

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

*Paix – Travail – Patrie*

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
ECOLE NORMALE SUPERIEUR  
D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE  
D'EBOWA  
DEPARTEMENT DE DE GENIE  
MECANIQUE

\*\*\*\*\*



REPUBLIC OF CAMEROUN

*Peace – Work – Fatherland*

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I  
HIGHER TECHNICAL TEACHER  
TRAINING COLLEGE OF  
EBOWA  
DEPARTMENT OF OF  
MECHANICAL  
ENGINEERING

\*\*\*\*\*

**Filière  
Fabrication Mécanique**

**ETUDE ET REALISATION D'UNE MACHINE DE  
REDUCTION A FROID DE L'AMERTUME DES  
FEUILLES DE VERNONIA AMYGDALINA**

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

Par : NGOYO BASSILEKIN LEONEL PARFAIT

Sous la direction de  
**Pr. KANAA THOMAS**  
Chef de département Génie Mécanique  
**M. NGONGANG LUDOVIC**  
Enseignant

Année Académique : 2019 - 2020



DEDICACE

*A LA FAMILLE BASSILEKIN*

## REMERCIEMENTS

Ce rapport n'aurait sans doute jamais paru sans le concours de plusieurs personnes. C'est donc avec un cœur joyeux que j'exprime ma profonde gratitude à tous ceux qui de près ou de loin m'ont soutenu tout au long de mes études et dans la réalisation de ce travail je pense particulièrement :

- Au Pr KANAA THOMAS, Chef de Département Génie Mécanique pour la supervision de nos travaux, sa disponibilité, son écoute et surtout sa grande rigueur en ce qui concerne le travail bien fait ;
- A mon encadreur M. NGONGANG LUDOVIC pour le suivi et l'encadrement mais surtout pour l'enthousiasme et l'esprit de recherche qu'il a su cultivé en moi ;
- A Mme le Directeur de l'ENSET D'EBOLOWA, Pr DJAKOMO ESSIANE SALOME de nous avoir accueilli dans un cadre convivial qui participe à une formation de qualité ;
- A tous les Enseignants de l'Enset D'Ebolowa pour les enseignements, les conseils et les encouragements à travers lesquels nous avons beaucoup appris tout au long de notre formation, particulièrement ceux du département Génie Mécanique sans oublier tous le personnel administratif ;
- A tous mes camarades pour leurs sens élevé du respect, de l'esprit d'équipe, d'entraide et auprès de qui j'ai beaucoup appris durant la formation ;
- A TOUTE MA FAMILLE pour tout le soutien qu'ils m'ont toujours apporté.

## AVANT-PROPOS

L'Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique (ENSET) D'EBOLOWA est un établissement de l'Université de Yaoundé I ayant pour principal objectif la formation des Professeurs de Lycées et Collèges d'enseignement Technique. Cet établissement comprend deux cycles à savoir :

- Le 1<sup>er</sup> cycle dont la formation prépare au DIPET 1
- Le 2<sup>nd</sup> cycle dont la formation prépare au DIPET 2

Conformément à l'arrêté ministériel N°042/MESIRES du 09 Septembre 1991 dans son article 30 stipulant que tout étudiant parvenu au terme de sa formation réalise soit un projet de fin d'étude pour l'obtention du DIPET I, soit un mémoire de fin d'étude pour l'obtention du DIPET II. C'est dans cette perspective et avec la motivation du département Génie Mécanique qu'il nous a été accordé de travailler sur le projet de fin d'étude dont le thème est intitulé : **« ETUDE ET REALISATION D'UNE MACHINE DE REDUCTION A FROID DE L'AMERTUME DES FEUILLES DE VERNONIA AMYGDALINA »** en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur d'Enseignement Technique grade II (DIPET II).

Ce projet nous aura permis d'atteindre l'un des objectifs visés par les enseignants à l'ENSET, à savoir : faire une démonstration du savoir et du savoir-faire que nous avons acquis durant ces deux années de formation. Nous voudrions par ce travail concilier les études théoriques et la réalité, ceci d'une machine dont le but est de faciliter aux ménagères et aux consommateurs la réduction de l'amertume des feuilles de *vernonia amygdalina*.

Nous espérons par ce travail apporter une marque, un plus à l'édifice de la technologie surtout dans le domaine de l'agroalimentaire.

## RESUME

L'évolution des sciences et de la technique constitue aujourd'hui un phénomène culturel à part entière. Parallèlement, l'accroissement, la rénovation, l'adaptation des savoirs et savoir-faire exigent un investissement constant de la part des technologues qui dans l'environnement agroalimentaire essaient de s'appesantir sur la transformation des produits agricoles de façon à être directement consommables. L'exemple ici sera orienté vers une plante aux vertus multiples et dont l'une de ses spécificités se trouve dans l'amertume que renferme ses feuilles. Au Cameroun, cette plante nommée le vernonia amygdalina est un produit consommé sur tout l'étendue du territoire et dont la consommation est à temps partiel due à la difficulté de réduction de l'amertume renfermée dans ses feuilles. Ainsi, la réduction de son amertume n'est-elle pas toujours une activité embryonnaire qui cherche sa voie sur le plan de la transformation ? Interrogation suffisante pour mettre sur pied **un dispositif de réduction à froid de l'amertume des feuilles de vernonia amygdalina**. Aussi pour rendre plus performant le dispositif, nous l'avons fait deux en un de façon à battre les feuilles puis à les pressées dans un bloc prévu à cet effet. Pour atteindre cet objectif, le travail a été reparti en quatre grandes articulations. Une revue de littérature qui a permis de faire le tour des machines existantes, leurs principes de fonctionnement, leurs avantages et inconvénients. L'aspect proposition et choix des solutions a déployé toutes les méthodes d'analyses fonctionnelles afin d'effectuer un choix judicieux de la solution. Ce choix nous a conduit à la phase conceptuelle dans laquelle nous avons effectué tous les calculs nécessaires et aussi tous les dessins et jeux fonctionnel relatif au bon fonctionnement de la machine. L'articulation relative à l'étude de réalisation nous présente quant à elle le dispositif constitué en deux blocs ayant un encombrement de 805 x 700 x 800 mm<sup>3</sup> qui comporte un système de battage lié à un moteur tournant à 1500 tr/min et un bloc de pressage manuel constitué de deux tambours dont l'un est mobile et se déplace grâce à une vis à pas gros, c'est-à-dire que un tour complet de la manivelle correspond à un déplacement de 30mm du tambour. Ces caractéristiques ont permis d'établir un guide d'utilisation comportant les mesures de sécurité à respecter.

**Mots clés** : Réduction, Amertume, Froid, Machine, Etude.

## ABSTRACT

The sciences And technical evolution constitue nowadays a full cultural phenomenon. On the ordre hand, the growth, the renovation, the adaptation of knowledge And know-how require a constant investment of the technicians who are trying in the agrifood domain, to dwell on the agricultural products transformation such that they directly be edible. The exemple here will be orientated towards a plant of multiple virtues And whose one of the specificities is found in the bitterness of its leaves. In Cameron, this plant called vermonia amygdalina is a product eaten in the entire country and whose partial consumption is due to the difficulty of reducing the bitterness in the leaves. Thus , its bitterness's reduction still remains an embryonic activity which is looking for its way to get developed. This is a sufficient motivation to put in place a cold reduction of vermonia amygdalina leaves bitterness plan. So, to render the plan more efficient, we have made it two in one in such a way that it pounds the leaves And presses them in a block meant for that effect. To achieve our objective, the work has been divided into four parts. A literature review that permitted to make a round of the existing machines, their fonctionning principles, their advantages and disadvantages. The proposition aspect and the choice of resolutions so as to display all the testing's fonctionnal methods in order to make a judicious choice of the resolution. This choice led us to the conceptionnal stage where we made all the necessary calculations and also all the drawings relating to a proper fonctionning of the machine. The part related to the fabrication study on its own part the plan comprised of two blocks having an obstruction of 805 x 700 x 800 mm<sup>3</sup> which has a pounding system linked to an engine rotating at 1500tr/min and a manual pressing block constituted of two drums. One is mobile and moves due to a screw is not large, which means that a complete rotation of the handle corresponds to a movement of 30mm of the drum. These characteristics permitted to establish a user guide including the security measures to be respected. The machine not being completely mechanically welded, the assembly stages and maintenance plan have been put in disposition for a good usage of the machine.

**Keywords:** reducing, bitterness, Cold, Machine, Study

SOMMAIRE

DEDICACE.....	I
REMERIEMENTS.....	II
AVANT-PROPOS .....	III
RESUME.....	IV
ABSTRACT .....	V
TABLES DES MATIERES.....	VI
LISTE DES FIGURES.....	X
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS.....	XII
INTRODUCTION GENERALE.....	1
1- CONTEXTE ET INTERET SUR LA THEMATIQUE.....	1
2- PROBLEMATIQUE LIEE A L'ETUDE .....	2
3- OBJECTIFS LIES A L'ETUDE .....	2
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE.....	4
I.1 ETUDE DETAILLEE DU VERNONIA AMYGDALINA .....	5
I.1.1 Classification scientifique.....	5
I.1.2 Description de la plante .....	6
I.2.CULTURE ET RECOLTE DU VERNONIA.....	7
I.2.1 Culture du vernonia .....	7
I.2.2 Récolte des feuilles de vernonia .....	8
I.2.3 Zones de culture du vernonia.....	9
I.3 PROPRIETES ET CARACTERISTIQUES DU VERNONIA .....	10
I.3.1 Propriétés Médicinales .....	10
I.3.2 Caractéristiques du vernonia amygdalina .....	11
I.3.2.1 Les caractéristiques biochimiques des feuilles de vernonia .....	11
I.4 CONSOMMATION DU VERNONIA.....	12
I.4.1 Consommation Locale.....	12
I.4.2 Consommation Sous régionale du ndolè .....	13
I.4.3 Consommation internationale du ndolè .....	14

I.5 TECHNIQUES DE REDUCTION D'AMERTUME.....	15
I.5.1 Méthode traditionnelle a eau chaude .....	15
I.5.2 Méthode traditionnelle a eau froide.....	17
I.5.3 Comparaison des deux méthodes .....	18
II.1 TECHNIQUES DE REDUCTION D'AMERTUME.....	18
II.2. TABLEAU DE SYNTHESE DES DIFFERENTES METHODES .....	24
CHAPITRE II : ANALYSE FONCTIONNELLE ET RECHERCHE DES SOLUTIONS ..	27
II.1. ANALYSE FONCTIONNELLE DU BESOIN .....	28
II.1.1. Analyse de l'expression du besoin .....	28
II.1.2. Analyse de l'expression du produit .....	29
II.1.3. Analyse fonctionnelle technique : FAST (Function Analysis System Technique)32	
II-2-PROPOSITION DES SOLUTIONS.....	34
II.2.1. Machine à laver par tétons élastiques .....	34
II.2.2. Machine à réduire l'amertume du ndolè par la technique de pilage.....	35
II.2.3. Laveuse de ndolè deux en un.....	36
II.3. CHOIX DES SOLUTIONS.....	36
II-3-1-Pondération des différentes solutions.....	37
II-3-2-Présentation de la solution retenue.....	38
CHAPITRE III : ETUDE CONCEPTUELLE .....	40
III.2. RECHERCHE DES CARACTERISTIQUES ET CHOIX DU MOTEUR .....	41
III.2.2. Détermination de la force de coupe.....	43
III.2.4. Détermination de la force de pressage.....	45
III.2.5. Détermination de la puissance motrice .....	45
III.3. CHOIX DU MOTEUR.....	46
III.4. RECHERCHE DES PARAMETRES DE LA TRANSMISSION POULIE ET COURROIE .....	46
III.4.1. Caractéristiques de la courroie .....	46
III.4.2. Détermination des tensions dans la courroie.....	49
III.4.3. Synthèse des résultats.....	51
III.5. DIMENSIONNEMENT .....	51
III.5.1. Clavette de l'arbre du moteur.....	51
III.5.2. Dimensionnement de l'arbre .....	53

III.5.3. Choix des Roulements.....	58
III.5.4. Etude de la résistance de l'arbre.....	58
III.5.5. Identification de la section la plus sollicitée .....	65
III.5.6. Dimensionnement du diamètre minimal de l'arbre.....	65
III.6. ETUDE GRAPHIQUE.....	66
III.6.1. Dessin d'ensemble 2D.....	66
III.6.2. Cotation fonctionnelle .....	70
III.6.3. DESSINS DE DEFINITION.....	74
CHAPITRE IV : ETUDE DE FABRICATION.....	78
IV.1. ANALYSE DE FABRICATION.....	79
IV.1.1. DESSIN DE DEFINITION.....	79
IV.1.2. DESSIN DE FABRICATION .....	80
IV.1.3. GRAPHES DE LIAISON DES COTES FONCTIONNELLES.....	81
IV.1.4. TABLEAU DE DETERMINATION DES OPERATIONS ELEMENTAIRES	82
IV.1.5. TABLEAU D'ASSOCIATION DES SURFACES ELEMENTAIRES .....	83
IV.1.7. TABLEAU DES NIVEAUX D'USINAGE .....	85
IV.1.8. TABLEAU DE GROUPEMENT EN PHASE (Graphe de GANTT).....	86
IV.1.9. AVANT-PROJET D'ETUDE DE FABRICATION.....	86
IV.1.10. TABLEAU DE DETERMINATION DES COTES DU BRUT .....	87
IV.1.11. CONTRATS DE PHASES .....	88
IV-2- REALISATION DU PROTOTYPE.....	95
IV-3- NOTICES D'UTILISATION ET DE MAINTENANCE .....	95
IV-3-1- Notice d'utilisation.....	95
IV-3-2- Maintenance .....	96
IV-4-2- DISCUSSIONS.....	99
IV-5- ESTIMATION DU COUT DU PROTOTYPE.....	100
IV-5-1- ESTIMATION DU COUT DE LA MATIERE D'ŒUVRE .....	100
IV-5-2- ESTIMATION DU COUT DE FABRICATION .....	101
IV-5-3- AUTRES DEPENSES .....	101
IV-5-4- ESTIMATION DU COUT DE REVIENT DU PROTOTYPE.....	101
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	102
ANNEXES .....	102

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Organisation scientifique du <i>vernonia amygdalina</i> , source [1], adapté par nos soins .....	6
Figure 1.2 : Arbre de <i>vernonia amygdalina</i> et <i>vernonia hymenolepis</i> .....	7
Figure 1.3 : Plantation de ndolè avec boutures .....	8
Figure 1.4 : Feuilles de <i>vernonia</i> récoltées.....	9
Figure 1.5 : Le ndolè surgelé et sec en France à Madrid et à Londres [2].....	10
Figure 1.6 : Proportion d'utilisation du Ndolé. [4] .....	13
Figure 1.7 : Plat de ndolè, source [9] .....	15
Figure 1.8 : Réduction de l'amertume à chaud du ndolè, source [9], adapter par nos soins....	16
Figure 1.9 : Réduction de l'amertume à froid du ndolè, source [9], adapté par nos soins.....	17
Figure 1.10 : Schéma cinématique d'une machine à laver les feuilles du ndolé [10].....	19
Figure 1.11 : Schéma cinématique d'une machine pour amélioration de la machine à laver le ndolé [11] .....	20
Figure 1.12 : Schéma cinématique d'une machine à réduire l'amertume des feuilles de ndolé [12] .....	22
Figure 1.13 : Machine de type vis sans fin + palettes +plateaux de pression à la sortie [13]..	23
Figure 3.1 : Essai expérimental 1 .....	42
Figure 3.2 : Essai expérimental 2 .....	44
Figure 3.3 : Système poulie et courroie.....	50
Figure 3.4: Schématisation de la clavette montée. ....	52
Figure 3.5 : Arbre 5 isolé .....	53
Figure 3.6 : Diagramme des efforts de cohésions .....	64
Figure 4.1 : premier essai du prototype.....	97
Figure 4.2 : Deuxième essai du prototype.....	97
Figure 4.3 : Troisième essai du prototype.....	98
Figure 4.4 : Vue de face du prototype.....	98
Figure 4.5 : Vue de droite du prototype.....	98

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Caractéristiques des feuilles de vernonia [7], adapté par nos soins .....	11
Tableau 1.2 : Résultats des analyses de feuilles de vernonia fraîches et séchées [8], adapté par nos soins .....	12
Tableau 1.3 : Proportion d'utilisation du Ndolé. [4] .....	13
Tableau 1.4 : Consommation internationale du ndolè [2], adapté par nos soins.....	14
Tableau 1.5 : Comparaison des deux techniques de réduction de l'amertume, adapté par nos soins.....	18
Tableau 1.6 : Comparaison des avantages et inconvénients d'une machine à laver les feuilles du ndolè, adapté par nos soins.....	20
Tableau 1.7 : Comparaison des avantages et inconvénients de l'amélioration de la machine à laver les feuilles de ndolè, adapté par nos soins.....	21
Tableau 1.8 : Comparaison des avantages et inconvénients d'une machine à réduire l'amertume des feuilles de ndolè, adapté par nos soins .....	22
Tableau 1.9 : Comparaison des avantages et inconvénients d'une machine à réduire l'amertume de type vis sans fin avec palettes+plateau de pression à la sortie.....	24
Tableau 1.10 : Synthèse générale des différentes méthodes .....	25
Tableau 2.2 : Tableau de caractérisation des fonctions de la machine à réduire l'amertume des feuilles de ndolè .....	31
Tableau 4.1 : Tableau de détermination des opérations élémentaires .....	82
Tableau 4.2 : Td'association des surfaces élémentaires.....	83
Tableau 4.3 : Tableau d'analyse des contraintes d'antériorités .....	84
Tableau 4.4 : Tableau des niveaux d'usinage .....	85
Tableau 4.5 : Tableau de groupement en phase .....	86
Tableau 4.6 : Tableau d'avant-projet d'étude de fabrication .....	86
Tableau 4.7 : Tableau de détermination des cotes du brut .....	87
Tableau 4.8 : Composants et leurs défaillances .....	97
Tableau 4.9 : Cahier de maintenance .....	98
Tableau 4.10 : Estimation du cout de la matière d'œuvre.....	100
Tableau 4.11 : Estimation du cout de fabrication.....	101
Tableau 4.12 : Estimation des dépenses diverses.....	101

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

Désignations	Abréviations	Unités
coefficient d'adhérence	f	
diamètre de l'arbre	D	Mm
puissance du moteur	P <sub>m</sub>	KW
couple moteur	C <sub>m</sub>	N.mm
vitesse angulaire de rotation du moteur	w <sub>m</sub>	rad/s
effort tangentiel	Ft	N
masse moyenne	m	Kg
couple moteur	Cv	N.mm
rendement de transmission poulie-courroie	η	%
angle de courbure de la courroie trapézoïdale	β	Degré
angle d'enroulement courroie sur la poulie motrice	θ	Degré
tension brin tendu de la courroie	T	N
tension brin mou de la courroie	T	N
entraxe réel poulie motrice – poulie réceptrice	a	Mm
Entraxe approximative	E	Mm
coefficient de service	Ks	
Pression admissible	P <sub>a</sub>	Mpa
Puissance brute transmissible par courroie	P <sub>o</sub>	KW
Puissance brute transmissible par courroie	C <sub>L</sub>	KW
puissance de service	Ps	KW
longueur primitive de la courroie	L	mm
facteur de l'arc	a	
Pression de matage sur un flanc de la clavette	P <sub>mat</sub>	Mpa

## INTRODUCTION GENERALE

Cette introduction a pour but de présenter l'ensemble des travaux de ce mémoire à travers la situation dans le contexte de l'étude, puis ressortir la problématique de la recherche et les différents objectifs à atteindre

### 1- CONTEXTE ET INTERET SUR LA THEMATIQUE

#### 1-1- Contexte de l'étude

Depuis quelques années, la demande pour les produits alimentaires exotiques est en pleine croissance en Europe et particulièrement en France. Le marché de l'alimentation exotique en Europe représente un chiffre d'affaires de plus de 10 milliards de Francs CFA, des études révèlent d'ailleurs que le commerce du ndolè est en train de s'étendre vers d'autres pays européens, tels que le Royaume Uni, l'Allemagne et la Suisse, indiquant que 37 % des consommateurs (En France) achètent aujourd'hui des produits exotiques [1]. Les différentes observations sur la consommation des feuilles de vernonia à l'échelle nationale, sous-régionale voir internationale montrent que ces techniques de préparation nécessitent une mécanisation à cause de sa forte demande. Au vu de tout ce qui précède, le ndolè a sa carte à jouer car d'une part, Au Cameroun le ndolè occupe la sixième place dans les dépenses alimentaires des populations urbaines [2]. Il représente le plat de référence des menus dans les restaurants. D'autre part, du fait de leur nombre et de leur pouvoir d'achat, les consommateurs européens constituent des débouchés potentiels important [1]. Ce qui expliquera que le ndolè frais habituellement conditionné soit vendu à 4,55 \$ le kilogramme et sa poudre entre 7,5 et 10 \$ le kilogramme en 2010 [3]. Sur le plan local, la réduction de l'amertume se fait par des méthodes artisanales et rudimentaires qui présentent généralement des risques car elles occasionnent des blessures et des brûlures, elles sont éprouvantes physiquement et elles nécessitent un temps élevé. Le plus souvent, le produit final n'est pas toujours comestibles (présence des déchets). Au vu de toutes les considérations précédentes, il en ressort que la mise en place d'un dispositif permettant de contrôler l'amertume des feuilles de vernonia est capitale.

#### 1-2- Intérêt de l'étude

Cette étude aura un grand intérêt car mené à terme il aura comme impact :

- Sur le plan industriel de gagner en temps en ce qui concerne la réduction de l'amertume des feuilles de ndolè pour les industries et les PME
- Sur le plan scientifique de servir de base aux travaux de recherche future dans les conceptions de machine
- Sur le plan pédagogique de contribuer à la confection des sujets d'analyse de fabrication, construction mécanique (dessin technique, mécanique appliquée).

## 2- PROBLEMATIQUE LIEE A L'ETUDE

Jusqu'à aujourd'hui la réduction de l'amertume des feuilles de ndolè reste une activité difficile du fait de la non vulgarisation des techniques modernes. De plus l'implémentation de ces dernières n'est pas chose aisée car la réduction à froid de l'amertume de ces feuilles de vernonia exige un certain nombre d'éléments dont il faut prendre en compte. Dès lors, des questions se posent à savoir : comment mettre en place un dispositif mécanique capable de contrôler de façon optimale l'amertume des feuilles de vernonia prêt à la cuisson? D'autre part sera telle une machine facile à manipuler pour tous ?

## 3- OBJECTIFS LIES A L'ETUDE

### ➤ **Objectif Général**

Concevoir et réaliser une machine de réduction à froid de l'amertume des feuilles du vernonia amygdalina

### ➤ **Objectifs spécifiques**

- Analyser les différentes solutions de réduction de l'amertume existante
- Réaliser un prototype
- Comparer les résultats des tests effectués

## 4- METHODOLOGIE DE PRESENTATION DU MEMOIRE

Afin de bien mener notre étude, nous avons organisé notre travail ainsi qu'il suit :

- **Chapitre 1 : revue de la littérature** pour tout d'abord parler du vernonia amygdalina, de son origine, de sa culture ; puis ensuite présenter les machines existantes qui réduisent l'amertume des feuilles de cette plante

- **Chapitre 2 : Analyse fonctionnelle et recherche des solutions** ici, nous ferons une étude critique des différentes solutions afin d'en ressortir celle qui satisfaira le plus aux exigences de notre cahier de charges ;
- **Chapitre 3 : Etude conceptuelle** dans laquelle nous d'terminerons les caractéristiques du moteur dont on aura besoin, les caractéristiques du système de transmission, le dimensionnement des organes et nous ferons les dessins d'ensemble et de définition des pièces ainsi que la cotation fonctionnelle y affairante ;
- **Chapitre 4 : Etude de fabrication** : dans cette partie, nous ferons l'analyse de fabrication des différentes pièces, nous proposerons une notice d'utilisation et de maintenance et nous estimerons les différents coûts de notre prototype

## CHAPIRE I : REVUE DE LA LITTERATURE

Ce chapitre introduit les généralités sur le vernonia amygdalina. En effet, il nous revient ici de parler de la plante dans son ensemble c'est-à-dire de faire une description détaillée de la plante ; ensuite d'étudier les différentes machines de réduction de l'amertume des feuilles du ndolè qui existent, les décrire c'est-à-dire ressortir leurs principes de fonctionnement tout en étalant leurs avantages et inconvénients.

---

I.1 ETUDE DETAILLEE DU VERNONIA AMYGDALINA .....	5
I.1.1 Classification scientifique.....	5
I.1.2 Description de la plante .....	6
I.2.CULTURE ET RECOLTE DU VERNONIA.....	7
I.2.1 Culture du vernonia .....	7
I.2.2 Récolte des feuilles de vernonia .....	8
I.2.3 Zones de culture du vernonia.....	9
I.3 PROPRIETES ET CARACTERISTIQUES DU VERNONIA .....	10
I.3.1 Propriétés Médicinales .....	10
I.3.2 Caractéristiques du vernonia amygdalina .....	11
I.4 CONSOMMATION DU VERNONIA.....	12
I.4.1 Consommation Locale .....	12
I.4.2 Consommation Sous régionale du ndolè .....	13
I.4.3 Consommation internationale du ndolè.....	14
I.5 TECHNIQUES DE REDUCTION D'AMERTUME.....	15
I.5.1 Méthode traditionnelle a eau chaude .....	15
I.5.2 Méthode traditionnelle a eau froide.....	17
I.5.3 Comparaison des deux méthodes .....	18
II.1 TECHNIQUES DE REDUCTION D'AMERTUME.....	18
II.2. TABLEAU DE SYNTHESE DES DIFFERENTES METHODES .....	24

---

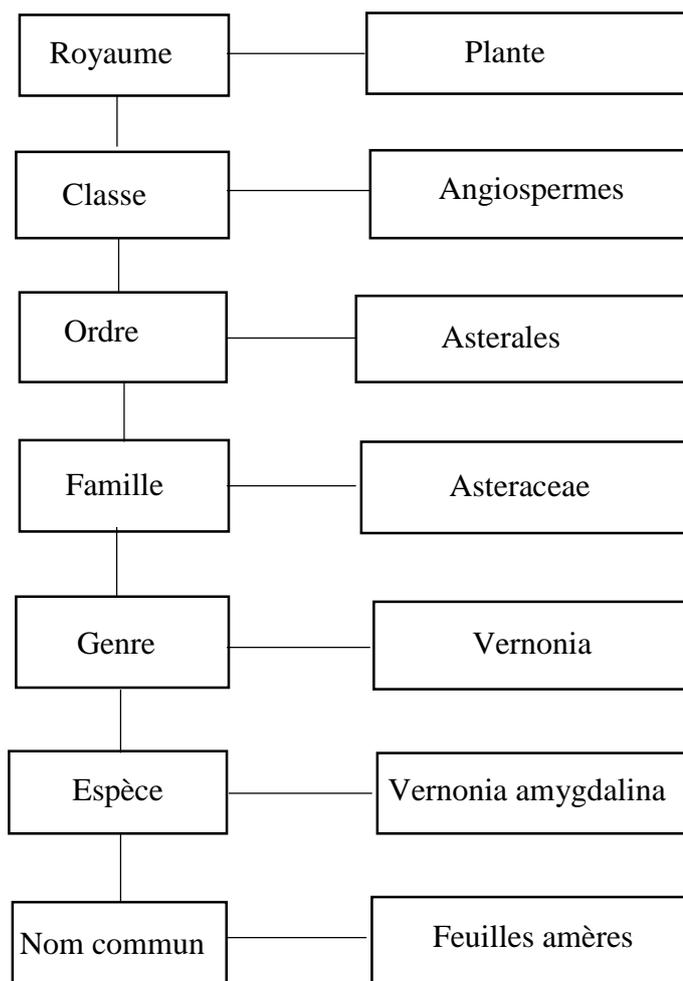
## INTRODUCTION

De nos jours, l'agriculture s'affirme de plus en plus comme un métier intéressant car il génère de grands revenus et est même un élément clé de l'autosuffisance alimentaire d'une nation. Au Cameroun en particulier, ce secteur est diversifié et se fait de manière intensive. En nous intéressant précisément au *vernonia amygdalina*, nous nous rendons compte que notre pays est un producteur pour la consommation locale, sous-régionale voir internationale. Ceci étant, il est important de souligner que la bonne alimentation des populations est très importante et donc, de ce fait, les exigences en consommations de ce légume sont considérables car il s'agit d'un aliment aux vertus multiples et dont la dégustation est très appréciée de plusieurs. Cependant, quelles sont les origines de cette plante ? Quelles sont les constituants essentiels de celle-ci ? Aussi, existe-t-il des machines pouvant servir à la réduction de l'amertume des feuilles de cette dernière ? Les réponses à ces interrogations constitueront l'ossature de ce chapitre et nous donnerons d'amples explications.

### I.1 ETUDE DETAILLEE DU VERNONIA AMYGDALINA

#### I.1.1 Classification scientifique

De son nom scientifique *Vernonia amygdalina*, encore appelé **vernonie commune**, et bien connu au Cameroun sous le nom Ewondo d'ATET (metet), de NDOLE en Douala, du SUAKA en Foulbé, on rencontre cette plante sur plusieurs appellations scientifiques ou non ; l'organisation ci-dessous la classifie de façon exhaustive.



**Figure 1.1 : Organisation scientifique du *vernonia amygdalina*, source [1], adapté par nos soins**

### I.1.2 Description de la plante

Les espèces du genre *Vernonia* sont des Angiospermes du sous-embranchement des monocotylédones. Ce sont des feuilles récoltées sur des plantes cultivées et subspontanées dont les trois espèces exploitées sont : *Vernonia amygdalina*, *Vernonia colorata* et *Vernonia calvoana*. En raison de l'amertume des feuilles, elles sont appelées bitterleaf par les Anglais [2].

Ces feuilles proviennent d'un petit arbuste buissonnant de la famille des *Asteraceae* [3]. C'est un petit arbuste de 2 à 5 m de hauteur poussant en Afrique tropicale. Ses feuilles amères et de forme elliptique ont jusqu'à 20 cm de long, Son tronc ne dépasse pas 40 cm de diamètre, Son écorce grise et lisse se fissure tandis que ses jeunes rameaux sont pubescents. A côté de lui, existe plusieurs autres types d'espèces en l'occurrence le *vernonia calvoana* mentionné plus haut qui est un arbuste de 1 à 3 m de hauteur totale, possédant un rhytidome fissuré

longitudinalement et plus ou moins rugueux, gris sombre. Les feuilles de cette espèce sont simples, lancéolées, légèrement décurrentes ou auriculées, denticulées et acuminées, molles et pubescentes. Ces deux variétés de vernonia sont préparées sous formes de légume dans les soupes ou ragoûts dans plusieurs pays d'Afrique équatoriale. On l'appelle par ailleurs Ewuro en yoruba, onugbu en igbo, chusar-doki en haoussa [3].



**Figure 1.2 : Arbre de vernonia amygdalina et vernonia hymenolepis**

## **I.2.CULTURE ET RECOLTE DU VERNONIA**

### **I.2.1 Culture du vernonia**

8 à 9 semaines après la levée, les jeunes plants ont 2 à 3 feuilles et mesurent 4 à 5 centimètres. A partir de cette période, on peut les transplanter en pépinières. La pépinière est constituée de petits sachets en nylon, remplis de terre noire. Elle est conseillée si l'on veut obtenir des plants uniformes et robustes en champ. Le passage en pépinière assure aussi une réussite maximale de votre champ. Si non, on peut transplanter directement du germe au champ. Dans ce cas, il faut sortir les plants du germe après 10 à 11 semaines quand ils ont 6 à 8 feuilles. Dans les deux cas, l'opération doit se faire en soirée, et en temps frais, car les jeunes plants sont fragiles. On fait un petit trou à l'emplacement avec le bout de la machette ou du plantoir. On ameublir la terre enrichie avec du fumier et on plante le jeune plant. On le bute en tassant légèrement la terre autour du plant. Si on utilise plutôt les boutures comme c'est très souvent le cas avec le Vernonia Amygdalina, il faut les planter juste avec les premières pluies, et éviter de trop les serrer pour que les plants puissent bien se développer [4].

Mais la plupart des agriculteurs utilisent des boutures de tiges. Les boutures utilisées pour la propagation à partir de tiges matures sont sélectionnées sur la base d'attributs tels que l'amertume, la taille de la feuille et les caractéristiques de croissance. Les boutures peuvent être plantées à un angle de 45° pour obtenir plus de pousses latérales. Les boutures poussent plus

vite que les semis. Les graines peuvent être récoltées à partir de capitules secs. Il est diffusé sur des lits de pépinières préparés avec un sol riche en humus et à l'abri de la chaleur excessive et du soleil. Il est à noter que le goût amer est dû à la présence des éléments suivants:

- vernolien
- vernolépine
- vernomygdine
- glucosides stéroïdes (vernoniosides)



**Figure 1.3 : Plantation de ndolè avec boutures**

### **I.2.2 Récolte des feuilles de vernonia**

La récolte peut être effectuée deux mois et demi après la plantation. Les récoltes suivantes se feront par intervalle d'un mois. La quantité de feuilles récoltées va croissante jusqu'à la septième récolte, puis décroît si l'on n'effectue pas une bonne taille, c'est-à-dire bien contrôler le nombre de bourgeons qu'on laisse se développer après la récolte.

On peut récolter de trois manières :

- L'étêtage qui consiste à casser la partie supérieure de la plante ou branche,
- L'effeuillage qui consiste à récolter les feuilles,
- La récolte de la limbe.

Pendant la saison des pluies, la récolte a lieu en coupant les pousses feuillues, ce qui permet la création de nouvelles pousses latérales, qui peuvent être récoltées quelques semaines plus tard. Des tiges de différentes longueurs sont coupées dans l'après-midi. Les paquets sont conservés

pendant une nuit, placés dans un bassin d'eau et parfois recouverts pour éviter la dessiccation [4].

Cependant les propriétés organoleptiques ainsi que les dimensions des feuilles changent avec l'âge de la plante. Les feuilles d'une jeune *vernonie* paraissent plus attrayantes au marché et plus larges que les feuilles d'une tige âgée qui sont plus ternes, plus petites, et beaucoup plus amères. Une exploitation à l'échelle industrielle devrait tenir compte de ces changements de propriétés organoleptiques des feuilles avec l'âge de la plante [4].



**Figure 1.4 : Feuilles de vernonia récoltées**

### **I.2.3 Zones de culture du vernonia**

L'importance relative des cultures en Afrique semble être nettement moindre que dans les autres pays en voie de développement. Il est possible que cette impression soit fautive car en comparaison avec les autres pays un pourcentage plus élevé de la terre reste en jachère en Afrique et les productions par hectare en Afrique sont nettement plus basses que dans les autres pays en voie de développement. D'une part, une plus grande partie des légumes consommés sous les tropiques se cultivent dans des champs vivriers car on ne voit pas souvent de champs exclusivement réservés, mais plus fréquemment les légumes sont semés ou plantés entre d'autres plantes alimentaires et ce genre de culture associée favorise l'utilisation optimale de la terre [5].

D'autre part, un assez grand nombre de légumes se reproduisent par boutures (manioc, 'bitter leaf, patate aquatique, épinard indien, patate douce). Certains se reproduisent à l'aide de boutures et de façon exceptionnelle par graines tels que bitter leaf ; ils sont plantés entre les

lignes et dans les espaces libres avant la récolte de la culture vivrière principale, en combinaison avec d'autres légumes tels que tomate, pastèque, gombo et haricot [5].

Le bitter-leaf est donc largement répandue dans toute l'Afrique tropicale, y inclus les îles du Golfe de Guinée et la partie orientale de l'Afrique du Sud jusqu'au Natal. Au Cameroun, cette espèce croit spontanément dans tout le pays. Il se trouve principalement dans des zones forestières plus précisément sur les plateaux du Sud et des savanes péri-forestières aussi bien au Noun que dans la Région de l'Ouest ; Sud-Ouest ; Nord-Ouest ; Est ; Nord ; Extrême Nord, Adamaoua ; Littoral et Centre. Sur le haut plateau de l'Ouest, elle est fréquemment plantée dans les haies des enclos et dans les champs. Le produit est vendu aussi bien sur les marchés locaux que dans les grandes villes. Les feuilles congelées ou séchées de *Vernonia hymenolepis*, de *Vernonia amygdalina* sont exportées du Nigeria et du Cameroun à destination des principaux marchés de légumes africains en Europe [5].



**Figure 1.5 : Ndolè surgelé et sec en France à Madrid et à Londres [2].**

### **I.3 PROPRIETES ET CARACTERISTIQUES DU VERNONIA**

#### **I.3.1 Propriétés Médicinales**

Cette plante est utilisée dans la lutte phytosanitaire intégrée, notamment contre les champignons dans la médecine traditionnelle ; comme remplacement du houblon dans la fabrication de la bière. Avec ces divers usages, les feuilles de vernonie commune ont une valeur commerciale élevée. Elles sont transformées et exportées vers plusieurs marchés ethniques en Europe [6].

En phytothérapie, des décoctions de feuilles servent pour le traitement des vers intestinaux, de la fièvre, du paludisme, de la diarrhée, de la dysenterie, de l'hépatite, de la toux et de l'infertilité. Elles sont également utilisées comme laxatif, remède contre la gale, les plaies, les maux de tête

et les maux d'estomac. Quant aux extraits de racines, ils sont appliqués pour traiter le paludisme et les maladies gastro-intestinales [6].

Dans la recherche scientifique, des extraits de *Vernonia amygdalina* sont étudiés pour : analyser leurs effets pharmacologiques potentiels, notamment l'induction de l'apoptose telle que déterminée dans la culture cellulaire et dans les études zoologiques, la sensibilité à la chimiothérapie améliorée et l'inhibition des cellules cancéreuses, de même que la suppression des métastases des cellules cancéreuses, la réduction du niveau d'œstrogène dans le corps, les avantages antioxydants, l'amélioration du système immunitaire, la diminution de la glycémie, les propriétés antiparasitaires et le traitement antipaludique [6].

### I.3.2 Caractéristiques du vernonia amygdalina

#### I.3.2.1 Caractéristiques biochimiques des feuilles de vernonia

La valeur nutritionnelle de la plupart des légumineuses à graines en termes de protéines, énergie, vitamines et minéraux est hautement complémentaire dans le régime alimentaire tropical constitué de racines et tubercules, légumes indigènes, fruits. Les protéines des graines de légumineuses sont aussi le concentré d'aliments protéiques obtenu sans transformation qui est le moins cher et le plus facilement stocké et transporté, tant pour l'usage rural que citadin. Le tableau suivant nous donne la composition chimique renfermée dans les feuilles de vernonia amygdalina [5].

**Tableau 1.1 : Caractéristiques des feuilles de vernonia [7], adapté par nos soins**

Feuilles de vernonia amygdalina				
Eléments constitutifs		sels minéraux		Vitamines
Eléments	Pourcentage	Désignations	Propositions	
Protéines	23,25%	Manganèse	0,07±0,03 mg/100g	A
Fibres	16,05%	Sesium	0,01±00 mg/100g	E
		Zinc	0,04±0,01 mg/100g	C
Acides gras	3,53%	Fer	0,14±0,01 mg/100g	
		Cuivre	0,10±00 mg/100g	

Une analyse menée par **J. PELE** et **S. LE BERRE** sur les feuilles de *vernonia amygdalina* fraîches et séchées nous ressort de façon détaillée les résultats contenus dans ce tableau

**Tableau 1.2 : Résultats des analyses des feuilles de *vernonia* fraîches et séchées [8], adapté par nos soins**

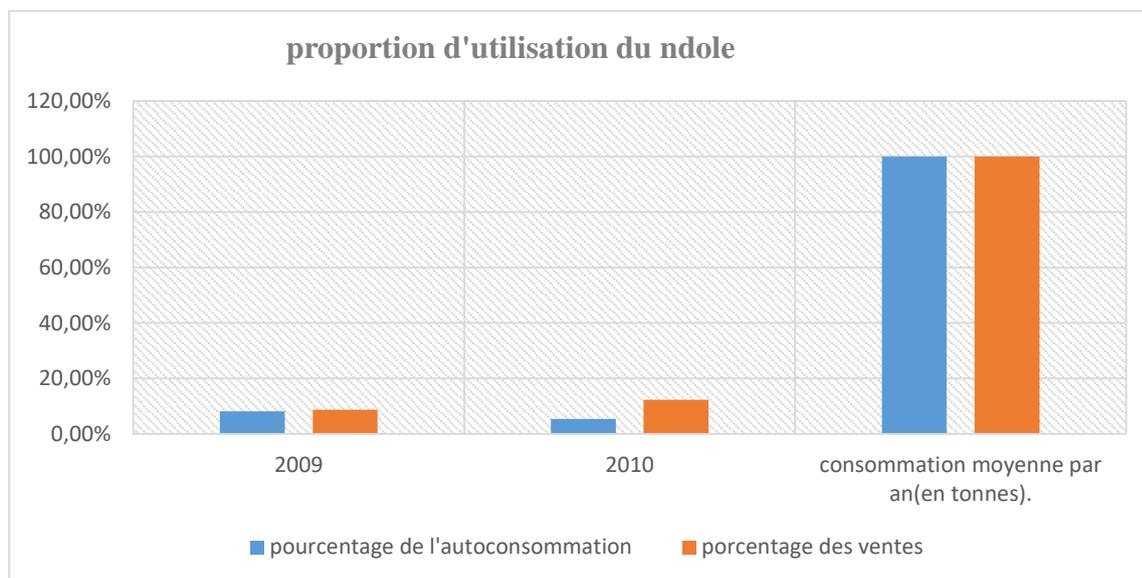
Désignations	Pourcentage
Humidité	16,8 g. %
Protides	29 g. %
Lipides	1,4 g. %
Glucides	43,8 g. %
Cendres	9 g. %
Ca	752 g. %
Fer	7 g. %
Phosphore	369 g. %
Vitamine C après cuisson	12 %
Calories	238 %

## I.4 CONSOMMATION DU VERNONIA

### I.4.1 Consommation Locale

La demande en produits forestiers non ligneux dont celle des feuilles de *Vernonia amygdalina* est croissante à cause de ses nombreux usages. Cette espèce est consommée comme l'un des ingrédients d'un plat national camerounais très connu sur le nom ndolé. Nous avons menées une enquête auprès des ménages à travers les questionnaires que nous avons soumis aux populations principalement dans la ville d'Ebolowa et il en ressort de celle-ci que la fréquence de consommation du ndolé est de 45% soit (deux fois par mois), Cette fréquence varie cependant selon les ménages et aussi selon les ethnies. En 2008, 98600 tonnes de ndolé ont été vendu au Cameroun dont 23 % de vernonie. Par ailleurs Il occupe la sixième place dans les dépenses alimentaires des populations urbaines du Cameroun. Le Ndolé frais habituellement conditionné est vendu à 700 FCFA le kilogramme [4].

Les figures ci-dessous résument l'historique puis le tableau de pourcentage de *Vernonia amygdalina* alloué à chacune de ses utilisations entre 2009 et 2010.



**Figure 1.6 : Proportion d'utilisation du Ndolé [4].**

**Tableau 1.3 : Proportion d'utilisation du Ndolé [4].**

ANNEES	Production l'autoconsommation en tonne	Pourcentage de l'autoconsommation %	vente en tonne	Pourcentage des ventes %	Total
2009	39,4	8,17%	47,7	8,75%	87.1
2010	25,8	5,35%	67,3	12,35%	93.1
consommation moyenne par an(en tonnes).	482,00	1	545	1	1027,00

Nous remarquons dans ce tableau que la production du ndolé a été allouée à l'autoconsommation, et à la vente, car comme on le voit dans le tableau le produit (ndolé) camerounais est largement vendu que consommé, alors nous supposons que les 2/3 de ce produit vendu sont exportés.

#### **I.4.2 Consommation Sous régionale du ndolé**

La vernonie commune est un légume très apprécié en Afrique occidentale et centrale, et se consomme dans des divers plats. Au Nigeria par exemple où la plante s'appelle "ewuro" en yoruba et "onugbu" en igbo, on fait cuire les feuilles en soupe [1].

### I.4.3 Consommation internationale du ndolé

Le marché international du Ndolé a pris de l'ampleur dans les années 80, suite à la nouvelle loi française sur le regroupement familial, donnant le droit aux ressortissants d'Afrique centrale étudiant ou travaillant en France d'être rejoint par les membres de leurs familles. Ceci a été une aubaine pour les exportateurs des produits alimentaires africains en général, et du Ndolé en particulier qui ont misé sur le fait que l'Africain est fondamentalement attaché à sa cuisine. A cette catégorie traditionnelle de consommateurs se sont ajoutés des Européens ayant vécu au Cameroun et toutes les autres nationalités ayant contracté des liens matrimoniaux ou d'amitié avec le Cameroun [1].

Pour les consommateurs non camerounais, ces produits évoquent des souvenirs de vacances ou d'un séjour prolongé en Afrique. Ils sont heureux de retrouver le Ndolé qu'ils ont connu et apprécié. C'est ainsi que la vente de Ndolé a fortement pris son ancrage en France et en Belgique où il existe par ailleurs de fortes communautés camerounaises. Le Ndolé y est vendu dans des épiceries tropicales et dans les marchés tropicaux. C'est beaucoup plus le Ndolé frais qui a déjà percé le marché là-bas, le Ndolé séché faisant encore ses premiers pas [2].

Comme on le voit, le bitterleaf ou ndolè est un produit destiné à trois nationalités. De ce fait Son marché potentiel est de 84 460 consommateurs ainsi reparti dans ce tableau :

*Tableau 1.4 : Consommation internationale du ndolè [2], adapté par nos soins*

Nationalités	Nombre de consommateurs
Royaume-Unis	65000
France	19318
Espagne	142

### I.4.4 Présentation du plat de ndolè

Le ndolè est parfois comparé aux épinards à cause de sa couleur et de sa texture, mais sa préparation est tout à fait différente. C'est un plat long et difficile à réaliser, mais bon marché, au goût très apprécié des Camerounais, particulièrement dans la région du littoral.

Le ndolè est élaboré avec les feuilles vertes cuites plusieurs fois à l'eau pour leurs faire perdre leur amertume, puis mélangées avec une pâte d'arachides fraîches et des épices écrasées.

On y ajoute de la viande cuite en lamelles, ou du poisson frais ou fumé, ou des crevettes fraîches ou fumées. Il est servi avec des plantains frits, du manioc, éventuellement du riz ou des frites de pomme de terre [9].



*Figure 1.7 : Plat de ndolè, source [9].*

## I.5 TECHNIQUES DE REDUCTION D'AMERTUME

### I.5.1 Méthode traditionnelle a eau chaude

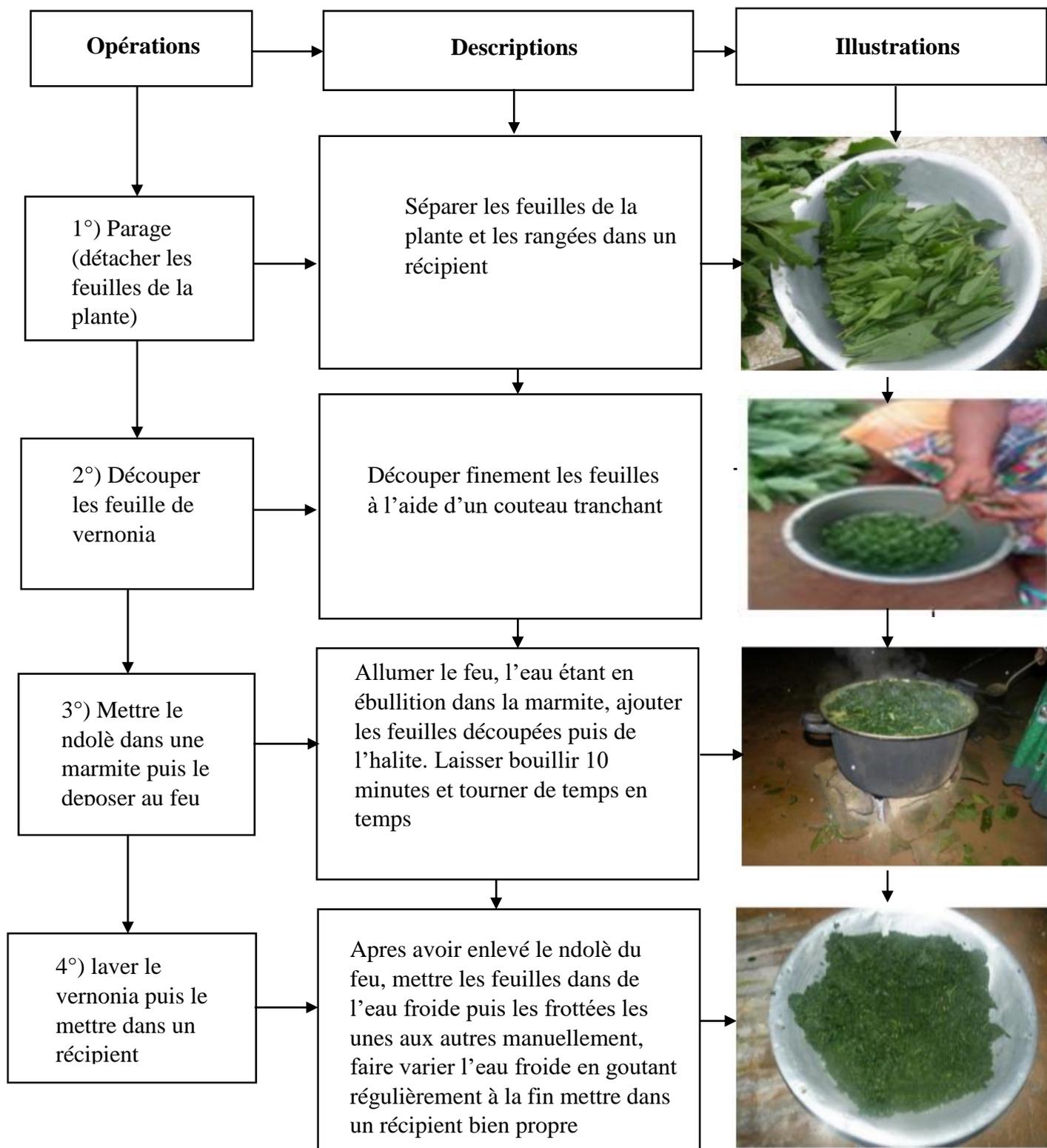


Figure 1.8 : Réduction de l'amertume à chaud du ndolè, source [9], adapter par nos soins

### I.5.2 Méthode traditionnelle a eau froide

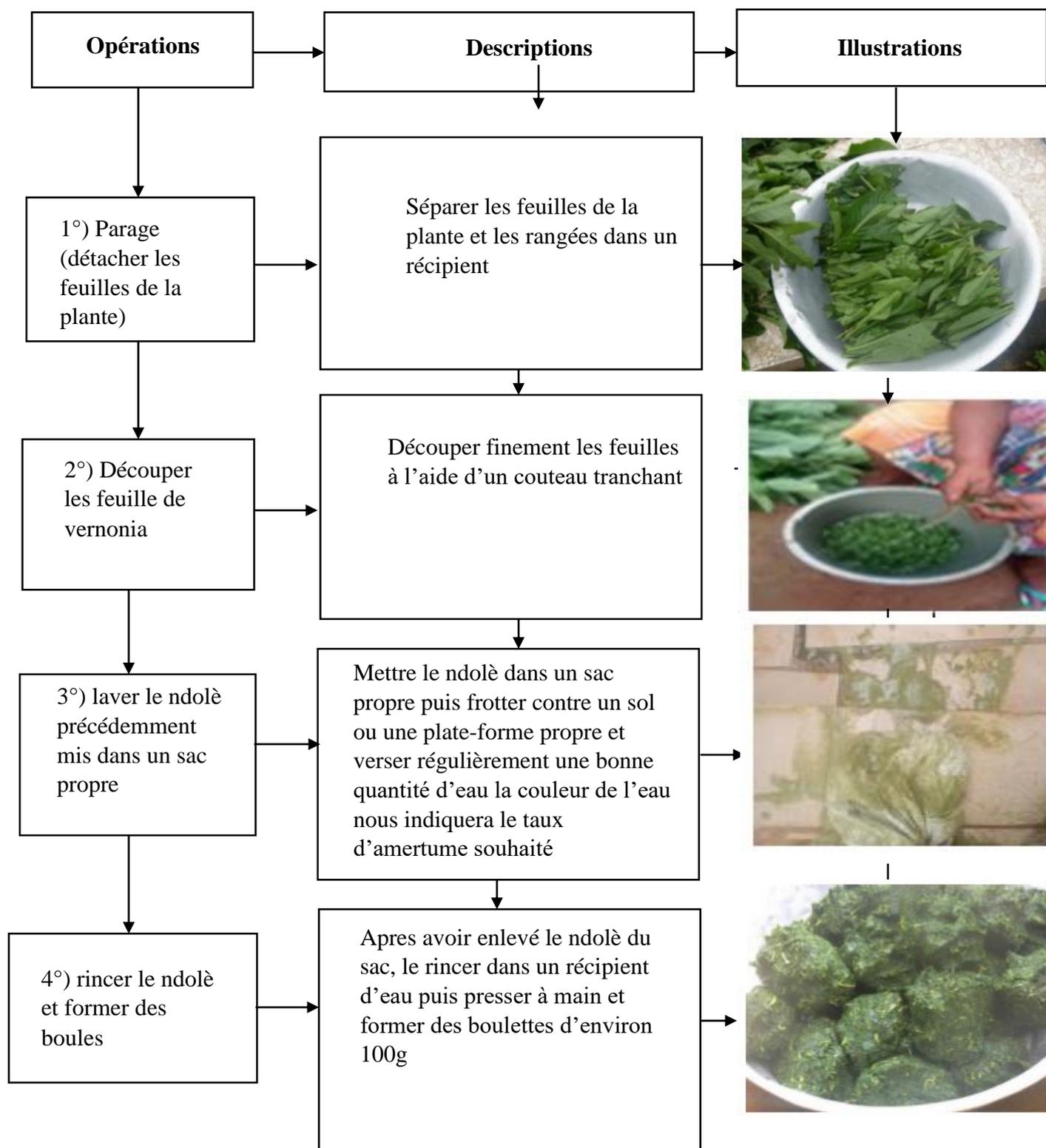


Figure 1.9 : Réduction de l'amertume à froid du ndolè, source [9], adapté par nos soins

### I.5.3 Comparaison des deux méthodes

Il est question de ressortir les avantages et les inconvénients d'une des méthodes par rapport à l'autre

**Tableau 1.5 : Comparaison des deux techniques de réduction de l'amertume, adapté par nos soins**

<b>METHODES</b>	<b>AVANTAGES</b>	<b>INCONVENIENTS</b>
A eau chaude	<ul style="list-style-type: none"><li>-Moins pénibles.</li><li>-Garde une meilleure clarté du Ndolé (conserve sa couleur).</li><li>-Temps de lavage réduit.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Risque très élevé avec l'utilisation d'eau chaude et le feu.</li><li>-Moins nutritif car le fait de bouillir enlève les substances (grâce à l'halite)</li></ul>
A eau froide	<ul style="list-style-type: none"><li>-Plus nutritif.</li><li>-Risque réduit</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Temps de lavage élever.</li><li>-Moins hygiénique lors du lavage.</li><li>-Ne conserve pas sa couleur car il noircit</li></ul>

## II. ANALYSE CRITIQUE DES SOLUTIONS EXISTANTES

### II.1 TECHNIQUES DE REDUCTION D'AMERTUME

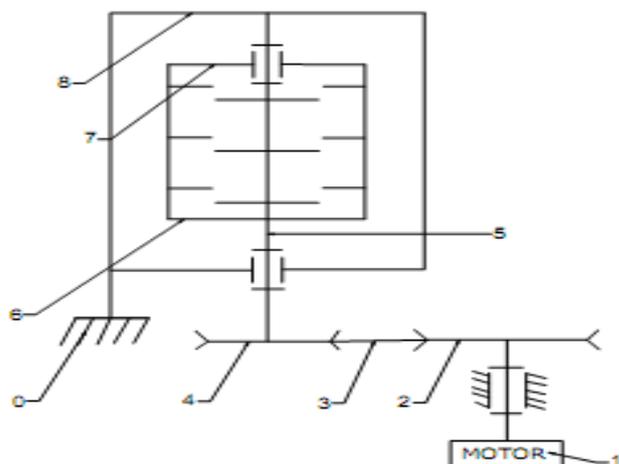
La réduction de l'amertume est une opération qui consiste à diminuer considérablement le caractère amère des feuilles de vernonia amygdalina (ndolè) dans le but de les consommées. Mais avant d'y arriver aux machines, nous rappelons qu'il existe d'autres méthodes de réduction de l'amertume des feuilles de vernonia notamment les méthodes traditionnelles à eau chaude et froide, qui sont des méthodes artisanales employées par la plupart des populations car elles nécessitent un matériel pas trop couteux et accessible à tout le monde. Mais toutefois, il est important de rappeler les limites de ces méthodes qui sont entre autre le risque très élevé des brûlures au contact du feu et de l'eau chaude en ce qui concerne la méthode a eau chaude, et le temps de lavage très élever qui rend l'opération pénible le cas de de la méthode a eau froide. Pour essayer de palier à cela, nous allons nous pencher vers les méthodes mécaniques sur lesquelles nous mènerons nos études.

En ce qui concerne les méthodes mécaniques, nous présenterons les machines qui existent déjà et qui permettent de réduire l'amertume des feuilles de vernonia

### II.1.1. machine à laver les feuilles du ndolé ;

Cette machine a été mise sur pied par **FOTIO, DJOPWOUO, FAKAM en 2004** ; elle se présente comme le montre le schéma cinématique ci-après

#### a- Schéma cinématique :



#### Légende

- 0. Support
- 1. Moteur
- 2. Poulie d'entraînement
- 3. Ceinture
- 4. Poulie entraînée
- 5. Arbre entraîné
- 6. Cylindre interne

**Figure 1.10 : Schéma cinématique d'une machine à laver les feuilles du ndolé [10]**

#### b- Descriptions et fonctionnement

Dans cette solution, le mouvement de rotation de l'arbre moteur est transmis à l'arbre récepteur 5 via un système de poulie à courroie {2; 3; 4}. Au moyen d'un accouplement, l'arbre 5 transmet sa rotation à l'alésage 6, à l'intérieur duquel les lames sont soudées et les feuilles de Ndolé déposées. Cet alésage transporte l'eau qui est contenue dans le grand cylindre lorsqu'il tourne et qui est également évacuée par les trous perforés sur sa surface latérale. Cette rotation permet le lavage "Ndolé" part un système de frappe entre les lames. Une déshydratation, alimentation est arrêtée et l'eau dans le robinet de vidange est ouverte sous l'effet de l'inertie, l'eau est expulsée et le produit coule à travers le trou de vidange formé sur un substrat relié au cylindre extérieur. Le produit est retiré en démontant les couvercles 7 et 8 du cylindre intérieur, l'un sur l'alésage intérieur et l'autre sur l'alésage extérieur. L'alimentation en eau se fait par un trou pratiqué sur l'alésage extérieur.

### c- Avantages et inconvénients

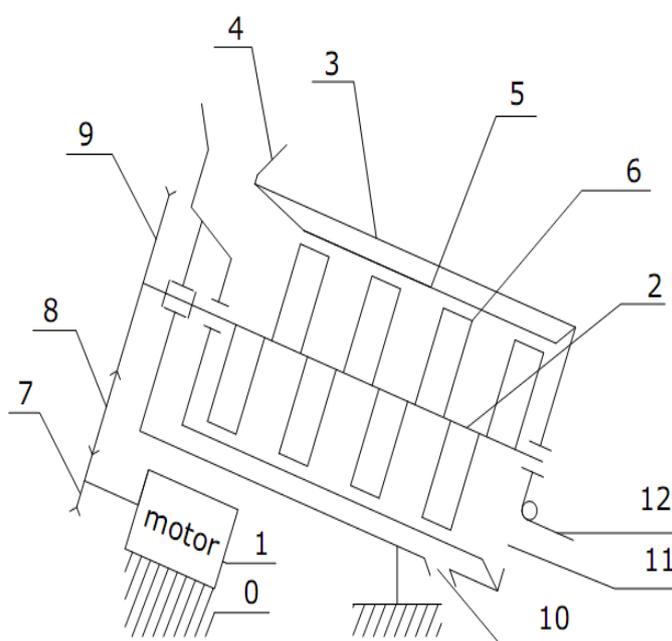
**Tableau 1.6 : Comparaison des avantages et inconvénients d'une machine à laver les feuilles du ndolé, adapté par nos soins**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation simple</li> <li>- Temps de lavage défini par l'opérateur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difficulté à suivre l'évolution du lavage</li> <li>- Risque d'obtenir un produit pâteux</li> <li>- Arrêt de la machine pour infiltration d'eau</li> </ul>

### II.1.2. Amélioration de la machine à laver le ndolé ;

Cette machine a été mise sur pied par **LONFO, NGOUNTE, TALLAH en 2005** ; elle a pour but de réduire l'amertume des feuilles de ndolé avec un rendement important, elle est présentée selon le schéma cinématique ci-après

#### a- Schéma cinématique :



#### Légende

1. Support
2. Moteur
3. vis d'Archimède
4. cylindre extérieur
5. Trémie
6. Cylindre intérieur
7. gorge de vis
8. Poulie motrice
9. Courroie
10. Poulie de la vis
11. sortie d'eau
- 12.

**Figure 1.11 : Schéma cinématique d'une machine pour amélioration de la machine à laver le ndolé [11]**

## b- Description et Fonctionnement

Le produit ainsi que l'eau sont introduits dans la machine par la trémie **4** et le produit lavé est évacué par l'évacuateur **11**. Le mouvement de rotation du moteur est transmis à l'arbre **2** par la courroie **8** et les poulies **{7; 9}**. Les pales **6**, reliées à l'arbre **2** frappent les feuilles de ndolè contre le cylindre interne fixe, l'eau est évacuée par l'orifice **10** du cylindre externe **3**.

## c- Avantages et Inconvénients

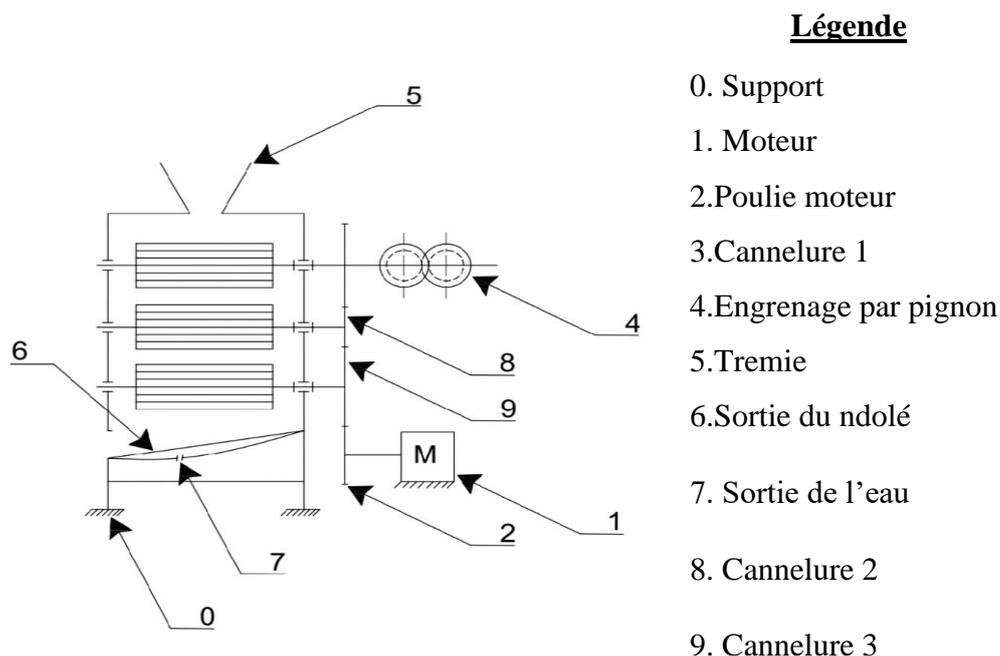
**Tableau 1.7 : Comparaison des avantages et inconvénients de l'amélioration de la machine à laver les feuilles de ndolè, adapté par nos soins**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Faciliter de réalisation</li><li>- système peut complexe</li><li>- Grande production par unité de temps</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Charge supplémentaire due à la position inclinée de l'arbre</li><li>- Risque élevé de fuite d'eau</li><li>- Quantité d'eau importante</li></ul>

### II.1.3. Machine à réduire l'amertume des feuilles de ndolè ;

Cette machine a été mise sur pied par **TCHABASSI YANNICK, ZEUDONG en 2014** ; qui ont mis sur pied ce dispositif vertical dans l'optique d'une réduction optimale de l'amertume des feuilles de ndolè, ce dernier se présente tel que l'indique le schéma cinématique ci-après

**a- Schéma cinématique :**



**Figure 1.12 : Schéma cinématique d'une machine à réduire l'amertume des feuilles de ndolé [12]**

**b- Description et Fonctionnement**

Le mouvement de rotation du moteur est transmis au tambour par un système de transmission à engrenages. Les feuilles du ndolé sont introduites à l'intérieur de la machine par l'intermédiaire de la trémie 5 et tombent sur le premier arbre cannelé qui, à l'aide de cannelure, écrase les feuilles du ndolé, ce qui permet à la cellule de se briser et de libérer une meilleure substance. Les feuilles tombent sur le deuxième arbre cannelé, le même travail est fait et ainsi de suite jusqu'au troisième, après quoi les feuilles sont jetées sur un tamis incliné. L'eau s'écoule en permanence et est évacuée avec l'amertume par l'orifice 7.

**c- Avantages et Inconvénients**

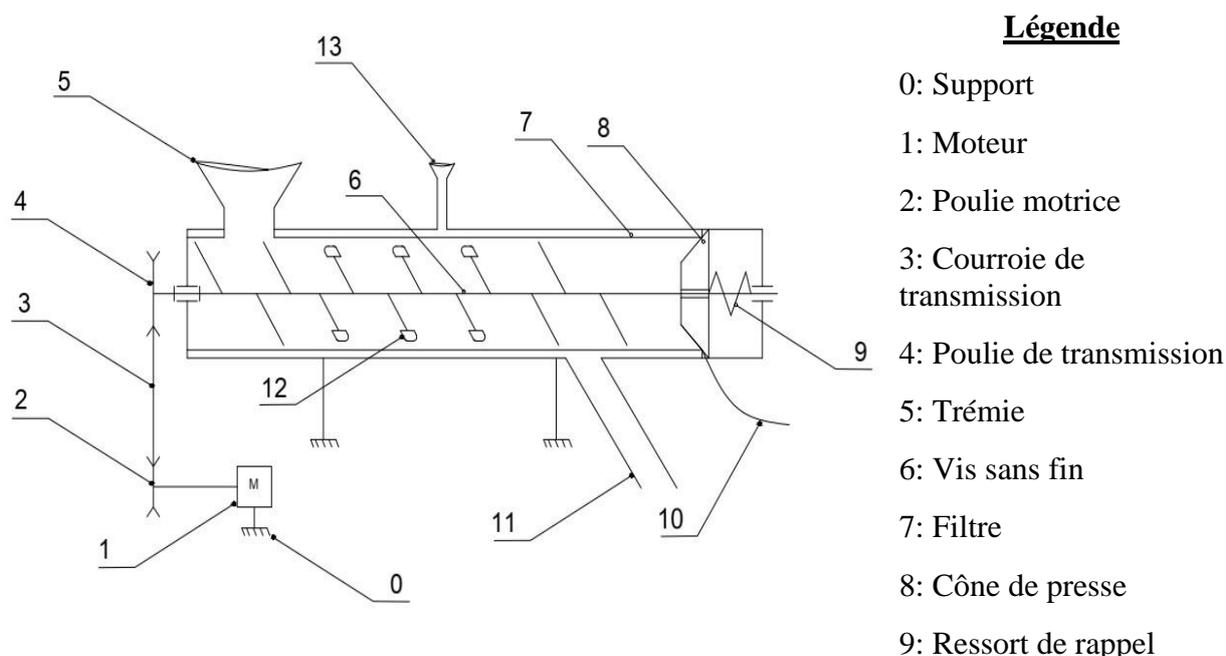
**Tableau 1.8 : Comparaison des avantages et inconvénients d'une machine à réduire l'amertume des feuilles de ndolé, adapté par nos soins**

Avantages	Inconvénients
- Infiltration du ndolé non découpé	- Risque d'obtention un produit pâteux.
- Evacuation aisé du ndolé	- Coût élevé des engrenages
- Vibrations réduites	- Bruit élevé

#### II.1.4. Machine de type vis sans fin + palettes + plateaux de pression à la sortie ;

Réalisée par MOUCHIKOU VICKY TRESOR en 2019 ; qui a eu l'idée de mettre sur pied ce dispositif avec plateau de pression en sortie dans le but de recueillir un produit pressé à la sortie. Il se présente comme l'indique le schéma cinématique ci-après

##### a- Schéma cinématique



**Figure 1.13 : Machine de type vis sans fin + palettes +plateaux de pression à la sortie [13]**

##### b- Description et Fonctionnement

Les feuilles de ndolé obtenues au sortir de la presse de la machine sont introduites par la trémie **5**. Ces dernières arrivent dans la loge **7** où se trouve une vis sans fin qui est associée à des palettes **12** permettant de conduire et frapper les feuilles de ndolé contre l'alésage interne, le circuit est alimenté en eau par **13** et évacuée par l'orifice **11** de l'alésage externe. Les palettes disposées également suivant le profil d'une Vis sans fin émottent le ndolé en les projetant sur la loge perforée de trous par lesquels s'échappent les eaux amers. Le reste de produit est transféré vers l'orifice de sortie qui grâce à une pression sur le couvercle **8** par un ressort **9** presse le produit de son liquide enfin d'obtenir un produit moins amer.

### C- Avantages et inconvénients

**Tableau 1.9 : Comparaison des avantages et inconvénients d'une machine à réduire l'amertume de type vis sans fin avec palettes+plateau de pression à la sortie**

<b>AVANTAGES</b>	<b>INCONVÉNIENTS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Encombrement réduit</li><li>- Bon contrôle de la circulation</li><li>- évacuation aisée du ndolè</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Fabrication difficile</li><li>- Coût de revient très élevés</li><li>- Faible réduction de l'amertume des feuilles</li></ul>

## II.2. TABLEAU DE SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES

Ce tableau consiste à faire un récapitulatif de ce qui a été fait plus haut ; il s'agit en fait pour chaque méthode de rappeler les avantages et inconvénients puis d'en faire des observations y relatives.

**Tableau 1.10 : Synthèse générale des différentes méthodes**

<b>Méthodes</b>	<b>Auteurs</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>	<b>Observations</b>
<b>Méthode 1 :</b> machine à laver les feuilles de ndolè	FOTIO, DJOPWOUO, FAKAM (2003/2004)	-Utilisation simple  -Temps de lavage défini par l'opérateur	-Difficulté de suivi du lavage  -Risque d'obtenir un produit pâteux  -Arrêt de la machine pour infiltration d'eau	Le non suivi de l'évolution du lavage et l'évacuation du produit sont les points à revoir avec plus d'attention
<b>Méthode 2 :</b> amélioration de la Machine a lavé le ndolè	LONFO, NGOUNTE, TALLAH (2004/2005)	-Faciliter de réalisation  -système peut complexe  -Grande production par unité de temps	-Charge supplémentaire due à la position inclinée de l'arbre  -Risque élevé de fuite d'eau  -Quantité d'eau importante	L'inclinaison doit être moins forte pour augmenter le temps de lavage et diminuer la quantité excessive d'eau utilisée
<b>Méthode 3 :</b> machine à réduire l'amertume des feuilles de ndolè	TCHABASSI YANNICK, ZEUDONG (2013/2014)	-Infiltration du ndolè non découpé  -Evacuation aisé du ndolè  -Vibrations réduites	-Risque d'obtention un produit pâteux.  -Coût élevé des engrenages  -Bruit élevé	Les efforts importants fournit par les engrenages écrasent plutôt le produit, autre part le choix du matériau des engrenages en contact doit être meilleur pour ne pas retrouver des résidus d'acier dans le produit s'il y'a usure
<b>Méthode 4 :</b> machine de réduction à froid de type vis sans-fin+palettes+plateau de pression à la sortie	MOUCHIKOU VICKY TRESOR (2018/2019)	-Encombrement réduit  -Bon contrôle de la circulation  -évacuation aisé du ndolè	-Fabrication difficile  -Cout de revient très élevés  -Faible réduction de l'amertume des feuilles de ndolè	L'encombrement réduit et le bon contrôle de la circulation sont des atouts majeurs mais toutefois il faut revoir la technologie employée pour le lavage proprement dit en intégrant des éléments qui faciliteront le lavage par frottement et éviter le broyage sous forme pâteux

## CONCLUSION

Au terme de ce chapitre où il était question de présenter la plante dans son ensemble, c'est-à-dire sa description, sa culture, sa récolte et les procédés utilisés pour sa transformation, Il en ressort que la plupart des consommateurs Camerounais ne produisent pas assez à cause des lenteurs dues aux méthodes de réductions traditionnelles. Pour cela, il en demeure mieux pour eux d'avoir une machine simple, moins couteuse et moins encombrante qui puisse résoudre l'épineux problème lié à la réduction de l'amertume des feuilles de ndolè afin de leur éviter le travail manuel assez pénible ; laquelle pourrait découper et presser les feuilles de ndolè dans l'optique de réduire l'amertume de ces dernières de façon considérable. Le choix ou mieux l'idée de notre matériau sera prédominant pour satisfaire aux exigences du cahier de charge.

## CHAPITRE II : ANALYSE FONCTIONNELLE ET RECHERCHE DES SOLUTIONS

Dans ce chapitre, il sera question pour nous de faire une analyse fonctionnelle sur les laveuses de vernonia amygdalina puis nous proposerons des solutions constructives et à la fin nous présenterons la solution retenue.

---

II.1. ANALYSE FONCTIONNELLE DU BESOIN .....	28
II.1.1. Analyse de l'expression du besoin .....	28
II.1.2. Analyse de l'expression du produit .....	29
II.1.3. Analyse fonctionnelle technique : FAST (Function Analysis System Technique)32	
II-2-PROPOSITION DES SOLUTIONS.....	34
II.2.1. Machine à laver par tétons élastiques .....	34
II.2.2. Machine à réduire l'amertume du ndolè par la technique de pilage.....	35
II.2.3. Laveuse de ndolè deux en un.....	36
II.3. CHOIX DES SOLUTIONS.....	36
II-3-1-Pondération des différentes solutions. ....	37
II-3-2-Présentation de la solution retenue. ....	38

---

## INTRODUCTION

En plus des machines à réduire l'amertume citée à la revue de littérature, il en existe d'autres. Toutes ces machines ont en commun la même fonction qui est celle de réduire considérablement l'amertume des feuilles de ndolè. Cependant, il n'est pas exagéré de préciser qu'en plus de la fonction principale qu'elles assurent, certaines ont bien des particularités qui les différencient les unes des autres. Selon les exigences de notre cahier de charges, le choix de la machine sera un peu rigoureux et nous conduira à proposer quelques solutions constructives. Pour autant, quels seront les critères de choix ? Quelle sera la solution retenue ? Satisfaira-t-elle aux exigences du cahier de charges ? Répondre à cette triple interrogation fera l'objet de ce chapitre et nous permettra de retenir une solution conceptuelle qui donnera naissance à une machine capable de réduire à froid l'amertume des feuilles de ndolè pour l'alimentation des populations.

### II.1. ANALYSE FONCTIONNELLE DU BESOIN

L'analyse fonctionnelle sera réalisée à l'aide des diagrammes bête à corne et pieuvre. Ces diagrammes nous permettront de présenter les besoins et les fonctions de service du produit. Il est important de rappeler que lors de la conception de la machine, nous recherchons pour chaque fonction à assurer une solution meilleure, ce qui par conséquent nous permettra d'obtenir un produit satisfaisant le besoin.

#### II.1.1. Analyse de l'expression du besoin

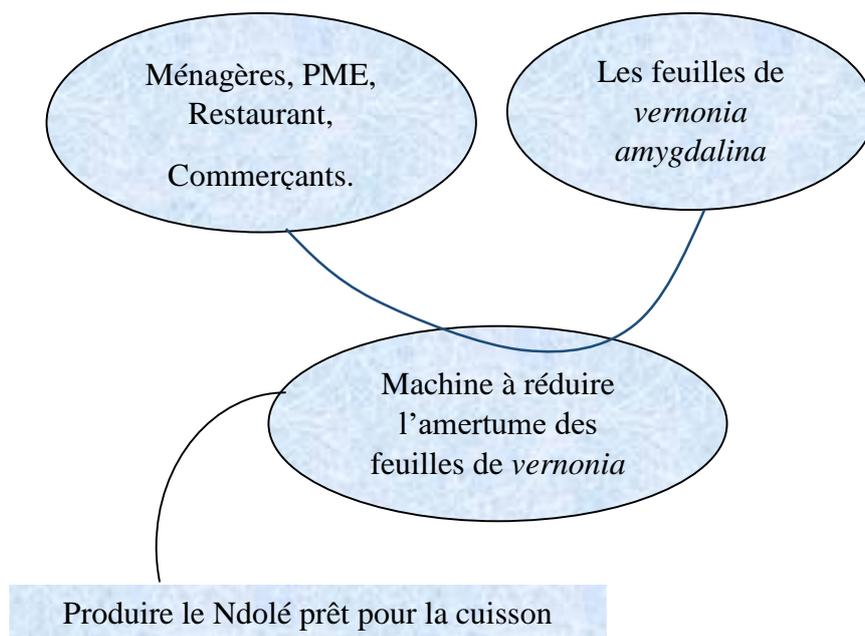
Celle-ci sera faite à l'aide d'un diagramme appelé diagramme bête à cornes.

##### a. Diagramme bête à cornes

Ce diagramme permet de répondre à des questions spécifiques qui nous permettent d'analyser aisément le besoin. Le tableau II-1 récapitule d'ailleurs ces dernières.

**Tableau 11 : Récapitulatif du diagramme bête à corne**

Questions	Réponses
a) A qui le produit rend-t-il service ?	Il rend service aux : Ménagères, restaurants, commerçants et PME.
b) Sur quoi agit-il ?	Le produit agit sur les feuilles de <i>vernonia amygdalina</i> .
c) Dans quel but réalise-t-on le produit ?	Dans le but de réduire l'amertume des feuilles pour qu'elles soient comestibles



**Figure 2.1 : Diagramme bête à cornes**

### **b. Validation du besoin**

La validation du besoin passe par les réponses aux deux questions suivantes :

- Pourquoi a-t-on besoin de réduire l'amertume des feuilles de ndolé ?
  - **Réponse 1** : le ndolé lavé est mieux comestible que celui à l'état brut
  - **Réponse 2** : le ndolé lavé est peu encombrant et donc facile à transporter et à conserver
- Dans quel but faut-il réaliser un tel équipement ?
  - La conception de cet équipement va permettre la production du ndolé prêt à la cuisson en agissant sur les feuilles brutes dans le but de rendre service aux ménages, aux PME, aux commerçants, etc...

### **II.1.2. Analyse de l'expression du produit**

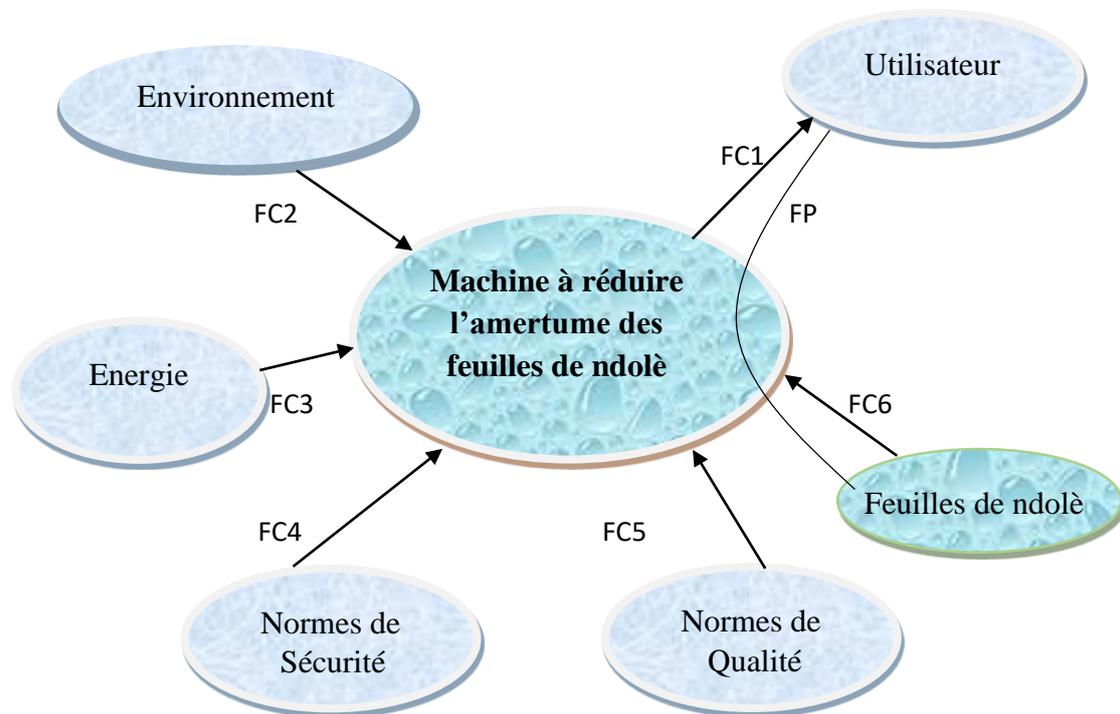
Elle se fera à l'aide du diagramme pieuvre qui ressortira les fonctions de service (FP: Fonctions principales et FC: Fonctions contraintes) du produit en s'appuyant sur les éléments du milieu environnant qui interagissent avec le produit.

Les éléments du milieu environnant en phase d'utilisation normale de la machine à réduire l'amertume des feuilles de ndolé sont:

- L'opérateur;
- Les légumes;
- Le milieu environnant;
- L'énergie;
- Les normes de sécurité;
- Les normes de qualité.

**a. diagramme pieuvre**

Ce diagramme sert à faire ressortir les fonctions de service du produit en s'appuyant sur les éléments du milieu environnant qui interagissent avec lui.



*Figure 2.2 : Diagramme pieuvre*

**b. Formulation des fonctions de la machine à réduire l'amertume des feuilles de ndolè**

Ces fonctions de services sont rangées en deux classes distinctes à savoir, les fonctions principales (**FP**) et les fonctions contraintes (**FC**). Nous avons donc :

- **FP** : Influences de l'utilisateur sur la machine à réduire l'amertume et sur les feuilles de ndolè ;
- **FC1** : Influences de la machine sur l'utilisateur ;
- **FC2** : Influences de l'environnement sur la machine ;
- **FC3** : Influences de l'énergie sur la machine ;
- **FC4** : Influences des normes de sécurité sur la machine ;

- **FC5** : Influences des normes de qualité sur la machine ;
- **FC6** : Influences des feuilles de ndolè sur la machine.

**c. Caractérisation des fonctions de la machine à réduire l'amertume**

Les fonctions de service de la dite machine seront caractérisées à partir de certains critères et du niveau d'appréciation de ceux-ci. Le tableau II-2 récapitule et caractérise ces différentes fonctions.

**Tableau 12 : Tableau de caractérisation des fonctions de la machine à réduire l'amertume des feuilles de ndolè**

Fonctions	Eléments à caractériser	Critères	Niveau
<b>FP1</b> : Doit permettre à l'opérateur d'agir sur la machine et réduire l'amertume des feuilles de ndolè	opérateur	Taille	1.5m
	Lavage du ndolè	Qualité du lavage	escompté
	Mélanger les feuilles a de l'eau	Qualité du mélange	homogène
<b>FC1</b> : Doit plaire à l'utilisateur	Aspect de la machine	Forme	Peu complexe
		Couleur	Plait à l'œil
		Encombrement	Réduit
<b>FC2</b> : Doit résister aux attaques du milieu environnant	Résistance de la machine	corrosion	Aucune
	Milieu environnant	Technologie d'installation	Bonne
	Etanchéité	Qualité de l'étanchéité	Bonne
<b>FC3</b> : Doit s'adapter à l'énergie disponible	Etre adaptée	adaptabilité	Bonne
	énergie	électricité	380V
<b>FC4</b> : Doit respecter les normes de sécurité	Respect des normes de sécurité	-sécurité d'emploi	Bonne
<b>FC5</b> : Doit respecter les normes de qualité	Respect des normes de qualité	-fiabilité ; -maintenabilité ; - durabilité - esthétique - performance	Bonne

<b>FC6 : Doit résister aux caractéristiques des feuilles</b>	Résistance	Détérioration admise	Aucune
	Feuilles	Vernonia amygdalina (ndolè)	Mélange et réduit l'amertume
	Charge	Masse du ndolè brut en kg	

### II.1.3. Analyse fonctionnelle technique : FAST (Function Analysis System Technique)

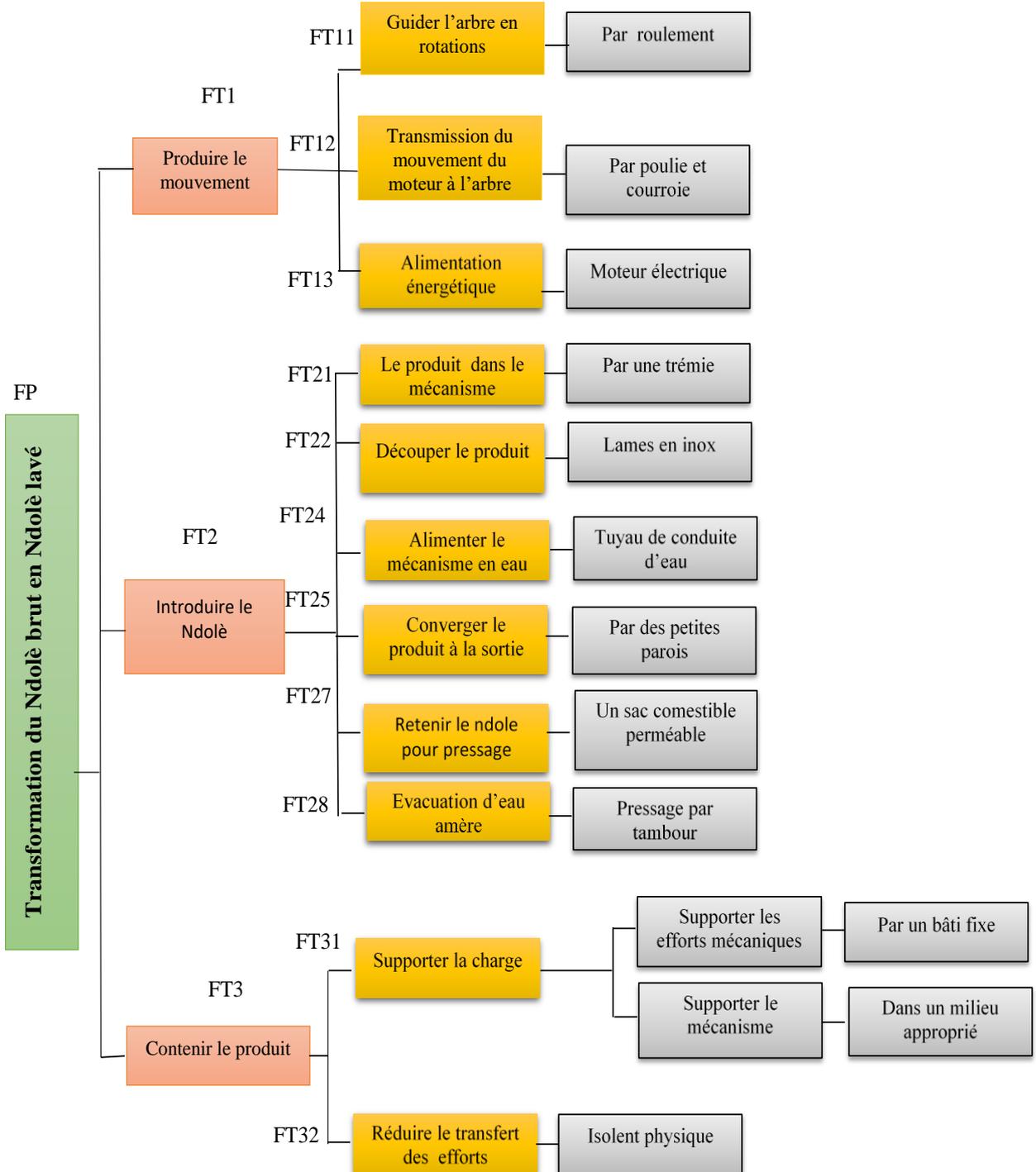
Elle permet de ressortir les fonctions techniques du produit afin d'en dégager les solutions technologiques de celles-ci. L'analyse fonctionnelle technique se fait à l'aide du **diagramme FAST** qui est un outil très pertinent permettant d'associer à la fonction de service (Réponse au besoin de l'utilisateur) des solutions technologiques.

#### a. Diagramme FAST

Le sens de l'analyse se fait de la gauche vers la droite, en partant de la fonction principale toutes les fonctions techniques sont reliées et ordonnées jusqu'à aboutir aux solutions technologiques.

- Fonction Principale
- Fonction Technique
- Solution Technologique

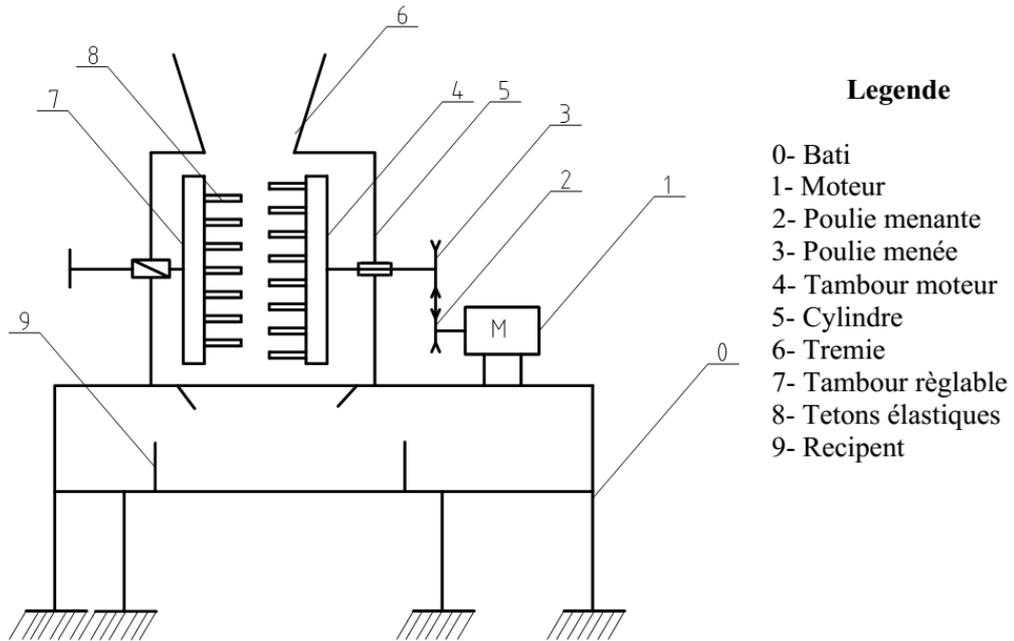
**Solution Technologique**



**Figure 2.3 : Diagramme FAST**

## II-2-PROPOSITION DES SOLUTIONS.

### II.2.1. Machine à laver par têtes élastiques



*Figure 2.4 : Machine à laver par têtes élastiques*

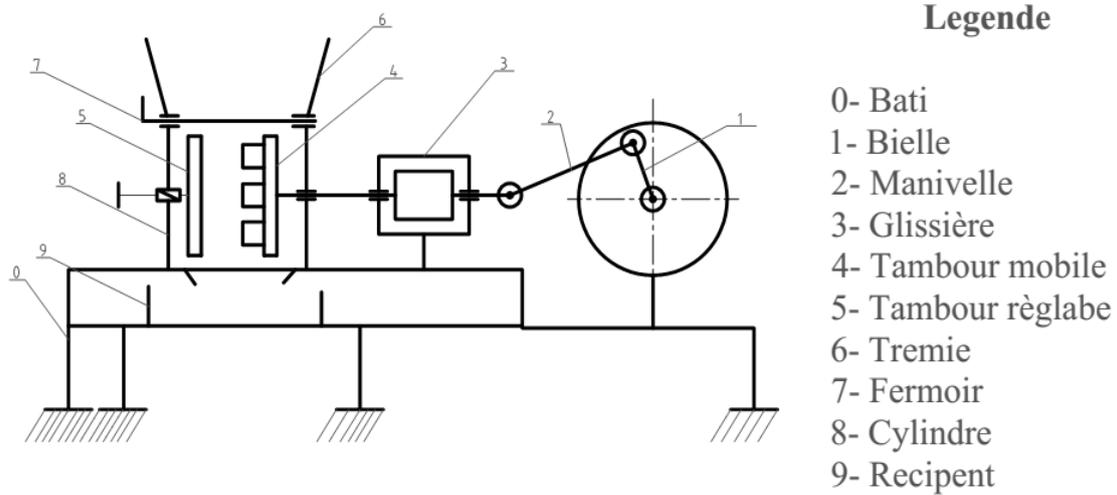
#### a. Description et fonctionnement

L'introduction du ndolè par la trémie **6** arrive dans le cylindre **5** à l'intérieur duquel on a deux tambours **7** et **4** tous équipés des têtes élastiques qui vont donc frotter les feuilles de ndolè les unes contre les autres, l'ajout de l'eau permettra d'évacuer l'amertume contenu dans ces feuilles par la coulée des eaux amères qui sont retenues dans un récipient pour nous renseigner de part sa coloration du niveau de lavage ; le ndolè laver quant à lui sera retiré manuellement et ce par une orifice créée sur le cylindre.

#### b. Avantages et Inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bon lavage par frottement des têtes</li> <li>- Réalisation simple</li> <li>- Manipulation facile</li> <li>- Encombrement réduit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessité d'arrêter la machine pour enlever le ndolè</li> <li>- Mélange pas homogène du ndolè et de l'eau du fait de sa position</li> </ul>

## II.2.2. machine à réduire l'amertume du ndolè par la technique de pilage



**Figure 2.5 : Machine à réduire l'amertume du ndolè par la technique de pilage**

### a. Description et fonctionnement

Après avoir infiltré le ndolè dans la trémie **6**, on tire le fermoir **7** pour permettre la descente du produit dans le cylindre **8**, à l'intérieur duquel on a deux tambour **5** et **4** qui vont pilés le ndolè ; le déplacement du tambour **4** est assuré par un système bielle-manivelle {**1**, **2**} et une glissière **3**. Le mélange d'eau et de ndolè ajouté à la pression créée par les tambours permettra d'évacuer l'amertume par les eaux amères qui sortiront par le bas perforé du cylindre ; ces eaux seront retenues dans un récipient **9** et la sortie du ndolè quant à elle se fera manuellement par une ouverture prévue sur le cylindre **8**.

### b. Avantages et Inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût peut élever</li> <li>- Encombrement réduit</li> <li>- Lavage sans découpe préalable des feuilles de ndolè</li> <li>- Réalisation simple</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mélange pas homogène du ndolè et de l'eau du fait de sa position</li> <li>- Risque de rendre le produit pâteux</li> <li>- Faible rendement</li> </ul>

### II.2.3. laveuse de ndolè deux en un

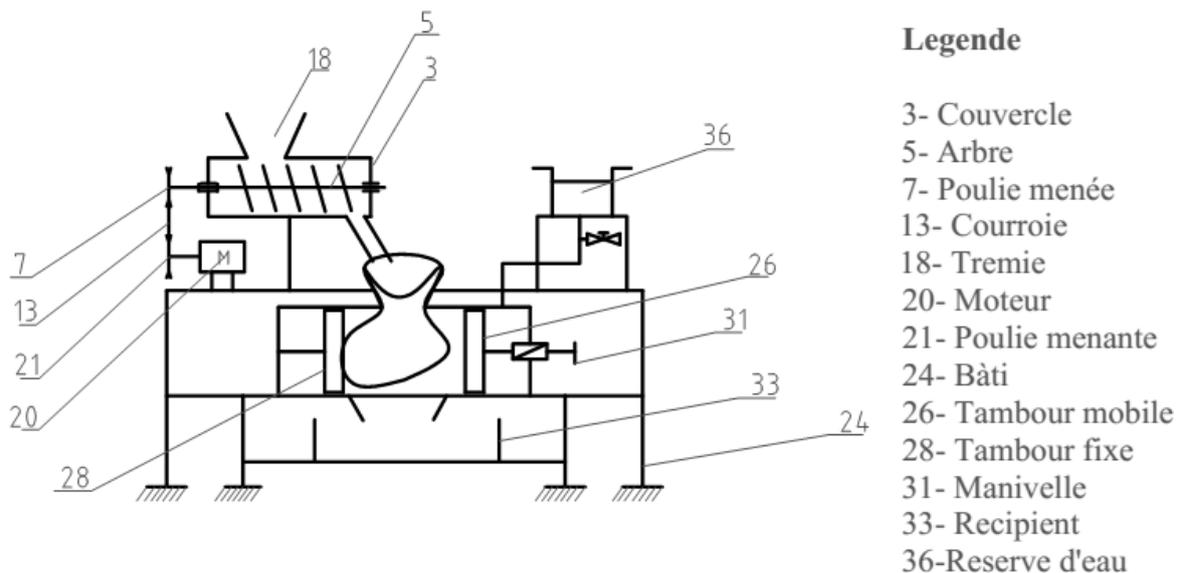


Figure 2.6 : Laveuse de ndolè deux en un

#### a. description et fonctionnement

les feuilles de ndolè sont introduite par la trémie **18** et sont découpées par des lames fixées sur l'arbre **5**, puis ensuite acheminé vers un sac qui recevra le produit et de l'eau pour être presser à l'aide des tambours **28** et **26**, ceci va évacuer l'amertume contenu dans les feuilles de ndolè par la coulée des eaux amères ; cette eau sera recueillie dans un récipient **33** pour nous renseigner sur l'état de la réduction par la coloration.

#### b. Avantages et Inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacité de pressage importante</li> <li>- Utilisation d'un seul moteur</li> <li>- Bon lavage du fait des pressages multiples</li> <li>- Machine deux en un</li> <li>- Encombrement réduit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manipulation à plusieurs endroits</li> <li>-</li> </ul>

### II.3. CHOIX DES SOLUTIONS.

Pour choisir une solution optimale, nous analyserons chacune des solutions proposées. Cette analyse sera basée sur des critères prédéfinis prenant en compte l'analyse fonctionnelle du produit.

**Critères :**

- Coût de réalisation réduit ;
- Rendement ;
- Qualité de lavage ;
- Adaptation de la machine à l'énergie fournie localement ;
- Environnement ;
- Encombrement de la machine ;
- Vibration.

Ces critères seront notés pour chaque machine de 1 à 5 et la solution dont la somme des points sera élevée sera retenue.

**II-3-1-Pondération des différentes solutions.**

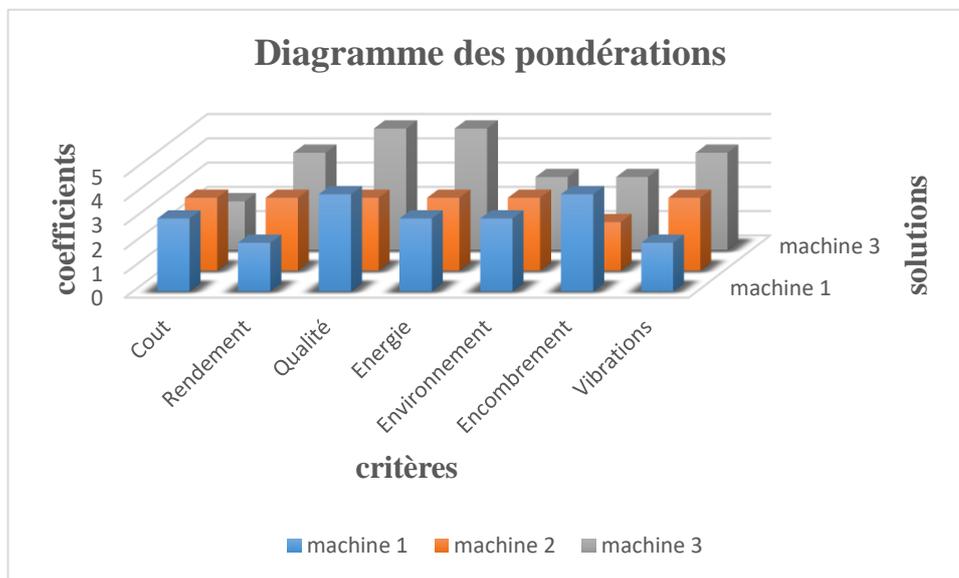
Le tableau ci-dessous nous présente l'évaluation des différentes solutions selon les différents critères choisis. Il est question ici d'attribuer des valeurs de coefficients à chaque machine suivant le critère pour lequel on l'évalue.

*Tableau 2.3 : Pondération des différentes solutions.*

CRITERES	SOLUTIONS PROPOSEES		
	Machine à laver par tétons élastiques	Machine à réduire l'amertume du ndolè par la technique de pilage	Machine à laver deux en un
Cout de réalisation	3	3	2
Rendement	2	3	4
Qualité de lavage	4	3	5
Energie électrique	3	3	5
Environnement	3	3	3
Encombrement	4	2	3
Vibrations	2	3	4
<b>TOTAL/ 40</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>26</b>

**Tableau 2.4 : Présentation simplifiée des critères et solutions**

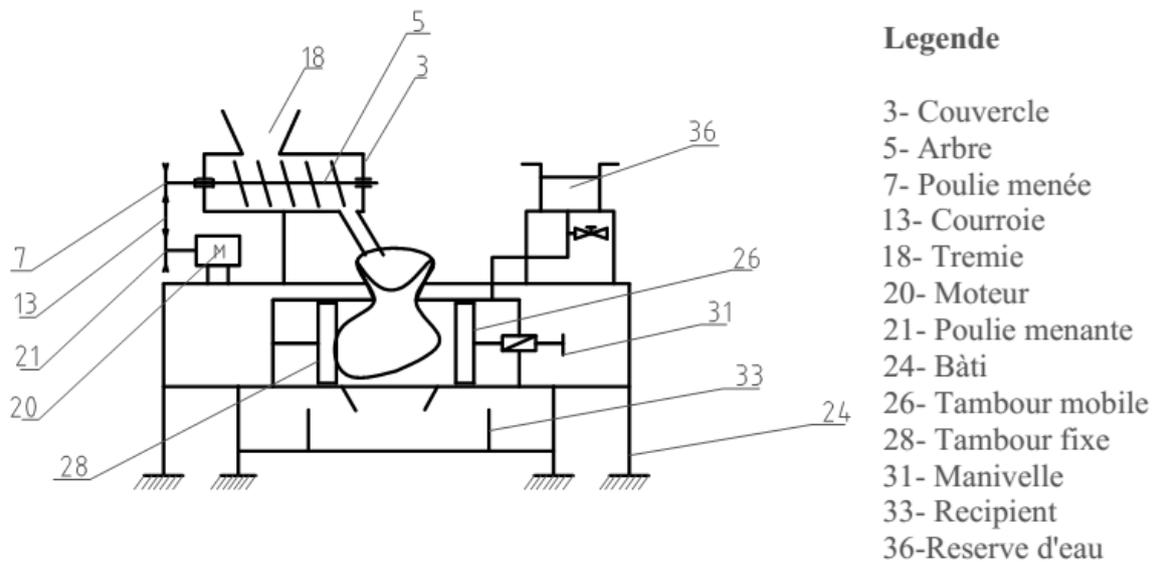
	Cout	Rendement	Qualité	Energie	Environnement	Encombrement	Vibrations
machine 1	3	2	4	3	3	4	2
machine 2	3	3	3	3	3	2	3
machine 3	2	4	5	5	3	3	4



**Figure 2.7 : Diagramme relatif au choix de la solution**

### II-3-2-Présentation de la solution retenue.

Après analyse du tableau ci-dessus et vu le diagramme qui en découle relatif aux différents coefficients de pondération des différentes solutions, il en ressort que la machine à laver deux en un est celle qui convient le mieux à nos attentes car elle est celle qui a le plus grand nombre de points.



*Figure 2.8 : Laveuse de ndolè deux en un*

## CONCLUSION

Nous venons d'effectuer dans ce chapitre une analyse fonctionnelle sur les laveuses de vernonia amygdalina suivit des propositions et de l'analyse de ces solutions proposées à l'aide des outils d'analyse ce qui nous a conduit à partir d'une étude des critères, au choix de notre solution optimale. Nous allons par la suite faire une étude conceptuelle de celle-ci.

## CHAPITRE III : ETUDE CONCEPTUELLE

Dans ce chapitre, il sera question pour nous de déterminer les caractéristique du moteur, de dimensionner les organes du mécanisme, de sortir le dessin d'ensemble de notre machine et les dessins de définition des pièces usinés.

---

III.2. RECHERCHE DES CARACTERISTIQUES ET CHOIX DU MOTEUR.....	41
III.2.2. Détermination de la force de coupe.....	43
III.2.4. Détermination de la force de pressage. ....	45
III.2.5. Détermination de la puissance motrice .....	45
III.3. CHOIX DU MOTEUR .....	46
III.4. RECHERCHE DES PARAMETRES DE LA TRANSMISSION POULIE ET COURROIE .....	46
III.4.1. Caractéristiques de la courroie .....	46
III.4.2. Détermination des tensions dans la courroie.....	49
III.4.3. Synthèse des résultats.....	51
III.5. DIMENSIONNEMENT.....	51
III.5.1. Clavette de l'arbre du moteur.....	51
III.5.2. Dimensionnement de l'arbre .....	53
III.5.3. Choix des Roulements.....	58
III.5.4. Etude de la résistance de l'arbre.....	58
III.5.5. Identification de la section la plus sollicitée .....	65
III.5.6. Dimensionnement du diamètre minimal de l'arbre.....	65
III.6. ETUDE GRAPHIQUE .....	66
III.6.1. Dessin d'ensemble 2D.....	66
III.6.2. Cotation fonctionnelle .....	70
III.6.3. DESSINS DE DEFINITION.....	74

---

### III.1. PRESENTATION DE LA SOLUTION CHOISIE « Laveuse de ndolè deux en un »

#### a) Schéma cinématique

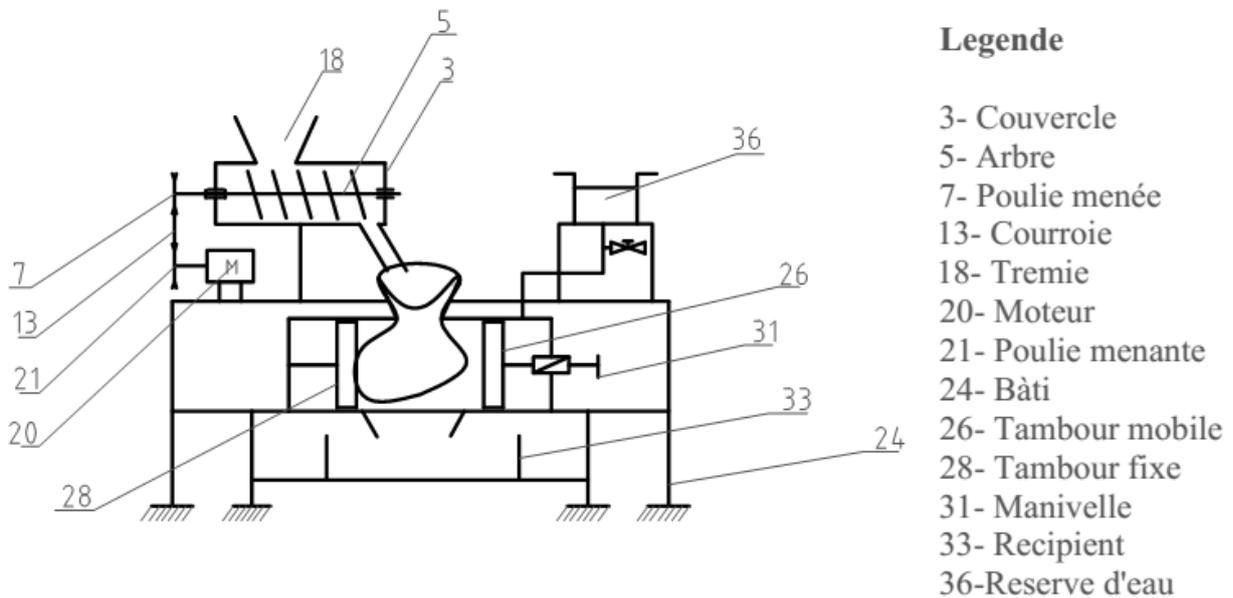


Figure 3.1 : Laveuse de ndolè deux en un

#### b) description et fonctionnement

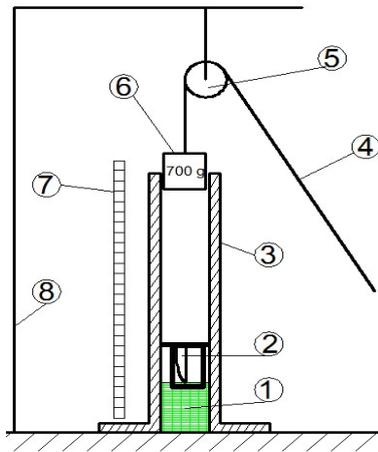
les feuilles de ndolè sont introduite par la trémie **18** et sont découpées par des lames fixées sur l'arbre **5**, puis ensuite acheminées vers un sac qui recevra le produit et de l'eau pour être presser à l'aide des tambours **26** et **28**, ceci va évacuer l'amertume contenu dans les feuilles de ndolè par la coulée des eaux amères ; cette eau sera recueillie dans un récipient **33** pour nous renseigner sur l'état de la réduction par sa coloration.

### III.2. RECHERCHE DES CARACTERISTIQUES ET CHOIX DU MOTEUR

Il sera question pour nous ici de rechercher tous les paramètres qui peuvent nous conduire à un choix judicieux du moteur. Pour ce faire, nous débuterons par une étude expérimentale à partir de laquelle ressortiront tous les éléments clés du choix.

### III.2.1. Essai de lâché N°1

#### Etude expérimentale



#### Légende

1. Feuilles de ndole
2. Lame
3. Coulisseau
4. Câble
5. Poulie
6. Masse de 700g
7. Règle graduée
8. Support de poulie

Figure 3.2 : Essai expérimental 1

#### a) Principe de l'expérience

La figure ci-dessus nous montre l'étude expérimentale qui nous permettra de déterminer l'effort de coupe. En effet, les feuilles de ndole sont placées entre le coulisseau **3** qui guide la lame **2** et la masse **6**, le câble **4** permet de régler la hauteur de la masse qui est fixée à l'extrémité de celui-ci, la règle graduée nous permet de mesurer la hauteur de la masse relativement à la lame, on lâche donc la masse à différentes hauteurs et on observe à chaque fois la quantité coupée des feuilles sachant que la section de la lame est estimée à 0.5mm qui sera aussi la même section des lames de notre machine.

#### b) Résultats de l'expérience

Le tableau ci-après représente le récapitulatif des différents résultats obtenus lors de l'essai

Tableau 3.1 : Résultats de l'expérience

Hauteur ( $h_i$ )	$h_1 = 100\text{mm}$	$h_2 = 200\text{mm}$	$h_3 = 300\text{mm}$	$h_4 = 500\text{mm}$
Epaisseur ( $e_i$ )	$e_1 = 12\text{mm}$	$e_2 = 18.5\text{mm}$	$e_3 = 24\text{mm}$	$e_4 = 36\text{mm}$

#### c) Interprétation des résultats

Hypothèses :

- La friction est négligeable
- $F_C$  est la force expérimentale de coupe correcte
- $F_C'$  est la force expérimentale de coupe incorrecte
- $E_P$  est l'énergie potentielle de la masse
- $g = 10\text{N/kg}$  est l'intensité de la pesanteur
- $m = 700\text{g}$  est la masse utilisée
- $h_i$  c'est l'ensemble des hauteurs à partir du dessus de la lame
- $e_i$  c'est l'ensemble des épaisseurs de coupe
- le système est conservatif d'énergie

Le système conservatif ici est une conservation d'énergie mécanique, et donc toute l'énergie potentielle de la masse  $m$  est transmise à la lame pour découpe des feuilles, ceci dit l'énergie potentielle de la masse  $m$  est égale au travail de la force de coupe :

### III.2.2. Détermination de la force de coupe

$$E_P = W(\vec{F}_C) \Rightarrow mgh_i = F_C' \times e_i \quad [16]$$

$$F_C' = \frac{mgh_i}{e_i} \quad [16]$$

Le tableau ci-dessus nous conduit à avoir quatre valeurs de  $F_C'$  à savoir :

$$F_{C1}' = \frac{mgh_1}{e_1} \quad \text{AN : } F_{C1}' = \frac{0.7 \times 10 \times 100}{12} = 58.33\text{N}$$

$$F_{C2}' = \frac{mgh_2}{e_2} \quad \text{AN : } F_{C2}' = \frac{0.7 \times 10 \times 200}{18.5} = 75.68\text{N}$$

$$F_{C3}' = \frac{mgh_3}{e_3} \quad \text{AN : } F_{C3}' = \frac{0.7 \times 10 \times 300}{24} = 87.50\text{N}$$

$$F_{C4}' = \frac{mgh_4}{e_4} \quad \text{AN : } F_{C4}' = \frac{0.7 \times 10 \times 500}{36} = 97.22\text{N}$$

L'expression de la force de coupe en fonction de la hauteur est due à la réaction des feuilles de ndole sur la lame car plus la lame pénètre les feuilles, plus la friction est bonne et donc pour réduire les erreurs expérimentales, nous ferons la somme des quatre forces de coupes à savoir

$$F_C' = \frac{F_{C1}' + F_{C2}' + F_{C3}' + F_{C4}'}{4}$$

$$\text{AN } F_C' = \frac{58.33 + 75.68 + 87.50 + 97.22}{4} = 79.68 \text{ N}$$

$$F_C' = 79.68 \text{ N} \Rightarrow F_C' \simeq \mathbf{80 \text{ N}}$$

Pour des raisons liées à l'environnement, au positionnement et aux conditions d'utilisation des lames et des feuilles, nous choisissons de multiplier l'effort trouvé expérimentalement par un coefficient de sécurité  $S = 1.2$  et donc notre effort de coupe correct sera donné par la formule ci-après :

$$F_C = F'_C \times S$$

$$\text{AN: } F_C = 80 \times 1.2 \Rightarrow F_C = \mathbf{96 \text{ N}}$$

D'où  $F_C = \mathbf{96 \text{ N}}$

### III.2.3. Essais de lâché N°2

#### a) Etude expérimentale

De manière très simplifiée, la figure ci-dessous nous montre le dispositif qui nous permet de faire l'expérience de lâché pour déterminer l'effort de pressage.

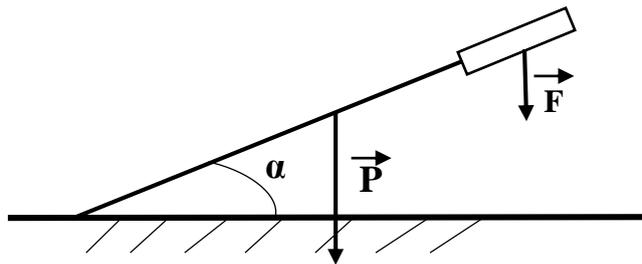


Figure 3.3 : Essai expérimental 2

#### b) Résultats de l'expérience.

Après avoir lâché le solide de masse (m) sur le tas et à des angles d'écartement différents, nous avons les observations contenues dans le tableau suivant :

Tableau 3.2 : Résultats de l'essai N°2

Angle $\alpha$ (en °)	20°	40°	60°	80°
Observations	Les eaux amères ne sortent presque pas	Elles sortent légèrement	On observe une coulée progressive	Les eaux amères s'écoulent de façon permanente

### III.2.4. Détermination de la force de pressage.

Afin de mieux déterminer cette force, nous devons connaître les caractéristiques du mélange humide. Il a un volume  $V$  de  $0,001\text{cm}^3$ , avec un taux d'humidité de 60%, le poids  $P$  de la masse est de 3Kg et on prendra  $g = 10 \text{ N/Kg}$ .

D'après le tableau ci-dessus il en ressort que Les eaux amères s'écoulent de façon permanente à un angle  $\alpha = 80^\circ$ . Etant donné que notre presseoir comporte des tambours qui tournent pour presser le mélange, nous pouvons l'apparenter à notre dispositif expérimental.

$$\tan\alpha = \frac{F}{P} \Rightarrow F = P \times \tan\alpha \quad \text{or } P = m \times g$$

$$\Rightarrow \boxed{F = m \times g \times \tan\alpha} \quad [16] \quad \Rightarrow F = 3 \times 10 \times \tan 80^\circ \Rightarrow \underline{\underline{F = 170.13 \text{ N}}}$$

$$\text{D'où } \boxed{F_P = 170.13 \text{ N}}$$

### III.2.5. Détermination de la puissance motrice

Hypothèses :

- vitesse de rotation à la sortie  $N_s = 1000\text{tr/min}$
- rayon d'une lame  $R = 200\text{mm}$
- $P_m$  : puissance moteur
- $C_r$  : couple résistant
- $F_c$  : effort de coupe

$$F_c = 96$$

$$C_r = F_c \times R \quad [16]$$

$$\text{AN: } C_r = (96 \times 0.20) \text{ N.m} \quad \text{Donc } \boxed{C_r = 19.20 \text{ N.m}}$$

Ceci nous permet d'avoir la puissance motrice donnée par la formule suivante supposant que le rendement global du système est 0.96

$$P_m = C_r \times \frac{\pi N}{30} \quad [16]$$

$$\text{AN: } P_m = 19.20 \times \frac{1000\pi}{30} \Rightarrow \boxed{P_m = 2.01 \text{ KW}}$$

### III.3. CHOIX DU MOTEUR

D'après le Guide du dessinateur industriel à la page 247, nous choisissons un moteur électrique asynchrone triphasé de type **LS 100 L** avec les caractéristiques suivantes :

**2.2 KW – 1500tr/min – 230/240V – 50Hz – IP 55**

### III.4. RECHERCHE DES PARAMETRES DE LA TRANSMISSION POULIE ET COURROIE

Dans cette partie, il sera question pour nous de rechercher tous les éléments qui nous permettront de faire un choix judicieux des courroies en fonction des poulies. La puissance sera transmise du moteur vers la découpeuse.

#### III.4.1. Caractéristiques de la courroie

**Données :**

- $P_m$  : Puissance moteur 2.2 KW
- $N_m$  : Vitesse de rotation du moteur 1500tr/min
- $N_S$  : Vitesse de rotation de l'arbre récepteur 1000tr/min
- $d$  : Diamètre de la poulie menante 100mm
- $D$  : Diamètre de la poulie menée
- $P_s$  : Puissance de service ou de calcul
- $K_s$  : Facteur de service
- $P_t$  : Puissance transmissible par la courroie
- $E_{th}$  : Entraxe théorique
- $E_r$  : Entraxe réelle
- $P_a$  : Puissance admissible
- $R$  : Rapport de transmission
- $\omega_m$  : Vitesse angulaire du moteur en rad/s
- $C_L$  : facteur de longueur de la courroie
- $L_r$  : Longueur réelle de la courroie en mm
- $V_c$  : Vitesse linéaire de la courroie
- $L_p$  : Longueur primitive de la courroie en mm
- $N_c$  : Nombre de courroie
- $K_\theta$  : Facteur d'arc de la courroie

### **Etape 1 : calcul de la puissance de service**

Notre machine sera équipée d'un moteur électrique usuel a couple de démarrage normal ; grâce à ces informations, le tableau en annexe sur les facteurs de service nous permet de choisir un facteur de service de  $K_s = 1.12$  donc nous aurons :

$$P_s = P_m \times K_s \quad [17]$$

$$\text{AN: } P_s = 2.2 \times 1.12 \Rightarrow P_s = 2.5 \text{ KW}$$

### **Etape 2 : choix de la section des courroies**

En fonction de la puissance de service et de la vitesse de rotation du moteur le tableau en annexe sur le choix de la section des courroies nous permet de choisir une courroie trapézoïdale **ISO VP 2 SPZ 10 X 8**

### **Etape 3 : choix du diamètre des poulies**

En utilisant la formule du rapport de transmission on a :

$$R = \frac{N_s}{N_m} = \frac{d}{D} \Rightarrow R = \frac{1000}{1500} = \frac{2}{3} \Rightarrow R = \frac{2}{3} \quad [17]$$

$$D = \frac{1500 \times 100}{1000} = 150 \text{ mm}$$

On a donc  **$R = 0.6$  ;  $d = 100\text{mm}$  et  $D = 150\text{mm}$**

### **Etape 4 : calcul de la vitesse linéaire de la courroie**

$$V_c = \frac{d\omega_m}{2} \text{ or } \omega_m = \frac{\pi N_m}{30} \Rightarrow V_c = \frac{d\pi N_m}{60} \quad [17]$$

$$\text{AN: } V_c = \frac{100 \times 3.14 \times 1500}{60000} = 7.85 \text{ m/s} \Rightarrow V_c = 7.85 \text{ m/s}$$

### **Etape 5 : calcul de l'entraxe théorique**

Nous la déterminerons à partir de l'inéquation suivante :

$$0.7(D + d) < E_{th} < 2(D + d) \quad [15]$$

$$\text{AN: } E_{\text{thmini}} = 0.7(150 + 100) = 175$$

$$\text{AN: } E_{\text{thmax}} = 2(150 + 100) = 500$$

Donc  $175 \leq E_{\text{th}} < 500$

Pour des raisons d'encombrement nous prendrons comme entraxe théorique  $E_{\text{th}} = 400\text{mm}$

### **Etape 6 : calcul de la longueur primitive de la courroie**

$$L_p = 2E_{\text{th}} + \frac{\pi(d+D)}{2} + \frac{(D-d)^2}{4E_{\text{th}}} \quad [15]$$

$$\text{AN: } L_p = 2 \times 400 + \frac{\pi(100 + 150)}{2} + \frac{(150 - 100)^2}{4 \times 400}$$

Donc  $L_p = 1194.26\text{mm}$

La longueur de référence d'après le tableau en annexe intitulé choix des poulies SPZ est  $L_p = 1202\text{mm}$

Finalement, la courroie choisie est **VP 2 L 1202**

### **Etape 7 : calcul de l'entraxe réel**

L'entraxe réel est donné par la formule suivante :

$$E_r = E_{\text{th}} + \frac{L_r - L_p}{2} \quad [15]$$

$$E_r = 400 + \frac{1202 - 1194.26}{2} = 403.87\text{mm}$$

Donc  $E_r = 403.87\text{mm}$

### **Etape 8 : calcul de la puissance admissible**

Nous choisirons cette puissance en fonction de la section de la courroie (**SPZ**), du diamètre de la poulie ménante (**d**), de la vitesse de rotation de l'arbre (**Ns**) et le rapport de transmission **R**. d'après le tableau intitulé **SPZ** courroie **TEXROPE VP 2** aux annexes nous choisissons la puissance admissible  $P_a = 2.4 \text{ KW}$

### **Etape 9 : choix du facteur de longueur et du facteur d'arc**

En fonction de la longueur réelle de la courroie  $L_r = 1202\text{mm}$  et en nous servant du tableau intitulé **SPZ courroie TEXROPE VP 2** en annexe nous choisirons comme facteur de longueur  $C_L = 0.95$

D'autre part en fonction du rapport de transmission  $\frac{D-d}{E_r} = \frac{150-100}{403.87} = 0.12$  et en nous servant du tableau intitulé **sélection des poulies SPZ** en annexe nous choisirons comme facteur d'arc  $K_\theta = 0.98$

#### **Etape 10 : calcul de la puissance transmissible**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$P_t = P_a \times C_L \times K_\theta \quad [17]$$

$$\text{AN: } P_t = 2.4 \times 0.98 \times 0.98 = 2.31 \text{ KW}$$

Donc  $P_t = 2.31 \text{ KW}$

#### **Etape 10 : calcul du nombre de courroie ( $n_c$ )**

$$n_c = \frac{P_s}{P_t} = \frac{2.5}{2.31} = 1.08 \Rightarrow n_c = 1 \text{ courroie}$$

### **III.4.2. Détermination des tensions dans la courroie**

#### **Paramètres :**

$-\alpha_2$  : angle d'enroulement de la courroie sur poulie motrice ;

$-\alpha_4$  : angle d'enroulement de la courroie sur poulie réceptrice ;

T : tension dans le brin tendu (N)

t : tension dans le brin mou (N)

$T_0$  : tension de pose (N)

P : puissance transmissible (KW)

f : coefficient de friction

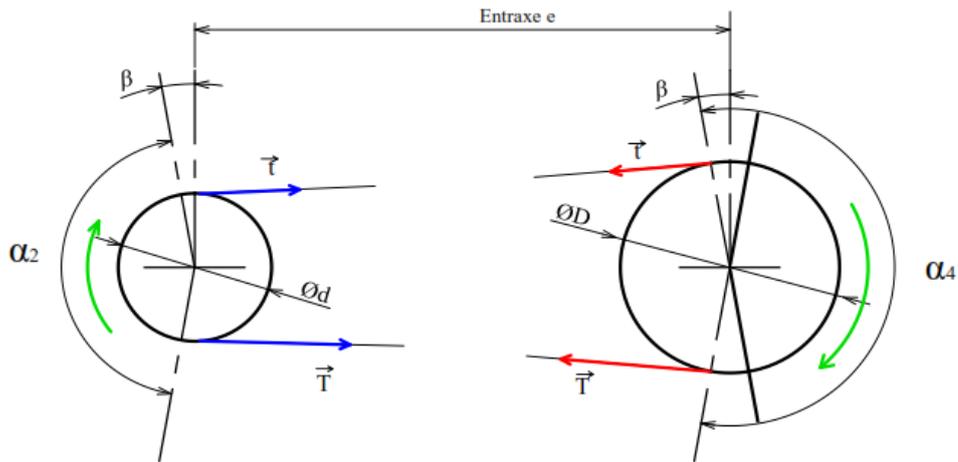


Figure 3.4 : Système poulie et courroie

- Calcul des angles d'enroulement des poulies ménantes et menées  $\alpha_2$  et  $\alpha_4$

$$\alpha_2 = 2\cos^{-1}\left(\frac{D-d}{2E_r}\right) \text{ donc } \alpha_2 = 2\cos^{-1}\left(\frac{150-100}{2 \times 403.87}\right) = 172.90^\circ = 3.01 \text{ rad}$$

$$\Rightarrow \alpha_2 = 3.01 \text{ rad}$$

$$\alpha_4 = 360^\circ - \alpha_2 \Rightarrow \alpha_4 = 360^\circ - 172.90^\circ = 187.1^\circ = 3.26 \text{ rad} \Rightarrow$$

$$\alpha_4 = 3.26 \text{ rad}$$

- Détermination des tensions  $T$ ,  $T_0$  et  $t$

Puisque le rapport de transmission  $R = \frac{d}{D} = 0.6 < 1$  et  $\alpha_2 < \alpha_4$  alors nous pouvons conclure que le risque de glissement est plus important sur la poulie menante

### Hypothèses

- On négligera les effets de la force centrifuge sur la courroie
- Puisque  $\alpha_2 < \alpha_4$ , il est nécessaire de déterminer  $T$  et  $t$  pour la poulie menée
- Coefficient de friction  $f = 0.2$

$$\begin{cases} T - t = \frac{2 \times 19.20}{0.150} \\ T = te^{3 \times 0.2 \times 3.01} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T - t = 256 \text{ (1)} \\ T = 6.08t \text{ (2)} \end{cases}$$

En remplaçant  $T$  par sa valeur dans (1) on obtient :

$$6.08t - t = 256 \Leftrightarrow t = \frac{256}{5.08} = 50.4$$

$$\Rightarrow t = 50.4 \text{ N (3)}$$

(3) dans (2) nous donne :  $6.08 \times 50.4 = 306.5$

$$\Rightarrow T = 306.5 \text{ N}$$

Tension de pose

$$T_0 = \frac{T + t}{2} \Rightarrow T_0 = \frac{306.5 + 50.4}{2} = 178.45 \text{ N}$$

$$\Rightarrow T_0 = 178.45 \text{ N}$$

### III.4.3. Synthèse des résultats

PARAMETRES	CARACTERISTIQUES
Puissance moteur ( $P_m$ )	$(P_m) = 2.2 \text{ KW}$
Vitesse de rotation du moteur ( $N_m$ )	$(N_m) = 1500 \text{ tr/min}$
Type de courroie choisie	courroie trapézoïdale ISO VP 2 SPZ 10 X 8
Diamètre des poulies	$d = 100\text{mm} ; D = 150\text{mm}$
Nombre de courroie ( $N_c$ )	$(N_c) = 1$
Longueur standard de la courroie ( $L_p$ )	$(L_p) = 1202\text{mm}$
Vitesse linéaire de la courroie ( $V_c$ )	$(V_c) = 7.85 \text{ m/s}$
Coefficient de friction de la courroie (f)	$(f) = 0.2$
Tension du brin mou (t)	$(t) = 50.4 \text{ N}$
Tension du brin tendu (T)	$(T) = 306.5 \text{ N}$
Tension de pose ( $T_0$ )	$(T_0) = 178.45 \text{ N}$
Entraxe réelle ( $E_r$ )	$(E_r) = 403.87\text{mm}$

## III.5. DIMENSIONNEMENT

### III.5.1. Clavette de l'arbre du moteur

Dans la grande majorité des cas, le matage est prépondérant sur le cisaillement. On ne se contente donc de dimensionner les clavettes que par rapport à cette sollicitation.

La figure ci-dessous nous montre une clavette montée entre un arbre et un moyeu afin de les rendre solidaire.

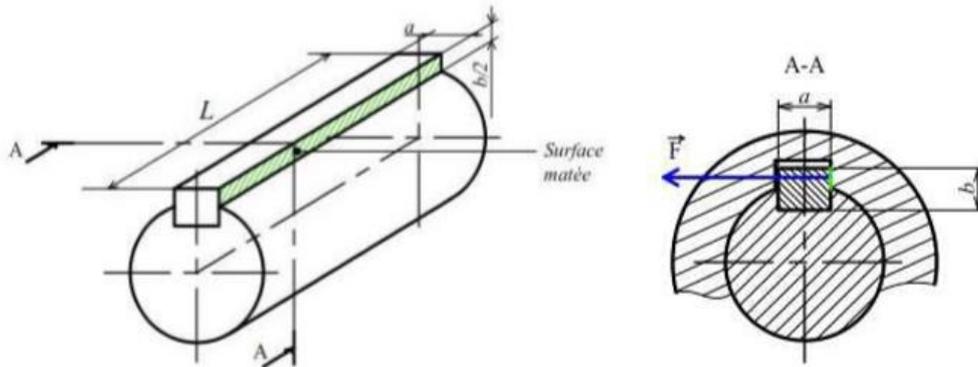


Figure 3.5: Schématisation de la clavette montée.

**Données :**

- Diamètre de l'arbre du moteur  $d=22\text{mm}$  ;
- Couple résistant  $C_r = 19.20 \text{ N.m}$  ;
- Section de la clavette  $S = a \times b$  avec  $a=8$  et  $b=7$
- La pression admissible de la clavette  $P_{adm} = 45\text{MPa}$  car nous sommes dans les bonnes conditions de fonctionnement et dans un cas moyen d'utilisation.

L'effort exercé sur la clavette est donné par la relation  $F = \frac{2C_r}{d}$  [15]

La pression de contact exercée sur la clavette est  $P = \frac{F}{S}$  or cet effort s'exerce sur le demi-flanc de la clavette. On a donc  $S=L \times h$  et  $h = \frac{b}{2}$

- La pression de contact devient donc  $P = \frac{2F}{L \cdot b}$ .

La longueur de la clavette se détermine à partir de la condition de résistance  $P \leq P_{adm}$

$$\frac{2F}{L \cdot b} \leq P_{adm} \Rightarrow \frac{4C_r}{L \cdot b \cdot d} \leq P_{adm} \Rightarrow \frac{4C_r}{d \cdot L \cdot b} \leq P_{adm}$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{L} \leq \frac{P_{adm} \cdot b \cdot d}{4C_r} \quad \text{Alors} \quad \boxed{L \geq \frac{4C_r}{P_{adm} \cdot b \cdot d}} \quad [15]$$

$$AN: L \geq \frac{4 * 19.20 * 10^3}{45 * 7 * 22} = 11.08 \Rightarrow L \geq \mathbf{11.08 \text{ mm}}$$

Pour un bon fonctionnement, nous prendrons selon le MEMENTO une longueur  $L=18\text{mm}$ .

### III.5.2. Dimensionnement de l'arbre

Il a pour but de déterminer le diamètre minimal de l'arbre de découpe.

Soit le schéma de l'arbre **5** isolé.

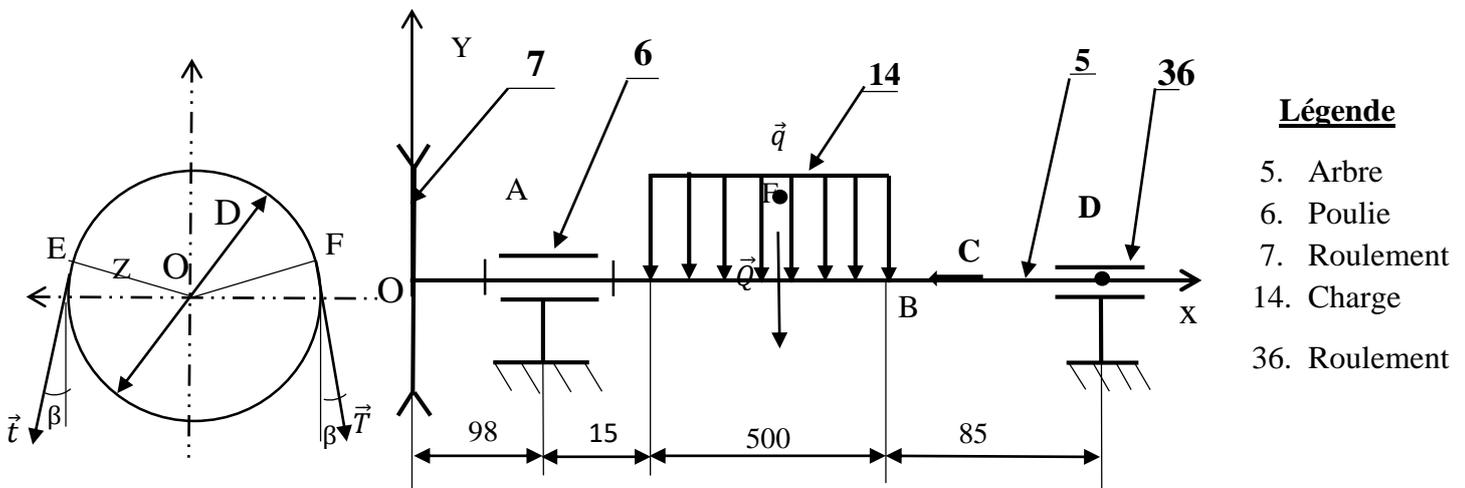


Figure 3.6 : Arbre 5 isolé

#### Hypothèses :

- L'arbre est isotrope et homogène
- Les poids de la poulie et de l'arbre sont négligés
- Les liaisons sont supposés parfaites
- L'espace est rapporté au repère  $R(O, x ; y ; z)$
- $L$  : longueur de répartition des lames sur l'arbre :  $L = 500 \text{ mm}$
- $n$  : le nombre de Lames sur l'arbre:  $n = 10$
- $m$  : la masse d'une lame:  $m = 0,370 \text{ Kg}$
- en A on a une liaison pivot
- en B une liaison linéaire annulaire

➤ **Détermination de  $\beta$**

$$\sin\beta = \frac{d_2 - d_1}{2E}$$

$$\beta = \sin\left(\frac{d_2 - d_1}{2E}\right)$$

$$\text{AN: } \beta = \sin\left(\frac{150 - 100}{2 \times 403.87}\right)$$

D'où  $\beta = 3.54^\circ$

Projetons D et E suivant (o, z, y)

$$\vec{E} \begin{matrix} 0 \\ -t\cos\beta \\ t\sin\beta \end{matrix} \quad \vec{F} \begin{matrix} 0 \\ -T\cos\beta \\ -T\sin\beta \end{matrix}$$

❖ Calcul de la charge répartie sur l'arbre

Charge répartie :  $q = \frac{10P}{l}$  or  $p = m \times g$

$$q = \frac{10 \times m \times g}{l}$$

AN:  $q = \frac{10 \times 0,370 \times 10}{0,500} = 74$  D'où  $q = 74 \text{ N/m}$

❖ Calcul de la charge de répartition sur le point F

$$Q = q \times l$$

AN :  $Q = 74 \times 0,500 = 37$   $Q = 37 \text{ N}$

➤ **Torseur des actions mécaniques**

$$\{\tau_{7 \rightarrow 5}\}_O = \begin{matrix} \begin{pmatrix} X_O & L_O \\ Y_O & M_O \\ Z_O & N_O \end{pmatrix}_{(x, y, z)} \\ \begin{pmatrix} 0 & (T-t)\frac{d}{2} \\ -(T+t)\cos\beta & 0 \\ -(T-t)\sin\beta & 0 \end{pmatrix}_{(x, y, z)} \end{matrix}$$

$$\{\tau_{6 \rightarrow 5}\}_A = \begin{matrix} \begin{pmatrix} X_A & L_A \\ Y_A & M_A \\ Z_A & N_A \end{pmatrix}_{(x, y, z)} \\ \begin{pmatrix} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ Z_A & 0 \end{pmatrix}_{(x, y, z)} \end{matrix}$$

$$\{\tau_{14 \rightarrow 5}\}_F = \begin{Bmatrix} X_B & L_B \\ Y_B & M_B \\ Z_B & N_B \end{Bmatrix}_{(x, y, z)} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -Q & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(x, y, z)}$$

$$\{\tau_{C \rightarrow 5}\}_C = \begin{Bmatrix} X_C & L_C \\ Y_C & M_C \\ Z_C & N_C \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 & -19.20 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(x, y, z)}$$

$$\{\tau_{36 \rightarrow 5}\}_D = \begin{Bmatrix} X_D & L_D \\ Y_D & M_D \\ Z_D & N_D \end{Bmatrix}_{(x, y, z)} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_D & 0 \\ Z_D & 0 \end{Bmatrix}_{(x, y, z)}$$

➤ Réduction des torseurs au point A

Torseur en O au point A

$$\{\tau_{7 \rightarrow 5}\}_A = \begin{Bmatrix} \vec{R}_0 \\ \vec{M}_A(\vec{R}_0) \end{Bmatrix}_{(x, y, z)}$$

$$\Leftrightarrow \vec{M}_A(\vec{R}_0) = \vec{M}_O + \vec{AO} \wedge \vec{R}_0$$

$$\begin{vmatrix} (T+t)\frac{D}{2} & -98 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -98 & 0 \\ 0 & -(T+t)\cos\beta \\ 0 & -(T-t)\sin\beta \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} (T-t)\frac{D}{2} & 0 \\ 0 & -98(T-t)\sin\beta \\ 0 & 98(T+t)\cos\beta \end{vmatrix}$$

$$= \begin{vmatrix} (T-t)\frac{D}{2} \\ -0.098(T-t)\sin\beta \\ 0.098(T+t)\cos\beta \end{vmatrix}$$

$$\Rightarrow \{\tau_{7 \rightarrow 5}\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & (T-t)\frac{D}{2} \\ -(T+t)\cos\beta & -0.098(T-t)\sin\beta \\ -(T-t)\sin\beta & 0.098(T+t)\cos\beta \end{Bmatrix}_{(x, y, z)}$$

Torseur en A au point A

$$\{\tau_{6 \rightarrow 5}\}_A = \begin{Bmatrix} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ Z_A & 0 \end{Bmatrix}_{(x, y, z)}$$

Torseur en F au point A

$$\{\tau_{14 \rightarrow 5}\}_A = \left\{ \begin{array}{c} \overrightarrow{R_F} \\ \overrightarrow{M_A}(\overrightarrow{R_F}) \end{array} \right\}_{(x, y, z)}$$

$$\Leftrightarrow \overrightarrow{M_A}(\overrightarrow{R_F}) = \overrightarrow{M_F} + \overrightarrow{AF} \wedge \overrightarrow{R_F}$$

$$\begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 265 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 0 \\ -Q \\ 0 \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -0.265Q \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -0.265Q \end{vmatrix} \Rightarrow \{\tau_{14 \rightarrow 5}\}_A = \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ -Q \\ 0 \end{array} \right\}_A \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ -0.265Q \end{array} \right\}_{(x, y, z)}$$

Torseur en C au point A

$$\{\tau_{C \rightarrow 5}\}_A = \left\{ \begin{array}{c} \overrightarrow{R_C} \\ \overrightarrow{M_A}(\overrightarrow{R_C}) \end{array} \right\}$$

$$\Leftrightarrow \overrightarrow{M_A}(\overrightarrow{R_C}) = \overrightarrow{M_C} + \overrightarrow{AC} \wedge \overrightarrow{R_C}$$

$$\begin{vmatrix} -19.20 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 530 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} -19.20 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -19.20 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \Rightarrow \{\tau_{C \rightarrow 5}\}_A = \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right\}_A \left\{ \begin{array}{c} -19.20 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right\}_{(x, y, z)}$$

Torseur en D au point A

$$\{\tau_{36 \rightarrow 5}\}_A = \left\{ \begin{array}{c} \overrightarrow{R_D} \\ \overrightarrow{M_A}(\overrightarrow{R_D}) \end{array} \right\}_{(x, y, z)}$$

$$\Leftrightarrow \overrightarrow{M_A}(\overrightarrow{R_D}) = \overrightarrow{M_D} + \overrightarrow{AD} \wedge \overrightarrow{R_D}$$

$$\begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 600 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 0 \\ Y_D \\ Z_D \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ -0.600Z_D \\ 0.600Y_D \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ -0.600Z_D \\ 0.600Y_D \end{vmatrix} \Rightarrow \{\tau_{36 \rightarrow 5}\}_A = \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ Y_D \\ Z_D \end{array} \right\}_A \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ -0.600Z_D \\ 0.600Y_D \end{array} \right\}_{(x, y, z)}$$

D'après le principe fondamental de la statique appliqué au système, on a :

$$\sum_A \{\tau\}_R = \{0\}_R$$

Soit :

$$\{\tau_{7 \rightarrow 5}\}_A + \{\tau_{C \rightarrow 5}\}_A + \{\tau_{36 \rightarrow 5}\}_A + \{\tau_{14 \rightarrow 5}\}_A + \{\tau_{6 \rightarrow 5}\}_A = \{0\}$$

$$\Rightarrow \begin{Bmatrix} 0 & (T+t)\frac{d}{2} \\ -(T+t)\cos\beta & -0.098(T-t)\sin\beta \\ - (T-t)\sin\beta & 0.098(T+t)\cos\beta \end{Bmatrix}_A + \begin{Bmatrix} 0 & -19.20 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A + \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_D & -0.600Z_D \\ Z_D & 0.600Y_D \end{Bmatrix}_A +$$

$$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -Q & 0 \\ 0 & -0.265Q \end{Bmatrix}_A + \begin{Bmatrix} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ Z_A & 0 \end{Bmatrix}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

On obtient le système suivant :

$$\begin{cases} 0 + 0 + 0 + X_A = 0 & (1) \\ -(T+t)\cos\beta + Y_D - Q + Y_A = 0 & (2) \\ -(T-t)\sin\beta + Z_D + 0 + Z_A = 0 & (3) \\ (T-t)\frac{d}{2} - 19.20 + 0 + 0 = 0 & (4) \\ -0.098(T-t)\sin\beta - 0.600Z_D + 0 + 0 = 0 & (5) \\ 0.098(T+t)\cos\beta + 0.600Y_D - 0.265Q + 0 = 0 & (6) \end{cases}$$

Or :

$$(T+t)\cos\beta = (306.5 + 50.4) \cos(3.54) = 356.21N$$

$$(T-t)\sin\beta = (306.5 - 50.4) \sin(3.54) = 15.81N$$

Nous aurons alors :

$$\left\{ \begin{array}{l} (1) \Rightarrow X_A = 0 \\ (5) \Rightarrow Z_D = \frac{-(0.098(T-t)\sin\beta)}{0.600} \Rightarrow Z_D = -2.58 \\ (6) \Rightarrow Y_D = \frac{-0.098(T+t)\cos\beta + 0.265Q}{0.600} \Rightarrow Y_D = -41.83 \\ (2) \Rightarrow Y_A = 435.04 \\ (3) \Rightarrow Z_A = 18.39 \\ (4) \Rightarrow (T-t)\frac{d}{2} = 19.20 \end{array} \right. \Rightarrow \begin{cases} X_A = 0 \\ Y_A = 435.04 \\ Z_A = 18.39 \\ Y_D = -41.83 \\ Z_D = -2.58 \\ (T-t)\frac{d}{2} = 19.20 \end{cases}$$

On obtient donc les torseurs suivants :

$$\{\tau_{7 \rightarrow 5}\}_O = \begin{Bmatrix} 0 & 19.20 \\ 356.21 & -1.549 \\ 15.81 & 34.90 \end{Bmatrix}_{(x, y, z)} ; \quad \{\tau_{36 \rightarrow 5}\}_D = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -41.83 & 1.548 \\ -2.58 & -25.01 \end{Bmatrix}_{(x, y, z)} ;$$

$$\{\tau_{C \rightarrow 5}\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & -19.20 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(x, y, z)}$$

$$\{\tau_{14 \rightarrow 5}\}_F = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -37 & 0 \\ 0 & -9.805 \end{Bmatrix}_{(x, y, z)} ; \quad \{\tau_{6 \rightarrow 5}\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 435.04 & 0 \\ 18.39 & 0 \end{Bmatrix}_{(x, y, z)}$$

### III.5.3. Choix des Roulements

Le guidage en rotation de l'arbre du système est assuré par un roulement à une rangée de billes. En fonction des charges appliquées à celui-ci, nous choisirons les dimensions normalisées de notre roulement.

#### Données :

-  $F_Y = 435.04\text{N}$ ,  $F_Z = 18.39\text{N}$

- La fréquence de rotation de l'arbre du système est  $N = 1000\text{trs/min}$

- Détermination de la charge statique du roulement

$P = XF_r + YF_a$  Or  $F_a = F_x = 0$ , pour les roulements à une rangée de billes  $X=1$

$P = F_r$ ; la charge radiale  $F_r$  se décompose en deux ; on a donc  $F_r = \begin{Bmatrix} F_Y \\ F_Z \end{Bmatrix}$

$$P = \sqrt{F_Y^2 + F_Z^2} \quad \text{AN : } P = \sqrt{(435.04)^2 + (18.39)^2} \Rightarrow P = 435.42\text{N}$$

La durée de vie souhaitée est  $L_H = 10000\text{heures}$

- Détermination de la charge dynamique de base

$$L_H = \frac{10^6}{60N} \left( \frac{C_r}{P} \right) \Rightarrow C^3 = \frac{P^3 * L_H * 60 * N}{10^6} \Rightarrow C = \sqrt[3]{\frac{P^3 * L_H * 60 * N}{10^6}} \quad [15]$$

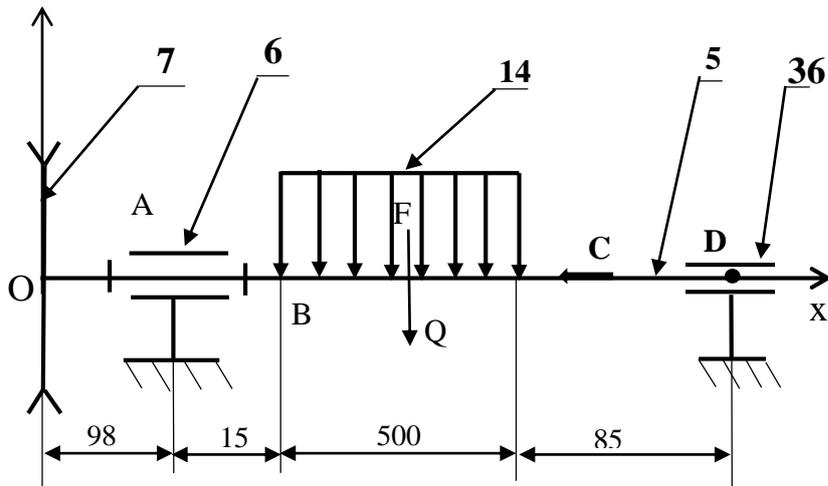
$$\text{AN : } C = \sqrt[3]{\frac{435.42^3 * 10000 * 60 * 1000}{10^6}} \Rightarrow C = 3672.47 \text{ N} = 3.67 \text{ KN}$$

Nous choisissons dans le MEMENTO de dessin industriel Tome II à la page 138 une charge dynamique de base étant  $C = 3.67\text{KN}$  à laquelle correspond un roulement **SKF 61807**. Son diamètre intérieur est  $d = 35\text{mm}$ , son diamètre extérieur est  $D = 47\text{mm}$  et sa largeur est  $B = 7\text{mm}$ .

Après réduction des torseurs au point A, nous pouvons déterminer les efforts de cohésions exercées sur l'arbre qui porte les lames.

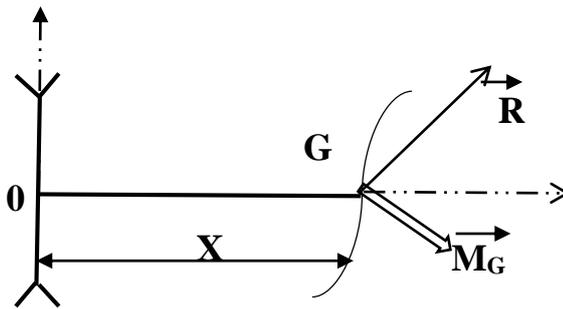
### III.5.4. Etude de la résistance de l'arbre

a) Etude statique



➤ Détermination des efforts de cohésions.

- **Zone OA :**  $0 \leq x \leq 0.098$



$$\sum \{\tau_{coh}\}_G = \begin{pmatrix} N & M_T \\ T_Y & M_{Fy} \\ T_Z & M_{Fz} \end{pmatrix} ; \{\tau_{7 \rightarrow 5}\}_G = \begin{pmatrix} \vec{R}_0 \\ \vec{M}_G(R_0) \end{pmatrix}$$

Or :

$$\Leftrightarrow \vec{M}_G(R_0) = \vec{M}_O + \vec{GO} \wedge \vec{R}_0$$

$$\begin{vmatrix} 19.20 & -x & 0 \\ 0 & 0 & 356.21 \\ 0 & 0 & 15.81 \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} 19.20 & 0 \\ 0 & 15.81x \\ 0 & -356.21x \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 19.20 \\ 15.81x \\ -356.21x \end{vmatrix}$$

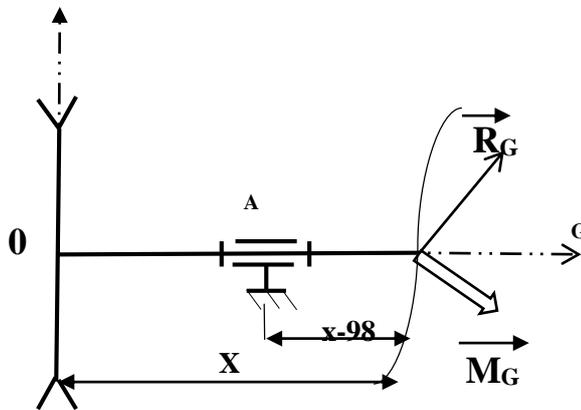
$$\Rightarrow \{\tau_{7 \rightarrow 5}\}_G = \begin{pmatrix} 0 & 19.20 \\ 356.21 & 15.81x \\ 15.81 & -356.21x \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \Sigma\{\tau\}_G = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ \vec{0} \end{Bmatrix} \Rightarrow \{\tau_{coh}\}_G + \{\tau_{7 \rightarrow 5}\}_G = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

$$\Leftrightarrow \begin{Bmatrix} N & M_T \\ T_Y & M_{Fy} \\ T_Z & M_{Fz} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 & 19.20 \\ 356.21 & 15.81x \\ 15.81 & -356.21x \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

D'où  $N = 0$  ;  $T_Y = -356.21 \text{ N}$  ;  $T_Z = -15.81 \text{ N}$  ;  $M_T = -19.20 \text{ N}$  ;  $M_{Fy} = -15.81x \text{ N}$  ;  
 $M_{Fz} = 356.21x \text{ N}$

- **Zone AB :**  $0.098 \leq x \leq 0.113$



$$\Sigma\{\tau_{coh}\}_G = \begin{Bmatrix} N & M_T \\ T_Y & M_{Fy} \\ T_Z & M_{Fz} \end{Bmatrix} ; \{\tau_{7 \rightarrow 5}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 19.20 \\ 356.21 & 15.81x \\ 15.81 & -356.21x \end{Bmatrix} ;$$

$$\{\tau_{6 \rightarrow 5}\}_G = \begin{Bmatrix} \vec{R}_A \\ \vec{M}_G(R_A) \end{Bmatrix} ;$$

Or :

$$\vec{M}_G(\vec{R}_A) = \vec{M}_A + \vec{GA} \wedge \vec{R}_A$$

$$\begin{vmatrix} 0 & -(x-0.098) & 0 \\ 0 & 0 & 435.04 \\ 0 & 0 & 18.39 \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 0 \\ 18.39x - 1.802 \\ -435.04x + 42.63 \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 18.39x - 1.802 \\ 0 & -435.04x + 42.63 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 18.39x - 1.802 \\ -435.04x + 42.63 \end{vmatrix}$$

$$\Rightarrow \{\tau_{6 \rightarrow 5}\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 435.04 & 18.39x - 1.802 \\ 18.39 & -435.04x + 42.63 \end{Bmatrix}$$

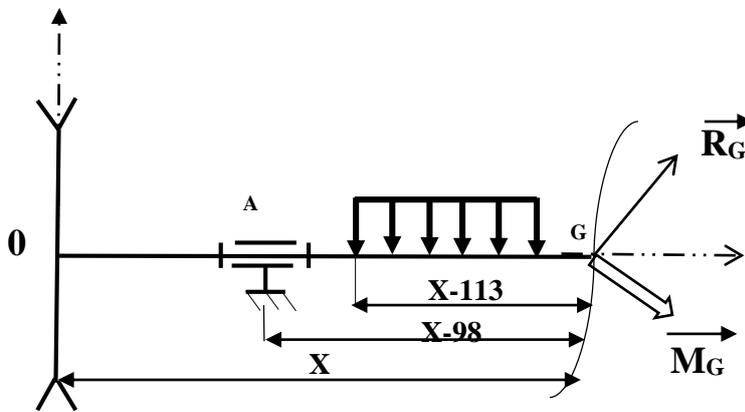
$$\Rightarrow \Sigma\{\tau\}_G = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ \vec{0} \end{Bmatrix} \Rightarrow \{\tau_{coh}\}_G + \{\tau_{6 \rightarrow 5}\}_G + \{\tau_{7 \rightarrow 5}\}_G = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} N & M_T \\ T_Y & M_{Fy} \\ T_Z & M_{Fz} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 435.04 & 18.39x - 1.802 \\ 18.39 & -435.04x + 42.63 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 & 19.20 \\ 356.21 & 15.81x \\ 15.81 & -356.21x \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

D'où  $N = 0N$  ;  $T_Y = -791.25N$  ;  $T_Z = -34.2$  ;  $M_T = -19.20$  ;

$$M_{Fy} = -34.2x + 1.802$$
 ;  $M_{Fz} = 791.25x - 42.63$

- **Zone BC :**  $0.113 \leq x \leq 0.613$



$$\Sigma\{\tau_{coh}\}_G = \begin{Bmatrix} N & M_T \\ T_Y & M_{Fy} \\ T_Z & M_{Fz} \end{Bmatrix} ; \{\tau_{7 \rightarrow 5}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 19.20 \\ 356.21 & 15.81x \\ 15.81 & -356.21x \end{Bmatrix} ; \{\tau_{C \rightarrow 5}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & -19.20 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

$$\{\tau_{6 \rightarrow 5}\}_G = \{\tau_{6 \rightarrow 5}\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 435.04 & 18.39x - 1.802 \\ 18.39 & -435.04x + 42.63 \end{Bmatrix} ; \{\tau_{14 \rightarrow 5}\}_G = \begin{Bmatrix} \vec{R}_F \\ \vec{M}_G \end{Bmatrix}$$

$$\vec{M}_G(\vec{R}_F) = \vec{M}_F + \vec{GF} \wedge \vec{R}_F$$

$$\begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -\frac{(x-0.113)^2}{2} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} 0 \\ -q(x-0.113) \\ 0 \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ q \frac{(x-0.113)^2}{2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ q \frac{(x-0.113)^2}{2} \end{Bmatrix}$$

$$\Rightarrow \{\tau_{14 \rightarrow 5}\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -74x + 8.362 & 0 \\ 0 & 37x^2 - 8.362x + 0.469 \end{Bmatrix}$$

$$\Rightarrow \Sigma\{\tau\}_G = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ \vec{0} \end{Bmatrix} \Rightarrow \{\tau_{coh}\}_G + \{\tau_{6 \rightarrow 5}\}_G + \{\tau_{7 \rightarrow 5}\}_G + \{\tau_{C \rightarrow 5}\}_G + \{\tau_{14 \rightarrow 5}\}_G = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

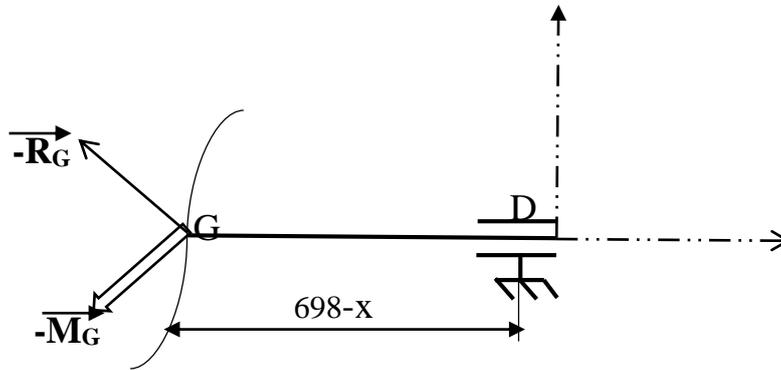
$$\begin{Bmatrix} N & M_T \\ T_Y & M_{Fy} \\ T_Z & M_{Fz} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 435.04 & 18.39x - 1.802 \\ 18.39 & -435.04x + 42.63 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 & 19.20 \\ 356.21 & 15.81x \\ 15.81 & -356.21x \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 & -19.20 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix} +$$

$$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -74x + 8.362 & 0 \\ 0 & 37x^2 - 8.362x + 0.469 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

D'où  $N = 0N$  ;  $T_Y = 74x - 799.612N$  ;  $T_Z = -34.2$  ;  $M_T = 0N$  ;

$$M_{Fy} = -34.2x + 1.802$$
 ;  $M_{Fz} = -37x^2 + 799.88x - 43.01$

- **Zone CD:**  $0.613 \leq x \leq 0.698$



$$\Sigma\{\tau_{coh}\}_G = \begin{Bmatrix} -N & -M_T \\ -T_Y & -M_{Fy} \\ -T_Z & -M_{Fz} \end{Bmatrix} ; \{\tau_{36 \rightarrow 5}\}_G = \begin{Bmatrix} \vec{R}_D \\ \vec{M}_G(\vec{R}_D) \end{Bmatrix}$$

Or :

$$\Leftrightarrow \vec{M}_G(\vec{R}_D) = \vec{M}_D + \vec{GD} \wedge \vec{R}_D$$

$$\begin{vmatrix} 0 & 0.698 - x \\ 1.548 & 0 \\ -25.01 & 0 \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 0 \\ -41.83 \\ -2.58 \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 1.548 & 1.80 - 2.58x \\ -25.01 & -29.20 + 41.83x \end{vmatrix} =$$

$$\begin{vmatrix} 0 \\ -2.58x + 3.348 \\ 41.83x - 54.21 \end{vmatrix}$$

$$\Rightarrow \{\tau_{36 \rightarrow 5}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -41.83 & -2.58x + 3.348 \\ -2.58 & 41.83x - 54.21 \end{Bmatrix}$$

$$\Rightarrow \sum\{\tau\}_G = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ \vec{0} \end{Bmatrix} \Rightarrow \{\tau_{coh}\}_G + \{\tau_{36 \rightarrow 5}\}_G = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} -N & -M_T \\ -T_Y & -M_{Fy} \\ -T_Z & -M_{Fz} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -41.83 & -2.58x + 3.348 \\ -2.58 & 41.83x - 54.21 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

D'où  $N = 0N$  ;  $T_Y = -41.83$  ;  $T_Z = -2.58$  ;  $M_T = 0$  ;  $M_{Fy} = -2.58x + 3.348$  ;

$$M_{Fz} = 41.83x - 54.21$$

**a) Tableau récapitulatif des efforts de cohésion**

Efforts	Zone OA		Zone AB		Zone BC		Zone CD	
Points	O	A	A	B	B	C	C	D
Abscisses	0	0.098	0.098	0.113	0.113	0.613	0.613	0.698
N	0	0	0	0	0	0	0	0
T <sub>Y</sub>	-356.21	-356.21	-791.25	-791.25	-791.25	-754.25	-41.83	-41.83
T <sub>Z</sub>	-15.81	-15.81	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-2.58	-2.58
M <sub>T</sub>	-19.20	-19.20	-19.20	-19.20	0	0	0	0
M <sub>FY</sub>	0	-1.549	-1.549	-2.062	-2.062	-19.162	1.766	1.547
M <sub>FZ</sub>	0	34.90	34.91	46.78	46.90	433.41	-28.56	-25.01

Après avoir déterminer les réactions aux appuis A et D, et les efforts de cohésions dans chaque tronçon de l'arbre qui porte les lames, nous procédons au tracé des efforts de cohésions agissant dans cet arbre.

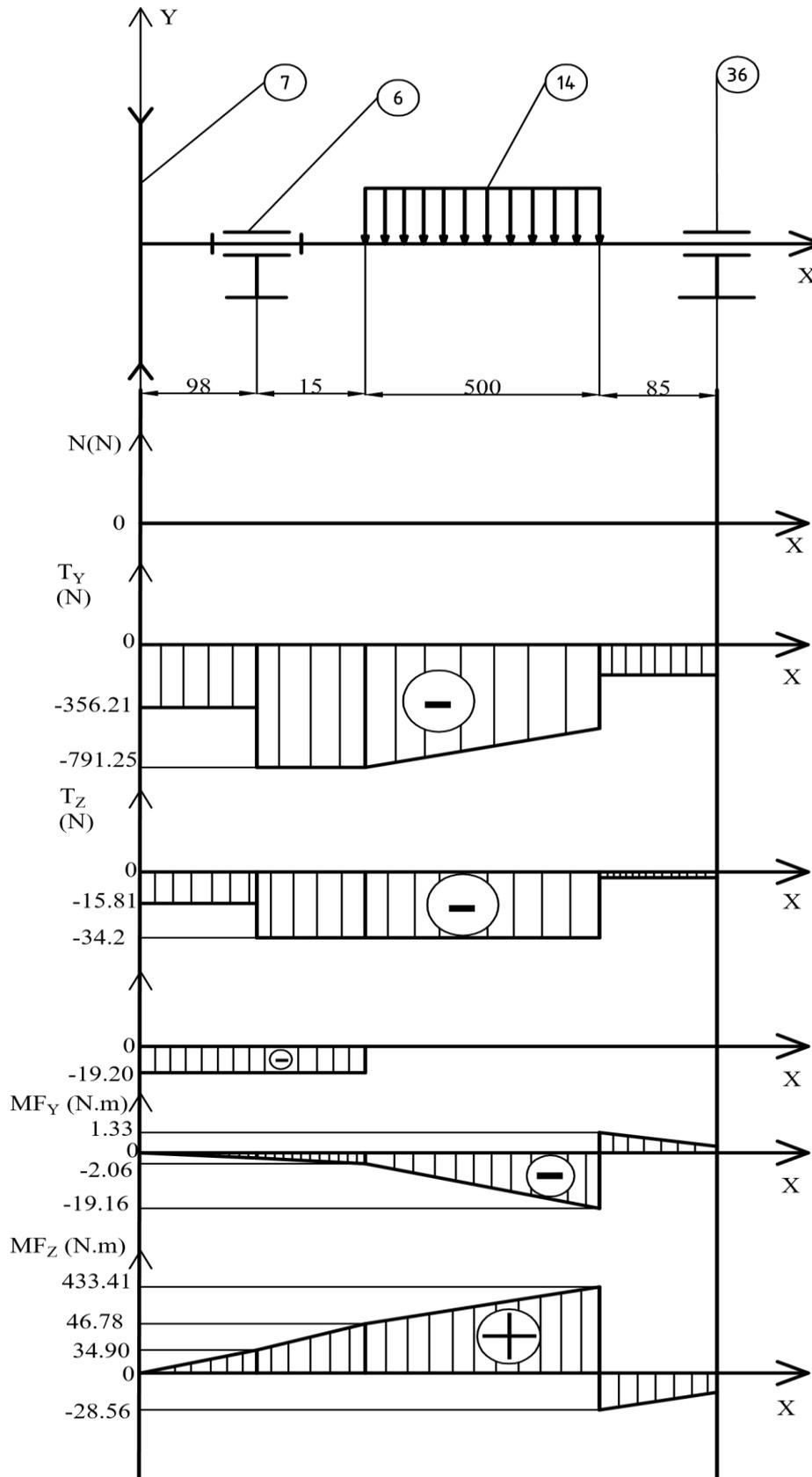


Figure 3.7 : Diagramme des efforts de cohésions

D'après le diagramme ci-dessus, notre poutre est soumise à une sollicitation composée d'une flexion et d'une torsion.

### III.5.5. Identification de la section la plus sollicitée

La section la plus sollicitée est La section BC car

$$M_{F\max i} = \sqrt{M_{fy}^2 + M_{fz}^2} \quad [16]$$

$$\text{AN: } M_{F\max i} = \sqrt{(-19.16)^2 + (433.41)^2} \Rightarrow M_{F\max i} = 433.83 \text{ N.m}$$

### III.5.6. Dimensionnement du diamètre minimal de l'arbre

#### Hypothèses :

Notre arbre et nos lames sont en acier inoxydable (fortement allié) : **X6 CrNiTi18-11** et supposé peser 10kg concentré entre les deux roulements, puis fortement conseiller pour l'agro-alimentaire. On prendra comme résistance à la rupture élastique  $R_e = 360 \text{ MPa}$  et nous adopterons un coefficient de sécurité  $S = 5$

#### ➤ Selon le critère de VON MISES

Ce critère nous permet de trouver le diamètre minimal de notre arbre à partir du moment idéal de flexion.

#### - Calcul du Moment idéal de flexion

$$M_{IF} = \frac{1}{2} \left( M_{F\max i} + \sqrt{M_{F\max i}^2 + M_{T\max i}^2} \right) \quad [16]$$

$$\text{AN: } M_{IF} = \frac{1}{2} \left( 433.83 + \sqrt{(433.83)^2 + (-19.20)^2} \right) \Rightarrow M_{IF} = 434.04 \text{ N.m}$$

#### - Calcul du diamètre minimal

Selon le critère de VON MISES on a la condition suivante :  $\tau_{\max} \leq \tau_p$

$$\text{Or } \tau_{\max} = \frac{M_{IF}}{\frac{I_{Gz}}{v}} = \frac{M_{IF}}{\frac{\pi d^4}{64}} \times \frac{d}{2} = \frac{32M_{IF}}{\pi d^3} \quad \text{et } \tau_p = \frac{R_e}{S} \Rightarrow \frac{32M_{IF}}{\pi d^3} \leq \frac{R_e}{S} \quad [16]$$

$$\text{D'où } d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \times M_{IF} \times S}{\pi \times R_e}}$$

$$\text{AN: } d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \times 434.04 \times 5 \times 10^3}{\pi \times 360}} \Rightarrow d \geq 39.45 \text{ mm}$$

➤ **Selon le critère de TRESCA**

Cette condition nous permet de trouver le diamètre minimal de notre arbre à partir du moment idéal de torsion.

• **Calcul du moment idéal de torsion**

$$M_{I_t} = \sqrt{M_{f_{\max}}^2 + M_{T_{\max}}^2} \quad [16]$$

$$\text{AN: } M_{I_t} = \sqrt{(433.83)^2 + (-19.20)^2} \Rightarrow M_{I_t} = 434.25 \text{ N.m}$$

• **Calcul du diamètre minimal**

Selon le critère de TRESCA on a la condition suivante :  $\tau_{\max} \leq \tau_{pg}$

$$\text{Or } \tau_{\max} = \frac{M_{I_t}}{I_{Go}} = \frac{M_{I_t}}{\frac{\pi d^4}{32}} \times \frac{d}{2} = \frac{16M_{I_t}}{\pi d^3} \quad \text{et } \tau_{pg} = \frac{R_{pg}}{S} = \frac{R_e}{2S} \Rightarrow \frac{16M_{I_t}}{\pi d^3} \leq \frac{R_e}{2S} \quad [16]$$

$$\text{D'où } d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \times M_{I_t} \times S}{\pi \times R_e}}$$

$$\text{AN : } d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \times 434.25 \times 5 \times 10^3}{\pi \times 360}} \Rightarrow d \geq 39.45 \text{ mm}$$

Etant donné que les roulements choisis précédemment ont une bague intérieure de diamètre normalisé  $d = 35\text{mm}$ , nous adopterons donc pour notre arbre un diamètre  **$d = 35\text{mm}$**

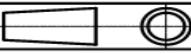
### III.6. ETUDE GRAPHIQUE

Ici, il sera question de présenter le dessin d'ensemble de notre machine, la nomenclature, les différentes chaînes de côtes et les dessins de définition de quelques pièces usinées.

#### III.6.1. Dessin d'ensemble 2D

**DESSIN D'ENSEMBLE**

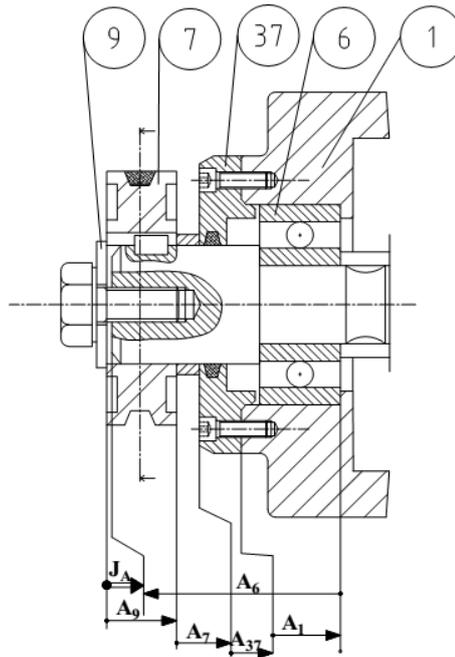
## NOMENCLATURE

38	2	Circlips exterieur	C22	Commerce
37	4	Vis de fixation	C35	Commerce
36	1	Entretoise moteur	C35	Commerce
35	1	Rondelle W M10		Commerce
34	1	Couvercle d'entree	S235	Usiné
33	8	Boulon H M10	C35	Commerce
31	1	Recipient		Commerce
29	1	volant	C35	Mecano-soudé
28	1	Vis d'entrainement	C35	Commerce
27	1	Butée a bille		Commerce
26	1	Tambour fixe	Bois	Fabriqué
24	1	Tambour mobile	Bois	Fabriqué
23	1	Bloc de pressage	S235	Mecano-soudé
22	1	Bati	S235	Mecano-soudé
18	1	Tremie	EN AC-AI Si12	Mecano-soudé
16	1	Moteur asynchrone triphasé		Commerce
15	1	Tami	X6CrNiTi18-11	Commerce
14	10	Lames	X6CrNiTi18-11	
13	1	Porte lame	X6CrNiTi18-11	
12	1	Courroie SPZ		Commerce
11	1	Entretoise	C35	Commerce
10	2	Clavette forme A 8x7x18	C10	Commerce
9	2	Rondelle plate N M30	C30	Commerce
8	1	VIS CH M12-18	C35	Commerce
7	1	POULIE RECEPTRICE	EN AC-AI Si12	Commerce
6	2	Roulement SKF 61807		Commerce
5	1	ARBRE	X6CrNiTi18-11	Usiné
4	2	Joint paulsta		Commerce
3	1	Couvercle en sortie	S295	Usiné
2	8	Vis CHC M10 - 32	C 35	Commerce
1	1	Bloc de découpe	S 235	Mecano-soudé
REP	NBRE	DESIGNATIONS	MATIERES	OBSERVATIONS
ENSET D'EBOWA				
ECHELLE: 1/40		NOMENCLATURE	FOLIO 2	
			FM 5	
A4 V		NGOYO BASSILEKIN LEONEL P	03/05/2020	

### III.6.2. Cotation fonctionnelle

Dans cette partie, nous nous proposons d'étudier les cotes conditions des différents jeux de fonctionnement de notre machine à réduire l'amertume des feuilles de ndolè.

#### - Calcul relatif au jeu $J_A$



**Données :**  $J_A = ?$   $A_9 = 16^{\pm 0,1}$   $A_7 = 15^{\pm 0,1}$   $A_{37} = 40^{\pm 0,2}$   $A_1 = 17^{\pm 0,2}$   $A_6 = 85^{\pm 0,2}$

#### a) Détermination de la cote $J_A$

$$J_{A \text{ Maxi}} = (A_9 + A_7 + A_{37} + A_1)_{\text{Maxi}} - A_6_{\text{mini}}$$

$$= (16.1 + 15.1 + 40.2 + 17.2) - 84.8$$

$$J_{A \text{ Maxi}} = 3.8$$

$$J_{A \text{ mini}} = (A_9 + A_7 + A_{37} + A_1)_{\text{mini}} - A_6_{\text{Maxi}}$$

$$= (15.9 + 14.9 + 39.8 + 16.8) - 85.2$$

$$J_{A \text{ mini}} = 2.2$$

#### b) Détermination de l'intervalle de tolérance

$$IT_A = J_{A \text{ Maxi}} - J_{A \text{ mini}}$$

$$= 3.8 - 2.2$$

$$IT_A = 1.6$$

**c) Détermination de la cote nominale**

$$C_N = \frac{J_{A \text{ Maxi}} + J_{A \text{ mini}}}{2}$$

$$= \frac{3.8 + 2.2}{2}$$

$$\text{Donc } C_N = 3$$

**d) Détermination des différents écarts**

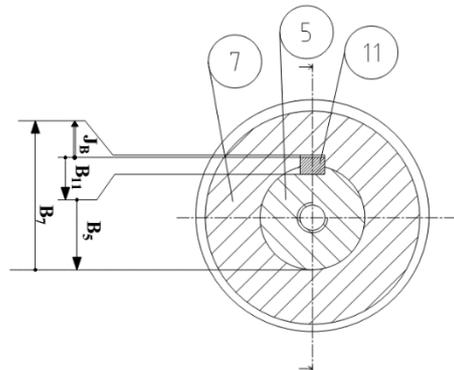
$$es = J_{A \text{ Maxi}} - C_N \quad ei = J_{A \text{ mini}} - C_N$$

$$= 2.2 - 3 \quad = 3.8 - 3$$

$$es = 0.8 \quad ei = -0.8$$

$$\text{Donc } \underline{J_A = 3^{\pm 0.8}}$$

**- Calcul relatif au jeu J<sub>B</sub>**



$$\text{Données : } J_B = ? \quad B_{11} = 7^{\pm 0.2} \quad B_5 = 30^{\pm 0.1} \quad B_7 = 39^{\pm 0.2}$$

**a) Détermination de la cote J<sub>B</sub>**

$$J_{B \text{ Maxi}} = B_{7 \text{ Maxi}} - (B_{11} + B_5)_{\text{mini}}$$

$$= 39.2 - (6.8 + 29.9)$$

$$J_{B \text{ Maxi}} = 2.5$$

$$\begin{aligned} J_{B \text{ mini}} &= B_{7 \text{ mini}} - (B_{11} + B_5)_{\text{Maxi}} \\ &= 38.8 - (7.2 + 30.1) \end{aligned}$$

$$J_{B \text{ mini}} = 1.5$$

**b) Détermination de l'intervalle de tolérance**

$$IT_B = J_{B \text{ Maxi}} - J_{B \text{ mini}}$$

$$= 2.5 - 1.5$$

$$IT_B = 1$$

**c) Détermination de la cote nominale**

$$\begin{aligned} C_N &= \frac{J_{B \text{ Maxi}} + J_{B \text{ mini}}}{2} \\ &= \frac{2.5 + 1.5}{2} \end{aligned}$$

$$\text{Donc } C_N = 2$$

**d) Détermination des différents écarts**

$$es = J_{B \text{ Maxi}} - C_N$$

$$= 2.5 - 2$$

$$es = 0.5$$

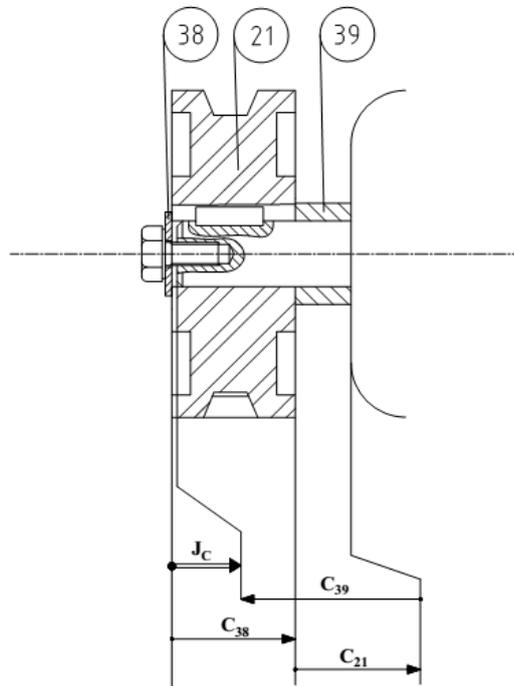
$$ei = J_{B \text{ mini}} - C_N$$

$$= 1.5 - 2$$

$$ei = -0.5$$

$$\text{Donc } \underline{J_B = 2^{\pm 0.5}}$$

- Calcul relatif au jeu Jc



**Données :**  $J_c = ?$   $C_{38} = 16^{\pm 0,1}$   $C_{21} = 15^{\pm 0,1}$   $C_{39} = 28^{\pm 0,2}$

**a) Détermination de la cote  $J_c$**

$$J_{c \text{ Maxi}} = (C_{38} + C_{21})_{\text{Maxi}} - C_{39 \text{ mini}}$$

$$= (16.1 + 15.1) - 27.8$$

$$\mathbf{J_{c \text{ Maxi}} = 3.4}$$

$$J_{c \text{ mini}} = (C_{38} + C_{21})_{\text{mini}} - C_{39 \text{ Maxi}}$$

$$= (15.9 + 14.9) - 28.2$$

$$\mathbf{J_{c \text{ mini}} = 2.6}$$

**b) Détermination de l'intervalle de tolérance**

$$IT_c = J_{c \text{ Maxi}} - J_{c \text{ mini}}$$

$$= 3.4 - 2.6$$

$$\mathbf{IT_B = 0.8}$$

**c) Détermination de la cote nominale**

$$C_N = \frac{J_{C \text{ Maxi}} + J_{C \text{ mini}}}{2}$$
$$= \frac{3.4 + 2.6}{2}$$

Donc  $C_N = 3$

**d) Détermination des différents écarts**

$$es = J_{C \text{ Maxi}} - C_N \qquad ei = J_{C \text{ mini}} - C_N$$
$$= 3.4 - 3 \qquad = 2.6 - 3$$
$$es = 0.4 \qquad ei = -0.4$$

Donc  $J_C = 3^{\pm 0.4}$

### III.6.3. DESSINS DE DEFINITION

Dans cette partie il est question pour nous de présenter quelques dessins de définition des pièces usinés.

## ARBRE DE LA LAVEUSE

## COUVERCLE

## PORTE-LAME

## CHAPITRE IV : ETUDE DE REALISATION

La réalisation d'une pièce dans le domaine de la mécanique nécessite le respect d'un processus de réalisation qui passe par certains outils. Dans ce chapitre donc, nous nous limiterons à faire l'analyse de fabrication de l'arbre de la découpeuse ; de présenter la notice d'utilisation et de maintenance ; de présenter les résultats émanant des essais du dispositif, ensuite entamer une discussion en comparaison avec les machines existante et enfin ressortir une estimation du cout de fabrication.

---

IV.1. ANALYSE DE FABRICATION.....	79
IV.1.1. DESSIN DE DEFINITION.....	79
IV.1.2. DESSIN DE FABRICATION .....	80
IV.1.3. GRAPHS DE LIAISON DES COTES FONCTIONNELLES.....	81
IV.1.4. TABLEAU DE DETERMINATION DES OPERATIONS ELEMENTAIRES	82
IV.1.5. TABLEAU D'ASSOCIATION DES SURFACES ELEMENTAIRES .....	83
IV.1.7. TABLEAU DES NIVEAUX D'USINAGE .....	85
IV.1.8. TABLEAU DE GROUPEMENT EN PHASE (Graphe de GANTT).....	86
IV.1.9. AVANT-PROJET D'ETUDE DE FABRICATION.....	86
IV.1.11. CONTRATS DE PHASES .....	88
IV-2- REALISATION ET ESSAIS DU PROTOTYPE .....	95
IV-2-1 PRESENTATION DU PROTOTYPE .....	95
IV-3- NOTICES D'UTILISATION ET DE MAINTENANCE .....	95
IV-4-2- DISCUSSIONS.....	99
IV-5- ESTIMATION DU COUT DU PROTOTYPE.....	100
IV-5-1- ESTIMATION DU COUT DE LA MATIERE D'ŒUVRE .....	100
IV-5-2- ESTIMATION DU COUT DE FABRICATION .....	101

---

#### IV.1. ANALYSE DE FABRICATION.

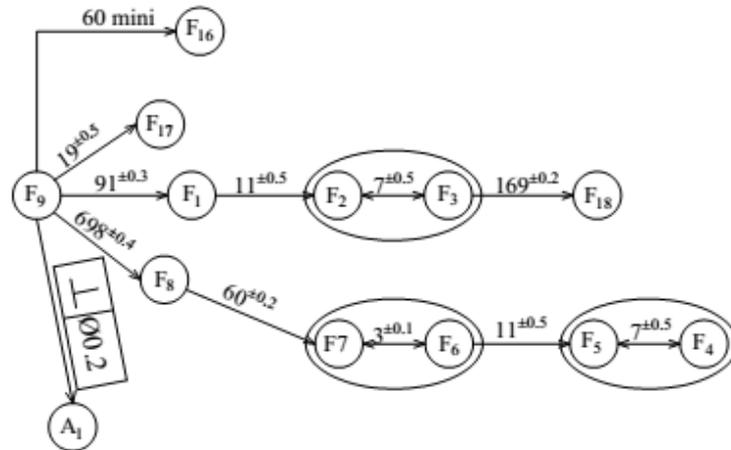
Dans cette partie il est question pour nous de ressortir l'**Avant-Projet d'Etude de Fabrication (APEF)** ainsi que les différents contrats de phase relative à l'usinage de l'arbre de la machine.

##### IV.1.1. DESSIN DE DEFINITION

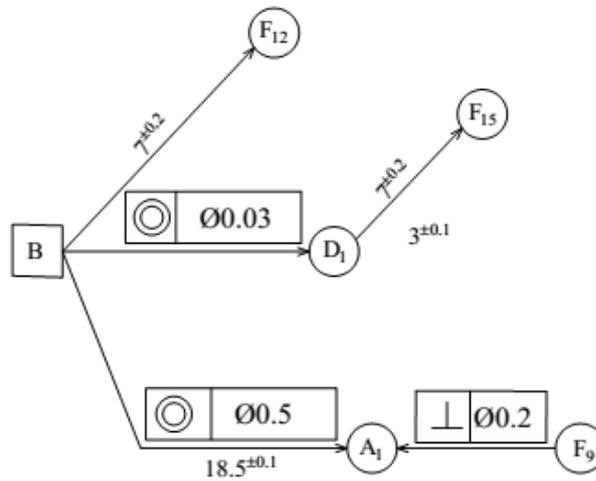
#### IV.1.2. DESSIN DE FABRICATION

IV.1.3. GRAPHES DE LIAISON DES COTES FONCTIONNELLES

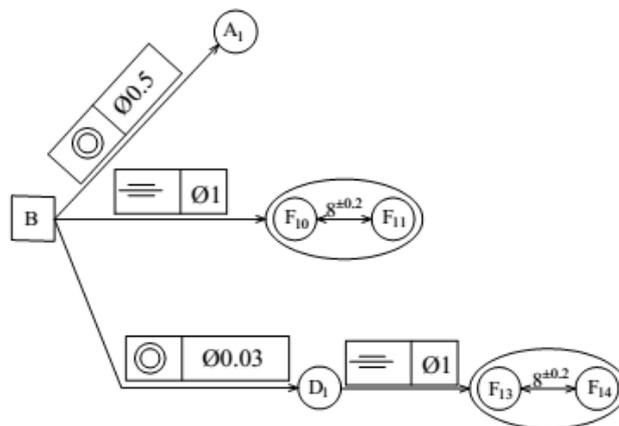
DIRECTION OX



DIRECTION OY



DIRECTION OZ



IV.1.4. TABLEAU DE DETERMINATION DES OPERATIONS ELEMENTAIRES

Tableau 4.1 : Tableau de détermination des opérations élémentaires

REPERE DES SURFACE S USINEES	EXIGENCES FONCTIONNELLES			EXIGENCES TECHNOLOGIQUES	OPERATIONS ELEMENTAIRES	
	I.T	Ra	Particuliers		Nbre	Symbolisation
F <sub>1</sub>	0.6	3.2			01	F <sub>1</sub> F
F <sub>2</sub>	1	3.2			01	F <sub>2</sub> F
F <sub>3</sub>	1	3.2			01	F <sub>3</sub> F
F <sub>4</sub>	1	3.2			01	F <sub>4</sub> F
F <sub>5</sub>	1	3.2			01	F <sub>5</sub> F
F <sub>6</sub>	0.4	3.2			01	F <sub>6</sub> F
F <sub>7</sub>	0.4	3.2			01	F <sub>7</sub> F
F <sub>8</sub>	0.8	3.2			01	F <sub>8</sub> F
F <sub>9</sub>	0.4	3.2			01	F <sub>9</sub> F
F <sub>10</sub>	1	3.2			01	F <sub>10</sub> F
F <sub>11</sub>	1	3.2			01	F <sub>11</sub> F
F <sub>12</sub>	0.4	3.2			01	F <sub>12</sub> F
F <sub>13</sub>	1	3.2			01	F <sub>13</sub> F
F <sub>14</sub>	1	3.2			01	F <sub>14</sub> F
F <sub>15</sub>	0.4	3.2			01	F <sub>15</sub> F
F <sub>16</sub>	0.4	3.2			01	F <sub>16</sub> F
F <sub>17</sub>	1	3.2			01	F <sub>17</sub> F
F <sub>18</sub>	0.4	3.2			01	F <sub>18</sub> F
D <sub>1</sub>	0.03	1.6	H7		03	D <sub>1</sub> E, D <sub>1</sub> F/2, D <sub>1</sub> F
D <sub>2</sub>	0.2	3.2		Contrainte économique	01	D <sub>2</sub> F
A <sub>1</sub>	0.2	3.2		Contrainte d'opération	02	A <sub>1</sub> E, A <sub>1</sub> F

#### IV.1.5. TABLEAU D'ASSOCIATION DES SURFACES ELEMENTAIRES

**Tableau 4.2 : Tableau d'association des surfaces élémentaires**

<b>Surfaces élémentaires associées</b>	<b>JUSTIFICATIONS (Nature des outils, outillages, etc...)</b>	<b>Nouvelles désignations</b>
D <sub>1</sub> F, F <sub>1</sub> F	Outil couteau en ARS	G <sub>1</sub> F
D <sub>2</sub> F, F <sub>2</sub> F, F <sub>3</sub> F	Outil à saigner épaisseur 3 à 7 mm en ARS	G <sub>2</sub> F
D <sub>2</sub> F, F <sub>4</sub> F, F <sub>5</sub> F	Outil à saigner épaisseur 3 à 7 mm en ARS	G <sub>3</sub> F
D <sub>2</sub> F, F <sub>6</sub> F, F <sub>7</sub> F	Outil à saigner épaisseur 3 à 7 mm en ARS	G <sub>4</sub> F
F <sub>10</sub> F, F <sub>11</sub> F, F <sub>12</sub> F, F <sub>17</sub> F	Fraise à rainurer 2T, Ø8 à queue cylindrique ARS	G <sub>5</sub> F
F <sub>13</sub> F, F <sub>14</sub> F, F <sub>15</sub> F, F <sub>18</sub> F	Fraise à rainurer 2 dents, Ø8 à queue cylindrique ARS	G <sub>6</sub> F
F <sub>16</sub> F, A <sub>1</sub> F	Taraud machine M8x1.5	G <sub>7</sub> F

IV.1.6. TABLEAU D'ANALYSE DES CONTRAINTES D'ANTERIORITES

Tableau 4.3 : Tableau d'analyse des contraintes d'antériorités

Surfaces élémentaires	CONTRAINTES												
	DIMENSIONNELLES	GEOMETRIQUES							TECHNOLOGIQUES			ECONOMIQUES	
								Autres	Reprises	Opérations	Bavures	Moindre usinage	Outil de finition
G <sub>1</sub> E	F <sub>9</sub> F			B					F <sub>8</sub> F, F <sub>9</sub> F				
G <sub>1</sub> F/2	F <sub>9</sub> F			B					F <sub>8</sub> F, F <sub>9</sub> F	G <sub>1</sub> E			
G <sub>1</sub> F	F <sub>9</sub> F			B					F <sub>8</sub> F, F <sub>9</sub> F	G <sub>1</sub> F/2			
G <sub>2</sub> F	G <sub>1</sub> F								F <sub>8</sub> F, F <sub>9</sub> F				
G <sub>3</sub> F	G <sub>4</sub> F, G <sub>1</sub> F								F <sub>8</sub> F, F <sub>9</sub> F				
G <sub>4</sub> F	F <sub>8</sub> F, G <sub>1</sub> F								F <sub>8</sub> F, F <sub>9</sub> F				
G <sub>5</sub> F	B, F <sub>9</sub> F						B		G <sub>1</sub> F				
G <sub>6</sub> F							G <sub>1</sub> F		G <sub>1</sub> F				
G <sub>7</sub> E	B, F <sub>9</sub> F		F <sub>9</sub> F	B					G <sub>1</sub> F				
G <sub>7</sub> F	B, F <sub>9</sub> F		F <sub>9</sub> F	B					G <sub>1</sub> F	G <sub>7</sub> E			
F <sub>8</sub> F	F <sub>9</sub> F												
F <sub>9</sub> F													

IV.1.7. TABLEAU DES NIVEAUX D'USINAGE

Tableau 4.4 : Tableau des niveaux d'usinage

		ENTREES													TOTAL											
SORTIES		B	G <sub>1</sub> E	G <sub>1</sub> F/2	G <sub>1</sub> F	G <sub>2</sub> F	G <sub>3</sub> F	G <sub>4</sub> F	G <sub>5</sub> F	G <sub>6</sub> F	G <sub>7</sub> E	G <sub>7</sub> F	F <sub>8</sub> F	F <sub>9</sub> F			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
		B														0										
		G <sub>1</sub> E	1											1	1	3	1	0								
		G <sub>1</sub> F/2	1	1										1	1	4	2	1	0							
		G <sub>1</sub> F	1		1									1	1	4	2	1	1	0						
		G <sub>2</sub> F				1								1	1	3	2	1	1	1	0					
		G <sub>3</sub> F				1		1						1	1	4	3	2	2	2	1	0				
		G <sub>4</sub> F				1								1	1	3	2	1	1	1	0					
		G <sub>5</sub> F	1			1									1	3	1	1	1	1	0					
		G <sub>6</sub> F				1										1	1	1	1	1	0					
		G <sub>7</sub> E	1			1									1	3	1	1	1	1	0					
		G <sub>7</sub> F	1			1							1		1	4	2	2	2	2	1	0				
		F <sub>8</sub> F													1	1	0									
	F <sub>9</sub> F										1	1			2	2	2	2		2	1	0				
															B	F <sub>8</sub> F	G <sub>1</sub> E	G <sub>1</sub> F/2	G <sub>1</sub> F	G <sub>2</sub> F G <sub>4</sub> F G <sub>5</sub> F G <sub>6</sub> F G <sub>7</sub> E	G <sub>3</sub> F G <sub>7</sub> F	F <sub>9</sub> F				

IV.1.8. TABLEAU DE GROUPEMENT EN PHASE (Graphe de GANTT)

Tableau 4.5 : Tableau de groupement en phase

NIVEAUX D'USINAGE	OPERATIONS ELEMENTAIRES									
1	F <sub>8</sub> F									
2	G <sub>1</sub> E									
3	G <sub>1</sub> F/2									
4	G <sub>1</sub> F									
5	G <sub>2</sub> F	G <sub>4</sub> F	G <sub>5</sub> F	G <sub>6</sub> F	G <sub>7</sub> E					
6	G <sub>3</sub> F				G <sub>7</sub> F					
7	F <sub>9</sub> F									
8										
9										
10										

IV.1.9. AVANT-PROJET D'ETUDE DE FABRICATION

Tableau 4.6 : Tableau d'avant-projet d'étude de fabrication

N° DE PHASE	DESIGNATIONS	SURFACES USINEES (Dans l'ordre logique)
10	Contrôle du brut	Poste de contrôle du brut
20	Tournage 1	F <sub>8</sub> F, G <sub>1</sub> E, G <sub>1</sub> F/2, G <sub>1</sub> F, G <sub>2</sub> F, G <sub>4</sub> F, G <sub>3</sub> F, F <sub>9</sub> F
30	Tournage 2	G <sub>7</sub> E, G <sub>7</sub> F
40	Fraisage 1	G <sub>5</sub> F
50	Fraisage 2	G <sub>6</sub> F
60	Contrôle final	Poste de contrôle des produits finis

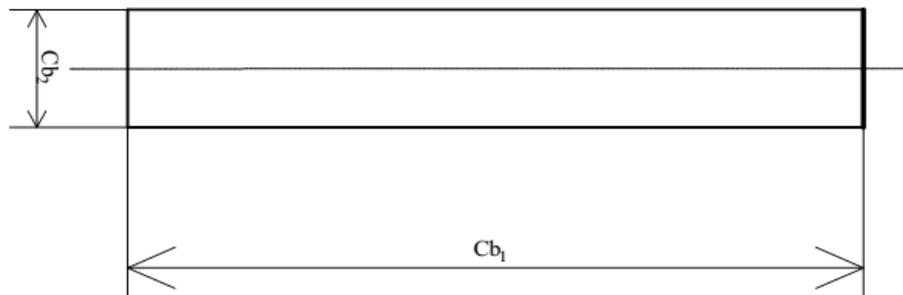
IV.1.10. TABLEAU DE DETERMINATION DES COTES DU BRUT

Tableau 4.7 : Tableau de détermination des cotes du brut

Conditions	Rep	mini →	mini ← Maxi	IT	Observations
Bureau d'étude	C <sub>1</sub>	697.6	698.4	0.8	698 <sup>±0.4</sup>
Bureau des méthodes	C <sub>pm1</sub>	0.1			
	C <sub>pm2</sub>	0.1			
Chaîne de cotes	C <sub>pm1</sub>		0.1	0.1	698.5 <sup>+0.7</sup>
	C <sub>1</sub>		698.4	0.8	
	C <sub>2</sub>	698.5		0.7	
	Σ	698.5	698.5		
	C <sub>pm2</sub>		0.1	0.1	699.3 <sup>+0.6</sup>
	C <sub>b</sub>	699.3		0.6	
	C <sub>2</sub>		699.2	0.7	
	Σ	699.3	699.3		

#### IV.1.11. CONTRATS DE PHASES

ENSET D'EBOLOWA	<b>CONTRAT DE PHASE</b>	FOLIO : 6
Nombre de pièce: 01		Matière: X6CrNiTi18-11
Cadence		Brut: Etiré
PHASE 10		Controle du brut



Référentiel

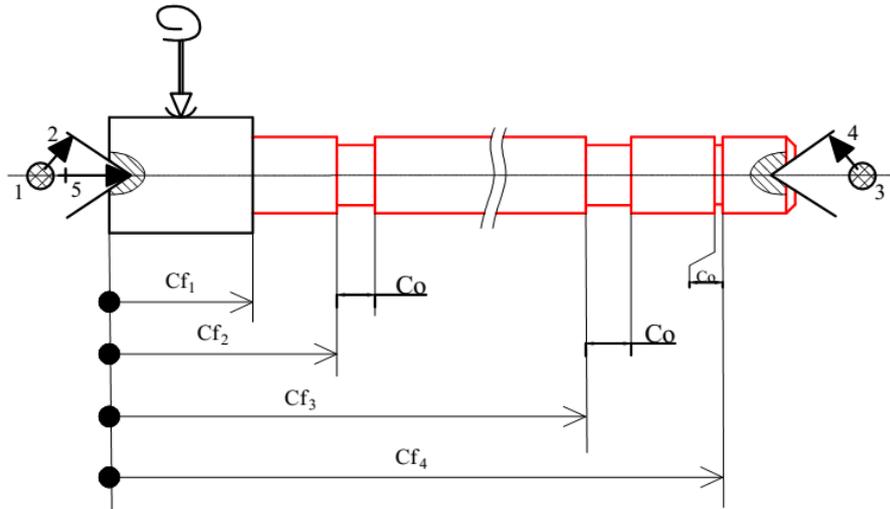
Appui plan:

Orientation:

Butée:

Operations	Elements de coupe							Appareillages	
	E	F/2	F	Vc	a	n	N	Outil de coupe	Verificateurs
Mesurer $Cb_1$			X						PC 1/50°
$Cb_1 = 699.3_0^{+0.6}$									
Mesurer $Cb_2$			X						PC 1/50°
$Cb_2 = \varnothing 37^{\pm 0.2}$									

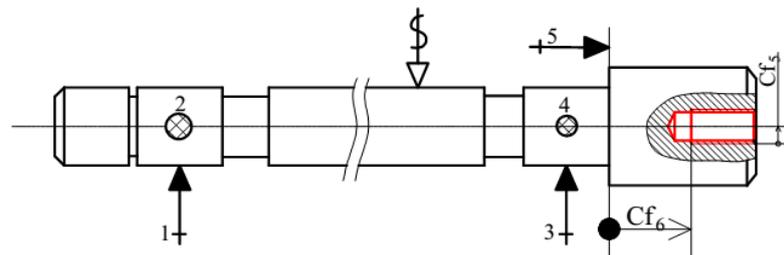
ENSET D'EBOWA	<b>CONTRAT DE PHASE</b>	FOLIO : 7
Nombre de pièce: 01		Matière: X6CrNiTi18-11
Cadence		Brut: Etiré
PHASE 20	TOURNAGE 1	Machine: tour parallèle



Référentiel: MIP  
 Centrage long: F<sub>9</sub> et F<sub>8</sub>  
 Butée: F<sub>9</sub>

Operations	Elements de coupe						Appareillages		
	E	F/2	F	Vc m/mn	a mm/tr	N tr/mn	A mm/mn	Outil de coupe	Verificateurs
Charioter Cf <sub>1</sub> = 91 <sup>±0.3</sup>			X	25	0.12	215.07	25.80	Outil Couteau	PC 1/50°
Saigner Cf <sub>2</sub> = 102 <sup>±0.5</sup> , Co			X	25	0.12	215.07	25.80	Outil a saigner	
Saigner Cf <sub>4</sub> = 638 <sup>±0.4</sup> , Co			X	25	0.12	215.07	25.80	Outil a saigner	circlips

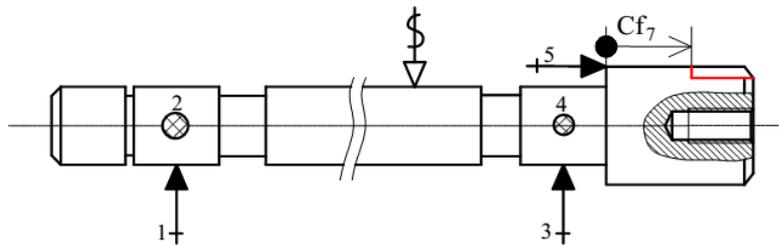
ENSET D'EBOLOWA	<b>CONTRAT DE PHASE</b>	FOLIO : 8
Nombre de pièce: 01		Matière: X6CrNiTi18-11
Cadence		Brut: Etiré
PHASE 30	TOURNAGE 2	Machine: tour parallèle



Référentiel  
Centrage long:  $D_1$   
Butée:  $F_1$

Operations	Elements de coupe							Appareillages	
	E	F/2	F	Vc m/mn	a mm/tr	N tr/mn	A mm/mn	Outil de coupe	Verificateurs
Percer $A_1$ : $Cf_5 = 5.375$	X			25	0.12	215.07	25.80	Forêt Ø10.75	
Tarauder $A_1$ : $Cf_6 = 61^{\pm 0.5}$			X	25	0.12	215.07	25.80	Taraud M12	Vis M12

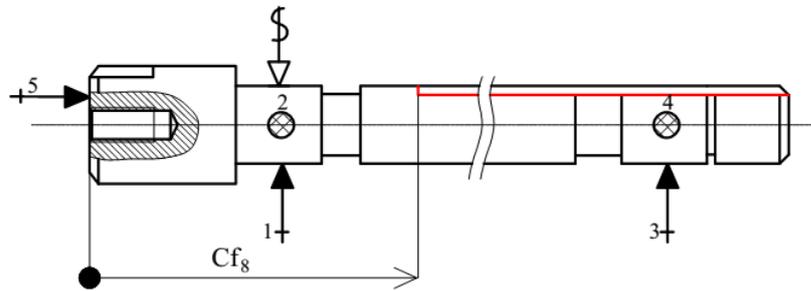
ENSET D'EBOLOWA	<b>CONTRAT DE PHASE</b>	FOLIO : 9
Nombre de pièce: 01		Matière: X6CrNiTi18-11
Cadence		Brut: Etiré
PHASE 40	FRAISAGE 1	Machine: Fraiseuse universelle



Référentiel  
 Centrage long:  $D_1$   
 Butée:  $F_1$

Operations	Elements de coupe							Appareillages	
	E	F/2	F	Vc m/mn	a mm/tr	N tr/mn	A mm/mn	Outil de coupe	Verificateurs
Rainurer $G_5F$ : $Cf_7 = 19^{+0.5}$			X	25	0.2	994.71	397.88	Fraise 2T Ø8	Clavette 8x7x18

ENSET D'EBOLOWA	<b>CONTRAT DE PHASE</b>	FOLIO : 10
Nombre de pièce: 01		Matière: X6CrNiTi18-11
Cadence		Brut: Etiré
PHASE 50	FRAISAGE 2	Machine: Fraiseuse universelle



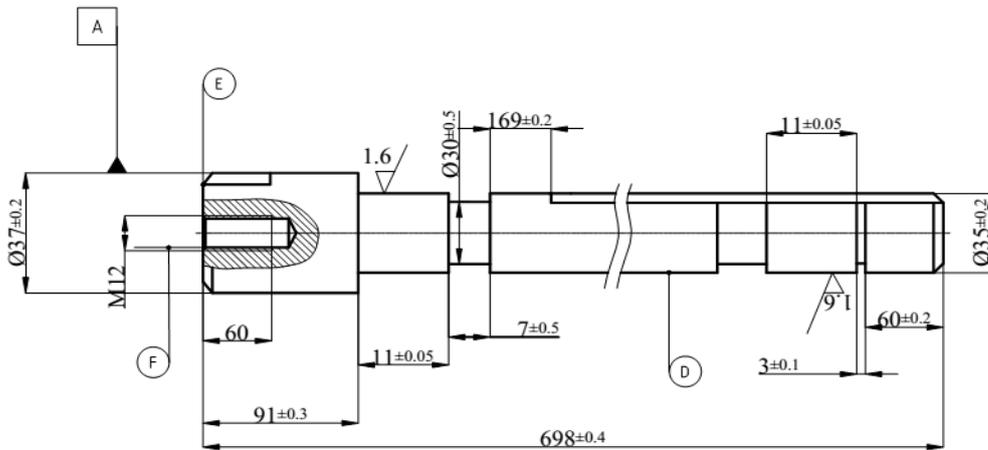
Référentiel

Centrage long: D<sub>1</sub>

Butée: F<sub>9</sub>

Operations	Elements de coupe						Appareillages		
	E	F/2	F	Vc m/mn	a mm/tr	N tr/mn	A mm/mn	Outil de coupe	Verificateurs
Rainurer G <sub>6</sub> F: Cf <sub>8</sub> = 278 <sup>±0.5</sup>			×	25	0.2	994.71	397.88	Fraise 2T Ø8	Clavette 8x7x20

ENSET D'EBOLOWA	<b>CONTRAT DE PHASE</b>	FOLIO : 11
Nombre de pièce: 01		Matière: X6CrNiTi18-11
Cadence		Brut: Etiré
PHASE 60	Controle final	Machine:



Référentiel

Appui plan:

Orientation:

Butée:

Operations	Elements de coupe							Appareillages	
	E	F/2	F	Vc	a	n	N	Outil de coupe	Verificateurs
$Cf_1 = 91^{±0.3}$			X						PC 1/50 <sup>e</sup>
$Cf_2 = 102^{±0.5}, Co$			X						
$Cf_4 = 638^{±0.4}, Co$			X						circlips
$Cf_5 = Ø5.375$			X						
$Cf_6 = 61^{±0.5}$			X						Vis M12
$Cf_7 = 19^{±0.5}$			X						Clavette 8x7x18
$Cf_8 = 278^{±0.5}$			X						Clavette 8x7x20

## IV-2- REALISATION DU PROTOTYPE

### IV-2-1- Presentation du prototype



*Figure 4.4 : Vue de face du prototype*



*Figure 4.5 : Vue de droite du prototype*

## IV-3- NOTICES D'UTILISATION ET DE MAINTENANCE

Dans cette partie, il sera question pour nous de donner la marche à suivre pour l'utilisation de notre prototype et fournir un plan de maintenance.

### IV-3-1- Notice d'utilisation

La marche à suivre pour l'utilisation de notre machine est la suivante :

- Brancher la machine à un secteur électrique triphasé ;
- Mettre la machine en marche par action sur un interrupteur;
- Introduire les feuilles par la trémie d'entrer ;
- Laisser battre les feuilles pendant quelques minutes ;
- Ouvrir le réservoir à eau pour évacuer le ndolè ramolli dans un sac ;
- Introduire le sac dans le bloc de pressage ;

- Tourner la vis portant le tambour mobile pour presser le produit et évacuer l'amertume contenu dans les feuilles ;
- Introduire à nouveau de l'eau dans de le sac et répéter l'opération de pressage jusqu'à l'obtention d'un produit moins amère ;
- Retirer le sac du bloc ;
- Arrêter la machine.

#### **IV-3-2- Maintenance**

**La maintenance** est une fonction qui consiste à faire revenir (dépannage ou réparation) ou à maintenir (action préventive) tout dispositif dans son état de fonctionnement normal. Elle s'exprime au moyen de la maintenabilité.

**La maintenabilité** quant à elle traduit la probabilité de remettre un système en état de fonctionner, en un temps donné, dans des conditions données et en retrouvant la fiabilité initiale.

Cependant, il existe plusieurs types de maintenance à savoirs :

- La maintenance corrective : effectuée après une défaillance ou une panne ;
- La maintenance préventive : effectuée dans le but de réduire la probabilité de défaillance d'un produit avant qu'une panne de plus en plus probable ne se produise ;
- La maintenance systématique : c'est une maintenance préventive effectuée selon un calendrier établi ;
- Maintenance conditionnelle : c'est une maintenance préventive dépendant d'une mesure (usure par exemple) ou d'une information révélant l'état de la dégradation.

Il sera question pour nous ici de s'attarder sur la maintenance préventive que nous étudierons avec la méthode AMDEC (Analyse des Méthodes de Défaillances et de leurs Effets Critiques).

Elle est une méthode d'analyse préventive utilisée pour identifier les défaillances possibles mais aussi les effets ou les conséquences probables de celle-ci.

#### **A- Principe de l'AMDEC**

Elle consiste en une analyse critique de la conception envisagée : interactions entre sous-systèmes, entre composants élémentaires.

## A-1- Identification des composants susceptibles d'avoir une défaillance compte tenu de l'environnement et de l'utilisateur.

**Tableau 4.8 : Composants et leurs défaillances**

COMPOSANTS	DEFAILLANCES
Roulements	Usure
Robinet	Usure, cassure
Réservoir d'eau	Perméabilité
Courroies	Usure, rupture
Interrupteur	Panne, détérioration
Moteur	Panne
Poulie	Détérioration
Tambours	fissure
Tamis	colmaté
Vis de pressage	Usure, corrosion

## A-2- Description des modes de défaillances possibles

Dans cette partie, il est question pour nous de décrire les modes de défaillance possibles tout en les classifiant et en faisant ressortir les causes les produisant. *Le tableau 4.9* nous présentera d'ailleurs ces paramètres.

**Tableau 4.9 : Cahier de maintenance**

AMDEC	Système : LAVEUSE DE NDOLE DEUX EN UN								
Organes	Mode de défaillance	Causes possibles	Effets	Moyen de détection	O	G	D	C	Mesure corrective
Arbre porte-lame	détérioration	Usure, cassure	Pas de découpe parfaite	visuel					Souder, changer
Roulement	Détérioration	Usure, lubrification	Mauvais guidage de l'arbre	visuel					Changer, lubrifier
Tambours	Détérioration	fissure	Mauvais pressage	visuel					Changer
Tamis	Panne	colmaté	Mauvais passage des feuilles	visuel					nettoyer
Vis de pressage	Détérioration	Usure, corrosion, cassure	Pas de réglage de la distance entre les tambours de pressage	visuel					Changer
Poulie	Détérioration	Choc	Pas de transmission de puissance	visuel					Changer
Courroie	détérioration	Rupture, usure	Pas de transmission de puissance	Visuel					Changer
Moteur	Panne	Court-circuit, grippage	Pas d'énergie disponible	visuel					Dépanner, changer

**Légende :**

- **Occurrence (O)** : c'est la fréquence d'apparition de chaque défaillance ;
- **Gravité (G)** : c'est le risque qu'occasionne une cause ;
- **Défectabilité (D)** : c'est le risque que la méthode d'inspection envisagée ne soit pas adaptée pour voir ou détecter le défaut ;
- **Criticité (C)** est une fonction avec coefficient de l'occurrence, la gravité et de la détectabilité.

*Le tableau 26* nous montre par exemple que les causes de défaillance de la courroie peuvent être l'usure ou la rupture et ces causes ont pour effet la non transmission de puissance du moteur vers l'arbre porte-lame.

Pendant l'utilisation du produit, il revient donc à l'utilisateur de remplir les parties vides du cahier de maintenance (occurrence, gravité, détectabilité et criticité) à chaque fois que survient une panne afin de le remettre au constructeur pour les éventuelles améliorations des prochains prototypes.

#### **IV-4- DISCUSSIONS**

Au regard de tout ce qui précède, et en nous basant non seulement sur les avantages et inconvénients des machines existantes, mais aussi sur nos résultats obtenus, nous pouvons citer en quelques mots le plus qu'apporte notre machine par rapport à celles existantes. Il s'agit donc ici de dire que :

- Notre machine effectue un double lavage grâce à ses deux blocs de travail à savoir le bloc de battage et celui de pressage
- La possibilité que les feuilles s'accumulent dans la marmite a été réduite tout d'abord grâce au frottement créé entre les feuilles et la marmite à travers un tamis ; ensuite grâce à l'entrée progressive des légumes à travers la forme de notre trémie

#### IV-5- ESTIMATION DU COUT DU PROTOTYPE

Dans cette partie, il sera question pour nous d'établir les différents coûts de notre projet et finir par ressortir le prix de vente unitaire.

##### IV-5-1- ESTIMATION DU COUT DE LA MATIERE D'ŒUVRE

**Tableau 4.10 : Estimation du cout de la matière d'œuvre**

N° :	DESIGNATIONS	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	PRIX TOTAL
1	Fer rond plein Ø37	01	8000	8000
2	Tube cylindrique Ø350	01	25000	25000
3	Tube cylindrique Ø80	01	7000	7000
4	Roulement SKF 61807	01	5000	5000
5	Clavette 8 x 7 x 20	03	2500	7500
6	Courroie SPZ 1202mm	01	7000	7000
7	Poulie de Ø100	01	5000	5000
8	Poulie de Ø150	01	10000	10000
9	Cornière (50 x 50 x 5) x 6000	02	15000	30000
10	Paquet d'électrode	02	5000	10000
11	Peinture et diluant	01	5000	5000
12	Anti rouille	01	5000	5000
13	Feuille de tôle 2000x1000x3	01	22500	22500
14	Tuyauterie	01	3000	3000
15	Lames de découpe	06	500	3000
16	Réservoir d'eau	01	3500	3500
17	Location du moteur	01	30000	30000
18	Boulonnerie et visserie		12000	12000
19	Disque de coupe	02	2000	4000
20	Paliers	02	15000	30000
21	Interrupteur	01	3000	3000
<b>TOTAL</b>				<b>235500</b>

#### IV-5-2- ESTIMATION DU COUT DE FABRICATION

*Tableau 4.11 : Estimation du cout de fabrication*

N° :	OPERATIONS	TARIF EN HEURE	NOMBRES D'HEURES	MONTANT (fcfa)
1	Découpage	2000	08	16000
2	Perçage	3000	02	6000
3	Fraisage	8000	02	16000
4	Soudage	8000	10	80000
5	Tournage	6000	03	9000
6	Assemblage	4000	03	12000
7	Ebavurage	1000	03	3000
8	Pose peinture	3000	01	3000
	<b>TOTAL</b>	38000	32	<b>154000</b>

#### IV-5-3- AUTRES DEPENSES

*Tableau 4.12 : Estimation des dépenses diverses*

MATERIEL	MONTANT (fcfa)
Transport	25000
Internet	15000
Divers	10000
<b>TOTAL</b>	<b>50000</b>

#### IV-5-4- ESTIMATION DU COUT DE REVIENT DU PROTOTYPE

Le prix de revient du prototype est égal à la somme du montant total hors taxe (**MTHT**) et de la **TVA** (taxe sur la valeur ajoutée).

- Calcul du montant total hors taxe (**MTHT**)

$$MTHT = T_1 + T_2 + T_3$$

$$= 235500 + 154000 + 50000$$

$$\underline{\underline{MTHT = 439500f}}$$

- Calcul de la taxe sur la valeur ajoutée

$$\text{TVA} = 19,25\% \times \text{MTHT}$$

$$= \frac{19,25 \times 439500}{100}$$

$$\text{TVA} = \underline{\underline{84603,75\text{f}}}$$

- Calcul du cout de revient toute taxe comprise (**MTTC**)

$$\text{MTTC} = \text{MTHT} + \text{TVA}$$

$$= 439500 + 84603.75$$

$$\text{MTTC} = \underline{\underline{524103,75\text{f}}}$$

## CONCLUSION GENERALE

La réalisation de ce mémoire intervient dans un contexte où la transformation des produits agroalimentaires reste encore une préoccupation majeure de la part des technologues, ce qui nous a poussé à mettre sur pied un dispositif de contrôle de l'amertume du ndolé d'où l'intérêt du thème « **étude et réalisation d'une machine de réduction à froid de l'amertume des feuilles de *vernonia amygdalina*** ». Pour mener à bien notre travail, nous l'avons reparti en quatre chapitres. Dans le premier chapitre nous avons dans un premier temps ouvert un axe relatif à la compréhension du thème à travers les termes qui l'entourent. Les notions d'amertume, de consommation, de réduction à froid ont été abordées, ensuite dans un second chapitre à travers des recherches bibliographiques des machines existantes dans le but d'élargir notre vision sur la problématique. Dans le deuxième chapitre nous avons procédé à un choix de solution qui nous a permis de passer au chapitre trois qui renvoie à la conception du dispositif, ici nous avons présenté donc le dessin d'ensemble du dispositif et les dessins de définitions de certaines pièces. En fin dans le quatrième chapitre, nous avons effectué une analyse de fabrication complète de l'arbre du dispositif, ensuite présenter ce dispositif réalisé et interprété les résultats obtenus lors des essais ; à côté de ça nous avons abordé une discussion en comparaison avec les travaux existants et en fin proposé une estimation financière pour la réalisation du prototype.

Toutefois, il ressort de cette discussion que notre dispositif assure un meilleur lavage dû au fait que le produit peut être pressé plusieurs fois pour évacuer son amertume grâce au bloc de pressage.

Les difficultés rencontrées tout au long de la réalisation de ce mémoire tant au niveau de la rédaction que de la réalisation du prototype nous ont poussées à diriger nos réflexions vers d'autres idées et cela a suscité en nous des préoccupations à savoir :

- sera-t-il possible d'améliorer ce dispositif avec un système d'acquisition d'image des eaux, pour déterminer le taux d'amertume en fonction des préférences?
- Sera-t-il accessible pour la plupart des populations urbaines, rurales?
- Le rendre autonome est-il une meilleure idée ?

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] [archive], « Vernonia amygdalina (PROTA) » [sur uses.plantnet-project.org](http://uses.plantnet-project.org) (consulté le 24 juillet 2016)
- [2] **Honore TABUNA**, 2000. Evaluation des échanges des produits non ligneux entre l'Afrique Subsaharienne et l'Europe. P 21
- [3] **Kalanda, K. & Lisowski, S.**, 1995. Le genre Vernonia (Asteraceae) dans la flore d'Afrique Centrale (Zaire, Rwanda, Burundi). *Fragmenta Floristica et Geobotanica* 40(2): 547–717.
- [4] **Bidima I. & Voufo M.P.**, Le Ndolé : une richesse camerounaise à valoriser. La voix du paysan ,2007.
- [5] **E. Westphal**, 1985. Cultures vivrières tropicales avec référence au Cameroun
- [6] **Song YJ, Lee DY, Kim SN, Lee KR, Lee HW, Han JW, Kang DW, Lee HY, Kim YK**, « Apoptotic potential of sesquiterpene lactone ergolide through the inhibition of NF-KB signaling pathway», *J.Pharmacol*, vol.57, n°12 2005, p. 159
- [7] **Biholong M**, Contribution à l'étude de la flore du Cameroun. Les Asteraceae, thèse de Doctorat, Université de Bordeaux III, Bordeaux. 1986.
- [8] **J. PELE, S. LE BERRE**, 1996. « **Article** » Les aliments d'origine végétale au Cameroun
- [9] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ndol%C3%A9> **visité le 16/08/2019 à 10h25min**
- [10] **FOTIO, DJOPWOUO, FAKAM**, machine à laver les feuilles du ndolé. ENSET de Douala, 2003/2004
- [11] **LONFO, NGOUNTE, TALLAH**, Amélioration de la machine à laver le ndolé. ENSET de Douala, 2004/2005
- [12] **TCHABASSI YANNICK, ZEUDONG**, Machine à réduire l'amertume des feuilles de ndolé. ENSET de Bamenda, 2013/2014
- [13] **MOUCHIKOU VICKY TRESOR**, Machine de type vis sans fin + palettes +plateaux de pression à la sortie. ENSET d'Ebolowa, 2018/2019

[14] : **Jean- Louis FANCHON**, Guide des sciences et technologiques industrielles, édition d'Avril 2011, NATHAN.

[15] **LENORMAND ET TINEL**, memento de dessin industriel Tome 2, documentation dimensionnelle, fourcher, Paris 1979

[16] **D. SPENLE et R. GOURHANT** ; GUIDE DU CALCUL EN MECANIQUE ; édition HACHETTE TECHNIQUE ; 1993 ; 1993 ; 43; quia de Grenelle 75905 Paris Cedex 15 ;

[17] : **A. CHEVALIER** ; GUIDE DU DESSINATEUR INDUSTRIEL ; Edition hachette technique ; 2004 ;

[18] : **R.DIETRICH, D. GARSAUD, M. NICOLAS**, MÉTHODES D'USINAGE, Edition NATHAN

[19] : **D. RICQUE, J.JACOB, Y.MALESSON**, GUIDE PRATIQUE DE L'USINAGE 2.TOURNAGE, HACHETTE 1992. 79, boulevard Saint Germain, F 75006 Paris ; 233 pages

[20] **G. BRANGER**, SAVOIR CHOISIR SA GAMME, SA MACHINE, SES OUTILS, SON ORDRE DE MONTAGE, Tome I, DESFORGES PARIS 1978 ,187 pages ;

ANNEXES

ANNEXE A : choix du moteur

**Moteurs asynchrones - Réseau Δ 230 / Y 400 V - 50 Hz - Degré de protection IP 55**

**Moteurs à pattes de fixation**

**Moteurs à bride de fixation à trous lisses ou taraudés**

Nota : L'épaulement de l'arbre est nominale dans le même plan que la force d'appui de la bride.

**Moteurs asynchrones monophasés fermés, à rotor en court-circuit - Condensateur permanent**

Type	LS 56 P	LS 63 EP	LS 71 P	LS 80 P	LS 90 P						
Puissance kW	3 000 tr/min	0,09	0,12	0,18	0,25	0,37	0,55	0,75	-	1,1	1,5
	1 500 tr/min	0,06	0,09	0,12	0,18	0,25	0,37	0,55	0,75	1,1	-
Type n°	a b c	d e f	g h i	j k l	m n o	p q r	s t u				
56	71 89 36	9 90 104	7 56 146	6 24 156	5 2,5 80	120 100 M6	7 90 110				
63	80 97 40	11 100 115	8 63 181	7 24,5 172	10 3 95	140 115 M8	10 96 124				
71	90 104 45	14 112 126	9 71 200	7 23 231	10 3,5 110	160 130 M8	10 126 140				
80	100 120 50	19 125 157	10 80 228	9 29 257	10 3,5 130	200 165 M8	12 148 160				
90	125 145 56	24 140 172	11 90 248	10 37 300	12 4 130	200 165 M10	12 158 180				

**Moteurs asynchrones triphasés fermés, à rotor en court-circuit**

Type	LS 56 P	LS 63 E	LS 71 P	LS 80 L	LS 90 L	LS100L								
Puissance kW	3 000 tr/min	0,09	0,12	0,18	0,25	0,37	0,55	0,75	0,75	1,1	1,5	1,8	2,2	3
	1 500 tr/min	-	0,09	0,12	0,18	0,25	0,37	0,55	0,55	0,75	0,9	1,5	1,8	2,2
	1 000 tr/min	-	-	0,09	0,12	0,18	0,25	0,25	0,37	0,55	1,1	-	-	1,5
	750 tr/min	-	-	-	-	0,09	0,12	0,18	0,25	-	0,55	-	-	0,75
Type n°	a b c	d e f	g h i	j k l	m n o	p q r	s t u							
56	71 89 36	9 90 104	7 56 141	6 24 156	5 2,5 80	120 100 M6	7 85 110							
63	80 96 40	11 100 115	8 63 154	7 24,5 172	10 3 95	140 115 M8	10 95 124							
71	90 104 45	14 112 126	9 71 173	7 23 183	10 3,5 110	160 130 M8	10 102 140							
80	100 120 50	19 125 157	10 80 203	9 29 215	10 3,5 130	200 165 M8	12 123 160							
90	125 162 56	24 140 172	11 90 223	10 37 245	12 4 130	200 165 M10	12 133 180							
100	140 165 63	28 160 196	13 100 238	12 40 290	14 4 180	250 215 M12	15 138 198							

\* Voir § 78.2

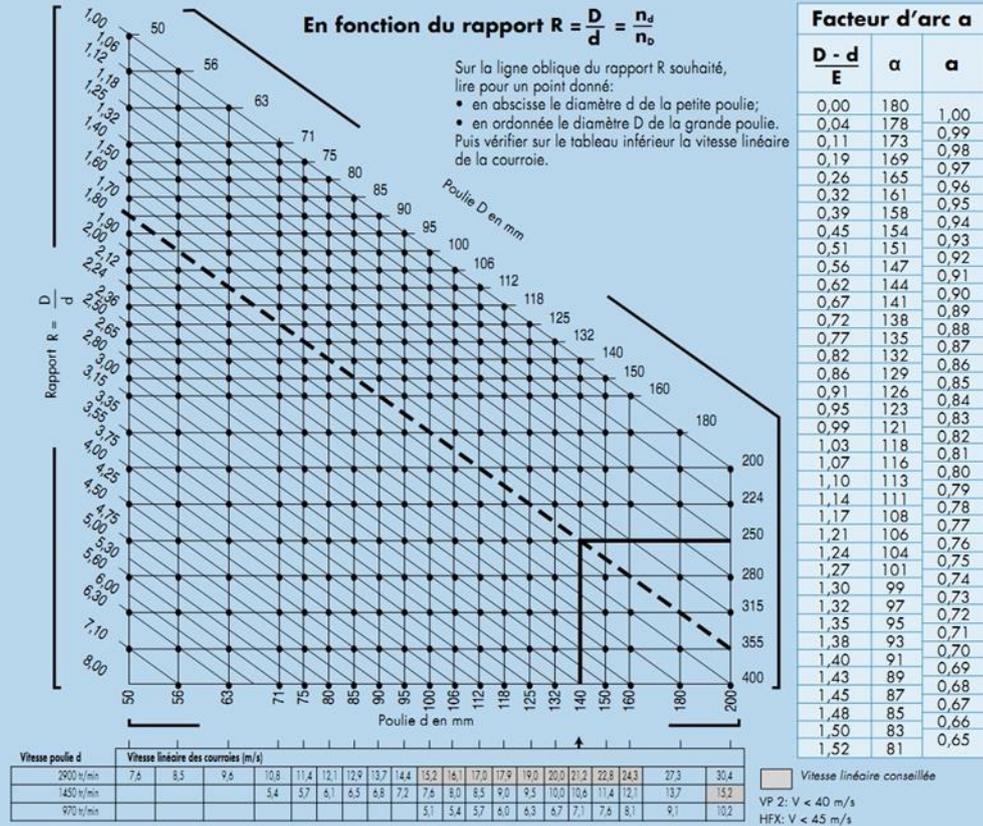
D'après Leroy-Somer.



ANNEXE C : vérification de la vitesse linéaire de la courroie



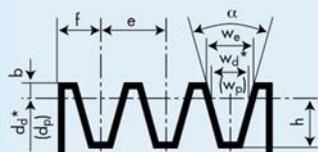
### Sélection des poulies SPZ



**Poulies SPZ: caractéristiques** (selon NF T-47 140 et ISO 4183)

Diamètres de référence (ou primitifs) normalisés En maigre: courroies HFX seulement

50	63	75	85	95	106	118	132	150	170	190	212	236	265	300	335	375
56	71	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400



Dimensions: cotes en mm —  $\alpha$  en degrés:

$W_d^*$ (= $W_p$ )	e	f	b	h	$d_0^*$ (= $d_0$ )	$\alpha$	$W_p$ mini
8,512	$\pm 0,3$	$8 \pm 1$	2	9	$\leq 80$ $> 80$	3,4 3,8	9,72 9,88

\* Les largeurs de référence ( $W_p$ ) et diamètres de référence ( $d_0$ ) étaient précédemment nommés  $W_s$  et  $d_s$  (largeurs et diamètres primitifs).

**VP 2 SPZ L = longueur de référence standard (mm)**

500	580	662	722	775	862	937	1024	1090	1171	1250	1337	1437	1550	1662	1800	1937	2137	2430	3000
512	600	670	730	787	875	950	1030	1112	1180	1262	1347	1450	1562	1687	1812	1950	2180	2500	3070
515	612	687	737	800	887	962	1037	1120	1187	1280	1360	1462	1587	1700	1837	1987	2187	2580	3150
530	615	690	750	812	900	975	1047	1127	1202	1287	1362	1487	1600	1737	1850	2000	2240	2650	3250
545	630	697	758	825	912	987	1060	1137	1212	1312	1387	1500	1612	1750	1862	2037	2287	2720	3350
560	637	710	762	837	922	1000	1077	1150	1220	1320	1400	1512	1637	1762	1887	2060	2300	2800	3450
562	650	717	772	850	925	1012	1087	1162	1237	1327	1412	1537	1650	1787	1900	2120	2360	2900	3550

**HFX XPZ L = longueur de référence standard (mm)**

600	687	775	825	900	950	1000	1080	1125	1180	1250	1352	1437	1537	1650	1850	2120	2650	3350
630	710	787	850	917	962	1030	1087	1137	1212	1280	1360	1450	1550	1700	1900	2240	2800	3550
660	737	800	867	925	975	1037	1110	1150	1220	1287	1400	1487	1587	1750	1950	2360	3000	
670	750	817	875	937	987	1060	1120	1162	1227	1320	1412	1500	1600	1800	2000	2500	3150	

ANNEXE D : puissance de base brute

## SPZ courroies TEXROPE® VP 2 (3V)

Puissance brute transmissible  $P_o$  par courroie (kW)  
sur la base d'une durée de vie théorique de 24000 heures.

$$\text{Nombre de courroies } N = \frac{P_c}{P_o \times a \times C_L}$$

- $P_c$  = puissance de calcul
- $P_o$  = puissance brute transmissible par courroie
- $a$  = facteur d'arc
- $C_L$  = facteur de longueur

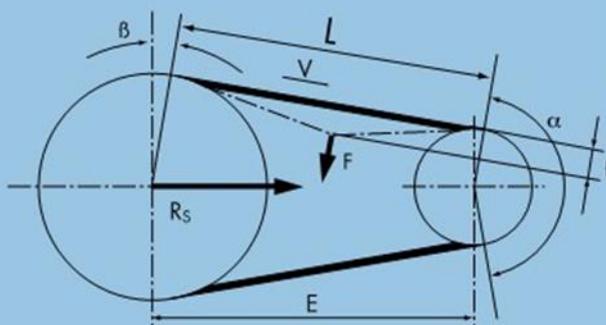
$P_o$ = puissance brute transmissible (kW) pour L = 1600 mm et $\alpha = 180^\circ$ (arc de contact)																		
$n_d$ (tr/min)	$R = \frac{D}{d}$	d (mm) =																
		71	75	80	85	90	95	100	106	112	118	125	132	140	150	160	180	200
200	$R < 1,06$	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,1
	1,06 à 1,11	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,1
	1,12 à 1,24	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0	1,1
	1,25 à 1,59	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0	1,1
	$1,6 \leq R$	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
400	$R < 1,06$	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,8	2,0
	1,06 à 1,11	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,8	2,0
	1,12 à 1,24	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,1
	1,25 à 1,59	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,1
	$1,6 \leq R$	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9
730	$R < 1,06$	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	3,1	3,5
	1,06 à 1,11	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,7	3,1	3,5
	1,12 à 1,24	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	3,1	3,5
	1,25 à 1,59	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	3,1	3,6
	$1,6 \leq R$	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,8	3,2	3,6
970	$R < 1,06$	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,1	3,4	3,9	4,5
	1,06 à 1,11	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6	2,9	3,1	3,4	4,0	4,5
	1,12 à 1,24	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,2	3,4	4,0	4,5
	1,25 à 1,59	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,2	3,5	4,0	4,6
	$1,6 \leq R$	0,9	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,3	3,6	4,1	4,7
1165	$R < 1,06$	1,0	1,1	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,3	3,6	4,0	4,6	5,2
	1,06 à 1,11	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,9	3,1	3,4	3,7	4,0	4,6	5,3
	1,12 à 1,24	1,0	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,4	3,7	4,0	4,7	5,3
	1,25 à 1,59	1,1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,4	3,7	4,0	4,7	5,3
	$1,6 \leq R$	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,2	3,5	3,8	4,2	4,8	5,5
1455	$R < 1,06$	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,2	2,4	2,6	2,9	3,1	3,4	3,7	4,0	4,4	4,8	5,6	6,3
	1,06 à 1,11	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9	3,2	3,5	3,7	4,1	4,5	4,8	5,6	6,4
	1,12 à 1,24	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1	2,3	2,5	2,7	3,0	3,2	3,5	3,8	4,1	4,5	4,9	5,7	6,4
	1,25 à 1,59	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,8	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,6	5,0	5,7	6,5
	$1,6 \leq R$	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,6	2,8	3,1	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,8	6,6
1745	$R < 1,06$	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,1	3,3	3,6	4,0	4,3	4,7	5,1	5,6	6,4	7,3
	1,06 à 1,11	1,4	1,6	1,8	2,1	2,3	2,6	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,4	4,7	5,2	5,6	6,5	7,4
	1,12 à 1,24	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,8	5,2	5,7	6,6	7,4
	1,25 à 1,59	1,5	1,7	1,9	2,2	2,4	2,7	2,9	3,2	3,5	3,8	4,2	4,5	4,9	5,3	5,8	6,7	7,5
	$1,6 \leq R$	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5	2,8	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,6	5,0	5,4	5,9	6,8	7,6
2400	$R < 1,06$	1,7	1,9	2,3	2,6	2,9	3,2	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,5	6,0	6,6	7,1	8,2	9,2
	1,06 à 1,11	1,8	2,0	2,4	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,1	6,7	7,2	8,3	9,3
	1,12 à 1,24	1,8	2,1	2,4	2,8	3,1	3,4	3,7	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,2	6,7	7,3	8,3	9,3
	1,25 à 1,59	1,9	2,2	2,5	2,8	3,2	3,5	3,8	4,2	4,6	4,9	5,4	5,8	6,3	6,8	7,4	8,5	9,5
	$1,6 \leq R$	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,5	5,9	6,4	7,0	7,5	8,6	9,6
2910	$R < 1,06$	1,9	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	4,1	4,6	5,0	5,4	5,9	6,4	6,9	7,5	8,1	9,2	10,2
	1,06 à 1,11	2,0	2,3	2,7	3,1	3,5	3,9	4,2	4,7	5,1	5,5	6,0	6,5	7,0	7,6	8,2	9,3	10,3
	1,12 à 1,24	2,1	2,4	2,8	3,2	3,6	3,9	4,3	4,8	5,2	5,6	6,1	6,6	7,1	7,7	8,3	9,4	10,4
	1,25 à 1,59	2,2	2,5	2,9	3,3	3,7	4,0	4,4	4,9	5,3	5,7	6,2	6,7	7,2	7,8	8,5	9,6	10,6
	$1,6 \leq R$	2,2	2,5	3,0	3,4	3,8	4,1	4,5	5,0	5,4	5,9	6,3	6,8	7,4	8,0	8,6	9,8	10,8
3600	$R < 1,06$	2,2	2,6	3,0	3,5	3,9	4,3	4,8	5,3	5,8	6,2	6,8	7,3	7,8	8,5	9,1	10,2	11,0
	1,06 à 1,11	2,3	2,7	3,1	3,6	4,0	4,5	4,9	5,4	5,9	6,4	6,9	7,4	8,0	8,6	9,2	10,3	11,2
	1,12 à 1,24	2,4	2,8	3,2	3,7	4,1	4,6	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,1	8,7	9,4	10,4	11,3
	1,25 à 1,59	2,5	2,9	3,4	3,8	4,3	4,7	5,1	5,6	6,1	6,6	7,2	7,7	8,2	8,9	9,5	10,6	11,5
	$1,6 \leq R$	2,6	3,0	3,4	3,9	4,4	4,8	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3	7,9	8,4	9,1	9,7	10,9	11,7
4500	$R < 1,06$	2,5	2,9	3,4	3,9	4,4	4,9	5,4	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,6	9,2	9,7	10,9	11,7
	1,06 à 1,11	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1	6,7	7,2	7,7	8,2	8,8	9,4	9,9	11,1	11,9
	1,12 à 1,24	2,7	3,2	3,7	4,2	4,7	5,2	5,7	6,3	6,8	7,3	7,8	8,4	8,9	9,5	10,0	11,2	12,0
	1,25 à 1,59	2,8	3,3	3,8	4,4	4,9	5,4	5,9	6,4	7,0	7,5	8,0	8,5	9,1	9,7	10,2	11,4	12,2
	$1,6 \leq R$	2,9	3,4	3,9	4,5	5,0	5,5	6,0	6,6	7,1	7,7	8,2	8,8	9,3	10,0	10,5	11,7	12,5
6000	$R < 1,06$	2,7	3,2	3,8	4,4	4,9	5,4	5,9	6,4	6,9	7,3	7,7	8,2	8,8	9,4	10,0	11,2	12,0
	1,06 à 1,11	2,9	3,4	4,0	4,6	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,5	8,0	8,5	9,1	9,7	10,2	11,4	12,2
	1,12 à 1,24	3,0	3,5	4,2	4,7	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3	7,7	8,1	8,6	9,1	9,7	10,2	11,4	12,2
	1,25 à 1,59	3,2	3,7	4,3	4,9	5,5	6,0	6,5	7,1	7,5	8,0	8,4	8,9	9,4	10,0	10,5	11,7	12,5
	$1,6 \leq R$	3,3	3,8	4,5	5,1	5,7	6,2	6,7	7,3	7,8	8,2	8,7	9,2	9,7	10,2	10,7	11,9	12,7

Vitesse linéaire supérieure à 32 m/s.  
Veiller à l'équilibrage des poulies.

L (mm)	630	740	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000	2240	2500	2800	3150	3550
$C_L$	0,80	0,83	0,86	0,89	0,91	0,93	0,95	0,98	1,00	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14

ANNEXE E : tension de pose

## Calcul de tension



### NOTATIONS Rappels et compléments

T	Tension statique par brin	daN
a	Facteur de correction d'arc	
P <sub>nom</sub>	Puissance nominale	kW
P <sub>c</sub>	Puissance de calcul	kW
N	Nombre de courroies	
V	Vitesse linéaire	m/s
k	Coefficient lié à la vitesse linéaire	
L	Longueur de portée	mm
E	Entraxe	mm
f	Flèche	mm
F	Effort de flexion	daN
R <sub>s</sub>	Réaction statique sur arbre	daN
β	Angle d'inclinaison	°
α	Arc de contact des courroies sur la petite poulie	°

### Coefficient k lié à la masse linéaire des courroies

<b>SPZ</b>	0,007	<b>XPZ</b>	0,069	<b>Z</b>	0,006
<b>SPA</b>	0,012	<b>XPA</b>	0,122	<b>A</b>	0,011
<b>SPB</b>	0,019	<b>XPB</b>	0,192	<b>B</b>	0,019
<b>SPC</b>	0,038	<b>XPC</b>	0,328	<b>C</b>	0,031
				<b>D</b>	0,059

### RAPPEL DES DONNEES

Transmission XPB calculée à la p. 11

- Moteur électrique
- Pompe centrifuge
- Entraxe
- Facteur de correction d'arc
- Diamètre poulie motrice
- Diamètre poulie réceptrice
- Vitesse linéaire
- Nombre de courroies retenues

### FORMULES

#### CALCUL DE LA TENSION STATIQUE PAR COURROIE

$$T = \frac{50 (2,5 - a) P_{\text{calc}}}{aNV} + kV^2$$

a: fonction de  $\frac{D-d}{E}$  et de l'angle  $\alpha$

k: voir tableau ci-dessous

#### CALCUL DE LA PORTEE

$$L = E \sin \frac{\alpha}{2} = E \cos \beta$$

$$\text{ou encore } L = E \left[ 1 - \frac{1}{8} \left( \frac{D-d}{E} \right)^2 \right]$$

#### CALCUL DE LA FLECHE

$$f = \frac{L}{100}$$

#### CALCUL DE L'EFFORT DE FLEXION POUR UNE VALEUR DE FLECHE EGALE A 1% DE LA LONGUEUR DE PORTEE

$$F = \frac{T}{25}$$

#### CALCUL DE LA REACTION STATIQUE SUR ARBRE (effort de rapprochement des paliers)

$$R_s = 2NT \cos \beta \text{ avec } \beta = 90 - \frac{\alpha}{2}$$

$\alpha$  = fonction de  $\frac{D-d}{E}$

(voir tables facteur d'arc a)



ANNEXE G : choix des clavettes

### 3.4.7a CLAVETTES INCLINEES

CLAVETTES A TALON (ou MINCES) CLAVETTES SANS TALON

**DESIGNATION : Exemples**  
Clavette inclinée, forme A, de 10x10x50  
Clavette inclinée à talon, de 10x10x50  
Clavette inclinée sans à talon de 10x5x50

SECTION DE CLAVETTE A TALON		SECTION DE CLAVETTE SANS TALON	
A x B'	L'	A x B	L
min.	max.	min.	max.
6 x 5	20	2 x 2	6
10 x 6	25	3 x 3	8
12 x 6	30	4 x 4	10
14 x 6	38	5 x 5	12
16 x 6	45	6 x 6	14
18 x 6	50	7 x 7	16
20 x 6	56	8 x 8	18
22 x 6	63	9 x 9	20
24 x 6	70	10 x 10	22
26 x 6	78	11 x 11	24
28 x 6	86	12 x 12	26
30 x 6	95	14 x 14	30
32 x 6	105	16 x 16	35
34 x 6	115	18 x 18	40
36 x 6	125	20 x 20	45
38 x 6	140	22 x 22	50
40 x 6	155	24 x 24	55
42 x 6	170	26 x 26	60
44 x 6	185	28 x 28	65
46 x 6	200	30 x 30	70
48 x 6	220	32 x 32	75
50 x 6	240	34 x 34	80
52 x 6	260	36 x 36	85
54 x 6	280	38 x 38	90
56 x 6	300	40 x 40	95
58 x 6	320	42 x 42	100
60 x 6	340	44 x 44	105
62 x 6	360	46 x 46	110
64 x 6	380	48 x 48	115
66 x 6	400	50 x 50	120
68 x 6	420	52 x 52	125
70 x 6	440	54 x 54	130
72 x 6	460	56 x 56	135
74 x 6	480	58 x 58	140
76 x 6	500	60 x 60	145
78 x 6	520	62 x 62	150
80 x 6	540	64 x 64	155
82 x 6	560	66 x 66	160
84 x 6	580	68 x 68	165
86 x 6	600	70 x 70	170
88 x 6	620	72 x 72	175
90 x 6	640	74 x 74	180
92 x 6	660	76 x 76	185
94 x 6	680	78 x 78	190
96 x 6	700	80 x 80	195
98 x 6	720	82 x 82	200
100 x 6	740	84 x 84	205
102 x 6	760	86 x 86	210
104 x 6	780	88 x 88	215
106 x 6	800	90 x 90	220
108 x 6	820	92 x 92	225
110 x 6	840	94 x 94	230
112 x 6	860	96 x 96	235
114 x 6	880	98 x 98	240
116 x 6	900	100 x 100	245
118 x 6	920	102 x 102	250
120 x 6	940	104 x 104	255
122 x 6	960	106 x 106	260
124 x 6	980	108 x 108	265
126 x 6	1000	110 x 110	270
128 x 6	1020	112 x 112	275
130 x 6	1040	114 x 114	280
132 x 6	1060	116 x 116	285
134 x 6	1080	118 x 118	290
136 x 6	1100	120 x 120	295
138 x 6	1120	122 x 122	300
140 x 6	1140	124 x 124	305
142 x 6	1160	126 x 126	310
144 x 6	1180	128 x 128	315
146 x 6	1200	130 x 130	320
148 x 6	1220	132 x 132	325
150 x 6	1240	134 x 134	330
152 x 6	1260	136 x 136	335
154 x 6	1280	138 x 138	340
156 x 6	1300	140 x 140	345
158 x 6	1320	142 x 142	350
160 x 6	1340	144 x 144	355
162 x 6	1360	146 x 146	360
164 x 6	1380	148 x 148	365
166 x 6	1400	150 x 150	370
168 x 6	1420	152 x 152	375
170 x 6	1440	154 x 154	380
172 x 6	1460	156 x 156	385
174 x 6	1480	158 x 158	390
176 x 6	1500	160 x 160	395
178 x 6	1520	162 x 162	400
180 x 6	1540	164 x 164	405
182 x 6	1560	166 x 166	410
184 x 6	1580	168 x 168	415
186 x 6	1600	170 x 170	420
188 x 6	1620	172 x 172	425
190 x 6	1640	174 x 174	430
192 x 6	1660	176 x 176	435
194 x 6	1680	178 x 178	440
196 x 6	1700	180 x 180	445
198 x 6	1720	182 x 182	450
200 x 6	1740	184 x 184	455
202 x 6	1760	186 x 186	460
204 x 6	1780	188 x 188	465
206 x 6	1800	190 x 190	470
208 x 6	1820	192 x 192	475
210 x 6	1840	194 x 194	480
212 x 6	1860	196 x 196	485
214 x 6	1880	198 x 198	490
216 x 6	1900	200 x 200	495
218 x 6	1920	202 x 202	500
220 x 6	1940	204 x 204	505
222 x 6	1960	206 x 206	510
224 x 6	1980	208 x 208	515
226 x 6	2000	210 x 210	520
228 x 6	2020	212 x 212	525
230 x 6	2040	214 x 214	530
232 x 6	2060	216 x 216	535
234 x 6	2080	218 x 218	540
236 x 6	2100	220 x 220	545
238 x 6	2120	222 x 222	550
240 x 6	2140	224 x 224	555
242 x 6	2160	226 x 226	560
244 x 6	2180	228 x 228	565
246 x 6	2200	230 x 230	570
248 x 6	2220	232 x 232	575
250 x 6	2240	234 x 234	580
252 x 6	2260	236 x 236	585
254 x 6	2280	238 x 238	590
256 x 6	2300	240 x 240	595
258 x 6	2320	242 x 242	600
260 x 6	2340	244 x 244	605
262 x 6	2360	246 x 246	610
264 x 6	2380	248 x 248	615
266 x 6	2400	250 x 250	620
268 x 6	2420	252 x 252	625
270 x 6	2440	254 x 254	630
272 x 6	2460	256 x 256	635
274 x 6	2480	258 x 258	640
276 x 6	2500	260 x 260	645
278 x 6	2520	262 x 262	650
280 x 6	2540	264 x 264	655
282 x 6	2560	266 x 266	660
284 x 6	2580	268 x 268	665
286 x 6	2600	270 x 270	670
288 x 6	2620	272 x 272	675
290 x 6	2640	274 x 274	680
292 x 6	2660	276 x 276	685
294 x 6	2680	278 x 278	690
296 x 6	2700	280 x 280	695
298 x 6	2720	282 x 282	700
300 x 6	2740	284 x 284	705
302 x 6	2760	286 x 286	710
304 x 6	2780	288 x 288	715
306 x 6	2800	290 x 290	720
308 x 6	2820	292 x 292	725
310 x 6	2840	294 x 294	730
312 x 6	2860	296 x 296	735
314 x 6	2880	298 x 298	740
316 x 6	2900	300 x 300	745
318 x 6	2920	302 x 302	750
320 x 6	2940	304 x 304	755
322 x 6	2960	306 x 306	760
324 x 6	2980	308 x 308	765
326 x 6	3000	310 x 310	770
328 x 6	3020	312 x 312	775
330 x 6	3040	314 x 314	780
332 x 6	3060	316 x 316	785
334 x 6	3080	318 x 318	790
336 x 6	3100	320 x 320	795
338 x 6	3120	322 x 322	800
340 x 6	3140	324 x 324	805
342 x 6	3160	326 x 326	810
344 x 6	3180	328 x 328	815
346 x 6	3200	330 x 330	820
348 x 6	3220	332 x 332	825
350 x 6	3240	334 x 334	830
352 x 6	3260	336 x 336	835
354 x 6	3280	338 x 338	840
356 x 6	3300	340 x 340	845
358 x 6	3320	342 x 342	850
360 x 6	3340	344 x 344	855
362 x 6	3360	346 x 346	860
364 x 6	3380	348 x 348	865
366 x 6	3400	350 x 350	870
368 x 6	3420	352 x 352	875
370 x 6	3440	354 x 354	880
372 x 6	3460	356 x 356	885
374 x 6	3480	358 x 358	890
376 x 6	3500	360 x 360	895
378 x 6	3520	362 x 362	900
380 x 6	3540	364 x 364	905
382 x 6	3560	366 x 366	910
384 x 6	3580	368 x 368	915
386 x 6	3600	370 x 370	920
388 x 6	3620	372 x 372	925
390 x 6	3640	374 x 374	930
392 x 6	3660	376 x 376	935
394 x 6	3680	378 x 378	940
396 x 6	3700	380 x 380	945
398 x 6	3720	382 x 382	950
400 x 6	3740	384 x 384	955

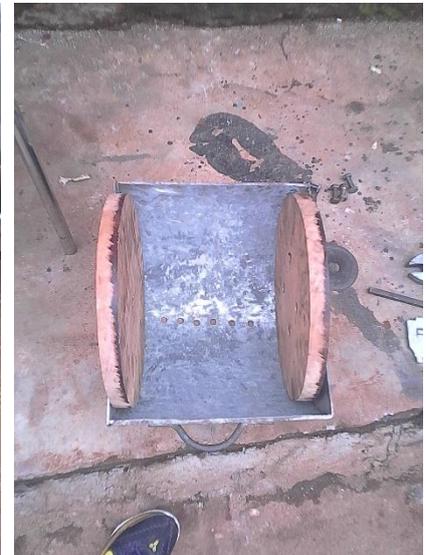
### 3.4.7b CLAVETTES PARALLELES

CLAVETTES USUELES (ou MINCES) IDEES PAR V5

**DESIGNATION : Exemples**  
Clavette parallèle, forme A, de 10x10x50  
Clavette parallèle à talon, de 10x10x50  
Clavette parallèle sans à talon de 10x5x50

SECTION DE CLAVETTE A TALON		SECTION DE CLAVETTE SANS TALON	
A x B'	L'	A x B	L
min.	max.	min.	max.
6 x 5	20	2 x 2	6
10 x 6	25	3 x 3	8
12 x 6	30	4 x 4	10
14 x 6	38	5 x 5	12
16 x 6	45	6 x 6	14
18 x 6	50	7 x 7	16
20 x 6	56	8 x 8	18
22 x 6	63	9 x 9	20
24 x 6	70	10 x 10	22
26 x 6	78	11 x 11	24
28 x 6	86	12 x 12	26
30 x 6	95	14 x 14	30
32 x 6	105	16 x 16	35
34 x 6	115	18 x 18	40
36 x 6	125	20 x 20	45
38 x 6	140	22 x 22	50
40 x 6	155	24 x 24	55
42 x 6	170	26 x 26	60
44 x 6	185	28 x 28	65
46 x 6	200	30 x 30	70
48 x 6	220	32 x 32	75
50 x 6	240	34 x 34	80
52 x 6	260	36 x 36	85
54 x 6	280	38 x 38	90
56 x 6	300	40 x 40	95
58 x 6	320	42 x 42	100
60 x 6	340	44 x 44	105
62 x 6	360	46 x 46	110
64 x 6	380	48 x 48	115
66 x 6	400	50 x 50	120
68 x 6	420	52 x 52	125
70 x 6	440	54 x 54	130
72 x 6	460	56 x 56	135
74 x 6	480	58 x 58	140
76 x 6	500	60 x 60	145
78 x 6	520	62 x 62	150
80 x 6	540	64 x 64	155
82 x 6	560	66 x 66	160
84 x 6	580	68 x 68	165
86 x 6	600	70 x 70	170
88 x 6	620	72 x 72	175
90 x 6	640	74 x 74	180
92 x 6	660	76 x 76	185
94 x 6	680	78 x 78	190
96 x 6	700	80 x 80	195
98 x 6	720	82 x 82	200
100 x 6	740	84 x 84	205
102 x 6	760	86 x 86	210
104 x 6	780	88 x 88	215
106 x 6	800	90 x 90	220
108 x 6	820	92 x 92	225
110 x 6	840	94 x 94	230
112 x 6	860	96 x 96	235
114 x 6	880	98 x 98	240
116 x 6	900	100 x 100	245
118 x 6	920	102 x 102	250
120 x 6	940	104 x 104	255
122 x 6	960	106 x 106	260
124 x 6	980	108 x 108	265
126 x 6	1000	110 x 110	270
128 x 6	1020	112 x 112	275
130 x 6	1040	114 x 114	280
132 x 6	1060	116 x 116	285
134 x 6	1080	118 x 118	290
136 x 6	1100	1	

ANNEXE F : Evolution des travaux de réalisation



## **CAHIER DE CHARGE**

### **II.3.1. Problématique**

Au Cameroun le ndolè occupe la sixième place dans les dépenses alimentaires des populations urbaines [2]. Il représente le plat de référence des menus dans les restaurants. Du fait de leur nombre et de leur pouvoir d'achat, les consommateurs européens constituent des débouchés potentiels importantes [1]. Ce qui expliquera que le ndolè frais habituellement conditionné soit vendu à 4,55 \$ le kilogramme et sa poudre entre 7,5 et 10 \$ le kilogramme en 2010 [3]. Sur le plan local, la réduction de l'amertume se fait par des méthodes artisanales et rudimentaires qui présentent généralement des risques car elles occasionnent des blessures et des brûlures, elles sont éprouvantes physiquement et elles nécessitent un temps élevé. De ce fait, L'implémentation d'un dispositif de réduction à froid de l'amertume de ces feuilles de vernonia par des méthodes moderne exige un certain nombre d'éléments dont il faut prendre en compte, dès lors des questions se posent à savoir comment mettre en place un dispositif mécanique capable de contrôler de façon optimale l'amertume des feuilles de vernonia prêt à la cuisson? D'autre part sera telle une machine facile à manipuler pour tous ? Pour cela, nous pensons qu'il est important et nécessaire de mettre sur pied un dispositif simple, moins couteux et moins encombrant qui puisse permettre de libérer les feuilles de ndolè de leur amertume afin d'assurer la présence du produit sur nos marchés.

### **II.3.2. Matériels et Méthodes**

#### **a) Méthodes**

- Faire une étude générale sur le vernonia amygdalina ;
- Rechercher les différentes machines existantes pour la réduction de l'amertume et apporter des difficultés qu'on y rencontre afin d'y remédier ;
- Proposer des solutions pour remédier à ces difficultés en apportant des critiques ;
- Faire le choix parmi les solutions proposées.

#### **b) Matériels**

- Internet ;
- Ouvrages et mémoires dans le domaine concerné ;
- Machines-outils ;

### **II.3.3. Objectif général et spécifique du projet**

➤ Objectif Général

Concevoir et réaliser une machine de réduction à froid de l'amertume des feuilles du vernonia amygdalina

- Objectifs spécifiques - Analyser les différentes solutions de réduction de l'amertume existante - Réaliser un prototype - Comparer les résultats des tests effectués