, notamment par camions, le plus souvent pour les grandes quantités, ou encore grâce aux vélos ou motos (Figure 2-8).



Figure 2-8 : Acheminement du charbon de bois vers Lubumbashi

2.1.17. Mouvements associatifs entre charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi

Les producteurs de la zone rurale de Lubumbashi, à la différence de ceux d'autres contrées du pays notamment ceux qui produisent autour de Kinshasa travaillent le plus souvent de manière individuelle. Toutefois, quelques mouvements associatifs de type informel ont été identifiés, en raison de la rudesse du travail, qui exige une main-d'œuvre importante, notamment à cause des dimensions importantes des meules construites (Trefon et al., 2010), comme le montre la Figure 2-9 ci-dessous :



Figure 2-9 : Etape de couverture du bois avec de la terre par les membres d'une association informelle au village Luisha

Chapitre 3

Matériel et méthodes

3.1. Localisation du milieu d'étude

Pour parler de la zone rurale de Lubumbashi, il est essentiel de commencer par connaître la ville de Lubumbashi. Fondée en 1910, cette ville portait autrefois le nom d'Élisabethville. Elle est située au sud-est de la République démocratique du Congo, à une altitude comprise entre 1 220 et 1 240 mètres. Lubumbashi s'étend sur une superficie de 747 km² et est constituée de sept communes, dont six sont urbaines : Lubumbashi, Kamalondo, Kenya, Katuba, Kampemba et Rwashi. La septième, la commune Annexe, entoure la ville et est considérée comme une commune urbano-rurale (Dibwe, 2021). La ville est desservie par plusieurs axes routiers principaux, notamment la route de Kasenga, la route de Likasi, la route de Kasumbalesa et la route de Kafubu (Figure 3-1).

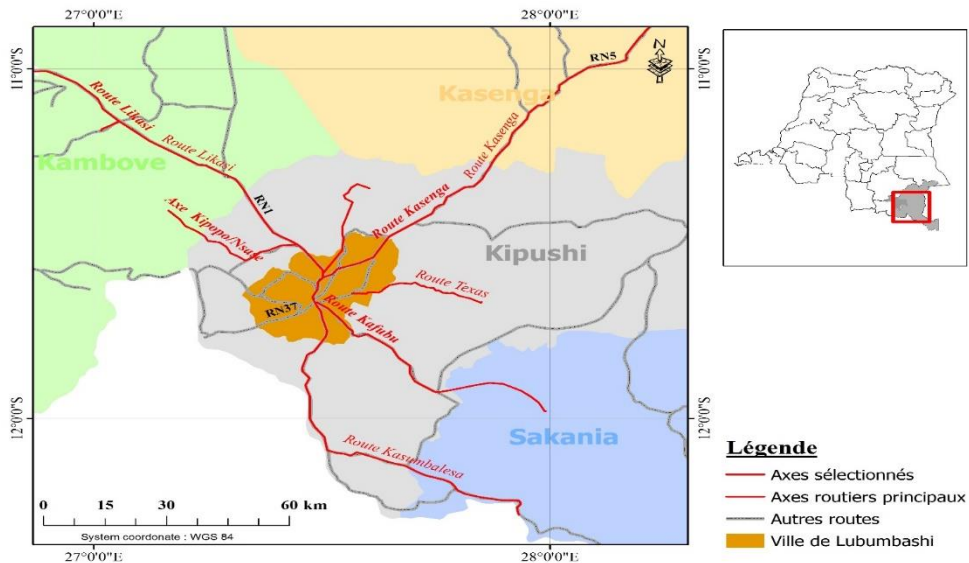


Figure 3-1 : Localisation de la ville de Lubumbashi et ses principaux axes d'approvisionnement

3.2. Climat

La zone rurale autour de la ville de Lubumbashi a un climat de type tropical, caractérisé par une saison sèche s'étendant de mai à octobre, suivie d'une saison des pluies allant de novembre à avril. Les températures mensuelles varient entre 17 et 24 °C, avec une température minimale d'environ 8 °C observée entre juin et juillet, et un maximum atteignant 32 °C au début de la saison des pluies (Lengwe, 2015).

3.3. Végétation

La végétation de la zone rurale de Lubumbashi est constituée d'une forêt claire de type miombo (Malaisse et al., 2018). Les populations locales y puisent diverses ressources, notamment des produits forestiers non ligneux (PFNL) et des produits ligneux. Parmi les espèces ligneuses les plus utilisées pour la fabrication du charbon

de bois figurent le *Brachystegia* sp., *Julbernardia* sp., *Pericopsis angolensis* et *Marquesia macroura* (Figure 3-2).

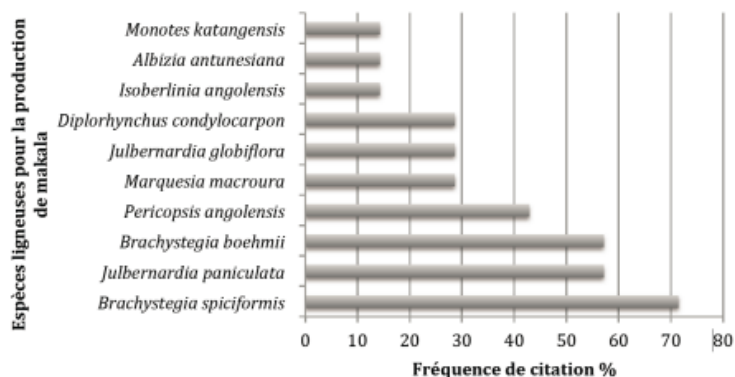


Figure 3-2 : Essences utilisées pour la production de charbon de bois autour de Lubumbashi. (Source : Hick et al., 2013).

Parmi les espèces ligneuses les plus utilisées pour la construction figurent le *Pericopsis angolensis*, *Parinari* sp. et *Monotes katangensis* (Figure 3-3).

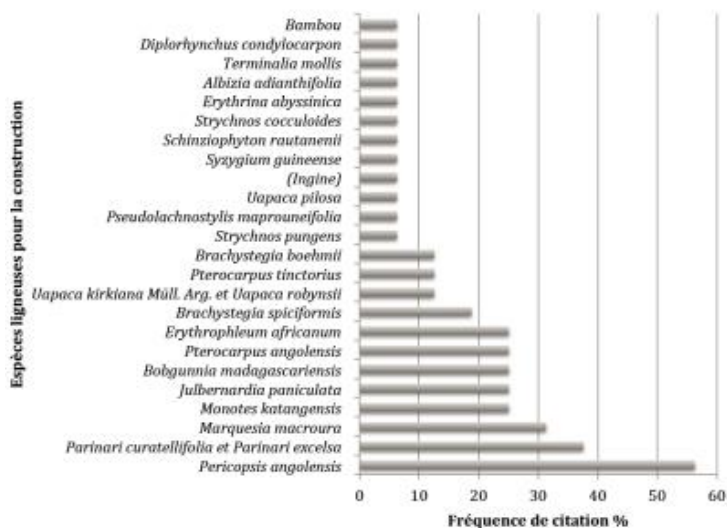


Figure 3-3 : Essences utilisées dans la construction au tour de Lubumbashi. (Source : Hick et al., 2013).

3.4. Population et activités économiques

Les populations des villages de la zone rurale de Lubumbashi ont, pour la plupart, comme activités principales : l’agriculture, la production de charbon de bois et la collecte des Produits Forestiers Non Ligneux (PFNL). Ces PFNL sont essentiels pour ces communautés, car ils répondent à leurs besoins nutritionnels, matériels et

pharmaceutiques. Parmi ces produits figurent : les chenilles, le miel, les champignons, les cigales, les sauterelles, les escargots, les oiseaux, le gibier, les légumes et les fruits (Mpundu, 2018).

Quant à l'agriculture dans cette zone, il s'agit d'une agriculture de subsistance, qui constitue la base de l'alimentation des ménages, notamment avec des cultures comme le manioc et le maïs. On y cultive également d'autres produits, tels que des légumes, la patate douce et l'arachide (Malaisse, 1979).

La production de charbon de bois, localement appelée "makala", concerne un grand nombre de personnes, en raison de la localisation stratégique de ces villages par rapport aux axes d'approvisionnement de Lubumbashi, mais aussi grâce à la présence de forêts dans ces milieux (Malaisse, 1979). Cette activité revêt une importance capitale pour les ménages, car elle leur permet de subvenir à leurs besoins essentiels (Mpundu, 2018).

3.5. Justification du choix des sites

Le bassin d'approvisionnement en charbon de bois de Lubumbashi est constitué de plusieurs villages, considérés comme des villages de charbonniers, afin de répondre à la demande urbaine en charbon de bois (Khoji et al., 2023). Au fil des années, ce bassin de production a évolué, et son aire d'influence est passée à 60 km autour de Lubumbashi (Kabulu et al., 2018).

Les principaux axes d'approvisionnement en charbon de bois pour la ville de Lubumbashi sont nombreux, notamment Kasenga, Kipushi, Likasi, et Kasumbalesa (Munkner et al., 2015 ; Péroches et al., 2021).

Dans la présente étude, quatre villages de charbonniers, appartenant à différents axes d'approvisionnement de la ville de Lubumbashi, ont été retenus. Il s'agit du village Maksem, situé sur l'axe Kasenga ; de Sela, sur la route de Kinsevere ; de Luisha, sur l'axe Likasi ; et de Mwawa, sur la route de Kasumbalesa.

Ces quatre villages ont été sélectionnés parmi 15 villages présélectionnés, tous situés dans un rayon de 80 km autour de Lubumbashi. À la différence des autres, ces villages comptent un plus grand nombre de producteurs de charbon de bois, ce qui présente un avantage pour l'étude de la diversité des producteurs ainsi que des pratiques des charbonniers. En outre, leur représentativité géographique et leur proximité avec Lubumbashi constituent un atout pour la compréhension de l'activité autour de la ville. Mwawa est situé au sud de la ville ; Sela, au nord ; Luisha, au nord-est ; Maksem, au nord-ouest (Figure 3-4).

Cette répartition offre une configuration Nord-Sud et Est-Ouest, particulièrement intéressante, car ces villages sont connectés par des routes secondaires, ce qui favorise les échanges et la diffusion des pratiques entre charbonniers. Enfin, la production de charbon de bois exerce une forte influence dans ces villages, en raison de son ampleur. De grandes quantités y sont produites, et emballées selon une diversité de conditionnements.

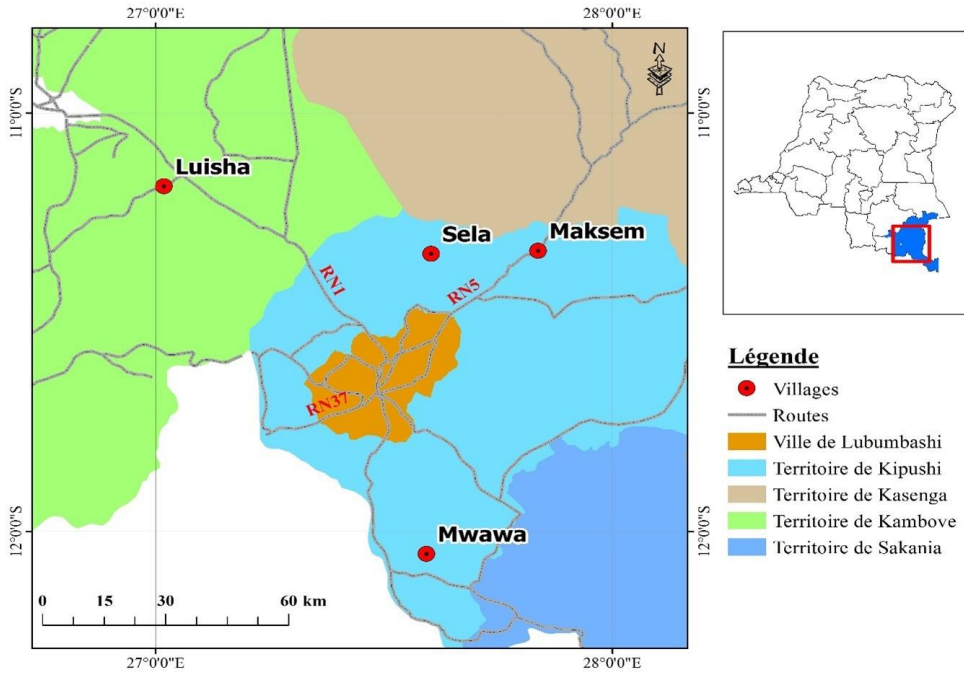


Figure 3-4 : Localisation des villages des charbonniers retenus dans la présente étude.

3.6. Echantillonnage

L'échantillonnage a été adapté en fonction des types d'informations à recueillir. Il s'est déroulé en trois phases, à savoir : L'échantillonnage pour la caractérisation des chefs de ménage de la zone rurale de Lubumbashi ; l'échantillonnage relatif au suivi des charbonniers ; l'échantillonnage relatif aux pratiques des charbonniers.

3.6.1. Echantillonnage relatif à la caractérisation des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi

La taille de l'échantillon pour cette première étape de nos enquêtes a été de 258 chefs de ménages répartis dans les quatre villages concernés par la présente étude. Ce nombre a été déterminé à l'aide de la formule de Bernoulli (Sabuhungu, 2016 ; Muteba, 2014). Les données sur les effectifs des populations des différents villages proviennent des rapports annuels établis par les autorités locales et par l'ONG BUCODED. Ainsi, le nombre de chefs de ménages recensés dans chacun des quatre villages se présentait comme suit : Sela : 1 150 ménages ; Maksem : 1 150 ménages ; Mwawa : 163 ménages ; Luisha (partie rurale) : environ 2 670 ménages Ce qui donne un total de 6 116 ménages pour l'ensemble des quatre villages. Cette formule a été choisie en raison de la disponibilité des effectifs des habitants dans les villages étudiés, permettant ainsi d'obtenir un échantillon représentatif tenant compte de l'ensemble de villages (Henry, 2003).

$$n = \frac{1,64^2 \times N}{1,64^2 + I^2 \times N - 1} = \frac{1,64^2 \times 6116}{1,64^2 + 0,1^2 \times 6116 - 1} = 258 \quad (1)$$

N : la taille de la population qui correspond au nombre total des ménages des villages de la présente étude ; n : taille de l'échantillon ; I : la marge d'erreur acceptable (prise à 10%) ; 1,64 le coefficient critique pour un niveau de confiance de 90%.

3.6.2. *Echantillonnage relatif au suivi des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi*

Étant donné le nombre élevé de charbonniers et le type d'informations à recueillir, un suivi spécifique a été réalisé auprès de certains d'entre eux. Il s'agit de 20 producteurs professionnels de charbon de bois issus de la zone rurale de Lubumbashi (Schure et al., 2019). Ces charbonniers se sont distingués par la régularité de leur activité : ils produisent du charbon de bois de manière continue, quelle que soit la saison. Les quantités minimales produites par meule étaient de 40 sacs, et la production de charbon de bois représente leur seule activité économique (Gauthier et al., 2009 ; Dabat et al., 2010 ; Trefon et al., 2010 ; Munkner et al., 2015). Ces producteurs professionnels ont permis de recueillir des informations précises sur : les pratiques de carbonisation, les modalités d'accès et d'exploitation des ressources forestières, ainsi que sur la commercialisation du charbon de bois.

3.6.3. *Echantillonnage relatif aux producteurs de charbon de bois*

Pour cette troisième enquête, un échantillonnage raisonné a été appliqué. Celui-ci avait pour critère principal de ne sélectionner que les charbonniers parmi les 258 chefs de ménage des villages identifiés lors de la première enquête menée en amont. Bien que les charbonniers présentent des caractéristiques variées, 135 d'entre eux ont été retenus (Etikan et al., 2016). Cet échantillon comprenait à la fois des producteurs professionnels et des producteurs occasionnels, ce qui a permis de collecter des données sur la structuration des producteurs de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi.

3.7. Collecte des données

Les enquêtes et le suivi des charbonniers nous ont permis d'étudier la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi, en caractérisant les acteurs impliqués et en analysant les différentes pratiques mises en place par ces derniers. Par ailleurs, grâce aux questionnaires d'enquête, aux fiches de suivi et aux échantillons respectifs (comme mentionné ci-haut), nous avons pu collecter les informations nécessaires auprès de notre population d'étude.

La collecte proprement dite des données de cette recherche a été précédée par des pré-enquêtes et enquêtes exploratoires, menés notamment au niveau des dépôts et marchés de vente de charbon de bois à Lubumbashi, ainsi que dans plusieurs villages charbonniers situés autour de la ville.

3.7.1. Pré-enquêtes à Lubumbashi auprès des vendeurs de charbon de bois

Ces pré-enquêtes ont été organisées dans le but d'identifier les différents villages approvisionnant la ville de Lubumbashi en charbon de bois. Nous nous sommes appuyés sur un questionnaire structuré, contenant les informations suivantes :

- Le profil sociodémographique des vendeurs ;
- Les quantités de charbon de bois acheminées à Lubumbashi ;
- Le moyen de transport utilisé pour l'acheminement du charbon de bois ;
- Le village d'approvisionnement ou de production du charbon de bois, ainsi que sa distance par rapport à Lubumbashi.

Dans cette première étape, 150 vendeurs de charbon de bois ont été enquêtés au mois de mars 2020. Ces vendeurs étaient répartis dans 14 dépôts et marchés de la ville. La répartition du nombre de dépôts visités et du nombre de vendeurs enquêtés est présentée dans le tableau 3-1 ci-dessous.

Tableau 3-1: Dépôts de vente et effectif des vendeurs enquêtés dans la ville de Lubumbashi

N°	Nom du dépôt	Localisation (Commune)	Nombre d'enquêtés
1	Araucarias	Kampemba	12
2	Commune Kenya	Kenya	10
3	Faustin	Annexe	10
4	FINA Laboheme	Annexe	10
5	Kalebuka	Annexe	10
6	Kalubwe Double Poteau	Lubumbashi	12
7	KCC Yesu Anaweza	Kampemba	10
8	Kilobelobe	Annexe	11
9	Maman Marthe	Annexe	10
10	Marche Moise	Annexe	12
11	Marche Zambia	Annexe	10
12	Matshipisha	Katuba	10
13	Radem	Annexe	12
14	Tabac Congo	Annexe	11
	Total		150

3.7.2. Première phase des enquêtes exploratoires au niveau des villages des charbonniers

A la suite des enquêtes menées auprès des vendeurs de charbon de bois à Lubumbashi, les informations recueillies sur leurs lieux d'approvisionnement nous ont permis de mener, entre le 7 juillet et le 7 août 2020, des enquêtes exploratoires dans 15 villages de charbonniers, répartis le long de huit axes d'approvisionnement de la ville (Tableau 3-2).

Cette étape s'est d'abord caractérisée par des observations directes effectuées dans les villages et sur les sites de production, afin d'évaluer l'ampleur de l'activité de carbonisation. Ensuite, des échanges ont été menés avec certains membres des villages concernant la pratique de la carbonisation dans leur localité et la localisation précise des lieux de production (Tableau 3-2).

Tableau 3-2 : Villages de charbonniers visités lors des enquêtes exploratoires dans la zone rurale de Lubumbashi, durant la période allant du 7 juillet au 7 août 2020.

Période (2020)	Axes	Villages	Distance (Km)	estimée
07 Juillet	Ruashi	Texas	33	
14 Juillet	Kafubu	Sambwa	30	
		Muriashi	80	
17 Juillet	Kasenga	Lubombo	90	
		Malambwe	72	
		Maksem	60	
21 Juillet	Kinsevere	Sela	45	
		Kilongo	30	
24 Juillet	Likasi	Lwisha	86	
27 Juillet	Kipopo	Kipopo Mission	30	
		Nsase	45	
31 Juillet	Kasumbalesa	Kimono	62	
		Sumbiriri	50	
		Mwawa	57	
07Aout 2020	Kipushi	Mimbulu	20	

3.7.3. Deuxième phase des enquêtes exploratoires dans les villages retenus

A l'issue de la première phase d'enquêtes exploratoires, quatre villages de charbonniers ont été retenus, sur la base des critères mentionnés précédemment. Leur répartition géographique est illustrée à la Figure 3.1. Des observations directes complémentaires ont été réalisées de manière approfondie afin de confirmer la pertinence de ces choix. Des échanges ont également eu lieu avec des personnes ressources disposant de connaissances sur l'activité de production de charbon de bois dans les villages concernés. Il s'agissait notamment de charbonniers, de notables et de chefs de villages, auprès desquels des informations ont été recueillies sur l'évolution de cette activité et sa place en tant qu'activité économique locale. Cela a permis d'apprécier l'ampleur de la production de charbon de bois dans chaque village (Sela, Luisha, Mwawa et Maksem), en complément des observations directes.

3.7.4. Focus group dans les villages de charbonniers retenus dans la zone rurale de Lubumbashi

Le focus group constitue une étape très importante ayant précédé les enquêtes proprement dites, car il s'agit d'une enquête qualitative qui nous a permis de diversifier les points de vue sur l'activité de carbonisation dans les quatre villages retenus pour cette étude (Barry, 2023). Des focus groups ont été organisés dans chacun des villages sélectionnés (Luisha, Maksem, Sela et Mwawa), dans le but de recueillir la perception des producteurs sur l'activité de production de charbon de bois, ainsi que sur son impact à la fois sur le village et sur la forêt. Ces échanges ont également servi à identifier et sélectionner, parmi les producteurs, ceux répondant aux critères requis pour participer aux enquêtes principales.

À cet effet, un guide d'entretien élaboré à l'avance a été utilisé pour structurer nos discussions avec la population ciblée. Celle-ci comprenait des représentants des charbonniers, des notables du village, ainsi que certains agriculteurs ayant pratiqué la carbonisation ou disposant d'une bonne connaissance dans ce domaine.

Chaque focus group rassemblait au moins 15 participants, et la présence des femmes a été systématiquement prise en compte afin d'assurer une bonne représentativité. En plus du guide d'entretien, un enregistreur vocal a été utilisé avec l'accord des participants pour garantir une collecte fidèle et complète des informations. Le guide d'entretien utilisé comportait les éléments suivants :

- Les caractéristiques du village ;
- L'historique de la production de charbon de bois dans le village et son impact environnemental au fil du temps ;
- Les conditions juridico-administratives d'accès aux ressources forestières ;
- Les informations relatives à la production de charbon de bois, ainsi que l'identification des producteurs professionnels (voir Figure 3-5).



Figure 3-5 : Préparation à une séance de Focus group à Maksem (Axe Kasenga)

3.7.5. Enquête socioéconomique auprès des chefs de ménages de villages des charbonniers

Cette enquête porte sur la collecte des premières données de notre thèse. Elle a été menée auprès de 258 chefs de ménage issus des quatre villages étudiés. Il s'agit d'une étude socioéconomique visant à identifier les chefs de ménage impliqués dans la production de charbon de bois, afin d'évaluer l'importance de cette activité parmi l'ensemble des activités économiques exercées dans ces villages. L'étude a permis de caractériser les producteurs de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi. Un questionnaire d'enquête a été utilisé, contenant les informations suivantes :

- Le profil sociodémographique des chefs de ménage (âge, genre, niveau d'étude, statut matrimonial, taille du ménage, etc.) ;
- Le profil socioethnographique des chefs de ménage producteurs de charbon de bois ;
- Les moyens de production utilisés par les charbonniers ;
- Le mode d'organisation du travail lors de la production de charbon de bois.

Il sied de noter qu'un pré-test a été réalisé en amont, comme pour toutes les enquêtes menées dans le cadre de cette thèse. Les retours des participants sur la compréhension du questionnaire ont permis d'apporter des ajustements, afin d'assurer la qualité des réponses obtenues lors des enquêtes proprement dites. Un nombre restreint de personnes a pris part à cet exercice, notamment certains participants aux focus groups réalisés précédemment. Chaque séance de pré-test réunissait environ 10 personnes. Pour cette première étude, le pré-test a permis d'évaluer le niveau de compréhension et d'interprétation des informations contenues dans le questionnaire, notamment en ce

qui concerne les notions de producteurs occasionnels ou professionnels, ainsi que la question de l'appartenance ethnique, qui fait le lien entre le statut autochtone ou allochtone.

3.7.6. *Enquête auprès des charbonniers professionnels*

Cette étape a précédé la phase de carbonisation proprement dite. Elle a été réalisée auprès de 20 charbonniers professionnels issus des quatre villages concernés par cette étude, répartis comme suit : 5 à Maksem, 6 à Luisha, 4 à Mwawa et 5 à Sela. Le choix de cette minorité de charbonniers repose sur leur importance pour la suite de l'étude, notamment lors de l'étape de suivi de la carbonisation. C'est à l'issue de discussions et après présentation du bien-fondé de l'étude à venir que ces charbonniers ont donné leur accord pour y participer. Cette enquête a permis de recueillir des informations essentielles relatives à la carbonisation et à l'accès aux ressources. Elle a aussi servi à évaluer le niveau de connaissance des charbonniers en matière de techniques de carbonisation durable. Les données ont été collectées à l'aide d'un questionnaire d'enquête, portant sur les éléments suivants :

- Les caractéristiques des charbonniers professionnels enquêtés ; le mode d'accès à la terre ;
- Les étapes de production de charbon de bois ;
- Les espèces d'arbres utilisées ;
- Les dimensions des arbres abattus, notamment la hauteur et le diamètre d'abattage ;
- Les différentes techniques de carbonisation employées ;
- Le niveau de connaissance des charbonniers concernant les techniques de carbonisation améliorées.

A la suite des réponses concernant les dimensions d'abattage, les charbonniers étaient invités à indiquer directement sur les arbres ou les bois retrouvés autour de leurs meules les dimensions évoquées. À l'aide d'un mètre ruban, nous avons à chaque fois mesuré la hauteur minimale à partir du sol ainsi que le diamètre minimal des arbres coupés.

3.7.7. *Le suivi des charbonniers professionnels*

Le suivi des charbonniers a été effectué auprès des 20 charbonniers professionnels précédemment enquêtés. Ce suivi nous a permis de calculer le rendement de carbonisation, ainsi que la rentabilité liée à la commercialisation de charbon de bois. Ces producteurs avaient donné leur accord pour un accompagnement régulier, notamment sur leurs meules respectives et tout au long du processus de commercialisation. Ils ont été suivis de manière continue, depuis l'abattage des arbres jusqu'à la vente de charbon de bois. Cette démarche a également permis de collecter des données économiques et financières relatives à la vente, telles que les coûts de production et les prix pratiqués. Le suivi a été réalisé à l'aide d'une fiche contenant des informations précises sur : Le processus de carbonisation ; les dépenses liées à la production ; les revenus générés par la vente.

Lors du suivi des meules, certaines données techniques ont été recueillies, notamment les diamètres des bois constituant la meule et le taux d'humidité du bois. Ces données ont été collectées à l'aide d'un mètre ruban et d'un humidimètre, comme illustré à la figure 3-6 ci-dessous.



Figure 3-6 : Prélèvement du taux d'humidité et du diamètre des bois utilisés pour la carbonisation au village Sela.

L'estimation de la quantité de bois constituant la meule a été effectuée grâce à la détermination de 1 m³ de bois de miombo en kg. À cet effet, nous avons réalisé plusieurs pesées de plus de 12 espèces d'arbres qui nous ont été citées par nos enquêtés lors de l'étape précédente. Ainsi, nous avons découpé des bois issus de ces différentes espèces, avec des diamètres variés, puis nous les avons placés dans un espace de volume de 1 m³. Ensuite, 5 pesées, correspondant aux volumes de bois équivalents, ont été effectuées, et la valeur obtenue a été de 720,4 kg de bois.

Il sied de noter que cela a été réalisé dans les conditions réelles de production des charbonniers, c'est-à-dire qu'il s'agissait d'un mélange de bois présentant des taux d'humidité différents, en raison des dates variables d'abattage des arbres (Figure 3-7).



Figure 3-7: Pesage d'1m³ de bois du miombo au village Luisha

Le pesage des différents types de conditionnements de sacs de charbon de bois a également été effectué, afin d'estimer les quantités de charbon de bois récoltées par meule. Il a été identifié, dans la zone rurale de Lubumbashi, quatre types de conditionnements, qui diffèrent par leur taille et leur poids. Le plus grand sac, localement appelé "3 pas", pesait 57 kg ; il était suivi du sac "2 pas", 43 kg ; venait ensuite le sac "1 pas", qui pesait 36 kg ; et enfin, le plus petit sac, appelé localement "kipupu", pesait 29 kg (Figure 3-8).



Figure 3-8 : Types de conditionnements de charbon de bois identifiés dans la zone rurale de Lubumbashi

3.7.8. Enquête auprès des charbonniers (Professionnels et occasionnels) de la zone rurale de Lubumbashi

Cette enquête visait à recueillir des données sur les facteurs favorisant l'organisation des charbonniers en associations, dans la perspective d'une future formalisation de leurs activités. Elle a concerné à la fois les producteurs professionnels et les producteurs occasionnels de la zone rurale de Lubumbashi, afin de collecter des informations représentatives de toutes les catégories de charbonniers.

Ainsi, 135 charbonniers ont été enquêtés. La taille de cet échantillon découle des premières enquêtes menées dans le cadre de la thèse, lesquelles portaient sur les aspects socioéconomiques et la caractérisation des producteurs de charbon de bois. Cette étude préalable avait permis d'estimer la proportion des charbonniers parmi les autres catégories professionnelles de chefs de ménage dans chacun des villages concernés. Le nombre initialement identifié dans cette étude était de 131 charbonniers. Dans notre enquête, nous en avons interrogé 135, afin d'assurer une meilleure répartition par village.

Cette enquête a permis d'analyser les facteurs qui déterminent l'organisation des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi en structures collectives. Les informations recueillies à travers le questionnaire portaient sur les éléments suivants :

- Les caractéristiques des charbonniers ;
- Le système de production des charbonniers ;
- Les moyens de production utilisés, ainsi que le nombre de fois où chacun d'eux a été échangé ;

- Les types d'informations échangées ;
- Les étapes de la production ayant donné lieu à des services rendus mutuellement entre charbonniers.

3.8. Analyse des données

3.8.1. *Types de données*

Les données collectées dans la présente étude étaient qualitatives et quantitatives. Les données qualitatives, dont les modalités ne sont pas mesurables, correspondent à différentes catégories de nomenclature (Bahouayila, 2016). Dans cette étude, plusieurs variables relatives aux caractéristiques sociodémographiques et socio-ethnographiques ont été examinées, telles que : le genre, le village d'origine, ou encore le type de charbonnier. Concernant l'accès aux ressources et les pratiques de carbonisation, des éléments tels que les espèces d'arbres utilisées, ou le type de substrat sur lequel les meules ont été construites ont été pris en compte. Dans les volets liés à la commercialisation et à la structuration, les variables analysées comprenaient notamment les lieux de vente, les types de services échangés entre charbonniers, ainsi que les informations partagées au sein de ces réseaux.

Les données quantitatives, quant à elles, sont des données mesurables (Boistard, 2014 ; Bahouayila, 2016). Elles ont permis d'évaluer divers aspects, notamment : les caractéristiques des charbonniers (âge, ancienneté) ; l'exploitation des ressources (superficielles exploitées ou acquises) ; la carbonisation (dimensions des meules, taille des arbres abattus) ; la commercialisation (prix de vente, coûts engagés) ; ainsi que l'organisation de la production (nombre et type de moyens de production échangés).

3.8.2. *Statistique descriptive*

La statistique descriptive a permis de faciliter la représentation graphique, le calcul et la synthèse des données (Digabel, 2017). Les résultats ont été présentés sous forme de tableaux et de graphiques. Pour les variables quantitatives, les analyses ont été réalisées à l'aide des moyennes et des écarts types. Quant aux variables qualitatives, elles ont été exprimées en effectifs et en pourcentages.

3.8.3. *Tests statistiques*

Plusieurs analyses statistiques ont été réalisées, allant de la statistique descriptive à l'analyse inférentielle (Talbi, 2020). Les statistiques descriptives ont permis d'examiner les phénomènes étudiés à partir des données disponibles, en les résumant de manière synthétique à l'aide de graphiques, de tableaux et d'indicateurs numériques (Chekroun, 2018). L'inférence statistique, quant à elle, a permis de généraliser les résultats obtenus à partir de l'échantillon à l'ensemble de la population ciblée, à savoir les producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi. Lorsque les caractéristiques d'un échantillon sont connues, elles peuvent refléter celles de la population avec une marge d'erreur acceptable (Dusart, 2018).

Pour étudier les relations entre variables, différents tests statistiques ont été mobilisés, notamment :

1°) L'analyse de la variance (ANOVA)

L'ANOVA est une mesure statistique importante, car elle permet de quantifier la dispersion des valeurs dans un ensemble de données, tout en mettant en évidence leur variabilité (Baban, 2024). Dans le cadre de cette étude, l'ANOVA a été utilisée pour comparer les moyennes des variables quantitatives en fonction de variables qualitatives. Plus spécifiquement, les villages Luisha, Maksem, Mwawa et Sela ont été considérés comme des variables qualitatives de comparaison. Ces villages ont été considérés comme des répétitions, car ils présentent des caractéristiques similaires, comme mentionné lors de leur sélection. Cela a permis de mieux estimer la variance résiduelle, c'est-à-dire celle observée au sein d'un même groupe, en raison des conditions d'enquête homogènes. Les différences ont été considérées comme statistiquement significatives lorsque la p-value était inférieure à 0,05 (Sawyer, 2017 ; Ducay, 2018).

Outre les comparaisons entre villages, d'autres variables ont également été utilisées, telles que les lieux de vente à l'issue de la carbonisation (la forêt, le village et la ville de Lubumbashi). Les variables quantitatives comparées incluaient : les coûts de production, les coûts de commercialisation, ainsi que le prix de vente du charbon de bois. Les autres variables quantitatives comparées selon les villages étaient :

- Les superficies possédées et exploitées par charbonnier ;
- La quantité de bois contenue dans une meule et le volume de la meule ;
- La quantité de charbon de bois récoltée par meule ;
- Le nombre de moyens de production possédés ;
- Le nombre d'échanges de moyens de production ;
- L'intensité des échanges d'informations entre charbonniers aux différentes étapes de production et de commercialisation.

2°) Le test du khi-deux

Le test du khi-deux a été utilisé pour identifier l'existence de liens statistiquement significatifs entre variables qualitatives (Hamuli et al., 2023). Les villages ont également été considérés comme des répétitions. Les variables qualitatives analysées comprenaient :

La profession des chefs de ménage ;

Les types de moyens de production possédés (par les charbonniers occasionnels ou professionnels) ;

- L'appartenance ethnique selon le type de charbonnier ;
- Le mode d'organisation du travail (occasionnel vs professionnel) ;
- Le mode d'accès à la terre ;
- L'expérience des charbonniers (production passée, activité principale, statut dans le village, appartenance à une association, renforcement des capacités) ;
- Les types de services rendus entre charbonniers à chaque étape de production ;
- Les types de relations entre charbonniers et main-d'œuvre gratuite.

Une p-value < 0,05 indiquait une différence statistiquement significative (Houde, 2014 ; Hamuli et Agbada, 2023).

3°) Le test t de Student

Le test t de Student a permis de comparer deux moyennes (Kouicem, 2020). Dans cette étude, il a été utilisé pour comparer les prix de vente du charbon de bois selon les types de conditionnements, en fonction des saisons (saison sèche et saison des pluies).

4°) Les analyses multivariées

Plusieurs types d'analyses multivariées ont été utilisées : corrélations, analyses en composantes multiples (ACM) et régression logistique.

L'analyse multivariée permet d'étudier simultanément les relations entre plusieurs variables (Hazra et Gogtay, 2017).

a) Corrélations

Les matrices de corrélation ont permis d'identifier les variables quantitatives influençant le rendement de carbonisation. La quantité (en kg) de charbon récolté par meule pouvait dépendre des variables suivantes retenues :

- La dimension de la meule (longueur, largeur, hauteur) ;
- Le diamètre et le taux d'humidité du bois utilisé ;
- Le nombre de jours pour couvrir la meule ;
- Le nombre de jours entre l'allumage et la récolte ;
- La durée totale de la récolte.

Les corrélations ont aussi servi à étudier les déterminants de la rentabilité économique, via l'analyse des relations entre le profit et :

- Les coûts totaux et les prix de vente selon les lieux de vente ;
- Les coûts totaux et les prix de vente selon les types de conditionnements ;
- Les coûts totaux et les prix de vente selon la saison.

Le coefficient de détermination R^2 , issu des modèles de régression linéaire, a été utilisé pour mesurer la proportion de variation expliquée dans la variable dépendante. Plus R^2 est proche de 1, plus la relation est forte (Zhang, 2016 ; Salsabil, 2022 ; Shen, 2016).

b) Analyse des composantes multiples (ACM)

L'ACM permet d'étudier les relations entre une variable qualitative et plusieurs variables qualitatives (Looss et Verrier, 2011). Dans cette étude, elle a servi à identifier les déterminants qualitatifs du rendement de carbonisation, notamment :

- La saison de carbonisation ;
- Le type de substrat ;
- L'orientation de la meule par rapport au vent ;
- Les espèces dominantes utilisées.

c) Régression logistique binaire

La régression logistique binaire a été utilisée pour prédire les déterminants du regroupement des charbonniers en associations. Les variables incluses étaient :

- Le profil des charbonniers (âge, statut matrimonial, niveau d'étude, ancienneté, activité principale) ;
- Le statut foncier ;

- Le type de relation avec la main-d'œuvre gratuite ;
- Les types de services échangés entre charbonniers.

3.8.4. *Autres calculs réalisés*

1°) Le calcul du rendement de carbonisation a été réalisé en appliquant la formule proposée par Schenkel et al. (1997). Cette méthode consiste à établir un rapport entre les outputs (la quantité de charbon de bois récoltée à l'issue de la carbonisation) et les inputs (la quantité de bois utilisée pour produire le charbon de bois), le tout exprimé en pourcentage (Équation 1) :

$$R_C = \frac{M_c}{M_b} 100 \quad (1)$$

Avec R_C qui correspond au rendement de carbonisation ; M_c : la masse de charbon de bois récoltée ; M_b : la masse de bois utilisée.

2°) Les calculs économiques ont été réalisés afin d'analyser la performance économique de la commercialisation. En plus de l'identification des coûts, prix, quantités et profits, des indicateurs de rentabilité ont été calculés, notamment la marge bénéficiaire et le ratio bénéfice/coût, permettant d'exprimer le taux de rentabilité (Schure et al., 2011 ; Paraiso et al., 2012).

$$P = NSV \times PV \quad (2)$$

Avec P : Profit ; NSV : Nombre de sacs vendus et PV : Prix de vente

Le calcul de la marge bénéficiaire a été calculé en faisant le rapport entre le profit et le revenu brut (Equation 3).

$$MB = \frac{P}{RB} 100 \quad (3)$$

Avec MB : Marge Bénéficiaire ; P : Profit et RB : Revenu Brut.

Enfin, un ratio a été calculé : il s'agit du ratio Bénéfice/Coût. Lorsque celui-ci est supérieur à 1, cela signifie que l'activité est rentable ou performante sur le plan économique.

L'ensemble des tests statistiques utilisés ainsi que les méthodes d'échantillonnage mobilisées dans cette étude sont résumées dans la figure 3-9 ci-dessous.

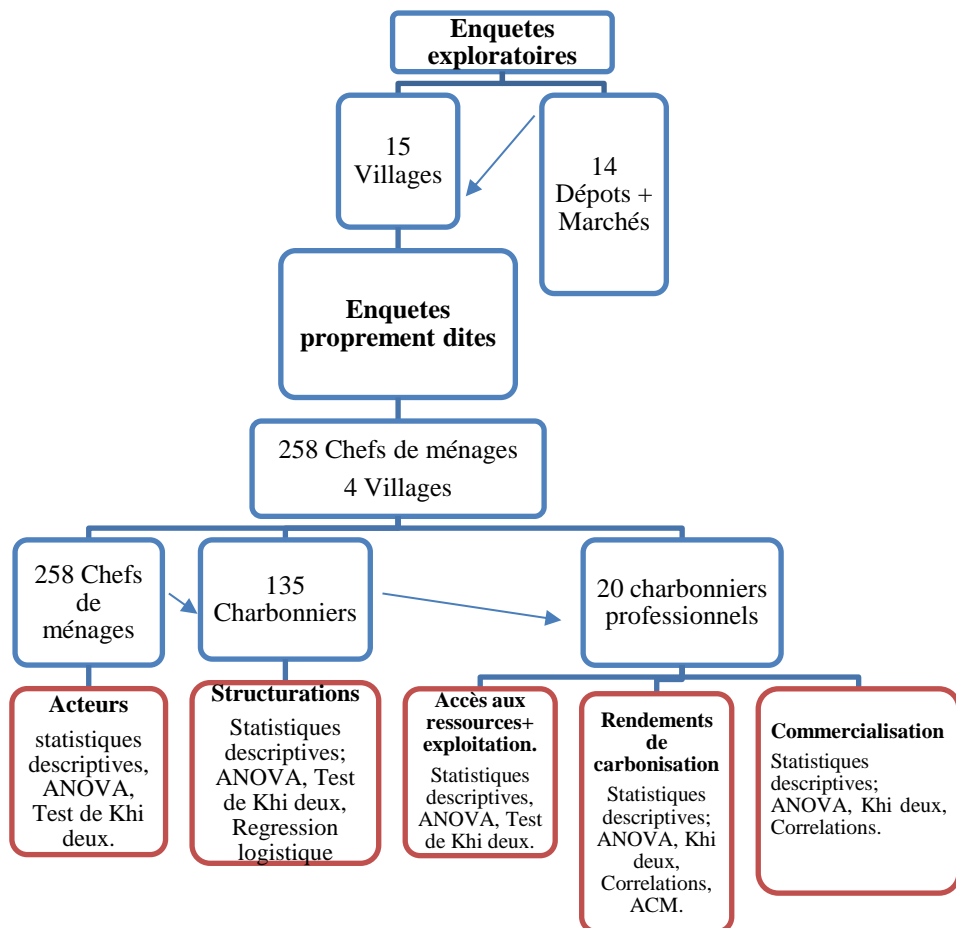


Figure 3-9 : Collecte des données, échantillonnage et analyses.

Chapitre 4

**Caractéristiques des producteurs de
charbon de bois du bassin
d’approvisionnement de la ville de
Lubumbashi (RDC) : Analyse
sociodémographique, socioethnographique,
typologie et organisation de la production**

4.1. Référence bibliographique

Nathan Kasanda Mukendi*, Yannick Useni Sikuzani, Laurent Ngoy Ndjibu, Fabio Berti, Jules Nkulu Mwine Fyama & Philippe Lebailly. Caractéristiques des producteurs de charbon de bois du bassin d’approvisionnement de la ville de Lubumbashi (RDC) : Analyse sociodémographique, socioethnographique, typologie et organisation de la production

<https://ojs.uliege.be/index.php/tropicultura/authorDashboard/submission/1397>

4.2. Contextualisation

Ce chapitre traite de la caractérisation des producteurs de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi qui est son bassin d’approvisionnement. Il montre aussi la place occupée par celle-ci en tant qu’activité économique de ce milieu.

4.3. Résumé

La production de charbon de bois dans les villages autour de Lubumbashi (RDC) occupe plusieurs producteurs qui présentent diverses caractéristiques. Cette étude porte sur l’analyse des caractéristiques sociodémographiques, socio-ethnographiques, typologiques et décrit l’organisation de la production de ces charbonniers. L’approche méthodologique adoptée combine des enquêtes qualitatives et quantitatives. Les données quantitatives ont été collectées auprès de 258 ménages environnants de la ville de Lubumbashi. Les résultats ont montré que 58,8 % des chefs de ménages sont des producteurs professionnels de charbon de bois, tandis que 41,2 % des chefs de ménages sont producteurs occasionnels de charbon de bois. La production de charbon de bois est pratiquée majoritairement par des hommes (97 %) et pour la plupart des allochtones (près de 88 %) travaillant davantage individuellement. 92 % des chefs de ménage producteurs de charbon de bois des villages enquêtés sont des mariés, dont l’âge avoisine 41 ans. La taille moyenne des ménages enquêtés est de 7 personnes. Ces chefs de ménages ont pour la plupart un niveau d’études secondaires et une ancienneté de 6 ans dans l’activité. Les facteurs tels que la professionnalisation des charbonniers, le fait d’être jeune, d’avoir des ménages de grande taille, le nombre élevé d’allochtones et la diversité ethnique influencent nécessairement les charbonniers à exercer une pression sur la forêt. Nous proposons une mise en application des techniques de production tenant compte de la gestion durable de la forêt.

Mots-clés : Gestion durable des forêts ; Enquête ; Ménage ; Charbon de bois ; Activité économique.

4.4. Abstract

Charcoal production in the villages around Lubumbashi (DRC) involves several producers with different characteristics. This study analyzes the socio-demographic, socio-ethnographic and typological characteristics of these charcoal producers, and describes how their production is organized. The methodological approach adopted combines qualitative and quantitative surveys. Quantitative data were collected from

258 households surrounding the city of Lubumbashi. The results showed that 58.8% of household heads are professional charcoal producers, while 41.2% are occasional charcoal producers. Charcoal production is practiced more by men (97%) and for the most part by non-natives (nearly 88%), working more individually. 92% of the heads of charcoal-producing households in the villages surveyed were married, aged around 41. The average size of the households surveyed was 7 people. Most of these heads of household have a secondary education and have been in the business for 6 years. Factors such as the professionalization of charcoal producers, the fact that they are young, with large households, the high number of non-natives and ethnic diversity, necessarily influence charcoal producers to exert pressure on the forest. We propose the application of production techniques that take sustainable forest management into account.

Keywords: Sustainable forest management; Survey; Household; Charcoal; Economic activity

4.5. Introduction

L’approvisionnement en énergie constitue un besoin fondamental pour l’être humain (Olarinde & Olusola, 2018). En Afrique, le bois-énergie est la principale source d’énergie domestique pour 80% des ménages. Les forêts urbaines et périurbaines contribuent pour la plupart de cas à l’approvisionnement en charbon de bois (FAO, 2010). Ce dernier temps, avec la croissance démographique et la crise écologique (FAO, 2020), l’approvisionnement des populations des milieux urbains en bois énergie est devenu de plus en plus un problème. Schure et al (2013) et Mpanzu et al (2018) soulignent que les forêts urbaines et périurbaines subissent des dégradations pouvant aller jusqu’à la déforestation. Les pays du bassin du Congo sont parmi ceux qui dépendent le plus de la biomasse ligneuse par rapport à d’autres pays du monde. Pour la RDC, l’utilisation des combustibles renouvelables à savoir le bois de feu et le charbon de bois représentaient 93% de l’énergie totale consommée en 2008 (Behrendt et al., 2013).

Depuis plus d’une décennie la consommation du bois énergie dans la plupart des villes de la RDC est en pleine augmentation, suite à une croissance démographique rapide (Schure et al., 2011). Le charbon de bois est le plus utilisé annuellement dans les villes comme Kinshasa (13390000 tonnes) ; Bukavu (111 460 tonnes) ; Kisangani (1278 826 tonnes) ; Goma (186 000 tonnes) et Boma 31 391,20 tonnes (Imani et al., 2021 ; Gazull et al., 2020 ; Imani & Moore-Delate, 2021 ; Dubiez et al., 2021 ; Mbuangi & Ntoto, 2021). La ville de Lubumbashi vient tout juste après Kinshasa avec un niveau de consommation estimé à 406.890 tonnes de charbon de bois (Péroches et al., 2021).

A Lubumbashi (RDC), le charbon de bois consommé est issu de la forêt claire appelée Miombo (Malaisse, 1979). Cette forêt permet à des millions d’habitants de s’approvisionner en produits forestiers ligneux et non ligneux (Useni et al., 2017). Il a été constaté au niveau des ménages de Lubumbashi qu’au fil des années, il y’a eu une augmentation de la consommation de charbon de bois. Nge, 2013 et Gazull et al., 2020, soulignent qu’en 1980, 76% des ménages utilisaient le charbon de bois, 90% en

2013 et 98% en 2020. Péroches et al (2021) ont évoqué que la consommation de charbon de bois est en forte croissance et constitue une opportunité d'affaires pour les acteurs de la filière dans le bassin de production tout autour de la ville de Lubumbashi. Ce maillon production de charbon de bois crée à lui seul 59% du montant total de la valeur ajoutée de toute la filière (estimée à 90 millions de dollars Américains annuellement), pour une estimation en 2021 de 144.000 producteurs. En outre, il existe une dynamique en ce qui concerne les acteurs de la production, matérialisée par divers profils socioéconomiques. Ces derniers cherchent à assurer leur subsistance par tous les moyens, dans un contexte économique très précaire et en se souciant peu de la durabilité des ressources, ce qui ne va pas sans poser des problèmes environnementaux. Useni et al (2018) ont estimé que sur une période d'une année, le taux de déforestation du Miombo est à près de 6% sur des courtes distances par rapport à la ville de Lubumbashi.

La présente étude se donne dès lors comme objectif de décrire les producteurs de charbon de bois dans le bassin d'approvisionnement de Lubumbashi, d'identifier leurs caractéristiques sociodémographiques, socio ethnographiques et typologiques ainsi que l'organisation de la production. L'hypothèse de cette étude repose sur le fait qu'il existerait deux types de producteurs de charbon de bois dans le bassin d'approvisionnement de Lubumbashi. Il s'agit d'une part, de producteurs occasionnels et, d'autre part, de producteurs professionnels. Les producteurs de charbon de bois seraient en majorité des hommes jeunes, allochtones, appartenant à diverses ethnies, et travaillant pour la plupart de manière individuelle. En outre, leurs caractéristiques sociodémographiques, socioethnographiques, la typologie des producteurs et le mode organisationnel, agiraient négativement sur le maintien et la conservation de la forêt.

Cette étude contribue à une analyse approfondie de la production de charbon de bois et de fournir une meilleure compréhension de l'approvisionnement de la ville de Lubumbashi en charbon de bois en provenance des 4 villages environnant de ladite ville.

4.6. Matériel et méthodes

4.6.1. *Milieu d'étude*

L'aire géographique de l'enquête s'est étendue sur quatre villages se situant tous dans un rayon de 80 km autour de la ville de Lubumbashi. Il s'agit donc de Maksem, se trouvant sur la route Kasenga qui est un des axes d'approvisionnement de la ville de Lubumbashi, dans la partie Nord-Est ; Mwawa situé au sud de la ville, sur l'axe Kasumbalesa ; Luisha sur l'axe Likasi au Nord-Ouest de Lubumbashi et Sela vers le Nord, sur l'axe Kinsevere. Le choix de ces villages a été fait sur base de leur positionnement autour de la ville, ainsi que de la présence dans le village de plusieurs sacs de charbon de bois prêts à être acheminés vers Lubumbashi (Figure 4-1).

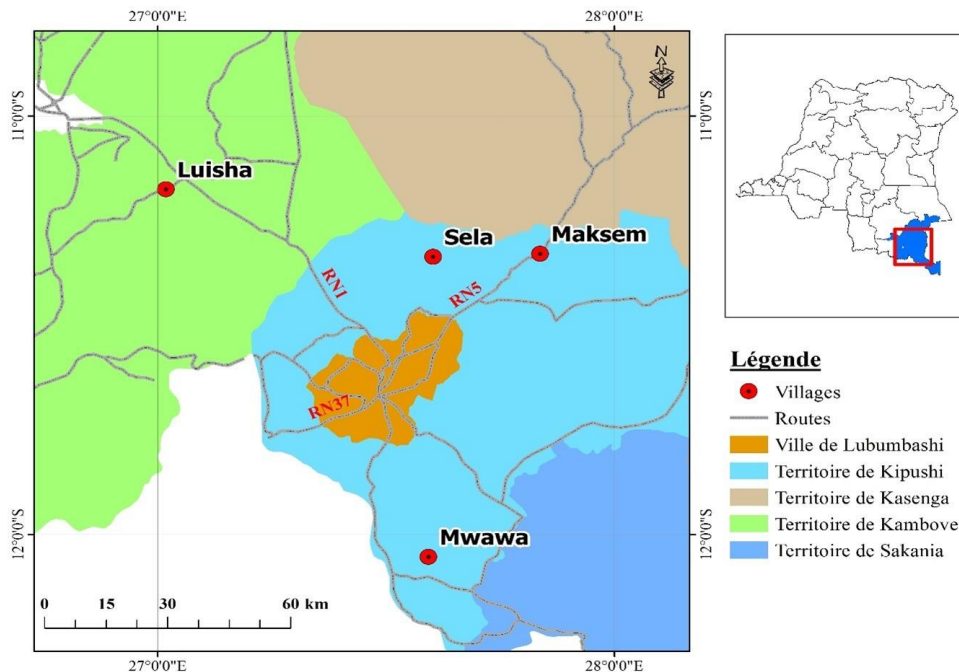


Figure 4-1 : Localisation des villages qui constituent notre milieu d'étude.

Le bassin d'approvisionnement de la ville de Lubumbashi, étant aux environs de Lubumbashi, présente les caractéristiques biophysiques suivantes :

Le climat de la région de Lubumbashi est tropical de type Cw selon la classification de Koppen (Malaisse & Ilunga, 1986). La saison des pluies va du mois de novembre au mois de mars, et la saison sèche va du mois de mai au mois de septembre ; les mois d'octobre et d'avril sont considérés comme des mois de transition. Les précipitations moyennes annuelles pour la zone sont de 1270 mm et la température moyenne est de 20°C (Malaisse, 1978). Le type de végétation rencontré dans cette zone d'étude est la forêt claire, autrement appelée Miombo. C'est une forêt avec dominance d'essences du genre *Brachystegia* ; *Julbernardia* et *Isoberlinia*. Les sols de la zone d'études sont des latosols et, selon la teneur en oxydes de fer, l'on distingue des terres rouges, des terres ocre rouges et des terres jaunes (Malaisse et al., 1979).

4.6.2. *Echantillonnage*

En se basant sur les données du nombre des 4 villages auprès de la chefferie (2133 pour Maksem ; 1150 pour Sela ; 163 pour Mwawa ; et 2670 pour Luisha, dans sa partie rurale), ce qui fait un total de 6116 ménages, nous avons appliqué la formule de Bernouilli pour le tirage de notre échantillon (Muteba, 2014 et Sabuhungu, 2016).

De cette population, l'échantillon a été tiré à partir de :

$$n = \frac{1,64^2 \cdot N}{1,64^2 + I^2 \cdot N - 1} = \frac{1,64^2 \cdot 6116}{1,64^2 + 0,1^2 \cdot 6116 - 1} = 258$$

Avec N, la taille de la population qui correspond au nombre total des ménages des villages étudiés ; n : la taille de l'échantillon ; I : La marge d'erreur acceptable (pris à 10%) ; 1,64 : le coefficient critique pour un niveau de confiance de 90%

Ainsi, la taille de l'échantillon de cette étude est de 258 Chefs de ménage repartis sur les 4 villages étudiés.

4.6.3. Collecte et analyse des données

Pour collecter les différentes informations, une enquête systématique a été réalisée auprès des 258 Chefs de ménages. Un questionnaire d'enquête nous a permis de collecter les données sociodémographiques, socio ethnographiques ainsi que celles qui concernent l'organisation de la production. Parmi les données sociodémographiques, les variables comme l'âge et l'ancienneté dans l'activité, ont été étudiés. La typologie a été réalisée en catégorisant les charbonniers sur base de leurs périodes de production au cours de l'année ; les moyens de production ; les lieux de production ainsi que le statut dans le village, ce qui nous a aussi permis de déterminer leur profil socio ethnographique. Le mode organisationnel a été décrit en tenant compte du fait que les charbonniers travaillent individuellement ou en groupe.

Ainsi, les données récoltées ont été encodées dans Excel puis analysées grâce au logiciel SPSS 21. Le logiciel SPSS a permis de produire des tableaux croisés et de tester la cohérence des données (liens entre variables). Il nous a permis de confectionner des tableaux et graphiques, ainsi que les tests statistiques pour tirer les conclusions sur les liens entre et les tendances observées. L'analyse descriptive a été effectuée afin de faire une description des variables en termes de pourcentage et définir également les éléments qui feront partie du noyau central et ceux de la périphérie pour d'autres variables.

Les résultats sont présentés sous forme des moyennes et écart types ; de pourcentages et effectifs. Ces résultats ont été comparés entre villages pour ressortir des éléments de différenciations pouvant permettre de pousser plus loin nos analyses pour une bonne compréhension de la situation. Deux types de tests statistiques ont été effectués dans cette étude, il s'agit de l'Analyse de la Variance (Comparaison des moyennes entre villages) et le Test de Khi deux pour des comparaisons entre villages des variables qualitatives).

4.7. Résultats

4.7.1. *Activités exercées par les chefs de ménage des villages*

En comparant la production de charbon de bois aux autres activités économiques exercées par les chefs de ménage dans le bassin d'approvisionnement de Lubumbashi, les résultats de cette étude montrent qu'elle est la plus exercée. Les charbonniers représentent presque plus de la moitié des chefs de ménage, soit 50,8%. Ils sont suivis des agriculteurs (26,7%). La production de charbon de bois et l'agriculture occupent 77,5% des chefs de ménage. Le Test de Khi deux révèle des différences significatives en ce qui concerne la profession des chefs de ménage au niveau des villages ($P=0,001$). Outre les agriculteurs et charbonniers, les autres professions constituent 22,5% des chefs de ménage. Nous y retrouvons des enseignants ; des employés dans des entreprises privées ; des creuseurs artisanaux de minerais (uniquement à Luisha), etc... Comme illustré au tableau 4-1 ci-dessous :

Tableau 4-1: Profession des chefs de ménage des villages du bassin d'approvisionnement de Lubumbashi.

Profession	Village					P value
	Luishia	Maksem	Mwawa	Sela	Total	
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	
Agriculteur	22 (8,53)	32 (12,4)	1 (0,39)	14 (5,43)	69 (26,74)	0,001**
Charbonnier	44 (17,05)	48 (18,6)	5 (1,94)	34 (13,18)	131(50,77)	
Fabricant de briques		1 (0,39)	-	-	1 (0,39)	
Couturier	1 (0,39)	-	-	-	1 (0,39)	
Creuseur	16 (6,2)	-	-	-	16 (6,2)	
Employé dans une entreprise privée	8 (3,1)	1 (0,39)	-	-	9 (3,49)	
Enseignant	1 (0,39)	-	-	-	1 (0,39)	
Fonctionnaire	2 (0,78)	-	-	-	2 (0,78)	
Maçon	5 (1,94)	-	-	-	5 (1,94)	
Menuiser	1 (0,39)	1 (0,39)	-	1 (0,39)	3 (1,16)	
Motard (Taxi Moto)	3 (1,16)	-	-	-	3 (1,16)	
Ouvrier agricole et ouvrier charbonnier	-	2 (0,78)	-	-	2 (0,39)	
Petit commerce	5 (1,94)	2 (0,78)	1 (0,39)	-	8 (3,11)	
Autres	4 (1,55)	3 (1,16)	-	-	7 (2,71)	
Total	112 (43,4)	90 (34,9)	7 (2,7)	49 (19)	258 (100)	

Avec n = effectifs et % = Pourcentage

4.7.2. Caractéristiques sociodémographiques des producteurs de charbon de bois

Il ressort de nos enquêtes que la production de charbon de bois dans notre milieu d'étude est exercée par 96,9% d'hommes, contre 3,1% de femmes. La majorité d'entre eux sont mariés (92,4%), les célibataires ne représentent que 2,3% ; les veufs et veuves constituent 3,8% et les divorcés ne font que 1,6%. Plus de la moitié soit 58,8% de producteurs de charbon de bois ont fréquenté l'école secondaire ; ils sont suivis par ceux qui ont un niveau d'étude primaire (32%). Ceux qui n'ont pas fréquenté l'école constituent 6,1% et ceux avec un niveau d'études universitaire ne représentent que 3,1%.

Les producteurs de charbon de bois du bassin d'approvisionnement de Lubumbashi sont jeunes, leur moyenne d'âge étant de 41,3 ans, avec un minimum d'âge de 18 et un maximum de 72 ans.

L'ancienneté dans l'activité est comprise entre 1 et 30 années, pour une moyenne de 6,4 ans.

Les ménages dont les chefs sont des producteurs de charbon de bois sont composés de près de (6,6) ~7 personnes en moyenne, avec un maximum de 22 personnes contre un minimum d'une seule personne. Le village Luisha contient les ménages ayant plus de membres, avec en moyenne (7,5) ~8 personnes et le village le moins peuplé est Mwawa avec une moyenne de (4,6) ~5 personnes par ménage. Outre le chef de ménage, le nombre des autres membres qui produisent le charbon de bois varie entre 1 à 4 personnes, tandis que la moyenne est d'une personne. Ainsi, le profil des 131 producteurs de charbon de bois présents dans notre échantillon est présenté au tableau 4-2 ci-dessous.

Tableau 4-2: Description des producteurs de charbon de bois du bassin d'approvisionnement de Lubumbashi selon le genre, le statut matrimonial et le niveau d'études

Variables		Villages				
		Luisha n (%)	Maksem n (%)	Mwawa n (%)	Sela n (%)	Total n (%)
Sexe	Masculin	43 (32,8)	48 (36,6)	5 (3,8)	31 (23,7)	127 (96,9)
	Féminin	1 (0,8)			3 (2,3)	4 (3,1)
Etat Civil	Marié	40 (30,5)	45 (34,4)	5 (3,8)	31 (23,7)	121 (92,4)
	Divorcé	1 (0,8)	1 (0,8)			2 (1,6)
	Veuf(ve)	3 (2,3)	1 (0,8)		1 (0,8)	5 (3,8)
	Célibataire		1 (0,8)		2 (1,5)	3 (2,3)
	Universitaire	1 (0,8)	1 (0,8)		2 (1,5)	4 (3,1)
Niveau d'études	Secondaire	29 (22,1)	28 (21,4)	5 (3,8)	15 (11,5)	77 (58,8)
	Primaire	13 (9,9)	14 (10,7)		15 (11,5)	42 (32)
	Aucun niveau	1 (0,8)	5 (3,8)		2 (1,5)	8 (6,1)
Variables		Moyenne ±	Moyenne ±	Moyenne ±	Moyenne ±	Moyenne ±
Age (Années)		Ecart type (42,3±11,9)	Ecart type (38,8±11,7)	Ecart type (41,6±8,5)	Ecart type (43,4 ±13,7)	Ecart type (41,3±12,3)
Ancienneté (Années)		(6±4,4)	(6,1±4,4)	(4,8±4,1)	(7±7,7)	(6,4 ± 5,4)
Taille du ménage		(7,5±3,8)	(6,7±3,2)	(4,6±1,9)	(5,5±3)	(6,6 ± 3,4)
Nombre de charbonniers par ménage		(1,4±0,9)	(1,4±0,6)	(1,8±0,9)	(1,2±0,5)	(1,4 ± 0,7)

Avec n = Effectifs et % = Pourcentage.

4.7.3. Types de producteurs de charbon de bois

Il ressort de nos enquêtes que deux types de producteurs de charbon de bois ont été identifiés dans le bassin d'approvisionnement de Lubumbashi. Il s'agit de producteurs professionnels et de producteurs occasionnels. Les producteurs de charbon de bois professionnels sont permanents dans l'activité. Ils produisent le charbon de bois durant toute l'année (que ce soit en saison des pluies ou en saison sèche) et n'ont que cette activité comme profession. Ils représentent 58,8% des charbonniers de notre échantillon. Les producteurs de charbon de bois occasionnels, ne sont pas permanents dans l'activité et produisent le charbon de bois soit en saison sèche, soit en saison des pluies. La plupart d'entre eux sont agriculteurs ou exercent une autre activité outre la production du charbon de bois et représentent 41,2% des producteurs. La production de charbon de bois dans ces villages est assurée par 87,8% d'allochtones et seulement 12,2% d'autochtones.

Les résultats de cette étude nous renseignent que la possession des moyens de production différencie les deux types de producteurs (professionnels et occasionnels). Selon le Test de Khi deux, des différences significatives ont été trouvées en ce qui concerne la possession des moyens de production chez les producteurs professionnels. Ainsi, la proportion des producteurs de charbon de bois professionnels possédant tous les 5 principaux matériels utilisés dans la production du charbon de bois, représentent 36,5% de tous les charbonniers. Il s'agit de la houe, bêche, hache, machette et de la fourche. Il a aussi été constaté l'utilisation de la tronçonneuse chez 3,8% de producteurs professionnels et 0,76% chez les occasionnels.

En ce qui concerne les lieux de production, les deux catégories de producteurs de charbon de bois les font généralement dans leurs propres concessions (25,9% sont des occasionnels et 22,1% de professionnels), 23% des professionnels vont en plus produire dans d'autres concessions forestières où ils paient uniquement des arbres destinés à la production (Tableau 4-3) :

Tableau 4-3: Typologie des producteurs de charbon de bois dans le bassin d'approvisionnement de Lubumbashi

		Professionnels		Occasionnels	
Variables		n (%)	P Value	n (%)	P Value
Proportion Charbonniers		77 (58,8)	-	54 (41,2)	-
Période de production	Saison sèche	-		33 (25,2)	
	Saison des pluies	-		21 (16)	
	Saison sèche et des pluies	-	-	-	0,085
	Toute l'année	77 (58,8)		-	
Moyens de production	Houe et Bèche	1 (0,76)		-	
	Houe ; Bèche et Hache	2 (1,5)		5 (3,8)	
	Houe ; Bèche ; Hache et Fourche	2 (1,5)		4 (3)	
	Houe ; Bèche ; Hache et Machette	18 (13,7)		9 (6,9)	
	Houe ; Bèche ; Hache ; Machette et Fourche	48 (36,6)	0,031*	32 (24,4)	0,170
	Houe ; Bèche ; Hache ; Machette ; Fourche et Tronçonneuse	5 (3,8)		1 (0,76)	
	Houe et Hache	1 (1,5)		3 (2,3)	
Lieux de production	Autres concessions forestières	30 (22,9)		16 (12,2)	
	Dans leurs concession	29 (22,1)		34 (25,9)	
	Dans leurs concessions et forêt du village	1 (0,76)	0,223		0,578
	Foret du village	17 (12,9)		4 (3)	
Statut dans le village	Allochtone	69 (52,7)		46 (35,1)	
	Autochtone	8 (6,1)	0,233	8 (6,1)	0,234

Avec n = Effectifs et % = Pourcentage.

4.7.4. Profil socioethnographique des producteurs de charbon de bois

La production de charbon de bois dans les quatre villages environnant de la ville de Lubumbashi est exercée par une large majorité d'allochtones, ces derniers appartiennent à diverses ethnies de la RDC. Il ressort de nos résultats que 10,4% seulement des producteurs de charbon de bois professionnels sont des autochtones et appartiennent pour la plupart de cas à l'ethnie Lamba. Il sied de signaler que 89,6% des charbonniers sont des allochtones.

Il ressort de nos enquêtes que 15 ethnies au total ont été identifiées comme allochtones (non originaires de ces villages) et parmi lesquelles se trouvent les ethnies Bemba ; Luba du Kasāi ; Luba du Katanga ; Lunda ; Hembra et bien d'autres. Il convient de noter que certains charbonniers Lamba ont été considérés comme étant allochtones par le fait qu'ils n'étaient pas originaires des villages où ils exerçaient la production de charbon de bois.

Le Test de Khi deux révèle des différences significatives dans la répartition des ethnies allochtones dans les 4 villages étudiés avec une valeur de $P=0,011$. Cette répartition ne se fait pas de la même manière dans tous les 4 villages.

Quant aux producteurs de charbon de bois professionnels, 11 ethnies ont été identifiées chez les occasionnels. Des différences significatives n'ont pas été trouvées en ce qui concerne la répartition ethnique des charbonniers occasionnels au niveau des différents villages de production (Test de Khi deux, $P= 0,609$). Comme chez les professionnels, parmi les ethnies repérées, il y'a les Bemba ; Luba ; Tabwa et Songé. Il sied de noter que les occasionnels allochtones représentent 88,9% contre 11,1% d'autochtones (Tableau 4-4).

Tableau 4-4: Répartition des producteurs de charbon de bois selon leurs ethnies d'appartenance.

	Variables	Ethnies identifiées	Nombre d'ethnies identifiées	Effectifs (n) %	P-Value
Professionnels	Allochtones	Bemba ; Fulero ; Hemba ; Kambelembele ; Kanioka ; Kaondé ; Luba du Kasai ; Kongo ; Lamba ; Luba du Katanga ; Lunda ; Sanga ; Tabwa ; Tshokwe ; Zela	15	69 (89,6)	0,011 *
	Autochtones	Lamba	1	8 (10,4)	-
	Total	-	16	77 (100)	-
Occasionnels	Allochtones	Bemba ; Hemba ; Luba du Kasai ; Luba du Katanga ; Lamba ; Sanga ; Songé ; Tabwa ; Tshokwe ; Zela	10	46 (85,2)	0,609
	Autochtones	Lamba	1	8 (14,8)	-
	Total	-	11	54 (100)	

Avec n = Effectifs et % = Pourcentage.

4.7.5. Organisation de la production par les charbonniers

Différents modes organisationnels du travail caractérisent ces producteurs de charbon de bois. En général, la production est effectuée de manière individuelle pour 55% des occasionnels et 48% des professionnels, soit 51 % de tous les charbonniers. Le mode de travail individuel est combiné au travail en groupe, notamment avec une main d'œuvre familiale (18,5% des occasionnels et 11,7% des professionnels) ; parfois avec une main d'œuvre salariée (7,4% des occasionnels et 1,3% des professionnels) ; soit une combinaison de la main d'œuvre familiale et rétribuée. Enfin, des regroupements de charbonniers de type informel ont été identifiés et se traduisent par l'entraide des producteurs à certaines étapes de la production. Ce mode de production a caractérisé 16,7% des occasionnels et 35% de professionnels (Tableau 4-5).

Tableau 4-5: Catégorisation des producteurs de charbon de bois selon leurs modes d'organisation du travail. Avec n = Effectifs et % = Pourcentage.

	VILLAGES				Total n (%)	P Value
	Luisha n (%)	Maksem n (%)	Mwawa n (%)	Sela n (%)		
Occasionnels						
Seul	11 (20,4)	12 (22,2)	1 (1,9)	6 (11,1)	30 (55,5)	
Seul et en groupe (Aide par les collègues)	4 (7,4)	3 (5,5)	-	2 (3,7)	9 (16,7)	
Seul et en groupe (MO Familiale et aide par les collègues)	-	1 (1,9)	-	-	1 (1,9)	0,649
Seul et en groupe (MO Familiale)	3 (5,5)	3 (5,5)	-	4 (7,4)	10 (18,5)	
Seul et en groupe (MO Payée)	2 (3,7)	-	-	2 (3,7)	4 (7,4)	
Total	20 (37)	19 (35,1)	1 (1,9)	14 (25,9)	54 (100)	
Professionnels						
En groupe (Paie la main d'œuvre)	1 (1,3)	-	-	1 (1,3)	2 (2,6)	
Seul	9 (11,7)	15 (19,5)	1 (1,3)	12 (15,6)	37 (48)	
Seul et en groupe (Aide par les collègues)	10 (13)	9 (11,7)	3 (3,9)	5 (6,5)	27 (35)	
Seul et en groupe (MO Familiale)	4 (5,2)	4 (5,2)	-	1 (1,3)	9 (11,7)	0,866
Seul et en groupe (MO Payée et aide par les collègues)	-	1 (1,3)	-	-	1 (1,3)	
Seul et en groupe (MO Payée)	-	-	-	1 (1,3)	1 (1,3)	
Total	24 (31,2)	29 (37,7)	4 (5,2)	20 (25,9)	77 (100)	

4.8. Discussion

4.8.1. *Activités exercées par les chefs de ménage*

Les résultats de cette étude montrent que dans les villages (Maksem ; Luisha ; Mwawa et Sela), les chefs de ménages producteurs de charbon de bois sont plus nombreux que ceux qui exercent d'autres activités. Cette situation s'explique par le fait qu'en RDC, précisément à Kinshasa et Lubumbashi, les producteurs de charbon de bois se considèrent comme étant des hommes forts du fait que l'activité exige de grands efforts physiques et que cette dernière leur permet de subvenir aux besoins de leur ménage (Trefon et al., 2010).

Dans ces villages, plusieurs activités y sont exercées et c'est l'agriculture qui vient en deuxième position après la production de charbon de bois. Elle est pratiquée par 26,7 % des chefs de ménage. Cela confirme les résultats de Nge et al (2012) qui montrent que la production de charbon de bois et l'agriculture en milieu rural de Lubumbashi sont considérées comme des stratégies principales de survie des ménages.

4.8.2. *Profil sociodémographique des producteurs de charbon de bois*

Les producteurs de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi sont en majorité des hommes, mariés, jeunes et ayant un niveau d'étude secondaire. Ils ont une ancienneté dans l'activité de 6 ans en moyenne et des ménages dont la taille est grande ~7 personnes. En RDC et dans bien d'autres pays Africains, la production de charbon de bois est une activité masculine. Il en est de même dans le bassin d'approvisionnement de la ville de Kinshasa, où la production est assurée par des jeunes hommes (Mpanzu et al., 2018). La situation est analogue dans la forêt claire (Miombo) en Angola, où les producteurs de charbon de bois sont des hommes, dont l'âge varie entre 21 et 31 ans, avec un niveau d'étude secondaire (Gonçalves, 2019). Le fait d'être jeune leur permet de tirer davantage profit de cette activité. C'est ce que soulignent Kazungu et al (2020) dans leur étude dans le Miombo en province de Copperbelt en Zambie, où ils montrent que les ménages dont le chef est trop âgé sont associés à des stratégies de survie à faible revenus en forêt ou à des stratégies de subsistance.

4.8.3. *Types des producteurs*

Dans notre étude, dans le bassin d'approvisionnement de Lubumbashi, nous avons identifié deux types de producteurs de charbon de bois : il s'agit de charbonniers professionnels et de charbonniers occasionnels. Notre catégorisation des charbonniers rejoint celle de Schure et al (2010) du fait que ces derniers considèrent plutôt les charbonniers professionnels comme ayant pour activité principale le charbonnage. En ce qui concerne les occasionnels, selon nos enquêtes, ils exercent cette activité soit en saison sèche, soit en saison de pluie et sont aussi en grande majorité des agriculteurs. Ces résultats rejoignent ceux de Lootens-De Muynck et al (1982) et ceux de Münkner

et al (2015) montrant que les occasionnels pratiquent l'agriculture généralement en saison sèche, en plus de la production du charbon de bois.

Par rapport aux recherches précédentes, nous constatons une tendance à la professionnalisation des producteurs de charbon de bois dans le bassin d'approvisionnement de Lubumbashi. Alors qu'en 2015 les professionnels ne constituaient que le 1/3 des charbonniers (Münkner et al., 2015), aujourd'hui, ils sont majoritaires et représentent plus de la moitié des charbonniers.

Les producteurs de charbon de bois de notre milieu d'études sont en majorité des autochtones. Cet état des choses caractérise la plupart des zones de la forêt claire où le charbon de bois est produit. Cela a été constaté à l'Est de la Tanzanie et même en Angola où la production de charbon de bois était exercée par des personnes autochtones, en provenance des autres parties du pays, notamment des villes (Monella et al., 1999 ; Gonçalves, 2019).

En ce qui concerne les matériels utilisés par les deux catégories de charbonniers, nous avons remarqué que la tronçonneuse est utilisée par une minorité d'entre eux, alors que selon Münkner et al (2015), dans le même milieu, aucun recours à la tronçonneuse n'avait été constaté. Ainsi, Schure et al (2010) dans leur étude sur la filière bois énergie en RDC, le charbon de bois étant généralement produit sur les lieux d'abattage d'arbres, en plus des autres matériels utilisés, certains producteurs qui ont les moyens de payer le carburant ont recours à la tronçonneuse. A Kisangani, certains charbonniers louent la tronçonneuse pour l'abattage de leurs arbres, alors que dans notre étude, les producteurs s'en procurent par achat mais restent une petite minorité.

Enfin, les lieux de production de ces charbonniers sont divers. Les deux catégories de producteurs (occasionnels et professionnels) produisent sur des terres leur appartenant, mais chez les professionnels, une partie d'entre eux va également produire dans d'autres concessions forestières en achetant des arbres, dans le but d'augmenter la production et en cas de rareté des ressources sur leur propre concession. Ce même mode d'accès aux ressources ligneuses a également été identifié au Mozambique où l'on retrouve des espèces ligneuses pareilles à notre milieu (*Brachystegia boehmii* ; *Brachystegia spiciformis* et *Uapaca kirkiana*), et les charbonniers produisaient sur des terres empruntées appartenant à leurs voisins (Jones et al., 2016).

4.8.4. Mode organisationnel

Dans le bassin d'approvisionnement de Lubumbashi, plus de la moitié des producteurs de charbon de bois travaillent au départ seuls. En plus de travailler seuls, quelques fois ces derniers exercent leur activité en groupe. Dans ce cas, l'activité de groupe peut s'effectuer sous diverses formes : en famille, avec une main d'œuvre non familiale payée, ou bien encore sous forme d'entraide en tant qu'amis ou collègues charbonniers. Ces résultats rejoignent ceux de Nge (2013) et Trefon et al (2010) qui ont décrit le charbonnage dans la région de Lubumbashi comme étant une activité essentiellement individuelle. En ce qui concerne le travail en groupe rencontré dans notre milieu d'étude, il est pareil à celui de l'écorégion du Miombo au Mozambique

où des producteurs de charbon de bois travaillaient avec des amis, voisins et même en famille (Jones et al., 2016).

4.9. Conclusion

Cette étude s'est proposée de décrire les producteurs de charbon de bois du bassin d'approvisionnement de la ville de Lubumbashi, en se basant sur leurs profils sociodémographique et socio ethnographique ; elle a aussi permis de faire une typologie et description de l'organisation du travail des producteurs de charbon de bois. Des enquêtes systématiques ont été menées auprès de 258 chefs de ménage dans 4 villages étudiés. Nos résultats ont révélé que la production de charbon de bois est une activité économique équivalente aux autres exercées dans ces 4 villages. Cette activité de charbonnier est dominée par des jeunes hommes, dont l'âge avoisine 41 ans. La plupart d'entre eux sont allochtones et ne possédant qu'un niveau d'étude secondaire. Ils ne travaillent pas en groupe, ils le font individuellement et exercent sur des terres où la grande majorité des producteurs est propriétaire. Deux types de producteurs de charbon de bois ont été identifiés, il s'agit de producteurs professionnels et des producteurs occasionnels. Enfin, certains éléments qui caractérisent les producteurs de charbon de bois de l'hinterland de Lubumbashi, tels que la taille du ménage, le fait d'être jeune, la présence de plusieurs charbonniers professionnels ; la diversité ethnique des charbonniers au niveau de ces villages, peuvent bien expliquer la forte pression exercée sur les ressources forestières. Il en résulte la nécessité d'appliquer des mécanismes de gestion durable à la production. Ceux-ci doivent aller dans le sens de l'amélioration des modes de production en privilégiant d'une part, des techniques de production donnant de bons rendements, d'autre part, le mode de production en groupe. Cela devrait permettre la diffusion de bonnes pratiques entre producteurs, de nature à contribuer au maintien de la forêt.

Chapitre 5

Modes d'accès aux ressources et exploitation forestière pour la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi en RD Congo

5.1. Références bibliographiques

Kasanda Mukendi Nathan ; Fabio Berti ; Ngoie Ndjibu Laurent ; Nkulu Mwine Fyama Jules ; Useni Sikuzani Yannick ; Philippe Lebailly ; Jan Boagert. Modes d'accès aux ressources et exploitation forestière pour la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi en RD Congo. Ce chapitre est un projet d'article pour publication.

5.2. Contextualisation

Après l'étude précédente sur la caractérisation des producteurs de charbon de bois, ce chapitre analyse les pratiques d'accès aux ressources pour la production de charbon de bois. Il analyse aussi le mode d'exploitation des arbres de la forêt claire lors de la production de charbon de bois, tout en évaluant la connaissance des charbonniers sur les bonnes pratiques de carbonisation.

5.3. Résumé

La production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi constitue une source importante de revenus pour les charbonniers, tout en générant des problèmes notables de déforestation et de dégradation des écosystèmes forestiers. Cette étude vise à analyser les modes d'accès aux ressources forestières ainsi que les pratiques d'exploitation dans le cadre de la production de charbon de bois dans cette zone. Des enquêtes ont été menées auprès de 20 charbonniers professionnels. Les résultats révèlent que cette population est exclusivement masculine (100 %), avec un âge moyen de $46,1 \pm 12,8$ ans et une ancienneté moyenne de $7,3 \pm 5,1$ ans dans l'activité. La majorité des charbonniers (55 %) sont des allochtones, ayant acquis leurs terres principalement par achat. La superficie moyenne détenue par charbonnier est de 2,4 hectares, dont 0,96 hectare est effectivement exploité sur une période moyenne de 1,6 an (soit 19 mois). La vitesse de déboisement est estimée à $505,3 \text{ m}^2$, soit 0,05 hectare par mois. Les espèces les plus couramment exploitées sont *Julbernardia paniculata*, *Pterocarpus angolensis*, *Brachystegia spiciformis*, *Brachystegia microphylla*, *Pterocarpus tinctorius* et *Marquesia macroura*. Lors de l'abattage, ces arbres présentent un diamètre moyen de $41,5 \pm 11,3$ cm et une hauteur moyenne par rapport au sol de $44,4 \pm 11,4$ cm. Concernant les critères de sélection des arbres à abattre : 55 % des charbonniers n'appliquent aucun critère spécifique, 35 % se basent uniquement sur le diamètre, 5 % prennent en compte à la fois le diamètre et la hauteur. La construction d'une meule, depuis l'abattage jusqu'à la fin de la couverture du bois, requiert en moyenne 27 jours pour un charbonnier travaillant seul, et 22 jours pour une équipe de trois personnes. Les étapes les plus longues sont l'abattage (6,6 à 7 jours) et le découpage du bois (8,3 jours). La majorité des charbonniers n'ont connaissance d'aucune autre technique de carbonisation que celle des meules, bien qu'ils reconnaissent certains facteurs influençant le rendement. Cette étude met en évidence la forte pression exercée sur les ressources forestières du Miombo. Elle souligne la nécessité de réduire cette pression par : des recherches approfondies sur les déterminants du rendement de carbonisation, et l'adoption de techniques

améliorées de production de charbon de bois. Ces efforts sont essentiels pour garantir la durabilité de cette activité dans la zone rurale de Lubumbashi.

Mots clés : Ressources naturelles ; accès à la terre ; charbon de bois ; déforestation ; production durable

5.4. Abstract

Charcoal production in the Lubumbashi region serves as a source of income for producers while contributing to deforestation and the degradation of forest ecosystems. This study aims to examine the access modes of charcoal producers to forest resources and their exploitation for charcoal production in the rural areas of Lubumbashi. Surveys conducted with 20 professional charcoal producers revealed that this group is exclusively male (100%), with an average age of 46.1 ± 12.8 years and an average experience of 7.3 ± 5.1 years in the activity. The majority of producers (55%) are non-native, having acquired land through purchase. On average, each producer owns 2.4 hectares, of which 0.96 hectares are actively exploited over a period of 1.6 years (19 months). The deforestation rate is estimated at 505.3 m^2 , or 0.05 hectares per month. The most commonly exploited species include *Julbernardia paniculata*, *Pterocarpus angolensis*, *Brachystegia spiciformis*, *Brachystegia microphylla*, *Pterocarpus tinctorius*, and *Marquesia macroura*. At the time of felling, these trees have an average diameter of 41.5 ± 11.3 cm and an average height of 44.4 ± 11.4 cm. Fifty-five percent of charcoal producers apply no specific selection criteria when felling trees, while 5% consider both tree diameter and height, and 35% base their decisions solely on diameter. Constructing a charcoal kiln from the felling stage requires an average of 27 days for a single producer and 22 days for a team of three people. The felling (6.6–7 days) and wood cutting stages (8.3 days) are particularly time-intensive. Most producers are unaware of alternative carbonization techniques beyond traditional kilns, despite recognizing certain factors that influence yields. In conclusion, this study highlights the significant pressure exerted on miombo woodland resources and underscores the need to mitigate this pressure through in-depth research on factors determining carbonization yields and the adoption of improved charcoal production techniques. These measures are essential to ensure the sustainability of charcoal production in the rural areas of Lubumbashi.

Keywords: natural resources; land access; charcoal; deforestation; sustainable production

5.5. Introduction

Les forêts mondiales jouent un rôle très important dans la protection des ressources en eau, en terre, ainsi que dans la fourniture de nombreux services écosystémiques (Miura et al., 2015 ; Pramova et al., 2012).

La République Démocratique du Congo, avec ses 105,8 millions d’hectares de forêts tropicales humides non perturbées, est le deuxième pays après le Brésil (Eba’a Atyi et al., 2022 ; Diaw et Franks, 2019). Bien que le taux annuel de déboisement en RD Congo soit relativement faible (0,25 %), le pays figure parmi ceux qui perdent le plus de superficie forestière (Ehrenstein, 2013). Cette perte est due à une forte croissance

démographique, principal moteur de la déforestation, à travers l'expansion urbaine, l'agriculture, et la collecte de bois-énergie (Tchatchou et al., 2015 ; Vermeulen, 2023). L'exploitation forestière s'y réalise principalement de manière informelle, tandis que le secteur formel ne représente qu'environ 1 % du PIB (Mangion, 2010). Autour des grandes villes de la RD Congo, la production de charbon de bois est la cause principale de déforestation (Nourtier et al., 2013 ; Lobanga et al., 2021), en raison du faible taux d'accès à l'électricité (20 %), avec 60 % à Kinshasa, où 95 % des ménages utilisent le charbon de bois (Twite et Balume, 2022).

Autour de la ville de Lubumbashi, la production de charbon de bois, bien qu'elle ne nécessite pas de coûts de production très élevés se limitant à l'achat des moyens de production, estimés à 3,3 USD par an (De Hert, 2010), fait face à plusieurs contraintes, notamment les faibles rendements de carbonisation évalués à 10 % (Kasanda et al., 2024 ; Nge, 2021). Ces faibles rendements sont dus à des pratiques traditionnelles, qui ont des répercussions négatives sur le miombo, dont provient l'essentiel du charbon produit dans cette zone (Péroches et al., 2021). Il est donc urgent d'améliorer les pratiques de carbonisation pour en accroître les rendements et atténuer la pression sur la forêt claire (Kasanda et al., 2024). Pour y parvenir, l'accès aux ressources constitue une étape cruciale, car il confère le droit d'exploitation. Dans la zone rurale de Lubumbashi, l'accès aux terres et aux arbres destinés à la production de charbon de bois se fait soit par l'intermédiaire des agents de l'État, soit par les chefs coutumiers, ce qui reflète la dualité entre le droit coutumier et le droit formel (Nge, 2021). De manière générale, le droit coutumier d'usage de la terre varie selon que l'on appartient à la lignée responsable du terroir ou non. Il est gratuit pour les membres de la lignée, qui peuvent ensuite le transmettre à d'autres, y compris à des autochtones, moyennant oui ou non une compensation (Vermeulen et al., 2011 ; Trefon et al., 2010).

Ainsi, dans la zone rurale de Lubumbashi, on observe une intensification de la production de charbon de bois, entraînant une dynamique particulière dans l'accès aux ressources forestières (Brobbe et al., 2021). Une catégorie de charbonniers se distingue notamment par le fait qu'ils paient uniquement les arbres nécessaires à la production, sans acquérir la terre. Cela peut s'expliquer soit par un manque de moyens financiers pour accéder à la terre, soit par l'absence de ressources forestières adaptées à la production de charbon de bois (Sankhayan et Hofstad, 2000). Ce mode d'accès influence le choix des types d'arbres utilisés, qui dépend à son tour du type de site de production, de l'expérience des producteurs et des saisons d'exploitation. Ces éléments déterminent l'accessibilité à certains sites de production (Aabeyir et al., 2016). La préférence pour certaines espèces d'arbres repose sur leur disponibilité et leur taille, ce qui exerce une forte pression sur la ressource forestière lors de la carbonisation (Chiteculo et al., 2018).

L'accès à la terre en dehors du cadre du droit formel ne garantit pas de suivi ni de contrôle sur les modes d'exploitation des ressources. Dans de nombreux pays en développement, l'octroi de licences aux exploitants constitue une politique essentielle pour réguler la gestion des ressources forestières et générer des revenus dans le secteur du charbon de bois (Linken et al., 2013).

Un cadre institutionnel favorable peut renforcer le potentiel d'exploitation durable des ressources forestières, améliorer les modes de production et structurer des chaînes de valeur plus durables (Schure et al., 2019). Toutefois, ce cadre se heurte à de nombreux obstacles, notamment la complexité du pouvoir traditionnel et les pratiques informelles de certains agents du secteur forestier. Pourtant, le Code forestier de 2002 précise clairement que les forêts sont la propriété de l'État congolais, et que tout détenteur de droits d'usage coutumiers peut exploiter les ressources forestières à des fins domestiques, individuelles ou communautaires (Mvondo et al., 2009). Cependant, dans le cadre de notre étude, l'accès aux ressources forestières vise avant tout la commercialisation. Dans un contexte où les acteurs se professionnalisent de plus en plus et où l'accès aux ressources se situe à l'intersection du droit coutumier et du droit formel, le mode d'exploitation de ces ressources se trouve nécessairement influencé. (Trefon et al., 2010)

De nombreuses études sur le charbon de bois ont été menées en RD Congo et à Lubumbashi, dont plusieurs ont porté sur l'approvisionnement de la ville. Diverses méthodologies ont été appliquées, notamment le suivi de la carbonisation (Schure et al., 2019), les approches de chaîne de valeur et de filière (Münkner et al., 2015 ; Nge, 2021), ainsi que des enquêtes auprès des charbonniers (CIFOR, 2009). Aucune de ces études n'a cependant abordé le mode d'exploitation de la forêt pour la carbonisation dans un contexte de professionnalisation des charbonniers et de déforestation. Ainsi, il nous est apparu nécessaire, dans la présente étude, de sonder les charbonniers sur leur mode d'exploitation des arbres et sur la manière dont ils y accèdent, afin d'évaluer la durabilité de cette activité dans la zone rurale de Lubumbashi.

La présente étude a pour objectif d'analyser l'accès à la terre des charbonniers ainsi que l'exploitation des arbres dans le cadre de la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi. Elle vise à proposer une exploitation rationnelle de ces ressources afin d'atténuer la pression sur le miombo. Elle repose sur les hypothèses suivantes : Les charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi accèdent à la terre de plusieurs manières, les allochtones par achat ou location, les autochtones par héritage ; les charbonniers exercent une pression accrue sur la forêt en raison de pratiques de carbonisation peu performantes ; Les pratiques sont les mêmes au niveau des différents villages de la zone rurale de Lubumbashi, étant donné qu'ils appartiennent tous au bassin d'approvisionnement de Lubumbashi et regorgent des charbonniers présentant des profils similaires (Trefon et al., 2010 ; Münkner et al., 2015 ; Nge, 2021).

5.6. Matériel et méthodes

5.6.1. *Milieu d'étude*

La ville de Lubumbashi est la deuxième plus grande ville de la République Démocratique du Congo (RD Congo) (Bruneau et Bukome, 1987). Ses environs, qui forment sa zone rurale et son bassin d'approvisionnement, constituent notre milieu d'étude (Figure 5.1). Cette recherche s'est concentrée sur quatre villages de charbonniers : Luisha, Maksem, Mwawa et Sela. La zone rurale de Lubumbashi se

située entre 1200 et 1350 mètres d'altitude. Selon la classification de Köppen, elle bénéficie d'un climat tropical de type Cw. La saison des pluies s'étend de novembre à mars, tandis que la saison sèche va de mai à septembre (Malaisse et Kapinga, 1986). Cette région est composée de latosols appartenant à trois catégories, selon leur teneur en oxydes de fer : les terres rouges (formées sur des roches carbonatées et dolomitiques), les terres ocre-rouges et les terres jaunes (issues de roches argileuses ou siliceuses) (Malaisse, 1979).

Le type de formation végétale rencontré dans la zone rurale de Lubumbashi est la forêt claire (Cabala et al., 2018). Cette forêt, appelée miombo, est dominée par des espèces telles que *Brachystegia*, *Isoberlinia* et *Julbernardia* (Mwape et Simbi, 2024 ; Frost, 1996). La forêt claire offre de nombreuses ressources économiques y compris le charbon de bois. La carbonisation constitue une activité pourvoyeuse de revenus utiles à la survie des ménages des producteurs (Mpundu, 2018).

L'exploitation des ressources du miombo concerne notamment les Produits Forestiers Non Ligneux (PFNL), récoltés à des fins artisanales, de construction, ainsi que pour la médecine traditionnelle. Les PFNL d'origine végétale peuvent générer des revenus considérables lorsqu'ils sont vendus sur les marchés urbains, avec des estimations variant entre 0,5 et 14,5 USD par kilogramme, selon l'espèce et l'usage qui en est fait (N'tambwe et al., 2023). Parmi les PFNL commercialisés figurent le miel, les champignons, les chenilles et divers fruits. L'agriculture y est également pratiquée. En outre, la production de charbon de bois constitue une activité pourvoyeuse de revenus essentiels à la survie des ménages des producteurs (Mpundu, 2018 ; Malaisse, 1979).

Le bassin d'approvisionnement de Lubumbashi est en constante évolution. Sa zone d'influence est passée de 30 km en 1985 (Malaisse et Binzangi, 1985), à 60 km en 2008 (Djibu et al., 2018), puis à 100 km en 2015. Elle continue de s'étendre progressivement (Useni et al., 2017).

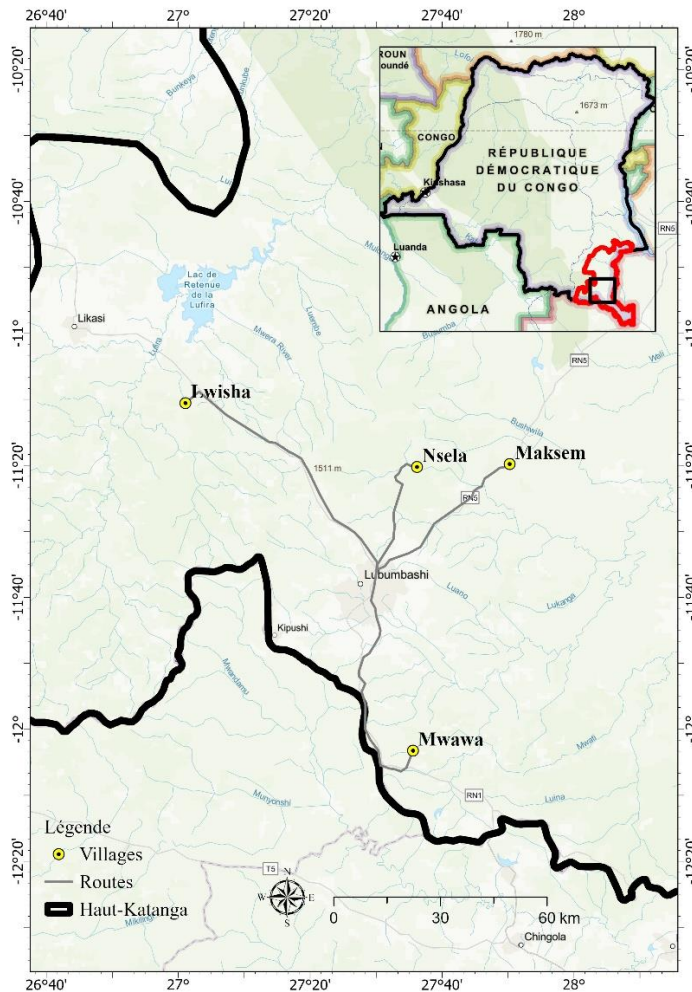


Figure 5-1 : Localisation des villages des charbonniers étudiés, appartenant à la zone rurale de Lubumbashi.

5.6.2. *Echantillonnage*

La présente étude a été conduite auprès de 20 charbonniers professionnels de la zone rurale de Lubumbashi. Le choix de ce nombre restreint de charbonniers repose sur le fait que ces derniers devaient être mobilisés pour des études ultérieures, notamment celles portant sur le suivi des meules, lesquelles nécessitent un nombre limité de participants. Ceux-ci sont issus de 131 charbonniers qui ont été sélectionnés, à partir d'une enquête socioéconomique préalable menée auprès de 258 chefs de ménage (voir Équation 1). Cette enquête avait pour objectif d'identifier les différentes activités exercées dans la zone, en dehors de la production de charbon de bois.

Le calcul de la taille de l'échantillon des chefs de ménage de ces quatre villages de producteurs de charbon de bois a été effectué selon la méthode décrite par Muteba (2014), Sabuhungu (2016) et N'tambwe et al. (2023).

$$n = \frac{1,64^2 \times N}{1,64^2 + I^2 \times N - 1} \quad (1)$$

Avec n qui représente le nombre total des ménages à enquêter ; N , représente le nombre total des ménages des villages étudiés ; $1,64$, représente le coefficient critique à 90% de niveau de confiance et I , c'est la marge d'erreur acceptable à 10%.

Ainsi, 6116 a été le nombre total des ménages de ces 4 villages, selon les données sur la population, fournies par l'ONG BUCODED en 2019 et des différents rapports annuels des villages et groupements de la zone d'étude.

Les critères ayant permis de retenir ces 20 charbonniers pour les enquêtes ont été les suivants : ils devaient appartenir à la catégorie des grands producteurs de charbon de bois, avec une production minimale de 40 sacs par meule. Ces charbonniers faisaient partie des professionnels, caractérisés par une présence permanente dans l'activité, c'est-à-dire qu'ils produisent tout au long de l'année, aussi bien en saison sèche qu'en saison des pluies. Cette régularité devait faciliter leur suivi dans le cadre des études ultérieures (Nge, 2021 ; Munkner et al., 2025 ; Kasanda et al., 2024).

5.6.3. Déroulement des enquêtes

Des enquêtes exploratoires ont été menées du 7 juillet au 7 août 2020 dans 15 villages situés autour de Lubumbashi. L'objectif était d'obtenir un aperçu général de l'activité de carbonisation dans la région, d'identifier les villages présentant une forte intensité de production, ainsi qu'un bon positionnement géographique par rapport à l'approvisionnement en charbon de bois de la ville en tenant compte d'une configuration Nord-Sud et Est-Ouest autour de Lubumbashi.

La présente étude a ainsi permis de réaliser une enquête ciblée auprès de ces charbonniers professionnels, dans le but de recueillir des informations sur l'accès et l'exploitation des ressources, et d'évaluer leur niveau de connaissance concernant la production de charbon de bois, avant d'entreprendre le suivi direct des meules.

Un questionnaire a été administré aux charbonniers, comportant plusieurs volets d'information : Les caractéristiques des enquêtés, notamment leur profil sociodémographique et leur statut au sein du village ; le système de production, en particulier les modalités d'accès à la terre permettant l'exploitation des arbres ; les pratiques d'exploitation du bois ainsi que les moyens de production utilisés ; les différentes étapes de production de charbon de bois ; et enfin, l'évaluation des connaissances techniques des charbonniers en matière de carbonisation.

Il sied de noter que lors de la collecte des données relatives à l'exploitation des ressources, notamment la taille des arbres abattus, la hauteur minimale par rapport au sol et le diamètre des arbres coupés, un mètre ruban était utilisé. Cette opération se faisait après avoir demandé à l'enquêté de désigner visuellement ces dimensions sur un tronc d'arbre ou une souche. Cela a permis de recueillir les données par mensuration directe, et non uniquement sur la base des déclarations des enquêtés.

Pour l'identification des espèces exploitées par les producteurs de charbon de bois, ces derniers donnaient les noms vernaculaires en langues locales. À partir de ces appellations, les noms scientifiques ont été déterminés grâce à des recherches documentaires menées par Malaisse (1997), OSFAC (2019) et Meerts et Hasson (2016).

5.6.4. Analyse des données

Après la collecte des données de la présente étude, les informations issues des questionnaires ont été encodées dans Excel, puis analysées à l'aide du logiciel statistique SPSS 21.

Les résultats ont été présentés sous forme de tableaux, de moyennes et d'écart types, ainsi que d'effectifs et de pourcentages. Le profil socioéconomique des 20 charbonniers professionnels, notamment l'âge, le genre, le niveau d'étude et l'ancienneté, a été étudié afin de mieux les caractériser (Sanogo et al., 2023). L'analyse du système de production et l'accès aux ressources a permis de comprendre comment les charbonniers professionnels de la zone rurale de Lubumbashi acquièrent la terre et la ressource « arbre » et comment procèdent-ils pour produire le charbon de bois (Mana et al., 1999).

L'identification des moyens de production a permis d'évaluer le niveau de performance des enquêtés dans leur activité d'exploitation des ressources destinées à la carbonisation. (Mama et Biaou, 2017). Le mode d'abattage des arbres a, quant à lui, fourni des indications sur la durabilité de l'exploitation de la forêt claire (miombo) après les activités de charbonnage (Mumbere et al., 2023). Les étapes de la carbonisation ont été examinées afin de décrire la technique utilisée par les charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi. Enfin, l'évaluation des connaissances des charbonniers sur les techniques de carbonisation a permis d'explorer l'existence éventuelle d'autres types de procédés en dehors de ceux couramment utilisés dans la région. Cette étape a également permis de recueillir leur perception d'une "bonne" carbonisation, susceptible d'assurer un meilleur maintien de la forêt et d'optimiser les rendements (Mama et Biaou, 2017 ; Schure et al., 2021).

Des analyses de variance (ANOVA) ainsi qu'un test du khi-deux ont été réalisés afin d'identifier les relations entre les variables étudiées et les différents villages de l'étude. Ces analyses ont permis d'évaluer le niveau de significativité des relations. Des différences ont été considérées comme significatives lorsque la p-value était inférieure à 0,05.

Cette démarche méthodologique a permis de déterminer le lien existant entre le mode d'accès aux ressources et les modes de leur exploitation, afin de décrire la pression exercée sur la forêt claire de Miombo autour de Lubumbashi. Les villages concernés par la présente étude ont été considérés comme des répétitions, dans le but de mieux caractériser les pratiques communes aux charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi.

5.7. Résultats

5.7.1. Profil des enquêtés

La totalité de nos enquêtés sont tous des hommes (100%), car aucune femme n'a été identifiée parmi eux. Ils avaient un âge moyen de 46,1±12,8 ans, une ancienneté dans la production de charbon de bois de 7,3±5,1 années et une ancienneté dans le village des producteurs de 9,3±9,7 années. Il sied de noter que des différences significatives ont été trouvées entre les villages en ce qui concerne l'ancienneté des charbonniers (P=0,038). Ces résultats révèlent que nos enquêtés étaient jeunes, hommes avec une longue expérience étant donné leur ancienneté dans l'activité et dans le village comme illustré au tableau 5-1 ci-dessous :

Tableau 5-1: Age, ancienneté dans l'activité et dans le village des charbonniers. Avec Moy = Moyenne.

Villages	Variables		
	Age Moy ± Ecart type	Ancienneté Activité Moy ± Ecart type	Ancienneté Village Moy ± Ecart type
Luisha	38,7±11,5	5,3±4,9	30,0±0,0
Maksem	45,0±16,8	5,4±3,3	9,0±5,7
Mwawa	48,3±9,7	7,8±5,1	3,5±0,7
Sela	54,4±9,3	11,2±5,9	1,0±0,0
Total	46,1±12,8	7,3±5,1	9,3±9,7
P value	0,242	0,218	0,038*

5.7.2. Accès à la terre au niveau des différents villages

Il ressort de nos résultats que les charbonniers ont accédé à la terre de 5 manières à savoir : l'achat de la terre (55%) ; la location (25%) ; le don (5%), rencontré uniquement à Luisha ; l'héritage (5%) uniquement à Sela et l'achat des arbres (10%) qui n'a été retrouvé qu'au village Maksem. Des différences significatives n'ont pas été trouvées en ce qui concerne le test de Khi deux (P=0,090>0,05). Nos résultats montrent que l'achat de la terre est le mode d'accès le plus dominant dans la zone et que le don ainsi que l'héritage de terre caractérisaient la minorité des charbonniers comme illustré au tableau 5-2 :

Tableau 5-2: Modes d'accès des charbonniers professionnels à la terre au niveau des villages des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi. Avec n= Effectif et %= Pourcentage.

Mode d'accès	Village					P value (Test Khi deux)
	Luisha n (%)	Maksem n (%)	Mwawa n (%)	Sela n (%)	Total n (%)	
Achat	4 (20)	-	3 (15)	4 (20)	11 (55)	0,090

Achat arbres	-	2 (20)	-	-	2 (10)
Don	1 (5)	-	-	-	1 (5)
Héritage	-	-	-	1 (5)	1 (5)
Location	1 (5)	3 (15)	1 (5)	-	5 (25)
Total	6 (30)	5 (25)	4 (20)	5 (25)	20 (100)

5.7.3. *Superficies à l'acquisition de la terre et celles exploitées*

Les résultats au tableau 5-3 ci-dessous révèlent que les producteurs de charbon de bois professionnels de ces 4 villages, à l'acquisition de la terre, leurs superficies moyennes étaient de $23506,9 \pm 27343,3$ m² soit 2,4 ha. Des différences n'ont pas été trouvées en ce qui concerne ces superficies en comparant les quatre villages ($P=0,440$). La superficie moyenne exploitée depuis l'acquisition de la terre durant une période de $1,6 \pm 1,8$ années (19 mois), est de $9665,3 \pm 9018,9$ m², soit 0,96 ha. L'équivalent de 505,3 m² ou 0,05 ha par mois. Il découle des résultats que les charbonniers professionnels ont des grandes superficies de forêts à l'acquisition et la vitesse d'exploitation de celles-ci se fait rapidement pendant une durée d'exploitation relativement courte.

Tableau 5-3: Superficies (m²) à l'acquisition et exploitées, durée d'exploitation et vitesse d'exploitation. Avec Moy : Moyenne ; E.T : Ecart type ; % : Pourcentage.

Village	Variables			
	Superficie totale (Moy \pm E.T)	Superficie exploitée (Moy \pm E.T)	Durée d'exploitation (Moy \pm E.T)	Vitesse d'exploitation (%)
Luisha	25520,8 \pm 26828,2	7787,5 \pm 7750,9	1,5 \pm 2,2	30,5
Maksem	15000,0 \pm 5000,0	11333,3 \pm 8082,9	0,9 \pm 0,2	75,6
Mwawa	8750,0 \pm 2500,0	5437,5 \pm 3393,5	1,0 \pm 0,0	62,1
Sela	38000,0 \pm 41472,9	14300,0 \pm 13311,6	2,7 \pm 2,2	37,6
Total	23506,9 \pm 27343,4	9665,3 \pm 9018,9	1,6 \pm 1,8	41,1
P value	0,440	0,500	0,432	-

5.7.4. *Espèces d'arbres utilisées lors de la production de charbon de bois*

En ce qui concerne les espèces exploitées, 14 d'entre elles ont été répertoriées et selon nos enquêtes et par ordre d'importance, le *Julbernardia Paniculata* (65%) a été

le plus cité, suivi de *Ptérocarpus angolensis*, *Brachystegia spiciformis*, *Brachystegia microphylla* qui ont été citées respectivement par 45% de nos enquêtés. Puis venaient le *Pterocarpus tinctorius* (40%) et le *Marquesia macroura* (35%) et le *Uapaca nitida* (25%) qui est un arbre fruitier. Les résultats révèlent une utilisation des mêmes espèces à des niveaux similaires, tel que le montrent les proportions issues des analyses descriptives (Tableau 5-4).

Tableau 5-4: Distribution de fréquences des citations des espèces d'arbres les plus utilisées lors de la production du charbon de bois.

Nom en langues locales	Nom scientifique	Villages				Σ xi
		Luisha xi (n)	Maksem xi (n)	Mwawa xi (n)	Sela xi (n)	
1. Mutondo	<i>Julbernardia Paniculata</i> (Benth.) Troupin.	4 (20)	3 (15)	4 (20)	2 (10)	13 (65)
2. Mubanga	<i>Pterocarpus angolensis</i> DC.	3 (15)	3 (15)	1 (5)	2 (10)	9 (45)
3. Kaputu	<i>Brachystegia spiciformis</i> Benth	3 (15)	2 (10)	1 (5)	3 (15)	9 (45)
4. Musamba	<i>Brachystegia microphylla</i> Harms.	2 (10)	-	4 (20)	3 (15)	9 (45)
5. Kakula	<i>Pterocarpus tinctorius</i> Welw.	4 (20)	4 (20)	-	-	8 (40)
6. Museshi	<i>Marquesia macroura</i> Gilg.	3 (15)	2 (10)	1 (5)	1 (5)	7 (35)
7. Masuku	<i>Uapaca nitida</i> f. sokolobe P.A. Duvign.	-	2 (10)	-	3 (15)	5 (25)
8. Kayimbi	<i>Erythrophleum africanum</i> Benth.	1 (5)	-	2 (10)	-	3 (15)
9. Mupundu	<i>Parinari curatellifolia</i> Planch. ex Benth.	-	1 (5)	1 (5)	1 (5)	3 (15)
10. Ndale	<i>Bobgunnia madagascariensis</i> (Desv.)	2 (10)	-	-	-	2 (10)
11. Kimpampa	<i>Monotes katangensis</i> De Wild.	-	-	-	2 (10)	2 (10)
12. Mutobo	<i>Isoberlinia angolensis</i> (Welw. ex Benth.)	1 (5)	-	-	-	1 (5)
13. Sandwé	<i>Jullbernardia globiflora</i> (Benth.) Troupin.	-	1 (5)	-	-	1 (5)
14. Mwenge	<i>Diplorhynchus condylocarpon</i>) Pichon.	-	1 (5)	-	-	1 (5)

xi : Fréquence de citation ; % : Pourcentage

5.7.5. Critères d'abattage

Pour couper un arbre lors de la production de charbon de bois, certains charbonniers tiennent compte de quelques critères qu'ils se sont fixés en avance. Il s'agit donc du non abattage des arbres fruitiers pour certains, cela n'a concerné que 5% d'entre eux. D'autres tiennent compte de la taille ainsi que du diamètre de l'arbre (5%). Une certaine catégorie des producteurs de charbon de bois tient uniquement compte du diamètre de l'arbre avant de le couper et ces derniers constituaient 35% de la population étudiée. Enfin, plus de la moitié soit 55% des producteurs de charbon de bois professionnels n'ont aucun critère fixé pour abattre les arbres, ils les coupent peu importe leurs tailles et leurs diamètres tout en considérant que tout arbre, quel que soit sa taille et son diamètre, est important pour la production du charbon de bois (Figure 5-2) :

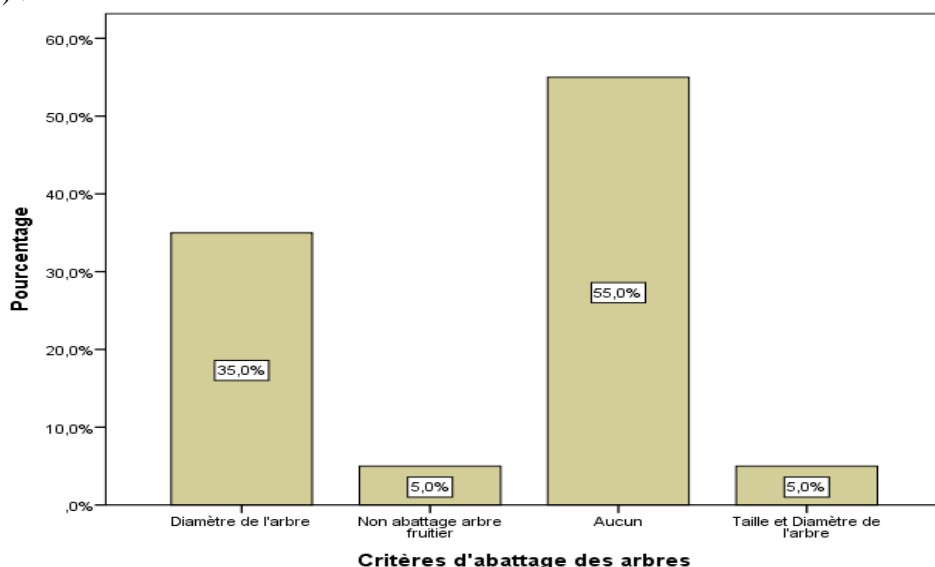


Figure 5-2 : Répartition des producteurs de charbon de bois selon leurs critères d'abattage des arbres lors de la production du charbon de bois.

5.7.6. Dimensions des arbres abattus

Bien qu'à l'abattage la plupart des producteurs de charbon de bois ne tiennent pas compte de l'espèce de l'arbre (essence), ils ont chacun une taille minimale du diamètre et de hauteur à partir de laquelle ils considèrent qu'un arbre peut être coupé ou devient utile pour la production de charbon de bois. La taille minimale du diamètre des arbres abattus par ces producteurs de charbon de bois est comprise entre 27 et 60 cm, pour une moyenne estimée à $(41,5 \pm 11,3 \text{ cm})$. Par rapport au sol, la hauteur d'abattage des arbres par les producteurs de charbon de bois présente une valeur de $44,4 \pm 11,4 \text{ cm}$ $\sim 0,44 \text{ m}$ en moyenne. Celle-ci varie de 28 à 74 cm (Tableau 5-5) :

Tableau 5-5: Répartition du diamètre et hauteur des arbres abattus en fonction des villages

Villages	Variables	
	Diamètre (cm)	Hauteur (cm)
	Moyenne ± Ecart type	Moyenne ± Ecart type
Luisha	34,5 ± 7,8	42,0 ± 9,8
Maksem	38,6 ± 12,6	44,0 ± 6,3
Mwawa	44,0 ± 8,9	38,0 ± 10,3
Sela	50,8 ± 10,6	52,8 ± 14,3
Total	41,5 ± 11,3	44,4 ± 11,1
p value	0,090	0,215

5.7.7. *Etapas de construction d'une meule de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi*

Pour monter une meule, les producteurs de charbon de bois passent par plusieurs étapes qui sont réalisées soit en groupe ou individuellement. Ainsi, le tableau 5.6 ci-dessous présente ces différentes étapes ainsi que le nombre de jours mis pour la réalisation d'une meule de charbon de bois. Lorsque le producteur de charbon de bois travaille seul, il découle de ces résultats que les étapes d'abattage des arbres (6,6 ~ 7 jours) et découpage du bois (8,3 jours) sont celles qui prennent beaucoup de temps, soit 15 jours en moyenne pour les deux. Ils sont suivis par le classement du bois (6,3 jours) et la mise de la terre autour du bois classé ou rangé qui prend en moyenne 4 jours. Les deux dernières étapes qui sont la mise de la paille au-dessus du bois rangé et la couverture de la meule avec la terre qui prennent respectivement 1 jour, pour un total de 27 jours en partant de la coupe des arbres à la fin de la construction de la meule. En groupe, la construction d'une meule de charbon de bois se fait en moyenne par 3 personnes au niveau des 4 villages de notre étude, à l'exception de l'étape liée au classement du bois qui demande un peu plus de main d'œuvre, soit 4 personnes. La réalisation d'une meule se réalise en 22 jours répartis comme suit : L'abattage et le découpage prennent respectivement 6 jours ; le classement du bois 5 jours ; la mise de la terre autour de la meule prend 3 jours ; la mise de la paille et la couverture de la meule prennent chacun 0,8 jours (Tableau 5-6).

Tableau 5-6: Etapes de production de charbon de bois. Avec Moy : Moyenne et E.T : Ecart type

N°	Etapes	Variables	
		Seul Moy ± E.T	En groupe Moy ± E.T
1	Abattage de l'arbre (Nbre jours)	6,6 ± 4,2	6,2 ± 3,4
2	Découpage du bois (Nbre jours)	8,3 ± 3,6	5,9 ± 3,2
3	Classement du bois (Nbre jours)	6,3 ± 1,5	5,0 ± 3,7
4	Mise de la terre autour (Nbre jours)	4,2 ± 2,3	3,0 ± 1,2
5	Mise de la paille (Nbre jours)	1,2 ± 0,3	0,8 ± 0,4
6	Couverture (Nbre jours)	1,2 ± 0,3	0,8 ± 0,4

5.7.8. *Evaluation de la connaissance des charbonniers sur les techniques de production et rendements de carbonisation*

La totalité (100%) des producteurs de charbon de bois a affirmé ne pas connaître d'autres techniques de carbonisation à part celle des meules, répandue dans la contrée. En ce qui concerne les facteurs qui déterminent les rendements, selon nos enquêtés, il en existe plusieurs. Il s'agit entre autres du suivi de la combustion qui semble être la plus cruciale selon 25% de charbonniers, car cette étape demande assez d'attention et de permanence pour ne pas laisser échapper la chaleur en colmatant différentes fuites avec des mottes de terre. Pour 20% de producteurs de charbon de bois, la saison influe beaucoup sur le rendement, selon qu'on est en saison sèche ou de pluie. Cela est le plus aperçu par les quantités de pluie qui perturbent la combustion, et les vents qui peuvent le plus accélérer la combustion en saison sèche jusqu'à l'apparition de beaucoup de cendres dans la meule, synonyme d'un mauvais rendement. Respectivement 10% des charbonniers pensent que d'une part le suivi de la combustion et la manière de classer le bois et d'autres parts la manière de mettre les mottes de terre sur le bois classé déterminent le plus le rendement. 7 autres groupes de charbonniers ont été identifiés, représentant chacun 5% ont affirmé que les facteurs comme la quantité de bois ; le type de sol sur lequel la meule est montée ; l'essence utilisée ; le diamètre du bois, etc...influencent le plus le rendement des meules (Figure 5-3) :

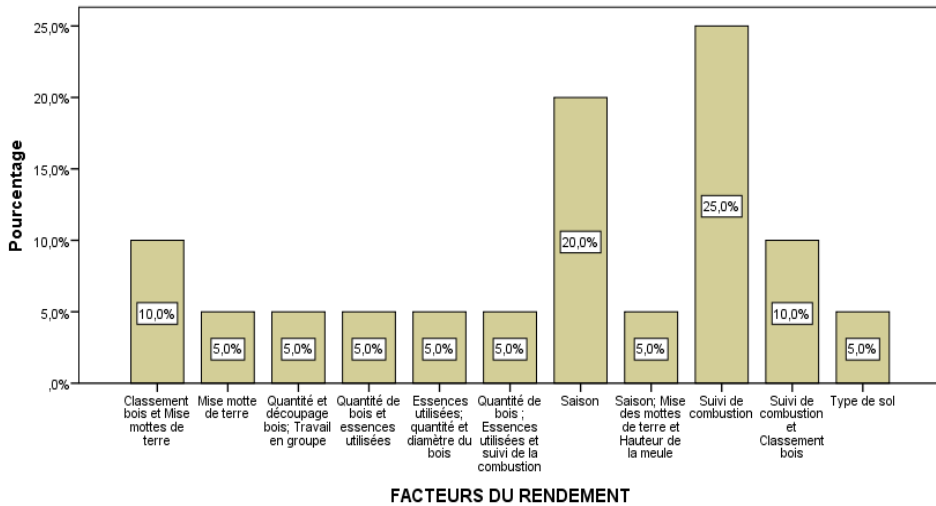


Figure 5-3 : Les facteurs déterminant les rendements des meules selon les producteurs de charbon de bois

5.7.9. *Caractéristiques des moyens de production utilisés par les charbonniers*

En moyenne, les charbonniers possèdent $(2,6 \pm 1,4) \sim 3$ haches, utilisées lors de l'abattage et découpage du bois, dont la dernière acquisition date de $(1,6 \pm 1,3)$ ans et a coûté à l'achat $(9650 \pm 1940,6)$ CDF $\sim 6,03$ USD. Ces producteurs de charbon de bois possèdent en moyenne $(1,4 \pm 0,7)$ machette, utile dans le découpage des brindilles, datant d'une année, dont le coût à l'achat a été de $(6000 \pm 2449,5)$ CDF, soit 3USD. La machette semble être le matériel le moins cher de tous, bien que la totalité des producteurs n'en possédait pas. La houe ainsi que la bêche sont deux instruments les plus utilisés, notamment lors de la collecte de la terre et couverture du bois, et chacun des producteurs en possédait en moyenne $(2,7 \pm 1,4) \sim 3$ pour un dernier achat datant d'une année, et un coût d'acquisition de $(8078,9 \pm 1193,3)$ CDF $\sim 4,04$ USD pour la houe. Comme pour cette dernière, en moyenne ces producteurs possèdent $(1,6 \pm 0,7) \sim 2$ bêches, ayant coûté $(7710,5 \pm 1315,7) \sim 3,9$ USD l'unité et le dernier achat a été effectué il y a une année. Enfin, la fourche, pour la récolte de charbon de bois et la tronçonneuse pour l'abattage des arbres et découpage de bois, leur acquisition a le plus coûté aux charbonniers. (64320 ± 34660) CDF soit 32,2 USD, pour 1 année d'acquisition pour la fourche et quelques mois d'acquisition $(0,16)$ ans pour la tronçonneuse qui a coûté 800000 CDF soit 400 USD à l'achat. Les résultats décrivent un nombre similaire de moyens de production possédés par les charbonniers, ainsi que leur ancienneté et leurs coûts d'acquisition en fonction des villages, car les différentes valeurs de P, selon l'ANOVA, sont supérieures à 0,05 (Tableau 5-7).

Tableau 5-7: Nombre, âge et coût d'acquisition des matériels utilisés lors de la production de charbon de bois

Moyens de production	Nombre	P value	Age (année)	P value	Coût	P value
Hache	2,6 ± 1,4	0,156	1,6 ± 1,3	0,514	9650 ± 1940,6	0,765
Machette	1,4 ± 0,7	0,124	1,3 ± 0,9	0,726	6000 ± 2449,5	0,827
Houe	2,7 ± 1,4	0,148	1,1 ± 0,6	0,654	8078,9 ± 1193,3	0,152
Bèche	1,6 ± 0,7	0,116	1,3 ± 0,6	0,437	7710,5 ± 1315,7	0,936
Fourche	1,0 ± 0,3	0,122	2,0 ± 1,4	0,519	64320 ± 34660	0,492
Tronçonneuse	1 ± 0,0	-	0,16 ± 0,0	-	80000 ± 0,0	-

5.8. Discussion

5.8.1. Méthodologie utilisée

Pour réaliser la présente étude, plusieurs méthodes et techniques ont été utilisées. La collecte des données a été effectuée au niveau de quatre villages de charbonniers. La représentativité de tous les villages de la zone rurale de Lubumbashi s'explique par une procédure rigoureuse de sélection de ces villages, et les charbonniers de la zone partagent en commun plusieurs caractéristiques, tel que Trefon et al. (2010) le mentionnent en comparant les charbonniers du bassin d'approvisionnement de Lubumbashi à ceux de Kinshasa. Il s'agit notamment du mode d'exploitation et de l'aspect genre dans la production.

Le nombre restreint d'enquêtés a permis de généraliser les résultats sur les charbonniers professionnels de la zone, et même sur toutes les catégories de charbonniers, du fait que ces 20 charbonniers ont permis d'avoir une idée claire sur les pratiques des professionnels. Ces derniers vont aussi permettre de réaliser un suivi dans les études ultérieures dans des conditions où la collecte des données par observation directe ne facilite l'obtention de certaines informations. Ces résultats sont valides, tel que le montrent les recherches menées par Schure et al. (2019), en comparaison des meules, dont 10 étaient situées au plateau de Batéké et 10 autres dans la réserve de biosphère de Yangambi.

L'ANOVA et le test du khi-deux ont été utilisés, du fait que, dans cette étude, il était question de faire des descriptions. Des comparaisons ont été faites entre villages, considérés comme des répétitions, étant donné que l'étude ne pouvait pas être menée dans un seul village, car cela aurait posé des problèmes pour la validation des résultats (Lee et al., 2013).

5.8.2. Profil des producteurs de charbon de bois

Nos résultats ont révélé que la totalité des charbonniers enquêtés étaient des hommes. Cela s'explique par le fait qu'ils sont des charbonniers professionnels, exerçant la production de charbon de bois comme unique source de revenus. Ce constat rejoint les résultats obtenus par Nge (2021), qui montre qu'autour de la ville de Lubumbashi, cette activité est exercée par des hommes à hauteur de 93,6 %. Kouadio (2024) le confirme également dans une étude menée au Bénin, concluant que

la production de charbon de bois est essentiellement masculine, en raison de la pénibilité physique que ce travail exige.

Ainsi, bien que le rôle des femmes dans l'économie des ménages ruraux africains, notamment à travers l'agriculture, ne soit plus à démontrer (Jacquemot, 2019), celles-ci jouent également un rôle important le long de la filière bois-énergie. Elles participent à la gestion des arbres et des forêts, et interviennent comme productrices, transporteuses, consommatrices et même utilisatrices finales du charbon de bois (Ihalainen et al., 2021 ; Bushabu et al., 2002). Leur faible représentation, voire leur absence dans certaines zones, s'explique par le fait que la production de charbon de bois requiert une force musculaire importante, ce qui en fait une activité souvent considérée comme masculine (Trefon et al., 2010).

Nos enquêtés étaient âgés en moyenne de 46,1 ans. Cela montre que cette activité est exercée par des adultes relativement jeunes. Mensah et al (2024) confirment cette tendance au Ghana, où l'âge moyen des charbonniers était de 45 ans, ce qui se rapproche de celui trouvé au Nigeria, soit 43,5 ans (Olufunmilayo et al., 2018). Quant à l'expérience dans la carbonisation (7,3 années) et à l'ancienneté dans les villages des producteurs de la zone rurale de Lubumbashi, nos résultats indiquent que les charbonniers disposent d'une longue expérience dans cette activité. Celle-ci est d'ailleurs exercée par une population diversifiée, incluant à la fois des autochtones et des allochtones (Kasanda et al., 2024 ; Dro et al., 2021).

5.8.3. Accès à la terre

Plusieurs modes d'accès ont caractérisé nos enquêtés, notamment l'achat de la terre et des arbres, la location de la terre, l'héritage ou encore le don. Selon notre étude, plus de la moitié des producteurs de charbon de bois professionnels ont acquis la terre par achat, et étaient suivis par les locataires. Ce constat rejoint les résultats de Péroches et al. (2021), qui montrent qu'aux environs de Lubumbashi, les producteurs ayant accédé à la terre par achat sont plus nombreux (28,9 %) que ceux qui la louent (20 %).

Nos résultats s'inscrivent également dans les formes de tenures foncières observées en RD Congo, notamment dans la périphérie de Kinshasa, où la location de la terre peut impliquer une rétribution en nature. Dans ce cas, après la vente du charbon de bois, le locataire verse au propriétaire un certain nombre de sacs de charbon, selon les modalités de leur accord (Vermeulen et al., 2011). Quant à l'héritage et au don, ces modes d'accès sont fréquents en milieu rural, où une personne bénéficiant d'un droit d'usage peut céder une parcelle à autrui. L'héritage, pour sa part, est d'ordre familial (Zakariyao et Lare, 2014). En ce qui concerne l'achat des arbres, ce mode d'exploitation des ressources forestières est également courant dans la zone rurale de Lubumbashi, comme dans d'autres régions du continent. Par exemple, en Ouganda, où cela a aussi été constaté, des propriétaires terriens pouvaient aussi vendre les arbres de leurs concessions aux producteurs de charbon de bois (Nabukalu et al., 2019).

5.8.4. Superficies exploitées

Les producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi acquièrent de vastes espaces pour produire le charbon de bois, qu'ils exploitent dans un délai très

court. Cela démontre une forte pression exercée sur les ressources de la forêt claire (Kabulu et al., 2018 ; Useni et al., 2023). Le charbon de bois, étant l'une des principales causes de déboisement (Useni et al., 2017), influence le paysage de la plaine de Lubumbashi. Dans cette zone, la forêt claire a vu sa superficie diminuer, passant de 53 % à 11 % en seulement dix ans, soit une perte moyenne d'environ 1 % par an (Cabala et al., 2018).

En ce qui concerne les superficies possédées et celles déjà exploitées par individu, paraissent trop grandes. Cela corrobore les résultats de Cabala et al. (2018), qui ont observé une perte de 8 % de la forêt claire entre 2001 et 2005, et de 11 % entre 2001 et 2011. En Zambie, la déforestation liée à la production de charbon de bois est également constatée. Il convient toutefois de noter que, bien que le miombo soit une formation végétale résiliente, sa capacité de régénération reste faible (Kutsch et al., 2011). Cela est le cas en Tanzanie, la production de charbon de bois est une activité cruciale sur le plan économique, mais elle affecte considérablement le miombo. La technique de carbonisation par meule, très répandue, a un impact important sur certaines espèces très sollicitées, notamment *Pterocarpus angolensis*, *Afzelia quanzensis*, *Brachystegia sp.*, et *Julbernardia sp.* (Abdallah et Monela, 2007 ; Lusambo et al., 2008). Cela est pareil à la situation de l'Angola, où le miombo est également touché. En raison de la nature souvent clandestine de la production de charbon de bois, des activités alternatives y ont été proposées afin d'assurer la conservation durable de cette formation végétale (Gonçalves, 2019).

5.8.5. *Espèces d'arbres utilisées pour produire le charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi*

De nos résultats, il ressort que plusieurs espèces d'arbres de la forêt claire ont été utilisées pour la production de charbon de bois. Il a également été identifié l'usage d'arbres fruitiers, notamment le *Uapaca nitida*, exploité par près de 25 % des charbonniers. Cela montre que le charbonnage est une activité qui impacte fortement la forêt et contribue à la diminution, voire à la disparition de certains autres produits forestiers non ligneux (PFNL). N'tambwe et al. (2023) soulignent d'ailleurs la surexploitation des PFNL dans les forêts de la zone rurale de Lubumbashi, en raison de leur grande valeur économique. Ils insistent sur la nécessité d'un suivi régulier et d'une régulation de la collecte de ces produits, afin de favoriser la résilience des écosystèmes forestiers.

Il sied de noter qu'il existe des similarités entre les espèces composant le miombo, dont certaines sont également utilisées pour la production de charbon de bois. En Angola, par exemple, les espèces suivantes ont été identifiées : *Albizia anthunesiana*, *Brachystegia spiciformis*, *Julbernardia paniculata*, *Brachystegia boehmii*, *Isobertinia angolensis* et *Anisophyllea boehmii* (Miapia et al., 2023). Nos résultats s'accordent aussi avec ceux de Chidumayo (2019), qui confirme que le miombo est désigné en Zambie comme la forêt de *Brachystegia-Julbernardia*, en raison de la présence dominante de trois espèces caractéristiques de cette écorégion : *Julbernardia paniculata*, *Brachystegia microphylla* et *Brachystegia spiciformis*. Dans la zone rurale de Lubumbashi, les espèces les plus utilisées pour la production de charbon de bois

sont : *Brachystegia spiciformis* ; *Julbernardia paniculata* ; *Brachystegia boehmii* ; *Pericopsis angolensis* ; *Marquesia macroura* (Hick et al., 2013).

5.8.6. Abattage des arbres par les producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi

Pour abattre les arbres destinés à la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi, certains charbonniers ont défini des critères, notamment la taille de l'arbre et le refus d'abattre les arbres fruitiers. En revanche, plus de la moitié des enquêtés n'appliquaient aucun critère particulier et coupaient tout arbre se trouvant sur leur passage. En ce qui concerne les critères de choix des espèces, nos résultats contredisent ceux de Amugune (2020), selon lesquels 68 % des charbonniers abattant des arbres dont le diamètre variait entre 15 et 30 cm produisaient un charbon de bois de qualité. Cette divergence pourrait s'expliquer par l'absence d'expérimentation ou d'application de tels critères par nos enquêtés.

Les producteurs professionnels des villages autour de Lubumbashi abattent les arbres à une hauteur moyenne de 44,4 cm du sol. À titre de comparaison, Chidumayo (2019), travaillant dans le miombo humide et sec de la Zambie, rapporte une hauteur d'abattage de 31,1 cm. Cette dernière valeur se rapproche de la hauteur minimale observée dans notre étude, soit 28 cm, mais reste bien supérieure à celle recommandée à Madagascar, où les arbres doivent être abattus à ras du sol, entre 15 et 20 cm. Cette pratique favorise la régénération des souches et réduit les risques de blessures lors de l'abattage (Bouillet et al., 2019 ; Montagne et al., 2009).

Concernant le diamètre d'abattage, nos résultats révèlent une moyenne de 41,5 cm pour les arbres coupés par les charbonniers. Cette valeur est nettement supérieure à celle observée au Kenya, comprise entre 15 et 30 cm (Amugune, 2020), ce qui pourrait indiquer que dans la région de Lubumbashi, les arbres de plus grand diamètre produisent un charbon de meilleure qualité. Nos résultats rejoignent ceux rapportés en Angola, où les charbonniers se montrent sélectifs sur les espèces et abattent de préférence des arbres dont le diamètre se situe entre 10 et 90 cm (Chiteculo et al., 2018). Enfin, le diamètre d'abattage joue un rôle important dans la régénération du miombo. Les résultats obtenus en Zambie montrent que les arbres coupés avec un diamètre compris entre 15 et 35,5 cm au niveau de la souche offrent un fort potentiel de repousse (Handavu et al., 2011).

5.8.7. Construction des meules par les charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi

La construction de la meule par les charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi passe par plusieurs grandes étapes : l'abattage des arbres, le découpage du bois, le classement du bois, puis la couverture de la meule avec de la terre. La durée de réalisation varie selon que le travail est effectué par le charbonnier seul ou avec l'aide d'autres personnes. Les étapes de construction observées dans notre étude sont similaires à celles des producteurs de charbon de bois de la province de Bié, en Angola, qui procèdent également par l'abattage ou la coupe des arbres, suivi de l'empilement des grumes et de la couverture avec de la terre (Chiteculo et al., 2018).

C'est aussi ce que décrivent les résultats de Nge (2021) concernant les environs de Lubumbashi, où l'abattage, le découpage du bois et le montage du four de carbonisation précèdent l'allumage de la meule.

En ce qui concerne le temps nécessaire à la construction de la meule, nos résultats montrent qu'elle peut être réalisée en 27 jours, en supposant un travail continu, sans interruption. Munkner et al. (2015) estiment que l'ensemble du processus de carbonisation prend en moyenne 54 jours, ce qui rejoint nos observations : la construction seule, en pratique, nécessite déjà plus de temps que celui présenté dans notre étude, si l'on inclut les arrêts et les imprévus.

5.8.8. Niveau de connaissance des charbonniers sur les techniques et rendements de carbonisation

La totalité de nos enquêtés a affirmé ne connaître que la technique des meules pour produire le charbon de bois. Selon ces producteurs, le rendement de carbonisation dépend de plusieurs facteurs, notamment : le suivi de la combustion, la saison de production, la couverture de la meule, la quantité de bois, le type de substrat, les espèces d'arbres utilisées, ainsi que le diamètre du bois. Certains de ces facteurs, mentionnés par les charbonniers, ont été identifiés comme déterminants de la quantité de charbon par Kasanda et al. (2024), en particulier : les espèces d'arbres, le type de substrat et la quantité de bois utilisée. D'autres facteurs peuvent également influencer la production de charbon de bois, parmi lesquels : les propriétés physicochimiques du bois, la température de carbonisation, le taux d'humidité, ainsi que la méthode de carbonisation utilisée (Pyshyev et al., 2021 ; Amugune, 2020 ; Alonso et al., 2017 ; Schure et al., 2019).

5.8.9. Caractéristiques des moyens de production utilisés par les charbonniers

Selon nos résultats, les producteurs de charbon de bois utilisaient des outils tels que la hache, la bêche, la houe, la machette, la fourche, et, pour une minorité d'entre eux, la tronçonneuse, afin d'abattre les arbres et de découper le bois. Le dernier achat de ces instruments remontait à une période allant de quelques mois à plus d'un an. La tronçonneuse et la fourche étaient les outils les plus coûteux, ce qui explique que les producteurs qui en possédaient n'en avaient qu'un seul, contrairement aux autres outils de production, souvent détenus en plusieurs exemplaires. Nos résultats corroborent ceux de Nge (2021), qui a identifié les mêmes types d'instruments, ce qui peut s'expliquer par le fait que son étude a également été menée dans les environs de Lubumbashi. Il souligne d'ailleurs que ces outils étaient essentiellement rudimentaires.

5.8.10. Implications pour une production durable de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi

Les charbonniers de la présente étude sont des professionnels, jeunes, mais possédant une longue expérience acquise grâce à leur ancienneté dans cette activité. Comme le montrent Trefon et al. (2010), autour de Lubumbashi, les charbonniers se

considèrent comme des hommes forts en raison du travail pénible que requiert la carbonisation, mais aussi parce que cette activité leur permet de subvenir aux besoins de leurs familles. Par ailleurs, leur ancienneté et leur expérience dans la production de charbon de bois sont des facteurs qui favorisent une forte pression sur les ressources forestières, car l'expérience leur permet de consacrer plus de temps à cette activité (Bekele et Kemal, 2023).

L'accès à la terre se fait principalement par achat, souvent sans implication directe de l'État. Ainsi, les charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi, lors de l'exploitation des ressources forestières, abattent de nombreuses espèces dominantes de la forêt claire, allant jusqu'à utiliser des arbres fruitiers pour la carbonisation. Cette situation montre que la production de charbon de bois compromet la fourniture d'autres services écosystémiques, notamment à cause de la disparition de certaines essences. Mpundu (2018) et Malaisse (1979) révèlent que la cueillette des fruits, notamment, constitue une activité économique importante et lucrative pour les habitants de ces villages.

La majorité des charbonniers n'appliquent aucun critère d'abattage lors de la production de charbon de bois, ce qui traduit soit une méconnaissance, soit une non-application des principes de production durable. Or, le Code forestier de la RDC exige une exploitation responsable et durable des ressources forestières. Une meilleure implication de l'État dans le suivi de l'exploitation, que ce soit lors de l'accès aux ressources ou de la carbonisation elle-même, permettrait de réduire la pression sur les forêts (Schure et al., 2013). Cela passe également par une gestion efficace de la coexistence entre le droit formel et le pouvoir coutumier (Mahamba, 2022 ; Vermeulen et al., 2011).

Les charbonniers de la zone exploitent de vastes superficies, et la vitesse de déforestation y est élevée. Cela confirme une fois de plus la forte pression que subit la forêt, marquée par la déforestation et la dégradation. Enfin, des renforcements de capacités en techniques de carbonisation améliorée sont nécessaires, car ils permettent de produire davantage de charbon à partir de la même quantité de bois (Schure et al., 2021 ; Montagne et al., 2009 ; Yakoubou et al., 2020).

5.9. Conclusion

L'a présente étude a permis d'analyser les modes d'accès aux ressources forestières par les charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi ainsi que leur exploitation. À la suite des enquêtes et de l'analyse des données auprès des charbonniers professionnels, les résultats ont montré que la totalité de nos enquêtés étaient des hommes, jeunes pour laplupart avec une ancienneté considérable dans l'activité. L'accès à la terre pour produire le charbon de bois se faisait de manière coutumière par achat. Les charbonniers de la zone exploitent de grandes superficies, avec un rythme de déboisement élevé. Plusieurs espèces sont utilisées notamment les *Julbernardia paniculata*, *Brachystegia spiciformis*, *Brachystegia microphylla* et *Pterocarpus angolensis*. Laplupart de charbonniers ne tiennent compte d'aucun critère lié à la hauteur, au diamètre ou au choix des espèces à couper. Ils utilisaient les principaux

moyens de production de production de charbon de bois bien qu'étant rudimentaires et la tronconneuse a été utilisée par une minorité d'entre eux. Ce constat confirme que les charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi exercent une pression accrue sur la forêt, en raison d'un mode de tenure foncière dominé par des propriétaires allochtones et de pratiques d'exploitation peu respectueuses de l'environnement. L'uniformité des pratiques dans l'ensemble des villages de la zone contribue à accélérer la déforestation, tout en éloignant progressivement le bassin de production des environs immédiats de la ville de Lubumbashi. Cette situation est aggravée par des méthodes d'exploitation irrationnelles et non durables.

Enfin, nous recommandons une amélioration de l'accès aux ressources forestières, avec une implication active de l'Etat. Celle-ci permettrait d'encadrer les exploitants et de promouvoir l'adoption de techniques améliorées de carbonisation, indispensables au maintien et à la régénération de la forêt. La vulgarisation des bonnes pratiques est essentielle, notamment en ce qui concerne la sélection des espèces, l'interdiction de l'abattage des arbres de faible diamètre et le respect d'une hauteur minimale de coupe, afin de favoriser la régénération naturelle. Enfin, la recherche scientifique doit être encouragée, afin de développer des techniques de carbonisation améliorées, en identifiant les rendements et en approfondissant la compréhension de leurs déterminants.

Chapitre 6

Quantification and determinants of carbonization yield in the Rural zone of Lubumbashi, DR Congo: Implications for sustainable charcoal production

6.1. Références bibliographiques

Nathan Kasanda Mukendi, Héritier Khoji Muteya, Dieu-donné N'tambwe Nghonda, Fabio Berti, Yannick Useni Sikuzani, Laurent Ngoy Ndjibu, Jean-Paul Katond Mbay, Jules Nkulu Mwine Fyama, Philippe Lebailly and Jan Bogaert. Quantification and determinants of carbonization yield in the rural zone of Lubumbashi, DR Congo: Implications for sustainable charcoal production. *Forests* 2024, 15, 554. <https://doi.org/10.3390/f15030554>

6.2. Contextualisation

Le chapitre précédent a porté sur les pratiques d'accès aux ressources forestières et d'exploitation de celles-ci, ce présent chapitre traite des pratiques de carbonisation, du rendement ainsi que des facteurs qui l'influence.

6.3. Abstract

Although charcoal production is a source of income, it is often associated with deforestation due to the felling of trees in rural areas. In this study, we quantified the yield of carbonization in the rural area of Lubumbashi, Democratic Republic of the Congo (DR Congo), and identified its determinants. By analyzing 20 kilns of professional producers in different villages, we found that these charcoal producers build large kilns, which contained an average of $46.9 \pm 21.5 \text{ m}^3$ of wood from 19 species of Miombo woodland trees, with a predominance of *Julbernardia paniculata* (Benth.) Troupin, alongside *Brachystegia microphylla* Harms and *B. spiciformis* Benth. The average carbonization yield was 10.2%, varying from village to village due to parameters such as kiln size, quantity of wood used, kiln coverage time, wind exposure, substrate type, and tree species. It was noted that the moisture content and dimensions of the wood did not significantly correlate with the quantity of charcoal harvested per kiln. Yield improvement should, therefore, take these parameters into account to enable charcoal producers to increase their income while adopting sustainable production practices.

Keywords: pyrolysis; deforestation; charcoal; Miombo woodland; environment

6.4. Introduction

Forests are crucially important to human well-being, as emphasized by Krieger (2001). They offer a multitude of essential products, from food resources to traditional medicine ingredients and building materials, thus making a significant contribution to our daily lives (Talukdar et al., 2021). In monetary terms, forests play a key role in the national economies of developing countries as sources of income through the timber industry and recreational areas (Derebe et Elamu, 2023; Miller et al., 2022). Beyond their economic impact, forests maintain the ecological balance by storing large quantities of atmospheric carbon in their vegetation and soils (Yadav et al., 2022). Their sociocultural role of protecting the flora and fauna makes the value of forests inestimable (Kokou et Sopkon, 2006), and so their protection represents a crucial challenge given the benefits they provide (Mpanzu et al., 2018).

Tropical and subtropical rainforests, in particular, which make up 43% of the world's forest cover, are under considerable pressure. Between 2005 and 2013, nearly 5.5 million hectares of these forests was lost annually to the expansion of cash crops, grazing, and even tree planting (Pendrill et al., 2019). Central Africa is home to the continent's largest forests—notably, the Congo Basin, the world's second largest tropical forest massif after Amazonia, and accounting for nearly 62% of the forest in the DR Congo, with a total surface area estimated at over 166 million hectares (Tchatchou et al., 2015). The population density near cities encourages the fragmentation of these forests by human activities, with the DR Congo, in particular, recording a deforestation rate of 0.4% between 2001 and 2019 (Eba'a et al., 2021).

The forest that characterizes the rural area of Lubumbashi is the Miombo (Malaisse, 2018), a woodland in southern Katanga (Malaisse, 1979). However, it faces cover losses due to agricultural activities, charcoal production, urban sprawl, and mining activities (Useni et al., 2023). Mining and charcoal production are emerging as the main drivers of deforestation in this region, and the increased demand for charcoal has led to an intensive exploitation of forest resources, accentuating the deforestation and contributing to the ecological degradation of the surrounding rural areas (Kabulu et al., 2018). Rapid urbanization has led to an increase in energy consumption, mainly fueled by the widespread use of charcoal for cooking and heating, creating direct pressure on local forests (Péroches, 2021). Charcoal producers in the rural areas adjacent to the city, depending on charcoal sales for their economic needs, are thus trapped in a vicious circle, where urban development intensifies the pressure on forest resources (Trefon et al., 2010).

Although the charcoal industry in Lubumbashi generates an estimated added value of USD 50 million, only 59% of this value is allocated to the charcoal producers (Péroches, 2021). In addition, the traditional kiln method used is rudimentary and results in a low carbonization yield—often less than 10% (Rasoazanamanana, 2009). In the DR Congo, this yield varies from region to region, estimated at 28.1% in Plateau Batéké and 12.8% in Yangambi (Schure et al., 2019), with an estimate of around $\pm 10\%$ in Lubumbashi (Nge, 2021). Control of the carbonization process and other factors, such as wood diameter, moisture content, air supply, and carbonization temperature, are essential for improving this yield (Trégourès, 2015).

The moisture content of the wood influences the carbonization time, the quality of the charcoal produced, and the energy efficiency of the production process (García-Quezada et al., 2023). Controlling the carbonization process is crucial to increasing the charcoal yield and quality (Rodrigues et Braghini, 2019). It is also imperative to reduce heterogeneity inside the kiln by controlling the carbonization temperature to increase production (Oliveira et al., 2020). Maintaining a consistent temperature level (above 290 °C) inside the kiln is crucial to achieving satisfactory yields. However, excessive increases in temperature can lead to decreased yields (Orabi et al., 2020). The chemical composition (cellulose, hemicelluloses, lignin, extracts, and ash content) of the wood used plays a significant role in the energy potential of the charcoal, particularly the influence of the lignin content on its calorific value (Kamperidou et al., 2021).

Quantifying the carbonization yield involves evaluating the conversion of wood into charcoal, which is expressed as a percentage of the initial weight of the carbonized wood (Schenkel et al., 1997; Mundhenk et al., 2010). Various methods have been used for this assessment, each providing specific data on the carbonization process. These approaches are closely affected by the moisture content (Schenkel et al., 1997) and include directly weighing the wood before and after carbonization, taking measurements of the volume of the charcoal kiln, chemically analyzing the wood samples before and after carbonization to determine the yield by assessing changes in the chemical composition, and measuring the gases produced during carbonization, such as carbon dioxide (CO₂) and carbon monoxide (CO) (Girard, 2002). In situ monitoring of the kilns is also of crucial importance, enabling the identification of inefficiencies and sources of losses, and facilitating real-time adjustments to improve carbonization yield. This approach contributes to optimizing the process, reducing raw material losses, and enhancing the sustainability of charcoal production (Mbuangi et al., 2021).

The aim of this study was to assess the carbonization activity in the rural area of Lubumbashi, DR Congo. The objectives were to quantify the yield of the charcoal production and identify the determinants influencing this process and their implications for sustainable charcoal production. We postulated that the carbonization yield was influenced by various factors, such as kiln size, wood dimensions, and moisture content, the type of soil on which the kiln was built, the orientation of the kiln in relation to the prevailing wind, and the tree species used (Trégourès et al., 2015; Mencarelli et al., 2023; Issifou et al., 2020).

6.5. Materials and methods

6.5.1. Study area

This study was carried out in the rural area of Lubumbashi in the south-east of the DR Congo (as illustrated in Figure 6-1). The region has a CW climate type, based on the Köppen classification (Malaisse et al., 1986), characterized by high humidity, with an average annual precipitation of 1230 mm (Dikumbwa et al., 2020; Malaisse, 2011). The average temperature is 20 °C, with the cooler months being in June and July and the warmer months in October and November (Dikumbwa et al., 2020; Bruneau et Numbi, 2011). The area is situated on latosols, which can be divided into red earth, red-ochre earth, and yellow earth based on their iron oxide content (Malaisse, 1979). The major environmental challenges perceived by the local communities include deforestation and loss of soil fertility (N'tambwe et al., 2023). In addition to charcoal production, the Miombo forest is essential to the local population, who depend on its resources for food, subsistence agriculture, fishing, and caterpillar, mushroom, and honey harvesting (Malaisse, 1997).

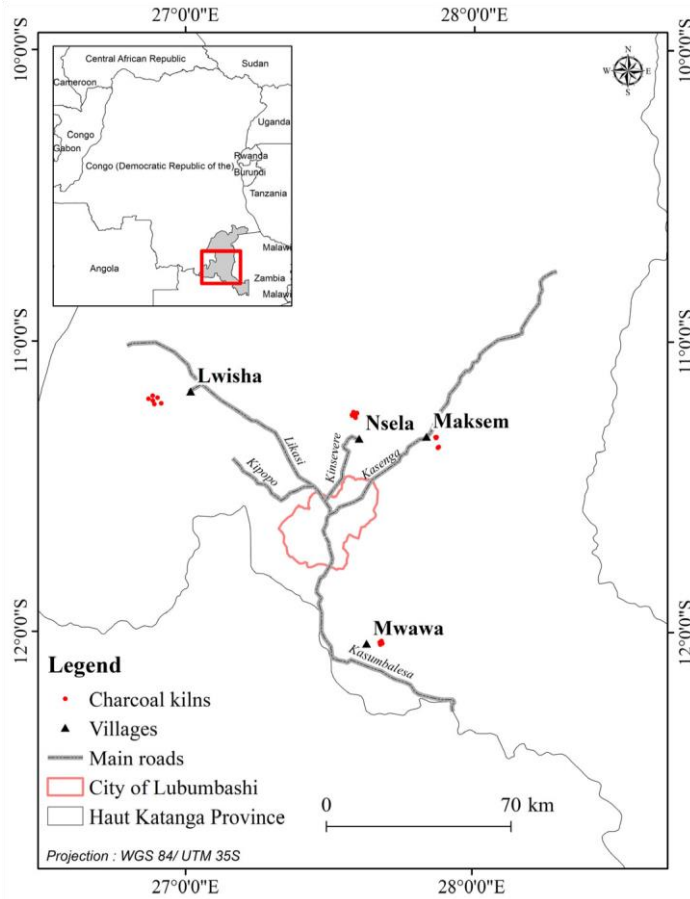


Figure 6-1 : Location of the city of Lubumbashi in the DR Congo and the surrounding area. Where charcoal is produced (dark triangles—villages; red dots—kilns).

6.5.2. Village selection and sampling

The four villages selected for this study—Luisha, Maksem, Sela, and Mwawa—are located within a radius of 80 km around the city of Lubumbashi. Among the 15 villages studied during the exploratory surveys conducted from 7 July to 7 August 2020, these four villages were selected due to their significant charcoal production, evidenced by the abundant presence of bags of charcoal and the frequent activity of transporters and vendors. Their respective geographical positions to the north-east, north-west, and south of Lubumbashi also motivated this selection, ensuring a comprehensive representation of the area.

In this study, we monitored 20 kilns used by professional charcoal producers, resulting from the 258 households in the four villages. Therefore, these professional charcoal producers were distinguished by their substantial production of bags of charcoal per kiln, with a minimum of 40 bags, compared with reports from previous studies (Trefon et al., 2010; Münkner et al., 2015). The charcoal producers were

continually active, being engaged in charcoal production throughout the entire year. The size of our sample was determined using the Bernoulli formula (Muteba, 2014; Sabuhungu, 2016), as described in Equation (1).

$$n = \frac{1.64^2 \times N}{1.64^2 + I^2 \times N - 1} \quad (1)$$

where n = total number of households to be surveyed; N = total number of households in the selected villages; 1.64 = critical coefficient at a 90% confidence level; and I = acceptable margin of error set at 10%.

6.5.3. Data collection

The data collection took place from 4 January to 28 September 2022, with a carbonization monitoring sheet used to track the 20 kilns built by the participants, which were distributed as follows: six in Luisha, five in Maksem, four in Mwawa, and five in Sela.

In the chosen villages, the wood used was mainly *Brachystegia microphylla*, *B. spiciformis*, and *Julbernardia paniculata*, which mostly belong to the Fabaceae family (Nge, 2021; Chidumayo 2019). The wood carbonization process began with preparation of the wood, which involved cutting it into appropriately sized pieces. Then, the prepared wood was loaded into the kiln or carbonization chamber, and the kiln was covered with soil and grass packed tightly enough to ensure controlled conditions. The wood was gradually heated using fire to high temperatures, ranging up to more than 450 °C. Finally, the kiln was opened to allow for the collection of the produced charcoal (Figure 6-2).



Figure 6-2 : Illustration showing the major stages of carbonization and data collection during monitoring of the kilns in the rural area of Lubumbashi, DR Congo. **(A)** Arranging the wood after tree felling. **(B)** Covering the pile with soil. **(C)** Harvesting the charcoal after carbonization. **(D)** Conditioning the harvested charcoal.

Information on the carbonization practices was collected at each stage, from the moment of tree felling to the harvesting of the charcoal. Appointments with the charcoal producers were scheduled based on different stages in the process, taking into account the variability of the village locations relative to the city of Lubumbashi.

Each kiln was described in detail. The wood moisture content was measured using a moisture meter (Yioyag model, China), the wood diameter was recorded with a tape measure (made in China), and the dimensions of the kilns (length, width, and height) were taken to enable the estimation of the volume of the wood in cubic meters. The categorization of the wood into small, medium, and large diameters was carried out through observation.

For each tree species used, the vernacular name was gathered from the charcoal producers, and the scientific name was identified later using the reports by Malaisse (1997); OSFAC (2019); Meerts et Hasson (2016). The number of days required for the charcoal producer to cover their kiln, the quality of the insulation (i.e., the layer of earth covering the stacked wood), the orientation of the kiln in relation to the prevailing wind, and the substrate on which the kiln was constructed were also recorded to allow us to assess the variables influencing the carbonization yield efficiency. These were critical elements in the carbonization process because an appropriate covering time affects the efficiency of the carbonization and the quality of the charcoal. The orientation of the charcoal kiln influences air circulation, while the nature of the substrate can affect stability and interaction with the environment, also playing a crucial role in the carbonization yield.

6.5.4. *Data analysis*

The yields from the kilns were calculated in order to assess the level of efficiency of the carbonization practices among the charcoal producers using the formula proposed by Schenkel et al (1997), which involved calculating the ratio between the mass of the charcoal produced and the mass of the wood used to produce the charcoal, expressed as a percentage in Equation (2).

$$MY_a = \frac{M_{ca}}{M_{aw}} 100 \quad (2)$$

where MY_a = mass yield of carbonization of anhydrous wood (%); M_{ca} = mass of anhydrous charcoal (kg); and M_{aw} = mass of anhydrous wood (kg).

Starting with Equation (2), and recognizing that it is challenging to find wood with anhydrous mass in the field, we rewrote the equation as follows, taking into account the moisture content of the wood used.

$$C_y = \frac{M_c}{M_w} 100 \quad (3)$$

C_y = carbonization yield (%); M_c = mass of charcoal; and M_w = mass of wood used with its moisture content (kg).

In addition to the yield calculation, a characterization of the yields was carried out by studying the properties of the kilns, following the approach outlined by Rousson (2013). Descriptive statistics were employed to comprehensively produce both qualitative and quantitative data. The four villages, sharing the common characteristic of being high-intensity charcoal producers, were subjected to comparisons and were considered repetitions in order to generalize the results for the study area. To determine whether the species composition of the trees in the kilns significantly varied among the villages, a chi-squared test was applied. An analysis of variance was used to assess differences in the amount of wood used per kiln among the villages, providing insights into potential variations in wood utilization and the quantity of harvested charcoal (Rousson,2013; Alemayehu). To identify the factors influencing the carbonization yield, a first step involved the use of a correlation matrix, focusing on quantitative variables, such as kiln size, wood diameter, wood moisture content, as well as the time taken for carbonization to occur and the amount of time the kiln was covered for (Kouicem, 2020; Nyarko et al., 2021; Ramamonjisoa et al., 2008; Seboka, 2008). Next, for the qualitative variables influencing carbonization yield, a multiple correspondence analysis (MCA) was performed, considering the tree species used, the carbonization season, the substrate on which the kiln was built (soil with or without concretions), and the orientation relative to the wind (Seboka,2008). The statistical analyses were conducted using SPSS version 21 software, with the significance threshold set at $p < 0.05$.

6.6. Results

6.6.1. *Kilns dimensions, Diameter, and wood moisture content*

The kilns had an average length of 7.2 ± 2.5 m, width of 3.6 ± 0.7 m, and height of 1.8 ± 0.2 m. Regarding the wood in the kilns, the overall means for all studied types indicated a diameter of 72.2 ± 7.0 cm and a moisture content of $26.3\% \pm 12.6\%$ (Table 6.1).

Tableau 6-1: Kiln dimensions, wood diameter, and moisture content in the kilns

VILLAGE	Length (m)	Width (m)	Height (m)	Diameter (cm)	Moisture content (%)
	Mean ± St. Dev.	Mean ± St. Dev.	Mean ± St. Dev.	Mean± St. Dev.	Mean ± St. Dev.
Luisha (n=6)	7.8±1.9	3.8±0.7	1.7±0.1	74.9±5.5	26.2±10.8
Maksem (n=5)	4.9±1.3	3.0±0.6	1.8±0.3	74.2±6.8	18.5± 9.2
Mwawa (n=4)	8.8±4.1	3.8±0.5	1.9±0.1	68.4±7.6	40.1±11.2
Sela (n=5)	7.4±1.2	3.9±0.6	1.7±0.3	69.8±8.4	23.2±12.4
Mean ± St. Dev.	7.2±2.5	3.6±0.7	1.8±0.2	72.2±7.0	26.3±12.6

n—sample size; St. Dev.—standard deviation.

6.6.2. *Wood species used in charcoal production*

A total of 19 charcoal-producing tree species were recorded. The chi-squared test did not reveal any significant differences among the species used ($p > 0.05$), although three species were notable. These were *Julbernardia paniculata*, which was found in 15 of the 20 kilns examined, and *Brachystegia microphylla* and *B. spiciformis*, identified in nine of the kilns. Furthermore, fruit trees from the Miombo woodland, such as *Uapaca nitida* (observed in three kilns), *Anisophyllea boehmii* (present in one kiln), and *Parinari curatellifolia* (identified in five kilns), were also used in charcoal production (Table 6-2).

Production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi

Tableau 6-2: Tree species used by professional charcoal producers in the rural area of Lubumbashi

N°	Vernacular name	Scientific name and family	Villages				Total n
			Luisha n (%)	Maksem n (%)	Mwawa n(%)	Sela n(%)	
1	Mutondo	<i>Julbernardia paniculata</i> (Benth.) Troupin (Fabaceae)	6(25.8)	3(14)	4(57.5)	2(10.8)	15
2	Kaputu	<i>Brachystegia spiciformis</i> Benth (Fabaceae)	3(29.2)	2(10)	-	(25)	9
3	Musamba	<i>Brachystegia microphylla</i> Harms (Fabaceae)	-	1(10)	4(30)	(19)	9
4	Kakula	<i>Pterocarpus tinctorius</i> Welw (Fabaceae)	4(1.3)	2(5)	-	(3.6)	8
5	Mutobo	<i>Isoberlinia angolensis</i> (Welw. ex Benth.)(Caesalpinaceae)	4(5.4)	2(7)	-	-	6
6	Museshi	<i>Marquesia macroura</i> Gilg (Dipterocarpaceae)	4(17.1)	1(8)	-	(11)	6
7	Mubanga	<i>Pterocarpus angolensis</i> DC (Fabaceae)	2(5.8)	3(5.8)	-	(16)	8
8	Mupundu*	<i>Parinari curatellifolia</i> Planch. ex Benth. (Chrysobalanaceae)	-	2(12)	2(6.3)	1(1)	5
9	Masuku*	<i>Uapaca nitida</i> f. sokolobe P.A. Duvign. (Euphorbiaceae)	-	1(2)	-	(10)	3
10	Ndale	<i>Bobgunnia madagascariensis</i> (Desv.) (Fabaceae)	1(1.3)	1(2)	-	-	2
11	Kayimbi	<i>Erythrophleum africanum</i> (Welw. ex Benth.) Harms (Fabaceae)	-	-	1(3.7)	(2)	2
12	Fungo*	<i>Anisophyllea boehmii</i> Engl. (Fabaceae)	1(1.3)	-	-	-	1
13	Kasabwe	<i>Milletia biquaertii</i> Wight & Arn. (Fabaceae)	1(0.8)	-	-	-	1
14	Sandwé	<i>Julbernardia globiflora</i> (Benth.) Troupin. (Fabaceae)	-	2(14)	-	-	2
15	Mulama	<i>Combretum zeyheri</i> (Combretaceae)	-	1(2)	-	-	1
16	Kipunga Ngombé	<i>Acacia amythethophylla</i> (Fabaceae)	-	1(8)	-	-	1
17	Munyangwé	<i>Ochna schweinfurthiana</i> F.Hoffm (Ochnaceae)	-	-	1(2.5)	-	1
18	Kimpampa	<i>Monotes katangensis</i> De Wild. (Dipterocarpaceae)	-	-	-	(0.6)	1
19	Mwenge	<i>Diplorhynchus condylocarpon</i> Pichon.(Apocynaceae) (rg.)	-	-	-	(1)	1

P= 0.066

n—number of kilns; %—proportion in the kiln; and *—fruit tree.

6.6.3. Carbonization yield

We found that the kilns contained an average of $46.9 \pm 21.5 \text{ m}^3$ of wood, equivalent to $33,808.5 \pm 15,518.8 \text{ kg}$. After the carbonization process, the average quantity of charcoal harvested per kiln was $3464.6 \pm 1775.1 \text{ kg}$, giving a carbonization yield of 10.2%. Results of a comparative analysis of the quantities of charcoal harvested per kiln, differentiated by village, revealed significant disparities ($p < 0.05$). Specifically, the yields were 13.2% in Sela, 11.3% in Luisha, 8.6% in Mwawa, and 6.2% in Maksem (Table 6-3).

Tableau 6-3: Quantity of wood composing the kilns and carbonization yields.

VILLAGE	Wood Qty (kg)	Kiln volume (m^3)	Charcoal (kg)	Qty Yield (%)
	Mean \pm St. Dev.	Mean \pm St. Dev.	Mean \pm St. Dev.	
Luisha (n=6)	36250.8 \pm 12705.2	50.3 \pm 17.6	4090.7 \pm 1117.7	11.3
Maksem (n=5)	20616.4 \pm 10694	28.6 \pm 14.8	1276.4 \pm 997.8	6.2
Mwawa (n=4)	46514.3 \pm 23532.3	64.6 \pm 3.7	4010.0 \pm 1641.8	8.6
Sela (n=5)	33905.4 \pm 4955.8	47.1 \pm 6.9	4465.0 \pm 1505.6	13.2
Total (n=20)	33808.5 \pm 15518.8	46.9 \pm 21.5	3464.6 \pm 1775.1	10.2
P Value	0.078	0.078	0.005*	

n—sample size; Qty—quantity; and St. Dev.—standard deviation

6.6.4. Quantitatives variables influencing kiln yields

An examination of the correlations (Table 4) highlighted that larger kilns generally produced higher yields compared with smaller ones ($R^2 = 0.652$). Consequently, the length ($R^2 = 0.671$) and width ($R^2 = 0.670$) of these kilns exhibited a positive correlation with the quantity of harvested charcoal. A significant relationship was also observed between the quantity of charcoal harvested per kiln and the time taken by the charcoal producer to cover the wood with earth during the construction of the kiln ($R^2 = 0.604$). However, the diameter and moisture content of the wood showed no correlation with the quantity of harvested charcoal (Table 6-4).

Production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi

Tableau 6-4: Correlation matrix of quantitative variables and the quantity of charcoal produced per Kiln.

Lk	Wk	Hk	Vk	Wmc	Dw	Ndw	Ndf	Ndh	Qty of wood kg	Qty of charcoal harvested	
Lk	1	0.368	0,109	0.913**	0.267	0.010	0.561*	0.348	0.428	0.913**	0.671**
Wk	0.368	1	0,050	0.597**	0.511*	-0.087	0.220	0.263	0.335	0.597**	0.670**
Hk	0.109	0.050	1	0.334	0.049	-0.114	-0.135	-0.261	-0.135	0.334	-0.152
Vk	0.913**	0.597**	0,334	1	0.441	-0.060	0.493*	0.300	0.366	1.000**	0.652**
Wmc	0.267	0.511*	0,049	0.441	1	-0.364	0.196	0.059	0.161	0.441	0.226
Dw	0.010	-0.087	-0,114	-0.060	-0.364	1	0.215	0.209	-0.091	-0.060	0.231
Ndw	0.561*	0.220	-0,135	0.493*	0.196	0.215	1	0.136	0.022	0.493*	0.604**
Ndf	0.348	0.263	-0,261	0.300	0.059	0.209	0.136	1	0.289	0.300	0.303
Ndh	0.428	0.335	-0,135	0.366	0.161	-0.091	0.022	0.289	1	0.366	0.461*
Qty of wood kg	0.913**	0.597**	0,334	1.000**	0.441	-0.060	0.493*	0.300	0.366	1	0.652**
Qty of charoal harvested	0.671**	0.670**	-0,152	0.652**	0.226	0.231	0.604**	0.303	0.461*	0.652**	1

(Kl—kiln length; Kw—kiln width; Kh—kiln height; Kv—kiln volume; Wmc—wood moisture content; Wd—wood diameter; Ndw—number of days the wood was covered with earth; Ndf—number of days between fire setting and the beginning of the charcoal harvest; Ndh—number of days of harvesting; Qty—quantity). ** Correlation significant at the 0.01 level (two-tailed); * Correlation significant at the 0.05 level (two-tailed).

6.6.5. *Qualitatives variables influencing kiln yields*

The MCA revealed the relationships between the quantity of charcoal produced per kiln and the qualitative variables that may have influenced the yield. There was a strong correlation between the quantity of charcoal harvested per kiln and the tree species used (93.9%). There was also a significant dependence on the type of substrate on which the kiln was built (80.3%). The quantities of charcoal harvested from the kilns constructed on soils with concretions were lower than from kilns built on soils without concretions. Finally, the quantity of charcoal from a kiln was also influenced by the orientation of the kiln in relation to the prevailing wind, with a correlation of 67.8%. The quantity of charcoal harvested from those kilns oriented in the direction of the wind was higher than from kilns oriented against the wind (Figure 6.3).

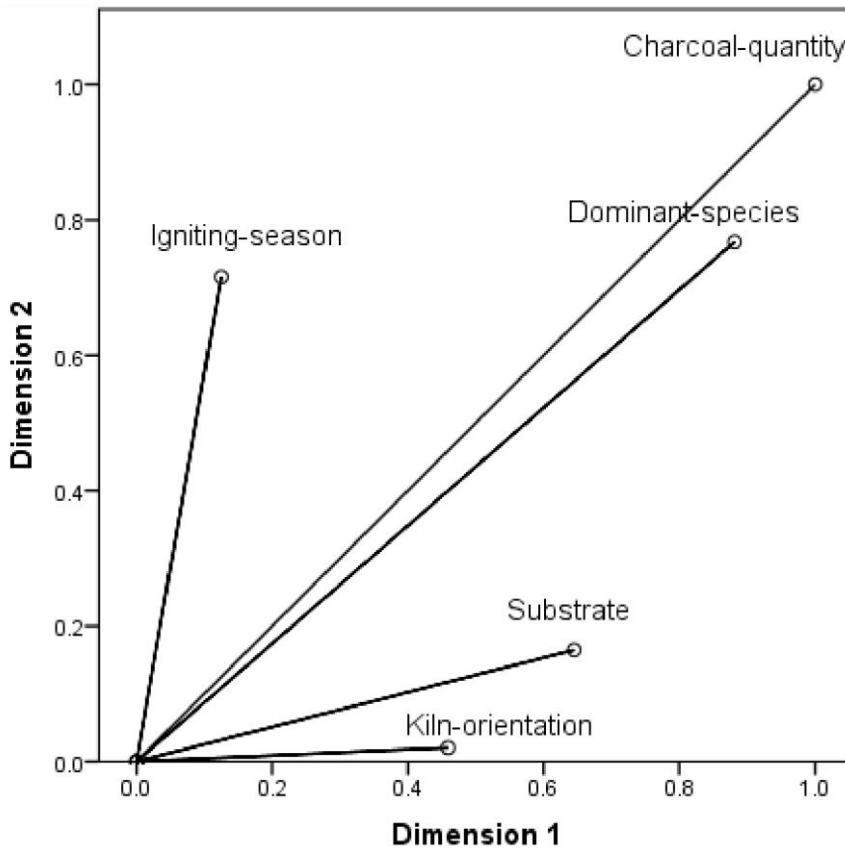


Figure 6-3 : Correlations between the quantities of charcoal produced and the carbonization season, kiln orientation, substrate, and tree species used.

6.7. Discussion

6.7.1. Method used

The results of the present study emerged from a combined approach using multiple methods. The choice of kiln monitoring over directly surveying charcoal producers was motivated by the fact that our observations allowed for direct and meticulous data collection at the kiln level, providing a more objective and reliable understanding of the carbonization process. The number of kilns monitored allowed for generalization of the results to the entire study area, this approach being widely employed in research on the characterization of carbonization yields (Schure et al., 2019; . Mbuangi et al., 2021; Issifou et al., 2020).

Additionally, in order to select the kilns to be included in this study, a preliminary sampling of the number of households to be surveyed in the area was conducted using the Bernoulli formula. This approach is commonly employed to determine the sample size from a previously known population (Muteba, 2014; Sabuhungu, 2026).

The number of kilns monitored in this study was equivalent to that used Schure et al (2019) in a comparison between two different regions of the DR Congo. This was deemed applicable for the same area, albeit the villages differed. However, it is important to note that this method had some limitations related to the challenging conditions of regular accessibility to the collection sites, in addition to relying on the availability of the kiln owners for data collection.

Regarding the methodological limitations, the high variability trends, with a standard deviation exceeding $\pm 50\%$, were justifiable by several factors. Firstly, charcoal production is an activity that is subject to numerous variables, including the quality of the wood used, the environmental conditions during carbonization, the size and design of the carbonization kilns, as well as the skills and practices of the producers (Tazebew et al., 2023). These factors can lead to significant differences in charcoal yield among the different production units. Moreover, the diversity of the tree species used for carbonization can also contribute to variability in the results. Each wood species has unique characteristics in terms of density, moisture content, chemical composition, and carbonization potential, which can significantly influence charcoal yield. Additionally, local environmental conditions, such as air humidity, temperature, and wind direction, can also impact the carbonization process and thus the yields obtained (Trégourès, 2015). Finally, the skills and individual practices of the charcoal producers can considerably vary from one unit to another, and this can also contribute to variability in the results (Bisiaux et al., 2009).

6.7.2. Diameter, Wood Moisture Content, and Kiln Dimensions

We found that the kilns contained approximately 46.9 m³ of wood, equivalent to 33,808.5 kg. This substantial dimension distinguishes them from those constructed in other regions, including the DR Congo, such as the Batéké Plateau (15,837 kg) and Yangambi (8444 kg) (Schure et al., 2019), and in Mampu (~24,000 kg) (Bisiaux et

al.,2009). This disparity can be attributed, first, to the richness in tree species of the accessible miombo forest and, second, to an inefficient carbonization technique requiring an increased amount of wood for substantial charcoal production. It is noteworthy that controlling carbonization becomes increasingly challenging as its scale increases (García-Quezada et al., 2022). This observation aligns with the conclusions of Falcão (2008), in their comparative study on carbonization in Mozambique, Malawi, Tanzania, and Zambia, in which they emphasize that the design of traditional kilns was similar, but their size varied.

Our results highlight the diversity of the studied kiln diameters, with an average of 72.2 cm. This variability is explained by the use of trunks and branches of different sizes, in accordance with the common practices of the charcoal producers. Additionally, according to Kouami et al (2009), the dimensions of the wood used for carbonization can vary depending on the vegetation available in the charcoal-producing area, this generally being larger in forests than in savannas. Our findings align with the proposal of Schure et al (2021), who were in favor of using wood of various diameters during improved carbonization, with the aim of achieving optimal combustion and thus improved yields.

The moisture content of the wood used was 26.3%. This is explained by the common practice of not drying the wood after harvesting it. According to Temmerman et al (2019), the use of wood with a high moisture content has negative implications for pyrolysis and increases greenhouse gas emissions. This aligns with the findings of Canal et al (2020) from Madagascar, where the use of non-dried wood for carbonization led to a moisture content of 34%. The wood moisture content influences the time taken for the carbonization to occur). Akossou et al (2013) et Kissanga et al (2023), as demonstrated by the results of Ramamonjisoa et al (2008), who showed that wood moisture content below 30% can decrease the carbonization time in a kiln.

6.7.3. *Tree species used for charcoal production*

There was a notable diversity of tree species used, with a particularly high frequency of *Julbernardia paniculata*, *Brachystegia microphylla*, and *B. spiciformis*. This is because these three species are among the most predominant genera in the Miombo ecosystem (Hick et al., 2013). Being members of the Fabaceae family, these species support the findings of Nge (2021, who noted that they were among the most preferred by charcoal producers in the Lubumbashi region. This is consistent with the Miombo in Angola, where most species used in carbonization belong to the Fabaceae (Kissanga et al., 2023). The fruit tree species used in the rural area of Lubumbashi have been identified as being representative of the Miombo (Hick et al., 2013).

6.7.4. *Kiln yield*

The carbonization yield in the rural area of Lubumbashi is assessed as being 10.2%, demonstrating a relatively low efficiency. This performance aligns with the typical yields of traditional kilns, as indicated by Binzangi et al (1994), who reported that yields from tropical wood kilns rarely exceed 15%–20%. Similar findings have been observed in the villages around Lubumbashi, with a yield of 10%, according to the

study by (Nge, 2021). By contrast, charcoal producers in the Plateau Batéké in the DR Congo, utilizing improved carbonization techniques, achieved yields around 28.1% (Schure et al., 2019).

The disparity in yields among the villages highlights the complexity of the factors influencing carbonization, as found in previous studies (Schure et al., 2021; Temmerman et al., 2019; Montagne et al., 2009). Research conducted on the outskirts of Boma in the DR Congo also identified significant variability in the number of bags of charcoal harvested, with substantial differences in kiln yields, even within the same environment (Mbuangi et al., 2021).

The kiln dimensions, the quantity of wood used, the duration of earth coverage, the tree species, the kiln orientation with respect to the wind, and the substrate significantly influenced the quantity of charcoal harvested. The size of the kiln, especially its length and width, played a crucial role in the carbonization yield, confirming the results of Luwaya et al (2014) and even those of Mekuria et al (2012). The wood density used impacted not only the quantity but also the quality of the charcoal, as illustrated by the different densities of *Acacia auriculiformis* and *A. mangium* in the DR Congo (Loupe, 2011) and *A. tortilis* and *A. mellifera* in Kenya (Fraye, 2007).

Extended covering duration of the kiln led to an increased charcoal harvest, emphasizing the importance of careful insulation, which must ensure proper sealing of the kiln to prevent heat loss (Girard, 1997). The tree species used, the orientation of the kiln with respect to the prevailing wind, and the type of substrate also influence kiln yields. Different tree species produce charcoals with distinct physicochemical compositions, and aligning the kiln with the wind promotes combustion. Substrates with concretions can generate high temperatures, although with temperatures above 400 °C, the yield decreases, prompting the producers to avoid rocky areas (Montagne, 2009; Ganhoun et al., 2020).

6.7.5. Implications for carbonization of forest resources

The socioecological implications of these findings are manifold. Firstly, the construction of large kilns, requiring substantial amounts of wood from various Miombo tree species, raises concerns regarding environmental sustainability (Kabulu et al., 2018; Ganhoun et al., 2020; Schure et al., 2010). There has been notable pressure on local forest resources, as the carbonization process demands a significant quantity of wood (Trefon et al., 2010). The low average carbonization yield of 10.2% indicates a relatively low efficiency of the process, meaning that only a fraction of the wood used is converted into charcoal (Schenkel et al., 1997; Girard, 2002). This may have economic implications for charcoal producers, as a substantial amount of raw material is needed to achieve significant yields (Trefon et al., 2010; Mbuangi et al., 2021). In addition, the variability in yield among villages highlights the influence of local practices and environmental conditions on the carbonization process (Trégourès, 2015).

Parameters such as kiln size, quantity of wood used, covered time, orientation to the wind, substrate type, and tree species play a crucial role in carbonization yield

(Rasoazanamanana, 2019; Mundhenk et al., 2010; Girard, 2002). This underscores the need to adopt more sustainable and efficient practices, taking into account these factors to enhance both process efficiency and forest resource conservation (Raoliarivelo et al., 2010). Noting the absence of a significant correlation between moisture content and wood dimensions with the quantity of harvested charcoal, it is important to explore other variables in order to optimize carbonization practices to minimize losses and maximize yields, while promoting the conservation of local forest ecosystems.

Thus, to enhance the efficiency of carbonization, it is essential to implement targeted strategies that address key factors influencing the wood-to-charcoal conversion process (Shuku, 2011), including tailoring the carbonization parameters by tree species, which promotes a more efficient use of wood resources by aligning the species characteristics with market demands and optimizing the charcoal yield and quality; improving the charcoal quality by prioritizing large wood pieces based on diameter; selecting kilns that promote uniform heating and efficient air circulation, which is essential for consistent carbonization results; regularly maintaining and monitoring kiln performance, allowing the prompt identification and resolution of operational issues; and providing training, supported by collaboration with local extension services and research institutions, which would facilitate knowledge transfer and the effective implementation of recommended strategies (Mundhenk et al., 2010; Mfomo et al., 2020).

Our study provides a comprehensive assessment of current carbonization activities, including quantification of charcoal production volumes and rates. By accurately measuring these parameters, we have provided a foundational understanding of the extent of charcoal production in the rural area of Lubumbashi. This quantification serves as a crucial reference point for assessing the economic, social, and environmental implications of charcoal production in the region (Pyshyev et al., 2021). Additionally, we identified and analyzed the determinants of charcoal yield, shedding light on the factors influencing the efficiency of the wood-to-charcoal conversion process. Through empirical investigation and statistical analyses, variables, such as wood species, moisture content, type of kiln, and operational practices, were examined (Rodrigues et al., 2019; Oliveira et al., 2020). By elucidating the relationships between these factors and charcoal yield, we offer tangible insights into enhancing the efficiency and sustainability of charcoal production methods in the rural area of Lubumbashi. Ultimately, the findings of this study contribute to the broader discourse on renewable energy and natural resource management (Tassie et al., 2021; Agunloye et al., 2020). Charcoal plays a significant role as a renewable energy source in many developing countries, including the DR Congo. Therefore, understanding the determinants of charcoal production efficiency is essential for promoting sustainable energy practices and mitigating the environmental impact of deforestation and forest degradation associated with charcoal production (Raoliarivelo et al., 2010; Njenga et al., 2023).

6.8. Conclusion

In this study, we aimed to quantify the carbonization yield in the rural area of Lubumbashi. Monitoring 20 kilns owned by professional charcoal producers confirmed our hypothesis. The kilns contained an average of 46.9 m³ of wood, and the main species of charcoal were *Julbernardia paniculata*, *Brachystegia microphylla*, and *B. spiciformis*. The average carbonization yield was 10.2%, indicating inefficiency in current practices. Variations in yield among the villages (Luisha 11.3%, Maksem 6.2%, Mwawa 8.6%, and Sela 13.2%) attested to the influence of various parameters and the individual expertise of the charcoal producers, regardless of the similarity of the techniques employed. The factors identified as influencing yield included kiln size, amount of wood used, covered time, tree species, kiln orientation to the prevailing wind, and construction substrate. Conversely, wood dimensions and moisture content demonstrated no significant correlation with the quantity of charcoal harvested per kiln. To address this situation, it is recommended that the skills of the charcoal producers be enhanced by adopting improved carbonization techniques aimed at increasing their yields and income. Further in-depth research is needed on the factors we identified so that our understanding of carbonization in this specific region can be enhanced.

Finally, as the results are closely linked to the unique geographical situation and prevailing carbonization practices in the rural area of Lubumbashi in the DR Congo, caution should be exercised when attempting to extrapolate these conclusions to diverse geographical contexts or other carbonization configurations. It is imperative to consider distinct local factors that shape carbonization activities before applying this knowledge elsewhere with the aim of improving carbonization yield.

Chapitre 7

Marketing Strategies and Production Profitability of Charcoal in the Rural Zone of Lubumbashi, Democratic Republic of the Congo

7.1. Référence bibliographique

Kasanda Mukendi Nathan, Khoji Muteya Heritier, Esoma Okothomas Bienvenu, N'tambwe Ngonda Dieudonné, Tshomba Kalumbu John, Ngoy Ndjibu Laurent, Fabio Berti, Useni Sikuzani Yannick, Nkulu Mwine Fyama Jules, Philippe Lebailly, Jan Bogaert. Marketing Strategies and Production Profitability of Charcoal in the Rural Zone of Lubumbashi, Democratic Republic of the Congo. Sustainability, 2025, 1-22. <https://doi.org/10.3390/su17093915>

7.2. Contextualisation

Après avoir précédemment parlé des pratiques de carbonisation et des rendements de meules dans la zone rurale de Lubumbashi, il est important d'étudier la rentabilité économique associée aux différents rendements de carbonisation. Ce chapitre étudie les pratiques de commercialisation qui caractérisent les producteurs de charbon de bois, étudie la rentabilité à l'issue de la vente et les facteurs qui l'influencent.

7.3. Abstract

The low efficiency of carbonization techniques reduces the income of charcoal producers and exacerbates deforestation in the Miombo woodlands. This study examines marketing strategies and the profitability of charcoal production in the rural area of Lubumbashi. Activity monitoring, from production to sale, was conducted with 20 professional charcoal producers from the villages of Maksem, Sela, Luisha, and Mwawa. Economic and statistical analyses show that charcoal is mainly sold in the village (55%), in Lubumbashi (35%), and in the forest (10%). Overall, the activity is profitable: sales generate an average profit of CDF 462,218.78 (approximately USD 225.47), with a profit margin of 0.46 and a benefit–cost ratio of 0.86. The 57 kg packaging format is the most profitable, with an average profit of CDF 661,062.18 (USD 322.47), a profit margin of 0.66, and a benefit–cost ratio of 1.96. In contrast, the 29 kg bag results in losses: –CDF 24,009.60 (–USD 11.71), a profit margin of –0.20, and a benefit–cost ratio of –0.19. These findings indicate that profitability is influenced by the point of sale, packaging type, and season. Sales price, along with production and marketing costs, are the main economic determinants. Despite apparent profitability, the sustainability of this activity remains a concern. This study recommends improving production practices, structuring of charcoal producers through legally recognized associations, standardizing packaging, and implementing per-kilogram pricing in order to enhance profitability while reducing the pressure on forest resources.

Keywords: natural resources; deforestation; charcoal; profit; profitability; DR Congo.

7.4. Introduction

Forests are home to essential biodiversity that ensures the proper functioning of ecosystems (Bergès et al., 2002). They play a crucial role for both humanity and the ecological balance by serving as reservoirs of carbon and biodiversity, while also

providing vital resources, particularly fuelwood, which remains indispensable for many populations (Moomaw et al., 2020; Eba'a Atyi et al., 2021). In addition to fuelwood, these ecosystems provide non-timber forest products such as caterpillars, fruits, and mushrooms, which contribute to food security and household income (Fayama et al., 2022). Among these resources, charcoal is a widely used fuel in sub-Saharan Africa, where it represents the primary source of domestic energy Seidel (Seidel, 2008; Doggart and Meshack, 2007). Approximately 195 million people rely on it as their main energy source, and another 200 million use it as a secondary source (Rose et al., 2022).

In most cities of the Democratic Republic of the Congo (DR Congo), charcoal remains the primary source of wood-based energy. Its use is particularly widespread in Kisangani (Ongona, 2013), with especially high usage rates in other urban centers: 98% in Kinshasa and Lubumbashi (Gazull et al., 2020; Péroches et al., 2021), 99% in Goma, and 97% in Bukavu (Imani et al., 2021; Dubiez et al., 2021). However, charcoal production is characterized by low yields, mainly due to the continued reliance on traditional earth kilns (Schure et al., 2021). These kilns have carbonization yields of 10% in Lubumbashi (Nge, 2021; Kasanda et al., 2024), 12.8% in the Yangambi Biosphere Reserve, and 28.1% on the Batéké Plateau (Schure et al., 2019). Some improved techniques, such as those implemented by agroforestry producers in Mampu, can achieve carbonization efficiencies of approximately 20% (Peltier et al., 2010). Such a low carbonization efficiency significantly contributes to deforestation, even though the DR Congo is home to nearly 60% of the Congo Basin's forests (Moomaw et al., 2020; Tchatchou et al., 2015). The country's heavy dependence on charcoal thus constitutes a major obstacle to sustainable forest management. This issue is further aggravated by the lack of viable alternative energy sources, the practice of slash-and-burn agriculture, and the environmental impacts of small-scale logging operations (Kasekete et al., 2023; Barbiche et al., 2020).

Deforestation particularly affects the Miombo forest in the Lubumbashi region, due to human activities such as charcoal production (Useni et al., 2017; Djibu et al., 2018; Khoji et al., 2023). Urban supply is becoming increasingly difficult as forest cover declines. For example, the charcoal supply area for Lubumbashi lost more than half of its forested land between 1990 (77.90%) and 2022 (39.92%), with forests gradually being replaced by wooded savannas, grasslands, or agricultural land (Khoji et al., 2023). As a result, charcoal extraction is progressively shifting farther away from urban centers, leading to increased transport volumes and longer travel distances—an indicator of the extent of deforestation caused by this activity (Djibu et al., 2018).

Despite its negative environmental impacts, the charcoal sector remains an important economic driver, generating income at various levels of the value chain (Schure et al., 2019; Ihalainen et al., 2021). In Lubumbashi, the sector represents an estimated added value of USD 50 million per year, with 59% coming from production; wholesale and retail sales represent 17% and 16%, respectively (Péroches et al., 2021). For charcoal producers, this activity can cover up to 80% of household expenses (Mpundu, 2018). However, several constraints hinder the profitability of production, including heavy taxation, poor transportation infrastructure (Nge, 2021; Trefon et al.,

2010; Mama and Biaou, 2017), and high labor costs, which directly affect producers' incomes (Andaregie et al., 2020; Kamwilu et al., 2021).

Numerous studies have been conducted in Lubumbashi and its rural area on the charcoal supply chain. Most of them describe the actors involved—producers, transporters, vendors, and consumers—using value chain, supply chain, or socio-economic approaches (Nge, 2021; Trefon et al., 2010; Münkner et al., 2015). While some of these studies mention the profitability of charcoal production, they do not examine its underlying determinants, nor do they explore the relationship between profitability and the sustainability of the activity in the region.

To address this gap, the present study aims to shed light on local economic dynamics and to inform public policies that promote the sustainable management of this essential resource for both urban and rural households in Lubumbashi.

In efforts to improve charcoal producers' incomes, a better understanding of the interactions between economic parameters is essential for effective sector management. It is therefore crucial to analyze the factors that influence profitability, such as selling price, transportation costs, taxes, and labor compensation, in order to propose appropriate policies. This study is based on the hypothesis of economic rationality, which posits that producers make decisions aimed at maximizing profit based on available resources and the technical laws of production (Chia et al., 2020).

In this context, the present research was initiated to analyze marketing strategies and the financial profitability of charcoal production in the rural areas surrounding Lubumbashi. It was guided by the following two research questions: Do the marketing practices implemented by professional charcoal producers influence the financial profitability of this activity? What economic parameters determine profitability at the point of sale? This study was based on the following hypotheses: Marketing practices, such as the diversification of packaging types, sales locations, and the season of sale, influence the financial profitability of charcoal production in rural Lubumbashi. Selling price and production costs determine this profitability. Households in Lubumbashi prefer larger packaging formats, which increases their profitability (Mama et al., 2017; Gazullet al., 2006). Selling price, as well as production and marketing costs, increase with distance from the production site (Kaina et al., 2021; Kissanga et al., 2024). Finally, the increase in selling price during the rainy season has a positive effect on profitability during that period (Masamba et al., 2023; Bekpa-Kinhou, 2024).

7.5. Materials and Methods

7.5.1. Study Area

This study was conducted in the rural area surrounding Lubumbashi, located in the southeastern part of the Democratic Republic of Congo. This area serves as the main charcoal supply basin for the city of Lubumbashi, extending up to 150 km around the urban center (Münkner et al., 2015). It is characterized by a Cwa-type climate, according to the Köppen classification system (Vranken, 2010). Two distinct seasons are observed: a dry season and a rainy season, the latter lasting from November to

March, with an average annual rainfall of approximately 1232 mm. The mean annual temperature is 20 °C, with variations ranging from a minimum of 8 °C to a maximum of 32 °C (Malaisse, 2010).

The dominant vegetation in the region consists of Miombo woodlands (Malaisse et al., 2021). The soils are mainly lateritic, composed of red, red ochre, and yellow earths (Malaisse, 2010). This forest ecosystem represents a vital resource for local communities, providing both timber and nontimber forest products essential to their livelihoods (Mpundu, 2018). The main rural economic activities include agriculture, charcoal production, fishing, fruit gathering, and the collection of mushrooms and caterpillars (Malaisse, 2010). Charcoal production is a particularly important economic activity in this region, involving a wide range of actors from various backgrounds (Münkner et al., 2015; Kasanda et al., 2024).

The rural area of Lubumbashi includes numerous charcoal-producing villages, among which the study sites were selected. These villages are located within an 80 km radius of the city: Luisha (on the Likasi road), Maksem (on the Kasenga axis), Sela (on the Kinsevere route), and Mwawa (on the Kasumbalesa axis). Luisha, approximately 86 km from Lubumbashi, is the most distant village from the urban center (Figure 7-1). In addition to forest exploitation, Luisha is also known for artisanal mining activities. Mwawa is located 57 km from the city, while Sela, at about 45 km, is the closest. These two villages are primarily characterized by agricultural activities and charcoal production. Maksem, situated 60 km from Lubumbashi, is known for its agricultural operations, particularly the presence of numerous farms, whose activities exert significant pressure on forest resources, leading to notable degradation.

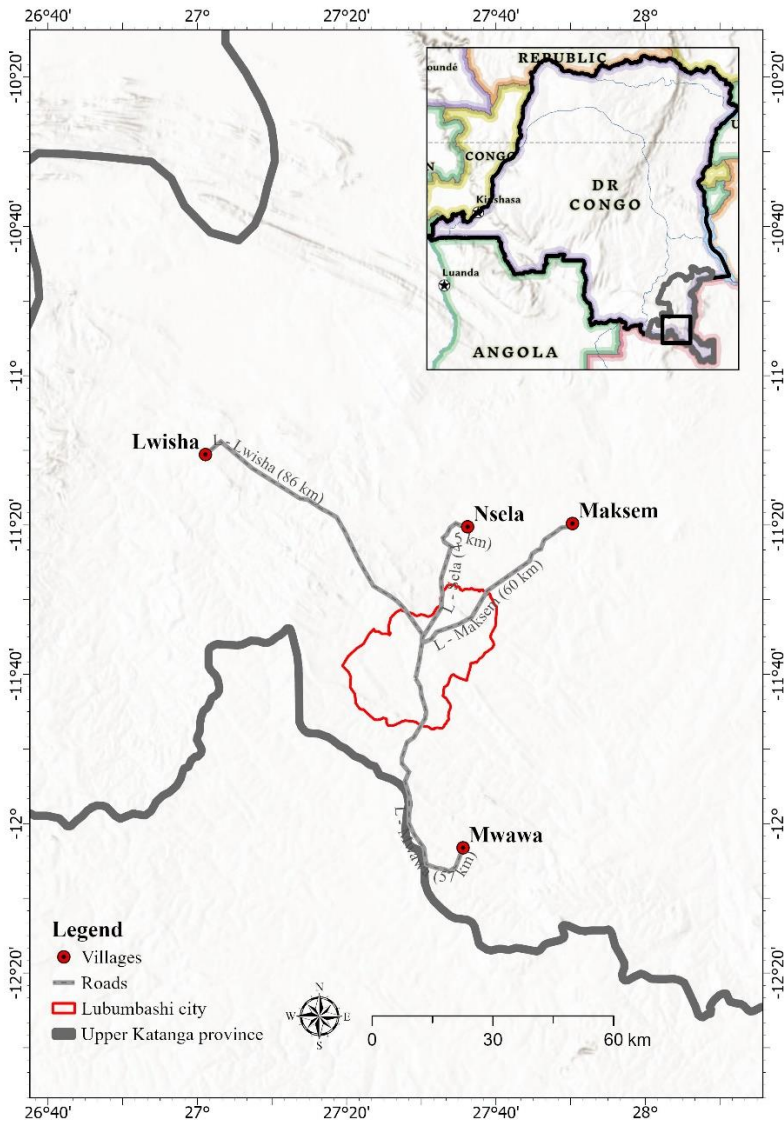


Figure 7-1 : Geographic location of the selected villages in the rural zone of Lubumbashi, showing their respective distances from the urban center. Map generated using ArcGIS by Héritier Khoji.

7.5.2. Selection of villages

To select the four villages included in this study, a preliminary survey was conducted among charcoal sellers at wholesale storage and sales sites located within the city of Lubumbashi. The objective of these surveys was to identify the main origins of the charcoal marketed and consumed in the city. Based on this information, exploratory field visits were carried out in 16 villages identified as the primary

suppliers, according to the responses collected from warehouse vendors. This exploratory phase took place between 7 July and 7 August 2020.

The four villages ultimately selected stood out due to the high intensity of forest exploitation for charcoal production. This intensity was particularly evident in the large number of stored charcoal bags and frequent presence of resellers coming from Lubumbashi. In addition, these villages were easily accessible and connected to neighboring charcoal producing-villages, facilitating a network effect and mutual reinforcement among them.

Finally, the selected villages were among the most populated in their respective areas, as indicated by the number of households recorded in each (Table 7-1).

Tableau 7-1: Characteristics of charcoal-producing villages studied in the rural area of Lubumbashi (DR Congo). Data were collected during the exploratory phase, specifically between 7 July and 7 August 2020.

No.	Village	Geographical coordinates	Number of households
1	Maksem	11° 19' S; 27° 50' E	2133
2	Sela	11° 20' S; 27° 36' E	1150
3	Mwawa	12° 03' S; 27° 35' E	163
4	Luisha	11° 10' S; 27° 01' E	2670
Total			6,116

Source: 2020 Annual Reports of Local Offices, BUCODED, 2020, and N'tambwe et al., 2023.

7.5.3. *Sampling*

The sampling process was carried out in several stages (Figure 7-2), the first of which involved identifying charcoal producers among household heads in the four selected villages. To determine the sample size, we used the Bernoulli formula (Kasanda et al., 2024; Muteba, 2014; Sabuhungu et al., 2016), as presented below (Equation (1)). This method led to the selection of a total of 258 household heads, distributed across the four study villages.

$$n = \frac{1,64^2 \times N}{1,64^2 + I^2 \times N - 1} \quad (1)$$

where N = total population size, corresponding to the total number of households in the selected villages; n = sample size; I = acceptable margin of error (set at 10%); and 1.64 = critical value for a 90% confidence level.

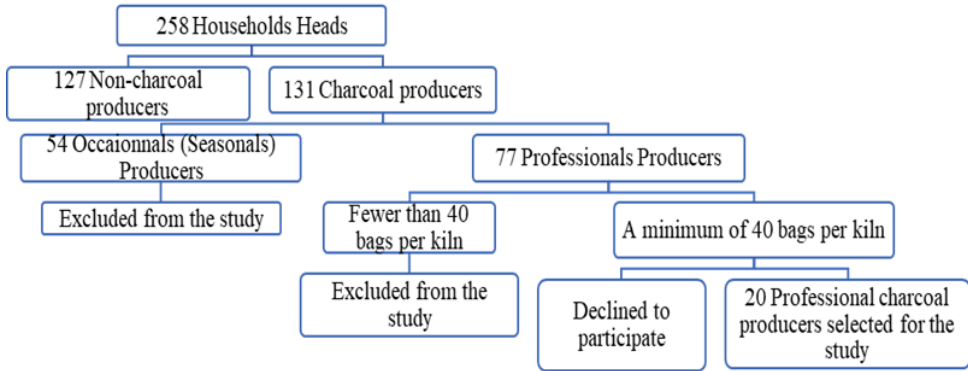


Figure 7-2 : Selection process of the 20 professional charcoal producers monitored in this study between 4 January and 28 September 2022, from the villages of Mwawa, Sela, Maksem, and Luisha.

Among the 258 household heads surveyed, 131 were involved in charcoal production. Of these, only 20 professional producers were selected for this study, based on several rigorous selection criteria. One of the main criteria was that charcoal production constituted their primary—if not exclusive—economic activity, carried out consistently throughout the year. In other words, these producers engaged in charcoal production regardless of the season, whether during the dry or rainy period (Nge, 2021; Trefon et al., 2010; Münkner et al., 2015). In addition, these producers were distinguished by above-average production volumes. The minimum output required per kiln was set at 40 bags (Trefon et al., 2010). This selection also reflects the fact that, for these producers, charcoal represents a significantly more important source of income compared to others. These criteria also made it possible to monitor activity consistently across both seasons, which was essential for collecting the economic data required for this study.

7.5.4. *Data collection*

Data collection for this study was carried out between 4 January and 28 September 2022. It involved tracking charcoal producers throughout the entire production and marketing process (Kasanda et al., 2024; Schure et al., 2019).

Data were collected using a survey questionnaire or monitoring form, allowing for the recording of various economic variables. These included the selling price, various production costs (labor, packaging), and marketing-related expenses (transportation, taxes, handling, and storage fees). Additional information was gathered regarding marketing strategies, such as the place and season of sale, as well as the types of packaging used. The number of bags sold was also recorded.

Data collection was carried out based on the availability of the producers, who informed us in advance of the date and time at which they could be observed. Regarding packaging, four distinct types of bags were identified, each differing in volume and weight (Figure 7-3). The largest, locally referred to as “3 pas”, had an average weight of 57 kg. The second, called “2 pas”, weighed approximately 43 kg. The third, known as “1 pas”, had an average weight of 36 kg. The final type, known

as “kipupu”, was the smallest, with an average weight of 29 kg. Based on the arithmetic mean of these four packaging types, the average weight of a sack of charcoal was estimated at 41.3 kg (Nge, 2021; Münkner et al., 2015).



Figure 7-3: Illustration of the types of charcoal packaging identified in the rural area of Lubumbashi. (A) Largest bag, weighing approximately 57 kg, characterized by a wide upper section. The visible sticks at the end of the bag correspond to a length equivalent to three handspans (a local unit of measurement used by charcoal producers). (B) Bag weighing 43 kg, with a moderately wide upper section; the sticks at the end measure about two handspans. (C) Bag weighing 36 kg, narrower in shape, with sticks measuring about one handspan. (D) Bag weighing 29 kg, the smallest, with no visible extension; the end typically measures less than one handspan. Photos taken during the surveys conducted between 4 January and 28 September 2022.

7.5.5. *Data analysis*

The data collected in the field through the morning of charcoal producers enabled the necessary statistical analyses for this study. This was made possible by the analysis of data using SPSS software (version 21). Descriptive statistics were used to calculate means and standard deviations for quantitative variables such as selling price, production costs, and marketing costs. They were also used to compute proportions. Statistical inference, including analysis of variance (ANOVA) and Student’s t-test, was conducted to compare the means of quantitative variables. ANOVA was used to test for the existence of significant differences, particularly with regard to selling prices and costs depending on the place of sale (production site, village, and the city of Lubumbashi). Student’s t-test was applied to compare selling prices across seasons. When the p-value was below 0.05, differences were considered statistically significant. Multivariate analysis was also conducted, particularly through the study of correlations. A correlation matrix was developed to assess the influence of various economic variables on profit. The coefficient of determination (R^2) was used to measure the strength of the relationship between profit and, on the one hand, selling price and, on the other, total costs (production and marketing). Strong relationships were identified when the R^2 value was close to 1, indicating a strong dependence between the variables. Likewise, negative values were interpreted as indicating an inverse relationship (Nyarko et al., 2021; Kouicem, 2020).

Profitability was assessed through a financial analysis based on economic calculations aimed at determining three key indicators: profit, profit margin, and the benefit–cost ratio. Profit analysis made it possible to evaluate the economic performance and managerial capacity of professional charcoal producers in the rural area of Lubumbashi. A negative profit indicates a loss, meaning that the resources mobilized for production did not generate sufficient returns to cover the costs incurred (Yabi et al., 2012; Mere and Yabi, 2024). Profit and the profit margin were calculated using the method proposed by (Schure et al., 2011). It is worth noting that the calculation of profit is based first on the determination of revenue, as presented in the following formula:

$$GR=BS\times ASP \quad (2)$$

Where GR = gross revenue; BS = number of bags sold; APS = average selling price

$$PP=(BS\times ASP) -(TC+TXC+LC+MC+AC) \quad (3)$$

Where PP = profit per producer; TC = transportation cost; TXC = tax Cost; LC = labor costs; MC = material cost; AC = access cost.

Costs related to materials and land access were not included in this study. According to Nge (2021), access to resources in this area is open, unregulated, and generally considered free of charge, which significantly reduces production costs.

Calculations were based on a kiln-level analysis, with monitoring of charcoal producers beginning at the tree-felling phase. Therefore, the land acquisition stage was not included. Moreover, the duration and conditions of access to forest resources vary widely among individuals and across time periods, making it difficult to incorporate this factor into the economic analysis. In this context, the formula proposed by Schure et al (2021) was adapted as follows:

$$PP=(BS\times ASP) -(TC+TXC+LC) \quad (4)$$

Profit margin was computed using the following formula:

$$PM = \frac{NP}{GR} \quad (5)$$

Where PM = profit margin; NP = net profit; GR = gross revenue.

Gross revenue corresponds to the income generated from the sale of charcoal (Bonou, 2008). Profit was calculated to determine the amount actually retained by charcoal producers after the sale. It represents the difference between gross revenue and the total costs associated with the production and marketing process (Péroches et al., 2021).

The profit margin is a complementary indicator to revenue and profit. It assesses the level of profitability by expressing the share of profit in the producer's total revenue (Trefon et al., 2010; Schure et al., 2011). Finally, the benefit–cost ratio was calculated to evaluate the economic and financial viability of charcoal production activities

conducted by professional producers in the rural area of Lubumbashi. This ratio takes into account the total production and marketing costs, as well as the profit generated (Paraíso et al., 2012), with B = benefit; C: cost.

When the B/C ratio is greater than 1, the activity is considered financially profitable. This means that for every 1 CDF invested in charcoal production, more than 1 CDF is generated in return.

When the B/C ratio is less than 1, the activity is not financially profitable.

7.6. Results

7.6.1. Charcoal Sales Locations

The results show that 55% of charcoal producers sell their product within their production village, while 35% transport it to Lubumbashi for sale. In contrast, only 10% of sellers market their charcoal directly at the carbonization site. These findings highlight that the majority of producers prefer to sell locally within their own village (Figure 7-4).

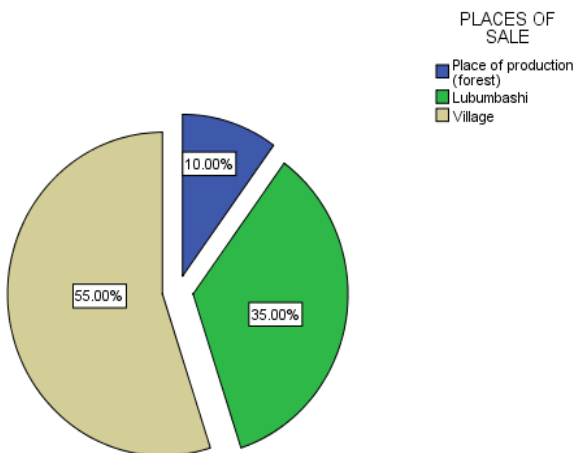


Figure 7-4 : Distribution of charcoal sales by point of sale. “Point of sale” refers to three locations: the forest, the village, and the city of Lubumbashi. “Village” includes the four study sites: Mwawa, Sela, Luisha, and Maksem.

7.6.2. Charcoal Selling Prices in the Lubumbashi Region

The results indicate that a 57 kg bag is sold at an average price of CDF $16,104.17 \pm 5913.64$, while the smallest 29 kg bag is sold at CDF 6250.00 ± 1541.10 . of CDF $16,104.17 \pm 5913.64$, while the smallest 29 kg bag is sold at CDF 6250.00 ± 1541.10 . Moreover, the selling price fluctuates depending on the season. During the dry season, prices range from CDF 5000.00 ± 2121.32 to CDF $15,291.67 \pm 3963.64$, whereas in the rainy season, they range from CDF 6625.00 ± 1376.89 to CDF $16916.67 \pm$

7722.80. In the rainy season, they range from CDF 6625.00 ± 1376.89 to CDF $16,916.67 \pm 7722.80$. However, no statistically significant differences were found between the two seasons for each packaging type ($p > 0.05$, Student's t-test).

It is also worth noting that, depending on the type of packaging, the selling price of charcoal increases with distance from the production site. A 57 kg bag is sold at an average of CDF $10,000.00 \pm 0.00$ in the forest, CDF $13,406.25 \pm 1731.73$ in the village, and CDF $25,333.33 \pm 2516.61$ in Lubumbashi. Similarly, the 29 kg bag is sold at at CDF 4500.00 ± 707.11 in the village and CDF 7125.00 ± 853.91 in Lubumbashi (7-2). These findings indicate that charcoal selling prices vary according to packaging type and point of sale and also tend to increase during the rainy season.

Table 7-2: Variation in charcoal selling prices (mean \pm standard deviation) by season, sales location, and packaging type in Lubumbashi and its rural area. The exchange rate used is 2050 CDF per 1 USD, based on the September 2022 rate (Source: BCDC). n = number of observations. * Statistically significant differences were considered at $p < 0.05$.

Variables	Packaging Types				
	57 kg Bag	43 kg Bag	36 kg Bag	29 kg Bag	All Bag Types
	Season				
Rainy season (n = 11)	16,916.67 \pm 7722.80	11,666.67 \pm 2886.75	8000.00 \pm 3464.10	6625.00 \pm 1376.89	12,045.46 \pm 5090.43
Dry season (n = 9)	15,291.67 \pm 3963.64	11,000.00 \pm 5354.13	10,166.67 \pm 2362.90	5500.00 \pm 2121.32	12,435.19 \pm 4364.42
<i>p</i> -value (Student's <i>t</i> -test)	0.656	0.855	0.421	0.461	0.863
	Sales Location				
Production site (n = 2)	10,000.00 \pm 0.00	-	6000.00 \pm 0.00	-	7000.00 \pm 1414.21
Lubumbashi (n = 7)	25,333.33 \pm 2516.61	15,333.33 \pm 1527.53	11,666.67 \pm 577.35	7125.00 \pm 853.91	15,250.00 \pm 6860.21
Village (n = 11)	13,406.25 \pm 1731.73	8250.00 \pm 2061.55	7500.00 \pm 0.00	4500.00 \pm 707.11	11,242.43 \pm 3135.91
Total	16,104.17 \pm 5913.64	11,285.71 \pm 4151.88	9083.33 \pm 2905.45	6250.00 \pm 1541.10	12,220.84 \pm 5191.03
<i>p</i> -value (ANOVA)	0.000 *	0.004 *	0.002 *	0.021 *	0.084

7.6.3. Costs at Different Stages of Production and Marketing

The processes of charcoal production and marketing in the Lubumbashi region involve various costs. To produce a single bag of charcoal, producers spend an average of CDF 770.61 on labor related to tree felling and wood cutting. During kiln construction—specifically for wood stacking and covering—expenses amount to CDF 1165.00. In addition, forest taxes are estimated at CDF 275.00.

The total production cost when the bag is sold directly in the forest is CDF 2987.60. This cost increases by CDF 2000.00 when the sale takes place in the village. When charcoal is marketed in Lubumbashi, additional costs must be considered, including transportation (CDF 3000.00), handling (CDF 1000.00), storage fees (CDF 428.47), and urban taxes (CDF 400.00). These results show that the total costs of charcoal production and marketing are made up of several expenses incurred by producers, and these costs vary depending on the sales location (Table 7-3).

Table 7-3: Distribution of production and marketing costs (mean \pm standard deviation) per bag of charcoal produced, according to sales location in Lubumbashi and its surrounding rural area. The exchange rate used is 2050 CDF per 1 USD, based on the rate in September 2022 (source: BCDC).

Activities	Sales Location			
	Forest	Village	Lubumbashi	All Sales Locations
Tree felling and wood cutting	770.61 \pm 0.00	0	0	0
Stacking and covering	1165.00 \pm 0.00	0	0	0
Packaging	777.00 \pm 0.00	0	0	0
Transport to village	0	2000.00 \pm 447.21	0	0
Transport to Lubumbashi	0	0	3000.0 \pm 577.35	3000.00 \pm 577.35
Forest taxes	275.00 \pm 35.35	285.00 \pm 85.51	300.00 \pm 95.74	289.47 \pm 82.63
Village taxes	0	261.11 \pm 48.59	221.43 \pm 26.73	243.75 \pm 44.25
Lubumbashi taxes	0	0	400.00 \pm 76.38	400.00 \pm 76.38
Storage fees	0	0	428.57 \pm 48.79	425.00 \pm 46.29
Loading and unloading	0	0	1000.00 \pm 0.00	1000.00 \pm 0.00

7.6.4. Costs by Packaging Type, Sales Location, and Season

For all packaging types combined, total costs range from CDF 308,236.80 ± 184,771.51 in the village to CDF 816,703.20 ± 605,344.36 in Lubumbashi. However, when analyzed by packaging type, costs do not show significant variations across seasons. In contrast, when packaging type is not considered, significant seasonal differences are observed in relation to sales location during the rainy season ($p < 0.05$, ANOVA).

For the 57 kg bag, costs in Lubumbashi during the rainy season amounted to CDF 618,622.20 ± 304,084.10, compared to CDF 182,844.00 ± 0.00 during the dry season. For the 43 kg bag, costs remained high during both periods: in Lubumbashi, they were estimated at CDF 813,655.80 ± 0.00 in the rainy season and CDF 351,974.70 ± 213,328.88 in the dry season. These results indicate that the production and marketing costs of charcoal vary depending on the sales location and increase with distance from the production site (Table 7-4).

Table 7-4: Production and marketing costs (mean and standard deviation) by sales location, season, and packaging type. Values are presented in Congolese Francs (CDF). The exchange rate used is 2050 CDF per 1 USD, based on the September 2022 rate (Source: BCDC). n = number of observations. * $p < 0.05$ indicates statistically significant differences.

Variables (Rainy Season)	Sales Location			<i>p</i> -Value (ANOVA)
	Forest	Village	Lubumbashi	
57 kg bag (n = 7)	108,426.50 ± 0.00	296,324.27 ± 44,746.39	618,622.20 ± 304,084.10	0.177
43 kg bag (n = 3)	-	44,672.00 ± 12,635.15	813,655.80 ± 0,00	0.013 *
36 kg bag (n = 3)	215,304.05 ± 286,961.54	-	502,821.00 ± 0,00	0.563
29 kg bag (n = 4)	35,737.60 ± 0.00	-	73,137.60 ± 0,00	-
All packaging types (n = 11)	269,517.30 ± 210,292.43	202,810.88 ± 145,838.85	847,939.05 ± 83,247,58	0.000 *
Variables (Dry season)				
57 kg bag (n = 6)	-	268,032.00 ± 191,204.51	182,844.00 ± 0.00	0.705
43 kg bag (n = 4)	-	156,352.00 ± 157,939.37	351,974.70 ± 213,328.88	0.407
36 kg bag (n = 3)	-	178,688.00 ± 0.00	461,681.10 ± 575,341.53	0.757
29 kg bag (n = 2)	-	17,868.80 ± 0.00	639,954.00 ± 0.00	-
All packaging types (n = 9)	-	308,236.80 ± 184,771.51	816,703.20 ± 605,344.36	0.085

7.6.5. Charcoal Profitability in the Lubumbashi Region

Our results show that charcoal sales in Lubumbashi and its surrounding rural areas are profitable, with an average profit of CDF $462,218.78 \pm 368,408.12$, a corresponding profit margin of 0.46, and a benefit–cost ratio of 0.86. When considering packaging types, the 57 kg bag demonstrates a strong economic performance, with an average profit of CDF $661,062.18 \pm 490,466.79$, a profit margin of 0.66, and a benefit–cost ratio of 1.96. In contrast, the smallest 29 kg bag yielded negative profitability, with an average loss of CDF $-24,009.60 \pm 63,197.62$, a profit margin of -0.20 , and a benefit–cost ratio of -0.19 . These results indicate that marketing the 57 kg bag is the most profitable option, whereas selling the 29 kg sack results in a financial loss, taking into account all production and marketing costs (Table 7-5).

Table 7-5: Profitability of charcoal by packaging type (mean \pm standard deviation). GR: gross revenue; TC: total costs, PM: profit margin, and B/C: benefit–cost ratio. Values are presented in Congolese Francs (CDF). The exchange rate used is 2050 CDF per 1 USD, based on the September 2022 rate (source: BCDC).

Variables	Packaging Types				
	57 kg Bag	43 kg Bag	36 kg Bag	29 kg Bag	All Packaging Types
GR	1002,895.83 \pm 732,423.68	444,142.86 \pm 463,584.02	500,000.00 \pm 444,124.31	119,666.67 \pm 182,228.06	860,441.79 \pm 583,612.39
TC	336,636.15 \pm 237,673.40	274,236.17 \pm 290,650.58	339,246.55 \pm 324,531.78	123,160.51 \pm 229,546.67	462,218.78 \pm 368,408.12
Profit	661,062.18 \pm 490,466.79	169,906.69 \pm 176,284.76	160,753.45 \pm 149,554.33	–24,009.60 \pm 63,197.62	398,223.01 \pm 405,813.80
PM	0.66	0.38	0.32	–0.20	0.46
B/C	1.96	0.62	0.47	–0.19	0.86

7.6.6. *Determinants of Charcoal Profitability in the Rural Area of Lubumbashi According to Sales Location*

The results indicate that total costs are negatively correlated with profit when sales occur at the charcoal production site ($R^2 = -1.00$, or -100%). No correlation was found between profit and total costs in the village or in Lubumbashi. Our findings also show that the selling price is positively correlated with profit, whether at the production site, in the village, or in Lubumbashi. These results confirm that at the production site, an increase in production costs leads to a decrease in profit, and vice versa. Conversely, profit increases in direct relation to the selling price of charcoal, regardless of the sales location (Table 7-6).

Table 7-6: Correlation between profit and various economic profitability parameters, by charcoal sales location. TCF = total costs at the production site (forest); TCV = total costs in the village; TCL = total costs in Lubumbashi; SPF = selling price at the production site (forest); SPV = selling price in the village; SPL = selling price in Lubumbashi.

Variables	Profit	TCF	TCV	TCL	SPF	SPV	SPL
Profit	1	-1.000 **	-0.105	-0.463	1.000 **	1.000 **	1.000 **
TCF	-1.000 **	1	b	b	-1.000 **	b	b
TCV	-0.105	b	1	b	b	0.039	b
TCL	-0.463	b	b	1	b	b	-0.463
SPF	1.000 **	-1.000 **	b	b	1	b	b
SPV	1.000 **	b	0.039	b	b	1	b
PVL	1.000 **	b	b	-0.463	b	b	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). b. Calculation not possible because at least one variable is a constant.

7.6.7. *Determinants of Charcoal Profitability in the Rural Area of Lubumbashi According to Packaging Types*

The results indicate that profit is positively correlated with production and marketing costs for 57 kg bags ($R^2 = 0.77$), in 77% of cases. The same applies to the selling price of this packaging type ($R^2 = 0.60$), in 60.2% of cases. These findings suggest that, for 57 kg bags, profit increases in parallel with total costs and selling prices (Table 7-7).

Table 7-7: Correlations between profit and key economic profitability parameters, by charcoal packaging type. TC = total costs; SP = selling price.

Variables Profit		TC 57 kg	TC 43 kg	TC 36 kg	TC 29 kg	SP 57 kg	SP 43 kg	SP 36 kg	SP 29 kg
Profit	1	0.767 **	0.188	-0.337	-0.357	0.603 *	0.651	-0.698	0.325
TC 57 kg	0.767 **	1	-1.000 **	1.000 **	0.583	0.666 *	-1.000 **	1.000 **	0.891
TC 43 kg	0.188	-1.000 **	1	-1.000 **	1.000 **	1.000 **	0.527	1.000 **	1.000 **
TC 36 kg	-0.337	1.000 **	-1.000 **	1	1.000 **	c	-1.000 **	0.529	1.000 **
TC 29 kg	-0.357	0.583	1.000 **	1.000 **	1	0.990	1.000 **	c	0.322
SP 57 kg	0.603 *	0.666 *	1.000 **	c	0.990	1	1.000 **	c	0.998 *
SP 43 kg	0.651	-1.000 **	0.527	-1.000 **	1.000 **	1.000 **	1	1.000 **	1.000 **
SP 36 kg	-0.698	1.000 **	1.000 **	0.529	c	c	1.000 **	1	c
SP 29 kg	0.325	0.891	1.000 **	1.000 **	0.322	0.998 *	1.000 **	c	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). c . Calculation not possible because at least one variable is constant.

7.6.8. *Determinants of Charcoal Profitability in the Rural Area of Lubumbashi According to Sales Season*

Our results reveal a positive correlation between profit and the selling price of charcoal during the rainy season ($R^2 = 0.90$). However, during the same season, no relationship was found between total costs and profit. Similarly, in the dry season, profit was not correlated with either the selling price or total costs. These findings indicate that it is specifically during the rainy season that profit increases in parallel with the selling price of charcoal at the point of sale (Table 7-8).

Table 7-8 : Correlations between profit and key economic profitability parameters by charcoal sales season. TCRS = total costs in rainy season; TCDS = total costs in dry season; SPRS = selling price in rainy season; SPDS = selling price in dry season

Variables	Profit	TCDS	TCRS	SPDS	SPRS
Profit	1	-0.120	0.368	0.445	0.901 **
TCDS	-0.120	1	^b	-0.280	^b
TCRS	0.368	^b	1	^b	0.419
SPDS	0.445	-0.280	^b	1	^b
SPRS	0.901 **	^b	0.419	^b	1

7.7. Discussion

7.7.1. *Methodology Used in the Present Study*

In the present study, 20 professional charcoal producers in the rural area of Lubumbashi were monitored. The use of this relatively small sample, combined with individual tracking, facilitated consistent data collection from the same producers over an eight-month period, covering the entire production and marketing cycle. This extended observation period enabled the collection of more in-depth and accurate information. Data were collected in real time, and profitability calculations were based on actual market prices throughout the study period. The adopted methodology draws inspiration from kiln-based charcoal monitoring approaches previously applied on the Batéké Plateau and in Yangambi (Schure et al., 2019). This research also serves as a continuation of (Kasanda et al., 2024), involving the same participants, but this time through an economic and financial lens.

The results are generalizable to all charcoal producers in the rural area of Lubumbashi, since carbonization practices are relatively homogeneous, with traditional earth kilns being widely dominant (Nge, 2021; Trefon et al., 2010). While some factors may influence yields, differences are mainly observed in production volume, which is linked to the producer's individual skill level (Semeki et al., 2024). The observed similarities in production practices suggest equally similar behavior in terms of marketing. This homogeneity justifies the generalization of results, especially since the sampling targeted producers who were technically and commercially representative. Professional producers were prioritized due to their regular engagement in charcoal production, their accumulated experience across multiple

seasons, and their high output levels—producing at least 40 bags per kiln (Kasanda et al., 2024; Münkner et al., 2015).

Data were collected throughout the production and commercialization process, providing a detailed and comprehensive view of charcoal marketing in Lubumbashi and its rural hinterlands. This methodological approach provided reliable, context-specific data for the economic calculations, in contrast to studies that rely on one-time surveys at points of sale (Mere and Yabi, 2024; Paraíso et al., 2012). The economic and financial analysis—based on the calculation of three profitability indicators (profit, profit margin, and benefit–cost ratio)—helped dispel doubts about the profitability of charcoal production, which has often been debated in previous studies conducted in the same region. The methodology also made it possible to identify the interactions between the various economic variables that influence profitability.

While many studies have been limited to calculating profit or value added—especially in value chain analyses—their findings are consistent with ours in confirming the sector’s profitability (Nge, 2021; Münkner et al., 2015). However, our study goes further by identifying the specific conditions under which this activity becomes more profitable. It also highlights the relationships between economic variables, whereas other studies have opted for broader approaches using predictive statistical models (FAO, 2016; Dossa et al., 2018).

The identification of the economic factors influencing profitability—conducted through multivariate analysis, particularly linear regression and correlation analysis—enabled the isolation of key determinants of profit: namely, selling price, production costs, and marketing costs. This approach proved relevant given the quantitative nature of the variables. The use of the correlation coefficient helped assess the strength of the relationships between variables and measure the specific contribution of each to profit formation, thereby contributing to a better understanding of the profitability mechanisms observed in the charcoal value chain (Kasanda et al., 2024; Nyarko et al., 2021; Kouicem, 2020).

7.7.2. Sales Locations of Produced Charcoal

According to our results, charcoal was sold at different locations. The majority of producers sold their products in the village, followed by sales in Lubumbashi. A smaller number sold directly at the production site. In these cases, transactions occurred between producers and resellers who came to the site themselves. Because resellers bore no transport costs, they were able to purchase charcoal at a lower price. While this arrangement benefits intermediaries, it disadvantages producers, who earn reduced profit margins (Lejars and Courilleau, 2014). Village sales, in contrast, were the most common. They allowed producers to charge slightly higher prices, justified by moderate transport costs between the forest and the village. Transportation was typically performed using bicycles or motorcycles. This strategy enabled producers to marginally increase their profitability compared to sales made directly at the production site.

These observations are consistent with those of (Sane et al., 2020), who emphasized that various economic factors—including the point of sale—strongly influence

charcoal marketing. For instance, in the Kalounayes region of Senegal, some producers preferred to sell informally in order to avoid legal taxes. Similar practices exist in Lubumbashi, where some sellers choose to sell directly from their homes to avoid taxes imposed in official markets and depots. Conversely, in Kinshasa, charcoal marketing is mostly centralized in markets and depots, especially for large bags (Gazull et al., 2020).

Our findings corroborate those of (Trefon et al., 2010), who compared sales practices in Lubumbashi and Kinshasa. They observed that in Lubumbashi, charcoal could be sold in the producers' villages, often along roadsides, as well as in the city. Moreover, (Münkner et al., 2015) identified the same sales locations, also noting the diversity of actors involved in the charcoal value chain, ranging from producers to resellers, wholesalers, and semi-wholesalers.

7.7.3. Charcoal Selling Price

Our results revealed that the selling price of charcoal varies depending on the type of packaging. The 57 kg bag stood out with a higher selling price than the other formats. This indicates that using larger bags offers an economic advantage by enabling better market positioning. These findings align with those of Mama and Biau (2017), who showed that in Benin, roadside sellers opted for 70 to 75 kg bags to attract more customers and increase their profit margins, whereas earlier packaging sizes ranged from 40 to 60 kg.

Similarly, Trefon et al (2010) emphasize that bag size is a key factor in price variability. Smaller bags are sold at lower prices due to weight differences compared to other formats—a dynamic also observed in retail sales in urban areas (Münkner et al., 2015). A comparable situation was documented in Malawi, where the selling price also varied according to packaging type (Kambewa et al., 2007).

The selling price also fluctuates by season. During the rainy season, a slight price increase was observed, although it was not statistically significant. This trend supports the findings of Bekpa-Kinhou (2024), who explained that seasonal variation affects prices: in the dry season, production rises due to improved road conditions, which facilitate supply. In contrast, during the rainy season, supply decreases due to poor road conditions and producers returning to agricultural activities, which impact production and marketing costs. A similar pattern was observed in Ethiopia, where Worku et al (2021) note that charcoal prices vary with supply, with more stable or lower prices during dry periods when production is higher.

Our results also indicate that the selling price increases with distance from the production site. This trend is consistent with the observations of Kissanga et al (2024) in southwestern Angola, where price increases are recorded in urban centers in proportion to their distance from production zones. This phenomenon can be explained by intermediate costs incurred during product transportation—the greater the distance, the higher the associated costs. As highlighted by Nge (2021) and Sabuhungu (2016), these costs include transportation, taxes, storage, and other logistical expenses. This situation is strikingly illustrated by Mama and Biau (2017),

who show that in Benin, the cost per kilogram of charcoal can increase by 122% between the production site and the urban market.

7.7.4. *Costs Related to Charcoal Production and Marketing*

Our results indicate that the costs associated with charcoal production and marketing in the study area mainly include expenses related to labor, packaging, taxes, handling, and transportation. As noted by Mutta et al (2021), charcoal producers face a wide range of expenses throughout the production process. Among these, transportation appears to be the most significant cost item, particularly for delivering charcoal to the city of Lubumbashi. This observation aligns with the findings of Schettini et al (2021), a study conducted in Lamim (Brazil), which found that transportation—combined with land access fees and tree acquisition—accounted for up to 82% of total production costs. In parallel, Andaregie et al (2020) emphasizes the importance of labor as a key variable influencing carbonization productivity. Labor costs can be substantial due to competition with other rural activities, particularly agriculture (Doggart and Meshack, 2017; Eniola, 2021).

Our findings show that total production and marketing costs vary according to the sales location and increase with distance from the production site. This trend is explained by the accumulation of transportation costs, taxes, and other logistical expenses incurred during the delivery process. As highlighted by Tamboura et al (2022), charcoal gains added value in urban areas due to these additional costs. Indeed, supply basins are often located far from major consumption centers, leading to increased marketing costs (Kaina et al., 2021).

Moreover, our results indicate that production costs do not vary significantly according to the packaging type. This may be due to the fact that producers do not plan their investments based on the number of bags to be produced. Since the yield of a charcoal kiln is difficult to anticipate, costs are incurred before the actual volume of charcoal is known. In addition, transportation fees do not take into account the size or dimensions of the bags. As Nge (2021) points out, during wholesale transactions in Lubumbashi, producers face numerous constraints: administrative and police harassment, high fuel costs, frequent vehicle breakdowns, and above all, the increasing distance to supply areas.

7.7.5. *Charcoal Profitability*

Our results showed that charcoal production in the rural area of Lubumbashi is generally profitable. The 57 kg bag demonstrated the best economic performance, in terms of profit, profit margin, and benefit–cost ratio. In contrast, the 29 kg bag showed negative profitability, once all production and marketing costs were taken into account. These findings are consistent with the work of Rose et al (2022) and Mensah et al (2024), which shows that charcoal production is an essential source of income for many households, encouraging producers to implement various optimization strategies, such as diversifying packaging types or reducing the number of intermediaries in the value chain.

The low profitability of small bags is largely explained by a selling price that is insufficient to cover total costs. This price is often unstable and does not reflect actual expenditure fluctuations, as observed by Masamba (2023) in Kinshasa, where large price variations are linked to market realities, particularly the seasonality of sales. A similar situation was observed in the Philippines, where Espaldon et al (2016) reported negative profits due to the high cost of labor in charcoal production. These results confirm once again the decisive role of the selling price in the profitability of the charcoal value chain. Moreover, Brobbey et al (2021) emphasizes the importance of producers staying well informed about prices in urban markets in order to maximize their profits, as also noted by Mere and Yabi (2024) and Dossa et al (2018).

Moreover, when sales are made directly at the production site, it is often the resellers who set the purchase price. As they are the ones who travel to the producers, they hold greater bargaining power. This asymmetry puts producers at a disadvantage, as the imposed price does not always reflect the actual costs incurred during the production process, which can result in economic losses (Agyei et al., 2018).

7.7.6. Determinants of Profitability Following Charcoal Sales

Our results indicate that profit decreases as production costs increase, especially when sales occur at the production site. This shows that in such contexts, production costs have a determining effect on profitability. This situation is partly explained by poor pricing practices among producers, who do not always take into account the full range of costs incurred. As noted by Mere and Yabi (2024), the failure to factor in actual costs when setting selling prices is a key cause of financial loss, as observed among charcoal producers in northeastern Benin.

Our findings also show that profit increases in proportion to the selling price, regardless of the sales location. This confirms that the selling price is a major driver of profitability. In Uganda, Alinaitwe et al (2024) observed rising selling prices linked to growing urban demand due to population growth, making charcoal production more profitable. Similar trends have been reported in several cities in the Democratic Republic of Congo, where Schure et al (2011) found that profits were higher in Kinshasa than in Kisangani, due to more favorable prices offered by producers in the Kinshasa region.

With regard to the 57 kg bag, our results reveal that profit is influenced by both production and marketing costs, as well as by the selling price. This packaging type requires greater investment, but it also allows for a proportional price increase, leading to higher profitability. This performance is also driven by household preference for larger packaging sizes. According to Shuku (2011), in Kinshasa, purchasing large bags is more cost-effective than buying small bundles, as it lowers the cost per kilogram. A similar situation was documented in Bamako (Mali), where households favored larger bags for their perceived cost-efficiency Gazull et al (2006).

We also identified a positive correlation between profit and selling price during the rainy season. This trend can be explained by higher prices during that period, due to reduced supply. In the rainy season, poor road conditions limit charcoal

transportation, while occasional producers—typically farmers—temporarily withdraw from the activity (Nyarko et al., 2021; Brobbey et al., 2021). Moreover, Ranaivoson (2017) noted in Madagascar that village accessibility directly affects producer income and profit: those located in inaccessible areas earned significantly less than producers in well-connected villages. Similarly, Malimbwi et al (2004) shows that in the city of Dar es Salaam (Tanzania), supply increases during the dry season, resulting in lower profit margins during that period. Finally, Wekesa et al (2023) confirms that irregular supply during the rainy season has a direct impact on prices and, consequently, on the profitability of charcoal sales.

7.7.7. *Implications for the Future of Charcoal Production*

The charcoal sector in the Democratic Republic of the Congo faces numerous challenges, particularly those related to regulatory frameworks, poor technical performance, and limited environmental sustainability (Ciza et al., 2015). The unsustainable exploitation of forest resources further exacerbates the situation (Zira et al., 2019; Mbuangi et al., 2021). Although charcoal marketing holds significant economic potential, its profitability and efficiency could be substantially improved through well-targeted strategic decisions at each stage of the distribution process [74]. However, several persistent obstacles remain, including environmental degradation—which limits producers' access to markets (Trégourès, 2015)—as well as high transportation, taxation, and labor costs. These factors negatively affect the economic viability of the activity and undermine the livelihoods of producers and their families (Zira, 2019).

In the Lubumbashi region, the progressive depletion of charcoal supply basins due to deforestation (Djibu et al., 2018; Khoji et al., 2023) threatens to make this resource increasingly unaffordable for urban households in the long term. This situation is particularly concerning given that 98% of households in the city rely on this fuel to meet their energy needs (Péroches et al., 2021). If this trend continues, serious challenges to supply sustainability are likely to emerge.

In this context, the formalization of charcoal production appears to be a key solution for addressing the illegal and unsustainable exploitation of forest resources (Ciza et al., 2015). The absence of effective forest management strategies, weak institutional commitment to ecosystem protection, and low public awareness of environmental risks all contribute to the persistence of this issue (Tamboura et al., 2022).

We therefore propose that charcoal producers organize themselves into formal structures, which could serve as a critical lever for enhancing the sector's sustainability (Schure et al., 2012; Baumert et al., 2016; Oluwasola et al., 2019), while also strengthening both production and commercialization. Such organization would not only facilitate better access to financing (Oluwasola et al., 2019) but would also allow for the collective regulation of transportation costs, taxes, and pricing, thereby improving producers' incomes (Schure et al., 2012). Furthermore, these structures would provide producers with greater representation in the governance of the wood-energy sector, acknowledging the strategic role that charcoal plays in rural development (Jones, 2016).

Although our findings highlight the economic profitability of charcoal production, questions remain regarding the long-term sustainability of this activity within the broader framework of sustainable development, which requires a balance between economic growth and environmental preservation (Traore, 2024). Carbonization yields remain low due to inefficient techniques (Nge, 2021; Kasanda et al., 2024), and in a context where the sector remains largely informal (Schure et al., 2019; Ciza et al., 2015), producers face the ongoing challenge of reconciling their subsistence needs with environmental conservation goals in order to ensure the sector's long-term viability (Corson, 2017). This transition should begin with the improvement of carbonization techniques to enhance kiln efficiency, alongside the progressive formalization of the sector. These efforts must be supported by legislation that promotes the sustainable exploitation of forest resources (Mensah et al., 2024; Mugo and Ong, 2006), as well as by the establishment of formal associations of charcoal producers (Kamwilu et al., 2021).

Although policies aimed at promoting a sustainable charcoal supply are in place—such as the Forest Code of the Democratic Republic of Congo—this study reveals significant gaps in their implementation. These shortcomings are primarily due to the sector's continued informality and limited outreach efforts (Sakata, 2008). We recommend regular field monitoring by government officials to ensure the effective enforcement of these regulations, and we encourage NGOs and research institutions to strengthen the dissemination of improved carbonization techniques, which are essential to the sustainability of the value chain and the enhancement of producers' incomes. Taken together, these measures would help reduce pressure on forest ecosystems while improving producers' livelihoods, thus paving the way for the sustainable development of the charcoal value chain (Espaldon et al., 2016).

7.8. Conclusion

This study examined the marketing strategies and profitability of charcoal production in the rural area of Lubumbashi (DR Congo), based on the monitoring of 20 professional charcoal producers from production to commercialization. The results show that the majority of producers sold their charcoal in the village (55%), compared to 35% in Lubumbashi and 10% at the production site. Profitability was influenced by several factors, including sales location, season, packaging type, selling price, and both production and marketing costs. The 57 kg bag proved to be the most profitable, whereas the 29 kg bag yielded negative returns, particularly in urban areas, due to inadequate pricing and poorly managed costs. This study also found that profit increased with higher selling prices and declined when production costs were high, especially at the production site. A positive correlation between price and profit was observed during the rainy season. These findings support our hypotheses regarding the influence of marketing strategies and economic variables on profitability.

Although financially profitable, charcoal production by professional producers in the rural areas of Lubumbashi faces significant sustainability challenges, primarily due to inefficient carbonization practices. We recommend conducting in-depth research on improved carbonization techniques, as well as efforts to formalize the

sector and better organize producers into associations. These measures would help reduce costs through resource pooling, increase productivity, and improve access to market information. Additionally, the standardization of packaging formats could contribute to more effective market regulation. The role of the state remains critical, particularly in promoting and monitoring the enforcement of existing legislation on wood energy in relation to sustainable development. Such an approach could help reduce pressure on the Miombo forest, while also enhancing the profitability of the activity and the living conditions of producers, thereby ensuring the sustainability of the sector.

Chapitre 8

Déterminants de la structuration des producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi en RD Congo

8.1. Référence bibliographique

Kasanda Mukendi Nathan, Mabula Pongo Tailor, Kesonga Nsele Maurice, Tshomba Kalumbu John, Fabio Berti, Sambieni Kouagou Raoul, Ngoie Ndjibu Laurent, Useni Sikuzani Yannick, Nkulu Mwine Fyama Jules, Philippe Lebailly, Jan Bogaert. Facteurs déterminant la structuration des producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi en RD Congo. Ce chapitre est un projet d'article pour publication.

8.2. Contextualisation

Le chapitre précédent a traité des pratiques de commercialisation et a analysé la rentabilité de la vente de charbon de bois par les charbonniers. Ce présent chapitre étudie les pratiques d'organisation du travail tout en identifiant les facteurs et modes d'organisations informelles du travail en groupe par les charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi.

8.3. Résumé

La production de charbon de bois fait face à des défis majeurs en matière de durabilité, en raison de pratiques qui exercent une forte pression sur les ressources forestières. Dans ce contexte, la présente étude vise à identifier les facteurs qui favorisent l'organisation collective des producteurs de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi. Une enquête a été menée auprès de 135 producteurs. À l'issue des analyses descriptives, des tests du khi-deux, de l'analyse de la variance et de la régression logistique, les résultats ont révélé que les charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi entretiennent des liens de proximité. Ils sont caractérisés par des échanges fréquents d'outils et d'informations liés à la carbonisation. Parmi les outils échangés, la bêche est la plus sollicitée, avec une moyenne de 4 échanges par cycle de production, suivie par la houe et la machette (3 échanges chacun). D'autres outils, tels que la hache, la fourche et la tronçonneuse, sont échangés de manière moins fréquente. Les informations partagées portent principalement sur le classement du bois (6 échanges en moyenne), le suivi de la carbonisation (4), le choix des espèces d'arbres, ainsi que la couverture de la meule. La commercialisation est également un sujet d'échange, bien que moins courant (2,8 fois en moyenne). L'analyse des déterminants de l'appartenance à des associations montre, selon la régression logistique, qu'aucune variable sociodémographique n'est significativement liée à cette appartenance. En revanche, un facteur s'avère déterminant : le fait pour un charbonnier de rendre des services à ses pairs ($p = 0,005$). Ainsi, la majorité des charbonniers interrogés offrent des services à leurs collègues. Les relations de proximité, traduites par les échanges d'outils, d'informations et l'entraide mutuelle, constituent un levier essentiel pour structurer et formaliser les organisations de producteurs de charbon de bois. Cette structuration est indispensable pour favoriser une production plus rationnelle et durable dans la zone rurale de Lubumbashi.

Mots clés : charbon de bois ; forêt claire ; Association ; gestion des ressources naturelles ; République Démocratique du Congo.

8.4. Abstract

Charcoal production faces significant sustainability challenges due to practices that exert considerable pressure on forest resources. In this context, the present study aims to identify the factors that support the collective organization of charcoal producers in the rural areas surrounding Lubumbashi. A survey was conducted with 135 producers. Based on descriptive statistics, chi-square tests, ANOVA, and logistic regression analysis, the findings revealed that charcoal producers in rural Lubumbashi maintain close-knit relationships. These are characterized by frequent exchanges of tools and information related to the carbonization process. Among the tools exchanged, the hoe was the most frequently shared, with an average of four exchanges per production cycle, followed by the digging hoe and machete (three exchanges each). Other tools such as the axe, fork, and chainsaw were exchanged less frequently. The information shared primarily concerned wood grading (an average of six exchanges), monitoring the carbonization process (four), the selection of tree species, and the covering of charcoal kilns. Commercialization was also a topic of exchange, though less frequent (averaging 2.8 times per cycle). Logistic regression analysis of the determinants of association membership showed that no sociodemographic variables were significantly associated with membership. However, one key factor stood out: whether a charcoal producer provided services to others ($p = 0.005$). The majority of respondents reported offering assistance to fellow producers. These close relationships reflected in tool sharing, information exchange, and mutual support represent a crucial lever for the structuring and formalization of charcoal producer organizations. Such organization is essential to promote a more rational and sustainable charcoal production system in the rural areas of Lubumbashi.

Keywords: charcoal; open forest; association; natural resource management; Democratic Republic of the Congo.

8.5. Introduction

Les forêts tropicales, en particulier celles d'Afrique centrale, constituent d'importants puits de carbone et abritent une biodiversité exceptionnelle. Elles assurent également l'approvisionnement alimentaire de 60 millions de personnes vivant dans ou à proximité de ces zones forestières (Wasseige et al., 2015). Bien que les forêts génèrent des revenus, des emplois, de l'énergie et des abris pour de nombreuses populations tropicales (Mpanzu et al., 2018), leur exploitation commerciale, notamment pour le bois, présente un double impact. Elle procure des bénéfices aux communautés rurales, mais contribue aussi à la déforestation et la dégradation de l'environnement, compromettant ainsi leur durabilité à long terme (Luoga et al., 2000). Le charbon de bois, bien qu'il constitue une source de revenus pour des millions de personnes, est un facteur important de déforestation et de dégradation forestière (Zorrilla-Miras et al., 2018).

En Afrique subsaharienne, la production de charbon de bois alimente principalement les centres urbains (Sedano et al., 2016), y compris en République Démocratique du Congo (RD Congo), fortement exposée à cette pression anthropique

(Vermeulen et al., 2011). Toutefois, dans certaines zones comme la forêt claire du Miombo, la production de charbon de bois ne compromet pas toujours la productivité des sols et, dans certains cas, peut même favoriser la régénération forestière et la biodiversité, en augmentant la densité des arbres et des espèces (Serenje et al., 1994).

La contribution de la filière bois-énergie aux revenus de l'État reste marginale (Eba'a Atyi et al., 2013). En Afrique, le marché du charbon de bois demeure largement informel, mais il offre une source de revenus à des millions de personnes, grâce à de faibles barrières à l'entrée (Jones, 2016). Cependant, la formalisation du secteur peut également engendrer des effets négatifs, tels que l'exclusion des personnes vulnérables, la criminalisation de certains moyens de subsistance et la perte de droits. Il est donc essentiel que les mesures de formalisation n'imposent pas de directives qui rendraient la production et la commercialisation du charbon de bois inaccessibles aux ménages à faible revenu. (Brobey et al., 2021).

En RD Congo, la production de charbon de bois reste majoritairement informelle, notamment en raison d'une demande constante (Mbuangi et al., 2021). À Lubumbashi, la filière bois-énergie génère une valeur ajoutée annuelle estimée à 50 millions de dollars (Péroches et al., 2021 ; Nge, 2021). Face aux défis posés par l'informalité du secteur, l'organisation des charbonniers en structures formelles apparaît comme une solution pertinente. Elle offre de nombreux avantages, tant sur le plan environnemental que socioéconomique. Sur le plan environnemental, la structuration favorise l'adoption de fours améliorés, encourage le reboisement et la régénération des forêts, renforce les actions de sensibilisation, facilite le suivi entre charbonniers, et promeut le partage de nouvelles technologies (Siko et al., 2021 ; Ekpo et al., 2024). Sur le plan socioéconomique, elle permet une augmentation des revenus, une plus grande implication des femmes dans des postes de responsabilité, le respect de la législation encadrant la production de charbon de bois, ainsi qu'un élargissement de l'assiette fiscale liée à cette activité (Ihalainen et al., 2021).

Ainsi, dans la zone rurale de Lubumbashi, des études sur le charbon de bois ont été réalisées, notamment celles sur le rendement de carbonisation par des enquêtes et même le suivi des meules, qui ont révélé de faibles rendements (Kasanda et al., 2024). Des études socioéconomiques ont révélé un mode de production essentiellement individuel (Trefon et al., 2010). D'autres études sur la dynamique des forêts autour de Lubumbashi ont révélé des taux de déforestation élevés dus à la production de charbon de bois (Useni et al., 2017). D'autres études ont signalé une application limitée des politiques de reboisement et de gestion forestière (Schure et al., 2011), ainsi qu'une multiplicité de taxes (Mvula et Schure, 2012). Aucune de ces études n'a spécifiquement analysé les dynamiques sociales et professionnelles entre les charbonniers, ni leur contribution à une production durable de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi, en République Démocratique du Congo. Dans ce contexte, le regroupement des charbonniers en associations formelles apparaît comme une nécessité, afin de renforcer la durabilité de cette activité. Cela est d'autant plus crucial que la production de charbon de bois joue un rôle économique central pour de nombreux ménages, tout en assurant l'approvisionnement énergétique de la ville de Lubumbashi.

La présente étude vise donc à identifier les déterminants favorisant l'organisation des producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi en associations. Plus spécifiquement, elle cherche à identifier les caractéristiques socioéconomiques propices à leur regroupement, à analyser les formes d'entraide technique entre charbonniers, ainsi que les échanges d'outils et d'informations de production. Le statut des charbonniers (genre, âge, statut foncier, village de production) influence les relations sociales et favorise le travail collectif ; il existerait des formes d'entraide et des échanges d'informations et d'outils entre charbonniers à certaines étapes spécifiques de la production ou de la commercialisation du charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi. Ces échanges et entraides varient selon les villages, en raison des types de relations propres créées dans chaque village (Kesonga et al., 2023 ; Akara, 2022 ; Alemayehu et al., 2023).

8.6. Matériel et méthodes

8.6.1. *Présentation de la zone rurale de Lubumbashi*

La ville de Lubumbashi se situe à 27°29' de latitude sud et 11°41' de longitude est, dans le sud-est de la République Démocratique du Congo. Elle est le chef-lieu de la province actuelle du Haut-Katanga (Vranken, 2010 ; Tshomba et al., 2020) et fait partie de l'Arc Cuprifère Katangais (ACK). Communément appelée « ville cuprifère » en raison de ses activités minières, Lubumbashi a été fondée au début du XX^e siècle pour accueillir une raffinerie de cuivre (Munyemba et Bogaert, 2014). Sa zone rurale environnante comprend plusieurs villages producteurs de charbon de bois, qui forment son principal bassin d'approvisionnement. Parmi eux figurent Luisha sur l'axe Likasi, Maksem sur la route Kasenga, Sela sur l'axe Kinsevere et Mwawa sur celui de Kasumbalesa (voir Figure 8-1).

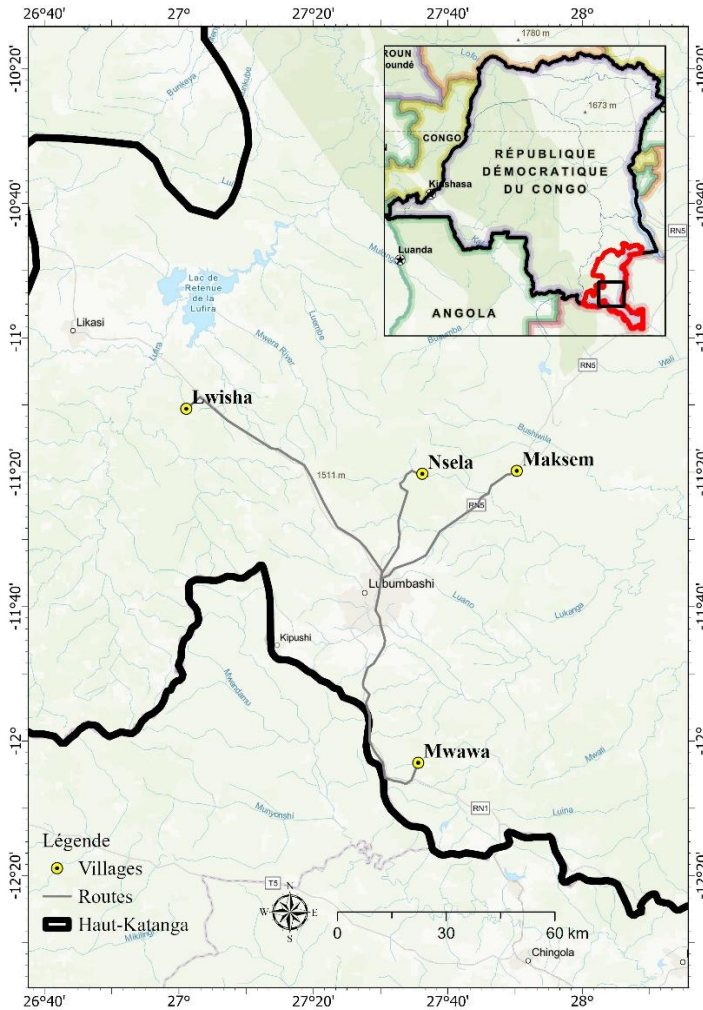


Figure 8-1 : Localisation de la zone rurale de Lubumbashi et les villages étudiés

La zone rurale de Lubumbashi bénéficie d'un climat de type Cwa₆, selon la classification de Köppen. Elle connaît une saison des pluies de 5 à 6 mois, s'étendant de novembre à mars, avec une température annuelle moyenne de 20 °C, des minimales autour de 8 °C et des maximales atteignant 32 °C (Vranken, 2010). Les sols dominants sont des latosols, différenciés par leur teneur en oxydes de fer. On distingue ainsi les terres rouges, les terres ocre-rouge et les terres jaunes (Malaisse, 1979).

Le type de forêt rencontré en ce milieu est le miombo, une forêt claire, largement dégradée dans les environs de Lubumbashi (Hallin, 2013 ; Bruneau et Kunyima, 1981). Cette forêt est dominée par des espèces telles que le *Brachystegia*, *Julbernardia* et *Isoberlinia* (Malaisse, 1979). Elle fournit une grande diversité de ressources

alimentaires : champignons, produits végétaux, gibier, insectes, miel et fruits (Malaisse, 2018).

Parmi les activités économiques locales figure la production de charbon de bois (ou makala), considérée comme l'un des principaux facteurs de déforestation (Malaisse et Binzangi, 1985). En outre, les produits forestiers non ligneux (PFNL), d'origine animale ou végétale, sont récoltés pour des usages variés, notamment dans l'artisanat et la médecine traditionnelle (N'tambwe et al., 2023).

8.6.2. *Echantillonnage*

La présente étude a été réalisée en impliquant 135 producteurs de charbon de bois, qui constituent le nombre de charbonniers parmi les chefs de ménages des villages de la présente étude (Kasanda et al., 2024). Le nombre des chefs de menages susceptibles d'être enquêtés dans ces quatre villages représentaient 258 personnes (équation 1). La taille de cet échantillon calculée par la formule de Bernoulli tel que proposé par Muteba (2014) ; Sabuhungu (2016) et N'tambwe et al (2013).

$$n = \frac{1,64^2 \cdot N}{1,64^2 + I^2 \cdot N - 1} = \frac{1,64^2 \cdot 6116}{1,64^2 + 0,1^2 \cdot 6116 - 1} = 258 \quad (1)$$

Avec N, qui est le nombre total des ménages des villages étudiés et n la taille de l'échantillon. I est la marge d'erreur acceptable (pris à 10%) et 1,64 qui est le coefficient critique pour un niveau de confiance de 90%.

Dans le cadre de cette étude, seuls les producteurs de charbon de bois ont été retenus, que ce soit les occasionnels ou les professionnels. C'est ce qui explique le nombre de 135 charbonniers.

8.6.3. *Collecte des données*

Les données récoltées dans cette étude sont le prolongement de travaux antérieurs. En effet, du 4 au 19 mars 2020, des préenquêtes avaient été menées au niveau de 14 dépôts de vente de charbon de bois dans la ville de Lubumbashi, afin d'obtenir des informations sur les lieux de provenance du charbon de bois vendu dans la ville. À la suite de ces enquêtes, 15 villages de charbonniers, répartis sur quatre axes, avaient été identifiés et explorés entre le 7 juillet et le 7 août 2020.

Le choix des villages Luisha, Maksem, Mwawa et Sela a été retenu, car ces localités se distinguaient par leur forte capacité de production de charbon de bois. Cette intensité se traduisait par un nombre élevé de sacs visibles dans les villages, mais aussi par la fréquentation importante de ces lieux par les revendeurs et un grand nombre de producteurs.

Ainsi, en utilisant un questionnaire d'enquête, ces villages ont été visités durant la période allant du 2 juin au 24 juillet 2024. Ce questionnaire contenait des informations sur le profil socioéconomique des charbonniers, notamment l'âge, le genre, le niveau d'étude et le statut matrimonial. Ces éléments du profil sociodémographique ont été étudiés dans le but de décrire les charbonniers et de mieux comprendre cette activité, et avaient aussi été considérés comme des paramètres socioéconomiques susceptibles de regrouper les charbonniers en des associations. Comme le montrent Semeki et al.

(2024), Issifou et al. (2024) et Montagne et al. (2009), la qualité de la carbonisation dépend de plusieurs facteurs, en particulier du profil du producteur et de son expérience dans la conduite de cette activité. Une partie du profil socioéconomique concernait aussi le statut du charbonnier dans le village, ainsi que son expérience antérieure, en soulignant que plusieurs d'entre eux avaient déjà exercé cette activité dans d'autres localités avant de s'installer dans les villages étudiés. Cette information permet de mieux évaluer leur niveau d'expérience, en tenant compte de leur ancienneté dans le métier, au-delà de leur présence locale.

En somme, l'étude du profil socioéconomique s'est révélée essentielle, car certains de ses paramètres tels que le niveau d'étude, le statut dans le village ou encore l'âge constituent des facteurs influents dans la production durable de charbon de bois et dans la structuration des charbonniers (Obadimu et al., 2023 ; Akinola et al., 2024).

Le système de production de charbon de bois a été étudié dans l'objectif d'identifier le type de main-d'œuvre mobilisée, laquelle peut être familiale, rétribuée ou non rétribuée, selon les différentes étapes du processus de production. L'étude a également porté sur les moyens de production utilisés, proportionnels à chaque étape du processus (Mana et al., 2001 ; Traoré, 2024).

8.6.4. Analyse des données

Les résultats de la présente étude ont été obtenus grâce à l'utilisation de statistiques descriptives, permettant la présentation des données sous forme de proportions, d'effectifs et de paramètres de dispersion tels que la moyenne et l'écart-type. Le logiciel Excel a été utilisé pour la constitution de la base de données, tandis que le logiciel SPSS 21 a servi à la fois pour les analyses descriptives et pour les traitements relevant de l'inférence statistique (Mpanzu et al., 2018).

Concernant le profil des charbonniers, des variables telles que l'âge, le statut matrimonial, le niveau d'étude, l'ancienneté ainsi que le type d'activité principale ont été intégrées dans l'analyse des déterminants des associations de charbonniers dans la zone rurale de Lubumbashi. (Bekele et Kemal, 2022). Les statistiques descriptives ont permis de présenter les variables qualitatives et quantitatives de la présente étude à l'aide de moyennes et d'écarts-types, afin d'en présenter une synthèse claire et représentative.

Des tests statistiques ont été utilisés, notamment l'analyse de la variance (ANOVA) et le test du khi deux. L'ANOVA a servi à évaluer le niveau de significativité des variables quantitatives, telles que le nombre d'échanges de moyens de production, le partage d'informations sur la carbonisation et le nombre de fois où des expériences ont été partagées entre charbonniers, en fonction des villages étudiés (Akara, 2022 ; Kesonga et al., 2023).

Le test du khi-deux, quant à lui, a été utilisé pour déterminer la significativité des différences observées entre les variables qualitatives, réparties selon les villages, considérés ici comme des répétitions. Cela nous a permis d'étudier les relations existant entre les producteurs de charbon de bois et leur main-d'œuvre utilisée, les services rendus entre ces acteurs, ainsi que leur expérience dans la production de

charbon de bois. La valeur p (p -value) a été considérée comme significative lorsqu'elle était inférieure à 0,05 (Akara, 2022 ; Kesonga et al., 2023).

L'analyse multivariée a également été mobilisée, notamment la régression logistique binaire, qui a permis d'identifier les facteurs déterminants la structuration des charbonniers en associations. Les variables intégrées au modèle étaient les suivantes : la variable dépendante représentait l'appartenance à une association informelle ; les variables indépendantes incluaient les variables socioéconomiques (âge, statut matrimonial, niveau d'étude, etc.), le fait d'être propriétaire terrien, le type de relation avec la main-d'œuvre non familiale gratuite, ainsi que les services rendus à d'autres charbonniers. Le modèle a été construit à l'aide du logiciel SPSS, avec un seuil de significativité fixé à $p < 0,05$ pour indiquer une relation statistiquement significative (Bekele et Kemal, 2022).

Enfin, sur la base de l'ensemble de ces données et analyses, nous avons pu identifier les facteurs susceptibles de favoriser le regroupement des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi en associations formelles, en tenant compte du fait que certains se reconnaissaient déjà comme membres de telles structures, tandis que d'autres non, de la production à la commercialisation.

8.7. Résultats

8.7.1. *Expérience des charbonniers et statut dans le village*

Il ressort des résultats de la présente étude en ce qui concerne l'expérience dans la production de charbon de bois, 29,6 % des enquêtés avaient déjà exercé cette activité dans d'autres villages que ceux étudiés dans le cadre de cette recherche. En revanche, 70,4 % n'avaient jamais produit de charbon de bois en dehors de leur village actuel. Par ailleurs, 51,1 % des charbonniers ont déclaré que la production de charbon de bois constituait leur activité principale. L'analyse statistique a mis en évidence des différences significatives dans cette répartition selon les villages (Test du khi deux, $p = 0,019$). L'agriculture était mentionnée comme activité principale par 44,4 % des enquêtés, tandis que le commerce représentait 3,7 % et que le travail dans la fonction publique concernait 0,7 % des cas. Concernant l'appartenance à une association, une majorité de 79,3 % des charbonniers a affirmé faire partie d'une association de type informel, tandis que 20,7 % n'en faisaient pas partie. Parmi ceux qui se disaient membres d'une association de charbonniers, 87,2 % ont indiqué n'avoir reçu aucune formation sur la production durable de charbon de bois, contre 12,8 % ayant déclaré avoir été formés à cet effet ($p = 0,000$). Enfin, s'agissant du statut dans les villages, la majorité des producteurs de charbon de bois étaient allochtones, tandis que 23,7 % étaient autochtones (Tableau 8-1).

Production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi

Tableau 8-1: Expérience dans la production de charbon de bois et statut dans le village des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi.
Avec n = effectif, % = Pourcentage

Variables	Occurrences	Villages				Total	P value
		Luisha n (%)	Maksem n (%)	Mwawa n (%)	Sela n (%)		
Production passée	Non	27 (20)	38 (28,1)	4 (3)	26 (19,3)	95 (70,4)	0,286
	Oui	17 (12,6)	10 (7,4)	1 (0,7)	12 (8,9)	40 (29,6)	
Activité principale	Agriculture	21 (15,6)	26 (19,3)	2 (1,5)	11 (8,1)	60 (44,4)	0,019
	Charbonnage	18 (13,3)	21 (15,6)	3 (2,2)	27 (20)	69 (51,1)	
	Commerce	5 (3,7)	-	-	-	5 (3,7)	
	Fonctionnaire	-	1	-	-	1 (0,7)	
Statut village	Allochtone	31 (22,9)	40 (29,6)	3 (2,2)	29 (21,5)	103 (76,3)	0,411
	Autochtone	13 (9,6)	8 (5,9)	2 (1,5)	9 (6,7)	32 (23,7)	
Associations	Non	11 (8,1)	8 (5,9)	-	9 (6,7)	28 (20,7)	0,479
	Oui	33 (24,4)	40 (29,6)	5 (3,7)	29 (21,5)	107 (79,3)	
Renforcement capacité	Non	21 (15,6)	40 (2,9)	5 (3,7)	29 (21,5)	95 (87,2)	0,000
	Oui	13 (9,6)	1(0,7)	-	-	14 (12,8)	

8.7.2. *Services rendus à d'autres charbonniers*

La majorité des enquêtés a affirmé avoir l'habitude de rendre des services à d'autres charbonniers. Ils représentaient 78,5 %, contre 21,5 % qui ne le faisaient pas. Les types de services rendus varient selon les différentes étapes de production et de commercialisation du charbon de bois. Certains charbonniers ont indiqué avoir aidé leurs collègues lors de l'une des étapes suivantes : abattage des arbres, découpage du bois, couverture de la meule avec de la terre, récolte du charbon ou conditionnement. Un autre groupe, représentant 46,2 % des enquêtés, a déclaré avoir apporté de l'aide à certaines étapes spécifiques, notamment le montage de la meule, sa couverture avec de la terre et la récolte du charbon. Un troisième groupe de 6,6 % a indiqué avoir aidé uniquement lors du découpage du bois, du montage de la meule et de sa couverture avec la terre. Enfin, seuls 0,9 % des charbonniers ont déclaré avoir assisté leurs collègues à toutes les étapes de la production de charbon de bois (Tableau 8-2).

Tableau 8-2: Types de services rendus en fonction des étapes de production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi. Avec n = effectif %= Pourcentage.

Variable	Occurrences	Villages					P Value Khi deux
		Luisha n (%)	Maksem n (%)	Mwawa n (%)	Sela n (%)	Total n (%)	
Services rendus	Non	12 (8,9)	10 (7,4)	-	7 (5,2)	29 (21,5)	0,482
	Oui	32 (23,7)	38 (28,1)	5 (3,7)	31 (22,9)	106 (78,5)	
Types services	Abattage, découpage, montage, couverture meule, récolte et conditionnement	11 (8,1)	15 (11,1)	4 (2,9)	19(14,1)	49 (46,2)	0,191
	Découpage, montage et couverture meule	3 (2,2)	2 (1,5)	-	2 (1,5)	7 (6,6)	
	Montage, couverture meule et récolte	17 (12,6)	21 (15,6)	1 (0,7)	10 (5,2)	49 (46,2)	
	Toutes les étapes	1 (0,7)	-	-	-	1 (0,9)	

8.7.3. *Echanges des moyens de production*

Des échanges entre charbonniers ont été observés tout au long du processus de production de charbon de bois. Concernant le nombre de matériels échangés, les outils

les plus répandus étaient la hache et la houe, avec une moyenne de trois par charbonnier. En moyenne, deux bûches étaient échangées par charbonnier, et une différence significative a été observée entre les villages à ce sujet ($p = 0,040$). La tronçonneuse, quant à elle, n'a été échangée qu'en moyenne une seule fois, uniquement dans les villages Luisha et Maksem. En ce qui concerne l'intensité des échanges, la bûche a été l'outil le plus échangé au cours du processus de production de la dernière meule. Elle a été utilisée en moyenne $3,9 \pm 1,1$ fois, soit environ quatre fois. Elle était suivie par la houe et la machette, échangées en moyenne trois fois chacune. La fourche a été échangée deux fois, et la tronçonneuse, une seule fois ($p = 0,049$) (Tableau 8-3).

Tableau 8-3: Moyens de production et intensité d'échanges entre producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi. Avec Moy = Moyenne ; E.T = Ecart-type ; Nbre = Nombre

Variables (Effectifs)	Villages					P value ANOVA
	Luisha Moy ± E.T	Maksem Moy ± E.T	Mwawa Moy ± E.T	Sela Moy ± E.T	Total Moy ± E.T	
Nbre haches (n=135)	2,3 ± 0,9	2,8 ± 1,5	2,0 ± 0,0	2,6 ± 1,1	2,6 ± 1,2	0,106
Nbre de fois échangées (n=135)	4,1 ± 1,0	3,8 ± 1,2	3,8 ± 0,5	3,7 ± 0,9	3,9 ± 1,1	0,319
Nbre de machettes (n=135)	1,8 ± 0,5	2,0 ± 0,7	1,8 ± 0,4	2,1 ± 0,6	1,9 ± 0,6	0,138
Nbre de fois échangées (n=135)	3,1 ± 1,3	3,0 ± 1,2	4,0 ± 1,0	3,2 ± 1,2	3,1 ± 1,2	0,371
Nbre de houes (n=135)	2,5 ± 0,9	2,5 ± 0,82	3,4 ± 1,8	2,8 ± 1,2	2,6 ± 1,0	0,132
Nbre de fois échangées (n=135)	3,4 ± 1,4	3,4 ± 0,9	2,6 ± 0,9	3,4 ± 1,2	3,4 ± 1,2	0,541
Nbre de bèches (n=135)	1,9 ± 0,56	2,1 ± 0,66	1,4 ± 0,6	1,8 ± 0,7	1,9 ± 0,6	0,040*
Nbre de fois échangées (n=135)	4,1 ± 1,6	3,4 ± 1,6	4,2 ± 1,5	3,6 ± 1,3	3,7 ± 1,5	0,181

Production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi

Nbre de fourches (n=108)	1,2 ± 0,4	1,1 ± 0,3	1,3 ± 0,5	1,1 ± 0,3	1,1 ± 0,4	0,755
Nbre de fois échangées (n=108)	1,6 ± 0,9	1,4 ± 0,9	2,0 ± 1,4	1,5 ± 0,9	1,5 ± 0,9	0,482
Nbre de tronçonneuses (n=9)	1,0 ± 0,00	1,0 ± 0,0	-	-	1,0 ± 0,0	-
Nbre de fois échangées (n=9)	2,5 ± 0,8	6,3 ± 4,0	-	-	3,8 ± 2,9	0,049*

8.7.4. *Partage d'expériences entre charbonniers*

Les résultats ont révélé que la majorité des charbonniers partageaient leurs expériences à chaque étape du processus de production et même de commercialisation du charbon de bois. Des différences significatives dans l'intensité des échanges entre villages ont été identifiées, avec une valeur de $p < 0,05$ pour toutes les étapes de production. Parmi celles-ci, l'étape de classement du bois lors de la construction de la meule s'est révélée particulièrement cruciale. Elle présentait la plus forte intensité d'échange, avec une moyenne de $6,1 \pm 2,5$ échanges entre charbonniers. Elle était suivie de l'étape de couverture du dessus de la meule, échangée en moyenne $3,9 \pm 2,1$ fois, puis du choix des espèces ($3,3 \pm 1,6$ fois), du suivi de la carbonisation ($2,9 \pm 1,4$), et de la récolte du charbon ($2,6 \pm 1,2$). Les informations relatives à la commercialisation ont également été échangées, avec une moyenne de $2,8 \pm 1,7$ échanges entre producteurs, comme l'illustre le tableau 8-4 ci-dessous.

Production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi

Tableau 8-4: Intensité d'échanges sur les différentes étapes de production et de commercialisation de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi. Avec Moy = Moyenne ; E.T = Ecart-type

Variables (Étapes)	Villages					P value ANOVA
	Luisha Moy±E.T	Maksem Moy±E.T	Mwawa Moy±E.T	Sela Moy±E.T	Total Moy±E.T	
Choix espèces (n=135)	2,5 ± 1,8	3,5±1,2	4,4±1,7	3,7±1,4	3,3 ± 1,6	0,001*
Hauteur d'abattage (n=132)	1,5±0,7	2,7±0,9	3,0±0,7	3,1±0,9	2,4±1,1	0,000*
Diamètre d'abattage (n=134)	1,7±0,9	2,8±1,2	3,4±1,1	2,9±0,8	2,5±1,2	0,000*
Classement bois (n=134)	,9±1,9	7,1±2,2	7,2±1,8	7,2±1,8	6,1±2,5	0,000*
Couverture flanc (n=133)	1,8±0,9	2,9±0,9	3,2±0,8	3,1±0,8	2,6±1,1	0,000*
Couverture au-dessus (n=135)	2,5±1,9	4,2±1,7	5,8±1,3	5,2±1,8	3,9±2,1	0,000*
Suivi de carbonisation (n=135)	2,2±1,3	3,2±1,2	3,4±1,3	3,4±1,6	2,9 ± 1,4	0,000*
Récolte (n=134)	1,6±0,6	3,1±1,2	3,4±0,5	3,0±0,9	2,6 ± 1,2	0,000*
Conditionnement (n=131)	1,5±0,8	2,8±1,07	2,6±0,9	2,7±0,9	2,4±1,06	0,000*
Commercialisation (n=134)	2,3±2,4	3,1±1,4	3,0±1,0	2,8±0,9	2,8 ± 1,7	0,184

*Moy : Moyenne ; E.T : Ecart type

8.7.5. Relations entre producteurs de charbon de bois et la main d'œuvre utilisée

Les résultats ont révélé l'existence d'affinités ou de liens de proximité entre les producteurs de charbon de bois, ainsi que les différents types de main-d'œuvre utilisée au cours du processus de production. Concernant la main-d'œuvre familiale gratuite, la majorité était composée des épouses des charbonniers (58,7 %), suivies des cousins (11,1 %) et des frères (9,5 %). S'agissant de la main-d'œuvre non familiale rémunérée, la plupart des personnes impliquées n'avaient aucun lien familial ni social direct avec le charbonnier (50 %). Les autres étaient des amis (28,6 %), des voisins (10,7 %), des collègues charbonniers (7,1 %), ou encore des personnes de la même confession religieuse (3,6 %). Des différences significatives entre villages ont été observées à ce sujet (ANOVA, $p = 0,022$). En ce qui concerne la main-d'œuvre non familiale gratuite, les collègues charbonniers constituaient la majorité (75,8 %), suivis des amis (20,9 %), des voisins (2,2 %), et des membres de la même confession religieuse (1,1 %). Là aussi, l'analyse de la variance a mis en évidence des différences significatives entre villages ($p = 0,030$) (Tableau 8-5).

Tableau 8-5: Types de relations entre charbonniers et la main d'œuvre utilisée dans la zone rurale de Lubumbashi. Avec n = effectif %= Pourcentage M.O : Main d'œuvre

Variables	Occurrences	Villages				Total n (%)	P value Khi deux
		Luisha n (%)	Maksem n (%)	Mwawa n (%)	Sela n (%)		
Relations familiales M.O gratuite (n=63)	Beaux frères	-	1 (1,6)	-	-	1 (1,6)	0,503
	Cousins	1 (1,6)	4 (6,3)	1 (1,6)	1 (1,6)	7 (11,1)	
	Enfants et gendres	1 (1,6)	-	-	-	1 (1,6)	
	Enfants et petits enfants	-	1 (1,6)	-	-	1 (1,6)	
	Epouse	8 (12,7)	12 (19)	-	17 (26,9)	37 (58,7)	
	Epouse et enfants	2 (3,2)	2 (3,2)	-	1 (1,6)	5 (7,5)	
	Frère	1 (1,6)	4 (6,3)	-	1 (1,6)	6 (9,5)	
	Neveux	1 (1,6)	1 (1,6)	-	1 (1,6)	3 (4,8)	
	Neveux et épouse	1 (1,6)	1 (1,6)	-	-	2 (3,2)	
	Relations M.O non familiale rémunérée (n=28)	Amis	6 (9,5)	2 (3,2)	-	-	
Aucune	8 (12,7)	6 (9,5)	-	-	14 (50)		
Collègues charbonniers	2 (3,2)	-	-	-	2 (7,1)		
Confession religieuse	1 (1,6)	-	-	-	1 (3,6)		
Voisins	2 (3,2)	1 (1,6)	-	-	3 (10,7)		

Relations gratuites (n=91)	non familiales	Amis	10 (15,9)	4 (6,3)	-	5 (7,9)	19 (20,9)	0,030*
		Collègues charbonniers	12 (19)	29 (46)	5 (7,9)	23 (36,5)	69 (75,8)	
		Confession religieuse	1 (1,6)	-	-	-	1 (1,1)	
		Voisins	2 (3,2)	-	-	-	2 (2,2)	

8.7.6. *Déterminants de structuration des charbonniers*

Les résultats révèlent que, parmi toutes les variables retenues dans la présente étude, aucune n'était liée à l'appartenance aux associations informelles, à l'exception du fait de ne rendre aucun service à d'autres charbonniers, qui s'est avéré fortement et négativement lié à cette appartenance. Cela souligne que l'appartenance aux associations de charbonniers était associée au fait de rendre des services aux autres charbonniers (Tableau 8-6).

Tableau 8-6 : Facteurs de structuration des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi.

	Variable	A	E.S.	Wald	ddl	Sig.	Exp(B)
Etape 1 ^a	Age	0,004	0,038	0,009	1	0,925	1,004
	Mariés	1,130	0,615	3,373	1	0,066	3,095
	Aucun niveau d'étude	-1,484	1,101	1,816	1	0,178	0,227
	Ancienneté	0,074	0,084	0,770	1	0,380	1,077
	Activité principale (charbonnage)	-0,216	0,592	0,133	1	0,715	0,806
	Non propriétaire terrien	0,126	0,884	0,020	1	0,887	1,134
	Aucune relation avec M.O non familiale gratuite	-0,668	0,765	0,762	1	0,383	0,513
	Non service aux autres charbonniers	-2,171	0,774	7,866	1	0,005*	0,114
	Constante	1,222	1,634	0,560	1	0,454	3,396

a. Variable(s) entrées à l'étape 1 : Age, Etat civil, Niveau d'étude, Ancienneté, Activité principale, Accès à la terre, Relations avec M.O non familiale gratuite, services aux autres charbonniers.

8.8. Discussion

8.8.1. *Services rendus à d'autres charbonniers*

Il ressort de nos résultats que la majorité des enquêtés rendaient des services à leurs collègues lors de la production de charbon de bois et cela dépendait des étapes de production et de commercialisation. Cette situation s'explique par le fait que certaines étapes de production de charbon de bois sont difficiles à réaliser seul et nécessitent un travail collectif. Voilà pourquoi Kesonga et al. (2024) montrent qu'en agriculture par exemple, les producteurs ont souvent recours à des formes d'entraide pour faire face aux contraintes du processus de production. De la même manière, Kouadio (2014) souligne que les charbonniers de Korogho en Côte d'Ivoire, sont régulièrement assistés par des amis, collègues ou membres de la famille pour rassembler le bois, le transporter jusqu'au site de construction de la meule, la fermer, voire pour le financement de l'activité. Il convient également de noter que, pendant les vacances scolaires, certains jeunes viennent prêter main-forte à leurs parents, comme le rapportent Koech et al. (2022).

8.8.2. *Echanges des moyens de production*

Nos résultats ont révélé que les producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi utilisaient principalement des moyens de production tels que la houe, la bêche et la hache. Ces outils, essentiels dans le processus de production, étaient également fréquemment échangés entre producteurs, en particulier la bêche, qui a connu une forte intensité d'échange. Pour construire une meule, l'utilisation de ces différents outils est indispensable, car ils jouent un rôle central dans le processus. À ce propos, Lidju et al. (1982) ont déjà souligné l'importance de la bêche et de la houe pour le creusage nécessaire à la production de charbon de bois dans les zones suburbaines de Kisangani. Le même usage a été observé dans la zone rurale de Lubumbashi, où la houe et la bêche servent à creuser et à collecter la terre pour couvrir la meule. L'usage de la tronçonneuse a également été identifié, mais la majorité des enquêtés utilisaient plutôt la hache, qu'ils s'échangeaient pour abattre les arbres. Dans d'autres contextes, comme au sud de Bangui en République Centrafricaine, la tronçonneuse est mise en location entre charbonniers, car son usage implique des frais liés au carburant (Gazull et Peltier, 2020). Une situation similaire est observée en Afrique de l'Ouest, où la tronçonneuse est parfois utilisée pour l'abattage illégal du bois (Popoola, 2011).

8.8.3. *Partage d'expériences*

La majorité des charbonniers partageaient leurs expériences entre eux au cours du processus de production de charbon de bois. L'intensité de ces échanges variait selon les étapes de production, certaines nécessitant plus d'interactions que d'autres. Cette dynamique s'explique par le fait que la production de charbon de bois exige un savoir-faire spécifique, ce qui pousse de nombreux producteurs à s'associer dans des regroupements perçus comme des espaces d'échange d'expériences. Selon Alemayehu et al. (2023), les organisations formelles jouent un rôle clé dans la

production durable de charbon de bois, notamment grâce à la circulation des savoirs entre producteurs. Par ailleurs, l'accès à l'information est considéré comme l'un des éléments les plus importants au sein d'un groupe de charbonniers, aux côtés de l'accès aux marchés et aux technologies (Kabisa & Ncheengamwa, 2019 ; Luvanda et al., 2016).

8.8.4. *Relations entre producteurs de charbon de bois et la main d'œuvre utilisée*

Des relations de plusieurs types ont été identifiées entre les charbonniers et les personnes leur ayant rendu service au cours du processus de production. Ces services pouvaient être rémunérés ou gratuits, selon la nature des relations entretenues. Dans le cas des relations familiales, les épouses étaient les plus impliquées, suivies des frères, enfants et cousins. De manière générale, la production traditionnelle de charbon de bois est une activité collective et familiale (Maertens et Stork, 2018), dans la mesure où les revenus générés servent à soutenir et renforcer les liens familiaux (Tamboura et al., 2022).

Selon Konan (2023), les enfants jouent également un rôle important dans certains ménages de charbonniers, notamment par leur participation active à la production. Dans certains cas, des enfants sont impliqués aux côtés de la main-d'œuvre salariée, en raison du poids physique du travail (Tassie et al., 2021). Le rôle des femmes dans cette activité est également essentiel. Elles interviennent non seulement en tant qu'aides, mais aussi, dans plusieurs contextes, en tant que productrices à part entière, contribuant ainsi de manière significative aux revenus du ménage (Smith et al., 2016 ; Jones, 2015). La main-d'œuvre salariée est souvent mobilisée pour des tâches considérées comme particulièrement pénibles, telles que la coupe, le transport ou l'empilement du bois lors du montage de la meule (Mana et al., 2001). À Lubumbashi, pour les étapes de production demandant un effort important, les charbonniers faisaient appel à une main-d'œuvre gratuite, qu'elle soit familiale ou non, incluant notamment les amis (Trefon et al., 2010).

8.8.5. *Déterminants de structuration des charbonniers*

Les résultats ont révélé que l'appartenance à une structuration dans la zone rurale de Lubumbashi était liée au fait que le charbonnier rendait des services gratuitement à ses collègues. Ainsi, se regrouper permet de mutualiser les efforts, d'alléger la charge de travail et de réduire les dépenses liées à la production de charbon de bois (Obadimu et al., 2023 ; Tassie et al., 2021).

Par ailleurs, nos résultats montrent que les charbonniers faisaient appel à une main-d'œuvre non familiale gratuite, ce qui témoigne des liens de proximité créés par l'activité de carbonisation. Comme dans le cas de l'agriculture, la production de charbon de bois repose sur une logique d'entraide. Celle-ci implique aussi bien des membres de la famille que des collègues, dans un système de réciprocité de main-d'œuvre (Ferraton et Touzard, 2009). Cela confirme que la carbonisation est une activité à forte intensité de travail (Mbuangi et al., 2021), nécessitant une main-d'œuvre qui peut être familiale ou non, rétribuée ou gratuite.

En plus de recourir à l'aide d'autrui, la majorité des producteurs rendent également des services à d'autres charbonniers, comme l'ont montré nos résultats. Cela fonctionne souvent comme une forme de compensation ou d'échange de services. Dans cette logique, Montagne et al. (2009) suggèrent de regrouper les meules sur un même site, ce qui faciliterait l'entraide, le suivi simultané des carbonisations, et améliorerait ainsi les rendements.

L'échange d'instruments et d'informations entre charbonniers apparaît également lié à l'appartenance à une association. La production de charbon de bois, en tant qu'activité collective, renforce les liens sociaux. Des relations d'amitié se nouent, favorisant les prêts d'outils et les échanges de savoir-faire sur les techniques de production (Smith et al., 2016). Bien que ces organisations soient informelles, elles poursuivent des objectifs précis, comme celui de fournir des services entre membres (Dugué et al., 2012).

8.8.6. *Limites de l'étude*

La présente étude comporte certaines limites, notamment sur le plan méthodologique. Bien que des enquêtes aient été réalisées en 2021 au niveau des ménages, dans le but d'identifier les chefs de ménages producteurs de charbon de bois, les enquêtés de cette présente étude ne proviennent pas nécessairement du même groupe. En effet, les enquêtes spécifiques à cette recherche n'ont été menées qu'en 2024. Ainsi, même si la taille de l'échantillon actuel (135 enquêtés) est conforme à celle recommandée par l'étude précédente (131 enquêtés), il n'est pas garanti que les mêmes personnes aient été enquêtées. Cela reflète le principe de l'échantillonnage stratifié en plusieurs phases, tel que décrit par Kalton (2009) et Preston (2009), où une première phase consiste en une présélection et une seconde en un échantillonnage final. En augmentant légèrement la taille de l'échantillon à 135, nous avons respecté les exigences statistiques sans compromettre la validité des résultats, puisque les caractéristiques des producteurs enquêtés étaient similaires. Il en est de même pour les villages retenus pour la comparaison, qui présentaient des caractéristiques similaires. C'est ce critère de similarité qui a justifié leur sélection à l'issue des enquêtes exploratoires menées dans la zone (Kasanda et al., 2024 ; Trefon et al., 2010).

Par ailleurs, l'étude n'a pas exploré en détail les étapes de formalisation des regroupements de charbonniers. Cependant, elle propose des pistes concrètes pour appuyer la création future d'organisations paysannes plus structurées. Ce thème pourrait faire l'objet de recherches approfondies, en particulier dans le contexte de Lubumbashi, où les structurations visent à renforcer l'initiative locale, l'autonomie, la défense des intérêts communs, et à améliorer la commercialisation par des négociations collectives efficaces (Imbou-Ngalamou, 2016).

8.8.7. *Implications sur le devenir de l'activité de carbonisation*

La production de charbon de bois constitue l'activité principale pour la majorité des charbonniers, qui se considèrent pour la plupart comme membres d'associations, bien

qu'informelles. De manière générale, en milieu rural, cette production reste largement informelle. C'est dans ce sens que Grouwels et al. (2021) ont révélé qu'en Zambie et au Zimbabwe, les communautés pauvres, disposant de moyens limités, s'organisent en associations de producteurs pour faire face à diverses contraintes. Cela illustre une volonté manifeste des charbonniers de se structurer, mais freinée par le manque de ressources et l'absence d'un encadrement légal adéquat.

La majorité des charbonniers étaient des autochtones. En tant que membres d'associations non reconnues par l'État, ils n'avaient reçu aucune formation sur les techniques de carbonisation durable. Cette situation résulte de leur appartenance à des structures informelles, ce qui les prive d'accès aux formations techniques indispensables. Or, une association formelle permettrait de promouvoir des pratiques de production durables et d'améliorer les revenus de ses membres (Kamwilu et al., 2021).

La plupart des enquêtés avaient l'habitude de rendre des services à leurs collègues à différentes étapes de la production et de la commercialisation, notamment par l'échange de matériels et d'informations. Cela constitue un atout majeur pour organiser ces producteurs en associations structurées. De façon analogue, Kesonga et al. (2024) ont montré que, dans le secteur agricole, les producteurs ont souvent recours à l'entraide durant leurs cycles de production, en échangeant intensément matériels et informations. Ces échanges, ainsi que la mutualisation des efforts entre charbonniers, offrent de nombreux avantages lorsqu'ils sont formalisés. Ils facilitent la régulation du secteur, garantissent une production plus durable, soutiennent les services forestiers dans l'application des dispositions légales, et contribuent à l'amélioration des revenus des producteurs, étant donné que cette activité représente une source essentielle de subsistance (Grouwels et al., 2021).

L'étude a mis en évidence l'existence d'affinités entre les producteurs de charbon de bois. Par ailleurs, elle a révélé une corrélation significative entre l'appartenance à une association et le fait de rendre des services à d'autres charbonniers. Cela démontre que la production de charbon de bois engendre des dynamiques sociales et professionnelles, constituant ainsi un levier pour une organisation formelle des producteurs. En République Démocratique du Congo, le cadre juridique en vigueur, notamment le Code forestier, garantit une exploitation durable des ressources forestières. Ce cadre permettrait également de répondre aux pressions entravant la formalisation des regroupements de charbonniers (Mvondo et al., 2009).

Ainsi, la production de charbon de bois, longtemps considérée comme une activité informelle en République Démocratique du Congo (Ngé, 2021), pourrait, grâce à l'organisation des producteurs en structures collectives, bénéficier d'une reconnaissance officielle de la part de l'État. Une telle reconnaissance permettrait aux charbonniers d'exercer leur métier dans de meilleures conditions et de s'acquitter plus justement des obligations fiscales. Cela est d'autant plus important que, malgré l'existence de textes encadrant le secteur du bois-énergie, les recettes générées restent faibles. Cette situation s'explique notamment par la multiplication de taxes informelles, qui nuisent à la transparence et à l'efficacité du système fiscal (Mvula et Schure, 2012).

8.9. Conclusion

La présente recherche avait pour objectif d'identifier les facteurs qui motivent les producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi à se structurer en organisations. À la suite des enquêtes menées auprès de ces producteurs, les résultats ont révélé que la production de charbon de bois constitue l'activité principale pour la majorité d'entre eux. Le travail est généralement réalisé de manière informelle, en groupe, avec des formes d'entraide notables, notamment le partage de moyens de production. La majorité des enquêtés (78,5 %) déclaraient rendre des services à d'autres charbonniers à différentes étapes du processus de production.

Le partage d'expériences portait sur la plupart des étapes, tant dans la production que dans la commercialisation du charbon de bois. Des liens de proximité ont été observés, en particulier avec la main-d'œuvre gratuite, souvent constituée d'amis ou de voisins, non rémunérés mais activement impliqués. Concernant l'organisation collective, les résultats montrent qu'il existe une relation significative entre l'appartenance à une association informelle et le fait de rendre des services à d'autres charbonniers.

Ces résultats confirment l'existence de formes d'entraide et d'échanges d'informations et d'outils entre charbonniers à certaines étapes spécifiques de la production ou de la commercialisation du charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi. Par contre, le profil socioéconomique n'influence pas l'appartenance aux associations, et les échanges ainsi que les entraides entre charbonniers ne varient pas en fonction des villages.

Enfin, les variables identifiées dans cette étude constituent des leviers essentiels pour structurer les charbonniers en organisations formelles. Cette structuration pourrait contribuer à améliorer les modes d'exploitation des ressources forestières dans la région. Il est donc recommandé de mener des études approfondies sur les modalités de formalisation des structures existantes. Le cadre légal en République Démocratique du Congo, qui promeut une exploitation durable des ressources forestières, représente un atout pour formaliser ces associations. Une telle reconnaissance institutionnelle permettrait aux charbonniers d'améliorer à la fois leurs pratiques de production et leurs revenus, grâce aux dynamiques collectives dont ils pourraient bénéficier.

Chapitre 9

Discussion générale

9.1. Méthodologie appliquée dans la réalisation de la thèse

9.1.1. *Choix des villages de la présente étude*

Il s'agit des méthodes et techniques auxquelles nous avons eu recours tout au long de notre thèse. Trois points sont abordés : le choix des sites, l'échantillonnage, et les différentes analyses de données effectuées.

Pour collecter les données de notre thèse, nous avons retenu quatre villages de la zone rurale de Lubumbashi : Maksem, Luisha, Mwawa et Sela. Ces sites font partie des 15 villages identifiés lors des enquêtes exploratoires. Ils nous ont été indiqués par les vendeurs de charbon de bois rencontrés dans les dépôts de la ville de Lubumbashi. Le choix de ces quatre villages s'explique par la combinaison de plusieurs critères issus des enquêtes exploratoires menées dans chacun d'eux. Nous avons procédé à une analyse du milieu par des observations directes, complétées par des entretiens avec des personnes ressources locales. Nous avons également constaté un fort engouement des acteurs de la commercialisation pour ces villages, qui s'y approvisionnaient régulièrement, ainsi qu'une présence marquée de grandes quantités de charbon de bois, en comparaison avec les autres villages, ce qui a retenu notre attention.

L'étude aurait pu inclure plus de quatre villages de charbonniers, mais nous avons retenu ces sites en tenant compte, outre les critères évoqués, de leur localisation autour de Lubumbashi dans les directions Nord, Sud, Est et Ouest. Cette configuration garantissait la représentativité des autres villages, situés dans un rayon de 80 km autour de la ville. Ces quatre villages, par leur forte intensité de production, exercent un effet d'entraînement sur les villages environnants. De plus, leur accessibilité renforce leur rôle dans l'approvisionnement de Lubumbashi en charbon de bois en grandes quantités.

Ainsi, ces sites n'ont pas été sélectionnés de manière arbitraire ou ciblée à l'avance, mais ont fait l'objet d'un processus rigoureux de sélection, incluant plusieurs étapes. Cela leur confère un avantage important pour la généralisation des résultats de la présente étude (Robert et al., 2013).

9.1.2. *Types d'échantillonnage*

C'est en fonction des types d'informations recherchées que nous avons réalisé notre échantillonnage. Ainsi, pour l'étude socioéconomique, qui constitue le point de départ de la partie résultats de notre recherche doctorale, nous avons enquêté les chefs de ménages des quatre villages retenus. Nous avons donc quatre populations cibles, correspondant au nombre de ménages dans chacun des villages. Il nous a paru opportun d'interroger chaque chef de ménage. Henry (2003) souligne qu'en pareille circonstance, il est pertinent d'appliquer la formule de Bernoulli pour obtenir un échantillon représentatif, tenant compte des différentes populations, afin de déterminer une taille d'échantillon généralisable à l'ensemble des sites étudiés. Ainsi, après calcul, nous avons retenu un total de 258 chefs de ménages, enquêtés dans le

but de mieux comprendre les activités socioéconomiques exercées dans ces quatre villages de producteurs de charbon de bois.

Cette approche a déjà fait ses preuves dans la validation de résultats en sciences sociales, notamment en agroéconomie, comme l'a démontré Muteba (2014) dans sa caractérisation des modes de consommation alimentaire à Kinshasa, ou encore Sabuhungu (2016) dans son étude sur la demande en charbon de bois des ménages de Bujumbura, au Burundi. Ainsi, le nombre d'enquêtés était suffisant pour tirer des conclusions fiables sur les charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi.

Le deuxième type d'échantillonnage a été réalisé de manière raisonnée, à partir du premier. Nous avons identifié 131 chefs de ménages charbonniers parmi les 258 précédemment enquêtés. Pour garantir une bonne répartition selon les villages, nous avons étendu notre enquête à 135 charbonniers. Cette phase n'a concerné que les charbonniers, afin d'obtenir des données spécifiques à tous les types de producteurs. Ce type d'échantillonnage raisonné nous a permis d'étudier les déterminants de la structuration des charbonniers, et de généraliser les résultats à l'ensemble de la population des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi, étant donné leurs caractéristiques communes (Savoie-Zajc, 2007). Comme cette deuxième enquête ne pouvait être réalisée en même temps que la première, nous avons retenu ce nombre sur la base des données précédentes. Ce type d'enquête est souvent utilisé lorsque les antécédents de la population sont connus et que des unités-types peuvent être fixées (Desabie, 1963). Dans notre cas, la variable d'intérêt était le statut de producteur de charbon de bois parmi les 258 chefs de ménages, ce qui renforce la validité de notre échantillonnage.

Troisièmement, un échantillon de 20 charbonniers a été retenu parmi les 131. Ce nombre réduit s'explique par le fait que l'enquête portait exclusivement sur les charbonniers professionnels. En outre, des études de suivi sur les meules de carbonisation et la commercialisation ont permis une approche plus pratique, fondée sur la collecte directe de données au niveau des meules et auprès des enquêtés, en vérifiant les déclarations sur le terrain. Cette approche est couramment utilisée dans les études de suivi des meules (Schure et al., 2021). Les résultats peuvent être généralisés à l'ensemble de la population, car ce nombre réduit facilite la réalisation de l'étude ce qui serait difficilement envisageable avec une population plus vaste, en raison des contraintes de temps et de moyens.

Toutefois, la limite de cette méthode apparaît lorsqu'il s'agit d'une étude purement sociale, où elle peut soulever des questions de validité. Dans notre cas, cette méthode est applicable, le contexte étant particulier, avec des acteurs présentant des caractéristiques et des pratiques similaires (Kasanda et al., 2024). Le suivi des meules s'avère plus adapté qu'une enquête déclarative auprès des charbonniers, qui ne maîtrisent pas toujours les informations techniques relatives au processus de carbonisation en raison de sa complexité. Cette méthode permet de collecter des données précises et de comparer les variables entre différentes meules. Elle a démontré son efficacité dans l'étude de Schure et al. (2019), qui a comparé les rendements de meules situées respectivement dans le plateau de Batéké et à

Yangambi. De même, Semeki et al. (2024) ont pu comparer l'efficacité de meules utilisant deux espèces d'acacias.

9.1.3. Collecte des données de thèse

Deux catégories de données ont été recueillies dans cette étude. Il s'agit des données d'enquête ainsi que de celles issues des prélèvements. Concernant les données issues des prélèvements, elles ont exclusivement porté sur le pesage du bois afin de déterminer la masse de 1 m³ de bois de miombo autour de la ville de Lubumbashi. Cette donnée était essentielle pour le calcul des rendements de carbonisation. Ainsi, après cinq pesages de bois provenant d'une dizaine d'espèces de miombo, dont le taux d'humidité variait selon la période d'abattage et l'espèce, nous avons pu estimer qu'1 m³ de bois correspondait à 720,4 kg. A titre comparatif, dans la même zone, Munkner et al. (2015) avaient utilisé une estimation de 725 kg/m³ pour le miombo. Notre valeur s'en approche, mais contrairement à leur étude, nous avons effectué des pesages réels, ce qui renforce la fiabilité de notre donnée.

Les autres données de mensuration concernaient le diamètre du bois et le taux d'humidité. Un mètre ruban a été utilisé pour ces mesures, étant un outil bien adapté à ce type de relevé. Le taux d'humidité est crucial dans le calcul du rendement de carbonisation, car ce rendement est souvent exprimé sur une base anhydre, c'est-à-dire à partir de bois totalement sec (Schenkel et al., 1997). Le calcul tenant compte du taux d'humidité a donc été privilégié dans notre étude. Cette approche est également soutenue par le prélèvement réel du taux d'humidité, comme l'ont fait Semeki et al. (2024), ce qui a permis d'établir différents rendements de carbonisation.

S'agissant des données d'enquête, nous avons caractérisé les charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi en analysant leur profil sociodémographique et ethnographique, leurs moyens de production et leur mode d'organisation du travail. Temmerman et al. (2019) montrent que les caractéristiques des producteurs, notamment leur savoir-faire, jouent un rôle important lors de la carbonisation. De même, Dabat et al. (2010) soulignent que le mode d'exploitation des ressources et les rendements dépendent de la qualification et de l'expérience du producteur. Il convient cependant de noter que l'expérience d'un charbonnier ne se limite pas au nombre d'années d'exercice : le niveau d'instruction est également un facteur clé. Comme l'indique Nge (2012), un faible niveau d'étude est associé à des pratiques non durables dans la zone d'approvisionnement de Lubumbashi. C'est pourquoi les données sur les caractéristiques des charbonniers étaient cruciales pour éclairer d'autres aspects de notre recherche doctorale.

Les enquêtes auprès des charbonniers à monitorer dans la zone rurale de Lubumbashi ont débuté avant le suivi proprement dit. Des données ont d'abord été collectées auprès de 20 charbonniers professionnels, afin de mieux comprendre leur accès à la terre, leur mode d'exploitation des ressources, et leur niveau de connaissance technique. Ce nombre réduit a été choisi pour préparer le terrain avant de lancer le suivi des meules. Les meules appartenant à ces charbonniers ont été suivies pendant près de 9 mois, tout comme la commercialisation du charbon de bois récolté (Schure et al., 2019). Ce suivi prolongé a permis d'analyser les effets

saisonniers sur la carbonisation et la commercialisation. En effet, une étude conduite sur une seule saison n'aurait pas permis de capter ces variations.

Enfin, des données socioéconomiques ont été collectées auprès des charbonniers professionnels et occasionnels, dans le but de déterminer les facteurs de structuration de ces acteurs en organisations formelles. Ces données, considérées comme essentielles, ont permis de comprendre comment le profil socioéconomique influence les pratiques (Nge, 2012). Les liens sociaux entre producteurs ont également été étudiés, puisque la structuration repose en grande partie sur ces dynamiques relationnelles (Kesonga et al., 2024). Ces données nous ont permis de mieux identifier les facteurs déterminants la structuration des charbonniers dans la zone rurale de Lubumbashi.

9.1.4. Analyse des données de thèse

Les données analysées dans cette étude ont été qualitatives ou quantitatives, en fonction des types de résultats attendus. Les statistiques descriptives nous ont permis, tout en estimant différents paramètres, de prendre des décisions et d'expliquer nos résultats (Ouedraogo, 2015). Ensuite, plusieurs tests ont été mobilisés, notamment : l'ANOVA, le test du Khi-deux, le test t de Student, les analyses multivariées, telles que l'étude des corrélations, les Analyses en Composantes Multiples (ACM), ainsi que la régression logistique. Cette combinaison de tests s'est révélée efficace pour produire des résultats probants dans le cadre de cette étude. Ces analyses ont permis de tester rigoureusement les hypothèses émises, en raison de leur pertinence à chaque étape où elles ont été appliquées. La saisie des données collectées a été effectuée dans Excel, tandis que les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SPSS version 21. Le choix de ce logiciel est adapté aux analyses en sciences sociales, ce qui correspond à notre recherche, qui aborde des aspects techniques, sociaux et économiques liés à la carbonisation autour de Lubumbashi.

1°) Pour déterminer les caractéristiques des producteurs de charbon de bois, les variables du profil telles que l'âge, le genre et le niveau d'étude ont été analysées. Les charbonniers de la zone se considèrent majoritairement comme des hommes forts, et généralement, le fait d'être jeune est perçu comme un atout pour exercer ce type d'activités (Trefon et al., 2010). Cette analyse a été réalisée en distinguant les producteurs professionnels des occasionnels, afin de comprendre si l'activité se professionnalise davantage autour de Lubumbashi.

La littérature indique en effet que ces deux catégories de producteurs dominent la région (Trefon et al., 2010 ; Munkner et al., 2015). Ce mode d'analyse est approprié pour identifier les dynamiques liées aux caractéristiques de ces acteurs. Dubiez et al. (2021) révèlent par exemple que, dans la ville de Bukavu, les charbonniers professionnels obtiennent de meilleurs revenus car ils vendent leur production directement en ville, en utilisant du bois issu de plantations. La production de charbon représente leur principale source de revenu, contrairement aux charbonniers occasionnels, qui tirent leurs revenus d'autres activités. Ainsi, l'ambiguïté autour des caractéristiques de ces deux types de charbonniers mérite d'être levée par une analyse

plus minutieuse, dépassant les seuls aspects sociodémographiques et socio-ethnographiques.

Enfin, le statut dans le village a également été étudié pour différencier les autochtones des allochtones, compte tenu du fait que la zone rurale de Lubumbashi connaît un afflux de personnes venues des villes, souvent à la retraite ou en quête d'emploi. Cette réalité influence le mode d'exploitation des ressources (Trefon et al., 2010).

2°) Le mode d'exploitation ainsi que l'accès aux ressources ont été étudiés afin de comprendre comment les producteurs de charbon de bois professionnels accédaient aux ressources et les exploitaient. L'objectif était de saisir les effets de la professionnalisation des charbonniers dans la zone sur les ressources forestières et sur leurs pratiques. L'analyse des superficies exploitées et possédées a permis d'évaluer la vitesse de déforestation par ces acteurs. Cette approche s'est révélée adaptée et simple, car elle a intégré la dimension temporelle. Il a été question de comprendre le niveau d'implication du droit formel ainsi que celui du pouvoir coutumier, comme le souligne Nge (2021), qui mentionne un chevauchement entre ces deux systèmes.

3°) Le rendement de carbonisation a été étudié en effectuant les calculs selon la méthode de Schenkel et al. (1997). Cette approche est largement utilisée dans la littérature (Schure et al., 2019 ; Semeki et al., 2024). Le principe consiste à établir un rapport entre la quantité de charbon de bois récolté après carbonisation et la quantité de bois utilisée. Cette technique a permis d'estimer le rendement spécifique à la présente étude. En ce qui concerne les déterminants du rendement, une matrice de corrélations a été utilisée pour quantifier et tester les relations entre variables quantitatives, notamment la p-value et le coefficient de détermination. Cela a permis de statuer sur l'existence et le niveau de relation entre ces paramètres (Rakotomalala, 2012). Les décisions ont été prises sur la base du coefficient de détermination, qui mesure le niveau de liaison entre les variables. Pour la présente étude, les variables suivantes ont été étudiées : les dimensions des meules et du bois, la quantité de bois utilisée, le taux d'humidité, les dimensions des bois abattus, le nombre de jours de carbonisation. Le choix de ces variables visait à comprendre le lien entre le mode d'exploitation du bois et le rendement de carbonisation dans la zone. Le rendement de carbonisation dépend en effet de plusieurs facteurs. Semeki et al. (2024) révèlent qu'il est fonction du volume de bois, de la masse totale de charbon de bois, de la surface du four de carbonisation, ainsi que de la masse de charbon non cuit, ce dernier facteur n'étant cependant relevé que pour les fours.

Les variables qualitatives influençant le rendement de carbonisation ont été déterminées à partir d'une Analyse en Composantes Multiples (ACM). Cette méthode permet de représenter les similitudes entre les individus et entre les modalités des variables qualitatives (Chavent, 2015). Comme pour les variables quantitatives, cette méthode d'analyse a permis de faire ressortir les variables qualitatives liées au mode d'exploitation des ressources forestières qui influencent la carbonisation dans la zone rurale de Lubumbashi. Pyshyev et al. (2021) montrent que la composition de la biomasse peut affecter la qualité du charbon de bois. De même, l'essence d'arbre utilisée a un impact direct sur le rendement de carbonisation (Semeki et al., 2024).

Ainsi, des variables telles que : l'espèce d'arbre utilisée, la saison, le type de substrat, en tant que facteurs qualitatifs liés à l'exploitation des ressources arborées autour de Lubumbashi, ont été étudiés pour analyser leur influence sur le rendement de carbonisation.

4°) Comme dans le cas des variables quantitatives influençant le rendement de carbonisation, la matrice de corrélation a permis d'identifier les déterminants de la rentabilité de la production de charbon de bois, après sa commercialisation. Le charbon de bois, en tant qu'output (produit issu de la transformation du bois), ne doit pas être analysé uniquement sous l'angle technique. Il a été nécessaire d'étudier l'impact des différentes pratiques des charbonniers sur la rentabilité financière de l'activité (Schure et al., 2011).

Les prix de vente ainsi que les coûts ont été considérés comme des variables pouvant influencer directement le profit. Toutefois, au-delà de la simple détermination du profit, la marge bénéficiaire et le ratio Bénéfice/Coût ont été calculés pour analyser la performance économique. Cela diffère d'une étude limitée à l'analyse du profit, car dans l'analyse de performance, notamment à travers la marge bénéficiaire, on évalue la part du profit dans le revenu (Schure et al., 2011).

5°) Bien qu'il s'agisse d'une étude sur les déterminants, une régression logistique a été utilisée pour identifier les facteurs de structuration des charbonniers dans des organisations de producteurs de charbon de bois. La régression logistique, couramment utilisée dans les études sur les facteurs déterminants, est efficace car elle permet, pour décider de la relation entre les variables, de se baser à la fois sur la p-value (qui doit être $< 0,05$) et sur le coefficient logit (Chiteculo et al., 2018). Dans d'autres études, le test du khi deux est souvent utilisé. Cependant, avec celui-ci, seule la p-value détermine la significativité, alors que la régression logistique offre une meilleure interprétation des relations. Ainsi, le choix de la régression logistique nous a permis de mieux comprendre les relations entre l'appartenance à une organisation de producteurs de charbon de bois et plusieurs facteurs : les caractéristiques socioéconomiques des charbonniers, les modalités d'accès à la terre, les relations avec la main-d'œuvre, et le fait de rendre des services à d'autres charbonniers. Il convient d'ajouter qu'en plus de cette analyse multivariée, un test t de Student a été réalisé pour comparer les effets saisonniers sur la rentabilité de la commercialisation du charbon de bois produit dans la zone rurale de Lubumbashi. Cette approche est la plus appropriée dans ce type de comparaison, lorsque l'on examine deux modalités qualitatives, en l'occurrence la saison sèche et la saison de pluie (Kiruki et al., 2017).

9.2. Résultats de la thèse

9.2.1. Caractéristiques des producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi

Les résultats ont révélé que les producteurs de charbon de bois de la zone rurale de Lubumbashi étaient répartis en deux groupes : les charbonniers occasionnels et les professionnels. Ces derniers représentaient plus de la moitié des producteurs. Nos résultats confirment que l'activité de carbonisation tend à se professionnaliser

davantage, puisque les professionnels sont désormais majoritaires, alors que, quelques années plus tôt, la situation était inversée (Munkner et al., 2015). En République Démocratique du Congo, nos résultats vont dans le même sens que ceux d'autres auteurs en ce qui concerne la professionnalisation de l'activité. Autour de Mbanza-Ngungu, dans l'actuelle province du Kongo Central, la production de charbon de bois se professionnalise également, alors qu'elle était autrefois exercée par des producteurs occasionnels. Cette évolution est due à la forte demande de la ville de Kinshasa, la zone étant proche de la capitale (Gutu Kia Zimi, 2014).

Ces résultats rejoignent la majorité des études menées en Afrique subsaharienne, où ces deux types de charbonniers ont été identifiés. Par exemple, au Sénégal, dans le département de Bignona, les professionnels sont peu nombreux car leur rayon d'action est restreint : la production est interdite dans la majeure partie du département, sauf dans les Kalounayes. Cela montre que l'activité n'y est pas développée comme dans notre zone d'étude, où elle est largement pratiquée sans restriction (Coly et al., 2021). Il en est de même au Burkina Faso, où l'on observe également les deux catégories de charbonniers, utilisant le même type de meules et les mêmes techniques de production.

Au Burkina Faso, les professionnels exercent cette activité comme principale source de revenu, tandis que les occasionnels la pratiquent de manière ponctuelle, souvent illégale, pour obtenir un revenu d'appoint (Gautier et al., 2014). En Turquie, les autorités recommandent aussi la professionnalisation du secteur, en distinguant les producteurs selon qu'ils soient réguliers ou non. Les producteurs occasionnels, considérés comme non professionnels, devraient également bénéficier de formations techniques, notamment sur l'amélioration des fours traditionnels (Menemencioğlu, 2013).

Les hommes sont les plus nombreux parmi les charbonniers, et ils sont généralement jeunes. La plupart sont allochtones. Cela corrobore les résultats de Trefon et al. (2010), qui soulignent que l'activité de carbonisation exige une force physique importante, ce qui explique l'engagement des jeunes. De plus, en raison de la forte demande et du manque d'emplois à Lubumbashi, de nombreuses personnes migrent depuis la ville vers les villages pour produire du charbon de bois, ce qui explique le nombre élevé d'allochtones.

En RD Congo, la production de charbon de bois est aussi étroitement liée aux appartenances ethniques. Généralement, ce sont les autochtones qui la pratiquent, car ils bénéficient d'un accès direct aux ressources forestières. Par exemple, dans le plateau de Batéké, les Téké dominaient la production : dans le village de Yolo, ils représentaient 61 % des producteurs, contre 26 % de Yaka, 6,5 % de Balamba, 3,25 % de Luba et 3,25 % de Tetela (Péroches, 2012).

La présence d'autres ethnies non autochtones dans cette activité rappelle la situation observée au Bénin, où la technique de production à l'aide de meules s'est diffusée à travers tout le pays. Il devient ainsi difficile d'identifier une région qui n'exerce pas cette pratique, tant la participation est généralisée à toutes les ethnies (Mama et Biaou, 2017).

Dans d'autres pays africains, comme le Sénégal, une diversité ethnique est également observée. Dans le massif forestier de Thiéwal, la majorité des producteurs sont des Peuls (96 %), contre 2 % de Diakanké et 2 % de Koniagui (Barry, 2023). Cette diversité est aussi notée par Baldé (2016), qui souligne que l'exploitation forestière est dominée par les Peuls, Diolas, Mankagnes et Manjacks. Au Kenya, la situation est différente : entre 1975 et 1991, les forêts ont perdu près de la moitié de leur volume à cause d'une exploitation intense, menée principalement par les autochtones de l'ethnie Luhya, installés dans ces zones depuis des siècles. Pour cette communauté, la forêt reste au cœur des traditions et des systèmes de production (Pascal et al., 2003). Enfin, au Tchad, dans la localité de Tchichali, la population majoritaire est composée de Peuls venus de Moufouldaye, au nord du Cameroun, dans les années 1980. Cette zone est marquée par une exploitation anarchique des ressources forestières. La pression sur la forêt y est particulièrement forte en raison d'un abattage intensif d'arbres pour la production de charbon de bois, destiné à l'approvisionnement des villes de N'Djamena et Bongor (Reoundji et al., 2003).

9.2.2. Accès aux ressources forestières par les charbonniers professionnels et modes d'exploitation

L'accès aux ressources par les charbonniers étudiés est majoritairement dominé par l'achat de terres. Étant donné que la majorité des charbonniers enquêtés sont des professionnels, cela indique qu'il s'agit essentiellement d'allochtones, les plus concernés par ce mode de tenure foncière. Ces derniers disposent en moyenne de grandes superficies, qu'ils exploitent à une vitesse élevée, si bien que la déforestation devient rapidement observable dans la zone, avec un rythme moyen de 0,05 hectare par charbonnier et par mois. De plus, la plupart d'entre eux n'appliquent aucun critère de sélection lors de l'abattage des arbres destinés à la production de charbon de bois.

Ces résultats confirment le constat selon lequel la forêt claire subit une forte pression, liée à une exploitation irrationnelle qu'il est impératif d'atténuer. À ce sujet, Muttenger (2006) souligne le lien entre le droit coutumier et la déforestation. En effet, dans la majorité des cas d'acquisition de terres, les charbonniers achètent leurs parcelles auprès de personnes exerçant une autorité coutumière sur ces terres. Cela conduit à une quasi-absence de restrictions dans l'exploitation des ressources naturelles. Ces constats rejoignent ceux de Trefon et al. (2010), qui montrent que, dans les bassins d'approvisionnement de Lubumbashi, l'accès à la terre, en particulier pour les allochtones, se fait souvent de manière informelle, par des négociations privées avec des propriétaires fonciers, permettant ainsi l'exploitation des arbres.

La vitesse élevée de déboisement confirme que la production de charbon de bois est l'une des principales causes de la déforestation en République Démocratique du Congo, notamment à Lubumbashi. Mavinga et al. (2022) confirment cette situation dans les localités de Kinseki et Tampa, où la production de charbon a eu un impact négatif sur l'environnement, en raison de l'utilisation de meules traditionnelles. Dans ces zones, aucun producteur n'emploie de techniques améliorées pour la carbonisation. De même, Khoji et al. (2023) rapportent que, dans la zone rurale de Lubumbashi principal bassin d'approvisionnement de la ville, les charbonniers

professionnels acquièrent de vastes superficies auprès des autorités traditionnelles, sans procéder à aucune sélection des espèces ni des dimensions des arbres à abattre.

Selon nos résultats, plusieurs espèces d'arbres sont exploitées, mais la majorité des charbonniers n'utilise aucun critère de sélection. Ainsi, même les arbres fruitiers sont utilisés pour la production du charbon de bois. Cette situation rejoint celle décrite par Khoji et al. (2023), qui confirment que dans cette zone, les producteurs ne tiennent compte ni des essences ni des dimensions lors de l'abattage.

De plus, Traoré (2024) révèle que l'absence de sélection des espèces a un impact environnemental négatif. Cette pratique contribue fortement à la déforestation et entraîne la disparition d'espèces végétales pourtant essentielles aux pratiques culturelles et alimentaires des communautés locales. Enfin, selon Mere et Yabi (2024), la production de charbon de bois est considérée comme plus prédatrice que l'usage direct du bois de feu, en raison de procédés de carbonisation encore rudimentaires.

9.2.3. Rendement de carbonisation et ses déterminants

Nos résultats ont révélé que le rendement de carbonisation des meules dans la zone rurale de Lubumbashi est très faible. Ce rendement dépend de plusieurs facteurs, notamment la taille des meules, la quantité de bois utilisée, le temps de couverture, la direction des vents par rapport à la meule, le type de substrat, ainsi que les essences d'arbres exploitées. Ces résultats confirment la non-performance des méthodes traditionnelles de production de charbon de bois, caractérisées par des faibles rendements et une série de facteurs limitants. Selon Shuku (2004), la carbonisation traditionnelle engendre une perte énergétique de 2 100 Kcal par kilogramme de bois introduit dans le processus. Temmerman et al. (2019) estiment quant à eux que le rendement des meules traditionnelles avoisine à peine 12 %, en comparaison à d'autres technologies plus performantes. Ces faibles rendements expliquent en grande partie la forte pression exercée sur les ressources forestières, car ils exigent l'exploitation de grandes superficies boisées pour produire des quantités modestes de charbon (Issifou et al., 2020). Cela est dû notamment à la faible efficacité de transformation du bois (Schure et al., 2019).

Le rendement est ainsi étroitement lié à la taille des meules, elle-même déterminée par la quantité de bois disponible. Parmi les facteurs influençant ce rendement, l'essence utilisée joue un rôle crucial. À Ibi, dans le plateau de Batéké, Basusu (2022), à travers une étude sur une trentaine de meules, a comparé deux espèces d'*Acacia* : *Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium*. Il a observé que *Acacia mangium* affichait un rendement moyen de 21,54 % (min. 15,25 %, max. 28,98 %), contre 16,99 % pour *Acacia auriculiformis* (min. 10,82 %, max. 23,80 %).

L'aération des meules est également déterminante. Nos résultats montrent que les producteurs ayant orienté leurs meules dans le sens du vent dominant ont obtenu de meilleurs rendements. En Côte d'Ivoire, Kouadio (2014) indique que les charbonniers de N'douci réalisaient des trous d'échappement pour améliorer l'aération. De son côté, Montagne (2009) souligne que l'orientation de la meule selon le vent dominant, combinée à des événements d'aération, contribue à améliorer à la fois la qualité et la

quantité du charbon, en ralentissant la vitesse de carbonisation. Le type de sol constitue également un facteur important. Selon Akouehou et al. (2012), les charbonniers interrogés au Bénin affirment que la meule ne peut être installée sur n'importe quel sol. Les sols pentus, argileux ou contenant des concrétions (cailloux) sont à éviter, car ils influencent négativement le rendement. Enfin, le système de carbonisation utilisé a également un impact. Mfomo et al. (2020) révèlent que les propriétés du charbon varient selon l'essence du bois utilisée et le type de four. Cela souligne une fois de plus l'importance d'un encadrement technique pour améliorer les performances de la production.

9.2.4. Rentabilité à l'issue de la production de charbon de bois et ses déterminants

La commercialisation de charbon de bois produit dans la zone rurale de Lubumbashi par les charbonniers suivis dans cette étude s'est révélée rentable. Cette rentabilité varie en fonction des lieux de vente et des types de conditionnement utilisés. Les déterminants économiques identifiés sont essentiellement les coûts engagés et les prix de vente pratiqués. Par ailleurs, la vente dans des sacs de grande capacité génère généralement des bénéfices plus importants que la vente en petits sacs, bien qu'aucune différence significative de poids entre les différents types de conditionnement n'ait été constatée. Ces résultats sont en accord avec ceux de Mama et Chabi (2017) qui, dans les bassins de production du centre et du sud du Bénin, ont observé une hausse de 122 % du prix de vente du charbon de bois entre le lieu de production et la ville. Cette augmentation a un impact positif sur la rentabilité du charbon en milieu urbain. À Lubumbashi, le charbon de bois est généralement vendu dans les villages ou en bordure de routes principales, en vue de son acheminement vers la ville. Toutefois, le profit par sac reste souvent limité et ne permet pas toujours aux ménages d'améliorer significativement leur niveau de vie ou de sortir durablement de la pauvreté (Nge, 2021).

La ville de Lubumbashi constitue un important centre de consommation, avec d'importants flux d'approvisionnement en charbon de bois. Certains producteurs préfèrent vendre directement en ville, où ils sont considérés comme vendeurs en gros, notamment via les dépôts. Ces producteurs bénéficient généralement de marges bénéficiaires plus élevées que ceux qui écoulent leur produit localement dans les villages (Munkner et al., 2015). Il est à noter que le prix de vente en milieu urbain est relativement élevé, ce qui s'explique par l'intégration de plusieurs coûts dans la structure du prix : transport, taxes, frais de dépôt, manutention, etc. (Nge, 2021).

9.2.5. Facteurs déterminants l'organisation des charbonniers de la zone rurale de Lubumbashi en des structurations

Nos résultats ont révélé que le principal facteur associé à la structuration des charbonniers est le fait de rendre service à d'autres producteurs. En revanche, aucune variable sociodémographique liée aux charbonniers n'était significativement associée à cette structuration. Il convient également de souligner l'existence de relations de

proximité entre producteurs de charbon de bois, visibles notamment à travers l'échange d'outils et le partage d'informations sur le processus de carbonisation. Ces éléments mettent en évidence un besoin urgent de structuration formelle des producteurs, qui pourrait offrir de nombreux avantages. Selon le rapport du GIZ/ECO Consult (2020) à Madagascar, 22 associations regroupant environ 2 418 charbonniers ont été formalisées. Ces charbonniers, autrefois confrontés à un développement anarchique de l'activité et à la concurrence déloyale de producteurs opportunistes, ont bénéficié d'une organisation collective à l'échelle villageoise, facilitant leur intégration dans l'économie de marché. Une expérience similaire a été observée dans la filière bois-énergie de la région Atsimo Andrefana, toujours à Madagascar (WWF, 2012).

D'après Trefon et al. (2010), à la différence de Kinshasa où les charbonniers travaillent souvent en groupes informels, ceux de Lubumbashi ont tendance à travailler individuellement. Toutefois, nos résultats confirment qu'il existe à Lubumbashi certaines formes d'entraide, notamment pour les tâches les plus pénibles, telles que l'abattage et le découpage du bois, qui mobilisent une main-d'œuvre solidaire. Il est aussi important de noter qu'une tentative d'organisation formelle a déjà été menée à Lubumbashi, sans succès, en raison de problèmes de gestion administrative et de malversations financières.

A l'inverse, au Kenya, dans la région de Baringo, les producteurs de charbon de bois sont encouragés à réinvestir une partie de leurs revenus dans des associations communautaires de prêts et crédits. Cela leur donne accès à des financements leur permettant d'améliorer leurs meules traditionnelles et d'acquérir des équipements plus efficaces. Le temps ainsi gagné peut être consacré à d'autres activités génératrices de revenus (Koech et al., 2022).

A Madagascar, dans le cadre du projet ARINA (Aménagement et Reboisements Intégrés dans le district d'Anjozorobe), plusieurs actions ont été menées pour améliorer le reboisement, la carbonisation et la commercialisation du charbon de bois. Parmi les recommandations figurait la tenue régulière des assemblées générales ordinaires, permettant la présentation des rapports d'activités des différents services de la filière, ainsi que le bon fonctionnement des coopératives de charbonniers (Bouillet et al., 2019).

9.3. Implications pour une production durable de charbon de bois

La production durable de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi est une nécessité. Elle implique plusieurs aspects à considérer, notamment le caractère informel de sa filière. En République Démocratique du Congo, comme dans de nombreux pays africains, le charbon de bois et toute sa filière sont considérés comme informels. Cela s'explique par l'existence d'un commerce illégal ou non réglementé du bois-énergie, particulièrement du charbon de bois, dont les volumes sont significatifs et circulent par des voies non officielles. Cette situation engendre d'importantes pertes de recettes fiscales (Sola et al., 2022).

En outre, ces pertes fiscales sont également constatées dans le commerce transfrontalier du charbon. Entre la RD Congo et la Zambie, des échanges de charbon de bois ont été observés, notamment entre Mokambo (RD Congo) et les villes de Kasumbalesa-Chembe ou Nakonde (Zambie). L'aspect informel de ces flux, favorisé par la disponibilité des ressources et la demande du marché, engendre d'importants manques à gagner. Toutefois, il n'existe aucune donnée officielle sur les volumes échangés (Sola et al., 2022).

Le caractère informel de la production de charbon de bois s'explique aussi par le manque d'alternatives économiques. Ce phénomène est documenté dans plusieurs pays africains, comme le Kenya ou la Zambie (Ihalainen et al., 2021). Depuis longtemps, ce secteur reste fragmenté, impliquant plusieurs ministères (énergie, foresterie, environnement, agriculture, développement rural), ce qui complique la coordination et entraîne une gouvernance inefficace (FAO, 2020).

Dans la zone rurale de Lubumbashi, l'accès à la terre par les allochtones se fait généralement par des arrangements avec les propriétaires coutumiers, en dehors de toute intervention de l'État. Il en va de même pour les ventes au bord des routes ou le fonctionnement de certains dépôts non enregistrés (Trefon et al., 2010). Cela montre une absence d'encadrement public et la perte de revenus fiscaux pour l'État congolais.

Après l'accès informel aux ressources, les pratiques de carbonisation appliquées dans la zone rurale de Lubumbashi exercent une forte pression sur la forêt. Elles sont non durables et présentent des rendements très faibles. Pourtant, la filière charbon de bois est principalement dictée par la demande urbaine. Deux scénarios sont envisageables pour l'avenir de Lubumbashi : soit une augmentation de la demande si aucune alternative énergétique n'est développée, soit une diminution si des substituts sont introduits. Dans un contexte où la production repose sur des ressources forestières naturelles, une demande croissante pourrait représenter une menace majeure en l'absence de pratiques durables (Girard, 2002).

Toutefois, certains producteurs adoptent déjà des pratiques plus responsables, telles que la sélection d'essences spécifiques et la prise en compte de la taille des arbres. Ce type de choix peut améliorer les rendements et atteindre des objectifs socioéconomiques plus ambitieux (Dumont et al., 2015). D'autres producteurs pratiquent également le séchage du bois, ce qui réduit son taux d'humidité et optimise le temps de carbonisation. En effet, selon Nko'o (2015), le taux d'humidité du bois influence fortement le processus de carbonisation.

Schure et al. (2019) montrent que la mise en place d'un cadre institutionnel adapté facilite l'accès formel aux ressources, instaure une fiscalité simplifiée et introduit des exigences techniques propices à une production durable. Cela renforcerait le respect du cadre légal de gestion forestière en RD Congo, tout en créant un espace d'échange de savoir-faire et de pratiques favorables à la préservation des forêts (Vundu, 2021). Des mesures réglementaires telles que des quotas, des licences, des permis, une fiscalité adaptée et des certifications de durabilité sont nécessaires, bien qu'elles aient donné jusqu'ici des résultats mitigés en raison de la complexité du secteur informel (FAO, 2020). Le statut informel des producteurs a des conséquences négatives sur

leurs performances. À l'inverse, un cadre institutionnel clair faciliterait l'accès aux permis, aux financements, instaurerait une fiscalité transparente et mettrait en place des incitations pour favoriser des pratiques durables (Schure et al., 2019).

Dans ce contexte, il est essentiel d'internaliser les externalités négatives dans les politiques de gestion forestière. Les gouvernements peuvent recourir à des outils de politique fiscale comme des taxes environnementales ou des subventions écologiques pour encourager une exploitation durable des ressources (Ansah, 2022 ; Van Beukering et al., 2007). Des incitations financières, telles que les avantages fiscaux ou les prix différenciés, peuvent générer des externalités positives dans le secteur forestier (Monela et al., 2007).

L'existence d'organisations informelles entre charbonniers constitue un levier pour structurer la filière. La structuration en organisations formelles offre de nombreux avantages, comme observé dans plusieurs pays africains. Au Kenya, ces organisations ont été efficaces pour la restauration forestière et la diffusion de technologies améliorées (Kamwilu et al., 2021). Ihalainen et al. (2021) montrent que cette structuration favorise l'adoption de fours améliorés, la plantation d'arbres, la régénération des forêts, et permet un suivi entre pairs. Sur le plan socioéconomique, elle a entraîné une hausse des revenus, une participation accrue des femmes, notamment à des postes de responsabilité, et un meilleur respect de la réglementation.

À Kisangani, en RD Congo, certaines associations ont inclus des groupes de femmes valorisant les déchets de scierie pour produire du charbon, après avoir été formées à l'utilisation de meules améliorées et de cheminées externes. Au Cameroun, une association comptait 30 % de femmes parmi ses 334 membres, et celles-ci ont reçu un appui pour leur formalisation (Schure et al., 2021).

La structuration améliore aussi la commercialisation, notamment dans la fixation des prix, ce qui permet aux producteurs d'augmenter leurs revenus. C'est le cas dans le Nord-Ouest du territoire de Kabare (RD Congo), où la production de charbon a contribué à améliorer le logement, l'alimentation et l'habillement des ménages (Muzirigerha et al., 2022). En l'absence de régulation, les nombreux intermédiaires limitent toutefois les marges des producteurs. Cela pourrait inciter de plus en plus de charbonniers à vendre directement en ville, dans une logique de désintermédiation. Au-delà de la structuration et du cadre légal, la vulgarisation des pratiques durables de carbonisation est indispensable. Les mauvaises pratiques, bien que le secteur tend à se professionnaliser, sont souvent dues au manque d'information. Le renforcement des capacités des charbonniers est donc essentiel. Les résultats de cette étude peuvent enrichir les guides méthodologiques, en mettant en lumière les déterminants des rendements, de la rentabilité et des dynamiques d'organisation dans la zone rurale de Lubumbashi. La conduite de recherches approfondies sur les pratiques durables de carbonisation est nécessaire, notamment celles visant à améliorer les rendements, car elles influencent directement les moyens de subsistance des producteurs (Tazebew et al., 2023). Dans le contexte de Lubumbashi, des pratiques telles que la Régénération Naturelle Assistée (RNA), la sélection d'essences adaptées, le reboisement, ou encore l'exploitation en rotation permettant à la forêt de se régénérer, doivent être promues pour assurer la préservation des ressources forestières dans la zone rurale.

Chapitre 10

Conclusion générale et perspectives

10.1. Conclusion générale

La présente recherche doctorale a été réalisée en vue d'analyser la production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi, dans une dynamique de professionnalisation et de structuration des acteurs, en vue de proposer des modes d'exploitation durable des ressources. A l'issue des enquêtes menées auprès des charbonniers ainsi que du suivi des meules, l'analyse socioéconomique des acteurs et celle des pratiques développées par ces derniers, effectuées à travers des statistiques descriptives et l'inférence statistique (notamment des analyses multivariées), ont permis d'obtenir les résultats suivants :

La production de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi est exercée majoritairement par des hommes, jeunes et allochtones, le plus souvent professionnels. L'accès à la terre pour la production de charbon de bois est principalement dominé par l'achat, suivi de la location. Ces charbonniers exploitent de grandes superficies et, pour la plupart, n'appliquent aucun critère spécifique pour l'abattage des arbres. Le rendement de carbonisation est faible, avec une moyenne de 10,2 %, et dépend de plusieurs facteurs : la taille de la meule, le nombre de jours de carbonisation, les espèces d'arbres utilisées, la disposition de la meule dans le sens du vent, ainsi que le type de substrat sur lequel elle est construite. La commercialisation du charbon de bois est rentable, mais elle varie en fonction des lieux de vente et des types de conditionnement. Ses déterminants économiques sont le prix de vente, les coûts de production et ceux de commercialisation. Les charbonniers se regroupent sous forme d'associations informelles, dont l'existence est influencée par la prédominance des charbonniers rendant des services à leurs collègues ainsi que par les échanges d'informations et d'outils de production.

Ainsi, nos résultats confirment nos hypothèses : le profil des producteurs de charbon de bois et leurs pratiques influencent directement le mode d'exploitation des ressources forestières dans la zone rurale de Lubumbashi. L'activité se professionnalise davantage, en raison de sa rentabilité. Cependant, l'accès à la terre par achat, combiné à des pratiques non améliorées, contribue à une forte pression sur le miombo. Les formes d'organisation informelles jouent néanmoins un rôle clé dans la réalisation des activités de ces producteurs.

En conclusion, nous soutenons la thèse selon laquelle le profil du charbonnier ainsi que son savoir-faire constituent des éléments déterminants qui influencent le mode de production du charbon de bois.

10.2. Perspectives

C'est ainsi que nous suggérons, comme perspectives issues de la présente étude pour une production durable de charbon de bois dans la zone rurale de Lubumbashi, ce qui suit :

- Aux services étatiques : faciliter l'organisation des associations de charbonniers en structures plus formelles, en se basant sur les déterminants identifiés dans la présente étude comme soubassement. Cela permettra de mieux orienter les démarches futures vers une formalisation effective du secteur.
- Concernant l'accès aux ressources : l'implication de l'État est essentielle afin que ses agents puissent assurer un suivi régulier des pratiques d'exploitation et veiller à une gestion durable des ressources forestières.
- Aux charbonniers : promouvoir l'organisation formelle de leurs structures. Ces dernières pourront servir d'interface entre les producteurs, le cadre légal et les autorités étatiques, facilitant ainsi l'accès aux formations, aux appuis techniques et à d'autres opportunités utiles à leur activité.
- Aux décideurs, ONG et bailleurs de fonds : appuyer des projets visant à améliorer les conditions de vie des charbonniers, notamment par la promotion de techniques de carbonisation durable, à l'image de l'initiative de Mampu, dont l'efficacité a été démontrée au fil des années.
- En matière de préservation de la forêt claire de miombo : encourager l'exploitation rationnelle des ressources, notamment par la mise en place de rotations d'exploitation, afin de permettre la régénération naturelle. La RNA (Régénération Naturelle Assistée) doit être promue, aussi bien chez les charbonniers que chez les agriculteurs. De même, le reboisement avec des espèces à croissance rapide est à encourager, afin de compenser la raréfaction croissante des ressources forestières autour de Lubumbashi.
- Aux scientifiques : approfondir les recherches sur l'amélioration des rendements de carbonisation, en s'appuyant sur les déterminants identifiés dans la présente étude. Il est également nécessaire d'étudier davantage les mécanismes de commercialisation, afin de les rendre plus rentables et ainsi améliorer les revenus et les conditions de vie des charbonniers.
- Enfin, la fixation d'un prix de vente du charbon de bois au kilogramme est fortement recommandée. Elle permettrait de pallier les problèmes de tarification auxquels sont confrontés les producteurs de la zone rurale de Lubumbashi, et d'assurer une plus grande équité sur le marché.

Références

- Abdallah, J.M., & Monela, G.G. (2007). Overview of Miombo Woodlands in Tanzania. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 50: 9–23.
- Abernethy, K., Maisels, F., & White, L.J.T. (2016). Environmental Issues in Central Africa. *The Annual Review of Environment and Resources*, 41:1–33. doi: 10.1146/annurev-environ-110615-085415
- Adedokun, M.O., Ojo, T.M., Idowu, S.D., & Ogunmade, E.Y. (2018). Socio-Economic Contributions and Marketing of Charcoal in Igbo-Ora, Oyo State. *Journal of Resources Development and Management*. Vol, 40, 29–35.
- AFDB. (2010). Projet d'électrification périurbaine et rurale. Rapport d'évaluation de projet. 20 p.
- Agunloye, O.O.M., Kolawole, A.O., Adesakin, M.F., & Arowolaju, O.O. (2020). Economic and Environmental Implications of Charcoal Production in Kogi State, Nigeria. *World Rural Observ.* 12, 47–55.
- Agyei, F.K., Hansen, C.P., & Acheampong, E. (2018). Profit and profit distribution along Ghana's charcoal commodity chain. *Energy Sustain. Dev.*, 47, 62–74.
- Akara, W. (2022). Effets des zones d'aménagements agricoles planifiées (ZAAP) sur la sécurité alimentaire au Togo. Mémoire de Master, Université Thomas Sankara, Burkina Faso. 65p.
- Akinola, O.O., Fingsi, U.I., & Ibode, R.T. (2023). Characteristics and Practices of Charcoal Producers in Olokemeji Free Area, Ogun State, Nigeria. *Nig. J. of Wildl. Mgt.*, 7(1): 30 – 36.
- Akossou, A.Y., Gbozo, E., Darboux, A.E., & Kokou, K. (2013). Influence of Wood Humidity of Tree Species (*Prosopis africana*, *Anogeissus leiocarpa* and *Tectona grandis*) on the production of charcoal by the traditional wheel. *J. Pet. Technol. Altern. Fuels*, 4, 64–71.
- Akouehou, G., Mama, V., Hounsounou, L., Goussanou, A., Ogouvidé, T., Gbozo, E., & Mensah, A. (2012). Fiche Technique : Utilisation de la meule à cheminée de type casamançais - Casa GV – pour la production du charbon de bois au Bénin. 28 p.
- Alawenon, K.N., Wedjangnon, A.A., & Ouinsavi A.I. (2023). Impact de la production de charbon de bois sur les facteurs de changement climatique : synthèse de la littérature. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 17(3): 1185-1198. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i3.33>.
- Alemayehu, H., Teka, A., & Alemayehu, A. (2023). Analysis of Charcoal Producers Perceptions of Its Production, Forest Degradation, and Governance in Wolaita, Southern Ethiopia's Dry Afromontane Forests. *International Journal of Forestry Research*, 1-3. <https://doi.org/10.1155/2023/3352702>

- Alinaitwe, G., & Olvar, B. (2024). Assessing the Relationship between Fuel and Charcoal Prices in Uganda. *Economies*, 12, 46.
- Alonso, M.Z., Tran, K.Q., Wang, L., & Skreiberg, O. (2017). A kinetic study on simultaneously boosting the mass and fixed-carbon yield of charcoal production via atmospheric carbonization. *Energy Procedia* 120, 333-340.
- Amugune, M.I. (2020). Technological factors influencing the quality and quantity of charcoal produced in western Mau forest, Kericho County, Kenya. Master degree thesis. Africa Nazarene University., Kenya. 157 p.
- Andaregie, A., Worku, A., & Astatkie, T. (2020). Analysis of economic efficiency in charcoal production in Northwest Ethiopia: A Cobb-Douglas production frontier approach. *Trees, Forests and People*, 2, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2020.100020>
- Ansah, P.K. (2022). The Impact of Charcoal Production on the forest of Sub-Saharan Africa: A theoretical Investigation. *Journal of Sustainable Development*; Vol. 15, No. 2 ; 16-26.
- Badan, B.A. (2024). Study on Analysis of Variance in Statistics. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, Vol (4), 2, 358-363. DOI: 10.48175/IJARSCT-22741
- Badea, A., Gheorghe, C., Mărculescu, C., & Apostol, T. (2008). L'influence des propriétés physiques du bois et des paramètres du processus sur les produits de pyrolyse. *U.P.B. Sci. Bull., Series C*, Vol. 70, No. 2, 103-110.
- Bahouayila, M.C.B. (2016). Cours de statistique descriptive. Option HDTs, Institut Africain de la Statistique, Brazzaville, République du Congo, 17 p.
- Baldé, A. (2016). Approche quantitative de l'approvisionnement en charbon de bois de la commune de Ziguinchor. Mémoire de master, Université Assane Seck de Ziguinchor. 143 p.
- Banza, B. (2019). Causes of Deterioration of the Electrical Service Quality at the Household Scale in Lubumbashi, DR Congo. *Trends Applied Sci. Res.*, 14 (1): 12-18. DOI: 10.3923/tasr.2019.12.18
- Barbiche, R., & Bisimwa, R. (2020). Des forêts et des hommes face au développement durable L'exemple du Congo RDC. *Population et avenir*, 4,749,14-16. DOI10.3917/popav.749.0014
- Barry, B. (2023). Exploitation forestière et développement territorial à Velingara (région de Kolda) : cas du charbon de bois dans la forêt communautaire aménagée de Thiewal. Mémoire de master, Université Assane Seck de Ziguinchor. 117 p.
- Basusu, C. (2022). Evaluation de la production en charbon de bois des meules d'*Acacia mangium* (Wild) et *Acacia auriculiformis* (A. Cunn. ex Benth.) à Ibi-village sur le plateau des batékés. Mémoire d'Ingénieur, Université de Kinshasa, RDC. 53 p.
- Baumert, S., Luz, A.C., Fisher, J., Vollmer, F., Ryan, C.M., Patenaude, G., Zorrilla-Miras, P., Artur, L., Nhantumbo, I., & Macqueen, D. (2016). Charcoal supply chains from Mabalane to Maputo: Who benefits? *Energy for*

- Sustainable Development*, 33, 129-138. <https://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2016.06.003>
- Behrendt, A., Megevand, C., & Sander, K. (2013). *Dynamiques de déforestation dans le bassin du Congo, document de travail n°5 : Energie issue de la biomasse*. 28 p.
- Bekele, B., & Kermal, A.W. (2022). Determents of sustainable charcoal production in AWI zone; the case of Fagita Lekoma district, Ethiopia. *Heliyon* 8, e11963, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11963>
- Bekpa-Kinhou, A.C.M. (2024). Exploitation Du Bois Energie Et Du Charbon De Bois Dans La Commune De Zogbodomey Au Centre du Benin. *Int. J. Prog. Sci. Technol.*, 42, 458–466.
- Belani, J., Mpanzu, P., Ngonde, H., & Kinkela, 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. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2023.355.a36853>
- Bergès, L., Gosselin, M., Gosselin, F., Dumas, Y., & Laroussini, O. (2015). Prise en Compte de la Biodiversité dans la Gestion Forestière : Éléments de Méthode. *Ingénieries n° Spécial 2002—Aménagement Forestier*. 2015, pp. 45–55. <https://revue-set.fr/article/view/5954>
- Bernardes, F.F., Romanelli, T.L., Pereira, A.K., Cupertino, G.F., Fernandes, M.A., Brito, J.O., De Souza, E.C., Saloni, D., & Dias, A.F. (2023). Energy Performance of Different Charcoal Production Systems. *Energies*, 16, 7318.
- Binzangi, K., Tshibangu, K., Degreef, J., & Malaisse, F. (1994). Le déboisement en Afrique tropicale. *Tech. Déf. Sud*, 36–37.
- Bisiaux, F., Peltier, R., & Muliele, J.C. (2009). Plantations industrielles et agroforesterie au service des populations des plateaux de Batéké, Mampu, en République Démocratique du Congo. *Bois Forêts Trop*. 2009, 301, 21-32. 553 <https://doi.org/10.19182/bft2009.301.a20404>
- Boistard, H. (2014). Statistique descriptive, Notes de cours. Université Toulouse 1 – Capitole, Toulouse, France. 37 p.
- Bonou, A. (2008). Estimation de la valeur économique des Produits Forestiers Non Ligneux (PFNL) d'origine végétale dans le village de Sampéto (commune de Banikoara). Mémoire de DEA, Université d'Abomey-Calavi, Benin. 66 p.
- Bonou, A. (2008). Estimation de la Valeur Économique des Produits Forestiers Non Ligneux (PFNL) d'Origine Végétale dans le Village de Sampéto (Commune de Banikoara). Mémoire d'études Approfondies ; Université d'Abomey-Calavi: Cotonou, Benin, 66p.
- Bouillet, J.P., Rasamindisa, A., Rakotondraoelina, H.A., & Razafimahatratra, S. (2019). Capitalisation des réalisations et des acquis du projet ARINA. Aménagement et Reboisements INTégrés dans le district d'Anjozorobe en bois-énergie. 80 p.

- Brobbeey, L.K., Hansen, C.P., & Kyereh, B. (2021). The dynamics of property and other mechanisms of access: The case of charcoal production and trade in Ghana. *Land Use Policy* 101, 105152, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105152>
- Bruneau, J.C., & Bukome, I. (1987). La répartition spatiale des petites et moyennes activités économiques à Lubumbashi Premier inventaire et essai d'analyse des fréquences de localisation. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, N°22-23, 22^e et 23^e années, 1986-1987, pp. 79-97.
- Bruneau, J.C., & Kunyima, K. (1981). Les marchés de Lubumbashi (Zaire) et leurs aires d'influence. In: *Cahiers d'outre-mer*. N° 134 - 34^e année, pp. 133-152.
- Bruneau, J.C., & Numbi, A.M., (2011). Nature et citadinité à Lubumbashi (Congo-RDC): A la recherche d'un équilibre perdu. *Esp. Trop*, 20, 553-562.
- Buessler, S., & Weber C., (2016). Energie et acteurs : application de la méthode des graphes aux acteurs alsaciens. *Cybergeo : European Journal of Geography , Espace, Société, Territoire*, 27p. DOI : 10.4000/cybergeo.27460
- Bushabu, M.M., Mabira, M., & Kapend, M. (2002). Les besoins énergétiques des ménages de Kananga (RDC). *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 42, 53-60.
- Cabala, S., Useni, Y., Munyemba, F., & Bogaert, J. (2018). Activités anthropiques et dynamique spatiotemporelle de la forêt claire dans la Plaine de Lubumbashi. *Anthropisation des territoires Katangais ; Bogaert, J., Colinet, G., Mahy, G., Eds.; Presses Universitaires de Liège-Agronomie: Gembloux, Belgique, 468 ; pp 253-266.*
- Canal, W.D., Carvalho, A.M., Figueiró, C.G., Carneiro, A.D., Fialho, L.D., & Donato, D.B. (2020). Impact of Wood Moisture in Charcoal Production and Quality. *Flor. Amb.* 7, 1.
- CEE/FAO. (2018). Le bois-énergie dans la région de la CEE Données, tendances et perspectives en Europe, dans la Communauté d'États indépendants et en Amérique du Nord. 99 p.
- Chavent, M. (2015). L'Analyse des Correspondances Multiples (ACM). Notes de cours, Université de Bordeaux, France. 17 p.
- Chekroun, A. (2018). Statistiques descriptives et exercices. Rappels de cours et exercices corrigés sur la statistique descriptive. République Algérienne Démocratique et Populaire. 77 p.
- Chia, E., Petit, M., & Brossier, J. (2014). Théorie du comportement adaptatif et agriculture familiale. *L'agriculture en famille : travailler, réinventer, transmettre*, 81-100.
- Chia, E., Petit, M., & Brossier, J. (2020). Théorie du comportement adaptatif et agriculture familiale. In *L'Agriculture en Famille : Travailler, Réinventer, transmettre ; Gasselín, P., Choisis, J.P., Petit, S., Purseigle, F., Zasser-Bedoya, S., Eds.; EDP Sciences: Les Ulis, France, pp. 81-100. Available online: https://hal.science/hal-02163636.*

- Chidumayo, E.N. (2019). Is charcoal production in *Brachystegia-Julbernardia* woodlands of Zambia sustainable? *Biomass Bioenergy*, 125, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.04.010>
- Chiteculo, V., Lojka, B., Surový, P., Verner, V., Panagiotidis, & Jiří Woitsch, J., (2018). Value Chain of Charcoal Production and Implications for Forest Degradation: Case Study of Bié Province, Angola. *Environments*, 5, 113; doi:10.3390/environments5110113, 1-13
- CIFOR, (2009). Méthodologie de Recherche Projet Makala Module 2 Les aspects socio-économiques de la filière bois énergie. Projet Makala, Gérer durablement la ressource bois énergie, 64 p.
- Ciza, S., Mikwa, J.F., Malekezi, A., Gond, V., & Bosela, F. (2015). Identification des moteurs de déforestation dans la région d'Isangi, République démocratique du Congo. *Bois For. Trop.*, 324, 29–38.
- Coly, B.D., Oriot, M., Coly, A., Sonko, M., & Billard, Y. (2021). Diagnostic des filières forestières du département de Bignona. AFD, 53 p.
- Corson, C. (2017). A history of conservation politics in Madagascar. *Madag. Conserv. Dev.*, 12, 1–12.
- Crehay, R., & Marchal, D. (2004). La filière bois-énergie. Valorisation de la Biomasse (ValBiom), DGTRE, 58 p
- Dabat, M.H., Blin, J., & Rivier, M. (2010). Affronter le défi énergétique et alimentaire au Burkina Faso. ISDA, Montpellier. 14p.
- Damon, J. (2016). Peuplement, migrations, urbanisation Où va la population mondiale ? *POPULATION AVENIR*, N° 728. 4-7.
- Dasylyva, M., Ndour, N., Sambou, B., & Diop, R.D. (2020). Multifonctionnalité de l'agriculture intra et périurbaine dans la commune de Ziguinchor au Sénégal. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. 11(3), 154-164.
- De Hert, T. (2010). Quelle Reconstruction ? Acteurs et enjeux de la reconstruction post-conflit en RDC. Rapport Final TA-00-16-RDCO.
- Debroux, L., Hart, T., Kaimowitz, D., Karsenty, A., & Topa, G. (2007). La forêt en République Démocratique du Congo Post-conflit : Analyse d'un Agenda Prioritaire. xxii, 82p. ISBN 979-24-4683-4.
- Defourny, P., Delhage, C., & Lubamba, J.P.K. (2011). Analyse quantitative des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en République Démocratique du Congo. 21 p.
- Derebe, B., & Alemu, A. (2023). Non-timber forest product types and its income contribution to rural households in the Horn of Africa: A systematic review. *For. Sci. Technol.*, 19, 210–220.
- Desabie, J. (1963). Méthodes empiriques d'échantillonnage. *Revue de statistique appliquée*, tome 11, No 1, p. 5-24
- Diaw, M.C., & Franks, P. (2019). Production alimentaire, expansion agricole et déforestation au Mai-Ndombe, RDC. Institut international pour l'environnement et le développement (IIED), document de travail. 55 p.
- Dibwe, D. (2010). Lubumbashi et l'idée de mémoire orale. *Multitudes* 81, 111-119.

- Dibwe, D. (2021). Lubumbashi et l'idée de mémoire orale. *Multitude* 81, 111-119.
- Digabel, L.S. (2017). *Statistique descriptive*. Ecole Polytechnique de Montréal, Montréal, Canada, 47 p.
- Dikumbwa, N., Alexandre-Pyre, S., Nawej, T.S., & Malaisse, F. (2020). Etude des Températures des sols de Trois Ecosystèmes Naturels du Haut-Katanga. *Geo-Eco-Trop*, 44, 237–253
- Djibu, J.P., Vranken, I., Bastin, J.F., Malaisse, F., Nyembwe, S., Useni, Y., Ngongo, M., & Bogaert, J. (2018). Approvisionnement des ménages Lushois en charbon de bois : Quantités, alternatives et conséquences. In *Anthropisation des Territoires Katangais* ; Bogaert, J., Collinet, G., Mahy, G., Eds. ; Presse universitaires de Gembloux : Gembloux, Belgium, pp. 297–308.
- Doggart, N., & Meshack, C. (2017). The Marginalization of Sustainable Charcoal Production in the Policies of a Modernizing African Nation. *Frontiers in Environmental Sciences*, 5, 27, 1-14. doi: 10.3389/fenvs.2017.00027
- Dossa, F.K., Todota, C.T., Miassi, E.S., & Agboton, G.A. (2018). Analyse comparée de la performance économique des cultures de coton et de maïs au Nord-Bénin : Cas de la commune de Kandi. *Int. J. Curr. Innov. Adv. Res.*, 1, 118–130. <https://ijciar.com/index.php/journal/article/view/61> (accessed on 23 April 2025).
- Doumenge, C., Palla, F., & Madzous, G.L. (2021). Aires protégées d'Afrique centrale – État 2020. OFAC-COMIFAC, Yaoundé, Cameroun & UICN, Gland, Suisse : 400 p.
- Dro, B., Coulibaly, S., Moreto, M., Coulibaly, T.A., Salla, M., & Kone, M.W. (2021). Diversité des espèces végétales utilisées pour la fabrication du charbon de bois dans le département de Daloa (Centre-Ouest, Cote d'Ivoire). *Agronomie Africaine Sp.* 33 (1) : 61 – 72.
- Dubiez, E., Gazull, L., Imani, G., & Péroches, A. (2020). Rapport d'étude de la consommation en énergies de production des usagers productifs de la ville de Bukavu. Programme de consommation durable et de substitution partielle au bois-énergie. CIRAD, 36 p.
- Dubiez, E., Gazull, L., Nge, A., Nkulu, J., & Péroches, A. (2020). Rapport d'étude de la consommation en énergies de production des usagers productifs de la ville de Lubumbashi. Programme de consommation durable et de substitution partielle au bois-énergie, CIRAD, 43 p.
- Dubiez, E., Imani, G., Gazull, L., & Péroches, A. (2021). Rapport d'Étude de la Filière Bois-Énergie de la ville de Goma. Programme de Consommation Durable et Substitution Partielle au Bois-Énergie. 60p. <https://agritrop.cirad.fr/600200/>.
- Dubiez, E., Péroches, A., Akalakou, C., & Gazull, L. (2021). Etudes des Filières Bois-Énergie Kinshasa. CIRAD, 4 p.
- Ducay, S. (2008). Analyse de la variance. Licence mention Mathématiques, Notes de cours, Université de Picardie, 5 p.
- Dufourny, A. (2018). Identification et optimisation des paramètres influant sur la qualité du charbon de bois utilisé comme agent réducteur pour la production

- du silicium métallurgique. Thèse de Doctorat, Montpellier Supagro, France, 259 p.
- Dugué, M.J., Pesche, D., & Le Coq, J.F. (2018). Appuyer les organisations de producteurs. Éditions Quæ, Versailles Cedex, France. CTA, Wageningen Pays-Bas. Presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique. ISBN (Quæ) : 978-2-7592-1806-6 ISBN (CTA) : 978-92-9081-501-3 ISBN (PAG) : 978-2-87016-121-0 ISSN : 1778-6568. 143p.
- Dumont, E.S., Subira, B., & Fergus, S. (2015). Guide technique d'agroforesterie pour la sélection et la gestion des arbres au Nord-Kivu - République Démocratique du Congo (RDC). 130 p.
- Dusart, P. (2018). Cours de Statistiques inférentielles. 68 p.
- Dvorak, K., & Isac, A.M. (1995). Enquêtes exploratoires pour la planification de la recherche. Guide de recherche de l'IITA, N° 28, 22 p.
- Eba'a Atyi, R., Hiol Hiol, F., Lescuyer, G., Mayaux, P., Defourny, P., Bayol, N., Saracco, F., Pokem, D., Kankeu, R., & Nas, R. (2022). Les Forêts du Bassin du Congo : Etat des Forêts 2021 ; CIFOR : Bogor, Indonesia, 442p. <https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/8565/>.
- Eba'a Atyi, R., Lescuyer, G., Poufoun, J.N., & Fouda, T.M. (2013). Étude de l'importance économique et sociale du secteur forestier et faunique au Cameroun. Rapport final, CIFOR, 278 p.
- Ehrenstein, V. (2013). Les professionnels de la préparation. Aider la République Démocratique du Congo à réduire sa déforestation : *Programme REDD+. Réponses sociologiques*, 91-103.
- Ekpo, A.S., Abdullahi, A.I., & Ogah, A.S. (2024). Assessment of Gender Role in Commercial Charcoal Production Processes in Some Parts of Nasarawa State, Nigeria. *African Scholar Publications & Research International*, Vol. 05 N° 4, 115-138.
- Eniola, P.O. (2021). Menace and Mitigation of Health and Environmental Hazards of Charcoal Production in Nigeria. *African Handbook of Climate Change Adaptation*, 17 p. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42091-8_238-1
- Espaldon, L.O., Sumalde, Z.M., Rebancos, C.M., & Alcantara, A.J. (2016). Who Wants to Adopt Sustainable Charcoal Production? Determinants and Willingness to Adopt Sustainable Practices Among Small-scale Producers in Quezon Province, Philippines. *J. Environ. Sci. Manag.*, 84-92.
- Etikan, I., Abubakar, S.M., & Sunusi R.A. (2016). Comparison of Convenience Sampling and Purposive Sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1): 1-4.
- Falcão, M.P. (2008). Charcoal production and use in Mozambique, Malawi, Tanzania, and Zambia: Historical overview, present situation and outlook. In *Proceedings of the Conference on Charcoal and Communities in Africa*, INBAR, Maputo, Mozambique, 16-18 June 2008; pp. 20-34.
- FAO & PNUE. (2020). La situation des forêts du monde 2020. Forêts, biodiversité et activité humaine. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca8642fr>

- FAO. (2004). Mise à jour de l'évaluation des ressources forestières mondiales à 2005. Termes et définitions. 36 p.
- FAO. (2010). *Foresterie urbaine et périurbaine en Afrique*. Quelles perspectives pour le bois-énergie
- FAO. (2016). Manuel sur les Statistiques des Coûts de Production Agricoles : Directives pour la Collecte, la Compilation et la Diffusion des Données. 104p.<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/5fc3ca32-e450-4882-ba74-854d3cf09659/content>.
- FAO. (2018). *Sustainable management of Miombo woodlands*. Food security, nutrition and wood energy, 50p.
- FAO. (2020). Global forest resources assessment 2020. 164 p. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9825en>
- FAO. (2020). Production durable du charbon de bois pour la sécurité alimentaire et la restauration des paysages forestiers. Commission des forêts et de la faune sauvage pour l'Afrique. 7p.
- FAO. (2024). La Situation des forêts du monde 2024 – Innovations dans le secteur forestier pour un avenir plus durable. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd1211f>
- Faure, G., Maître D'Hôtel, E., & Le Coq, J.F. (2010). Les organisations de producteurs agricoles sont-elles garantes d'un meilleur accès des producteurs aux marchés agricoles ? Enseignements d'une étude menée au Costa Rica. *Revue internationale de l'économie sociale*, (316), 85–105.<https://doi.org/10.7202/1020897ar>.
- Fayama, T., Traoré, I., & Sana, H. (2022). Contribution des aires protégées à l'amélioration des conditions de vie des populations riveraines : Cas de la forêt classée de Dinderesso dans la commune de Bobo-dioulasso. *DJIBOUL*, 3, 300–315.
- Ferraton, N., & Touzard, I (2009). Comprendre l'agriculture familiale Diagnostic des systèmes de production. Éditions Quæ, Versailles Cedex, France. CTA, Wageningen Pays-Bas. Presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique. ISBN (Quæ) : 978-2-7592-0340-6 ISBN (CTA) : 978-92-9081-419-1 ISBN (PAG) : 978-2-87016-100-5. 121p.
- Frayser, A. (2007). Production de Charbon de Bois Dans le District d'Isiolo-Kenya. Estimation de L'activité et Evaluation des Conséquences sur la Ressource Forestière Existante. Rapport de Stage Ingénieur. Mémoire d'Ingénieur, AgroParisTech, Paris, France.
- Frost, P. (1996). The ecology of miombo woodlands. In: B. Campbell (ed.) *The Miombo in Transition: Woodlands and Welfare in Africa*, pp. 11-57. Centre for International Forestry Research, Bogor, Indonesia.
- Ganhoun, G. (2020). Influence de L'essence de Bois et de la Température de Carbonisation sur le Rendement Pondéral et la Qualité du Charbon de Bois. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, Benin. 151 p.

- García-Quezada, J., Musule-Lagunes, R., Prieto-Ruíz, J.A., Vega-Nieva, D.J., & Carrillo-Parra, A. (2022). Evaluation of Four Types of Kilns Used to Produce Charcoal from Several Tree Species in Mexico. *Energies*, 16, 333. <https://doi.org/10.3390/en16010333>
- García-Quezada, J., Musule-Lagunes, R., Wehenkel, C., Prieto-Ruíz, J.A., Núñez-Retana, V., & Carrillo-Parra, A. (2023). Effect of Firewood Moisture Content on Quality, Yield, and Economic Gain during Charcoal Production in a Modified Half-Orange Kiln. *Fuels*, 5, 1–16.
- Gastou, M. (2017). Le charbon, matière combustible, son histoire scientifique et humaine. Numéro spécial Saga, 57 p.
- Gautier, D., Ouédraogo, G.G., Badini, Z., & Dabat, M.H. (2009). Appui à la définition de stratégies de développement des filières agro-sylvo-pastorales et halieutiques sélectionnées dans les régions d'intervention du PADAB II : “Goulots d'étranglement et actions pilotes”. Rapport Filière Bois-énergie, région Centre-Est, Burkina Faso. [Rapport de recherche] CIRAD. fhal-01091682f
- Gazull, L., & Peltier, P. (2020). Caractérisation de la dégradation forestière liée aux prélèvements en bois-énergie au Sud de Bangui. Rapport de la mission réalisée du 2 au 14 décembre 2019. Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Campus international de Baillarguet, Montpellier cedex 5, France.
- Gazull, L., Dubiez, E., Mayimba, C., & Péroches, A. (2020). Rapport d'Étude de la Consommation en Énergies Domestiques des Ménages de la Ville de Kinshasa. Programme de Consommation Durable et de Substitution Partielle au Bois-Énergie. 51p. <https://agritrop.cirad.fr/600194/>.
- Gazull, L., Dubiez, E., Nge, A., Nkulu, J., & Péroches, A. (2020). Rapport d'étude de la consommation en énergies domestiques des ménages de la ville de Lubumbashi. Programme de consommation durable et substitution partielle au bois-énergie. CIRAD, 47 p.
- Gazull, L., Gautier, D., & Raton, G. (2006). Analyse de l'Évolution des Filières d'Approvisionnement en Bois-Énergie de la Ville de Bamako: Mise en Perspective des Dynamiques Observées Avec les Politiques Publiques Mises en Œuvre Depuis 15 Ans. Rapport d'Expertise du CIRAD, Département Forêts UPR “Ressources Forestières et Politiques Publiques. 2006. 48p.<https://www.researchgate.net/publication/274378433>.
- Gillet, P., Vermeulen, C., Feintrenie, L., Dessard, H., & Garcia, C. (2016). Quelles sont les causes de la déforestation dans le bassin du Congo ? Synthèse bibliographique et études de cas. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 20(2), 183-194.
- Girard, P. (1997). Formation à la Valorisation Énergétique de la Biomasse Lignocellulosique, Pole Régional de Thermochimie. pp. 251–259.
- Girard, P. (2002). Quel futur pour la production et l'utilisation du charbon de bois en Afrique? *Unasylva* , 53, 30–35.

- GIZ/ECO consult. (2020). Amélioration de la production de charbon issue des Modèles de capitalisation rebuts de scieries dans la région de l'Est-Cameroun. Modèles de capitalisation. 14 p.
- Gonçalves, F.M.P. (2019). Effect of shifting cultivation and charcoal production on structure, dynamic and above-ground biomass in the Angolan miombo and dry woodlands. Phd Thesis, University of Hamburg, Germany. 233 p.
- Grouwels, S., Kisoyan, P., Kitema, A., Wanjira, E.O., & Ziba, V. (2021). From laissez-faire to organized groups – A short history of sustainable charcoal producer associations in Kenya and Zambia. Brief #3. Sustainable Woodfuel Brief Series. Governing Multifunctional Landscapes Project. Bogor, Indonesia and Nairobi, Kenya: CIFOR-ICRAF.
- Guérin-Turcq, A. (2023). Les forêts dans le monde, des milieux anthropisés : un état des lieux », *Géoconfluences*, pp 1-15.
- Gutu kia Zimi. (2014). Etude économique et développement de la région Ne Kongo en RDC. 274 p.
- Halainen, M., Awono, A., Banda, E., Moombe, K., Mwaanga, B., Schure, J., & Sola P. (2021). Les femmes, cette anomalie persistante dans le secteur du charbon de bois : des approches intégrant la dimension de genre pour des résultats plus inclusifs, équitables et durables. Dossier N°2. Le Bois-Energie Durable. Projet Gouvernance des paysages multifonctionnels (GML). Bogor, Indonésie et Nairobi, Kenya : CIFOR-ICRAF.
- Hallin, M. (2013). Analyse du potentiel de développement de l'agroforesterie dans la plaine de Lubumbashi. Mémoire de Master, Gembloux Agro-bio tech, 82 p. <https://doi.org/10.3406/caoum.1981.2981>
- Hamuli, K.E., & Agbada, M.M. (2023). Analyse de Khi-carré : fondements, démarche, intérêt et limites. *Revue Congolaise des Sciences Humaines et Sociales*, 80-102. <https://www.doi.org/10.59189/crsh102257>.
- Hazra, A., & Gogtay, N. (2017). Biostatistics Series Module 10: Brief Overview of Multivariate Methods. *Indian J Dermatol*, 62:358-366.
- Henry, M. (2003). Simulation d'un sondage. Fourchettes d'échantillonnage et intervalles de confiance. APMEP N° 444. 88-96. <https://www.institut.veolia.org/fr/africapolis-comprendre-dynamiques-lurbanisation-africaine>
- Hick, A., Maud, H., Kizila, W.P., Tshibungu, A., Seleck, M., & Mahy, G. (2013). Ces Essences Importantes que l'on Retrouve en Forêt Claire (Miombo). Université de Liège—Gembloux Agro-Bio Tech—Unité Biodiversité de Paysage. <https://doi.org/10.19182/bft2019.340.a31691>
- Houde, L. (2014). Tests du khi-deux. Module 12. Notes de cours. Université du Québec à Trois-Rivières, Canada, 17 p. <chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/Gscdepot/paf1010/18/M12.pdf>
- Ihalainen, M., Awono, A., Banda, E., Moombe, K., Mwaanga, B., Schure, J., & Sola, P. (2021). Les Femmes, cette anomalie persistante dans le secteur du charbon de bois: Des Approches Intégrant la Dimension de Genre pour des

- Résultats Plus Inclusifs, Équitables et Durables. Dossier N°2. Le Bois-Energie Durable. Projet Gouvernance des Paysages Multifonctionnels (GML); CIFOR-ICRAF: Bogor, Indonesia; Nairobi, Kenya, 22p. <https://cgspace.cgiar.org/items/02d32121-fd20-4fc6-9eda-787e25b0cb5e>.
- Imani, G., & Moore-Delate, E. (2021). Rapport d'étude de la consommation de bois-énergie et des équipements de cuisson de la ville de Kisangani. (Centre de recherche forestière internationale (CIFOR), 56 p.
- Imani, G., Dubiez, E., Péroches, A., & Gazull, L. (2021). Rapport d'Étude de la Filière Bois Énergie dans la ville de Bukavu. Programme de Consommation Durable et Substitution Partielle au Bois-Énergie. 55p.https://agritrop.cirad.fr/600202/1/20211112_Rapport_Fili%C3%A8re_Bukavu_Vf.pdf.
- Imbou-Ngalamou, A.J. (2016). Les organisations paysannes en République du Congo : Émergence et signification des dynamiques organisationnelles dans le secteur agricole en zones périurbaines et rurales. Editions Connaissances et Savoirs, Linselles, France. 596 p.
- INS. (2021). Annuaire statistique République Démocratique du Congo 2020. 9eme édition, 397 p.
- Issifou, A.Y., Tonouewa, J.M.F., Biaou, S.S.H., Houehanou, T.D., & Idrissou, Y. (2020). Technique de carbonisation du bois au Nord-Ouest du Bénin, Afrique de l'Ouest. *Afrique SCIENCE* 16(2), 49 – 58.
- Jacquemot, P. (2019). Vers l'autonomisation des femmes en milieu rural en Afrique. 20 p.
- Jones D., Ryan C.M. & Fisher J., 2016. Charcoal as a diversification strategy: The flexible role of charcoal production in the livelihoods of smallholders in central Mozambique. *Energy for Sustainable Development* 32, 14-21. DOI: [10.1016/j.esd.2016.02.009](https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.02.009)
- Jones, B. (2015). Social and environmental impacts of charcoal production in Liberia. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. University of Michigan, USA. 60p.
- Jones, D. (2016). The Power of the Informal Smallholder Charcoal Production in Mozambique. Ph.D. Thesis, The University of Edinburgh, Edinburgh, UK, 169p. <https://era.ed.ac.uk/bitstream/handle/1842/23654/Jones2017.pdf?sequence=2&>
- Kabisa, M., & Ncheengamwa, H. (2019). Innovations in sustainable charcoal production: Are charcoal associations the key to greening the value chain in Zambia? Indaba Agricultural Policy Research Institute, 5p.
- Kabulu, D.J.P., Vranken, I., Bastin, J.F., Malaisse, F., Nyembwe, S., Useni, S.Y., Ngongo, L.M., & Bogaert, J. (2018). Approvisionnement des ménages Lushois en charbon de bois : quantités, alternatives et conséquences. *Anthropisation des territoires Katangais* ; Bogaert, J., Colinet, G., Mahy, G., Eds.; Presses Universitaires de Liège-Agronomie: Gembloux, Belgique, 468 ; pp.297-308.

- Kagheni, C., Katembo, K., Muhindo, K., Mumbere, M., Muhindo, J., Kakule, F. (2021). Impact de la déforestation du secteur Sud de la ville de Beni/RD. Congo. *IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)*, Volume 23, Issue 6. Ser. VI, pp 57-63.
- Kaina, A., Dourma, M., Folega, F., Diwediga, B., Wala, K., & Akpagana, K. (2021). Localisation des bassins de production de bois énergie et typologie des acteurs de la filière dans la région centrale du Togo. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 37, 196–211. https://www.researchgate.net/publication/353237615_LOCALISATION_DES_BASSINS_DE_PRODUCTION_DE_BOIS_ENERGIE_ET TYPOLOGIE_DES_ACTEURS_DE_LA_FILIERE_DANS_LA_REGION_CENTRALE_DU_TOGO.
- Kalton, G. (2009). Méthodes de suréchantillonnage des sous-populations rares dans les enquêtes sociales, in techniques d'enquête, Vol. 35, No 2, pp. 133-152 Statistique Canada, No 12-001-X au catalogue.
- Kamara, M., Kimwanga, P., Jashopokwo, C., Muanasaka, L., & Mokili, L. (2021). Incidence de la dépréciation du franc congolais sur la sécurité alimentaire des ménages. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 9(2), 301-306.
- Kambewa, P., Mataya, B., Sichinga, K., & Johnson, T. (2007). Charcoal: The Reality A Study of Charcoal Consumption, Trade and Production in Malawi; Small and Medium Forestry Enterprise Series No. 21; International Institute for Environment and Development: London, UK, 58p. Available online:<https://www.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/13544IIED.pdf>
- Kamperidou, V., Terzopoulou, P., Barboutis, L. (2021) Marginal lands providing tree-crop biomass as feedstock for solid biofuels. *Biofuels Bioprod. Bioref.* 15, 1395–1405. <https://doi.org/10.1002/bbb.2235>
- Kamwilu, E., Duguma, L.A., & Orero, L. (2021). The Potentials and Challenges of Achieving Sustainability through Charcoal Producer Associations in Kenya: A Missed Opportunity? *Sustainability*, 13, 2288, 1-18. <https://doi.org/10.3390/su13042288>
- Kasanda, M.N., Khoji, M.H., N'tambwe, N.D., Berti, F., Useni, S.Y., Ngoy, N.L., Katond, M.J., Nkulu, M.J., Lebailly, P., & Bogaert, J. (2024). Quantification and Determinants of Carbonization Yield in the Rural Zone of Lubumbashi, DR Congo: Implications for Sustainable Charcoal Production. *Forests*, 15, 554, 1-15. <https://doi.org/10.3390/f15030554>
- Kasanda, M.N., Useni, S.Y., Ngoy, N.L., Berti, F., Nkulu, M.F.J., & Lebailly, P. (2024). Caractéristiques des producteurs de charbon de bois du bassin d'approvisionnement de la ville de Lubumbashi (RDC) : Analyse sociodémographique, socio ethnographique, typologie et organisation de la production. *Tropicultura* 2295-8010, Volume 42, 2558, 1-20. <https://popups.uliege.be/2295-8010/index.php?id=2558>

- Kasanda, N. (2012). Analyse économique et financière de la vente de charbon de bois dans la ville de Lubumbashi. Mémoire d'Ingénieur. Université de Lubumbashi, RDC. 54 p.
- Kasekete, D., Bourland, N., Gerkens, M., Louppe, D., Schure, J., & Mate, J.P. (2023). Bois-énergie et plantations à vocation énergétique en République démocratique du Congo : cas de la province du Nord-Kivu – Synthèse bibliographique. *Bois et Forêts des Tropiques*, 357, p. 5-28.
- Kazungu, M., Zhunusova, E., Yang, A., Kabwe, G., Gumbo, D., & Gunter S. (2020). Forest Use Strategies and their Determinants among Rural Households in the Miombo Woodlands of the Copperbelt Province, Zambia', *Forest Policy and Economics*, vol. 111, pp. 102078. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.102078>
- Kesonga, M. (2024). Conditions d'acceptabilité des pratiques innovantes par les maraîchers urbains de Lubumbashi, République Démocratique du Congo. Thèse de doctorat, Université de Liège, Gembloux, Belgique. 170p.
- Kesonga, N.M., Dogot, T., Maréchal, M. (2023). Unraveling the role of informal mutual aid networks in maintaining urban farms in Lubumbashi, Democratic Republic of Congo. *Front. Sustain. Food Syst.* 7:1248937, 1-15. doi: 10.3389/fsufs.2023.1248937
- Khoji H., N'Tambwe, D., Mwamba, F., Strammer, H., Munyemba, F., Malaisse, F., Bastin, J.F., Useni, Y., & Bogaert, J. (2023). Mapping and Quantification of Miombo Deforestation in the Lubumbashi Charcoal Production Basin (DR Congo): Spatial Extent and Changes between 1990 and 2022. 12,1852, 23 p. <https://doi.org/10.3390/land12101852>
- Khoji, M.H., Mpanda, M.M., Kipili, M.I., Malaisse, F., N'tambwe, N.D., Kasanda M.N., Bastin, J.F., Bogaert, J., & Useni, S.Y. (2024). Protected area creation and its limited effect on deforestation: Insights from the Kiziba-Baluba hunting domain (DR Congo). *Trees, Forests and People*, 18, 100654, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100654>
- Kipoy, W.M. (2023). Collecte des données sur la transformation du biocarburant (bois de feu vs charbon de bois) expérience congolaise.
- Kissanga, R., Catarino, L., Máguas, C., & Cabral, A.I.R. (2024). Dynamics of land-cover change and characterization of charcoal production and trade in southwestern Angola. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 34, 101162, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101162>
- Kissanga, R., Catarino, L., Máguas, C., Cabral, I.R., & Chozas, S. (2023). Assessing the Impact of Charcoal Production on Southern Angolan Miombo and Mopane Woodlands. *Forests*, 15, 78. <https://doi.org/10.3390/f15010078>
- Koech, G., Sola, P., Wanjira, E.O., Kirimi, M., Rotich, H., & Njenga, M. (2022). Production de charbon de bois à partir de *Prosopis juliflora* dans le comté de Baringo au Kenya. Dossier N°4. Série de dossiers sur le bois-énergie durable. Projet Gouvernance des paysages multifonctionnels. Bogor, Indonésie et Nairobi, Kenya : CIFOR-ICRAF.

- Kokou, K., & Sopkon, N. (2006). Les forêts sacrées du couloir du Dahomey. *Bois et Forêts des Tropiques*, 288, 15–23.
- Konan, K.J.B. (2023). Responsabilité familiale et stratégies d'adaptation chez des enfants dans la production « de charbon de bois » dans le département de Tiassalé. *DJIBOUL*, N°005, Vol.4, pp. 718-735.
- Kouadio, A.A. (2014). Le système de refinancement des activités : le cas des activités agricoles à travers la production du charbon de bois. *Rev. ivoir. anthropol. sociol.* KASA BYA KASA, n° 24, 9-29.
- Kouami, K., Yaovi, N., & Honan, K.A. (2009). Impact of charcoal production on woody plant species in West Africa: A case study in Togo. *Sci. Res. Essay*, 4, 881–893.
- Kouicem, M. (2020). Sur Quelques Méthodes D'analyses Multivariée et Applications. Master's Thesis, Université Kasdi Merbah Ouargla, Ouargla, Algérie, p. 74. <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/24698>.
- Krieger, D.J. (2021). Economic Value of Forest Ecosystem Services: A Review; The Wilderness Society: Washington, DC, USA, pp. 1–31. 2.
- Kyoni, I., Ntambwe, A., & Kishiko, E. (2022). Estimation de la demande énergétique de la commune de Lubumbashi en fonction de l'évolution démographique à l'horizon 2050 à l'aide d'un réseau de neurone artificiel (ANN-PSO). Congrès Lambda Mu 23 “Innovations et maîtrise des risques pour un avenir durable” - 23e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sécurité de Fonctionnement, Institut pour la Maîtrise des Risques, Paris Saclay, France. fihal-03966502f
- Laperche, B., Rouffignac, A., & Julian, N. (2024). Les filières de production. Nouvelles analyses au prisme de la bioéconomie. *ISTE OpenScience*, 13 p.
- Lee, C.F., Lee, J., Lee, C.A. (2013). Statistics for Business and Financial Economics. Springer New York Heidelberg Dordrecht London. ISBN 978-1-4614-5897-5 (eBook), DOI 10.1007/978-1-4614-5897-5
- Lejars, C., & Courilleau, S. (2014). La filière d'oignon d'été dans le Saïs au Maroc : La place et le rôle des intermédiaires de la commercialisation. *Altern. Rur.*, N°2, 1–16.
- Lejeune, G., Ansay, F., Van Geit, M., & Lusenge, T. (2013). ECOMakala : répondre à la demande énergétique pour protéger les forêts du Parc National des Virunga au Nord-Kivu (RDC) et lutter contre la pauvreté. 33 p.
- Lengwe, J. (2015). Caractérisation géomercatique du sol de Lubumbashi : Evaluation du tassement et de la capacité portante (cas du quartier Luano). Mémoire de Licence, Université de Lubumbashi. 86 p.
- Levard, L. (2024). Économie de l'exploitation agricole : Concepts et méthodes pour l'appui au développement agricole dans les pays du Sud. Éditions du Gret/éditions Quæ, 264p.
- Lidju, B., & Bamuhiga, L. (1982). Cueillette, et fabrication de charbon de bois dans les localités suburbaines de Kisangani. In: Cahiers d'outre-mer. N° 138 - 35e année, pp. 179-186 ;<https://doi.org/10.3406/caoum.1982.3024>;
- Ligot, G. (2025). Fondements d'économie des ressources forestières. 161 p

- Lobanga, E.L., Bosela, B.F., Lofumbu, L.G., Bolila, B.I., Mwabi, N.M.J., & Mukirania, K.J. (2021). Étude comparée de l'évaluation du taux de déforestation dans les forêts du secteur forestier central de la République Démocratique du Congo. *Afrique SCIENCE* 19(3), 28 – 41.
- Looss, B., Verrier, V. (2011). Introduction à l'analyse des correspondances et à la classification. Notes de cours. Cours IUP SID Toulouse.
- Lootens-De Muynck, M.T., Mbuyi, B.D., & Binzangi, K., (1982). Typologie et aspects socio-économique de quelques villages des bucherons et charbonniers des environs de Lubumbashi (Shaba, Zaire), *Geo-Eco-Trop* (6) -1, 45-63.
- Louppe, D. (2011). Projet Makala Module 6 : Transfert et Renforcement des Compétences. Rapport de Mission Au près du Projet Makala (Version Provisoire), Kinshasa et Kisangani (RDC).
- Louppe, D., & Schure, J. (2014). Analyse des filières du bois énergie, Capitalisation makala, CIRAD. 27 p.
- Luoga, E.J., Witkowski, E.T.F., & Balkwil, K. (2000). Economics of charcoal production in miombo woodlands of eastern Tanzania: some hidden costs associated with commercialization of the resources. *Ecological Economics*, 35, 243–257.
- Lusambo, L.P., Monela, G.C., Katani, J., & Mombo, F. (2008). Socioeconomic analysis of land factors causing degradation and deforestation of miombo woodlands in Kilosa district, Tanzania. *Tanzania journal of forestry and Nature conservation*, Volume 76, 28-39.
- Luvanda, A.M., Kitheka, E., Oduor, N., Kyalo, E.M., & Githiomi, J. (2016). Impact and assessment of charcoal marketing system through community associations in kitui county, Kenya. *Oct. Jour. Env. Res.* Vol. 4(2): 086-091.
- Luwaya, E., Chisale, P., Yamba, F., Malin, M. (2014). A parametric analysis of conversion efficiency of earthen charcoal making kiln using a numerical method. In *Proceedings of the 10th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, Orlando, FL, USA, 14–16 July 2014; pp. 271–280.
- Mabrouk, T. (2022). L'état actuel de l'utilisation de la biomasse de deuxième génération. Mémoire de Master, Université Ahmed DRAIA Adrar, Algérie.
- Madon, G. (2018). Le bois, énergie de première nécessité en Afrique. Une ressource trop souvent négligée. *Afrique contemporaine*, 261-262, pp. 200-222.
- Maertens, L., & Stork, A. (2018). Qui déforeste en Haïti ? aviedesidees.fr, Fondation Florence Gould, 1-8pp.
- Mahamba, N.N. (2022). Le genre et la gouvernance foncière en Afrique subsaharienne analysés suivant l'approche du « système hybride ». Thèse de Doctorat, Université d'Ottawa, Canada, 118 p.
- Malaisse, F. (1979). L'homme dans la forêt claire zambézienne. Contribution à l'étude de l'écosystème forêt claire (Miombo). *African Economic History*, Spring,

- No. 7, Contributions to a History of Agriculture and Fishing in Central Africa, pp. 38-64.
- Malaisse, F., & Kapinga, I. (1985). The influence of deforestation on the hydric balance of soils in the Lubumbashi environment (Shaba, Zaïre). Royal Botanical Society of Belgium. *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique / Bulletin van de Koninklijke Belgische Botanische Vereniging*, T. 119, Fasc. 2, pp. 161-178.
- Malaisse, F. (1978). The Miombo ecosystem, in Tropical forest ecosystems. A state of knowledge report prepared by UNESCO, UNEP, FAO, pp 589-606.
- Malaisse, F. (1997). Se nourrir en Forêt Claire Africaine : Approche Ecologique et Nutritionnelle ; Les Presses Agronomiques de Gembloux: Gembloux, Belgium. ISBN 2-87016-045-3.
- Malaisse, F. (2010). How to Live and Survive in Zambezian Open Forest (Miombo Ecoregion); Les Presses Agronomiques de Gembloux: Gembloux, Belgium, volume 23, pp. 91–97. <https://presses.uliege.be/produit/how-to-live-and-survivein-zambezi-an-open-forest-miombo-ecoregion/>.
- Malaisse, F. (2018). Le Katanga, une Mosaïque D'écosystèmes en Mutation : Une Approche Globale. Prologue. In Anthropisation des Paysages Katangais ; Bogaert, J., Colinet, G., Mahy, G., Eds. ; Presses Universitaires de Liège-Agronomie : Gembloux, Belgium, pp. 17–39.
- Malaisse, F., & Binzangi, K. (1985). Wood as a source of fuel in upper Shaba (Zaïre). *The Commonwealth Forestry Review*, Vol. 64, No. 3 (200), pp. 227-240.
- Malaisse, F., & Kapinga, I. (1986). The influence of deforestation on the hydric balance of soils in the Lubumbashi environment (Shaba, Zaïre). *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*. Fasc. 2, 161-178.
- Malaisse, F., Bogaert, J., Boisson, S., & Useni, Y. (2021). La végétation naturelle d'Élisabethville (actuellement Lubumbashi) au début et au milieu du XXIème siècle. *Geo-Eco-Trop.*, 45, 41–51.
- Malimbwi, R.E., Nduwamungu, J., Misana, S., Jambiya, G.C., Monela, G.C., & Zahabu, E. (2004). Charcoal supply in Dar es salaam city, Tanzania. *Tanz. J. For. Nat. Conserv.*, 75, 108–118.
- Mama, V.J., & Biaou, F. (2017). Production du charbon de bois au Bénin : Menace ou opportunité pour l'adoption des mesures au changement climatique ? Cah. Cent. Bénin. Rech. Sci. Innov. 2017, 11, 50–70. Available online: <https://publications-chercheurs.inrab.bj/uploads/fichiers/recent/71b47ec3a19016c4221c82ca77351995.pdf>.
- Mana, P., Rajaonarivelo, S., & Milleville, P. (2001). Production de Charbon de Bois Dans Deux Situations Forestières de la Région de Tuléar. Sociétés Paysannes, Transitions Agraires et Dynamiques Ecologiques dans le Sud-Ouest de Madagascar. *Sci. Pays.* 199–210.
- Mangion, I. (2010). Le futur mécanisme REDD face aux moteurs de la déforestation et de la dégradation des forêts au Brésil, en Indonésie et en RDC. Mémoire de Master, Université Libre de Bruxelles, Belgique.

- Masamba, J., Mpanzu, P., Ngonde, H., & Kinkela, 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 For. Trop.*, 355, 35–46.
- Mavinga, S., Lukoki, F., Musibono, D.E., Biloso, A., & Binzangi, L. (2022). Production anti-écologique de charbon de bois en périphérie des localités Kinseki et Ntampa : Une nécessité de recourir au langage de modélisation UML pour la lutte contre la déforestation. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 37 No. 1, pp. 124-138.
- Mbuangi, M., & Ntoto, A.R. (2021). La consommation du charbon de bois dans la ville de Boma (RD Congo) : enjeux socioéconomiques et écologiques. *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement*, Vol.(vi), No.1, 52-61.
- Mbuangi, M., Ntoto, R., Kisombe, M., & Khonde, C. (2021). Les enjeux socioéconomiques et écologiques de la production du charbon de bois dans la périphérie de la ville de Boma en RDC. *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement*, Vol.(vi),3, 42-54.
- Mbungu, N.T., Milambo, K.D., Sitia, M.W., Bansal, R.C., Naidood, R.M., Kamabue, T.P., Kiseya, F.T., Tungadio, D.H., Kayembe, M.K., & Banza, B.B. (2023). Assessing and mapping electricity access patterns in a developing country. *Energy Reports*, 9, 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.08.080>
- Meerts, P., & Hasson, M. (2016). Arbres et Arbustes du Haut-Katanga ; Editions Jardins Botaniques de Meise : Brussels, Belgium, p. 386.
- Mekuria, W., Sengtaheuanghoung, O., Hoanh, C.T., & Noble, A. (2012). Economic contribution and the potential use of wood charcoal for soil restoration: A case study of village-based charcoal production in Central Laos. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.*, 19, 415–425.
- Mencarelli, A., Cavalli, R., Greco, R., & Grigolato, S. (2023). Comparison of Technical and Operational Conditions of Traditional and Modern Charcoal Kilns: A Case Study in Italy. *Energies*, 16, 7757.
- Menemencioglu, K. (2013). Traditional wood charcoal production labour in Turkish forestry (Çankırı sample). *Journal of Food, Agriculture & Environment*, Vol.11 (2): 1136-1142
- Mensah, N.O., Addo, S., Sumbayi, S.D., Osei-Gyabaah, A.P., Nakuja, T., & Anang S.A. (2024). Determinants of charcoal production and marketing in the Mankranso forest district in the Ashanti region of Ghana. *Heliyon* 10, e23800.
- Mere, S., & Yabi, A.J. (2024). Analyse des facteurs influençant la viabilité environnementale dans l'artisanat du bois au Nord-Est du Bénin. *African Scientific Journal*, Vol: 03, Numéro 25, 866-890.
- Mere, S., & Yabi, A.J. (2024). Déterminants de la rentabilité économique des activités de l'artisanat du bois au Nord-Est du Bénin. *Afrique SCIENCE* 24(4), 87-105.
- Mfomo, J.Z., Biwolé, A.B., Fongzossie, E.F., Ekassi, G.T., Hubert, D., Ducenne, H., Tamba, J.G., & Mouangue, R. (2020). Carbonization techniques and wood

- species influence quality attributes of charcoals produced from industrial sawmill residues in Eastern Cameroon. *Bois Forêts Trop.*, 345, 63–72. <https://doi.org/10.19182/bft2020.345.a31831>
- Miapia, L.M., Ariza-Mateos, D., Lacerda-Quartín, V., & Palacios-Rodríguez, G. (2021). Article Deforestation and Biomass Production in Miombo Forest in Huambo (Angola): A Balance between Local and Global Needs. *Forests*, 12, 1557, 1-14. <https://doi.org/10.3390/f12111557>
- Miller, D.C., Cheek, J.Z., Mansourian, S., & Wildburger, C. (2022). Forests, trees and the eradication of poverty. *For. Pol. Econ.*, 140, 102753. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102753>
- Ministère de l’agriculture. (2022). Politique de l’agriculture durable de la République Démocratique du Congo. 24 p.
- Miura, S., Amacher, M., Hofer, T., San-Miguel-Ayanz, J., & Ernawati, T.R. (2015). Protective functions and ecosystem services of global forests in the past quarter-century. *Forest Ecology and Management* 352, 35–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.039>
- Monela, G.C., Zahabu, E., Malimbwi, R.E., Jambiya, & G., Misana, S. (2007). Socio-economics of charcoal extraction in Tanzania: a case of eastern part of Tanzania. *CHAPOSA – Socio-Economics of Charcoal Extraction in Tanzania*, 13 p.
- Montagne, P., Crehay, R., Rasamindisa, A.M., & Razafimahatratra, S. (2009). Bonnes pratiques de carbonization à Madagascar. Projet CARAMCODEC, 30p.
- Moomaw, W.R., Law, B.E., & Goetz, S.J. (2020). Focus on the role of forests and soils in meeting climate change mitigation goals: Sum-mary. *Environ. Res. Lett.*, 15, 045009.
- Mpanzu, P., Ngonde, H., & Bonkena, P. (2018). Forêts, exploitation et consommation du bois-énergie en République Démocratique du Congo : Cas des provinces de Kinshasa, du Kwango et du Kongo Central. *Tropicultura*, 36, 3, 553-564
- Mpundu, M. (2018). Forêt claire de miombo : source d’énergie et d’aliments des populations du Haut-Katanga In : Tshonda J, Ngoy P, Badie M, Krawczyk J, Laghmouch M. République démocratique du Congo HAUT-KATANGA, lorsque richesses économiques et pouvoirs politiques forcent une identité régionale. Tome 1 Cadre naturel, peuplement et politique. 55-64 pp.
- Mugo, F., & Ong, C. (2016). Lessons of Eastern Africa’s Unsustainable Charcoal Business. World Agroforestry Centre. 24p. <https://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/54949>.
- Mulondi, K.G., Musavandalo, M.C., Sahani, M. (2019). Approche géographique des approvisionnements en charbon de bois en milieu urbain à Butembo (Nord-Kivu, RDC). *Geo-Eco-Trop*, 43, 1 : 185-196.
- Mulunda, B. (2023). Techniques d’enquêtes. Notes de cours, Université de Kalémie, RDC. 166 p.
- Mumbere, K.G., Schure, J., Cerutti, P.O., & Kasereka-Muvatsi, L. (2023). Agroforesterie et bois-énergie durable : retour d’expérience du paysage de

- Yangambi en RDC. Dossier N° 8. Série de dossiers sur le bois-énergie durable Projet Gouvernance des paysages multifonctionnels. Bogor, Indonésie et Nairobi, Kenya : CIFOR-ICRAF, 29 P.
- Mundhenk, P., Gomis, O., & Sy, M.C. (2010). Comparaison des rendements de production de charbon de bois entre la meule traditionnelle et la meule Casamance dans la forêt communautaire de Sambandé. *Peracod*, 20 p.
- Münkner, C.A., Bouquet, M., Muakana, R. (2015). Analyse des Chaines de Valeur Ajoutée en Bois-Energie et Bois D'œuvre de la Ville de Lubumbashi Dans la Province du Katanga ; Rapport du programme Biodiversité et Forêts (PBF) Projet Filière Bois; Chaînes de Valeur Ajoutée, GIZ et MEDD: Lubumbashi, Democratic Republic of the Congo. p. 92.
- Munyemba, F., & Bogaert, J. (2014). Anthropisation et dynamique spatiotemporelle de l'occupation du sol dans la région de Lubumbashi entre 1956 et 2009. *E-revue UNILU* 1, 3-23.
- Muteba, D. (2014). Caractérisation des Modes de Consommation Alimentaire des Ménages à Kinshasa : Analyse des Interrelations Entre Modes de vie et Habitudes Alimentaires. Thèse de Doctorat, Université de Liège Gembloux-Agro Biotech, Gembloux, Belgium, p.179. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/166356/1/MUTEBA_Th%C3%A8se%202014.pdf
- Mutta, D., Mahamane, L., Wekesa, C., Kowero, G., & Roos, A. (2021). Sustainable Business Models for Informal Charcoal Producers in Kenya. *Sustainability*, 13, 3475, 1-17. <https://doi.org/10.3390/su13063475>
- Muttенzer, F. (2006). Déforestation et droit coutumier à Madagascar L'historicité d'une politique foncière. Thèse de doctorat, Université de Genève, Suisse. 564 p.
- Muzirigerha, Y.N., Rukengwa, J.B., Mana, T.N., Bahazabule, R., Rukengwa, V.Z., & Kusamba Z.C. (2022). Impact du commerce du charbon de bois sur les conditions socio-économiques des ménages vendeurs du Nord-Ouest du territoire de Kabare, RD Congo. *Afrique SCIENCE*, 21(2), 180 – 195.
- Mvula, E., & Schure, J. (2012). Rapport sur les taxes et permis du secteur bois énergie dans la zone d'approvisionnement de Kinshasa (RDC) : Processus formel et réalité du terrain. Projet Makala, CIFOR. 21p.
- Mwape, V., & Simbi, V. (2024). Essai critique du cadre légal du Code forestier en RDC. Cas des forêts claires de Miombo dans le Haut Katanga. KAS African Law Study Library, 283-301. <https://doi.org/10.5771/2363-6262-2024-2-283>
- N'tambwe, N.D., Khoji, M.H., Biloso, M.A., Malaisse, F., Useni, S.Y., Masengo W.K., & Bogaert, J. (2023). Socio-Economic Value and Availability of Plant-Based Non-Timber Forest Products (NTFPs) within the Charcoal Production Basin of the City of Lubumbashi (DR Congo). *Sustainability*, 15, 14943, 1-20. <https://doi.org/10.3390/su152014943>
- N'tambwe, N.D., Muteya, K.H., Kasongo, K.B., Sambiéni, K.R., Malaisse, F., Useni, S.Y., Masengo K.W., & Bogaert, J. (2023). Towards an Inclusive Approach

- to Forest Management: Highlight of the Perception and Participation of Local Communities in the Management of miombo Woodlands around Lubumbashi (Haut-Katanga, D.R. Congo). *Forests*, 14, 687. <https://doi.org/10.3390/f14040687>
- Nabukalu, C., & Gieré, R. (2019). Charcoal as an Energy Resource: Global Trade, Production and Socioeconomic Practices Observed in Uganda. *Resources*, 8, 183. doi:10.3390/resources8040183
- Nge, A. (2013). Détermination des facteurs associés à la production durable des charbons de bois dans l'hinterland de Lubumbashi : « Cas de l'axe Lubumbashi – Kasenga, Université de Lubumbashi, Mémoire de DEA, 45 p.
- Nge, A. (2021). Diagnostic Socioéconomique et Environnemental de la Chaîne de Valeur « Charbon de Bois » à Lubumbashi (Haut Katanga, RDC) : Perspectives Pour une Gestion Durable des Ressources Ligneuses de Miombo. Thèse de Doctorat, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, République Démocratique du Congo. 296p. https://www.academia.edu/49095718/UNIVERSITE_DE_LUBUMBASHI_VERSION_REVUE_ET_CORRIGEE_1_.
- Nge, A., Ngoy, M., Nkulu, J., & Lebailly, P. (2012). Etude de modes de production de charbon de bois sur l'axe Lubumbashi-Kasenga, Poster, 1p.
- Njenga, M., Sears, R.R., Mendum, R. (2023). Sustainable woodfuel systems: A theory of change for sub-Saharan Africa. *Environ. Res. Commun.*, 5, 051003.
- Nko'o, A.M.C. (2015). Etude des propriétés physico-chimiques des charbons obtenus après activation chimique des résidus ligneux du dibetou (Iroko trichilioides harms-, de l'iroko (milicia excelsa c. C. Berg-, et du moabi (baillonella toxisperma pierre. Thèse de doctorat, Université de Yaoundé I, Cameroun. 142 p.
- Nourtier, M., Grondard, N., Rageade, M., & Calmel, M. (2013). Mise en œuvre d'un projet pilote REDD+ sur le territoire du Sud Kwamouth en RDC.
- Nyarko, I., Nwaogu, C., Miroslav, H., Peseu, & P.O. (2021). Socio-Economic Analysis of Wood Charcoal Production as a Significant Output of Forest Bioeconomy in Africa. *Forests*, 12, 568. <https://doi.org/10.3390/f12050568>
- Obadimu, O.O., Azeez, A.F., Bolaji-Olutunji, A.K., & Awe, F. (2023). An investigation into the socio-demographic determinants of charcoal production in oyo state and the need for its discontinuation. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 4(70) 411-419. <http://dx.doi.org/10.17306/J.JARD.2023.01658>
- Olarinde, O., & Olusola J.A. (2018). Socio-economic impacts of charcoal production in Oke-Ogun area of Oyo State, Nigeria. *Tropical Plant Research* 5(1), 46–52.
- Oliveira, A.C., Ramos, D.C., Pereira, B.L.C., & Carneiro, A.C.O. (2020). Carbonization temperature and charcoal properties at different positions in rectangular kiln. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár. -Braz. J. Agric. Sci.*, 15, 1–8.

- Olufunmilayo, K.V., Adekunle, M.F., Aderemi, A.S., & Akanni, S.J. (2018). Poverty Status Among Charcoal Producers in Ogun And Oyo States, Nigeria. *Adv. For. Sci., Cuiabá*, v.5, n.1, p.219-223.
- Olugbire, O.O., & Aremu, F.J. (2014). Socio-economic characteristics of charcoal marketers in bodija market of Ibadan, Oyo state, Nigeria. *Marketing Management*. 76, 28422-28425.
- Oluwasola, B.T., Solomon, K., Omowunmi, B., & Olujide, J. (2019). Analyzing the Aspects of Profitability of Charcoal Production and Marketing in Ibarapa Zone of Oyo State Nigeria, *Current Strategies in Economics and Management*, Vol. 5, 137-145. DOI: 10.9734/bpi/csem/v5
- Ongona, P. (2013). Analyse socioéconomique de la consommation de charbon de bois (makala) à Kisangani. *Les Cahiers du CRIDE, Nouvelle Série*, 10, 2, 1-21.
- Orabi, M.A., Bahnasawy, A.H., Ali, S.A., Ashour, T.H., & Yehia, I. (2020). Development of environment friendly kilns for production of charcoal. *Misr. J. Agric. Eng.*, 37, 313–324.
- OSFAC. (2019). Cartographie de la Stratification des Classes de Végétation des Forêts Miombo, Haut-Katanga RDC, Rapport Final.
- Ouedraogo, B. (2015). Support de formation en statistique descriptive. Formation du personnel non statisticien du SSN. 59 p.
- Paraíso, A., Yabi, A.J., Sossou, A., Zoumarou-Wallis, N., & Yègbémey, R.N. (2012). Rentabilité économique et financière de la production cotonnière a Ouaké au Nord-Ouest du Bénin. *Ann. Sci. Agron.*, 16, 91–105.
- Pascal, P., Tiers, S., & Dosso, M. (2003). Pour la lecture des conflits d’usages de la forêt protégée de Kakamega (Kenya) : Apports de l’étude spatiale et historique des modes de mise en valeur agricole des marges forestières. Actes du colloque international Umr Sagert, Montpellier, France. 1-10.
- Pelletier, J., Hamalambo, B., Trainor, A., & Barrett, C.B. (2021). How land tenure and labor relations mediate charcoal’s environmental footprint in Zambia: Implications for sustainable energy transitions. *World development*, 16 p.
- Peltier, R., Bisiaux, F., Dubiez, E., Marien, J.N., Muliele, J.C., Proce, P., & Vermeulen, C. (2010). De la Culture Itinérante sur Brulis aux Jachères enrichies productrices de charbon de Bois, en R.D. du Congo. Montpellier, France. 2010. 16p. https://agritrop.cirad.fr/556923/1/document_556923.pdf (accessed on 1 June 2024).
- Pendrill, F., Persson, U.M., Godar, J., & Kastner, T. (2019). Deforestation displaced: Trade in forest-risk commodities and the prospects for a global forest transition. *Environ. Res. Lett.*, 14, 055003. DOI 10.1088/1748-9326/ab0d41
- Péroches, A. (2012). Etude sur l’évolution de la biomasse au niveau de terroirs du Plateau Batéké en République Démocratique du Congo ; Impact des systèmes de culture et des techniques agroforestières telles que la Régénération Naturelle Assistée promues par le projet Makala. 79 p.

- Péroches, A., Nge, A., Gazull, L., & Dubiez, E. (2021). Rapport d'Étude sur la Filière Bois-Énergie de la Ville de Lubumbashi. Programme de Consommation Durable et Substitution Partielle au Bois-Énergie. 78p. <https://agritrop.cirad.fr/600201/>.
- Popoola, L. (2011). Application des réglementations forestières, gouvernance et échanges commerciaux en Afrique de l'Ouest subhumide. African Forest Forum. Working Paper Series, Vol. (1)2. 45 pp.
- Pramova, E., Locatelli, B., Djoudi, H., & Somorin, O. (2012). Le rôle des forêts et des arbres dans l'adaptation sociale à la variabilité et au changement climatiques. ffcirad-00937157, N° 4, 16 p.
- Preston, J. (2009). Bootstrap rééchélonné pour l'échantillonnage stratifié à plusieurs degrés, in Techniques d'enquête, Vol. 35, No 2, pp. 247-254 Statistique Canada, No 12-001-X au catalogue.
- Pyshyev, S., Miroshnichenko, D., Malik, I., Contreras, A.B., Hassan, N., & ElRasoul A.A. (2021). State of the art in the production of charcoal: a review. *Chem. Chem. Technol.*, Vol. 15, No. 1, pp. 61–73. <https://doi.org/10.23939/chcht15.01.061>
- Rain Forest Alliance, 2021. Estimation du rendement. Document d'orientation, version 1. 20 p.
- Rakotomalala, R. (2012). Analyse de corrélation Étude des dépendances - Variables quantitatives. Université Lumière Lyon 2, 83 p.
- Ramamonjisoa, N., Rajoelison, L.G., Rakoto, R.H., & Rabenilalana, F.M. (2008). Etude de l'importance socioéconomique des produits forestiers non ligneux et des produits agroforestiers en vue de l'amélioration des revenus de la population locale : Cas de la Zone de Mandraka, Région Analamanga, Madagascar. Eastern and Southern Africa Patnership Program (ESAPP), 75 p.
- Ranaivoson, T. (2017). Impacts Écologiques et Socio-Économiques de la Production de Charbon de Bois sur le Plateau Mahafaly, Sud-ouest de Madagascar. Ph.D. Thesis, Université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar, 120p. https://www.researchgate.net/publication/320372267_Impacts_ecologiques_et_socioeconomiques_de_la_production_de_charbonde_bois_sur_le_Plateau_Mahafaly_sud-ouest_de_Madagascar.
- Raoliarivelo, L.I., Rabeniala, R., Masezamana, H.M., Andrianarisoa, J.H., & Randriamalala, R.J. (2010). Impact de la Fabrication de Charbon de Bois sur la Production et la Disponibilité Fourragère de Pâturage en Zone Subaride, cas de la Commune de Soalara-Sud, Toliara II, Rapport Final ; Centre of Development and Environment (CDE) : Bern, Switzerland, p. 56.
- Rasoazanamanana, T. (2009). Effets Externes de la Production de Charbon de Bois ; Grand Mémoire d'études Approfondies, Université d'Antananarivo : Antananarivo, Madagascar, 69 p.
- Reounodji, F., Gautier, D., & Bouba, A. (2003). Occupation de l'espace et gestion des ressources naturelles dans les savanes du Tchad Cas des terroirs de Ngoko

- et de Tchikali II. Actes du colloque international Umr Sagert, Montpellier, France. 179-189.
- Rodrigues, T., & Braghini, J.A. (2019). Charcoal: A discussion on carbonization kilns. *J. Anal. Appl. Pyrolysis.*, 143, 104670. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.104670>
- Rose, J., Bensch, G., Munyehirwe, A., & Peters, J. (2022). The forgotten coal: Charcoal demand in sub-Saharan Africa. *World Development Perspectives* 25, 100401.
- Rousson, V. (2013). Statistique appliquée aux sciences de la vie. In Collection Statistique et Probabilités Appliquées ; Springer : Paris, France, p. 320. ISBN 978-2-8178-0393-7.
- Sabuhungu, G. (2016). Analyse de la Demande en Charbon de Bois par les Ménages Urbains de Bujumbura au Burundi. Thèse de Doctorat, Université de Liège Gembloux-Agro Biotech, Gembloux, Belgium, p. 192. Available online: <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/200912/1/Emery%20Ga>.
- Sakata, G. (2008). Le Droit Forestier en République Démocratique du Congo. 19p. <https://openknowledge.fao.org/items/f26ecc66-2eaa-437b-abbc-1892c857e121>.
- Salsabil, R. (2022). Régression linéaire et corrélation, analyse de survie Analyses bivariées/ Test paramétrique.
- Samouna, A., Soumana, B., Hassane, M., Toudou, A., & Mahamadou, I.S. (2020). Déterminants de la production dans les exploitations agricoles de la vallée du fleuve dans la commune de Kourtheye au Niger. *Agronomie Africaine*, 32 (4) : 463 - 474.
- Sane, A.B.S., Barry, B., & Benga, A.G.F. (2020). Impact socio-économique et écologique de l'aménagement forestier du massif des Kalounayes. *J. Écon. Manag. Environ. Droit.*, 3, 84–99. <https://revues.imist.ma/index.php/JEMED/article/>
- Sanogo, B., Bamba, Y., & Maïga, I. (2023). Analyse de l'exploitation abusive du charbon de bois dans le Cercle de Kolondieba : cas de la Commune de N'Golodiana. *Revue Internationale du Chercheur*, Volume 4 : Numéro 3 » pp : 1022 – 1034.
- Sanouna, A., Soumana, B., Hassane, M., Toudou, A., & Mahamadou, I.S. (2020). Déterminants de la production dans les exploitations agricoles de la vallée du fleuve dans la commune de Kourtheye au Niger. *Agronomie Africaine*, 32 (4) : 463 – 474.
- Sanz Sanz, E. (2016). Planification urbaine et agriculture : méthodologie systémique de caractérisation de l'agriculture périurbaine à partir d'une recherche empirique en France et en Espagne. Géographie. EHESS Paris.
- Savoie-Zajc, L. (2007). Comment peut-on construire un échantillonnage scientifiquement valide ? *Recherches qualitatives/ Hors série/ 5*, 99-111.

- Sawyer, S.F. (Analysis of Variance: The Fundamental Concepts. *The Journal of Manual & Manipulative Therapy*, vol (17), N°2, 27-38. DOI: 10.1179/jmt.2009.17.2.27E.
- Schenkel, Y., Bertaux, P., Vanwijnsberghe, S., & Carré, J. (1997). Une Evaluation de la Technique de la Carbonisation en Meule. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 1, 113–124.
- Schettini, B.L.S., Jacovine, L.A.G., Torres, C.M.M.E., Carneiro, A.C.O., Villanova, P.H., Soares da Rocha, S.S.V., Rufino, M.P.M.X., & Castro, R.V.O. (2021). Wood and charcoal production in the kiln-furnace system: how do the costs and revenues variation affect economic feasibility? *Revista Árvore* 45:e4539, pp 1-9. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-908820210000039>
- Schure, J., & Sola, P. (2021). Les femmes, cette anomalie persistante dans le secteur du charbon de bois : des approches intégrant la dimension de genre pour des résultats plus inclusifs, équitables et durables. Dossier N°2. Le Bois-Energie Durable. Projet Gouvernance des paysages multifonctionnels (GML). Bogor, Indonésie et Nairobi, Kenya : CIFOR-ICRAF.
- Schure, J., Hubert, D., Ducenne, H., Kirimi, M., Awomo, A., Mpuruta-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. 26p.<https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/8481/>.
- Schure, J., Ingram, V., & Akalakou-Mayimba, C. (2011). Bois Énergie en RDC : Analyse de la Filière des Villes de Kinshasa et de Kisangani. Projet Makala, Gérer Durablement la Ressource bois Énergie. 2011. 88p. Available online: http://makala.cirad.fr/les_produits/publications/rapports/2011_analyse_de_la_filiere_bois_energie_des_villes_de_kinshasa_et_de_kisangani_cifor.
- Schure, J., Ingram, V., Assembe-Mvondo, S., Mvula-Mampasi, E., & Levan, P. (2013). La filière bois énergie des villes de Kinshasa et Kisangani. Quand la ville mange la forêt - Les défis du bois-énergie en Afrique centrale, Les défis du bois-énergie en Afrique centrale Coord. Editoriale de J.-N. Marien, É. Dubiez, D. Louppe, A. Larzillière Ed. Quae.
- Schure, J., Ingram, V., Marien, J.N., Nasi, R., & Dubiez, E. (2011). Le bois énergie 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. N°8, CIFOR. 4p.
- Schure, J., Ingram, V., Sakho-Jimbira, M.S., Levang, P., & Wiersum, K.F. (2012). Formalisation of charcoal value chains and livelihood outcomes in Central and West Africa. *Energy Sustain. Dev.*, 17, 95–105. <https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/3879/>.
- Schure, J., Mvondo, S., Awono, A., Ingram, V., Lescuyer, G., Sonwa, D., & Somorin, O. (2010). L'état de l'art du bois énergie en RDC : Analyse institutionnelle et socioéconomique de la filière bois énergie, CIFOR, 103 p.

- Schure, J., Pinta F., Cerutti, P.O., & Kasereka, M.L. (2019). Efficiency of charcoal production in Sub-Saharan Africa: solutions beyond the kiln. *Bois et Forêts des Tropiques*, 340, 57-70.
- Schure, J., Dkamela, G.P., Van der Goes, A., & McNally, R. (2014). Une approche pour la promotion de chaînes de valeur du bois-énergie compatibles à REDD+. 42 p.
- Seboka, Y. (2008). Charcoal production: Opportunities and barriers for improving efficiency and sustainability. In *Harnessing Carbon Finance to Promote Sustainable Forestry, Agro-Forestry and Bio-Energy*; UNDP: Washington, DC, USA, pp. 102–126. Available online:
- Sedano, F., Silva, J.A., Machoco, R., Meque, C.H., Siteo, A., Ribeiro, N., Anderson, K., Ombe, Z.A., Baule, S.H., & Tucker, C.J. (2016). The impact of charcoal production on forest degradation: a case study in Tete, Mozambique. *Environ. Res. Lett.* 11, 094020, 1-12. doi:10.1088/1748-9326/11/9/094020
- Seidel, A. (2008). Charcoal in Africa Importance, Problems and Possible Solution Strategies; GTZ: Eschborn, Germany, 18p. https://energypedia.info/images/2/22/Charcoal-in-africa-gtz_2008-eng.pdf.
- Semeki, J., Yusufu, E., Daassi, R., Basusu, C., Kani, M., & Lejoly, J. (2024). Rendement des fours traditionnels de production de charbon à *Acacia auriculiformis* et *A. mangium* sur le plateau des Batéké, RD Congo. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 12(3), 196-201.
- Serenje, W., Chidumayo, E.N., Chipuwa, J.H., Egnéus, H., & Allegard, A. (1994). Environmental Impact Assessment of the Charcoal Production and Utilization System in-Central Zambia. Energy, Environment and Development Series - No. 32. Stockholm Environment Institute. ISBN: 91 88116 88 3.
- Shen, S. (2016). Multiple Linear Regression. Fall Section 003, University of South Carolina, USA, 60 p.
- Shuku, N. (2011). Impact de l'utilisation de l'énergie-bois dans la ville province de Kinshasa en République démocratique du Congo (RDC). Mémoire de Maitrise, Université du Québec à Montréal, Canada, 168 p.
- Shuku, N. (2011). Impact de l'Utilisation de l'Énergie-Bois Dans la Ville Province de Kinshasa en République Démocratique du Congo (RDC). Thèse de Doctorat, Université du Québec à Montréal, Montréal, QC, Canada, 168p.<https://archipel.uqam.ca/4598/1/M12010.pdf> (accessed on 7 September 2024).
- Shuku, O. (2004). Impact de la production de charbon de bois dans la Commune de Lemba à Kinshasa-RDC. Association Nationale pour l'Évaluation Environnementale. Vancouver, Canada. 18 p.
- Siko, C., Sola, P., Mulwa, R., & Otieno, P. (2021). Evaluating charcoal producers' preferences for improved production systems in Marigat sub county, Baringo County Ignatius. *Environmental Challenges*, 5, 100275, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100275>

- Smith, H.E., Hudson, M.D., & Schreckenber, K. (2016). Livelihood diversification: The role of charcoal production in southern Malawi. *Energy for Sustainable Development* 36 (2017) 22–36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2016.10.001>
- Sola, P., Schure, J., Gambo, J., Awono, A., Mwaanga, B.M., Moombe, K.B., Nlom, J.H., Hiol Hiol, F., & Banda, E. (2022). Commerce transfrontalier du charbon de bois dans certains pays d’Afrique orientale, centrale et australe : appel à un dialogue régional. Dossier N°5. Série de dossiers sur le bois-énergie durable Projet Gouvernance des paysages multifonctionnels. Bogor, Indonésie et Nairobi, Kenya : CIFOR-ICRAF. 30 p.
- Sourokou, R., Vodouhe, F.G., & Yabi, J.A. (2022). Evaluation économique de la dégradation forestière à travers le consentement à payer des utilisateurs directs des ressources forestières au Bénin (Afrique de l’Ouest). XV^{ème} congrès forestier mondial. Construire un avenir vert, sain et résilient avec les forêts, 18 p.
- Tabutin, D. (1991). La croissance démographique de l’Afrique bilan et perspective. *Revue Tiers Monde*, Vol. 32, No. 125, pp. 159-173.
- Talbi, I. (2020). Statistique descriptive. Notes de cours, Université Frères Mentouri-Constantine 1, Algérie. 67 p.
- Talukdar, N.R., Choudhury, P., Barbhuiya, R.A., & Singh, B. (2021). Importance of Non-Timber Forest Products (NTFPs) in rural livelihood: A study in Patharia Hills Reserve Forest, northeast India. *Trees For. People*, 3, 100042. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2020.100042>
- Tamboura, S.T., Irie, B.V.G., & Akoué, Y.C. (2022). Sens et enjeux du maintien de la production informelle du charbon de bois en contexte de changement climatique. *Revue internationale de recherches et d’études pluridisciplinaires, Spécial* (n°006), pp. 287-303. fihalshs-03873510f.
- Tanguy, B., Spielman, D.J., Alemayehu, S.T., & Eleni, Z. (2010). Cooperatives for Staple Crop Marketing for staple crop marketing: Evidence from Ethiopia. 86 p.
- Tassie, K., Misganaw, B., Addisu, S., & Tesfaye, E. (2021). Socioeconomic and Environmental Impacts of Charcoal Production Activities of Rural Households in Mecha District, Ethiopia. *Hindawi Advances in Agriculture*, Volume 2021, Article ID 6612720, 16 p. <https://doi.org/10.1155/2021/6612720>
- Tazebew, E., Sato, S., Addisu, S., Bekele, E., Alemu, A., & Belay, B. (2023). Improving traditional charcoal production system for sustainable charcoal income and environmental benefits in highlands of Ethiopia. *Heliyon*, 9, 1–14.
- Tchatchou, B., Sonwa, D.J., Ifo, S., & Tiani, A.M. (2015). Déforestation et Dégradation des Forêts dans le Bassin du Congo état des lieux, Causes actuelles et perspectives. Papier Occasionnel 120 ; CIFOR : Bogor, Indonesia, 47p. <https://cgspace.cgiar.org/items/15da95e3-62da-4b24-98a4-e9f0d9c3727e>.

- Temmerman, M., Andrianirina, R., Richter, F. (2019). Performances techniques et environnementales du four de carbonisation Green Mad Retort à Madagascar. *Bois Forêts Trop.*, 340, 43–55.
- Temple, L., & Moustier, P. (2004). Les fonctions et contraintes de l'agriculture périurbaine de quelques villes africaines (Yaoundé, Cotonou, Dakar). *Cahiers Agricultures*, 13 : 15-22.
- Tenand, M. (2017). La théorie du producteur, Microéconomie 1, Notes de cours, Ecole normale supérieure (ENS Ulm), France, 57p. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cel.hal.science/cel-01873682/file/MicroENS_Cours%203_Th%C3%A9orie%20du%20producteur_CEL.pdf.
- Traore, K. (2024). Impact de la production du charbon de bois sur l'environnement et la santé du producteur dans le département de Korhogo (Côte d'Ivoire). *International Journal of Sociology and Anthropology Research*, Vol.10, No.1 pp.13-31.
- Traoré, K. (2024). Impact de la production du charbon de bois sur l'environnement et la santé du producteur dans le département de Korhogo (Côte d'Ivoire). *International Journal of Sociology and Anthropology Research*, Publication of the European Centre for Research Training and Development-UK, Vol.10, No.1 pp.13-31
- Trefon, T., Hendriks, T., Kabuyaya, N., & Ngoy, B. (2010). L'Économie Politique de la Filière du Charbon de Bois à Kinshasa et à Lubumbashi, Appui Stratégique à la Politique de Reconstruction Post-Conflict en R.D.C; IOB Working Paper; Institut of Development Policy and Management, University of Antwerp: Antwerpen, Belgium, 110p.<https://medialibrary.uantwerpen.be/oldcontent/container2143/files/Publications/WP/2010/03-Trefon-Hendriks-Kabuyaya-Ngoy.pdf>.
- Trégourès, A. (2015). La Structuration des Filières d'Approvisionnement en Bois Énergie Dans la Province du Zambèze (Mozambique): Programme Sous-National de Réduction des Émissions de Carbone Liées à la Déforestation et à la Dégradation Forestière (REDD+). Master's Thesis, AgroParisTech, Paris, France, 2015; 120p.https://www.nitidae.org/files/3e308652/161019111820_tregoures_fn_s2014_2015.pdf.
- Tshomba, J., Nkulu, J., & Kalambaie, M. (2020). Analyse de la dépendance alimentaire aux importations des ménages dans trois communes de la ville de Lubumbashi, RDC. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*, 388-396.
- Twite, G., & Balume, S. (2022). Utilisation énergétique à l'échelle urbaine en République Démocratique du Congo : état de lieux, défis et perspectives. *ISTE Ltd. London, UK – openscience.fr*, 1-19.
- UICN-PC. (2014). Les Facteurs de Déforestation et de Dégradation des Forêts. Résultats d'une analyse participative dans les Paysages TNS et TRIDOM (Cameroun, Congo, Gabon et RCA). 81 p.

- UNDP. (2022). Politique Nationale de l’Energie de la République Démocratique du Congo. 41 p.
- Useni, S.Y., Mpanda, M.M., Khoji, M.H., Cirezi, C.N., Malaisse, F., & Bogaert, J. (2023). Vegetation Fires in the Lubumbashi Charcoal Production Basin (The Democratic Republic of the Congo): Drivers, Extent and Spatiotemporal Dynamics. *Land*, 12, 2171. <https://doi.org/10.3390/land12122171>
- Useni, S.Y., Mpanda, M.M., Malaisse, F., Kazaba, K.P., & Bogaert, J. (2023). The Spatiotemporal Changing Dynamics of Miombo Deforestation and Illegal Human Activities for Forest Fire in Kundelungu National Park, Democratic Republic of the Congo. *Fire*, 6, 174. <https://doi.org/10.3390/fire6050174>
- Useni, Y., André, M., Mahy, G., Cabala, S., Malaisse, F., Munyemba, F. & Bogaert J. (2018). Interprétation paysagère du processus d’urbanisation à Lubumbashi : dynamique de la structure spatiale et suivi des indicateurs écologiques entre 2002 et 2008. *Anthropisation des paysages Katangais*. Gembloux, Belgique : *Presses Universitaires de Liège- Agronomie-Gembloux*. pp 281-295.
- Useni, Y., Malaisse, F., Cabala, S., Munyemba, F., & Bogaert, J. (2017). Le rayon de déforestation autour de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, R.D Congo) : synthèse. Notes techniques, *Tropicultura*, 35,3, 215-221.
- Van Beukering, P.J.H., Kahyarara, G., Massey, E.E., Di Prima, S., Hess, S.M., & Geoffrey, V. (2007). Optimization of the charcoal chain in Tanzania. (IVM Report; No. W-07/03). Instituut voor Milieuvraagstukken.
- Vermeulen, C. (2023). Quelques initiatives pour lutter contre la déforestation en RDC. Initiatives contre la déforestation en RDC.
- Vermeulen, C., Dubiez, E., Proce, P., Mukumary, D.S., Yamba Yamba, T., Mutambwe, S., Peltier, R., Marien, J.N., & Doucet, J.L. (2011). Enjeux fonciers, exploitation des ressources naturelles et Forêts des Communautés Locales en périphérie de Kinshasa, RDC. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 15(4), 535-544.
- Vranken, I. (2010). Pollution et Contamination des Sols Aux Métaux Lourds Dues à l’Industrie Métallurgique à Lubumbashi : Empreinte écologique, impact paysager, pistes de gestion. Master’s Thesis, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgium, 90p. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/118879>.
- Vundu, M.V. (2021). Le cadre legal de la gestion des forets en rdc des forets en RDC. Ministère de l’Environnement, Conservation de la Nature, Eaux et Forêts (RDC), 41 p.
- Waring, B., Neumann, M., Prentice, I.C., Adams, M., Smith, P., & Siegert, M. (2020). Forests and Decarbonization – Roles of Natural and Planted Forests. *Front. For. Glob. Change* 3:58, 1-6.
- Wasseige, C., Tadoum, M., Eba’ Atyi, R., & Doumenge, C. (2015). Les forêts du bassin du Congo : Forêts et changements climatiques. Weyrich, Belgique. 128 p.

- Wekesa, C., Mutta, D., Larwanou, M., Kowero, G., & Roos, A. (2023). Effects of charcoal ban on value chains and livelihoods in Kenyancoast— Stakeholders’ perceptions. *Environ. Dev.* 2023, 45, 100809.
- Worku, A., Andaregie, A., & Astatkie, T. (2021). Analysis of the Charcoal Market Chain in Northwest Ethiopia. *Small-scale Forestry*, 20, 407–424. <https://doi.org/10.1007/s11842-021-09474-9>
- WWF. (2021). Règlementation de la filière bois énergie dans la région Atsimo Andrefana : Acquis et leçons apprises • 2008 à 2011 Programme WWF à Madagascar et dans l’Océan Indien Occidental. 73 p.
- Yabi, J.A., Paraïso, A., Yegbemey, R.N., & Chanou, P. (2012). Rentabilité Economique des Systèmes Rizicoles de la Commune de Ma-lanville au Nord-Est du Bénin. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB), Numéro Spécial Productions Végétales & Animales et Economie & Sociologie Rurales. pp. 1–12. https://www.slire.net/download/1769/article_1_yabi_et_al_riziculture_brab_n-sp_scial_prod_v_an_co_soc_rur_d_c_2012.pdf.
- Yadav, V.S., Yadav, S.S., Gupta, S.R., Meena, R.S., Lal, R., Sheoran, N.S., & Jhariya, M.K. (2022). Carbon sequestration potential and CO₂ fluxes in a tropical forest ecosystem. *Ecol. Eng.*, 176, 106541. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106541>
- Zahim, F., Girardin, P., Mouchet, C., Viaux, P., & Vilain, L. (2008). De l’évaluation de la durabilité des exploitations agricoles à partir de la méthode IDEA a la caractérisation de la durabilité de la « ferme Européenne » à partir de la méthode IDERICA. 37 p.
- Zakariyao, K., & Lalle, Y.L. (2014). Impact de la tenure foncière sur la structure, la densité et le fonctionnement des ligneux dans les agrosystèmes en pays Tem (Togo). *Sciences de l’Environnement*, 2014, Numéro spécial “ Hommages à Feu Augustin Lardja Baritse ”, 1 (11), pp.85-104. fihal-01564388f
- Zhang, W., Ricketts, T.H., Kremen, C., Carney, K., Swinton, S.M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological economics*, 64, 253-260.
- Zira, B.D. (2019). Economic Analysis of Charcoal Production in Semi—Arid Region of Nigeria. *Int. J. Adv. Res. Soc. Sci. Environ. Stud.Technol.*, 4, 52–61.
- Zorrilla-Miras, P., Mahamane, M., Metzger, M.J., Baumert, S., Vollmer, F., Luz A.C., Woollen, E., Siteo, A.A., Patenaude, G., Nhantumbo, I., Ryana, C.M., Paterson, J., Matediane, M.J., Ribeiro, N.S., & Grundy, I.M. (2018). Environmental Conservation and Social Benefits of Charcoal Production in Mozambique. *Ecological Economics*, 144, 100-111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.028>
- Zulu, L.C., & Richardson, R.B. (2013). Charcoal, livelihoods, and poverty reduction: Evidence from sub-Saharan Africa. *Energy for Sustainable Development*. 17, 127-137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2012.07.007>

ANNEXE

GUIDE D'ENTRETIEN POUR FOCUS GROUP

Thématique ou Objectif	Questions
<p>1. Caractéristiques du village et des producteurs</p>	<p>1. Quelle est la distance (en Km) du village par rapport à Lubumbashi ?.....</p> <p>2. Le village se trouve dans quel territoire ?</p> <p>3. Dans quel District ?</p> <p>4. Dans quelle Chefferie ?.....</p>
	<p>5. Quelle est l'Année de création du village ?.....</p>
	<p>6. Nombre d'habitants actuellement ?.....</p>
	<p>7. Quelles sont les différentes ethnies rencontrées dans le village ?.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
	<p>8. Nombre des charbonniers (Estimation) ?.....</p>
	<p>9. Quelles sont les différentes ethnies qui s'intéressent beaucoup plus à la production du charbon de bois dans ce village ?.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>

	<p>14. Vos forêts sont à combien de Km du village et quelles en sont les espèces d'arbres qui dominent ainsi que les plus utilisées pour la production du charbon de bois ?.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>15. Jusqu'à combien d'années encore, évaluez-vous cette disponibilité ?.....</p> <p>.....</p> <p>16. A quelle période avez-vous commencé à constater la rareté des ressources ligneuses ?.....</p> <p>.....</p>
<p>3. Conditions juridico administratives d'accès aux ressources forestières</p>	<p>17. Quelle est la procédure à suivre pour les allochtones et Autochtones pour accéder à la forêt afin de produire le charbon de bois dans ce village ?.....</p> <p>.....</p> <p>18. Comment est fait le contrat, est-il écrit ou verbal pour les deux catégories (Autochtones et Allochtones) et a souvent quelle durée ?.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>

	<p>.....</p> <p>.....</p>
<p>4. Production du charbon de bois et repérage des producteurs professionnels.</p>	<p>19. Quelle est la catégorie des producteurs qui domine dans le village, est-ce des hommes ou femmes ? Autochtones ou Allochtones ?</p>
	<p>20. Quelles sont les autres activités développées dans ce village outre le charbonnage ?.....</p>
	<p>21. Existe-t-il dans ce village, des producteurs de charbon de bois qui le font durant toute l'année c'est à dire en saison sèche et de pluie (Charbonniers professionnels) et ne vivant que de cette activité ?.....</p>
	<p>22. Au nombre de combien estimez-vous ces charbonniers professionnels ?.....</p>

	23. Outre le village, existe-t-il des camps des charbonniers en pleine forêt ? où l'on peut retrouver d'autres professionnels ? c'est à combien de Km du village ?.....
--	---

FICHE DE SUIVI DE CARBONISATION ET COMMERCIALISATION

N°.....

Nom du charbonnier.....

I. Caractéristiques de la meule

Numéro de la meule :.....

Village/ Axe :.....

Localisation de la meule (coordonnées Géographiques) :

Longueur :.....m

Largeur :.....m

Hauteur :.....m

Distance entre le lieu d'abattage des arbres et la meule :.....m

N°	Types d'essences utilisés par ordre d'importance	Proportions (scores)
1		
2		

3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

II. Etapes et activités

1°) Avant Montage de la meule		
Dates	Activités	Nombre de personnes
Du / / au / / 2021	Abattage des arbres	
Du / / au / / 2021	Découpage	
2°) Montage de la meule		
Dates	Activités	
Du / / au / / 2021	Classement bois	
Du / / au / / 2021	Mise paille ; terre et colmatage des trous	
3°) Carbonisation		
Dates	Activités	
Le / /2021	Mise du feu	
Du / / au / / 2021	Surveillance de la combustion	

4°) Fin de carbonisation		
Dates	Activités	
Du / / au / / / 2021	Récolte	
Nombre de sacs		
Poids/ sac en Kg		

III. Commercialisation du charbon de bois

1. Qui sont vos clients potentiels ? a. Les revendeurs b. Les ménages c. Autres à préciser.....

.....

2. Outre les acheteurs, quels sont les autres acteurs rencontrés lors de l'exercice de votre activité ?

a. Transporteurs (Camion ou autres véhicules) b. Transporteurs (Vélo) c. Manutentionnaires

3. Dans combien de jours se fait :

a. La vente au lieu de production.....Jours b. La vente au village.....Jours c. la vente à Lubumbashi.....Jours

Analyse économique financière/ maule construite

<i>Libellés</i>	<i>Saisons</i>	
	<i>Sèche</i>	<i>Pluvieuse</i>
<i>Nombre de meules construites</i>		
<i>Prix de vente meule</i>		
<i>Nombre de Sacs produits (dimensions)</i>		
<i>Prix de vente/ sac (Au lieu de production)</i>		
<i>Prix de vente/ sac (village)</i>		
<i>Coût sacs vides (FC)</i>		
<i>Coût transport vers le village (FC)</i>		
<i>Coût manutention (village) (FC)</i>		
<i>Coût Taxes au village et lieu de production (FC)</i>		
<i>Coût transport (Lubumbashi)(FC)</i>		
<i>Coût manutention (Lubumbashi) (FC)</i>		
<i>Coût dépôts (FC)</i>		

<i>Coût taxes (Lubumbashi) (FC)</i>		
<i>Prix de vente (Lubumbashi) (FC)</i>		

QUESTIONNAIRE D'ENQUETES SUR LA CARACTERISATION DES CHARBONNIERS DANS LA ZONE RURALE DE LUBUMBASHI

I. Identification du milieu

N° Fiche : Date : Coordonnées
GPS.....

Axe :	
Village :	
Groupement :	
Secteur :	
Territoire :	

II. Caractéristiques sociodémographiques des charbonniers de la région de Lubumbashi

1. Sexe : a. Masculin b. Féminin
2. Age : Ans 3. Ancienneté dans l'activité : Années 4. Taille de ménage :personnes
5. Etat civil : a. Célibataire b. marié c. divorcé d. Veuf (ve)
6. Niveau d'études : a. Primaire b. Secondaire c. Universitaire e. Aucun niveau
7. Lieu d'habitation : a. Village b. Lubumbashi c. Autres à préciser.....
8. Si au village, comment se présente l'habitat ?
a. murs avec briques cuites b. murs avec briques non cuites c. Toiture avec tôles d. Toiture en paille
9. Activité principale : a. Production du charbon de bois b. Agriculture
c. Artisanat
d. Autre à préciser.....
10. Si activités agricoles, quel est votre mode d'accès à la terre ?
a. Achat b. Héritage c. Location d. Métayage e. Don f. Autre à préciser

11. Lieu de production du charbon de bois

a. Dans la forêt du village b. Dans sa concession réservée aux activités agricoles c. Dans des concessions forestières des habitants du village d. Autres à préciser.....

12. Le mode organisationnel de la production du charbon de bois est : a. En groupe b. Seul

13. Si en groupe, c'est avec : a. Les collègues charbonniers b. Les membres de la famille

14. Pendant quelle période produisez-vous le charbon de bois ?

a. Toute l'année b. Saison sèche c. Saison de pluie

15. Où vendez-vous vos produits ? a. Dans la forêt au lieu de production b. Dans le village c. A Lubumbashi d. Autres à préciser.....

16. Quel est votre mode de vente du charbon de bois ? a. par meule b. Par sac

17. Quel est votre mode d'organisation lors de la commercialisation ?

a. Transport de la marchandise en groupe vers Lubumbashi b. Vente groupée à Lubumbashi c. Autres à préciser.....

18. Quels sont les différents moyens de production que vous avez à votre disposition ?

a. Houe b. Bèche c. Hache d. Machette e. Fourche f. Tronçonneuse g. Autre à préciser

III. Profil socio ethnographique des producteurs

1. Quel est votre statut dans ce village ? a. Autochtone (Originaire) b. Allochtone

2. Si Autochtone, à quelle tribu ou ethnie appartenez-vous ?.....

3. Si Allochtone, à quelle tribu ou ethnie appartenez-vous ?.....

4. Si Allochtone, habitez-vous ce village de manière permanente ? a. Oui b. Non

5. Si Oui, depuis combien de temps y demeurez-vous ?.....Années

6. Si Allochtone permanent dans le village, quelle a été votre activité principale lors de votre installation dans ce village ?

a. Agriculture b. Charbonnage b. Artisanat c. Chasse d. Petit commerce e. Autres à préciser.....

QUESTIONNAIRE D'ENQUETES SUR L'ACCES AUX RESSOURCES ET LEUR EXPLOITATION DANS LA ZONE RURALE DE LUBUMBASHI

I. Identification du milieu

N° Fiche : Date :..... Coordonnées
GPS.....

II. Caractéristiques sociodémographiques

Sexe : a. Masculin b. Féminin

2. Age:...Ans 3. Ancienneté dans l'activité : Années 4. Taille de ménage :.....

Personnes

5. Etat civil : a. Célibataire b. marié c. divorcé d. Veuf (ve)

6. Niveau d'études : a. Primaire b. Secondaire c. Universitaire e. Aucun niveau

7. Lieu d'habitation : a. Village b. Lubumbashi c. Autres à
préciser.....

III. Pratiques des producteurs

1. Quel est votre mode d'accès à la ressource ligneuse pour la production du charbon
de bois ?

a. Par achat d'une concession b. Par location d'une concession c. Par héritage d'une
concession familiale d. Par l'exploitation de la forêt du village e. Gratuitement, à
travers un don d'une concession e. Autre à
préciser.....

2. Si achat, depuis quelle année ?..... ; A combien avez-vous payé cette
concession ?.....FC/USD

3. Quelle est la superficie totale de votre concession ?.....ha

4. Quelle est la superficie exploitée jusque-là ?ha

5. Depuis combien de temps l'exploitez-vous ?.....Années

6. Si location, combien payez-vous ?.....FC/USD

7. Comment se fait le paiement ? a. chaque vente b. Mensuellement c. Autres à
préciser.....

8. Si Métoyage, combien payez-vous au propriétaire à chaque production ?.....% ou sacs

9. Auprès de qui avez-vous payé ou loué la forêt ? a. Chef du village b. Habitant du village c. Notable du village d. L'état e. Autres à préciser.....

10. Quelles sont les espèces les plus utilisées dans la fabrication du charbon de bois ? Classez-les par ordre d'importance ?.....

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

11. La coupe se fait : a. De manière sélective des essences b. Non sélective des essences

12. Si sélective des essences : a. Selon les rendements pouvant être produits b. Selon la taille de l'arbre c. selon le diamètre de l'arbre d. Autres à préciser.....

13. Si non sélective des essences, tenez-vous quand même compte de : a. La taille de l'arbre b. Selon le diamètre c. Autre à préciser.....

14. A partir de combien de cm de diamètre, un arbre est abattu ou devient utile pour la production du charbon de bois ?.....cm

15. A quelle hauteur (estimation) du sol se fait la coupe de ces arbres ?.....cm.

1) Durée de vie des matériels utilisés

Matériel utilisé	Nombre	Année d'acquisition du plus récent	Coût à l'achat (FC)
a. Hache			
b. Machette			
c. Houe			
d. bêche			
e. Fourche			
f. Râteau			
h. Tronçonneuse			
i. Autre à préciser			

17. A quelles étapes de la production payez-vous des taxes ?

a. A l'abatage.....FC/ A quel service étatique ?.....

b. A la carbonisation.....FC/ A quel service étatique ?.....

c. A la vente.....FC/ A quel service étatique ?.....

18. Utilisez-vous une main d'œuvre lors du processus de production ? a. Oui b. Non

19. Si oui, de quel type ? a. Familiale b. Non familiale gratuite c. Non familiale payée e. Autres à préciser.....

...

20. Cette main d'œuvre est constituée de combien de personne ?.....Personnes

Coordonnées Géographiques des meules suivies

N° Meule	Village	Coordonnées géographiques
1	Sela	S: 11°17' ; E: 27°36'
2	Maksem	S : 11°17' ; E :27°51.9275 -
3	Maksem	S : 11°20'14.47' et E :27°51'2.3841
4	Sela	S:11°17' ; E:27°36'
5	Luisha	S: 11°11.0761' ; E: 26°57.7171'
6	Luisha	S: 11°10.9889' ; E: 26°57.5448'
7	Luisha	S:11°11.3654' ; E: 26°57.1284'
8	Luisha	S: 11°11.9349' ; E: 26°57.8783'
9	Sela	S:11°16.8365' ; E: 27°36.3723'
10	Sela	S: 11°17.1256' ; E: 27°35.9495'
11	Luisha	S :11°17.1259' ; E :27°35.9500'
12	Luisha	S :11°11.3727' ; E :26°56.7148'
13	Mwawa	S :12°2.2181' ; E :27°38.1740'
14	Mwawa	S :12°2.2343' ; E :27°38.1592'
15	Mwawa	S :12°2.2837' ; E :27°38.2183'
16	Mwawa	S :12°2.0921' ; E :27°38.0600'
17	Maksem	S: 11°24.4866' et E: 27°55.4091'
18	Maksem	S : 11°24.7273' et E: 27°55.22'
19	Sela	S: 11°16.6075 et E: 27°35.7328'
20	Maksem	S: 11°24.4389' et E: 27°55.4976''



Estimation du diamètre d'un tronc d'arbre à l'aide d'un metre ruban à Luisha

Liste des articles publiés en tant que Coauteur

Héritier Khoji Muteya, Médard Mpanda Mukenza, Ildephonse Kipili Mwenya, François Malaisse, Dieu-donné N'tambwe Nghonda, **Nathan Kasanda Mukendi**, Jean-François Bastin, Jan Bogaert, Yannick Useni Sikuzani, 2024. Protected area creation and its limited effect on deforestation: Insights from the Kiziba-Baluba hunting domain (DR Congo). <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100654>

Yannick Useni Sikuzani, Médard Mpanda Mukenza, Ildephonse Kipili Mwenya, Héritier Khoji Muteya, Dieu-donné N'tambwe Nghonda, **Nathan Kasanda Mukendi**, François Malaisse, Françoise Malonga Kaj, Donatien Dibwe Dia Mwembu and Jan Bogaert, 2024. Quantifying Forest Cover Loss during the COVID-19 Pandemic in the Lubumbashi Charcoal Production Basin (DR Congo) through Remote Sensing and Landscape Analysis. <https://doi.org/10.3390/resources13070095>

Dieu-donné N'tambwe Nghonda, Héritier Khoji Muteya, Gracia Kalenga Mupanda, François Duse Dukuku, **Nathan Kasanda Mukendi**, Bienvenu Esoma Okothomas, Médard Mpanda Mukenza, Sylvestre Cabala Kaleba, François Malaisse, Wilfried Masengo Kalenga, Jan Bogaert and Yannick Useni Sikuzani, 2025. Reforestation Initiatives in the Lubumbashi Charcoal Production Basin (DR Congo): Plant Diversity Selection, Management Practices, and Ecosystems Structure.

<https://doi.org/10.3390/ecologies6010017>