

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

ECOLE NORMALE SUPERIEUR

D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

D'EBOWA

DEPARTEMENT DE D'INGENIERIE

DU BOIS



REPUBLIC OF CAMEROUN

Peace – Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TECHNICAL TEACHER

TREINING COLLEGE OF

EBOWA

DEPARTMENT OF OF WOOD

ENGINEERING

**Filière
INDUSTRIE DU BOIS**

**Contribution à l'Amélioration du Rendement Matière
d'une Scierie Tropicale par la Valorisation Energétique
des Rebutis: Cas de la SIBM Sarl de Sangmélina**

Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention du Diplôme de Professeur d'Enseignement
Technique et
Professionnel de 2e grade (DIPET II)

Par : EVEZO'O Aimé Jonathan

Sous la direction de
M. NKATE Pierre Charly
Ing. Consultant National en Transformation et
Technologie du Bois
Pr.Dr.Ing. NJANKOUO Jacques
Michel
Maitre de conférence à l'Université
de Yaoundé I

Année Académique : 2019 - 2020



RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix - Travail – Patrie

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE
D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

DÉPARTEMENT D'INGÉNIERIE DU
BOIS

BP. 886 EBOLOWA



REPUBLIC OF CAMEROON
Peace-Work-Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TECHNICAL TEACHERS'
TRAINING COLLEGE

DEPARTMENT OF WOOD
ENGINEERING

P.O BOX 886 EBOLOWA

Contribution à l'Amélioration du Rendement Matière d'une Scierie Tropicale par la Valorisation Énergétique des Rebutés : Cas de la SIBM Sarl de Sangmélina

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

OPTION: INDUSTRIE DU BOIS (IB)

Par :

EVEZO'O Aimé Jonathan

Matricule : 18W400

Encadreur professionnel

M. NKATE Pierre Charly

*Ing. Consultant National en Transformation et
Technologie du Bois*

Superviseur

**Pr.Dr.Ing. NJANKOUO Jacques
Michel**

Maître de Conférences à l'Université de

Année Académique 2019-2020

FICHE DE CERTIFICATION DE L'ORIGINALITE DU TRAVAIL

Je soussigné, **EVEZO'O Aimé Jonathan**, atteste que le contenu du présent mémoire de fin de formation à l'école normale supérieure d'enseignement technique d'Ebolowa (ENSET) de l'Antenne de l'Université de Yaoundé1 est le fruit de mes propres travaux effectués au sein de la **SIBM Sarl de Sangmélima** sur le thème «*Contribution à l'amélioration du rendement matière d'une scierie tropicale par la valorisation Energétique des rebuts : cas de la SIBM de Sangmélima, Sud Cameroun*». Ce travail a été effectué sous l'encadrement technique de **NKATE Pierre Charly** et la supervision de **Prof. NJANKOUO Jacques Michel** de l'Université de Yaoundé1 sur le plan académique.

Ce mémoire est de ce fait authentique et fait l'objet d'une soutenance en vue de l'obtention du grade de DIPETII.

EVEZO'O Aimé Jonathan

Date: ___/___/2020

VISA DU SUPERVISEUR

VISA DU RESPONSABLE DE FILIERE

Date: ___/___/2020

Date : ___/___/2020

DEDICACE

A Mon neveu MENGEME Georges Stephane

REMERCIEMENTS

Mes remerciements s'adressent à toutes les personnes qui m'ont apportées l'assistance nécessaire à ma formation, celles qui de près ou de loin ont contribué au bon déroulement de Cette étude et de mon stage à la société industrielle de bois de MJP et frères de Sangmélima. De façon exhaustive, mes remerciements vont:

- A madame le Directeur de l'Ecole Normale d'Enseignement Technique d'Ebolowa **Prof. Salomé NDJAKOMO ESSIANE** pour son encadrement et ses précieux conseils ;
- **Pr. NJANKOUO Jacques Michel**, chef du département d'ingénierie Bois de l'ENSET pour encadrement académique et son sens de professionnalisme qui ne cesse de donner depuis le début de notre formation, sans toutefois oublier sa disponibilité toute au long de ce travail ;
- A Monsieur **NKATE Pierre Charly** mon encadreur professionnel, sa disponibilité, son suivi et ses conseils durant ce travail ;
- A Monsieur le Directeur Général de la société industrielle des bois de MJP et frère M. Missoko Jean Paul pour m'avoir accepté comme stagiaire dans son entreprise;
- A tout le corps enseignant de l'ENSET d'Ebolowa pour les efforts et l'accompagnement dans notre formation ;
- A toute ma promotion d'IB pour leur soutien morale, leur assistance et la joie partagée durant toute notre formation ;
- A tout le personnel de la SIBM Sarl pour leur accueil, leur disponibilité et leur aide ;
- A mes chers parents Mme **MENGEME Esther** et M. **MENGEME Jean Marc Daniel** pour l'amour, l'aide morale et financière et le réconfort qu'ils ne cessent de me donner ;
- A mes amis **MEYO Ange Bertin**, **AKONO Stéphane**, **NYATTE Arsène**, **AKAMBA NDJO'O Vanessa**, **NKENFACK Baudelaire** et tous ceux qui ne sont pas cités mais qui m'ont encouragés tout au long de ce travail pour leur aides financière et leur encouragement ;
- A tous mes Frère et Sœurs **NDONO Salomon**, **AKO'O Theodore**, **BANDOLO Salomé Fridoline**, **EDIMENGO Guy Steve**, et **EKOMO Barbara** pour leur soutien inconditionnel ;
- A ma Belle-Sœur **ATEBA BILOA Sabine** pour ces conseils et son assistance.

SOMMAIRE

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
SOMMAIRE	iii
LISTES DES ABREVIATIONS ET DES SIGLES.....	v
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
RESUME	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCTION	1
1. Contexte.....	1
2. Problématique	2
3. Questions de recherche	3
4. Objectifs de l'étude	4
4.1 Objectif Global.....	4
4.2 Objectifs Spécifiques	4
5. intérêts et Justification de l'étude	4
5.1 Intérêt scientifique	4
5.2 Intérêt professionnel.....	5
5.3 Intérêt pédagogique	5
Chapitre 1 : REVUE DE LA LITTERATURE	6
1.1 Définition des concepts	6
1.2 Généralités sur le sciage de bois en scierie.....	7
1.2.1 Description d'une Scierie.....	8
1.3 Evaluation du rendement matière en scierie tropicale.....	10
1.4 Evaluation des gisements de résidus de bois scierie.....	11
1.4.1 Description et caractéristiques de déchets de bois.....	11
1.4.2 Typologie des déchets	14
1.4.3 Volume des résidus de bois disponible en scierie	15
1.4.4 Potentiel énergétique des déchets de bois	16
1.5 Exemple de mécanisme d'amélioration du rendement matière par valorisation énergétique : cogénération.....	18
1.5.1 Principe de Cogénération par combustion	18
1.5.2 Objectifs de la cogénération et technologies disponibles pour la production d'énergie à partir des déchets de bois.....	18

1.5.3 Dimensionnement d'une installation de cogénération	20
1.5.2 Aspect environnemental	24
Chapitre 2 MATERIELS ET METHODES	25
2.1 Présentation de la zone d'étude	25
2.1.1 Présentation de la structure d'accueil.....	25
2.1.2. Localisation géographique de la scierie de SIBM de Sangmélina	25
2.1.3 Description du milieu Biophysique.....	27
2.1.4 Description du milieu Biotique	29
2.1.5 Description socio-économique	30
2.2 Collecte de données secondaires.....	31
2.2 Traitement des données	32
2.3.5 Besoins en énergie de la SBM.....	33
Chapitre 3 : RESULTATS ET DISCUSSION	34
3.1 Rendement matière par essence.....	34
3.1.1 Circuit de production	34
3.1.1 Rendement matière par essence vente locale	34
3.2.2 Rendement matière par essence vente à l'export	35
3.1.2 Capacité de production de rebuts par essence	36
3.2 Capacité de production annuelle des rebuts de bois.....	37
3.1.3. Caractérisation des rebuts.....	37
3.3 Potentiel énergétique global de rebuts de bois.....	38
3.4 Dimensionnement d'une installation de valorisation énergétique d'un des rebuts : cogénération.....	39
3.4.1 Puissance électrique de l'installation	39
3.4.2 Énergie électrique et énergie thermique	39
3.5 Contribution de la valorisation énergétique des rebuts amélioration du Rendement matière et autonomie énergétique de l'entreprise : Besoin énergétique de la SIBM Sarl.	40
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	42
1. Conclusion	42
2. Recommandations.....	43
BILBIOGRAPHIE.....	44
ANNEXES	45
ANNEXE1 : Schéma du système de cogénération	45
ANNEXE2 : Fiche de collecte de données journalière : quantification des résidus scierie	45

LISTES DES ABREVIATIONS ET DES SIGLES

ADEME	: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AFD	: Agence Française de Développement
ATIBT	: Association Technique International des Bois Tropicaux
CRAAQ	: Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec
CIB	: Congolaise Industrielle de Bois
CIRAD	: Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CEC	: Capacité d'Echange Cationique
DAVOC	: Draw a Vision of Cameroon
DG	: Diamètre au Gros Bout
DP	: Diamètre au Petit Bout
ENSET	: Ecole Normale Supérieure D'enseignement Technique
GTZ	: <i>Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit</i> (Société allemande de coopération technique)
IEPF	: Institut de l'Energie et de l'Environnement de la Francophonie
IB	: Industrie du Bois
PCD	: Programme Communautaire de Développement
PCI	: Pouvoir Calorifique Inferieur
MJP	: Missoko Jean Paul
Sarl	: Société à Responsabilité Limité
SIBM	: Société Industrielle de Bois MJP et frères
RGHP	: Recensement Général de l'Habitat et de la Population
UFA	: Unité forestière d'aménagement
USDA	: United States Département of Agriculture
VAN	: Valeur Actuelle Nette
Ve	: Volume entré
Vs	: Volume sortie
Vd	: Volume des déchets

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma d'une scierie	8
Figure 2 : Schéma de transformation du bois en scierie	9
Figure 3 : Histogramme du rendement matière par essence	
Figure 4 : Variation du Pouvoir calorifique inférieur en fonction du taux d'humidité des déchets de bois	16
Figure 6 : Schéma de principe de l'installation de cogénération par synthèse de gaz avec turbine à gaz	23
Figure 7 : Carte de localisation de la zone d'étude	26
Figure 8 : Diagramme Ombrothermique de la commune de Sangmélina	29
Figure 9 : Récapitulatif du rendement matière de SIBM Sarl	36
Figure 10 : Variation de la quantité de résidus de bois par type	38

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1:Etat et lieux des industries de transformation du bois.....</i>	10
<i>Tableau 2 : rendement matière:</i>	11
<i>Tableau 3 : Typologie des déchets de bois.....</i>	14
<i>Tableau 4 : Volumes disponible des résidus de bois en scierie</i>	15
<i>Tableau 5 : Eléments de dimensionnement de l'installation CIB à partir de turbines à vapeur</i>	21
<i>Tableau 6: Moyenne de pluviométrie et des températures</i>	28
<i>Tableau 7 : représentation de la collecte des données.....</i>	31
<i>Tableau 8 : traitement des données collecté</i>	32
<i>Tableau 9: rendement matière pour vente locale.....</i>	34
<i>Tableau 10 : rendement matière par essence pour vente export</i>	35
<i>Tableau 11 : tableau récapitulatif du rendement matière.....</i>	35
<i>Tableau 12: Capacité de production des déchets par essences par heure</i>	36
<i>Tableau 13: Estimation de la granulométrie des résidus par essence.....</i>	37
<i>Tableau 14 : potentiel énergétique des rebuts par an.</i>	38
<i>Tableau 15 : Energie électrique et énergie thermique.....</i>	39
<i>Tableau 16 : Consommation en électricité de SIBM Sarl</i>	40

RESUME

L'objectif de cette étude était d'estimer le niveau énergétique régénéré par la combustion des rebuts de bois produits par la SIBM afin d'avoir une meilleure estimation de l'amélioration du rendement matière apporté par la valorisation de rebuts et estimer sur la taille de l'unité de cogénération à proposer. Plus spécifiquement il a été question de : d'évaluer le rendement matière de la scierie par essence de bois ; d'évaluer la capacité de production annuelle des rebuts que peut produire cette usine ; d'estimer de l'énergie primaire régénérée par les rebuts ; de dimensionner l'unité de cogénération par rapport à l'énergie primaire induite en passant par sa puissance, l'énergie électrique et l'énergie thermique régénérée. Pour y parvenir, les observations, des mesures sur le terrain et application de formule pour la collecte et traitement des données primaire, les recherches documentaires pour la collecte de données secondaire. Ressort de cette étude que sur l'ensemble des rebuts produits dans cette usine, seuls les copeaux, les délignures et les rognures ont été évalués .Les Copeaux ont une granulométrie fine, les délignures plus grossières et les rognures moins grossières. Sachant que les rebuts seraient séchés à l'air, le taux d'humidité des rebuts a été défini à 25%. Pour un rendement matière de 41,17 % pour les essences sciées durant cette période soit 58,83% de résidus. Sur les ces résidus que produirait la SIBM 32,83% Seront valorisé énergétiquement soit une amélioration totale du rendement estimée à 74%, La SIBM produirait en moyenne 555,984m³ de rebuts par an. La combustion des rebuts régénérerait en moyenne un potentiel énergétique d'environ 1322584,03KWh par an. La puissance de l'installation du système de cogénération éventuelle est estimée à 1,2MWhé et produirait en moyenne 396775,20KWh d'électricité par an et 727421,21KWh de chaleur par an. L'énergie électrique favoriserait son autonomie d'énergie alors que la chaleur pourrait alimenter éventuellement l'unité de séchage lors de son installation. Le suivi des consommations en énergie électrique de la SIBM, estimerait la consommation annuelle des activités de la scierie à 190156,2KWhé. La confrontation de cette consommation à l'énergie électrique régénérée par l'unité de cogénération laisse déduire un excédent d'électricité d'ordre de 206619,008KWhé. Cet excédent contribuerait à l'électrification des populations riveraines comme œuvre sociale par l'entreprise. La SIBM et les autres scieries en activité zone tropicale devraient étudier la faisabilité de cette initiative pour l'amélioration de leur rendement matière et accompagner l'action de l'état dans le processus de l'autonomisation en énergie. Car la puissance d'une nation se mesure par sa capacité à satisfaire ses besoins en énergie.

Mots Clés : Scierie, Rebuts, valorisation énergétique, Cogénération, potentiel énergétique, rendement matière.

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the energy level regenerated by the combustion of wood scrap produced by the SIBM Mill in order to have a better knowledge of the size of the cogeneration unit to be designed. To achieve this, observations, surveys, literature searches and field measurements have made it possible to evaluate the annual production capacity of the waste that this sawmill can produce; to estimate primary energy regenerated by waste; to size the cogeneration unit in relation to the primary energy induced about its power, electrical energy and thermal energy regenerated. In this study, only the chips, the delignings and the trimmings were evaluated. Where Chips have a fine particle size, coarser delignings and less coarse shavings. Knowing that the waste would be air-dried, the moisture content of the waste was 25%. SIBM would produce an average of 555.984m³ per year. The combustion of waste regenerated on average a potential energy of approximately 1322584.03 KWh per year. The power of the installation of the cogeneration system is estimated at 1.2MWhé and would produce on average 396775.20KWhé of electricity per year and 727421.21KWhq heat per year. The electrical energy that would promote its energy autonomy while the heat could possibly feed the drying unit during its installation. The monitoring of the electrical energy consumption of the SIBM, estimates the annual consumption of the sawmill activities at 190156.2KWhé. The comfort of this consumption at the electrical energy regenerated by the cogeneration unit allows deducing an excess of electricity at 206619.008KWhé. Excessive that would contribute to the electrification of neighboring populations as a social work by the company. SIBM and other sawmills operating in Cameroon should study the feasibility of this initiative in order to improve rate of productivity and support state action in the process of energy empowerment. Because the power of a nation is measured by its ability to meet its energy needs.

Key words: Sawmill, wastes, energy recovery, Cogeneration, Combustion, electric power, energy potential .

INTRODUCTION

1. Contexte

De nos jours, le changement climatique, la dégradation et la pollution de la biosphère deviennent de plus en plus préoccupants au niveau de la communauté internationale. Ceci du fait de l'explosion démographique, la menace de la sécurité alimentaire, l'industrialisation galopante par des demandes en énergies sans cesse croissante (Ikérée K. et al. 2010). La crise pétrolière de 1973 a montré que l'essor économique dépendra de la capacité des pays à substituer les énergies fossile¹ par une autre forme d'énergie. Les pays plus frappés par cette crise étaient les pays en voie de développement, les pays Africains en majorité. Ceci, à cause de l'incapacité de substituer l'énergie fossile à d'autres formes d'énergie (DAVOC, 2008). C'est ainsi que la forme d'énergie renouvelable s'est de plus en plus intensifiée pour des besoins énergétiques multiples (CRAAQ, 2008) à l'instar de l'énergie de la source biomasse² (déchets agricole, résidus de bois (rebuts), déjections animales, etc.). Permettant ainsi de satisfaire les besoins énergétiques de pays en voie de développement.

Les pays du Bassin du Congo (Cameroun, République Centrafricaine, Gabon, République Démocratique du Congo, Congo) sont soumis à des besoins croissants de transformation locale du bois et doivent faire face à l'augmentation des coûts énergétiques. Les industriels sont donc très intéressés par la création de centrales de cogénération, capables de produire de l'électricité par la valorisation des déchets de bois (AFC, 2008). Les forêts d'Afrique subsaharienne contiennent 10 à 20% du stock de carbone végétal mondial. La grande part revient aux forêts du bassin du Congo (ATIBT, 2016) ; région d'Afrique marquée par une exploitation forestière et transformation du bois qui se veut légale selon les normes de gestion durable et soutenue des forêts.

La valorisation des sous-produits et produits connexes de scieries sont des pratiques encore trop peu développées en milieu tropical et tout particulièrement en Afrique (Philippe G. et al., 2003). C'est dans cette optique que les gouvernements d'Afrique centrale ont décidé d'introduire dans leur politique énergétique la valorisation de ces déchets de bois pour le renforcement du niveau énergétique des pays de la sous-région. La méthode thermochimique principalement réalisée et plus répandue jusqu'ici. Les sociétés de

¹ Energie produite par des gisements pétroliers non renouvelables (fioul, gaz, carburant...)

² La biomasse forestière serait donc constituée de toute la flore et la faune retrouvée dans un écosystème forestier, rebuts de bois, énergie biodégradable et renouvelable.

transformation du bois dont on retrouve les chaudières pour alimenter les séchoirs, d'autres alimentent les séchoirs et produisent l'électricité en temps (Philippe G. et al., 2003). Ceci constitue donc l'un des challenges du secteur forestier et transformation du bois dans la sous-région.

A l'heure du développement durable, de la gestion des déchets et de la promotion des bioénergies, d'importants gisements de bois-énergie³ non exploités que dispose le Cameroun représentent un potentiel à exploiter (Gtz, 2008). Or vu ce potentiel dans le plan d'électrification seulement 2010 localités rurales camerounaises sur un total d'environ 7500 dont la population est supérieure à 200 habitants, bénéficient du courant électrique en 2003 (Ikérée K. et al., 2010). Parallèlement à ce potentiel énergétique les déchets de bois de l'industrie de première et deuxième transformation sont jusqu'ici abandonnés dans les parcs bois, ramassés par les populations riveraines des industries de transformation pour les besoins de chauffage, l'incinération à l'air libre et la production du charbon de bois sont les seules formes de gestion et de valorisation de ces déchets. Par conséquent, ces activités représenteraient une source potentielle de pollution de l'air par l'augmentation du taux de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre. L'industrie du bois au Cameroun étant aussi bien frappée par un problème de délestage que subissent les zones rurales et urbaines peut souvent aller jusqu'à 55 jours (Wandji, 2007 cité par Ikérée K. et Al. 2010). Cette situation freine leur niveau de productivité. La mise en œuvre de la valorisation énergétique de rebuts⁴ de bois procure donc à l'entreprise forestière non seulement une autonomie⁵ en énergie mais une amélioration de son rendement matière.

2. Problématique

Les besoins en énergie des industries de première transformation du bois sont de plus en plus croissants tant au niveau de la forêt qu'à l'usine. Ces besoins sont beaucoup plus électriques (pour le fonctionnement des machines de sciage et base vie du personnel), mais aussi thermiques (réseau de chaleur). Cependant, le Cameroun connaît depuis quatre (04) ans une crise énergétique profonde due à l'insuffisance de la production en électricité face à une demande croissante et la position des entreprises de transformation du bois pour la plus part situées dans des zones rurales dont le problème d'électrification est très connu et une coupe

³ Valorisation de la biomasse pour la production de l'énergie (chaleur, électricité et froid)

⁴ Restes de produits issus de la transformation de bois dans les scieries, ainsi que tout autre rejet ou débris provenant de ladite transformation

⁵ Indépendance du secteur énergétique de la scierie sans avoir besoin d'un autre fournisseur (Eneo) d'énergie pour le fonctionnement des machines et l'équipement de sciage du bois.

d'électricité très fréquente freinant le plus souvent les activités de transformation du bois (GTZ, 2008). Le rendement matière qui est de 30% environ, soit une quantité de déchets de bois de l'ordre de 70% (GTZ, 2008). Ainsi, dans un souci d'amélioration du rendement matière et de participer à l'augmentation du niveau énergétique des scieries de transformation du bois, la valorisation énergétique des rebuts de bois s'avère pertinente. Cette volonté accorde une importance particulière aux rebuts de bois comme alternative aux besoins énergétiques de la scierie de transformation du bois et même des zones périphériques.

Conscient de la nécessité de la gestion des rebuts de scierie, l'augmentation du rendement matière, de la plus-value du secteur économique et l'acquisition d'une autonomie énergétique. Les entreprises ont une motivation accrue sur comment mettre en place un système de valorisation énergétique des déchets de bois pour améliorer le niveau de rentabilité matière de leur usine de production des sciages afin de renforcer leur secteur énergétique et l'aspect moins polluant de l'environnement de la méthode de cogénération. Les sociétés de transformation de bois ont besoin à ce jour des évaluations et connaissances fiables sur l'énergie thermique libérée par la combustion d'un kilogramme de rebuts de bois (combustible) l'information capitale pour le dimensionnement des installations d'énergie (chaudières ou de cogénération).

La Société industrielle de MJP et Frères (SIBM Sarl.) est une société de transformation de bois implantée à Sangmélina dans le quartier Mépho depuis 1992. Pour satisfaire sa demande en électricité elle dispose d'un Générateur électrique qui est alimenté par combustible non renouvelable (le Gasoil), alors qu'une partie des résidus de bois produit lors des opérations de sciage peuvent être valorisés énergétiquement et booster son rendement matière. Conscient que le taux de production de rebuts de cette scierie est d'environ 60%(MINFOF,2007), l'amélioration de son rendement matière et son autonomie énergétique ressortent comme problèmes actuels de la Société. La SIBM Sarl souhaite mettre sur pied un système de valorisation énergétique des déchets de bois produits par leur scierie afin de pallier à ce problème. Cette situation justifie le choix du centre d'intérêt de cette étude sur la contribution à l'amélioration du rendement matière dans une scierie tropicale par la valorisation énergétique des résidus de bois à la SIBM Sarl.

3. Questions de recherche

L'amélioration du rendement matière par la valorisation énergétique des rebuts de bois d'une scierie suscite les interrogations suivantes :

- Quel est le rendement matière par essence de la scierie ?
- Quelle est la capacité de production de déchets par essence et par type de la scierie ?
- Quel est le niveau énergétique global des déchets de bois de la scierie ?
- Quelle sera la technique de valorisation énergétique des déchets qui améliore le rendement matière de la scierie ?
- Comment l'énergie régénérée par le système de valorisation des déchets peut satisfaire la demande énergétique et le niveau du rendement matière de la SIBM ?

4. Objectifs de l'étude

4.1 Objectif Global

Cette étude vise principalement à montrer le niveau de contribution de la valorisation énergétique de rebuts d'une scierie tropicale pour améliorer son rendement matière et l'autonomie énergétique.

4.2 Objectifs Spécifiques

Plus spécifiquement il s'agit de :

- ❖ Evaluer le rendement matière de la scierie par essence de bois ;
- ❖ Evaluer la capacité annuelle de production de rebuts de la scierie par essence et par type de résidus;
- ❖ Evaluer le potentiel énergétique global de rebuts de bois et caractériser les types de résidus ;
- ❖ Proposer un mécanisme de valorisation énergétique des résidus qui permet d'améliorer le rendement matière.

5. intérêts et Justification de l'étude

5.1 Intérêt scientifique

Cette étude éteindra la littérature existante sur l'importance de l'apport de la valorisation énergétique des résidus des scieries tropicales sur l'autonomie des entreprises mais aussi et comme une forme d'amélioration considérable du rendement matière dans les scieries. L'autonomie d'une scierie tropicale et l'amélioration du rendement matière sont des facteurs principaux d'accroissement d'une scierie et leur aspiration est de plus en plus accrue d'actualité.

5.2 Intérêt professionnel

Sur le plan pratique d'entreprise cette étude permettra de montrer par un procédé de valorisation énergétique des déchets de bois, contribuer à l'amélioration du rendement matière d'une scierie de première transformation en milieu tropical. et de le proposer à l'entreprise à fin qu'elle ait une autonomie en énergie et d'améliorer son rendement matière. Jusqu'ici, les scieries produites des grandes quantités de rebuts de bois manquent de connaissance sur les mécanismes de valorisation énergétique de ces déchets.

5.3 Intérêt pédagogique

Durant notre stage pédagogique réalisé au Lycée technique de Sangmélina dans les programmes d'enseignement/ apprentissage de l'aspect valorisation énergétique des résidus de bois est jusqu'ici absent dans les classes 2nde IB-TMG ET Première IB. Or la valorisation des résidus de bois est très important pour la professionnalisation des apprenants car peut leur apporter plus de débouchés comme la fabrication des briquettes énergétiques, du charbon écologique, de la production d'électricité avec les rebuts de bois qui est un secteur très innovant de la filière IB-TMG en pleine réforme. Alors le Ministère de l'enseignement secondaire (MINESEC) en étroite collaboration avec le ministère de l'enseignement supérieur (MINESUP) doivent trouver une formule pour former les enseignants et apprenants sur ce secteur de valorisation énergétique de déchets de bois de scierie. Le secteur de valorisation énergétique des résidus de scierie viendra augmenter le niveau d'énergie du territoire nationale, toute la région tropicale et de protection de l'environnement contre les émissions des gaz à effet de serre par la limitation d'utilisation des ressources fossiles (fioul).

1.1 Définition des concepts

1.1.1. Alternateur : Générateur permettant de créer un champ magnétique pour fournir de l'électricité. L'énergie électrique est produite sous forme de courant alternatif lorsque le rotor est entraîné par une turbine ou un moteur.

1.1.2. Amélioration : L'amélioration désigne un processus de développement d'une entreprise, d'un groupe d'entreprises ou de l'ensemble d'une chaîne de valeur en réponse à des efforts visant à améliorer sa position et le niveau de valeur ajoutée par rapport à ses concurrents. Dans son sens spécifique, l'amélioration peut être synonyme de développement positif d'une de valeur du rendement matière d'une scierie (ONUDI, 2011).

1.1.3. Les déchets de bois : sont les sous-produits (dosse, délignures, sciure, rognure, etc.) issus des différentes opérations de sciage et n'entrant nullement dans la production.

1.1.4. Valorisation énergétique : processus consistant à utiliser le pouvoir calorifique du déchet en le brûlant et en récupérant cette énergie sous forme de chaleur ou d'électricité (source, dictionnaire de l'environnement).

1.1.5. Cogénération : technologie propre permet, à partir d'un combustible, de produire simultanément de l'électricité et de l'énergie thermique.

1.1.6. Chaufferie bois : installation de production d'énergie sous forme de chaleur un ou plusieurs installation (<https://fr.m.wikipedia.org>).

1.1.7. Energie primaire : est l'énergie contenue dans un combustible utilisable dans les moteurs et les turbines : essence, fioul, bois, gaz, biogaz, gaz "fatal" produit par certaines industries (souvent détruit, par exemple gaz des torchères industrielles chimiques et pétrolières), hydrogène, etc. (Wikipedia.org).

1.1.8. Energie électrique : désigne toute énergie transférée ou stockée grâce à l'électricité¹. Cette énergie est transférée d'un système à un autre par un mouvement de charges.

1.1.9. Energie thermique : est l'énergie cinétique due aux mouvements des atomes ou molécules d'un corps

1.1.10. Turbine à vapeur : est une machine qui extrait l'énergie thermique de la vapeur sous pression et l'utilise pour produire un travail mécanique de rotation de l'arbre de sortie.

1.1.11. Scierie : Les scieries sont des installations industrielles ou artisanales de première transformation du bois. Elles fournissent des produits semi-finis, les sciages, qui sont généralement destinés à une industrie de seconde transformation (menuiserie, ébénisterie, construction, etc.) chargée de fabriquer des objets ou des parties d'objets de consommation. Elles sont des grandes productrices de déchets destinés à être valoriser.

1.1.12. Pouvoir calorifique inférieur(PCI) : Il s'agit de l'énergie dégagée par la combustion du bois sans récupérer à chaleur latente de la vapeur d'eau produite par la combustion (ADEME, 2001).

1.1.13. Rendement électrique : indique le pourcentage d'énergie que restitue un système, car tout système énergétique engendre des pertes lors du fonctionnement.

1.1.14. Rendement matière : L'analyse statistique sur la transformation des bois tropicaux montre que le rendement matière varie selon le type de transformation choisi, c'est-à-dire selon que l'usine est une scierie simple, une scierie avec séchoirs, une scierie intégrée à un atelier de menuiserie industrielle, une usine de déroulage/contreplaqué ou une usine de tranchage. Ces variations dépendent essentiellement de trois facteurs : le rendement matière de transformation, son contenu en travail (mesuré par le nombre d'ouvriers nécessaires à la transformation de 1000 m³ de grumes en produit finis) et son intensité en capital (mesuré par la productivité du travail, c'est-à-dire la valeur ajoutée par employé). Dans l'ordre où nous les avons cités, ces types de transformation ont des rendements matières, des intensités en travail et des intensités en capital croissants. La conséquence de cette triple croissance est que ces usines gaspillent moins de matière première, distribuent plus de salaire en m³ de grumes transformées et créent plus de valeur ajoutée par employé qu'une scierie simple. (Minfo, 2007)

1.2 Généralités sur le sciage de bois en scierie

Le sciage étant l'ensemble d'opérations qui consiste à diviser une bille de bois en plusieurs parties par enlèvement d'un copeau qui sera ensuite fractionné en mini-éléments, appelés sciures.

1.2.1 Description d'une Scierie

1.2.1.1 Schéma type d'une scierie

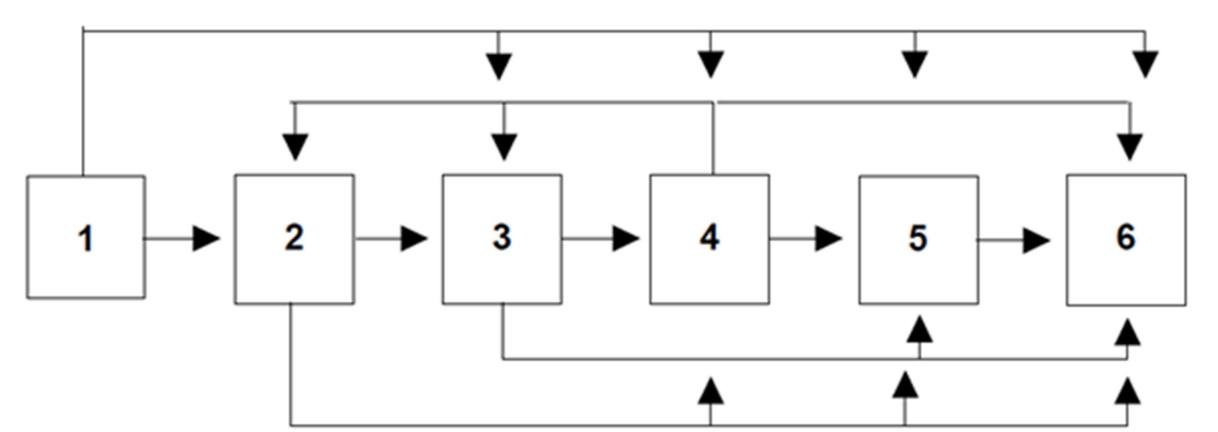


Figure 1 : Schéma d'une scierie (LPR SAULXURES, 2010)

1= Scie à Ruban de tête ; 2= Scie à Ruban de Refente ; 3= Déligneuse circulaire multi-lames ; 4= Ebouteuse circulaire de mise en longueur ; 5= Réception, Empilage ; 6= Stockage des chutes.

1.2.1.2 Opérations à effectuer et déchets par poste de sciage

- 1-----> 2, 4-----> 2 : dosses, plateaux, noyaux à refendre
- 1-----> 3, 2-----> 3, 4-----> 3 : planches à déligner (mise à largeur)
- 1-----> 4, 2-----> 4, 3-----> 4 : produits à mettre à longueur, rebuts
- 1---->5, 2----> 5, 3---> 5, 4---> 5 : produits finis à empiler, comptabiliser, cuber
- 1, 2, 3, 4 -----> 6 : petites dosses, délignures, chutes de mise à longueur pour le charriot à chutes.

1.2.1.3 Cycle de transformation du bois/ biomasse en scierie

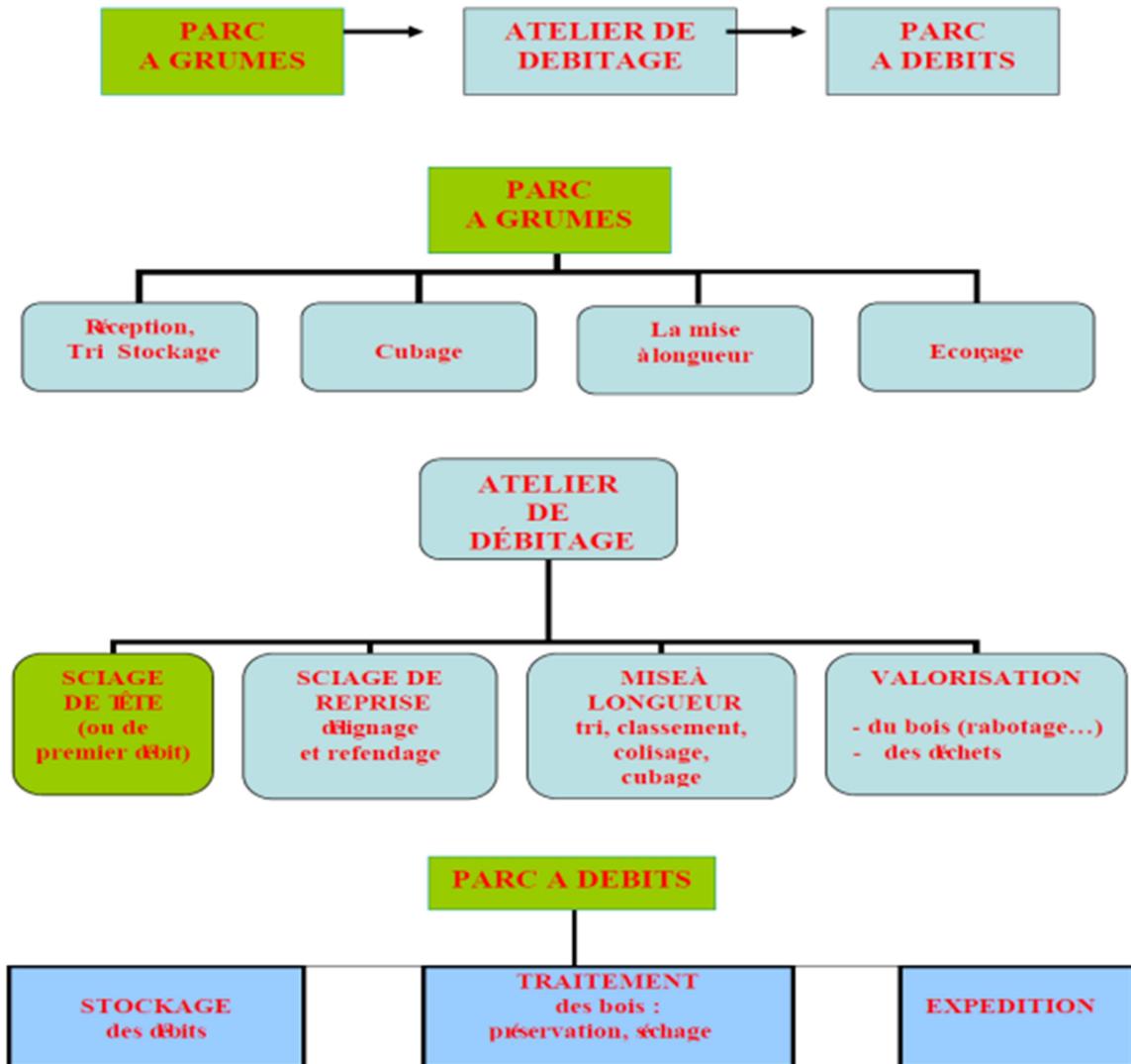


Figure 2 : Schéma de transformation du bois en scierie (LPR SAULXURES, 2010)

1.3 Evaluation du rendement matière en scierie tropicale

Tableau 1:Etat et lieux des industries de transformation du bois (MINFOF 2007)

Type de transformation	Nombre d'usine	capacité de transformation	RM (%)	Nombre d'ouvriers nécessaires à la transformation de 1000 m3 de grumes	productivité du travail (million de FCFA de Va/homme/an)
scierie simples	37	1162000	32	2,46	6,2
Scierie avec séchoir	8	31300	33	3,13	6,7
Scierie intégrées avec un atelier de menuiserie industrielle	13	802000	36	3,43	8,4
Usine de déroulage	7	360000	50	4,95	3,6
Usine de tranchage	1	42000	55	8,93	7,3
Ensemble des usines	66	2679000	36	4,58	6,44

Source : document J.C Carret, industrialisation de la filière bois au Cameroun page 6, juin 1999.

Ce tableau issu d'une enquête du CERNA confirme les mauvais rendements de l'industrie de transformation du bois. Le nombre et la capacité de transformation des scieries avec séchoirs, des scieries intégrées à un atelier de menuiserie industrielle et des usines de déroulage en augmentation sensible et devrait s'amplifier dans les années à venir en raison de l'existence de nombreux nouveaux projets. Il est par conséquent probable que le rendement matière, le contenu en travail et l'intensité en capital de la transformation au Cameroun augmente dans les années à venir. Ainsi de nos jours le rendement matière va de 40 à 90% pour les industries chimiques du bois (selon les processus) et varie de **40 à 60%** pour les scieries.

Le rendement matière des scieries au Cameroun est passé de 33 % en moyenne en 1998 à 37 – 38 % actuellement (Karsenty st. et al., 2006).

Tableau 2 : rendement matière:

N° D'ordre	ESSENCES	Vg (m3)	Vd (m3)	Rdt (%)
4	MOVINGUI	41,327	9,378	22,69
3	NIOVE	40,996	5,448	13,29
2	OSANGA	25,302	3,113	12,30
1	PADOUK	35,190	3,416	9,11
Total Général		142,815	21,355	14,95

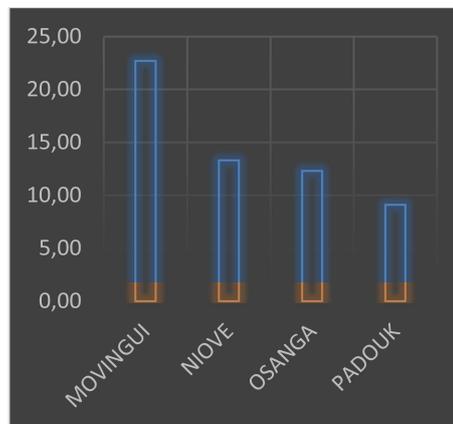


Figure 3 : Histogramme du rendement matière par essence

Rendement matière à la SFID Djoum par essence source :(NKATE, 2014)

Le **tableau 6** et la **figure 11** présentent la répartition du rendement matière par essence de la chaîne W.G 180 – AG d’une chaîne de la SIFD SA de Djoum.

1.4 Evaluation des gisements de résidus de bois scierie

1.4.1 Description et caractéristiques de déchets de bois

Les déchets varient en fonction de l’essence et la nature des équipements de sciage. Ils sont de quatre types : sciures, chutes de bois massifs, défauts de cœur au sciage, chutes de tronçonnage des grumes avant le sciage (Girard, 1999).

1.4.1.1 Sciures

L’homogénéité de granulométrie est un atout important au niveau de son transport et de son utilisation ;il s’agit d’un déchet inévitable. La production des sciures dans une scierie dépend pour beaucoup du type de débits qu’elle réalise. Ces débits sont généralement définis d’après les demandes du marché, la nature des bois et surtout leur qualité qui nécessitent un plus ou moins grand nombre de traits de scie.

Dans le cas de Congolaise industrielle des bois (CIB) les pertes au sciage dues au passage de la lame de scie sont quantifiées comme suit :

- Les scies à ruban ont un passage de 3 à 5 mm (3 pour les rubans de 140 et 5 pour les rubans de 180), soit un passage moyen de 4 mm pour scier une planche de 25 mm en épaisseur, la perte due à la scie est de 4 mm sur 25 mm soit 16%. Pour une planche de 50 mm : 4 mm sur 50 mm soit 8 %. Pour une planche de 75 mm : 5,3%. Cela fait une moyenne de 10%.
- Pour déligner en largeur, il y a en général 1 ou 2 cotes soit 1,5 en moyenne. Les lames de déligneuse font un passage moyen de 10,5 mm (7 mm x 1,5) soit sur une largeur moyenne de 230 mm : 4,6 %.

Cela fait un total de pertes sous forme de sciures dues au passage des lames de 15%, pertes totalement incompressibles auquel il convient d'ajouter environ 1% en provenance de l'éboutage.

1.4.1.2 Chutes de bois massifs

Elles sont constituées des dosses, délignures et chutes d'éboutage. La longueur des dosses et délignures est fonction du tronçonnage des grumes sur le parc. Le plus généralement les dosses ont une longueur voisine de 6 m.

Elles sont caractérisées par une forme en demi-lune et une conformation très variable suivant la rectitude et la conicité du fût. Avec les bois tropicaux présentant un aubier important, certaines dosses peuvent peser plus de 100 kg. Quand l'aubier est de 5 cm sur le rayon et que le diamètre moyen des billes entrées en scierie est de 100 cm, le volume perdu pour les qualités sciées pour l'exportation n'acceptant pas d'aubier est de 20%.

Quand l'aubier est de 4 cm sur le rayon et que le diamètre moyen des billes entrées en scierie est de 100 cm, le volume perdu est de 15,5%.

♣ Les délignures, de longueurs inférieures ou égales à celles des dosses, n'ont pas de section bien définie et comportent généralement un bord arrondi. A l'origine, l'humidité des dosses est peu différente de celle des grumes dont elles proviennent. Il n'en est pas de même des délignures qui peuvent être produites à partir de plateaux ressuyés ou d'avivés sortie séchoir. Dans le cas de la CIB, dosses et délignures ont une humidité élevée équivalente à celle des grumes.

L'utilisation directe en chaudière sans conditionnement préalable des dosses et délignures est rarement observée dans la pratique (sauf sur les systèmes d'alimentation manuelle), dans la mesure où leur manutention et leur introduction dans le foyer de la chaudière est

problématique. De plus, le chargement de grosses pièces de bois dans le foyer, correspond à un système d'alimentation discontinue (ajout de grosses masses de bois par cycle) qui occasionne des envols de cendres (fumées noires) et surtout un fonctionnement discontinu de la chaudière peu incompatible avec la production d'électricité. Un passage préalable dans un broyeur est donc recommandé même si ce dernier est gros consommateur d'électricité et de puissance. Dans le cas de la CIB, le volume de dosses et délignures plus aubier peut être estimé à 25% du volume grume.

♣ Chutes d'éboutage : proviennent quant à elles du tronçonnage des sciages préalablement avivés. Elles ont donc pour épaisseur et largeur, celles des avivés dont elles sont tirées à savoir une épaisseur courante comprise entre 25 et 75 mm et une largeur de + de 250 mm Leur longueur dépend de la nature du défaut à éliminer et la longueur commerciale recherchée. Quand les débités sont en longueurs fixes, les pertes au tronçonnage sont considérables. Mais pour des longueurs standard, il faut compter environ 10 cm de chaque bout de la grume par rapport à la longueur de la planche pour éviter les fentes. Cela représente pour des longueurs moyennes de planches de 3 m, 6,6% de perte. A ces pertes viennent s'ajouter les pertes dues aux nœuds extérieurs ou à la pourriture qui obligent à tronçonner certaines planches plus courtes que la longueur de la grume initiale entraînant environ 6% de pertes supplémentaires soit un volume total de pertes de près de 13%. Le volume est très variable en fonction de la qualité des grumes. Les chutes peuvent être utilisées directement à la chaudière.

1.4.1.3 Défauts de cœur au sciage

Les cœurs des bois et en particulier des bois rouges présentent des fentes qui entraînent des pertes importantes. Il faut considérer que le volume perdu varie selon les diamètres des grumes. Pour un diamètre de 100 mm, il faut compter des fentes jusqu'à 15 cm du centre en moyenne, soit un volume perdu de 10%. Ces déchets sont assimilés aux dosses et délignures car présentent les mêmes caractéristiques en termes de conformation.

1.4.1.4 Chutes de tronçonnage avant sciage

Ces pertes sont fonction, là encore, de la qualité des grumes et des longueurs des débités. Il s'agit de rondelles de 10 à 20 cm d'épaisseur difficile à valoriser pour la production d'électricité car elles nécessitent un refendage avant leur passage au broyeur. La meilleure valorisation envisageable reste la production de charbon de bois. Le volume représente environ 5% dans le cas de la CIB.

L'ensemble donne un total réel de déchets disponible de :

- ♣ sciures 16% volume grume
- ♣ dosses, délignures, aubier 25% volume grume
- ♣ chutes d'éboutage 13% volume grume
- ♣ défauts de cœur 10% volume grume

Total disponible : 64% volume grume

1.4.2 Typologie des déchets

Le tableau suivant présente sous-produits de scierie en fonction de leurs types.

Tableau 3 : Typologie des déchets de bois

Code	Types de déchets
03	Déchets provenant de la transformation du bois et de la production de panneaux et de meubles, de pâte à papier, de papier et de carton
03 01	Déchets provenant de la transformation du bois et de la fabrication de panneaux et de meubles.
030101	Déchets d'écorce et de liège.
030104	Sciure de bois, copeaux, chutes, bois, panneaux de particules et placages ne contenant des substances dangereuses.
0301 05	Sciure de bois, copeaux, chutes, bois, panneaux de particules et placages autres que ceux visés à la rubrique 03 01 04.
03 01 99	Déchets non spécifiés ailleurs.
0302	Déchets des produits de protection du bois.
03 02 01*	Composés organiques non halogénés de protection du bois.
030202*	Composés organochlorés de protection du bois
030203*	Composés organométalliques de protection du bois.
03 02 04*	Composés inorganiques de protection du bois.
03 02 05*	Autres produits de protection du bois contenant des substances dangereuses.
03 02 99	Produits de protection du bois non spécifiés ailleurs.
0303	Déchets provenant de la production et de la transformation de papier, de carton et de pâte à papier.
03 01	Déchets d'écorce et de bois.

03 03 02	Boues vertes (provenant de la récupération de liqueur de cuisson).
03 03 05	Boues de désencrage provenant du recyclage du papier.
03 03 07	Refus séparés mécaniquement provenant du recyclage de déchets de papier et de carton.
03 03 08	Déchets provenant du tri de papier et de carton destinés au recyclage.
03 03 09	Boues carbonatées.
03 03 10	Refus fibreux, boues de fibres, de charge et de couchage provenant d'une séparation mécanique.
03 03 11	Boues provenant du traitement in situ des effluents autres que celles visées à la rubrique 03 03 10
03 03 99	Déchets non spécifiés ailleurs.

<https://www.enviroveille.com/public/documents/nomenclaturedechets.pdf>

1.4.3 Volume des résidus de bois disponible en scierie

Selon Philippe Girard, 1999 sur les scieries congolaises de Pokola et Kabo les volumes des déchets disponibles pour la production d'énergie sont représentés dans le tableau suivant.

Tableau 4 : Volumes disponible des résidus de bois en scierie Philippe G.1999

	Scierie de Pokola	Scierie de Kabo
Volume grume entrée en scierie (m ³)	115 000	40 000
Volume sciure (m ³ équivalent grumes)	17 600	6 400
Volume dosses (m ³ équivalent grumes)	27 500	10 000
Volume éboutage (m ³ équivalent grumes)	14 300	6 000
Défauts (m ³ équivalent grumes)	11 000	4 000
Total (m ³ équivalent grumes)	70 400	26 400
Total (tonnes)	67 000	25 000

1.4.4 Potentiel énergétique des déchets de bois

1.4.4.1 Caractéristiques énergétique des déchets

Du point de vue de la valorisation énergétique et dans le but de l'évaluation des disponibilités, les données à retenir sont les suivantes :

- Pas de différence significative de PCI⁶, mesuré en kWh/t sèche, entre les essences et entre les différentes composantes de l'arbre ;
- Variation linéaire de PCI en fonction de l'humidité : $PCI = 57,76 H + 5080$ avec H en % et PCI en kWh/t (voir diagramme ci-après)
- Les exigences réglementaires et techniques pour la combustion sont les mêmes que soit l'essence
- La variation de rendement sur PCI entrée chaudière des installations de combustion en fonction de l'humidité est faible sous réserve que les installations aient été conçues de manière adéquat.

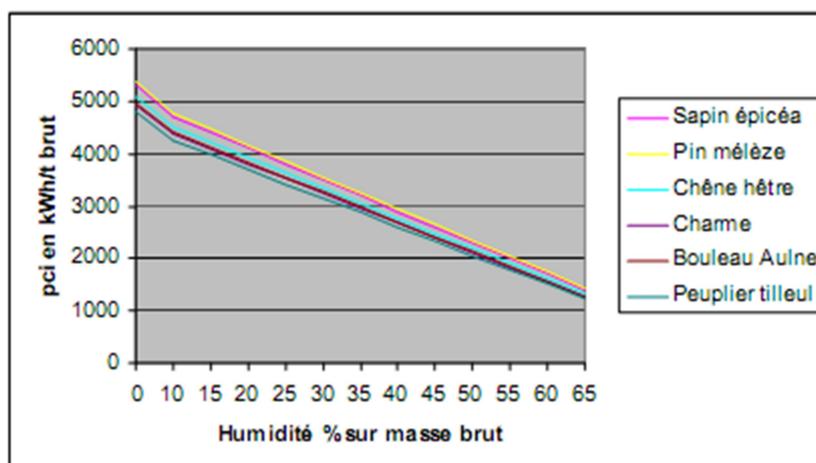


Figure 4 : Variation du Pouvoir calorifique inférieur en fonction du taux d'humidité des déchets de bois (Record, 2010)

1.4.1.5 Matière première : d'estimation du pouvoir calorifique inférieur

Le contenu énergétique du bois est exprimé par son pouvoir calorifique. Il représente l'énergie dégagée sous forme de chaleur lors de sa combustion complète, et s'exprime en kilowatts heure (kWh) ou en mégajoules (MJ) par kilo ou tonne de matière. Le PCI correspond quant à lui à l'énergie produite par la combustion d'un combustible sans tenir compte de la chaleur latente contenue dans la vapeur d'eau produite. Comme le PCS est

⁶ Quantité d'énergie dégagée par la combustion complète du bois en tenant compte de la vapeur d'eau latente produite.

invariable, le PCI va donc dépendre principalement de la quantité d'eau contenue dans le bois. En effet, lorsque le bois brûle, l'eau qu'il contient se dégage sous forme de vapeur avec les fumées. Une partie de l'énergie produite au sein du foyer va être utilisée pour transformer cette eau en vapeur, qui ne pourra être récupérée par la suite.

Plaquettes sont obtenues au cours des transformations du bois et sont présentes sous forme de chutes humides ou sèches, longues ou courtes, selon qu'elles proviennent de scieries ou de menuiseries. Les caractéristiques sont les suivantes : PCI : entre 2200KWh/t-3600KWh/t ; Humidité : 45 à 25% ; Granulométrie : grossière (comité européen de normalisation, 2010).

Le pouvoir calorifique inférieur du Sapelli est de 17 600 kJ/kg anhydre, ramené à l'unité de masse humide 40% sur brut, le PCI peut être considéré comme constant et égal à 10 000 KJ/kg de bois brut (Philippe G., 1999). Ceci dit potentiel énergétique des résidus de bois dépend du PCI.

1.5 Exemple de mécanisme d'amélioration du rendement matière par valorisation énergétique : cogénération

1.5.1 Principe de Cogénération par combustion

Selon le Guide de pré-dimensionnement d'une installation de cogénération (2003), le principe de la cogénération est de produire simultanément de la chaleur et de l'électricité. Grâce à cette production combinée, les pertes d'énergie se réduisent de manière significative. Ainsi, la cogénération permet d'économiser entre 15 et 20% d'énergie primaire par rapport à la production séparée de ces mêmes quantités de chaleur et d'électricité.

Pour produire 350 KWhé d'électricité et 530 kWhq de chaleur :

- Une unité de cogénération au gaz, avec un rendement électrique de 35% et un rendement thermique de 53%, va consommer 1000 kWhp d'énergie primaire ;
- La meilleure centrale électrique (Turbine Gaz Vapeur), avec un rendement de 55%, va consommer 636 kWhp d'énergie primaire. La meilleure chaudière, avec un rendement annuel de 90%, va consommer 589kWhp d'énergie primaire. Le total pour les filières séparées s'élève à 1225kWhp d'énergie primaire.

1.5.2 Objectifs de la cogénération et technologies disponibles pour la production d'énergie à partir des déchets de bois

1.5.2.1 Objectifs de la cogénération

Selon Philippe Girard(1999), l'objectif de l'utilisateur d'une installation de cogénération peut être :

- **Economique** : l'excédent rendement de la cogénération et un rythme de fonctionnement approprié de l'installation (en fonction de coûts des énergies utilisées et concurrentes) peuvent procurer à cette installation un avantage financier sur tout procédé concurrent ;
- **Autarcique** : une installation de cogénération permet à un utilisateur d'être totalement ou partiellement indépendant du réseau pour ses besoins en électricité. Cette indépendance est particulièrement appréciée des industries pour lesquelles toute interruption de fourniture électrique qu'elle provienne du fait de pannes, délestage ou grèves, à des conséquences graves. La cogénération joue alors, entre autre, le rôle d'alimentation électrique de secours ;

1.5.2.2 Critères de sélection d'une installation de cogénération

Selon Philippe Girard(1999), les critères de sélection d'une installation de cogénération sont alors fonction de :

- ♣ la disponibilité en combustible, ses caractéristiques et éventuellement son coût ;
- ♣ la nature des besoins exprimés notamment par le ratio chaleur/électricité ;
- ♣ la qualité et la quantité d'énergie thermique demandée ;
- ♣ le coût de l'électricité ;
- ♣ les caractéristiques de la consommation électrique et les besoins en réserve.

1.5.2.3 Fonctionnement des installations de cogénération

Selon Philippe Girard(1999), les installations de cogénération fonctionnent selon trois grands modes en fonction de la taille et des applications du système. Les besoins vont en effet définir une classification :

- ♣ Installation de cogénération ayant la chaleur comme produit de base, la force motrice ou l'électricité comme sous-produit. Le pilotage se fait alors en fonction des besoins en chaleur. C'est le cas le plus fréquent dans des industries du bois et les agro-industries, les besoins électriques non satisfaits sont fournis par le réseau ou des groupes électrogènes ;
- ♣ Installation ayant la production électrique ou mécanique comme priorité, la chaleur devenant alors le sous-produit fatal à valoriser. Le dimensionnement de l'installation est établi en fonction des besoins électriques, l'excès de vapeur non utilisé peut être condensé s'il ne peut être vendu. A l'inverse, les besoins thermiques non satisfaits sont fournis par une installation annexe ;
- ♣ Installation fonctionnant avec des charges constantes à la fois au niveau thermique et électrique ou au maximum de capacité installée de l'unité.

1.5.2.4 Technologies de Cogénération à partir des déchets de bois

Selon Philippe Girard(1999) ; deux options sont envisageables pour la production d'énergie mécanique et l'entraînement d'un alternateur : turbine à vapeur et moteur à vapeur.

1.5.2.5 Turbine à vapeur

La conception des turbines est très variable d'un constructeur à l'autre. On peut cependant mentionner les caractères généraux suivants :

- ♣ Dans presque tous les cas, le flux de vapeur se fait axialement. Les turbines comportent, en général, plusieurs étages (roues) en série, ce qui permet de limiter les vitesses d'écoulement de la vapeur, et traiter les fortes détente avec un bon rendement thermodynamique ;
- ♣ Chaque étage est composé d'un aubage fixe dans lequel se fait la mise en vitesse de la vapeur et d'un aubage mobile où la vapeur, déviée, transmet son énergie cinétique à l'arbre de la turbine ;

Selon Philippe Girard, François Pinta Laurent Van de Steene(2003) la classification des turbines peut se faire en fonction des critères de pression/ température à l'admission, pression à l'échappement, puissance, rendement et prix. Les différents types de turbine sont les suivants :

- ♣ **les turbines à condensation** : La vapeur traverse la turbine et s'échappe dans un condenseur de vapeur généralement sous vide. Le refroidissement est obtenu soit par de l'eau d'un réseau bouclé ou ouvert, soit par de l'air ;
- ♣ **turbines à contre-pression** : La vapeur traverse la turbine et s'échappe dans un réseau de vapeur dont la pression est régulée par ailleurs.

1.5.3 Dimensionnement d'une installation de cogénération

Selon Philippe Girard(1999), sur le dimensionnement d'une installation à la scierie de Pokola

Les besoins thermiques des séchoirs ont été estimés à 5 800 kW th. Ils sont fournis à partir de vapeur 4 bars, 200°C soit ≈ 8 t de vapeur, ou d'un échangeur sur les moteurs à vapeur.

1.5.3.1 Eléments de dimensionnement d'une installation de cogénération avec turbines à vapeur

Selon Philippe Girard(1999) sur la CIB les éléments pour une installation de cogénération avec deux turbines à vapeur sont les suivantes :

Tableau 5 : Eléments de dimensionnement de l'installation CIB à partir de turbines à vapeur

Caractéristiques pour 1t	Unité	Turbine 1	Turbine 2
Admission			
• pression	Bars	30	4
• température	°C	350	200
• enthalpie	MJ	3117	2860
Echappement (détente isentropique)			
• Pression	Bars	4	0,1
• Enthalpie théorique	MJ	2675	2560
• Chute isentropique (ΔH)	MJ	442	300
• Rdt isentropique	%	62	50
• Enthalpie utile	MJ	274	150
• Enthalpie de la vapeur	MJ	2949	2710
• Température vapeur	°C	200	105
Chaleur séchoir			
• Enthalpie condensable	MJ	440	-
• Chaleur utilisable	MJ	2509	-
Alternateur			
• Rendement	%	92	92
• Energie électrique	MJ kWh	236 65	138 38
Consommation spécifique			
Chaudière	kg vap./kWh	15,4	26,3
• Enthalpie vapeur produite	MJ	3117	-
• Enthalpie des condensats	MJ	440	-
• Chaleur nécessaire	MJ	2677	-
• Rdt chaudière	%	80	-
• Energie combustible	MJ	3346	-
Performance installation			
• Puissance alternateur	KW	1400	500
• Débit vapeur	t/h	21	13
• Energie			

combustible	MJ/h	70266	-
• Chaleur utilisable	MJ/h	19350	1794
Q			
• Electricité produite	MJ/h	4956	-
W			
• Production totale	MJ/h	26110	-
W + Q _r			
• Rdt global	%	37,1	-
• Consommation spécifique	KgBois/KWh	3.2	-
• Rapport force chaleur	MJ/KWh	10.7	-

1.5.3.2 Principe et techniques de dimensionnement

Selon Philippe Girard(1999), deux solutions techniques 100% bois énergie sont envisageables :

- ♣ production des forces motrice par le biais d'une turbine à vapeur ;
- ♣ production des forces motrice par le biais d'un moteur à vapeur.

1.5.3.2.1 Installation avec turbine à vapeur

Il peut être judicieux, pour des niveaux de puissance supérieurs à1MW, d'envisager deux turbines :

- ♣ une turbine à vapeur à contre-pression dont la vapeur basse pression alimentera le séchoir à bois ;
- ♣ une seconde turbine basse pression à condensation, afin de récupérer la totalité de l'énergie contenue dans la vapeur qui n'a pas été utilisée dans les séchoirs.

La seconde unité de détente est particulièrement importante, dans la mesure où les besoins en vapeur des séchoirs sont relativement faibles par rapport aux besoins électriques de l'unité et où, ensuite, les besoins des séchoirs peuvent être amenés à varier.

En effet, dans la pratique, le pic de consommation des séchoirs intervient au démarrage de ces derniers. Plusieurs cellules de séchage en fonctionnement permettent, cependant, d'amortir ces pics. Ainsi, une première unité détend toute la vapeur produite par la chaudière jusqu'à une pression voisine de 4 bars. Une seconde unité va condenser la totalité de la vapeur non utilisée par le séchoir.

Cette option n'est pas beaucoup plus coûteuse qu'une autre option qui consisterait à utiliser, par exemple, une turbine à condensation et à soutirage beaucoup plus sophistiquée, ou à ne retenir qu'une seule turbine à condensation et utiliser une vanne de détente pour l'alimentation des séchoirs.

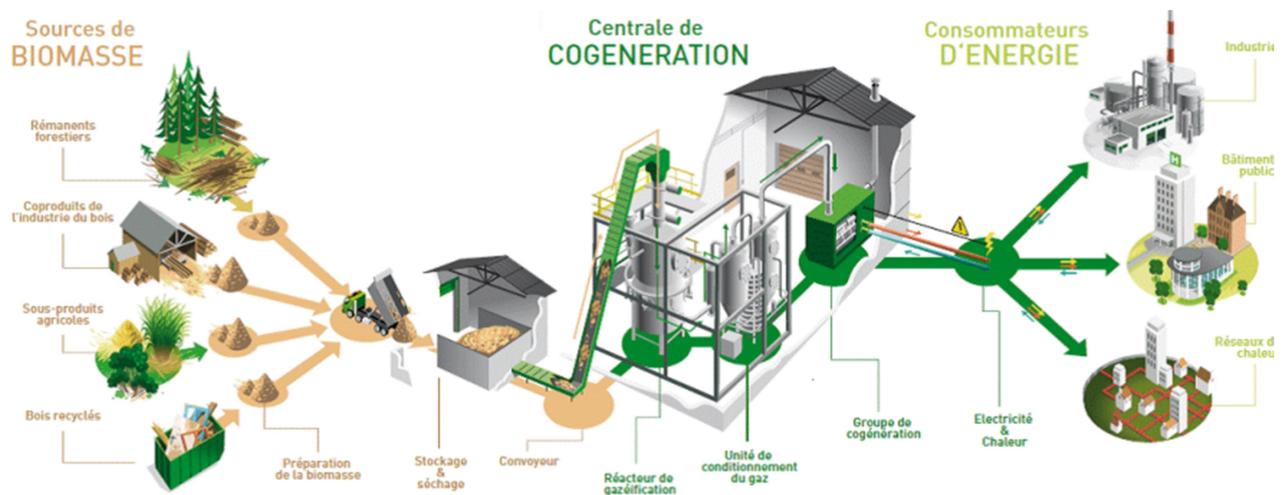


Figure 5 : Schéma de principe de l'installation de cogénération par synthèse de gaz avec turbine à gaz. (Guy Oswald DEMTARE et Marc Ghislain MBALA ETOA,2013)

1.5.3.2.2 Couplage moteur à vapeur/ moteur diesel

Selon Philippe Girard, François Pinta Laurent Van de Steene (2003) comme signalé plus haut, la grande majorité des installations industrielles de sciage ont une consommation électrique qui varie dans des proportions importantes, selon les appels de puissance de certaines machines à fonctionnement discontinu. La scie de tête, les dédoubleurs, les délignieuses sont caractéristiques de ce fonctionnement.

Au démarrage, les puissances appelées sont souvent voisines de la puissance nominale pour se retrouver en fonctionnement normal, avec un besoin de puissance de l'ordre de 50 à 60 % de la capacité installée. De même, chaque passage en coupe de ces outils se traduit par un pic de consommation.

Afin de réduire le niveau d'investissement, l'installation d'unités mixtes diesel/bois de génération d'électricité offre de gros avantages.

La centrale à bois est chargée satisfaire le maximum des besoins électriques sur le principe d'un fonctionnement en base, c'est-à-dire quasiment 8 000 heures par an, avec facteur de charge de plus de 80 %. Un groupe diesel est couplé à la centrale à bois pour un

fonctionnement en couplage/écrêtage. L'objectif est de fonctionner en parallèle de l'unité bois quand les besoins électriques dépassent la capacité installée des turbines et pour absorber les pointes et fluctuations d'ampérage. Ainsi, lorsque les besoins dépassent la capacité de la chaudière, le moteur se met en route automatiquement.

1.5.2 Aspect environnemental

La substitution du diesel par le bois pour la production d'électricité permet une économie de quelques 800 Tep/an (à raison de 1 Tep pour 1 200 I) sur la base de la consommation 1998 et permettrait une économie de 1 900 Tep/an à terme si l'ensemble des installations proposées est réalisé. Cette substitution a un impact important en terme environnemental à deux niveaux. Par la substitution à proprement parlé. Avec 85,9% en masse de carbone par kg de diesel, sa combustion dégage 3,15 kg de CO₂ à l'atmosphère. Ainsi, la substitution permet une économie d'émissions de C de 690 t de carbone par an dans l'hypothèse actuelle et quelques 1 700 t/an à terme si le projet devait se réaliser. En outre la combustion de diesel en moteur est à l'origine d'autres. Sur la base d'une rémunération de 100 FF la tonne de carbone évité (ordre de grandeur en cours de discussion au niveau international), la « rémunération » escomptable de la CIB pour ses efforts pourrait être de 17 MFCFA/an sans considérer la réduction des émissions dues au brûlage qui doit en toute logique faire partie de la responsabilité de la CIB solutions non prises en considération ici.

Chapitre 2 MATERIELS ET METHODES

2.1 Présentation de la zone d'étude

2.1.1 Présentation de la structure d'accueil

Le promoteur de la SIBM est nommé JP. MISSOKO camerounais originaire de région du Sud département du Dja et Lobo. La SIBM est une Société à Responsabilité Limitée (SARL) créée le 01septembre 1995 avec au départ une seule chaine de production. Face à la qualité des services qu'il offre à ces clients et à accroissement de la demande sur le marché une nouvelle chaine de production est implantée en 2008. Il faut tout fois note que la SIBM Sarl pour son exploitation légale dispose d'une UFA (09011) dans la concession forestière (1079) localisé da la région du sud département du Dja et Lobo dans l'arrondissement de Djoum et d'un vente de coupe (0901319) situe dans l'arrondissement de Sangmélisma. La SIBM dispose de deux équipes d'exploitation une à Djoum, l'autre à Sangmélisma pour l'approvisionnement en grume de la scierie. La SIBM dispose de deux chaines de production (A et B). La chaine de production « A » moins mécanise qui date depuis création la société (1995) et la chaine production « B » plus mécanisé.

2.1.2. Localisation géographique de la scierie de SIBM de Sangmélisma

La société industrielle de bois MJP et frères (SIBM) est installée dans le quartier Mépho, situé 03 km du centre-ville de Sangmélisma, dans la région du sud Cameroun département du Dja et Lobo et a 400km du port de douala par la route goudronnée. Ce quartier dans lequel se trouve la scierie est caractérisé par un relief quelques peu accidenté ; les petit cours d'eau irriguent ce village les plus important sont la Lobo et l'Afamba affluent de la Lobo dans bassin du Congo ,sa végétation résulte de la forêt dense équatorial ;quelques graminées et autres plantes peuples le sous-bois ,sa faune est riche et diversifiée .Mépho est une zone équatoriale, le climat est donc équatorial de type guinéen ,les température sont relativement peu élevés et régulières , une humidité forte et constante qui rend la chaleur lourde ,on enregistre une température moyenne annuelle de 25 degré Celsius et une humidité relative de l'air de 80% cela a été par la **Fig7**.

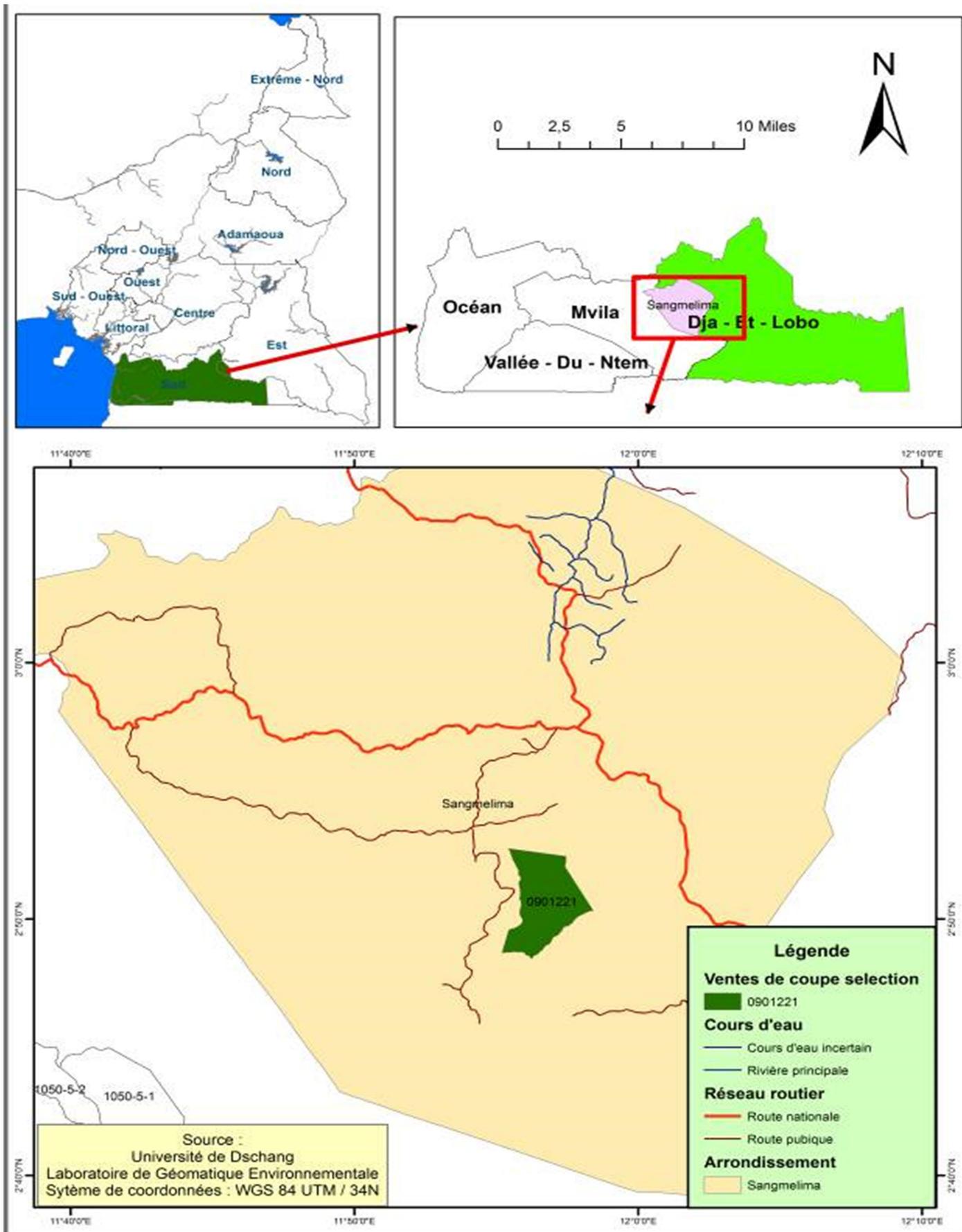


Figure 6 : Carte de localisation de la zone

2.1.3 Description du milieu Biophysique

2.1.3.1. Relief et Topographie

La Commune de Sangmélima est située dans le vaste plateau sud-camerounais, dont l'altitude est comprise entre 600 et 700 m. Elle présente dans l'ensemble un relief relativement accidenté, assimilable à des tôles largement ondulées en ce sens qu'il est constitué de pénéplaines, de vallées qui s'entremêlent ça et là à des collines. Par endroits, on observe des collines convexes avec des vallées étroites. L'altitude est comprise entre 600-700m (Valérie Michel. 1981). Les sols de la Commune de Sangmélima appartiennent à quatre ordres selon la classification USDA « SoilTaxonomy » : les oxisols, les ultisols, les inceptisols et les entisols (Kannet, 1989).

Cette faible diversité pédologique (du point de vue géologique) est due à la quasi homogénéité du matériel parental. Le sol a une texture moyenne en surface avec un taux appréciable de sable (Mbassi, 2005). Le pH est très acide de l'ordre 3,5. La CEC (capacité d'échange cationique) a une valeur moyenne de 2,25. L'azote est le meilleur indicateur de fertilité. Les sols forestiers en contiennent 0,2% (fox, 1980). Le taux moyen de matière organique est de 4%. Ces sols peuvent être considérés comme bien pourvus en matière organique (Beernaert et Bitondo, 1992). Le phosphore constitue le facteur limitant malgré une réserve importante de l'ordre de 10 µg/l de la solution du sol. Quant au potassium, sa teneur moyenne est de 1,05 cmole/kg de terre (Mc Alister *et al*, 1998). La teneur moyenne en aluminium échangeable est de 0,60 méq/100g de terre (Mbassi, 2005). Cependant et ceci après observations, nous avons relevés la présence d'une minorité des sols marécageux, argileux sablonneux, une infime partie de sols fertiles et des carrières de pierres. Les sols dans les zones marécageuses ou *hydromorphes*, ont une couleur noire caractéristique d'une grande richesse en humus. Cependant, ces sols sont peu exploités.

2.1.3.2 Le climat

Sur le plan climatique, Sangmélima appartient à la zone à pluviométrie bimodale et à climat subéquatorial de type guinéen classique (Suchel et al) dont :

- Une grande saison pluvieuse de mi-août à mi- novembre ;
- Une petite saison des pluies de mi-mars à mi-juin ;
- Une grande saison sèche de mi-novembre à mi- mars ;
- Une petite saison sèche de mi-juin à mi-août.

La variation des précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 241mm. La température moyenne au cours de l'année varie de 2,0 °C. Avec une température moyenne de 24,6 °C, le mois de Mars est le plus chaud de l'année. 22,6 °C font du mois de juillet le plus froid de l'année. La variation des précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 241mm. La température moyenne au cours de l'année varie de 2,0 °C.

Tableau 6: Moyenne de pluviométrie et des températures (Climat-data.org)

	Température moyenne (°C)	Température moyenne (°F)	Précipitations (mm)
Janvier	24.1	75.4	42
Février	24.5	76.1	58
Mars	24.6	76.3	154
Avril	24.4	75.9	192
Mai	24.1	75.4	208
Juin	23.4	74.1	159
Juillet	22.6	72.7	79
Août	22.6	72.7	88
Septembre	23.4	74.1	229
Octobre	23.5	74.3	280
Novembre	23.5	74.3	151
Décembre	23.7	74.7	39

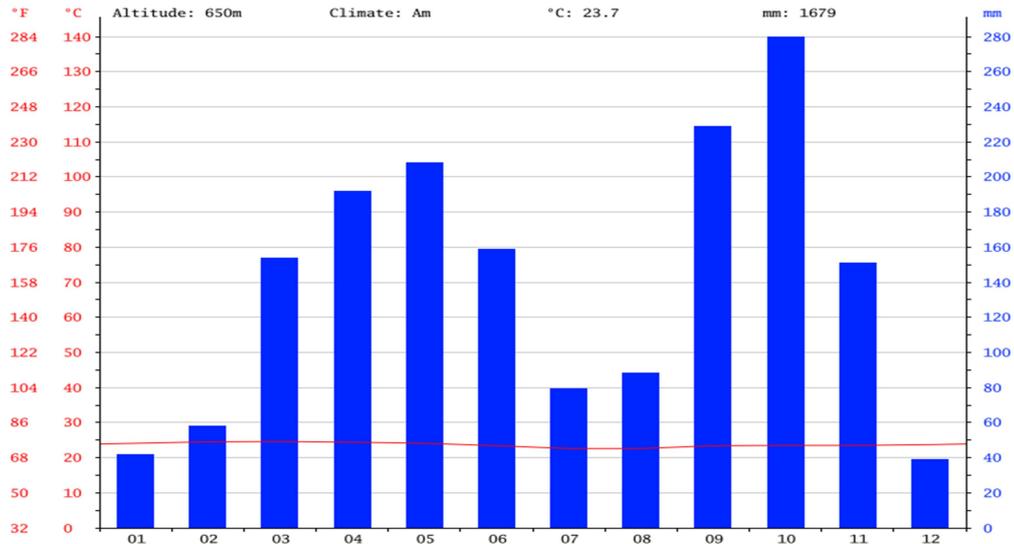


Figure 7 : Diagramme Ombrothermique de la commune de Sangmélina (Climat-data.org)

2.1.4 Description du milieu Biotique

2.1.4.1 Hydrographie

La Commune de Sangmélina est arrosée par l’*Afamba* qui en est le principal cours d’eau. Sur le plan hydrographique, la plupart des cours d’eau appartiennent au bassin du Congo. L’essentiel des rivières et ruisseaux de la Commune participent à l’approvisionnement du principal affluent du Congo qu’est le Dja.

On y retrouve également de multiples autres cours d’eau d’importance secondaire dont certains sont les affluents de la *Lobo* à savoir : *Mfoumou*, *Toto’o*, *Messozili*, *Missolo*, *Ndunglu*, *NfongoMombo*, *Oton-odou’ou Ko’o*, *Otongbezok*, *Minanga*, *Mitotomo*, *Otong-owoutou*, *Ottong-ngom*, *Ndabiba’a*, *Ndjombo*, *Oto’o*, *Nfobo*, *Fimba Ndamebeme*, *Ndi Teto’o*, *Ndamessambe*, *Obabe*, *Otomiane*, *Otтила*, *Bibita bi Binombo et Nda*, *Fom*, *Ngueng*, *Fotabo*, *Otontyeu*, *Evindi*, *Afamba Mimba*, *Nnanga*, *Mbanje*, *Awout et Ayina*.

Quant au bassin versant de la *So’o*, il est nettement moins étendu avec comme principaux affluents : *Toto’o*, *Monabolo*, *Otong-ndik* (PCD de Sangmelima, 2015).

2.1.4.2 Végétation

La végétation observable au sein de la Commune appartient à celle de la région Congo Guinéenne toujours verte caractérisée par sa richesse en essences rares et de valeur diverses. En réalité, il y’a des zones de faciès intacts et des zones de faciès en dégradation. A côté de cette forêt sempervirente congolaise, il existe aussi des forêts secondaires ou jachères du fait des activités agricoles, ainsi que des faciès de dégradation le long de la route à cause de l’occupation et des activités humaines (habitations, cultures de proximité et

réseaux de pistes). On y rencontre également des forêts marécageuses, quelques raphia, les marécageuses et des broussailles aux arrières des cases. En plusieurs endroits, cette forêt est occupée par des cultures vivrières et des cultures de rentes. Plus on s'éloigne des espaces bâtis le long des principaux axes routiers, moins la forêt est dégradée et l'on retrouve progressivement la forêt primaire relativement peu perturbée. Celle-ci regorge d'une diversité d'essences d'exploitation ainsi que de nombreux produits forestiers non ligneux. Elle est essentiellement consacrée aux activités de prédation (chasse, ramassage, cueillette, etc.) (PCD de Sangmélina, 2015).

3.1.4.3 La faune

En l'absence d'études spécifiques, la Commune de Sangmélina dispose de peu de données sur la faune sauvage. Cependant, sur la base de la littérature disponible, les densités faunistiques dans les zones dégradées et de forêt secondaire sont faibles en raison des activités humaines. Le tableau I suivant présente les espèces les plus rencontrées qui comprennent entre autres les rongeurs, les primates et des mammifères.

2.1.5 Description socio-économique

2.1.5.1 Démographie et Peuplement

Exception faite de la ville de Sangmélina qui abrite une population cosmopolite venant d'horizons divers, la population de la Commune appartient majoritairement à l'ethnie Bulu dont les principaux clans sont : Yembong, Yendjok, Yetok, Yendam, Yekombo, Esse, Yemfek, Yemveng, Yemvack, Mbidabane, Yemenvong et Essaman entre autres.

D'après les estimations faites sur la base des résultats du Recensement Général de l'Habitat et de la Population (RGHP) de 2005, la population de la Commune de Sangmélina est évaluée à environ 104 613 habitants en 2014. Avec une superficie d'environ 2931 km², la densité moyenne est donc de 36 habitants au Km²environ. Les études menées sur le terrain lors des différentes étapes d'actualisation du PCD font plutôt état d'une population de 144 918 habitants dans la Commune de Sangmélina ; soit une densité de 50 habitants par Km². Cette différence significative de 40305 habitants peut s'expliquer aisément s'expliquer par un taux de croissance de la population plus élevé dans la Commune, par rapport aux estimations du dernier recensement de 2005.

2.2 Collecte de données secondaires

Tableau 7 : représentation de la collecte des données

Eléments	objectifs	Echantillonnage	Procédures	matériels
Données secondaires	Consultation de la documentation de la SIBM, Factures d'électricité	Six jours (06)	Observation et interview	Bloc note
Données primaires	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rendement matière ✓ capacité de production annuelle des résidus de bois ✓ potentiel énergétique des rebuts ✓ Mécanisme de cogénération 	36 jours de collecte	Quatre heures (04) de collecte par poste de sciage et par essence, soit huit heure par jour(08)	<ul style="list-style-type: none"> -Mètre à ruban -pied à coulisse -Abaque sur dimensionnement d'une installation de cogénération
Analyse des données	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Microsoft word2010 ✓ Microsoft Excel 2010 ✓ QGIS 	Un Mois(01)	Au bureau	ordinateur

2.2 Traitement des données

Tableau 8 : traitement des données collecté

Objectifs spécifiques	Formules	signification
Evaluer le rendement matière de scierie par essence ;	$RM = \frac{\text{Volume débités (Vd)}}{\text{Volume consommé (Vc)}} * 100$	RM: rendement matière
Capacité annuelle de production de rebuts	$p = \frac{\text{volume de rebuts (V)}}{\text{temps de sciage (Tps)}}$ <p>Extrapolations faites à la durée de fonctionnement de la SIBM</p>	<p>P : productivité des rebuts de bois</p> <p>(m3/h) ou Kg/h sans tenir compte des arrêts.</p>
Potentiel énergétique global des rebuts	<p>-PCI = $\left\{ PCI \text{ anhydre} * \left(1 - \frac{HR\%}{100}\right) - \left\{2,5 * \frac{HR\%}{100}\right\}$</p> <p>-potentiel énergétique=PCI*Masse des résidus</p>	<p>HR% : humidité relative du bois 25%</p> <p>PCI (KWh/Kg)</p> <p>Potentiel énergétique (KWh/an)</p>
Proposer un mécanisme de valorisation énergétique des résidus qui permet d'améliorer le rendement matière: cogénération	<p>-Puissance électrique de l'installation (Pél)</p> $P_{él} = P_{prim} * \eta_{él}$ <p>-Energie électrique produite (EI)</p> $EI = \text{Rendement Electrique} * P_{prim}$ <p>-Energie thermique produite (Qth)</p> $Q_{th} = \text{Rendement thermique} * P_{prim}$	<p>ηél : rendement électrique estimé à 30%</p> <p>ηqv : rendement thermique estimé à 55%</p> <p>Pprim : puissance primaire associée fonctionnement journalière.</p>

N.B. Pour cette étude, la technologie utilisée étant la turbine à vapeur le rendement électrique de construction utilisé est de 30 % et le rendement thermique à 55 %, pour un rendement global de l'unité de 85 % et des pertes de 15 %.

2.3.5 Besoins en énergie de la SBM

Il représente la puissance d'électricité nécessaire pour alimenter la scierie. Les besoins en consommation électrique ont été déterminés à travers la consultation des factures d'électricité d'ENEO Cameroun entre juillet 2016 et Mars 2018. Le cout moyen d'une unité d'électricité consommé a été déterminé par le quotient du cout de consommation moyen sur la quantité d'énergie électrique consommée.

:

Chapitre 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Rendement matière par essence

3.1.1 Circuit de production

3.1.2.1 Scie de tête : William Gillet 160

Encore appelé scie grume, elle assure le débitage des billons. C'est la machine qui définit les épaisseurs définitives des débités par la production des plateaux et des dosses. Les dosses représentent le principal résidu. La machine, disposant d'une prédéligneuse incorporée, l'on assiste aussi à la production des délignures (cf. Annexe2).

3.1.2.2 Déligneuse

C'est une mono-lame, à scie circulaire de marque Rimanng. Elle permet la mise en largeur des pièces en fonction de spécificité du contrat. Les résidus produits à ce poste sont des délignures (cf. Annexe2).

3.1.2.3 Scie de reprise : Danchaert

Elle permet de dédoubler les pièces et de récupérer certaine pièce respectant les spécifications du contrat. Les résidus ici sont les délignures.

3.1.2.4 Ebouteuse

C'est une scie circulaire permettant la mise en longueur des pièces en fonction des spécifications du contrat (cf. Annexe2). Les résidus ici sont des rognures ou chutes d'éboutage.

3.1.1 Rendement matière par essence vente locale

Tableau 9: rendement matière pour vente locale

N°	Essences	Vc (m ³)	Vp (m ³)	RM(%)
1	Wamba	19,889	12,439	62,54
2	Bodioa	17,371	8,806	50,069
3	Amouk	6,676	4,336	64,94
4	EKOP	2,880	1,464	50,83
Total General		65,730	36,495	57,09

Le tableau8 nous présente le rendement matière du bois par essence destiné à la vente qui de 57,09%, qui est nettement acceptable. Le pourcentage des résidus étant de 42,91%.

3.2.2 Rendement matière par essence vente à l'export

Tableau 10 : rendement matière par essence pour vente export

N°	Essences	Vc (m ³)	Vp (m ³ °)	RM(%)
1	FRAKE	235,485	79,102	33,59
2	DIBETOU	35,236	20,081	56,99
3	BILINGA	22,992	11,366	49,43
4	MOABI	15,531	6,106	39,31
5	DOUSSIE	3,271	0,834	25,49
6	BOSSE	9,537	4,026	42,21
Total General		379,182	176,166	41,17

Le tableau9 montre le rendement matière de bois destinée à l'export est des 41,17%, ce qui fait un pourcentage de 58,83% de déchets du sciage du bois pour vente à l'export. Cette étude sera basée sur la valorisation énergétique ce ses déchets.

Tableau 11 : tableau récapitulatif du rendement matière

Destination	Vc (m ³)	Vp (m ³)	RM(%)
Local	65,730	36,495	57,09
Export	379,182	176,166	41,17
Total général	444,912	212,661	49,13

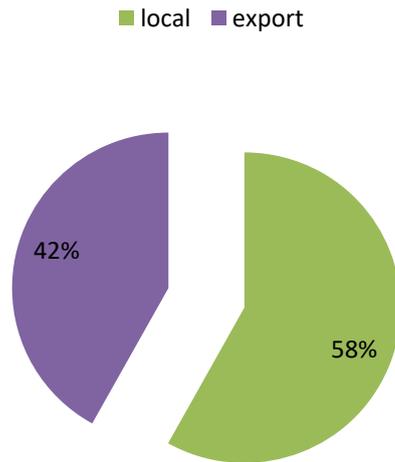


Figure 8 : Récapitulatif du rendement matière de SIBM Sarl

L'exploitation des résultats ci-dessus montre que le rendement matière de la scierie pour le bois destiné à la vente locale représente 58% du rendement total de la scierie cela se justifie du fait que la vente du bois local ne tient pas compte des défauts et de la présence de l'aubier et celui de la vente à l'export représente de 42% du rendement total de scierie. On constate que le rendement à l'export qui nous intéresse ici est de 41,17% est d'un niveau moyen compte tenu du faible rendement matière de celui évalué par NKATE P., (2014) à la SFID de Djoum qui était de l'ordre de 14,95%. Ce qui justifie notre intérêt à valoriser énergétiquement 32,83% des déchets sur les 58,83 car les sciures et dosses ne sont pas comptés dans cette étude.

3.1.2 Capacité de production de rebuts par essence

Le tableau suivant présente la capacité de production des rebuts par essence et par heure de quatre(04) essences sciées durant la période de collecte de données.

Tableau 12: Capacité de production des déchets par essences par heure

Essences	Volume déchets (m3)	Temps sciage (h)	P (m3/h)
Fraké	25,55	146	0,174
Tali	19,948	88	0,218
Bossé	7,607	31	0,219
Moabi	4,152	24,5	0,169
Total Général	57,257	289,5	0,198

L'exploitation du tableau ci-dessus montre que cette scierie produit en moyenne 0,198 m3 de rebuts par heure soit par extrapolation 555,984 m3 par an. Capacité de production inférieure à celle de Philippe Girard (1999) estimée à 8,175m3 par heure. Situation qui s'expliquerait par le fait que, dans le cadre de cette étude, seuls les délignures, les rognures et les copeaux ont été estimés.

3.2 Capacité de production annuelle des rebuts de bois

3.1.3. Caractérisation des rebuts

Le tableau suivant présente la caractérisation des rebuts en fonction des essences et de leur granulométrie.

Tableau 13: Estimation de la granulométrie des résidus par essence

Essence	Typologie des résidus quantifiés et granulométries		
	Délignures	Chutes d'éboutage	Copeaux
Bossé	Longueur $\geq 2,30\text{m}$ Epaisseur $\geq 25\text{mm}$	Longueur $\leq 0,30$ Epaisseur $\geq 25\text{mm}$	-
Fraké	Longueur $\geq 2,30\text{m}$ Epaisseur $\leq 24\text{mm}$	Longueur $\geq 5\text{cm}$ Epaisseur $= 24\text{mm}$	-
Moabi	Longueur $\geq 2,30\text{m}$ Epaisseur $\geq 25\text{mm}$	Longueur $\leq 0,30$ Epaisseur $\geq 25\text{mm}$	Longueur $\leq 2\text{mm}$ Epaisseur $\leq 0,1\text{mm}$
Tali	Longueur $\geq 2,20\text{m}$ Epaisseur $\geq 25\text{mm}$	Longueur $\geq 5\text{cm}$ Epaisseur $\geq 25\text{mm}$	Longueur $\leq 2\text{mm}$ Epaisseur $\leq 0,1\text{mm}$

Le tableau 13 ci-dessus montre que les déchets de type délignures ont une granulométrie très grossière pour toutes les essences soit une longueur moyenne variant entre 2,25m et 0,002 m; et des épaisseurs comprises entre 0,1mm et 63mm. Les rognures sont moins grossières soit en moyenne de 0,30cm et les copeaux ont une dimension plus fine.

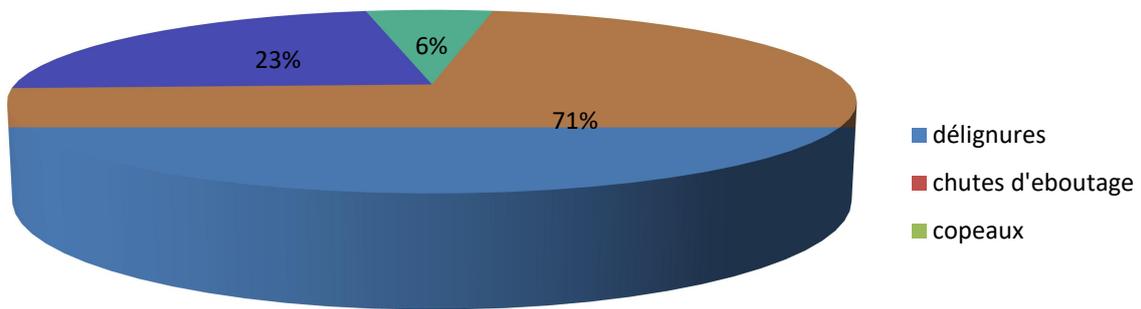


Figure 9 : Variation de la quantité de résidus de bois par type

L'exploitation de l'illustration ci-dessus montre que parmi les types de résidus produits par la scierie les délignures sont les plus abondant soient 71% de la production total. Ceci s'expliquerait par le fait qu'ils sont produits au niveau de deux postes de travail (scie de tête et déligneuse mono lame) contrairement aux rognures et copeaux qui sont produits dans un seul poste respectivement à l'éboueuse et à la raboteuse.

3.3 Potentiel énergétique global de rebuts de bois

Le tableau 10 présente la puissance d'énergie primaire produite par les rebuts de bois à 25% d'humidité par an.

Tableau 14 : potentiel énergétique des rebuts par an.

Essences	P (m3/h)	p (kg/an)	PCI (KWh/kg/an)	Potentiel Energétique (kWh/an)
Fraké	0,17389591	223001,601	3,23	720295,172
Tali	0,21765405	550055,318	3,23	1776678,68
Bossé	0,21938095	462016,286	3,23	1492312,6
Moabi	0,16876225	402801,75	3,23	1301049,65
Total Général	0,19777893	409468,739	3,23	1322584,03

L'exploitation des résultats ci-dessus montre que les rebuts produiraient en moyenne 1322584,03 KWh par an. Où le TALI enregistre le plus grand potentiel et FRAKE le plus faible. Ceci se justifierait par le fait que le TALI est plus dense que le FRAKE. Les rebuts des

essences de forte masse volumique seraient donc les plus recommandées dans le processus de production d'énergie.

3.4 Dimensionnement d'une installation de valorisation énergétique d'un des rebuts : cogénération

3.4.1 Puissance électrique de l'installation

Proportionnellement au potentiel énergétique annuel régénéré par les rebuts, puissance primaire associée à l'énergie journalière est estimé à 4000KWhé. Parallèlement, la puissance électrique de l'installation est estimée à 1200KWhé.

3.4.2 Énergie électrique et énergie thermique

Le tableau 11 présente l'énergie électrique et thermique régénérées par les rebuts de bois à la SIBM par an.

Tableau 15 : Energie électrique et énergie thermique

Essences	Potentiel Énergétique (kWh/an)	Energie électrique (KWhé/an)	Energie thermique (KWhq/an)
Fraké	720295,172	216088,552	396162,34
Tali	1776678,68	533003,603	977173,27
Bossé	1492312,6	447693,781	820771,93
Moabi	1301049,65	390314,896	715577,30
Total Général	1322584,03	396775,208	727421,21

Le tableau 11 montre que les rebuts régénéreraient en moyenne 396775,208 KWhé et 727421,21KWhq par an où le TALI et le FRAKE accusent respectivement la plus grande et plus faible énergie électrique proportionnellement à leur potentiel énergétique. Toute fois l'énergie thermique pourrait éventuellement alimenter le séchoir lors de son installation à la SIBM.

3.5 Contribution de la valorisation énergétique des rebuts amélioration du Rendement matière et autonomie énergétique de l'entreprise : Besoin énergétique de la SIBM Sarl.

Le tableau12 suivant présente les couts de consommation mensuelle moyenne en énergie électrique de la scierie en fonction du cout d'un KWhé.

Tableau 16 : Consommation en électricité de SIBM Sarl

N°	Consommation électrique SIBM (KWhé)	Cout de consommation (FCFA)	Cout par unité (KWhé)
1	21989	2183923	99
2	16867	2140088	127
3	20275	2449526	121
4	21387	2544441	119
5	23876	2819300	1181
6	21451	2572795	120
7	22262	2251822	101
8	22055	2237404	101
9	11693	1311790	112
10	11693	1311790	112
11	11856	1291054	109
12	15405	2021902	131
13	13813	1822849	132
14	8543	1177946	138
15	13035	1556636	119
16	12869	1543208	120
17	13500	1596525	118
18	12654	1347931	107
19	8625	1184415	137
20	13079	1522221	116
TOTAL	15846	3113063	171

L'exploitation des résultats ci-dessus montre que la SIBM consomme en moyenne 15846,35 KWhé par mois correspondant à 3113063FCFA pour un coût unitaire moyen au KWhé de 171 FCFA. Ce qui correspond, par extrapolation à 190 156,2 KWhé/an pour 37 356 756 FCFA par an. Consommation annuelle largement inférieure à celle de la puissance d'électricité produite par l'unité de cogénération estimée à 396775,208 KWhé an pour un incident monétaire estimé 67 848 560 FCFA par an, représentant ainsi l'indice d'amélioration du rendement et la capacité de la scierie à être autonome énergétiquement. La figure suivante présente le taux d'amélioration du rendement matière induit par la valorisation énergétique des rebuts.

Amélioration du rendement matière

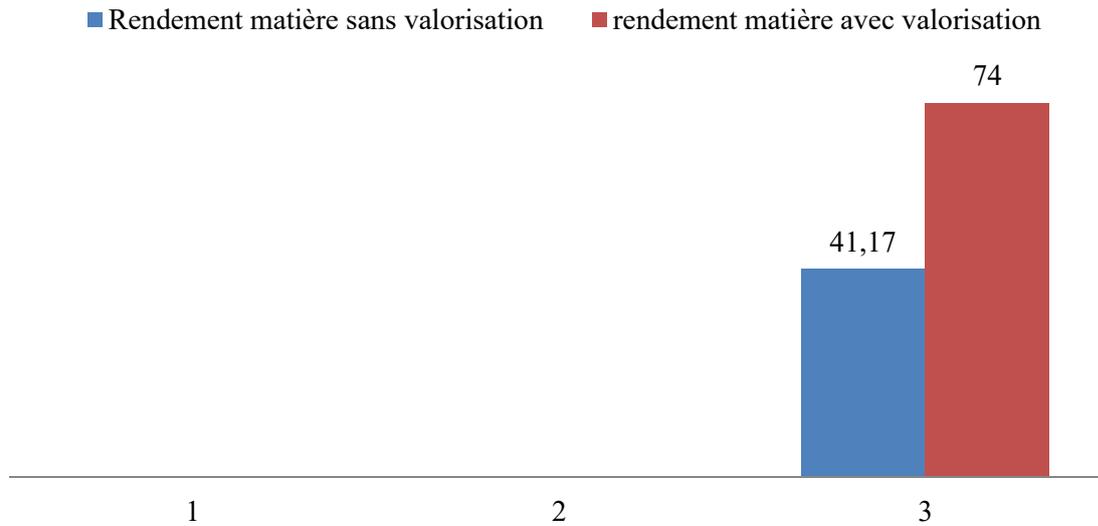


Figure 10 : Amélioration du rendement matière par valorisation énergétique des rebuts

La figure13 montre que la valorisation énergétique des rebuts augmenterait le rendement matière jusqu'à 74% soit une amélioration de 32,83 %. Ceci s'expliquerait par le fait que dans la présente étude les sciures et dosses ont été exclues. La SIBM Sarl gagnerait donc à valoriser les résidus de bois à des fins énergétique non seulement pour l'amélioration du rendement matière mais aussi pour son autonomie énergétique.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

1. Conclusion

Cette étude portait sur la contribution à l'amélioration du rendement matière par la valorisation énergétique des résidus de bois d'une scierie tropicale à l'usine de la SIBM. L'objectif assigné en amont a été atteint via l'évaluation le rendement matière de l'usine « A », de la capacité de production annuelle des rebuts que peut produire cette usine; l'estimation de l'énergie primaire régentée par les rebus ; le dimensionnement de l'unité cogénération par rapport à l'énergie primaire induite en passant par l'estimation de puissance de l'installation, l'énergie électrique et l'énergie thermique ; et l'évaluation de la consommation en énergie électrique de la SIBM entre Juillet 2018 et Mars 2020. Les résultats obtenus ont montré que :

- Sur l'ensemble des rebuts produit dans cette usine, seul les copeaux, les délignures et les rognures ont été évalués. Où les Copeaux ont une granulométrie fine, les délignures plus grossières et les rognures moins grossières. Sachant que les rebus seraient séché à l'air, le taux d'humidité des rebus a été défini à 25%.
- un rendement matière à l'export de 41,17%, soit 53% des résidus pour 32,83% à valoriser sur les essences ; Bilinga, Bossé, Dibetou, Doussie, Fraké et Moabi ;
- La SIBM produit en moyenne, pour les essences de FRAKE, Bossé, Tali et Moabi, 0,198 m³ de rebus par heure soit par extrapolation estimé à 555,984m³ par an.
- La combustion des rebuts régénéraient en moyenne un potentiel énergétique d'environ 1322584,03KWh par an ;
- La puissance de l'installation du système de cogénération est estimée à 1,2MWhé et produit en moyenne 396775,20KWhé d'électricité par an et 727421,21KWhq chaleur par an. L'énergie électrique favoriserait son autonomie d'énergie alors que la chaleur pourrait alimenter éventuellement l'unité de séchage lors de son installation.
- La puissance d'électricité produite par l'unité de cogénération estimée à 396775,208 KWhé an soit un incident monétaire estimé 67 848 560 FCFA par an représentant son autonomie énergétique pour une amélioration de 74% du rendement.

La SIBM et les autres scieries en activité au Cameroun devraient étudier la faisabilité de cette initiative pour l'autonomie en énergie électrique et l'amélioration de leur rendement matière afin d'accompagner l'action de l'état dans le processus de l'autonomisation en

énergie et la transformation poussée du bois. Car la puissance d'une nation se mesure par sa capacité à satisfaire ses besoins en énergie.

2. Recommandations

Compte tenu les résultats obtenus par cette étude des recommandations s'orientent sur :

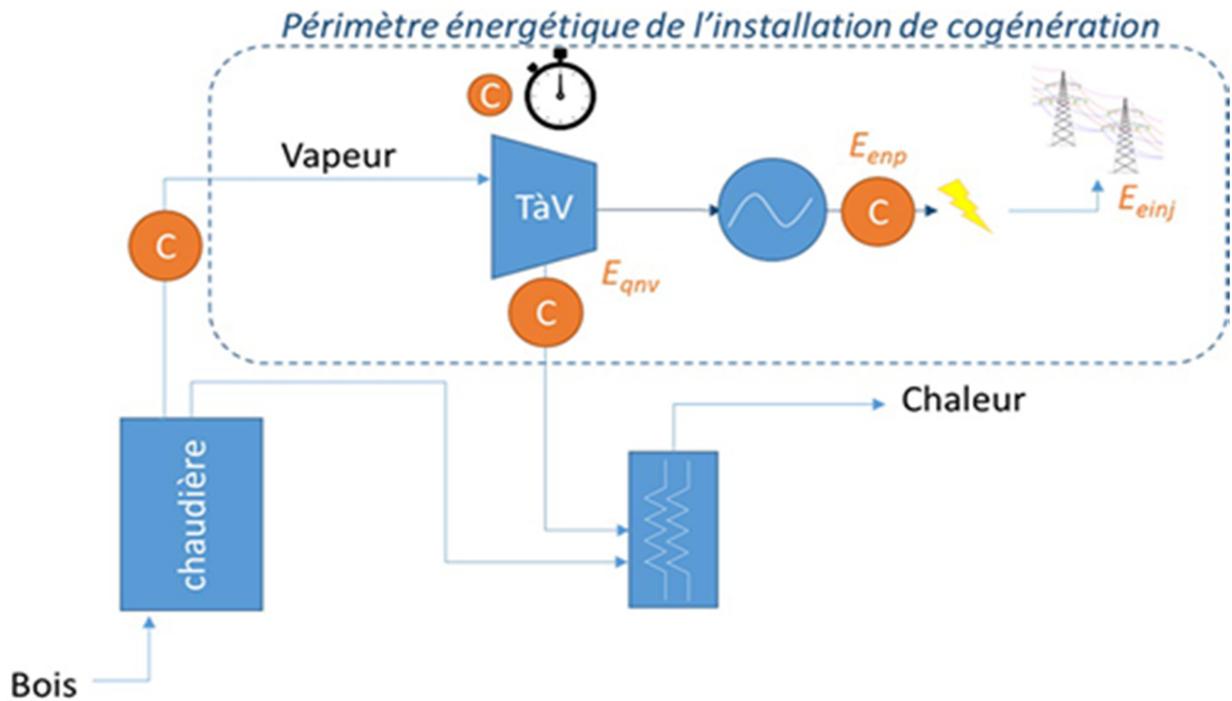
- La SIBM doit mettre en place un système de valorisation énergétique de ses résidus de bois par le procédé de cogénération, pour une autonomie énergétique et le séchage des débités (Fraké et Ayous).
- Mettre sur pied un secteur de valorisation énergétique des déchets de bois ;
- Recruter des experts dans son système de sciage pour l'ordonnancement des activités de sciage ;
- Eviter de perte d'énergie pour le sciage des débités stocké et non commercialisé ;
- Subventionner les frais d'accompagnement aux stagiaires pour avoir des donnée exacte après des analyses au laboratoire ;
- Prendre connaissance des rapports stage déposé auprès de l'administration.

BILBIOGRAPHIE

- ❖ **ADEME**, (2011). Etude sur l'analyse économique des installations de cogénération biomasse en Europe.24p.
 - ❖ **AFD**, (2008). valorisation des déchets de bois de scieries par des centrales de cogénération dans les entreprises forestières d'Afrique centrale ,2p
 - ❖ **CRAAQ**, (2008). La production d'éthanol à partir de matière lignocellulosique, 22p.
 - ❖ **CIRAD**, (2011). tropix7. 4p.
 - ❖ **DAVOC**, (2008). la problématique de l'énergie au Cameroun, 11p.
 - ❖ **GTZ**, (2008). Note technique sur le bois-énergie au Cameroun, 14p.
 - ❖ **LPR SAULXURES**, (2010). scierie de transformation de bois. 137p
 - ❖ **Michel Grégoire**, (2003). Guide de Préfaisabilité pour les acteurs du Secteur tertiaire, pme, pmi, 36p
 - ❖ **Marie-Maud GERARD, ITEBE**, (2004). Produire de l'électricité à partir du bois sans en gaspiller une miette, 6p.
 - ❖ **Irénée Kamdem, al**, (2010). Production potentielle de bioéthanol, de bio méthane et de pellets à partir des déchets de biomasse lignocellulosique du bananier (*Musa spp.*) au Cameroun, 13p.
 - ❖ **Karsenty A. et al.**,(2006). Audit économique et financier du secteur forestier au Cameroun, Rapport final, Ministère de l'économie et des finances, Yaoundé, République du Cameroun. 222p ;
 - ❖ **ONUFI**,(2011). Diagnostic de la chaîne de valeur industrielle : un outil intégré, 137p.
 - ❖ **Guy Oswald DEMENTARE et Marc Ghislain MBALA ETOA**, (2013). principe de l'installation de cogénération par synthèse de gaz avec turbine à gaz
 - ❖ **Philippe Girard**, (1999). analyse de préfaisabilité pour la Cogénération D'énergie à partir des Déchets de scieries De la CIB, 114p.
 - ❖ **Pierre Martin**, (2015), Bois-énergie : Les Combustibles Bois, 20p
 - ❖ **Record**, (2010). Rapport final, 137p
 - ❖ WWW.Wood.forum.net. Masse volumique des essences de bois à 60% d'humidité.
 - ❖ <https://www.enviroveille.com/public/documents/nomenclaturedechets.pdf>
- Jun 2018 à 15h40
- ❖ **IEPF**, (2003). cogénération-trigénération : fiche technique prisme N°4, 8p.

ANNEXES

ANNEXE1 : Schéma du système de cogénération



ANNEXE2 : Fiche de collecte de données journalière : quantification des résidus scierie

Début de sciage : 08h00'		Poste de sciage IV : Ebouteuse					Arrêt 12h00'		
Essence	Entrée de pièces à poste (dimensions)			Sortie des pièces (dimensions)			Volumes		
Fraké	Long(m)	Ep (mm)	larg (cm)	Long	Ep	larg	Ve (m ³)	Vs (m ³)	Vd (m ³)
	5,5	24	34	4,5	24	34	0,044	0,036	0,008
	5,5	24	26	2,20	24	26	0,034	0,013	0,018
	5,5	24	35	4,5	24	35	0,046	0,037	0,009
	5,5	24	15	4,5	24	15	0,019	0,016	0,003
	3,5	24	42	2,2	24	42	0,035	0,022	0,013
	3,5	24	18	3	24	18	0,015	0,012	0,003
	3,5	24	35	3	24	35	0,029	0,025	0,004
	3,5	24	38	3	24	38	0,031	0,027	0,004
	3,5	24	16	3	24	16	0,013	0,011	0,002
	3,5	24	33	2,2	24	33	0,027	0,017	0,010
	3,5	24	17	2,2	24	17	0,014	0,008	0,006
	3,5	24	55	2,2	24	55	0,046	0,029	0,017
	3,5	24	37	2,2	24	37	0,031	0,019	0,012
	3,5	24	45	3	24	45	0,037	0,032	0,005
	3,5	24	15	3	24	15	0,012	0,010	0,002
	3,5	24	25	3	24	25	0,021	0,018	0,003
	TOTAL						1,710	0,700	1,000

Début de sciage : 08h00'		Poste de sciage IV : Ebouteuse					Arrêt 12h00'		
Essence	Entrée de pièces à poste (dimensions)			Sortie des pièces (dimensions)			Volumes		
Bossé	Long(m)	Ep (mm)	larg (cm)	Long	Ep	larg	Ve (m ³)	Vs (m ³)	Vd (m ³)
	3,6	63	821	3,5	63	8,21	1,862	1,810	0,051
	3,6	63	225	2,20	63	2,25	0,510	0,425	0,085
	3,6	63	159	4,5	63	1,59	0,360	0,250	0,110
	3,6	63	16	4,5	63	0,16	0,036	0,021	0,015
	3,6	63	11	2,2	63	0,11	0,024	0,010	0,014
	TOTAL						2,794	2,518	0,277



Scie de tête William Gillet 180D



Rebuts de Bois



Déligneuse Mono-Lame

Début de sciage : 13hh00'		Poste de sciage II : déligneuse mono-lame					Arrêt 16h30'		
Essence	Entrée de pièces à poste (dimensions)			Sortie des pièces (dimensions)			Volumes		
Bossé	Long(m)	Ep (mm)	larg (cm)	Long	Ep	larg	Ve (m ³)	Vs (m ³)	Vd (m ³)
	2,3	25	1964	2,3	25	1306	1,129	0,750	0,378
	2,3	63	391	2,3	63	268	0,566	0,388	0,178
	2,3	5	127	2,3	5	82	0,146	0,094	0,051
	TOTAL						1,842	1,234	0,608

Début de sciage : 14hh00'		Poste de sciage III : Scie de reprise					Arrêt 16h30'		
Essence	Entrée de pièces à poste (dimensions)			Sortie des pièces (dimensions)			Volumes		
Moabi	Long(m)	Ep (mm)	larg (cm)	Long	Ep	larg	Ve (m ³)	Vs (m ³)	Vd (m ³)
	3,7	9	23	25,9	25	1306	0,07659	0,055	0,021
	3,6	1000	16	74	25	268	0,576	0,033	0,542
	14,4	7	8	10,8	7	82	0,08064	0,052	0,027
	TOTAL						0,809	0,196	0,614

Début de sciage : 14hh00'		Poste de sciage V : raboteuse					Arrêt 16h30'		
Essence	Entrée de pièces à poste (dimensions)			Sortie des pièces (dimensions)			Volumes		
Moabi	Long(m)	Ep (mm)	larg (cm)	Long	Ep	larg	Ve (m ³)	Vs (m ³)	Vd (m ³)
86 pcs	1,5	47	6,7	1,5	39	5,8	0,406	0,291	0,114
	TOTAL						0,406	0,291	0,114

Début de sciage : 08h00'	Poste de sciage III : Scie de reprise	Arrêt 12h00'
--------------------------	--	--------------

Essence	Entré de pièces à poste (dimensions)			Sortie des pièces (dimensions)			Volumes		
	Long(m)	Ep (mm)	larg (cm)	Long	Ep	larg	Ve (m ³)	Vs (m ³)	Vd (m ³)
20pcs	4,35	38	33				1,090	0,847	0,981
	4,35	25	116				0,126	0,109	0,017
26pcs	4,1	38	33				1,336	0,936	0,399
	4,1	25	69				0,070	0,066	0,004
15	3,6	38	33				0,677	0,463	0,213
	3,6	25	12				0,108	0,050	0,057
	TOTAL						3,409	2,472	1,674

Début de sciage : 14hh00'	Poste de sciage V : raboteuse	Arrêt 16h30'
---------------------------	--------------------------------------	--------------

Essence	Entré de pièces à poste (dimensions)			Sortie des pièces (dimensions)			Volumes		
	Long(m)	Ep (mm)	larg (cm)	Long	Ep	larg	Ve (m ³)	Vs (m ³)	Vd (m ³)
162pcs	1,5	47	6,7	1,5	39	5,8	0,765	0,549	0,216
	TOTAL						0,765	0,549	0,216

Début de sciage : 08h00'		Poste de sciage IV : Ebouteuse					Arrêt 12h00'		
Essence	Entrée de pièces à poste (dimensions)			Sortie des pièces (dimensions)			Volumes		
Tali	Long(m)	Ep (mm)	larg (cm)	Long	Ep	larg	Ve (m ³)	Vs (m ³)	Vd (m ³)
6	4,35	38	33	3	38	33	0,327	0,225	0,101
3	4,35	38	33	2	38	33	0,163	0,075	0,088
	4,35	25	63	3	38	33	0,068	0,037	0,030
12	4,35	38	33	4,2	38	33	0,654	0,632	0,022
15	4,1	38	33	4	38	33	0,771	0,752	0,018
2	4,1	38	33	3,5	38	33	0,102	0,087	0,015
	4,1	25	72	3	25	72	0,073	0,054	0,019
3	3,6	38	33	3	38	33	0,135	0,112	0,022
7	3,6	38	33	3,5	38	33	0,316	0,307	0,008
	3,6	25	115	2,5	25	115	0,103	0,071	0,031
5	3,15	38	33	1,5	38	33	0,197	0,094	0,103
	TOTAL						3,242	2,677	0,565