

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
ECOLE NORMALE SUPERIEUR
D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
D'EBOLOWA
DEPARTEMENT DE GENIE
ELECTRIQUE



REPUBLIC OF CAMEROUN

Peace – Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I
HIGHER TECHNICAL TEACHER
TRAINING COLLEGE OF
EBOLOWA
DEPARTMENT OF ELECTRICAL
ENGINEERING

Filière
Industrie Textile et de l'Habillement (ITH)

**ETUDE EXPERIMENTALE ET CONCEPTION D'UN PROCEDE
DE FABRICATION DES COUCHES JETABLES
BIOMÉDICALES ET BIODEGRADABLES À BASE DU BOIS
D'EUCALYPTUS**

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

Par : **KENMOE MEULA Martine**

Sous la direction de
Dr NGO BISSE Jacquie
Chargée de cours
Mr TIZE ZRA

Année Académique : 2019 - 2020



DEDICACE

A

Mes parents : **MEULA Thomas** de regrettée mémoire
et **KENMOE Jacqueline** ;

Ma petite **DIANA** partie trop tôt ;

Mes frères et sœurs ;

Mes neveux et nièces.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce travail de recherche n'a pu être possible que grâce au soutien de certaines personnes. Tout d'abord, nos remerciements à l'Eternel des armées, pour la vie, la force et la santé qui nous ont permis d'avancer.

Ensuite, notre profonde gratitude va à l'endroit des autorités de notre établissement d'accueil, au Directeur de l'ENSET d'Ebolowa ainsi qu'à tous les responsables et aux personnels de cet établissement pour l'encadrement et la formation de qualité dont nous avons bénéficié, en particulier :

- Le Professeur NDJAKOMO ESSIANE Salomé, Chef du département Génie électrique, pour sa rigueur professionnelle ; et Madame FOUA Régine Diane, notre Chargée d'études, pour ses conseils et sa disponibilité ;
- Notre directeur de mémoire, Docteur NGO BISSE Jacquie, pour sa disponibilité, sa gentillesse et, surtout, sa bienveillance qui nous ont permis de réaliser ce travail en toute aisance ;
- Notre encadreur, Monsieur TIZE ZRA, pour son orientation, ses conseils, ses encouragements, le partage de son expertise, sa grande disponibilité et ses motivations grâce auxquels nous avons pu accomplir aisément et totalement nos missions ;
- Madame EMVOUTOU Sandrine, Monsieur NYATE Steyve Clément et Madame ESSINGA Marie Ange, que nous remercions tout spécialement, pour leur temps et leur expertise qu'ils ont bien voulu nous accorder dans le cadre de ce travail ;

J'adresse une reconnaissance infinie à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont œuvré pour me soutenir, m'encourager et m'accompagner tout au long de ma formation et de l'élaboration de ce travail de recherche, notamment :

- La famille MEULA, dans toute sa composante, et la famille KAMGANG, pour le soutien multiforme qu'ils n'ont jamais cessé de m'apporter ;
- Mes amis, particulièrement ZENEMANG, ASSEMBE, ANDZE, KENNE, ITSUELE, MEYE et autres. Je leur dis merci pour le climat d'ambiance pendant ma formation et leur contribution à améliorer mon savoir-vivre en société ;
- A mon cher DJATCHE KAMGANG Pierre, je dis merci d'être toujours là.

Je m'en veux de ne pas pouvoir citer tout le monde. Mais à tous, j'adresse un grand merci.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIERES.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES ABREVIATIONS.....	ix
RESUMÉ.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : ETAT DE L'ART	4
I.1 Généralités sur l'eucalyptus.....	4
I.1.1 Description botanique d'eucalyptus.....	5
I.1.2 Situation géographique	14
I.1.3 Utilisation de l'eucalyptus	15
I.2 Généralités sur la cellulose.....	19
I.2.1 Définition de la Cellulose	20
I.2.2 Domaines d'application de la cellulose.....	20
I.2.3 Composition chimique de la cellulose	21
I.3 Procédés d'extraction de la cellulose.....	23
I.3.1 L'extraction mécanique.....	23
I.3.2 L'extraction chimique	24
I.3.3 L'extraction biologique.....	25
I.4 Caractéristiques de la fibre.....	26
I.4.1 Longueur.....	26
I.4.2 Finesse, forme et pouvoir absorbant	26
I.4.3 Les propriétés physico-physiques	27
I.4.3.1 Le caractère amorphe	27
I.4.3.2 Le caractère cristallin.....	27
I.5 Généralités sur les couches.....	28
1.5.1 Les couches jetables non biodégradables	28
I.5.1.1 Historique.....	29
I.5.1.2 Composition d'une couche jetable	29
I.5.1.3 Fabrication de la couche jetable.....	30
I.5.1.4 Utilisations	31
I.5.1.5 Pathologies cutanées provoquées par le port de couches.....	31
1.5.2 Les couches jetables biodégradables	32
I.5.2.1 Composition d'une couche jetable biodégradable	32
I.5.2.2 La biodégradabilité de la couche bio	33
I.5.3 Critères de choix d'une couche jetable	33

I.5.4 Les couches lavables	34
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	36
II.1 Analyse fonctionnelle du produit	36
II.1.1 Présentation du problème	37
II.1.2 Contexte du projet.....	37
II.1.3 Enoncé fonctionnel du besoin.....	38
II.1.4 Enoncé des fonctions de service et des contraintes	40
II.2 Matériel	41
II.2.1 Matériel végétal	41
II.2.2 Matériel d’approvisionnement.....	41
II.2.3 Réactifs et matériel d’équipement	42
II.3 Méthodes	45
II.3.1 Schéma synoptique	45
II.3.2 Approvisionnement en tronc d’eucalyptus	48
II.3.3 Broyage du tronc et triage.....	49
II.3.4 Processus d’extraction de la cellulose	50
II.3.4.1 Procédé d’extraction à froid.....	50
II.3.4.2 Processus de blanchiment	51
II.3.5 Méthode de calcul du pourcentage en cellulose	52
II.3.6 Broyage.....	53
II.3.7 Imprégnation de la cellulose.....	54
II.3.8 Compactage de la cellulose	55
II.3.9 Méthode de calcul du taux d’absorption.....	56
II.3.10 Processus de réalisation de la couche jetable.....	57
II.4. Schéma prévisionnel de l’OST du procédé de fabrication d’une couche jetable.....	60
II.4.1 Schéma prévisionnel de l’OST au sein de l’industrie.....	60
II.4.2 Description détaillée du schéma de l’OST	62
II.4.2.1 Direction générale.....	62
II.4.2.2 Direction administrative et financière.....	62
II.4.2.3 Direction technique.....	62
II.4.3 Direction de la logistique et du transport.....	64
II.4.4 Prévisions des effets sociaux	64
II.4.5 Qualification du personnel.....	64
CHAPITRE III : ANALYSE DES RESULTATS ET GESTION DES DECHETS	66
III.1 Analyse des résultats et caractérisation des encours du procédé expérimental	66
III.1.1 Présentation de la poudre de cellulose du bois d’eucalyptus.....	66
III.1.2 Caractérisation des encours du procédé expérimental.....	66
III.1.3 Résultats obtenus en laboratoire après les essais et remarques	67
III.1.4 Résultats obtenus après calcul de la masse d’impureté	67
III.1.5 Résultats obtenus après calcul du pourcentage de la masse d’impureté.....	68
III.1.6 Résultats des calculs du taux d’absorption en eau de la cellulose pour un échantillon de 5g	69
III. 2 Gestion des déchets au sein de l’entreprise	70

III.3 Caractéristiques et propriétés de la couche.....	71
III.3.1 Propriétés physiques de la cellulose du bois d’eucalyptus.....	72
III.3.2 Propriétés chimiques de la cellulose du bois d’eucalyptus.....	72
III.4 Présentation de la couche jetable « Melka ».....	73
III.4.1 Taux d’absorption de la couche jetable <i>Melka</i>	73
III.4.2 Caractéristiques de la couche jetable <i>Melka</i>	74
III.4.3 Coût estimatif : du procédé expérimental à l’obtention de la couche	74
III.4.4 Prix de vente du produit fini.....	75
III.5 Etude comparative de la couche jetable <i>Melka</i> par rapport à une couche existante x.....	76
CONCLUSION GENERALE	78
SOURCES ET RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	80
ANNEXES	82

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Arbres d'Eucalyptus globulus. Cliché photo Meula 2019	5
Figure 2: Arbre blessé. [14].....	5
Figure 3: Variétés d'eucalyptus. [13].	6
Figure 4: Feuilles d'eucalyptus [5].	8
Figures 5: Différentes écorces du tronc d'eucalyptus. Cliché photo Meula 2019.....	8
Figures 6 : Différentes fleurs d'eucalyptus [24].	9
Figure 7: Eucalyptus gunnii	10
Figure 8: Eucalyptus nitens	10
Figure 9: Eucalyptus pauciflora.	11
Figure 10: Eucalyptus camaldulensis	11
Figure 11: Eucalyptus pellita.....	12
Figure 12: Eucalyptus urophylla	13
Figure 13: Eucalyptus globulus.....	14
Figure 14 : Image du coton traité.	18
Figure 15: Vue microscopique de la cellulose dans la cellule végétale [11]......	20
Figure 16 : Structure chimique de la cellulose [11]......	22
Figure 17 : Motif phénolique caractéristique de la lignine [11].	22
Figure 18: Structure chimique de l'hémicellulose (xylane) [11]......	23
Figure 19 : Erythème fessier chez les bébés [16].....	28
Figure 20 : Couche jetable non biodégradable pour enfant.....	29
Figure 21: Composition des couches jetables non biodégradables [25]......	30
Figure 22 : Couche jetable pour enfant après usage. Cliché photo Meula, décembre 2019.....	31
Figure 23 : Couche biodégradable pour enfant [22]......	32
Figure 24 : Couches lavables pour enfant [1]......	34
Figure 25 : Diagramme bête à corne.	39
Figure 26 : Schéma synoptique du processus de fabrication de la couche jetable.	47
Figure 27 : Approvisionnement en tronc et d'eucalyptus.	48
Figure 28: Tronc débité.	48
Figure 29 : Transformation du tronc en sciure et récupération des fibres.	49
Figure 30: Matière contenue dans les solutions 20% et 30%.	51
Figure 31: Processus de blanchiment de la fibre.	52
Figure 32: Processus de broyage.	53
Figure 33: Liquide antibactérien	55
Figure 34: Matériel de compactage	56
Figure 35: Cellulose compactée et dimensionnée	56
Figure 36 : Montage du packaging.....	60
Figure 37 : Schéma prévisionnel de l'OST	61

Figure 38: Poudre de la cellulose du bois d'eucalyptus.	66
Figure 39 : Vues de face (b) et arrière de la couche Melka (bébé de 3 ; 4 à 9kg).	73

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Composition chimique de la fibre de coton [8].	18
Tableau 2: Teneur en cellulose de quelques espèces végétales [08].	21
Tableau 3 : Matériel utilisé pour l’approvisionnement	42
Tableau 4: Récapitulatif du matériel d’équipement	43
Tableau 5 : <i>Réactifs et matériel de sécurité</i> .	44
Tableau 6 : Gamme de fabrication de la couche	58
Tableau 7 : Eléments constitutifs du packaging.	59
Tableau 8 : Tableau de qualification du personnel.	65
Tableau 9 : Résultats des différents échantillons obtenus	67
Tableau 10 : Calcul du pourcentage de masse d’impureté.	68
Tableau 11 : Calcul du pourcentage du taux de cellulose pure	68
Tableau 12 : Récapitulatif du procédé d’extraction de la cellulose.	69
Tableau 13: calcul du taux d’absorption en eau pour un échantillon de 5g.	69
Tableau 14 : Caractérisation des encours du procédé expérimental de fabrication de la couche jetable.	70
Tableau 15 : Inventaire des encours et des déchets de l’entreprise.	71
Tableau 16 : Propriétés chimiques de la cellulose du bois d’eucalyptus.	72
Tableau 17 : Coût estimatif du procédé expérimental.	74
Tableau 18: Comparaison de la couche jetable Melka à un échantillon X	76

LISTE DES ABREVIATIONS

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

Cel. : Cellulose

CM : Centimètre

DP : Degré de polymérisation

ECH : Echantillon

FAO : Fabrication Assistée par Ordinateur

G : Gramme

Imp. : Impureté

Kg : Kilogramme

L : litre

Ma : Masse d'arrivée

Md : Masse de départ

ML : Millilitre

OST : Organisation Scientifique du Travail

PH : Potentiel de l'hydrogène

SAP : Cristaux de Polyacrylate de Sodium

RESUMÉ

Le présent travail de recherche dont le thème s'intitule « **Etude expérimentale et conception d'un procédé de fabrication des couches jetables biomédicales et biodégradables à base de la cellulose du tronc d'eucalyptus** », a pour objectif d'améliorer et de renforcer la gamme des fibres naturelles en qualité et en quantité suffisantes pour les besoins du consommateur, en préservant l'environnement afin de garantir le développement durable. Partant du constat selon lequel, de nos jours, les couches jetables sont faites en grande partie de matières synthétiques et non biodégradables, ce qui cause des érythèmes fessiers chez les enfants et la pollution de l'environnement, nous nous sommes proposé d'élaborer un prototype de couche jetable susceptible de remédier à ces problèmes. Le bois d'eucalyptus, matière première de notre travail, a été prélevé dans une exploitation agricole de la ville d'Ebolowa, en face du Lac municipal. La méthode d'extraction chimique par le procédé kraft nous a permis d'obtenir des fibres cellulosiques qui ont été utilisées dans ce travail pour la réalisation des couches jetables. Toutefois, avant d'amorcer le processus d'extraction proprement dit, nous avons donné, dans une revue de littérature détaillée, un aperçu sur les eucalyptus, la cellulose, les méthodes d'extraction des fibres et les couches pour bébé. La méthode d'extraction chimique réalisée au laboratoire nous a permis d'obtenir les fibres cellulosiques de couleur jaune pendant une durée de 48h. Le procédé expérimental part du débitage du tronc à la réalisation pratique des couches en passant par l'extraction de la cellulose, le blanchiment, le séchage, l'imprégnation du liquide antibactérien, le broyage, le compactage de la cellulose sous pression du moule et de pierre et sa caractérisation, dont les tests physiques étaient nos guides. Au cours de cette extraction chimique, deux paramètres importants ont été pris en compte : le temps d'extraction et la concentration de la solution de NaOH de 20g/L. Après le procédé expérimental, une organisation scientifique du travail a été faite. C'est sur le capital humain que s'adosent les prévisions d'une meilleure organisation du travail. Après une comparaison du prototype réalisé à un autre modèle sur le marché, il en ressort que la cellulose issue du bois d'eucalyptus offre une couche jetable ayant de bonnes capacités d'absorption. La croissance rapide et l'abondance de l'eucalyptus sur le territoire national offrent un avantage majeur pour revoir à la baisse le prix de revient de la couche jetable que nous avons baptisée *Melka*, la rendant, par voie de conséquence, compétitive sur le marché.

Les mots clés : couche, jetable, biomédicale, biodégradable, cellulose, irritation, bébé, extraction.

ABSTRACT

The present research work, whose subject is entitled "**Experimental study and design of a process for manufacturing disposable biomedical and biodegradable diapers based on cellulose from the eucalyptus trunk**", aims at improving and strengthening the range of natural fibres in sufficient quality and quantity for the needs of the consumer, preserving the environment in order to guarantee sustainable development. Based on the observation that, today, disposable diapers are made largely of synthetic materials and not biodegradable, which causes diaper rashes in children and environmental pollution; we have proposed to develop a prototype disposable diaper likely to remedy these problems. Eucalyptus wood, the raw material of our work, was taken from a farm in the town of Ebolowa, opposite the Municipal Lake. The chemical extraction method by the kraft process allowed us to obtain cellulosic fibres which were used in this work for the realization of disposable diapers. Before starting the actual extraction process, however, we gave an overview of eucalyptus, cellulose, fibre extraction methods and baby diapers in a detailed literature review. The chemical extraction method carried out in the laboratory allowed us to obtain the yellow cellulosic fibres for a period of 48 hours. The experimental process starts from the trunk debitage to the practical realization of the layers through the extraction of the cellulose, the bleaching, the drying, the impregnation of the antibacterial liquid, the grinding, the compacting of the cellulose under mold pressure and of stone and its characterization, whose physical tests were our guides. During this chemical extraction, two important parameters were taken into account: the extraction time and the concentration of the NaOH solution of 20g / L. After the experimental process, a scientific organization of work was made. It is on human capital that the predictions of a better organization of work are based. After a comparison of the prototype made with another model on the market, it emerges that the cellulose obtained from eucalyptus wood offers a disposable layer with good absorption capacities. The rapid growth and abundance of eucalyptus on the national territory offer a major advantage to lower the cost price of the disposable diaper that we have called *Melka*, making it, consequently, competitive on the market.

The key words: diaper, disposable, biomedical, biodegradable, cellulose, irritation, baby, extraction.

INTRODUCTION GENERALE

Au Cameroun et partout dans le monde, les produits de maternité tels que les lingeries, les bandes médicales, les coussinets, les couches jetables... sont faits, en grande partie, des matières premières purement synthétiques qui causent des irritations cutanées chez les enfants. L'érythème fessier est un phénomène très fréquent, dû à la macération de la peau fragile du bébé dans les couches contenant des produits chimiques imprégnés d'urine et de selles. L'utilisation de la couche jetable est devenue un phénomène de mode. Dans les villages les plus reculés, les femmes mettent un point d'honneur à l'achat et à l'utilisation des couches jetables en raison de leur prix abordable sur le marché sans se soucier des risques qu'elles comportent. Pour pallier à ces problèmes, nous avons proposé d'utiliser la cellulose (définie en chimie comme étant une des plus importantes matières constitutives des cellules et tissus végétaux [17]) ; du tronc d'eucalyptus dans le but d'améliorer la qualité et la santé de l'enfant qui l'arbore ; rendre les couches beaucoup moins artificielles et réduire la pollution. Nous allons exploiter la cellulose d'eucalyptus qui est une ressource importante cultivée en Afrique, en particulier au Cameroun, et reconnue pour sa grande capacité d'absorption d'eau [3].

Une étude [28] démontre que la température scrotale augmente fortement chez les bébés et les enfants portant des couches jetables, vu leur contenance en produits chimiques ; "Anderson Laboratories" en 1999 dans *Archives of Environmental Health*, montre que les couches jetables contiennent des composés organiques volatiles, incluant toluène, éthylbenzène, xylène et dipentène. Le gel super-absorbant (polyacrylate de sodium), considéré comme la substance révolutionnaire pour absorber le liquide et maintenir au sec, était également utilisé dans les tampons hygiéniques pour femmes. L'OMS a reconnu qu'il s'agissait de substances cancérogènes à long terme contenues dans les couches. Si les couches jetables sont à l'heure actuelle le système de change le plus utilisé dans plusieurs pays, la pollution y est également un problème très actuel. [19]

Les fibres naturelles sont, en ce siècle, sollicitées et utilisées dans l'élaboration de nouveaux produits textiles [6] avec un avantage sur la santé de l'être humain, en particulier, du petit enfant. Cependant, ces fibres dites naturelles comme le lin, le jute, ou le chanvre se font rares et, pour donc s'adapter à cette nouvelle ère, la recherche et la valorisation de nouvelles fibres s'imposent. Ainsi, notre attention s'est portée sur la fibre d'eucalyptus très absorbante, très intéressante, notamment pour ses vertus médicinales et aromatiques. Sa

production dans le monde et particulièrement au Cameroun est assez grande et génératrice [8]. Notre choix est donc axé sur la fabrication des couches jetables biomédicales et biodégradables pour enfants car, outre leur fonction première qu'est l'absorption, ces couches pourront servir de médicament pour le traitement de certaines irritations cutanées. Les couches jetables, issues de la cellulose de la fibre d'eucalyptus, seront en majeure partie biodégradables et participeront ainsi à la protection de l'environnement à travers la gestion des déchets. Nous allons associer, au cours de la réalisation, des liquides extraits des feuilles de certaines plantes telles que les feuilles de manioc qui sont antibactériennes [9], ainsi que l'Aloès Vera pour rendre la couche biomédicale.

Les fibres végétales sont très solides et facilement dégradables. Au vu de cette remarque, nous nous posons la question de savoir : **la cellulose d'eucalyptus mélangée au coton naturel et aux essences des plantes conservera-t-elle son pouvoir absorbant et ses propriétés thérapeutiques connues ?** De cette question centrale découlent plusieurs sous interrogations à savoir :

- Quelle méthode d'extraction de la cellulose pourrait donner le résultat escompté?
- Quel est le pouvoir absorbant de la cellulose de l'eucalyptus dans la fabrication des couches jetables ?
- Comment peut-on rendre ces couches biomédicales et appropriées pour la peau du bébé ?

L'objectif général de ce travail est de fabriquer des couches jetables biomédicales et biodégradables à partir de la cellulose d'eucalyptus, pour une nouvelle perspective de lutte contre les irritations des fesses de bébé ; d'où la formulation de notre thème : « **étude expérimentale et conception d'un procédé de fabrication des couches jetables biomédicales et biodégradables à base de la cellulose du tronc d'eucalyptus** ». Comme objectifs spécifiques, notre travail de recherche vise à :

- améliorer et renforcer la gamme des fibres naturelles en qualité et en quantité suffisantes pour les besoins du consommateur ;
- préserver la santé des bébés et garantir le développement durable ;
- acquérir des connaissances sur l'extraction des fibres cellulosiques ;
- valoriser les matériaux locaux : la plante d'eucalyptus ;
- améliorer les propriétés des couches jetables.

Notre travail s'articulera autour de trois chapitres qui se présenteront comme suit : le premier chapitre intitulé état de l'art portera tour à tour sur une présentation bien détaillée, du général au particulier, des mots clés de notre thème de recherche ; puis, le deuxième chapitre intitulé Matériel et méthodes, nous donnera des informations sur le matériel et les méthodes utilisés, la caractérisation des fibres extraites puis l'extraction de la cellulose et la simulation d'un procédé industriel de fabrication des couches jetables ; enfin, le troisième chapitre sera consacré à la partie expérimentale, où les résultats seront interprétés et discutés, suivis de leur conclusion. Nous terminerons le travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I : ETAT DE L'ART

Dans ce chapitre, Il est question pour nous de faire un étalage condensé des informations recueillies aussi bien dans des documents scientifiques parcourus que dans nos contacts empiriques préliminaires. Nous partirons des généralités sur l'eucalyptus en insistant sur le domaine d'application, un bref aperçu sur le coton et les feuilles de manioc ; ensuite, sur la cellulose et ses méthodes d'extraction ; enfin, sur la couche jetable qui est l'objet à réaliser.

I.1 Généralités sur l'eucalyptus

Les eucalyptus, appelés gommiers, ont été découverts en Australie. C'est un genre très vaste et diversifié, de l'arbuste aux arbres parmi les plus hauts du monde (**figure 1**). Leur résistance au froid est souvent méconnue. Cependant, ils sont plébiscités dans les programmes de foresterie industrielle dans les pays tropicaux, où ils s'acclimatent en général très facilement, y compris sur des terrains dégradés. Avec plus de 800 espèces, le genre *Eucalyptus* est vaste, de l'arbuste au très grand arbre. Les eucalyptus composent 95% des forêts australiennes, ils sont indissociables de l'image de ce pays-continent [14]. Ce sont des arbres très adaptables, de croissance souvent rapide, qui présentent une grande diversité au niveau de la taille adulte, la couleur de l'écorce, la couleur des fleurs, la forme et la couleur des feuilles, la résistance aux basses températures. Les eucalyptus ont été introduits dans de nombreux pays, pour la production du bois ou pour assécher les sols car ils sont super absorbants [13]. Les feuilles éloignent les insectes, d'où des plantations en Afrique pour diminuer la propagation de la malaria. Ils peuvent, par contre, entraîner des problèmes par rapport à la flore locale [3].

En 1995, 80 espèces d'eucalyptus ont été transférées dans un nouveau genre : *Corymbia*. D'autres genres ont été créés : *Symphiomyrtus*, *Eudesmia*, *Monocalyptus*. La classification botanique est donc devenue beaucoup plus complexe et il est difficile de s'y retrouver. C'est pourquoi nous continuons à parler tout simplement d'eucalyptus pour décrire des plantes qui ont beaucoup de caractères en commun [3].



Figure 1: Arbres d'Eucalyptus globulus. Cliché photo Meula 2019

I.1.1 Description botanique d'eucalyptus

Le mot « eucalyptus » vient du grec *eu*, « bon » et *kalyptos*, « couvrir », car les pétales et sépales sont soudés. L'autre nom est « gommier » qui fait allusion à la gomme résineuse rouge que les arbres exsudent quand ils sont blessés (**figure 2**). Son habitat consiste en général en des sols acides et humides [5].



Figure 2: Arbre blessé. [14].

a) Taille et port

Un eucalyptus adulte peut, selon l'espèce, se présenter comme un petit buisson ou un arbre de très grande taille. On a l'habitude de dire des eucalyptus qu'ils sont :

- petits s'ils mesurent moins de 10m de haut ;
- de taille moyenne s'ils ont entre 10 et 30 mètres de haut ;
- grands s'ils mesurent entre 30 et 60 mètres de haut ;
- très grands s'ils ont plus de 60m, certaines espèces atteignant 90m de hauteur.

Le port des eucalyptus est très varié. Pour une même espèce, les formes peuvent aller du buisson, si les conditions édaphiques et climatiques sont défavorables, au peuplement forestier avec des arbres de hauteur de 30 à 50 mètres en conditions favorables (**figure 3a**). Certains individus d'eucalyptus « régnants » peuvent atteindre 100 mètres de haut et ils constituent les angiospermes les plus grands du monde. Il existe également des espèces sous forme de *mallees*, terme australien qui désigne un arbre présentant plusieurs tiges partant d'un même lignotuber ou organe souterrain lignifié (**figure 3b**). Le lignotuber est riche en réserves et comprend de nombreux bourgeons végétatifs. Il permet à la plante de régénérer des tiges si la partie aérienne de l'arbre est détruite par le feu, le gel ou la récolte [13].

Les plus petits eucalyptus forment des buissons d'une taille de moins de quatre mètres. Un *mallet* est un arbre de taille petite ou moyenne, à la base quelquefois cannelée, possédant des branches pointant vers le haut formant un faîte dense. Il s'agit le plus souvent des espèces *Eucalyptus occidentalis*, *E. astringens*, *E. spathulata*, *E. gardneri*, *E. dielsii*, *E. forrestiana*, *E. salubris*, *E. clivicola* et *E. ornata*. Leur écorce lisse a fréquemment un aspect satiné et peut être de couleur blanche, crème, grise, verte ou cuivre [12].



1.3a : Eucalyptus à hauteur de 30 à 50 m **1.3b** : Eucalyptus forme de *mallees*

Figure 3: Variétés d'eucalyptus. [13].

La croissance des eucalyptus est continue car ils n'ont pas d'endormance contrairement à la plupart des espèces ligneuses ; leur croissance dépend essentiellement de la température moyenne. Elle est maximale en condition favorable mais ralentie voire nulle en condition de stress abiotique tel que le froid ou la sécheresse. D'une part, les bourgeons

végétatifs épïcormiques activés très rapidement après blessure donnent de nouvelles tiges. Dans le cas des incendies, la très forte température de l'incendie favorise la germination des graines enfouies dans le sol, permettant une reprise de végétation beaucoup plus rapide que la plupart des autres plantes. Cette réactivité explique la compétitivité des eucalyptus pour l'occupation de l'espace, en particulier après les incendies [14].

Noms français : Gommier, à cause de la gomme résineuse rouge exsudée après une blessure.

Famille : Myrtacées

Type : arbre aromatique

Origine : Australie, Tasmanie, Philippines, Malaisie, Indonésie, Papouasie-Nouvelle Guinée

Couleur : fleurs blanches ou crème, voire rouge

Semis : oui

Bouture : non

Plantation : printemps (entre mars et juin)

Floraison : été (entre juin et septembre)

Hauteur : jusqu'à 20 m de haut (dans leur région d'origine, certains sujets peuvent dépasser les 100 m de haut) [24].

b) Feuilles

La plupart des eucalyptus ont des feuilles persistantes, mais quelques espèces tropicales perdent leurs feuilles à la fin de la saison sèche. Comme les autres membres de la famille des *Myrtacées*, les feuilles d'eucalyptus sont couvertes de glandes à huile. L'abondante production d'huile est une caractéristique importante de ce genre. Les feuilles, bleutées, ont une curieuse caractéristique : sur les jeunes arbres, elles sont opposées, sessiles, ovales et glauques, et lorsque l'arbre grandit, elles deviennent alternes, pétiolées, particulièrement allongées, quelquefois légèrement courbées comme des lames de faux, et d'un vert luisant. Les deux types de feuillage cohabitent dans les mêmes forêts, donnant l'impression qu'elles sont constituées d'arbres différents (**figure 4 a et b**).

Cependant, énormément d'espèces comme *E. melanophloia* et *E. setosa* gardent toute leur vie le même type de feuilles. *E. macrocarpa*, *E. rhodantha* et *E. crucis* sont cultivés comme plantes ornementales, car ils gardent longtemps leurs feuilles juvéniles. *E. petraea*, *E. dundasii* et *E. lansdowneana* ont des feuilles d'un vert brillant pendant toute leur existence (voir image b). *E. caesia*, au contraire des autres, a ses premières feuilles de couleur brillante,

tandis que les suivantes sont glauques. Cette dualité est utilisée dans la classification des eucalyptus [5].



(a) Jeunes feuilles



(b) : Feuilles adultes

Figure 4: Feuilles d'eucalyptus [5].

c) Tronc

L'écorce est particulièrement utile pour l'identification et la distinction entre les nombreuses espèces, car elle peut avoir différentes apparences : se décortiquant, dure, fibreuse, floconneuse, lisse, ou possédant de profonds sillons. (**Voir figures ci-dessous**).



(a) : écorce se décortiquant



(b) : écorce lisse

Figures 5: Différentes écorces du tronc d'eucalyptus. Cliché photo Meula 2019

d) Fleurs

Les fleurs sont particulièrement variées. Elles ont de très nombreuses étamines qui peuvent être de couleur blanche, crème, jaune, rose ou rouge (**voir figures 6**). Au départ, les étamines sont enfermées dans un étui fermé par un opercule (d'où le nom d'eucalyptus du grec *eu* : bien et *kalyptos* : couvert), constitué par la fusion des pétales et/ou, des sépales. Pour

un même sujet, les opercules peuvent avoir différentes formes. Quand les étamines grandissent, elles soulèvent l'opercule et s'étalent pour former la fleur. La pollinisation des fleurs se fait essentiellement par les insectes, attirés par le nectar. Les fleurs d'eucalyptus forment la source de nectar la plus abondante pour la production de miel en Australie [24].



(a) : Fleur blanche



(b) : Fleur rouge

Figures 6 : Différentes fleurs d'eucalyptus [24].

e) Mode de reproduction

La majorité des espèces d'eucalyptus présentent un nombre de chromosome de $2n = 22$. Les fleurs sont hermaphrodites, les organes mâles et femelles se trouvent dans la même fleur. L'âge de maturité oscille, selon les espèces, de 3 à 10 ans ; mais un décalage de floraison existe entre les différentes unités génétiques (individus, provenances, espèces). La pollinisation est principalement entomophile ou réalisée par les oiseaux pour les espèces à grandes fleurs, ce qui favorise, dans ce dernier cas, l'hybridation interspécifique. La distance de dispersion du pollen est généralement inférieure à 100 mètres [24].

f) Description de quelques espèces d'eucalyptus avec illustrations

Vu la pluralité des types d'eucalyptus, nous en présenterons, de façon brève, quelques-uns (le nom, l'image et la description) afin de choisir, selon les critères recherchés, l'espèce que nous allons exploiter dans le cadre du présent travail :

- *Eucalyptus gunnii*

Le gommier à cidre ou *Eucalyptus gunnii* est une espèce endémique d'Australie et plus particulièrement de l'île de Tasmanie. Dans les régions montagneuses les plus froides et jusqu'à 1100 m d'altitude, cette espèce peut tolérer jusqu'à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cette tolérance au froid a permis son implantation en Europe et jusqu'en Grande Bretagne. Sa croissance est bonne si

les conditions sont favorables, mais c'est une espèce sensible à de longues périodes de sécheresse. Son bois est utilisé pour la papeterie principalement, ses feuilles pour les huiles essentielles. C'est également un arbre d'ornement [24].



Figure 7: Eucalyptus gunnii

- *Eucalyptus nitens*

Le gommier brillant ou *Eucalyptus nitens* a pour origine le sud du New South Wales et l'est du Victoria, en Australie. C'est également une espèce tolérante au froid, jusqu'à -12°C , mais moins que l'espèce *E. gunnii*. Sa croissance rapide, sa bonne tolérance au froid et ses qualités de bois voisines du groupe « cendre » des eucalyptus (série Obliquae : *E. delegatensis*, *E. fastigata* et *E. regnans*), malgré son appartenance au groupe « gommés bleus du sud » (série Globulinae : *E. globulus* et *E. cypellocarpa*), en font une espèce très plantée dans le sud de l'Australie. Son bois est utilisé pour la construction et la pâte à papier [24].

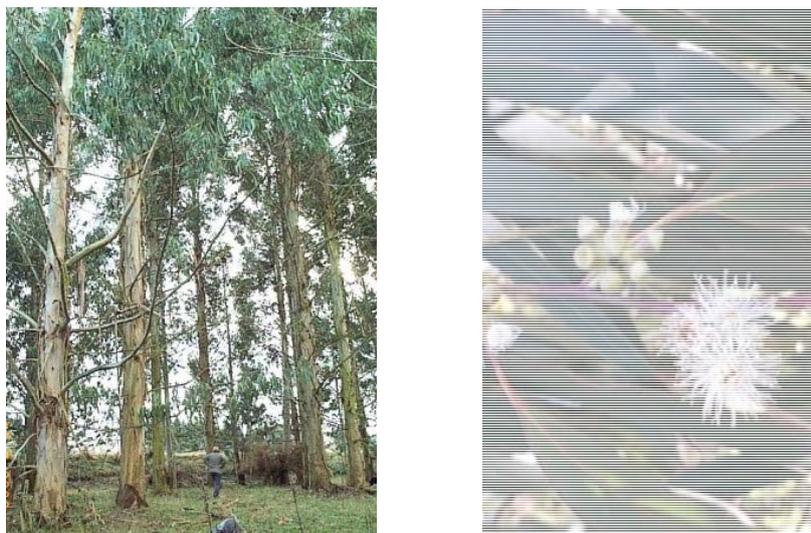


Figure 8: Eucalyptus nitens

- *Eucalyptus pauciflora*

Le gommier des neiges ou *Eucalyptus pauciflora* est originaire du sud-est du Queensland, du New South Wales, du Victoria et de la Tasmanie, en Australie. C'est une espèce très tolérante au froid, mais sa croissance est très lente, ce qui limite sa culture. Cette espèce est utilisée essentiellement comme bois de chauffage. Elle se diffère des autres par sa beauté et son tronc multicolores [24].



Figure 9: Eucalyptus pauciflora.

- *Eucalyptus camaldulensis*

Le gommier rouge de rivière ou *Eucalyptus camaldulensis* est largement répandu le long des rivières et des vallées du sud-est de l'Australie. Il est également très représenté sur tout le territoire Australien. Sa culture est très répandue en raison de sa croissance rapide et sa tolérance pour les milieux salés. Il est utilisé principalement pour le bois d'œuvre et son ombrage [24].



Figure 10: Eucalyptus camaldulensis

- ***Eucalyptus pellita***

Le *mahogany* à grands fruits rouges ou *Eucalyptus pellita* est un eucalyptus distribué dans les zones côtières et subcôtières de l'est de la Péninsule Cape York du nord du Queensland en Australie, mais aussi en Nouvelle Guinée. C'est un arbre peu tolérant au froid, se développant dans les zones avec un climat plutôt tropical et des besoins en eau importants pouvant atteindre 4000 mm de pluviométrie par an. Cet arbre a une croissance très rapide et les huiles essentielles obtenues à partir des feuilles sont surtout utilisées comme répulsif contre *Wasmannia auropunctata* qui est un parasite des forêts et des cultures fruitières à Cuba [24].



Figure 11: Eucalyptus pellita

- ***Eucalyptus urophylla***

Les eucalyptus de l'espèce *Eucalyptus urophylla* font partie des quelques espèces non originaires de l'Australie, mais d'Indonésie avec les îles de Timor, Wetar, Adonara, Alor, Flores, Lomblen et Pantar. Il existe des variations de tolérance au froid selon les provenances. Par contre, ils ont des besoins en eau assez élevés, jusqu'à 2700 mm de pluviométrie par an, et supportent donc moyennement les périodes sèches, ce qui justifie leur grande capacité en absorption d'eau. Leur croissance rapide et leur rusticité ont permis leur implantation dans les zones tropicales à travers le monde. Ils sont utilisés pour la production de pâte à papier, le bois de construction et le bois de chauffage [24].



Figure 12: Eucalyptus urophylla

- ***Eucalyptus globulus***

Eucalyptus globulus est originaire de Tasmanie en Australie. Il pousse rapidement et dans les régions surtout chaudes. L'eucalyptus commun ou gommier bleu est un arbre sempervirent (qui est toujours vert, recouvert de feuilles) qui peut croître jusqu'à 30-55 m de haut. Ses feuilles sont la principale source de son huile essentielle. Utilisé pour ses vertus médicinales, notamment antitussives et expectorantes, il n'en a pas moins des propriétés fébrifuges, toniques, astringentes, antiseptiques, hémostatiques et vermifuges. Parmi ses composés, le 1,8-cinéole ou eucalyptol (50 à 80 %) est sans doute le plus connu, car c'est un expectorant qui peut soulager la toux et lutter contre les problèmes des voies respiratoires. En outre, pinène, limonène et au moins 250 autres composés dont citronellal, *cryptone*, *pipéritone* viendront étoffer la liste des nombreux composés aux vertus médicinales de l'eucalyptus. En phyto-aromathérapie, l'essence d'eucalyptus officinal pourra trouver une place comme désinfectant atmosphérique en milieu hospitalier afin de lutter contre les infections nosocomiales et les contaminations aéroportées. Elle aide aussi à lutter contre l'asthme et peut être utilisée pour la désinfection de plaies. L'*Eucalyptus globulus* est un arbre à parfum dont l'huile essentielle est utilisée en phyto-aromathérapie, anti-infectieuse ou encore comme ingrédient actif dans les préparations pharmaceutiques, pour ne citer que ceux-ci. Au vu de ses différents atouts, cette espèce est celle qui sera exploitée dans le cadre du présent travail (bonne capacité en absorption d'eau, croissance rapide, zone de culture diverse...) [27].



Figure 13: Eucalyptus globulus.

I.1.2 Situation géographique

Les eucalyptus sont originaires d'Australie. Ils sont donc indigènes au continent australien, où ils dominent d'ailleurs 95 % des forêts. De plus de 600 espèces recensées dans les années 60, plus de 800 espèces sont reconnues de nos jours. Les eucalyptus possèdent toute une gamme de mécanismes d'adaptation et ont une croissance rapide, ce qui leur permet d'être présents dans de nombreux environnements, notamment au Cameroun où on les retrouve dans plusieurs régions telles que le Grand Sud (à Ebolowa par exemple, lieu d'approvisionnement), dans les hauts plateaux de l'ouest, notamment à Batié, etc.

Le total des plantations d'eucalyptus dans le Monde Méditerranéen est de l'ordre de 540.000 ha et il s'accroît d'environ 30.000 à 40.000 ha par an. Une source d'erreur provient des plantations dites d'alignement et de leur conversion en surface équivalente. En outre, les prévisions pour les prochaines années sont, par nature, aléatoires.

Introduit au Maroc et dans certains pays d'Europe, l'eucalyptus, qui redoute les fortes gelées, s'est aisément adapté au climat méditerranéen, et même aux conditions climatiques qui règnent au pays basque ou dans les plaines avoisinantes, non sans impact sur la biodiversité locale. On l'a surtout planté en zone humide pour assécher les sols. L'eucalyptus peut pousser en moyenne altitude, jusqu'à mille mètres. De grands groupes industriels ont planté plusieurs millions d'hectares de l'espèce *E. globulus* pour la fabrication de pâte à papier. Ses fruits et ses feuilles éloignant les insectes, il a été planté dans une partie de l'Afrique pour diminuer la propagation de la malaria. Cela a donné un excellent résultat, non par l'effet répulsif pour les insectes, mais parce que ses forts besoins en eau ont permis d'assécher les

marais et d'empêcher ainsi la reproduction des moustiques, mais avec un risque nouveau : une plus grande possibilité d'incendies de forêts [27].

I.1.3 Utilisation de l'eucalyptus

❖ En industrie du bois

La capacité des plantations d'eucalyptus à fournir des produits de bonne qualité est très grande. Dans plusieurs pays où l'eucalyptus est planté, l'attention se tourne de plus en plus vers l'utilisation de jeunes plants d'eucalyptus dans l'industrie du bois. Ces jeunes plants sont essentiellement utilisés dans l'industrie de la pâte à papier. Au Brésil, à peu près 80% des plantations d'eucalyptus sont destinées aux industries de pulpe. Les eucalyptus sont aussi utilisés dans l'industrie des produits de reconstitution du bois. En Australie, cette utilisation est principalement concentrée dans les industries de panneaux de particule et contre-plaqués. Autre utilisation comprend les traverses de rail et clôtures.

❖ Sur le plan économique et social

En 1974, il y avait, dans le monde, près de 4 millions d'ha de plantations d'eucalyptus, produisant annuellement une moyenne de quelques 60 millions de mètre cube de bois. Il s'agit en majorité de petits bois, d'une grande importance économique pour les pays intéressés et représentant pour eux un investissement considérable.

Les produits fournis par les plantations d'eucalyptus se répartissent en gros comme suit: bois de feu et bois de trituration, 85% ; perches et bois ronds de qualité, 10% ; bois de sciage, 5% [4].

Les forêts d'eucalyptus exploitées à courte révolution fournissent en majorité du bois de feu, produit qui a la valeur marchande la plus faible par unité de volume, mais qui a peut-être la plus grande utilité sociale pour les communautés concernées.

La meilleure possibilité qui s'offre pour les pays et pour les propriétaires forestiers d'accroître la valeur des petits bois produits par les plantations d'eucalyptus est de les convertir en papier, qui est, de tous les dérivés du bois, celui qui a la valeur unitaire la plus élevée. Toutefois, les contraintes résultant de la taille minimale d'une usine économiquement viable impliquent que ce sont les pays qui ont de grandes superficies de reboisement d'eucalyptus, tels que le Brésil, l'Inde, l'Afrique du Sud, l'Espagne et le Portugal, qui auront le plus de chances de pouvoir mettre à profit cette possibilité. Dans les pays ayant des programmes de reboisement plus modestes, mais d'importance non négligeable, la meilleure

voie pour accroître la valeur unitaire de la matière première produite par les plantations d'eucalyptus consiste à investir davantage en vue de mieux valoriser les 15% de bois pouvant donner des bois ronds et des sciages de valeur [5].

Il serait par ailleurs d'un grand intérêt que l'on parvienne à construire des usines de pâte à papier rentables de plus petite taille.

Certains pays africains utilisent d'ores et déjà leurs bois d'eucalyptus pour un grand nombre d'emplois, accroissant ainsi considérablement la valeur ajoutée. Dans plusieurs villages au Cameroun, ce bois est utilisé pour le feu de cuisine qui permet de faire cuire les repas et de se réchauffer.

❖ Source d'énergie

Au cours des 25 dernières années, le monde a connu des changements qui ont parfois bouclé un cycle complet en ce qui concerne l'attitude vis-à-vis du bois en tant que combustible. Son emploi a suscité l'hostilité de groupes écologistes dans les communautés urbaines parce qu'il fait de la fumée qui pollue l'atmosphère. Dans plusieurs pays, on a pris des mesures législatives contre la pollution de l'air, qui ont souvent été utiles, mais les populations pauvres, manquant de moyens pour se chauffer et faire cuire leur nourriture, ont tendance à les ignorer, et peu de gouvernements entreprendraient de les leur faire respecter. On a cherché à remplacer le combustible ligneux par l'électricité ou les produits pétroliers. Ces derniers offraient de belles perspectives dans les années soixante, étant pratiques (d'emploi), efficaces, faciles à transporter et bon marché. Mais les prix du pétrole ayant changé du jour au lendemain, le bois redevint intéressant en maints endroits. Les plantations d'eucalyptus et d'autres ressources forestières peuvent satisfaire une grande partie des besoins en combustibles domestiques sous les moyennes et basses latitudes, grâce à l'effort des populations concernées elles-mêmes. Il est curieux de constater que c'est souvent dans les régions pauvres de pays producteurs de pétrole que les besoins de combustibles ligneux sont les plus grands [4].

❖ Usage médicinal

L'*Eucalyptus globulus* présente de nombreuses vertus. Expectorant, antiseptique et astringent, cet arbre permet de lutter contre les inflammations des voies respiratoires et digestives. Ses feuilles constituent un bon remède contre le rhume, la rhinite, la sinusite, la bronchite ou encore l'état grippal. L'eucalyptus aide aussi à lutter contre l'asthme et peut être utilisé pour la désinfection de plaies [28].

❖ Les bienfaits de l'*Eucalyptus globulus* en gélule

L'eucalyptus renferme un composé appelé eucalyptol. Son usage en complément alimentaire est reconnu pour traiter l'inflammation des voies respiratoires, des bronches et de la gorge, mais aussi pour aider à soulager la fièvre et les symptômes de l'asthme. La dose d'eucalyptus recommandée pour traiter ces divers maux varie en fonction de chacun. C'est pourquoi il est judicieux de consulter votre médecin avant d'entreprendre une cure. Une fois la dose adéquate trouvée, il sera important de ne pas la dépasser. Cessez immédiatement le traitement si vous avez des spasmes bronchiques, des convulsions, des étourdissements ou bien une perte de conscience. Si vous souffrez d'inflammation gastro-intestinale, des reins, des voies biliaires ou de troubles hépatiques, consultez obligatoirement votre médecin [28].

❖ Autres applications

La crise pétrolière de 1973 a suscité de nombreuses études sur les énergies de remplacement. Les possibilités de plantations d'eucalyptus pour la production de combustible y sont étudiées parmi d'autres sources possibles d'énergie, et on arrive à la conclusion qu'il existe des possibilités réelles de production d'électricité ou d'autres formes d'énergie domestiquée à partir du bois d'eucalyptus, dans les régions exemptes de gelées et convenant à leur culture. L'eucalyptus est utilisé en confiserie, essentiellement dans la fabrication de gommes au goût de menthe. Il est aussi utilisé dans la fabrication de pastilles ou de pâtes contribuant à apaiser les maux de gorge. On les utilise également pour la fabrication de la pâte à papier et en usage textile (en exploitant ses fibres) et dans la décoration, etc. Dans le cadre de notre travail, nous allons donner une nouvelle orientation à l'utilisation du bois d'eucalyptus en passant par l'extraction de la cellulose associée à du coton et du jus de feuille de manioc qui est un produit bactérien [4].

❖ Le coton

Le coton est une fibre végétale qui entoure les graines des cotonniers (genre *Gossypium*, famille des Malvaceae). Il constitue la première fibre textile du monde (environ 50%). La culture du cotonnier et l'exploitation de son produit (coton fibre) est d'une grande importance économique pour les pays producteurs ; c'est « l'or blanc ». Les pays producteurs de coton sont essentiellement : principaux producteurs : les Etats-Unis, la CEI, la Chine, l'Inde et l'Egypte (l'Egypte produit des cotons particulièrement fins et de belle qualité) ; producteurs secondaires : la Turquie, la Syrie, le Pakistan, l'Australie et l'Afrique, plus précisément, au Cameroun, dans le Grand Nord [8].



Figure 14 : Image du coton traité.

Les propriétés chimiques du coton sont semblables à celles de la cellulose. Les solvants, les enzymes et les corps gras sont sans action sur le coton. La structure et la composition chimique de la fibre de coton lui confèrent certaines propriétés : la fraîcheur, la douceur, le confort, la capacité d'absorption, etc.

Tableau 1: Composition chimique de la fibre de coton [8].

Constituants de la fibre	%
Cellulose	95,0
Protéines	1,6
Cires	0,9
Sucres physiologiques	0,3
Autres	2,2

Les atouts ci-dessus cités font que le coton constitue la principale fibre d'habillement au monde. Il est préféré pour les vêtements, l'usage domestique : draps de lit, serviettes, torchons, serpillères, etc. Ces avantages seront exploités dans ce travail, surtout son côté absorbant. En plus de cet additif, nous aurons le jus extrait des feuilles de manioc : produit antibactérien.

❖ Feuilles de manioc

Les feuilles de manioc sont très sollicitées dans la cuisson. La sauce qui en dérive, très estimée pour sa valeur culinaire, a également des vertus étonnantes. En effet, les feuilles de manioc renferment des vertus médicinales. Elles contiennent beaucoup de vitamine A et C. Or, il est établi que la vitamine A est importante pour la croissance, pour la vue et pour

prévenir bien de maladies. C'est une substance utile qu'il faut consommer en quantités suffisantes et régulièrement. Les feuilles de manioc contiennent également beaucoup de fibres alimentaires et très nutritives [15].

Au plan sanitaire, les feuilles de manioc peuvent être très utiles dans la vie quotidienne. Elles peuvent nous soulager de plusieurs maux, dont le paludisme non sévère, la fièvre, les douleurs d'estomac, les brûlures, les infections cutanées, etc. Elles peuvent aussi servir à désinfecter les plaies (Mme Traoré Salimata, traditionniste médicale, Nord Cameroun). Ces vertus thérapeutiques se vérifient notamment dans le traitement des brûlures, de la conjonctivite, ou encore de l'anémie. Le jus issu des feuilles est utilisé à l'indigène comme remède de sang et comme produit antibactérien. En somme, les feuilles de manioc sont disposées en spirale sur la ligne ; le limbe membraneux se rattache à la ligne par un pétiole allongé et divisé en trois ou en sept lobes [15].

Avant l'obtention de ces produits, il faudra, au préalable, extraire la cellulose d'eucalyptus. Le deuxième axe de ce chapitre sera donc consacré à la présentation de cette cellulose et des méthodes d'extraction.

I.2 Généralités sur la cellulose

Issues de la biomasse, les fibres végétales peuvent être extraites du fruit, de la tige ou de la feuille d'une plante. Elles sont principalement composées de cellulose, d'hémicellulose, de lignine et de pectines. Elles sont surtout utilisées pour leurs avantages inégalés : leur faible densité, leur pouvoir d'isolant thermique, leurs propriétés mécaniques et notamment pour leur biodégradabilité et leurs atouts écologiques.

Les composantes majoritaires des fibres lignocellulosiques sont la cellulose, les hémicelluloses et la lignine. Il y a d'autres produits minoritaires comme les extractibles par les solvants organiques, les protéines, l'amidon, et d'autres produits inorganiques. La composition chimique des fibres dépend de la source, mais d'une façon générale, on peut dire qu'on a, à peu près, toujours une partie majoritaire qui correspond à la cellulose, avec environ 40-50%, mais quelques fois supérieure comme dans le cas du coton, 10-30% de lignine, environ 20-30% d'hémicelluloses. Les fibres végétales ont leur composition chimique caractéristique commune ; elles sont constituées principalement de cellulose. Hormis l'eau qui reste la molécule indispensable pour la survie de n'importe quelle espèce végétale, les cellules végétales se composent principalement de polymères à base de sucre (glucides) qui sont combinés avec de la lignine et d'autres produits en quantité moindre. La composition

chimique varie d'une plante à une autre et dépend de l'espèce, de l'âge de la plante, des conditions climatiques et de la composition du sol. Les proportions de fibres végétales extraites déterminent l'ensemble de leurs propriétés [10].

I.2.1 Définition de la Cellulose

De formule chimique $(C_6H_{10}O_5)_n$, c'est un glucide constitué de chaînes linéaires de molécules. Elles peuvent se développer et s'arrimer par des liaisons inter ou supramoléculaires de type liaison hydrogène. Ces interactions confèrent une structure fibrillaire à la cellulose (**figure 15**), dont le degré de polymérisation varie fortement, selon l'origine (fourrage, plante, bois...), de 20 000 à 100 000. Les microfibrilles comportent environ 1500 molécules par fibre. La cellulose est la composante la plus abondante contenue dans la paroi des cellules végétales [11].

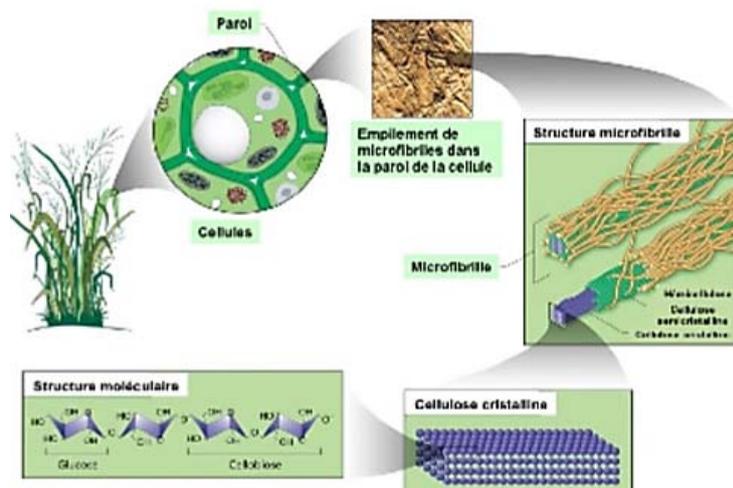


Figure 15: Vue microscopique de la cellulose dans la cellule végétale [11].

I.2.2 Domaines d'application de la cellulose

La cellulose n'est pas digérée par l'homme ; elle est cependant recommandée et utile sous forme de fibres végétales pour une bonne digestion. Les animaux herbivores digèrent la cellulose grâce à des enzymes fournies par des bactéries de leur flore intestinale. Les termites, grands ennemis des charpentes, sont capables de transformer la cellulose du bois en sucre puis en méthane, comme des usines de bio-carburant ou de bio-gaz.

La cellulose transformée a de multiples applications et envahit notre quotidien, entre autres, par les journaux (le papier) ou les vêtements (le tissu de coton). Le papier peut être fabriqué à partir du bois, de chiffons de tissus ou de papier à recycler. On broie les copeaux de bois en milieu aqueux basique à chaud, la pâte à bois est ensuite lavée et pressée ; on y ajoute

du carbonate de calcium, du kaolin, du polystyrène, puis le calandrage et le séchage donnent les immenses rouleaux que l'on connaît, imprimés à la vitesse de 60 km/h par les rotatives de la grande presse [10].

Les recherches sur la cellulose s'intensifient dans le domaine de la production du bioéthanol et du bio-gaz. La transformation de la lignine et de la cellulose de la biomasse en alcool est une voie plus intelligente que celle de la transformation des sucres issus des récoltes vivrières. Cette transformation peut se faire au moyen d'enzymes (hydrogénases), par thermolyse à haute température ou par action de l'eau supercritique.

Tableau 2: Teneur en cellulose de quelques espèces végétales [08].

Espèces végétales	Teneur en cellulose (%)
Coton	95-99
Lin	70-75
Bouleau, bambou, blé	40-50
Maïs	17-20
Bois d'eucalyptus	41- 50

I.2.3 Composition chimique de la cellulose

Le nombre d'unités D-glucopyranose dans une chaîne de cellulose, appelé degré de polymérisation (DP), est exprimé en valeur moyenne puisqu'on trouve une large distribution de longueur de chaîne au sein d'un même échantillon. Cette valeur moyenne varie selon la source. Des DP de 10.000 g/mol sont mesurés pour le bouleau par exemple, 20.000 pour le coton et 27.000 pour la Valonia, ce qui correspond à des longueurs de l'ordre du micromètre. Chaque unité anhydroglucose porte trois groupements hydroxyles libres : une fonction alcool primaire sur le carbone 6 et deux fonctions alcool secondaires sur les carbones 2 et 3 (**figure 16**). Ces liaisons ainsi que les liaisons glycosidiques sont en position équatoriale alors que les liaisons avec les atomes d'hydrogène sont en position axiale.

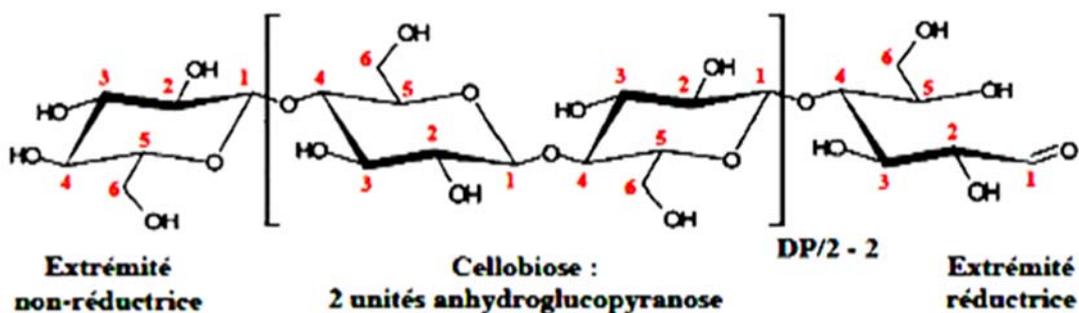


Figure 16 : Structure chimique de la cellulose [11].

❖ La lignine

La lignine est un polymère naturel complexe irrégulier composé de motifs monomériques phénoliques plus ou moins méthoxylés. Le motif monomère le plus répandu est le motif guaïcyl, présent notamment à hauteur de 95% dans les motifs phénoliques de la lignine (**figure 17**) présente dans les conifères. Les unités monomères phénoliques sont reliées entre elles par des liaisons éthers ou directement entre les atomes de carbone. Il est à noter que la lignine est facilement dépolymérisable par coupure des liaisons éthers alkylaryl.

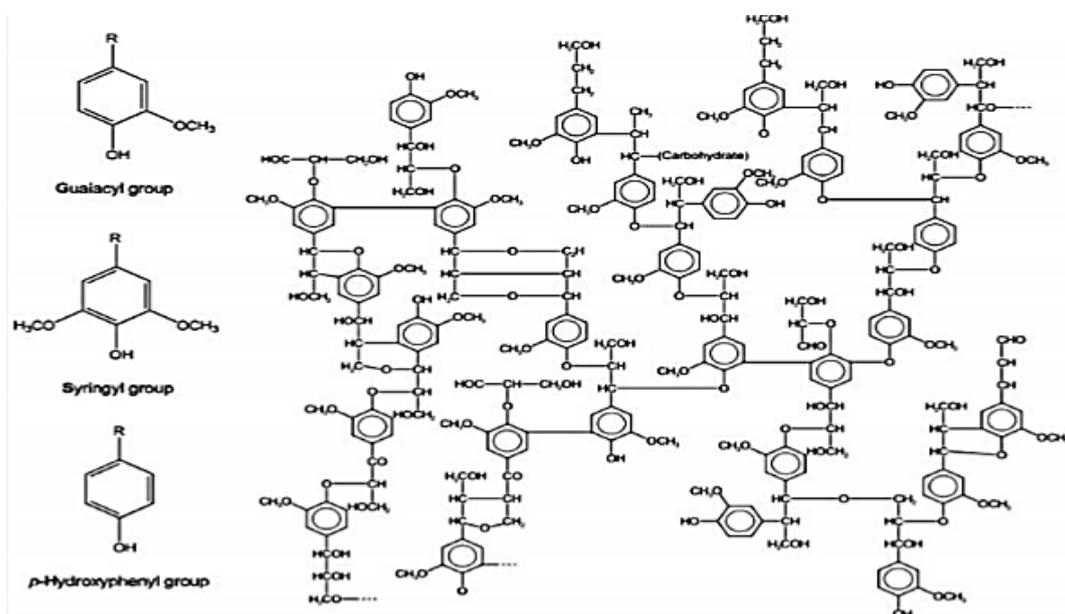


Figure 17 : Motif phénolique caractéristique de la lignine [11].

❖ Les hémicelluloses

Les hémicelluloses sont une famille de composés hétéro polysaccharidiques composés de sucres à cinq (principalement arabinose et xylose) ou six carbones (glucose, mannose et galactose). La structure chimique exacte de la fraction hémicellulosique varie d'une

espèce à une autre. Néanmoins, les hémicelluloses les plus courantes dans la biomasse lignocellulosique sont issues de la famille des xylanes, des mannanes et des galactanes. Les xylanes possèdent une structure 1,4-xylose qui contient des motifs arabinoses et des motifs acides glucuroniques. Les mannanes possèdent quant à elles une structure 1,4mannose. Enfin, les galactanes sont composées d'une structure 1,4-galactose hautement substituées par des motifs xylose, galactose, arabinose ou encore fucose. Les hémicelluloses ont comme caractéristique d'être facilement hydrolysables, au contraire de la cellulose.

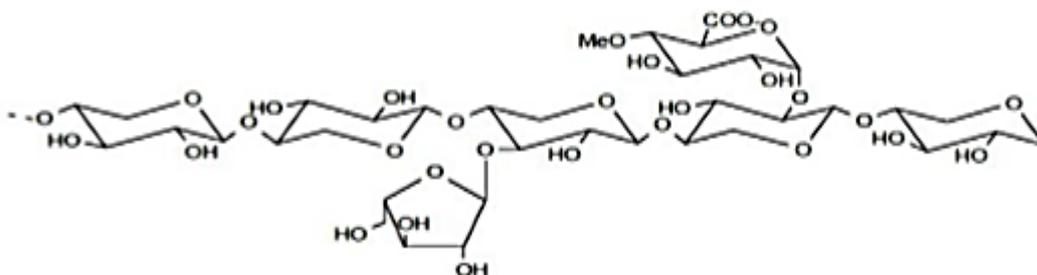


Figure 18: Structure chimique de l'hémicellulose (xylane) [11].

I.3 Procédés d'extraction de la cellulose

Les fibres végétales sont majoritairement constituées de cellulose. Cette cellulose est très sollicitée par les industriels pour l'élaboration de divers produits textiles. Pour l'extraction de cette matière, on distingue plusieurs procédés qui varient en fonction du type de fibres : l'extraction mécanique ; l'extraction chimique et l'extraction biologique.

I.3.1 L'extraction mécanique

❖ Le teillage

Cette méthode consiste à séparer le bois (le casser) des tiges par action mécanique : broyage et battage. Elle est plutôt utilisée pour extraire les fibres de lin ou de chanvre. Les tiges sont prises par leurs extrémités et insérées dans le tilleul ou l'écang (instrument manuel à levier). Si l'opération est manuelle, les tiges sont battues pour enlever le bois et cette opération est répétée jusqu'à ce que les fibres soient, le plus possible, souples. Les morceaux de bois récupérés sont appelés les «anas». Cette méthode ancestrale a été toujours effectuée manuellement avant de laisser la place aux machines. Par ailleurs, il existe aujourd'hui des systèmes complètement automatisés qui engagent, maintiennent et dégagent automatiquement les tiges sans aucune intervention humaine, grâce à des systèmes de roues cannelées à grosses

dentures au début, puis à plus fines dentures par la suite. Elles passent sous la cannelure des rouleaux avec un angle proche de 90° pour rendre le broyage plus efficace.

❖ Par déflexion

L'extraction des fibres se fait par action combinée de grattage et de battage. Les machines appelées *raspadors* (grattoir en langue espagnole) râpent les feuilles de la plante et libèrent les fibres. Ces machines sont principalement constituées par un axe rotatif entraîné par un moteur sur lequel des supports maintenant des batteurs en acier ont été fixés. Les tiges insérées en amont de la machine sont prises entre ces batteurs et une table à ciseaux, râpées et guidées vers le côté opposé ; la poudre et le bois passent à travers des cribles ; la distance qui sépare les lames est réglable en fonction du lot. Les tiges sont découpées en morceaux qui sont ensuite écrasés, sous presse ou par laminage, ou encore par combinaison des deux traitements. Ceci est effectué plusieurs fois de suite jusqu'à ce que les fibres soient, le plus possible, séparées.

I.3.2 L'extraction chimique

La méthode de l'extraction chimique permet d'éviter les inconvénients de l'extraction mécanique et, surtout, un gain de temps et d'énergie considérable. Dans cette section, nous présentons les principales méthodes d'extraction chimique des fibres végétales.

❖ Procédé Kraft

Ce procédé alcalin vise à éliminer la lignine, les pectines et les hémicelluloses sous l'action d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) et de sulfure de sodium (Na_2S). Ce dernier est un réducteur ; il protège la cellulose et évite son oxydation. La température de cuisson est comprise entre 170 et 175°C pour une durée de 2 à 4 heures. Lors de la cuisson, le sulfure de sodium est hydrolysé en soude en NaHS et en H_2S . Les différents composés soufrés présents réagissent avec la lignine pour donner des thiolignines plus facilement solubles. La soude joue aussi un rôle de délignification qui s'associe à celui du sulfure et de ses dérivés. La liqueur appliquée au matériau est appelée liqueur blanche et la liqueur extraite du réacteur contenant les composés éliminés de la paroi est appelée liqueur noire. Ce procédé est celui qui sera exploité au chapitre suivant pour l'extraction de notre cellulose [4].

❖ Procédé au bisulfite

Le procédé au bisulfite permet de séparer la lignine des fibres de cellulose en utilisant divers sels de l'acide sulfureux. Les sels utilisés dans le processus de réduction sont, en

fonction du pH, des sulfites (SO_3^{2-}) ou bisulfites (HSO_3^-). Ce procédé est basé sur la réaction sur la lignine de l'hydrogénosulfite de calcium, sodium, ammonium ou magnésium contenant de l'anhydride sulfureux libre. L'anhydride sulfureux est préparé par combustion à partir du soufre dans un excès d'air. Le bisulfite est directement obtenu par réaction de l'anhydride sulfureux. Le pH est situé entre 1.5 et 5 (sulfites ou bisulfites), la durée est entre 4 et 14 heures et la température de 130 jusqu'à 160°C, en fonction de la base utilisée [4].

I.3.3 L'extraction biologique

❖ Le rouissage à terre

Le rouissage est un procédé naturel destiné à favoriser l'extraction des fibres. Il consiste à étaler les tiges (de lin par exemple) dans un champ après sa récolte, afin de bénéficier de l'action combinée du soleil et de la pluie, ce qui va favoriser le développement de microorganismes capables de dissocier les éléments non cellulosiques de la partie fibreuse de la plante par élimination des liaisons qui les relient ensemble. Cette opération peut durer 6 à 8 semaines en fonction de la météo. Malgré l'efficacité de cette méthode, elle connaît plusieurs handicaps qui résident dans sa dépendance entière des conditions météorologiques ; le moindre problème tel qu'un excès ou un manque d'humidité peut affecter directement la qualité des fibres obtenues.

❖ Le rouissage à l'eau

Ce type de rouissage repose sur le même principe de développement de microorganismes que le rouissage à l'air, la différence étant que les tiges (de chanvre par exemple) sont plongées dans l'eau pendant plusieurs jours. Les bottes de 5 à 7 Kg sont soumises à l'action de bactéries anaérobies. Dès que les fibres se détachent sur toute la longueur, la plante est sortie de l'eau pour être séchée. Cette technique donne des résultats moins aléatoires que la première, mais elle présente un handicap majeur : la pollution de l'eau. En effet, le rouissage du lin et du chanvre, très répandu au nord de l'Europe (France, Belgique, Pays-Bas), s'effectuait traditionnellement en rivière avant d'être interdit au début du 20^{ème} siècle pour des raisons environnementales, à cause de la décomposition bactérienne des bottes trempées au fond des rivières.

Après ces différents procédés d'extraction, l'on peut soit obtenir une cellulose, soit les fibres, pour une nouvelle application textile.

I.4 Caractéristiques de la fibre

Chaque type de fibre a des propriétés uniques qui sont prises en compte pour choisir la fibre qui convient en fonction de l'application. Par exemple, les fibres renforçantes doivent avoir des propriétés mécaniques supérieures et les fibres pour applications textiles et d'habillement ne doivent pas remplir les mêmes conditions que des fibres à usage industriel ou médical. Les propriétés des fibres sont les paramètres que l'on peut mesurer, percevoir, déterminer ou identifier. Une fibre textile est caractérisée par plusieurs facteurs : la longueur, la finesse, la forme, le pouvoir absorbant, la cristallinité, l'allongement à la rupture, le retrait après allongement, le module d'élasticité, l'absorption d'humidité et la résistance à l'abrasion.

I.4.1 Longueur

La longueur des fibres est d'une importance capitale dans l'industrie textile et entre, pour une bonne part, dans l'appréciation technologique et commerciale des fibres naturelles. Les fibres à mesurer sont prélevées aléatoirement dans un lot de fibres extraites. Elles sont identifiées individuellement et mesurées une à une à l'aide d'un maille mètre. Le maille mètre est un instrument de mesure fréquemment utilisé dans l'industrie. La mesure de la longueur peut également être faite par le procédé ALMETER, qui est un appareil électronique qui détermine la longueur des fibres. Cette longueur peut aussi être déterminée à l'aide d'une règle graduée.

I.4.2 Finesse, forme et pouvoir absorbant

La finesse des fibres peut être estimée par mesure du périmètre, diamètre, aire de section transversale des fibres, etc. Elle peut être déterminée par méthode gravimétrique, en masse par unité de longueur, par pesée à la balance et par mesure de longueur. La finesse conditionne le toucher et la souplesse du tissu. Dans le cas d'un fil continu, on parle de brins ou de filaments. Dans le cas d'un fil discontinu, on parle de fibres ou de fibrilles. Le Tex est l'unité de mesure de la finesse d'un tissu. 1 Tex correspond à la masse en gramme d'un fil continu de 1000m. On utilise plus souvent le dTex (décitex) qui correspond à la masse en gramme d'un fil de 10.000 m de long.

La forme des fibres peut être responsable de certaines propriétés optiques ou thermorégulatrices.

Le pouvoir absorbant est estimé par le calcul du taux d'absorption en eau froide et en eau chaude et, enfin, connaître la quantité d'eau que peut absorber un échantillon de fibre. Ainsi, la teneur en humidité ou taux d'absorption (TH%) de la fibre est calculée par :

$$\text{TH}\% = \frac{\text{Mm} - \text{Ms}}{\text{Ms}} * 100$$

Avec :

Mm = masse initiale de l'échantillon.

Ms = masse de l'échantillon après exposition dans le milieu humide.

I.4.3 Les propriétés physico-physiques

C'est un des critères les plus importants. Il va directement influencer sur les conditions d'utilisation et d'entretien du textile.

I.4.3.1 Le caractère amorphe

Les fibres sont constituées de macromolécules linéaires. L'orientation des macromolécules est privilégiée dans le sens de la longueur. Leur assemblage conduit à des structures complexes et hétérogènes comportant des zones cristallines qui alternent avec des zones amorphes. Les zones cristallines, structures ordonnées à forte cohésion, assurent la rigidité et la solidité ; alors que les zones amorphes, structures désordonnées à cohésion lâche, assurent la souplesse et la flexibilité. Vue en section, on distingue deux zones :

- La zone centrale, où prédomine l'orientation longitudinale des molécules ;
- La zone périphérique, où prédomine une orientation plus désordonnée qui donne un caractère microporeux où l'air peut être emprisonné. Exemple de la fibre de laine (possède un caractère gonflant et isolant car zone périphérique importante.)

I.4.3.2 Le caractère cristallin

Si le degré de cristallisation augmente :

- La densité augmente. Polyester amorphe $d = 1.33$; Polyester cristallisé $d = 1.45$;
- L'affinité tinctoriale diminue pour les colorants dispersés car ils se fixent dans les zones amorphes ;
- La résistance mécanique est augmentée ;
- La solubilité diminue pour les solvants (spécifique à chaque fibre) ;
- La durée de conservation du produit sans altération notable est augmentée.

Cette cellulose et ces calculs seront exploités pour la fabrication des couches jetables.

I.5 Généralités sur les couches

La couche est un linge ou bande absorbante à l'usage des enfants qui n'ont pas encore la maîtrise de leurs fonctions naturelles. Il existe deux types de couches : les couches lavables et les couches jetables. Parmi les couches jetables, nous avons les biodégradables et les non biodégradables. Ces couches contiennent des produits chimiques en quantité connue, qui causent des irritations cutanées chez les enfants. La présence de cloques, de pu, de bosses rouges dans les replis de la peau, de zones rouges « satellites » en périphérie de la principale zone rouge ou de régions rouges très enflées, est signe d'infection possible (**figure 19**). L'éruption peut aussi être chaude au toucher ; le comportement de votre bébé peut sembler plus perturbé, il pleure quand vous le touchez ou le lavez, et il se réveille souvent la nuit en raison de l'inconfort [16]. Nous présenterons dans cette partie les types de couches qui existent.



Figure 19 : Erythème fessier chez les bébés [16]

1.5.1 Les couches jetables non biodégradables

La couche jetable non biodégradable est une sorte de sous-vêtement conçu pour recueillir les selles et l'urine de son porteur et qui est à usage unique (**figure 20**). Elle est généralement utilisée pour des enfants en bas âge, mais peut aussi être employée dans des contextes spécifiques (par exemple pour des sujets souffrant d'incontinence urinaire). L'utilisation des couches jetables est devenue un phénomène de mode ces derniers temps. Des cités urbaines aux coins les plus reculés, les femmes mettent un point d'honneur à l'achat des couches jetables. Dans les grandes surfaces, les boutiques des sous-quartiers, les ventes à la sauvette dans les petits marchés, ces articles de toilette pour bébés se vendent comme de petits pains [1].



(a) *Vue externe*



(b) *Vue interne*

Figure 20 : *Couche jetable non biodégradable pour enfant*

1.5.1.1 Historique

Les couches pour bébés utilisées au quotidien ne sont apparues qu'à partir du 20^{ème} siècle. Avant l'invention de ces couches, on mettait bébé dans des langes qui faisaient office de couches, et qui récoltaient urines et excréments de bébés ; mais les langes servaient aussi à tenir bébé droit. Les bébés, à cette époque, n'étaient pas changés systématiquement, mais uniquement quand maman en avait le temps. Bébé pouvait rester des heures dans son urine ou ses excréments. Ensuite, bébé était changé et nettoyé, avec de l'huile ou même du beurre. Par la suite, les médecins s'étaient accordés à dire que les langes ne favorisaient pas forcément la croissance de bébé. C'est alors que furent créées les premières couches. Au départ, les couches n'étaient qu'un simple carré de coton blanc lavable, maintenu par des épingles à nourrice, qui enlaçaient le bassin et les fesses de bébé. En 1950, fut créée la couche jetable. Elle était composée d'une couche rectangulaire en ouate et le linge en coton était placé à l'intérieur de celle-ci. En 1956, un ingénieur américain travaillant pour *Protect and Gambles* (PAMPERS) commença à concevoir des couches avec des renforts pour améliorer le confort de bébé. Puis en 1961, apparue la première couche Pampers (choyer en français). Depuis ce jour, la technologie n'a cessé d'évoluer au bénéfice des couches bébés (amélioration de l'absorption, dissimulation des odeurs, tailles adaptées à toutes les morphologies...), toujours dans le but d'améliorer le confort de bébé [1].

1.5.1.2 Composition d'une couche jetable

Les couches jetables sur le marché aujourd'hui sont constituées de trois couches. La couche la plus proche de la peau est une feuille conçue pour isoler la peau de l'enfant du noyau intérieur humide. Le centre est un gel super-absorbant dans un noyau de cellulose

(figure 21). La composition, la quantité et la distribution du gel dans ce noyau diffèrent avec la marque de la couche. La feuille externe est un matériel imperméable à l'eau constitué de polyéthylène ou de polypropylène pour le voile protecteur, film plastique imperméable pour l'enveloppe extérieure et les systèmes d'attaches en velcro. La plupart des couches jetables ont des bandes élastiques à la taille et aux jambes, plus un double élastique qui aide à contenir l'urine et les résidus. Le gel super absorbant est un polymère à poids moléculaire élevé de polyacrylate de sodium (non dangereux, a priori, pour l'environnement, mais ce produit ne doit être en aucun cas en contact de l'enfant) qui peut absorber jusqu'à 80 fois son poids de liquide [26].

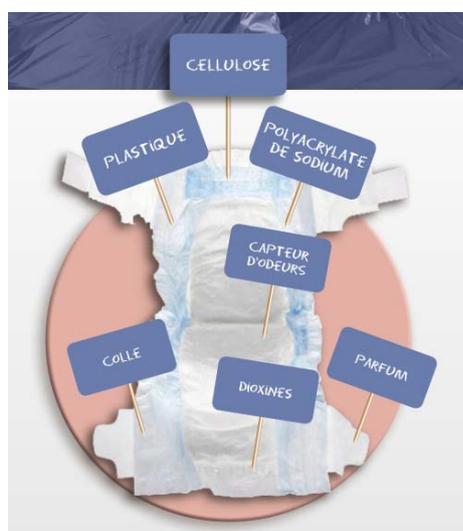


Figure 21: Composition des couches jetables non biodégradables [25].

1.5.1.3 Fabrication de la couche jetable

Pour fabriquer une couche jetable, tout d'abord, il faut un film plastique pour l'enveloppe extérieure et les bandes de protection afin d'éviter les fuites. Il est composé de polypropylène ou polyéthylène, fabriqués à partir d'hydrocarbures, principalement le pétrole, soumis à diverses réactions chimiques très polluantes pour l'environnement. Pour la partie centrale, une couche de cellulose permet de contenir les urines et les matières solides. La cellulose est élaborée par l'action de solutions chimiques qui dissolvent une partie des constituants du bois et éliminent la lignine. De grandes quantités d'eau sont nécessaires à la fabrication de la cellulose. En fonction des pâtes élaborées, des modes de fabrication et des installations industrielles, les eaux rejetées dans les rivières entraînent une pollution plus ou moins importante mais bien réelle. Aussi, la couche est blanchie au chlore pour permettre effectivement d'avoir un produit bien blanc et donc bien « propre » mais au prix d'une

pollution catastrophique. Lors du processus d'incinération, le chlore contribue à la formation de dioxines toxiques pour la santé humaine. Pour augmenter les capacités d'absorption et diminuer l'épaisseur de la couche, à l'intérieur, un gel chimique, des cristaux de polyacrylate de sodium ou SAP, peut absorber jusqu'à 80 fois son poids en eau. L'impact sanitaire et environnemental de ce produit est important car il n'est pas biodégradable. Enfin, pour confectionner des couches jetables, les usines de fabrication sont gourmandes en électricité. Le bilan écologique et la pollution de la couche d'ozone, liés au transport, ne sont jamais pris en compte [26].

1.5.1.4 Utilisations

Les couches jetables sont prioritairement portées par les enfants en bas âge pour contenir les urines et les selles (**figure 22**). Cependant, elles peuvent également être utilisées en cas de nécessité médicale par les adultes souffrant d'incontinence, ou dans des circonstances particulières (par exemple, dans des conditions extrêmes pour les astronautes). L'utilisation de la couche a principalement un but utilitaire, bien qu'il y ait quelques exceptions : des personnes telles que les infantilistes et les fétichistes des couches jetables qui portent des couches par plaisir, confort, recherche émotionnelle ou gratification sexuelle [12].



Figure 22 : Couche jetable pour enfant après usage. Cliché photo Meula, décembre 2019.

1.5.1.5 Pathologies cutanées provoquées par le port de couches

Les dermatites du siège constituent la pathologie cutanée la plus fréquente chez les nourrissons. Il existe différentes formes de dermatites du siège :

- Les dermatites irritatives, les plus fréquentes, dues à l'augmentation de l'humidité cutanée, un pH alcalin élevé au niveau de la peau, le mélange urines et selles et l'action mécanique du frottement entre la peau et la couche [30] ;
- Les dermatites infectieuses (Staphylocoques, Candida albicans) [32] ;

- Les dermatoses inflammatoires telles que les dermatites allergiques de contact, plus rares, qui peuvent être dues à certains constituants de la couche [31].

1.5.2 Les couches jetables biodégradables

Ce sont des couches jetables pour bébé absorbantes et moins polluantes pour l'environnement.

1.5.2.1 Composition d'une couche jetable biodégradable

Elle comporte trois parties : le film extérieur est généralement conçu à partir de matières premières naturelles et renouvelables telles que le maïs, le bois ou le coton. Le film intérieur (en contact avec les fesses de bébé) est en cellulose blanchie sans chlore. Enfin, la partie absorbante est constituée de gel polyacrylate appelé SAP toxique (en quantité moins importante que dans les couches jetables non biodégradables) et de cellulose de bois. On peut constater un réel effort dans la fabrication, avec des matériaux utilisés issus de filières durables, malgré la présence du gel absorbant SAP (cristaux de polyacrylate de sodium). L'un des avantages majeurs qu'auront nos couches jetables est qu'elles ne contiendront pas le produit chimique appelé SAP [22].



Figure 23 : Couche biodégradable pour enfant [22].

Ces couches contiennent au minimum 60% de matières naturelles : amidon de maïs pour l'enveloppe extérieure, cellulose non blanchie pour la couche absorbante et voile isolant 100% non chimique. Elles ne contiennent ni parfum, ni lotion, ni colorant.

❖ **Avantages :**

- Identiques aux couches jetables traditionnelles ;
- Ne contiennent pas de produits chimiques ;
- Faible pollution de l'environnement ;
- Risques réduits d'irritation cutanée chez le bébé.

❖ **Inconvénients :**

- Non commercialisées dans toutes les grandes surfaces ;
- Coût plus élevé que les couches jetables traditionnelles ;
- À jeter néanmoins avec les déchets ménagers au même titre que les autres couches jetables, puisque seule une partie de la couche est biodégradable.

1.5.2.2 La biodégradabilité de la couche bio

A ce jour, aucune marque ne propose une couche jetable 100% biodégradable. [20]. En effet, il reste toujours une part non biodégradable dans les couches bio : les fixations, la partie absorbante contenant du SAP, pour ne citer que ceux-ci.

❖ **Exemples de couches biodégradables :**

- Moltex : biodégradable à 50% ;
- Nature Baby Care : biodégradable à 60% ;
- Bio Babby : biodégradable à 60% ;
- Wiona : biodégradable à 66%.

1.5.3 Critères de choix d'une couche jetable

Le choix des couches jetables contribue à la qualité de vie de l'enfant et de la famille. Il existe deux grands critères de choix d'une couche jetable : le choix de la taille et les critères indispensables.

❖ **Choix de la taille**

Il est défini par le poids de l'enfant et non par son âge, car la corpulence varie d'un enfant à un autre. L'âge mentionné entre parenthèses correspond à une moyenne :

- Couche taille 1 : de 2 à 5kg (de la naissance à 2-3 mois) ;
- Couche taille 2 : de 3 à 6kg (de la naissance à 3-4 mois) ;
- Couche taille 3 : de 4 à 9kg (de 2 mois à 10 mois) ;
- Couche taille 4 : de 7 à 18kg (de 6 mois à 3 ans) ;
- Couche taille 4+ : de 9 à 20kg (plus de 10 mois) ;

- Couche taille 5 : de 11 à 25kg (plus de 18 mois).

❖ **Critères indispensables :**

- Efficacité antifuite et absorption ;
- Hygiène et confort : effet "fesses au sec", moelleux ;
- Facilité d'utilisation: rapidité, simplicité de la pose et du retrait, utilisation en toutes circonstances ;
- Solidité des attaches ;
- Nécessité ou non de tâches complémentaires (lavage, séchage, etc.) ;
- Coût ;
- Préservation de l'environnement.

I.5.4 Les couches lavables

Les couches lavables des années 50 étaient des carrés de coton à plier et à ajuster sur l'enfant puis à fixer par une épingle de nourrice. Le rinçage en cas de selles était une véritable corvée, à laquelle il fallait ajouter le lavage à la main, les nombreux rinçages et finalement l'essorage. Le confort de ce type de couche laissait également à désirer car pour garantir une bonne étanchéité, la partie absorbante était recouverte d'une culotte en plastique difficile à mettre et complètement fermée. Les couches lavables actuelles n'ont plus rien à voir avec ce système archaïque et peu performant. Elles sont maintenant préformées, munies d'élastiques aux cuisses, et à la taille, ainsi que de velcro pour fermer et repositionner aisément. Il existe de nombreux modèles qui diffèrent par la qualité et la nature du tissu, l'épaisseur, la coupe, la taille, la couleur, le système de fermeture... [1]



Figure 24 : Couches lavables pour enfant [1].

Dans ce chapitre, il était question de présenter, tout d'abord, les généralités sur l'eucalyptus ; ensuite, de parler de la cellulose et des méthodes d'extraction et, enfin, une généralité sur les couches de bébé. Il en ressort que l'eucalyptus est un arbre hyper absorbant et traitant, par conséquent, approprié pour la fabrication des couches jetables biodégradables. Le second chapitre intitulé Matériel, méthodes et présentation du schéma de l'OST va nous

permettre de présenter, tour à tour, le matériel utilisé pour la réalisation de notre travail, la méthode utilisée pour obtenir le résultat escompté et, enfin, le personnel approprié pour une meilleure organisation de notre entreprise.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

Cette seconde grande partie de notre travail est axée sur une analyse fonctionnelle de l'objet à réaliser, la présentation d'un schéma synoptique pour la réalisation de la couche jetable ; ensuite, nous présenterons le matériel et les différentes méthodes utilisées pour les opérations d'extraction à froid de la cellulose. Enfin, nous aurons le schéma prévisionnel de l'OST du procédé industriel de fabrication.

II.1 Analyse fonctionnelle du produit

Albert Einstein déclarait : « *Si j'avais une heure pour résoudre un problème dont ma vie dépende, je passerais quarante minutes pour l'analyser, quinze minutes pour en faire une revue critique et cinq minutes pour le résoudre* ». Un problème industriel se doit de suivre la même démarche. Il doit être posé par le service marketing de l'entreprise, il doit être analysé et compris au cours d'une Analyse Fonctionnelle (AF).

Pour ce travail, l'analyse fonctionnelle peut être définie comme une démarche qui consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur [2].

Un produit est une réalisation de l'homme, il n'est pas le fruit de la nature : il a été imaginé et réalisé pour satisfaire un besoin de l'homme (exemple : une loi, un tableau, une voiture...).

NF X50 – 150 : "Un besoin est une nécessité, un désir éprouvé par un utilisateur".

La démarche est généralement conduite en mode projet et peut être utilisée pour **créer** (conception) ou **améliorer** (reconception) un produit.

- L'objet visé par la démarche peut être un objet, un matériel, un processus matériel ou vivant, une organisation, un logiciel, etc.
- Les besoins sont de toute nature et sont exprimés de façon individuelle ou collective, objective ou subjective, avec des degrés de justification disparates.
- Les fonctions étudiées sont également diverses : fonctions de service, fonctions d'évaluation, fonctions de traitement.
- Le cadre de l'étude doit être aussi pris en compte : contraintes ou variables déduites de l'environnement, réglementation, usages, etc.

II.1.1 Présentation du problème

De nombreuses mamans souffrent énormément de voir leurs bébés pleurer, souffrir sans pouvoir exprimer leur douleur, et passer des nuits blanches à cause des irritations cutanées et le taux d'absorption pas assez élevé de leurs couches. L'idée nous vient de la venue au monde de l'une de nos nièces, il y a plusieurs années, qui, à sa naissance, avait un teint clair : une couleur de peau qui est plus exposée aux rouges fesses et, par conséquent, aux irritations cutanées. Elle avait des boutons qui apparaissaient chaque fois qu'elle passait plus de 2h de temps avec une même couche jetable et on pouvait également remarquer des fuites urinaires. Au fil du temps, nous avons remarqué que de nombreux bébés souffrent de ces problèmes ; ce qui rend parfois l'utilisation des couches jetables ardue et lassante voire irritante, car il faut les changer presque toutes les deux heures. Prise de compassion pour ces bébés qui souffrent sans pouvoir s'exprimer et leurs mamans qui s'attristent de passer des nuits sans sommeil, nous avons nourri l'idée de proposer une couche jetable biomédicale et biodégradable ayant une grande capacité d'absorption afin d'assurer la santé du bébé le bien-être de la maman, gages d'un sommeil doux et paisible.

❖ Formulation du besoin

Procurer du bien-être au bébé et apaiser les souffrances de la maman à travers la nouvelle couche jetable imprégnée d'un produit antibactérien, faite de matières premières biodégradable et sans produits chimiques.

❖ Qui sont les utilisateurs et usagers potentiels ?

Les utilisateurs sont les bébés à travers leurs mamans, les grands-parents et autres personnes proches du bébé.

II.1.2 Contexte du projet

Pour mieux saisir les besoins de la population cible, nous avons effectué deux études. Cela nous a permis d'analyser la demande et de répondre au mieux à leurs attentes. Dans notre cas, pour répondre à ces besoins, il faut travailler sur les fonctions suivantes :

- Absorber en grande quantité le liquide ;
- Améliorer la santé et le bien-être du bébé ;
- Procurer un sommeil paisible pour lui garantir une bonne croissance ;
- Etre souple ;

- Pollution de l'environnement réduite : elle doit être biodégradable au moins à 80%.

Une fiche de programme précise les conditions suivantes sur le produit :

- Doit s'adresser aux mamans dont les bébés souffrent d'irritations ;
- Doit être vendu en magasins, en grandes surfaces ou par correspondance. Mais dans notre cas, nous proposons un travail de recherche ;
- Doit respecter les normes de sécurité en vigueur pour être homologué à la vente ;
- Doit participer à la sécurité sanitaire.

❖ Etude succincte du marché actuel des dispositifs de conservation

Les produits concurrents sont des produits qui peuvent être utilisés pour répondre au besoin de réception des urines et traitements. On peut distinguer :

- Les couches jetables non biomédicales ;
- Les couches jetables biomédicales ;
- Les couches lavables ;
- Les couches jetables biodégradables.

❖ Limite de l'étude

L'étude effectuée sera limitée à la zone camerounaise.

II.1.3 Enoncé fonctionnel du besoin

Le besoin est d'assurer, chaque jour, la santé et le bien-être du bébé grâce à une couche jetable bio et hyper absorbant à travers la cellulose d'un arbre très absorbant et un produit antibactérien.

❖ Analyse du besoin

Voir diagramme de bête à corne présenté ci-dessous :

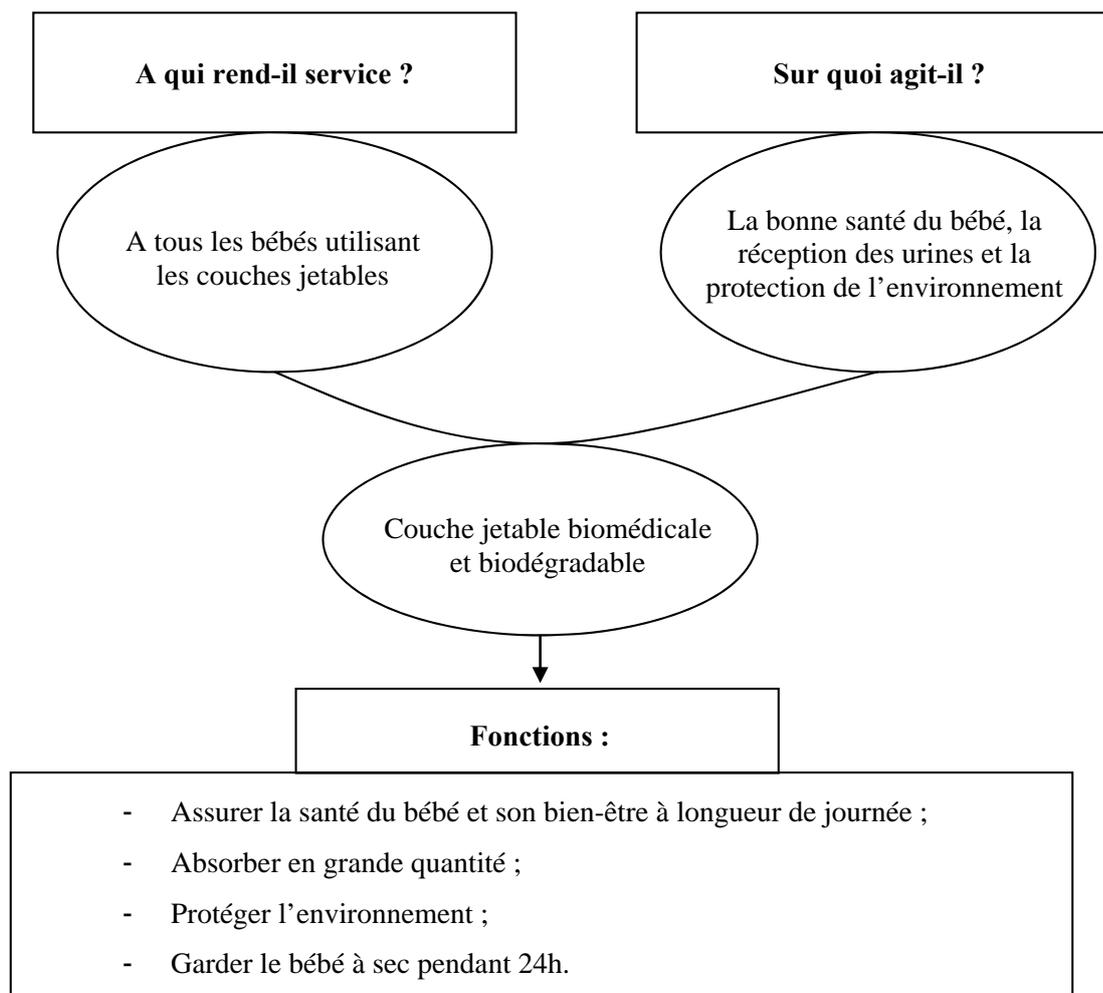


Figure 25 : Diagramme bête à corne.

Pour valider les besoins, nous répondons de la manière suivante :

- **À qui le produit rend-il service ?** Le produit rend service à tous les bébés utilisant les couches jetables.
- **Sur quoi agit-il ?** Il agit sur la bonne santé du bébé, la réception des urines et la protection de l'environnement.
- **Le besoin peut-il évoluer ?** Il est impossible d'imaginer qu'un besoin n'évolue pas, car les évolutions technologiques pourraient entraîner les modifications du besoin :
 - Apparition de nouvelles couches jetables ;
 - Nouvelles technologies de couches jetables : biomédicales et biodégradables.
- **Le besoin peut-il disparaître ?** Le besoin peut disparaître si et seulement si :
 - Les bébés cessent de venir au monde ;
 - Les femmes arrêtent d'utiliser les couches jetables ;
 - Il n'y a plus pollution de l'environnement.

Il est donc peu probable que le besoin disparaisse totalement.

II.1.4 Enoncé des fonctions de service et des contraintes

Par définition, nous disons que :

Une **fonction** est l'action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en termes de finalité.

La fonction de service ou fonction principale est donc l'action attendue d'un produit ou réalisée par lui pour répondre à un élément du besoin d'un utilisateur donné.

Les fonctions de service comprennent les fonctions d'usage qui traduisent la partie rationnelle du besoin et les fonctions d'estime, la partie subjective. Elles peuvent être de diverses natures.

La contrainte est la limitation à la liberté de choix du concepteur ou du réalisateur d'un produit. Les contraintes proviennent de l'environnement, de la technologie, du marché, de la situation...

Les fonctions principales et de contrainte sont les suivantes :

❖ Fonctions principales (FP)

- **FP1** : recueillir au moins 80% de liquide ;
- **FP2** : assurer la santé du bébé ;
- **FP3** : réduire la pollution de l'environnement ;
- **FP4** : être pratique à l'utilisation ;
- **FS1** : être souple ;
- **FS2** : avoir un système de fermeture solide ;
- **FS3** : être peu encombrant.

❖ Fonctions contraintes (FC)

- **FC1** : doit respecter les normes (homologation) ;
- **FC2** : doit être résistante ;
- **FC3** : doit s'adapter à toutes les morphologies ;
- **FC4** : doit être souple ;
- **FC5** : doit avoir un prix d'achat accessible ;

- **FC6** : doit absorber pendant une longue période ;
- **FC7** : doit être biodégradable ;
- **FC8** : doit pouvoir se nettoyer facilement ;
- **FC9** : doit soigner les irritations ;
- **FC10** : doit être légère ;
- **FC11** : doit être utilisable sans danger pour le bébé ;
- **FC12** : ne doit pas abîmer la peau du bébé.

❖ **Fonctions d'estime**

- **FE1** : être innovant ;
- **FE2** : être vendu dans les magasins spécialisés ;
- **FE3** : être associé à un packaging spécifique ;
- **FE4** : avoir un bel aspect.

II.2 Matériel

Parmi le matériel utilisé, on distingue la matière première, le matériel pour extraction, le matériel de laboratoire, le matériel ayant servi à la réalisation de la couche et les réactifs chimiques.

II.2.1 Matériel végétal

La matière première utilisée pour notre expérience est le tronc d'eucalyptus prélevé dans une exploitation agricole de la ville d'Ebolowa. Ce tronc est constitué de deux parties :

- La partie externe appelée écorce, pauvre en cellulose, qui sera expulsée pendant les opérations de nettoyage ;
- La partie interne que constitue le bois riche en cellulose et importante pour notre réalisation.

II.2.2 Matériel d'approvisionnement

Nous avons utilisé plusieurs outils pour la récolte, le transport, le broyage... détaillés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Matériel utilisé pour l'approvisionnement

Matériel	Quantité	Illustration	Rôle
Tronçonneuse thermique	01		Utilisée pour abattre l'arbre puis débiter son tronc
Machette	02		Utilisées pour séparer le bois de l'écorce
Sac ou bâche	01		Utilisé pour recevoir la sciure du bois après broyage
Machine à scier	01		Utilisée pour le broyage du tronc
Plastique	01		Utilisé pour transporter la sciure

II.2.3 Réactifs et matériel d'équipement

En plus du matériel suscité, nous en avons utilisé d'autres pour l'extraction et le blanchiment de la cellulose. Ces opérations seront développées dans les prochains points de notre document. Les tableaux ci-dessous illustrent le matériel d'extraction et de blanchiment de la cellulose : matériel d'équipement, les réactifs ou matériel consommable et matériel de sécurité.

❖ **Matériel d'équipement :**

Tableau 4: Récapitulatif du matériel d'équipement

Matériel	Quantité	Illustration	Rôle
Fiole jaugée (1000ml)	01		Nous l'avons utilisée pour mesurer l'eau qui nous a permis de préparer notre solution ; graduée à 1000ml
Balance de cuisine	01		Une balance de cuisine ayant servi à la détermination des différentes masses des solides.
Erlenmeyer	01		Utilisé pour contenir la soude pendant le pesage.
Eprouvette graduée	01		Utilisée pour mesurer les volumes exacts.
Flacons en verre	02		Utilisés pour tremper.
Papier filtre Whatman N°1	01		Papier absorbant, utilisé pour étaler ou sécher.
Tamis	01		Utilisé pour éliminer les eaux usées lors du lavage et recueillir la fibre cellulosique.

Broyeur ou Moulinex	01		Utilisé pour broyer la fibre cellulosique afin d'obtenir une bourre.
----------------------------	-----------	---	--

❖ Réactifs et matériel de sécurité

Tableau 5 : Réactifs et matériel de sécurité

Matériel	Quantité	Illustration	Rôle
Gants	3 paires		Utilisées pour protéger les doigts contre les brûlures des produits chimiques.
Cache-nez	01		Utilisé pour se protéger des odeurs toxines lors des différentes expériences.
Blouse	01		Vêtement de protection du corps ; utilisé en labo pour se mettre à l'abri des produits chimiques.
Soude caustique	1 kilo		Elle a été utilisée dans la solution alcaline en quantité connue pour nous permettre d'éliminer les éléments tels que la lignine et la pectine.
Eau oxygénée	02 litres		Produit qui nous a permis de blanchir notre fibre cellulosique (produit de blanchiment).

Eau de javel	02 litres		Un autre produit de blanchiment qui nous a également permis le lavage de nos fibres cellulosiques.
---------------------	------------------	---	--

II.3 Méthodes

Après avoir présenté les opérations de prélèvement, nettoyage, broyage et triage de la matière, nous présenterons dans cette partie le procédé d'extraction de la cellulose que nous avons utilisé. Notons qu'il existe deux procédés d'extraction : le procédé d'extraction à chaud et le procédé d'extraction à froid. Cette partie nous permettra également d'appliquer les opérations citées dans le schéma synoptique. Par la suite, nous présenterons le processus de blanchiment de la cellulose. Et pour clôturer, nous donnerons les caractéristiques de notre cellulose et la réalisation de la couche jetable.

II.3.1 Schéma synoptique

Le schéma synoptique peut être défini comme une représentation graphique logique qui donne en ordre les étapes ou un processus à suivre en vue d'une réalisation.

❖ **Schéma synoptique du procédé expérimental de fabrication de la couche jetable à partir du bois d'eucalyptus**

La représentation synoptique du procédé d'expérimentation de fabrication d'une couche jetable à base de sciure extraite du tronc d'eucalyptus est schématisée. Pour parvenir à nos fins, nous allons présenter le protocole de notre réalisation avec son schéma synoptique. Le schéma synoptique présenté ci-dessous est une représentation plus élaborée du processus de production. Les différentes étapes sont :

- Approvisionnement ;
- Découpage ou débitage ;
- Prétraitement ;
- Broyage de la matière première ;
- Trempage dans une solution alcaline ;
- Extraction de la fibre cellulosique ;
- Blanchiment de la fibre cellulosique ;
- Séchage de la fibre cellulosique ;

- Broyage de la fibre cellulosique et obtention de la cellulose ;
- Préparation ;
- Réalisation de la couche jetable ;
- Conditionnement.

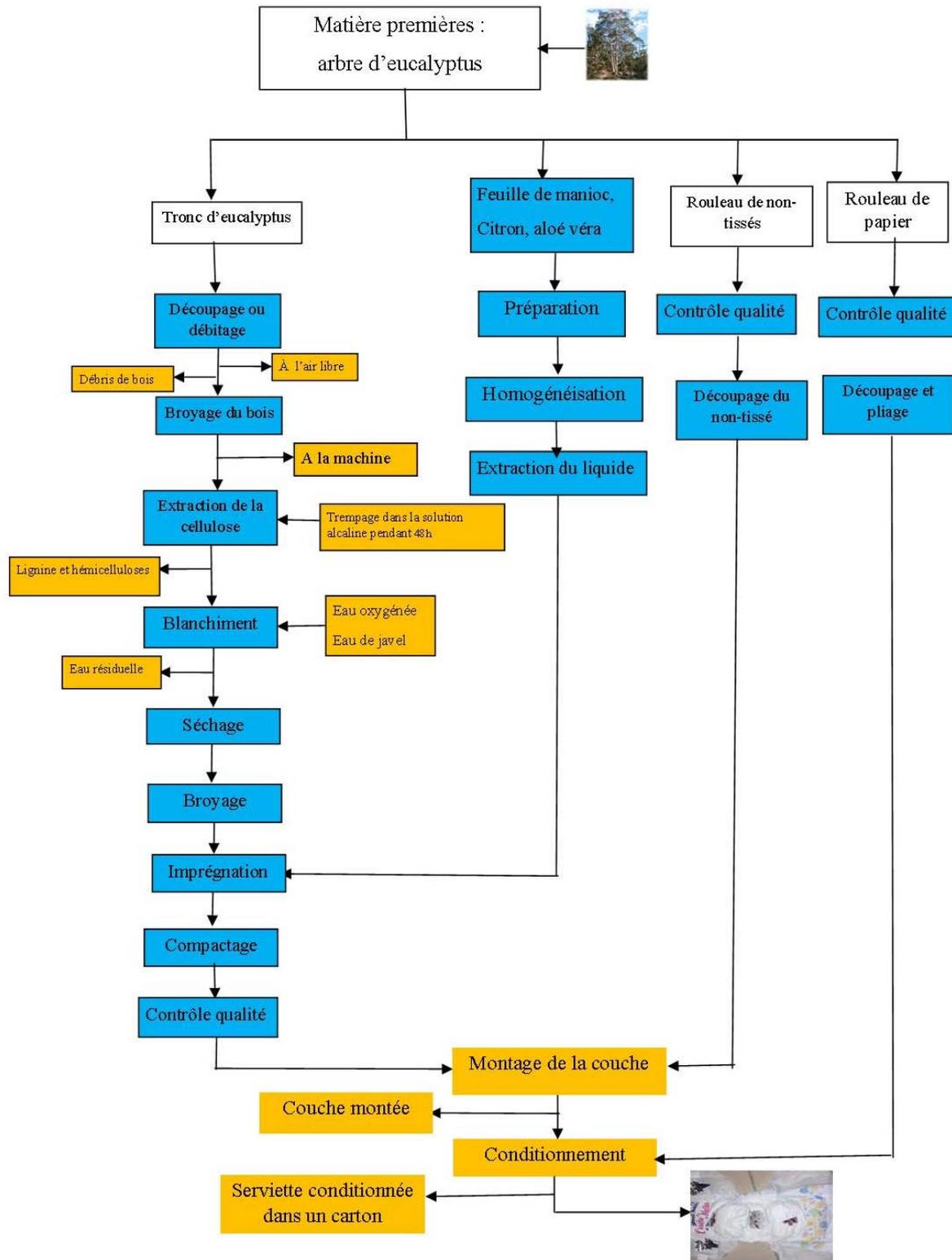


Figure 26 : Schéma synoptique du processus de fabrication de la couche jetable.

II.3.2 Approvisionnement en tronc d'eucalyptus

L'approvisionnement en matière première est l'étape qui nous a permis de nous rendre chez les cultivateurs, dans les champs de production d'eucalyptus à Ebolowa (ville du Cameroun située dans la Région du Sud, département de la Mvila), en face du Lac municipal, afin de couper des troncs et les débités pour une exploitation textile (**figure 27**). Notons que nous pouvons également nous approvisionner dans les ateliers de menuiserie afin d'éviter le déboisement.

Avec l'aide de deux spécialistes en abatage d'arbre, nous avons coupé un jeune arbre de 3 m de long, de couleur grise de l'extérieur (l'écorce) et jaunâtre à l'intérieur que l'on débitait en enlevant les écorces.



Figure 27 : Approvisionnement en tronc et d'eucalyptus.

❖ Découpage ou débitage

A ce niveau, avant de procéder à l'extraction, nous avons débité le tronc en morceaux de 60 à 70 cm (**figure 28**) afin de rendre le broyage facile et rapide pour obtenir de la sciure d'eucalyptus.



Figure 28: Tronc débité.

II.3.3 Broyage du tronc et triage

Après le débitage, nous avons transporté nos troncs à l'aide d'un sac solidement attaché à l'arrière d'une moto, pour nous rendre à la machine et broyer les troncs à l'aide d'une machine spécialisée, jusqu'à l'obtention de la sciure. Cette sciure ressortait par le bas de la machine pour se déverser sur un sac ou une bâche. Cette phase s'est achevée par une opération de tamisage afin d'éliminer la poudre et les déchets contenus dans la sciure. (Photos 29a et b)



(a) Obtention de la sciure et triage (b) Tamisage et obtention des fibres

Figure 29 : Transformation du tronc en sciure et récupération des fibres.

– **Trempage :**

Cette étape marque la première phase de l'extraction. Elle consiste à tremper notre matière dans une solution de soude. Elle s'est faite dans le laboratoire de génie chimique à L'ENSET de Douala.

– **Extraction de la fibre cellulosique :**

C'est l'étape qui permet d'éliminer la lignine et les hémicelluloses après lavage afin d'obtenir la cellulose.

– **Blanchiment de la fibre cellulosique :** permet de donner à notre cellulose une couleur blanche.

– **Séchage de la fibre cellulosique :** permet de sécher notre cellulose afin d'éliminer l'eau contenue dans celle-ci.

– **Broyage de la fibre cellulosique :** consiste à écraser les fibres cellulosiques afin d'obtenir une bourre.

– **Préparation :** permet d'imprégner la cellulose et d'apprêter le matériel nécessaire pour la réalisation.

– **Réalisation de la couche jetable :** étape de montage de la couche.

- **Conditionnement** : recherche de l'emballage de notre objet.

II.3.4 Processus d'extraction de la cellulose

C'est une opération qui consiste à isoler le composé cellulosique par élimination totale de la lignine et de la pectine. Dans le cadre de notre travail, nous avons utilisé le **procédé kraft** : d'extraction à froid. L'extraction de notre cellulose a été organisée dans les laboratoires de génie chimique de l'ENSET de Douala.

II.3.4.1 Procédé d'extraction à froid

❖ Préparation des solutions alcalines

Nous avons effectué plusieurs essais afin de choisir ce qui répond à nos attentes. Deux de ces essais ont retenu notre attention, à savoir les concentrations à 20% et à 30%. Par ailleurs, nous avons utilisé la cellulose obtenue à une concentration de 20% pour la réalisation.

❖ Essais des solutions

Pour le premier essai, nous avons préparé une solution alcaline de concentration 20% x 3 soit 200g de soude pour 1000ml d'eau froide, le tout multiplié par trois (600g de soude contenu dans 3000ml d'eau, soit 3l). Pour le second test, nous avons préparé une solution alcaline concentrée à 30%, soit 300g de soude pour 1000ml d'eau froide. Et pareil pour les autres essais. Solution finale 20%, soit :

$$20g \text{ de soude} \rightarrow 100ml \text{ d'eau}$$

$$xg \text{ de soude} \rightarrow 3000ml \text{ d'eau}$$

En faisant la règle de 3 on aura : $xg = 20g \times 3000ml \div 100ml = 600$

Donc $x = 600g$ de soude pour faire une solution alcaline de 3L.

Ayant obtenu nos solutions contenues dans deux béchers, nous y avons introduit la matière première (sciure d'eucalyptus) pour un temps d'observation de 48 heures à une température de 37° (**figures 30**). Passée cette période d'observation, nous sommes passés au lavage à plusieurs eaux puis à un rinçage à l'eau de javel. Ce procédé permet l'élimination des déchets tels que : la lignine, la pectine, la cire et les poussières encore contenues dans la fibre. Le contrôle qualité ici s'effectue de façon visuelle. Le **tableau 4** (partie **résultat**) présente les résultats des échantillons obtenus après lavage.



Solution a 20%



Solution a 30%

Figure 30: Matière contenue dans les solutions 20% et 30%.

Après resultat de nos essais, notre choix a été porté sur la concentration à 20% car, de façon visuelle, l'extraction de notre cellulose présente un bel aspect avec un bon rendement en fibre.

❖ **Processus de filtration et lavage**

La filtration et le lavage des fibres ont pour but de les débarrasser des impuretés notamment la lignine et les hémicelluloses, et de les rendre particulièrement éclatantes. Le lavage se fait sous un jet d'eau dans un tamis à maille fine, afin d'éliminer les traces d'impuretés. L'opération peut se répéter jusqu'à la disparition totale de toutes les impuretés et de la soude contenue dans les fibres cellulosiques.

II.3.4.2 Processus de blanchiment

C'est un traitement industriel qui consiste à décolorer les fibres textiles. Il existe des procédés de blanchiment variables suivant la nature du textile à traiter. Le blanchiment peut être réalisé à l'aide des produits oxydants tels que : le peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée), l'hypochlorite de sodium, le chlorite de sodium. Pour notre opération de blanchiment, nous avons utilisé l'eau oxygénée.

❖ **Processus de blanchiment au peroxyde d'hydrogène**

L'eau oxygénée est un produit très connu et adapté pour le blanchiment. L'opération peut se faire uniquement à l'eau oxygénée ou en addition avec d'autres produits. Ce processus de blanchiment peut se faire sous deux formes :

- Le blanchiment à l'eau chaude ;
- Le blanchiment à l'eau froide (celui que nous avons utilisé dans notre travail).

❖ **Blanchiment à froid avec l'eau oxygénée**

Le blanchiment à l'eau oxygénée permet de donner une teinte blanche ou proche à notre fibre, en éliminant toute trace de pigment naturel. On peut remarquer la décoloration et le blanchissage de la fibre cellulosique pendant l'opération de blanchiment à partir des sources de traitements alcalins. Après l'obtention de nos fibres cellulosiques soigneusement lavées, rincées à l'eau et essorées, nous les avons versées dans un seau en plastique et nous y avons ajouté 1L d'eau oxygénée additionnée à l'eau de javel pour un premier blanchiment. Après 30 minutes de réaction, nous avons bien rincé à l'eau et essoré notre fibre. Cette opération s'est répétée. Après ces deux opérations, nous avons trempé notre fibre dans un bain d'immersion d'eau oxygénée pour une durée de 3 heures, dans le but d'obtenir une fibre cellulosique soyeuse au toucher et blanche à l'œil nu. Après 2h, les fibres sont retirées et lavées longuement pour éliminer les traces de peroxyde d'hydrogène jusqu'à obtention d'un pH neutre ($\text{pH} = 7$) mesuré à l'aide d'un papier pH; ensuite, elles sont bien pressées et étalées sur un papier filtre Wattman N°1 pour absorption du liquide contenu dans les fibres. Enfin, les fibres sont séchées au soleil pendant 2 jours.

Comme risques de blanchiment, on peut avoir :

- L'intoxication due à l'émanation des fumées en provenance du produit ;
- L'irritation de la peau due à la solution préparée.



Figure 31: Processus de blanchiment de la fibre.

II.3.5 Méthode de calcul du pourcentage en cellulose

Le calcul du pourcentage en cellulose consiste à déterminer la qualité ou la pureté obtenue en cellulose. Ce calcul s'effectuera suivant deux étapes.

❖ **Formule de calcul du pourcentage du taux de cellulose**

Ce calcul nous permettra de trouver la quantité d'impuretés éliminées après les étapes d'extraction, de blanchiment et de séchage de notre sciure d'eucalyptus. Avant d'arriver à ce calcul, nous allons d'abord trouver le pourcentage de masse d'impureté :

• **Calcul du pourcentage de masse d'impureté (Tableau 5 partie résultat)**

$$(\% Imp) = \frac{Md - Ma}{Md} \times 100$$

Après avoir calculé le pourcentage de masse d'impureté éliminée pendant les opérations d'extractions, nous pouvons calculer le taux de cellulose.

• **Calcul du pourcentage du taux de cellulose pure (Tableau 6 partie résultat)**

Il est donné par la formule suivante :

$$\% \text{ pur cel} = 100\% \times x\%$$

Il est à noter qu'on peut obtenir, après extraction, trois formes de celluloses à savoir :

- La cellulose en pâte ;
- La cellulose en poudre ;
- La cellulose sous forme spongieuse.

Après extraction, nous avons obtenu deux formes de cellulose : la cellulose en poudre et la cellulose sous forme spongieuse qui est celle que nous avons utilisée.

II.3.6 Broyage

Cette étape consiste à écraser les fibres cellulosiques après séchage. Les fibres obtenues sont séchées puis broyées à sec dans un robot mixeur dans le but d'obtenir une cellulose plus fine.



Figure 32: Processus de broyage.

II.3.7 Imprégnation de la cellulose

Après l'obtention de la cellulose broyée, nous passons à la phase d'imprégnation qui consiste à tremper la cellulose dans le liquide antibactérien puis, la sécher afin d'obtenir un produit biomédical. Mais avant, il faut obtenir le liquide antibactérien.

❖ Procédé d'obtention du liquide antibactérien

Pour l'obtention de notre liquide antibactérien, nous sommes passés par plusieurs étapes détaillées ci-dessous après la présentation des matières premières.

Les matières premières utilisées sont :

- Feuilles de manioc fraîches ;
- Feuilles fraîches d'aloé véra ;
- Zeste de citron.

Etape 1 : Extraction du gel l'aloé véra.

- Fendre l'aloé véra ;
- Racler à l'aide d'un couteau afin d'obtenir le liquide visqueux de l'intérieur.



Etape 2 : Extraction du zeste de citron.

- Rapper le dessus du citron pour en obtenir le zeste.



Etape 3 : Extraction du jus de feuilles de manioc.

- Piler les feuilles de manioc ;

- Presser et tamiser afin d'en obtenir le jus.



Etape 4 : Préparation du produit final.

- Tiédir $\frac{1}{4}$ de litre d'eau ;
- Y verser le mélange de ces trois produits préalablement homogénéisés par battage ;
- remuer pour avoir également un milieu homogène ;
- Tamiser pour éliminer les débris contenus dans le liquide : le liquide antibactérien est ainsi obtenu (**figure 33**). Tremper la cellulose dans le liquide, laisser imprégnée puis sécher et obtenir la cellulose biomédicale. Passer enfin au compactage de la cellulose.



Figure 33: Liquide antibactérien

II.3.8 Compactage de la cellulose

Ce procédé consiste à comprimer la cellulose dans le but de la mettre sous pression afin de la manipuler facilement et augmenter sa capacité d'absorption en liquide.

Nous avons utilisé, comme matériel pour effectuer l'opération de compactage, un moule au compact.



Figure 34: Matériel de compactage

❖ Processus de compactage

Une fois la cellulose séchée, nous l'avons pesée, puis introduite dans le moule. Au-dessus, une pression a été exercée par un matériau pendant une durée de 12 heures. Le démoulage s'est effectué avec précaution et sans pression. Nous avons obtenu une cellulose bien compactée que nous avons dimensionnée afin de réaliser nos couches.



Figure 35: Cellulose compactée et dimensionnée

II.3.9 Méthode de calcul du taux d'absorption

Ici, il s'agit de déterminer le taux d'absorption en eau de notre cellulose d'une part et, d'autre part, de la cellulose en mélange avec du coton (**Tableau 8** partie **résultat**). Il se donne par la relation suivante :

$$\alpha = \frac{m_a - m_f}{m_a} \times 100$$

Avec :

α : taux d'absorption de la fibre (%)

m_a : Masse de la fibre après absorption (g)

m_f : Masse de la fibre avant absorption (g)

II.3.10 Processus de réalisation de la couche jetable

Cette partie présente tour à tour les étapes de fabrication à partir de la cellulose d'eucalyptus imprégnée et compactée jusqu'à l'objet final qui sera présenté dans le troisième chapitre de notre travail.

❖ **Matériel utilisé :**

- Cellulose d'eucalyptus compactée ;
- Rouleau de non-tissés ;
- Film de protection imperméable ;
- Adhésif double face ;
- Elastiques.

❖ **Choix du modèle de la couche jetable « MELKA »**

Dans le but d'identifier notre produit parmi d'autres, nous lui avons attribué une marque dénommée « MELKA ». Cette dénomination est un acronyme dérivé de quelques initiales de notre nom personnel.

La couche jetable « MELKA » est une couche pour bébé de 2 à 10 mois (poids du bébé : 3 ; 4 à 9kg). Elle est biodégradable et appropriée pour réduire les risques d'irritation cutanée chez le bébé. Souple, légère, confortable et pratique, elle assure le bien-être du bébé en lui procurant un sommeil doux et paisible, ce qui garantit au bébé une bonne santé favorable à une croissance harmonieuse selon nos parents ; d'où le slogan : « couche MELKA : sommeil doux et paisible ».

❖ **Techniques de fabrication de la couche jetable « MELKA »**

Après avoir obtenu la cellulose compactée, nous l'avons recouverte d'un film de protection appelé « non-tissé » pour obtenir le rembourrage de la couche. Sur le film imperméable, poser l'adhésif externe de la couche qui permettra de maintenir la couche sur le bébé pendant l'utilisation ; bien étaler le film imperméable sur une surface plane et maintenir par des adhésifs.

Le film imperméable bien étalé, placer le rembourrage à l'intérieur et recouvrir par un second voile de papier absorbant ; enfin, retourner et coller les motifs décoratifs afin

d'embellir le produit : la couche est ainsi obtenue. Notons ici que nos motifs symbolisent en majeure partie les fleurs, les fruits et les feuilles d'eucalyptus.

Le tableau ci-dessous récapitule les étapes de montage :

Tableau 6 : Gamme de fabrication de la couche

Étapes	Opérations	Encours de fabrication	Produits obtenus
1	Enfiler la cellulose compactée dans le non-tissé		
2	Régulariser la partie absorbante de la couche		
3	Poser la cellulose sur du plastique		
4	Recouvrir la couche absorbante de non-tissé		
5	Tailler les excédents du non-tissé		
6	Essai de pénétration d'eau		

Il est à noter que les mains et le petit matériel utilisés pour la réalisation sont désinfectés (moyen de contrôle de la qualité).

La cellulose entièrement recouverte de non-tissé absorbe et protège le bébé grâce au film imperméable placé en dessous de la couche. Le contrôle se fait à l'aide d'une étoffe sèche placée en dessous et de l'eau.

❖ **Processus de conditionnement**

La couche étant contrôlée, il faut passer au conditionnement. Notre couche est emballée dans un packaging monté dans un logiciel et imprimé sur du papier cartonné. (Figure 2.13). Les éléments ci-dessous entrent dans la composition du packaging :

Tableau 7 : Eléments constitutifs du packaging.

Eléments	Caractéristiques
Marque et slogan	« couche MELKA : sommeil doux et paisible »
Nombre de couches dans le paquet	10pcs par exemple
Poids ou âge	3 ; 4 à 9 kg
Composition	cellulose d'eucalyptus ; non-tissés; film imperméable ; adhésif ; liquide antibactérien.
Qualités	biomédicale, elle favorise le bien-être du bébé en limitant les risques d'irritations cutanées telles que les rouges fesses... ; super absorbante ; non polluante pour l'environnement car elle est 95% biodégradable.
Couleur dominante pour le conditionnement	gamme des verts renvoie à la végétation, symbole de calme et d'espoir.



Figure 36 : Montage du packaging

Il est à noter que les couches doivent être commercialisées par paquet de 10, 30 et 50, mais aussi en détail afin de satisfaire toutes les classes sociales. Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes limitées à la réalisation de deux échantillons.

Ce travail a comme autre avantage la lutte contre le chômage à travers la création d'entreprises. Pour ce faire, nous devons commencer par penser au personnel à recruter et à la planification du travail ; d'où la dernière partie de ce chapitre : schéma prévisionnel de l'OST.

II.4. Schéma prévisionnel de l'OST du procédé de fabrication d'une couche jetable

Pour optimiser la production de notre couche jetable et organiser le processus de fabrication, nous allons établir, dans cette seconde partie, les différents postes de responsabilité dans l'entreprise conceptrice de ce prototype. Ainsi, nous proposerons un schéma de l'OST suivi de la prévision, des effets sociaux et, enfin, du coût global de l'investissement.

II.4.1 Schéma prévisionnel de l'OST au sein de l'industrie

C'est un schéma qui présente l'organisation du processus en termes de responsabilité pour une production. En outre, ce principe vise à définir la meilleure façon de produire en vue d'accroître au maximum le rendement.

Ci-dessous la présentation de ce schéma :

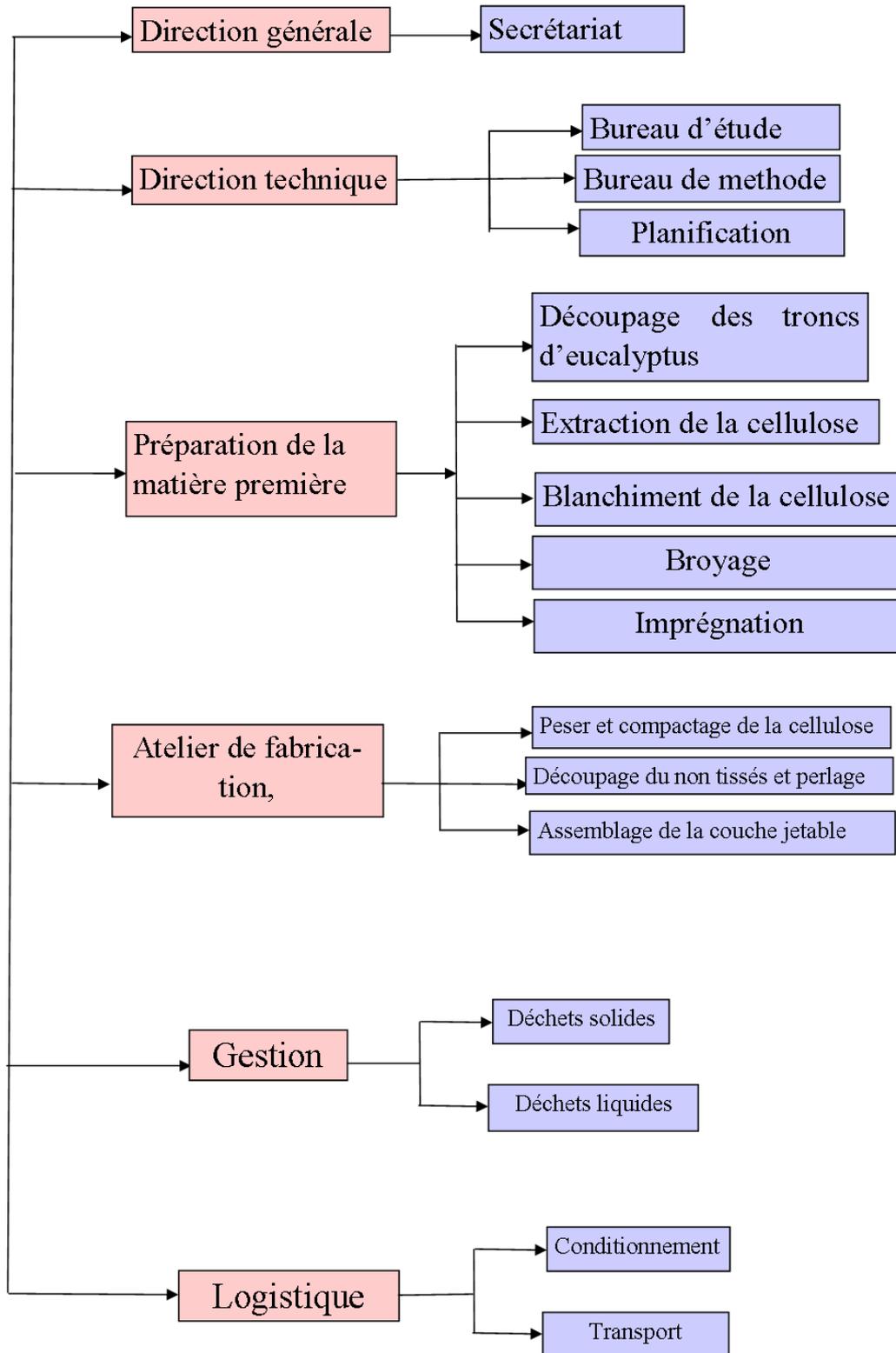


Figure 37 : Schéma prévisionnel de l'OST

II.4.2 Description détaillée du schéma de l'OST

Le schéma se présente comme un organigramme d'une direction générale avec l'ensemble des directions opérationnelles, notamment techniques, commerciales, administratives et financières.

II.4.2.1 Direction générale

Elle est représentée par un directeur général (DG) qui conçoit, organise, dirige, suit et contrôle pour implémenter toutes les décisions prises au sein de l'entreprise. Le DG manage, coordonne ; il est le patron et comme tel, il assure le pouvoir hiérarchique sur le directeur administratif et financier (DAF), le directeur commerciale et marketing (DCM), le directeur technique (DT) et le directeur de la logistique et du transport (DLT).

II.4.2.2 Direction administrative et financière

La direction administrative et financière prévoit les ressources et met en place les techniques financières nécessaires au développement et à la protection de l'entreprise. Elle est chargée de gérer la trésorerie, d'élaborer les budgets prévisionnels ainsi que de toutes les affaires juridiques au sein de l'entreprise. Elle comprend les services ci-après :

➤ Ressources humaines

Ce service a pour mission de gérer tous les aspects administratifs de l'entreprise. De même, il est à la base du recrutement du personnel, que ce soit pour les ateliers ou pour toutes les autres directions de la société.

➤ Comptabilité et finance

Il est dirigé par un receveur financier assisté d'un comptable et d'un trésorier. Ce service regroupe à la fois un bureau comptable et trésorier qui a pour objectif de déterminer les résultats financiers en plus des bases d'évaluation de certains éléments de bilan.

➤ Qualité

Le service a pour mission de s'assurer de la qualité des objets et du respect des normes internationales. Il veille à la conformité des produits réalisés afin qu'ils répondent aux attentes des clients.

II.4.2.3 Direction technique

La direction technique est le cœur même de l'entreprise puisque c'est elle qui permet à l'industrie de se mettre en branle. Elle vise plusieurs objectifs comme permettre la réalisation

qualitative et quantitative des activités nécessaires à la fabrication des produits. Elle est chapeautée par un directeur technique assisté par des chefs des différents services placés sous son autorité :

➤ **Bureau d'étude**

Le bureau d'étude conçoit et réalise les expertises ou cahiers de charge ainsi que le prototype devant servir pour la réalisation du produit fini. Des logiciels sont susceptibles d'être utilisés à ce niveau. Nous avons entre autres les logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur).

➤ **Bureau des méthodes**

Il met en place une politique de travail, ainsi que les méthodes les plus efficaces et les moins contraignantes susceptibles de faciliter la production. Il est chargé de concevoir et fournir les outils utiles à la production.

➤ **Service de la planification**

Ce service est en charge du choix de sources d'approvisionnement, de planification des livraisons de matières et des stocks. C'est en fonction de la demande des produits, des prévisions de consommation que ce service va coordonner et réguler les différentes activités de la production.

➤ **La maintenance**

C'est un service permanent qui va assurer le bon fonctionnement et anticiper toutes les pannes qui pourront survenir sur les appareils et équipements dans l'industrie.

➤ **Les ateliers de fabrication**

C'est le cœur de la production d'une entreprise. Les ateliers assurent le processus de fabrication des objets à réaliser en l'occurrence les couches jetables tout en respectant le cahier de charge. Ces ateliers sont coordonnés par des chefs de section de fabrication sous la houlette d'un chef de production.

➤ **Gestions des déchets**

Comme toute industrie de production, il existe des déchets obtenus lors de la production dans l'entreprise. Ce service est donc chargé de collecter et de traiter les déchets soit en vue d'une réutilisation soit en vue d'une vente en externe. Dans notre entreprise, la récupération des déchets est gérée comme suit : les déchets solides obtenus après l'extraction

chimique serviront de composte pour les prochaines cultures et la fabrication du papier ; les déchets obtenus après la récupération de la matière première, le découpage et le broyage du tronc, serviront pour la fabrication des potions à soigner, de la tisane, des vases de décoration et bien d'autres produits dérivés.

II.4.3 Direction de la logistique et du transport

Cette direction gère tout ce qui concerne le stockage et le transport des produits de l'entreprise, les véhicules nécessaires au transport, les fournisseurs de l'entreprise, entrepôts, la manutention en optimisant la circulation pour minimiser les coûts et les délais.

➤ Magasin

On y réceptionne, stocke et prépare les produits destinés aux clients. Il fait également le suivi et l'inventaire des stocks.

II.4.4 Prévisions des effets sociaux

De la création d'un projet à sa structuration, il y a plusieurs buts visés et l'incidence est l'ensemble des retombées inattendues telles que les effets sociaux engendrés. L'impact qu'un tel projet cause doit rester essentiellement positif sur divers plans socio-économique, développemental, environnemental et d'une certaine manière, culturel.

L'implantation de notre industrie, quel que soit l'emplacement, devra contribuer au développement du Cameroun en général et, en particulier, de toute localité à travers la création de nouveaux emplois à travers divers secteurs d'activités.

Sur le plan environnemental, il est question de montrer que, même si nous sommes face à une industrie de fabrication, nous pouvons avoir en même temps une société qui fonctionne de manière écologique, en respectant l'écosystème, malgré l'utilisation des machines. De ce fait, en termes de consommation énergétique, nous allons privilégier l'énergie solaire en plus de l'installation des machines moins sonores à faible consommation d'eau, de carburant, en mettant en jeu des moyens dans le but de diminuer la pollution et diverses formes d'intoxication, notamment polluante et sonore.

II.4.5 Qualification du personnel

Le recrutement ne se fait pas au hasard, il respecte la qualité qui suppose un rang, une compétence, un niveau d'étude et surtout une qualification particulière par rapport à la tâche à exécuter. Les niveaux de qualification sont notés dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Tableau de qualification du personnel

Services	Statuts	Fonction	Qualifications
Direction générale	Directeur général	Permanent	Bac+5 minimum
Direction administrative et financière	Directeur administratif	Consultants	Bac + 5
	Directeur des finances		
Direction technique	Directeur technique de la production	Permanent	Bac + 5
Bureau d'étude	Ingénieur	Consultant	Bac + 5
Bureau d'approvisionnement	Ingénieur	Stagiaire	Bac + 3
Contrôle qualité	Ingénieur	Consultant	Bac + 5
Service de maintenance	Ingénieur en maintenance	Sous-traitants	Bac + 5
Ateliers de fabrication	Technicien supérieur	Permanent	Bac + 3
Magasinier	Technicien	Sous-traitants	Bac + 2

Dans ce second chapitre, il était question de procéder à une étude expérimentale sur la sciure d'eucalyptus aux fins de l'extraction de sa cellulose pour la réalisation des couches. Il en ressort que ; la cellulose d'eucalyptus est absorbante mais difficile à blanchir car après le blanchiment nous n'avons pas obtenu du pur blanc mais une couleur jaunâtre. Pour parvenir à l'objet final, nous sommes passés par la transformation du tronc en sciure ; ensuite, nous avons pratiqué la méthode kraft (à la soude et à froid) pour obtenir une cellulose, suivie du blanchiment. Nous avons, par la suite, présenté les méthodes de calcul du pourcentage en cellulose, le taux de pureté de la cellulose et, enfin, le taux d'absorption en mélange à du coton et en pure cellulose. Après avoir présenté la réalisation, nous avons clôturé ce chapitre par le schéma prévisionnel de l'OST qui nous a fourni les informations nécessaires concernant le personnel à recruter lors de la création de l'entreprise. Cette expérimentation nous a permis d'obtenir la cellulose nécessaire pour la réalisation de 10 couches. Mais nous avons en réalisé deux (une en pure cellulose et la seconde en mélange a du coton) à titre d'échantillons ; le reste de cellulose a été, d'une part, utilisé lors des différents essais d'absorption et, d'autre part, gardé pour présenter lors de la soutenance. Cependant, les résultats obtenus seront présentés, en tableaux, dans le dernier chapitre de notre travail.

CHAPITRE III :

ANALYSE DES RESULTATS ET GESTION DES DECHETS

Ce troisième et dernier chapitre présentera les différents résultats obtenus lors du procédé expérimental avec leurs analyses à l'appui. La caractérisation des déchets issus de ce procédé permet de chercher des moyens d'optimisation de leur gestion. Après la caractérisation des encours du procédé expérimental, la couche réalisée sera présentée d'abord en images, ensuite dans ses fonctions d'usage, ses propriétés, et son prix de vente. Enfin, le rappel des propriétés de la cellulose obtenue à base de la sciure issue du tronc d'eucalyptus.

III.1 Analyse des résultats et caractérisation des encours du procédé expérimental

Il est question ici de présenter la cellulose obtenue, de caractériser les encours du procédé expérimental et de présenter les résultats obtenus pendant l'extraction.

III.1.1 Présentation de la poudre de cellulose du bois d'eucalyptus



Figure 38: Poudre de la cellulose du bois d'eucalyptus.

III.1.2 Caractérisation des encours du procédé expérimental

Le procédé expérimental de fabrication des couches jetables à base du bois d'eucalyptus présente de façon chronologique les encours suivants :

- Tronc d'eucalyptus ;
- Bois d'eucalyptus transformé en sciure ;
- Sciure d'eucalyptus transformé en cellulose ;
- Cellulose d'eucalyptus blanchie ;

- Cellulose broyée ;
- Cellulose contrôlée ;
- Cellulose imprégnée ;
- Cellulose compactée ;
- Réalisation de la couche jetable « Melka »;
- couche jetable contrôlée ;
- couche jetable conditionnée.

III.1.3 Résultats obtenus en laboratoire après les essais et remarques

Ce tableau nous donne la concentration de la solution utilisée, le temps mis pour la réaction du produit dans la matière et les résultats.

Tableau 9 : Résultats des différents échantillons obtenus

Concentration de la soude	Durée	Résultats
10%	48h	Marron, rigidité de la fibre
20%	48h	Beige, bel aspect, meilleur rendement des fibres uniformes
30%	48h	Beige, bel aspect
35%	48h	Beige, bel aspect, rendement en fibre moyenne
40%	48h	Beige, bel aspect, rendement en fibre moyenne
50%	48h	Jaunâtre, avec destruction de la masse (matière sous forme de pâte)

Nous pouvons remarquer qu'à 20%, nous avons le meilleur résultat. Cet échantillon a été choisi pour la réalisation, car nous avons obtenu une grande quantité de cellulose avec un bel aspect et une couleur assez claire. A 40%, nous avons obtenu la poudre en majeure partie et à 50%, la matière a été détruite, se rapprochant de la pâte pour la fabrication du papier.

III.1.4 Résultats obtenus après calcul de la masse d'impureté

Le tableau nous renseigne sur le nombre d'échantillon, la masse de départ ou masse initiale (Md), la masse d'arrivée ou masse finale (Ma) et les résultats obtenus.

Tableau 10 : Calcul du pourcentage de masse d'impureté

ECH	concentration	Md	Ma	Calcul % IMP	Résultats
E1	20%	600g	300g	$(\% Imp) = \frac{600g - 302g}{600g} \times 100$	49,66%
E2	30%	120g	40,20g	$(\% Imp) = \frac{120g - 40,2g}{120g} \times 100$	66,5%
E3	40%	100g	33g	$(\% Imp) = \frac{100g - 33g}{100g} \times 100$	67%

On remarque qu'à 20%, on a, à l'arrivée, la masse de départ divisée par deux ; environ 50% d'impuretés ont été enlevés. A 30 et 40%, nous avons un taux d'impureté élevé, environ 1/3 de la masse de départ.

III.1.5 Résultats obtenus après calcul du pourcentage de la masse d'impureté

Ce tableau nous donne l'application numérique de la formule donnée dans le précédent chapitre et les résultats obtenus.

Tableau 11 : Calcul du pourcentage du taux de cellulose pure

ECH	x%	Calcul du % pur cel	Résultats
E1 20%	66,65%	$\frac{100 - 100}{100} - \frac{49,66 \times 100}{100}$	50,34% pur cel
E2 30%	66,5%	$\frac{100g - 100}{100} - \frac{66,5 \times 100}{100} \times 100$	33,5% pur cel
E3 40%	67%	$\frac{100g - 100}{100} - \frac{67 \times 100}{100} \times 100$	33% pur cel

A 20%, nous avons un grand pourcentage en cellulose, avec une différence d'environ 17% par rapport aux deux autres échantillons ; d'où le meilleur rendement.

❖ Tableau récapitulatif du procédé d'extraction

Tableau présentant, en somme, les résultats obtenus lors des trois calculs précédents.

Tableau 12 : Récapitulatif du procédé d'extraction de la cellulose

ECH	Md	Ma	Concentration	Calcul du (% Imp.)	Calcul : (% Cel.)
E1	600g	300,2g	20%	49,66%	50,34% pur cel
E2	120g	40,20g	30%	66,65%	33,5% pur cel
E3	100g	33g	40%	67%	33% pur cel

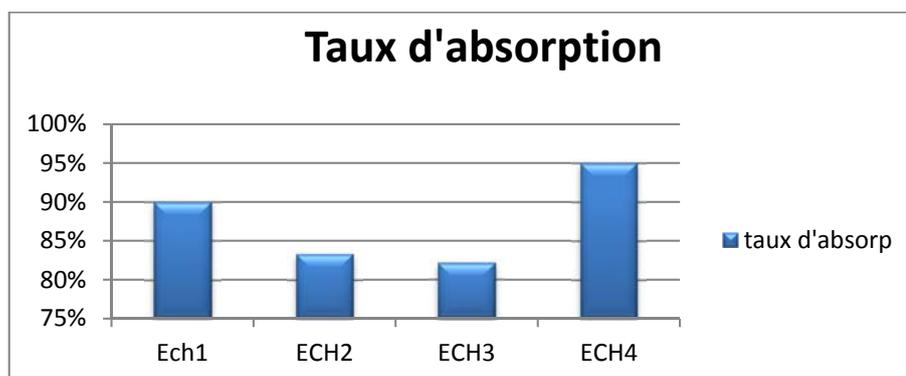
Nous pouvons retenir de ce tableau qu'à 20% de concentration, nous avons moins d'impureté et la cellulose en grande quantité. On peut donc faire le constat selon lequel : plus la solution est concentrée, plus on a des impuretés et moins on a la cellulose et vice versa.

III.1.6 Résultats des calculs du taux d'absorption en eau de la cellulose pour un échantillon de 5g

Ci-dessous le calcul du taux d'absorption et sa représentation graphique :

Tableau 13: calcul du taux d'absorption en eau pour un échantillon de 5g.

%coton	%cellulose	Masse départ (m _d) Après compact	Masse d'arrivée (m _a)	Concentration 20g/L	Taux d'absorption
0%	100%	5g	50g	20%	90%
20%	80%	5g	30g	20%	83,33%
80%	20%	5g	28g	20%	82,14%
50%	50%	5g	100g	20%	95%



Selon la revue de la littérature [13], la cellulose d'eucalyptus absorbe l'eau en une quantité considérable : elle peut absorber jusqu'à dix fois sa masse initiale donc 90% de son poids en eau, en elle seule (sans être mélangé à un autre textile). En mélange avec du coton à part égale, elle absorbe 20 fois sa masse initiale, donc 95% de son poids en eau. La cellulose est donc assez absorbante mais, mélangée à du coton, elle absorbe une quantité d'eau plus considérable.

Les encours observés dans le procédé expérimental de fabrication de la couche jetable ainsi que leurs caractéristiques sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 14 : Caractérisation des encours du procédé expérimental de fabrication de la couche jetable.

N°	Encours	Caractéristiques
1	Sciure d'eucalyptus	Brute
2	Sciure d'eucalyptus transformée en cellulose	Fibre débarrassée des extractifs
3	cellulose d'eucalyptus blanchie	Dépourvue de sa coloration marron
4	Cellulose	Bien neutralisée et bien blanchie
5	Cellulose de bananier broyée	Douceur proche de la cellulose
6	Cellulose contrôlée	Répondant aux normes de qualité
7	Réalisation de la couche jetable <i>Melka</i>	Composition du modèle et assemblage des patrons tracés de différents modèles
8	Couche jetable	Couche jetable finie
9	Couche jetable contrôlée	<ul style="list-style-type: none"> - Absorbante - douce au toucher - sans défaut de montage
10	Couche jetable à conditionner	Empaquetée dans un packaging en carton

III. 2 Gestion des déchets au sein de l'entreprise

La gestion des déchets pose généralement problème au sein des entreprises. En effet, une entreprise qui se veut conquérante doit avoir un taux de déchet maximal de 10%. Dans le souci d'avoir une place de choix sur le marché, il est question de recycler tout au long de notre procédé. Ceci nous permettra de recueillir l'excédent de matière d'œuvre mais aussi de protéger l'environnement. L'inventaire et les moyens de gestion des déchets au sein de l'entreprise sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 15 : Inventaire des encours et des déchets de l'entreprise.

Processus	Opération	Encours initial	Présentation	Déchets
Recyclage après nettoyage et obtention de la sciure et tamisage	Broyage à l'aide d'une machine à scier	Feuilles, fleurs, fruits, écorce, poudre.	Voir chapitre I	Comme compostage ; en infusion pour le traitement de certaines maladies comme la toux, le palu... comme vase de décoration
Recyclage après l'extraction de la cellulose	Solution alcaline	- lignine - pectine - cire		
Recyclage après blanchiment	Solution de blanchiment	Rejet de bain de blanchiment		Purifié à l'aide du dispositif de purification des eaux usées avant d'être évacué ou réutilisé
Recyclage après broyage	Broyage de la cellulose	Déchets de cellulose		Récupérés après le broyage de la cellulose ; c'est l'excédent de cellulose lors du broyage

❖ Recyclage des eaux usées

L'industrie textile est un secteur à forte consommation en eau. Par conséquent, la préoccupation principale en matière d'environnement concerne la qualité d'eau rejetée et la charge qu'elle contient. Cette charge chimique est évaluée par la DCO (demande chimique en oxygène). En effet, la DCO est la consommation en dioxygène par les oxydants chimiques forts pour calculer les substances organiques et minérales de l'eau. Suite à cette évaluation, nous avons décidé de traiter toutes les eaux déversées avec du carbonate de soude.

III.3 Caractéristiques et propriétés de la couche

Elles ont pour but principal de déterminer le ou les domaines d'applications de ces dernières. Il s'agira ici de présenter les propriétés physiques et chimiques de notre cellulose.

Avant de présenter les propriétés suscitées, nous allons préalablement donner la composition chimique du bois d'eucalyptus.

❖ **Composition chimique du bois d'eucalyptus**

- Cellulose 41-50%,
- Pentosanes 14-19%,
- Lignine 18-34%,
- Cendre 0,4-0,9%.

❖ **Propriétés chimiques**

Les acides concentrés la détruisent et les solutions alcalines faibles même bouillantes sont sans actions sur la matière.

III.3.1 Propriétés physiques de la cellulose du bois d'eucalyptus.

La cellulose du bois d'eucalyptus est caractérisée par :

- La souplesse : assez grande ;
- La couleur : jaunâtre ;
- L'aspect : brillant ;
- La perméabilité à l'eau ;
- Le toucher : doux.

III.3.2 Propriétés chimiques de la cellulose du bois d'eucalyptus.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques chimiques de la cellulose du bois d'eucalyptus.

Tableau 16 : Propriétés chimiques de la cellulose du bois d'eucalyptus.

Test effectués	Produits	Réaction
Combustion	Flamme	Burle rapidement avec une odeur de papier brûlé
Résidu	Flamme	Sous forme de cendre
Action des produits chimiques	Soude caustique	Concentrée ou diluée elle est sans action sur la fibre

III.4 Présentation de la couche jetable « Melka »

Le procédé expérimental nous a mené à l'obtention de la couche jetable « *Melka* ». La couche obtenue est à la fois confortable et souple. Pour ce fait, elle contribuera au bien-être et à la croissance du bébé de par sa souplesse et son taux d'absorption élevé ; car elle maintient au sec le bébé pendant plusieurs heures (au moins 12 heures).

Les images 4 ci-dessous présente la couche jetable (*Melka*).



(a) vue avant



(b) vue arrière

Figure 39 : Vues de face (a) et arrière (b) de la couche Melka (bébé de 3 ; 4 à 9kg).

La couche jetable Melka comporte plusieurs parties à savoir :

1. Une fine couche avant (vue de face) de non-tissé perméable qui augmente la vitesse de pénétration du liquide fait à base de cellulose ;
2. Une couche d'absorption interne rapide et complète du liquide qui contient la cellulose ;
3. Une fine couche arrière en plastique imperméable bio résistante aux fluides.
4. Un système de fermeture adhésive.

III.4.1 Taux d'absorption de la couche jetable *Melka*

Le test du taux d'absorption permet de déterminer la quantité d'eau maximale que peut absorber la couche jetable *Melka*. A cet effet, nous avons besoin d'une seringue de 30ml et de l'eau.

- ❖ **Technique** : verser un volume d'eau correspondant à la quantité d'urine qu'un bébé peut perdre en une journée (300ml) sur la couche jetable ; nous constatons qu'elle absorbe totalement le liquide.

Nb : le volume d'urine que peut perdre le bébé en une journée est estimé entre 300 et 500ml et le poids normal d'une couche jetable est de 30 à 50g au maximum (source : université de Berne [www. Unibee.ch/acces-direct/in](http://www.Unibee.ch/acces-direct/in) publié le 20/12/2019 mis à jour le 29/12/2019).

III.4.2 Caractéristiques de la couche jetable *Melka*

- Taux d'absorption, au moins 300ml ;
- Poids : 40g ;
- Grande souplesse ;
- Une perméabilité à la vue avant ;
- Couleur blanche mais cellulose jaunâtre ;
- Une imperméabilité à la vue arrière ;
- Partie absorbante 100% cellulose d'eucalyptus ;
- Couche médicament contre les irritations cutanées.
- Taille 3 ; 4 à 9 kg (de 2 mois à 10 mois)

III.4.3 Coût estimatif : du procédé expérimental à l'obtention de la couche

Nous allons le présenter sous forme de tableau :

Tableau 17 : Coût estimatif du procédé expérimental

N°	Désignation	Quantité	Prix unitaire	Prix total
1	Non-tissé	1 m	500	500
2	Elastique	1 m	100	100
3	Adhésif	1 rouleau	100	100
4	Soude caustique	1 kg	700	700
5	Eau oxygénée	2 L	1 000	2 000
7	Conditionnement	1	500	500
TOTAL				3 900

III.4.4 Prix de vente du produit fini

Le but premier d'une entreprise est de devenir autonome et cette autonomie passe aussi par les bénéfices enregistrés après avoir vendu ses produits. Pour déterminer le prix de vente de notre couche jetable, il va falloir déterminer préalablement le prix de revient et l'associer à la marge bénéficiaire afin d'obtenir le prix de vente.

$$\text{prix de revient} = \frac{\text{somme des charges directes} + \text{sommes des charges indirectes}}{\text{quantité d'article}}$$

Les charges directes sont celles qui proviennent du processus de fabrication de la couche. Elles incluent les charges d'approvisionnement en matière première, produit et matériel utilisés. Somme des charges directes de 10 couches = **3900 FCFA**.

Les charges indirectes sont les frais généraux tels que : l'abonnement internet, le transport, le transfert de crédit téléphonique ; estimées à **2000 FCFA**. Etant donné que les couches jetables seront vendues par lot de 10 pour un début, les prix de revient et de vente sont calculés comme suit :

$$\begin{aligned}\text{prix de revient unitaire} &= \frac{3900 + 2000}{10} \\ &= 590\end{aligned}$$

$$\text{Prix de revient unitaire par lot de 10} = 590 \times 10 = 5900$$

❖ **Prix de vente du lot = prix de revient + marge bénéficiaire de 10%**

Donc

$$\begin{aligned}\text{marge bénéficiaire par lot} &= \frac{\text{prix de revient du lot} \times 10}{100} \\ &= \frac{5900 \times 10}{100} = \mathbf{590 \text{ FCFA}}\end{aligned}$$

$$\text{Prix de vente du lot} = 5900 + 590$$

$$= \mathbf{6490 \text{ FCFA}}$$

Le lot de 10 couches jetables coutera **6490 FCFA**.

Notre couche jetable est très compétitive par rapport au coût moyen de 8000 FCFA pratiqué sur le marché national pour les couches biodégradables. De plus, elle est biomédicale. Après ce calcul, nous ferons une étude comparative.

III.5 Etude comparative de la couche jetable *Melka* par rapport à une couche existante x

Il est question ici de montrer l'intérêt de l'insertion de ce nouveau produit dans notre société et même au niveau international. Ce produit présente plusieurs atouts, de la matière première aux propriétés. Pour cette étude comparative, nous avons utilisé une couche jetable que nous nommerons couche X, qui a pour matière première un gel super-absorbant dans un noyau de cellulose. Le résultat de cette étude est présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau 18: Comparaison de la couche jetable *Melka* à un échantillon X

Eléments de comparaison	Couche jetable <i>Melka</i>	Couche jetable X bio
Matières premières utilisées composition chimique	Cellulose d'eucalyptus	SAP (cristaux de polyacrylate de sodium) en petite quantité. dans un noyau de cellulose de bois
Poids	40g	40g
Longueur	55cm	55cm
Taux d'absorption	Au moins 300ml	400ml et plus
Impact sur la peau et la santé du bébé	95% bio, soigne les irritations cutanées sur les fesses du bébé	60% bio, la présente du SAP peut causer des irritations au bébé.
Disponibilité de la matière première	Bois d'eucalyptus disponible presque partout et en toute saison	SAP importé et très couteux
Prix de vente	Environ 6500 FCFA par lot de 10	8000 FCFA par lot de 10

A la fin de ce chapitre où il était question de présenter de façon détaillée la caractérisation de notre objet, la gestion des déchets ainsi que le prix de vente, nous pouvons retenir que la couche jetable est révolutionnaire car elle remplace ses devancières irritantes, moins absorbantes (pour certaines couches), non biodégradables et parfois très couteuses. Les

bébés pourront désormais arborer leurs couches sans risque d'irritations et d'infections, et dormir paisiblement pour mieux grandir. Par son originalité, la couche jetable biomédicale et biodégradable est capable d'assurer la santé du bébé et de tenir toute une journée lorsqu'elle est bien enfilée ; elle peut garder bébé au sec pendant plus d'une demi-journée.

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre du présent travail, il était question de valoriser le bois d'eucalyptus à travers sa cellulose dans le but de déterminer la possibilité de l'utiliser dans une nouvelle perspective de lutte contre les érythèmes fessiers et réduire la pollution de l'environnement. Partant du constat selon lequel plusieurs enfants souffrent des irritations cutanées, doublé du problème de pollution de l'environnement qui est d'actualité, nous nous sommes proposée de partir de la cellulose du bois d'eucalyptus et arriver à la fabrication de couches jetables biomédicales et biodégradables afin de contribuer, à la fois, à la bonne santé du bébé et à la préservation de l'environnement. L'extraction chimique a été exploitée ici à travers le procédé Kraft afin d'obtenir notre cellulose. Nous avons conçu et présenté le procédé artisanal à travers un schéma synoptique dudit produit. Les résultats escomptés lors de cette étude ont permis de confirmer suffisamment qu'il est possible de fabriquer des couches à base de la cellulose extraite du bois d'eucalyptus. L'extraction chimique a mené à l'obtention des fibres cellulosiques dont les plus souples ont eu une concentration de 20% soit 20g/L. La cellulose a été imprégnée d'un liquide antibactérien (pour la rendre biomédicale) et caractérisée afin de déterminer le pouvoir absorbant qui est estimé à environ 90%, soit 10 fois son poids en eau.

Par ailleurs, ce travail vise non seulement la création des entreprises mais, plus encore, la recherche de la rentabilité de ces dernières. Concernant la rentabilité, il est important de mettre un accent sur la maîtrise des fonctions et de l'ensemble des services liés à la fabrication d'un produit, avec un personnel adéquat vu la prolifération de ce type d'entreprise. Toutes les expériences, les recherches et les études faites ont montré que le bois d'eucalyptus peut servir à des fins industrielles, à l'exemple de la fabrication des couches jetables pour lutter contre les irritations cutanées, à la lutte contre la pollution et, plus loin, à la lutte contre le chômage à travers la promotion des matériaux locaux dans la filière Industrie Textile et Habillement au Cameroun, en Afrique et partout dans le monde.

A l'issu de tout ce travail, nous n'avons pas la prétention d'avoir épuisé notre sujet tel qu'annoncé dès les premières lignes. Moults difficultés ont été rencontrées lors de notre processus, notamment la recherche presque introuvable des matières choisies pour la réalisation ; la cellulose qui n'a pas pu être bien compactée à cause de l'absence de gel servant de liant lors du compactage ; d'où l'instabilité et la difficulté à manipuler la partie absorbante lors de la réalisation.

Bien que le résultat soit positif, d'autres études peuvent être faites pour l'affiner et vulgariser le bois d'eucalyptus dans l'industrie du textile ; des essais bactériologiques peuvent également être faits afin de savoir quel sera l'impact du liquide antibactérien mélangé à de l'urine ou aux selles lorsqu'il sera en contact avec la peau du bébé.

SOURCES ET RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Anne-Sophie OURTH, (2003).** *Les couches lavables constituent une alternative moderne, écologique et économique aux couches jetable*, thèse, communauté française de Belgique. P 10-18.
- [2] **Bernard YANNOU (janvier 1997) :** *Analyse fonctionnelle et analyse de la valeur. P 1-5.*
- [3] **BEY –OULD SI SAID ZAKIA (2014).** *Activités biologiques des huiles essentielles des feuilles et du fruit d'une plante médicinale Eucalyptus globulus*, Mémoire du diplôme de Magister En Biologie, Algérie. P 3-09.
- [4] **Bader BARCHA (13 Décembre 2014).** *Caractérisation papetière des nouveaux clones d'eucalyptus du Maroc par le procédé kraft*, Thèse de doctorat UNIVERSITÉ MOHAMMED V FACULTÉ DES SCIENCES.
- [5] **Cauvin B. et Melun F. (1994).** *Guide de culture du TCR d'eucalyptus*. AFOCEL Information forêt n°486. P 8.
- [6] **Djilali HANANE (2017).** *Elaboration et caractérisation d'un composite à base de polyester biodégradable renforcé par la fibre d'Alfa*, Master en physique, soutenu publiquement le 2 Juillet 2017 à Tlemcen.
- [7] **DO THI ViVi (2011).** *Matériaux composites fibres naturelles/polymère biodégradables ou non*, Thèse École Doctorale SISEO.
- [8] **Daniel Weidmann (2009, 2012).** *Technologies des textiles De la fibre à l'article : le coton*, 2e édition Dunod, Paris. P 9-12.
- [9] **Fred Roseline ONGUESSEN, (2018-2019).** *Etude expérimentale et conception d'un procédé industriel de fabrication d'une serviette hygiénique « biodégradable » à base de cellulose des fibres de tronc de bananier*, Mémoire rédigé en vue de l'obtention du DIPET 2, ENSET de Douala.
- [10] **Jordan PERRIN (2016).** *Production de cellulose pure à partir de bois par un procédé d'épuration et de blanchiment propre à base d'ozone, en vue d'une valorisation textile ou chimique*, THÈSE, université GRENOBLE ALPES.
- [11] **Justin NOTSAWO N. (2017).** *Contribution à la valorisation du tronc de bananier en vue d'une application textile*, Mémoire d'ingénieure en génie textile et cuir, Polytechnique de Maroua.
- [12] **Janis C., Seydou C. et AL. (2006).** *Etude d'une solution alternative à l'utilisation des couches jetables en garderie*, Canada.
- [13] **Melun F., (2007).** *Eucalyptus ; 35ans d'expérience dans le sud de la France*. FIF n°747. P 24.
- [14] **Nguyen-the N. et Melun F., (2003).** *Présentation générale de l'eucalyptus ; info eucalyptus n°1*. Ed. AFOCEL. P 12.
- [15] **Persys NDZOBA et EPONGUE (2018-2019).** *Etude et réalisation des coussinets d'allaitement biomédical à base des racines de manioc ESCULANTA*, projet de fin

d'étude en vue de l'obtention du diplôme de professeur d'Enseignement technique – premier grade.

[16] **SCHUMAN (1997) ROWLAND (1995) TURKINGTON (1995)** *Enveloppe cutanée des deux testicules faisant partie des bourses testiculaires*. Acte Santé, 1991.

[17] **Samira BOUCHARBEB & Boumediene BOUCHERIT (2018)**. *Tissage de fibres végétales pour caractérisations mécaniques des composites bidirectionnels*, mémoire de master En Génie Mécanique, République algérienne.

[18] <https://www.mediaterre.org/afrique-centrale/actu,20190219092143.html>, risques liés aux couches jetables. Consulté le 15/01/2020 à 9h.

[19] <Http://actesante.encatalogue.com>, Association loi 1901 consulté le 16 janvier 2020. (OMS : Association loi 1901 consulté le 16 janvier 2020).

[20] <https://www.europe1.fr/societe/couches-jetables-pour-bebes-quels-sont-les-risques-pour-la-sante-le-10-janvier-2019>, modifié à 11h20. Consulté le 30 janvier 2020.

[21] <acte.la-sante-3844103>, article publié à 16h30, le 23 janvier 2019, modifié à 16h52, le 23 janvier 2019. Consulté le 28 janvier 2020.

[22] <http://D:/REVUE%20DE%20LITTERATURE/Les%20couches%20jetables%20-%20FemininBio%20fabrication.html>, consulté le 16 janvier 2020.

[23] <https://www.mediaterre.org/afrique-centrale/actu,20190219092143.html>. Consulté le 30 janvier 2020.

[24] Eldridge et al, (1993) Mémoire online http://fr.wikipedia.org/wiki/Eucalyptus/différents_espèces. Consulté le 01 avril 2020

[25] <https://www.lilinappy.fr/blog/wp-content/uploads/2013/04/interieur-couche-jetable.gif> Consulté le 21 juin 2020.

[26] https://www.docvadis.fr/files/all/26WoCj2se4Y5Ieej6JhJA/les_couches_comment_choisir_les_couches.pdf Consulté le 21 juin 2020.

[27] <https://link.springer.com/article/10.1007/s10298-017-1114-3#Bib1> Publié le 15 Mars 2017.

[28] Révision médicale : Dr Jésus Cardenas, Directeur médical de Doctissimo, article publié le 04 mai 2017).

[29] <http://sante-az.aufeminin.com/bebe/erytheme-fessier-de-bebe-d6209s24577.html> Consulté le 23 juin 2020.

[30] www.pourquoidoctor.fr/Fesses-rouges-du-nourrisson-098.html Consulté le 25 juin 2020.

[31] <http://fr.slideshare.net/happpppy/les-dermatoses-chez-lenfant> Consulté le 25 juin 2020.

[32] <http://www.diu-dermatopediatrie.org/cours4/cours4.pdf> Consulté le 23 juin 2020.

ANNEXES

RECUPERATION DES DECHETS



Vase ou pot de fleur



Liquide obtenu par infusion des feuilles pour le traitement des maladies tel que : le palu, la toux, la thyphoïde etc