

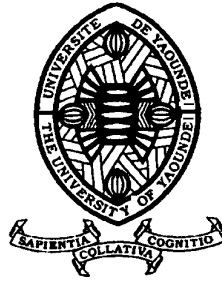
RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix - Travail – Patrie

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE
D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

DÉPARTEMENT D'INGÉNIERIE DU BOIS

BP. 886 ÉBOLOWA



REPUBLIC OF CAMEROON
Peace-Work-Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TECHNICAL TEACHERS'
TRAINING COLLEGE

DEPARTEMENT OF WOOD ENGINEERING

P.O BOX: 886 EBOLOWA

VALORISATION DE LA SCIURE D'UNE UNITÉ DE TRANSFORMATION DU BOIS EN BRIQUETTES DE BOIS DENSIFIÉ

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur d'Enseignement Technique et
Professionnel Deuxième Grade (DIPET II)

OPTION : INDUSTRIE DU BOIS

Par :

AKAMBA NDJO'O Vanessa

Matricule : 19W1233

Sous la Direction de :

Pr NJANKOUO Jacques Michel
Ingénieur Polytechnicien, Maître de Conférences

Soutenu le 01/06/2021 devant le Jury constitué de :

Président du jury :	Pr KANA 'A Thomas	Maître de Conférences, Université de Yaoundé I
Rapporteur :	Pr NJANKOUO Jacques Michel	Maître de Conférences, Université de Yaoundé I
Examineur :	Pr NANA Paulin	Maître de Conférences, Université de Dschang

ANNÉE ACADÉMIQUE 2020-2021



FICHE DE CERTIFICATION DE L'AUTHENTICITE DU TRAVAIL

Je, soussignée AKAMBA NDJO'O Vanessa, atteste que le contenu du présent mémoire de fin de formation à l'Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique (ENSET), de l'Université de Yaoundé I à Ebolowa, est le fruit de mes propres travaux effectués au sein de l'Entreprise PALLISCO sur le Thème : «Valorisation des rebuts de bois sciure en brique énergétique densifier » Ce travail a été effectué sous l'encadrement technique de Madame NJOUPOUO POUMIE Jeanne Irène , Ingénieur des Eaux et Forêts ; et du Pr .Dr. Ing. NJANKOUO Jacques Michel, Maître de Conférences à l'Université de Yaoundé ont supervisé ce travail sur le plan académique.

Ce mémoire est authentique et n'a fait l'objet d'aucune soutenance en vue de l'obtention d'un quelconque grade universitaire.

NOM ET SIGNATURE DE L'AUTEUR

Date.....

Dédicace

Je dédie ce mémoire à toute

La famille NDJO'O

Remerciement

Ce travail est avant toutes choses une inspiration divine, raison pour laquelle je remercie l'Éternel Dieu pour les innombrables grâces dont il me comble tous les jours.

Toute œuvre qui résulte d'un effort humain est explicitement ou implicitement toujours le fruit d'une vaste collaboration. Ainsi, Ma reconnaissance va :

Premièrement à Pr.Dr.Ing. NJANKOUO Jacques Michel, mon superviseur académique pour toutes les dispositions prises pour l'aboutissement parfait de ce travail ;

- ❖ Mlle NJOUPOUO POUMIE Jeanne Irène, responsable production/vente du marché national Pallisco pour son aide, sa disponibilité, ses judicieux conseils pendant toute la durée de mon étude. Sa patience et sa pédagogie sont exemplaires ; son œil critique m'a été très précieux pour guider et structurer ce mémoire.

A l'issue de ce travail, j'adresse ma reconnaissance à ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à sa bonne réalisation. Il s'agit ici de :

- ❖ le personnel de l'Université de YAOUNDE I, en particulier madame le Directeur de l'ENSET d'EBOLOWA Pr SALOME NDJAKOMO ESSIANE pour
l'ensemble des moyens déployés pour le déroulement sans encombre de ce travail;
- ❖ Tous mes camarades de l'ENSET d'Ebolowa avec qui nous avons tout partagé et échangé des expériences qui nous ont permis de nous édifier davantage dans nos domaines respectifs de formation ;
- ❖ Ma famille, pour le soutien inconditionnel, particulièrement à Madame MOTAZE Beatrice, HYANZE NKAMGNIA Chancerel, BITA BEKOUROU Yvon Yanick
- ❖ Mes amis pour leurs encouragements et leurs apports sur tous les plans.

Sommaire

INTRODUCTION	1
1. Contexte et justification de l'étude	1
2. Problématique.....	2
3. Objectifs	2
0.4. Intérêt de l'étude	3
4. Plan du travail.....	3
CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	5
1.1. Définition des notions	5
1.1.1. Biomasse	5
1.1.2. Briquettes de bois densifié.....	6
1.1.3. Combustible bois.....	6
1.1.4. Bois énergie.....	6
1.1.5. Densification	7
1.1.6. Pouvoir calorifique	7
1.1.7. Copeaux et sciures sèches	7
1.1.8. Bois de chauffe.....	8
1.1.9. Charbon de bois.....	8
1.2. Généralités	8
1.2.1. Notion de valorisation des produits connexes bois.....	8
1.2.2. Situation de la biomasse forestière au Cameroun.....	9
1.2.3. Bois énergie au Cameroun.....	9
1.2.4. Procédés de valorisation énergétique de la biomasse	10
1.2.5. Typologie des combustible bois	14
1.2.6. Evaluation des coûts d'investissement	19
Chapitre 2 : MATERIELS ET METHODE.....	21
2.1. Zone d'étude	21
2.1.1. Situation géographique.....	21
2.1.2. Présentation des entreprises PALLISCO-CIFM.....	22

2.1.3.	Relief et pédologie.....	Erreur ! Signet non défini.
2.1.4.	Climat	Erreur ! Signet non défini.
2.1.5.	Hydrographie.....	Erreur ! Signet non défini.
2.1.6.	Végétation	Erreur ! Signet non défini.
2.1.7.	Description de la chaine de production CIFM.....	23
2.2.	Collecte des données	24
2.2.1.	Données secondaires	Erreur ! Signet non défini.
2.2.2.	Données primaires.....	Erreur ! Signet non défini.
2.3.	Analyse des données	30
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION		31
3.1.	Résultats	31
3.1.1.	Estimation du volume de sciure disponible et non valorisé.....	31
3.1.2.	Description du processus de production des briquettes	33
3.1.3.	Caractérisation des briquettes.....	35
3.1.4.	Etude de faisabilité économique.....	36
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....		39
Bibliographie		41
Annexes		43

Liste des figures

Figure 1: quelques voies de conversion énergétique de la biomasse	10
Figure 2 : Étapes de fabrication des granules énergétiques.....	12
Figure 3 : processus de production industriel des briquettes de bois.....	12
Figure 4 : représentation des différents paramètres de production des sciures.....	13
Figure 5 : Répartition du volume de sciure rejetée par type de machine.....	15
Figure 6 : Volume de sciure valorisée.....	16
Figure 7 : granules de bois.....	19
Figure 8 : différentes formes de briquettes de bois densifié	20
Figure 9 : Plaquettes.....	29
Figure 10 : localisation du site d'exploitation de PALLISCO-CIFM.....	24
Figure 11 : mélange liant et sciure Sapelli.....	29
Figure 13 : séchage des briquettes.....	31
Figure 14 : Balance Terraillon.....	32
Figure 15 : résultats du test de combustion des briquettes, du bois de feu et du charbon de bois.....	40

Liste des tableaux

Liste des abréviations

CIFM : centre industriel et forestier de Mindourou

FAO : Food and Agriculture Organization

PCI : pouvoir calorifique inférieur

UTB : unité de transformation bois

VAN : valeur actuelle nette

UFA : Unité Forestière d'Aménagement

Résumé

Les résidus à faible granulométrie entrent très peu ou pas dans les différents procédés de valorisation des résidus de scierie actuelle dans le bassin du Congo en général et au Cameroun en particulier. Toutefois, les entreprises telles Pallisco-CFM montrent progressivement leur intérêt pour la transformation plus poussée du bois. Ce qui implique la valorisation optimale des résidus de son unité de transformation. L'étude a été menée du 1^{er} février au 1^{er} mai 2021 dans les entreprises Pallisco-CIFM. Celle-ci avait pour objectif la valorisation des résidus de faible granulométrie : cas des briquettes de bois densifié. Pour cela il a été question de d'estimer le volume de sciure disponible sur site et non valorisé, par la suite le mode opérationnel utilisé pour la production des dites briquettes a été décrit en fonction du contexte. Une fois les briquettes produites, leurs caractéristiques ont été déterminées et pour finir nous avons effectué une étude économique du projet. Ainsi, il en ressort que la quantité de sciure disponible nous a été estimée à une valeur de 6404m³ pour un volume de 71695m³ de bois transformé. Aussi, pour la production de 4 briquettes une quantité moyenne de 4,6kg de sciure, 245g d'amidon et 8,66L d'eau a été utilisée. Les briquettes obtenues, ont les caractéristiques suivantes : une forme parallélépipédique de masse volumique 360g/m³, 10% d'humidité, un pouvoir calorifique de 27, 728MJ/Kg et un taux de cendre de 0,5%. Grâce au test de combustion, nous avons pu déduire que le temps de prise de feu est très court par rapport au bois de feu et au charbon de bois. Les briquettes brûlent également mieux et à un temps de combustion élevé. Enfin, l'étude économique a montré que le produit se vulgarise très rapidement dans Douala, et Bafoussam. Contrairement à la ville de Yaoundé où nous avons rencontré beaucoup de réticences face au produit. La valeur positive obtenue après le calcul de la VAN nous a permis de conclure que le projet est rentable alors il sera préférable de donner une plus-value à ces grandes quantités de sciure présentes dans les UTB.

Mots clés : déchets, sciure, valorisation énergétique, briquettes, rentabilité, Cameroun.

Abstract

All related sawmill products are significant in wood processing units (UTBs). Populations in the tropics generally use fuels for cooking. A study was conducted from february 1 to mach 1, 2021 in Pallisco-CIFM companies. This one aimed at the valorization of residues of small particle size : case of briquettes of densified wood. For this it was discussed to estimate the volume of sawdust available on site and not valued (1), subsequently the operational mode used for the production of said briquettes was described according to the context (2). Once the briquettes were produced, it was necessary to determine the characteristics of the briquettes (3) and finally we carried out an economic study of the project (4). Estimating the amount of sawdust available gave us a value of 6404m³ for a volume of 71695m³ of processed wood. Also, for the production of 4 briquettes we used on average 4.6kg of sawdust, 245g of starch and 8.66L of water. The briquettes obtained have a parallelepipedic shape with a density of 360 g / m³, a moisture content of 10%, a heating value of 27.728 MJ / Kg and an ash content of 0.5%. Grace combustion test, we have been able to deduce that the time of fire is very short compared to firewood and charcoal. Briquettes also burn better and have a high burn time. Finally, thanks to the economic study we could popularize our product in the cities of Yaounde, Douala, and Bafoussam. And thanks to the calculation of the NPV, we could say that this project is profitable.

Keys Word : Waste, sawdust, energetic valorization, briquettes, profitable, Cameroon

INTRODUCTION

1. Contexte et justification de l'étude

Dans le contexte actuel, de développement durable et de diminution des émissions des gaz à effet de serre, le monde se trouve confronté à plusieurs défis liés à la protection de l'environnement (OAPI, 2015). De ce fait, la

consommation d'énergie est au centre des réflexions. D'ici 2050, la demande mondiale d'énergie devrait doubler et dans le même temps, pour limiter le réchauffement de la planète, les émissions devront être réduites de moitié (Schneider, 2011). Par ailleurs, remédier à cette situation avenir presque irréversible revient à trouver des sources d'énergie durables et moins polluantes.

De par ses multiples fonctions écologiques et sa réserve énergétique biologique permanente, la forêt se revêt comme un potentiel de gisement d'énergie renouvelable pouvant remédier à d'éventuelles crises écologiques et énergétiques futures (ESMAP, 2007). Connue sous le terme de biomasse forestière, elle désigne l'ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie (Crehay et al. 2004). La principale concernée ici est l'énergie domestique. Cependant, le bois exploité est commercialisé sous forme de grumes, de débités issus de la première transformation et parfois sous forme de produits de seconde transformation (lambris, parquets) (Ndiapi, 2017). Mais le rendement matière reste assez faible avec un taux de production moyen de 30% (GTZ, 2012). Ce qui montre que jusqu'à 70% de bois transformé se retrouve dans les unités transformation du Bois sous formes de rebut issus de la transformation primaire (copeaux, sciures) (GTZ, 2012). Toutes ces matières organiques peuvent dégager de l'énergie soit par combustion directe ou suite à une ou plusieurs étapes de transformation, l'une de ces transformations conduit à l'obtention des briquettes de bois densifié à partir des sciures. Il s'agit d'un combustible pouvant contribuer à l'approvisionnement en énergie domestique dans les ménages en Afrique en général et au Cameroun en particulier (Girard, 2003).

Compte tenu de la forte demande en énergie utile pour la cuisson dans les ménages, les entreprises Pallisco-CIFM qui ont en leur sein des chaînes de transformation, ont un intérêt de plus en plus croissant pour la valorisation des rebuts de bois dans l'optique de produire des combustibles comme des briquettes de bois densifié. Ce travail vient donc en appui pour favoriser une meilleure mise en application d'un tel projet.

2. Problématique

La biomasse lignocellulosique représente en terme d'approvisionnement énergétique des ménages au Cameroun 83% (INS, 2008). Cependant, le bois énergie est consommé essentiellement sous forme de bois de chauffage à 91,18% et de charbon à 0,97% (Minée, 2010). Cette consommation entraîne une forte pression sur les ressources ligneuses des aires protégées anéantissant ainsi les efforts du gouvernement dans la lutte contre le phénomène du réchauffement climatique et l'avancée du désert (CIRAD, 2013).

En outre, investir dans d'autres alternatives de combustibles (briquettes de bois densifié) qui pourraient se substituer au bois de chauffage et au charbon du bois se révèle être une idée qui est en parfaite adéquation avec la vision d'avenir de l'entreprise Pallisco-CIFM. Ainsi, pour contribuer à la réduction des pressions faites sur les forêts par les populations ; à la valorisation des rebuts de faibles granulométries et au ravitaillement du marché national en de nouveaux combustibles, l'entreprise Pallisco-CIFM voudrait par ce travail mener une étude de faisabilité technico-économique sur les briquettes de bois densifié.

3. Objectifs

Objectif général

L'objectif général de cette étude est de contribuer à la valorisation énergétique des rebuts de bois de faible granulométrie dans les entreprises Pallisco-CIFM.

Objectif spécifique

Plus précisément, il s'agit pour la sciure de bois des unités de transformation Pallisco-CIIFM de :

- Caractériser la matière première (sciure) ;
- Décrire le processus de production des briquettes de bois densifié ;
- Caractériser les briquettes de bois densifié ;
- Effectuer une étude du marché.

0.4. Intérêt de l'étude

Pour l'entreprise, cette étude permettra :

- De réduire la grande quantité de sciure stockée sur le site ;
- D'effectuer une valorisation plus poussée du bois ;
- D'augmenter sa rentabilité.

Sur le plan national :

- Proposer au marché camerounais un tout nouveau combustible propre, facilement stockable et ayant un pouvoir calorifique comparable à celui du charbon de bois et du bois de feu ;
- Réduire la coupe abusive du bois pour la cuisson des aliments ou pour la production des combustibles tels que le charbon de bois ;
- Encourager les autres entreprises de transformation du bois à valoriser tous les différents types de déchets qu'ils produisent ;
- Contribuer à la lutte du gouvernement contre la destruction des espaces boisés et réduire ainsi les effets changements climatiques déjà observable au Cameroun.

Intérêt pédagogique :

Présenter aux apprenants un produit bois issu de la valorisation des rebuts de bois de faible granulométries.

4. Plan du travail

La progression de ce travail suivra succinctement le plan suivant : au premier chapitre nous aurons une revue de la littérature sur tous les concepts et expressions liés à notre thématique ; au second chapitre nous décrirons la méthode et le matériel utilisés pour réaliser ce travail et en dernier chapitre nous présenterons les résultats obtenus suivis d'une discussion qui nous permettra de faire une comparaison avec les données présentées dans la revue de la littérature.

CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1. Définition des notions

1.1.1. Biomasse

La biomasse Terme qui désigne, au sens large, l'ensemble de la matière vivante. La biomasse forestière elle, est la masse vivante, considérée du point de vue de l'énergie, que l'on peut obtenir par combustion ou fermentation (MRNF, 2011). Elle regroupe l'ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie.

Cependant, depuis le premier choc pétrolier (1973), la biomasse est assimilée dans le langage courant aux produits organiques végétaux ou animaux utilisés à des fins énergétiques (bioénergies) ou agronomiques. La biomasse végétale est issue du processus de la photosynthèse (production d'hydrates de carbone à partir de l'énergie solaire). On considère que son exploitation raisonnée contribue au maintien des équilibres biochimiques (neutralité du carbone renouvelable vis-à-vis de l'effet de serre, faible teneur en soufre). Les sources principales sont par ordre décroissant :

- La forêt et les boisements non forestiers (bocage, alignements urbains ...) ;
- L'agriculture (pailles et tiges de végétaux, déjections animales...)
- Les collectivités (ordures ménagères, boues de stations d'épuration, graisses organiques, bois de rebut...).

Les modes de valorisation varient selon les types de substrats et notamment leur taux d'humidité :

- Conversion thermochimique (combustion, pyrolyse / gazéification), pour les produits secs (bois-énergie) ;
- Valorisation énergétique des copeaux de bois soit pour la production du bioéthanol (KAYE, ENSET 2019), soit pour la production du charbon par carbonisation et densification (BILOA, ENSET 2019)
- Processus biologiques (méthanisation et compostage) pour les produits humides (fumier/lisier ...).

Des applications sont aussi développées pour la production de biocarburants, biomatériaux (Biomasse Normandie, 2015)

1.1.2. Briquettes de bois densifié

Produits fabriqués par compactage des sciures, et éventuellement des copeaux ou autres déchets de l'industrie du bois.

Les matières ligneuses sont triées, séchées au besoin, puis broyées et affinées avant d'être introduites dans la presse. Le produit est ensuite dépoussiéré avant d'être conditionné (ADEME/FCBA, 2008).

1.1.3. Combustible bois

Élément issu de la biomasse qui avec un comburant (comme le dioxygène) et de l'énergie se consume dans une réaction chimique générant de la chaleur : la combustion.

1.1.4. Bois énergie

Le bois énergie est le terme générique qui désigne l'utilisation du bois en tant que combustible, employé sous différentes formes : bois déchiquetés, bûches, granulés, briquettes. Plus le PCI des bois de chauffage est élevé et plus le combustible est performant et générateur de chaleur (AGECO, 2009).

1.1.5. Densification

La densification est la compression des résidus de scierie sous haute pression après séchage. La densification du bois permet :

- D'augmenter le contenu énergétique du combustible (du simple au double) ;
- De rendre son transport et son stockage plus efficace ;
- D'augmenter sa masse volumique (celle d'un pellet est plus élevée que le bois dont il provient) (BILOA, ENSET 2019).

1.1.6. Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique d'un combustible représente la quantité d'énergie contenue dans une unité de masse de ce combustible. Elle s'exprime en terme d'énergie par unité de masse (pour les solides : MJ/Kg) et par unité de volume (pour les gaz : MJ/m³) (ADEME, et al. 2001).

On parle de « pouvoir calorifique inférieur (PCI) », lorsque la combustion s'effectue à une pression constante (à l'air libre). C'est à dire que la chaleur latente (qui est difficilement récupérable) de la vapeur d'eau n'est pas récupérée à ce moment (ADEME, et al. 2001). C'est cette valeur du PC qui est récupérable comme énergie par l'utilisateur. Le tableau 1 suivant présente les différents combustibles bois et leur pouvoir calorifique

Tableau 1. Tableau comparatifs des différents combustibles

Combustibles	Unité	Pouvoir calorifique KWh
Charbon	Kg	7,6-9,0
Bois de feu (feuillus)	Kg	4,3-5,4
Granulés, briquettes de bois	Kg	4,9
Plaquettes forestières	Kg	2,5-3,5

(UVED, 2014)

1.1.7. Copeaux et sciures sèches

Les copeaux et sciures sont constitués de fines particules résultant de l'usinage mécanique de bois. Elles sont produites lors du sciage des grumes (il s'agit alors de sciure assez humide) ou lors du travail de planches dans les industries de seconde transformation du bois (fabrique de meubles, etc.). La sciure résulte du fractionnement des copeaux.

Au sein des entreprises, la sciure est collectée au niveau des outils par un système mécanique ou d'aspiration. Elle est ensuite véhiculée jusqu'à une zone de stockage. Ces produits à très faible densité sont plutôt utilisés en autoconsommation (KAYE, ENSET 2019).

En matière de valorisation, les sciures sont généralement récupérées :

- Pour la fabrication de panneaux de particules,
- Pour l'alimentation des chaudières ;
- Pour la production des chaleurs des cuissons domestiques ;
- Pour la fabrication des combustibles densifiés, etc....

Dans des scieries équipées des scies à ruban et des scies circulaires, la sciure peut atteindre jusqu'à 12% du volume total des bois ronds entrants, tandis que dans les scieries équipées des fragmenteuses, le volume des sciures n'est que d'environ 6%.

La sciure résulte du fractionnement des copeaux. Elle est constituée de fines particules issues de l'usinage mécanique de bois. En effet, elle est produite lors du sciage des grumes ou lors du travail de planches dans les industries de seconde transformation du bois (fabriques de meubles, etc.).

Avantage : Elle est gratuite pour l'entreprise qui la produit.

Inconvénient : Elle se conserve très mal et demande des installations adaptées à la fine granulométrie.

Humidité : Elle est comprise entre 40 et 60 % pour les sciures de première transformation du bois 10 à 15 % pour les sciures de seconde transformation du bois (AGECO, 2009).

1.1.8. Bois de chauffe

Le bois de chauffe, autrement appelé bois à brûler, est le bois à l'état brut, provenant de troncs et de branches d'arbres, destiné à des fins de combustion pour la cuisine, le chauffage et la production d'énergie (FAO,2002).

1.1.9. Charbon de bois

Selon BINZANGI. (1983), le charbon de bois se définit comme étant le produit solide obtenu par combustion lente et incomplète de bois. En d'autres termes, le charbon de bois est une matière combustible solide, de couleur noire, d'origine végétale et qui renferme une forte proportion de carbone (Maubourguet, 2008).

1.2. Généralités

1.2.1. Notion de valorisation des produits connexes bois

La notion de valorisation des déchets du bois comprend l'ensemble des activités permettant de promouvoir leur transformation, leur recyclage ou leur réutilisation (réemploi) afin de leur donner une nouvelle utilité (Kamdem, 2016).

L'intérêt de valoriser les déchets du bois en milieu industriel est multiforme.

→ Sur le plan économique

La valorisation des déchets du bois est une source de retombées financières certaines. Dans l'entreprise de sciage, les déchets générés constituent plus de 70% de la matière première.

→ Sur le plan environnemental

La gestion des déchets a toujours été un problème sur le plan écologique.

En effet, aux abords des unités de transformation du bois, notamment des scieries ils subissent des incinérations en plein air, où émanent des fumées incommodantes et nauséabondes, qui dégradent l'environnement sous diverses formes : Pollution des cours d'eau, pollutions de l'air, vecteur de transmission des maladies pulmonaires...

→ Sur le plan esthétique.

On peut remarquer que les différents déchets, non seulement impactent négativement sur l'environnement, mais participent à la dégradation de l'image de l'entreprise qui les génère.

La récupération et la valorisation de ces déchets constituent donc une réponse appropriée à cette question environnementale.

1.2.2. Situation de la biomasse forestière au Cameroun

On peut estimer que le Cameroun a une disponibilité de production de 5 millions de m³ de bois sur pied par an. Les cimes, les branches, les souches, les racines, les coursons abandonnés dans les parcs à bois représentent environ 50% du volume sur pied ; soit 2,5 millions de m³. La production annuelle de la matière ligneuse est estimée avant entrée usine à 2,5 millions de m³. Les résidus dans les usines de première transformation Sur une valeur estimée entrée usine de 2.500.000 m³, il est ressorti au Cameroun en 2006 que seulement 748.000 m³ de bois ont été produits. Soit un rendement matière de 30%. La quantité des résidus de première transformation peut donc être estimée à 1.752.000 m³. Le tableau ci-dessus résume à la fois les rémanents forestiers et les résidus issus de la première transformation (GTZ-ProFSFE, 2006).

Tableau 2 : Résidus de la forêt et des scieries au Cameroun

Volume de bois sur pied disponible annuellement	5.000.000m ³
Résidus forêt parc (environ 14%)	700 000m ³
Entrée usine	2 500 000m ³
Bois produit	748 000m ^{3q}
Rendement matière	30%
Résidus scierie (sciures, dosses, copeaux, délignures, aubier, défaut du cœur)	1 752 000m ³ (70% déchets en scierie)
Résidus forêt par cet scierie	245 000 000m ³

(GTZ-ProFSFE, 2006).

1.2.3. Bois énergie au Cameroun

Le bois-énergie reste l'une des formes d'énergie les plus utilisées par habitant au Cameroun. Un séminaire sur les statistiques forestières en Afrique tenu par la FAO en 1992 estime la consommation en bois de feu et charbon de bois à 8 millions de m³ par an et reconnaît que ces produits sont généralement exploités par le secteur informel ; d'où la difficulté d'appréhender ce produit (POUNA, 1999). La plupart des études faites sur les problèmes de bois-énergie au Cameroun concernent la consommation des ménages. Les quantités industrielles ou artisanales semblent ne pas être appréhendées.

Les études faites par VANNETIER en 1977, POUNA en 1988 (cité par POUNA (1999)) ont montré des consommations de 02 stères/habitant/an. De même, NDJODO (1982) étudiant le marché du charbon de bois dans la ville de Yaoundé a trouvé une consommation d'environ 3,6 kg/personne/an de charbon de bois. Cette même enquête nous indique par ailleurs que les restaurants paupérisés et les fabricants de marmites locales en aluminium utiliseraient respectivement 77 et 73,5 kg/mois de charbon de bois. Une étude de faisabilité pour l'installation d'une unité de carbonisation de bois estimait la consommation de ce produit à 2000 tonnes/an pour Douala (POUNA, 1989). MACHIA, en 1985, pour la même ville de Douala atteint 3,19 kg/personne/an, alors celle du bois de feu dépasse 317 kg/personne/an.

Pour ces deux grandes agglomérations, la consommation annuelle de charbon de bois représente environ 20 millions kg ; soit 20.000 tonnes de charbon. Toujours selon l'étude de POUNA en 1999, d'autres études plus ou moins semblables, menées dans d'autres régions du pays estiment :

- pour un petit village de la Ménoua, nommé Nzong, une consommation de bois de feu de 1,76 stères /mois pour une famille de 08 personnes;
- PABA SALE, en 1976, appréhende une consommation de 235.200 stères de bois /an à

Maroua région de l'extrême nord pour une population de 67.187 habitants. Il s'agit là de la consommation annuelle qui dépasse les moyennes rencontrées dans les autres villes, mais qui pourrait s'expliquer par la tendance de cette ville à conserver ses habitudes culinaires et qui, aujourd'hui, auraient largement contribué à la disparition d'arbres sur le périmètre urbain (GTZ-ProFSFE, 2006). Procédés de valorisation énergétique de la biomasse

Plusieurs procédés permettent de convertir la biomasse en combustibles solides, liquides ou gazeux (Figure 1). Le produit final est tributaire du type de technologie employée et chaque produit fini possède des caractéristiques physicochimiques spécifiques, bien que la matière première est la biomasse lignocellulosique.

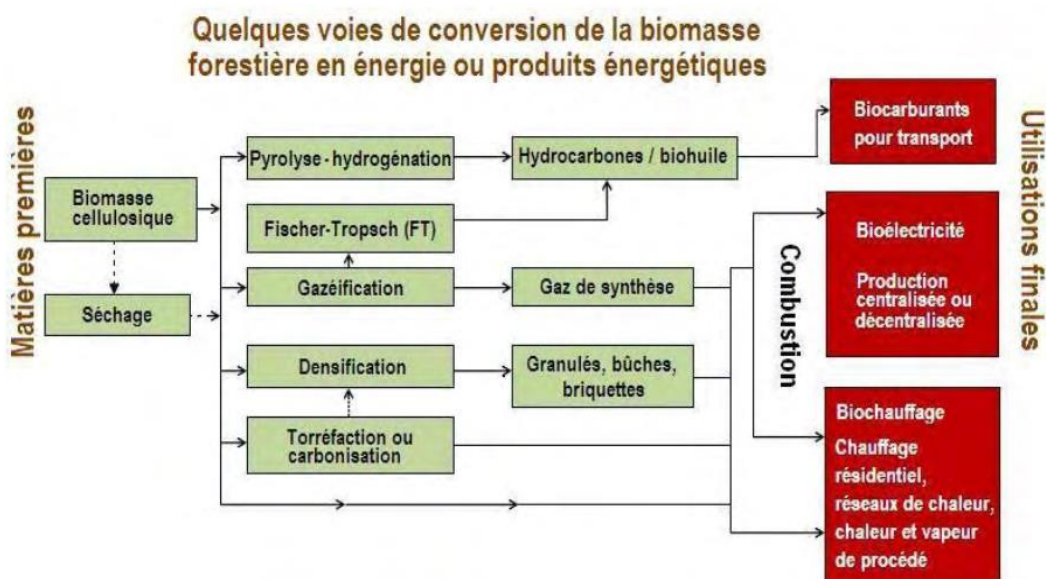


Figure 1: Quelques voies de conversion énergétique de la biomasse (CRIQ, 2010)

1.2.4.1 Processus de production industriel des briquettes de bois

La densification est le procédé généralement utilisé pour la production des briquettes de sciure. La densification de la biomasse forestière permet de préparer différents biocombustibles : les granules, les bûches et les briquettes. Le principe de fabrication respecte des étapes bien précises comme le montre la figure 2.

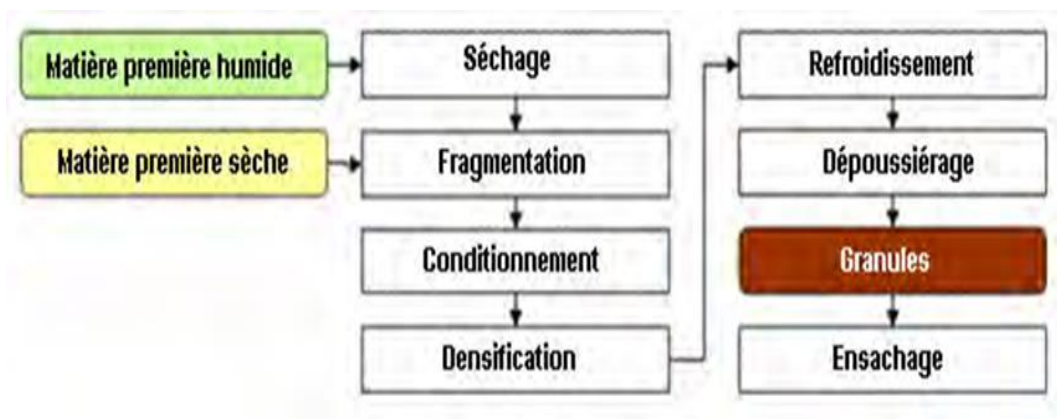


Figure 2 : Étapes de fabrication des granules énergétiques (EBIA, 2010)

Le processus pour produire la briquette compactée impose des critères stricts en matière de :

- Granulométrie : les particules de bois doivent avoir des dimensions inférieures à 10mm ;
- Humidité : le bois doit avoir un taux d'humidité maximal de 15-20% selon le type de presse.

Ainsi, pour optimiser le processus de briquetage, il faut une matière première de très faible granulométrie (sciures) et de forte siccité.

Les particules, collectées dans un silo, sont acheminées par un convoyeur à vis ou à tapis, ou par aspiration, jusqu'au silo d'alimentation de la presse à briquettes. Le système d'alimentation de la presse apporte la matière dans la chambre de compactage, où le piston, actionné par un système mécanique, comprime. Ce procédé produit des briquettes avec un poids spécifique élevé sans addition liant. La briquette ainsi obtenue est guidée dans une chaîne de refroidissement où une scie automatique la coupe à la dimension souhaitée (figure 3) (ATIBT, 2011).

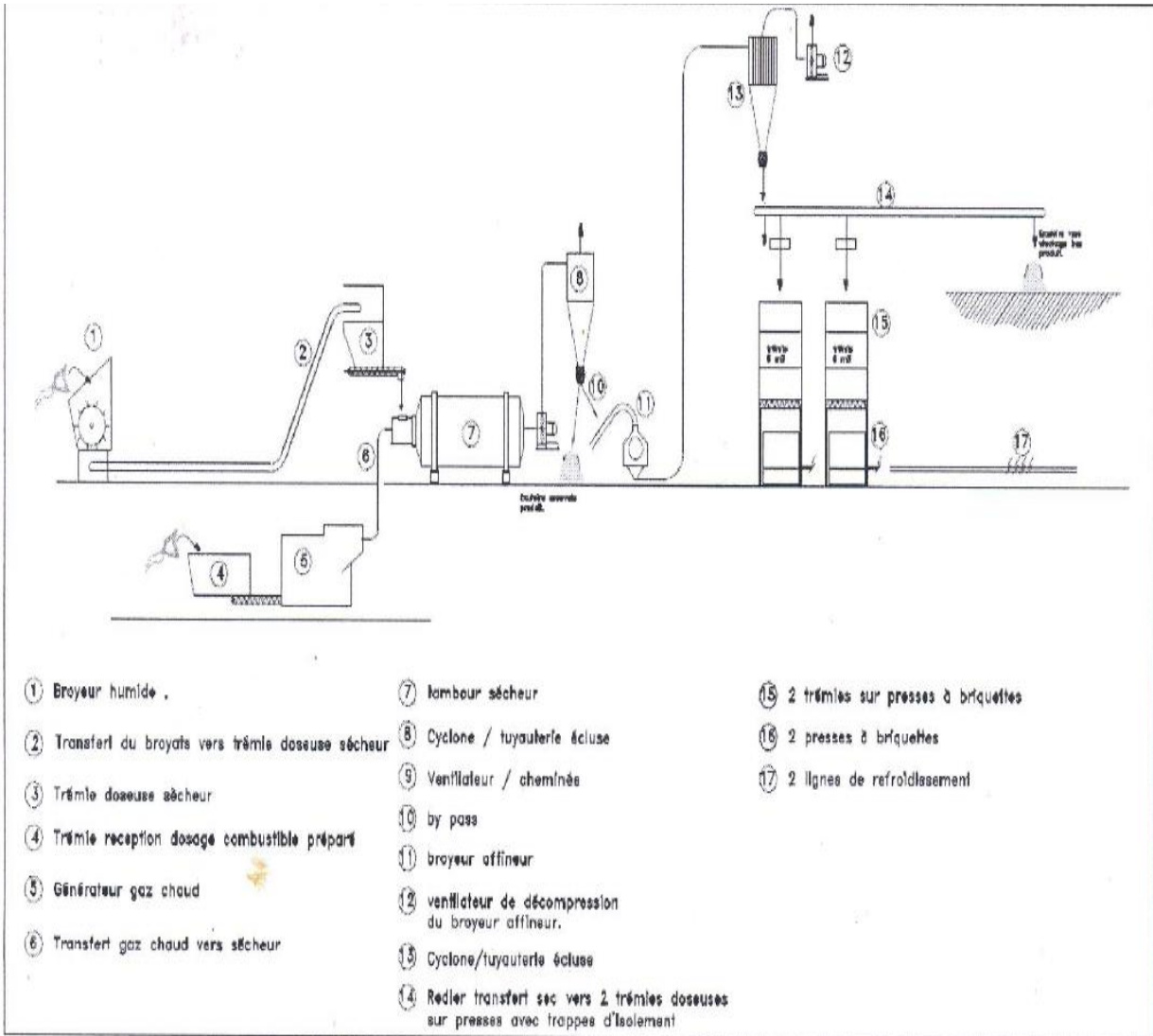


Figure 3 : Processus de production industriel des briquettes de bois (ATIBT, 201

a) Comparaison des technologies de fabrication des briquettes

Le tableau 4 suivant permet de faire une comparaison des technologies de fabrications de briquettes. Ces technologies peuvent être utilisé pour la production tout type de briquettes combustible.

Tableau 3 : Comparaison des technologies de production des briquettes de combustion

Technologies de Briquetage	Presse à vis	Presse à piston de rouleau	Rouleau de presse	Moulin de Pellet	Agglomérateur	Manuel
Capacité de production (kg / h)	150 kg/hr	200 - 2,500 kg/hr	900-1,500 kg/hr	200 - 8,000 kg/hr	aucune information	6 kg/hr
Teneur en humidité optimale de la matière première	8-9%	10-15%	10-15%	10-15%	aucune information	jusqu'à 80%
Taille des particules	plus petite	Plus grosse	Plus grosse	plus petite	plus petite - poudre	plus petite - fibre
Usure des pièces de contact	élevée	faible	élevée	élevée	faible	faible
Extrant de la machine	continu	en groupe	continu	continu	continu	en groupe
Consommation d'énergie spécifique (kWh / tonne)	36.8-150	37.4-77	29.91-83.1	16.4-74.5	aucune information	Pas d'électricité
Debit des objets passant par le système (t / h)	0.5	2.5	5.0-10.0	5	aucune information	aucune information
Densité de briquettes	1-1.4 g/cm ³	1-1.2 g/cm ³	0.6-0.7 g/cm ³	0.7-0.8 g/cm ³	0.4-0.5 g/cm ³	aucune information
Entretien	faible	élevé	faible	faible	faible	faible
Rendement de combustion des briquettes	très bon	modéré	modéré	très bon	aucune information	Moderate
Coût (USD)	1,350	20,000-30,000	14,000-19,000	aucune information	aucune information	150

(Tumuluru, et al., 2010)

1.2.4. Typologie des combustibles bois

Il convient de distinguer :

- Les bûches, qui impliquent une alimentation manuelle (grande variabilité des dimensions) ;
- Les combustibles qui autorisent une alimentation automatique (caractéristiques dimensionnelles relativement homogènes).

Parmi ces derniers, quatre "familles" relativement homogènes en termes de granulométrie, taux d'humidité et densité peuvent être distinguées :

- Les bûches ;
- Les écorces ;
- Les granules énergétiques ;
- Les bûches et les briquettes de bois densifié ;
- Le charbon de bois ;
- Les plaquettes.

1.2.5.1 Bûches

Bois de courte longueur (25 cm à 1 m), ronds ou fendus, issus de l'exploitation de la forêt, des haies et des vergers et utilisés comme bois de chauffage (Andersen, 2001).

Les bûches sont utilisées comme combustibles dans des appareils indépendants (cheminées, foyers fermés et inserts, poêles, cuisinières) et des chaudières de chauffage central à alimentation manuelle. Plusieurs critères permettent de les caractériser :

- Essence : feuillus ou parfois résineux ;
- Taux d'humidité : 20 à 25 % sur brut (bois dit sec à l'air) ;
- PCI : de l'ordre de 1,5 à 1,7 MWh par stère ;
- Longueur : 25, 33, 50 ou 100 cm ;
- Diamètre : 4 à 20 cm.

La teneur énergétique d'un stère est comprise dans une fourchette qui varie du simple au double en fonction de l'essence, du taux d'humidité, du diamètre et de la conformation des bois. (Arthur Andersen, 2001).

1.2.5.2 Écorces

Partie superficielle et protectrice des troncs et des branches, riches en liège et en tanins. Les écorces sont généralement de granulométrie hétérogène, surtout si elles ne sont pas broyées derrière l'écorceuse. Leur humidité est élevée à cause de leur caractère hygrophile (propension à reprendre et à retenir l'eau), notamment

lorsqu'elles sont stockées à l'air libre et soumises aux intempéries hivernales (pluie et neige). Lorsque l'humidité des écorces dépasse 50 %, il est impératif de réaliser un mélange avec un combustible plus sec de manière à permettre les montées en puissance de la chaudière. Leur taux de cendres est le plus élevé de tous les combustibles bois (supérieur à 5% de la masse anhydre), ce qui est dû à leur richesse en minéraux et à l'incrustation de terre fine lors du débardage en forêt et du stockage des grumes. Ce phénomène est d'autant plus accentué que l'écorce est rugueuse. L'utilisation d'écorces en chaufferie n'est possible qu'avec des technologies « lourdes » au niveau du désilage (racleurs), de l'alimentation (tapis) et de la combustion (grilles inclinées mobiles, forte inertie). Les coûts d'investissement et de maintenance de ces équipements sont élevés mais compensés par le bas prix du combustible. Les écorces sont orientées de préférence vers les chaufferies de forte puissance supérieure à 1 MW (CTBA 2001).

1.2.5.3 Granules énergétiques

Elles sont surtout fabriquées à partir de sous-produits de la première et de la deuxième transformation du bois de même que, à l'occasion, de biomasse forestière résiduelle (ADEME / FCBA, 2008). Les granules de bois constituent le combustible idéal pour les installations de chauffage entièrement automatiques en raison notamment de leur :

- Forte et constante valeur énergétique (de 4,7 à 4,9 MWh/t) ;
- Densité du granulé seul : de 1 100 à 1 300 kg/m³ (le granule coule dans l'eau) ;
- Densité en vrac (ou densité volumique) de 600 à 750 kg/m³, soit environ la moitié de la densité du granulé (50 % de volume mort) ;
- Densité énergétique (kWh/m³) quatre fois supérieure à celle des copeaux et des broyats forestiers ;
- Faible teneur en humidité (de 7 à 10 %) ;
- Granulométrie régulière (le diamètre varie de 4 à 10 mm [souvent de 5 à 7 mm] et longueur maximale de 60 mm (souvent de 10 à 30 mm) ;
- Faible contenu en cendres (moins de 2 % pour les granules de qualité non industrielle, fabriqués à partir de bois autre que les résidus forestiers).

En comparaison des plaquettes, les granulés ont l'avantage d'être plus homogènes et de nécessiter des équipements d'alimentation automatique et la combustion est moins robuste (donc moins chers à l'investissement et à l'exploitation). Ils présentent toutefois un inconvénient : leur prix est plus élevé que celui des plaquettes (environ du simple au double), ce qui, la plupart du temps, ne les rend pas compétitifs (www.granulesdebois.ca.)



Figur...debois.ca.)

1.2.5.4 Briquettes de bois densifié

Le bois densifié peut également prendre la forme de bûchettes ou de briquettes. De plus grandes dimensions (5-10 cm de diamètre ou de largeur pour 20-30 cm de longueur), elles sont fabriquées à partir de copeaux, plaquettes ou sciures selon le même principe que les pellets (Pierre, 2015).

Elles ne peuvent être utilisées dans des installations automatiques mais gardent les avantages des combustibles à haute densité énergétique. Elles s'utilisent comme produit de substitution des bûches dans les appareils de chauffage domestiques (Pierre, 2015).

Tableau 4 : Briquettes et bûchettes densifiées

Unité de vente	Sac de 6 à 10 bûchettes
Humidité (HR%)	5 à 12 %
PCI	4.000 à 4.600 kWh/T
Masse volumique	800 à 950 kg/MAP

Avantages	Inconvénients
Usage pratique en dehors des zones rurales	Prix élevé
Maintien de l'aspect « feu de bûches »	Très sensible à l'humidité
	Très sensible à l'humidité
Haute densité et contenu énergétique	Manutention importante, pas d'automatisation
Place de stockage moins importante	Peu présent sur le marché actuellement

(Pierre, 2015).



Figure 5 : Différentes

formes de briquettes de bois densifié (EBIA, 2010).

1.2.5.5 Le charbon de bois

La connaissance des caractéristiques du charbon de bois précède ses applications.

➤ Les caractéristiques chimiques

La qualité chimique du charbon de bois est définie par : la teneur en carbone fixe ; la surface spécifique, la teneur en matière volatile ; le taux de cendres ; le pouvoir calorifique inférieur.

➤ Les caractéristiques physiques

La densité du charbon de bois varie de 0,2 à 0,6 g/cm³. Elle est fortement liée à celle du bois dont il est issu, un bois dense donnant un charbon dense et un bois léger un charbon léger avec un coefficient massique de transformation de l'ordre de la moitié.

La reprise d'humidité d'un charbon de bois est relativement faible (entre 3 et 10 %). Elle dépend de sa structure et surtout de ses conditions de stockage. Un charbon de bois riche en matières volatiles aura un taux de reprise d'humidité moindre.

Le pouvoir calorifique du charbon de bois est lié au taux de carbone fixe. Il dépend donc fortement de la température de carbonisation et peut varier de 29 à 35 MJ/Kg La température d'inflammation du charbon de bois est assez basse et son pouvoir rayonnant élevé. Des précautions relatives à son stockage devront être prises.

La conductivité thermique du charbon de bois est assez élevée. Il n'est pas aussi bon isolant à la chaleur que le bois. La conductivité électrique du charbon de bois dépend de la température finale de fabrication, le bois roux étant presque aussi isolant que le bois et le charbon recuit à une température élevée presque aussi conducteur que le graphite.

Le charbon est plus ou moins dur, plus ou moins friable et plus ou moins résistant. Ces qualités dépendent de la nature de l'essence et de la technique de carbonisation. Ces caractéristiques font du charbon de bois un très bon combustible et un réducteur de grande pureté (SANOGO et al, Octobre 2006).

1.2.5.6 Plaquettes

Combustible sous forme de morceaux de bois brut plus ou moins rectangulaire. Les plaquettes (ou bois déchiqueté) proviennent du déchiquetage des dosses et délignures, des chutes de tronçonnage, des chutes courtes de menuiserie, des bois forestiers, bocagers, urbains et de bords de routes. À l'état brut et livrées en flux tendu, elles ont une forte humidité (à l'exception des plaquettes issues des chutes de menuiserie). Par contre, elles peuvent être stockées et séchées sous abri (CETEF, 2009). On peut les répartir en deux catégories :

- **Humides** (30 à 50 % d'humidité), dont la granulométrie varie de 10 à 80 mm ; elles nécessitent un désilage par racleurs et un convoyage par tapis, des matériels thermiques présentant une forte inertie et une combustion sur grilles inclinées ;
- **Sèches** (20 à 25 % d'humidité, voire 15 % pour celles issues de chutes de menuiserie), généralement plus fines (5 à 20 mm) et plus régulières ; elles sont aussi plus faciles à désiler par des systèmes à pales et supportent un transport par vis ; leur combustion se fait dans des brûleurs ou des foyers volcans avec peu d'inertie.

Le taux de cendres varie de 0,5 à 1,5 % de la masse anhydre. Cette variation est due au pourcentage d'écorces contenues dans les plaquettes. Les plaquettes forestières sont en principe de bonne qualité, à condition qu'elles soient produites dans les règles de l'art par des professionnels compétents. Deux écueils sont à éviter : les « queues de déchiquetage » qui bloquent les alimentations automatiques et une humidité trop élevée, surtout lorsque le combustible est destiné à des installations de petites et moyennes puissance. Pour obtenir un taux d'humidité satisfaisant, il faut prévoir :

- Soit un ressuyage des bois sur la coupe ou en bord de coupe, pendant plusieurs mois avant broyage ;
- Soit un stockage sous abri aéré (hangar ou bâche de type Top Flex) pendant plusieurs semaines (voire plusieurs mois), selon l'état initial et le taux d'humidité voulue.

En tout état de cause les plaquettes ne doivent jamais être déposées à même le sol (en forêt ou sur terre-plein) car lorsqu'elles sont reprises au chargeur, elles sont toujours souillées par de la terre et des cailloux (ADEME / FCBA, 2008).



Figure 6 : Plaquettes (CETEF, 2009)

1.2.5. Evaluation des coûts d'investissement

La base de données pour l'analyse financière de la production de briquettes est présentée dans le tableau suivant

Tableau 5 : Coût d'Investissement du Système de Briquettes

Capacité de Production de Briquettes	Unité	Production de Briquettes en Tonne par an			
		<20	<200	<2000	<20,000
Coût d'investissement de l'équipement	USD	1,000	5,000	50,000-100,000	2,200,000
Durée de vie des équipements	Années	5	10	15	20
Estimation des coûts de l'équipement par tonne de briquettes	USD par tonne	10	3	3.3	6
Equipements		1 ou 2 machines manuelles ; par exemple levier profileuse / profileuse manuelle à vis Fours Monocylindres/ séchage au soleil	Machines motorisées qui sont fabriqués localement ; par exemple profileuse à vis électrique Séchage au soleil/séchoirs solaires	Machines motorisées qui sont importées ; par exemple Presse à rouleaux / grand piston Le séchage au soleil / séchage rapide	Machinerie industrielle à grande échelle importée, par exemple 8 tonnes/h presse à pellets hydraulique Accélération du séchage
Bâtiment et terrain		Souvent dans les maisons des entrepreneurs et les jardins ; par exemple stockage de la biomasse, le stockage de briquettes et usine de briquettes	Peut faire aux résidences ou grand jardins entrepreneurs, par exemple stockage de la biomasse, le stockage de briquettes, usine de briquettes	Superficie de l'usine. Environ 2 hectares Par exemple stockage de la biomasse, le stockage de briquettes, usine de briquettes	Grande usine centralisée par exemple stockage de la biomasse, stockage de briquettes, usine de briquettes, immeuble à bureaux
	Hypothèse	Estimation à 20% du coût total d'investissement	Estimation à 20% du coût total d'investissement	Estimation à 44% du coût total d'investissement	Estimation à 44% du coût total d'investissement
	USD par tonne	2.50	0.63	2.62	4.32
Les coûts d'installation	Hypothèse	Estimation à 10% du coût de l'équipement	Estimation à 10% du coût de l'équipement	Estimation à 10% du coût de l'équipement	Estimation à 10% du coût de l'équipement
	USD par tonne	1.00	0.25	0.33	0.55
Estimation du coût total d'investissement	USD par tonne par an	13.50	3.38	6.29	10.37

(Ferguson, 2012)

Par ailleurs, les résultats de l'analyse financière visent à répondre aux questions suivantes :

- Quel est le coût de production et le coût d'investissement des briquettes ?
- Quel est la quantité de biomasse nécessaire pour approvisionné chacune des capacités prédéfinies ?
- Combien de ménages peuvent être alimentés en énergie pour le chauffage et la cuisson ?
- Combien d'emplois peuvent être créés en développant ce système de production ?
- Quels sont la valeur actualisée nette (VAN) et le taux de rendement interne (TRI) de la production des briquettes ? (Avec $VAN \geq 0$, projet rentable) (FAO, 2014)

Chapitre 2 : MATERIEL ET METHODES

2.1. Zone d'étude

2.1.1. Situation géographique

Cette étude s'est déroulée du 1^{er} Février au 1^{er} Mai 2021 dans les entreprises Pallisco-CIFM (SARL) installées au Cameroun depuis respectivement 1972 et 1996, dans la région de l'Est (143 Km de Bertoua), Département du Haut Nyong (63 Km d'Abong-Mbang), Arrondissement du Dja, au sein de la localité de Mindourou. Cette Localité est située à mi-chemin entre les villes d'Abong-Mbang et de Lomié ; distants de 126 Km, ce massif forestier se situe entre les latitudes 13°20' et 14°30'Est, et entre les longitudes 3° et 3°45' Nord. Les UFA gérées par PALLISCO sont situées dans le département Du haut-Nyong à cheval sur les arrondissements de

Lomié et Abong-Mbang et rassemblent les communes de Mindourou, Lomié et Messok avec une superficie totale de 388949.ha(Figure 7).

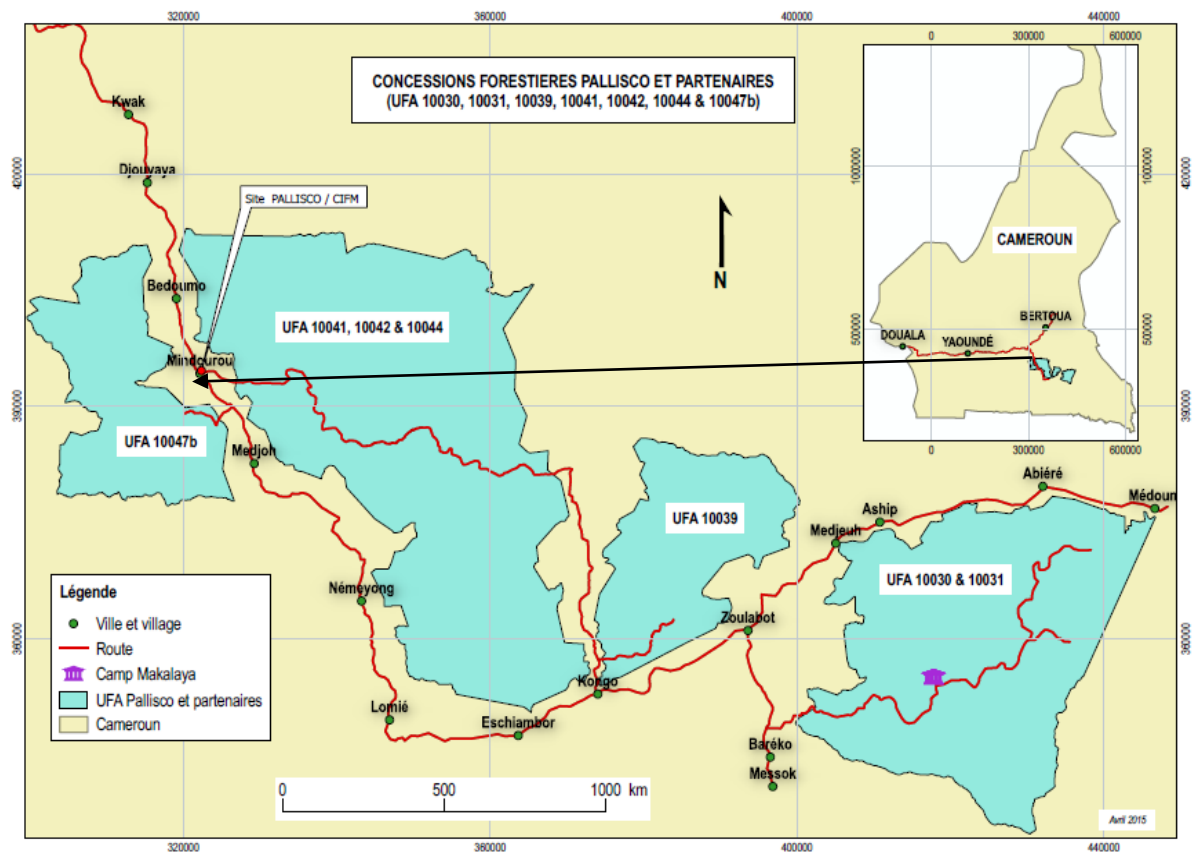


Figure 7 : localisation du site d'exploitation de PALLISCO-CIFM (www.pallisco-cifm.com)

2.1.2. Présentation des entreprises PALLISCO-CIFM

L'entreprise PALLISCO (SARL) a été créée au Cameroun en 1972 afin de répondre aux besoins d'un approvisionnement en grumes et sciages de qualité pour la fabrication des menuiseries PASQUET en France. Un site d'exploitation forestière et une scierie sont installés à l'Est du Cameroun dans le village 'Eboumetoum situé à 240 km de Yaoundé. D'un climat équatorial chaud et humide de type Guinéen. D'un relief accidenté présentant des successions de collines et d'une hydrographie constituée de plusieurs cours d'eau en fin d'une végétation constituée de forêts.

Avec une orientation en 1985 vers la diversification des activités pour valoriser davantage certaines essences, un deuxième site d'exploitation plus proche de la ressource est créé en 1996 à Mindourou avec la création d'une unité de transformation CIFM (Centre industriel et Forestier de Mindourou). Le système d'octroi de l'exploitation forestière au Cameroun

(Licences) est remplacé par celui des UFA (Unité Forestière d'Aménagement). Dès 1999, la société PALLISCO exploite une UFA en contrat de partenariat. Le système d'exploitation des UFA par PALLISCO a évolué jusqu'à l'obtention de son propre titre d'exploitation par transfert en 2001 de même que le nombre d'UFA sous partenariat a augmenté. Le 1 juillet

2003, PALLISCO et ses partenaires obtiennent un regroupement de leurs UFA aux limites communes (trois UFA pour 176000 ha) afin de mieux gérer le capital forestier à long terme. En 2004, un second atelier de transformation au plus près de la ressource forestière est opérationnel et en fin d'année les deux plans d'aménagement sont validés par le Ministère en charge des forêts. La totalité de la ressource en grumes de la société PALLISCO sera issue d'une exploitation forestière sous plan d'aménagement dès janvier 2005. Le 6 juillet 2005, le respect de la législation et de son système interne de suivi de la provenance des bois (grumes PALLISCO et produit CIFM) est témoigné par leurs obtentions de certificat OLB (origine légalité du bois). En septembre 2005, le site de transformation d'Eboumetou est restructuré et finalement vendue le mois de novembre de la même année. Désormais, toutes les activités des sociétés PALLISCO-CIFM se font dans le site de MINDOUROU. L'un des événements marquant la vie de la société PALLISCO est l'obtention en 2006 de son agrément aux inventaires forestiers. Depuis l'obtention de cette agrément à la profession d'exploitation forestière les entreprises PALLISCO et CIFM ont fait peuvant d'une gestion intégrée de la ressource forestière et ont obtenu le certificat FSC attribué par le bureau Veritas Certification ; PALLISCO pour la gestion forestière et de la chaîne de contrôle et le certificat FSC de chaîne ce contrôle à CIFM. Et depuis l'obtention de ces certificats (FSC et OLB) les entreprises PALLISCO et CIFM se battent à renouveler leurs certificats. Le Certificat FSC a été renouvelés en octobre 2013 et OLB en juin 2015 pour les deux entreprises. (www.pallisco-cifm.com).

2.1.3. Description de la chaîne de production CIFM

CIFM est une usine de transformation du bois qui dispose de deux grandes scieries d'une capacité de transformation de 80 000 m³ de grume par an, d'une raboterie et d'un atelier de menuiserie. Ces ateliers font respectivement dans la première, la deuxième et la troisième transformation. CIFM achète les grumes exclusivement à Pallisco. Le bois acheté est transporté avec des lettres de voiture de bois d'œuvre (LVBO) et stocké au parc à grumes scierie où il est préparé (vérification légale, cubage, tronçonnage, étiquetage) en fonction des exigences du contrat de commande (longueur, diamètre, qualité). Une surcote de 15% est accordée à la longueur du billon lors de la préparation par rapport aux dimensions contenues dans le contrat afin de limiter les dégâts et les pertes de matière. Le billon préparé est acheminé à la scierie où il passe à la scie de tête et y est scié en quartelots ; puis la scie de reprise donne les épaisseurs aux pièces ; une déligneuse multi lames donne la largeur et enfin deux ébouteuses (une principale et une secondaire) donnent la longueur finale aux débités. Des machines de récupération sont installées afin de valoriser les déchets issus des autres machines. On y retrouve deux déligneuses et une ébouteuse. Les débits sont triés et empilés suivant les dimensions et suivant les contrats. Une petite chaîne de production constituée des machines de marque Lucas Mill pour la transformation des coursons mal formé ou troué. Les avivés qui en sont issus sont destinés au marché local. Les colis sont cubés, cerclés, marqués du numéro du contrat, logo de l'entreprise CIFM, logo du certificat de commande, classés en fonction de la qualité du produit et entreposés : c'est la première transformation. La scierie dispose d'un séchoir pour le conditionnement des débités afin de répondre aux exigences de certains contrats.

La deuxième transformation est assurée par la raboterie. Seuls les bois séchés y sont transformés. Les produits issus de cette transformation sont les bois ronds (tringles) en Ayous, les parquets et les lambris de différentes

essences. La logistique des produits est assurée jusqu'au port de Douala pour l'export par des sous-traitants tels que Trans-Afrique, TMK, TJK, SOCAMBA.

La CIFM possède une menuiserie qui offre des produits de troisième transformation. Très peu développés, les produits issus de cet atelier sont utilisés uniquement pour les besoins de la société (équipement de bureaux, équipements de ménage, portes et fenêtres). Elle utilise en majorité les bois de récupération produits par la scierie.

L'unité de première transformation fonctionne cinq (05) jours sur sept (07) de cinq (05) heures du matin à vingt-deux (22) heures du soir soit dix-sept (17) heures par jour. La raboterie quant à elle n'est opérationnelle que huit (08) par jour. Le mois d'août est destiné à la maintenance des machines. Il apparaît donc un temps de fonctionnement de 3740 heures par an des appareils électrique de l'UTB (www.pallisco-cifm.com).

2.2. Collecte des données

2.2.2.1 Caractérisation de la matière première

Des travaux sur la caractérisation de la sciure dans l'entreprise avaient déjà été réalisés (Fotso,2016). Cette étape consistait en l'estimation du volume de sciure disponible dans le site. Pour cela, il a fallu identifier les paramètres dont dépendent la production de la sciure (épaisseur de la voie de la lame, nombre de traits de scie qui traverse le bois, les dimensions de l'outil de coupe et l'essence transformée) et grâce à la formule suivante nous avons pu déterminer le volume de sciure disponible (1) et ainsi évaluer le volume de sciure non valorisé.

$$V_{sciure} = \sum(L \times l \times e) \quad (1)$$

La collecte des données a été effectuée de la scie de tête (debout de chaîne), à l'ébouteuse de récupération (fin de chaîne). Après identification de l'essence, les coursons ont été cubés afin de déterminer premièrement le volume de bois transformé et ensuite la proportion de sciure rejetée au cours de la transformation.

Les coursons étudiés sont considérés cylindriques et sans défauts. Sur un échantillon de 200m³ de bois brut étudié, des mesures ont été enregistrées sur trois essences de bois transformées pendant la période de collecte de données (Ayous, Moabi et Sapelli).

2.2.2.2 Production des briquettes

a. Collecte de la sciure

La sciure utilisée pour la réalisation des tests a été collectée au niveau de la chaudière à l'aide d'une brouette et ramenée à la zone de production située à l'entrepôt des bois secs de la scierie du site. Les quantités variaient en

fonction des tests effectués et les essences utilisées (Ayouis et Sapelli) étaient fonction des contrats sciés pendant la période de production des briquettes.

b. Préparation du liant (amidon de manioc)

Pour assurer l'adhésion entre les particules de sciure et la solidité des briquettes, un liant a été ajouté.

Dans cette étude, nous avons utilisé l'amidon comme liant. Le choix de ce liant était basé sur la disponibilité de la farine de manioc au niveau de tous les points de vente. Aussi la quantité utilisée (4 bouteilles), était juste pour les tests que nous avons effectués.

La préparation du liant a consisté à faire bouillir une quantité d'eau et de rajouter une quantité précise d'amidon jusqu'à l'obtention d'une pâte sous forme de gélatine. Les proportions utilisées ont été portées sur une fiche de collecte.

c. Mélange

Durant cette phase, nous avons regroupé dans une brouette le liant préalablement préparé et la sciure de Sapelli dans des proportions strictes pour obtenir un mélange pâteux (figure 8). Nous avons fait varier à plusieurs essais les quantités de sciure, de liant et d'eau jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène facile à compacter. Dans un tableau, nous avons regroupé toutes les proportions des constituants utilisés.



Figure 8 : Mélange liant (amidon de manioc) et sciure Sapelli

d. Compression et démoulage

Pour la compaction des particules de sciure, nous avons utilisé pour notre expérience une presse manuelle de marque Terstaram (Figure 9). Elle a été choisie pour les critères suivants : disponibilité sur site, simples à utiliser car elle ne demande pas de main d'œuvre qualifiée et donnent des briquettes ayant une résistance acceptable.

Le mélange (liant préparé + sciure) déjà obtenu, nous l'avons introduit dans les moules de la presse. Une fois refermée, de fortes pressions sont exercées par deux opérateurs (annexe 1) au niveau des manivelles de la presse jusqu'à l'extraction de l'excédent d'emplois d'amidon contenu dans la briquette. Ces pressions sont exercées pendant trois à cinq minutes en fonction du dosage effectué pendant le mélange. Un troisième opérateur est posté à l'avant de la presse pour empêcher que celle-ci ne bouge dans tous les sens pendant la compression. La pression exercée est inconnue du fait qu'une telle presse ne dispose pas de manomètre.

Une fois l'excédent d'emplois d'amidon enlevé, la briquette est prête à être démoulée (annexe 2). Cette action doit être effectuée délicatement pour éviter de briser la briquette.



Figure 9 : Presse manuelle Terstaram

e. Séchage

Cette étape a consisté à classer nos briquettes sur des lattes espacées pour assurer la bonne circulation de l'air et à les exposer au soleil (figure 10). Celles-ci ont été séchées pendant plusieurs jours (un mois) et il était question pour nous de peser chaque semaine nos échantillons. La vitesse de séchage était fonction de l'ensoleillement. La briquette est considérée comme sèche lorsque sa masse ne varie plus et lorsqu'elle est bien dure au touché. Avant qu'elles ne soient bien sèches, des manipulations incontrôlées qui peuvent causer leurs dégradation sont à éviter.



Figure 10 : Séchage des briquettes

2.2.2.3 *Caractérisation des briquettes de bois densifié*

La performance des briquettes est déterminée à partir des paramètres physico-chimiques. L'objectif est de pouvoir dégager une comparaison avec le bois de feu et le charbon de bois qui sont les combustibles les plus utilisés au Cameroun. Les applications attribuées aux combustibles sont fonctions des caractéristiques que présentent celui-ci. Pour les briquettes de bois densifiés, les caractéristiques généralement présentées sont les dimensions des briquettes, la masse volumique, le taux d'humidité, la durée de combustion le taux de cendre et le pouvoir calorifique.

Ainsi nous avons déterminé :

a. Dimensions des briquettes

Ces briquettes ayant une forme parallélépipédique, leurs mesures ont été prise à l'aide d'une équerre la longueur la largeur et la hauteur de celles-ci.

Ensuite il a été question pour nous de déterminer leurs volumes.

b. Masse volumique

La détermination de la masse a été faite à partir des pesées successives des échantillons sur une balance Terrailon (figure 11) de précision 1g.

Ces mesures ont été faite en deux phases : après le compactage et après le séchage. Les résultats obtenus ont été portés sur une fiche de collecte de données.



Figure 11 : Balance Terrillon

Le volume d'une briquette est déterminé par la formule

$$v = L \times l \times h \quad (2)$$

L : longueur

l : largeur

H : hauteur

Ces deux paramètres (masse et volume) nous ont permis de déterminer la masse volumique en kg/m^3

c. Humidité

Pour déterminer le taux d'humidité des briquettes, nous avons utilisé un hydromètre HT 85 T. Grâce à une fiche de collecte nous relevions hebdomadairement le taux d'humidité des différentes briquettes produites jusqu'à atteindre un taux d'humidité stable. Il est à noter que le séchage des briquettes ne peut pas éliminer toute la quantité d'eau qu'elles contiennent.

d. Temps de combustion

L'objectif ici était d'apprécier la combustion des briquettes produites (annexe 3). Il s'agissait de comparer le temps mis par ces briquettes pour faire bouillir une même quantité d'eau, le temps de consommation mais aussi de faire des observations visuelles sur les fumées, les cendres et les odeurs en comparaison avec le charbon du bois et le bois de feu. Nous avons procédé comme suit :

- Mis séparément 1 Kg de briquettes, 1 kg de charbon de bois et 1kg de bois sur des foyers. Des marmites, de mêmes caractéristiques ont été utilisés dans les mêmes endroits pour garantir les mêmes conditions environnantes.
- Allumé et attendu que les briquettes, le charbon de bois et le bois prennent feu et nous avons mis la casserole contenant 1l d'eau ;

- laissé l'eau bouillir. A la fin de l'ébullition, nous avons enlevé la casserole au feu et laisser les briquettes brûler jusqu'à la consommation.

Un chronomètre nous a permis de noter, à chaque intervalle, le temps écoulé.

e. Pouvoir calorifique

Cette grandeur a été évaluée à partir de la recherche dans les littératures ci-afférentes.

f. Teneur en cendre

Le taux de cendres représente la quantité des matières minérales contenues dans un combustible. L'évaluation de la teneur en cendre s'est faite par la sélection d'un échantillon qui a été pesé puis complètement consumé à l'air nu, avec la récupération et pesée des cendres

2.2.2.4 Etude de faisabilité économique

a. Etude du marché

Une enquête a été menée dans les marchés de charbon et de bois de feu des villes de Yaoundé, Douala et Bafoussam. Elle avait comme objectif principal l'étude de l'acceptation d'utilisation et de vente des briquettes par les commerçants. Pour mieux vendre le produit, avons réalisé grâce au logiciel adobe illustrator des prospectus (annexe 4) qui étaient distribués pendant l'enquête.

Dans la ville de Yaoundé, à l'aide d'une fiche d'enquête (annexe 6), rendu dans les marchés Mokolo, Essos, Mfoundi. Pour tous ces points, nous avons interviewé 20 petits commerces (détaillant) et 10 grossistes de charbon et de bois de feu et quelques consommateurs (femmes qui font les beignes et les braseurs de viande de bœuf).

Dans la ville de Douala, l'enquête a été menée dans le marché de anatole et au marché central auprès de 20 détaillants et de 10 grossistes utilisant le bois feu pour la cuisson. À Bafoussam l'enquête a été menée dans les marché A et au petit marché maetur. Nous avons interviewé dans chacun de ces marchés 13 détaillants et 2 grossistes. Durant l'enquête avons présenté des échantillons de briquettes aux différents commerçants. Il est à noter que cette enquête est considérée comme pré-enquête pour donner une idée de la perception du marché de combustible camerounais sur les briquettes de bois densifié.

b. Etude de la rentabilité

Le calcul de rentabilité qui se focalise principalement sur les investissements, le coût de production et les recettes, nous a permis d'analyser la viabilité économique du projet. Les calculs se sont effectués sur des briquettes retenues comme meilleures.

Nous avons tout d'abord calculé le prix de revient d'une briquette grâce à la formule suivante :

$$\text{prix de revient} = \frac{\sum \text{charges} + \text{amortissement}}{\text{volume produit}} \quad (3)$$

Par la suite nous avons calculé grâce La valeur actuelle par la formule suivante :

$$VAN = \sum_{t=0}^T \left(\frac{\text{recettes} - \text{dépenses}}{(1-i)^n} \right) - I_0 \quad (4)$$

Pour effectuer ce calcul, il a été question de déterminer tout d'abord l'investissement initial, les recettes et les dépenses prévisionnelles effectuées durant le projet. Et grâce à une analyse prévisionnelle nous avons déterminé la VAN en supposant que le projet a une durée de 5ans.

2.3. Analyse des données

Les informations que nous avons collectées sur le terrain étaient regroupées dans les fiches de collectes. Il s'agissait premièrement de les encoder. Ensuite dans le tableur Excel 2016 nous avons regroupés les différentes proportions des constituants utilisés pour la production des briquettes.

Ce logiciel nous a également permis de tracer des courbes comparatives présentant la différence entre le temps de combustion des briquettes et celui du charbon et du bois de feu

Une analyse statistique a également été faite suite à l'étude de marché. Grâce aux fiches d'enquêtes préalablement réalisées, nous avons pu recenser le pourcentage de personnes intéressées par le projet.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1. Estimation du volume de sciure disponible (matière première) et non valorisé

Au niveau des chaînes de transformation, la taille des rejets diminue au fur et à mesure qu'on part de la scie de tête (rejets de 3 cm de long) vers les ébouteuses (0,5 mm de long). Cette granulométrie circule aisément dans le système d'aspiration des sciures de l'UTB.

La transformation de 200 m³ de bois brut a produit un volume de sciure estimé à 20,38 m³, cette valeur représente les 10,5% du bois brut. La répartition du volume rejeté par type de machine est présentée dans la figure 12

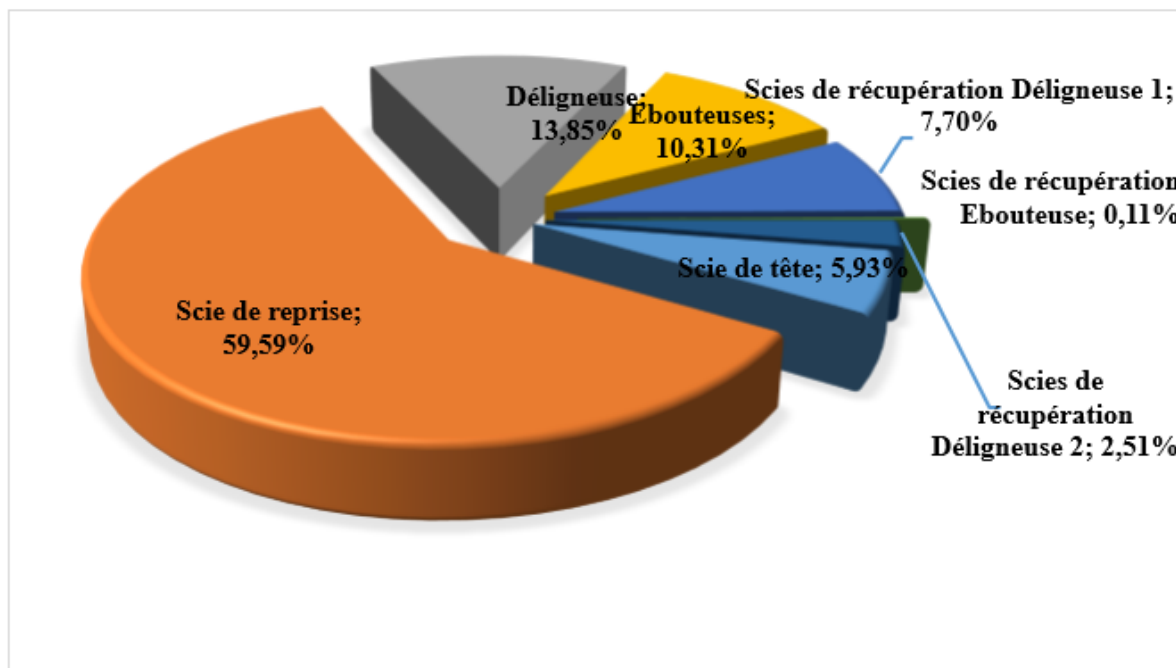


Figure 12: Répartition du volume de sciure rejetée par type de machine.

Nous remarquons que, le volume de sciure produit à la scie de reprise représente 59,60% de la production totale de l'UTB, la déligneuse 13,8% et enfin l'ébouteuse avec 0,11%. Cet écart est dû au sens de sciage (face ou rive) et à la fréquence de sciage.

A partir du taux de sciure produit (10,5% du volume brut de bois transformé) nous avons estimé le volume de sciure que pourrait produire l'UTB au cours d'une année. Ainsi pour les 71 695 m³ de bois transformé dans les deux chaînes de transformation de la CIFM, le volume de sciure rejeté est estimé à 7 535 m³/an.

Par ailleurs, on a la présence sur site d'une chaudière qui consomme les 15% de la sciure rejetée par l'UTB (soit un volume de 1130 m³) pour produire la chaleur nécessaire au séchage du bois. Ainsi le volume de sciure non valorisé est estimé à 6404 m³.

Le taux de 10,5% de sciure quantifié dans les deux chaînes de première transformation de bois infirme l'hypothèse selon laquelle ce sous-produit représenterait 20% du volume brut de bois transformé. La bonne qualification des opérateurs machine dans l'UTB et l'exigence de qualité (choix) dans les contrats de vente ainsi que la non-prise en compte de certaines machines dans l'estimation de la sciure pourrait expliquer cet écart. Il s'agit de la dédoubleuse, des scies de récupérations des dosses et de la Lucas Mill.

3.1.2. Description du processus de production des briquettes

3.1.2.1 Composition des briquettes

Pour produire une briquette, on a besoin sciure, de liant(amidon) et de l'eau. Le tableau ci-dessous montre les quantités des matières premières retenues après les tests pour le briquetage.

Tableau 6: Quantification des différents constituants utilisés pour le briquetage

Essence	Quantité de sciure (Kg)	Quantité de liant (g)	Volume d'eau (L)	nombre de briquettes
sapelli	4,5	200	7	5
sapelli	4,5	200	7	5
sapelli	2,1	100	4	2
ayous	4,5	280	12	4
sapelli	4,5	300	14	6
sapelli	2,4	100	6	2
sapelli	5,1	510	10	6

sapelli	5,7	560	10	6
ayous	4,8	210	10	4
sapelli	4,5	200	6	4

Ainsi, nous pouvons déduire que pour une production moyenne de 4 briquettes nous avons besoin en moyenne de :

- 4,26kg de sciure ;

- 245g d'amidon ;

- 8,6L d'eau.

Comparativement aux briquettes faite avec le Sapelli celles faite avec l'Ayous sont moins dense.

3.1.2.2 Temps de production

La production des briquettes à l'aide de la presse manuelle Terstaram exige beaucoup de temps car la pression exercée au niveau des manivelles nécessite un effort considérable des opérateurs d'où la nécessité pour ceux-ci de marquer des temps d'arrêt pendant au moins 1min lors de la compression. Le tableau 6 présente le temps de production et le nombre de briquette produite.

Tableau 7 : Temps de production des briquettes avec une presse mécanique

Numéro test/ Date	Durée de production	Nombre de briquettes
Test 1 23/03/2021	4H	12
Test 2 24/03/2021	4H	14
Test 3 25/03/2021	6H	20
Total	14H	40

le tableau 7 permet de conclure que la production de 40 briquettes a été effectuée pendant 14H. C'est dire qu'une heure de temps est utilisée pour la production de 3 briquettes.

Ces résultats sont différents de ceux obtenus par Tumuluru et al. (2010), qui montrent que à l'aide d'une presse manuelle, l'on peut produire jusqu'à 6 briquettes/H. Cette différence s'explique par le fait que la presse utilisée pendant les tests était usée.

3.1.3. Caractérisation des briquettes

Tableau 8 : caractéristiques des briquettes de bois

<i>Dimensions</i>	<i>Taux d'humidité</i>	<i>Pouvoir calorifique</i>	<i>Teneur en cendre</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Longueur 14 cm • Largeur 14 cm • Hauteur 6cm • Volume 1,176 m³ 	Pour les deux cas 10,05% compris entre le taux exigé par Pierre en 2015 qui est de 5,5	Pour les briquettes obtenues 27*0,57 MJ/kg	Elle est de 0,5% pour 1kg de briquette respectant le taux anhydre (Pierre, 2015) qui est de 0,5 et 1,5%

3.1.3.2 Masse volumique

La masse moyenne des briquettes après compactage est de 1,08kg. Par la suite, des pesées successives ont été effectuées hebdomadairement jusqu'au séchage. La masse finale d'une briquette sèche est de 360g et après calcul de sa masse volumique, nous avons obtenu une valeur de 306kg/m³.

D'après Pierre M (2015), la masse volumique des briquettes est comprise entre 800-950 Kg/m³. Ces résultats sont largement différents de ceux obtenus durant cette étude. Cette différence s'explique par le fait que les presses utilisées pour la compression sont complètement différentes. L'on a une presse industrielle d'une part et une presse manuelle qui correspond à celle que nous avons utilisée.

3.1.3.4 Temps de combustion

Lors du test, la prise de feu a été facile pour tous les échantillons testés. La durée d'ébullition et celle de la consommation ont également été obtenues. Ainsi, nous avons noté :

- 5min pour la prise de feu ;
- 22min pour l'ébullition d'un litre d'eau ;
- 4h pour la combustion totale.

Afin d'évaluer la comparaison avec les autres combustibles, ces paramètres ont également été mesurés pour le charbon de bois et le bois de feu. Les différences constatées entre ces combustibles sont clairement représentées dans la figure 13 ci-dessus.

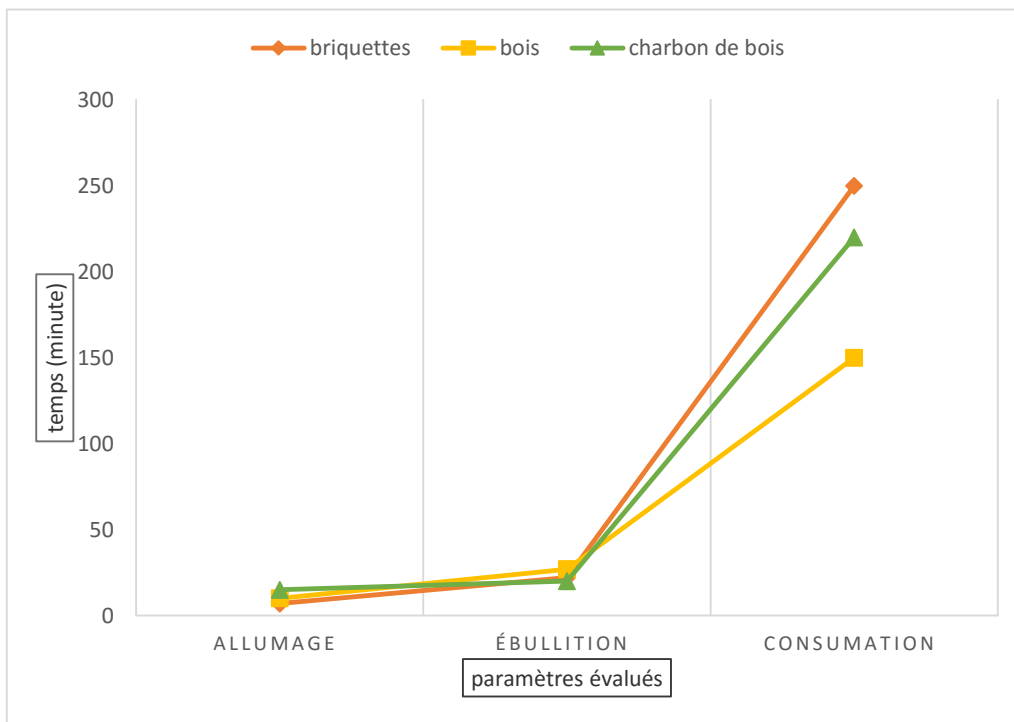


Figure 13 : Résultats du test de combustion des briquettes, du bois de feu et du charbon de bois

Nous constatons à partir de ces courbes que le temps d'allumage des briquettes est court contrairement à celui du bois et du charbon qui sont plus lents à l'allumage. Cependant, le charbon fait bouillir l'eau plus rapidement (après 20 minutes) ceci est dû à son pouvoir calorifique qui est plus élevé que celui du bois et des briquettes (Pierre, 2013). Pour ce qui est du temps de consommation, il est plus élevé chez les briquettes car celles-ci ont un faible taux d'humidité (10%) par rapport au bois qui a un taux d'humidité pouvant aller jusqu'à 60% (ADEME, 2010).

3.1.4. Etude de faisabilité économique

3.1.4.1 Etude de marché

A l'issue des résultats, en moyenne 95% des enquêtés ne connaissent pas les briquettes de bois densifié personne ne les a jamais essayés ; 100% des enquêtés ont affirmé que ces briquettes sont introuvables sur le marché raison pour laquelle elles ne sont pas utilisées.

Dans les marchés de Yaoundé, Douala et Bafoussam, tous les enquêtés affirment que les clients et eux même utilisent généralement le charbon de bois et le bois de feu comme combustible. Le prix du charbon varie de 500FCFA/5L à 3500CFA/sacs pour un sceau et il est satisfaisant selon 62% des enquêtés. Pour les autres, des fois, ce charbon est de mauvaise qualité ou même des fois il est rare sur le marché. Pour ce qui est du bois de feu, il est vendu en fagot et les prix vont de 200-5000FCFA. Cependant, 59% des personnes enquêtées le trouve satisfaisant mais le fait qu'il fume trop et salit les marmites est un gros handicap selon leurs clients. Pour les restaurants, un combustible qui dure longtemps est préférable car ils préparent continuellement dans la journée.

La majorité des enquêtés à Bafoussam, s’est montrée prête à acheter les briquettes si on réussit à leur fournir une petite quantité qu’elle fera essayer à ses clients et qu’elle essaiera elle-même. Si elles brûlent bien avec moins de fumées et si elles sont moins chères que le charbon elles seront prêtes à se lancer.

À Douala et à Yaoundé les enquêtés ont demandé une deuxième enquête avec de meilleurs échantillons de briquettes. Néanmoins, à Douala les commerçants interrogés paraissent beaucoup plus intéressés et enthousiastes de voir un nouveau combustible sur le marché. La figure 14 présente le pourcentage des commerçants intéressés en fonction des villes.

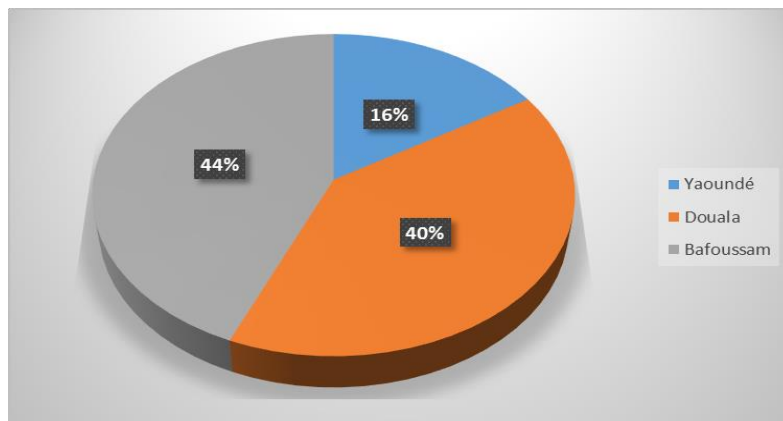


Figure 14 : Pourcentage des commerçants intéressés par les briquettes en fonction des villes

A partir de ces résultats, nous pouvons dire que l’entrée dans le marché d’un nouveau combustible est une idée que les commerçants sont prêts à accepter surtout si celles-ci sont à bas prix. Car le charbon et le bois de feu deviennent de plus en plus coûteux et rares.

3.1.4.2 Etude de rentabilité économique

Après les résultats techniques, nous avons émis des hypothèses de calcul qui nous ont permis d’évaluer le prix de revient d’une briquette et de calculer la rentabilité.

Calcul du prix de revient de la briquette

a. Calcul du prix de revient d’une briquette

Pour le calculer le prix de revient, nous avons déterminé le coût des intrants et de la main d’œuvre que nous avons concilié dans le tableau suivant

Tableau 9 : Matériels utilisés

Intrants	quantité	Coût (FCFA)

Amidon	5 bouteilles	5000
Eau	0	0
Matière première (sciure)	0	0
	Total	5000
Coût de la main d'œuvre		
Agent de préparation du liant	01	1555
Producteurs (compression)	03	2595
Total	04	4150

Les calculs effectués nous ont permis de déterminer la valeur du prix de revient d'une briquette fabriquée à l'aide d'une presse manuelle. Cette valeur est de 189 FCFA avec 21 FCFA d'amortissement annuelle par briquettes fabrique.

b. Calcul de rentabilité

Pour ce calcul nous avons trouvé l'investissement initial qui est $I_0 = 0$. Le tableau 9 ci-après présente les flux d'exploitation.

Tableau 10 : Analyse prévisionnelle

Eléments de prévision	Années				
	1	2	3	4	5
Excédent brut d'exploitation	15684	17252	18977	20874	22961

Flux net	15684	17252	18977	20874	22961
-----------------	-------	-------	-------	-------	-------

La valeur actuelle nette obtenue est de 97154. Cette valeur est supérieure à zéro : le projet est rentable

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Conclusion

Au terme de notre étude qui avait pour objectif global la valorisation des rebuts de bois de faibles granulométrie : cas des briquettes de bois densifié dans les entreprises Pallisco-CIFM, il apparaît que, l'estimation du volume de sciure disponible sur site et non valorisé est la première étape dans le processus de valorisation. Ainsi, ce volume qui est d'une valeur de 6404m^3 est suffisant pour envisager une production à grande échelle des briquettes de bois densifié dans les entreprises Pallisco-CIFM. Le mode opérationnel pour une production dans ce contexte a fait intervenir en terme de matériel : une presse manuelle, une brouette, de l'amidon comme liant pour assurer l'adhésion entre les particules de sciure et de l'eau pour la préparation du liant. En moyenne pour la production moyenne de 4 briquettes pendant on a eu besoin en moyenne 4,26kg de sciure ; 245g d'amidon et de 8,6L d'eau.

La forme des briquettes étant déterminée par les moules de la presse nous avons obtenu des briquettes de forme parallélépipédique de masse volumique $360\text{g}/\text{m}^3$, de 10% d'humidité (après un mois de séchage au soleil), d'un pouvoir calorifique de $27,7288 \pm 0,57 \text{ MJ/Kg}$ et un taux de cendre de 0,5%. Aussi, le test de combustion que nous avons effectué nous ont permis de démontrer que les briquettes de bois densifié sont des combustibles possédant les meilleures qualités en termes de temps de cuisson et de consommation, comparativement au bois de feu et au charbon de bois.

Enfin, nous avons effectué une étude économique a été menée dans les villes de Yaoundé, Douala, Bafoussam. D'après les résultats, les briquettes combustibles issues des rebuts de faible granulométrie constituent un projet rentable. Leur production requiert une presse à briquettes performante et d'une main d'œuvre non qualifiée. Une pré- étude de marché nous a révélé que les commerçants sont prêts à essayer les briquettes. Un long temps de consommation des briquettes constituera un atout majeur pour les utilisateurs.

Recommandations

Aux responsables des entreprises Pallisco-CIFM :

- Envisager l'achat d'une presse à briquettes industrielle pour une production plus rapide et pour obtenir des briquettes de meilleure qualité.
- Effectuer une nouvelle étude de marché en participant à des foires, et en présentant des échantillons de briquettes plus viables.
- La mesure du pouvoir devra être faite en laboratoire à l'aide d'une bombe calorimétrique pour connaître avec exactitude l'énergie dégagée par la combustion des briquettes,

À l'administration Camerounaise :

- Encourager la valorisation plus poussée du bois dans toutes les UTB du Cameroun ;
- Veiller à ce que les règles soient objectives, transparentes et non discriminatoires ;
- Encourager la recherche sur les procédés de densification de la biomasse par la création des laboratoires dans les universités et les institutions de formation professionnelles ;
- Faciliter l'accès à la connaissance sur les nouvelles technologies sur la valorisation de la biomasse à travers les bourses d'études.

Références bibliographie

BILOA, ENSET 2019. Valorisation énergétique des copeaux de bois par carbonisation et densification.

KAYE, ENSET 2019. Valorisation énergétique des copeaux de bois pour la production du bioéthanol.

ADEME, 2002. Validation des méthodes de mesures de caractéristiques des combustibles bois déchiquetés, Mars, 62p.

Akonny, (2005). Formulation des briquettes à base de copeaux, sciure, poussière et de liant en utilisant une presse manuelle, 28p.

- Badea, (2009). ANNALS SERIES ON ENGINEERING SCIENCES-Valorisation énergétique de la biomasse, 1 :88p.
- Dermibas, (1997). Physical properties of briquettes from waste paper and wheat straw mixtures. Karadeniz Technical University, Department of Science Education, 61365 Akcaabat-Trabzon, Turkey, 437-445p.
- FOTSO, (2016). Evaluation du potentiel énergétique de la sciure de bois comme alternative au gasoil au centre industriel et forestier de mindourou, 45p.
- FAO, 2014. Optimisation finale de l'énergie, 1:40p.
- GTZ, (2012). Note technique sur le bois- énergie à au Cameroun, L'équipe Technique du GTZ/Pro PSFE/Antenne de la Province de l'Est- Cameroun, 14p.
- JUNG, (2013). Voies de traitements de déchets solides : valorisation matière et énergie. Université Libre de Bruxelles (ULB) – Centre Emile Bernheim - Service 4MAT, 50-54p.
- Loi N°96 /12 du 05 Août 1996 portant loi cadre relative à la gestion de l'environnement
- Marchal, (2003). Inventaire des sources de biomasse ligneuse en Région wallonne (pour la production d'énergie) ERBE – Agence Régionale Biomasse Énergie, 105p.
- NANA, (2016). Valorisation énergétique des déchets de bois d'azobé (*Lofira alata*) par thermoconversion, 71p.
- Onuegbu, (2011). Comparative studies of ignition time and water boiling test of coal and biomasses briquettes blend. 1Department of Pure and Industrial Chemistry, Nnamdi Azikiwe University, Awka, Anambra State, 153-159p.
- Pierre M, (2015). Les combustibles bois, 20p.
- PAERC, 1995. Valorisation énergétique des restes de bois, un guide pour les entreprises du bois- Office fédérales des questions conjoncturelles, 93p.
- Romain Crehay et al, 2004, rapport : Filière bois-énergie, région wallonne, 58p.

Annexes

Annexe 1 : compression



Annexe 2 : démoulage



Annexe 3 : test de combustion



Annexe 4 : prospectus

R.P. PALLISCO **CIFM**

ENTREPRISES PALLISCO-CIFM

UN COMBUSTIBLE ÉCONOMIQUE ET ÉCOLOGIQUE
«La brique de bois densifié est l'avenir du bois de chauffage»

PROPRETE GARANTIE
Respectueuse de l'environnement, moins de dépôt de poussière lors du transport, facile à stocker, faible occupation de l'espace

AVANTAGES
Combustible sec (Humidité 10%)
45 minutes de cuisson pour une brique de 1kg.

NE FUME PAS

BP. 394 Douala-Cameroun
www.pallisco-cifm.com
bois-local@pallisco-cifm.com
Région: Est-Cameroun / Département: Haut Nyong / Village Mindourou à environ 63km de la ville d'Abong-Mbang

Annexe 5 : presse industrielle

MACHINE A BRIQUETTES de 120 à 420 kg/h

Annexe 6 : Fiche de renseignement des clients « briquettes de bois densifié »

N°Id :

Age : Sexe :

Quartier : Type de commerçant : Grossiste , Détaillant

Les différents combustibles

1. quels sont les différents types de combustibles que vous vendez ?

➤ Bois

➤ Charbon

➤ Autres (à spécifier)

2. lequel vous rapporte le plus de bénéfice ?

➤ Bois

➤ Charbon

➤ Autres (à spécifier)

3. Quelle quantité pouvez-vous vendre par jour ?.....

4. quel est votre mode d'approvisionnement ?

.....

5. quel est le moyen de transport que vous utilisez ?.....

6. quels sont les différents prix de vos combustibles ?

.....

7. comment conditionnez-vous vos combustibles ?

.....

8. quels sont vos potentiels clients ?

.....

9. quelles sont les différentes saisons de vente que vous rencontrez généralement ?

.....

.....

Briquettes de bois densifié

10. Connaissez-vous les briquettes de bois densifié ?

Oui

Non

11. Utilisez-vous ces briquettes ou les avez-vous au moins essayées ?

Oui

Non

12. Si oui, comment avez-vous trouvé ces briquettes ?

.....

13. Quel est votre fournisseur ou votre lieu d'approvisionnement ?

.....

14. Si vous ne les utilisez pas, pourquoi ?

.....

15. Seriez-vous prêts à les essayer ?

Oui

Non

16. Combien êtes-vous prêts à payer pour 1Kg de briquettes ?

.....

COMMENTAIRES

.....

.....

