

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix - Travail - Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

ECOLE NORMALE SUPERIEUR

D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

D'EBOLOWA

DEPARTEMENT DE D'INGENIERIE

DU BOIS



REPUBLIC OF CAMEROUN

Peace - Work - Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TECHNICAL TEACHER

TREAINING COLLEGE OF

EBOLOWA

DEPARTMENT OF OF WOOD

ENGINEERING

**Filière
INDUSTRIE DU BOIS**

ÉVALUATION DES PERTES CAUSÉES PAR LES DÉFAUTS DE BOIS SUR LE RENDEMENT MATIÈRE AU SCIAGE

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 : **NDOUCK Zachée Alphonse**

Sous la direction de

Pr. NJANKOUO Jacques Michel

Maitre de Conférences à l'Université de Yaoundé I

Année Académique : 2019 - 2020



REPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix-Travail-Patrie

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE
D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

DÉPARTEMENT D'INGENIERIE
DU BOIS

B.P : 886 ÉBOLOWA



REPUBLIC OF CAMEROON
Peace – Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TECHNICAL
TEACHER'S TRAINING
COLLEGE

DEPARTMENT OF WOOD
ENGINEERING

P.O BOX: 886 EBOLOWA

ÉVALUATION DES PERTES CAUSÉES PAR LES DÉFAUTS DE BOIS SUR LE RENDEMENT MATIÈRE AU SCIAGE

Mémoire présenté en vue de l'obtention du DIPET II

OPTION : INDUSTRIE DU BOIS

Par :

NDOUCK Zachée Alphonse

Matricule: 18W404

Sous la Supervision de :

Encadreur professionnel

M. DJIEUMO ABOSSOLO Duclot

Chef de production à l'Ets
ARAFAT.COM

Superviseur académique

Pr. NJANKOUO Jacques Michel

Maitre de Conférences à l'Université de
Yaoundé I

Année académique
2019-2020

FICHE DE CERTIFICATION D'ORIGINALITÉ DU TRAVAIL

Je soussigné, **NDOUCK Zachée Alphonse**, matricule **18W404**, atteste que le présent mémoire de fin de formation à l'École Normale Supérieure d'Enseignement Technique (ENSET) de l'université de Yaoundé I à Ébolowa est le fruit de mes propres travaux effectués au sein de l'Ets ARAFAT.COM sur le thème « ÉVALUATION DES PERTES CAUSÉES PAR LES DÉFAUTS DE BOIS SUR LE RENDEMENT MATIÈRE AU SCIAGE ».

Ce travail a été effectué sous la supervision académique du **Pr. NJANKOUO Jacques Michel**, Maître de Conférences à l'université de Yaoundé I et sous l'encadrement professionnel de **M. DJIEUMO ABOSSOLO Duclot**.

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

Signature et nom de l'auteur

NDOUCK Zachée Alphonse

Date : / / 2020

Visa du superviseur académique

Visa du chef de département

Pr. NJANKOUO Jacques Michel

Pr. NJANKOUO Jacques Michel

Date: / / 2020

Date : / / 2020

DÉDICACE

À mes très chers parents M. NDOUCK Zachée et Mme. PINTCHE Sophie épouse NDOUCK. Ainsi qu'à mes frères et sœurs.

REMERCIEMENTS

Les remerciements s'adressent à toutes les personnes qui ont apporté une assistance nécessaire à cette formation, celles qui de près ou de loin ont contribué au bon déroulement de ce travail ; notamment :

- Pr. Salomé NDJAKOMO ESSIANE Directeur de l'ENSET d'Ébolowa, pour tout son soutien moral et les multiples réunions éducatives qu'elle organise au sein du campus ;
- Pr. NJANKOUO Jacques Michel chef de département d'Ingénierie du Bois de l'ENSET d'Ébolowa, pour son encadrement et ses conseils durant cette formation ;
- Au Directeur Général de l'Ets ARAFAT.COM, pour avoir permis d'effectuer un stage au sein de son entreprise ;
- Au directeur de mémoire Pr. NJANKOUO Jacques Michel, pour avoir accepté de superviser ce mémoire en dépit de ses multiples occupations ;
- L'encadreur professionnel M. DJIEUMO ABOSSOLO Duclot, avec qui des échanges ont été effectués pendant la rédaction de ce mémoire ;
- Aux membres du Jury, pour leur disponibilité et leur attention accordée pour la soutenance de ce mémoire ;
- Toute l'administration de l'ENSET pour leur encadrement ;
- Ing. MAKWASSA Zachée, pour tout le soutien financier, moral et toutes les idées, conseils ;
- WANKO SIMO Letycia, pour son amour et son soutien moral ;
- Dr. KASSI Ludovic, pour ses conseils ;
- Des amis, en particulier TOKO SIABE Joel, NGASSU Amelle, ANGUE Francine, NDJOUA Hilaire, MENTANG Jorge, KEPGAN Clovis, NDZALA Sydrick, NGUEPI Cédric, YONGA Cédric, YAKANA Jacques, pour leur soutien ;
- Toute la promotionnaires (2018) de l'Industrie du Bois, Pour leur soutien ;
- Tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES ABRÉVIATIONS	ix
RÉSUMÉ.....	x
ABSTRACT	xi
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I.1. Contexte et justification de l'étude.....	1
I.2. Problématique de l'étude.....	2
I.3. Objectifs de l'étude.	3
I.3.1. Objectif général.	3
I.3.2. Objectifs spécifiques.....	3
I.4. Hypothèses de l'étude.	3
I.4.1. Hypothèse principale.	3
I.4.2. Hypothèses spécifiques.	3
I.5. Intérêts de l'étude.	3
I.5.1. Intérêt scientifique.	3
I.5.2. Intérêt professionnel.	4
I.5.3. Intérêt pédagogique.	4
I.6. Organisation du document.	4
CHAPITRE 2 : REVUE DE LA LITTÉRATURE	5
II.1. Définition des concepts.....	5
II.1.1. Concepts liés à la nature de la grume.....	5
II.1.2. Concepts liés à la transformation du bois.	6
II.2. Transformation du bois au Cameroun.	7
II.2.1. Quelques généralités.	7
II.2.2. Notion de valorisation des rebuts issus du sciage du bois.....	9
II.2.2.1. Identification des rebuts issus du sciage du bois.	9
II.2.2.1.1. Copeaux et sciures.	9
II.2.2.1.2. Bois de rebuts.	10
II.2.2.2. Valorisation des rebuts causés par les défauts du bois.	10

II.2.2.2.1. Valorisation non énergétique des rebuts causés par les défauts du bois.	10
II.2.2.2.2. Valorisation énergétique des rebuts causés par les défauts du bois : la carbonisation.	11
II.2.2.2.3. Intérêt de la valorisation des déchets du bois.	12
II.3. Défauts de bois.	13
II.3.1. Défauts de structure.	13
II.3.1.1. Présence d'aubier.	13
II.3.1.2. Nœuds et bosses.	13
II.3.2. Défauts provenant d'anomalies dans la formation du bois.	14
II.3.2.1. Excentricité du cœur.	14
II.3.2.2. Entre-écorce et cœur double.	14
II.3.3. Défauts dus à la disposition des éléments du bois.	15
II.3.3.1. Contre fil.	15
II.3.3.2. Fibre torse.	15
II.3.3.3. Bois figuré.	16
II.3.4. Défauts dus aux causes extérieurs (climat, abattage).	16
II.3.4.1. Cadranures, fentes.	16
II.3.4.2. Gerces.	16
II.3.4.3. Fractures internes et les fractures d'abattage.	17
II.3.4.4. Roulures.	17
II.3.5. Défauts de conformation.	18
II.3.5.1. Conicité.	18
II.3.5.2. Courbure.	18
II.3.5.3. Contreforts ou empattements.	19
II.3.5.4. Méplats.	19
II.3.5.5. Cannelures.	20
II.3.6. Altérations.	20
II.3.6.1 Altérations zoologiques.	20
II.3.6.2. Altérations fongiques.	21
II.4. Sciage du bois et son rendement.	21
II.4.1. Phases de sciage du bois.	22
II.4.2. Rendement au sciage.	23
CHAPITRE 3 : MATÉRIEL ET MÉTHODES	25
III.1. Présentation de la zone d'étude.	25
III.1.1. Localisation de la structure.	25

III.1.2. Historique de la structure d'accueil.	26
III.1.3. Organigramme de la scierie.	26
III.1.4. Fonctionnement de la structure.	27
III.1.4.1. Approvisionnement.	27
III.1.4.2. Transformation.	28
III.2. Collecte des données.	28
III.2.1. Détermination des volumes de bois perdus suite aux défauts.	29
III.2.1.1. Identification des défauts sur les grumes.	29
III.2.1.2. Prise des dimensions et cubage des billes avant sciage.	29
III.2.1.3. Prise de dimensions et cubage des débités et des bois perdus suite aux défauts.	30
III.2.2. Détermination des rendements exports et locaux.	30
III.2.2.1. Rendement au sciage.	30
III.2.2.2. Quantité moyenne de déchets.	30
III.2.3. Proposition de solutions pour remédier à ce problème et méthodes de valorisation.	31
III.3. Analyse des données.	31
III.3.1. Analyse du volume de bois perdu suite aux défauts.	31
III.3.1.1. Volume moyen aubier.	31
III.3.1.2. Analyse du volume de bois perdu suite aux fentes et pourritures.	32
III.3.2. Méthode d'analyse du rendement et de la quantité moyenne de déchets au sciage.	32
III.3.2.1. Analyse du rendement au sciage.	32
III.3.2.2. Estimation de la quantité moyenne de déchets.	32
III.3.3. Analyse des propositions de solutions pour remédier à ce problème de perte de bois et stratégie de valorisation.	33
III.3.3.1. Analyse des causes entraînant des pertes dues aux défauts de bois : diagramme d'Ishikawa.	33
III.3.3.2. Proposition de solution.	34
CHAPITRE 4: RÉSULTATS ET DISCUSSION	35
IV.1. Détermination des volumes de bois perdus suite aux défauts.	35
IV.1.1. Identification des défauts sur les billes entrées en zone de débitage pendant l'étude.	35
IV.1.2. Évaluation du volume moyen de l'aubier.	36
IV.1.3. Évaluation du volume perdu du aux fentes et pourriture.	37
IV.2. Détermination du rendement et de la quantité moyenne de déchets au sciage.	38

IV.2.1. Détermination du rendement total au sciage.	38
IV.2.2. Estimation de la qualité moyenne de déchets au sciage.	39
IV.3. Proposition de solutions pour remédier aux pertes dues aux défauts de bois et méthodes de valorisation.	40
IV.3.1. Analyse des causes racines du problème.	40
IV.3.2. Proposition de solutions pour diminuer les pertes de bois causées par les défauts sur les grumes.	43
IV.3.3. Objectifs et axes d'intervention des méthodes de valorisation des déchets causés par les défauts de bois.	44
IV.3.4. Indicateurs de résultats par axe d'intervention.	45
IV.3.5. Différentes valorisations possibles des rebuts dus aux défauts de bois.	47
CHAPITRE V: CONCLUSION ET PERSPECTIVES	48
V.1. Conclusion.	48
V.2. Perspectives.	49
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.	50
ANNEXES	I
Annexe 1 : Photos des défauts identifiés sur les billes sciées à la scierie Ets ARAFAT.COM	I
Annexe 2 : Questionnaire d'enquête et d'entretien.....	II
Annexe 3 : Fiche de cubage des débités.	IV
Annexe 4 : Fiche de données collectées.	V
Annexe 5 : Fiche sur les études effectuées sur les billes de bois.	VII
Annexe 6 : Récapitulatif des données traitées.	IX
Annexe 7 : Photos de prises de dimensions sur les billes et débités.....	X
Annexe 8 : Photos de quelques pertes causées par les défauts de bois.....	XI

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1: Nœuds et bosses sur une grume.	14
Figure 2.2: Cœur excentré sur une grume.	14
Figure 2.3: Cœur double et entre écorce sur une grume.....	15
Figure 2.4: Contrefil sur une grume.	15
Figure 2.5: Cadranures(a) et fentes(b) sur une Grumes.....	16
Figure 2.6: Gerces sur le roulant d'une grume.	17
Figure 2.7: Fracture d'abattage sur grume.....	17
Figure 2.8: Roulure partielle(a) et totale(b) sur une grume.....	18
Figure 2.9: Conicité sur une grume.	18
Figure 2.10: Courbure totale sur une grume.....	19
Figure 2.11: Contrefort sur une grume.	19
Figure 2.12: Méplats sur une grume.	20
Figure 2.13: Tronc d'une grume cannelée.....	20
Figure 2.14: Piqures d'insectes sur le roulant d'une grume.	21
Figure 2.15: Pourritures sur le roulant (a) et dans le cœur (b) d'une grume.....	21
Figure 3.1: Localisation de l'UTB "Ets ARAFAT.COM" à Ébolowa.	25
Figure 3.2: Organigramme de l'Ets ARAFAT.COM.....	27
Figure 3.3: Croquis de prise de mesures sur une grume.....	29
Figure 4.1: Proportion des déchets provenant des fentes et pourritures.....	37
Figure 4.2: Pourcentage des déchets dus aux défauts pour chaque essence.....	39
Figure 4.3: Proportion des déchets et du rendement au sciage.....	40
Figure 4.4: Diagramme d'Ishikawa des causes de pertes de bois dues aux défauts.....	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Essences étudiées.	28
Tableau II : Pourcentage des défauts identifiés par essence sciée.....	35
Tableau III : Pourcentage moyen du volume aubier des essences sciées.....	36
Tableau IV : Volumes moyens bruts et sciés des essences transformées.....	38
Tableau V : Rendements matières au sciage.	38
Tableau VI : Causes phares de pertes de bois causées par les défauts de bois.....	41
Tableau VII : Indicateurs de résultats par axe d'intervention.	46

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ATIBT	:	Association Technique Internationale de Bois Tropicaux
D _{AA}	:	Diamètre Avec Aubier
DME	:	Diamètre Minimale d'Exploitation
D _{SA}	:	Diamètre Sous Aubier
DIPET II	:	Diplôme de Professeur d'Enseignement Technique et Professionnel de deuxième grade
ENSET	:	Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique
EPI	:	Equipements de Protection Individuel
Ets	:	Etablissement
FAS	:	First And Second
FIFO	:	First In First Out
IB-TMG	:	Industrie du Bois-Transformation Mécanique des Grumes
MINESEC	:	Ministère des Enseignements Secondaire
MINESUP	:	Ministère de l'Enseignement Supérieur
MINFOF	:	Ministère des Forêts et de la Faune
OHADA	:	Organisation pour l'Harmonisation en Afrique des Droits d'Affaire
RCCM	:	Registre du Commerce et du Crédit Mobilier
SARL	:	Société Anonyme à Responsabilité Limitée
SATA	:	Sciage Avivés Tropicaux Africain
UTB	:	Unité de Transformation du Bois
V _{AA}	:	Volume Avec Aubier
VC	:	Vente de Coupe
V _{SA}	:	Volume Sous Aubier

RÉSUMÉ

L'amélioration du rendement matière et du grade visuel des débités restent un problème majeur pour les unités de première transformation du bois au Cameroun qui, font face à des importantes pertes causées par les défauts de bois. C'est dans la perspective de diminuer ces pertes lors du sciage que la présente étude qui porte sur « l'évaluation des pertes causées par les défauts de bois sur le rendement matière au sciage » a été réalisée. Elle a pour objectif général l'évaluation des pertes causées par les défauts de bois sur le rendement matière au sciage afin de proposer des solutions pour limiter ces pertes et des méthodes de valorisation des déchets inévitables. Cette étude s'est déroulée à l'Ets ARAFAT.COM à Ébolowa. L'évaluation s'est effectuée sur 45 billes de six essences : Padouk, Doussié, Iroko, Koto, Ayous et Sapelli, qui ont été usinées pendant la période de collecte de données. La méthodologie a consisté à l'identification des défauts sur les billes, l'intérêt a été porté sur les défauts majeurs. Le pourcentage d'un défaut est trouvé en divisant le nombre de billon de l'essence avec ce défaut par le nombre de billon totale de l'essence. Après la prise de mesures des billes avant sciage, le volume avec aubier et le volume sous aubier ont été calculés, ce qui nous a permis d'évaluer le volume de l'aubier. À la fin de toutes les opérations du sciage, les produits obtenus ont été cubés ainsi que les pièces rejetées à cause des défauts, ce qui a permis d'estimer la proportion de chaque déchet. Le rendement était calculé en divisant la somme des volumes des débités obtenus sur la somme des volumes des billes. Il apparait des résultats obtenus que, les défauts majeurs identifiés sont l'aubier, fentes, et les pourritures. Le volume aubier représente 11,80% de leurs volumes moyens avec aubier. Par sa quantité peu négligeable, l'aubier est perçu comme un défaut qui influence le rendement au sciage. Le volume moyen des fentes et pourritures générés par l'usinage de ces essences représente 37,99% de volume moyen avec aubier. Le rendement total au sciage est de 40,04%, pour une production des déchets de 59,96% dans lesquels 49,79% sont dus aux défauts de bois. Il est donc important de prendre en compte les défauts de bois lors du billonnage des billes. La valorisation des déchets n'est pas très poussée dans la scierie, se limitant juste au bois de chauffage et à la vente locale pour diverses fins, d'où la nécessité d'une étude sur la valorisation plus poussée voire le recyclage des déchets.

Mots clés : Défauts de bois, Déchets de bois, Rendement matière, Valorisation.

ABSTRACT

Improving material yield and visual grade of sawn timber remains a major problem for primary wood processing units in Cameroon which face significant losses caused by wood defects. It is with a view of reducing these sawing losses as the present study, which deals with "the evaluation of losses caused by wood defects on sawing material yield" was carried out. Its general objective assessment of losses caused by wood defects on sawing material yield in order to propose solutions to limit these losses and valuation methods for unavoidable waste. This study took place at Ets ARAFAT.COM in Ebolowa. The evaluation was carried out on 45 logs of six species: Padouk, Doussié, Iroko, Koto, Ayous and Sapelli, that were sawed during the data collection period. The methodology consisted of the identification of faults on the logs, the focus was on major faults. The percentage of a fault is found by dividing the number of logs of gasoline with this fault by the total number of logs of gasoline. After taking measurements of the logs before sawing, the volume with sapwood and volume under sapwood were calculated, which allowed us to assess the volume of sapwood. At the end of all sawing operation, the products obtained were cubed as well as the parts rejected due to defects, which made it possible to estimate the proportion of each waste. The yield was calculated by dividing the sum of the volumes of debits obtained on the sum of the volumes of the logs. It appears from the results obtained that the defects major ones identified are sapwood, cracks, and rot. The sapwood volume represents 11.80% of their average volumes with sapwood. By its negligible quantity, the sapwood is perceived as a defect that influences sawing performance. The average volume of cracks and rots generated by sawing these specimens represent 37.99%. The total yield of sawing is 40.04%, for waste production of 59.96% of which 49.79% is due to wood defects. It is therefore important to take into account the wood defects during the logging of logs. Waste recovery is not very advanced in the sawmill, it is just limited to firewood and local sales for various purposes, hence the need for a study on further recovery and even recycling of waste.

Key words: Wood defects, Wood waste, Material yield, Recovery.

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GÉNÉRALE

I.1. Contexte et justification de l'étude.

Le sciage du bois est une activité pratiquée depuis fort longtemps que ce soit dans les pays du Bassin du Congo ou ailleurs dans le monde. Au Cameroun, dès le début de la colonisation, la coupe des arbres ainsi que leurs équarris étaient fait à la hache. Par la suite d'autres outils de coupes arrivèrent afin de simplifier la tâche et d'augmenter la productivité. Au fil des ans, les technologies ont permis de mécaniser et d'améliorer les méthodes de sciage afin d'optimiser les procédés. L'automatisation des opérations de sciage et l'optimisation des procédés se poursuivent encore de nos jours pour assurer la rentabilité des industries et la qualité de leurs produits (Belley., 2014).

Par ailleurs, dans un contexte économique de plus en plus difficile, où la concurrence ne cesse de croître et les exigences des clients de plus en plus élevées en termes de qualité, fiabilité, coût et délais, l'entreprise de production essaie de maintenir ses marges afin de survivre : Améliorer sa productivité et développer sa compétitivité devient des enjeux majeurs pour celle-ci (Mbouna., 2015). La filière bois Camerounaise est particulièrement concernée. Les entreprises de première et de deuxième transformation du bois doivent faire face à des commandes de plus en plus fractionnées, et de moins en moins prévisibles.

Bien que beaucoup d'informations soient disponibles sur les défauts de bois et que les connaissances aient grandement évolué avec le temps, il demeure néanmoins difficile de déterminer avec exactitude les pertes de bois dues aux défauts lors du sciage et l'impact de chacun des défauts sur le rendement et la qualité des débités (Belley., 2014). Le présent travail s'inscrit dans le cadre de l'amélioration de la production des entreprises de première transformation, à savoir les scieries qui permettent de transformer les grumes de l'exploitation forestière en débités respectant les dimensions standards. C'est donc dans ce contexte qu'une évaluation de l'influence des défauts de bois sur le rendement matière est importante, afin d'identifier et quantifier les volumes et les pertes de qualités causés par les principaux défauts de bois dans les unités de première transformation, pour ce fait proposer des solutions pour une transformation plus poussée et améliorer la production. L'amélioration du rendement matière et du grade visuel reste donc un problème majeur pour les unités de première transformation du bois au Cameroun.

I.2. Problématique de l'étude.

Les données disponibles au Cameroun, pour l'année 2014 font état d'un volume de bois entrée usine d'environ 1,7 million de m³ déclaré pour 79 UTB, pour un volume de débité sortie usine d'environ 655 000 m³ (Cerutti et *al.*, 2016). Ainsi, moins de 50% du bois qui entre en usine ressort sous forme de produits finis. Une conclusion souvent tirée de ce constat est que la majeure partie du bois est perdue lors de la transformation et plus spécialement lors du sciage (MINFOF., 2013). De nombreux rapports traitant cette problématique de perte de bois lors du sciage, définissent le bois comme un matériau biologique et donc variable, avec des caractéristiques relativement complexes (Nsimba., 2013). Ainsi donc, le rendement en volume et le grade visuel des sciages produits dépendent énormément de la qualité c'est-à-dire des défauts de la ressource utilisée. Jusqu'à présent, plusieurs avancées en optimisation et en automatisation ont été réalisées sur les opérations de sciage en usine (Belley., 2014). Grâce à ces efforts, les scieries ont réussi à augmenter leur production, leur rendement matière et assurer une certaine rentabilité. Il reste par contre un secteur où il pourrait y avoir d'énormes retombées économiques. Ainsi, comment faire pour améliorer le rendement matière et le grade visuel des sciages à la scierie Ets ARAFAT.COM. Pour y arriver, des questions ci-après sont émises :

- Quel est le système de production mis en place à la scierie Ets ARAFAT.COM d'Ébolowa ?
- Quels sont les défauts de bois pouvant influencer le rendement matière au sciage ? et quels sont les volumes de bois perdus suites à ces défauts ?
- Quelles sont les solutions préconisées en vue non seulement de remédier à ce problème de pertes de bois causées par les défauts mais aussi de valoriser les pertes inévitables ?

En effet, il serait possible de maximiser le rendement mais surtout la qualité des produits et éviter beaucoup de pertes si le sciage tenait compte des défauts de bois. Ce travail est effectué à l'Ets ARAFAT.COM d'Ébolowa suivant des objectifs préalablement établis.

I.3. Objectifs de l'étude.

I.3.1. Objectif général.

L'objectif général de cette étude vise à évaluer les pertes causées par les défauts de bois sur le rendement matière au sciage.

I.3.2. Objectifs spécifiques.

Il s'agit plus spécifiquement de :

- ❖ Déterminer les volumes de bois perdus suite aux défauts ;
- ❖ Déterminer les rendements (local et export) moyens au sciage et en déduire la quantité moyenne des déchets ;
- ❖ Proposer des solutions pour limiter les pertes et des méthodes de valorisation des déchets inévitables.

I.4. Hypothèses de l'étude.

I.4.1. Hypothèse principale.

Les défauts constatés sur les billes contribueraient en grande partie au problème de perte de matière constaté dans le processus de production. Ces défauts influenceraient énormément le rendement matière au sciage.

I.4.2. Hypothèses spécifiques.

Les hypothèses spécifiques suivantes permettent de mieux aborder l'étude. Toutefois, elles seront examinées dans le cadre des objectifs éventuellement assignés. L'affirmation ou l'infirmité de chacune d'entre-elles devrait contribuer à résoudre la problématique. Il s'agit de :

- Une grande quantité de bois serait perdue lors du sciage suite aux défauts de bois ;
- Les rendements (local et export) seraient moindres et influencés par les défauts constatés sur les billes ;
- Une stratégie pour limiter les pertes et déchets inévitables s'imposerait.

I.5. Intérêts de l'étude.

I.5.1. Intérêt scientifique.

Cette étude va étendre la littérature existante sur la pertinence de l'évaluation de l'influence des défauts de bois sur le rendement matière au sciage, et des stratégies

d'optimisation de la production dans les scieries du bassin du Congo et en particulier au Cameroun. Aussi, elle est d'actualité étant donné que, l'optimisation de la production est un problème majeur de toute entreprise.

I.5.2. Intérêt professionnel.

Sur le plan professionnel, cette étude pourrait contribuer d'une part à étendre les solutions pour limiter les pertes de bois causées par les défauts de grumes lors du sciage et d'autre part à augmenter le rendement commercial des scieries.

I.5.3. Intérêt pédagogique.

Cette étude pourrait apporter une plus-value aux formateurs et aux apprenants de l'Industrie du Bois- Transformation Mécanique des Grumes (IB-TMG) sur la notion de rendement matière impactée par les défauts de bois lors de la transformation.

I.6. Organisation du document.

Le présent mémoire est subdivisé en cinq (05) chapitres. Après le chapitre introductif, le deuxième est la revue de littérature qui permettra de mieux comprendre les différents termes liés à cette étude. Le troisième (03) chapitre intitulé matériel et méthodes, consiste à présenter la structure d'accueil et de donner le mode opératoire qui a permis l'atteinte des objectifs évoqués plus haut. Le quatrième est celui des résultats et discussion et enfin le cinquième chapitre (05) qui n'est rien d'autre que la conclusion et perspectives.

CHAPITRE 2 : REVUE DE LA LITTÉRATURE

II.1. Définition des concepts.

II.1.1. Concepts liés à la nature de la grume.

Grume : tronc d'arbre abattu, ébranché et recouvert de son écorce (Société Générale de Surveillance S.A).

Bille : tronçon de bois découpé dans une grume (Société Générale de Surveillance S.A).

Billon : tronçon de bois découpé dans une bille (Société Générale de Surveillance S.A).

Courson : pièce ou débit de bois de faible longueur (Société Générale de Surveillance S.A).

Dosse : première ou dernière planche sciée dans un tronc d'arbre, et dont la face non équarrie¹ est recouverte d'écorce (Kamkuimo et *al.*, 2018).

Défaut de bois : c'est un vice [au sens de « imperfection »] caché ou apparent, susceptible de rendre le bois impropre à l'usage auquel il est destiné ou d'en diminuer la valeur (Nsimba., 2013).

Nœud : c'est une modification de la structure du bois à l'existence d'une branche. Celle-ci provoque un détournement local des fibres du fil. Les nœuds entraînant une irrégularité du fil autour de ceux-ci, ce qui peut rendre la surface esthétiquement disgracieuse et mécaniquement fragile. De plus les usinages sont particulièrement difficilement à réaliser au niveau des nœuds. Cependant, les nœuds sont parfois recherchés pour leur aspect décoratif (Fruchard., 2016).

Cadranures : grosses gerçures² rayonnantes partant du cœur et dont les parois sont craquelées. La cadranure est souvent accompagnée d'un commencement de décomposition et est un stade avancé du cœur étoilé (Fruchard., 2016).

¹ L'équarrissage est une opération préliminaire au sciage qui consiste à tailler une bille à angle droit afin de lui donner une forme carré ou rectangulaire.

² Fentes qui apparaissent sur des bois abattus, parfois débités, au cours d'un séchage rapide.

Pourritures blanches, rouges, brunes : altération de l'un ou de l'autre ou de tous les éléments constitutifs du bois entraînant une modification profonde de sa composition chimique, qu'il s'agisse de bois sur pied, débité ou mis en œuvre, sous l'action de champignons parasites et surtout de bactéries. Il y a changement de consistance et de coloration ; lorsque la cellulose est d'abord consommée, on a des pourritures brunes et rouges ; si la lignine disparaît d'abord on aura une pourriture blanche (Fruchard., 2016).

Fentes/fractures d'abatage : fentes longitudinales partant tantôt de la base de la grume, tantôt d'une branche et provoquées par l'éclatement du bois au moment de la chute de l'arbre. Elles peuvent provenir de la rupture par choc des éléments du bois, sur un des côtés du tronc, au moment de la chute de l'arbre (Fruchard., 2016).

II.1.2. Concepts liés à la transformation du bois.

Scierie : c'est une installation industrielle ou artisanale de sciage du bois ou du marbre, les scieries sont des industries 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 (Pinta et al., 2004).

Sciage : c'est un ensemble d'opérations qui a pour but de diviser la grume à l'aide d'une scie par enlèvement du copeau qui se fractionne en menus éléments appelés sciures (Dallois., 1990).

Évaluation : méthode qui permet de caractériser et d'approcher la valeur d'une situation, d'une entité, d'un résultat ou d'une performance de nature complexe et donc a priori difficilement mesurable (Benenguegne., 2015).

Rendement : rapport entre le résultat obtenu et les moyens mis en œuvre pour l'obtenir. Ce terme va dans la pratique être décliné selon des formulations différentes pour correspondre le plus étroitement et plus fidèlement possible aux paramètres réels de chaque activité ; (Wikipédia., consulté le 29 Février 2020). Ainsi, en industrie du bois le rendement matière au sciage est le rapport entre le volume d'avivés ou débités obtenus lors d'une transformation et le volume de billes utilisées. Il est exprimé en pourcentage.

Affûtage : c'est un ensemble d'opérations qui consiste à aiguiser et à entretenir un outil de coupe pour le rendre plus tranchant. Il est essentiel pour l'usinage des bois car les

outils bien affûtés exécutent une coupe nette dans le bois et ils permettent d'économiser l'énergie, le temps et la matière (Dallois., 1990).

Parc de rupture : est une zone de stockage des grumes sans limite de taille. Elle doit être accessible par les grumiers quel que soit le temps et permettre de stocker assez de bois pour approvisionner les scieries en saison des pluies. Elle est également le lieu où transite le bois de la forêt soit pour exportation, soit à l'usine de transformation. Cet aménagement doit être conçu pour durer et doit permettre la conservation des bois pendant plusieurs saisons (Kamkuimo et *al.*, 2018).

Parc à débits : c'est un endroit aménagé dans une scierie dans lequel sont entreposés les débités sous forme de colis en attendant leur évacuation.

Empilage : c'est une opération qui consiste à constituer des colis à partir de pièces de bois.

Cubage débité : opération qui consiste à déterminer les dimensions des pièces (longueur, largeur et épaisseur), ceci aboutissant à la détermination du volume du colis en général.

Rebuts de scierie : ce sont les restes de produits issus de la transformation de bois dans les scieries, ainsi que tout autre rejet ou débris provenant de ladite transformation. En général, il y a trois gammes que sont les débités déclassés, le « vrac » trié et les dosses (Kamkuimo et *al.*, 2018).

Transformation artisanale de bois : processus de modification de la structure initiale du bois à l'aide de matériels légers, mobiles ou fixes, avec une capacité annuelle de transformation de moins de 1000 m³ de grumes (Kamkuimo et *al.*, 2018).

II.2. Transformation du bois au Cameroun.

II.2.1. Quelques généralités.

L'objectif de la transformation des grumes est de donner de la valeur ajoutée au bois, mais aussi la création d'emplois. Le secteur forestier au Cameroun contribue à 4% du PIB et compte 22 722 emplois dans le secteur formel et environ 44 000 emplois dans le secteur informel (MINFOF., 2013). Le domaine forestier au Cameroun a subi des réformes structurelles visant à rationaliser l'exploitation des grumes afin d'assurer sa durabilité et d'améliorer sa contribution au développement économique et social du pays,

tout en préservant les exigences écologiques. La loi n° 94/01 du 20 janvier 1994 portant régime des forêts, de la faune et de la pêche, votée en 1994 et appliquée à partir de 1999, sur l'interdiction d'exportation des grumes impose une transformation locale de 70% des grumes exploitées. En conséquence de cette politique en faveur de la transformation, le nombre de scieries a augmenté de façon significative (l'indice de production de l'industrie du bois a augmenté de 12,5% en glissement annuel au troisième trimestre 2001/2002) (Mahonghol et *al.*, 2016). Cependant, alors que l'objectif des autorités était le développement de la vie locale, les exploitants se sont installés de préférence aux portes de Yaoundé et de Douala où ils font venir les grumes pour transformation. Les statistiques en matière de transformation du bois montrent que le tissu industriel forestier, en forte expansion dès les années 2000, fait état de 100 unités de transformation du bois (UTB), dont plus de 80% de scieries en 2005. En 2009, sur un volume de bois abattu de 1 875 460 m³, le volume du bois transformé exporté s'élevait à 998 988 m³, soit un taux de transformation industrielle de 53,26% (Mendomo., 2011). En 2012, suivant la décision³ N° 0353/D/MINFOF du 27 février 2012 portant catégorisation des unités de transformation et déterminant le degré de transformation des produits bois, les différentes annexes font état de la catégorisation de 108 UTB, soulignant que :

- 59 UTB, soit environ 55 % sont des unités industrielles disposant d'outils fixes de production et dont la capacité de débitage de l'outil principal est supérieure à 5000 m³ de grumes par an (catégorie 1) ;
- 43 UTB, soit environ 40 %, sont des unités industrielle disposant d'outils fixes ou mobile de production et dont la capacité de débitage de l'outil principal est comprise entre 1 000 m³ et 5 000 m³ de grumes par an (catégorie 2) ;
- 06 UTB, soit environ 5 %, sont des unités dotées d'outils fixes ou mobiles de production et dont la capacité de débitage de l'outil principal est inférieure à 1 000 m³ de grumes par an (catégorie 3).

D'autre part, 58 UTB ont des activités de première transformation, les autres UTB se répartissant comme suit :

- 36 UTB, soit environ 33 %, ont des activités de deuxième transformation ;

³ C'est l'acte par lequel une personne juridique ou un département ministériel exprime dans quel sens doivent agir les personnes sur lesquelles elle a autorité.

- 09 UTB, soit environ 8 %, ont des activités de troisième transformation ;
- 05 UTB, soit environ 4 %, ont des activités de quatrième transformation (Mahonghol et *al.*, 2016).

Ces statistiques soulignent deux éléments majeurs en rapport avec la transformation du bois au Cameroun, à savoir :

- Le besoin d'aller vers une transformation locale plus poussée des bois ;
- Le besoin de faire sortir de l'informel le marché local, et catégoriser plusieurs UTB actuellement opérationnelles sur l'étendue du territoire national (MINFOF., 2012).

La transformation plus poussée du bois intègre dans sa logique une valorisation des produits connexes de la première transformation.

II.2.2. Notion de valorisation des rebuts issus du sciage du bois.

La notion de valorisation des déchets du bois comprend l'ensemble des activités permettant de promouvoir leur récupération afin de les donner une nouvelle utilité (Kamkuimo et *al.*, 2018). Les activités de valorisation des déchets issus du bois sont multiples et touchent plusieurs domaines :

- Le domaine de production énergétique ;
- Le domaine de la transformation ;
- Le domaine biologique ;
- Le domaine pharmaceutique...

II.2.2.1. Identification des rebuts issus du sciage du bois.

En effet, au niveau des usines de transformation, le volume des déchets générés sont autant énorme, que leur récupération et valorisation constituent non seulement un enjeu majeur, mais surtout un défi à relever pour les industriels. Les déchets proviennent essentiellement des opérations d'écorçage, d'éboutage, de sciage, ou de rabotage... De manière générale, moins de 40 % du volume des bois ronds entrant en scierie sont effectivement transformés, 60 % constituant de déchets (Cerrutii et *al.*, 2016). On identifie les déchets ci-après à la transformation du bois :

II.2.2.1.1. Copeaux et sciures.

Les copeaux et sciures sont constitués de fines particules résultant de l'usinage mécanique de bois. Elles sont produites lors du sciage des grumes dans les scieries (il

s'agit alors de sciure assez humide) ou lors du travail de planches dans les industries de seconde transformation. Au sein des entreprises, la sciure est collectée au niveau des outils de coupe par un système mécanique d'aspiration. Elles sont ensuite véhiculées jusqu'à une zone de stockage où elles sont déchargées. Dans les scieries équipées des scies à ruban et des scies circulaires, les sciures peuvent atteindre jusqu'à 12% du volume total des bois ronds entrants, tandis que dans les scieries équipées des fragmenteuses, le volume des sciures n'est que d'environ 6% (Kamkuimo et *al.*, 2018).

II.2.2.1.2. Bois de rebuts.

Le terme générique "bois de rebuts" désigne :

- Des dosses (partie extérieure de la grume après le sciage) ;
- Des délignures de parties malsaines, ou résultant du rattrapage de parallélisme ;
- Des épaisseurs insuffisantes ;
- Des pièces déclassées suite aux pourritures et fentes ;
- Des coursons provenant du billonnage ;
- Des éclats et bris de bois ;
- Des chutes dues à la mise aux dimensions finales et aux défauts de bois (en équerrant ou éboutant) (Kamkuimo et *al.*, 2018).

II.2.2.2. Valorisation des rebuts causés par les défauts du bois.

En général, la valorisation des déchets de la filière bois repose sur deux concepts :

- Valorisation non énergétique ou valorisation matière ;
- Valorisation énergétique.

II.2.2.2.1. Valorisation non énergétique des rebuts causés par les défauts du bois.

Les pertes causées par les défauts de bois au sciage sont de plusieurs ordres. On distingue généralement : les dosses, les coursons provenant du billonnage, les délignures et les chutes d'éboutage des parties attaquées (MINFOF., 2015).

Ces déchets récupérés peuvent être valorisés non énergiquement de plusieurs manières :

- Ils peuvent être délignés et tronçonnés pour produire les bois de construction et de menuiserie, notamment les latte, poteaux de coffrages, des planches ou les chevrons ;
- Ils peuvent être délignés et tronçonnés pour la fabrication des palettes, utilisées dans la manutention des charges diverses ;

- Ils peuvent être délinés et tronçonnés pour la fabrication des caisseries et des cageots ;
- Ils peuvent être exploités pour la fabrication des articles divers tels que : les buchettes pour allumette, les bâtonnets hygiéniques (cure dents)...

II.2.2.2.2. Valorisation énergétique des rebuts causés par les défauts du bois : la carbonisation.

La carbonisation est la pyrolyse avec pour intention initiale la production du charbon de bois. La carbonisation du bois consiste en la dégradation de trois polymères végétaux à savoir la cellulose, l'hémicellulose et la lignine⁴. La carbonisation s'effectue dans des charbonnières. Dans la pratique, on distingue plusieurs techniques de carbonisation chacun définissant un type de charbonnières.

❖ Charbonnières en fosse.

L'emploi de la terre comme écran isolant (empêchant l'entrée de l'oxygène et des pertes de chaleur excessives) est le système de carbonisation le plus ancien. Dans la charbonnière à fosse, la terre forme une barrière imperméable à l'abri de laquelle la carbonisation peut se produire sans infiltration d'air. Il faut prendre soin, lors du chargement, de boucher le plus possible les vides entre les billes avec des branches et des petits bois afin d'améliorer le coefficient de remplissage. Avec des fosses plus petites, on a une meilleure circulation de l'air et on produit un charbon plus uniforme, mais leur rendement est moins satisfaisant (Nguenang et *al.*, 2013).

❖ Charbonnières en meule.

Le principe de base de la carbonisation en meule (tas de bois destiné à faire du charbon de bois) est le même que celui de la charbonnière en fosse. Dans le cas des charbonnières en meule, au lieu de creuser une fosse, on peut empiler le bois en meule sur le sol, avant de le couvrir de terre. La charbonnière en meule est préférée à la fosse lorsque le sol est rocheux, superficiel, ou que la nappe phréatique est peu profonde (Nguenang et *al.*, 2013).

⁴ Les cellules qui constituent le bois sont pour les plus externes (aubier) des cellules vivantes et pour les plus internes (cœur) des cellules mortes. Ces cellules sont formées de trois constituants principaux : la cellulose, l'hémicellulose et la lignine (e-monsite, consulté le 5 Mars 2020).

❖ **Fours en briques.**

Bien construits et bien employés, les fours en briques sont sans aucun doute l'une des méthodes de production de charbon de bois la plus efficace. Ils sont susceptibles de fournir des rendements étonnamment élevés du charbon de bois de qualité, propre à tous les usages industriels et domestiques. Il existe de nombreux modèles de fours en briques en usage à travers le monde, et la plupart donnent de bons résultats (Nguenang et *al.*, 2013).

❖ **Four en fûts métalliques.**

On peut confectionner des fours de carbonisation à partir de vieux fûts à gazole courants.

II.2.2.2.3. Intérêt de la valorisation des déchets du bois.

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

❖ **Sur le plan économique.**

La valorisation des déchets du bois est une source de retombées financières certaines. Dans l'entreprise de sciage, les déchets générés constituent plus de 70% de la matière première (Kamkuimo et *al.*, 2018).

❖ **Sur le plan environnemental.**

La gestion des déchets a toujours été un problème sur le plan écologique. En effet, aux abords des unités de transformation de bois, notamment des scieries, ils subissent des incinérations en plein air, où émanent des fumées incommodantes et nauséabondes, qui dégradent l'environnement sous diverses formes : pollution des cours d'eau, pollution de l'air, vecteur de transmission des maladies pulmonaires (Kamkuimo et *al.*, 2018).

❖ **Sur le plan esthétique.**

On peut remarquer que les différents déchets, non seulement impacte négativement sur l'environnement, mais participent à la dégradation de l'image de l'entreprise qui les génère. La récupération et la valorisation de ces déchets constituent donc une réponse appropriée à cette question environnementale (Kamkuimo et *al.*, 2018).

La transformation du bois au Cameroun est certes à un niveau avancé, mais ne tient pas toujours compte des défauts de bois qui influencent le rendement au sciage.

II.3. Défauts de bois.

En matière de bois en grume, toutes les opérations techniques et commerciales (vente, achat, classement, réception et mise en œuvre) passent obligatoirement par la connaissance des défauts et leur appréciation (Gérard *et al.*, 1998). Il existe plusieurs catégories des défauts de bois tropicaux :

II.3.1. Défauts de structure.

Ce sont ceux dus à la structure même du bois (Fruchard., 2016) ; on distingue :

II.3.1.1. Présence d'aubier.

L'aubier comprend un nombre de couches annuelles variables suivant les essences. C'est du bois jeune, de teinte plus claire, dont chaque année une couche se transforme en bois parfait. En général, dans les bois durs et mi-durs, l'aubier est plus tendre que le duramen (bois parfait) et il est sujet aux piqûres d'insectes et à la pourriture, tandis que dans certains bois tendres, il a presque la qualité du duramen (Fruchard., 2016).

II.3.1.2. Nœuds et bosses.

Les branches forment à leur point d'attache sur le tronc des déviations de fibres qui déterminent les nœuds. On distingue les nœuds sains, adhérant bien au bois, et les nœuds vicieux ou nœuds pourris entourés de bois mort et n'adhérant pas au bois. Ces derniers viennent d'un mauvais élagage naturel ou artificiel. En outre, les nœuds peuvent provoquer la déformation et la rupture des pièces de bois sciées, mais ils ne doivent pas être tous éliminés, car la perte serait trop importante. Plus la section d'une pièce de sciage est faible, moins elle doit comporter de nœuds. Les pièces de fortes dimensions peuvent avoir des nœuds assez gros qui ne nuisent pas à leur solidité.

L'inconvénient des nœuds varie avec leurs dimensions et l'état de conservation des tissus inclus. Ils rendent le bois difficile à travailler et moins résistant. S'ils sont sains, on fixera les tolérances possibles d'après la nature de l'emploi (menuiserie, charpente, etc). S'ils sont vicieux ou non adhérents (bouchons), on les proscrit pour tous (Fruchard., 2016). La figure 2.1 nous présente les nœuds sur une grume.

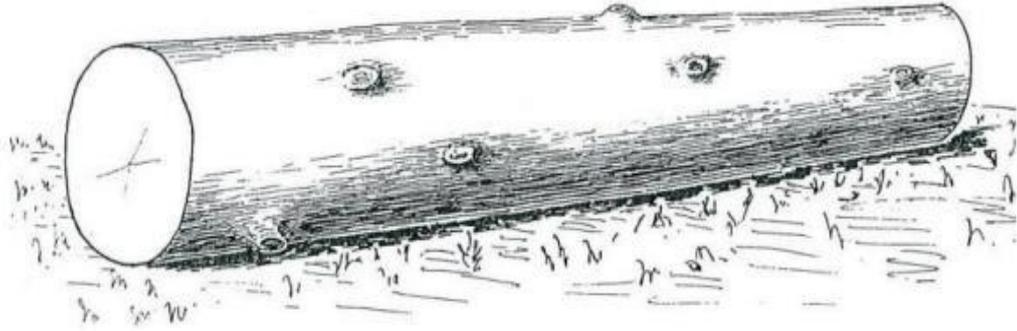


Figure 2.1: Nœuds et bosses sur une grume (ATIBT., 2001).

II.3.2. Défauts provenant d'anomalies dans la formation du bois.

II.3.2.1. Excentricité du cœur.

Les arbres, poussant sur la pente des collines ou des montagnes, ont souvent le cœur déporté vers l'écorce. Ceci provient du fait que les racines de l'arbre, poussant sur la pente, ne tirent pas régulièrement ses nutriments du sol. Un cœur excentré cause une pourriture de cœur qui s'étend sur plusieurs pièces sciées. Il rend le bois moins homogène et génère beaucoup de déchets et de difficultés dans les sciages sur quartier. Les planches obtenues se fendent ou se voilent (Bricoler., 2012). La figure 2.2 présente l'excentricité d'un cœur sur une grume.

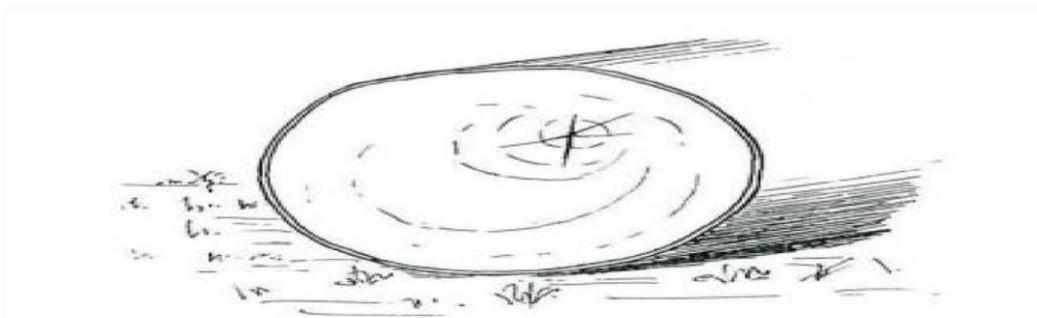


Figure 2.2: Cœur excentré sur une grume (ATIBT., 2001).

II.3.2.2. Entre-écorce et cœur double.

Deux ou trois tiges poussant accolées peuvent se joindre tout en laissant subsister entre elles une partie d'écorce et d'aubier ; les couches d'accroissement⁵ externes recouvrent le tout : on parle d'entre-écorce. Dans ce cas la grume présente un cœur double

⁵ Les couches d'accroissement sont les couches de bois produites pendant une période de végétation ; fréquemment divisible en bois final et en bois initial, notamment dans les bois de régions tempérées. On parle généralement de cernes de croissance en section transversale, (e-monsite, consulté le 5 Mars 2020).

(Bricoler., 2012). Il a pour conséquence de réduire la dimension des pièces débitées et amène un déchet considérable au sciage et à la fente. Il est la cause des pourritures. La figure 2.3 présente un cœur double et une entre écorce observés sur une grume.

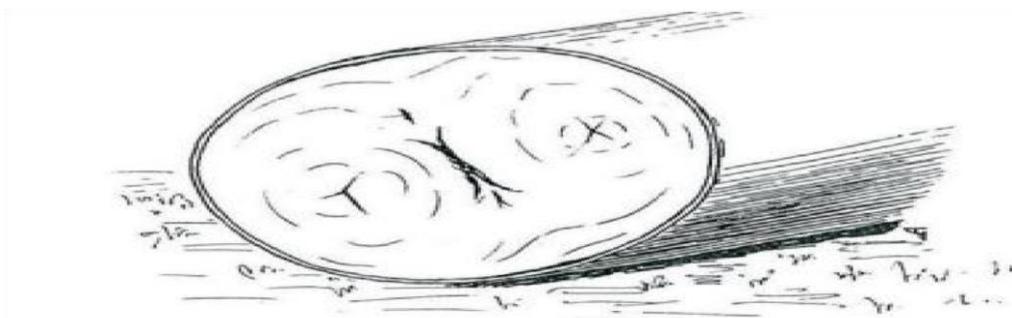


Figure 2.3: Cœur double et entre écorce sur une grume (ATIBT., 2001).

II.3.3. Défauts dus à la disposition des éléments du bois.

II.3.3.1. Contre fil.

Un bois a du contre-fil lorsque la direction générale de ses fibres est successivement torsadée en sens inverse par rapport à l'axe de l'arbre. Ce phénomène ne peut s'observer qu'après le débit de la grume (Bricoler., 2012). Le contre-fil, s'il n'est pas trop accentué, est une qualité, car il donne un aspect rubané aux pièces de bois orientées sur quartier ; par contre, s'il est accentué, cela devient un défaut car il est à l'origine de difficultés pour l'usinage des pièces, en particulier le rabotage. La figure 2.4 présente le contrefil sur le roulant d'une bille de bois.



Figure 2.4: Contrefil sur une grume (ATIBT., 2001).

II.3.3.2 Fibre torse.

C'est la disposition des fibres en hélices plus ou moins inclinées par rapport à la direction longitudinale de l'arbre. Sa présence rend le bois lourd, compact, peu élastique, d'un travail et d'une fente difficiles. Sans grands inconvénients quand l'arbre est employé en entier ou presque. Parfois recherchée pour les placages.

II.3.3.3 Bois figuré.

C'est un bois dont les fibres sont enchevêtrées (suivant la disposition des fibres, on a des bois ronçoux, tortillards, chanvreaux, frisés, lamés, pommelés, rubanés, drapés, flammés, etc). IL est causé par la division des axes entraînant la déviation et l'enchevêtrement des fibres aux fourches, naissances de branches, empattements. Ces bois ont des difficultés de débit et ne conviennent pas pour certains travaux. Recherchés par contre pour la lutherie⁶, l'ébénisterie, le placage et l'aviation.

II.3.4. Défauts dus aux causes extérieures (climat, abattage).

II.3.4.1. Cadranures, fentes.

Lorsque le cœur se dessèche, se craquèle et commence parfois à se décomposer ; il se produit de nombreuses fentes radiales partant du cœur vers l'écorce : ce sont des cadranures. Les vieux arbres sont souvent atteints de ce défaut. Le bois atteint de cette anomalie, devient inutilisable si la cadranure s'étend sur toute la longueur de la bille (Bricoler., 2012). Pour un arbre dont les tensions de croissance sont très fortes, le choc au sol peut provoquer les fentes longitudinales qui sont éboutées lorsqu'elles apparaissent sur les pièces de bois sciées. La figure 2.5 présente les cadranures et les fentes sur une bille de bois.



Figure 2.5: Cadranures(a) et fentes(b) sur une Grumes (ATIBT., 2001).

II.3.4.2. Gerces.

Les gerces sont des fentes de retrait tangentiel qui se produisent dans le sens des rayons ligneux. Ce défaut est provoqué par une longue exposition des grumes au soleil. On distingue les gerces superficielles et les gerces profondes. L'ouverture des fentes est

⁶ Lutherie est la fabrication, la réparation ou la restauration des instruments de musique à cordes.

toujours maximale en surface et elle diminue progressivement vers le cœur de la bille (Bricoler., 2012). Elles peuvent être évitées lors du sciage en n'écorticant la grume. La figure 2.6 présente les gerces sur le roulant d'une grume.

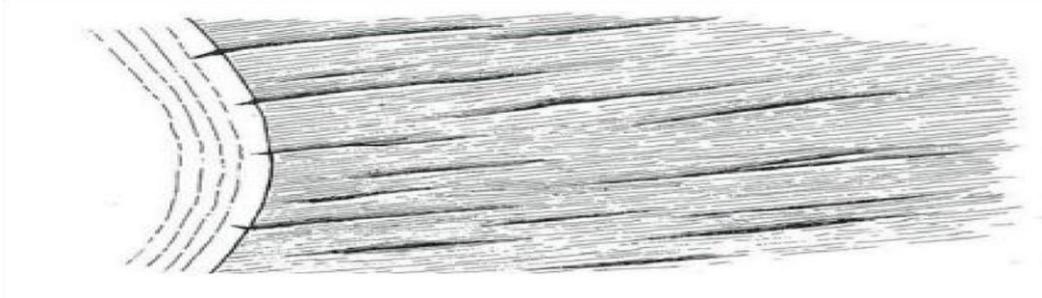


Figure 2.6: Gerces sur le roulant d'une grume (ATIBT., 2001).

II.3.4.3. Fractures internes et les fractures d'abattage.

Certaines essences surtout parmi les bois tropicaux, présentent fréquemment des fractures transversales, peu apparentes, dans le bois parfait : ce sont les fractures internes qui compromettent sérieusement la solidité des pièces de bois (Bricoler., 2012). Les fractures d'abattage sont visibles sur la bille, elles sont dues au choc de l'arbre sur le sol lors de l'abattage. La figure 2.7 nous montre les fractures d'abattage sur une grume de bois.

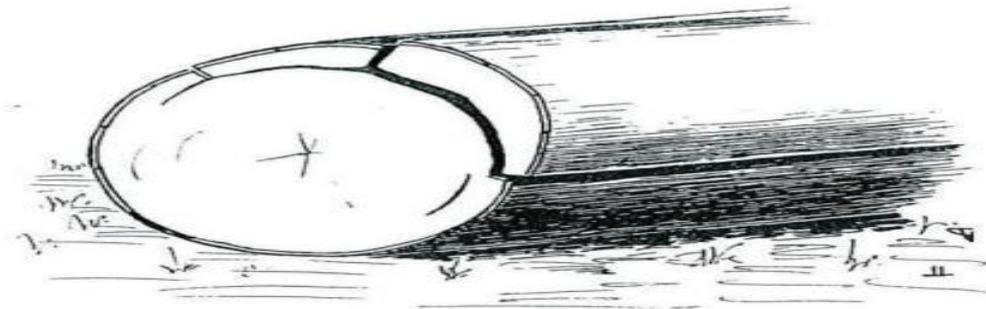


Figure 2.7: Fracture d'abattage sur grume (ATIBT., 2001).

II.3.4.4. Roulures.

La roulure est une fente circulaire formée par le décollement de deux couches d'accroissement. Elle peut être partielle ou totale et s'étendre plus ou moins loin sur la hauteur du fil. Les causes de ce défaut sont assez mal définies, mais souvent il y a une relation avec les tensions locales provoquées par les contraintes de croissance (Lasnier., 2010). La roulure provoque une perte de bois importante au sciage et exige un débit en

petites sections. La figure 2.8 présente les roulures partielle et totale sur l'un des bouts de la grume.

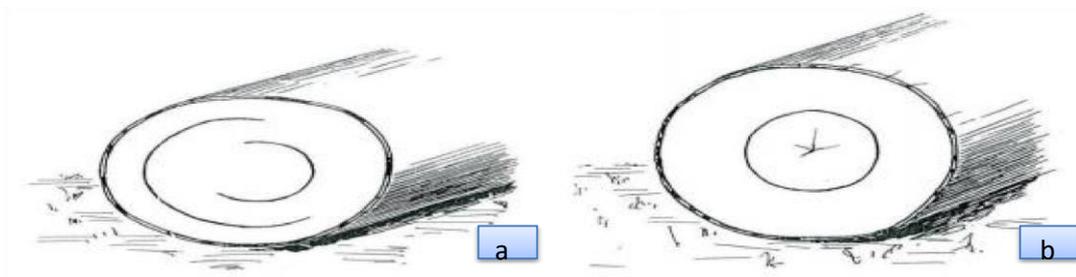


Figure 2.8: Roulure partielle(a) et totale(b) sur une grume (ATIBT., 2001).

II.3.5. Défauts de conformation.

Les déformations des tiges réduisent considérablement le rendement matière au sciage (Monserud et *al.*, 2004). La forme idéale du tronc pour l'industrie du bois est la forme cylindrique, toute autre forme est considérée comme anomalies. On distingue :

II.3.5.1. Conicité.

Elle est due à la décroissance du diamètre de la base au sommet d'un arbre. La figure 2.9 nous montre la conicité d'une grume. Le diamètre au fin bout est bien inférieur au diamètre au gros bout (Monserud et *al.*, 2004).

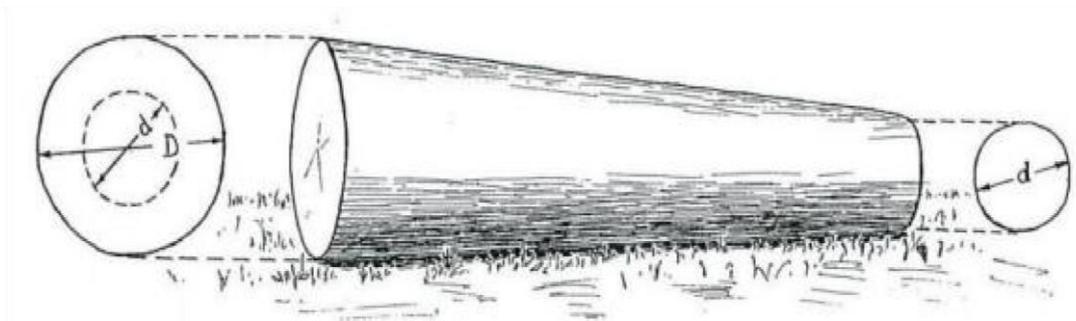


Figure 2.9: Conicité sur une grume (ATIBT., 2001).

II.3.5.2. Courbure.

Une grume possédant ce défaut doit être tronçonnée dans les parties courbes, afin d'obtenir des billons les plus droites possibles. Si après le tronçonnage définitif, il reste encore des parties courbes, elles seront éboutées et jetées sur les pièces de bois ; ou il faut de préférence, les scier en plot. Elle diminue la résistance à la flexion et cause un supplément de déchets au sciage, fibres tranchées. Proscrite pour certains usages. On

distingue les courbures partielles et les courbures totales. Nous avons la représentation d'une courbure totale à la figure 2.10.

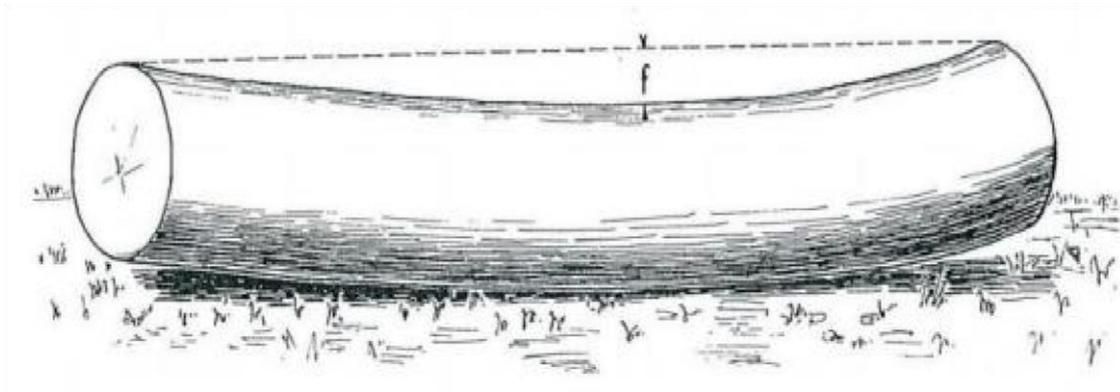


Figure 2.10: Courbure totale sur une grume (ATIBT., 2001).

II.3.5.3. Contreforts ou empattements.

C'est la base élargie et épaisse d'un tronc d'arbre comme nous le montre la figure 2.11

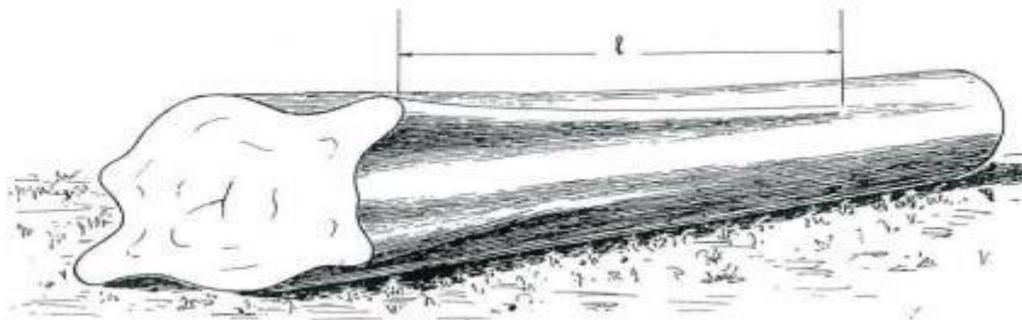


Figure 2.11: Contrefort sur une grume (ATIBT., 2001).

II.3.5.4. Méplats.

On dit d'une grume méplat, une grume dont la section transversale présente deux diamètres de dimensions très différentes. Il est causé par la dissymétrie de l'appareil racinaire ou de la cime⁷ et est à l'origine des difficultés au sciage. Il est parfois accompagné d'excentricité du cœur (Bricoler, 2012). La figure 2.12 nous présente les grumes avec méplat.

⁷ La cime est le sommet d'un arbre formant la couronne ou les branches supérieures.

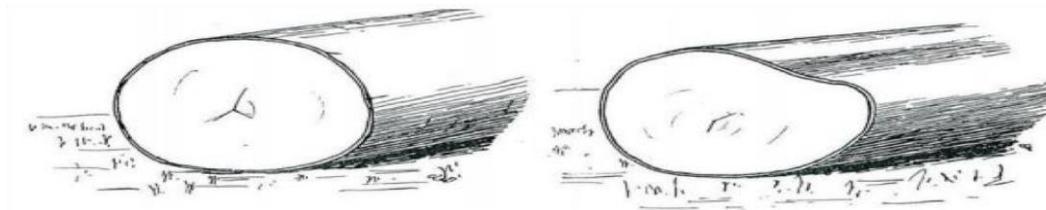


Figure 2.12: Méplats sur une grume (ATIBT., 2001).

II.3.5.5. Cannelures.

Une grume est cannelée lorsque son fût présente une succession de rides longitudinales. Elles sont dues à la croissance des cernes⁸ annuels à contours ondulés au lieu d'être circulaires. Les cannelures se présentent souvent à la base des arbres, à la naissance des empattements ou contreforts. Généralisées à tout le fût et spécifiques pour certaines essences, elles sont parfois limitées à la zone située en dessous d'une branche morte, par suite de l'arrêt dans l'apport des matériaux de formation du bois. Elles ont pour conséquences d'être difficile à l'usinage et de générer des déchets (Bricoler., 2012). La figure 2.13 nous présente le tronc d'une grume cannelée sur tout le roulant.

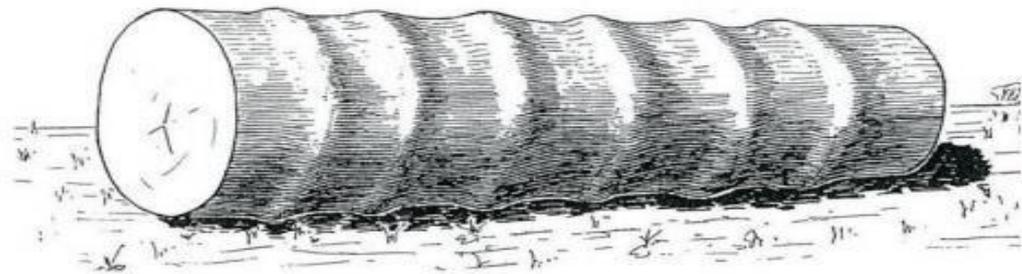


Figure 2.13: Tronc d'une grume cannelée (ATIBT., 2001).

II.3.6. Altérations.

II.3.6.1 Altérations zoologiques.

L'aubier de la grume contient de l'amidon qui attire les insectes xylophages qui font des galeries dans le bois entraînant des altérations.

⁸ Les cernes sont les couches de croissance annuelles du bois.

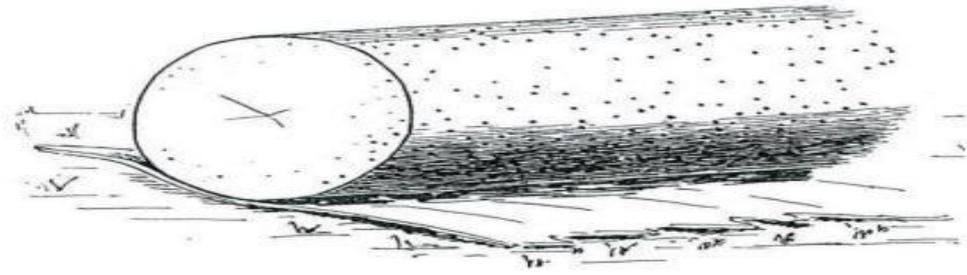


Figure 2.14: Piqures d'insectes sur le roulant d'une grume (ATIBT., 2001).

II.3.6.2. Altérations fongiques.

L'altération de l'un ou de tous les éléments constitutifs (cellulose, lignine et hémicellulose) du bois entraîne une modification profonde de sa composition chimique, qu'il s'agisse de bois sur pied, débité ou mis en œuvre, sous l'action de champignons parasites et surtout de bactéries. Il y a changement de consistance et de coloration ; lorsque la cellulose est d'abord consommée, on a des pourritures brunes et rouge ; si la lignine disparaît d'abord on aura une pourriture blanche. La pourriture entraîne beaucoup de perte lors du sciage et voir même un déclassement de la grume (Bricoler., 2012).

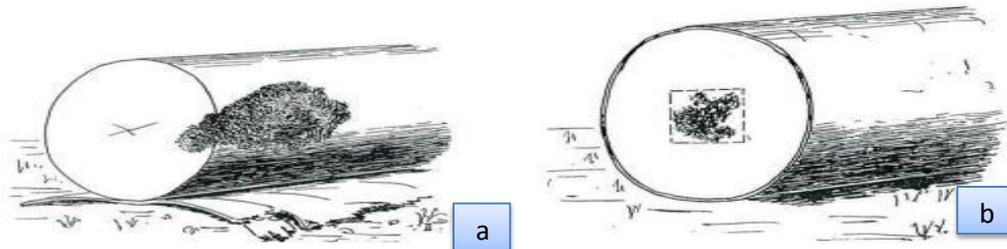


Figure 2.15: Pourritures sur le roulant (a) et dans le cœur (b) d'une grume.

Ces défauts que présentent les grumes, dus pour la plupart aux caractéristiques internes, aux conditions de la végétation, aux mauvais traitements des grumes et autres facteurs ; affectent les opérations de sciages et dans une certaine mesure le rendement au sciage.

II.4. Sciage du bois et son rendement.

Le sciage est un ensemble d'opérations qui aboutit à l'obtention de deux produits : les sciages (débités ou pièces) et les résidus de sciage. Une commande de sciage nécessite, de la part de l'utilisateur, l'établissement d'un cahier de charge comportant notamment les dimensions de sciages souhaités (section et la longueur) et l'humidité prescrite. Pour un bon respect des clauses du cahier de charge, les indices d'appréciation de la qualité du bois (bois présentant moins de défauts) doivent être prises en compte afin d'évaluer non

seulement la performance au sciage des machines ou des scies, mais aussi le rendement matière par rapport à la quantité de bois perdue (Dalois., 1990). L'opération de sciage est le premier stade de la filière de transformation du bois d'œuvre en tant que matériau industriel, ce qui lui confère une place prépondérante dans le processus de valorisation du bois en étant l'interface entre la forêt, l'artisan et l'industrie. Du point de vue économique, les scieries, opérant la première intervention industrielle sur les bois, sont des entreprises de première transformation du bois (Pinta., 2014). Produisant des biens intermédiaires, leur fonction essentielle est de valoriser une matière première hétérogène de par son origine naturelle, en vue d'offrir aux entreprises dites de deuxième transformation, placées en aval, des produits qualifiés par leurs choix et caractérisés par leurs dimensions, voire dans certains cas par des aptitudes mécaniques. Ainsi donc, du parc à grumes aux produits souhaités après sciage, le bois passe par plusieurs phases avec différents modes de sciage (Dalois., 1990).

II.4.1. Phases de sciage du bois.

Après la réception de la grume au parc entrée usine et le tronçonnage, le sciage se classe en plusieurs phases :

- Le sciage premier débit : c'est la première division longitudinale des billes que l'on effectue avec la scie de tête (une scie à ruban verticale, horizontale ou inclinée) ou une scie mobile de la scierie. Tout au long du débitage, on cherche à éliminer au maximum les défauts (aubier, contrefort, bosse, pourriture...) de bois pour que les planches ou produits débités soient les plus sains possibles ;
- Le sciage second débit : c'est la reprise des pièces produites par le sciage premier débit, afin d'obtenir des avivés de différentes sections. On l'appelle aussi le sciage de reprise. Il comprend les opérations suivantes : - Délignage pour la mise en largeur par une déligneuse mono ou multi lame ; - Dédoublage pour un sciage de division en trait haut ; - Eboutage pour une mise en longueur permettant d'éliminer des chutes d'éboutage contenant le plus souvent les fentes, fractures et d'autres défauts en bout ;
- Le sciage de finition : ce sciage ne se pratique pas dans les scieries mais dans les ateliers de menuiserie, d'ébénisterie, de charpenterie pour donner aux pièces de bois une forme définitive. Ces opérations au sciage nécessitent une manutention adéquate des grumes (chariot élévateur, palan, tapis roulant...) ; qui sert à soulever, déplacer ou transporter mécaniquement les sciages (Dalois., 1990). L'industrie de

première transformation se limite au second débit, les produits obtenus sont empilés, colisés et cubés ; ce qui permet de calculer le rendement au sciage.

II.4.2. Rendement au sciage.

Le rendement matière des scieries au Cameroun est passé de 33 % en moyenne en 1998 à 37 – 38 % actuellement (Karsenty *st al.*, 2006). Il est très variable d'une scierie à une autre et est influencé par les éléments ou paramètres suivant :

- ❖ L'état et la qualité de l'affûtage des scies : lorsque l'outil de coupe est bien affûté, il transforme la matière ligneuse en sciure lors de son passage ; la sciure obtenue est la plus fine possible et permet ainsi de limiter la perte de matière et donc d'augmenter le rendement (Simonin., 2010). Ainsi donc, une lame de scie bien affûtée diminue non seulement l'effort de coupe, mais aussi, permet d'obtenir des pièces bien droites aidant à mieux apprécier les défauts de bois et à les éliminer de manière précise ; La qualité de la grume ou du billon à débiter : elle a une grande importance car le sciage consiste à transformer le bois (grumes) pour lui donner une forme régulière en éliminant les défauts selon les spécifications de la commande. Donc plus la bille est de bonne qualité, moins il y aura des défauts à éliminer lors du sciage, plus le rendement matière est élevé (Plouvier et *al.*, 2002) ;
- ❖ Le type de contrat : le rendement est également influencé par le type de contrat car l'un accepte les pièces de premier, deuxième et même parfois de troisième choix tandis que l'autre ne prend en compte que des pièces de premier choix donc exemptes de tous les défauts visibles. On distingue généralement trois types de contrat (AITBT., 2001) :
 - Les contrats FAS (First And Second) dans lesquels on retrouve les pièces du premier choix (exemptes de tout défaut visible) et une partie des pièces du second choix remplissant les conditions suivantes : aubier sain et flache exclus, fil droit (pente ≤ 3 %), nœuds dont le diamètre maximal ou la somme des diamètres ne dépasse pas le 1/3 de la face sur laquelle ils apparaissent ;
 - Les contrats AIC qui sont moins exigeants et acceptent certains défauts (conditions : aubier sain exclu dans les découpes ; admis sur une rive et une face et ne dépassant pas le 1/5 de la largeur de cette face ; flache exclue ; pente générale du fil ≤ 6 % ; nœuds dont le diamètre max ou la somme des diamètres ne dépasse pas le 1/3 de la largeur de la face sur laquelle ils apparaissent) ;
 - Les contrats locaux qui sont les plus tolérants car ils acceptent les pièces du troisième choix voir même du quatrième choix. Ils acceptent des défauts que les

autres commandes rejettent (condition : aubier sain admis dans les découpes nettes sur une rive et une face et ne dépassant pas le $\frac{1}{4}$ de cette face ; flache tolérée sur une ou deux arêtes d'une seule face à condition que : - la (les) largeur(s) cumulée(s) sur les deux arêtes ne dépasse pas 10 % de la largeur de la face ; - la longueur maximale ou les longueurs cumulées sur les deux arêtes ne dépasse pas 20 % de la longueur de la pièce. Flache exclue des découpes nettes et ne dépassant pas la moitié de l'épaisseur de la pièce ; pente générale du fil ≤ 9 % ; nœuds dont le diamètre max ou la somme des diamètres ne dépasse pas le $\frac{1}{3}$ de la largeur de la face sur laquelle ils apparaissent (AITBT., 2001) ;

- ❖ La qualification du personnel et la manutention : elle est importante et intervient à tous les niveaux de la chaîne de production des débités ; du chargement de la grume sur la scie de tête à la livraison du produit fini au client. C'est le personnel qui manipule le bois et des pertes peuvent être dues à la mauvaise manutention. Un billon mal placé sur le chariot de la scie de tête, ou un débitage mal engagé à une scie mobile entraîne une bonne perte de bois qui est coupé avec les dosses, un non-respect de clauses (dimensions des débités) de contrat entraîne également une perte énorme. Il est donc nécessaire d'avoir un personnel qualifié et une bonne manutention.

Cette revue de la littérature a permis de s'imprégner de la chose pour pouvoir mieux réaliser les activités à l'Ets ARAFAT.COM Sarl. Il est important avant de présenter les différents résultats de pouvoir décrire la méthodologie qui a été utilisée pour collecter et analyser les données ainsi que l'état de l'environnement global dans lequel s'est effectuée cette étude.

CHAPITRE 3 : MATÉRIEL ET MÉTHODES

III.1. Présentation de la zone d'étude.

III.1.1. Localisation de la structure.

Le choix de la structure pour mener cette étude porte sur une industrie de transformation de bois, notamment la scierie Ets ARAFAT.COM à Ébolowa. Situé dans la région du Sud, dans le département de la Mvila et dans l'arrondissement d'Ébolowa 2^{ème} ; c'est une usine de première transformation du bois spécialisée dans la production des débités dans toutes les dimensions conventionnelles. Elle est située au quartier dit « Saint Cloud » dans un domaine clôturé d'une superficie de deux (2) hectares dont la géoréférence en coordonnée GPS UTM donne : 2°54'21''N et 11°09'21''E. La figure 3.1 montre le plan de localisation de la société Est ARAFAT.COM Sarl.

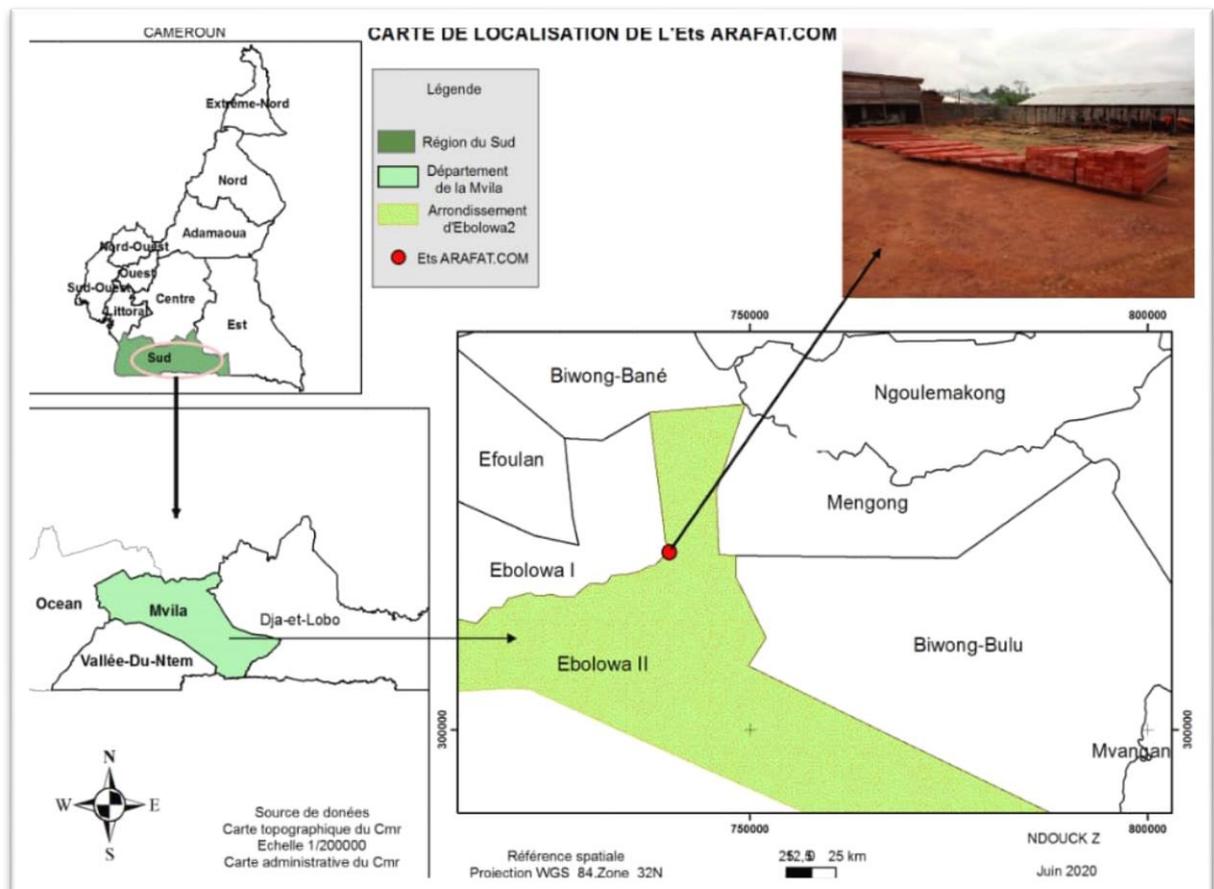


Figure 3.1: Localisation de l'UTB 'Ets ARAFAT.COM' à Ébolowa.

III.1.2. Historique de la structure d'accueil.

L'Ets ARAFAT.COM est une entreprise embryonnaire de droit Camerounaise spécialisée dans la transformation de bois. Elle a été créée le 15 février 2019 à Ébolowa. Il est enregistré au MINFOF en qualité d'exploitation et première transformation du bois à travers ses VC dans les forêts communautaires et communales. Son siège social est à Douala et sa boîte postale est BP : 13096 Douala. Cette entreprise régie par le traité de l'OHADA du 27 avril 1997 a pour objectifs de : lutter contre le chômage, de participer à l'accroissement du tissu économique du pays, la transformation et l'export du bois. Sa formule juridique est société anonyme à responsabilité limitée (SARL) et est immatriculée au registre du commerce et du crédit mobilier (RCCM).

III.1.3. Organigramme de la scierie.

La scierie est subdivisée en plusieurs équipes avec chacun à leur tête un chef d'équipe comme le présente l'organigramme à la figure 3.2 :

- Une équipe qui se charge de l'abattage et le débitage des grumes en forêt dirigée par un chef de production ;
- Une équipe chargée de la transformation du bois, de la production et du cubage des débités dirigée par le chef de production ;
- Une équipe d'affûtage des lames dirigée par le chef de production ;
- Une équipe d'entretien et maintenance des engins, maintenance électrique et des machines de scierie dirigée par un chef de maintenance.

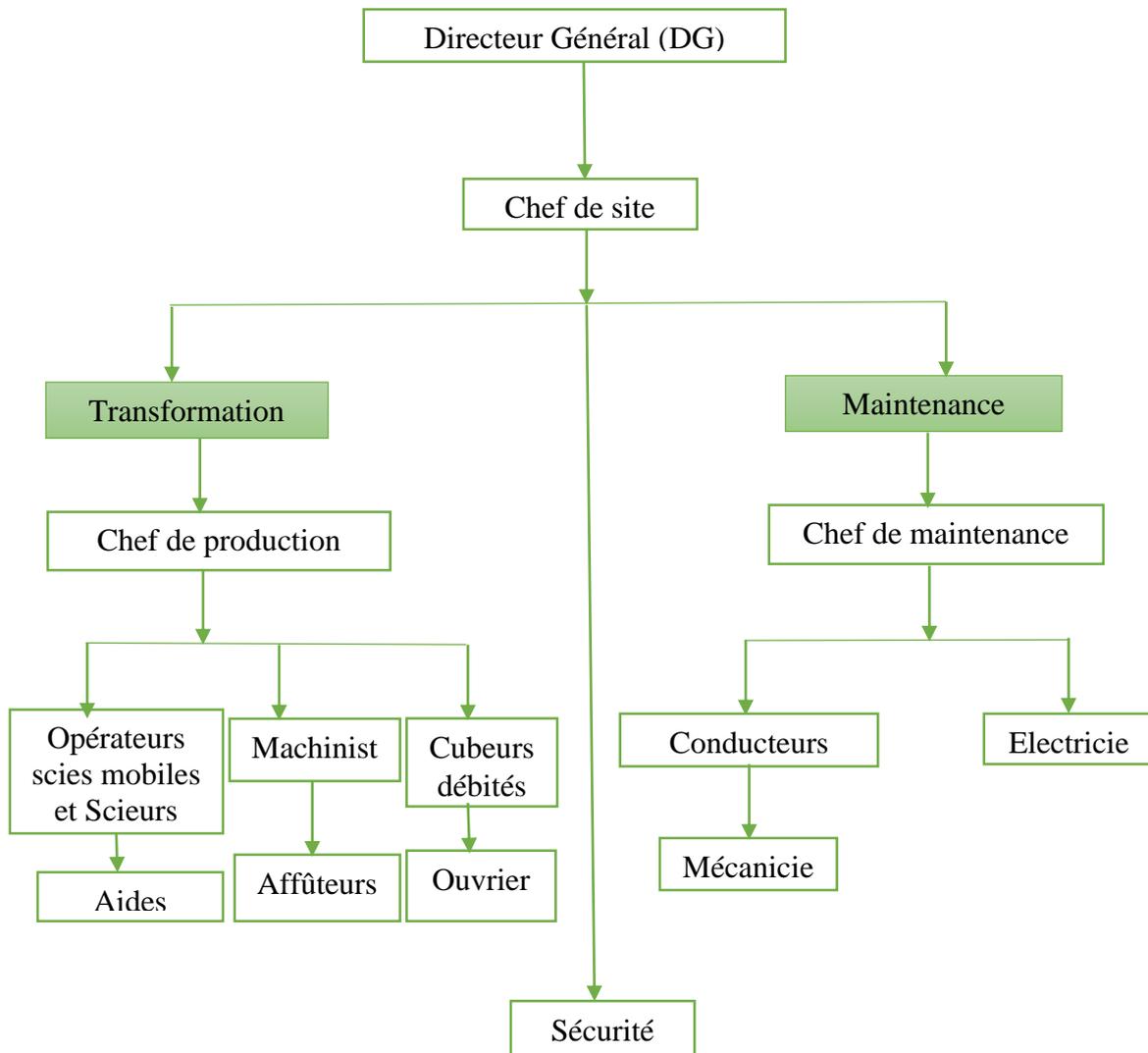


Figure 3.2: Organigramme de l'Etat ARAFAT.COM

III.1.4. Fonctionnement de la structure.

III.1.4.1. Approvisionnement.

La société dispose de ventes de coupe dans des forêts communautaires et communale de la Mvila où elle s'approvisionne en bois. Elle achète aussi du bois scié localement chez des particuliers. Les espèces (essences) les plus exploitées sont : l'Azobé, le Tali, le Dabema, Padouk, Iroko, Sapelli, Kotto, Ayous, Movingui, Doussié, Pachy...

III.1.4.2. Transformation.

La scierie comporte des équipements suivants :

- Des scies à chaînes ;
- Une Lucas Mill mobile et une scie mobile de marque Eco Pro ;
- Deux dégauchisseuses ;
- Deux déligneuses mono lame ;
- Deux raboteuses ;
- Trois ébouteuses ;
- Un générateur de secours, un Mani-tout, un tracteur à fourches, un chariot élévateur...

Son organisation, ses équipements ainsi que l'expertise de ses employés ont permis de porter le choix de la structure en adoptant une méthodologie bien définie.

III.2. Collecte des données.

Cette évaluation a porté sur 45 billes de différentes familles et ayant toutes un DME (Diamètre Minimum d'Exploitation). Elles ont été usinées pendant la période de collecte de données à l'Ets ARAFAT.COM. Le tableau I ci-dessous présente les essences étudiées.

Tableau I : Essences étudiées.

Essences	Noms scientifiques	Famille	DME (cm)	Nombres
Padouk	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	Fabaceae	100	10
Doussié	<i>Azelia bipindensis</i>	Fabaceae-caesalpinioideae	90	6
Iroko	<i>Milicia excelsa</i>	Moraceae	100	9
Koto	<i>Pterygota macrocapa</i>	Malvaceae	60	5
Ayous	<i>Triplochiton scleroxylon</i>	Malvaceae	80	8
Sapelli	<i>Entadrophragma cylindricum</i>	Meliaceae	120	7

Les données ont été collectées durant la période allant du 30 Mars au 15 Mai 2020. Outre la méthode documentaire qui a permis de recueillir des données secondaires relatives à la transformation du bois au Cameroun, à la description des défauts des bois ainsi que d'autres informations susceptibles d'enrichir ce travail, la collecte des données primaires s'est effectuée dans la scierie Ets ARAFAT.COM. Pour cela des entretiens et des observations ont été principalement faites à chaque poste de l'unité de transformation ainsi que la prise de mesures sur les billes, les débités et les rebuts de bois. Successivement, la démarche a consisté à :

III.2.1. Détermination des volumes de bois perdus suite aux défauts.

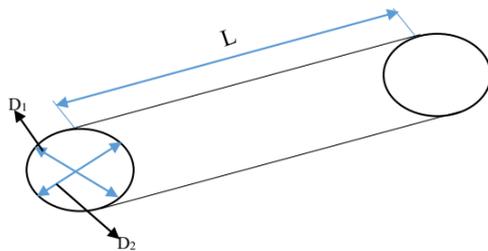
III.2.1.1. Identification des défauts sur les grumes.

L'intérêt a été porté aux défauts qui attirent l'attention des opérateurs au sciage, aussi susceptible d'entraîner les pertes en volume. Le pourcentage d'un défaut pour une essence a été trouvé à l'aide du rapport du nombre de billons identifiés avec ce défaut sur le nombre total des billons analysés pour cette essence durant toute la période de l'étude. L'équation (3.1) donne la formule utilisée.

$$\% \text{ d'un défaut} = \frac{\text{Nombre de billon de l'essence avec ce défaut}}{\text{Nombre de billon totale de l'essence}} \quad (3.1). \quad (\text{Tchuenté et Ngueho., 2003}).$$

III.2.1.2. Prise des dimensions et cubage des billes avant sciage.

Au cours du temps impartis pour la collecte des données, les essences de Padouk, Doussié, Iroko, Koto, Ayous et Sapelli ont été sciées suivant les différents contrats reçus par le chef de production. Avec un décimètre et un mètre à ruban, respectivement la longueur et quatre prises de diamètres en raison de deux prises perpendiculaires à chaque bout ont été mesurés pour chaque bille. Ensuite, le diamètre moyen a été trouvé. La figure 3.3 présente le croquis de prise de mesures.



$$D_M \text{ (cm)} = \frac{D_1 + D_2}{2} \quad (2.2)$$

(Tchuenté et Ngueho., 2003)

Figure 3.3: Croquis de prise de mesures sur une grume.

Les diamètres ont été mesurés avec aubier et sous aubier afin de déterminer le diamètre moyen avec aubier (D_{AA}) et sous aubier (D_{SA}). Les volumes avec aubier (V_{AA}) et sous aubier (V_{SA}) ont été calculés en utilisant les formules (3.3) et (3.4) ci-dessous :

$$V_{AA} \text{ (m}^3\text{)} = \frac{\pi}{4} ((D_{AA})^2)L \quad (3.3) \quad (\text{Tchuenté et Ngueho., 2003}).$$

$$V_{SA} \text{ (m}^3\text{)} = \frac{\pi}{4} ((D_{SA})^2)L \quad (3.4) \quad (\text{Tchuenté et Ngueho., 2003}).$$

Les fiches de stock des billes et les fiches de billonnages ont été utilisées pour la collecte des données. Un stylo et un crayon ont permis de noter toutes les informations nécessaires.

III.2.1.3. Prise de dimensions et cubage des débités et des bois perdus suite aux défauts.

Pour les produits du sciage (débités), on a procédé au mesurage à l'aide d'un ruban métrique ; la longueur, la largeur et l'épaisseur, ainsi qu'au comptage du nombre des pièces par longueur, largeur et épaisseur que constituait un colis. Le volume a été déterminé à l'aide de la formule (3.5) suivante :

$$V \text{ (m}^3\text{)} = L \times l \times e \times N \quad (3.5) \quad (\text{Tchuenté et Ngueho., 2003}).$$

Où L est la longueur (m), l est la largeur (m), e est l'épaisseur (m) et N le nombre de pièces.

La même méthodologie a été adoptée pour mesurer les rebuts de scierie dus aux fentes et aux pourritures. Le volume de bois perdus suite à ces défauts a été calculé à l'aide de la formule (3.5).

On utilisait ici la fiche de cubage des débités pour enregistrer toutes les données collectées ainsi qu'un stylo à bille et un crayon.

III.2.2. Détermination des rendements exports et locaux.

III.2.2.1. Rendement au sciage.

Pour chaque billon tronçonné, la transformation a été suivie, ce qui a permis de mesurer les dimensions des débités obtenus. Ces débités ont été ensuite triés, le premier et le second choix étaient mis dans les colis destinés à l'exportation et selon les clauses du contrat, les pièces du troisième choix étaient destinées aux colis qui sont vendus sur le marché local. À la fin, une fiche de spécification était élaborée dans laquelle, était marquée le volume de chaque colis et le volume total de tous les colis formés avec les pièces obtenues par l'usinage des billes d'une essence. Ceci permettait d'évaluer le rendement export et local de chaque essence.

III.2.2.2. Quantité moyenne de déchets.

Après colisage et cubage des produits, le volume sorti (V_{sorti}) permettait d'évaluer la quantité de déchet.

III.2.3. Proposition de solutions pour remédier à ce problème et méthodes de valorisation.

Pour proposer des solutions à ce problème de perte de bois et pour établir une stratégie de valorisation des rebuts de bois inévitables ; des entretiens et des enquêtes par questionnaire ont été effectuées. Les entretiens ont consisté essentiellement en des rencontres avec le chef de site, le chef de production, le chef d'équipe de débitage et le chef machiniste. Également des entretiens couplés ont été effectués avec le chef de production et le chef d'équipe de débitage d'une part et entre le chef de production et le chef machiniste d'autre part. L'objectif de ces entretiens était d'apprendre en profondeur, sur le processus de production de la scierie, les causes d'une importante perte due aux défauts de bois, les solutions pour limiter les pertes, définir des axes et des objectifs de la stratégie de valorisation des rebuts. À côté de ces séances de travail, il y avait une enquête par questionnaire pour évaluer individuellement et anonymat certaines causes de dysfonctionnement entraînant les pertes de bois. L'objectif de l'enquête par questionnaire est d'avoir le point de vue des acteurs sur la nécessité d'application d'une méthode de valorisation et d'une démarche d'amélioration de la production.

III.3. Analyse des données.

Les logiciels Microsoft Word 2013 et Microsoft Excel 2013 ont été utilisés pour le traitement et l'analyse des données. Le logiciel ArcGis 10.5 a permis de confectionner la figure 3.1 de la zone d'étude. Le logiciel Edraw max a été utilisé pour tracer le diagramme des causes à effet.

III.3.1. Analyse du volume de bois perdu suite aux défauts.

III.3.1.1. Volume moyen aubier.

Pour chaque bille des essences usinées, le D_{AA} et le D_{SA} ont été mesurés. Ceci permettait de calculer le volume avec aubier (V_{AA}) et le volume sous aubier (V_{SA}). La différence de V_{AA} et V_{SA} donne le volume aubier (V_{aubier}) de chaque bille. La moyenne a été trouvée pour chaque essence en divisant la somme des volumes aubiers de ladite essence par leur nombre. Enfin, on a également trouvé en moyenne, le pourcentage du volume aubier par rapport au volume de la bille (V_{AA}) :

$$\blacktriangleright V_{aubier} = V_{AA} - V_{SA} \quad (3.6) \quad \text{et} \quad \%_{aubier} = \frac{V_{aubier}}{V_{AA}} \quad (3.7)$$

(Tchuenté et Ngueho., 2003).

L'expression $\left(\frac{V_{AA} - V_{SA}}{V_{AA}}\right) \times 100$ (3.8) donne le pourcentage du volume

aubier par rapport au volume de la bille (V_{AA}), (Tchuenté et Ngueho., 2003).

III.3.1.2. Analyse du volume de bois perdu suite aux fentes et pourritures.

Pour chaque pièce déclassée à cause de son état de détérioration suite aux pourritures, les dimensions (longueur, largeur et épaisseur) ont été mesurées, ce qui a permis d'estimer la quantité de bois perdu suite aux pourritures.

Pour des pièces avec des fentes en bout qui ont été coupées lors de l'éboutage, les chutes d'éboutage ont été évaluées pour estimer la quantité de bois perdu suite aux fentes/fractures. Les pièces rejetées à cause d'importantes fentes et pourritures ont aussi été évaluées.

Ensuite, le volume des pièces rejetées (V_{di}) était calculé pour chacun des défauts et a été fusionné (normé volume de déchets (V_d) des fentes et pourritures). Le rapport V_d/V_{AA} donne la proportion des déchets provenant de ces défauts.

III.3.2. Méthode d'analyse du rendement et de la quantité moyenne de déchets au sciage.

III.3.2.1. Analyse du rendement au sciage.

Les rendements (Rdt) étaient trouvés à l'aide de la formule (3.9) ci-dessous :

$$\text{Rdt \%} = \left(\frac{\sum \text{volume des colis}}{\sum V_{AA}}\right) \times 100 \quad (3.9). \quad (\text{Tchuenté et Ngueho., 2003}).$$

Par cette formule, les rendements locaux et exports ont été déterminés et additionnés pour trouver le rendement total.

III.3.2.2. Estimation de la quantité moyenne de déchets.

Le volume des déchets a été estimé à la fin du sciage par la formule (3.10).

$$V_{\text{déchets}} = V_{AA} - V_{\text{sorti}} \quad (3.10). \quad (\text{Tchuenté et Ngueho., 2003}).$$

Ceci permettait d'estimer le pourcentage moyen des déchets par la formule (3.11).

$$\%_{\text{déchets}} = \frac{V_{AA} - V_{\text{sorti}}}{V_{AA}} \quad (3.11). \quad (\text{Tchuenté et Ngueho., 2003}).$$

III.3.3. Analyse des propositions de solutions pour remédier à ce problème de perte de bois et stratégie de valorisation.

III.3.3.1. Analyse des causes entraînant des pertes dues aux défauts de bois : diagramme d'Ishikawa⁹.

Il s'agit d'un outil permettant d'analyser les grandes catégories de causes pour parvenir à un effet particulier. Cette méthode utilise une représentation graphique (diagramme) pour matérialiser de manière structurée le lien entre les causes et leur effet (défaut, panne, dysfonctionnement...). Ce qui lui a valu les appellations de « diagramme en arêtes de poisson » ; « diagramme de causes et effets » (Cadic, 2014). Cette étude a été limitée aux 5M : matière, milieu, méthodes, matériels, main-d'œuvre.

Une variante du diagramme est un diagramme structuré autour des « 6M » qui ajoute aux 5 domaines précédents celui de la « Mesure » : les causes correspondant à des biais ou des erreurs liées aux indicateurs utilisés pour chiffrer le phénomène à analyser.

Les entreprises de service utilisent une version étendue avec l'introduction du « 8M » qui rajoute à la précédente les catégories « Management » (qui peut être considérée comme incluse dans la catégorie « Main-d'œuvre ») et « Moyens financiers » (Cadic, 2014).

Une caractéristique peut également être ajoutée dans les univers de production avec un neuvième « M », celui de « Maintenance ». En effet, un équipement peut donner satisfaction à l'état neuf, être correctement homologué, répondre aux besoins pour lesquels il a été installée... mais un manque de maintenance au cours du temps peut être à l'origine de défauts, pannes, dysfonctionnements, etc. on note également que la maintenance est une combinaison de « Main-d'œuvre », « Méthode » et « Matériel » (Cadic, 2014).

⁹ Cet outil a été créé par Ishikawa, professeur à l'Université de la TOKYO dans les années 60 et concepteur d'une méthode de management de la qualité totale. Le diagramme cause-effet est une représentation graphique du classement par famille de toutes les causes possibles pouvant influencer un processus. Ce diagramme au départ limité à 5M a été étendu à un « diagramme à 7M » qui prend le Management et les Moyens financiers, mais l'objectif restant inchangé (Cadic, 2014).

Cet outil a permis d'analyser toutes les causes pouvant entraîner une perte de bois causées par les défauts afin de mieux orienter les propositions d'améliorations et de valorisation.

III.3.3.2. Proposition de solution.

Selon les résultats obtenus, il a été proposé à la société des moyens correctifs pour diminuer les pertes et optimiser le rendement matière. Les méthodes de valorisation proposées sont la valorisation matière et la valorisation énergétique.

❖ Valorisation matière.

Pour donner une valeur aux résidus de bois, on a contribué à la production des lattes, chevrons, frises et palettes.

❖ Valorisation énergétique.

Elle a été proposée sur la base des travaux menés antérieurement au sein de l'unité de transformation sur la carbonisation des rebuts de bois de scierie.

CHAPITRE 4: RÉSULTATS ET DISCUSSION

IV.1. Détermination des volumes de bois perdus suite aux défauts.

IV.1.1. Identification des défauts sur les billes entrées en zone de débitage pendant l'étude.

Les défauts identifiés sont les pourritures, nœuds et bosses, contreforts ou empattements, roulure, courbure, fentes et fractures, cœur excentré, conicité et enfin présence de l'aubier. Chaque bille avant d'entrer à l'usine est tronçonnée suivant les longueurs du contrat plus la surcote : on obtient alors des billons faciles à manœuvrer avec les machines disponibles. Dans ce tableau sont consignés les pourcentages des différents défauts identifiés sur les billons de chaque essence tronçonnée au parc zone de débitage lors de l'étude.

Tableau II : Pourcentage des défauts identifiés par essence sciée.

Essences		Padouk		Doussié		Iroko		Koto		Ayous		Sapelli		Moyenne (%)
Nombre de billons	Pourcentage	32	%	16	%	36	%	21	%	18	%	21	%	
Défauts														
Contreforts ou empattements		5	15,62	0	0	6	16,67	4	19,05	6	33,33	2	9,52	18,84
Nœuds et bosses		2	6,25	9	56,25	13	36,11	6	28,57	2	11,11	9	42,86	30,19
Courbures		8	25	3	18,75	9	25	0	0	1	5,55	3	14,28	17,72
Conicité		9	28,12	5	31,25	11	30,55	4	19,05	6	33,33	5	23,81	27,68
Roulure		0	0	5	31,25	4	11,11	3	14,28	0	0	3	14,28	17,73
Fentes, fractures d'abattage		15	46,87	8	50	29	80,55	20	95,24	15	83,33	17	80,95	72,82
Pourriture		2	6,25	6	37,5	15	41,67	15	71,43	11	61,11	6	28,57	41,09

Il apparait du tableau II que les fentes/fractures sont présentes chez toutes les essences avec un pourcentage élevé en moyenne, soit 72,82%. Ces fentes sont dues au fait que les billes passent assez de temps au parc zone de débitage avant d'être débitées et sous l'effet de la chaleur les fibres se fendillent en bout. Les cas de pourriture étaient importants après les fentes et fractures, soit en moyenne 41,09% identifiée chez tous les essences ; avec un pourcentage élevé chez le Koto (71,43%) et Ayous (61,11%) car ce sont des bois à aubier non différencié facilement et qui résistent peu aux champignons de pourriture. Suivra les nœuds et bosses soit une moyenne de 30,19% ; la conicité (27,68%) ; contrefort (18,84%) ; en fin la roulure et courbure (17,73%). Ces résultats sont

similaires à ceux obtenus par Mwamba (2014), qui lors d'une étude sur le rendement matière au sciage à la BMC, estimait à plus de 50 % les billons ayant les défauts avant leur entrée en usine.

La probabilité de rencontrer les défauts chez les essences usinées est grande. Ces billes suivent un ensemble d'opérations qui aboutissent à l'obtention des produits finis respectant les clauses du contrat et d'énormes quantités de déchets dues aux défauts de bois sont générées.

IV.1.2. Évaluation du volume moyen de l'aubier.

Les billes ont été cubées avec aubier et sous aubier, la différence entre le volume avec aubier (V_{AA}) et le volume sous aubier (V_{SA}) a donné le volume aubier (V_{aubier}) de chaque essence usinée. Les données brutes concernant ces résultats sont présentées en annexe 4 et 5. Le pourcentage moyen du volume aubier ($((V_{aubier}/V_{AA}) \times 100)$) de chaque essence est présenté dans le tableau III.

Tableau III : Pourcentage moyen du volume aubier des essences sciées.

Essences	Padouk	Doussié	Iroko	Koto	Ayous	Sapelli
% du volume aubier	19,69	7,84	12,30	0	0	7,39
% moyen du volume aubier	11,80					

Ce tableau III montre que, quatre des essences sciées ont présenté un volume aubier important. Le plus élevé des volumes a été constaté chez le Padouk (19,69%), suivi de l'Iroko (12,30%), Doussié (7,84%) et enfin le Sapelli qui a présenté le moins élevé (7,39%). Soit une moyenne de 11,80%. Il est remarqué également que les essences Koto et Ayous ont des aubiers non différenciés du duramen (bois parfait) typique des blancs.

Ce résultat est similaire à celui trouvés par Tassi (2015) dans une étude sur l'analyse des déchets du bois générés à la scierie BMC Sarl. Lors de cette étude, il a trouvé que le pourcentage moyen du volume aubier de l'Iroko était supérieur à celui du Sapelli. Par ailleurs le pourcentage moyen du volume aubier du Doussié¹⁰ est largement inférieur à celui du Pachyloba¹¹ trouvé par Yonga (2019). Ceci est due au fait que le Doussié a une

¹⁰ De la famille de l'Azelia, le Doussié a un duramen brun rouge fonçant à la lumière.

¹¹ Généralement appelé Pachy, le Pachyloba est de la famille de l'Azelia et a un duramen moins rouge et moins foncé.

proportion d'aubier sur la bille de l'ordre de 3 à 6 cm d'épaisseur, or le *Pachyloba* a une proportion en épaisseur d'aubier largement supérieur à celui du Doussié, justifié par un pourcentage moyen du volume aubier de 31,83 % trouvé par Yonga lors de son étude.

IV.1.3. Évaluation du volume perdu du aux fentes et pourriture.

Les pertes en volume dues aux fentes/fractures et pourritures ont été évaluées pour les essences sciées. Les données brutes concernant les volumes perdus pour les fentes et pourritures sont mentionnées en annexe 4. La figure 4.1 donne la proportion des déchets due à ces défauts par rapport au volume avec aubier de la grume (V_{AA}).

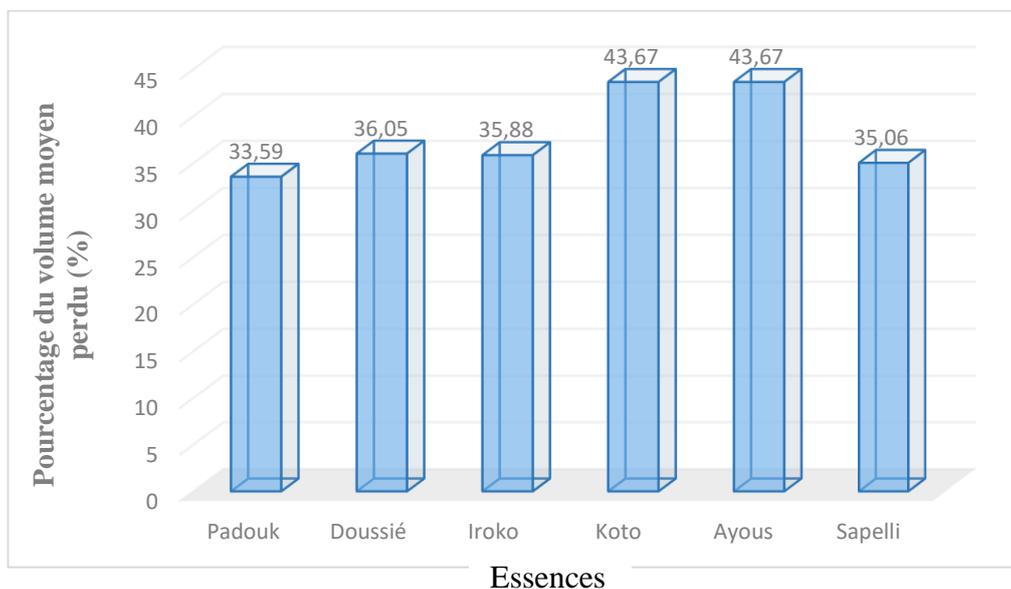


Figure 4.1: Proportion des déchets provenant des fentes et pourritures.

De la figure 4.1, il est révélé que le Koto et l'Ayous avaient présenté une plus grande proportion en fentes et pourritures soit (43,67%), suivi du Doussié (36,06%), Iroko (35,88%), Sapelli (35,06%) et enfin le Padouk (33,59%). Soit une moyenne de 37,99% du volume total avec aubier des billes usinées. Ces résultats sont supérieurs à ceux trouvés respectivement par Nsimba (2013) et Yonga (2019) lors de leur étude respectif à la SODEFOR et la BMC en ce qui concerne les essences Koto et Ayous.

Le pourcentage élevé de volume de bois perdu à cause des pourritures et les fentes des essences Koto et Ayous s'explique par le fait que ce sont des essences de faibles densités et facilement attaquables par les insectes xylophages et les champignons de pourriture. Ces pertes importantes influencent le rendement au sciage de bien de matière.

IV.2. Détermination du rendement et de la quantité moyenne de déchets au sciage.

IV.2.1. Détermination du rendement total au sciage.

Le sciage de chaque essence permettait d'exécuter un nouveau contrat ou de compléter un ancien. À la fin des opérations, les débités sont triés selon le premier, deuxième et troisième choix ; ensuite ils sont colisés, ce qui a permis de calculer le volume des produits obtenus, selon que le colis est destiné pour l'export (premier et second choix) ou bien pour le marché local (troisième choix). Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau suivant.

Tableau IV : Volumes moyens bruts et sciés des essences transformées.

Essences	Padouk	Doussié	Iroko	Koto	Ayous	Sapelli
	Volume (m ³)					
Volume moyen avec aubier (V _{AA})	89,759	45,371	82,109	44,644	63,534	83,040
Volume sortie export (V _{s export})	29,099	14,927	24,599	28,667		21,673
Volume sortie local (V _{s local})	3,752	2,745	8,227	20,738		10,737
Volume des déchets (V _d)	56,908	27,699	49,283	58,773		50,630

Ces différents volumes ont permis de calculer les rendements. Le tableau V met en exergue les rendements moyens exports, locaux et totaux des essences sciées.

Tableau V : Rendements matières au sciage.

Essences	Padouk	Doussié	Iroko	Koto	Ayous	Sapelli
	Rendements (%)					
Rendement export	32,42	32,90	29,96	26,50		26,10
Rendement local	4,18	6,05	10,02	19,17		12,93
Rendement total	36,60	38,95	39,98	45,67		39,03
Quantité moyenne de déchets	63,40	61,05	60,02	54,33		60,97

Il ressort du tableau V que le rendement total au sciage pour toutes les essences est faible. Les valeurs des rendements locaux pour l'Iroko et le Sapelli sont légèrement supérieur de celles trouvées par Yonga (2019) dans une étude similaire à la BMC soit 9,09% pour l'Iroko et 9,80% pour le Sapelli. Ces résultats concordent également à ceux obtenus par Mwamba (2014), qui avait révélé que l'essence Sapelli avait un rendement

local plus élevé que l'Iroko. Tassi (2015) a trouvé que le Sapelli avait un rendement export supérieur à celui de l'Iroko. Contrairement, cette étude montre que l'essence Iroko a un rendement export supérieur à celui du Sapelli. Cette différence peut être expliquée par la variation de la demande selon le temps, la divergence de la demande selon les besoins des clients et surtout à la différence des qualités des billons usinés (défauts).

Les essences sciées ont présenté un rendement total moyen au sciage inférieur à 45%. Le rendement le plus élevé est rencontré chez les essences Koto et Ayous qui formaient un seul contrat (45,67%), suivi de l'Iroko (39,98%), Sapelli (39,03%), Doussié (38,95%) et enfin le Padouk (36,60%). Soit une moyenne de 40,04% et une production de déchets équivalente à 59,96%. Ce résultat ne concorde pas avec les données de Karsenty et al (2006), qui estiment que le rendement moyen au sciage au Cameroun varie de 37 à 38 % pour une usine de première transformation qui ne fait pas de récupération. Mais ce rendement peut aller jusqu'à 45 % pour une scierie récupérant les produits connexes pour d'autres fins. Le faible taux de rendement au sciage à l'Ets ARAFAT.COM est influencé par la qualité des billons usinés (présence des défauts).

IV.2.2. Estimation de la qualité moyenne de déchets au sciage.

Le pourcentage des déchets dus aux pourritures, aux fentes/fractures et à la présence de l'aubier par rapport au volume avec aubier pour chaque essence est présenté dans la figure 4.2.

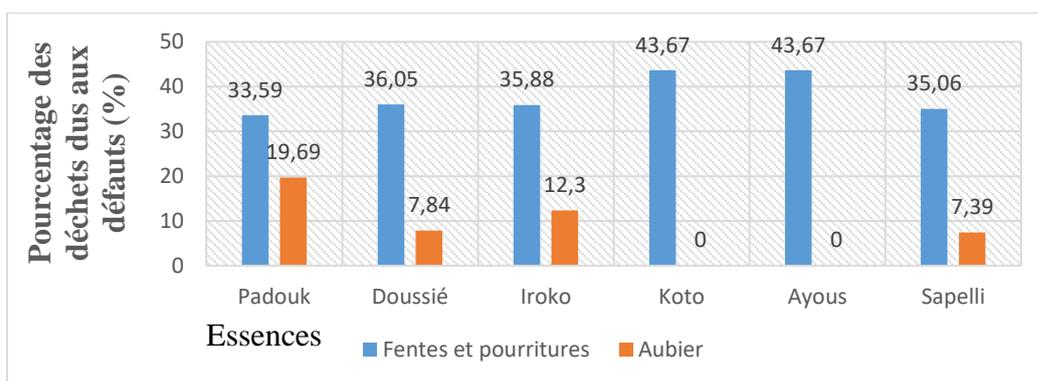


Figure 4.2: Pourcentage des déchets dus aux défauts pour chaque essence.

En effet, l'aubier a absorbé en moyenne 11,80%, les fentes et pourritures 37,99% du rendement comme le montre la figure 4.3. Soit environ 49,79% du rendement perdu à cause de la présence des défauts de bois et 10,17% suites aux autres déchets (sciures, etc).

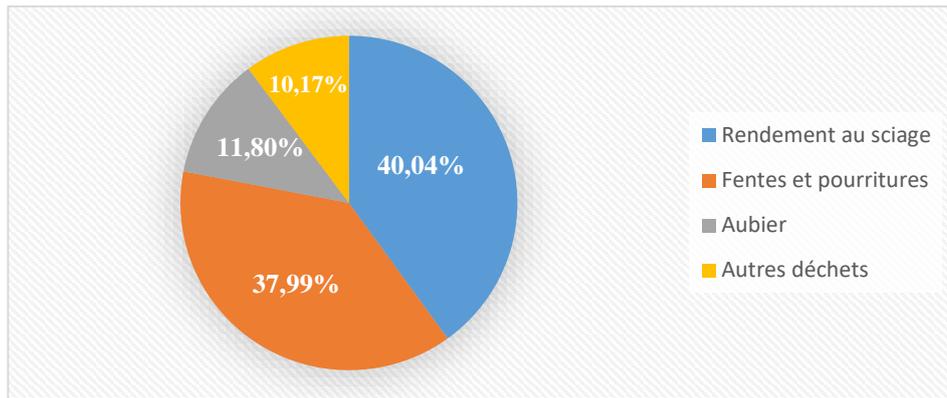


Figure 4.3: Proportion des déchets et du rendement au sciage.

En l'absence des pertes dues aux fentes et pourritures, on aurait un rendement au sciage de 78,03%. En l'absence d'aubier, le rendement au sciage sera de 51,84%. Selon la littérature (Dalois., 1990), l'Ets ARAFAT.COM respecte bien les opérations au sciage et son rendement est dans la marge d'intervalle proposée, mais il reste cependant des améliorations à effectuer au niveau des techniques de transformation afin de limiter la production des déchets et la mise en place d'une stratégie de valorisation des résidus inévitables.

IV.3. Proposition de solutions pour remédier aux pertes dues aux défauts de bois et méthodes de valorisation.

Les propositions de solution et la stratégie à mettre en place prennent en compte les préoccupations économiques de la société, notamment dans le maillon de production en développant des actions visant à amoindrir les dépenses et à apporter une plus-value et un bénéfice à la scierie.

IV.3.1. Analyse des causes racines du problème.

Après l'évaluation de pertes causées par les défauts de bois, on remarque que ces pertes influencent le rendement matière au sciage. Afin de proposer une solution pour remédier à ce problème, il est important de faire une analyse des causes racines de celui-ci. L'analyse des causes ayant la perte de bois dues aux défauts est réalisée à partir du diagramme d'Ishikawa. Pour réaliser le diagramme d'Ishikawa, le personnel de l'unité de

transformation a été interrogé lors d'un brainstorming¹². Une réflexion a été portée sur toutes les causes pouvant entraîner une perte de bois causée par les défauts sur les billes et ont été classées suivant les 5M (Matières, Machines, Milieu, Méthodes et Main-d'œuvre). Le tableau VI ci-dessous présente les causes phares de pertes de bois causées par les défauts sur les billes.

Tableau VI : Causes phares de pertes de bois causées par les défauts de bois.

5M Causes phares de pertes de bois causées par les défauts de bois	
Matières	<ul style="list-style-type: none"> - La qualité de billes usinées influence négativement sur le rendement matière ; - Le manque de traitement phytosanitaire préalable des billes augmente les risques d'attaque des champignons et des insectes.
Machines	<ul style="list-style-type: none"> - Fréquence arrêts des machines à cause de l'absence de la maintenance préventive et du mauvais affûtage entraîne d'énormes pertes au niveau des nœuds et bosses ; - Absence de certaines machines pour mieux contourner les défauts de bois ; - Manque de laser sur les machines pour tracer les lignes de passage de la lame de scie ; - Aucune indication sur le mode de l'utilisation des machines.
Milieu	<ul style="list-style-type: none"> - L'étroitesse de l'atelier rend difficile certaines opérations comme le retournement d'une pièce de grande longueur sur la scie afin de contourner un défaut ; - Parc zone de débitage plein de boue et d'herbes propices à l'attaque des champignons et des insectes.
Méthodes	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de planification du travail pour une bonne valorisation des billes avec défauts ;

¹² Le brainstorming ou remue-méninges est une technique formalisée de résolution créative et collective de problème. Elle fut élaborée à partir de 1940 par Alex Osborn, (Wikipédia, consulté le 28 Mai 2020).

Main-d'œuvre	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise gestion de stock qui entraîne que les grumes passent plus de temps au parc avant d'être sciées augmentant ainsi l'altération du bois ; - Mauvais tronçonnage des billes ou billons.
	<ul style="list-style-type: none"> - Inexpérience en affûtage des outils de coupe ce qui fait qu'au niveau d'un défaut comme les noeuds le bois est gratté au lieu d'être scié laissant ainsi les traces de scie sur les débités ; - Faible motivation des opérateurs de scie ce qui fait que ils se disent pourquoi contourner un défaut ; - Manque de formation des scieurs sur les techniques nouvelles de sciage.

Cette classification permet de réaliser le diagramme d'Ishikawa structuré autour du concept des 5M comme le présente la figure 4.4.

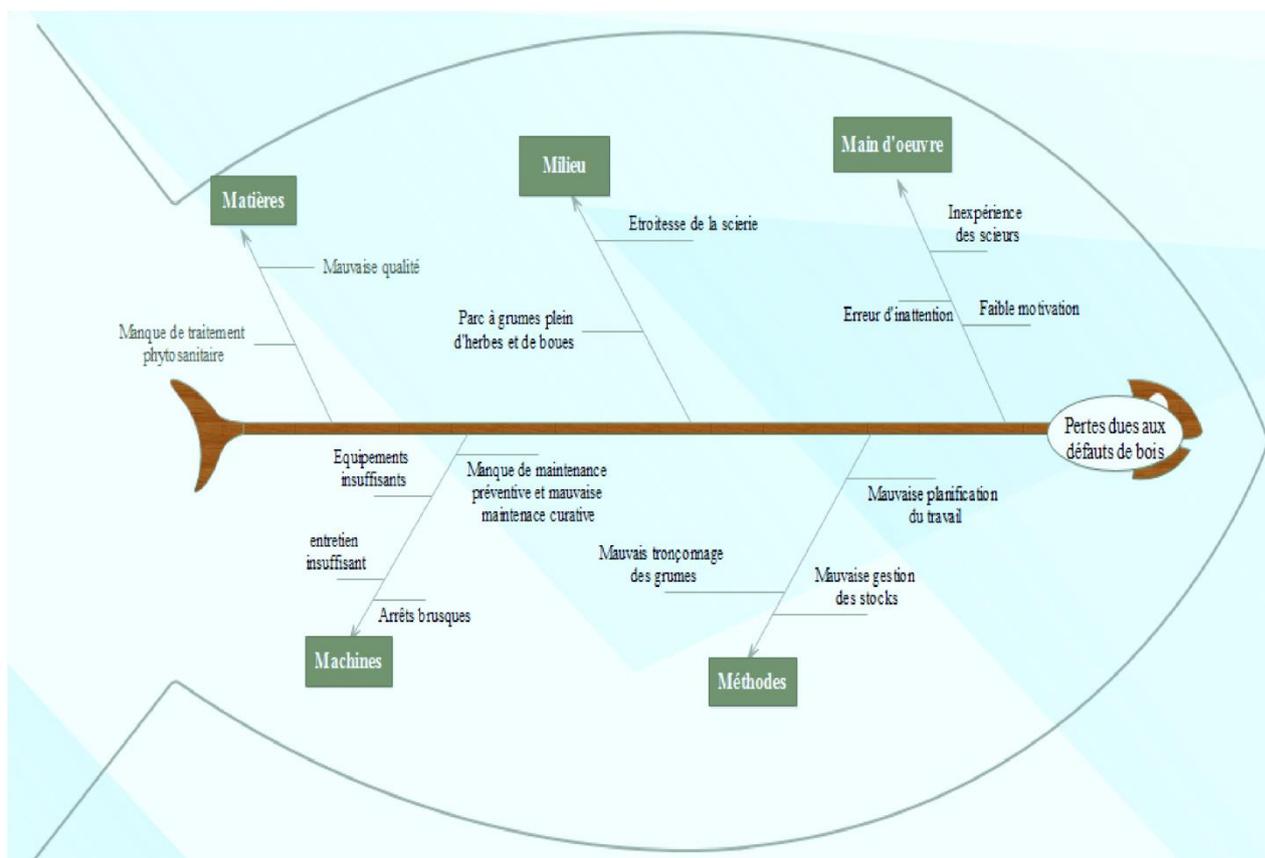


Figure 4.4: Diagramme d'Ishikawa des causes de pertes de bois dues aux défauts.

Cette figure 4.4 présente les causes qui ont pour effet une perte de bois causée par les défauts. Il apparaît que de la mauvaise qualité de la matière première jusqu'à la mauvaise planification du travail, plusieurs éléments entraînent les pertes dans la scierie Ets ARAFAT.COM Sarl. Il est donc important de proposer des solutions pour remédier à ce problème. Ces causes identifiées sont similaires à ceux obtenus par Yonga (2019) lors d'une étude sur les déchets de bois à la BMC.

IV.3.2. Proposition de solutions pour diminuer les pertes de bois causées par les défauts sur les grumes.

De tout ce qui précède et des résultats des entretiens et des enquêtes, des suggestions ont été adressées à l'Ets ARAFAT.COM, que pour diminuer les pertes causées par les défauts de bois, il faut :

- Veiller à la pose des S forestiers sur des billes présentant des fentes en bout pour limiter leur propagation ;
- Eviter de garder la grume assez longtemps au parc ;
- Effectuer un traitement phytosanitaire sur les grumes afin de limiter les altérations zoologiques ;

- Veiller à la salubrité du parc zone de débitage ;
- Établir un programme d'usinage des grumes de telle manière que celles qui ont mis plus de temps au parc puissent être usinées en premier, un programme basé sur le principe FIFO (First In First Out) ;
- Planifier les travaux de l'entreprise en veillant de créer une marge pour la récupération des déchets en vue de leur valorisation ;
- Prendre en compte les défauts de bois lors du tronçonnage des billes en billons ;
- Veiller à l'entretien et à la maintenance des machines avant le début de chaque contrat ;
- Améliorer la technologie de transformation de bois ;
- Former le personnel scieur sur les défauts de bois et sur les techniques améliorées de sciage permettant de maximiser le rendement par un enlèvement minutieux de l'aubier avec un taux moindre de bois parfait.

En plus de ces propositions, l'Ets ARAFAT.COM doit mettre sur pied une stratégie de valorisation de ses déchets. Pour cela, le personnel doit intervenir sur certains axes collectés lors de l'entretien avec les différents employés.

IV.3.3. Objectifs et axes d'intervention des méthodes de valorisation des déchets causés par les défauts de bois.

La valorisation des rebuts causés par les défauts de bois au sciage à la scierie Ets ARAFAT.COM nécessite des interventions sur trois (03) principaux axes notamment :

- Collecte ou trie des rebuts valorisables ;
- Transformation/recyclage ;
- Commercialisation des produits dérivés.

En matière de collecte ou trie des rebuts valorisables ; il s'agira de faciliter la mise en place et le suivi de la récupération des déchets de bois à chaque phase de la transformation du bois par l'équipe qui se charge de l'éboutage et du colisage des débités. Cette manière de fonctionner limitera les interruptions de production régulièrement constatées à la scierie suite aux causes multiples qui sont entre autres, la non planification du travail et la maintenance des machines.

S'agissant de la transformation/recyclage ; l'objectif ici est de valoriser au maximum les déchets de bois dus aux défauts à travers un sciage de reprise et la carbonisation de certains rebuts, accroître le volume de production tout en améliorant la

qualité du produit et le rendement matière de la scierie. Ceci nécessite pour le sciage de reprise une délignieuse mono lame donc dispose déjà la société. L'équipe des machinistes peuvent s'occuper de cette tâche à la fin de chaque usinage. Il est également question de maximiser la récupération des dosses, quelques soient leur forme ou leur espèce pour la carbonisation afin qu'à terme, les quantités de rebuts éliminés par le feu à ciel ouvert soient réduites à un minimum. Les produits pouvant être obtenus sont : les lattes, les palettes, les frises respectant les dimensions standards et aussi le charbon de rebuts de bois de scierie.

Concernant l'axe commercialisation des produits dérivés ; il est question dans cette stratégie de proposer des modèles et liens d'affaires ainsi que des partenariats qui se chargeront de trouver les marchés ou bien encore des clients au niveau local, afin d'évacuer, commercialiser régulièrement aux moindres coûts les produits obtenus de la valorisation.

IV.3.4. Indicateurs de résultats par axe d'intervention.

Le tableau VII ci-dessous présente pour chaque axe d'intervention les indicateurs de résultats attendus.

Tableau VII : Indicateurs de résultats par axe d'intervention.

Axes d'intervention	Objectifs	Indicateurs
<u>Axe1</u> : Collecte ou trie des rebuts valorisables.	<ul style="list-style-type: none"> - Faciliter la mise en place et le suivi de la récupération des rebuts à chaque phase de la transformation du bois. 	<ul style="list-style-type: none"> - Plus de 90% des rebuts de bois de la scierie collectés, triés selon le produit pouvant être obtenus, ceci à la fin de l'exécution de chaque contrat ; - 100% des dosses récupérées et rangées ; - Moins de rebuts de bois qui traînent partout dans la scierie ; - Moins de déchets brûlés à ciel ouvert dans la scierie.
<u>Axe 2</u> : Transformation/ recyclage.	<ul style="list-style-type: none"> - Valoriser au maximum les déchets de bois dus aux défauts à travers un sciage de reprise et la carbonisation de certains rebuts ; - Accroître le volume de production tout en améliorant la qualité du produit et le rendement matière de la scierie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation du rendement matière de la scierie de 38% à 42- 45% ; - Niveau de maîtrise des techniques de valorisation des rebuts de bois de scierie jugé assez bon ; - Accroissement de la branche valorisation des rebuts dans la scierie avec d'emploi supplémentaire d'un personnel en charge de cette branche.
<u>Axe 3</u> : Commercialisation des produits dérivés.	<ul style="list-style-type: none"> - Améliorer les possibilités d'évacuation des produits obtenus de la valorisation vers les marchés des grands centres urbains à des coûts raisonnables ; - Faciliter la promotion commerciale des produits. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les produits obtenus de la valorisation sont identifiables sur le marché ; - Au moins deux contrats d'affaire/partenariat sont signés entre la scierie et les grossistes de vente locale du bois.

IV.3.5. Différentes valorisations possibles des rebuts dus aux défauts de bois.

De manière globale, le taux actuel de valorisation des rebuts dans la scierie Ets ARAFAT.COM reste assez faible. En effet près de 60 % des rebuts de scierie sont brûlés à l'air libre. Toutefois, on observe néanmoins quelques initiatives de valorisation en ce qui concerne les pièces de bois ne respectant pas les dimensions de la commande. Les modes de valorisation des pertes causées par les défauts de bois suggérés à l'Ets ARAFAT.COM et que certains ont déjà été mis en place sont :

- Le sciage de reprise pour satisfaire les besoins du marché local en bois d'œuvre ou bois service : le sciage de reprise est la forme de récupération qui se fait par le biais d'une transformation supplémentaire des rebuts. Les rebuts pouvant être utilisés ici sont les dosses, les coursons présentant des défauts, les pièces déclassées ou éboutées suites à la présence des pourritures et fentes. Les produits pouvant être obtenus ici sont les lattes, les frises, et les palettes ;
- L'utilisation des rebuts et notamment la sciure pour le bois de chauffe. Les rebuts ne pouvant pas être récupérés en scierie peuvent être stockés et vendus sous forme de bois de chauffe à des grands grossistes de même avec les sciures ;
- La troisième transformation pour la production de pièces de menuiserie. Certains rebuts surtout ceux ayant des fentes légères peuvent être vendus aux menuisiers pour une utilisation dans la troisième transformation. À côté de ce mode de valorisation, la production de manches à outils, ainsi que des règles pour l'équilibrage et la mise en forme des colis de bois débités destinés à l'export est une option de valorisation à pratiquer ;
- La carbonisation : elle se présente comme l'un des modes privilégiés de valorisation des rebuts. La société peut employer un charbonnier qui se chargera de conduire la carbonisation. Le charbon obtenu peut être commercialisé dans les marchés de la ville.

Ces mesures de valorisation proposées et axes d'interventions sont similaires à ceux proposées par Nguenang et *al* (2013) lors d'une étude sur la valorisation énergétique par la carbonisation des rebuts d'exploitation dans les unités de transformation du bois SFID et GRUCAM ; de même que ceux proposées par Yonga (2019) lors d'une étude sur les défauts de bois sur le rendement matière à la BMC.

CHAPITRE V: CONCLUSION ET PERSPECTIVES

V.1. Conclusion.

Cette étude effectuée dans le domaine de la transformation du bois, visait en générale, l'évaluation des pertes causées par les défauts de bois sur le rendement matière au sciage, afin de proposer une stratégie de valorisation de ses rebuts de bois. Des analyses effectuées et des résultats obtenus, les constats sont que les pertes de bois à l'Ets ARAFAT.COM sont énormes, avec un pourcentage moyen des déchets à l'usinage (sciage) de 59,96% du volume brute de bois transformé. Les défauts de bois sont fréquents parmi les essences usinées, les plus majeurs sont les fentes, pourritures et l'aubier. Pour les essences analysées (Padouk, Doussié, Iroko, Koto, Ayous et Sapelli), les pertes en volume dues aux fentes et pourritures sont à considérer car estimées en moyenne à 37,99% du volume brute de tous les essences et la part du volume aubier est en moyenne 11,80%. Les défauts de bois constituent l'une des causes des pertes en volume lors de l'usinage.

Le rendement au sciage, varie d'une essence à une autre. En moyenne, le rendement total au sciage lors de cette étude est de 40,04%, soit une quantité moyenne de déchets de 59,96% dans laquelle 49,79% sont dus aux défauts de bois (fentes, pourritures et aubier). Au vue de ces résultats, les hypothèses émises au départ sont confirmées. Il apparait qu'aussi longtemps que la consommation locale au Cameroun restera faible, l'intensification de la transformation locale du bois restera hypothétique. Il faut promouvoir et diversifier la filière bois en créant des débouchés locaux aux exploitants. Car même pour les produits transformés localement, la part exportée (29,58% du rendement moyen total) est toujours importante par rapport à celle consommée localement (10,47% du rendement moyen total).

Pour optimiser sa production, il est suggéré à l'Ets ARAFAT.COM des méthodes de valorisation des rebuts dus aux défauts de bois. Il est proposé d'effectuer un sciage de reprise pour obtenir des produits pour le marché local. La scierie doit former ses opérateurs sur les nouvelles techniques de transformation, motiver ses employés, prendre en compte les défauts lors du billonnage et améliorer le traitement de ses billes au parc. Ceci leur permettra de diminuer les pertes causées par les défauts de bois et de booster leur rendement matière.

Spécifiquement, cette étude a consisté à identifier les défauts sur les essences, évaluer les volumes et le volume des déchets générés lors du sciage. Ainsi qu'évaluer leur influence sur le rendement matière afin de proposer une stratégie de valorisation des déchets. De ce fait, cette étude a été d'un avantage énorme par son caractère pratique et professionnel.

V.2. Perspectives.

Étant donné que de nos jours, les recherches scientifiques dans le domaine de la valorisation des résidus ont évolué, il n'est pas judicieux que la valorisation des déchets à l'Ets ARAFAT.COM se limite à la vente du bois de chauffage, il importe donc aux prochaines études de mettre un accent sur la valorisation des résidus de bois générés lors du sciage. C'est pourquoi l'objectif futur est de rechercher des voies et moyens pour une valorisation plus poussée de ces résidus, voire même leur recyclage pour diverses fins. D'effectuer une étude de faisabilité technique et financière de la valorisation des rebuts de bois à l'Ets ARAFAT.COM.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- ATIBT (2001), *Les règles SATA de l'ATIBT pour le classement des avivés tropicaux*, Paris-France, 73p.
- ATIBT (2001), *Les règles ATIBT de classement des rondins tropicaux*, Paris-France, 67p.
- Belley D (2014), *Évaluation du volume et des pertes de qualité causées par les principaux défauts des tiges d'épinette blanche et de pin gris*. Thèse Doctorat, Université de Laval, Québec-Canada, 116p.
- Benenguegne M (2015), *Contribution à la restructuration et à l'optimisation des systèmes de production des unités de transformation du bois : cas de la scierie Huguette Forestière Sarl d'Ebolowa*. Mémoire de fin d'études, FASA/FMBEE, Université de Dschang, 90p.
- Bricoler M (2012), *Connaitre les défauts de bois*. Association ouvrière des compagnons du tour de France. France, 26p.
- Cadic C (2014), « Analyse des défaillances et aide au diagnostic », Exempli Gracia Edition Lyon, n°502 [En ligne], Adresse URL : <http://www.qualité.fr> (Page consultée le 27 mars 2020).
- Cerutii P et al (2016), *Etat du secteur forêt bois du Cameroun (2015)*. Rapport FAO/CIFOR, P20-25 + annexes.
- Dalois C (1990), *Manuel de sciage et d'affûtage*, édition du Centre Technique Forestier Tropical, France, P23-96.
- Fruchard E (2016), « Les défauts de bois », n° 23, Paris, France, [En ligne], Adresse URL : <https://www.boisetpaille.com>, (page consultée le 27 mars 2020).
- Gérard J et al (1998), *Synthèse sur les caractéristiques technologiques de référence des principaux bois commerciaux africains*. CIRAD-FORET, Montpellier, France, 189p.
- Kamkuimo P et al (2018), *Étude sur la situation de référence de valorisation des rebuts de l'exploitation forestière et de scierie dans la région de l'Est Cameroun*, Rapport Action for Sustainable Development (ASD), Yaoundé, 80p.
- 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.

- Mahonghol D et al (2016), *Les flux et les circuits de commercialisation du bois : le cas du Cameroun*, Rapport TRAFFIC. Yaoundé, Cameroun et Cambridge, Royaume Uni, 122p.
- Mbouna F (2015), *Contribution à l'amélioration de la performance industrielle des PME d'ameublement : cas de la société MY HOME Sarl à Douala*, Mémoire de fin d'études, FASA/FMBEE, Université de Dschang, 82p.
- Mendo O (2011), *Etat des forêts 2010 au Cameroun*. MINFOF, Yaoundé, Cameroun, 12p.
- MINFOF (2013), *Etude de l'importance économique et sociale du secteur forestier et faunique au Cameroun.*, Yaoundé, République du Cameroun, p39-67.
- MINFOF (1994), Loi N° 94/01 du 20 Janvier 1994 portant régime des forêts, de la faune et de la pêche, Yaoundé, République du Cameroun, 32p.
- Mwamba O (2014), *Rendement du bois au cours du sciage à l'Industrie de transformation du bois de la BMC*, Rapport de stage de deuxième année. Métiers de bois, Gestion des Ressources Naturelles, Institut Universitaire du Golfe de Douala, 80p.
- Nguenang G & Ngo Badjeck M (2013), *Valorisation énergétique par la carbonisation des rebuts d'exploitation. Expériences menées dans deux sites forestiers à l'Est – Cameroun: SFID et GRUMCAM*, Rapport GIZ, 25p.
- Nsimba E (2013), *Evaluation des pertes de bois et rendement au sciage à la Société de Développement Forestier (SODEFOR)*, Rapport de stage deuxième graduel, Faculté des sciences Agronomiques, université de Kinshasa, 43p.
- Pinta F & Fometé T (2004), *Filière bois au Cameroun : vers une gestion durable des forêts et une transformation industrielle performante ?* Cirad-forêt, Institutions et Développement, 84 p.
- Simonin G (2010), *Amélioration des performances d'outils de coupe pour la première transformation*, Thèse Doctorat, Université Henri POINCARÉ – NANCY I, 245p.
- Pinta F & Fouquet D (1998), *Etude diagnostic sur l'industrialisation du secteur bois au Cameroun*, Rapport de mission + fiches par usine, Montpellier, France, Cirad-forêt, 80p.
- Plouvier D (2002), *Etude du sous-secteur sciage artisanal au Cameroun*, Ministère de l'Environnement et des Forêts de la République du Cameroun, Agreco Ed, Bruxelles, Belgique, 63 p.

- SGS (Société Générale de Surveillance S.A), *Techniques de mesurage et de classement, Grumes et débités, Cameroun*, 104 p.
- Tassi M (2015), *Analyse des déchets du bois générés à la scierie de la BMC SARL*, Mémoire de fin d'études. Technicien supérieur des métiers du bois. Gestion des Ressources Naturelles, Institut universitaire du Golfe, 82p.
- Tchuenté C.H & Ngueho M.C (2003)., *Manuel de cubage des grumes et de sciage*, Collection Suber, 1^{ère} Edition, 92p.
- Yonga M (2019), *Evaluation des pertes causées par les défauts de bois sur le rendement matière au sciage : cas de la scierie BMC Sarl a Obala*, Mémoire de fin d'études, FASA/FMBEE, Université de Dschang, 87p.
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:d%C3%A9finition_rendement_au_sciage consulté le 29 Février 2020 à 17 h 35 minutes.
- <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/brainstorming> (consulté le 5 Mars 2020 à 17 h 40 minutes).
- <https://dendrochronologie-type.e-monsite.com/pages/couches-d-accroissement.html> (consulté le 8 Mars 2020 à 22 h 07 minutes).

ANNEXES

Annexe 1 : Photos des défauts identifiés sur les billes sciées à la scierie Ets ARAFAT.COM



Fente sur le Doussié



Roulure partielle et pourritures sur le Padouk



Fracture d'abattage sur le Sapelli



Pourriture sur le Koto



Fentes et roulure total sur le Sapelli



Fente et méplat sur l'Ayous

Annexe 2 : Questionnaire d'enquête et d'entretien.

Cette fiche permettra à chaque employé de donner son point de vue sur les causes de pertes de bois dues aux défauts et l'application des solutions et méthodes de valorisation.

I. Matières premières

- a. Quelle est la qualité (présence ou non des défauts) des billes usinées à la scierie ?
Bonne Mauvaise Très mauvaise
- b. Les billes subissent-elles un traitement phytosanitaire dans le but de réduire l'attaque des insectes et des pourritures? Oui Non
- c. Quelles solutions préconisez-vous à l'entreprise pour réduire les pertes de bois en ce qui concerne la matière première ?
-
-

II. Main d'œuvre

- a. Qu'est ce qui peut causer une perte de bois dues aux défauts au niveau des opérateurs ?
.....
.....
.....
- b. Quelles peuvent être les solutions à proposer afin que les opérateurs de scie soient plus attentifs aux défauts de bois lors de l'usinage ?
-
-

III. Méthodes utilisés et Management

- a. Existe-t-il une méthode de gestion des stocks au sein de la scierie ? Oui Non
- Si non, pourquoi ?
- b. Comment est-ce que le travail est-il planifié au sein de la scierie ? cette planification prend en charge la valorisation des rebuts de bois ?
-
-

- c. Existe-t-il un suivi et évaluation des différents employés de la scierie ?.....
.....
.....

IV. Solutions pour limiter les pertes de bois dues aux défauts

Quelles solutions préconisez-vous pour diminuer les pertes de bois causées par les défauts sur les grumes ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

V. Méthodes de valorisation de rebuts inévitables

- a. Sur quels axes devons-nous agir pour appliquer la stratégie de valorisation des rebuts de bois de la scierie ?

.....
.....
.....

- b. Quels peuvent être les objectifs et les résultats de cette stratégie de valorisation ? ...

.....
.....
.....
.....
.....

- c. Quelles méthodes de valorisation vous semble adéquate afin d'optimiser le rendement matière et la production ?

.....
.....
.....
.....
.....

Annexe 3 : Fiche de cubage des débités.

Fiche de cubage de débités N°

CT: _____ Colis N° _____ Equipe _____ Date _____ Cubeur: _____.

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80
24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140	144	148	152	156	160
40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180	186	192	198	204	210	216	222	228	234	240
56	63	70	77	84	91	98	105	112	119	126	133	140	147	154	161	168	175	182	189	196	203	210	217	224	231	238	245	252	259	266	273	280
64	72	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152	160	168	176	184	192	200	208	216	224	232	240	248	256	264	272	280	288	296	304	312	320
72	81	90	99	108	117	126	135	144	153	162	171	180	189	198	207	216	225	234	243	252	261	270	279	288	297	306	315	324	333	342	351	360
80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
88	99	110	121	132	143	154	165	176	187	198	209	220	231	242	253	264	275	286	297	308	319	330	341	352	363	374	385	396	407	418	429	440
96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240	252	264	276	288	300	312	324	336	348	360	372	384	396	408	420	432	444	456	468	480
104	117	130	143	156	169	182	195	208	221	234	247	260	273	286	299	312	325	338	351	364	377	390	403	416	429	442	455	468	481	494	507	520
112	126	140	154	168	182	196	210	224	238	252	266	280	294	308	322	336	350	364	378	392	406	420	434	448	462	476	490	504	518	532	546	560
120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	375	390	405	420	435	450	465	480	495	510	525	540	555	570	585	600

Essence: _____.

Épaisseur (mm):
Longueur (cm):
N° PCS:
Développement (cm)
Sub-Volume:

Épaisseur (mm):
Longueur (cm):
N° PCS:
Développement (cm)
Sub-Volume:

Épaisseur (mm):
Longueur (cm):
N° PCS:
Développement (cm)
Sub-Volume:

VOLUME TOTAL:

OBSERVATION:

Annexe 4 : Fiche de données collectées.

D_{AA} : diamètre avec aubier ; D_{SA} : diamètre sous aubier ; Diam GB : diamètre gros bout ; Diam PB : diamètre petit bout V_{AA} : volume avec aubier ; V_{SA} : volume sous aubier ; V_d : volume perdu dû aux défauts.

Essences	N° de la bille	Long (m)	Diam GB (cm)		Diam PB (cm)		Volume (m ³)		Nbre de billons	V _d (m ³) Fentes et pourriture
			D _{AA}	D _{SA}	D _{AA}	D _{SA}	V _{AA}	V _{SA}		
Padouk	00141244-10/1	14	110	100	108	99	13,057	10,88	3	30.159
Padouk	00141244 - 10/2	13,4	108	98	106	96	12,043	9,897	4	
Padouk	00141244 - 11/1	11	101	92	98	90	8,548	7,15	3	
Padouk	00141244 - 11/2	9,4	98	90	95	86	6,871	5,714	2	
Padouk	00141244 - 12/1	12,7	90	81	88	80	7,896	6,46	4	
Padouk	00141244 - 12/2	8,2	88	80	86	72	4,872	3,718	2	
Padouk	00141244 - 13/1	10,1	105	95	103	94	8,575	7,08	3	
Padouk	00141244 - 13/2	14,25	103	94	98	89	11,298	9,365	4	
Padouk	00141244 - 14/1	11,2	98	80	95	78	8,187	5,487	3	
Padouk	00141244 - 14/2	12	95	78	94	86	8,412	6,334	4	
Doussié	00141244 - 15/1	13,2	100	95	99	94	10,258	9,253	4	16,360
Doussié	00141244 - 15/2	10,8	99	94	96	91	8,059	7,253	3	
Doussié	00141244 - 16/1	12,1	103	100	100	97	9,785	9,215	4	
Doussié	00141244 - 16/2	9,20	100	97	99	94	7,149	6,586	3	
Doussié	00141244 - 17/2	6,5	99	96	98	95	4,95	4,653	1	
Doussié	00141244 - 17/3	7	98	95	96	93	5,17	4,885	1	
Iroko	00141244 - 18/1	13,1	90	83	88	81	8,145	6,914	5	
Iroko	00141244 - 18/2	14,2	88	81	87	80	8,534	7,223	6	
Iroko	00141244 - 19/1	11,4	100	94	98	92	8,77	7,739	5	

Iroko	00141244 – 19/2	12,05	98	92	97	91	8,992	7,919	5	29,460
Iroko	00141244 – 20/2	11,1	101	96	98	93	8,626	7,781	2	
Iroko	00141244 – 20/3	10,8	98	93	96	90	7,976	7,097	2	
Iroko	00141244 – 21/1	15,9	102	97	100	95	12,732	11,502	3	
Iroko	00141244 – 21/2	12,5	100	95	99	94	9,714	8,762	5	
Iroko	00141244 – 22	15,2	85	77	85	77	8,62	7,074	3	
Koto	00141244 – 23/1	10,6	105		103		8,999	0	2	19,496
Koto	00141244 – 23/2	12,1	103		100		9,785	0	5	
Koto	00141244 – 24/1	14,3	90		86		8,693	0	6	
Koto	00141244 – 24/2	11	86		85		6,312	0	5	
Koto	00141244 – 25	15,65	95		93		10,855	0	3	
Ayous	00141245 – 26/1	11,1	95		92		7,617	0	2	27,745
Ayous	00141245 – 26/2	15,75	92		91		10,351	0	3	
Ayous	00141245 – 27/1	10,5	100		98		8,078	0	2	
Ayous	00141245 – 27/2	12	98		95		8,772	0	2	
Ayous	00141245 – 27/3	13,05	95		94		9,148	0	2	
Ayous	00141245 – 28/1	10,95	80		78		5,364	0	2	
Ayous	00141245 – 28/2	16,2	78		77		7,638	0	3	
Ayous	00141245 – 29/2	12,75	82		80		6,566	0	2	
Sapelli	00141245 – 30/1	10,9	125	121	123	119	13,156	12,321	3	29,114
Sapelli	00141245 - 30/2	12,4	123	119	121	117	14,488	13,553	4	
Sapelli	00141245 - 31/1	13,1	120	116	118	114	14,562	13,599	4	
Sapelli	00141245 - 31/2	11,05	118	114	117	113	11,975	11,174	3	
Sapelli	00141245 - 31/3	9,95	117	113	117	113	10,692	9,973	3	
Sapelli	00141245 - 32/2	8,4	113	107	113	107	8,419	7,549	2	
Sapelli	00141245 - 32/3	9,9	113	107	111	105	9,748	8,732	2	

Annexe 5 : Fiche sur les études effectuées sur les billes de bois.

V_{AA} : volume avec aubier ; V_{SA} : volume sous aubier ; V_{aubier} : volume aubier ($V_{AA}-V_{SA}$) ; V_d : volume perdu dû aux défauts ; %aubier : pourcentage aubier par rapport à V_{AA} ; V_d / V_{AA} : donne en pourcentage le volume perdu suite aux défauts.

Essences	N° de bille	Défauts	V_{AA} (m ³)	V_{SA} (m ³)	V_{aubier} (m ³)	%aubier	Qualité
Padouk	00141244-10/1	Pourriture, empattement	13,057	10,88	2.177	16,673	Choix II
Padouk	00141244 - 10/2	Pourriture, fentes, empattement	12,043	9,897	2,146	17,819	Choix III
Padouk	00141244 - 11/1	Pourriture, fentes, roulure	8,548	7,15	1,398	16,355	Choix IV
Padouk	00141244 - 11/2	Pourriture, bosses, fentes	6,871	5,714	1,157	16,839	Choix II
Padouk	00141244 - 12/1	Nœuds, bosses, fentes	7,896	6,46	1,436	18,186	Choix II
Padouk	00141244 - 12/2	Fentes, nœuds, roulure	4,872	3,718	1,154	23,686	Choix II
Padouk	00141244 - 13/1	Fentes, nœuds	8,575	7,08	1,495	17,434	Choix I
Padouk	00141244 - 13/2	Pourriture de cœur, fentes	11,298	9,365	1,933	17,109	Choix II
Padouk	00141244 - 14/1	Nœuds, bosses	8,187	5,487	2,7	32,979	Choix I
Padouk	00141244 - 14/2	Empattement, fentes	8,412	6,334	2,078	24,703	Choix II
Doussié	00141244 - 15/1	Fentes, bosses, nœuds	10,258	9,253	1,005	9,79	Choix II
Doussié	00141244 - 15/2	Roulure partielle, fentes	8,059	7,253	0,806	10	Choix II
Doussié	00141244 - 16/1	Courbure, fentes, empattement	9,785	9,215	0,57	5,82	Choix II
Doussié	00141244 - 16/2	Pourriture, fentes	7,149	6,586	0,563	7,87	Choix II
Doussié	00141244 - 17/2	Roulure partielle, nœuds	4,95	4,653	0,297	6	Choix I
Doussié	00141244 - 17/3	Nœuds, bosses, fentes	5,17	4,885	0,315	6,09	Choix II
Iroko	00141244 - 18/1	Fentes de cœur, courbure	8,145	6,914	1,231	15,11	Choix II
Iroko	00141244 - 18/2	Fentes	8,534	7,223	1,311	15,36	Choix I
Iroko	00141244 - 19/1	Roulure partielle, nœuds	8,77	7,739	1,031	11,75	Choix II
Iroko	00141244 - 19/2	Pourriture	8,992	7,919	1,073	11,93	Choix II

Iroko	00141244 - 20/2	Pourriture	8,626	7,781	0,845	9,79	Choix II
Iroko	00141244 - 20/3	Pourriture, empattement	7,976	7,097	0,879	11,02	Choix III
Iroko	00141244 - 21/1	Fentes	12,732	11,502	1,23	9,66	Choix I
Iroko	00141244 - 21/2	Fentes	9,714	8,762	0,952	9,8	Choix I
Iroko	00141244 - 22	Pourriture, fentes	8,62	7,074	1,546	17,93	Choix II
Koto	00141244 - 23/1	Fentes, nourriture	8,999	0	0	0	Choix III
Koto	00141244 - 23/2	Pourriture	9,785	0	0	0	Choix II
Koto	00141244 - 24/1	Pourriture, bosses	8,693	0	0	0	Choix II
Koto	00141244 - 24/2	Nœuds, nourriture	6,312	0	0	0	Choix II
Koto	00141244 - 25	Pourriture, fentes	10,855	0	0	0	Choix II
Ayous	00141245 - 26/1	Fentes, nœuds, nourriture	7,617	0	0	0	Choix III
Ayous	00141245 - 26/2	Fentes, nourriture	10,351	0	0	0	Choix III
Ayous	00141245 - 27/1	Fentes	8,078	0	0	0	Choix II
Ayous	00141245 - 27/2	Fentes, nourriture	8,772	0	0	0	Choix IV
Ayous	00141245 - 27/3	Fentes	9,148	0	0	0	Choix II
Ayous	00141245 - 28/1	Pourriture, nœuds	5,364	0	0	0	Choix III
Ayous	00141245 - 28/2	Pourriture	7,638	0	0	0	Choix II
Ayous	00141245 - 29/2	Fentes, nourriture	6,566	0	0	0	Choix IV
Sapelli	00141245 - 30/1	Pourriture de cœur, fentes	13,156	12,321	0,835	6,35	Choix III
Sapelli	00141245 - 30/2	Nœuds, bosses, fentes	14,488	13,553	0,935	6,45	Choix II
Sapelli	00141245 - 31/1	Pourriture, empattement	14,562	13,599	0,963	6,61	Choix III
Sapelli	00141245 - 31/2	Fentes, nœuds	11,975	11,174	0,801	6,69	Choix I
Sapelli	00141245 - 31/3	Nœuds, bosses	10,692	9,973	0,719	6,72	Choix I
Sapelli	00141245 - 32/2	Pourriture, fentes, empattement	8,419	7,549	0,87	10,33	Choix IV
Sapelli	00141245 - 32/3	Fentes, nœuds	9,748	8,732	1,016	10,42	Choix II

Annexe 6 : Récapitulatif des données traitées.

Essences	Padouk	Doussié	Iroko	Koto	Ayous	Sapelli
V_{AA} (m ³)	89,759	45,371	82,109	44,644	63,534	83,040
V_{SA} (m ³)	72,085	41,815	72,011	0	0	76,901
V_d fentes et pourritures (m ³)	30,159	16,360	29,460	19,496	27,745	29,114
% fentes et pourritures	33,59	36,05	35,88	43,67	43,67	35,06
V_{aubier} (m ³)	17,674	3,556	10,098	0	0	6,139
% aubier	19,69	7,84	12,30	0	0	7,39

Annexe 7 : Photos de prises de dimensions sur les billes et débités.



Mesurage du diameter avec aubier



Mesurage du diameter sous aubier



Mesurage de la longueur d'une bille



Mesurage des débités pour le cubage

S

Annexe 8 : Photos de quelques pertes causées par les défauts de bois.



Déchets dus à la présence d'aubier



Rebuts d'éboutage dus à la présence des fentes et pourritures