

RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix - Travail – Patrie

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

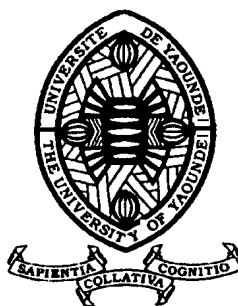
ECOLE NORMALE SUPERIEURE
D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

DÉPARTEMENT D'INGÉNIERIE DU
BOIS

B.P. 886 Ebolowa / Tél: +237 243 71 78 16

Site web: www.enset-ebolowa.com

Courriel : ensetebwa@gmail.com



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace-Work-Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TECHNICAL TEACHERS'
TRAINING COLLEGE

DEPARTMENT OF WOOD ENGINEERING

PO. BOX 886, Ebolowa / Tél: +237 243 71 78 16

Web site: www.enset-ebolowa.com

Mail: ensetebwa@gmail.com

**CONCEPTION D'UN SECHOIR A TUNNEL
ADAPTE DANS DES PETITES ET MOYENNES
ENTREPRISES D'AMEUBLEMENT**

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

OPTION : Métiers Bois

Par :

DJANKO MBOUOMBOUO Thierry

Matricule: 18W440

Sous la Direction de :

Encadreur professionnel

M. MBAMBAND TJOMB Jean Marc,

Coordonnateur du centre de formation
technique MONASTERE Sarl

Superviseur

Pr. Dr. Ing. NJANKOUO Jacques Michel,

Maître de conférences à l'Université de
Yaoundé I

Année académique 2019 – 2020

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

FICHE DE CERTIFICATION DE L'ORIGINALITE DU TRAVAIL

Je soussigné, **DJANKO MBOUOMBOUO Thierry**, atteste que le contenu du présent mémoire de fin de formation à l'Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique de l'Université de Yaoundé I à Ebolawa, est le fruit de mes propres travaux effectués dans la ville d'Ebolawa sur le thème « **conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement** ». Ce travail a été effectué sous l'encadrement technique de **M. MBAMBAND TJOMB Jean Marc** Coordonnateur du centre de formation technique MONASTERE Sarl, sous la supervision académique du **Pr NJANKOUO Jacques Michel** chef de département d'ingénierie du bois de l'ENSET d'Ebolawa. Ce mémoire est de ce fait authentique et n'a fait l'objet d'aucune soutenance en vue de l'obtention d'un quelconque grade universitaire.

VISA DE L'AUTEUR

DJANKO MBOUOMBOUO Thierry

Date :/...../2020

VISA DU SUPERVISEUR

Pr NJANKOUO Jacques Michel

Date :// 2020

A

La Grande Famille MBOUOMBOUO

REMERCIEMENT

Je tiens à dire mes sincères remerciements à tous ceux qui de près ou de loin, en pensées comme en actions m'ont apportés leur soutien.

J'exprime ma gratitude

- A Madame le Directeur de l'ENSET d'EBOLOWA **Pr. NDJAKOMO ESSIANE Salomé**, pour ses *précieus* conseils et encouragement ;

-**Pr NJANKOUO Jacques Michel** : Le Chef du département d'ingénierie du bois de l'ESENT D'EBOLOWA, Pour *ses précieux conseils, sa rigueur, son expérience et la supervision organisée au cours de l'élaboration de ce mémoire*»;

M. MBAMBAND TJOMB Jean Marc : *Pour ses précieux conseils, son expérience avérée et les différentes orientations au cours de l'élaboration de ce mémoire*;

- **Dr TCHANKEM**, pour ses *précieus* conseils, encouragement et lecteur au cours de l'élaboration de ce mémoire»;

- A tous les **enseignants** de l'ESENT D'EBOLOWA pour l'encadrement et les enseignements que j'ai reçus, notamment aptitudes intellectuelles hautement sollicitées tout au long de ma formation;

.Mes parents, mon Papa **MBOUOMBOUO** et ma Maman **DJANKO WANDJI Jeannette**, qui ont toujours été la pour moi et ont mis les moyens pour que je puisse suivre mes études dans des bonnes conditions;

- A papa **M. TCHATAT Richard** et Maman **TCHATUE TCHATAT Brigitte** qui ont eu l'amabilité d'être mes tuteurs, en plus des conseillers qu'ils n'ont toujours donné et des encouragements depuis la nuit de temps jusqu'à ce jours;

-A papa M.YOPA Charles de Gaule, pour son soutien pendant ces deux années de formation;

-A tous mes frères et sœurs du soutien indéfectible, l'amour et des conseils au quotidien;

-A mes amis (es), pour leur soutien et encouragement;

-A toutes les personnes qui de près ou de loin ont accordé une attention particulière à la réalisation de notre travail.

AVANT PROPOS

L'Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique (ENSET) D'EBOLOWA est un établissement de l'université de Yaoundé ayant pour principal objectif la formation des professeurs de lycées et collèges d'enseignement technique. Cet établissement comprend deux cycles à savoir :

- Le 1^{er} cycle dont la formation prépare au DIPET 1
- Le 2nd cycle dont la formation prépare au DIPET 2

Conformément à l'arrêté ministériel N°042/MESIRES du septembre 1991 dans son article 30, stipule qu'un mémoire de recherche sous forme de projet doit être présenté à la fin de chaque cycle. Le thème doit porter sur la spécialité de l'étudiant ou sur un problème d'ordre pédagogique. Cette disposition a pour principal objectif d'appliquer les connaissances acquises au cours de nos deux années de formation. C'est en s'inscrivant sur cette visée et en vue de l'obtention du diplôme de professeur d'enseignement technique grade 2 (DIPET 2), que nous avons en toute modestie rédigé ce projet intitulé : **«CONCEPTION D'UN SECHOIR ADAPTE POUR LES PETITES ET MOYENNES ENTREPRISES D'AMEUBLEMENTS »** en vue de l'obtention du Diplôme de professeur d'Enseignement Technique du second grade **DIPET 2**.

Ce projet nous a permis d'atteindre l'un des objectifs visés par les enseignants à l'ENSET, à savoir : faire une démonstration du savoir et du savoir-faire que nous avons acquis durant ces deux années de formation. Nous voudrions par ce travail concilier les études théoriques et la réalité, ceci à travers la conception d'un séchoir à tunnel dont le but est de :

-Facilité le séchage des bois et d'obtenir un meilleur rendement des ouvrages.

Loin d'être un chef d'œuvre, ce travail se peut modeste et pragmatique, ainsi, serais-je reconnaissant à toute personne de bonne volonté qui voudrait me faire part de ces éventuelles remarques et critiques pour l'amélioration de ce travail.

TABLE DES MATIERES

FICHE DE CERTIFICATION DE L'ORIGINALITE DU TRAVAIL	i
REMERCIEMENT.....	iii
AVANT PROPOS	iv
TABLE DES MATIERES.....	v
LISTE DES SYMBOLES	ix
LISTE DES FIGURES	x
RESUME.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : REVUE de la littérature.....	4
I.1- Les taux d'humidité des bois à la mise en œuvre au Cameroun.....	4
I.2 Cinétique et contraintes de séchage	8
I.2.1 Cinétique	8
I.2.2 Evolution des contraintes de séchage.....	10
a) b).....	11
I.3 La pratique du séchage du bois	13
I.4 Procédés de séchage courants	13
I.4.1 Durée	14
I.4.2 Qualité	16
I.4.3 Conduite de séchage.....	17
I.4.4 Les différentes périodes du cycle de séchage.....	17
1.1 Les différentes essences utilisées en ameublement à Ebolowa et leurs problèmes relatifs au séchage.....	19
I.5 Identification des éléments rentrant dans la fabrication des séchoirs a bois.....	19

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

I.5.1 Les éléments de base entrants dans la fabrication du pré-séchoir.....	20
I.5.2 Les éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir par air chaud climatisé.....	20
I.5.3 Les éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir par déshumidification ou pompe à chaleur.....	21
I.5.4 Les éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir sous vide	23
I.5.4.1 Les éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir sous vide discontinu	23
I.5.4.2 Les éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir sous vide continu	24
I.5.4.3 Les éléments de base entrant dans la fabrication du séchoir sous vide à plaque	25
I.5.5 Les éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir solaire.....	25
I.6 Présentation des schémas fonctionnement des séchoirs et leurs principes de fonctionnement	26
I.6.1 Présentation du schéma de fonctionnement du pré-séchoir et son principe de fonctionnement.....	26
I.6.1.1 Présentation du schéma de fonctionnement du pré-séchoir	26
I.6.1.2 Principe de fonctionnement d'un pré-séchoir	27
I.6.2 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir à air chaud climatisé et son principe de fonctionnement	28
I.6.2.1 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir à air chaud climatisé	28
I.6.2.2 Principe de fonctionnement d'un séchoir à air chaud climatisé.....	28
I.6.3 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir par déshumidification et son principe de fonctionnement	30
I.6.3.1 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir par déshumidification	30
I.6.3.2 Principe de fonctionnement d'un séchoir par déshumidification ou séchoir par pompe à chaleur	30
I.6.4 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir sous vide et son principe de fonctionnement.....	32
I.6.4.1 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir sous vide	32

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

I.6.4.2 Principe de fonctionnement du séchoir sous vide	33
I.6.5 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir solaire et son principe de fonctionnement	34
I.6.5.1 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir solaire.....	34
I.6.5.2 Principe de fonctionnement d'un séchoir solaire	34
I.7 Les prix des autres séchoirs sur le marché	35
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES.....	36
II.1 Présentation de la zone d'étude.....	36
II.1.1 Situation géographique	36
II.1.2 Analyse du site d'implantation	37
II.1.3 Analyse de l'écosystème.....	37
II.2 Matériel et méthodes utilisés	38
II.2.1 Matériels utilisés	39
II.2.2 composants utilisé pour le contrôle du système et de régulation.....	41
II.3 Méthode de collecte des données.....	44
II.4 Méthode de détermination des objectifs de recherche	46
II.5 L'analyse des données par le diagramme d'Ishikawa	46
II.6 L'analyse des données par le diagramme de Pareto	48
II.7 Démarche d'analyse des données	49
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	50
III.1 L'analyse des causes de l'utilisation du bois non séché par les PME d'ameublement de la ville d'Ebolowa.	50
III.2 L'analyse des causes par le diagramme de Pareto.....	51
III.3 Présentation des besoins identifiés en termes de séchoir à bois ainsi que les résultats des causes de l'usage du bois non séché.....	54
III.3 Proposition d'un modèle de séchoir à bois et son principe de fonctionnement	54

**« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises
d'ameublement».**

III.4 Présentation du dispositif de séchage proposé	54
III.6 Présentation du principe de fonctionnement du séchoir	61
III.7 Devis estimatif et quantitatif du projet	65
III.8 Discussion des résultats	67
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS	72
Références Bibliographiques	75
LISTES DES ANNEXES	77

LISTE DES SYMBOLES

R_v = Retrait volumique

$V_{H\%}$ = Volume à un contenu d'humidité donné m^3

V_{PSF} = Volume à un contenu d'humidité au PSF m^3

V_o = Volume anhydre m^3

T = Température à un point donné K ou $^{\circ}C$

t = Temps seconde

X = Contenu en humidité en base humidité %

ANOR : l'Agence des normes et de la qualité

COP : coefficient de performance

C.T.B : constructions ossature bois

HR : Humidité Relative

PME : petites et moyennes entreprises

PSF : Point de saturation des fibres

MH₂O : masse d'eau en kg

M_o : masse du bois anhydre en kg

M_h : masse du bois humide en kg

NF : norme française

NC : norme camerounaise

TVA : taxe sur la valeur ajoutée

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Zones climatiques au Cameroun	5
Figure 2: Première phase de séchage : Migration capillaire de l'eau libre (Perré, 1999)	9
Figure 3: Seconde phase : Une couche sèche se développe au périphérique du matériau (Perré, 1999)	9
Figure 4 : Méthode du découpage en fourche (Kauman, 1982) (a) et capteur de contraintes (Allégretti et Ferrari, 2008) (b)	11
Figure 7: Gerce de séchage	12
Figure 8: Défauts du bois au séchage	13
Figure 9: Schéma de fonctionnement d'un pré-séchoir (Westore, 2008).....	27
Figure 10: Schéma de fonctionnement d'un séchoir à air chaud climatisé (Séchoir Mec, 2004) .	28
Figure 11: Schéma de fonctionnement d'un séchoir à pompe à chaleur (Séchoir Mec, 2004)	30
Figure 12: Schéma de fonctionnement d'un séchoir sous vide (Patrice.J et al, éd II).....	33
Figure 13: Séchoir avec capteur intégré (a), Séchoir solaire avec capteur semi intégré (b) et Séchoir solaire avec stockage (c) (Sanchew, 2008).....	34
Figure 14: La carte de la région du Sud Cameroun (La station météorologique d'Ebolowa, 2011)	36
Figure 15: Diagramme ombrothermique 2011 (La station météorologique d'Ebolowa, 2011)	38
Figure 16: humidimètre.....	41
Figure 17: le pic 16F877A	41
Figure 18: Afficheur BCD7segments	42
Figure 19: Exemple d'un diagramme d'Ishikawa (Wikipédia).....	47
Figure 20: Exemple d'un diagramme de Pareto (Wikipédia).....	48
Figure 21: Diagramme d'Ishikawa	51
Figure 22: <i>Conception fonctionnelle détaillée en 3D</i>	56
Figure 23: Séchoir à tunnel vue en plan 3D	57
Figure 24: <i>Séchoir à tunnel vue en plan 3D</i>	58
Figure 25: Séchoir à tunnel vue en plan 3D	59
Figure 26: Séchoir à tunnel vue en plan 2D	60
Figure 27: l'empilage des pièces avant l'entrée dans la cellule	63

**« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises
d'ameublement».**

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Humidité d'équilibre du bois selon leur application finale (Thouraya Salem, 2017) ...	5
Tableau 2: Condition de température et d'humidité par région (construction bois, 2015)	6
Tableau 3: L'humidité recommandés du bois suivant l'humidité et la région au Cameroun (construction bois, 2015)	7
Tableau 4: Coefficients de retrait pour différentes espèce (Guitard, 1987).....	8
Tableau 5: Comparaison de la durée de séchage (Jours) du bois d'épaisseur 27mm de résineux (R) et de feuillus de haute densité (F) selon différents procédés (Perré et al.,2012)	15
Tableau 6: Exemple de table de séchage d'Iroko (CIRAD, 1998-2011)	18
Tableau 7: les essences utilisées en ameublement dans la ville d'Ebolowa	19
Tableau 8: matériels à utiliser lors de la fabrication du séchoir.	39
Tableau 9: autres composants	43
Tableau 10: Appareils de mesure utilisés	44
Tableau 11: Données collectées des causes de l'usage des bois non séché	52
Tableau 12: Epaisseurs des baguettes	62
Tableau 13: Ecartement entre les baguettes.....	63
Tableau 14: Fiche technique du séchoir.....	64
Tableau 15: Estimation des travaux du projet.....	65
Tableau 16: comparaison du séchoir.....	69

RESUME

La production de bois d'œuvre passe nécessairement par l'étape de séchage afin d'assurer la stabilité dimensionnelle des ouvrages, d'améliorer leurs propriétés mécaniques et de répondre aux exigences du marché d'exportation en terme de qualités des ouvrages.

Aujourd'hui rester compétitif nécessite de maîtriser sa chaîne de production, notamment par la production des ouvrages de qualités, flexibles et dédiés à la satisfaction du client.

C'est le cas pour l'industrie d'ameublement dans le Sud-Cameroun plus précisément dans le département de la Mvila.

L'usage du bois humide a généralement un impact sur la qualité des ouvrages. Ceci entraîne généralement une perte de valeur des ouvrages fabriqués. L'objectif de ce travail est de proposer un dispositif de séchage simple et efficace pour les PME dans le but d'améliorer la qualité des ouvrages réalisés. Plus spécifiquement, de faire une analyse des causes de l'usage du bois non séché par les PME d'ameublement dans la Mvila, ainsi que leurs besoins en termes de séchoir à bois (i), de proposer un modèle de séchoir à bois et présenter son principe de fonctionnement (ii), de faire une analyse financière comparative du dispositif étudié avec quelques modèles de séchoir sur le marché (iii). Pour atteindre ces objectifs, nous avons réalisé des entretiens individuels avec les responsables des PME d'une part et d'autre part avec des ouvriers travaillant dans ces PME. Ce qui nous a permis d'identifier les causes de l'utilisation des bois non séchés. Ainsi le diagramme des causes à effet, 5M d'Ishikawa nous a permis de présenter par famille ces différentes causes, et celui de Pareto a permis de les classer par ordre d'importance. Finalement, nous avons proposé un dispositif de séchage simple et adapté pour les PME d'ameublement qui leurs permettra de sécher facilement le bois à un coût abordable.

Mots clés : séchoir ; Tunnel ; Entreprise ; Ameublement.

ABSTRACT

The wood production necessarily passes through the drying stage in order to ensure the dimensional stability of the structures, to improve their mechanical properties and to meet the requirements of the operating market in terms of quality of the structures.

Nowadays, remaining competitive requires the control of the quality of production, flexibility and dedication to customer satisfaction. This is the case for the furniture in the south region of Cameroon and more precisely in Mvila division. The use of wet wood generally has impact on the quality of structures. This generally leads to a loss of value of the manufactured works. The objective of this work is to propose a simple and effective drying device by SMEs with the aim of improving the quality of the work carried out, more specially, to analyze the causes of the use of unseasoned wood by SME in Mvila, as well as their needs in terms of wood-burning kilns, to propose a model of wood-burning kilns and to present its principles of operation. To make a comparative financial analysis of the studied device with some models of dryer on the market. To achieve these objectives, we conducted individual interviews on the one hand with workers who work in those SMEs, which allowed us to identify the causes of the use of unseasoned wood. Thus, the 5M Ishikawa's cause-and-effect diagram allowed us to present by family these different causes and that of Pareto allowed us to classify in order of importance. Finally, we proposed a simple dryer device suitable for SMEfurnishing to allow them to easily dry wood at lower cost.

Keywords: drying house, tunnel, business, furnishing.

INTRODUCTION GENERALE

CONTEXTE ET JUSTIFICATION

Près de la moitié du Sud-Cameroun est recouvert par divers types de forêts. Cette importante ressource forestière est un des piliers économiques de la région (kiln dry). Dans l'histoire, ce dernier fut ébranlé par divers facteurs tels que la raréfaction des ressources, l'augmentation du coût de l'énergie et le resserrement des marchés. Pour faire face à ces menaces, le Sud-Cameroun doit mettre en valeur sa ressource et développer de nouveaux créneaux de marché. De plus, une importante vague de conscientisation écologique par rapport aux avantages de l'utilisation du bois dans la gestion du carbone et de l'énergie grise des matériaux pousse vers le même élan de valeur ajoutée du bois.

La valorisation du bois dans diverses applications nécessite un souci crucial afin de sécher la fibre adéquatement. Pour ce faire, l'industrie possède d'immenses unités de séchage qui ne sont pas accessibles et qui ne sont pas versatiles pour la transformation du bois pour de petits marchés spécifiques. De ce fait, plusieurs entrepreneurs œuvrant dans le domaine de la deuxième et troisième transformation du bois dans la région sont limités dans leur opération due à leur difficulté à s'approvisionner en bois séché (kiln dry). La commercialisation de diverses essences régionales pourrait aussi être développée par des séchoirs abordables, de faible capacité et à bon rendement. Présentement, la possibilité de séchage spécialisé de faible capacité s'avère quasi impossible dans les installations de grandes entreprises de première transformation.

PROBLEMATIQUE

De plus, les séchoirs à bois de faible capacité et performants ne sont pas abordables pour les producteurs de bois. Le séchage se distingue par la qualité de finition sur les meubles et la stabilité des ouvrages sur les lieux de mise en œuvre. Les problèmes auxquels les PME d'ameublement au Cameroun font face :

. La qualité médiocre des ouvrages fabriqués, causée par une absence de séchage du bois avant la fabrication

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

. Le manque des moyens financiers pour se procurer un séchoir artificiel de qualité

Le mandat de l'étudiant, reflété dans le présent mémoire, est donc de faire un concept de séchoir à bois adapté pour les petites et moyennes entreprises d'ameublements.

OBJECTIFS DE RECHERCHE

L'objectif général

Sensibiliser les menuisiers fabricants des Petites et Moyennes Entreprises d'ameublement du département de la Mvila, à prendre conscience sur l'importance du séchage artificiel des pièces de bois avant le processus de fabrication d'un ouvrage dans un atelier dans le but d'améliorer la qualité des ouvrages réalisés.

L'objectif spécifique

-Concevoir un modèle de séchoir à tunel à bois et présenter son principe de fonctionnement au bénéfice des menuisiers du département de la Mvila.

-Faire une analyse des causes de l'utilisation du bois non séché par les PME d'ameublement de la ville d'Ebolowa, ainsi que leurs besoins en termes de séchoir a bois

-Faire une analyse financière comparative du dispositif étudié avec quelques modèles de séchoirs sur le marché.

QUESTIONS DE RECHERCHE

Les questions de recherche identifiées sont les suivantes :

- Quelles sont les causes de l'utilisation du bois non séché par les PME d'ameublement ?

- Quelles sont leurs besoins en termes de séchoir à bois ?

- Quelle est l'importance de l'implantation d'un séchoir artificiel auprès des menuisiers fabricants du département de la Mvila ?

- Quel est le principe de fonctionnement du séchoir a bois proposé ?

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

- Quel est le coût global du dispositif de séchoir étudié ? Est-il abordable par rapport aux autres modèles de séchoir sur le marché ?

HYPOTHESE DE RECHERCHE

-Les PME d'ameublement ont besoin d'un séchoir simple dont le coût est abordable

-Ce dispositif fonctionnera selon le principe du séchoir à air chaud climatisé

-Le prix global de notre dispositif de séchage peut être élevé ou faible par rapport aux autres types de séchoir sur le marc

RESULTATS ATTENDUS

Au terme de cette étude, les résultats attendus sont les suivants :

-Importance d'un séchoir artificiel implanté au cœur du département de la mvila

-La capacité de stockage dudit séchoir artificiel

-Accessibilité du cout économique de séchage entre le gestionnaire du séchoir et les différents menuisiers séchant du bois

PLAN DE REDACTION DU MEMOIRE

Ce mémoire s'articule autour de trois (03) chapitres avec une introduction qui retrace le contexte de l'étude, sa problématique, les questions de recherche, les objectifs de recherche, les hypothèses de recherche, et l'importance de l'étude. Le premier chapitre présente la revue de la littérature dans le domaine de l'étude afin de mieux préparer le lecteur à la compréhension des termes et la situation dans laquelle l'étude s'insère aujourd'hui sur le séchage du bois. Le second chapitre présente les matériels et méthodes utilisées pour collecter les données tant primaires que secondaires pour la conception du dispositif. Le troisième présente les résultats et discussions. En fin une conclusion et recommandation.

CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTÉRATURE

Les principaux facteurs influençant le séchage du bois sont la densité de l'essence, l'épaisseur des planches, l'humidité perdue lors de la période de séchage, le programme de séchage utilisé, la température, la pression ambiante, le ratio longueur/épaisseur, le type de débit de l'air, la longueur de développement du débit d'air et la masse de bois à sécher. Le séchage à l'air libre est généralement rejeté au profit du séchage artificiel. Bien qu'efficace, ce mode de séchage comporte aussi ses limites. Le séchage artificiel est une opération énergivore. Face aux préoccupations d'achat du séchoir des PME, il est nécessaire de proposer un dispositif de séchage permettant d'améliorer la qualité des ouvrages. La proposition d'un dispositif de séchage utilisant une autre source d'énergie telle que les énergies thermiques, la récupération de la chaleur rejetée par d'autres industries ou l'énergie produite par une chaudière biomasse est également une piste envisagée. Toutefois, en raison de la disponibilité de chaleur de ces énergies, les stratégies de séchage utilisées actuellement en industrie, basées sur des connaissances empiriques ne peuvent plus être utilisées.

I.1- Les taux d'humidité des bois à la mise en œuvre au Cameroun

Il serait inopportun d'aborder la question des dimensions du bois, brut ou transformé en produits finis, sans rappeler les conditions d'humidité auxquelles ce matériau doit satisfaire au moment de sa mise en œuvre tant les variations dimensionnelles peuvent être importantes en fonction de l'humidité du milieu dans lequel se trouvera l'élément.

La norme camerounaise éditée par l'ANOR, sous la référence NC 001, définit ce taux d'humidité du bois.

Principe de base : lorsque débité, l'humidité du bois tend toujours à s'équilibrer avec l'humidité du milieu ambiant et ce par perte ou absorption d'eau par le matériau. Ces échanges s'accompagnent généralement de variations dimensionnelles, voire de déformations.

Il est par ailleurs important de souligner que la plupart des paramètres physiques, mécaniques et technologiques du bois sont directement liés au taux d'humidité.

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement».

Tableau 1: Humidité d'équilibre du bois selon leur application finale (Thouraya Salem, 2017)

Utilisation	Teneur en eau (%)
Charpente lamellé-collé	12 – 14
Menuiserie intérieure	10 – 12
Charpente traditionnelle	15 – 18
Meuble (label NF)	12 – 14
Parquet	10 – 12
Escalier	8 – 12
Menuiserie extérieure	15 – 18



Figure 1: Zones climatiques au Cameroun

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

On y relève les conditions moyennes suivantes :

Tableau 2: Condition de température et d'humidité par région (construction bois, 2015)

Ville	Tmin	Tmax	H%min	H%max	MCmin	MCmax
Yaoundé	19	28	79	85	15.5	18
Kribi-douala	23	28	82	90	16.5	20
Batouri	15	30	35	78	12.5	16
Ngaoundéré	15	30	70	82	6.5	15.5
Maroua	20	40	22	70	5	17

Ou T représente la température en °C, h% l'humidité relative de l'air et MC (moisture content) l'humidité d'équilibre du bois. Les valeurs suivantes sont à retenir comme l'humidité de référence <<sec a l'air>> pour chacune des régions :

- 18% pour le littoral
- 13% pour les régions du NORD (province du Nord et d'Adamaoua)
- 15% pour le centre
- 9% pour l'extrême Nord

Il est à noter que c'est l'état <<sec a l'air>> qui fait référence pour la normalisation, en particulier dans le cas de la détermination des dimensions des sciages. On pourra adopter à l'échelle nationale le taux moyen d'équilibre sec à l'air de 15% qui se situe dans la moyenne du Cameroun.

- Humidité internationale de référence : 12%
- Anhydre : obtenu artificiellement en étuve (>100°C). C'est un état instable les échantillons reprenant de l'humidité dès la sortie de l'étuve.

Entre l'état « vert » et l'état « sec à l'air » le passage se fait soit par séchage naturel, soit par mélange artificiel. Pour des humidités inférieures, il faut avoir recours impérativement au séchage artificiel.

La notion d'humidité telle que définie ci-dessus ne concerne que des échantillons de très faibles dimensions (< 2 cm). Pour une pièce de dimensions commerciales usuelles, l'humidité est

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

définie comme la moyenne des humidités constatées dans ses différentes parties. Quelle humidité du bois en fonction de l'utilisation ?

On trouvera ci-dessous quelques cas courants de mise en œuvre : pour chacun d'eux, on rappellera l'humidité du bois à respecter au moment de la production et de la mise en œuvre afin de limiter au maximum les possibles variations dimensionnelles et déformations induites ultérieures. Rappelons cependant que ces dernières sont très variables d'une essence à une autre.

Tableau 3: L'humidité recommandés du bois suivant l'humidité et la région au Cameroun (construction bois, 2015)

Utilisation /région (code couleur voir figure 2)	Rouge	Bleu	Blanc	Jaune
Menuiserie Intérieure non climatisée	15%	13%	12%	9%
Menuiserie Intérieure climatisée	13%	11%	10%	9%
Menuiseries extérieures	17%	14%	12%	9%
Charpentes	22%	19%	16%	12%
Ossatures et bardages	20%	17%	15%	12%
Extérieur non protégé	23%	20%	17%	13%
Au contact avec le sol	±25%			
Immerger dans l'eau	±30%			

Tableau 4: Coefficients de retrait pour différentes espèce (Guitard, 1987)

Essences	Coefficient de retrait tangentiel αT	Coefficient de retrait radial αR
Sapin	0.37	0.19
Hêtre	0.38	0.22
Fraké	0.43	0.18
Padouk	0.44	0.14
Douglas	0.33	0.19

I.2 Cinétique et contraintes de séchage

I.2.1 Cinétique¹

Au cours du séchage d'un matériau poreux se succèdent trois phases de séchage :

- **1ère phase** : c'est une phase à vitesse constante durant laquelle l'eau existe sous forme liquide. Elle se prolonge tant que la surface est alimentée en eau libre par succion capillaire ou par effet de la pression gazeuse interne. Ce transfert de masse est couplé au transfert de chaleur, indépendamment des propriétés du matériau. La température du matériau s'équilibre à la température humide de l'air.

¹ Cinétique : théorie expliquant un ensemble de phénomènes par le mouvement de la matière.

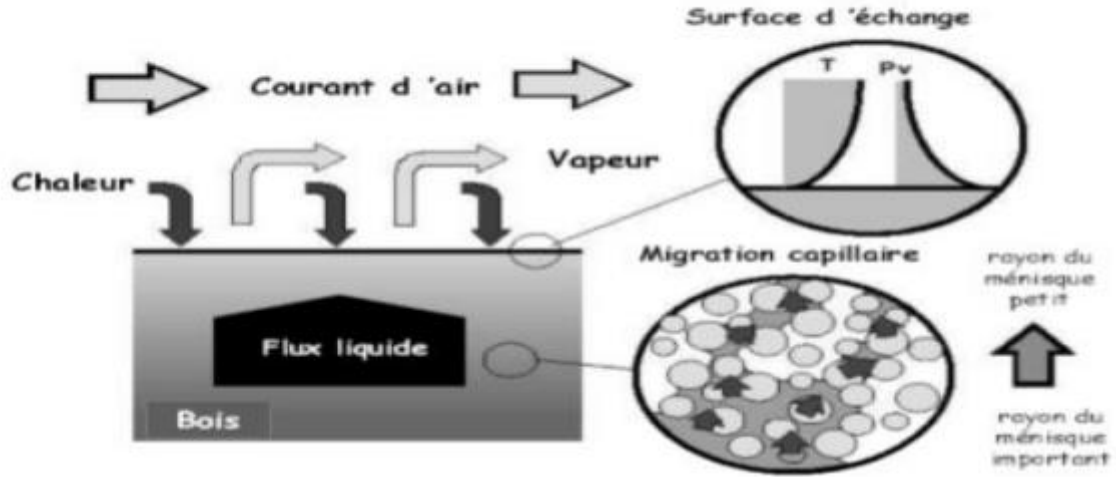


Figure 2: Première phase de séchage : Migration capillaire de l'eau libre (Perré, 1999)

2ème phase : elle débute lorsque la surface du produit entre dans le domaine hygroscopique c'est à dire, en dessous du psf. Il s'agit d'une phase à vitesse de séchage décroissante durant laquelle le front d'évaporation se déplace vers l'intérieur du produit dont la température augmente et se rapproche de la température sèche.

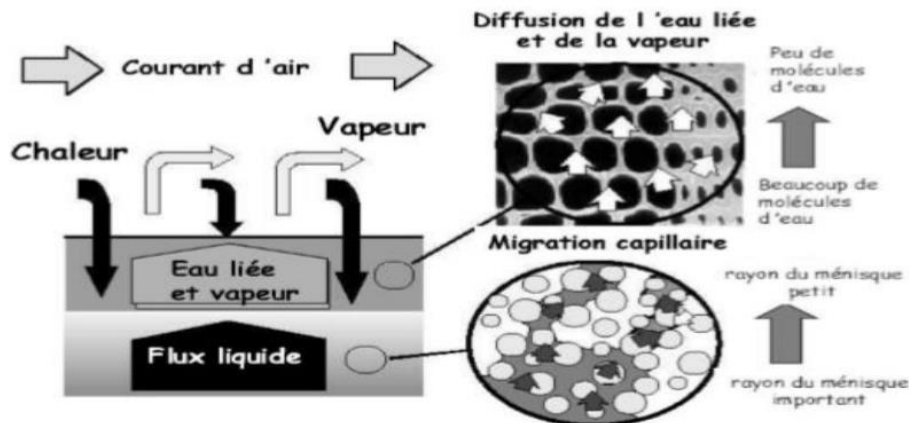


Figure 3: Seconde phase : Une couche sèche se développe au périphérique du matériau (Perré, 1999)

- 3ème phase : l'eau libre est totalement éliminée et la vitesse d'évaporation diminue pour tendre vers zéro. Les transferts de l'eau liée et de l'eau vapeur se font uniquement par diffusion. La

température s'équilibre à la température sèche et l'humidité du milieu à l'humidité d'équilibre déterminée par l'isotherme de sorption.

Dans le cas du séchage convectif à moyenne et basse température, durant la première phase, la vitesse de séchage est contrôlée par l'apport énergétique. Alors qu'en deuxième phase, la vitesse de séchage est contrôlée par la migration interne (vapeur d'eau et eau liée) (Martin et al. 1995).

Ainsi, il est possible d'accélérer les transferts internes et donc la cinétique de séchage en ajoutant une troisième force motrice, la surpression interne de la phase gazeuse, et ce en augmentant la température du bois au-dessus de la température d'ébullition. La surpression interne gazeuse diminue fortement la résistance interne au transfert de masse et favorise la migration de l'eau liquide ou gazeuse vers les extrémités des planches. Cet effet est à l'origine de la rapidité d'autres procédés de séchage tels que le séchage sous

vide ou le séchage haute température (Martin et al. 1995 ; Perré, 1993).

I.2.2 Evolution des contraintes de séchage

Tel que mentionné auparavant, le retrait est à l'origine des déformations du bois observé à la fin de l'opération de séchage. Au début du séchage, la surface du bois commence à sécher avant le centre créant un gradient d'humidité dans l'épaisseur. Ce gradient est sans conséquence tant que l'humidité à la surface est supérieure au PSF. Toutefois, quand l'humidité de la surface tombe en dessous du PSF, les zones superficielles tendent à se rétracter. Cependant, étant donné que l'humidité des zones internes est encore supérieure au PSF, elles limitent le retrait des zones superficielles. Il en résulte des contraintes de traction dans les couches proches de la surface et des contraintes de compression dans les couches du cœur.

Plus tard au cours du séchage, lorsque la teneur en eau du bois au cœur atteint à son tour le PSF, une inversion du champ de contraintes du bois se produit. Le cœur va être sous traction et la surface sous compression. Cet état qui persiste jusqu'à la fin du cycle de séchage constitue les contraintes résiduelles de séchage. Lorsque les contraintes dépassent la résistance mécanique du bois, elles peuvent provoquer des fentes sur les faces des planches (fentes de surface), au niveau des extrémités (fentes en bout) et à l'intérieur des planches (fentes internes).

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

Ces contraintes, ne pouvant être ni vues ni mesurées directement, sont évaluées à travers les déformations et les conséquences qu'elles engendrent. De nombreuses méthodes permettant d'estimer les contraintes résiduelles ont été développées. Ces méthodes ont été décrites par plusieurs auteurs (Canteri, 1996 ; Ilieva, 1998 ; Rémond, 2004, Moutee, 2006). Elles sont classées en méthodes destructives telles que le test de la fourchette (Figure 5a) (Kauman, 1982) ou des lamelles (Svensson et Toratti, 2002) et méthodes non destructives telles que le test de « Flying Wood » (Brandao et Perré, 1996), la méthode acoustique (Booker, 1994 ; Beall, 2002 ; Beall et al., 2003), la méthode d'analyse d'images (Hyoung-Woo et al., 2001) ou les capteurs de contraintes (Figure 5 b) (Fortin et al. 1994 ; Allegretti et Ferrari, 2008).

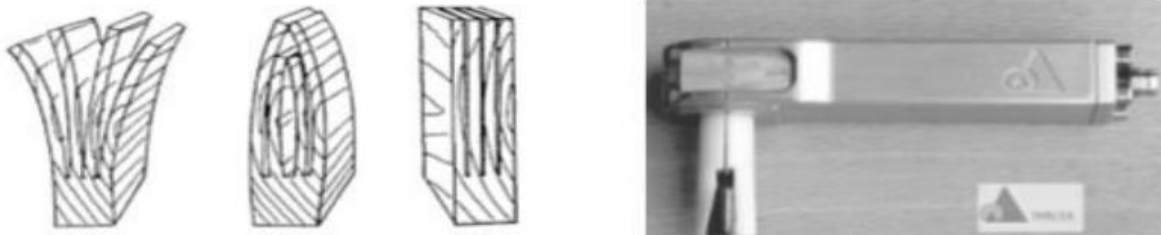


Figure 4 : Méthode du découpage en fourche (Kauman, 1982) (a) et capteur de contraintes (Allégretti et Ferrari, 2008) (b)

a)

b)

L'état de contraintes internes à la fin du séchage est un indicateur de la qualité de séchage.

Un séchage bien conduit devrait minimiser les contraintes internes. Par contre, une conduite de séchage mal adaptée à l'essence peut engendrer, en plus des contraintes résiduelles, d'autres défauts tels que le collapse qui se manifeste par un effondrement localisé des parois cellulaires, reconnaissable par une ondulation des faces des planches et parfois accompagné de fentes internes. Ce défaut est dû à l'utilisation d'une température trop élevée en début du séchage.

Il est aussi possible d'observer à la fin du séchage des déformations au niveau des planches (Figure 5). Ces défauts sont dus essentiellement à l'anisotropie du retrait et sont fonction de la position de la planche dans le billon :

a. Gerces

Les gerces sont des fentes apparaissant sur la surface externe des planches lors du séchage. Elles sont causées par le retrait du bois lorsque l'eau s'évapore trop rapidement en dessous du PSF. Elles sont le résultat d'un gradient d'humidité trop élevé dans la pièce de bois qui a souvent

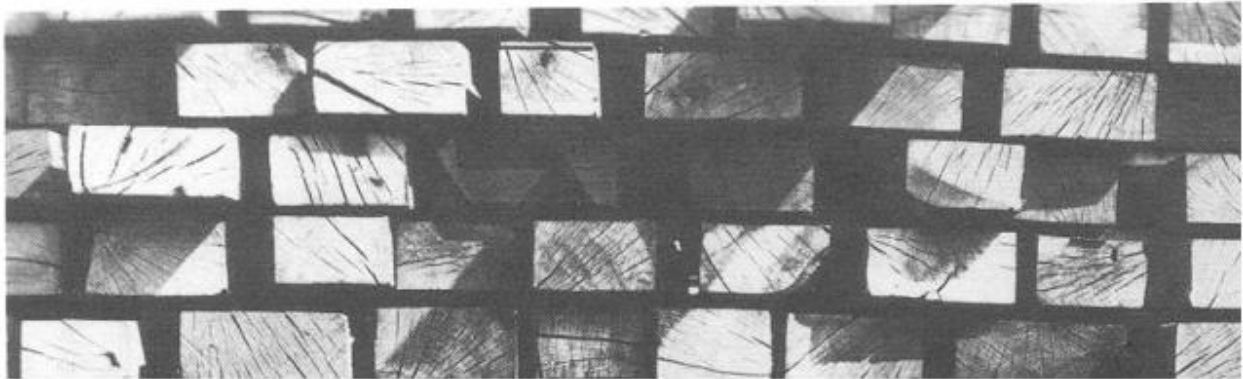


Figure 5: Gerce de séchage

comme cause l'utilisation d'un air trop sec lors du séchage.

Une solution est l'utilisation d'un air plus humide lorsque la partie interne est au dessus du PSF et que la partie externe est en dessous du PSF.

b. Distorsion (gauchissement, courbure, etc.)

Les distorsions du bois lors du séchage sont causées par les différents retraits du bois (radial, tangentiel et longitudinal). Lors de la désorption du bois, des contraintes sont générées par le gradient d'humidité ce qui déforme le bois. Un bon étuvage et un bon conditionnement peuvent réduire les distorsions. De plus, on peut les diminuer en appliquant une contrainte mécanique externe lors du séchage, en utilisant la plastification de la lignine à température élevée.

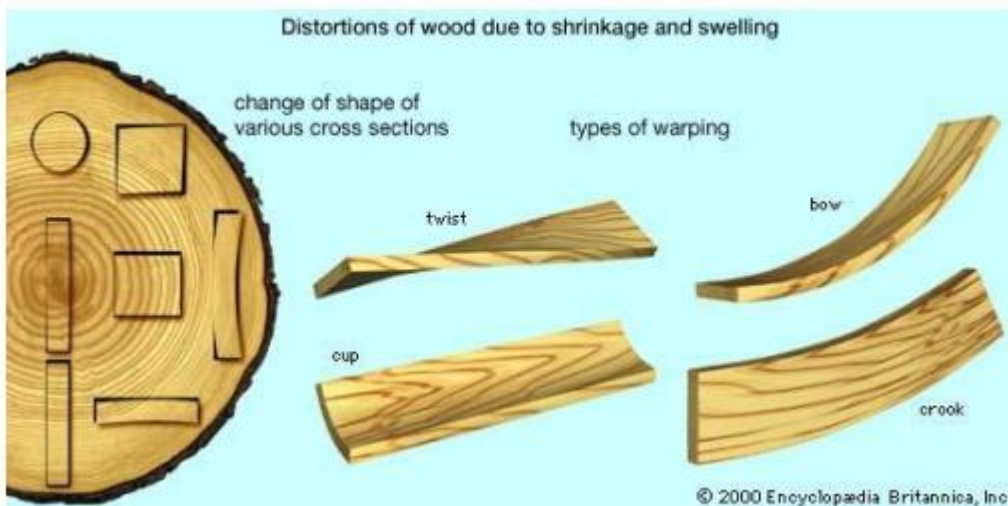


Figure 6: Défauts du bois au séchage

I.3 La pratique du séchage du bois

Un séchage de qualité devrait satisfaire un compromis entre la qualité finale du bois séché, la durée du procédé et le coût de revient du séchage. Cependant, étant donné que ces trois critères sont interdépendants, il est difficile d'agir sur l'un des critères sans affecter les deux autres. Jusqu'à présent, seule la pratique des conducteurs de séchoirs a permis d'atteindre un compromis. Toute cette connaissance est résumée dans les tables de séchage en annexe 2. Celles-ci donnent, pour chaque essence, les conditions de température et d'hygrométrie de l'air à utiliser en fonction de la teneur en eau moyenne du bois (Perré, 1993).

I.4 Procédés de séchage courants

Le séchage naturel ou à l'air libre est le procédé de séchage le plus simple ne nécessitant aucun apport d'énergie artificielle. Ce procédé est encore très souvent employé dans l'industrie du bois, soit comme seul moyen de séchage, soit combiné avec un autre procédé de séchage artificiel. Cependant, vu que les conditions de température et de l'humidité relative de l'air ne sont pas maîtrisées dans ce mode de séchage, la qualité du bois reste tributaire de conditions climatiques extérieures. Il en résulte, d'une part, des risques de dégradation du matériau (fentes de surface et en bout). D'autre part, des temps de séchage très longs qui engendrent des frais d'immobilisation importants (Aléon, 2012). Le choix des professionnels s'est orienté ainsi vers le séchage artificiel qui permet de maîtriser les conditions de séchage pour avoir un produit fini de qualité. Les procédés de séchage existants sont :

- **séchage convectif à basse et moyenne température** (pré séchoirs, séchoirs à pompe à chaleur, séchoirs à air chaud climatisé). Le séchage par air chaud climatisé, appelé aussi séchage conventionnel, est le procédé le plus ancien et le plus répandu dans l'industrie du bois.

- **séchage convectif à haute température** : les bois les plus fréquemment séchés moyennant ce procédé sont les résineux et dans une moindre mesure le peuplier. Les sciages sont généralement de faible ou moyenne épaisseur, inférieure ou égale à 50 mm (Aléon, 2012).

- **séchage sous vide** (continue, discontinue et en vapeur surchauffée) : ce procédé de séchage est adapté aux essences les plus difficiles à sécher (feuillus et résineux épais) (Aléon, 2012).

- **séchage par rayonnement électromagnétique haute fréquence** : ce procédé de séchage peut être bénéfique énergétiquement dans la mesure où il propose un transfert direct d'énergie entre la source et le matériau à sécher et permet, en outre, de concentrer l'énergie sur les surfaces ou volumes à sécher.

- **séchage mixte vide/haute fréquence.**

- **séchage solaire ou par infra-rouge.**

I.4.1 Durée

La durée nécessaire pour le séchage du bois en tenant compte du critère qualité mécanique du produit fini est le résultat d'un équilibre subtil entre les caractéristiques du bois séché, l'épaisseur des avivés, les caractéristiques du séchoir et les priorités de production (Perré et al, 2012). Le tableau 4 récapitule la durée du séchage observé en industrie pour deux catégories d'espèces (feuillus de haute densité et résineux) selon le procédé de séchage utilisé et la teneur en eau initiale et finale (Perré et al, 2012 adapté de Joly et More-Chevalier (1980) et Aléon et al. ,2001).

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

Tableau 5: Comparaison de la durée de séchage (Jours) du bois d'épaisseur 27mm de résineux (R) et de feuillus de haute densité (F) selon différents procédés (Perré et al.,2012)

Procédés de séchages	Bois	Etat vert à 18%	Etat vert à 10%	30% à 10%
Séchage à l'air	R	25-60	impossible	impossible
	F	190 - 340		
Séchage conventionnel	R	2	3	1.5
	F	15-20	20-30	10-15
Déshumidification	R	7 - 8	10 - 12	5 - 7
	F	20 - 25	25 - 35	18 - 20
Vide continu	R	1.5	2	1
	F	4 – 5	5 – 6	2.5 - 4

Nous pouvons constater, tout d'abord, qu'il est impossible d'atteindre certaines teneurs en eau finale en utilisant le séchage à l'air libre. Ceci est lié à l'impossibilité d'obtention d'une teneur en eau finale inférieure à l'équilibre hygroscopique extérieure.

Le temps de séchage le plus court est obtenu pour le procédé sous vide particulièrement dans le cas de séchage des feuillus. Ce gain en temps est obtenu grâce à une amélioration de la circulation de l'eau dans le bois par l'augmentation du coefficient de diffusion de la vapeur d'eau et par la création d'un gradient de pression dans le bois sous l'effet de la vaporisation de l'eau (Aléon, 2012).

La durée du séchage est fortement influencée par l'espèce séchée et ce pour tous les procédés. En effet, le séchage des feuillus est beaucoup plus lent que le séchage des résineux. Ceci est expliqué par la difficulté de séchage de certaines essences nécessitant ainsi l'utilisation des conditions de séchage modérées. C'est le cas du chêne, par exemple. Cette essence est caractérisée par des transferts internes laborieux en plus des risques de discoloration, de collapse et de fissures dues à la présence des gros rayons ligneux (Perré, 1993). Les durées de séchage par déshumidification sont plus longues que celles obtenues avec le séchage conventionnel et sous vide. Ceci est dû aux faibles températures de fonctionnement de ce procédé.

I.4.2 Qualité

Différents critères peuvent être utilisés pour évaluer la qualité du séchage à savoir l'homogénéité de la teneur en eau finale dans la pile de planches ainsi que dans l'épaisseur de chaque planche, l'importance des défauts observés à la fin du séchage (collapse, fentes, déformations et discolorations) et le niveau des contraintes internes.

L'Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement (FCBA) a évalué la qualité du bois séché par les différents procédés de séchage existants (Aléon et al, 2001 ; Aléon, 2012). Dans ce paragraphe, nous présentons une synthèse des résultats obtenus.

Séchage à l'air libre : l'alternance du jour et de la nuit permet un séchage peu brutal. En effet, la diminution de la température de l'air et l'augmentation de son humidité relative pendant la nuit permettent l'élévation de l'équilibre hygroscopique du bois et ainsi sa teneur en eau. Il en résulte une diminution des contraintes de traction à la périphérie du bois pendant les deux premières phases de séchage, avant l'inversion des contraintes. En outre, le séchage naturel, par sa faible température d'air, est plus favorable que le séchage artificiel du point de vue des discolorations apparaissant sur le chêne. Néanmoins, comme nous l'avons mentionné auparavant, ce mode de séchage présente des risques de dégradation du bois.

□ **Séchage à haute température :** permet une diminution, pouvant aller jusqu'à 30% selon l'espèce, des déformations du matériau par rapport au séchage à moyenne température. Ceci est conditionné par un empilage rigoureux et un chargement adéquat. Cependant, il est difficile d'obtenir une aussi bonne homogénéité de séchage qu'à moyenne température et les bois présentent à la fin du séchage une teinte plus foncée.

□ **Séchage par pompe à chaleur :** moins de risque de dégradations du bois (type collapse, discoloration, etc.) en raison de l'utilisation de températures faibles.

Cependant, ce niveau faible en température ne permet pas une activation de la

viscoélasticité, caractéristique favorable à la qualité du matériau de point de vue des contraintes de séchage.

□ **Séchage sous vide** : la qualité du séchage est comparable à celle obtenue à pression atmosphérique, sous réserve, pour les feuillus, que les bois aient été préalablement ressuyés jusqu'à une humidité inférieure ou égale à 40%.

I.4.3 Conduite de séchage

La conduite de séchage consiste à ajuster la température et l'humidité de l'air tout au long des étapes du cycle de séchage. Ces conditions de température et d'humidité sont contrôlées à l'aide de capteurs placés dans l'écoulement d'air. La progression du séchage est quant à elle surveillée à l'aide de capteurs (humidité ou température) placés dans des planches témoins disposées dans le séchoir ou à l'aide d'un peson permettant de suivre l'humidité moyenne de la charge de bois.

Dans le passé, la conduite du séchage était manuelle. Avec l'évolution des techniques et des exigences du marché, la conduite entièrement manuelle a été automatisée.

Actuellement, la conduite du séchoir est soit semi-automatique ou automatique. Dans le premier cas, l'opérateur intervient afin de changer les consignes d'humidité et de température au fur et à mesure de la progression du séchage. Dans le deuxième cas, le cycle de séchage peut être programmé de sorte que les consignes de température et d'humidité soient ajustées automatiquement au cours de ce cycle. L'évolution de celui-ci est contrôlée soit par le temps soit par la mesure de l'humidité du bois. Il est cependant fortement recommandé d'effectuer un contrôle régulier, de l'ordre d'une à deux fois par jour, d'une part pour s'assurer du bon fonctionnement des capteurs et, d'autre part, pour ajuster éventuellement les paramètres en cours de séchage.

Ci-après nous décrivons les différentes étapes du cycle de séchage ainsi que l'instrumentation utilisée pour le suivi de ce processus.

I.4.4 Les différentes périodes du cycle de séchage

L'opération de séchage peut se décomposer en cinq phases :

□ **La montée en température** : pendant laquelle la température de l'air est ramenée jusqu'à la valeur souhaitée pour le début de la phase de séchage. Afin d'éviter le risque d'apparition des fentes en surface du bois, l'humidité relative de l'air doit être maintenue à une valeur suffisamment élevée,

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

□ **Le réchauffage** : en l'absence de gradient d'humidité dans le bois, l'eau circule des zones chaudes vers les zones froides s'opposant ainsi à la circulation de l'eau des zones internes vers la surface. Il est donc indispensable, avant que le séchage proprement dit commence, que le bois soit réchauffé dans toute sa masse. Cette phase doit être effectuée en atmosphère très humide,

□ **Séchage** : permet d'abaisser la teneur en eau du bois jusqu'à la teneur en eau finale désirée. Il est réalisé en se basant sur les tables de séchage (Figure 5) qui donnent, pour chaque essence et épaisseur, les conditions de l'air à utiliser en fonction de l'humidité du bois. Ces tables, basées sur des connaissances empiriques, permettent d'obtenir la durée du séchage le plus court possible tout en préservant la qualité du bois séché (Aléon, 2012). (Voir annexe pour les autres)

Tableau 6: Exemple de table de séchage d'Iroko (CIRAD, 1998-2011)

Humidité bois(%)	Sèche	Humide	Humidité air (%)
Vert	50	47	84
40	50	45	75
30	55	47	67
20	70	55	47
15	75	58	44

Cette table est donnée à titre indicatif pour des épaisseurs inférieures ou égales à 38 mm.

Elle est à valider par une mise en application dans le respect des règles de l'art. Pour des épaisseurs comprises entre 38 et 75 mm, l'humidité relative de l'air serait à augmenter de 5% à chaque étape. Pour des épaisseurs supérieures à 75 mm, l'augmentation serait de 10%.

□ **Equilibrage** : en fin de séchage, l'humidité à cœur est plus importante que l'humidité en surface. Cette phase a donc pour but d'équilibrer le taux d'humidité dans l'épaisseur du bois. L'équilibrage permet également de diminuer les contraintes mécaniques résiduelles.

□ **Refroidissement** : suite à l'équilibrage, le bois doit subir un refroidissement progressif avant d'être sorti du séchoir et ce afin d'éviter un choc thermique qui pourrait provoquer des fentes en surface.

Les différentes essences utilisées en ameublement à Ebolowa et leurs problèmes relatifs au séchage

Tableau 7: les essences utilisées en ameublement dans la ville d'Ebolowa

Essences utilisées	Problèmes relatifs au séchage	Nom scientifiques
Ayous	Déformation : absent ou très faible Gerces : absent ou très faible	Triplochiton scleroxylon
Bilinga	Déformation : peu élevé Gerces : élevé	Nauclea diderrichii
Bubinga	Déformation : élevé Gerces : élevé	Guibourtia tessmannii
Dibetou	Déformation : peu élevé Gerces : peu élevé	Lovoa trichilioides
Ebiara	Déformation : peu élevé Gerces : absent ou très faible	Berlinia grandiflora
Frake	Déformation : absent ou très faible Gerces : absent ou très faible	Terminalia superba
Iroko	Déformation : peu élevé Gerces : absent ou très faible	Milicia excelsa

I.5 Identification des éléments rentrant dans la fabrication des séchoirs a bois

Il existe deux grandes catégories de séchoirs à savoir **le séchoir à case et le séchoir à tunnel** qui sont subdivisés en plusieurs types de séchoirs

Nous allons lister quelques types de séchoirs artificiels dans le séchage du bois et donner les éléments rentrant dans leurs fabrications.

- Le pré-séchoir
- Le séchoir à air chaud climatisé
- Le séchoir par pompe à chaleur (Le séchoir par déshumidification)

- Le séchoir sous vide

- Le séchoir solaire

I.5.1 Les éléments de base entrants dans la fabrication du pré-séchoir

Quelques éléments de base entrants dans la fabrication des pré-séchoirs à bois et leurs caractéristiques.

Un pré-séchoir ou encore séchoir de ressuyage comprend :

- Une très grande cellule maçonnée ou préfabriquée bien isolée avec la laine de verre ou de roche caractérisé par sa capacité pouvant contenir 500 à 1000m³ de bois ou plus.
- Des ventilateurs placés en faux plafond et réversibles, caractérisés par sa capacité qui permettent d'assurer une vitesse d'air suffisante à un échange entre le bois et l'air.
- Des batteries de chauffe caractérisée par sa capacité permettent d'assurer et d'atteindre des températures de l'ordre de 30 à 35°C quelle que soit la saison.
- Un système de climatisation avec cheminées caractérisé par le système d'ouverture et de fermeture des clapets
- Des rampes d'humidification caractérisée par son système d'humidification du degré hygrométrique de l'air dans la cellule.
- L'hygrostat caractérisé par sa capacité de régulation de l'air dans la cellule et commande le fonctionnement du compresseur,
- Le thermostat caractérisé par sa capacité de réguler la température de l'air.

Commande l'ouverture du clapet d'extraction d'air et la mise en fonctionnement des ventilateurs,

- Les capteurs qui sont caractérisés par le transfert des consignes au thermostat et à l'hygrostat.

I.5.2 Les éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir par air chaud climatisé

Quelques éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir par air chaud climatisé et leurs caractéristiques.

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

Le séchoir par air chaud climatisé comprend :

Une cellule maçonnée ou préfabriquée, bien isolée thermiquement et parfaitement étanche caractérisé par sa capacité en m³.

- Des ventilateurs caractérisés par leurs puissances de ventilation en tr/mn, leurs nombres de pales, dans leurs types assure la ventilation de la cellule,
- La rampe d'humidification caractérisée par son humidification au temps opportun, si besoin est, de faire remonter son humidité,
- Des cheminées caractérisées par leurs capacités d'échange d'air saturé ou d'air frais dans la cellule
- Des petits ventilateurs d'extraction caractérisés par sa vitesse d'évacuation d'air saturé, sa puissance en tr/mn
- Les batteries de chauffe caractérisées par son degré de chauffage d'air à l'intérieur de la cellule,
- Les clapets caractérisés par l'ouverture et la fermeture des cheminées,
- Les régulateurs caractérisés par le transfert des données à l'automate qui actionne l'ouverture des clapets et commande la mise en fonctionnement du système de chauffage.

I.5.3 Les éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir par déshumidification ou pompe à chaleur

Dans le procédé de séchage par déshumidification on peut distinguer d'une part l'appareil conditionneur (fonctionnant sur le principe de la pompe à chaleur), d'autre part la cellule de séchage dans laquelle sont stockés les lots de bois et dont l'ambiance est contrôlée par l'appareil et des cellules, tant du point de vue type de disposition que celui du mode de fonctionnement choisi. Un séchoir par déshumidification se présente sous la forme d'une armoire métallique répondant aux mêmes exigences que celles prévues pour les autres types de séchoirs (isolation convenable, bonne étanchéité) cette deuxième caractéristique est particulièrement importante compte tenu du fait que l'on fonctionne en circuit fermé et qu'il n'y a en général pas des clapets ni d'autres relations entre l'ambiance intérieure et l'air environnant enfermant :

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

- Un compresseur frigorifique qui est caractérisé par sa capacité de comprimer le gaz initial en fournissant ce que nous avons appelé l'énergie de transfert.
- Un évaporateur (batterie froide) est caractérisé par son degré de refroidissement en cas de haute température
- Un condenseur principal (batterie chaude) est caractérisé par son degré de chauffage en cas de faible température dans la cellule
- Une bouteille liquide, qui est caractérisé par sa capacité de stocker de fréon en phase liquide et par son comportement comme un vase d'expansion
- Un condenseur auxiliaire,
- Un détendeur et une vanne solénoïde, ici le détendeur fonctionne comme un gicleur
- Un pressostat basse pression est caractérisé par sa capacité de maintenir la température à une limite inférieure
- Une sonde sécurité antigivre qui est caractérisé par sa capacité d'éviter la formation de glace sur la batterie froide,
- Un pressostat Pump Down qui est caractérisé par sa capacité d'éviter au compresseur de comprimer du liquide,
- Un circuit électrique ou électronique de <<régulation>>, caractérisé par son système de régulation
- Un bac recueillant l'eau de séchage muni d'une évacuation caractérisé par sa capacité en m³ et par son système d'évacuation
- L'hygrostat caractérisé par sa capacité de régulation de l'air dans la cellule et commande le fonctionnement du compresseur,
- Le thermostat caractérisé par sa capacité de réguler la température de l'air.
- Les capteurs qui sont caractérisés par le transfert des consignes au thermostat et à l'hygrostat.

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

- Un pressostat d'huile qui est caractérisé par sa capacité de réchauffement de l'huile avant la mise en route
- Un ensemble de tubes en cuivre reliant tous ces éléments, caractérisé par sa longueur, son diamètre
- Une certaine masse de gaz frigorigère, (ce qui constitue le circuit frigorigère proprement dit)
- Un ventilateur principal de soufflage, caractérisé par son degré de soufflage
- Un ventilateur de refroidissement, caractérisé par son degré de refroidissement
- Un circuit électrique de commande

I.5.4 Les éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir sous vide

Dans ce genre de séchoir il y en a plusieurs types à savoir : **le séchoir sous vide discontinu, le séchoir sous vide à plaque, le séchoir sous vide continu.**

I.5.4.1 Les éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir sous vide discontinu

Quelques éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir sous vide discontinu et leurs caractéristiques.

Comme dans tous types de séchoirs, le séchoir sous vide discontinu comprend :

- Une cuve cylindrique qui est soit en fer soit en aluminium en m³
- Une pompe à vide a pour fonction d'assistance de freinage. En créant un vide d'air derrière une membrane dans un organe de freinage appelé le servofrein (amplificateur de freinage)
- Tuyau d'entrée eau chaude, en provenance de la chaudière
- Isolant thermique, est un élément clé dans le confort car il permet d'empêcher la chaleur ou le froid de s'échapper dans la cellule, il permet aussi de minimiser la consommation d'énergie
- Le ventilateur permet de ventiler l'air à l'intérieur de la cellule

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

- Déflecteur permet d'assurer que l'air produit par le système de ventilation soit dirigé dans l'empilement de bois.
- Wagonnet de chargement
- Diffuseur d'air chaud animé d'un mouvement de va et vient pour assurer une bonne distribution de l'air
- Tuyau sortie eau chaude
- Tuyau d'évacuation des condensats

I.5.4.2 Les éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir sous vide continu

Quelques éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir sous vide continu et leurs caractéristiques. Comme dans tous types de séchoirs, le séchoir sous vide continu comprend :

- Une cuve cylindre caractérisé par sa capacité en m³, sa longueur, son diamètre
 - L'isolant thermique caractérisé par sa capacité d'isolation
- Le tuyau d'eau chaude caractérisé par sa capacité de conservation d'eau chaude, sa longueur, son diamètre, son épaisseur, et son genre,
- Le faux plafond caractérisé par sa capacité de diriger l'air, de supporter les ventilateurs
 - Les ventilateurs caractérisés par sa puissance, le nombre de pales, la vitesse de ventilation dans la cuve
 - Les chariots sont caractérisés par leurs capacités de supporter un certain nombre de m³ de bois sans se casser, ses capacités de rouler dans les rails sans difficultés
 - Des capteurs caractérisés par leurs capacités de mesure la température, l'humidité, la pression fiable dans la cuve,
 - Les sondes d'humidité caractérisées par leurs capacités de donner les vrais taux d'humidité du bois,

- La pompe à vide caractérisée par sa capacité de créer le vide et de contribuer au système de freinage

I.5.4.3 Les éléments de base entrant dans la fabrication du séchoir sous vide à plaque

Quelques éléments de base entrant dans la fabrication du séchoir sous vide à plaque et leurs caractéristiques.

Comme dans tous types de séchoirs, le séchoir sous vide à plaque comprend :

- Une cuve cylindrique caractérisée par sa capacité en m³, sa longueur, son diamètre
- L'isolant thermique caractérisé par sa capacité d'isolation
- Les plaques chauffantes caractérisées par sa longueur, sa largeur, sa capacité de conserver la chaleur pendant longtemps
- Les tuyaux flexibles en caoutchouc caractérisé par leurs longueurs, leurs diamètres, sa résistance à la chaleur
- La pompe à vide caractérisée par sa capacité de créer le vide et de contribuer au système de freinage
- Un capteur caractérisé par sa capacité d'asservir la durée de fonctionnement de la pompe de façon à maintenir un vide permanent
- Une chaudière caractérisée par sa capacité de produire de l'eau chaude à la température donnée.

I.5.5 Les éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir solaire

Quelques éléments de base entrants dans la fabrication du séchoir solaire et leurs caractéristiques.

Comme dans tous types de séchoirs, le séchoir solaire comprend :

- Le séchoir solaire comporte une cellule en aluminium caractérisée par sa capacité en m³, sa longueur, sa largeur, son hauteur
- Un cryothermomètre caractérisé par sa capacité de détection de faible température

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement».

- Des ventilateurs caractérisés par sa puissance de ventiler l'air, le nombre de pales
- Des sondes caractérisées par leurs capacités de donner les températures normales dans le bois
- La laine de roche caractérisée par sa capacité d'assurer une étanchéité de la cellule
- La tôle noire caractérisée par sa capacité de captage du solaire
- Un circuit classique de distribution avec tuyauterie, vase d'expansion, purge, filtre, clapet anti-retour caractérisée sa capacité de distribution de la chaleur
- Un ballon de stockage caractérisé par sa capacité de stocker de la chaleur
- Un sol en béton armé caractérisé par sa capacité de supporter la charge
- Un thermomètre caractérisé par sa capacité de mesurer la température dans la cellule

I.6 Présentation des schémas fonctionnement des séchoirs et leurs principes de fonctionnement

I.6.1 Présentation du schéma de fonctionnement du pré-séchoir et son principe de fonctionnement

I.6.1.1 Présentation du schéma de fonctionnement du pré-séchoir

Le pré-séchage consiste en un début de séchage artificiel des bois fraîchement sciés, Les bois tombant de scie sont empilés sur des tasseaux puis disposés dans un pré-séchoir afin que leur humidité atteigne une valeur voisine du point de saturation des fibres (environ

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

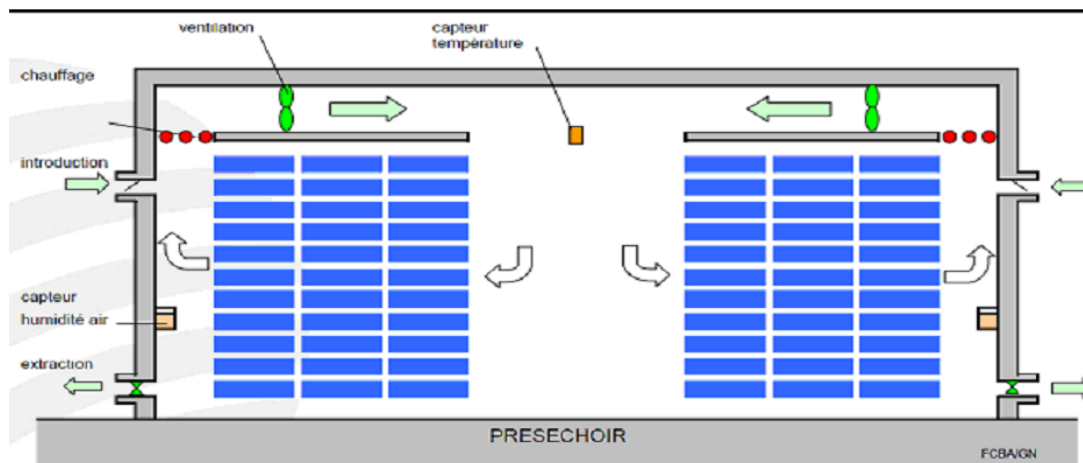


Figure 7: Schéma de fonctionnement d'un pré-séchoir (Westore, 2008)

25 à 30 % d'humidité). Puis, selon les besoins de la clientèle, les bois ainsi pré-séchés pourront être dirigés vers des cellules de séchage afin d'atteindre le taux d'humidité final désiré.

I.6.1.2 Principe de fonctionnement d'un pré-séchoir

Les pré-séchoirs sont de dimensions importantes : la longueur peut dépasser 50m pour une largeur moyenne de 30m et une hauteur de 6m. Ces dimensions importantes nécessitent une structure porteuse très robuste pouvant supporter sans dommages les différentes conditions climatiques (pluie, vent). Comme pour un séchoir conventionnel, les parois sont isolées thermiquement et étanches à la vapeur d'eau.

Des dispositifs permettant de faire varier l'humidité relative de l'air comportent :

Des cheminées d'évacuation de l'air humide. Des rampes d'humidification permettant de déshumidifier l'air si celui-ci est trop sec afin d'éviter des détériorations du bois.

Cependant, à l'inverse des séchoirs de finition par tunnel, il semblerait que tous les constructeurs ne prévoient pas systématiquement de rampes d'humidification dans les pré-séchoirs. Ils choisissent dans ce cas de recueillir l'eau d'évaporation du bois pour ré humidifier l'air. L'humidité relative de l'air est généralement comprise entre 75% et 80%. Des batteries de chauffe réparties sur la longueur du séchoir sont constituées généralement de tuyaux à ailettes parcourus par de l'eau chaude. La température qui règne au sein du pré-séchoir, le plus souvent de 25°C à 30°C, est régulée par l'intermédiaire d'un thermostat. Un système de ventilation permet la circulation horizontale de l'air à travers la pile de bois. Ce système de ventilation est

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

fréquemment disposé en faux-plafond. La vitesse de l'air recherchée à travers la pile de bois est de l'ordre de 1 m/s.

I.6.2 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir à air chaud climatisé et son principe de fonctionnement

I.6.2.1 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir à air chaud climatisé

Le séchage du bois se fait par convection. Cette technique repose sur deux principes : apport d'énergie et évacuation de l'humidité.

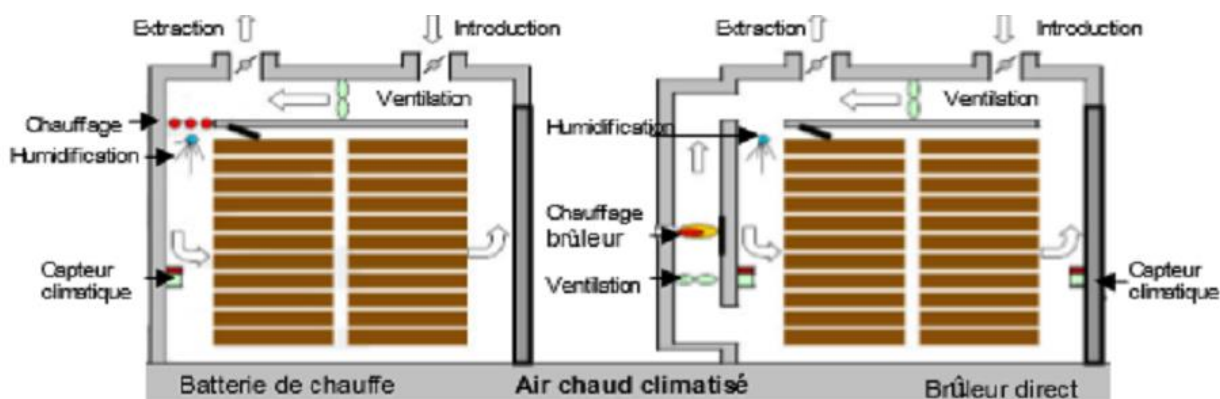


Figure 8: Schéma de fonctionnement d'un séchoir à air chaud climatisé (Séchoir Mec, 2004)

I.6.2.2 Principe de fonctionnement d'un séchoir à air chaud climatisé

Cet équipement est aussi appelé « séchoir traditionnel ». C'est le procédé le plus couramment utilisé. Il permet notamment de travailler sur une large plage de températures, entre la température ambiante et 90 °C. L'évacuation de l'humidité du séchoir se fait par échanges d'air avec l'extérieur. L'apport calorifique peut se faire directement par un brûleur ou indirectement par des batteries de chauffe alimentées par de l'eau chaude, de la vapeur ou tout autre fluide thermique. La mise en température de ces fluides est alors assurée par une chaudière alimentée par des connexes de scierie, du gaz ou du fioul.

L'air, soufflé par des ventilateurs, passe sur une batterie de chauffe au travers laquelle il est éventuellement réchauffé ; il est envoyé ensuite sur une rampe d'humidification qui permet, si besoin est, de faire remonter son humidité relative, puis il traverse la pile de bois.

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

Au fur et à mesure qu'il avance dans la pile de bois, l'air s'humidifie en « absorbant » la vapeur d'eau qui provient du bois. L'évaporation étant un phénomène qui absorbe de la chaleur, l'air se refroidit à travers la pile de bois.

A la sortie de la pile de bois, l'air est donc plus froid et plus humide qu'à son entrée dans le chargement.

Une partie de l'air chargé de la vapeur d'eau provenant du bois est évacuée à l'extérieur par des cheminées munies parfois de petits ventilateurs d'extraction d'air, Cette évacuation d'air humide est compensée par une introduction dans le séchoir d'air extérieur.

Il faut noter que même si l'air extérieur est très humide, du seul fait de son réchauffage dans la case de séchage, son humidité relative baisse fortement et permet donc à l'air du séchoir de retrouver une humidité relative suffisamment basse pour un nouveau passage à travers la pile de bois. L'apport d'air extérieur fait baisser la température de l'air du séchoir, Celui-ci passe alors sur la batterie de chauffe avant d'être renvoyé dans la pile de bois, et ainsi de suite.

Donc, lorsque l'humidité relative de l'air du séchoir est supérieure à la consigne, la régulation actionne l'ouverture des clapets de cheminées.

Si l'humidité relative de l'air du séchoir devient inférieure à la consigne, la régulation provoque la fermeture des clapets de cheminées puis l'injection dans la case de séchage du fluide d'humidification, vapeur d'eau ou eau liquide pulvérisée.

Lorsque la température de l'air est inférieure à la consigne, la régulation commande la mise en fonctionnement du système de chauffage. Si la température de l'air dans la cellule devient supérieure à la consigne, la régulation commande l'arrêt du réchauffage.

Les séchoirs par air chaud climatisé peuvent être du type « à case » (fonctionnement discontinu) ou du type tunnel (fonctionnement continu).

I.6.3 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir par déshumidification et son principe de fonctionnement

I.6.3.1 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir par déshumidification

Les séchoirs par pompe à chaleur ou séchoirs par déshumidification, n'exploitent qu'une seule source d'énergie : l'électricité. Ce type de séchoir est équipé d'un groupe frigorifique : comprenant : Une batterie froide, l'évaporateur Une batterie chaude, le condenseur La pompe à chaleur fournit plus d'énergie qu'elle n'en consomme. On trouve deux procédés pour les séchoirs par pompe à chaleur : À circuit fermé : il n'existe aucun échange d'air avec l'extérieur À circuit ouvert : un échange d'air est effectué avec l'extérieur pour faire baisser la température dans le séchoir.

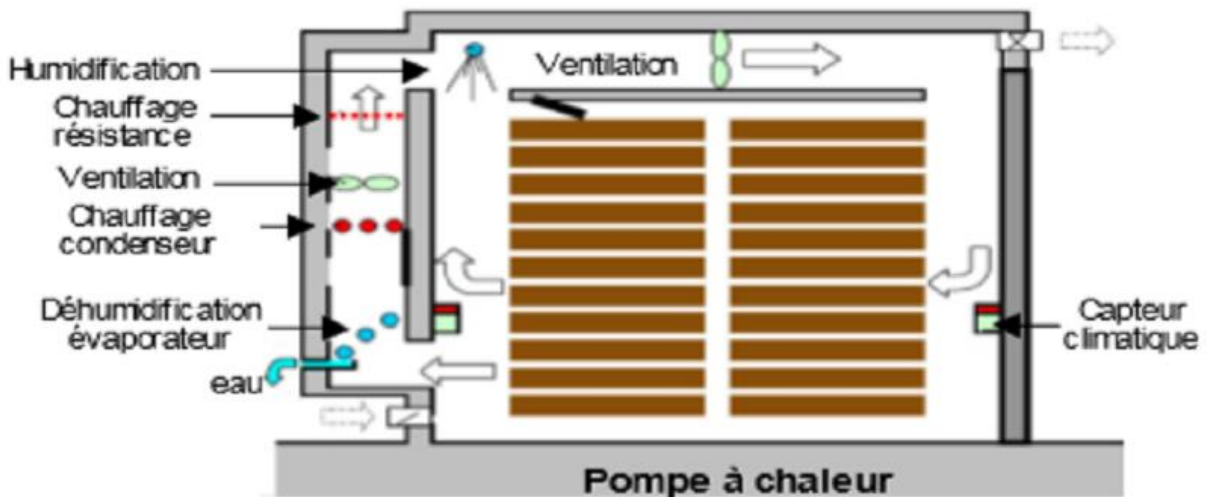


Figure 9: Schéma de fonctionnement d'un séchoir à pompe à chaleur (Séchoir Mec, 2004)

I.6.3.2 Principe de fonctionnement d'un séchoir par déshumidification ou séchoir par pompe à chaleur

La pompe à chaleur est une machine qui prend de l'énergie dans un certain milieu pour la céder à un autre milieu qui a besoin d'être réchauffé. C'est une machine frigorifique dans laquelle circule un fluide frigorigène en circuit fermé. Le fluide frigorigène, à l'état gazeux, est comprimé par un compresseur fonctionnant à l'électricité. Sous l'effet de la compression, le fluide frigorigène passe, dans le condenseur, de l'état gazeux à l'état liquide. Cette condensation libère

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

de la chaleur qui est fournie au milieu ambiant. Ce milieu est l'air qui va entrer à travers la pile de bois. Le condenseur de la pompe à chaleur (dans lequel le fluide frigorigène se condense) comporte donc une paroi chaude sur laquelle passe l'air destinée au séchage du bois. Le fluide frigorigène, maintenant à l'état liquide, passe dans un détendeur qui abaisse la pression du liquide. Sous l'effet de la détente et en captant de la chaleur du milieu ambiant le fluide frigorigène passe, dans

, de l'état liquide à l'état gazeux.

Pour tout fluide, le passage de l'état liquide à l'état gazeux absorbe de la chaleur, donc crée du froid. L'évaporateur de la pompe à chaleur (dans lequel le fluide frigorigène s'évapore) comporte donc une paroi froide sur laquelle passe l'air auquel la machine va retirer de la chaleur.

Dans le séchage du bois, le milieu ambiant duquel est prélevée la chaleur est, suivant le cas, soit l'air extérieur au séchoir, soit l'air chaud et humide qui sort de la pile de bois.

Ensuite, le fluide frigorigène passe à nouveau dans le compresseur, et ainsi de suite.

La machine pompe donc de la chaleur dans un milieu donné, au niveau de l'évaporateur, et la fournit à un autre milieu, au niveau du condenseur.

La chaleur fournie par le condenseur comprend la chaleur pompée par l'évaporateur à laquelle s'ajoute l'équivalent thermique du travail absorbé par le compresseur.

La pompe à chaleur fournit donc plus d'énergie qu'elle n'en consomme sur le réseau.

Le rapport entre l'énergie fournie au condensateur et l'énergie consommée par le compresseur est appelé coefficient de performance : COP.

Dans le cas des séchoirs à bois, le COP est souvent de l'ordre de 3.

Dans les appareils les plus anciens, le fluide frigorigène utilisé était le fréon R 22 avec lequel les températures obtenues étaient de 35 à 40 °C.

Actuellement, le fluide frigorigène utilisé le plus fréquemment est le fréon R 12. Certains appareils sont encore constants pour fonctionner avec un mélange de fluides frigorigènes, le R 500.

Les séchoirs par pompe à chaleur « à moyenne température » fonctionnent à environ 55 oc. Ceux à « haute température » atteignent 65 à 70 oc.

I.6.4 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir sous vide et son principe de fonctionnement

I.6.4.1 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir sous vide

Un séchoir sous vide est une enceinte hermétique dans laquelle on diminue la pression grâce à une pompe à vide. Ce sont les actions conjuguées de la pression et de la température qui vont accélérer la circulation de l'eau dans les bois et intensifier l'évaporation. La principale caractéristique du séchage sous vide est sa rapidité. Suivant l'essence, l'épaisseur, les humidités initiales et finales, on estime qu'il est 3 à 6 fois plus rapide que le séchage à air chaud climatisé. Cet équipement est bien adapté au séchage des grosses sections

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

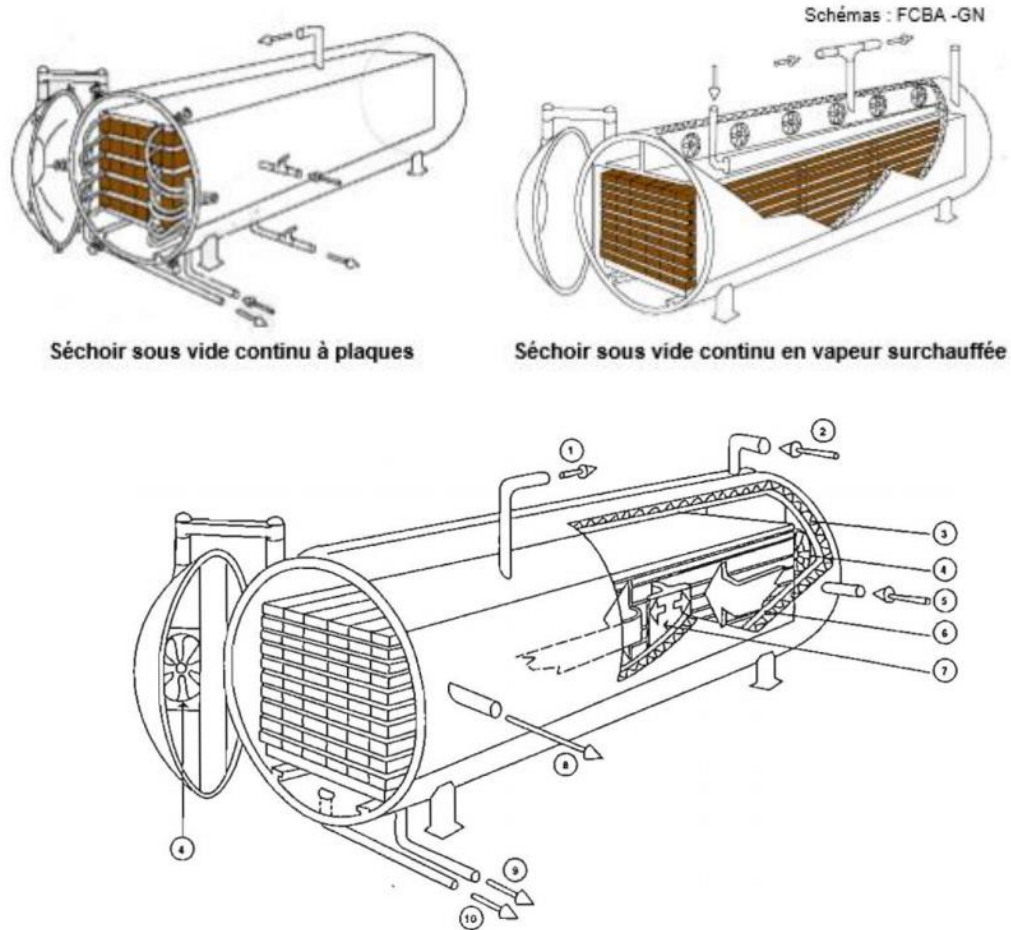


Figure 10: Schéma de fonctionnement d'un séchoir sous vide (Patrice.J et al, éd II)

I.6.4.2 Principe de fonctionnement du séchoir sous vide

Dans ce genre de séchoir il existe trois types de séchoir sous vide : le séchoir sous vide continu, le séchoir sous vide continu a plaque et le séchoir sous vide discontinu

Ici nous allons donner le principe général de fonctionnement de séchoir sous vide

Le séchage du bois est lié à deux phénomènes : la circulation de l'eau de l'intérieur vers l'extérieur et l'évaporation de cette eau en surface. La vitesse de circulation de l'eau dépend de la pression et de la température ambiante.

En effet, en interprétant la courbe de la diffusion K de l'eau par rapport à la pression, la

vitesse de circulation est multipliée par 5, si la pression de 60 mm de HG (80 m bar). De plus l'eau s'évapore à 40°C, ce qui accélère l'évacuation de l'eau une fois hors du bois.

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

La dépression est obtenue par une pompe à vide. Si la chaleur doit être transmise par convection (fluide caloporteur), il faut remettre à intervalles réguliers la pression atmosphérique pour introduire l'air caloporteur. On a le vide discontinu. Dans la technique du vide continu, on réchauffe le bois par conduction grâce à des plaques chauffantes introduites entre les pièces de bois ; le vide est alors maintenu durant tout le séchage. Dans le cas des séchoirs sous vide continu sans plaques, la chaleur est transportée par rayonnement par des panneaux radiants ou par de la vapeur d'eau surchauffée.

I.6.5 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir solaire et son principe de fonctionnement

I.6.5.1 Présentation du schéma de fonctionnement d'un séchoir solaire

Ce type de séchoir, expérimenté par C.T.B depuis 1976 est constitué d'une cellule étanche munie de trappes pour le renouvellement de l'air ambiant. Il utilise ce que l'on appelle communément l'effet de serre.



Figure 11: Séchoir avec capteur intégré (a), Séchoir solaire avec capteur semi intégré (b) et Séchoir solaire avec stockage (c) (Sanchew, 2008)

a)

b)

c)

I.6.5.2 Principe de fonctionnement d'un séchoir solaire

- Catégorie n°1 (agencement 1) : c'est le cas de séchoir solaire avec capteur intégré

(Figure a). Ce dernier est soit placé au-dessus de la pile de séchage ou directement sur le toit de la chambre. Ce mode de séchage est appelé aussi séchage direct.

Ce type de séchoir est caractérisé par son encombrement réduit et par sa facilité de construction.

- Catégorie n°2 (agencement 2) : elle regroupe les séchoirs solaires avec capteur latéral semi-intégré (Figure b). Les capteurs solaires sont séparés de la chambre de séchage. Le transfert de chaleur entre les capteurs et la chambre de séchage se fait au moyen de conduits calorifugés.

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

C'est le type de séchoirs qui a été le plus étudié car cette séparation offre plus de flexibilité pour l'optimisation de la surface de captation ou de la chambre de séchage.

□ Catégorie n °3 (agencement 3) : regroupe les séchoirs qui comportent une unité de stockage d'énergie pour pallier l'intermittence de l'énergie solaire. L'organe de stockage peut être soit un réservoir d'eau ou autre fluide caloporteur (Figure

c) ou un lit de pierres ou autre matériau placé sous la pile de bois et chauffé directement par l'air de la chambre de séchage. L'inconvénient des systèmes de stockage réside dans la difficulté de maîtrise de la quantité d'énergie emmagasinée.

I.7 Les prix des autres séchoirs sur le marché

Le prix d'un pré-séchoir : Le prix du pré-séchoir varie en fonction de leurs capacités en m³ de 150000000 à 800000000 FCFA (**Discount, 2019**)

Le prix d'un séchoir à air chaud climatisé : Le prix d'un séchoir à air chaud climatisé varie en fonction de leurs capacités en m³ de 130000000 à 700000000 FCFA (**Discount, 2019**)

Le prix d'un séchoir par déshumidification ou pompe à chaleur : Le prix d'un séchoir par déshumidification varie en fonction de leurs capacités en m³ de 110000000 à 650000000 FCFA (**web store, 2013**)

Le prix d'un séchoir sous vide (continu ; discontinu ; et a plaque) : Le prix d'un séchoir sous vide varie ici en fonction du genre et de leurs capacités en m³ de 100000000 à 700000000 FCFA (**Discount, 2019**)

Le prix d'un séchoir solaire : Le prix d'un séchoir solaire varie ici en fonction du type de panneau et de leurs capacités en m³ entre 50000000 à 400000000 FCFA (**Discount, 2019**)

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

Dans ce chapitre, nous allons présenter succinctement la zone d'étude, les différentes matérielles méthodes nécessaires pour l'atteinte de nos objectifs spécifiques.

II.1 Présentation de la zone d'étude

Le dispositif sera implanté dans la région du sud Cameroun dans le département de la Mvila, arrondissement Ebolawa 1er

II.1.1 Situation géographique

La Région du Sud couvre la partie Sud-ouest du territoire national, entre les parallèles 2° et 3°40' Nord. Elle couvre une superficie de 47.190 km² et partage ses limites avec :

- La Région du Centre au Nord-Est ;
- La Région de l'Est à l'Est ;
- La Région du Littoral au Nord-Ouest ;
- L'Océan Atlantique à l'Ouest ;
- Les Républiques de Guinée-équatoriale, du Gabon et Congo au Sud.

La Région du Sud comprend quatre Départements à savoir, l'Océan à l'Ouest, la Mvila au Centre, le Dja et Lobo à l'Est et la Vallée du Ntem au Sud de son territoire

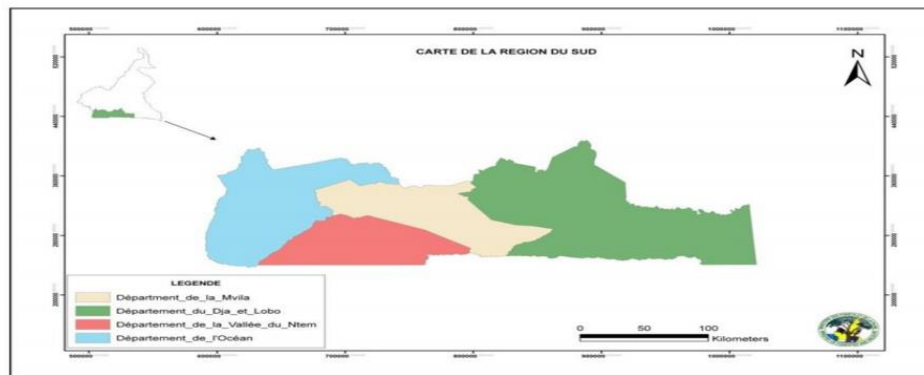


Figure 12: La carte de la région du Sud Cameroun (La station météorologique d'Ebolowa, 2011)

II.1.2 Analyse du site d'implantation

Avant toute implantation d'un projet de construction sur un site, il faut au préalable étudier la topographie du terrain car elle influence sur la construction ainsi que le drainage réalisé par l'écoulement des eaux de pluies.

II.1.3 Analyse de l'écosystème

➤ Climat

Le climat est du type équatorial avec quatre saisons dans l'année :

- Une grande saison sèche : de mi-novembre à mi-mars ;
- Une petite saison des pluies : de mi-mars à Juin ;
- Une petite saison sèche : de juillet à mi-août ;
- Une grande saison des pluies : de mi-août à mi-novembre.

La côte atlantique présente une variante qui la rapproche au type de climat du littoral du

Cameroun, avec une plus forte pluviométrie régulièrement répartie dans l'année. Les écarts thermiques observés sont en général faibles et la moyenne annuelle de température se situe autour de 25°C.

➤ Précipitation

D'après les données météorologiques fournies par la station météorologique d'Ebolowa, la hauteur moyenne de précipitation dans la ville d'Ebolowa est de 165 mm.

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement».

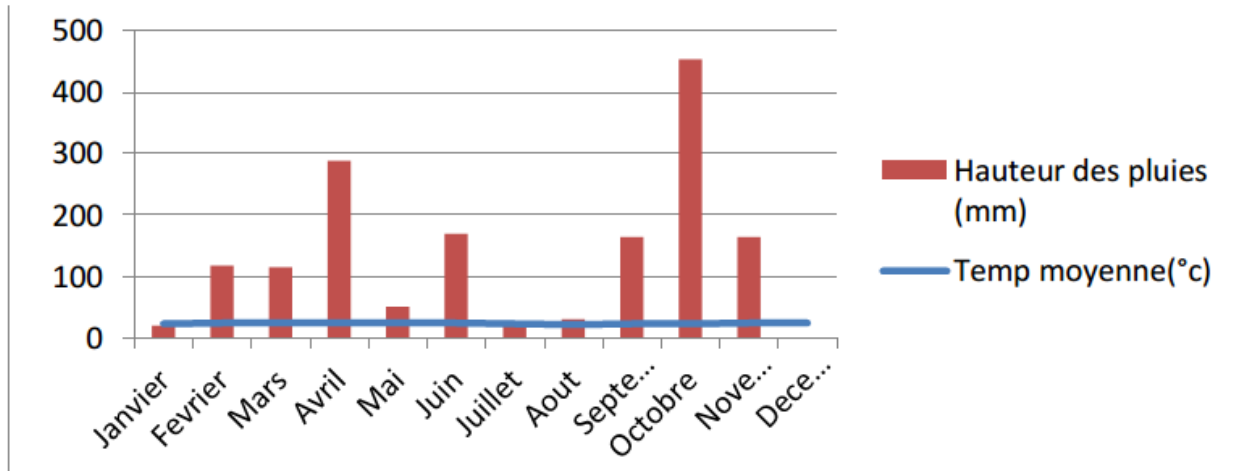


Figure 13: Diagramme ombrothermique 2011 (La station météorologique d'Ebolowa, 2011)

➤ **Température**

D'après les données météorologiques fournies par la station météorologique d'Ebolowa, la température moyenne de la ville d'Ebolowa est de 24,3°C pour la période de 2011. La température moyenne mensuelle la plus élevée est observée pendant le mois de

Décembre (25,4°C) et le mois le moins chaud est Août (22,6°C).

➤ **Taux humidité relative**

D'après les données météorologiques fournies par la station météorologique d'Ebolowa,

L'humidité relative dans la ville d'Ebolowa est de 79,95% pour l'année 2011. L'humidité la plus élevée est observée le mois d'Août (85%) et les mois de Décembre et Janvier correspondent à la petite valeur (75%)

II.2 Matériel et méthodes utilisés






L'objectif principal de ce travail est de proposer un dispositif de séchage pour les PME d'ameublement, dans le but d'améliorer la qualité des ouvrages réalisés. Afin de déceler les causes racines de l'usage des bois non séché pour la fabrication des ouvrages dans les

PME d'ameublement et de proposer les solutions à son amélioration. Nous présenterons dans un premier temps le matériel utilisé pour la réalisation du séchoir.





« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement».

II.2.1 Matériels utilisés

Tableau 8: matériels à utiliser lors de la fabrication du séchoir.

Matériels	Photo	Fonction	Caractéristiques
La raboteuse		Raboté	
La scie circulaire			
Les Planches			
Teinte		Produit de protection	
Petite scie Manuel		scié des petits objets	

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement».

<p>Marteau</p>		<p>enfoncer les clous dans les planches</p>	
<p>Equerre</p>		<p>assuré la perpendicularité entre 2 éléments</p>	
<p>Le mètre</p>		<p>mesurer la longueur des éléments</p>	
<p>Les cloue</p>		<p>De longueur - 22 cm - 24 cm - 32 cm</p>	

II.2.2 composants utilisé pour le contrôle du système et de régulation

➤ Le HH-503

Il s'agit ici du capteur d'humidité utilisé pour mesurer l'humidité du cacao. la méthode utilisé ici est la méthode de mesure de la résistivité électrique. Pour pouvoir mesurer l'humidité, il suffit de connecter un bout de la sonde dans l'afficheur et l'autre bout, de l'implanter dans le cacao.



Figure 14: humidimètre

Ce composant est un microcontrôleur, c'est en quelque sorte le cœur de notre système. Le programme (**donner en annexe 1**) qui permet de gérer toutes les conditions émis par le cahier de charge, est à l'aide d'un programmeur de PIC chargé dans ce microcontrôleur. Donc lorsque le LM35 mesure la température et que celle-ci est inférieure à 65°C, le microcontrôleur à l'aide d'un relais active les résistances chauffantes et les ventilateurs.

Lorsque cette température devient supérieure à 70°C, le microcontrôleur toujours à l'aide du relais désactive les résistances chauffantes. Lorsque l'humidité atteint les 7%, microcontrôleur donne l'ordre aux baffles de donner l'alarme.



Figure 15: le pic 16F877A

➤ Afficheur BCD7segment

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement».

Il a pour rôle essentiel d'afficher les valeurs en temps réel des quatre capteurs de températures et du capteur d'humidité selon un protocole bien défini.

Protocoles d'affichage : A 67 C ; F 85 H quand on n'a ces deux valeurs A c'est le numéro du capteur ,67 la valeur de la température, C voudrais dire qu'il s'agit d'une température et H veut dire qu'il s'agit de l'humidité. Les 5 valeurs des capteurs s'affichent à intervalle de temps égal et de façon rotative.



Figure 16: Afficheur BCD7segments

➤ Autres composants électronique et matériaux utilisé

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement».

Tableau 9: autres composants







Composant	Photo	Fonction
Le ventilateur		Ils permettent de disperser la chaleur émise par les résistances chauffante, et de créer une convection forcée au niveau des capteurs.
La résistance Chauffante		Source d'appoint lorsque l'énergie apporté par les capteurs n'est pas suffisante
Le cristal de Quartz		Il permet de fixer la fréquence du processeur du microcontrôleur 20Mhz
Relais (12V/10A)		Il s'ouvre ou se ferme selon l'instruction donnée par le microcontrôleur
Haut-parleur		Le baffle ici, permet de donner l'alarme lorsque l'humidité atteint les 7%.
Vatillateur		

Tableau 10: Appareils de mesure utilisés

Matériels	Photos	Utilités
Multimètre		Il nous a permis de mesurer les valeurs du courant et de la tension lors du câblage
Le Solari mètre		Permet de mesurer l'ensoleillement

II.3 Méthode de collecte des données

Une méthode de collecte de données peut être définie comme un outil permettant de recueillir les données sur le terrain. Nous avons utilisé trois outils pour collecter les données de notre étude. Il s'agit de : l'observation participante, de l'entretien et de l'enquête par questionnaire.

□ L'observation participante

« L'observation est un mode de collecte de données par lequel le chercheur observe de lui-même, de visu, des processus ou des comportements se déroulant dans une organisation pendant une période de temps délimité. » (Thietart et al. 2003). Il existe deux types d'observations : l'observation non participante qui permet au chercheur de conserver un point de vue externe et l'observation participante qui permet de conserver une approche interne.

En tant qu'étudiant à école normale supérieur d'enseignement technique d'Ebolowa au sein de notre terrain d'étude, nous avons opté pour cette dernière approche, qui consiste pour nous d'observer les défauts dû à l'usage des bois non séché sur les ouvrages de l'école et les ouvrages fabriquées par les PME de la ville d'Ebolowa. En effet, nous avons effectué une descente dans notre terrain d'étude. Durant cette période, nous sommes allés de l'atelier en atelier et, tout en observant le fonctionnement de chacun d'eux, sur leur mode d'utilisation des bois pour la fabrication des ouvrages.

Cependant, nous devons noter que, par ce canal, nous ne pouvions pas avoir toutes les informations relatives à notre problème de recherche. C'est pourquoi nous avons utilisé l'entretien pour en recueillir davantage.

□ **L'entretien**

« L'entretien est une technique destinée à collecter, dans la perspective de leur analyse, des données discursives reflétant notamment l'univers mental conscient ou inconscient des individus. Il s'agit d'amener les sujets à vaincre ou à oublier les mécanismes de défense qu'ils mettent en place vis-à-vis du regard extérieur sur leur comportement ou leur pensée. » (Thietart et al. 2003). On distingue deux types d'entretien à savoir, l'entretien individuel et l'entretien de groupe.

Nous avons utilisé l'entretien individuel semi directif (le chercheur utilise un guide structuré pour aborder une série de thèmes qu'il a préalablement définis), pour avoir des informations que nous ne pouvions pas avoir par une simple observation, L'entretien c'est effectué avec les chefs d'entreprises des PME dans le département de la Mvila.

L'objectif de cet entretien était de comprendre pourquoi certain PME ne sèche pas leurs bois avant la fabrication des ouvrages en bois. Au sortir de cet entretien plusieurs responsables des PME ont fait allusion aux prix exorbitant du séchoir.

□ **L'enquête par questionnaire**

Le questionnaire est un outil de collecte des données qui « permet d'interroger directement des individus en définissant au préalable, par une approche qualitative, les modalités de réponses au travers des questions dites fermées (Thietart et al, 2003).

Nous pouvons compléter cette définition de Thietart en ajoutant que les modalités de réponses peuvent aussi être définies au travers de questions dites ouvertes.

L'objectif de notre enquête par questionnaire est d'avoir le point de vue des techniciens sur la nécessité du séchage du bois avant la fabrication des ouvrages. A travers ces questionnaires nous voulons évaluer le nombre de technicien voulant sécher le bois avant la fabrication des ouvrages niveau de performance des processus de l'entreprise.

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

Pour atteindre notre objectif, nous avons administré un questionnaire organisé autour de 7 thèmes

- la qualité de la finition des ouvrages de l'usage des bois non séchés
- la crédibilité des PME
- Les causes de l'usage de bois non séché
- Les besoins des PME en termes de séchoir
- Les besoins des PME en termes de bois séché
- La capacité hebdomadaire d'utilisation de bois par semaine
- Les défauts rencontrés sur les ouvrages liés à l'usage des bois non sec

Nous avons effectué les enquêtes auprès des PME de la Mvila. Les PME cible de notre enquête étaient composées de 15 ateliers de menuiserie de la ville d'Ebolowa.

II.4 Méthode de détermination des objectifs de recherche

Il s'agit dans cette partie de préciser les méthodes employées pour analyser les causes de l'usage du bois non séché, la méthode de conception du dispositif et son principe de fonctionnement ainsi que l'analyse comparative du prix du modèle proposé avec les autres prix de séchoir sur le marché

II.5 L'analyse des données par le diagramme d'Ishikawa

Ce diagramme sera utilisé pour analyser les causes de l'utilisation des bois non séché par les PME d'ameublement dans la ville d'Ebolowa. Nous allons définir ce qu'on entend par diagramme d'Ishikawa il est également connu sous le nom diagramme en arêtes de poisson pour sa représentation graphique rappelant le squelette de ces animaux, cette méthode fut créée dans les années 60 par un ingénieur chimiste japonais, kaoru Ishikawa, précurseur de la gestion de la qualité. Ce diagramme est une représentation structurée de toutes les causes qui conduisent à une situation. Son intérêt est de permettre aux membres d'un groupe d'avoir une vision partagée et précise des causes possibles d'une situation.

Le schéma comprend les facteurs causaux identifiés et catégorisés selon la règle des " 5 M ".

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

□ Les principes des étapes

a) Qualification des effets

Il s'agit couramment du problème que vous cherchez à résoudre. Le problème qui engendre les autres problèmes de l'usage du bois non séché dans les PME d'ameublement.

b) Dressez un inventaire des causes possibles

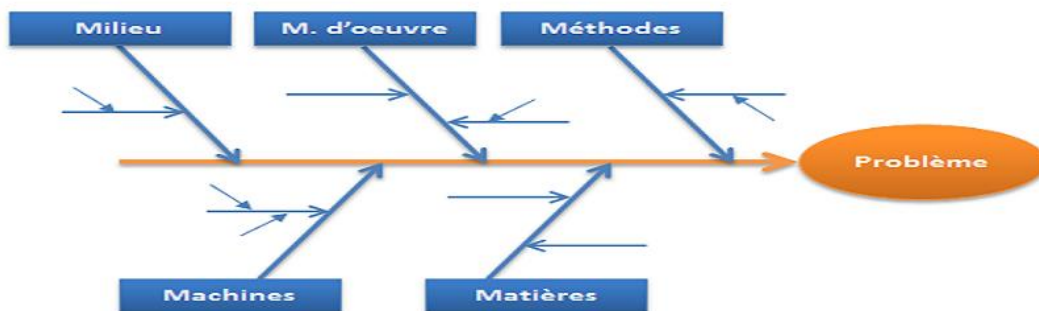
Listez celles qui ont une influence sur le problème. Pour ce faire, nous avons utilisé des méthodes telles que le brainstorming (Le brainstorming est un outil très utilisé dans les organisations pour trouver de nouvelles idées ou pour résoudre des problèmes. Il convient néanmoins, comme n'importe quel outil, de bien en maîtriser la méthodologie et certaines règles de base).

c) Classez les causes par famille

Ces regroupements forment les arêtes principales du diagramme d'Ishikawa. Dans le domaine de la qualité et de la production, les 5M sont fréquemment utilisés pour cette tâche : (Main d'œuvre, Matières, Matériels, Méthodes, Milieu).

d) Évaluez les branches/racines qui ont le plus d'impact

Annotez chaque branche du diagramme avec une note de priorisation de 1 à 5). Vous obtenez ainsi une hiérarchisation des causes. A noter que cette évaluation peut donner lieu à des études complémentaires.



éché par les

Figure 17: Exemple d'un diagramme d'Ishikawa (Wikipédia)

II.6 L'analyse des données par le diagramme de Pareto

Nous utiliserons ce diagramme pour classer par ordre d'importance les différents phénomènes liés au dysfonctionnement d'une entreprise. Ce diagramme prend la forme d'un histogramme sur lequel la hauteur des colonnes représente la fréquence d'apparition des phénomènes. A ces colonnes s'ajoute une courbe représentant le cumul des effets afin de mieux visualiser la part relative à chaque cause. Le diagramme de Pareto est aussi connu sous le nom de « règle des 20/80 » ou méthode ABC. Son inventeur, Wilfred

Pareto (1848-1923) a démontré que, dans la majorité des situations, un petit nombre de facteurs à une influence majeure sur les résultats. Il a ainsi prouvé, au début du siècle, que 20% de la population italienne détenait 80% de la richesse du pays et en a tiré la loi dite de Pareto des 80-20 (20% des facteurs expliquent 80% des résultats). Il s'avère que cette distribution inégale est habituelle, ce qui entraîne une utilisation fréquente de cet outil. L'avantage de la règle est que si 20% des causes produisent 80% des effets, il suffit de travailler sur ces 20% là pour influencer fortement les résultats.

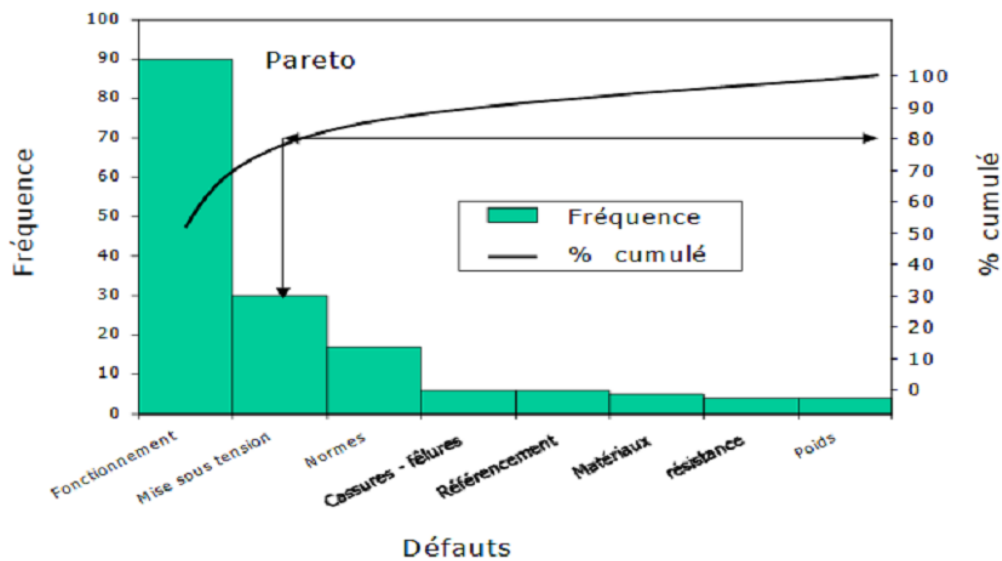


Figure 18: Exemple d'un diagramme de Pareto (Wikipédia)

Dans cette partie nous allons utiliser les logiciels de dessin tel que : le logiciel AutoCAD, le logiciel soliwork pour concevoir le dispositif, le logiciel EXCEL pour la construction de l'historgramme de Pareto, le logiciel EDRAW pour la construction du diagramme d'Ishikawa.

II.7 Démarche d'analyse des données

« L'analyse consiste à rassembler les informations recueillies puis à les traiter de manière qu'elles soient mises sous une forme susceptible d'apporter des réponses aux questions...

Quant à l'interprétation, elle représente en quelque sorte une synthèse rattachant les réponses fournies par l'analyse aux connaissances dont dispose le chercheur sur le plan théorique et sur le plan concret du milieu étudié, et ce, en vue de donner un sens plus général à ces réponses » (Zghal, 1991).

Ainsi, après dépouillement de nos données, une première pensée a été de proposer un dispositif de séchage adapté pour les PME d'ameublement dans la région du SUD.

Ceci nous a permis par la suite de présenter son principe de fonctionnement et de comparé le prix du dispositif avec d'autres séchoirs sur le marché.

Cette proposition a été faite à cause des défaillances rencontrée sur les ouvrages en bois fabriqué au SUD Cameroun.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

Ce chapitre est soumis à la présentation et à l'analyse des informations recueillies sur le terrain dans le cadre de notre étude. Nous présenterons les résultats d'analyse des causes de l'utilisation du bois non séché par les PME d'ameublement de la ville d'Ebolowa, ainsi que leurs besoins en termes de séchoir à bois, nous proposerons un modèle de séchoir à bois ainsi que son principe de fonctionnement, et en fin nous ferons une analyse financière comparative du dispositif étudié avec les autres modèles de séchoirs sur le marché.

III.1 L'analyse des causes de l'utilisation du bois non séché par les PME d'ameublement de la ville d'Ebolowa.

L'analyse des causes du problème lié à l'utilisation des bois non séchés est réalisée à partir du diagramme d'Ishikawa. Pour réaliser le diagramme Ishikawa, nous avons rencontré les responsables des ateliers de menuiserie pour un brainstorming avec lesquels nous avons réfléchi à toutes les causes de l'utilisation de bois non séché par les PME qui sont :

- Absence de main d'œuvre qualifiée pour la conduite ;
- Absence d'un séchoir ;
- Manque de connaissance technologique sur la notion de séchage du bois ;
- Manque de volonté d'utilisée le bois sec ;
- Cout très élevé du séchoir à bois ;
- Consommation d'énergie électrique ;
- Coût de maintenance du séchoir ;
- La faible quantité de bois à séché ;
- La variabilité des essences à sécher ;
- Prix des bois séché élevé ;
- La production à l'unité ;
- La pratique d'un séchage naturel à l'air libre ;
- L'absence d'un contrôle qualité dans le processus de Production ;
- Coupure intensive d'électricité dans la localité ;
- Desiderata des clients ;

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

- Manque d'espace pour un dispositif de séchage.

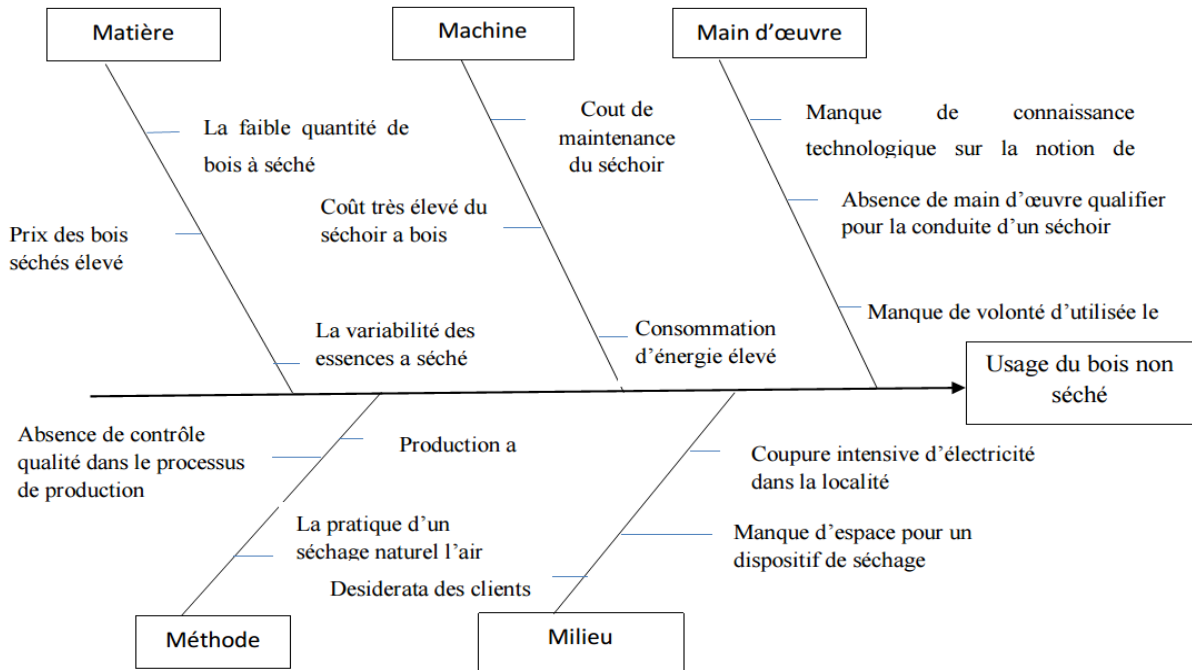


Figure 19: Diagramme d'Ishikawa

III.2 L'analyse des causes par le diagramme de Pareto

Le diagramme de Pareto permet de mettre en évidence les causes les plus importantes sur le nombre total d'effets et ainsi de prendre des mesures ciblées pour améliorer une situation. Il nous servira à classer les causes de l'utilisation de bois non séché par ordre de gravité, ceci imposera des priorités particulières afin de les résoudre. Nous avons opté à la méthode d'entretien pour déterminer l'ordre d'importance des causes de l'utilisation de bois non séché par les PME, pour le faire nous avons demandé aux responsables des PME de donner un poids entre 1 et 10 à chaque cause, la cause qui engendre le plus des faits. La moyenne des entretiens a abouti au tableau suivant :

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement».

Tableau 11: Données collectées des causes de l'usage des bois non séché

N°	Causes de l'usage du bois non séché	Origine	poids
1	Le prix des bois séchés élevés	Machine	
2	La variabilité des essences à sécher	Matière	
3	La faible quantité de bois à sécher	Matière	
4	Coupure intensive d'électricité dans la Localité	Milieu	
5	Coût très élevé du séchoir à bois	Machine	
6	Absence de contrôle qualité dans le processus de production	Main d'œuvre	
7	Desiderata des clients	Milieu	
8	Consommation d'énergie électrique	Machine	
9	Manque de volonté d'utiliser le bois sec	Main d'œuvre	
10	Manque d'espace pour un dispositif de Séchage	Milieu	
11	Coût de maintenance du séchoir	Machine	

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

Méthode de construction du diagramme de Pareto : Définir les catégories des causes de non utilisation de bois séché,

- a. Répartir les données dans les catégories,
- b. Classer les catégories dans l'ordre décroissant par rapport à leurs poids,
- c. Calculer le total des données,
- d. Calculer le pourcentage pour chaque catégorie,
- e. Calculer le pourcentage cumulé,
- f. Déterminer une échelle adaptée pour tracer le graphique,
- g. Choisir le « Histogramme » comme type de graphique, le plus grand à gauche,
- h. Ajouter la courbe de pourcentage cumulé sur le même graphique.

Selon la méthode décrite ci-dessus nous avons groupé les causes de non utilisation de bois séché dans des catégories pour faciliter leur traitement comme dans le tableau suivant :

D'après ce diagramme nous devons nous focaliser sur les causes suivantes :

- Cout très élevé du séchoir à bois
- Consommation d'énergie électrique
- Coupure intensive d'électricité dans la localité
- Absence de main d'œuvre qualifiée pour la conduite d'un séchoir
- Manque de connaissance sur la notion de séchage
- Production à l'unité
- Désidérata des clients

Nous allons agir sur ces 7 causes d'utilisation des bois non séché pour proposer un dispositif de séchage adapté aux PME d'ameublement.

III.3 Présentation des besoins identifiés en termes de séchoir à bois ainsi que les résultats des causes de l'usage du bois non séché

D'après les entretiens que nous avons eus auprès des responsables des PME

D'ameublement, nous avons constaté que les PME avaient besoin d'un séchoir avec les caractéristiques suivantes :

- Besoin d'un séchoir qui séché rapidement le bois
- Besoin d'un séchoir facile à utiliser
- Besoin d'un séchoir simple et à moindre coût
- Besoin d'un séchoir de faible capacité
- Besoin d'un séchoir à faible consommation d'énergie

Pour la suite, nous allons proposer un dispositif de séchage adapté à ces PME d'ameublement.

III.3 Proposition d'un modèle de séchoir à bois et son principe de fonctionnement

Après l'analyse des causes d'utilisation des bois non séché il nous ait revenu à la pensée de proposer un dispositif de séchage et son principe de fonctionnement. Les résultats issus de l'analyse précédente nous ont amené à concevoir un modèle de séchoir à bois adapté pour les PME d'ameublement. Nous présenterons donc le modèle ainsi que son principe de fonctionnement.

III.4 Présentation du dispositif de séchage proposé

Le séchoir ici présenté est un séchoir à tunnel a moyenne température dont la structure de la cellule de la chaudière est faite en matériaux traditionnels a base des briques de terre, du béton et crépi de l'intérieur et la cellule de séchage en bois massif et d'autres composants d'isolation muni du cheminée.

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

Les portes sont réalisées en bois massif recouverte de l'extérieur par la peinture bitumeuse et de l'intérieur par les tôles en aluminium et dispose de certains éléments en matériaux intumescents (capables de s'épaissir) qui se dilatent avec la chaleur, bouchant et bloquant ainsi toute circulation d'air entre les pièces qui séparent la porte technique.

Cette « étanchéité » assurée par les éléments coupe-feu réduit le flux d'oxygène qui alimente le feu tout en empêchant les flammes de se propager rapidement (en cas d'incendie dans la cellule).

Elle sera généralement plus épaisse, conçus en aggloméré ignifuge et présentent des chants en bois solide qui mettent plus de temps à brûler. Une petite porte incorporée sur la grande porte pour contrôler la température dans la cellule lors du séchage. La cellule a une dimension d'encombrement de 8000x2500x2000mm.

Une température interne varie entre 45 à 80°C et l'étanchéité sera réalisée par des films plastiques au niveau du sol et sur les murs par les peintures bitumeuses avec des flash bande d'isolation. La capacité de cette cellule sera de 3m³ de bois à sécher.

Le séchoir sera alimenté par une chambre de combustion de dimension

(1800x600x1100mm) munit des tuyaux en acier inox qui transmet la chaleur dans la cellule de séchage, et abrité par un hangar de dimension (9500x3500x3000mm).

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement».

CONCEPTION DU SECHOIR A TUNNEL EN 3D

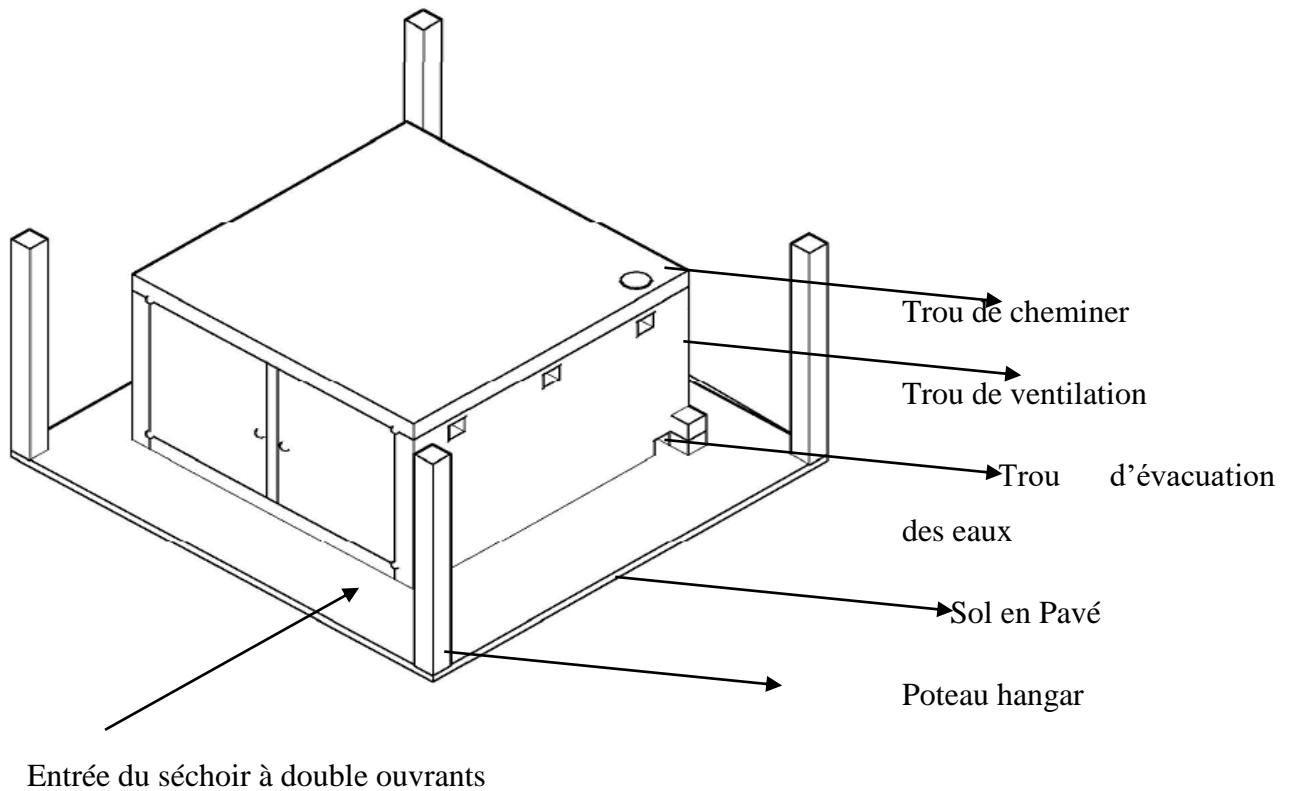


Figure 20: *Conception fonctionnelle détaillée en 3D*

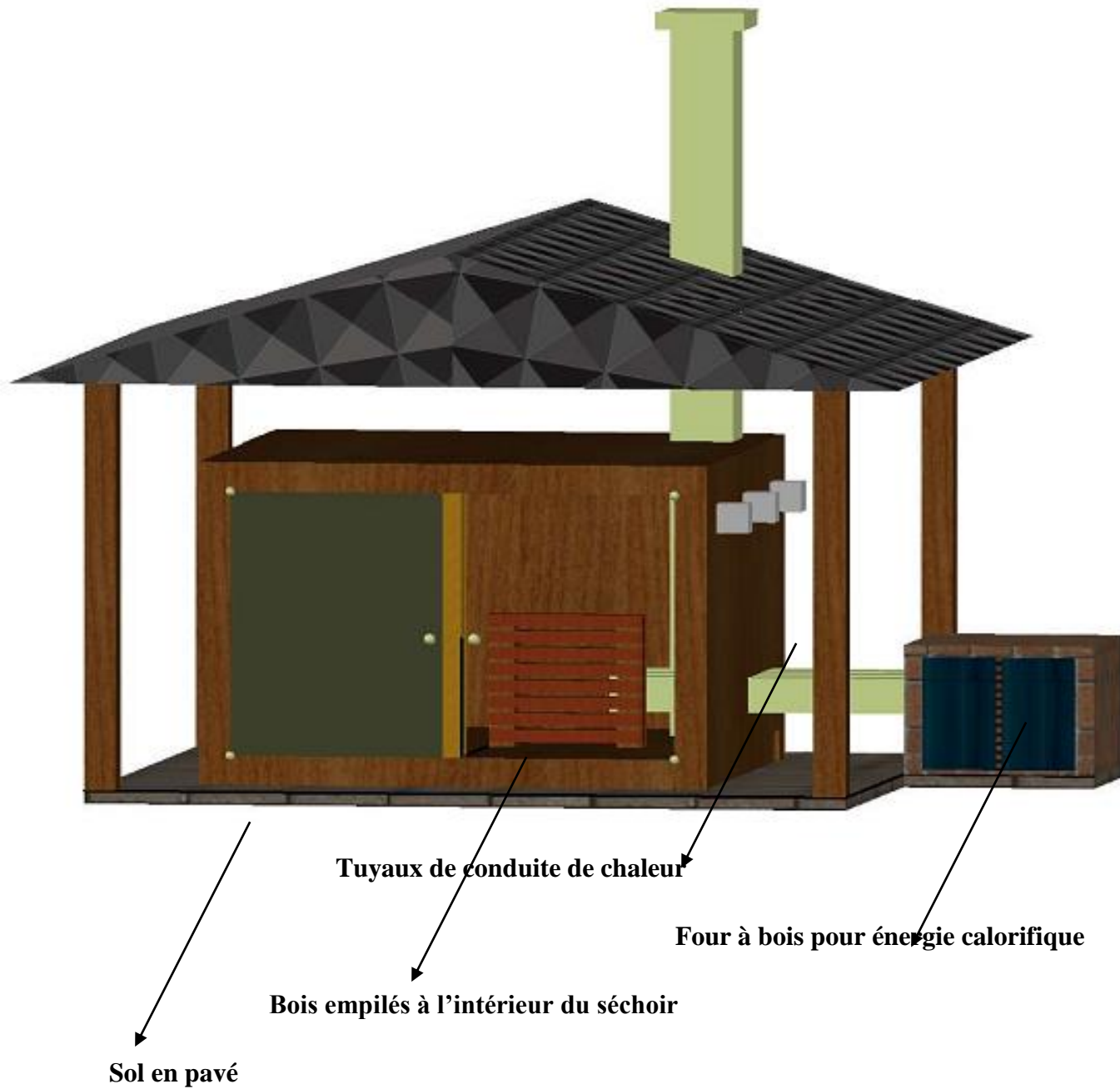


Figure 21: Séchoir à tunnel vue en plan 3D

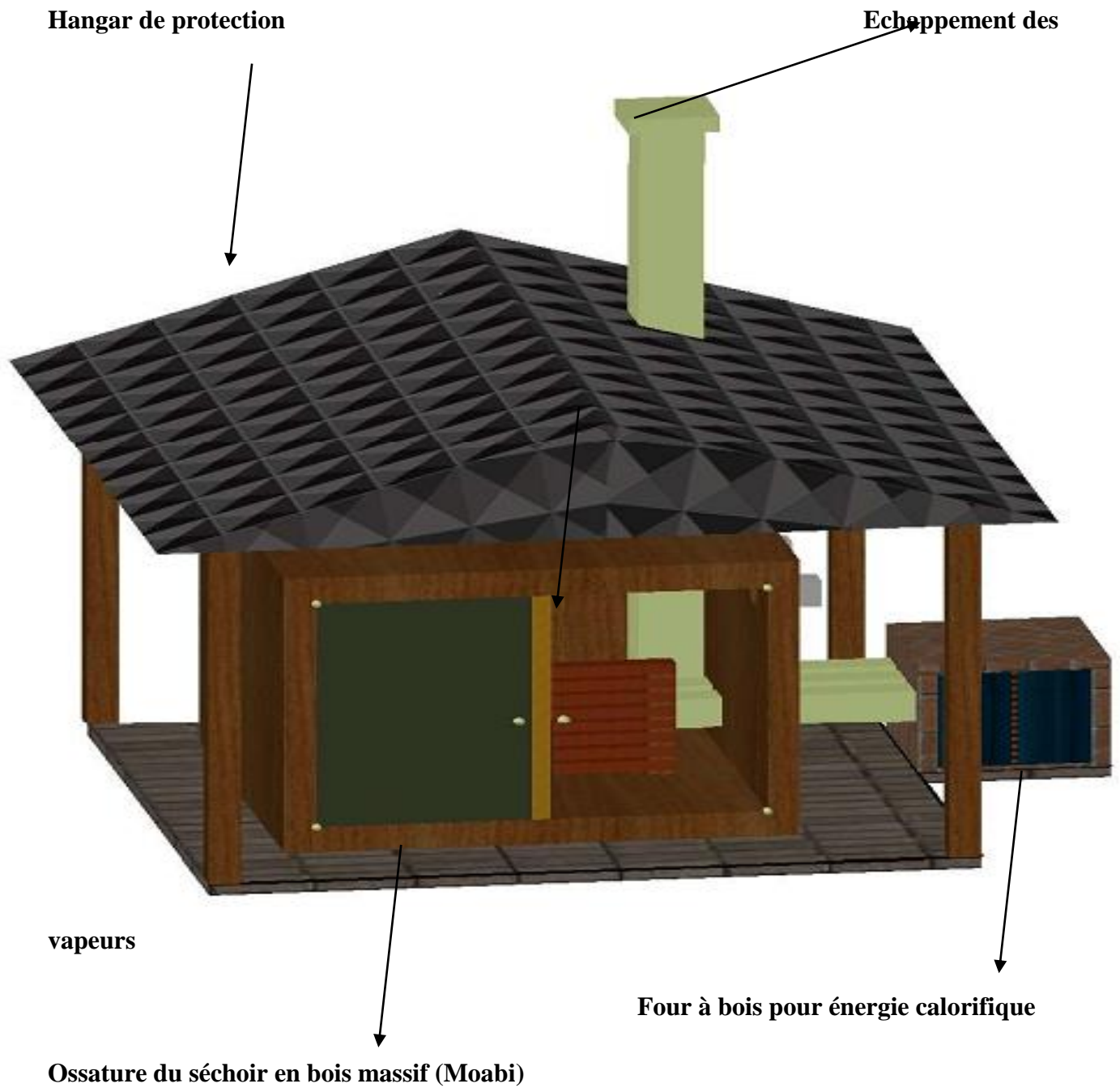


Figure 22: Séchoir à tunnel vue en plan 3D

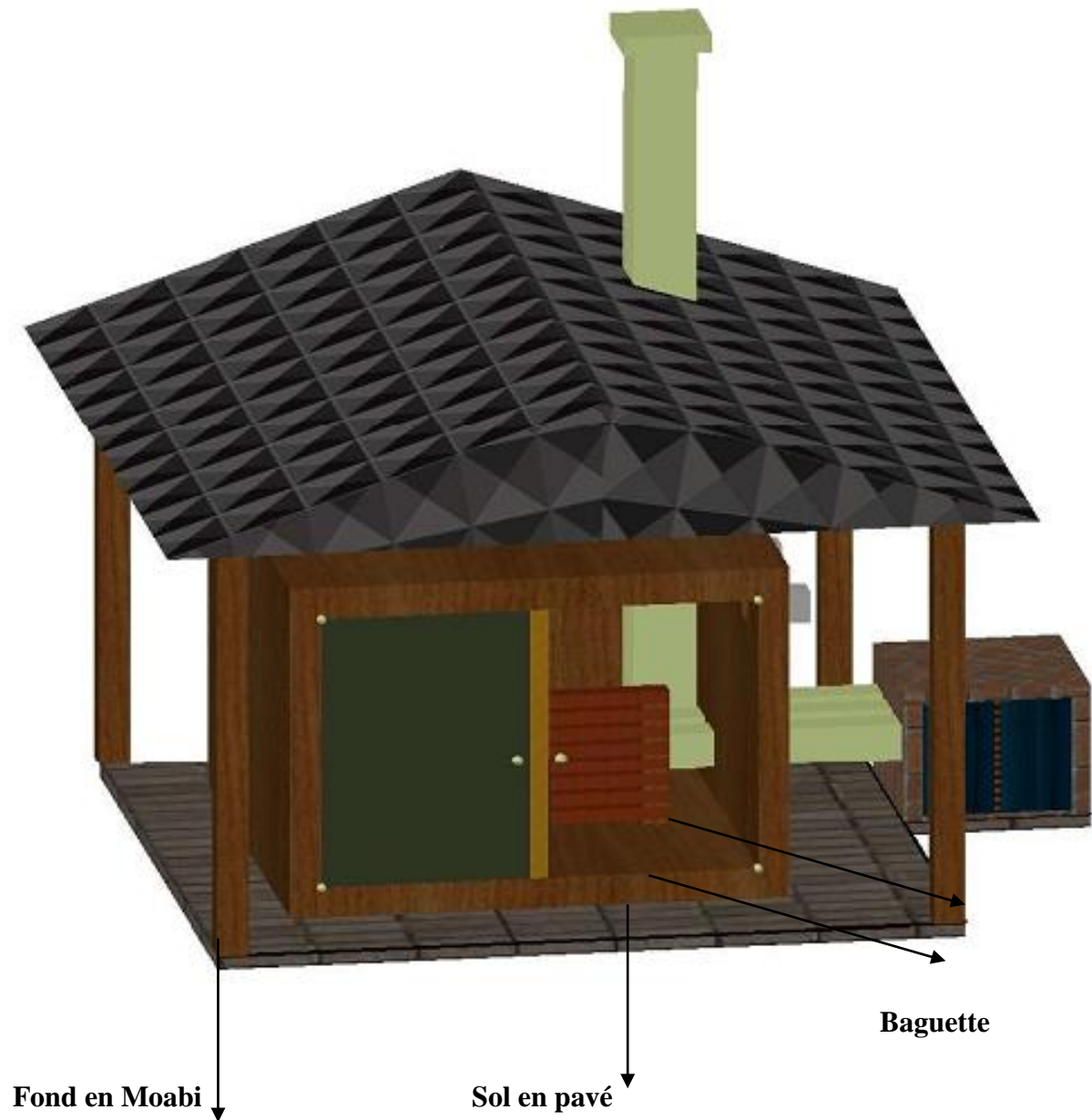


Figure 23: Séchoir à tunnel vue en plan 3D



Figure 24: Séchoir à tunnel vue en plan 2D

III.6 Présentation du principe de fonctionnement du séchoir

Ce séchoir n'ayant pas de commande électronique, le degré d'humidité des bois se mesure par l'humidimètre portatif. Par ailleurs la mesure de la température ambiante à l'intérieur du séchoir se mesure par l'hygromètre. Des échanges se font entre l'air du séchoir et l'air extérieur avec de la chaleur la chaudière. Dans ce séchoir, il y aura des organes de refroidissement ou de déshumidification de l'air

a) Conduite du séchage

i) Introduction des piles de bois dans le séchoir

L'idéal serait de faire sécher dans une même opération des bois de même essence, de mêmes dimensions (épaisseur particulièrement) et de même taux d'humidité initiale. Cela ne veut pas dire qu'il est impossible de sécher des bois d'épaisseur et d'humidité initiale différente, mais comme il faudra régler la conduite du séchoir sur les bois les plus épais et les plus humides, il y aura une perte de temps. Le séchage du bois est obtenu par apport d'énergie au matériau transmis par l'air qui passe à sa surface. Il est donc nécessaire que l'air puisse traverser la pile de bois. C'est la raison pour laquelle le bois repose sur les baguettes.

➤ **Empilage**

L'empilage se fait en général comme pour le séchage à l'air c'est à dire en lits horizontaux séparés par des baguettes. Dans chaque lit les planches sont placées bord à bord.

➤ **Dimensions des piles**

Pour notre séchoir les piles auront une largeur maximale de 1,60 m, et une hauteur maximale de 2m.

➤ **Nature et épaisseur des baguettes**

Pour le baguettage nous recommandons d'employer l'Ayous pour faire des baguettes.

Dont les largeurs pourront varier entre 3 et 4 cm

Tableau 12: Epaisseurs des baguettes

Epaisseur des bois (mm)	Epaisseur des baguettes (mm)
25	20
30	20
35	20
40	20
45	20
50	20
55	30
60	30
65	30
70	30
75	40
80	40
85	40
90	40
95	40
100	50
105	50
110	50
115	50
120	50

➤ **Ecartement et emplacement des baguettes**

Dans la confection d'une pile de séchage, un espacement de 80 centimètres doit être prévu entre les baguettes. Il faut tenir compte qu'en séchage artificiel, la tendance au flambage et au gauchissement est plus forte (d'autant plus que les bois sont plus minces). Voici les écartements qu'il convient à peu près d'observer :

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement».

Tableau 13: Ecartement entre les baguettes

Epaisseur des bois (mm)	Ecartement entre les baguettes (cm)
Inférieure à 50	20
Supérieure à 54	30
Supérieure à 74	40
Supérieure à 99	50

➤ **L'EMPILAGE**



Figure 25: l'empilage des pièces avant l'entrée dans la cellule

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

Tableau 14: Fiche technique du séchoir

Questions	Réponses
Production de bois sec demandée en m ³ / mois	2m ³ par semaine
Essences et répartition en pourcentage	Ayous 80% ; Padouk 80% ; Sapelli 70% Iroko à 80% ; le Bilinga 70% ; le Fraké 70% bubinga 60%, le movingui 40%
Epaisseur des planches à séché	25 à 50
Humidité initiale en moyenne	65 à 90%
Humidité finale désirée	En fonction des régions de destination de l'ouvrage
Existe-t-il de grands écarts d'humidité initiale	Oui entre 40 à 60% d'humidité
Produits fabriqués	Armoires ; Portes, lits, fenêtres, plafond, parquet, Bureau
Dimensions des piles de bois existantes L x l x h	220 x 170 x 200cm
Durée de fonctionnement par 24h	8h
Nombre de jours par semaine	7/7
Conduite automatique ou semi-automatique	Semi-automatique
Le séchoir sera t'il implanté à l'intérieur ou à l'extérieur	Le séchoir sera implanté à l'intérieur d'un hangar
Les dimensions L x l x H	9500 x 3500 x 3000mm
Y aura-t-il deux portes	Deux portes de 1800 x 1200mm
Quel moyen de manutention est prévu ? Chariots élévateurs, wagonnets, déplaçable	Manutention manuel
Il existe une chaudière son type, sa Puissance disponible, la Nature du fluide : vapeur (pression ?) Eau chaude, surchauffée, fluide thermique T°C.....	Oui une chaudière alimentée par les déchets du bois avec plaque en acier inox surchauffée
Electricité : Courant alternatif, Puissance disponible : le jour :.... la nuit	Mixte

Certaines réponses ont été obtenues auprès des responsables de la ville par rapport à leurs quantités de bois en m³ par semaine. C'est sur cette base que notre dispositif a été dimensionné en fonction des capacités de consommation des PME de la Mvila. Ici nous allons faire le devis de chaque élément du dispositif

III.7 Devis estimatif et quantitatif du projet

Ce devis est reparti en fonction de chaque domaine de professionnalisation pour la réalisation dudit projet.

Source des prix

Les coûts mentionnés dans ce travail proviennent des sources diverses.

- Le prix du bois est issu du dépôt de vente de bois de Bilons à Ebolawa. A ce prix, nous avons ajouté le coût d'usinage du bois, sur la base des coûts pratiqués par les menuisiers de la ville d'Ebolowa.

- Les prix de certains matériaux de construction proviennent de la société FOKOU à Ebolowa, d'autres ont été issues des documents techniques dont la liste est détaillée dans la bibliographie et d'autres ont été issues de certains sites internet.

- Le taux de main d'œuvre a été obtenu auprès des techniciens du bâtiment de la ville d'Ebolawa.

Tableau 15: Estimation des travaux du projet

	Désignation	Qté	PU (Fcfa)	PT (Fcfa)
INSTALLATION DU CHANTIER	Installation et repli de chantier. Transport du matériau de construction.	1	45000	45000
		1	50000	50000
PROJET D'EXECUTION	Etude géophysique, plan topographique (incluant le profil en long et les courbes de niveaux y compris le rapport des études approuvées avant le début de l'opération	1	120000	120000
TERRASSEMENTS	Nettoyage, décapage et préparation du terrain. géotechnique et Implantation du bâtiment Fouille pour fondation et semelle filante en rigole à 0,25m de profondeur et 0,50 de largeur y compris dans les 0,80m.	1	70000	70000
		1	70000	70000
		50	900	45000
FONDATION,	Béton de propreté dosé à	1	45000	45000

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

DALLAGE CHAUDIERE ET ELEVATION HANGAR,	150kg/m3 de cm Béton armé pour semelle filante (0,25m) muni des armatures dosé de 350kg/m3 y compris coffrage. Dallage béton armé épaisseur de 10 cm, longrine suivant une étude avec polyane et treillis soudé dosé à 350kg/m3	4	8000	32000
		18m	12000	216000
ELEMENTS DE CONSTRUCTION HANGAR, CELLULE ET CHAUDIERE	Ciments Sable Gravier Fer de 10 Fer de 8 Planche de coffrage Fil de fer Plastique Brique de terre 250x150x150 Plaque en acier inox Contre-plaqué de 12 Frais de la main d'œuvre	12	4300	51600
		1Camion	120000	120000
		1Camion	185000	185000
		15	3250	48750
		15	2350	35250
		5	1200	6000
		2	950	1900
		Rouleaux	3000	15000
		5	100	50000
		500	8000	16000
CHARPENTES ET COUVERTURES	Les lattes Planche de rive Tôle ondulée de 3m Pointe à tôle Pointe de 80 et 70 Rondelle Gouttière de 2m Support gouttière Fin gouttière Tuyau Ø 100mm de 6m long Colis pvc Toiture Coude Tôle faîtière Tôle de rive Tuyau en acier inox Frais de la main d'œuvre	2	4500	4500
		25	1300	32500
		7	1500	10500
		22	6100	134200
		4	4000	16000
		3	3500	10500
		5	400	2000
		5	4500	13500
		7	300	2100
		3	2000	6000
2	7800	15600		
		5	1200	6000
		2	6500	13000
		5	900	4500
		4	1500	6000
		3	1300	3900
		4	12000	48000
		75000	75000	

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

MENUISERIE BOIS ET METALLIQUE	Porte en bois de la cellule avec ces Accessoires	2	120000	240000
	Porte en bois de la chaudière avec ces Accessoires	2	80000	160000
	Frais de la main d'œuvre		30000	30000
APPAREILS DE VARIATION D'AIR DANS LA CELLULE	Ventilateurs	3	110000	330000
	Câble électrique Frais de la main d'œuvre	25	2500 25000	
ELEMENTS DE REGULATION ET DE CONTROLE D'AIR DANS LA CELLULE ET DE TAUX D'HUMIDITE DANS LE BOIS	Thermomètre/ hygromètre	1	80000	80000
	Thermostat	2	25000	50000
	Hygrostat	1	58000	58000
	Humidimètre	1	14350	14350
	Microcontrôleur	1	7500	7500
	Haut-parleur	1	8000	8000
	Frais de la main d'œuvre	1	7500	7500
ELEMENTS D'ISOLATION	Flash bande	4	22500	90000
	Bitume	2	27000	54000
	Tôle lisse alu	2	7000	14000
	Frais de la main d'œuvre		40000	
Total sans TVA (19,25%)			2794650	
TVA (19,25) calculé			53797012.5	
Total avec TVA (19,25%)			3331850	

Le coût total sans la TVA est de 2794650 pour la réalisation du projet car il est augmenté sur cette somme une taxe sur la valeur ajoutée (TVA) d'un montant de 537200 FCFA soit une somme de 3331850 FCFA.

III.8 Discussion des résultats

Pour comparer le prix du dispositif de séchage étudié avec d'autres séchoirs sur le marché et dans des PME, une étude des prix des éléments entrants dans la réalisation dudit dispositif a été menée, en effectuant le devis estimatif et quantitatif de chaque élément entrant dans la réalisation du dispositif conçu, nous avons obtenu un coût moyen de 3331850 FCFA

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

Afin de comparer le dispositif étudié avec d'autres modèles de séchoir sur le marché, nous nous sommes basées sur le prix de vente approximatif d'un séchoir à tunnel de même capacité. Par exemple, sur le site : www.directindustry.fr

(5/7/2020) nous nous sommes rendus compte que le prix d'un séchoir de même capacité en occasion coûte plus de 11800000 FCFA hormis les frais de transport et d'installation.

Ceci nous amène donc à conclure, qu'un dispositif de séchage fabriqué localement serait abordable pour les PME d'ameublement, car la raison majeure pour laquelle, ces PME n'utilisent pas le bois séché, le coût très élevé des séchoirs à bois sur le marché.

D'après d'autres résultats menés dans le même cadre d'étude, nous avons constaté que notre dispositif est plus économique en termes de coût d'acquisition et en termes d'économie d'énergie électrique. Comparativement à d'autres types de séchoirs séchant les mêmes capacités, nous voyons que ce dispositif a un coût vraiment très bas et abordable aux PME d'ameublement.

Après l'étude menée dans la conception dudit dispositif, nous nous sommes rendu compte que ce modèle présentait certaines limites, notamment :

L'impossibilité de charger le dispositif mécaniquement à cause de la hauteur et de la largeur de la porte.

Ce dispositif ne dispose pas de wagonnette de chargement. Les échanges d'air

L'impossibilité de donner avec exactitude la quantité de déchets à fournir pour produire l'énergie, au cours d'un cycle complet de séchage,

L'impossibilité de donner la quantité exacte de chaleur à fournir pour accélérer le séchage du bois

Les éléments de régulation et contrôle d'air ne sont pas placés avec précision comme dans les séchoirs artificiels.

Nous ne pouvons pas déterminer le nombre de jours exact de séchage que notre dispositif peut mettre pour sécher un cycle complet de séchage contrairement aux séchoirs plus modernes.

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

□ On aura certaines difficultés pendant la saison de pluie pour alimenter notre dispositif à cause du taux d'humidité élevé dans les déchets du bois.

Notre dispositif est certes avantageux sur le plan économique, mais comprend quelques limites, que chaque conducteur de séchoir devra maîtriser pour utiliser son séchoir à bon escient. Toutefois, ce dispositif séchera le bois au même taux d'humidité que ceux séchés dans un séchoir à air chaud climatisé et aura presque le même cycle de séchage que dans celui-ci

Tableau 16: comparaison du séchoir

	CHAUDIRE	CELLULE DE SECHAGE
Au niveau de l'alimentation du séchoir	Notre dispositif utilise une chambre de combustion pour produit de la chaleur qui alimente la cellule de séchage	Alors que dans un séchoir à tunnel on utilise la chaudière qui utilise une autre source d'énergie pour alimenter la cellule de séchage
Au niveau de la constitution	notre dispositif est conçu avec des matériaux locaux (brique de terre cuite, les pavés) et qui produit le meilleur rendement sur la qualité des produits et ne nécessite pas les éléments d'isolation sur les parois	Alors qu'ici le séchoir est conçu avec le Moabi est un bois Brun rosé à brun rouge, à aubier différencié. Autant son duramen est durable, Il est résistant aux champignons, aux coléoptères Lyctus et aux termites qui nécessite les éléments d'isolation des parois pour éviter la dissipation de la chaleur sur les parois
Au niveau de la conductivité thermique	La terre sèche a une conductivité	Alors que le Moabi est un bois a pour mécanique

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

	thermique de 0,75w/m.k. plus la conductivité thermique d'un matériau est faible plus il est moins conducteur de chaleur	durable, Il est résistant aux champignons, aux coléoptères Lyctus et aux termites propriété physique une conductivité thermique élevée, nettement plus élevée que l'acier. Plus la conductivité thermique d'un matériau est élevée, plus le matériau est conducteur de chaleur
Au niveau de séchage	Notre dispositif ici sèche toutes les dimensions de bois et tout type d'essence de bois	Alors qu'un séchoir à tunnel ne sèche que certaines dimensions du bois, dont l'intervalle de séchage est de 27mm à 70mm maximum
Au niveau de la consommation d'énergie électrique	Notre dispositif est plus économique en terme de consommation d'énergie électrique, puisque notre chambre de combustion n'utilise pas d'énergie électrique pour son alimentation	Alors dans un séchoir à tunnel la consommation électrique est énorme puisque la chaudière utilise de l'énergie électrique pour son alimentation
Au niveau de la porte	Les portes de notre dispositif sont constituées	Alors dans un séchoir à tunnel la porte ne dispose pas de bois

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement».

	<p>de bois massifs recouverts de l'intérieur par des feuillets d'aluminium et des éléments porte coupe-feu. Le degré de fonte de l'aluminium est de 670°C et le bois qui a une conductivité thermique de 0,14 (bois léger) à 0.21 (bois dense)</p>	<p>ni des éléments de coupe-feu</p>
<p>Au niveau des prix</p>	<p>Le prix de notre dispositif est nettement moins couteux (3331850 FCFA) comparé à celui d'un séchoir à air chaud climatisé</p>	<p>Alors qu'un séchoir à tunnel est plus chère (11800000 FCFA) comparé à celui de notre dispositif</p>

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Conclusion

Notre travail a consisté à la conception et réalisation d'un séchoir à tunnel d'un système de contrôle d'humidité et de régulation semi-automatique de la température, ceci afin de sécher à l'aide d'une convection forcée du bois

La température et l'humidité sont les paramètres les plus importants dans le processus de séchage du bois afin d'améliorer la qualité des ouvrages réalisés par les PME d'ameublement de la Mvila au Sud Cameroun. Cependant, un constat a été fait : Les PME d'ameublement n'utilisent pas le bois sec pour travailler leurs ouvrages. C'est ce qui explique la qualité médiocre des ouvrages que l'on retrouve sur le marché. Or, pour faire face à la concurrence et augmenter son chiffre d'affaire, une entreprise se doit de produire les ouvrages de qualité et à cout abordable.

Notre étude a donc consisté dans un premier temps à identifier les causes de l'usage du bois non séché par ces PME. Il en ressort de cette étude que les causes majeures sont : le cout très élevé du séchoir à bois, la consommation d'énergie électrique très élevée, absence de main d'œuvre qualifiée pour la conduite d'un séchoir, manque de connaissance sur la notion de séchage, production à l'unité, et faible quantité des bois à sécher, Désidérata des clients.

L'analyse de ces causes a ensuite permis d'identifier les besoins de ces PME en termes de séchoir à bois, puis, de proposer un dispositif de séchage répondant aux différents besoins identifiés. Ainsi, le dispositif proposé est un séchoir à bois simple, fonctionnant comme un séchoir à tunnel à moyenne température dont la structure est fait Moabi et chaudière en brique de terre, béton. Le séchoir a une dimension d'encombrement de

9000x3500x2500mm et une capacité de 4m³

. A l'intérieur de la cellule règne une température de 40 à 100°C. Elle est alimentée par une chambre de combustion de dimension 1900x500x1000mm muni d'une plaque en acier inox et abritée par un hangar de dimension 4000x4000x3000mm.

Une étude financière du dispositif a également été menée. Cette étude nous a permis de conclure que notre dispositif de séchage est nettement plus économique, comparé aux autres modèles de

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

séchoir, de même capacité sur le marché. Toutefois, le dispositif étant conçu traditionnellement, il présente tout de même des limites que le conducteur du séchoir devra maîtriser afin de l'utiliser à bon escient. Les principales limites soulevées sur le dispositif proposé sont :

Les éléments de régulation et contrôle d'air ne sont pas placés avec précision comme dans les séchoirs modernes.

Il n'est pas possible de déterminer le nombre de jours exact de séchage que notre dispositif peut mettre pour sécher un cycle complet contrairement aux séchoirs plus modernes.

L'impossibilité de donner avec exactitude la quantité de déchets à fournir pour produire l'énergie, au cours d'un cycle complet de séchage,

L'impossibilité de donner la quantité exacte de chaleur à fournir pour accélérer le séchage du bois.

Ainsi, dans le but de promouvoir l'utilisation du bois sec par les PME d'ameublement de la Mvila, ainsi que la mise en place du dispositif de séchage proposé dans le cadre de cette étude, nous formulons les propositions suivantes :

Proposition d'améliorer le système d'alimentation du séchoir proposé, en l'associant à un système d'appoint.

Proposition de mettre en place un point vente du bois séché au taux d'humidité convenable dans la ville.

Proposition aux PME de s'associer pour former un GIC afin de mettre sur pied

Pour conclure, nous dirons que l'amélioration de la qualité des ouvrages fabriqués par les PME doivent passer par, la disponibilité d'un dispositif de séchage simple adapté pour ces PME, la disponibilité du personnel qualifié dans la conduite du séchoir artificiel, présenter l'importance d'utiliser le bois sec sur la qualité des meubles auprès des clients,

et enfin par la disponibilité d'un formateur qui a une connaissance technologique dans le domaine du séchage du bois et la mise en place d'un dispositif de séchage. Un dispositif de séchage commun, simple et de grande capacité

Recommandations

Au regard de ce qui précède, des recommandations suivantes ont été formulées :

➤ **Aux instituts de recherches l'ANAFOR et Universités**

- D'investir dans le dispositif dans les écoles pour les travaux pratique du séchage
- De créer un département du séchage artificiel dans les universités

➤ **A l'Etat**

De créer le forum de formation dans le domaine de séchage

- D'implanter le dispositif dans les lycées techniques et les universités pour les séances de travaux pratiques
- De financer le projet d'implantation du dispositif pour promouvoir l'utilisation du bois sec dans la fabrication des ouvrages
- De subventionner les PME pour l'acquisition dudit dispositif

➤ **Aux particuliers**

- D'avoir un dépôt de vente de bois sec pour ceux qui ne peuvent pas avoir les moyens pour se procurer le dispositif ou acheter un séchoir artificiel.
- De montrer l'importance du séchage aux clients
- De s'associer en GIC pour se procurer un dispositif

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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 soutenu À la FASA d'Ebolowa (Cameroun).82p
- OLERGIE. (2007) « Le séchage du bois. Etat de la technique et Enjeux ». Forum Bois. Marvejols.
- Perré P., Rémond R., Colin, J., Mougel, E. et Almeida, G. (2012). "Energy consumption In the convective drying of timber analyzed by a multiscale computational model". Drying Technology, Vol. 30(11-12), pp. 1136-1146.
- WOODTECH Consulting, (2013). « Etude sur la restructuration et l'amélioration des performances du Centre de Promotion du Bois de Yaoundé », Rapport final,
- Yang, L., Liu, H.H., Cai, Y.C., Hayashi, K. et Li, K.F. (2014). The study on cell collapse and recovery of Eucalyptus urophylla during drying. "Cell collapse and drying". Bio Ressources, Vol. 9(2), pp. 2584-2592.
- Présentation ACREST. <http://www.acrest.org> consulté le 01 Juin 2015.
- Présentation du Cameroun. <http://www.comitedecompetitivite.org> consulté le 25mai2015
- Bernard Mawo. Bois : le label Cameroun broie du noir. Edition: Vie AJAFE
- COTA, 1981. L'énergie solaire : ses utilisations dans le monde. Rapport de stage. Pp 6-26
- M. Kodji Deli. Le solaire thermique et concentrateurs. Université de Maroua, ISS/ENREN licence3 2014/2015.
- A. Hachimi 1998.Theoretical and experimental study of solar dryer. Renewable Energy 13, pp. 439-451.

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».

S. A. Reardon 1998. Friction, heat and mass transfer for paper drying. *Int. J. Heat Mass transfer* 41,

pp. 1313-1325.

M. Martin 1995. La perte de température à travers la charge : intérêt pour le pilotage d'un séchoir

À bois à haute température. *Int. J. Heat Mass transfer* 38, pp. 1075-1088.

P. Sebastian 1993. Les nombres d'Unités de transfert, Thermique, Massique, outils rapides de

S. A. Reardon 1998. Friction, heat and mass transfer for paper drying. *Int. J. Heat Mass transfer* 41, pp. 1313-1325.

M. Martin 1995. La perte de température à travers la charge : intérêt pour le pilotage d'un séchoir à bois à haute température. *Int. J. Heat Mass transfer* 38, pp. 1075-1088.

P. Sebastian 1993. Les nombres d'Unités de transfert, Thermique, Massique, outils rapides de Simulation de séchoirs. *Int. J. Heat Mass transfer* 36, pp. 1773-1782.

« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement».

LISTES DES ANNEXES

Annexes 1 : Les autres types de séchoir à bois avec leurs prix



LES PROCÉDÉS DANS L'INDUSTRIE DE SÉCHAGE



Séchoirs à bandes du type BT avec circuit de circula...
stela.de



« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement».

Annexe 2 Quelques photos des éléments entrants dans la construction du dispositif de séchage du bois



« Conception d'un séchoir à tunnel adapté dans les petites et moyennes entreprises d'ameublement ».



Annexe 3 : Liste des PME rencontrés

N°	NOM ET PRENOMS	SIGLE	COMMUNE	QUARTIER	LIEUX DIT
1	AVEN Moise Didier	ETS RESFAM	EBOLOWA2	EKOMBITE	CARREFOUR MVONDO
2	EKOTO Cyrille		EBOLOWA2	NKO'OVOS	BOIS-BE
3	SAATA ETS	SAATA	EBOLOWA2	EKOMBITE	HOPITAL REGIONAL
4	TALLA Victor ETS	TALLA ET FILS	EBOLOWA2	MEKALAT	ANTENNE ORANGE
5	MBEUDIEU Jean Joseph	ETS LA GRACE	EBOLOWA1	NKO'OVOS	
6	OUSMAN OUSMAN	BOIS DÉCOR	EBOLOWA1	NKO'OVOS	DERRIERE BUCA
7	AKONO Kabeyene	EBOLOWA1	EBOLOWA1	NKO'OVOS	NUL PAR AILLEURS
8	KOIBI Joel		EBOLOWA1	NKO'OVOS	
9	MESSANGA		EBOLOWA1	NKO'OVOS	QUARTIER BAMI
10	NDIBI Elvis		EBOLOWA1	EBOLOWA SI2	GARE ROUTIERE