

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

*Paix - Travail - Patrie*

\*\*\*\*\*

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

\*\*\*\*\*



REPUBLIC OF CAMEROUN

*Peace - Work - Fatherland*

\*\*\*\*\*

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

\*\*\*\*\*

**Filière  
Fabrication Mécanique**

**MACHINE A DECOUPER LES FEUILLES DE  
GNETUM AFRICANUN**

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 : **BIKES MARIE CLAIRE ESTELLE**

Sous la direction de  
**Pr. KANAA Thomas**  
**Maitre de Conférences**  
**M. TCHASSEM NOUBE Vivès**  
**PLET en fabrication mécanique**

**Année Académique : 2019 - 2020**



## **DEDICACE**



**A LA FAMILLE BIKES**

## REMERCIEMENTS

Tout travail de recherche est une aventure vers un chemin inconnu qu'on est obligé de suivre en espérant obtenir les résultats escomptés. Au cours de ce long travail, nous avons été soutenus par les uns et les autres. Avant de présenter notre travail, il est donc impératif de s'acquitter du devoir du cœur vis-à-vis de tous ceux qui ont apporté leur modeste contribution à l'atteinte de ces résultats. Ainsi, nos sincères remerciements vont à l'endroit de :

- ❖ Pr. NDJAKOMO ESSIANE Salomé, Directeur de l'ENSET d'EBOLOWA qui nous a accueillis dans son Etablissement et nous a permis de mener nos études et approfondis nos connaissances dans le domaine de la construction Mécanique dans des conditions largement favorables ;
- ❖ Pr KANAA Thomas, Chef du département de Génie Mécanique pour sa supervision organisée au cours de l'élaboration de ce mémoire ;
- ❖ M. TCHASSEM NOUBE Vivès pour son encadrement, sa disponibilité, ses conseils prodigués et le suivi permanent de ce travail ;
- ❖ Tout le personnel administratif et tous les enseignants de l'ENSET d'EBOLOWA particulièrement à ceux du Génie Mécanique pour leurs encadrements et les enseignements que j'ai reçus tout au long de ma formation ;
- ❖ Mes camarades de la 2<sup>e</sup> promotion du Génie Mécanique pour la collaboration et l'entraide;
- ❖ Mes parents et mes frères pour le soutien indéfectible ;
- ❖ Tous ceux qui de près ou de loin ont participé à la réalisation de ce travail.

## RESUME

L'évolution de la technologie 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 et chercheurs 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 appelée *GNETUM*, au Cameroun, cette plante est connue sous divers noms *OKOK*, ou *ERU*, ou encore *KOKO* selon les localités est un produit consommé par plus de 60% de la population locale et dont la consommation est en temps partiel due à la difficulté de découper ces feuilles en fines lamelles directement consommables. Ainsi, la découpe des feuilles de Gnetum de façon mécanique n'est-elle pas une activité embryonnaire qui cherche sa voie sur le plan de l'industrialisation ? Interrogation suffisante pour mettre sur pied **une machine à découper les feuilles de Gnetum directement consommables**. Pour atteindre cet objectif, le travail a été reparté en quatre grandes articulations, la première qui s'intéresse sur les généralités sur les feuilles de Gnetum, suivi de la revue de littérature qui permet de faire le tour des machines existantes, leurs principes de fonctionnement, leurs avantages et inconvénients, l'étude fonctionnelle permettant de faire une analyse fonctionnelle, des propositions et choix de la solution retenue, la troisième articulation qui consiste à faire une étude 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, et enfin l'étude de fabrication accompagnée du plan de maintenance et de l'estimation des coûts.

## ABSTRACT

The evolution of technology is today a cultural phenomenon in its own right ; At same time, the growth, renovation, and adapttation of knowledge and skills require constant investment on the part of technologists and researchers who, in the agrifood environment, try to focus on the transformation of agricultural products so as to be directly consumables. The example here will be oriented towards a plant with multiple virtues called *GNETUM*, in Cameroon, this plant is known by various names *OKOK*, or *ERU*, or even *KOKO* depending on the localities is a product consumed by more 60% of the local population and whose consumption is part-time due to the difficulty of cutting the sheets into thin strips that can be consumed directly. So, cutting the leaves of Gnetum mechanically, isn't it an embryonic activity that seeks its voice in terms of indusrialization ? sufficient interrogation to set up a machine to cut the sheets of Gnetum directly consumable. To achieve this objective, the work was divided into four main articulations, the first which focuses on generalities on the sheets of Gnetum, followed by the literature review which makes it possible to tour the existing machines, their principles of operation, their advantages and disadvantages, the functional analysis to be made, proposals and choice of the chosen solution, the third articulation which consists in making a conceptual study in which we have carried out all the necessary calculations and also all the functional drawings and games relatings to the proper functioning of the machine, and finally the manufacturing study accompanied by the maintenance plan and the cost estimate.

## SOMMAIRE

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS .....	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT .....	iv
SOMMAIRE .....	v
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX .....	ix
GLOSSAIRE.....	x
AVANT PROPOS .....	xi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I : GENERALITES SUR LE GNETUM.....	2
I.1. PRESENTATION DU GNETUM (OKOK) .....	3
I.1.1. Zone d'exploitation .....	4
I.1.2. Techniques de récolte .....	4
I.1.3. Commercialisation du GNETUM.....	5
I.2. PROPRIETES DU GNETUM.....	6
I.2.1 Propriétés nutritionnelles.....	6
I.2.2 Propriétés thérapeutiques.....	7
I.3. CONSOMMATION ET TRANSFORMATION DU GNETUM .....	7
I.3.1. Consommation du Gnetum.....	7
I.3.2. Transformation du Gnetum .....	8
I.4. TECHNIQUES TRADITIONNELLE D'OBTENTION DU GNETUM DECOUPE .....	9
I.4.1. Méthode par assemblage des milliers de feuilles .....	10
I.4.2. Méthode par assemblage de quelques dizaines de feuilles .....	10
I.4.3. Avantages et inconvénients du découpage manuel .....	11
I.5. CAHIER DE CHARGE .....	11
I.5.1. Problématique.....	11
I.5.2. Méthodes et outils.....	11
I.5.1. Objectif du projet.....	12

Chapitre II : ETAT DE L'ART, ANALYSES CRITIQUES ET PROPOSITIONS DES SOLUTIONS ....	13
II.1. SOLUTIONS EXISTANTES DES MACHINES À DÉCOUPER LES LÉGUMES.....	14
II.1.1. Trancheuse à mouvement de lame transversale .....	14
II.1.2. Trancheuse manuelle à lames rotatives .....	15
II.1.3. Trancheuse motorisée à lames rotatives 1 .....	17
II.1.4. Trancheuse motorisée à lame rotative 2 .....	18
II.1.5. Déchiqueteuse des légumes .....	19
II.2. ETUDE FONCTIONNELLE .....	20
II.2.1. Analyse de l'expression du besoin .....	20
II.2.2. Analyse de l'expression du produit .....	21
II.2.3. Analyse fonctionnelle interne.....	25
II.3. PROPOSITION DES SOLUTIONS .....	26
II.3.1. Solution 1 : Trancheuse de légumes à lames rotatives 4 .....	26
II.3.2. Solution 2 : Trancheuse multiforme de légumes .....	27
II.3.3. Solution 3 : trancheuse à lame rotative 5.....	28
II.3.4. Présentation de la solution retenue .....	29
Chapitre III : ETUDE CONCEPTUELLE .....	30
III.1. ETUDE CINÉMATIQUE .....	31
III.1.1. Description de la machine .....	31
III.1.2. Détermination expérimentale de l'effort de coupe .....	31
III.1.3. Calculs relatifs au choix du moteur .....	35
III.1.4. Choix de la courroie .....	37
III.1.1. Détermination des tensions en marche dans la courroie.....	40
III.2. ETUDE DIMENSIONNELLE.....	42
III.2.1. Dimensionnement de l'arbre récepteur.....	42
III.2.2. Calculs et Choix des roulements .....	58
III.2.3. Dimensionnement de la clavette.....	60
III.3. ETUDE GRAPHIQUE.....	61
III.3.1. Dessin d'ensemble de la machine.....	62
III.3.2. Cotation fonctionnelle .....	64
III.3.3. Dessins de définitions.....	66
Chapitre IV : ETUDE DE FABRICATION.....	70
IV.1. CAHIER DE CHARGE DE FABRICATION .....	71
IV.2. PRESENTATION DU PROTOTYPE .....	81

IV.2.1. Présentation du prototype .....	81
IV.2.2. Difficultés de réalisation.....	81
IV.2.3. Suggestions.....	82
IV.3. NOTICES D'UTILISATION ET DE MAINTENANCE.....	82
IV.4. ETUDE DU COUT DE REALISATION.....	83
CONCLUSION GENERALE .....	86
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	87
ANNEXES .....	89

## LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Feuilles de GNETUM .....	3
Figure I.2: Exemple de technique de récolte .....	5
Figure I.3 : Le Gnetum dans ses variétés gastronomiques .....	9
Figure I.4: Méthode par assemblage de milliers de feuilles.....	10
Figure I.5 : Découpage avec assemblage de dizaines de feuilles .....	10
Figure II. 6 : Trancheuse à la translative .....	14
Figure II.7 : Trancheuse à lames rotatives .....	17
Figure II.8 : Trancheuse à lames rotatives .....	18
Figure II.9 : Déchiqueteuse des légumes .....	19
Figure II.10 : Diagramme bête à cornes .....	21
Figure II. 11 : Diagramme pieuvre.....	22
Figure II.12 : Histogramme des fonctions.....	24
Figure II.13 Diagramme FAST .....	25
Figure II.14 : Trancheuse de légumes à lames rotatives 4 .....	26
Figure II.15 : Trancheuse multiforme de légumes .....	27
Figure II.16 : trancheuse à lame rotative 5.....	28
Figure III.17 : Trancheuse à lame rotative .....	31
Figure III. 18 : Essai de détermination de l'effort de coupe .....	32
Figure III.19 Système poulies-courroie isolé .....	35
Figure III.20 : Tensions en marche dans la courroie.....	40
Figure III.21 : Les efforts dans l'arbre .....	43
Figure III.22 : Système {3-8- et 5} isolé.....	48
Figure III.23 : Tronçon OA isolé .....	48
Figure III.24 : Tronçon AB isolé.....	50
Figure III.25 : Tronçon BC isolé.....	51
Figure III.26 : Diagrammes des efforts tranchants.....	54
Figure III.27 : Diagrammes des moments fléchissant et moment de torsion .....	55
Figure III.28 : Clavette soumise au matage.....	60
Figure III.29 : prototype en 3D .....	62
Figure III.30 : Représentation de la chaîne de cote relative au jeu a et b.....	64
Figure III.31 : Représentation de la chaîne de cote relative au jeu c .....	65

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Teneur en acide aminés sur le Gnetum .....	6
Tableau I.2 : Avantages inconvénients de la découpe manuel.....	11
Tableau II.3 : Avantages et inconvénients d'une trancheuse à lame translative .....	15
Tableau II.4 : Avantages et inconvénients de la trancheuse à lames rotatives.....	16
Tableau II.5 : Avantages et Inconvénients de la trancheuse à lames rotatives .....	18
Tableau II.6 : Avantages et Inconvénients de la trancheuse à lames rotatives .....	19
Tableau II.7 : Avantages et Inconvénients de la déchiqueteuse de légumes.....	20
Tableau II.8 : Tri croisé.....	24
Tableau II.9 : Avantages et Inconvénients de la solution 1 .....	27
Tableau II.10 : Avantages et Inconvénients de la solution 2 .....	28
Tableau II.11 : Avantages et Inconvénients de la solution 3 .....	29
Tableau III.12 : Résultat de détermination de l'effort de coupe .....	33
Tableau III.13 : Synthèse des résultats.....	41
Tableau III.14 : Tableau de valeurs des efforts internes aux extrémités des tronçons.....	53
Tableau III.15 : Tableau de valeurs des efforts internes aux extrémités des tronçons.....	54

## GLOSSAIRE

Désignations	Abréviations	Unités
Coefficient d'adhérence	f	
Diamètre de l'arbre	D	mm
Puissance du moteur	$P_m$	KW
Couple moteur	$C_m$	N.mm
Vitesse angulaire de rotation du moteur	$w_m$	n rad/s
Effort tangentiel	$F_t$	N
Masse moyenne	m	Kg
L'angle d'inclinaison de la pâles par rapport à la verticale	$\theta$	Degré
Couple moteur	$C_v$	N.mm
Rendement de transmission poulie-courroie	$\eta$	pourcentage
Angle de courbure de la courroie trapézoïdale	$\beta$	Degré
Angle d'enroulement courroie sur la poulie motrice	$\theta$	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	$K_s$	
Pression admissible	$P_a$	Mpa
Puissance brute transmissible par courroie	$P_o$	KW
Puissance brute transmissible par courroie	$C_L$	KW
Puissance de service	$P_s$	KW
Longueur primitive de la courroie	L	mm
Facteur de l'arc	a	
Pression de matage sur un flanc de la clavette	$P_{mat}$	Mpa

## AVANT PROPOS

L'Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique (ENSET) D'EBOLOWA est un établissement de l'université de Yaoundé ayant pour principal objectif la formation des professeurs de lycées et collèges d'enseignement technique et des conseillers professionnels d'orientation. 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 septembre 1991 dans son article 30, stipule qu'un mémoire de recherche sous forme de projet doit être présenté à la fin de chaque cycle. Le thème doit porter sur la spécialité de l'étudiant ou sur un problème d'ordre pédagogique. Cette disposition a pour principal objectif d'appliquer les connaissances acquises au cours de nos deux années de formation. C'est en s'inscrivant sur cette visée et en vue de l'obtention du diplôme de professeur d'enseignement technique grade 2 (DIPET 2), que nous avons en toute modestie rédigé ce projet intitulé : « **ETUDE ET REALISATION D'UNE MACHINE A DECOUPER LES FEUILLES DE GNETUM (OKOK, ERU)** » en vue de l'obtention du Diplôme de professeur d'Enseignement Technique du second grade **DIPET 2**.

Ce projet nous a permis d'atteindre l'un des objectifs visés par l'ENSET d'EBOLOWA, 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 commerçants la découpe des feuilles de *NGETUM*.

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

## INTRODUCTION GENERALE

Le Cameroun est un pays qui, grâce à sa situation géographique et à son climat, possède une bonne variété d'aliments parmi lesquelles les légumes. Ces derniers, bien qu'étant utilisés dans la médecine traditionnelle, jouent un rôle capital dans la consommation. En effet, le niveau de vie devient de plus en plus élevé au pays, favorisant ainsi la baisse du taux de citoyens ayant régulièrement accès à la viande et au poisson tout en optant pour la consommation des légumes. Toutefois, au-delà des contraintes financières, certains légumes font partir des mets spéciaux de quelques cultures : c'est le cas par exemple chez les BETIS avec l'OKOK et les DOUALA avec le NDOLE. Les feuilles de Gnetum ont une coloration verte, elles sont dures naturellement c'est ce qui les distingue des autres légumes et imposent un certain ordre dans la manière de les découper ; elles sont consommées pour leur apport nutritif en glucides, protéines et sels minéraux, elles permettent également de faire des boissons alcoolisées et les drogues ; mais de toutes ces qualités, nous choisissons de nous attarder sur le consommable. L'obtention du produit prêt pour l'usage ne s'avère pas toujours facile et dans la plupart des cas, on constate des blessures ou égratignures pour une découpe manuelle, toute fois, nous nous posons la question de savoir comment mettre sur pieds une machine permettant de découper les feuilles de Gnetum afin de pallier aux problèmes rencontrés dans nos marchés et ménages ? Notre travail est organisé en quatre chapitres ; dans le premier, nous présentons les généralités sur le Gnetum, le second, sera consacré à la présentation de quelques machines existantes sur le domaine suivi d'une analyse critique , par la suite nous proposons des solutions en effectuant le choix de celle qui fera l'objet de la suite de notre travail ; Le troisième quant à lui nous permettra de faire une étude mécanique et dimensionnelle dans laquelle nous ferons le dimensionnement des pièces mécaniques essentielles, l'étude graphique; et enfin le quatrième chapitre qui parlera de l'étude de fabrication, l'estimation des couts et les tests du prototype.

## **Chapitre I : GENERALITES SUR LE GNETUM**

Dans cette partie du chapitre, il est question pour nous de ressortir tout de mener une étude sur le GNETUM, en donnant sa classification du règne au genre, sa présentation en tant que feuille de légume, ses différentes propriétés à nous offrir dans l'organisme, sa transformation et les différentes méthodes d'obtention de ces feuilles découpées.

## I.1. PRESENTATION DU GNETUM (OKOK)

Le GNETUM est une liane forestière qui pousse abondamment en Afrique Centrale, Amérique du Sud et en Asie tropicale et subtropicale ; Elle est dioïque (pieds mâles et femelles séparées) atteignant jusqu'à 10m de long et parfois plus. Dans sa classification, elle appartient au règne *PLANTAE*, au sous-règne *TRACHEOBIONTA*, à la division des *GNETOPHYTA*, la classe des *GNETOPSIDA*, de l'ordre des *GNETALES*, de la famille des *GNETACEA* et du genre *GNETUM*. Il existe environ une trentaine d'espèces de Gnetum à travers les tropiques ; en Afrique, particulièrement au Cameroun il existe deux espèces de Gnetum qui sont : le *GNETUM AFRICANUM* et le *GNETUM BUCHOLZIANUM*, l'une a des feuilles lumineuses et larges, et l'autre a des feuilles effilées. A l'origine, le Gnetum consommé comme aliment forestier était propre aux peuples Bayangui dans le Sud-Ouest du Cameroun, mais l'amélioration des infrastructures et l'accroissement des migrations ont abouti à une demande élevée, d'autres groupes ethniques au Cameroun, en Afrique centrale et de l'étranger se sont arrimés à la consommation de cette plante [1].

Les consommateurs et les commerçants du Gnetum ne distinguent pas aisément ces deux espèces ; Depuis des siècles, les peuples des forêts pratiquent sans cesse la cueillette de ces feuilles, sans pouvoir en replanter ; elle pousse toute seule en forêt. Le Gnetum est une plante grimpante, croissant sur les troncs d'arbre dans la forêt tropicale. Elle se trouve sous forme d'une liane dioïque. Si on ajoute à cela son exportation au-delà des frontières camerounaises, l'on pourrait comprendre aujourd'hui pourquoi les paysans sont obligés d'aller de plus en plus loin pour cueillir le Gnetum Appelé *ERU* dans la zone anglophone, *OKOK* dans le Littoral, Centre et *KOKO* dans la région de l'Est Cameroun.



Figure I.1 : Feuilles de GNETUM

### I.1.1. Zone d'exploitation

Longtemps récolté en forêt, le Gnetum est exploité depuis le début des années 2000 au Cameroun, il est classé comme produit forestier non ligneux (PFLN) ; Mais l'augmentation de la population ainsi que l'exportation des Camerounais vers les Africains habitant en Europe, ont causés une surexploitation de la plante, ceci a poussé les autorités à encourager la plantation du Gnetum. Les régions du Centre, du Sud-Ouest et du Littoral constituent les principales zones d'exploitation au Cameroun [5].

Récolté pour ses feuilles, le GNETUM est très consommé comme légume par les populations riveraines. Toutefois, il reste moins exploité dans certaines zones du Cameroun, particulièrement dans les zones où il ne fait pas encore parti des habitudes alimentaires, comme à l'Ouest. Les feuilles de *gnetum africanum* et de *gnetum bucholzianum* sont des légumes verts à haute valeur nutritive qui se trouvent en Afrique centrale hormis le Cameroun et qui font l'objet d'un commerce transfrontalier considérable. Depuis quelques années, ce commerce a connu une augmentation dramatique et la ressource est sérieusement menacée par des méthodes de récolte non durable et par la disparition progressive de leur habitat.

### I.1.2. Techniques de récolte

Les feuilles de Gnetum se récoltent de quatre manières selon l'opérateur ou selon sa position pour atteindre la plante dans la forêt.

- Soit le cueilleur prélève uniquement les feuilles sur la liane. Par convoitise économique ou par ignorance, toutes les feuilles sont récoltées tout en laissant la tige nue. Les nouvelles feuilles apparaissent rapidement, permettant ainsi le déroulement normal de l'activité photosynthétique, utile à la survie de la plante ;
- Soit le cueilleur coupe la partie supérieure de la plante tout en s'assurant qu'aucune feuille n'est oubliée et ainsi, dans le meilleur des cas, la croissance peut reprendre, permettant de reconstituer les organes arrachés ;
- Soit l'opérateur arrache ou déracine la plante entière avant le prélèvement des feuilles, compromettant de ce fait toute possibilité de renouvellement ;
- Soit il abat l'arbre qui soutient la liane avant de procéder au retrait des feuilles

Ces feuilles cueillies sont assemblées d'une manière pas ordonnée car le but est juste de faire des assemblages sous forme de paquets afin de mieux les contenir et éviter l'encombrement.



Figure I.2: Exemple de technique de récolte

### **I.1.3. Commercialisation du GNETUM**

Les feuilles de *Gnetum* représentent une denrée commerciale importante en Afrique centrale, surtout au Cameroun, où la cueillette des feuilles de *Gnetum*, destinées à la vente sur les marchés locaux et régionaux, est une activité quotidienne. Dans le commerce, les lots de *Gnetum Africanum* et *Gnetum Buchholzianum* sont souvent mélangés. Les commerçants paient davantage pour les feuilles épaisses et vert foncé et ce dernier, mais une grande variation est également due aux conditions de croissance. La majeure partie du Gnetum est consommée localement, mais un commerce intensif s'est développé à partir du Cameroun et plus récemment au Gabon et de Centrafrique pour satisfaire la demande importante au Nigeria. Les centres de commercialisation au Cameroun sont Campo à proximité de Kribi pour l'export vers le Gabon, Idenau après Limbé et le marché Mfoundi à Yaoundé, Un autre centre de commercialisation important est la région de Koiliou au Congo. Les feuilles sont exportées, principalement du Nigeria vers les Etats-Unis et dans une moindre mesure, d'autres pays vers la France et le Royaume-Uni [2], Le commerce du Gnetum génère de gros revenus qui sont très souvent répartis de manière inégale à travers le pays et entre les différents acteurs de la filière. Des opérateurs économiques privilégiés reçoivent des titres d'exploitation du Ministère des forêts et de la faune et replacent parfois les quotas obtenus sous forme de lettre de voiture en échange de grosses sommes d'argent, ce qui rend le suivi difficile. Les grossistes agissant jusqu'aux marchés du Nigeria (Oron, Ikom, Iking et Calabar) atteignent un revenu mensuel de 255 000 F CFA [2], Le volume d'exportation de ces espèces a considérablement augmenté ces dernières années ; Afin de répondre à la demande élevée, la récolte de *Gnetum* s'est étendue jusqu'aux régions les plus reculées du Cameroun de sorte que, aussi bien dans les forêts du littoral que dans les provinces du Sud- ouest, cette ressource, autrefois abondante, est maintenant difficile à trouver. Le mercredi et le jeudi, il arrive souvent que des véhicules chargés de *Gnetum* se rendent à Idenau. Ils arrivent chaque semaine des forêts des provinces du centre, de l'est et du sud du pays. [2] On estime que 600 tonnes de ce produit transitent

annuellement dans la seule ville de Idenau pour une valeur commerciale sur le marché local de 1,8 milliards de francs CFA. Grâce à un tel volume d'échanges, de nombreux jeunes au Cameroun et dans les pays voisins bénéficie d'un emploi rémunérateur. Par exemple, le chiffre d'affaires mensuel d'un des marchands exerçant à plein temps dans la vente du *Gnetum* à Idenau, s'élève à 450 000 F CFA (observation personnelle de l'auteur)

## I.2. PROPRIETES DU GNETUM

### I.2.1 Propriétés nutritionnelles

Selon Mialoundama (2000), les feuilles de *Gnetum Africanum* du Congo présentent par 100g de matière sèche la composition suivante : 70g d'hydrates de carbone dont 40g de cellulose, 16.5g de protéines, 6g de lipides, et 7g de cendres [8]. La teneur élevée en protéines des feuilles d'*okok* explique pourquoi elles sont souvent utilisées comme substitut à la viande. Tous les huit acides aminés essentiels sont présents dans l'*okok*. La teneur en acides aminés essentiels par 100g de matière sèche est :

Tableau I.1 : Teneur en acide aminés sur le *Gnetum*

Acides aminés	Quantité par 100g de matière sèche
Isoleucine	0.7g
Leucine	1.4g
Lysine	0.8g
Méthionine	0.2g
Phénylalanine	1.0g
Thréonine	0.8g
Tryptophane	0.2g
Valine	0.9g

Les analyses d'échantillons de *Gnetum Africanum* provenant des différents pays sont similaires, la valeur alimentaire de *Gnetum buchholzianum* est sensiblement plus élevée que celle de *Gnetum africanum*, reflétant la préférence des consommateurs pour la première. C'est un légume riche qui contient en plus des huit acides aminés essentiels, beaucoup d'éléments minéraux

dont le potassium, le phosphore, le calcium, le magnésium, le sodium, le chlore. Il est riche en lipides, hydrates de carbone, cellulose, fibres végétales [6].

### **I.2.2 Propriétés thérapeutiques**

En dehors de l'utilisation dans l'alimentation, les feuilles sont utilisées dans la médecine traditionnelle. A cet effet, [7] au Nigeria, les feuilles de Gnetum sont utilisées pour le traitement des hémorroïdes et de l'hypertension, ainsi que comme médicament contre la dilatation de la rate, les maux de gorge, et comme purgatif.

En Centrafrique, les feuilles sont consommées pour traiter la nausée et comme antidote contre le poison et certaines morsures de serpent.

Au Cameroun, les feuilles sont mâchées pour limiter les effets de l'ivresse et elles sont utilisées en lavement contre la constipation et pour faciliter les accouchements. Elles sont aussi utilisées pour soigner les furoncles et les mycoses des doigts. Les feuilles sont également exploitées et utilisées par les populations rurales.

Par ailleurs, les graines de Gnetum, seraient consommées au Cameroun et en République Démocratique du Congo. Elles sont non seulement employées comme fongicide pour habiller les blessures fraîches et septiques, mais aussi pour le traitement de rate agrandie, des gorges endolories, des douleurs de l'accouchement. Enfin, la tige souple est parfois utilisée comme corde. Cette dernière sert à attacher les paquets des feuilles d'*okok* destinés aux détaillants des grands marchés des grandes villes du Cameroun, [3] Au Congo, le *GNETUM* est de pansement contre les verrues ainsi que les furoncles et les boutures sont à la base de tisanes soulageant des douleurs liées à l'accouchement. Selon certains nutritionnistes, les tisanes à base de feuilles de Gnetum peuvent aussi servir dans la perte de poids.

## **I.3. CONSOMMATION ET TRANSFORMATION DU GNETUM**

### **I.3.1. Consommation du Gnetum**

Quasiment absent des manuels gastronomiques, le légume traditionnel n'en est pas moins resté présent dans la cuisine camerounaise, tant pour ses valeurs gustatives que nutritives. C'est surtout pour sa valeur nutritive qu'on apprécie énormément le *Gnetum*.

Au Cameroun, le *Gnetum* se consomme sous plusieurs formes variées selon les appartenances culturelles et ethniques, il est tout d'abord découper en filament dont la taille dépend

du type de préparation, ajouté dans des soupes de pâte d'arachides, noix de palme, huile de palme, et/ou viande ou poisson... Dans les régions du Sud, Centre elles constituent un ragoût à base d'arachides et de pulpe de noix de palme. Les feuilles remplacent souvent la viande grâce à leur haute teneur en protéines. Dans la région du nord-ouest Cameroun, pour ramollir ce légume plutôt dur, on le mélange habituellement avec du water leaf (légumes possédant des propriétés attendrissantes). Les feuilles coupées en fines lanières peuvent être séchées et conservées pour un usage ultérieur. Le Gnetum comme met gastronomique s'accompagne le plus souvent avec les tubercules de manioc, bâtons de manioc dans certains cas et avec le couscous pour le Eru.

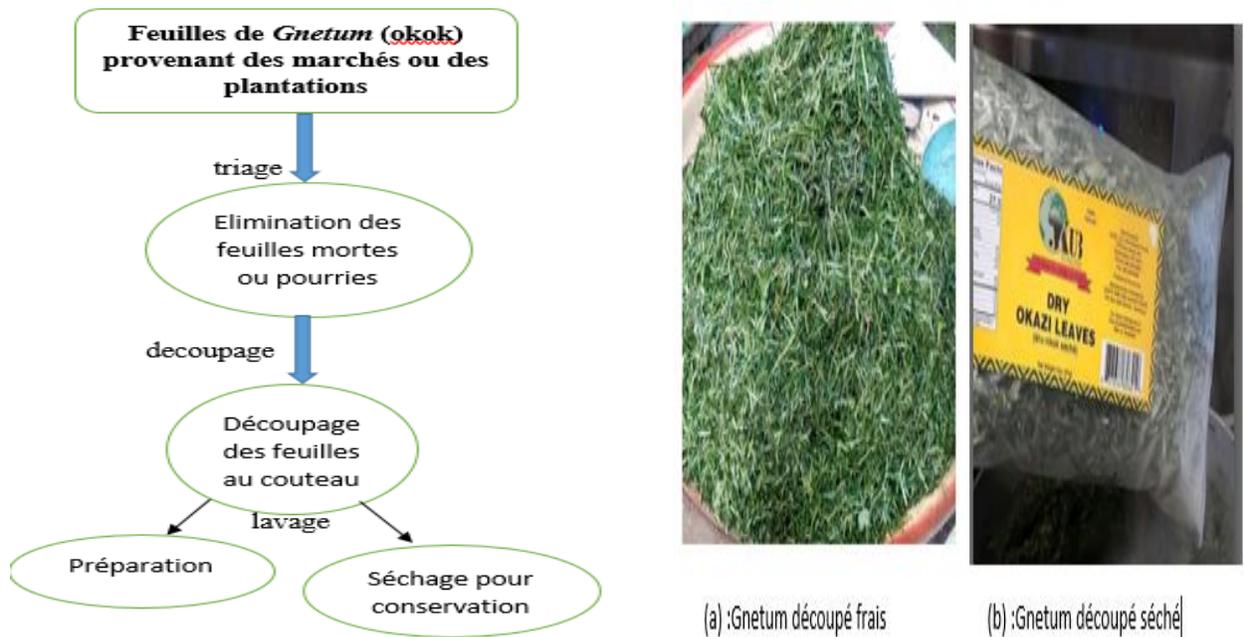
Le Nigeria frontalier au Cameroun du côté de la zone anglophone, consomme le Gnetum sous forme de Eru. Au Gabon et au Congo, le Gnetum est consommé dans des soupes sous diverses formes....

### **I.3.2. Transformation du Gnetum**

Le Gnetum après être cueillit subit naturellement des transformations, étant une plante qui se décompose très rapidement, lorsqu'elle est découpée, peut être séchée au soleil pour faciliter la conservation.

Il est également transformé en whisky au Nigeria et au Cameroun [4] c'est le cas à Mbalmayo dans le quartier New Town où une dame en fait son business, elle ne se limite pas seulement à transformer le Gnetum en whisky mais aussi en savon et en huile puis commercialise.

Nous avons ci-dessous, les étapes de transformation du Gnetum de la cueillette à la consommation ou conservation.



Graph I.1: Processus de transformation du Gnetum

### ❖ PRÉSENTATION DE QUELQUES VARIÉTÉS DE PLATS D'OKOK



Figure I.3 : Le Gnetum dans ses variétés gastronomiques

## I.4. TECHNIQUES TRADITIONNELLE D'OBTENTION DU GNETUM DECOUPE

La méthode manuelle est la plus ancienne, utilisée pour hacher les denrées alimentaires telles que le plantain, pomme de terre, feuilles.... Elle nécessite pour son utilisation quel qu'en soit

la méthode un opérateur, un couteau préalablement aiguisé, une assiette ou une table ; pour cette technique traditionnelle de découpage, nous avons deux méthodes :

#### **I.4.1. Méthode par assemblage des milliers de feuilles**

Dans cette méthode, l'opérateur associe les feuilles de Gnetum comprenant quelques tiges jusqu'à l'obtention d'un paquet de feuilles bien serrées que la main ne peut contenir si celles-ci ne sont pas attachées au préalable, ce paquet peut être attaché à l'aide d'une fronde de caoutchouc ou de la simple corde de la liane afin de faciliter la découpe qui s'effectue à l'aide d'un couteau bien tranchant ; les feuilles sont coupées progressivement en fines lamelles dont l'épaisseur varie de 1-3 mm jusqu'à l'épuisement total des feuilles contenu dans le paquet.



Figure I.4: Méthode par assemblage de milliers de feuilles

#### **I.4.2. Méthode par assemblage de quelques dizaines de feuilles**

Dans cette méthode, on ne perd pas assez de temps pour former les paquet; À l'aide d'un morceau de bois ou de planche bien lisse et d'un couteau tranchant, l'opérateur assemble une dizaine de feuilles de Gnetum, tranche le milieu du petit nœud de feuille et procède au découpage en ayant posé ces feuilles sur le morceau de bois, ceci s'apparente à la méthode qui consiste à hacher les condiment de cuisine sur la planche du cuisinier, c'est d'ailleurs le même processus; cette méthode est beaucoup plus observable pour la préparation du ERU.



Figure I.5 : Découpage avec assemblage de dizaines de feuilles

### I.4.3. Avantages et inconvénients du découpage manuel

Tableau I.2 : Avantages inconvénients de la découpe manuel

Avantages	Inconvénients
Manipulation facile	Perte de temps
Accessible à tous le consommateurs	Postures très contraignantes
Entretien facile	Insécurité de l'opérateur
Résultat bien précis	

## I.5. CAHIER DE CHARGE

### I.5.1. Problématique

Le Gnetum est un légume apprécié par plusieurs ménages du fait de sa saveur naturelle qu'il procure aux papilles gustatives, au Cameroun, il est consommé en moyenne une fois par semaine surtout les weekends car plusieurs ménages ont cultivé l'habitude de consommer les légumes à cette période parce que les légumes surtout en feuilles sont des aliments qui demandent assez de temps pour la préparation d'où le dévolu pour la plupart sur le gnetum lorsque la fin de semaine approche. Les commerçants de ce légume se retrouvent très souvent sous pression en période de weekend à cause de la demande qui est très souvent élevée, parfois il y'a des long fils d'attente afin d'être servi, la nouvelle méthodes adoptés par ces derniers est de découper en quantité à la veille ou deux jours avant le début du weekend afin de satisfaire la demande , cette méthode n'est pas bonne car la feuille une fois découpée perd sa saveur avec le temps ; pour cela, nous pensons qu'il est nécessaire d'avoir un dispositif simple, moins couteux et moins encombrant qui puisse permettre de découper les feuilles de Gnetum plus rapidement, satisfaire les clients et aussi équiper les ménages pour ceux qui voudront s'en procurer afin d'assurer eux même leur découpe.

### I.5.2. Méthodes et outils

#### ❖ Méthodes

- Faire une étude générale sur le GNETUM ;
- Rechercher les différentes machines existantes pour la découpe des légumes en général et du Gnetum en particulier (s'il y en a) ; 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.

❖ **Outils**

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

**I.5.1. Objectif du projet**

La réalisation de notre projet se fera dans le but de résoudre plusieurs problèmes que rencontrent les commençants du gnetum et les ménages à savoir :

- De moderniser le secteur archaïque de découpage du gnetum que l'on rencontre dans nos marchés ;
- Faciliter le travail des consommateurs de manière à trouver le GNETUM toujours disponible peu importe la saison.

Parvenu au terme de ce chapitre, nous avons présenté le *GNETUM* de manière générale, il sera question pour nous dans la suite de présenter des différentes découpeuses qui existent, faire une étude critique afin de nous permettre d'aboutir au meilleur choix de la solution au problème qui est la découpe des feuilles de *GNETUM*.

## **Chapitre II : ETAT DE L'ART, ANALYSES CRITIQUES ET PROPOSITIONS DES SOLUTIONS**

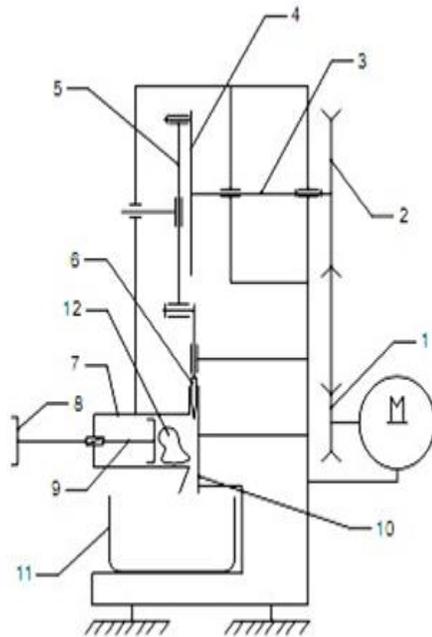
L'idée de découper les légumes notamment en forme de feuilles n'est pas nouvelle ; ainsi donc dans ce chapitre il sera pour nous question de présenter les différentes méthodes existantes de découpe de légumes, ressortir les avantages et inconvénients puis, faire des propositions de solutions.

## II.1. SOLUTIONS EXISTANTES DES MACHINES À DÉCOUPER LES LÉGUMES

### II.1.1. Trancheuse à mouvement de lame transversale

Par NDIWE Benoit, NJANTEU Hermann, TAWE ; Etudiants à l'ENSET DE DOUALA session 2008-2009

#### a) Schéma fonctionnel



#### LEGENDE

1. Poulie
2. Poulie réceptrice
3. Axe
4. Roue
5. Bielle
6. Lame
7. Trémie
8. Volant
9. Vis
10. Guide lame
11. Récipient
12. Feuilles de légumes

Figure II. 6 : Trancheuse à la translative

#### b) Description et fonctionnement

Le mouvement de rotation est transmis à la roue 4 par l'intermédiaire de la poulie réceptrice 2 et de l'axe 3. Le mouvement de la roue 4 est transformé en mouvement de translation alternatif (mouvement de coupe) grâce à un système bielle-manivelle 5 et 6. Ce mouvement est transmis à la lame 6 qui, à chaque descente, cisaille les légumes se trouvant dans la trémie 7. Ces légumes sont guidés en translation vers la sortie de la trémie grâce à un système vis-écrou 9 et 10, où ils sont tranchés.

**c) Avantages et inconvénients**

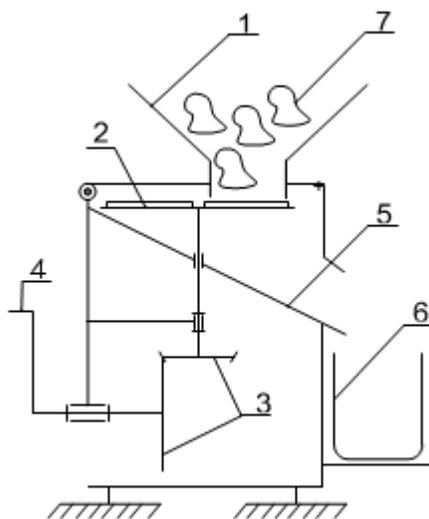
**Tableau II.3 :** Avantages et inconvénients d'une trancheuse à lame translatrice

Avantages	Inconvénients
Bon effort de coupe	Guidage difficile de la lame
Garantie la sécurité de l'opérateur	Avance des feuilles presque impossible
Augmente sensiblement le rendement	Ne découpe pas les légumes de feuilles dure
	Ne découpe pas la totalité des légumes insérés
	Les lamelles de feuilles découpées ne sont pas uniformes

**II.1.2. Trancheuse manuelle à lames rotatives**

Par NDOZENG Fabrice, NEM Luc, SAMBA Franc ; Etudiants à l'ENSET DE DOUALA session 2008-2009

**a) Schéma fonctionnel**



**LEGENDE :**

- 1. Trémie
- 2. Tranchoir
- 3. Roues dentées
- 4. Manivelle
- 5. Conduit
- 6. Récipient
- 7. Légumes

**Figure II.2 :** Trancheuse à lames rotatives

### b) Description et fonctionnement

Le tranchoir 2 est entraîné en rotation par le biais de la manivelle 4 et des roues dentées 3. Les aliments 7 après nettoyage sont introduit dans la trémie 1 et guidés vers le tranchoir pour être découpés. Ils sont ensuite conduits vers le récipient 6 mis au préalable à la sortie de la conduite 5. Notons ici que l'arbre qui porte le tranchoir 2 ne rencontre pas la conduite 5.

### c) Avantages et Inconvénients

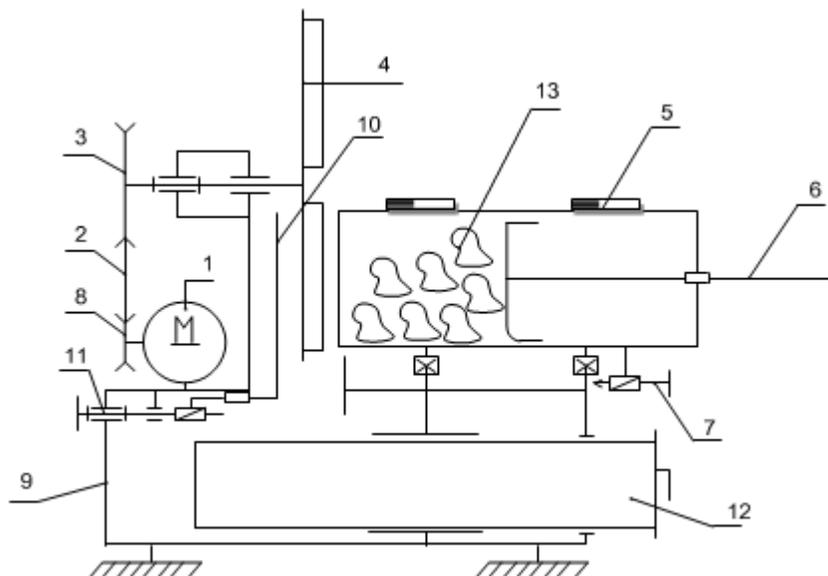
Tableau II.4 : Avantages et inconvénients de la trancheuse à lames rotatives

Avantages	Inconvénients
Rendement moyen	Tranche quelques aliments avec beaucoup de difficultés
Montage et démontage facile par rapport au premier mécanisme	Avance des feuilles presque impossible
Facile à manipuler et à entretenir	La découpe non uniforme
Economique	Perte excessive de temps car c'est manuel
	Nécessite un grand espace de travail

### II.1.3. Trancheuse motorisée à lames rotatives 1

Par ABIA NONGA, MEZATIO, ALONDJA ; Etudiants à l'ENSET DE DOUALA session 2010-2011

#### a) Schéma fonctionnel



#### LEGENDE

1. Moteur
2. Courroie
3. Poulie réceptrice
4. Lame
5. Trémie
6. Plateau poussoir
7. Vis de fixation
8. Poulie motrice
9. Bâti
10. Butée/ plateau réglable
11. Vis de réglage
12. Récipient
13. Légumes

Figure II.7 : Trancheuse à lames rotatives

#### b) Description et Fonctionnement

La lame de coupe **4** est entraînée en rotation par l'intermédiaire de système poulies et courroie **2** ; **3** ; **8**. la trémie **5** est soit fixe, soit en translation sur le bâti **9**. Le plateau de réglage **10** sert de butée pour les légumes fragiles et permet de régler l'épaisseur des tranches, il ne rencontre pas l'axe de rotation de la lame. Le plateau poussoir **6** entraîne les légumes vers la lame de coupe dans le cas où ce sont des légumes durs.

Les légumes **13** préalablement nettoyés, sont introduits dans une trémie et entraînés vers les lames de coupes par l'intermédiaire du plateau poussoir ou de la translation de la trémie après réglage de l'épaisseur de coupe sur le plateau. Ces légumes sont recueillis par une caisse logée dans le bâti et positionnée en bas de la lame.

**c) Avantages et Inconvénients**

Tableau II.5 : Avantages et Inconvénients de la trancheuse à lames rotatives

Avantages	Inconvénients
Bon rendement	Impose la disposition des légumes
Rapide	Opération de coupe incomplète
Découpage uniforme et aisé	
Manipulation facile	
Encombrement réduit	
Tranche, râpe et charcute	
Entretien facile	

**II.1.4. Trancheuse motorisée à lame rotative 2**

Par NGUEFACK, NONGNI, TCHOKONI ; Etudiants à l'ENSET DE BAMBILI session 2013-2014

**a) Schéma fonctionnel**

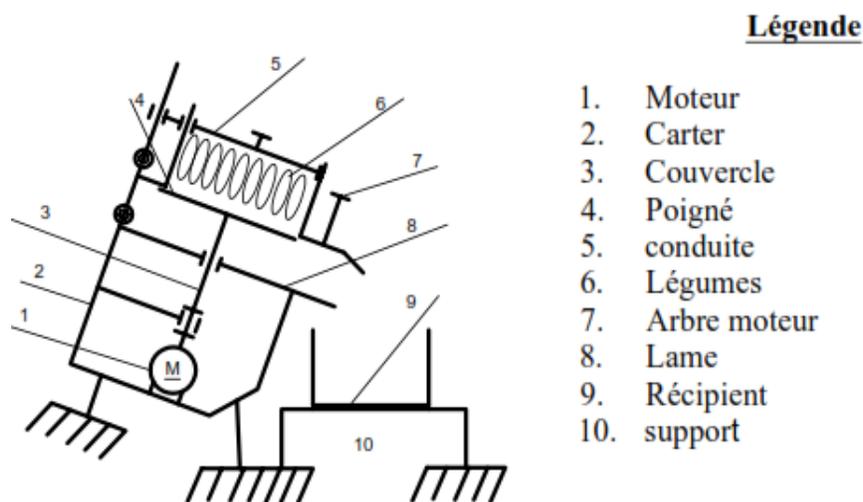


Figure II.8 : Trancheuse à lames rotatives

**b) Description et Fonctionnement**

La lame **8** est entraînée en rotation par l'arbre **7** liée au moteur. Les légumes **6** sont introduits dans la conduite **5** dans un sens précis, puis acheminés vers les lames par le couvercle **3** pour être découpés et guidés vers le récipient **9** par le biais de la conduite **5**

**c) Avantages et Inconvénients**

Tableau II.6 : Avantages et Inconvénients de la trancheuse à lames rotatives

Avantages	Inconvénients
Bon rendement	Feuilles fragiles non découpées
Rapidité de la découpe	Disposition des légumes imposée
Entretien et manipulation facile	
Bonne hygiène	
Montage et démontage facile	
Moins encombrant	

**II.1.5. Déchiqueteuse des légumes**

**a) Schéma fonctionnel**

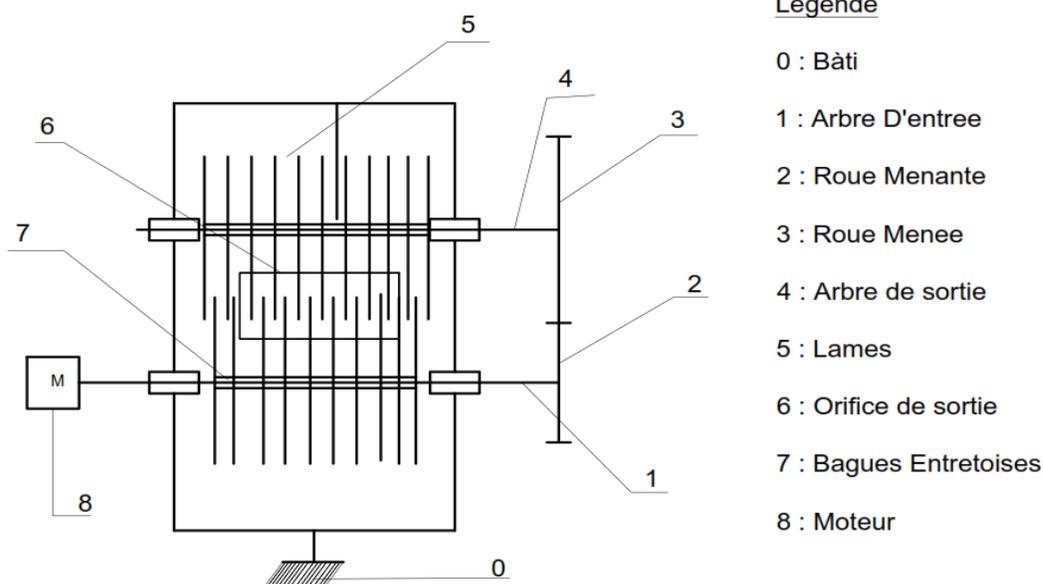


Figure II.9 : Déchiqueteuse des légumes

**b) Description et Fonctionnement**

L'arbre 4 est en mouvement de rotation à travers des roues 3 et 2. La roue 2, liée à l'arbre moteur 1 est en mouvement de rotation et entraîne également la roue 3 en rotation ; les lames 5 en mouvement de rotation permettent de déchiqueter les papiers à la dimension prévu par les

entretoises **7** existant entre les lames **5**, l'orifice de sortie **6** permet aux filaments de papiers de sortir et d'être recueillis.

### c) Avantages et inconvénients

Tableau II.7 : Avantages et Inconvénients de la déchiqueteuse de légumes

Avantages	Inconvénients
Rapide	Impose un sens d'introduction des feuilles
Uniformité des filets de feuilles	Plus adapté aux feuilles ayant une longueur et grosseur considérable
Manipulation facile	
Bon rendement	

## II.2. ETUDE FONCTIONNELLE

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.2.1. Analyse de l'expression du besoin

#### a) Diagramme bête à corne

Le diagramme bête à corne est un outil graphique d'analyse du besoin qui permet de répondre à trois questions spécifiques :

- A qui le produit rend-il service ?
- Sur quoi le produit agit-il ?
- Dans quel but réalise-t-on le produit ?

La figure ci-dessous représente le diagramme correspondant à notre besoin

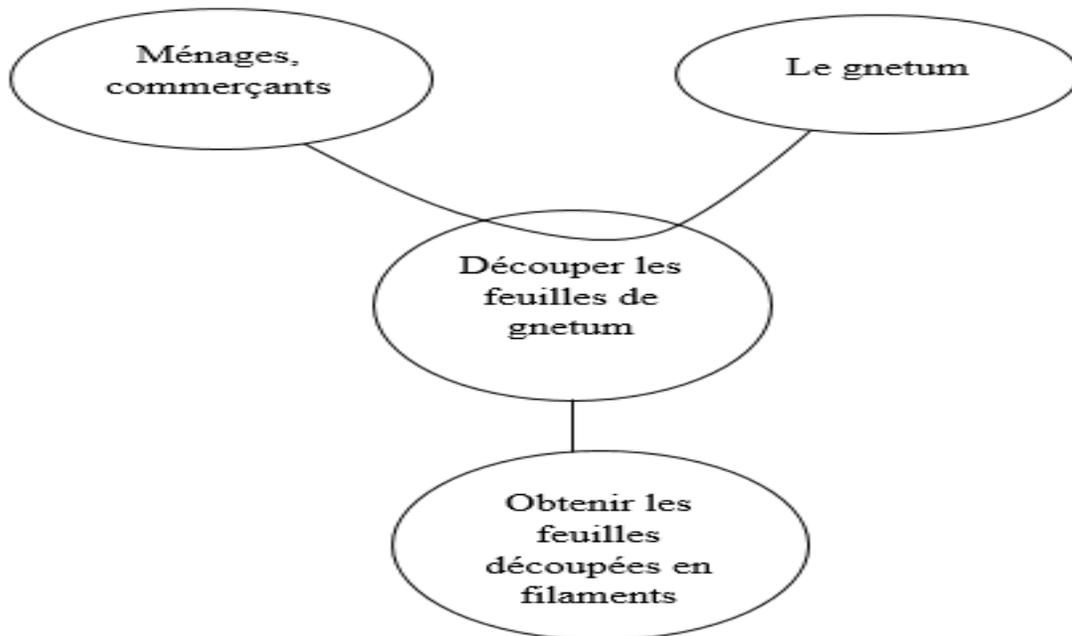


Figure II.10 : Diagramme tête à queue

### b) Formulation du besoin

La machine à découper les feuilles de gnetum rend service aux commerçants et aux ménages dans le but de réduire au maximum les pertes de temps effectués lors du découpage manuel.

#### II.2.2. Analyse de l'expression du produit

Elle se fera à l'aide du diagramme pieuvre qui ressortira les fonctions de service (FP : Fonction principale, FC : Fonction contrainte et FT : Fonction technique) 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 découpeuse sont :

- L'énergie ;
- L'opérateur ;
- L'environnement ;
- Norme qualité ;
- Encombrement ;
- Les normes de sécurité ;

- Entretien.

### a) Diagramme pieuvre

Ce diagramme nous permet de ressortir les fonctions de service de notre produit en s'appuyant sur les éléments du milieu extérieur et intérieur qui interagissent avec le produit.

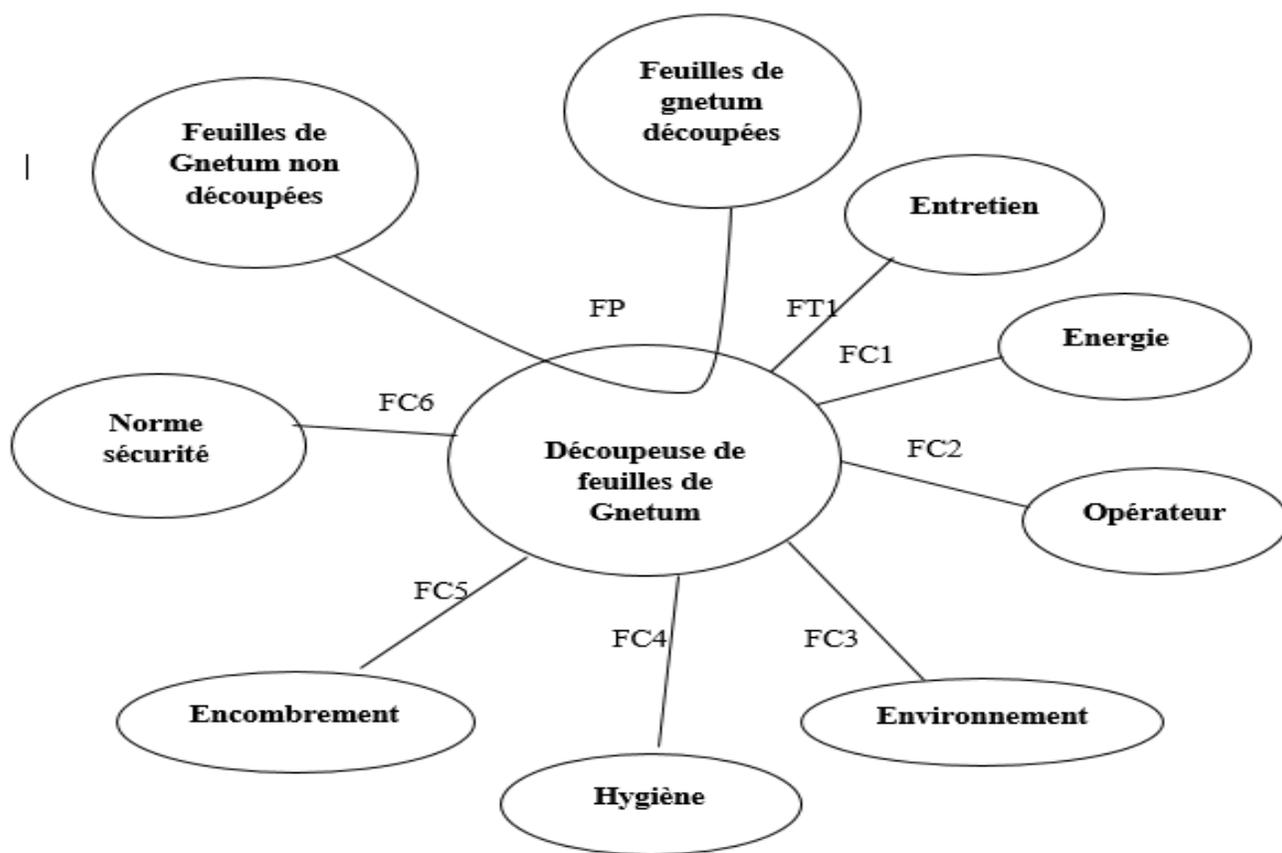


Figure II. 11 : Diagramme pieuvre

### b) Formulation des fonctions de service du découpage

- **Fonction Principale (FP)** : Encore appelée fonction d'usage, c'est la fonction qui satisfait le besoin. Elle assure la prestation du service rendu, C'est la raison pour laquelle le produit a été créé. Pour notre équipement, il s'agit de "découper les feuilles de Gnetum".

➤ **Fonction Technique (FT)** : Elle résulte de l'action interne au produit, dépend de la conception et des solutions technologiques choisies pour réaliser les fonctions de service précédentes : Le dispositif doit permettre un entretien facile et rapide.

➤ **Fonction Contrainte (FC)** : Ce sont des fonctions complémentaires particulières imposant des limites à la fonction principale du produit à concevoir. Pour notre cas d'espèce, nous avons :

**FC1** : Pouvoir s'adapter à l'énergie électrique disponible ;

**FC2** : Présenter aucun risque de pollution pour l'environnement, ce qui sera néfaste pour la santé de l'opérateur qui souffrira de certaine maladie, être accessible à tous les techniciens (système relativement simple) ;

**FC3** : Pouvoir résister aux intempéries de son environnement (environnement chaud et humide) ;

**FC4** : Etre le plus hygiénique possible ;

**FC5** : : Etre réalisé sur un encombrement réduit pour être déplacé facilement par l'opérateur et pour l'ergonomie ;

**FC6** : Respecter les normes de sécurité.

### c) Hiérarchisation des fonctions de service

Les fonctions ainsi définies sont mises en relation selon leur importance relative deux à deux.

Les coefficients ci-dessous sont utilisés :

0 : niveau égal ;

1 : niveau peu supérieur ;

2 : niveau supérieur ;

3 : niveau très supérieur.

Tableau II.8 : Tri croisé

FP	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	FT	Points	%
FP	FP/3	FP/3	FP/1	FP/1	FP/1	FP/3	FP/0	12	21.42
	FC1	FC1/3	FC1/1	FC1/1	FC1/2	FC1/1	FC1/2	10	17.85
		FC2	FC2/2	FC2/2	FC2/1	FC2/1	FC2/1	7	12.5
			FC3	FC3/2	FC3/1	FC3/2	FC3/1	6	10.71
				FC4	FC4/2	FC4/1	FC4/1	4	07.14
					FC5	FC5/3	FC5/1	4	07.14
						FC6	FC6/0	8	14.28
							FT	5	08.92
							<b>Total</b>	<b>56</b>	<b>100.00</b>

On déduit l'histogramme suivant :

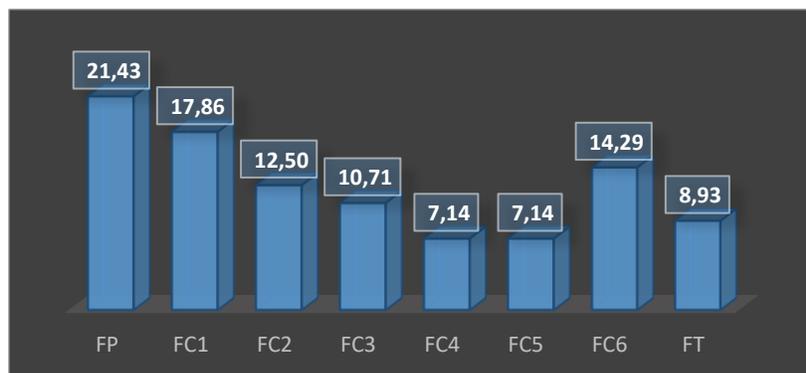


Figure II.12 : Histogramme des fonctions

Le résultat de cette analyse, montre qu'il faut accorder une importance particulière aux fonctions **FP**, **FC1** et **FC6** lors de la conception du dispositif, pour cela réalisons l'analyse fonctionnelle interne du produit afin de trouver les solutions constructives appropriées.

### II.2.3. Analyse fonctionnelle interne

L'analyse fonctionnelle interne modélise les interactions réalisées du produit avec son environnement en observant l'organisation des solutions techniques qui le constituent et leur degré de performance dans la satisfaction du besoin. Pour cela plusieurs outils peuvent être utilisés parmi lesquelles le **FAST (Function Analysis System Technic)** détaille à plusieurs niveaux la réalisation d'une ou de plusieurs fonctions.

La lecture du FAST est basée sur une méthode interrogative :

- **Pourquoi** cette fonction doit être assurée ?
- **Comment** cette fonction est-elle assurée ?
- **Quand** (simultanéités) ?

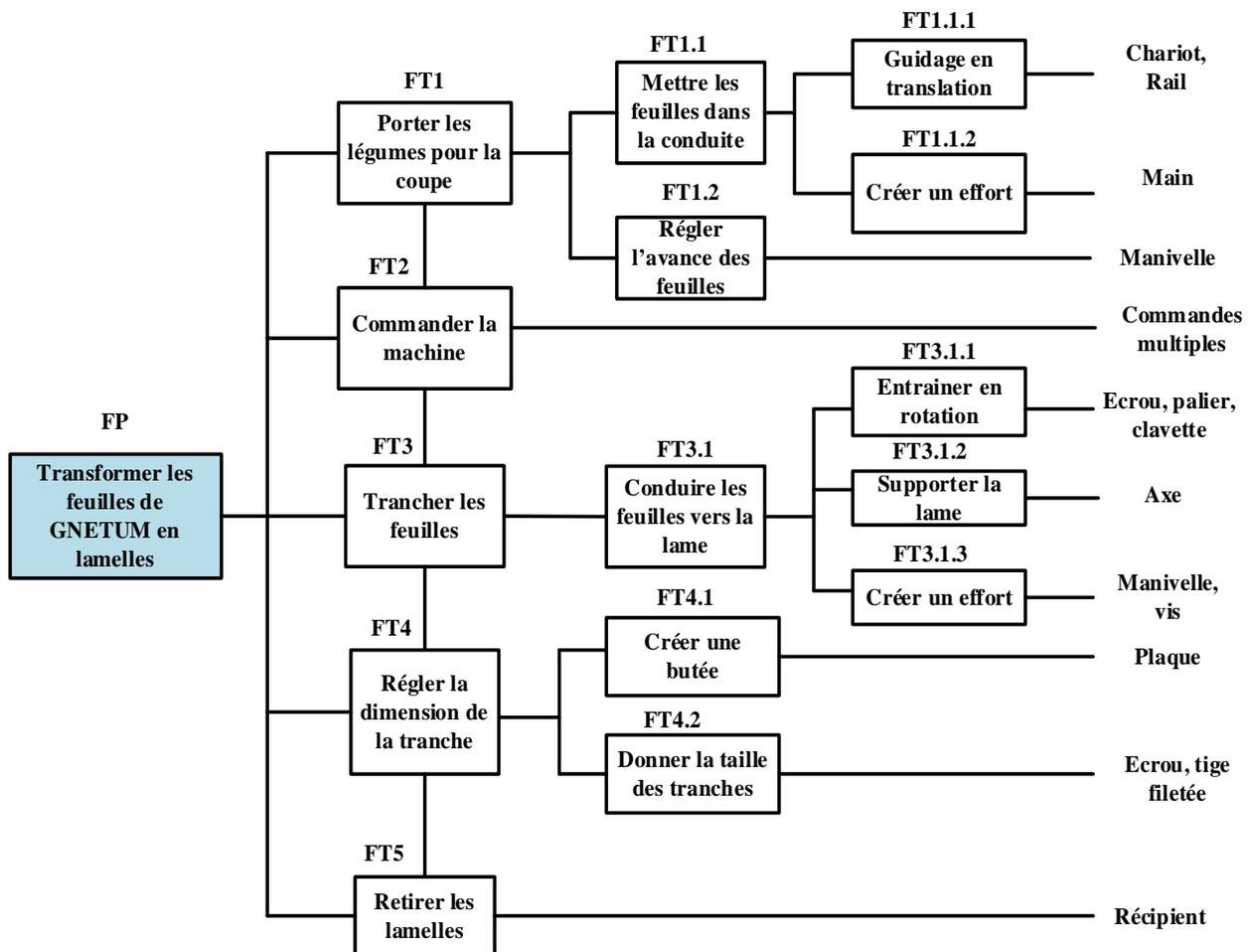


Figure II.13 Diagramme FAST

## II.3. PROPOSITION DES SOLUTIONS

### II.3.1. Solution 1 : Trancheuse de légumes à lames rotatives 4

#### a) Schéma fonctionnel

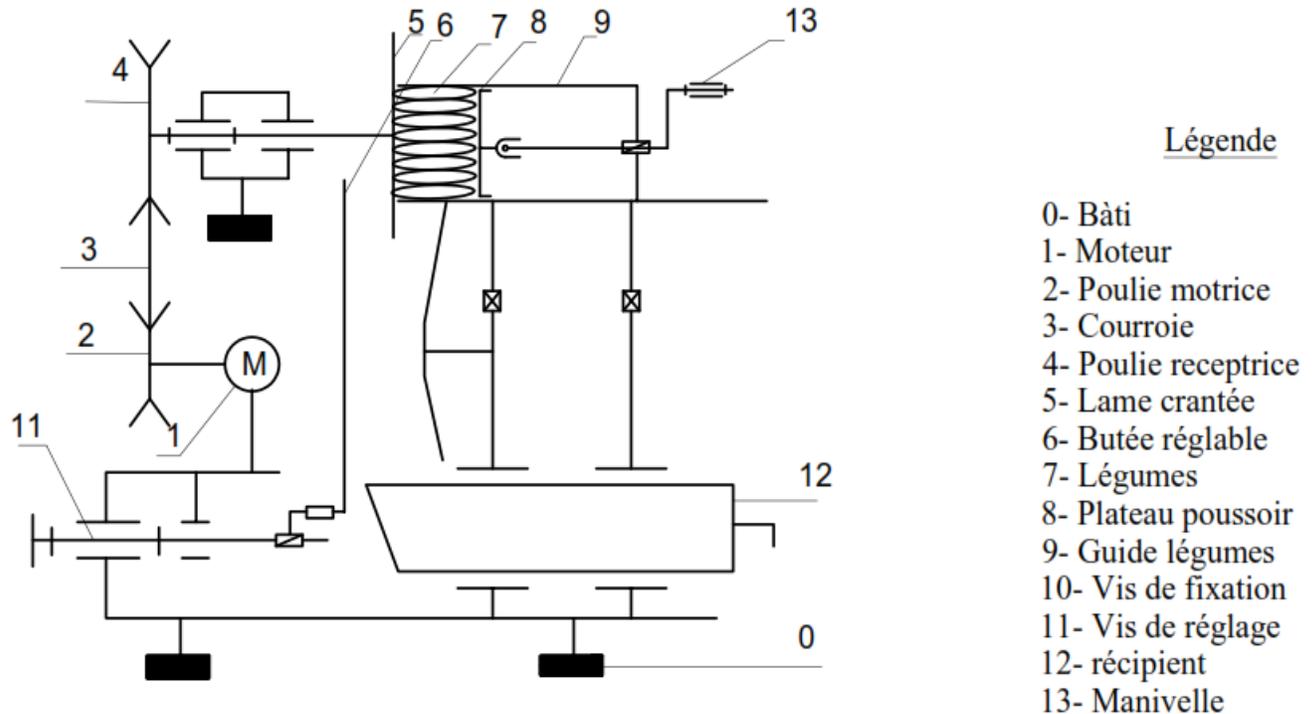


Figure II.14 : Trancheuse de légumes à lames rotatives 4

#### b) Description et fonctionnement

Lorsque le moteur **1** est mis en marche, la lame de coupe **5** est entraînée en rotation par l'intermédiaire du système poulie courroie {**2** ; **3**, **4**}. Le guide légume **9** qui contient les légumes à trancher est soit fixe, soit en translation sur le bâti **0** tandis que la butée de réglage **6** permet de régler l'épaisseur des tranches de légumes (pour le tranchage longitudinal), le plateau poussoir **8** quant à lui entraîne les légumes vers la butée **6** ou vers la lame **5**.

Les légumes **7** préalablement rangés sont introduits dans le guide légumes **9** où ils sont rendus compacts grâce au système de pression des ressorts et entraînés vers la lame de coupe grâce à la translation du plateau poussoir ; les légumes tranchés sont retenus dans le récipient **12** et prêt pour l'usage.

c) Avantages et inconvénients

Tableau II.9 : Avantages et Inconvénients de la solution 1

Avantages	Inconvénients
Facile à nettoyer	Impose un sens d'introduction des feuilles
Uniformité des filets de feuilles	Découpe incomplète
Manipulation facile	Temps de découpe élevé
Garantie la sécurité de l'opérateur	

II.3.2. Solution 2 : Trancheuse multiforme de légumes

a) Schéma fonctionnel

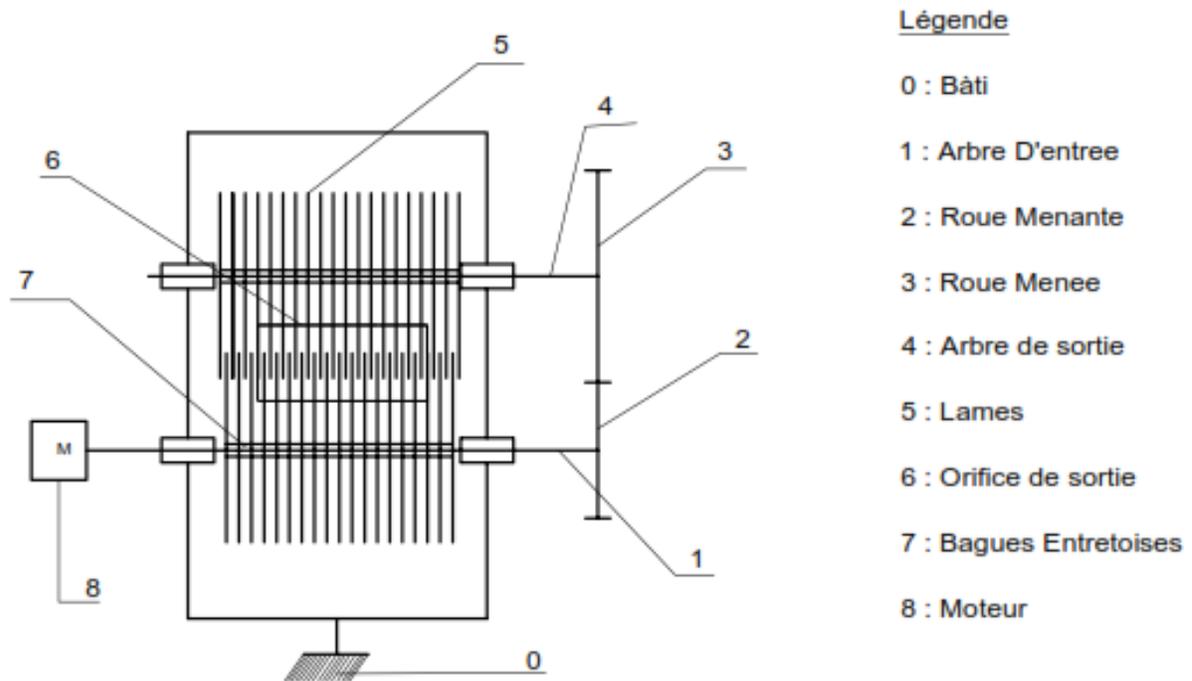


Figure II.15 : Trancheuse multiforme de légumes

**b) Description et fonctionnement**

L'arbre **4** est en mouvement de rotation à travers des roues **3** et **2**. La roue **2**, liée à l'arbre moteur **1** est en mouvement de rotation et entraîne également la roue **3** en rotation ; les lames **5** en mouvement de rotation permettent de déchiqueter les papiers à la dimension prévu par les entretoises **7** existant entre les lames **5**, l'orifice de sortie **6** permet aux filaments de papiers de sortir et d'être recueillis.

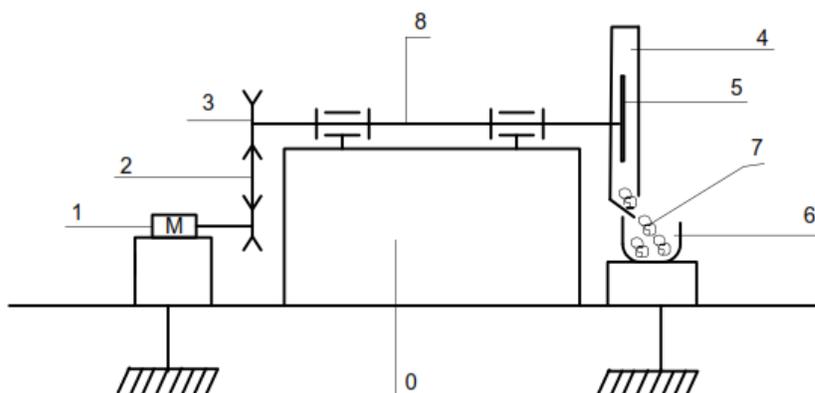
**c) Avantages et inconvénients**

Tableau II.10 : Avantages et Inconvénients de la solution 2

Avantages	Inconvénients
Rapide	Découpe dans tous les sens
Moins encombrant	Écrase les feuilles fragiles
Manipulation facile	
Bon rendement	

**II.3.3. Solution 3 : trancheuse à lame rotative 5**

**a) Schéma fonctionnel**



**Légende:**

- 0: bati
- 1: moteur
- 2: courroie
- 3: poulie receptrice
- 4: couvercle
- 5: lame
- 6: récipient
- 7: légumes
- 8: arbre

Figure II.16 : trancheuse à lame rotative 5

### b) Description et fonctionnement

Les feuilles de Gnetum sont préalablement rangées sont insérées dans un guide qui les achemine vers la lame 5 grâce à une manivelle et un poussoir, elles sont ensuite découpées par la rotation de la lame qui est solidaire à l'arbre 8 qui à son tour prend son mouvement au système poulie courroie {2;3} liés au moteur 1. Après la découpe, les tranches de feuilles sont acheminées vers le récipient 6.

### c) Avantages et inconvénients

Tableau II.11 : Avantages et Inconvénients de la solution 3

Avantages	Inconvénients
Facile à nettoyer	Impose un sens d'introduction des feuilles
Uniformité des filets de feuilles	Avance peu difficile
Manipulation facile	Temps de découpe élevé
Bon rendement	
Garantie la sécurité de l'opérateur	

### II.3.4. Présentation de la solution retenue

Nous optons pour la solution 3 car elle présente plus d'avantages, remplis le plus grand nombre de critères des prescriptions du cahier de charge et est plus abordable sur le coût de la fabrication.

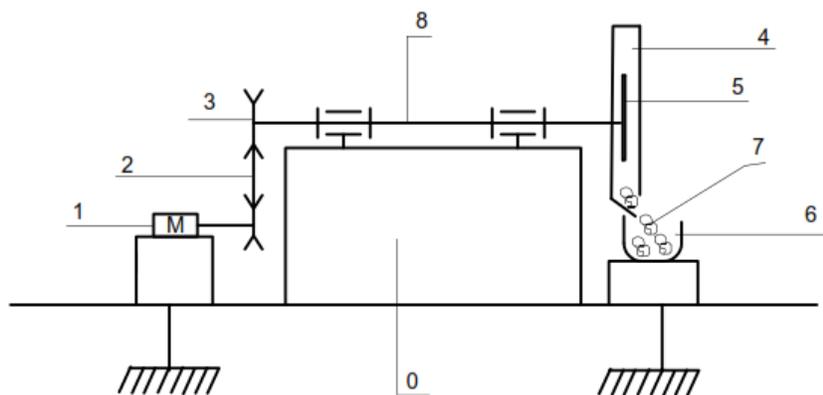
Nous venons de faire de ce chapitre une analyse critique des solutions existantes sur la découpe des légumes, une analyse fonctionnelle selon notre besoin, une proposition des solutions ce qui nous a conduit à l'aide d'une étude des critères au choix de notre solution optimale. Nous allons dans la suite faire une étude conceptuelle de celle-ci.

## **Chapitre III : ETUDE CONCEPTUELLE**

Dans ce chapitre, nous déterminerons l'effort de coupe. Nous ferons le choix du couple de poulie, de la courroie et du moteur à utiliser, une analyse dimensionnelle des pièces jugées principales pour notre mécanisme et une étude graphique dans laquelle nous déterminerons les jeux fonctionnels, les tolérances géométriques, nous ferons également les dessins de définitions des pièces principales à usiner.

### III.1. ETUDE CINÉMATIQUE

#### III.1.1. Description de la machine



#### Légende:

- 0: bâti
- 1: moteur
- 2: courroie
- 3: poulie receptrice
- 4: couvercle
- 5: lame
- 6: récipient
- 7: légumes
- 8: arbre

Figure III.17 : Trancheuse à lame rotative

Les feuilles de Gnetum sont préalablement rangées sont insérées dans un guide qui les achemine vers la lame 5 grâce à une manivelle et un poussoir, elles sont ensuite découpées par la rotation de la lame qui est solidaire à l'arbre 8 qui à son tour prend son mouvement au système poulie courroie {2; 3} liés au moteur 1. Après la découpe, les tranches de feuilles sont acheminées vers le récipient 6.

#### III.1.2. Détermination expérimentale de l'effort de coupe

##### a) Comportement des feuilles pendant la découpe

Avant que la lame ne coupe les feuilles, elles sont introduites dans le chariot suivant un classement précis, puis coulissent vers la lame, l'effort de coupe  $F$  est contenu dans le plan perpendiculaire à la ligne de cohésion des feuilles et elles ont tendance à s'incliner vers le bas. Nous considérons le point de contact entre les feuilles et la lame est situé à un angle moyen de  $10^\circ$  par rapport à l'axe horizontal.

**b) Description du dispositif expérimental**

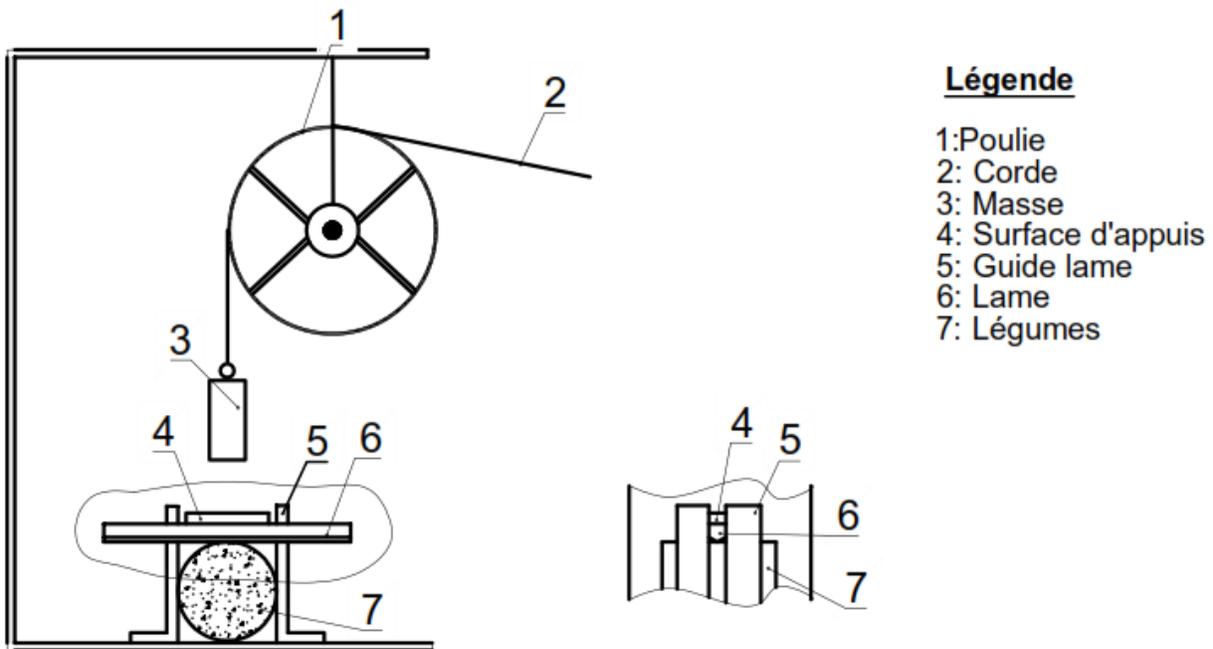


Figure III. 18 : Essai de détermination de l'effort de coupe

Ce dispositif représenté ci-dessus est constitué d'une poulie 1 sur laquelle est suspendue par l'intermédiaire de la corde 2 une masse 3. Sur le bâti nous avons une gamme de feuilles 7 contenues dans le guide lame et directement en contact avec la lame tranchante 6.

➤ **Conditions expérimentales**

Nos essais ont été réalisés à l'atelier où nous avons réalisé notre machine CASEM (Centre Appliqué des Services Mécaniques concepteur de solutions). Bien que difficile à réaliser et à apprécier, elle consistait à faire un essai de lâché sur les rouleaux de feuilles de Gnetum utilisé pour sa grande rigidité et puis mesurer la pénétration de la lame de coupe sur le lot de feuilles.

➤ **Matériel utilisé**

Pour la conduite de notre expérience, nous avons eu besoin du matériel suivant :

- Des masses marquées de 1Kg, 4Kg et 6Kg ;
- Une lame tranchante en acier inoxydable d'épaisseur moyenne comprise entre 0.5 et 1mm ;

- Les lots de feuille de Gnetum ;
- Un pied à coulisse et une jauge de profondeur.

➤ **Manipulation**

La détermination de l'effort de coupe  $F_c$  s'effectue selon le principe suivant :

- ✓ Choisir une quantité considérable de feuilles rangées parmi le lot présent et l'encastrent partiellement entre le guide-lame et la lame tranchante de tel sorte qu'elle puisse coulisser ;
- ✓ Sur le crochet du bout du fil glissant autour de la poulie **1** attaché une masse marquée ;
- ✓ Laisser tomber la masse depuis une hauteur **h = 500mm** sur la lame tranchante en contact le légume ;
- ✓ Prélever la distance de pénétration **x** de la lame tranchante dans le tas de légume ;
- ✓ Répéter l'essai ;

**c) Analyse et interprétation des résultats obtenus**

➤ Résultats obtenus

Le tableau ci-dessous représente les résultats obtenus au cours de l'expérience lors des différents essais.

Tableau III.12 : Résultat de détermination de l'effort de coupe

	<b>Masses marquées (Kg)</b>	<b>Déplacement de la lame (cm)</b>	<b>Déplacement moyen de la lame (cm)</b>
Essai 1	1	1	1.3
Essai 2		1.4	
Essai 3		1.5	
Essai 4		1.4	
Essai 5		1.3	
Essai 6		1.2	
Essai 1	4	1.8	1.8
Essai 2		1.7	
Essai 3		2.1	

Essai 4		1.9	
Essai 5		1.7	
Essai 6		1.6	
Essai 1	6	3	2.8
Essai 2		2.9	
Essai 3		2.6	
Essai 4		2.5	
Essai 5		2.7	
Essai 6			

➤ Interprétation

L'Energie potentielle à la hauteur  $h = 500\text{mm}$  ayant servi pour effectuer la coupe est :

$$E_p = mgh \text{ Avec } g = 10 \text{ N/Kg ;}$$

Dans le tableau ci-dessus nous constatons que la masse de 6 Kg parviens à faire pénétrer le couteau jusqu'à la moitié de la section du rouleau de légume.

Le système étant conservatif, on a  $W(\vec{Fc}) = E_p$  d'où  $Fc = mg$

A.N : en choisissant notre masse de 6 Kg,

$$Fc = 60 \text{ N}$$

➤ Déterminons l'effort résistant des feuilles sur la lame

Suites aux difficultés rencontrées au cours de l'expérience notamment celles dues au positionnement de la lame et aux contraintes du milieu expérimental, l'effort de coupe à un coefficient près de 1.2 sera considéré comme effort résistant, nous obtenons donc :

$$F = Fc \times s \quad \text{AN: } 60 \times 1.2$$

$$F = 72 \text{ N}$$

Au terme de cette expérience, nous constatons que la pénétration varie en fonction de la masse utilisée, avec une expérience basée sur la gravitation on obtiendrait de meilleurs résultats car un fil en rotation est plus apte à trancher qu'une lame en essai de lâché.

### III.1.3. Calculs relatifs au choix du moteur

Dans cette partie il sera question de :

- Déterminer le couple moteur à partir du couple résistant
- Choisir un moteur à partir de la puissance attendue.

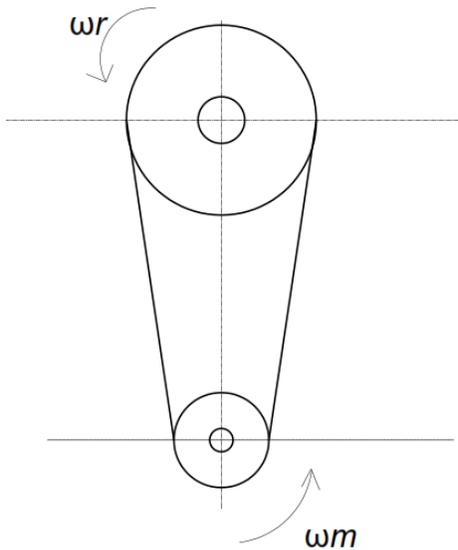


Figure III.19 Système poulies-courroie isolé

#### ❖ Calcul du couple résistant $C_r$

Le couple résistant est donné par la relation  $C_r = F \times r$

$$\underline{\text{A.N.}}: C_r = 72 \times 0.175$$

$$C_r = 12,6 \text{ N.m}$$

#### ❖ Calcul de la puissance reçue du moteur $P_r$

$$P_r = C_r \times \omega_r \quad \text{Avec} \quad \omega_r = \frac{\pi N r}{30} \Rightarrow P_r = C_r \times \frac{\pi N r}{30}$$

$$\underline{\text{A.N.}}: 12,6 \times \frac{3,14 \times 500}{30} = 659,4 \text{ W}$$

$$P_r = 0,66 \text{ KW}$$

#### Données du calcul :

#### Hypothèses :

$N_s$  : vitesse de rotation à la sortie

$$N_s = 500 \text{ tr/mn} ;$$

$r$  : le rayon de la lame

$$r = 175 \text{ mm}$$

#### Élément à calculer :

$C_r$  : couple résistant

$P_r$  : puissance reçue du moteur

$P_m$  : puissance nominale du moteur

$\eta$  : Rendement

$F$  : Effort nécessaire à la découpe

❖ **Calcul de la puissance nominale du moteur  $P_m$**

Le rendement mécanique global de l'installation de notre machine est donné par l'expression :

$$\eta = \eta_c \times (\eta_p)^2$$

Avec {  $\eta_c$  : le rendement au niveau de la courroie ;  $\eta_p$  le rendement au niveau de chaque palier de roulement. }

$$\underline{\text{AN}} : \eta = 0,95 \times (0,98)^2$$

$$\eta = 0,91$$

$$\text{D'autre part, } \eta = \frac{Pr}{Pm} \Rightarrow Pm = \frac{Pr}{\eta}$$

Etant donné qu'au démarrage, pour faire que le moteur fasse tourner l'arbre récepteur il faut que :  $Pm > Pr$

$$Pm > Pr \Rightarrow Pm > \frac{Pr}{\eta} \quad \underline{\text{AN}} : \frac{0,66 \times 1000}{0,91} = 724,61 \text{ W}$$

$$Pm > 0,725 \text{ KW}$$

On prendra :

$$Pm = 0,75 \text{ KW}$$

❖ **Choix du moteur**

Des résultats précédents, nous retenons pour notre machine un moteur asynchrone triphasé fermé de type LS 80 L  $P_m = 0,75 \text{ KW}$ , tournant à une vitesse de 1500 tr/min.

### III.1.4. Choix de la courroie

#### Données du calcul :

$P_m$  : puissance du moteur  $P_m = 0.75$

KW

$N_e$  : vitesse de rotation du moteur  $N_e = 1500$  tr/ min

$N_s$  : vitesse de rotation à la sortie  $N_s = 500$  tr/mn

$d$  : diamètre de la poulie motrice  $d = 70$ mm

$E_{th}$  : entraxe théorique  $E_{th} = 300$ mm

#### Définition des paramètres de calcul :

$D$  : diamètre de la poulie réceptrice ;

$P_0$  : puissance brute transmissible par la courroie ;

$L_{th}$  : longueur théorique de la courroie ;

$S$  : facteur de service ;

$E$  : entraxe réel ;

$\alpha$  : facteur d'arc.

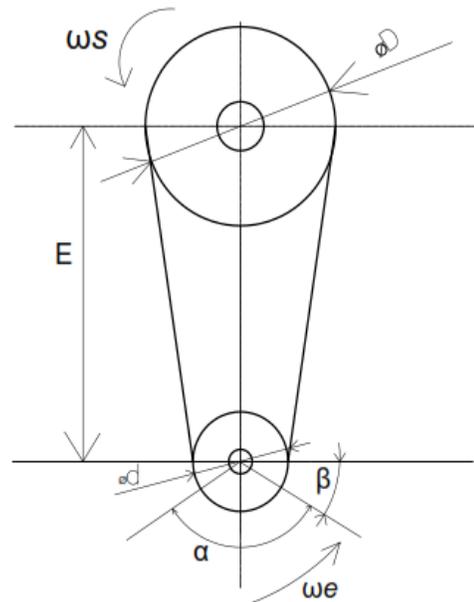
$P_c$  : puissance de calcul ;

$L$  : longueur réelle de la courroie ;

$d$  : diamètre de la poulie motrice ;

$C_L$  : facteur de longueur ;

$V_L$  : vitesse linéaire de la courroie ;



#### Etape 1 : choix de la section de la courroie

##### ▪ Détermination du facteur de service (S)

En considérant que notre installation aura une durée de fonctionnement maximale de 8 heures par jour et qu'elle fonctionnera avec un moteur électrique usuel et des démarrages fréquents, nous choisissons un facteur de service

$$S = 1,12. \quad | 9 |$$

- **Calcul de la puissance de calcul (Pc)**

Nous avons :  $P_c = P_m \times S$

AN:  $P_c = 0,75 \times 1,12 = 0,84 \text{ KW}$

$P_c = 0,84 \text{ KW}$

En considérant la puissance de calcul  $P_s$  et la vitesse de rotation de la petite poulie  $N_e$ , dans le catalogue du constructeur (TEXROPE) nous choisissons pour notre installation une courroie étroite de type **SPZ de section (9,7x8)**.

**Étape 2 : choix des diamètres primitifs**

- **Calcul du rapport de transmission**

$$k = \frac{N_s}{N_e} \quad \text{AN: } k = \frac{500}{1500} = 0.3$$

$$k = \frac{d}{D} = 0.3 \Leftrightarrow D = \frac{d}{0.3} = \frac{70}{0.3} = 233$$

D'où  $d = 70\text{mm}$  et  $D = 233\text{mm}$

- **Calcul de la vitesse linéaire de la courroie ( $V_L$ )**

Elle est définie par la relation suivante :

$$V_L = \frac{d \omega_d}{2} \quad \text{avec } \omega_d = \frac{\pi N_m}{30} \Rightarrow V_L = \frac{d \pi N_m}{60} \quad \text{AN: } V_L = \frac{0.07 \times 3.14 \times 1500}{60} = 5.495$$

$V_L = 5.5 \text{ m/s}$

**Étape 3 : choix de la longueur des courroies**

- **Calcul de la longueur théorique de la courroie ( $L_{th}$ )**

Elle est donnée par l'expression  $L_{th} = 2E_{th} + 1,57(D+d) + \frac{(D-d)^2}{4E_{th}}$

$$\text{AN: } 2 \times 300 + 1,57(233+70) + \frac{(233-70)^2}{4 \times 300} = 1097.85$$

$L_{th} = 1097,85 \text{ mm}$

D'après le tableau du catalogue TEXROPE qui représente les longueurs de référence standard des courroies ayant une section de type SPZ, nous choisissons une courroie de **longueur  $L = 1112 \text{ mm}$**  soit **SPZ 1112, courroie TEXROPE | 9 |**.

▪ **Calcul de l'entraxe réel ( $E$ )**

$$E = E_{th} + \frac{(D+d)}{2} \quad \text{AN : } E = 300 + \frac{(233+70)}{2} = 451.5 \text{ mm}$$

$$E = 451.5 \text{ mm}$$

**Étape 4 : Calcul du nombre de courroie ( $N$ )**

Le nombre de courroie  $N$  est donné par l'expression suivante :  $N = \frac{Pc}{Pox \alpha x C_l}$  |9|

▪ **Déterminons la puissance brute transmissible par la courroie ( $Po$ )**

En fonction du diamètre de la poulie motrice  $d$ , du rapport de transmission  $k$  et de la vitesse de rotation de la poulie d'entrée  $Ne$ , le tableau du constructeur en annexe (TEXROPE) nous permet de choisir  **$Po = 1.1 \text{ KW}$** .

▪ **Déterminons le facteur d'arc ( $\alpha$ ) et le facteur de longueur ( $C_l$ )**

Le facteur d'arc  $\alpha$  est fonction du rapport  $\frac{D-d}{E} = 0,54$  ainsi, le tableau des facteurs d'arc (voir annexe) nous permet de choisir  **$\alpha = 0,91$**

Le facteur de longueur ( $C_l$ ) étant quant à lui lié à la longueur réelle de la courroie, à partir du tableau des facteurs de longueur (voir annexe) nous choisissons  **$C_l = 0,93$** .

Ainsi donc, nous avons :

$$Pc = 0,84 \text{ KW} ; Po = 1.1 \text{ KW} ; \alpha = 0,91 ; C_l = 0,93$$

$$\text{AN : } N = \frac{0,84}{1.1 \times 0,91 \times 0,93} = 0.90$$

$$N = 1 \text{ brin}$$

Nous choisirons  $N = 1$

Le nombre de courroie est 1 brin soit une courroie VP2 1112-SPZ.

### III.1.1. Détermination des tensions en marche dans la courroie

#### Définition des paramètres :

$\alpha_2$  : angle d'enroulement sur la polie motrice ;

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

$T$  : tension du brin tendu ;

$t$  : tension du brin mou ;

$T_0$  : tension de pose ;

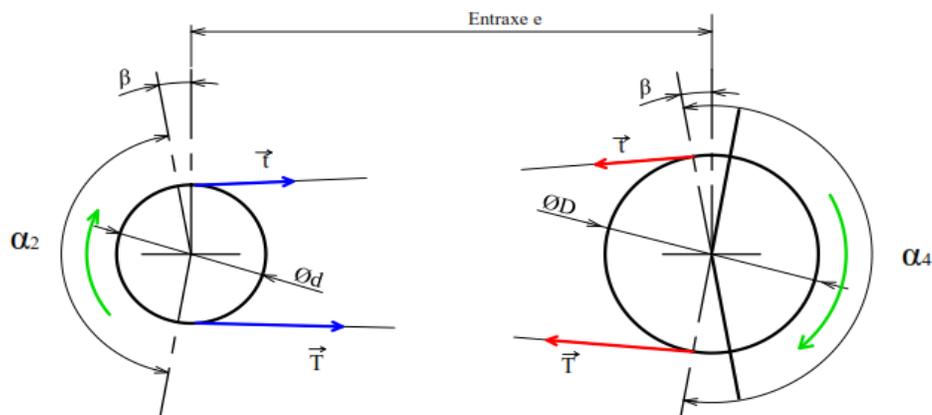


Figure III.20 : Tensions en marche dans la courroie

#### Hypothèses de calcul :

- On négligera les effets de la force centrifuge ;
- Les angles d'enroulement étant tels que  $\alpha_2 < \alpha_4$ , nous allons calculer les différentes tensions  $T$ ,  $t$ , et  $T_0$  en se plaçant dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire sur la poulie motrice.
  - Calcul de l'angle d'enroulement ( $\alpha_2$ ) sur la poulie motrice et ( $\alpha_4$ ) sur la poulie réceptrice.

$$\alpha_2 = 180 - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{D+d}{2E_r} \right] \quad \text{AN : } 180 - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{233+70}{2 \times 451.5} \right] = 140.78$$

$$\alpha_2 = 140.78^\circ = 2.45 \text{ rad}$$

$$\alpha_4 = 180 - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{D-d}{2E_r} \right] \quad \text{AN : } 180 - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{233-70}{2 \times 451.5} \right] = 159,20$$

$$\alpha_4 = 159,20^\circ = 2,77 \text{ rad}$$

▪ **Calcul des tensions T, t, T<sub>0</sub>**

$T_0 = \frac{T+t}{2}$ , en appliquant la relation fondamentale de la dynamique (RFD) sur la poulie motrice,

nous avons :  $\overrightarrow{M}_0^{(t)} + \overrightarrow{M}_0^{(T)} + C_m = 0 \Rightarrow t \frac{d}{2} - T \frac{d}{2} + C_m = 0$   
 $\Rightarrow T - t = \frac{2C_m}{d}$  Avec  $C_m = \frac{30P_m}{\pi N_m}$

Nous avons le système suivant :  $\begin{cases} T - t = \frac{60P_m}{d\pi N_m} \\ T = t e^{3f\lambda\alpha_2} \end{cases}$

Soient  $\lambda = 0,9$  et  $f = 0,25$  on a :

$$\begin{cases} T - t = \frac{60 \times 0,75 \times 10^3}{70 \times 10^{-3} \times 3,14 \times 1500} = 136,48 \\ T = t(e^{3 \times 0,9 \times 0,25 \times 2,45}) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T - t = 136,48 \\ T = 5,22t \end{cases}$$

La résolution de cette équation donne :

$$\begin{cases} T = 168,81N \\ t = 32,34N \end{cases}$$

La tension de pose T<sub>0</sub> est donnée par :

$$T_0 = \frac{T+t}{2} \Rightarrow T_0 = \frac{168,81 + 32,34}{2} = 100,575$$

$$T_0 = 100,575 N$$

**Synthèse des résultats**

Tableau III.13 : Synthèse des résultats

Moteur : Puissance moteur	P <sub>m</sub> = 0,75 kW,
Vitesses de rotation	N <sub>m</sub> = 1500tr/min ;
Type de courroie retenue :	SPZ 1112
Diamètre des poulies :	D = 233 mm ; d = 70 mm ;
Nombre de brins :	N = 1 brin.
Longueur courroie standard	L = 1112 mm
Coefficient de frottement de la courroie	f = 0,25
Vitesse linéaire de la courroie	V <sub>1</sub> = 5,5 m/s

Entraxe réel	$E = 451.5\text{mm}$
Tension brin mou :	$t = 32,34 \text{ N}$
Tension brin tendu :	$T = 168,81 \text{ N}$
Tension de pose	$T_0 = 100.575 \text{ N}$

## III.2. ETUDE DIMENSIONNELLE

### III.2.1. Dimensionnement de l'arbre récepteur

L'objectif ici est de :

- Déterminer les actions mécaniques au niveau des paliers ;
- Déterminer les actions mécaniques de cohésion dans l'arbre ;
- Tracer les diagrammes des actions mécaniques intérieures ;
- Déterminer le diamètre de l'arbre récepteur **8**.

a) **Déterminons les actions mécaniques  $\vec{R}_A$  et  $\vec{R}_B$  au niveau des paliers A et B**

Il est question ici de déterminer les efforts qui s'exercent sur l'arbre récepteur **8**.

#### Hypothèses de calculs :

- Toutes les liaisons sont supposées parfaites ;
- Le repère utilisé est  $R \equiv (O, x, y, z)$  ;
- Les points A, B, C, D, O, G appartiennent au repère R ;
- On néglige le poids propre des pièces ;
- La liaison en A est une liaison pivot d'axe  $(0\vec{x})$  admettant un léger rotulage ;
- La liaison en B est une liaison pivot glissant d'axe  $(0\vec{x})$ .

**Isolons le système** (poulie réceptrice 3 - arbre récepteur 8 et lame de coupe 5)

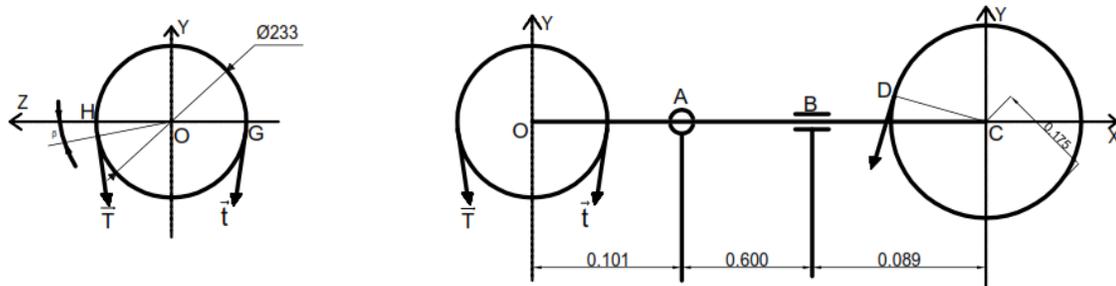


Figure III.21 : Les efforts dans l'arbre

**Bilan des actions mécaniques s'exerçant sur l'arbre récepteur 8 :**

- Au point A la réaction  $\vec{R}_A$  du palier (1) sur l'arbre récepteur 8
- Au point B la réaction  $\vec{R}_B$  du palier (2) sur l'arbre récepteur 8
- Au point D la réaction  $\vec{R}_D$  des légumes sur la lame de coupe 5
- Aux points H et G nous avons les réaction  $\vec{T}$  et  $\vec{t}$  de la courroie sur la poulie réceptrice 3

**Inventaire des actions mécaniques s'exerçant sur l'arbre récepteur 8 :**

- La réaction  $\vec{R}_A$  du palier (1) sur l'arbre récepteur 8 est modélisé au point A par :

$$\{(\tau_{\vec{R}_A})\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_A \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_R = \begin{Bmatrix} x_A & 0 \\ y_A & 0 \\ z_A & 0 \end{Bmatrix}_R ;$$

- La réaction  $\vec{R}_B$  du palier (2) sur l'arbre récepteur 8 est modélisé au point B par :

$$\{(\tau_{\vec{R}_B})\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_B \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_R = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ y_B & 0 \\ z_B & 0 \end{Bmatrix}_R ;$$

- L'effort  $\vec{R}_D$  des légumes sur la lame de coupe 5 est modélisé au point B par :

$$\{(\tau_{\vec{R}_D})\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_D \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_R = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -F & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_R ;$$

- Les réaction  $\vec{T}$  et  $\vec{t}$  de la courroie sur la poulie réceptrice  $\underline{3}$  est modélisé au point O par les

$$\text{torseurs } \{(\tau_{\vec{t}})\} = {}_O \begin{Bmatrix} \vec{t} \\ \vec{c} \end{Bmatrix}_R = \begin{Bmatrix} 0 & -t \frac{D}{2} \\ -t \cos \beta & 0 \\ t \sin \beta & 0 \end{Bmatrix}_R ; \text{ et}$$

$$\{(\tau_{\vec{T}})\} = {}_O \begin{Bmatrix} \vec{T} \\ \vec{c} \end{Bmatrix}_R = \begin{Bmatrix} 0 & T \frac{D}{2} \\ -T \cos \beta & 0 \\ -T \sin \beta & 0 \end{Bmatrix}_R$$

### Réduction du torseur des actions mécaniques au point A

- Réduction du torseur en A au point A

$$\{(\tau_{\vec{R}_A})\} = {}_A \begin{Bmatrix} \vec{R}_A \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_R = \begin{Bmatrix} x_A & 0 \\ y_A & 0 \\ z_A & 0 \end{Bmatrix}_R ;$$

- Réduction du torseur en B au point A

$$\{(\tau_{\vec{R}_B})\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_B \\ \vec{M}_A^{(R_B)} \end{Bmatrix}_R = \begin{Bmatrix} \vec{R}_B \\ \vec{M}_A^{(R_B)} = M_B^{(R_B)} + \vec{AB} \wedge \vec{R}_B \end{Bmatrix}_R ;$$

$$\text{Or } \vec{M}_A^{(R_B)} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ y_B \\ z_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -bz_B \\ by_B \end{pmatrix} \quad \text{d'où } \{(\tau_{\vec{R}_B})\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ y_B & -bz_B \\ z_B & by_B \end{Bmatrix}_R ;$$

- Réduction du torseur en D au point A

$$\{(\tau_{\vec{R}_D})\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_D \\ \vec{M}_A^{(R_D)} \end{Bmatrix}_R = \begin{Bmatrix} \vec{R}_D \\ \vec{M}_A^{(R_D)} = M_D^{(R_D)} + \vec{AD} \wedge \vec{R}_D \end{Bmatrix}_R$$

$$\text{Or } \vec{M}_A^{(R_D)} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b+c \\ 0 \\ \frac{D_L}{2} \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ -F \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{D_L}{2} F \\ 0 \\ -(b+c)F \end{pmatrix}$$

$$\{(\tau_{\vec{R}_D})\} = \begin{Bmatrix} 0 & \frac{D_L}{2} F \\ -F & 0 \\ 0 & -(b+c)F \end{Bmatrix}_R$$

- Réduction du torseur en O au point A

$$\{(\tau_{\vec{T}})\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{T} \\ \vec{M}_A^{(\vec{T})} \end{array} \right\}_R = \left\{ \begin{array}{c} \vec{T} \\ \vec{M}_O^{(\vec{T})} + \vec{AO} \wedge \vec{T} \end{array} \right\}_R$$

$$\text{Or } \vec{M}_A^{(\vec{T})} = \begin{pmatrix} -T \frac{D}{2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -a \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ -T \cos \beta \\ -T \sin \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -T \frac{D}{2} \\ -aT \sin \beta \\ aT \cos \beta \end{pmatrix}$$

$$\text{d'où } \{(\tau_{\vec{T}})\} = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & -T \frac{D}{2} \\ -T \cos \beta & -aT \sin \beta \\ -T \sin \beta & aT \cos \beta \end{array} \right\}_R ;$$

$$\text{Et } \{(\tau_{\vec{t}})\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{t} \\ \vec{M}_A^{(\vec{t})} \end{array} \right\}_R = \left\{ \begin{array}{c} \vec{t} \\ \vec{M}_O^{(\vec{t})} + \vec{AO} \wedge \vec{t} \end{array} \right\}_R$$

$$\text{Or } \vec{M}_A^{(\vec{t})} = \begin{pmatrix} t \frac{D}{2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -a \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ -t \cos \beta \\ t \sin \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t \frac{D}{2} \\ at \sin \beta \\ at \cos \beta \end{pmatrix}$$

$$\text{D'où } \{(\tau_{\vec{t}})\} = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & t \frac{D}{2} \\ -t \cos \beta & at \sin \beta \\ t \sin \beta & at \cos \beta \end{array} \right\}_R ;$$

**Application du principe fondamental de la statique, nous avons :**

$$\left| \begin{array}{l} \sum_{F_{ext}} \vec{F} = \vec{0} \\ \sum_{M_{A(\vec{F}_{ext})}} \vec{M} = \vec{0} \end{array} \right. \text{ Ce qui est équivalent à :}$$

$$\{(\tau_{\vec{R}_A})\} + \{(\tau_{\vec{R}_B})\} + \{(\tau_{\vec{R}_D})\} + \{(\tau_{\vec{T}})\} + \{(\tau_{\vec{t}})\} = \{(0)\}$$

$$\Leftrightarrow \begin{Bmatrix} x_A & 0 \\ y_A & 0 \\ z_A & 0 \end{Bmatrix}_R + \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ y_B & -bz_B \\ z_B & by_B \end{Bmatrix}_R + \begin{Bmatrix} 0 & \frac{D_l}{2}F \\ -F & 0 \\ 0 & -(b+c)F \end{Bmatrix}_R + \begin{Bmatrix} 0 & -T\frac{D}{2} \\ -T\cos\beta & -aT\sin\beta \\ -T\sin\beta & aT\cos\beta \end{Bmatrix}_R$$

$$+ \begin{Bmatrix} 0 & t\frac{D}{2} \\ -t\cos\beta & at\sin\beta \\ t\sin\beta & at\cos\beta \end{Bmatrix}_R = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Nous obtenons le système de six équations à quatre inconnues, suivant :

$$\begin{cases} x_A = 0 & (1) \\ y_A + y_B - F - T\cos\beta - t\cos\beta = 0 & (2) \\ z_A + z_B - T\sin\beta + t\sin\beta = 0 & (3) \\ \frac{D_l}{2}F - T\frac{D}{2} + t\frac{D}{2} = 0 & (4) \\ -bz_B - aT\sin\beta + at\sin\beta = 0 & (5) \\ by_B - (b+c)F + aT\cos\beta + at\cos\beta = 0 & (6) \end{cases}$$

De l'équation (1), nous avons :  $x_A=0$  ;

De l'équation (5), nous avons :  $z_B = \frac{asin\beta(t-T)}{b}$  ;

De l'équation (6), nous avons :  $y_B = \frac{F(b+c)-acos\beta(T+t)}{b}$  ;

En remplaçant  $y_B$  dans l'équation (2), nous avons :

$$y_A + \frac{F(b+c) - acos\beta(T+t)}{b} - F - cos\beta(T+t)$$

$$\Rightarrow y_A = -\frac{F(b+c) - acos\beta(T+t)}{b} + cos\beta(T+t) + F;$$

En remplaçant  $z_B$  dans l'équation (3), nous avons :

$$z_A + \frac{asin\beta(t-T)}{b} + sin\beta(t-T) \Rightarrow z_A = -\frac{asin\beta(t-T)}{b} - sin\beta(t-T).$$

Avec les données suivantes :  $\begin{cases} a = 101mm \\ b = 600mm \\ c = 89mm \\ \beta = 10^\circ \end{cases}$  ; Nous avons :  $T=168.81N$  ;  $t=32.34N$  et

$F=72N$

$$z_B = \frac{0.101 \sin 10^\circ (32.34 - 168.81)}{0.6} = -3.98$$

$$y_B = \frac{72(0.6+0.089) - 0.101 \cos 10^\circ (168.81 + 32.34)}{0.6} = 49.33$$

$$y_A = -\frac{72(0.6+0.089) - 0.101 \cos 10^\circ (168.81 + 32.34)}{0.6} + \cos 10^\circ (168.81 + 32.34) + 72 = 154.06$$

$$z_A = -\frac{0.101 \sin 10^\circ (32.34 - 168.81)}{0.6} - \sin 10^\circ (32.34 - 168.81) = 27.68$$

En définitive, nous pouvons dire que les actions mécaniques au niveau des paliers sont modélisées par les torseurs suivants :

$$\{(\tau_{\vec{R}_A})\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 154 & 0 \\ 27.7 & 0 \end{Bmatrix}_R \text{ et } \{(\tau_{\vec{R}_B})\}_B = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 49.3 & 0 \\ -4 & 0 \end{Bmatrix}_R \text{ ainsi, comme normes des réactions en A et B}$$

nous avons :

$$\|\vec{R}_A\| = \sqrt{x_A^2 + y_A^2 + z_A^2} \text{ AN : } \sqrt{0 + (154)^2 + (27.7)^2} = 156.47 \Rightarrow \|\vec{R}_A\| = 156.5 \text{ N}$$

$$\|\vec{R}_B\| = \sqrt{x_B^2 + y_B^2 + z_B^2} \text{ AN : } \sqrt{0 + (49.3)^2 + (-4)^2} = 49.46 \Rightarrow \|\vec{R}_B\| = 49.5 \text{ N}$$

$$\|\vec{R}_A\| = 156.5 \text{ N}$$

Et

$$\|\vec{R}_B\| = 49.5 \text{ N}$$

### b) Déterminons les actions mécaniques de cohésion dans l'arbre récepteur 8

Il sera question ici de calculer les actions mécaniques de cohésion (les moments fléchissant, le moment de torsion et les efforts tranchants) le long de l'arbre dans le but de déterminer son diamètre.

*Isolons le système : {3-8- et 5}*

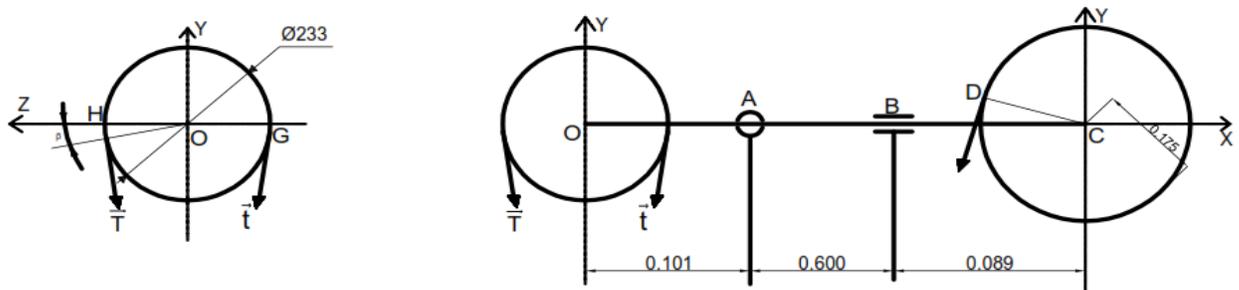


Figure III.22 : Système {3-8- et 5} isolé

Soit G le centre de la section fictive de la poutre

**Tronçon OA :  $0 \leq x \leq 0.101$**

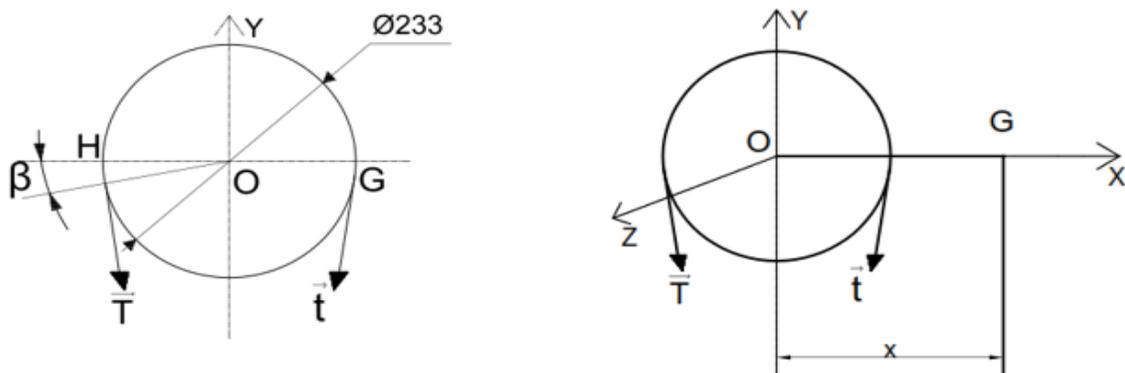


Figure III.23 : Tronçon OA isolé

Le tronçon OA est soumis au torseur des actions mécaniques suivantes :

$$\{(\tau_{coh})\} = \begin{Bmatrix} N & M_t \\ T_y & M_{fy} \\ T_z & M_{fz} \end{Bmatrix}_R$$

$$\left\{ \left( \tau_{\vec{t}} \right) \right\}_G = \left\{ \begin{array}{c} \vec{t} \\ \vec{M}_G \end{array} \right\}_R = \left\{ \begin{array}{c} \vec{t} \\ \vec{M}_G = M_O(\vec{t}) + \vec{OG} \wedge \vec{t} \end{array} \right\}_R \quad \text{or} \quad \vec{M}_G = \begin{pmatrix} t \frac{D}{2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ -t \cos \beta \\ t \sin \beta \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} t \frac{D}{2} \\ x t \sin \beta \\ x t \cos \beta \end{pmatrix} \Rightarrow \left\{ \left( \tau_{\vec{t}} \right) \right\}_G = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & t \frac{D}{2} \\ -t \cos \beta & x t \sin \beta \\ t \sin \beta & x t \cos \beta \end{array} \right\}_R$$

$$\left\{ \left( \tau_{\vec{T}} \right) \right\}_G = \left\{ \begin{array}{c} \vec{T} \\ \vec{M}_G \end{array} \right\}_R = \left\{ \begin{array}{c} \vec{T} \\ \vec{M}_G = M_O(\vec{T}) + \vec{OG} \wedge \vec{T} \end{array} \right\}_R \quad \text{or} \quad \vec{M}_G = \begin{pmatrix} -T \frac{D}{2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ -T \cos \beta \\ -T \sin \beta \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} -T \frac{D}{2} \\ -x T \sin \beta \\ x T \cos \beta \end{pmatrix} \Rightarrow \left\{ \left( \tau_{\vec{T}} \right) \right\}_G = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & -T \frac{D}{2} \\ -T \cos \beta & -x T \sin \beta \\ -T \sin \beta & x T \cos \beta \end{array} \right\}_R$$

En appliquant le principe fondamental de la statique au tronçon OA nous avons :

$$\left\{ \begin{array}{cc} N & M_t \\ T_y & M_{fy} \\ T_z & M_{fz} \end{array} \right\}_R + \left\{ \begin{array}{cc} 0 & t \frac{D}{2} \\ -t \cos \beta & x t \sin \beta \\ t \sin \beta & x t \cos \beta \end{array} \right\}_R + \left\{ \begin{array}{cc} 0 & -T \frac{D}{2} \\ -T \cos \beta & -x T \sin \beta \\ -T \sin \beta & x T \cos \beta \end{array} \right\}_R = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N = 0 \\ T_y - t \cos \beta - T \cos \beta = 0 \\ T_z + t \sin \beta - T \sin \beta = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N = 0 \\ T_y = \cos \beta (t + T) \\ T_z = \sin \beta (T - t) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N = 0 \\ T_y = 198.09 \\ T_z = 23.69 \end{cases}$$

Et

$$\begin{cases} M_t + t \frac{D}{2} - T \frac{D}{2} = 0 \\ M_{fy} + x t \sin \beta - x T \sin \beta = 0 \\ M_{fz} + x t \cos \beta + x T \cos \beta = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_t = \frac{D}{2} (T - t) \\ M_{fy} = x \sin \beta (T - t) \\ M_{fz} = -x \cos \beta (T + t) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_t = 15.89 \\ M_{fy} = 23.69x \\ M_{fz} = -198.09x \end{cases}$$

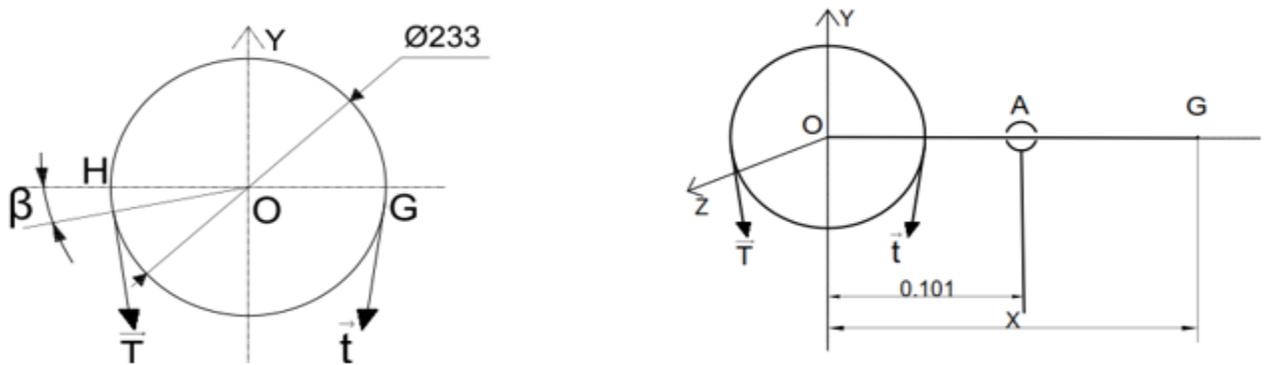
**Tronçon AB :  $0.101 \leq x \leq 0.701$** 


Figure III.24 : Tronçon AB isolé

Le tronçon AB est soumis au torseur des actions mécaniques suivantes :

$$\{(\tau_{coh})\} = \begin{Bmatrix} N & M_t \\ T_y & M_{fy} \\ T_z & M_{fz} \end{Bmatrix}_G, \quad \{(\tau_{\vec{R}_A})\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_A \\ \vec{M}_G^{(RA)} \end{Bmatrix}_R = \begin{Bmatrix} \vec{R}_A \\ \vec{M}_G^{(RA)} = M_A^{(RA)} + \vec{GA} \wedge \vec{R}_A \end{Bmatrix}_R$$

$$\text{Or } \vec{M}_G^{(RA)} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -(x - 0.101) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ (x - 0.101)z_A \\ -(x - 0.101)y_A \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \{(\tau_{\vec{R}_A})\} = \begin{Bmatrix} x_A & 0 \\ y_A & (x - 0.101)z_A \\ z_A & -(x - 0.101)y_A \end{Bmatrix}_R ;$$

$$\{(\tau_{\vec{T}})\} = \begin{Bmatrix} 0 & -T \frac{D}{2} \\ -T \cos \beta & -xT \sin \beta \\ -T \sin \beta & xT \cos \beta \end{Bmatrix}_R \quad \text{et} \quad \{(\tau_{\vec{t}})\} = \begin{Bmatrix} 0 & t \frac{D}{2} \\ -t \cos \beta & xt \sin \beta \\ t \sin \beta & xt \cos \beta \end{Bmatrix}_R ;$$

En appliquant le principe fondamental de la statique au tronçon AB nous avons :

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} N & M_t \\ T_y & M_{fy} \\ T_z & M_{fz} \end{Bmatrix}_R + \begin{Bmatrix} 0 & -T\frac{D}{2} \\ -T\cos\beta & -xT\sin\beta \\ -T\sin\beta & xT\cos\beta \end{Bmatrix}_R + \begin{Bmatrix} 0 & t\frac{D}{2} \\ -t\cos\beta & xt\sin\beta \\ t\sin\beta & xt\cos\beta \end{Bmatrix}_R \\ + \begin{Bmatrix} x_A & 0 \\ y_A & (x - 0.101)z_A \\ z_A & -(x - 0.101)y_A \end{Bmatrix}_R = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N + x_A = 0 \\ T_y - T\cos\beta - t\cos\beta + y_A = 0 \\ T_z - T\sin\beta + t\sin\beta + z_A = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N = 0 \\ T_y = \cos\beta(T + t) - y_A \\ T_z = \sin\beta(T - t) - z_A \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N = 0 \\ T_y = 44.09 \\ T_z = -4 \end{cases}$$

Et

$$\begin{cases} M_t - T\frac{D}{2} + t\frac{D}{2} = 0 \\ M_{fy} - xT\sin\beta + xt\sin\beta + (x - 0.101)z_A = 0 \\ M_{fz} + xT\cos\beta + xtc\cos\beta - (x - 0.101)y_A = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_t = \frac{D}{2}(T - t) \\ M_{fy} = x(\sin\beta(T - t) - z_A) + 0.101z_A \\ M_{fz} = -0.101y_A - x(\cos\beta(T + t) - y_A) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} M_t = 15.89 \\ M_{fy} = -4x + 2.79 \\ M_{fz} = -44.09x - 15.55 \end{cases}$$

### Tronçon BC : $0.701 \leq x \leq 0.790$

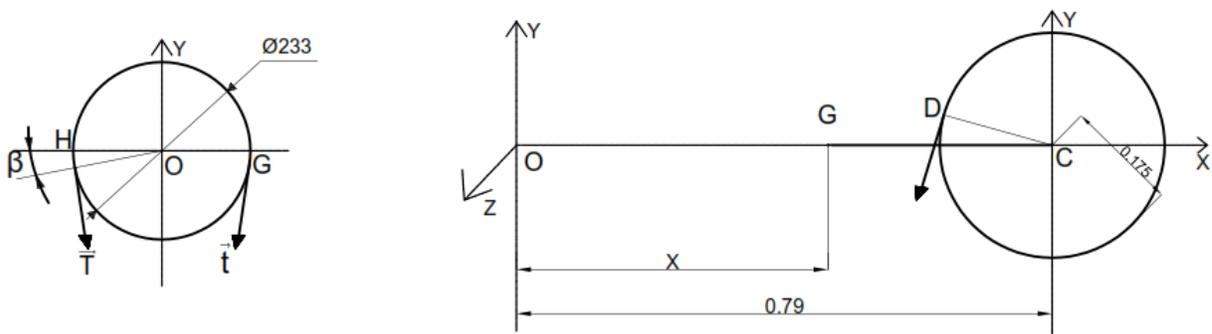


Figure III.25 : Tronçon BC isolé

Le tronçon BC est soumis au torseur des actions mécaniques suivantes :



➤ **Tronçon AB :  $0.101 \leq x \leq 0.701$**

$$\begin{array}{l} N = 0 \\ T_y = 44.09 \\ T_z = -4 \end{array} \quad \text{Et} \quad \begin{array}{l} M_t = 15.89 \\ M_{fy} = -4x + 2.79 \\ M_{fz} = -44.09x - 15.55 \end{array}$$

➤ **Tronçon BC :  $0.701 \leq x \leq 0.790$**

$$\begin{array}{l} N = 0 \\ T_y = -72 \\ T_z = 0 \end{array} \quad \begin{array}{l} M_t = 15.89 \\ M_{fy} = 0 \\ M_{fz} = 72x - 56.88 \end{array}$$

Tableau III.14 : Tableau de valeurs des efforts internes aux extrémités des tronçons

Moments	$0 \leq x \leq 0.101$		$0.101 \leq x \leq 0.701$		$0.701 \leq x \leq 0.790$	
	$x=0$	$x=0.101$	$x=0.101$	$x=0.701$	$x=0.701$	$x=0.790$
$N(N)$	0	0	0	0	0	0
$T_y(N)$	198.09	198.09	44.09	44.09	-72	-72
$T_z(N)$	23.69	23.69	-4	-4	0	0

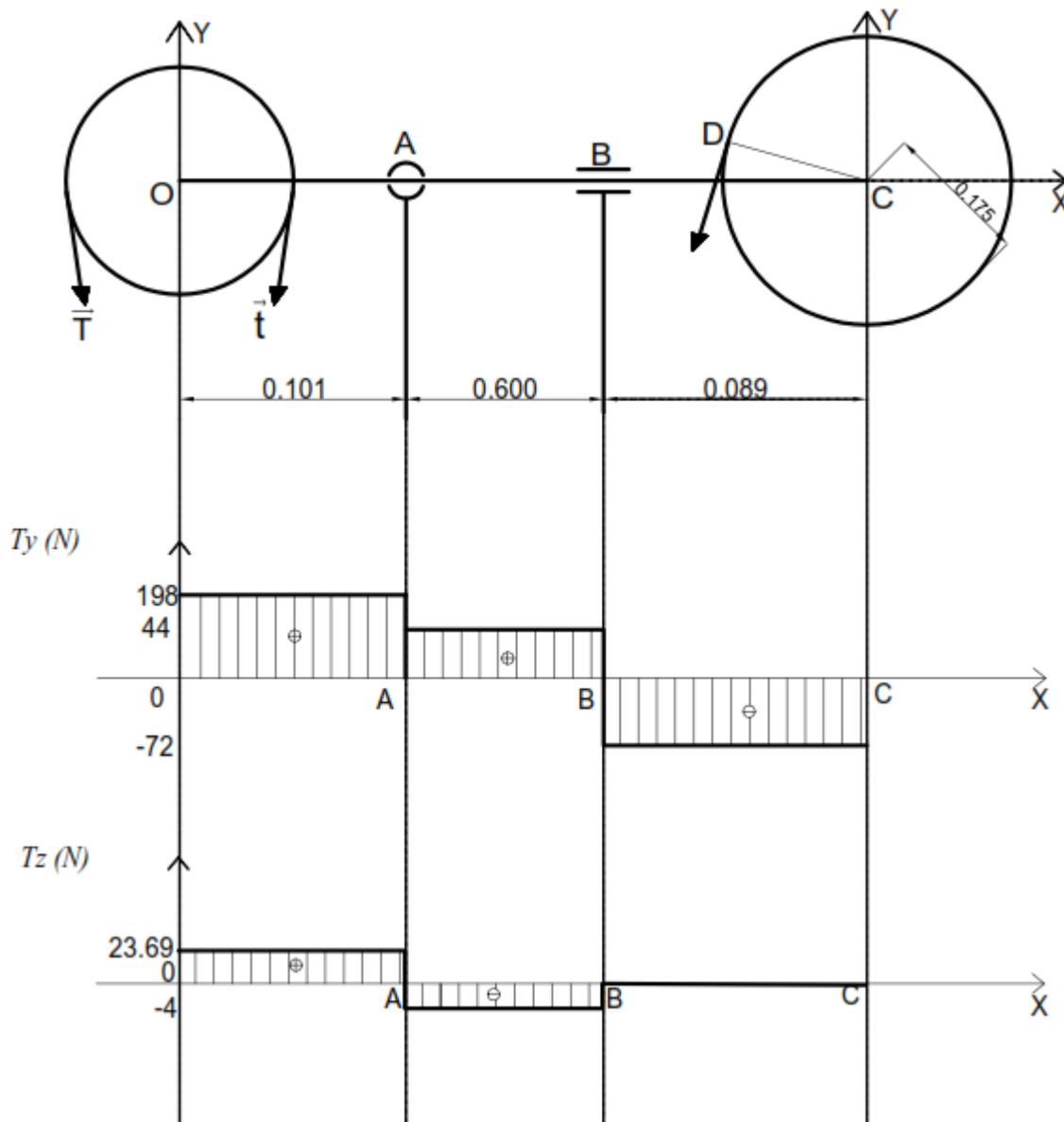


Figure III.26 : Diagrammes des efforts tranchants

Tableau III.15 : Tableau de valeurs des efforts internes aux extrémités des tronçons

Moments	$0 \leq x \leq 0.101$		$0.101 \leq x \leq 0.701$		$0.701 \leq x \leq 0.790$	
	$x=0$	$x=0.101$	$x=0.101$	$x=0.701$	$x=0.701$	$x=0.790$
$M_t(N.m)$	15.89	15.89	15.89	15.89	15.89	15.89
$M_{fy}(N.m)$	0	2.39	2.39	0	0	0
$M_{fz}(N.m)$	0	-20	-20	-46.45	-6.4	0

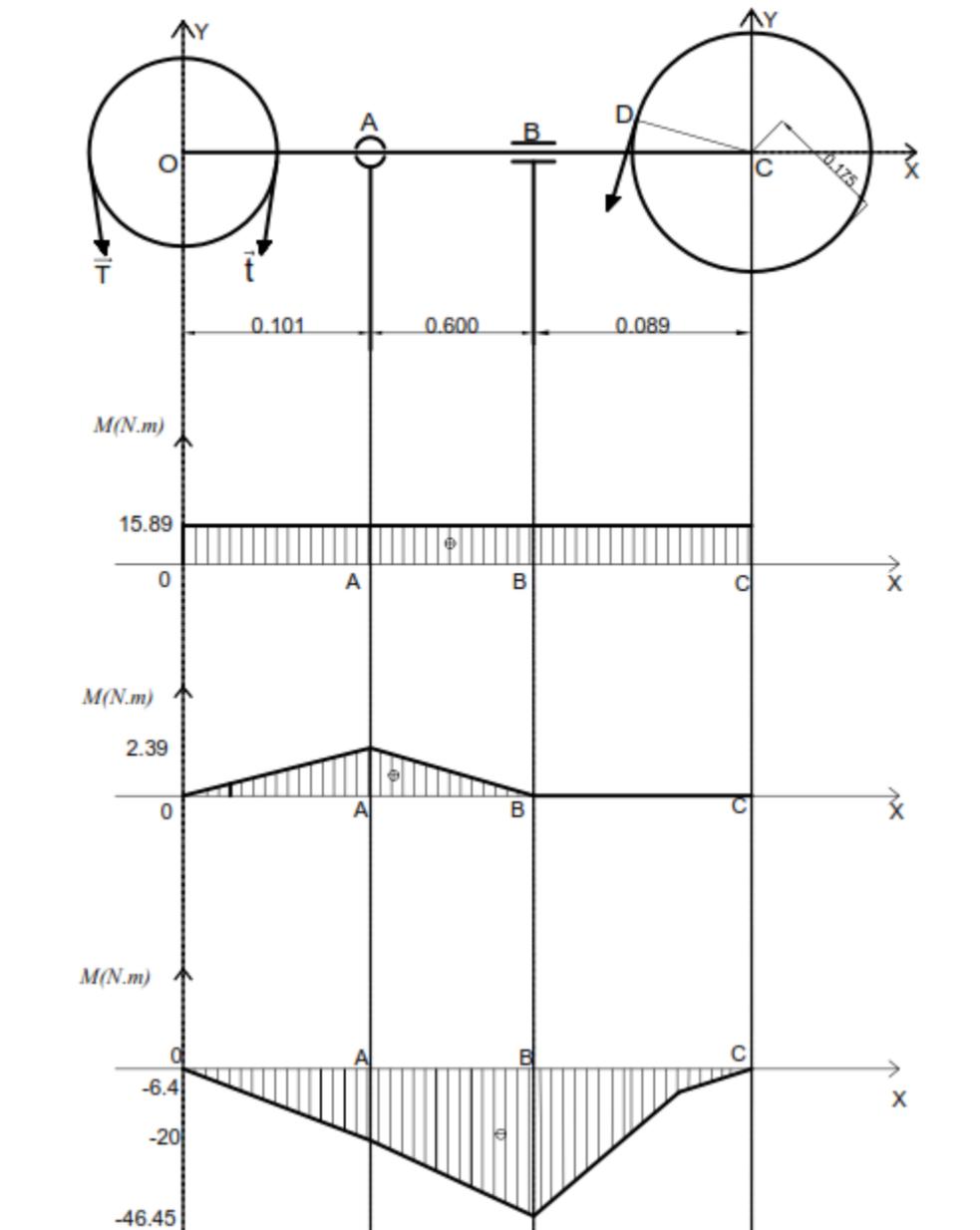


Figure III.27 : Diagrammes des moments fléchissant et moment de torsion

### Interprétation des diagrammes :

Des diagrammes précédents, on observe que :

$$|T_{y_{max}}| = 198N \text{ entre les points O et A ;}$$

$$|T_{z_{max}}| = 23.69N \text{ entre les points O et A ;}$$

$|M_t| = 15.89N.m$  le long de la poutre ;

$|M_{fy_{max}}| = 2.39N.m$  au point A ;

$|M_{fz_{max}}| = 46.45N.m$  au point B ;

De ces observations, il en ressort que la section la plus sollicitée sur notre arbre est la section en B. De ce fait, nous allons à partir de ces considérations déterminer le diamètre minimal de notre arbre récepteur.

### c) Déterminons le diamètre de l'arbre récepteur

**Hypothèse** : Notre arbre récepteur est en acier inoxydable (fortement allié) : **X6 CrNiMo17-11** est supposé peser 10 kg concentré entre les deux roulements respectant les normes **ISO 9001**, puis fortement conseiller pour l'agro-alimentaire, D'où la résistance à la rupture élastique est  $Re = 360N/mm^2$  . [10, p326]

#### Calcul du coefficient de sécurité (s)

$$s = a_h \times a_d \times a_p \times a_t \times a_c$$

$a_h$  : coefficient d'homogénéité du matériau = 1.3

$a_d$  : coefficient dynamique de transmission = 1.1

$a_p$  : coefficient de précision des charges (charges variantes) = 1.3

$a_t$  : coefficient de température (température ambiante) = 1

$a_c$  : coefficient de nature des charges = 1.5

$$AN : 1.3 \times 1.1 \times 1.3 \times 1 \times 1.5 = 2.7885$$

Nous adopterons un coefficient de sécurité  $S = 3$

$$s = 3$$

### Calcul de la contrainte pratique ( $\tau_p$ )

$$\tau_p = \frac{\tau_e}{s}$$

Sachant que le matériau utilisé (acier de traitement thermique) est un matériau ductile, nous avons :

$$\tau_e = \frac{R_e}{2} \quad \text{AN : } \frac{360}{2} = 175 \Rightarrow \tau_e = 180 \text{ N/mm}^2$$

Pour notre installation, le coefficient de sécurité (s) étant 3,  $\tau_p = 60 \text{ N/mm}^2$

### Calcul du moment fléchissant résultant ( $M_{frmax}$ )

$$M_{frmax} = \sqrt{(M_{fymax})^2 + (M_{fzmax})^2} \quad \text{AN : } \sqrt{2.39^2 + (46.45)^2} = 46.51$$

$$M_{frmax} = 46.51 \text{ N.m}$$

### Calcul du moment idéal de torsion ( $M_{ti}$ )

Il est donné par l'expression suivante :

$$M_{ti} = \sqrt{(M_{frmax})^2 + (M_{tmax})^2} \quad \text{AN : } \sqrt{(46.51)^2 + (15.89)^2} = 49.14$$

$$M_{ti} = 49.14 \text{ N.m}$$

### Calcul du moment idéal de flexion ( $M_{fi}$ )

Il est donné par l'expression suivante :

$$M_{fi} = \frac{1}{2}(M_{ti} + M_{frmax}) \quad \text{AN : } \frac{1}{2}(49.14 + 46.51) = 47.82$$

$$M_{fi} = 47.82 \text{ N.m}$$

### Condition de résistance

D'après le critère de **TRESCA** au cisaillement maximal, nous avons :

$$|\tau_{max}| \leq |\tau_p| \quad \text{or } \tau_{max} = \frac{M_{ti}}{\left(\frac{I_0}{v}\right)} \quad \text{avec } \left(\frac{I_0}{v}\right) = \frac{\pi d^3}{16}$$

$$\Leftrightarrow \frac{16M_{ti}}{\pi d^3} \leq \tau_p \Rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{16M_{ti}}{\pi \tau_p}} \quad \text{AN : } \sqrt[3]{\frac{16 \times 49.14 \times 10^3}{\pi \times 58.33}} = 16.24$$

$$\Rightarrow d \geq 16.24 \text{ mm}$$

### III.2.2. Calculs et Choix des roulements

L'objectif c'est de déterminer le type de roulement nécessaire au guidage en rotation de l'arbre récepteur **8**. Nous considérons les efforts les plus importants dans les paliers ; ces efforts sont :

$$\vec{R}_A(0; 154; 27.7) \text{ Et } \vec{R}_B(0; 49.3; -4)$$

**Hypothèses de calcul** : l'arbre est sollicité par des efforts radiaux ( $F_y; F_z$ )

Soit :

- $L_h$  : durée de vie corrigée en heures des roulements ;
- $L_{10}$  : durée de vie souhaitée en heures des roulements ;
- $a_1$  : coefficient correcteur lié à la fiabilité ;
- $P$  : charge dynamique équivalente sur le roulement ;
- $f_d$  : facteur de régulation du couple :  $f_d = 1.2$  ;
- $f_k$  : Coefficient pour la transmission poulie-courroie  $f_k = 2.5$  ;
- $C$  : charge dynamique de base ;
- $X$  et  $Y$  : coefficient de correction ;
- $F_a$  et  $F_r$  : efforts axiaux et radiaux ;
- $N_s$  : la vitesse de rotation de l'arbre  $N_s = 500 \text{ tr/mn}$ .

**Paramètres à déterminer : la charge équivalente  $P$  et la charge dynamique  $C$**

#### Calcul de la charge dynamique équivalente $P$

On sait que :  $P = XvF_r + YF_a$  or  $F_a = 0 \Rightarrow \frac{F_a}{F_r} = 0$  ainsi donc  $\begin{cases} X = 1 \\ Y = 0 \end{cases}$  car notre charge est radiale.

Dans la mesure où nous avons les bagues intérieures tournantes,  $v = 1$

$$\text{Alors, } F_r = \sqrt{y_A^2 + z_A^2} \quad \text{AN : } \sqrt{(154)^2 + (27.7)^2} = 156.5$$

$$F_r = 156.5 \text{ N}$$

- Effort théorique corrigé  $F_{thc}$

En tenant compte des conditions d'emploi liées au genre de transmissions (par courroie trapézoïdale) et de la régularité du couple (moteur électrique).

$$F_{thc} = f_k \times f_d \times F_r \quad \text{AN : } 1.2 \times 2.5 \times 156.5 = 469.5$$

$$F_{thc} = 469.5N$$

La charge dynamique a donc pour valeur :  $P = F_{thc} = 469.5N$

$$P = 0.469 \text{ KN}$$

Calcul de la durée de vie normalisée des roulements pour une fiabilité à 95%

Nous avons  $L_h = a_1 L_{10}$ . Si nous considérons que l'installation fonctionne avec une fréquence de six jours par semaine pendant cinq ans avec une durée de huit heures par jour, nous avons :  $L_{10} = 6 \times 5 \times 8 \times 52 = 12480 \text{ heures}$ . Pour une fiabilité à 95% nous avons  $L_h = a_1 L_{10} = 0.95 \times 12480 = 11856 \text{ H}$ . [11]

### Calcul de la charge dynamique de base C

Par définition, la durée de vie  $L_h = \frac{10^6}{60N_s} \left(\frac{C}{P}\right)^k$  avec  $k=3$  pour les roulements à billes [11]

$$\text{Alors } \left(\frac{C}{P}\right) = \sqrt[3]{\frac{L_h \times N_s \times 60}{10^6}} \Rightarrow C = P^3 \sqrt[3]{\frac{L_h \times N_s \times 60}{10^6}} \quad \text{AN : } 469.5 \times \sqrt[3]{\frac{11856 \times 500 \times 60}{10^6}} = 3101.5 \text{ N}$$

$$C = 3.101 \text{ KN}$$

### Choix des roulements :

Dans la mesure où la charge dynamique de base de notre roulement devra être légèrement supérieur à 3.101 KN, nous choisissons dans le catalogue SKF des roulements rigides à une rangée de bille à contact radial avec flasque et étanche des deux côtés de référence **SKF 61805**, de dimensions **d=25, D=37, B=7**. [11, p137]

Compte tenu des variations de section ou de concentrations des contraintes qui peuvent survenir lors de l'usinage de l'arbre ; Les calculs relatifs au choix des roulements nous permettent de choisir un diamètre **d=27mm**.

### III.2.3. Dimensionnement de la clavette

Le but de cette partie est de déterminer les dimensions transversales ainsi que la longueur minimale admissible de la clavette assurant l'immobilisation en rotation de l'arbre récepteur  $\underline{8}$  et de la poulie réceptrice  $\underline{3}$ .

#### Hypothèses :

- La clavette à dimensionner est normalisée de forme A ;
- L'ajustement entre l'arbre récepteur et la poulie réceptrice dans la rainure est glissant ;
- La clavette est parallèle et la répartition des contraintes sur son flanc latéral est uniforme ;
- Les conditions de fonctionnements sont moyennes (couple uniforme, moteur électrique usuel).

#### Données de calculs

- La sollicitation de la clavette au cisaillement n'est pas déterminante, seul le calcul au matage sera envisagé ;
- Le diamètre de l'arbre récepteur est  $d = 27 \text{ mm}$  tournant à  $500 \text{ tr/mn}$  ;

Le matériau de la clavette est E 24 de pression admissible sur les flancs  $P_{adm} = 30 M_{pa}$ .

[12]

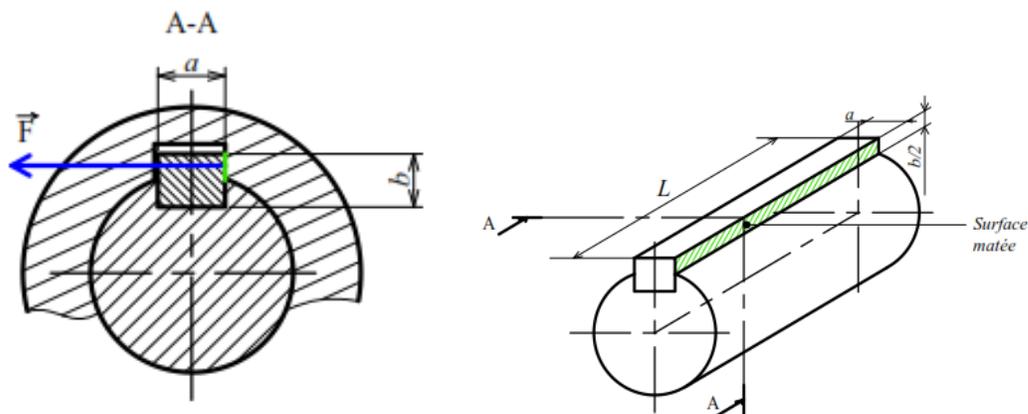


Figure III.28 : Clavette soumise au matage

#### a) Déterminons les dimensions transversales

Les dimensions transversales de la clavette sont normalisées en fonction du diamètre de l'arbre : pour  $22\text{mm} < d < 30\text{mm}$ ,  $a = 8$ ,  $b = 7$ .

[13]

**b) Déterminons la longueur de la clavette**
**❖ Calcul du couple transmit  $C_t$  par la liaison moyeu-clavette**

$$P_t = C_t \times \omega \Rightarrow C_t = \frac{30P_t}{\pi N_s} \text{ Avec } \omega = \frac{\pi N_s}{30} \text{ AN : } \frac{30 \times 750}{\pi \times 500} = 14.32 \quad [12]$$

$$C_t = 14.32 \text{ N.m}$$

**❖ Calcul de l'effort exercé par le moyeu sur la clavette**

$$F_p = \frac{2C_t}{d} = \frac{2 \times 14.32}{0.027} = 1060.7 \quad [12]$$

$$F_p = 1060.7 \text{ N}$$

**❖ Calcul de la longueur de la clavette**

On suppose que la surface de contact de la clavette avec la rainure est plane et que la pression qui s'y exerce est uniformément répartie.

$$\text{Nous avons : } P_{ma} = \frac{F_p}{S} \quad \text{or } S = L \frac{b}{2} \Rightarrow P_{ma} = \frac{2F_p}{Lb}$$

En appliquant la condition de résistance au matage, nous avons :

$$P_{ma} \leq P_{adm} \Rightarrow \frac{2F_p}{Lb} \leq P_{adm} \quad [12]$$

$$\Rightarrow L \geq \frac{2F_p}{bP_{adm}} \quad \text{AN : } \frac{2 \times 1060.7}{0.008 \times 30 \times 10^6}$$

$$\Rightarrow L \geq \mathbf{8.83mm}$$

En tenant compte de l'épaisseur de la poulie on adoptera  $L = \mathbf{18mm}$ . Ainsi, nous optons pour une clavette parallèle de forme **A 8×7× 18**.

### III.3. ETUDE GRAPHIQUE

Le but d cette partie est de :

- Faire le dessin d'ensemble de notre machine ;
- Faire les calculs relatifs aux jeux fonctionnels ;
- Ressortir les dessins de définitions des pièces importantes du mécanisme.

### III.3.1. Dessin d'ensemble de la machine

La présentation de la machine conçue en 3D et 2D ainsi que la nomenclature y afférente est la suivante :

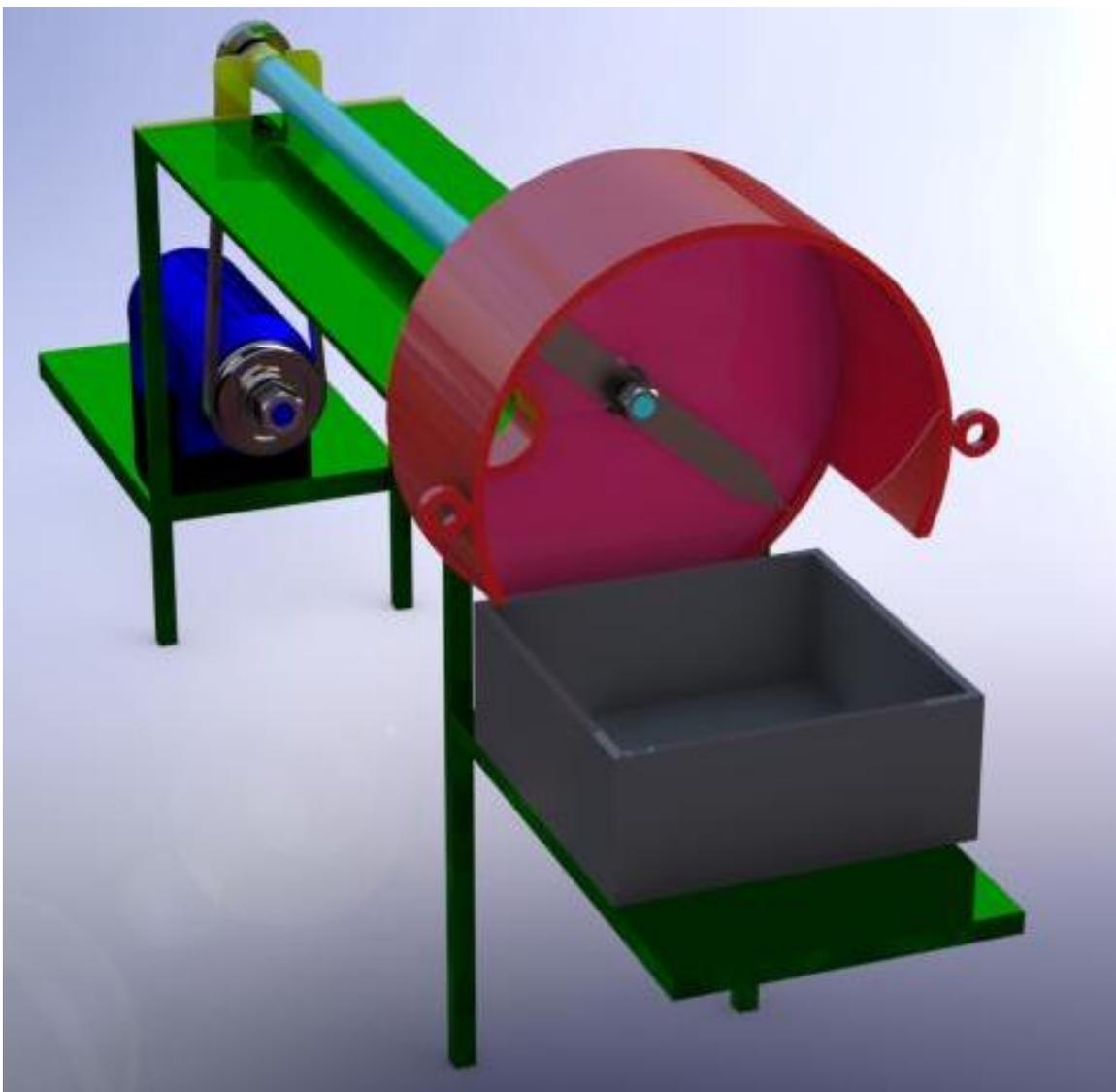


Figure III.29 : prototype en 3D

Sur cette page tu insère le desin d'ensemble sur A3

### III.3.2. Cotation fonctionnelle

#### a) Chaîne de cote relative au jeu $\vec{a}$ et $\vec{b}$

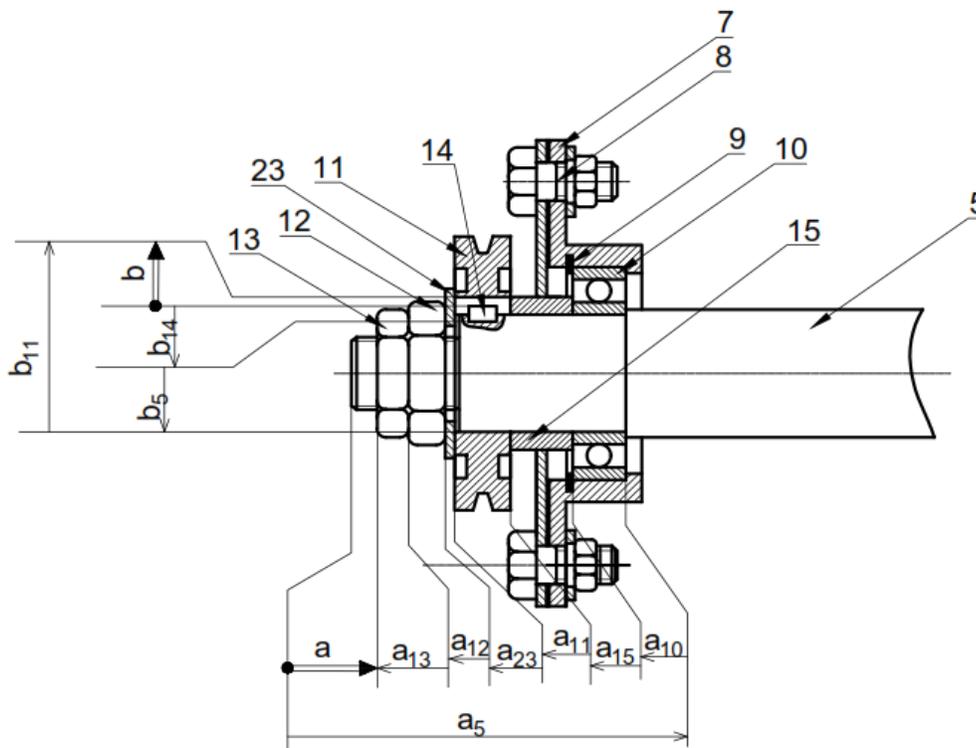


Figure III.30 : Représentation de la chaîne de cote relative au jeu a et b

**Rôle du jeu  $\vec{a}$**  : il permet d'assurer le serrage de la poulie **11** sur l'arbre récepteur **5**;

**Position** : le jeu  $\vec{a}$  se situe entre le contre écrou **13** et le début du filetage de l'arbre récepteur **5** à l'extrémité gauche ;

**Données** :  $a=5^{\pm 0.5}$  ;  $a_{13}=8^{\pm 0.1}$  ;  $a_{12}=12^{\pm 0.1}$  ;  $a_{23}=3^{\pm 0.1}$  ;  $a_{11}=30^{\pm 0.1}$  ;  $a_{15}=40^{\pm 0.1}$  ;  $a_{10}=7^{\pm 0.1}$  ;

**Inconnue** :  $a_5$

$$\begin{aligned}
 a_{maxi} &= a_{5maxi} - (a_{13mini} + a_{12mini} + a_{23mini} + a_{11mini} + a_{15mini} + a_{10mini}) \\
 \Leftrightarrow a_{5maxi} &= a_{maxi} + (a_{13mini} + a_{12mini} + a_{23mini} + a_{11mini} + a_{15mini} + a_{10mini}) \\
 a_{mini} &= a_{5mini} - (a_{13maxi} + a_{12maxi} + a_{23maxi} + a_{11maxi} + a_{15maxi} + a_{10maxi}) \\
 \Leftrightarrow a_{5mini} &= a_{mini} + (a_{13maxi} + a_{12maxi} + a_{23maxi} + a_{11maxi} + a_{15maxi} + a_{10maxi}) \\
 a_{5maxi} &= 105.1 \\
 a_{5mini} &= 104.9 \\
 a_5 &= 105^{\pm 0.1}
 \end{aligned}$$

**Rôle du jeu  $\vec{b}$**  : il permet d'assurer le montage de la poulie **11** sur l'arbre récepteur **5**;

**Position** : le jeu  $\vec{b}$  se situe entre le fond de la rainure de clavette de la poulie **11** et la clavette **14**;

**Données** :  $b=3^{\pm 0.1}$  ;  $b_{14}=7^{\pm 0.1}$  ;  $b_5=20^{\pm 0.1}$  ;

**Inconnue** :  $b_{11}$  ;

$$\begin{aligned}
 b_{maxi} &= b_{11maxi} - (b_{14mini} + b_{5mini}) \\
 \Leftrightarrow b_{11maxi} &= b_{maxi} + (b_{14mini} + b_{5mini}) \\
 b_{mini} &= b_{11mini} - (b_{14maxi} + b_{5maxi}) \\
 \Leftrightarrow b_{11mini} &= b_{mini} + (b_{14maxi} + b_{5maxi}) \\
 b_{11maxi} &= 30.1 \\
 b_{11mini} &= 29.9 \\
 b_{11} &= 30^{\pm 0.1}
 \end{aligned}$$

b) Chaîne de cote relative au jeu  $\vec{c}$

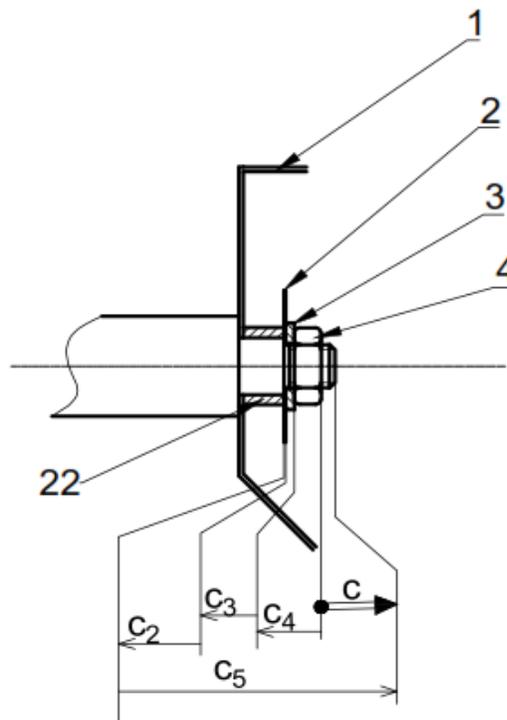


Figure III.31 : Représentation de la chaîne de cote relative au jeu  $\vec{c}$

**Rôle du jeu  $\vec{c}$**  : il permet d'assurer le blocage de la lame de coupe 2 sur l'arbre récepteur 5;

**Position** : le jeu  $\vec{c}$  se situe entre l'écrou 4 et le bout de l'arbre 5;

**Données** :  $c=5^{\pm 0.5}$  ;  $c_4=8^{\pm 0.1}$  ;  $c_3=2^{\pm 0.1}$  ;  $c_2=1^{\pm 0.1}$

**Inconnue** :  $c_5$  ;

$$c_{maxi} = c_{5maxi} - (c_{4mini} + c_{3mini} + c_{2mini})$$

$$\Leftrightarrow c_{5maxi} = c_{maxi} + (c_{4mini} + c_{3mini} + c_{2mini})$$

$$c_{mini} = c_{5mini} - (c_{4maxi} + c_{3maxi} + c_{2maxi})$$

$$\Leftrightarrow c_{5mini} = c_{mini} + (c_{4maxi} + c_{3maxi} + c_{2maxi})$$

$$c_{5maxi} = 16.2$$

$$c_{5mini} = 15.8$$

$$c_5 = 16^{\pm 0.2}$$

### III.3.3. Dessins de définitions

(Voir les pages suivantes)

Sur cette page tu mets le dessin de définition de l'arbre

Ici le dessin de définition de la lame

Ici le dessin de définition de la bague

## **Chapitre IV : ETUDE DE FABRICATION**

Dans ce chapitre, nous nous proposons de faire l'étude de fabrication de l'arbre récepteur 5.

## IV.1. CAHIER DE CHARGE DE FABRICATION

Dans le but de planifier notre étude afin de réduire le cout de revient de notre prototype, on tiendra compte des éléments suivants :

### **Programme de fabrication**

- Les phases d'usinage seront représentées par les nombres 10, 20, 30... ;
- Les sous phases d'usinage seront repérées par les nombres 101, 201, 301... ;
- Brut ; rond plein de diamètre 30 mm.

### **Plan d'étude**

L'étude sera faite suivant le plan ci-après :

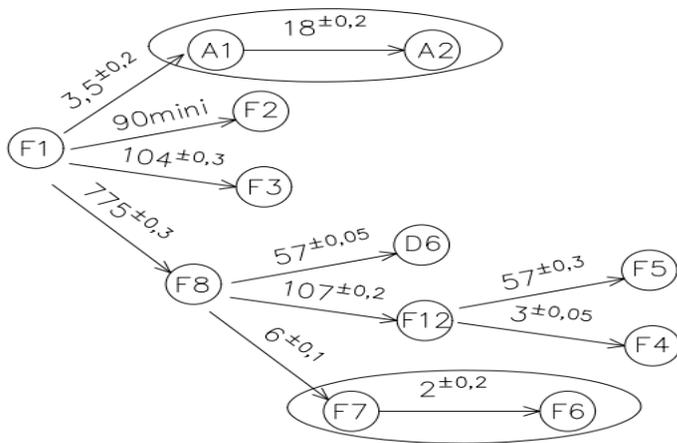
- Dessin de définition ;
- Dessin de fabrication ;
- Inventaire des opérations élémentaires et association des surfaces ;
- Analyse des contraintes d'antériorités ;
- Matrice d'ordonnancement des opérations ;
- Gamme d'usinage ;
- Contrat de phase.

Ici dessin de definition de l'arbre

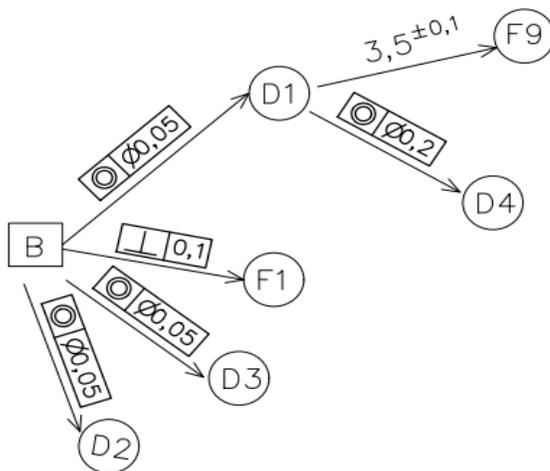
Dessin de fabrication de l'arbre

a) Graphe de liaison

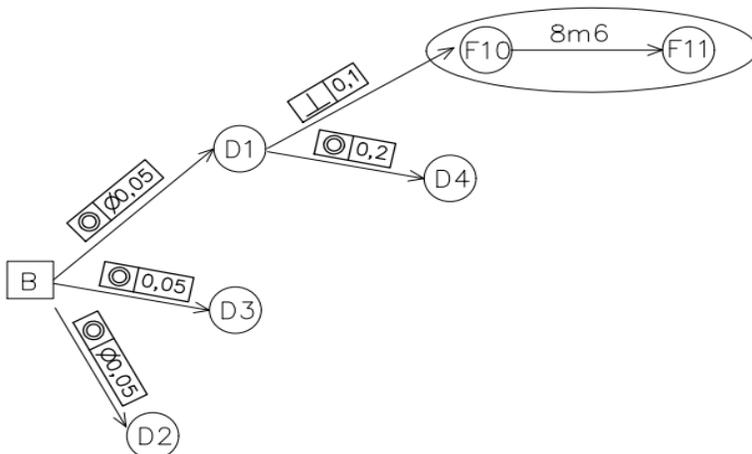
Direction Ox :



Direction Oy :



Direction Oz :

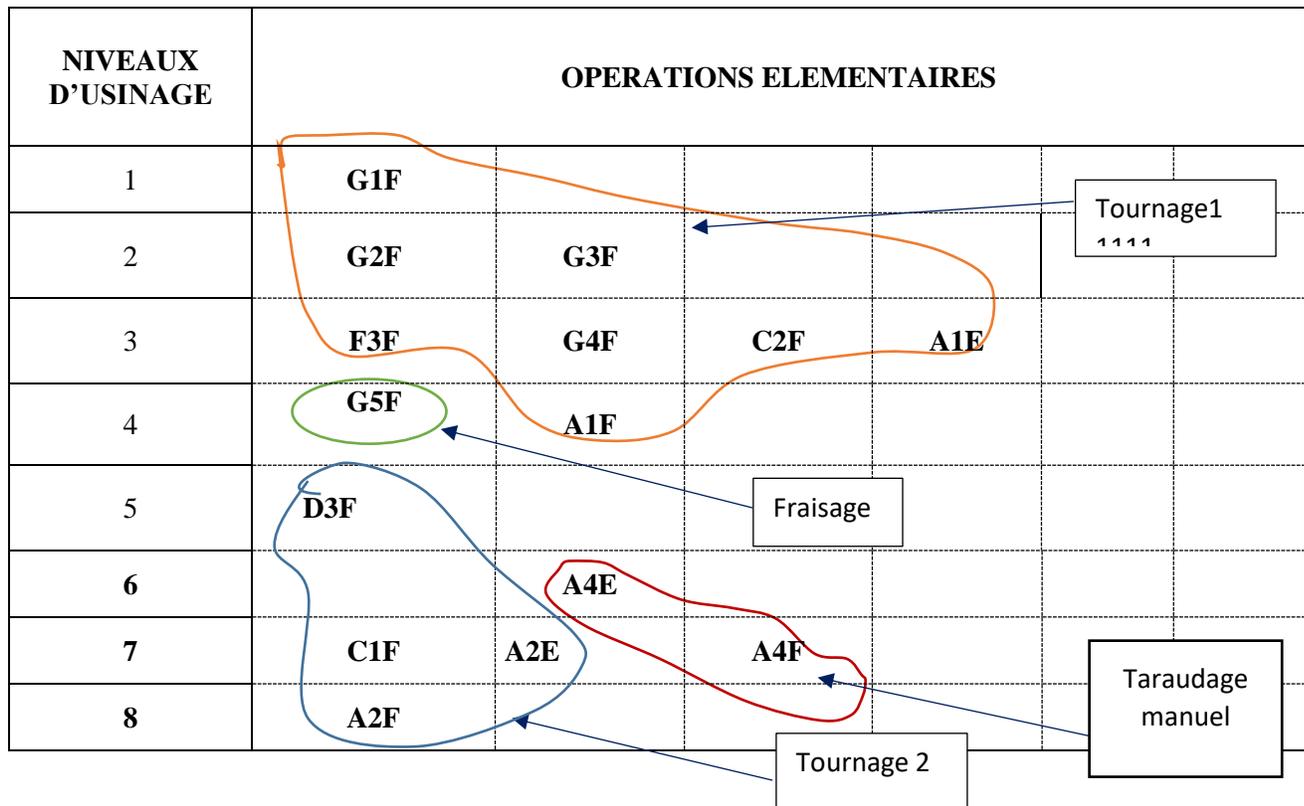


REPERE DES SURFACES	EXIGENCES TECHNOLOGIQUES		INVENTAIRE DES OPERATIONS ELEMENTAIRES		
	I.T	Ra	Nature des surfaces	Nature de l'opération	Symbolisation
B		3.2			
F1	0.4/B	3,2	Plane	Dressage	F1F
F2	0.4/B	3,2	Plane	Dressage	F2F
F3	0.2/F2	3.2	Plane	Dressage	F3F
F4	0.1/F3	3,2	Plane	Dressage	F4F
F5	0.2/F3	3,2	Plane	Dressage	F5F
F6	0.2/F3	3,2	Plane	Dressage	F6F
F7	0.4/F1	3,2	Plane	Fraisage	F7F
F8	0.4/F1	3,2	Plane	Fraisage	F8F
F9	0.4/F1	3,2	Plane	Dressage	F9F
F10	0.4/F9	3,2	Plane	Chariotage	F10F
D1	0.2/B	1.6	Révolution	Chariotage	D1F
D2	0.2/B	3,2	Révolution	Chariotage	D2F
D3	0.4/D1	3,2	Révolution	Perçage	,D3F
D4	0.4/D2	3,2	Révolution	Rainurage	D4E, D4F
A1	0.4/D2	3,2	Quelconque	Filetage	A1F A1F
A2	0.4/D1	3,2	Quelconque	Filetage	A2E A2F
A3	0.4/D5	3,2	Quelconque	Filetage	A3E A3F
A4	0.4/D3	3,2	Quelconque	Taraudage	A4E A4F
C1	0.4/F7	3,2	Quelconque	Chanfreinage	C1F
C2	0.4/F4	3,2	Quelconque	Chanfreinage	C2F
<b>ASSOCIATION DES SURFACES</b>					
<b>OPERATIONS</b>	<b>SYMBOLES</b>		<b>NATURE DES OUTILS</b>		
F1F D1F	G1F		Outil couteau		
F2F D2F	G2F		Outil couteau		
D4F F4F	G3F		Outil couteau		
F5F F6F	G4F		Outil couteau		
F7F F8F	G5F		Fraise 2T 2 lèvres		

ASSOCIATIONS	CONTRAINTES												
	OPERATIONS	GEOMETRIQUES							TECHNOLOGIQUES			ECONOMIQUES	
								Autres	Reprise	Opération	Bavure	Moindre usinage	Outil de finition
G1F				B									
G2F										G1F			
	F3F												
G3F				G1F									
G4F										G2F			
G5F							G1F						
	F9F												
	D3E			G1F									
	D3F			G1F D3E						D3E			
	A1E									G1F			
	A1F									G1F A1E			
	A2E									G2F			
	A2F									G2F A2E			
	C1F												
	C2F												

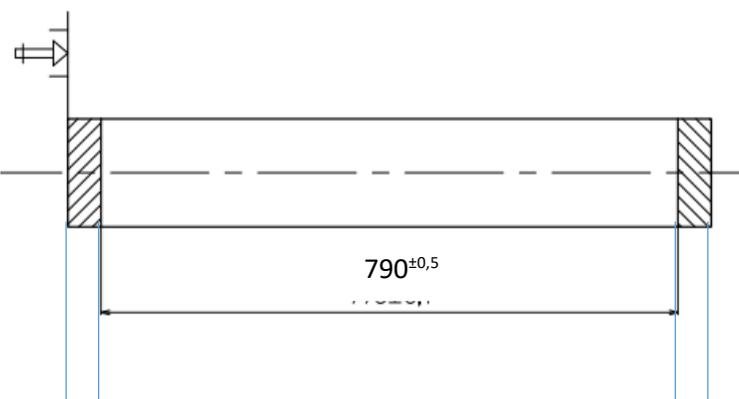
	Contraintes d'antériorité																Niveaux							
	B	G1F	G2F	G3F	F3F	G4F	D3F	A4F	G5F	A1E	A1F	A2E	A2F	C1F	C2F		1	2	3	4	5	6	7	8
Repères des opérations	B															0								
	G1F	1														1	0							
	G2F	1	1													2	1	0						
	G3F		1													1	1	0						
	F3F		1	1	1											3	3	2	0					
	G4F		1	1												2	2	1	0					
	D3F		1		1											3	3	2	1	1	0			
	A4F		1													2	2	1	1	1	1	0		
	G5F		1													2	2	1	1	0				
	A1E		1													3	3	2	2	2	2	1	0	
	A1F		1													4	4	3	3	3	3	2	1	0
	A2E		1		1											2	2	1	0					
	A2F				1											2	2	2	1	0				
	C1F		1													2	2	1	1	0				
C2F				1											1	1	1	0						
																B	G1 F	G2 F G3 F	F3F, G4F, A1E, C2F	G5F, A1F, C1F	D 3 F	A 4 F	C 1 F A 2 E	A 2 F

Tableau de groupement en phase

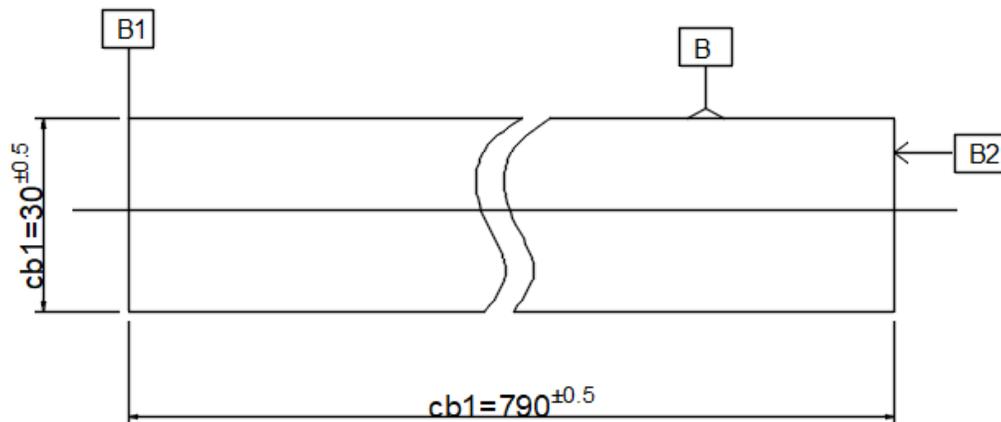


Avant-projet d'étude de fabrication

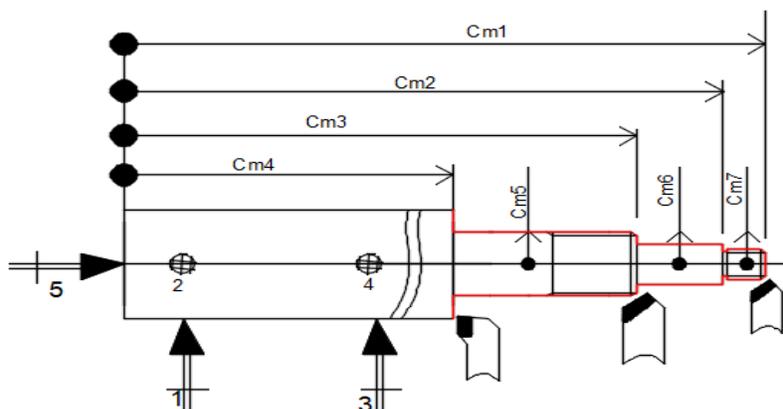
N° de phase	Désignation	Surfaces usinées
10	Contrôle du brut	B
20	Tournage 1	, G1F, G2F, G3F, F3F, G4F, C2F, A1E, A1F
30	Tournage 2	C1F, A2E, A2F, D3F
40	Fraisage	G5F
50	Taraudage	A4E, A4F
60	Contrôle finale	

Feuille de calcul de la cote de brut						
	Graphe des cotes de fabrication					
	Condition	Rep.	mini →	mini ↗ Maxi ↘	IT	Cotes de fabrication
	Bureau d'étude	C <sub>1</sub>	789.5	790.5	0,5	790 <sup>±0,5</sup>
	Bureau des Méthodes	Cp <sub>1</sub>	0.1			
		Cp <sub>2</sub>	0.1			
	Chaines de cotes	Cp <sub>1</sub>		0,1	0,1	<b>C<sub>1</sub> = 790.8<sup>±0.2</sup></b>
		C <sub>1</sub>		790.5	0,5	
		C <sub>2</sub>	790.6		0.4	
		Σ	790.6	790.6		
		Cp <sub>2</sub>		0,1	0,1	<b>Cb<sub>2</sub> = 795<sup>+0.5</sup><sub>0</sub></b>
		C <sub>1</sub>		789.9	0,4	
		Cb	795		0.5	
		Σ	794.5	790		

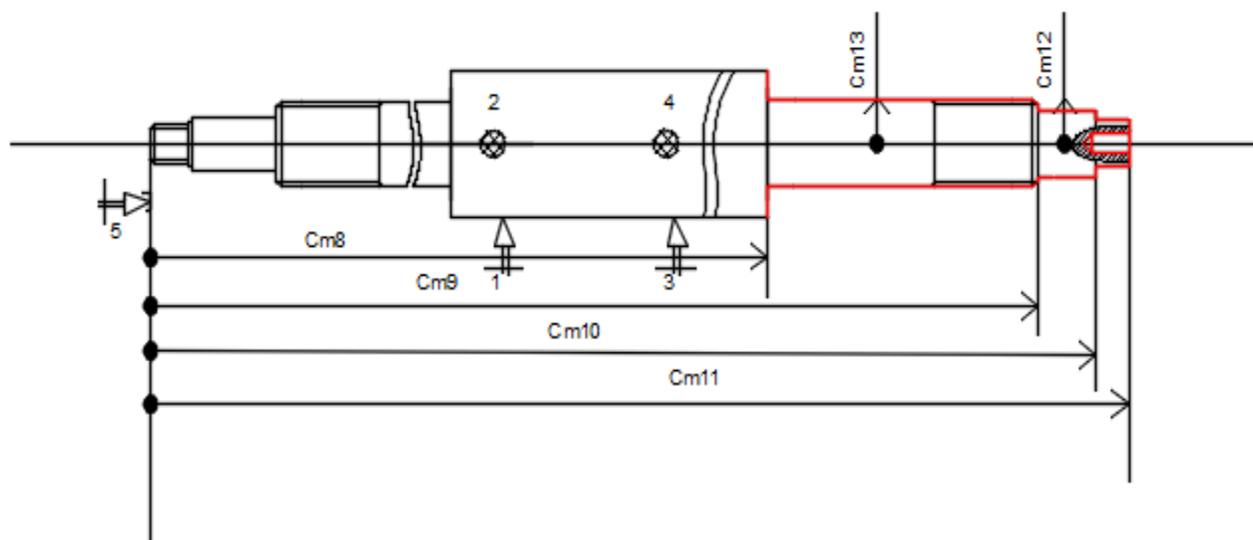
Nbre de pièces : 1		<b>CONTRAT DE PHASE</b>			FM5			
Matière : X6CrNiMo 17-11					FOLIO 7			
		Désignation : Arbre						
		Phase 10 : contrôle du brute						
Référentiel :								
OPERATIONS D'USINAGE		OUTILLAGE		PARAMETRES DE COUPE				
Rep	Désignation	Outils de coupe	Vérificateurs	Vc m/mn	N tr/mn	f mm/tr	a <sub>p</sub> mm	Lc mm
1	Mesurer $Cb_1 = 795^{±0.5}$ $Cb_2 = \varnothing 30^{±0.2}$		Pc 1/50e					



Nbre de pièces : 1		<b>CONTRAT DE PHASE</b>			FM5			
Matière : X6CrNiMo 17-11					FOLIO 8			
Sous Phase 20.1 :		PHASE 20 : TOURNAGE						
Référentiel : Centrage long sur B2 ; Butée sur B1								
OPERATIONS D'USINAGE			OUTILLAGE		PARAMETRES DE COUPE			
Rep	Désignation	Outils de coupe	Vérificateurs	Vc m/mn	N tr/mn	f mm/tr	a <sub>p</sub> mm	Lc mm
1	Dresser F3F : $Cm1 = 790.5_0^{+0,5}$	Outil à charioter et dresser d'angle en ARS	Pc 1/50e	25	125	0,2		
2	Charioter et dresser G1F, G2F : $Cm4 = 650^{\pm 0,2}$ $Cm3 = 689^{\pm 0,2}$			25	125	0,2		
3	Chanfreiner C2F, C3F :	Outil à charioter		25	125	0,2		
4	Filleter A1E, A1F, A3E, A3F: $Cm5 = 10^{\pm 0,2}$ $Cm7 = 5^{\pm 0,2}$	Outil à fileter en ARS	Peigne		40			

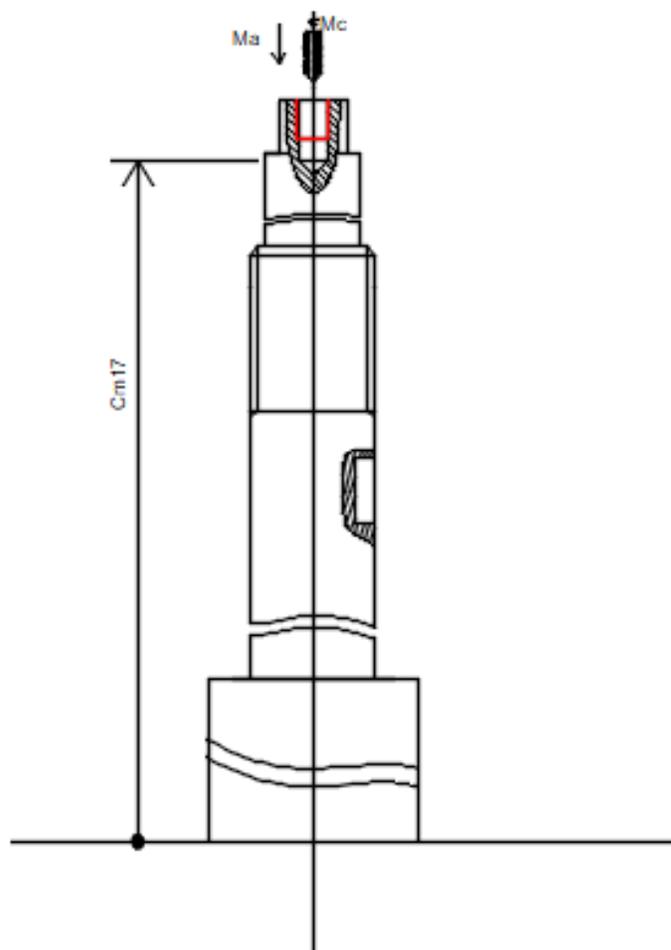


Nb de pièces : 1		CONTRAT DE PHASE				FM5		
Matière : X6CrNiMo 17-11						FOLIO 9		
Sous phase 20.2 :		PHASE 20 : TOURNAGE						
Réfèrentiel : Centrage long sur B ; Butée sur F3								
OPERATIONS D'USINAGE			OUTILLAGE		PARAMETRES DE COUPE			
Rep	Désignation	Outils de coupe		Vc m/mn	N tr/mn	f mm/tr	$a_p$ mm	Lc mm
1	Dresser F6F : $Cm6 = 790 \pm 0,5$	Outil à charioter et dresser d'angle en ARS	Pc 1/50e	25	124	0,2		32
2	Charioter et Dresser G3F, G4F : $Cm8 = 558 \pm 0,5$ $Cm10 = 670 \pm 0,4$			25	132	0,2		110
3	Percer D3F $Cm11 = 12 \pm 0,4$	Foret ARS Ø12	Pc 1/50e	25	125	0,2		107
4	Chanfreiner C1F : $Cm9 = 514 \pm 0,025$	Outil à charioter	Pc 1/50e	25	125	0,2		
5	Filleter A2E, A2F: $Cm13 = 10 \pm 0,2$ $Cm9 = 514 \pm 0,025$	Outil à fileter en ARS	Peigne	25	181	0,2		

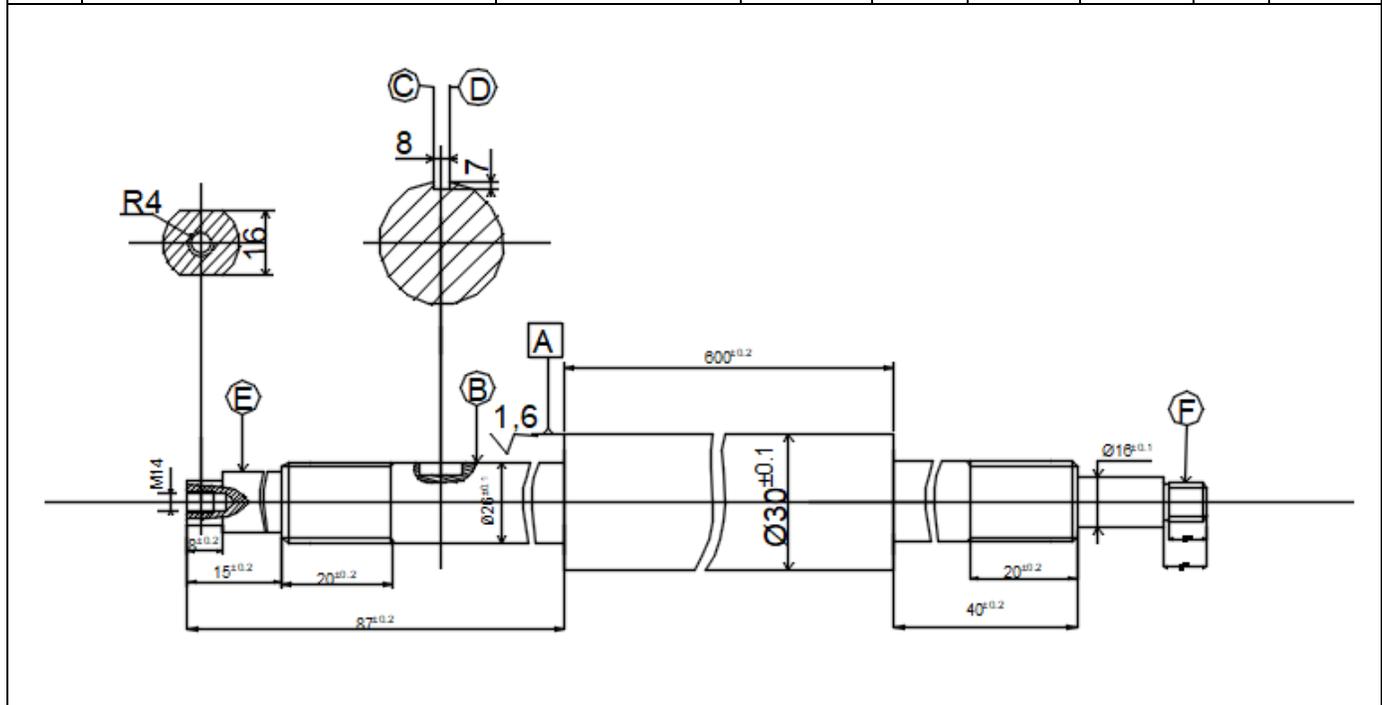


<b>Nbre de pièces : 1</b>		<b>CONTRAT DE PHASE</b>		<b>FM5</b>				
<b>Matière : X6CrNiMo 17-11</b>				<b>FOLIO 10</b>				
		<b>Désignation : Arbre</b>						
		<b>PHASE 30 : FRAISAGE</b>						
<b>Référentiel : Centrage long sur B ; Butée sur F1</b>								
<b>OPERATIONS D'USINAGE</b>			<b>OUTILLAGE</b>		<b>PARAMETRES DE COUPE</b>			
Rep	Désignation	Outils de coupe	Vérificateurs	Vc m/mn	N tr/mn	f mm/tr	a <sub>p</sub> mm	Lc mm
1	<b>Rainurer G5F :</b> $Cm16 = 14^{\pm 0,05}$ $Cm15 = 8_0^{+0,184}$	Fraise cylindrique 2 tailles Ø8	Pc 1/50° et cale étalon	25	995	0,2		14

Nbre de pièces : 1		<b>CONTRAT DE PHASE</b>			FM5			
Matière : X6CrNiMo 17-11					FOLIO 11			
		Désignation : Arbre						
		PHASE 50 : TARAUDAGE						
Référentiel : Centrage long sur B ; Butée sur F8								
OPERATIONS D'USINAGE			OUTILLAGE		PARAMETRES DE COUPE			
Rep	Désignation	Outils de coupe	Vérificateurs	Vc m/mn	N tr/mn	f mm/tr	a <sub>p</sub> mm	Lc mm
1	Tarauder A4E, A4F : $Cm17 = 304 \pm 0,05$	Taraud M6		25	132	0,2		55



Nbre de pièces : 1		CONTRAT DE PHASE				FM5		
Matière : X6CrNiMo 17-11						FOLIO 12		
		Désignation : Arbre						
		PHASE 60 : CONTRÔLE FINAL						
Référentiel :								
OPERATIONS D'USINAGE			OUTILLAGE		PARAMETRES DE COUPE			
Rep	Désignation	Outils de coupe	Vérificateurs	Vc m/mn	N tr/mn	f mm/tr	a <sub>p</sub> mm	Lc mm
1	Contrôle final		Pc 1/50° ; peigne et cale étalon					



## IV.2. PRESENTATION DU PROTOTYPE

### IV.2.1. Présentation du prototype

Le prototype de la découpeuse de GNETUM que nous avons réalisé est constitué en partie du matériau de récupération et du neuf. Par conséquent, les dessins de définition n'ont pas été respectés lors de la réalisation du prototype.



Figure IV.1 : Prototype de la découpeuse de Gnetum

### IV.2.2. Difficultés de réalisation

Pendant la réalisation de notre machine, nous nous sommes heurtés à des difficultés pratiques. Nous n'avons énuméré ici quelques-unes d'elles et proposons des solutions palliatives.

- Difficulté de trouver la matière première ;
- Difficulté d'usinage ;
- Régler le jeu entre la lame et la plaque afin d'éviter les frottements ;

### IV.2.3. Suggestions

Dans les échéances avenir, nous suggérons de tenir compte de certains éléments afin d'améliorer la qualité de notre machine.

- Eviter les feuilles avec tiges d'où la nécessité d'un tri préalable ;
- Prévoir un système de maintien des feuilles en bloc.

## 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.

### Règles de sécurités :

La réalisation, l'équipement ainsi que son utilisation doivent être faits dans le strict respect de certaines règles de sécurité, à savoir :

- ✓ La fabrication et le montage doivent s'effectuer selon les normes qui régissent chaque opération ;
- ✓ L'utilisation des équipements de protection individuels (EPI) est exigée ;
- ✓ S'assurer de l'isolation des fils électriques ;
- ✓ Eviter les gestes inutiles quand la machine est en marche ;
- ✓ Nettoyer la découpeuse après chaque utilisation ;

### Notice d'utilisation :

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

- ✓ S'assurer que les lames sont bien serrées ;
- ✓ Insérer les feuilles dans le conduit ;
- ✓ Brancher la machine à un secteur électrique triphasé ;
- ✓ Régler la distance entre les lames de découpe et l'avance manuelle des légumes ;
- ✓ Les feuilles devraient être au préalable rangé ;
- ✓ Mettre la machine en marche ;
- ✓ Faire la découpe à travers la lame et la manivelle pour une découpe optimale ;
- ✓ Arrêter la machine.

### Maintenance :

La maintenance est le fait d'entretenir un objet afin de préserver ses caractéristiques initiales. Pour notre dispositif, afin d'assurer la longévité de l'équipement, des opérations de maintenance préventive systématique devront être exécutées comme suit :

FICHE DE PLAN MAINTENANCE PREVENTIVE					
Eléments	Description	Fréquence en h	468	936	1872
		Période	1,5 mois	3 mois	6 mois
Courroie	Tension		x	x	x
Assemblages	Réviser / serrage		x	x	x
Engrenages	Douceur de fonctionnement, vibrations			x	x
Arbres	Etat général (traces de grippage)				x
Roulements	Vibrations, jeu et conditions des roulements à billes			x	x
Clavettes	Matage			x	x
Moteur	Vibrations, bruits anormaux				x
	Tension, courant, vitesse de rotation			x	x
Circuit électrique	Etat général du branchement		x	x	x

L'on tient à préciser ici que notre machine ne doit qu'être utilisée par des personnes adultes avec un âge compris entre 21 et 55 ans car elle ne devra pas être mise à la portée des enfants et des vieillards.

#### IV.4. ETUDE DU COUT DE REALISATION

Soit le débit estimatif à l'étude et à la réalisation d'une machine à découper les feuilles de Gnetum :

- La main d'œuvre à 35% du cout du matériel ;
- Les divers s'élèvent à 10% du cout du matériel ;

N°	Désignation de la pièce	QTE	Prix unitaire	Prix total
1	Plaque de tôle 80/10° INOX	1/2	250 000	150 000
2	Feuille de tôle 20/10° INOX	3	330 000	90 000
3	Cornière 30x30 de 6 m	02	5500	11 000
4	Moteur de type LS 80 type N° 56	01	110 000	110 000
5	Paire de poulies en aluminium	01	30 000	30 000
6	Paire de roulement type 6005	01	15 000	15 000
7	Paire de galet ∅10	04	4 000	16 000
8	Courroie trapézoïdale L1112	01	5 000	5000
9	Fer rond ∅35 L 500	01	3 500	3 500
10	Fer rond ∅15 L 1000	01	5 000	5 000
11	Fer plat C38 30 x 2 x 6000	01	4 500	4 500
12	Monture de scie à métaux et lame	01	2500	2500
13	Equerre	01	2500	2500
14	Boulons HM8	01	3000	2500
15	Boulons HM6	01	2500	2500
16	Sachet de rondelles	01	1500	1500
17	Paquet de baguette 2/5 ordinaire	02	12 500	25 000
18	Paquet de baguette 2/5 inoxydable	01	12500	12500
19	Disque à couper	10	2500	25 000
20	Disque à meuler	05	2000	10 000
21	Pot d'antirouille 2L	01	5000	5000
22	Pot de diluant 1L	01	2000	2000
23	Pot de peinture 5L	01	10 000	10 000
24	Axe 800/30	01	15000	15000
	Total matériel			560 000
	Divers			56 000
Total 1 = 616 000 Frs CFA				

Réf	Equipements	Prix/Heure	Nbre d'heures	PT
1	Tour	6000	9	54 000
2	Fraiseuse	8000	3	18 000
3	Meule	5000	8	40 000
4	Poste de soudure	8000	7	56 000
5	Ponceuse	1000	2	2 000
6	Cintreuse	5000	1	5 000
Total 2 = 175 000 Frs CFA				

Réf	DESIGNATIONS	QTE	PU	PT
1	Main d'œuvre étude	1	FF	200 000
2	Main d'œuvre réalisation	1	FF	150 000
Total 3 = 350 000 Frs CFA				

### Estimation du cout de revient du prototype :

$$\text{Montant total H.T : } MT = \text{Total 1} + \text{Total 2} + \text{Total 3}$$

$$\text{Montant total H.T : } M_T = 1\ 116\ 000 \text{ Frs CFA}$$

$$\text{Montant TVA X (19,25%) : } M_{TVA} = 214\ 800 \text{ Frs CFA}$$

$$\text{Montant total TTC} = 1\ 330\ 800 \text{ Frs CFA}$$

### Estimation du prix de vente d'une machine

$$\text{Cout de vente} = \text{cout de revient} + \text{bénéfice}$$

### Budgétisation du projet

Soit la simulation du budget d'investissement pour la fabrication de 30 machines.

$$\text{Budget d'investissement} = 30 * \text{cout de production} + \text{cout de conception}$$

Avec : Le cout de production (Total 1+ Total 2) et le cout de conception Total 3

$$\text{Budget d'investissement} = 30 * (\text{Total 1} + \text{Total 2}) + \text{Total 3}$$

$$\text{An : budget d'investissement} = 12\ 989\ 000 \text{ Frs CFA}$$

### Estimation du prix de vente d'une machine

$$\text{Cout de revient unitaire} = \text{budget d'investissement} / 30$$

$$\text{Cout de revient unitaire} = 432\ 970 \text{ Frs CFA}$$

En optant pour une marge bénéficiaire de 35%, nous obtiendrons un prix de vente unitaire de :

$$\text{Prix de vente} = \text{Cout de revient unitaire} + \text{bénéfice}$$

$$\text{Prix de vente} = 584\ 510 \text{ Frs CFA.}$$

## CONCLUSION GENERALE

Il était question pour nous dans ce projet de mémoire de fin d'études de second cycle d'apporter une solution au problème découpage des feuilles de Gnetum afin de faciliter l'obtention des feuilles prêtes pour la cuisson. D'où le thème « **ETUDE ET REALISATION D'UNE MACHINE A DECOUPER LES FEUILLES DE GNETUM** » choisi à cet effet., pour apporter une solution nous avons, ainsi, réalisé une expérience de façon répétitive afin de déterminer la puissance optimale pour pouvoir effectuer la découpe des feuilles tout en exerçant une force connue. Ainsi, c'est à partir de cette puissance de découpage que nous avons pu déterminer le type de notre moteur (**un moteur asynchrone triphasé fermé de type LS 80 L  $P_m = 0,75$  KW, tournant à une vitesse de 1500 tr/min**) ; les éléments de transmission (**poulie-courroie longueur  $L = 1112$  mm soit SPZ 1112, courroie TEXROPE**) et les principaux organes internes de la machine (**roulement SKF 61805 et clavette de forme A  $8 \times 7 \times 18$** ). La machine conçue possède les caractérisés suivants : Un encombrement de  $100 \times 50 \times 120$ , Un poids net : 93 Kg, Un rendement de 85 % après la réalisation et créant ainsi un écart de 13% par rapport au rendement initialement fixé soit 98% avec une flexibilité de  $\pm 5\%$ . Comme souci à notre travail, nous avons rencontré durant notre période d'étude des difficultés à savoir : le manque des outils adéquats pour pouvoir déterminer les caractéristiques réelles de la feuille, la non disponibilité de la documentation sur la conception d'une machine à découper les légumes, le prix de réalisation de notre prototype très élevée ; le manque des ateliers de fabrication mécanique dans l'établissement de l'ENSET et même dans la ville d'Ebolowa. Toutefois, nous espérons avoir apporter notre contribution dans le secteur agroalimentaire et précisément dans la technique de découpe des légumes feuilles afin de satisfaire les consommateurs. En outre, notre machine présente des limites telles que :

- ✓ Le calibrage des feuilles à insérer dans la conduite ;
- ✓ La non uniformité des filaments de feuilles
- ✓ La machine est bruyante.

Nonobstant cela, nous pouvons affirmer que notre objectif a été atteint et nous restons ouvert pour toute suggestion pouvant contribuer à amélioration de notre travail.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] CIFOR : <https://www.cifor.cgiar.org;www.worldagroforestrycentre.org> Visité le 10Aout 2019 à 22h05.
- [2][https://googleweblight.com;https://en.m.wikipedia.org/wiki/gnetum\\_aficanum](https://googleweblight.com;https://en.m.wikipedia.org/wiki/gnetum_aficanum) , Visité le 10 Aout 2019 à 22h30.
- [3] VALORISATION DU GNETUM SPP DANS LA GASTRONOMIE MODERNE, projet Pascal.
- [4] Honore TABUNA, 2000. Evaluation des échanges des produits non ligneux entre l’Afrique Subsaharienne et l’Europe. P 25
- [5] Kate Evans, « Apprivoiser l’OKOK : la domestication des aliments d’origine forestière au Cameroun », sur [blog.cifor.org](http://blog.cifor.org), centre de recherche forestière internationale, 14 novembre 2012.
- [6] NDOMOU M., MEZAJOUG KENFACK L.B., TCHIEGANG C., (2014) Physico-chemical properties of leaves of *Gnetum africanum* (L.) and *Gnetum bucholzianum* (L.) (Gnetaceae) from Cameroon.
- [7] TABUNA H. (2002). Quelles stratégies pour le développement et la promotion des aliments traditionnels mauriciens sur les marchés internationaux des produits alimentaires ethniques ? (Page 23)
- [8] Généralités sur la transformation des aliments traditionnels et des produits forestiers non ligneux au Cameroun et en Afrique centrale Honorée TABUNA et Ingratia KAYITAVU page 13
- [9] Manuel des **courroies trapézoïdales Texrope** (catalogue) fichier PDF.
- [10] A. chevalier, **Guide du dessinateur industriel**, hachette technique, édition 2004.
- [11] LENOMAND et TINEL, **Memento du dessin industriel**, tome 2, documentation dimensionnelle, Fourcher, Paris 1979.
- [12] D SPENLE R GOURHANT, **Guide du calcul en mécanique**, Edition hachette technique ;
- [13] H. LONGEOT, L. JOURDAN, **Construction industrielle**, Editions BORDAS, Paris 1982 ;
- [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] ABIA NONGA et Al, Etude et réalisation d'une trancheuse multiforme de légumes, Etudiants à l'ENSET de Douala, 2010/2011.

[17] DJELAH et Al, Amélioration conceptuelle et réalisation d'une trancheuse multiforme de légumes, 2011/2012

[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

## ANNEXES

ANNEXE A : choix du moteur ;

ANNEXE B : choix de la section de la courroie ;

ANNEXE C : vérification de la vitesse linéaire de la courroie ;

ANNEXE D : puissance de base brute ;

ANNEXE E : tension de pose ;

ANNEXE F : choix des roulements ;

ANNEXE G : choix des clavettes

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	LS 100 L								
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.

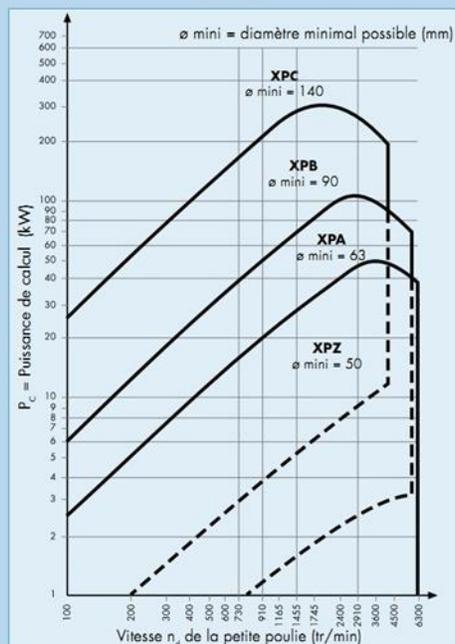
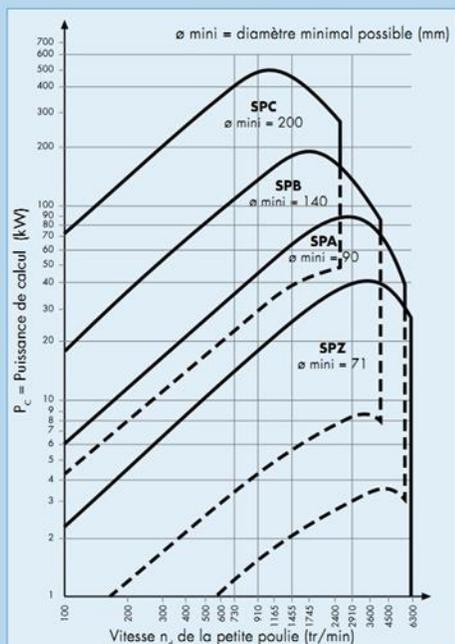
ANNEXE B : choix de la section de la courroie



Facteurs de service

Facteurs de service <b>S</b>	Conditions de fonctionnement								
	8 heures/jour			16 heures/jour			24 heures/jour		
	Couple uniforme U	Couple variable V	Couple très variable TV	Couple uniforme U	Couple variable V	Couple très variable TV	Couple uniforme U	Couple variable V	Couple très variable TV
Moteur électrique usuel couple de démarrage normal	1	1,12	1,25	1,12	1,25	1,40	1,18	1,32	1,50
Démarrages fréquents ou inversions de sens fréquentes	1,12	1,25	1,40	1,25	1,40	1,60	1,32	1,40	1,70
Moteur électrique à couple de démarrage élevé ou moteur synchrone. Moteur diesel à 1 ou 2 cylindres	1,18	1,32	1,50	1,32	1,50	1,70	1,40	1,60	1,80
Inversions de sens ou démarrages fréquents avec moteur à fort couple de démarrage	1,32	1,50	1,70	1,50	1,70	1,90	1,60	1,80	2

Choix de la section de courroie  
VP 2 HFX



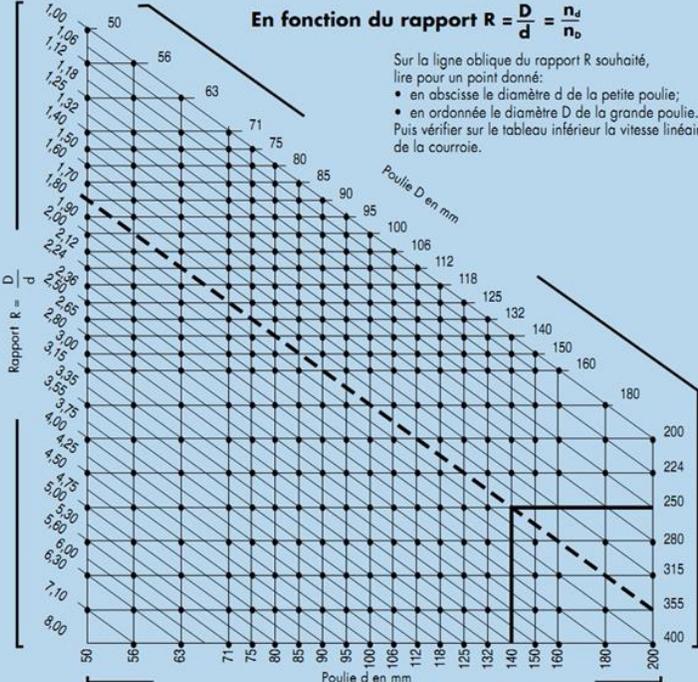
Remarque: Au voisinage d'une ligne de démarcation entre 2 sections de courroies, il peut être avantageux de comparer les 2 sections au point de vue encombrement et prix.

ANNEXE C : vérification de la vitesse linéaire de la courroie



## Sélection des poulies SPZ

**En fonction du rapport  $R = \frac{D}{d} = \frac{n_d}{n_b}$**



Sur la ligne oblique du rapport R souhaité, lire pour un point donné:

- en abscisse le diamètre d de la petite poulie;
- en ordonnée le diamètre D de la grande poulie.

Puis vérifier sur le tableau inférieur la vitesse linéaire de la courroie.

Facteur d'arc $\alpha$		
$\frac{D-d}{E}$	$\alpha$	$a$
0,00	180	1,00
0,04	178	0,99
0,11	173	0,98
0,19	169	0,97
0,26	165	0,96
0,32	161	0,95
0,39	158	0,94
0,45	154	0,93
0,51	151	0,92
0,56	147	0,91
0,62	144	0,90
0,67	141	0,89
0,72	138	0,88
0,77	135	0,87
0,82	132	0,86
0,86	129	0,85
0,91	126	0,84
0,95	123	0,83
0,99	121	0,82
1,03	118	0,81
1,07	116	0,80
1,10	113	0,79
1,14	111	0,78
1,17	108	0,77
1,21	106	0,76
1,24	104	0,75
1,27	101	0,74
1,30	99	0,73
1,32	97	0,72
1,35	95	0,71
1,38	93	0,70
1,40	91	0,69
1,43	89	0,68
1,45	87	0,67
1,48	85	0,66
1,50	83	0,65
1,52	81	0,65

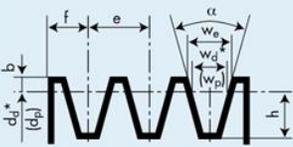
Vitesse poulie d	Vitesse linéaire des courroies (m/s)																			
2900 tr/min	7,6	8,5	9,6	10,8	11,4	12,1	12,9	13,7	14,4	15,2	16,1	17,0	17,9	19,0	20,0	21,2	22,8	24,3	27,3	30,4
1450 tr/min				5,4	5,7	6,1	6,5	6,8	7,2	7,6	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,6	11,4	12,1	13,7	15,2
970 tr/min										5,1	5,4	5,7	6,0	6,3	6,7	7,1	7,6	8,1	9,1	10,2

   Vitesse linéaire conseillée  
 VP 2:  $V < 40$  m/s  
 HFX:  $V < 45$  m/s

**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:

$W_e^*$ (= $W_d$ )	e	f	b	h	$d_s^*$ (= $d_p$ )	$\alpha$	$W_p$ mini
8,512	$\pm 0,3$	$8 \pm 1$	2	9	$\leq 80$	34	9,72
					$> 80$	38	9,88

\* Les largeurs de référence ( $W_e$ ) et diamètres de référence ( $d_s$ ) étaient précédemment nommés  $W_e$  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.

$$\text{Nombre de courroies } N = \frac{P_c}{P_o \times \alpha \times C_l}$$

- $P_c$  = puissance de calcul
- $P_o$  = puissance brute transmissible par courroie
- $\alpha$  = facteur d'arc
- $C_l$  = facteur de longueur

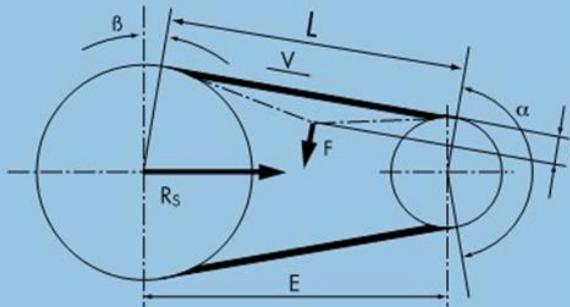
$P_o$ = puissance brute transmissible (kW) pour L = 1600 mm et $\alpha = 180^\circ$ (arc de contact)																		
$n_a$ (tr/min)	$R = \frac{D}{d}$	d (mm) =																
		71	75	80	85	90	95	100	106	112	118	125	132	140	150	160	180	200
<b>200</b>	R < 1,06	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5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

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

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

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

### CLAVETTES PARALLELES 3.42E

**CLAVETTES À TALON (ou MINCES)** → **CLAVETTES SANS TALON**

**CLAVETTES USUÉES** → **CLAVETTES PARALLELES**

**DESIGNATION : Exemples**  
 Clavette inclinée, forme A, de 20x5x50  
 Clavette rectiligne à talon, de 30x5x50  
 Clavette rectiligne sans talon, de 30x5x50

**MATIERE :**  
 Acier R15-500 N400  
 Acier R16000 N400

SECTION DE CLAVETTE A x B'	L		S	SECTION DE CLAVETTE USUÉE A x B		D <sub>2</sub> C		Vh de fixation m D-L
	min.	max.		min.	max.	min.	max.	
2 x 2	8	20	0,16	0,25	2 x 2	2	3	3,2 - 6
3 x 3	8	30	0,16	0,25	3 x 3	3	4	3 - 6
4 x 4	8	45	0,16	0,25	4 x 4	4	5	3 - 6
5 x 5	10	56	0,25	0,4	5 x 5	5	6	3 - 6
6 x 6	14	70	0,25	0,4	6 x 6	6	7	3 - 6
8 x 8	18	90	0,4	0,6	8 x 8	8	9	3 - 6
10 x 10	23	110	0,4	0,6	10 x 10	10	11	3 - 6
12 x 12	26	140	0,6	0,8	12 x 12	12	13	3 - 6
14 x 14	36	160	0,6	0,8	14 x 14	14	15	3 - 6
16 x 16	45	180	0,6	0,8	16 x 16	16	17	3 - 6
18 x 18	50	200	0,6	0,8	18 x 18	18	19	3 - 6
20 x 20	56	220	0,6	0,8	20 x 20	20	21	3 - 6
22 x 22	63	250	0,6	0,8	22 x 22	22	23	3 - 6
25 x 25	70	280	0,6	0,8	25 x 25	25	26	3 - 6
28 x 28	80	300	0,6	0,8	28 x 28	28	29	3 - 6
30 x 30	86	350	0,6	0,8	30 x 30	30	31	3 - 6
35 x 35	90	360	0,6	0,8	35 x 35	35	36	3 - 6
40 x 40	100	400	0,6	0,8	40 x 40	40	41	3 - 6
45 x 45	110	450	0,6	0,8	45 x 45	45	46	3 - 6
50 x 50	120	500	0,6	0,8	50 x 50	50	51	3 - 6

---

### CLAVETTES INCLINEES 3.42A

**CLAVETTES À TALON (ou MINCES)** → **CLAVETTES SANS TALON**

**DESIGNATION : Exemples**  
 Clavette inclinée, forme A, de 20x5x50  
 Clavette rectiligne à talon, de 30x5x50  
 Clavette rectiligne sans talon, de 30x5x50

**MATIERE :**  
 Acier R15-500 N400  
 Acier R16000 N400

SECTION DE CLAVETTE A x B'	L		S	SECTION DE CLAVETTE USUÉE A x B		H L		S
	min.	max.		min.	max.	min.	max.	
2 x 2	4	20	0,16	0,25	2 x 2	2	3	3,2 - 6
3 x 3	4	30	0,16	0,25	3 x 3	3	4	3 - 6
4 x 4	4	45	0,16	0,25	4 x 4	4	5	3 - 6
5 x 5	10	56	0,25	0,4	5 x 5	5	6	3 - 6
6 x 6	14	70	0,25	0,4	6 x 6	6	7	3 - 6
8 x 8	18	90	0,4	0,6	8 x 8	8	9	3 - 6
10 x 10	23	110	0,4	0,6	10 x 10	10	11	3 - 6
12 x 12	26	140	0,6	0,8	12 x 12	12	13	3 - 6
14 x 14	36	160	0,6	0,8	14 x 14	14	15	3 - 6
16 x 16	45	180	0,6	0,8	16 x 16	16	17	3 - 6
18 x 18	50	200	0,6	0,8	18 x 18	18	19	3 - 6
20 x 20	56	220	0,6	0,8	20 x 20	20	21	3 - 6
22 x 22	63	250	0,6	0,8	22 x 22	22	23	3 - 6
25 x 25	70	280	0,6	0,8	25 x 25	25	26	3 - 6
28 x 28	80	300	0,6	0,8	28 x 28	28	29	3 - 6
30 x 30	86	350	0,6	0,8	30 x 30	30	31	3 - 6
35 x 35	90	360	0,6	0,8	35 x 35	35	36	3 - 6
40 x 40	100	400	0,6	0,8	40 x 40	40	41	3 - 6
45 x 45	110	450	0,6	0,8	45 x 45	45	46	3 - 6
50 x 50	120	500	0,6	0,8	50 x 50	50	51	3 - 6