



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Laboratoire de structure

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master en
Construction mécanique

Conception d'une machine d'extraction des noix d'amande

Encadré par :

Mr. EZZRAIMI Madjid

Co encadré et propose par:

Mr. SAFER Abdel Malek

Réalisé par :

- ZOULIKHA Mohamed Ghofrane
- MAKHLOUF OUAHCHIA Anes

Année universitaire 2019/2020

Remerciements

Ce travail de thèse a été réalisé au sein du Département de Mécanique de l'Université Saad Dahlab de Blida.

Selon la tradition, et à travers cette page de remerciements, nous tenons à saluer toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la concrétisation de ce travail.

Nous remercions Monsieur Temmar Mustapha et Monsieur Ezzraïmi Madjid pour avoir accepté de diriger cette thèse, et dont l'aide précieuse nous été indispensable sur le plan scientifique et humain.

Nous voudrions remercier les membres du jury pour leur précieux temps accordé à la lecture et à la critique de ce travail. Nos très cordiaux remerciements vont aussi à tous nos enseignants pour tous les efforts conjugués tout au long de notre formation.

Dédicace

J'ai l'intention de rendre hommage à mes parents pour l'indéfectible et le soutien tout le long de ma formation, et toute la gratitude, l'appréciation des enseignants qu'ils ont donnée dans mon éducation.

Ainsi qu'à :

Mon entourage familial (la famille ZOULIKHA et MAKHLOUF OUAHCHEA).

Mes chers frères LOKMANE, EBDELMALEK pour leur grand amour et leur soutien, qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.

Mes chers amis et mes chers voisins.

Toute la promotion de master en construction mécanique 2019/2020.

Et à tous qui me sont chères et me portent dans leurs cœurs.

Mohamed Ghofrane

Anes

Sommaire

Liste des figures.....	01
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	01
chapitre I : Généralités et besoins de mécanisation	4
I.1. Introduction.....	4
I.2. Enoncefonctionnel du besoin.....	5
I.3. Contrôle de validité.....	5
I.3.1. Le marché :	6
I.3.2. Prévisions de vente	6
chapitre II : généralités et recherche sur le concassageet le criblage.	8
II.1. Introduction :.....	8
II.2. Concassage (craquage) :	8
II.2.1. Concasseur amâchoires :	8
II.2.2. Concasseur a cône :	9
II.2.3. Concasseur à percussion :	10
II.2.4. Concasseur a rouleau :.....	11
II.3. Criblage (tamisage) :.....	12
II.3.1. Les différents types des tamis :	12
II.4. Conclusion :	15
chapitre III : conception et étude technologique	17
III.1. Introduction.....	17
III.2. Choix de méthodes de craquage et tamisage :	17
III.2.1. Méthode de craquage :.....	17
III.2.2. Méthode de tamisage (séparation) :.....	18
III.3. Conception de la machine et de ses éléments	18
III.4. Logiciel SolidWorks	18
III.5. Conception des pièces.....	19
III.6. Mécanisme global	19
III.6.1. limentation	20
III.6.2. Unité de craquage	21
III.7. Système de transmission	22
III.7.1. Moteur électrique :.....	22
III.7.2. Les courroies.....	23

III.7.3. Les paliers.....	24
III.8. Système de séparation.....	25
III.8.1. Types des mailles des tamis de séparation	25
III.9. Embout mécanique	26
III.10. Système bielle manivelle.....	27
III.11. La machine mère	27
III.12. Cadre et support	28
III.13. Conclusion.....	29
chapitre IV : Calculs des dimensionnements des éléments	31
IV.1. Introduction.....	31
IV.2. Calcul cinématique	31
IV.2.1. Calcul de rayon de rouleaux de craquage :.....	31
IV.2.2. Détermination de la force de rupture d'une noix d'amande	33
IV.3. Procédure de conception	34
IV.3.1. Rouleau de craquage.....	34
IV.3.2. Détermination de l'angle de repos par experience	34
IV.3.3. Détermination du coefficient de frottement statique	35
IV.4. Verification de la puissance du moteur.....	37
IV.4.1. La puissance requise pour casser les noix d'amande	37
Moteur électrique	38
IV.5. Calcul de transmission de puissance.....	38
IV.5.1. Arbre tournant	38
IV.6. Dimensionnement du mécanisme d'entraînement.....	40
IV.6.1. Transmission par courroie	41
IV.7. ESTIMATION DU COUT DE LA MACHINE :	45
IV.8. Conclusion :	47
Conclusion générale	48
Références	Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

Figure I-1:diagramme bete à cornes.	5
Figure II-1:Concasseur à mâchoires.	9
Figure II-2: Concasseur a cône.	10
Figure II-3: Concasseur a marteau.	11
Figure II-4: Concasseur a rouleaux.	12
Figure II-5: tamis vibrant.	13
Figure II-6: Tamis centrifuges.	14
Figure II-7: Tamis giratoires.	15
Figure III-1: rouleaux de craquage.	17
Figure III-2: tamis de séparation.	18
Figure III-3: Modélisation schématique de la Machine globale.	20
Figure III-4: Modélisation schématique d'Unité d'alimentation.	21
Figure III-5: Modélisation schématique de Rouleaux de craquage.	21
Figure III-6: Bras de serrage des rouleaux de craquage.	22
Figure III-7: Un mécanisme goujonécrouressort pour régler le jeu entre les rouleaux de craquage.	22
Figure III-8: Modélisation schématique de Moteur électrique.	23
Figure III-9: Modélisation schématique de Système de transmission.	23
Figure III-10: Modélisation schématique de Transmission par courroie.	23
Figure III-11: Modélisation schématique des paliers.	24
Figure III-12:Modélisation schématique des deux tamis de séparation.	25
Figure III-13: Modélisation schématique des Mailles perforées.	26
Figure III-14: Modélisation schématique des Mailles oblongues.	26
Figure III-15: Modélisation schématique de l'embout mécanique.	27
Figure III-16: Modélisation schématique du système bielle manivelle.	27
Figure III-17: Modélisation schématique de la Machine mère.	28
Figure III-18: Modélisation schématique du châssis de la machine.	28
Figure IV-2: Croquis diagramme pour les forces agissant sur un écrou sphérique pendant le processus de fissuration.	32
Figure IV-5: Chargement et compression de l'écrou entre deux plaques parallèles.	33
Figure IV-8: Le dispositif de mesure de la force de friction.	35
Figure IV-10: Diagramme en coupe montrant le cylindre de craquage et la poulie ont été fixés sur l'arbre.	39
Figure IV-11: Système de transmission par courroie.	41
Figure IV-12: schéma explicatif de la transmission par courroie.	42

Liste des tableaux

Tableau IV-4:Propriétés physiques et mécaniques d'une noix d'amande.	36
Tableau IV-5: tableau montre les diametres et les vitesses de rotation des poulies.	42
Tableau IV-6: Valeurs de T1 et T2.	44

Liste d'abréviations

μ est le coefficient de frottement entre la courroie et la poulie	Kt est le facteur combiné de choc et de fatigue appliqué au moment de torsion
b largeur de la courroie (mm)	Mb est le moment de flexion résultant (Nm)
C entraxe (distance entre les axes de rotation des poulies mm)	Mt est le moment de torsion (N m), est le moment de torsion (Nm)
d est le diamètre de l'arbre (mm).	$N1$ et $N2$ vitesses de rotation respectives de la petite et de la grande poulie (tr/min)
D2 diamètre de la grande poulie (mm)	n_r est le nombre de rouleaux rotatifs
D1 diamètre de la petite poulie (mm)	Ns est la vitesse du rouleau (en tr / min)
e épaisseur de la courroie (mm)	R le rayon de l'écrou sphérique (S) mm
f coefficient de frottement entre la courroie et les poulies	r_B est le rayon du rouleau A ou B, mm
F est la force de friction entre l'écrou et la surface de rouleau N	Ss est la contrainte de cisaillement admissible du matériau de l'arbre (Nm)
F1 traction du brin moteur (N)	T est le couple (en N m)
F2 traction du brin entraîné (N)	v vitesse de la courroie (m/s)
F_E est la force requise pour démarrer le mouvement N	W est le poids de l'écrou N, est le poids de l'objet N
F_N est la normale force de compression N	Z est la distance entre les centres des deux poulies (l'entraxe) en mm
F_t est la force de frottement totale induite entre la surface du rouleau et les écrous	β représente l'angle de rainure de la poulie en deg
F_T est la force requise pour démarrer le mouvement du cadre en bois rempli N	
Kb est le facteur combiné de choc et de fatigue appliqué au moment de flexion	

θ est l'angle entre la noix d'amande S et les rouleaux (A et B) deg, angles de contact entre la courroie et les poulies en degrés (°) ou radians (rad), est l'angle de chaîne en rad

ω est la vitesse angulaire du rouleau en rad / seconde, vitesses angulaires des poulies (rad/s)

ملخص

تعد مرحلة استخلاص اللوز عملية مهمة جدًا تتم حاليًا يدويًا وبكميات صغيرة، لكن زيادة الإنتاجية ضرورية جدًا لتسويق أفضل، ولهذا الغرض، الدراسة الأولية للمشروع على ميكنة هذا أوضحت العملية احتياجات السوق لهذا النوع من الآلات، مما يعطي أهمية لهذه الدراسة

لتصنيع آلة لاستخراج اللوز قريبًا بتكلفة منخفضة. من هذا المنظور، (Foura Machine شركة) تخطط شركة تصنيع محلية عينت آلة فورا قسم الهندسة الميكانيكية لتصميم هذه الآلة

تم تطوير آلة استخراج

تتكون الآلة من جزأين رئيسيين، التكسير والغربلة، ويتم اختيارهم بعد البحث المسبق

SolidWorks تم تنفيذ تصميم العناصر المختلفة للجهاز باستخدام برنامج

يتم إجراء حساب التحقق والتحجيم باستخدام منظم بيرر أبعاد الماكينة فيما يتعلق بإنتاجيتها

Résumé

La phase d'extraction d'amande est une opération très importante qui se fait actuellement manuellement et avec faible quantité, mais augmenter la productivité est très nécessaire pour une meilleure commercialisation, dans ce but, l'étude préliminaire du projet sur la mécanisation de cette opération a clarifié les besoins de marché à ce type de machines, ce qui donne de l'importance à cette étude

Une entreprise locale de fabrication (société Foura Machine) projette de fabriquer une machine d'extraction d'amandes prochainement à faible cout. Dans cette perspective, la Foura Machine a désigné le département du génie mécanique pour concevoir cette machine.

Une machine d'extraction de noyaux d'amandes (*Prunus Dulcis*) à faible coût a été concepté localement.

La machine se compose de deux parties principales, a noté le concassage et le criblage, leurs choix est effectué suite d'une recherche préalable.

La conception des différents éléments de la machine été effectuée à travers le logiciel SolidWorks.

Un calcul de vérification et de dimensionnement est fait avec réguler justifiant les dimensions de la machine par rapport à sa productivité.

Cette étude débouche et conduit un prototype préliminaire qui peut être amélioré en perspective.

Summary:

The almond extraction phase is a very important operation that is currently done manually and with small quantities, but increasing productivity is very necessary for better marketing, for this purpose, the preliminary study of the project on the mechanization of this operation clarified the market needs for this type of machine, which gives importance to this study

A local manufacturing company (Foura Machine Company) plans to manufacture an almond extractor machine at low cost soon. In this perspective, the Foura Machine appointed the mechanical engineering department to design this machine.

A low cost almond kernel (*Prunus Dulcis*) extraction machine has been designed locally.

The machine consists of two main parts, noted crushing and screening, their choice is made following prior research.

The design of the various elements of the machine was carried out using the SolidWorks software.

A verification and sizing calculation is made with regulator justifying the dimensions of the machine in relation to its productivity.

Introduction générale

L'Algérie est un pays très vaste, la surface des terres agricoles couvre 20% de la superficie totale du pays, soit environ 40(Million d'ha) de plus, il y'a des terres agricoles fertiles qui peuvent donner une meilleure production de plusieurs types de fruit et légumes et avec une meilleure qualité. Le secteur de l'agriculture occupe une place importante dans l'économie nationale, puisqu'il emploie près de 10.5% de la population active totale, et participe pour 9.7% au PIB (produit intérieur brut) dans les dernières années, elle réalise près de 15% de la valeur ajoutée selon le ministère d'agriculture et le développement rural en 2010 [1].

Toutes les investigations et études affirment la possibilité d'améliorer la production nationale dans le secteur agricole pour la mise en cohérence des politiques agricoles en ligne avec l'évolution et le développement de ce secteur.

L'Etat Algérien a mené des efforts continus afin d'améliorer la production et réduire la facture alimentaire, l'Algérie essaye toujours d'assurer la plupart des fonctions de développement de l'agriculture, particulièrement après la crise économique et la chute de prix de pétrole dans les dernières années, donc l'Etat a pris en considération le facteur agricole et relevé le défi pour que le secteur agricole couvre un part considérable de l'économie globale de pays [1].

L'agriculture algérienne, y compris le secteur des industries agroalimentaires, connaît un fort développement de son industrie alimentaire. Selon le recensement économique mené en 2011 par l'Office nationale des statistiques, 97 202 entités industrielles sont en activité, dont 23,4% exercent dans le secteur agroalimentaire [1].

Parmi les produits végétaux sont les amandes, il y a une augmentation remarquable dans la production dans les années récentes mais il y a toujours un manque de la culture d'amande reste pénalisé par la faiblesse de la mécanisation et surtout à l'étape de ramassage et d'extraction qui reste manuelle [1].

La société Foura Machine (SARL Foura Machine) est une entreprise de fabrication mécanique citée à Koléa (Tipaza). C'est l'entreprise d'accueil pour une visite que nous avons effectuée sur site, et c'est elle qui a proposé l'idée de fabriquer une machine d'extraction des noix d'amandes. Cette idée c'est développé en un projet, il nous a intéressée, alors nous avons intégré ce projet, et nous avons accompagnée l'entreprise durant les différentes étapes de la conception de la machine (prototype de la machine) comme une première approche.

Dans cette perspective, la FM s'est engagée dans une collaboration avec le département du génie mécanique travers notre projet de fin d'études pour concevoir cette machine.

Pour accomplir cette mission, le projet est passée par plusieurs étapes, qui peuvent être résumées par :

- La première partie s'est focalisée sur la recherche sur l'état de l'art, ou on a exposé le besoin de mécanisation, et présentée les types de machines de craquage et tamisage.
- En deuxième étape, c'est la conception de la machine qui est présentée, ou on a parlé de ses constituants, et on a discutée des choix technologiques des différents parties, ainsi que de leur fonction spécifique. Ainsi que la conception de ses constituants sur SOLIDWORKS.
- Par la suite, c'est le calcul de dimensionnement de chaque partie partir des données de bases, sur le les noix d'Amand (force nécessaire pour le craquage d'une noix), sur la quantité à produire....
- Une tentative de l'estimation du cout de revient de la machine a été entreprise, après l'étape de fixation des dimensions.
- Cette étude est terminée bien sûr par une conclusion générale.

Chapitre I :
Généralités et besoins de mécanisation

I.1. Introduction

La mécanisation facilite et réduit la pénibilité du travail, compense le manque de personnel, améliore la productivité et le calendrier des opérations agricoles, permet une meilleure utilisation des ressources, facilite l'accès au marché et contribue à atténuer les aléas climatiques. La mécanisation durable prend en considération les aspects technologiques, économiques, sociaux, environnementaux et culturels en contribuant au développement durable du secteur agroalimentaire [2].

La phase d'extraction d'amande est une opération très importante pour obtenir un produit de qualité et pour une meilleure commercialisation. Alors, pour une extraction optimale et afin d'éviter la réduction de quantité d'amande, il faut respecter plusieurs critères essentiels pendant l'extraction :

- Le temps d'extraction, un facteur très important.
- Il faut éviter au maximum l'endommagement des amandes (fracture et noircissement).
- Le coût d'extraction le plus bas possible.
- La séparation des amandes de leurs coquilles est considérée comme une exigence pour la commercialisation [1].

Le processus de transformation des fruits d'amandes. la casse des noix d'amandes est une opération qui reste encore longue et pénible dans beaucoup de villages en Algérie, de même après le concassage, la séparation des amandes et des coques est aussi reste difficile. Malgré l'existence des machines d'extraction sur le marché européen.

La rareté de ces machines dans le marché algérien aussi le monopole des fournisseurs l'importation des machines et les pièces de rechanges. Le grand souci de l'entreprise Foura Machine est de répondre aux besoins des agriculteurs et des industriels. Dans ce contexte- là FM avait l'idée de lancer la fabrication d'une machine d'extraction d'amandes.

I.2. Enonce fonctionnel du besoin

Une fois le besoin identifié, Il faut normalement l'énoncer clairement. Il s'agit d'exprimer avec rigueur le but et les limites de l'étude. La méthode d'expression du besoin repose sur trois questions :

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

On obtient ainsi le diagramme bête à cornes suivantes :

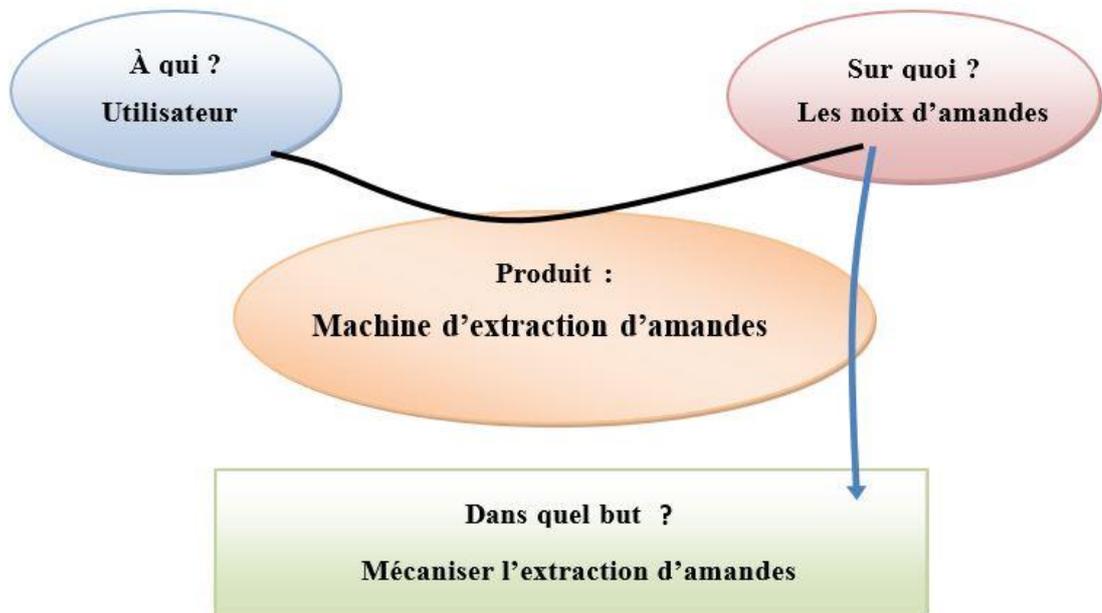


Figure I-1:diagramme bête à cornes.

I.3. Contrôle de validité

Pour valider l'expression du besoin, il faut se poser les questions complémentaires suivantes :

- Pourquoi le système existe-t-il ?

Absence de la main-d'œuvre, grande quantité de production, satisfaire le marché intérieur algérien en amande, exportation du produit, temps de l'extraction manuel important, ...

- Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître ou évoluer le besoin ?

Cette question permet de valider la stabilité du besoin, elle permet aussi d'anticiper les évolutions du besoin.

- Ce qui pourrait faire disparaître le besoin :

Pas d'extraction des amandes, existence sur le marché d'autres produits semblables plus compétitifs et moins coûteux, l'évolution technologique d'autres types de machines (machines sophistiquées).

- Ce qui pourrait faire évoluer le besoin : Politique d'exportation, augmentation de la production, accompagnement des agriculteurs par les services publics, encourager le produit algérien, prix de la machine abordable [2].

I.3.1. Le marché :

Les clients potentiels :

- Les agriculteurs.
- Les entreprises spécialisées dans l'agriculture.
- Le secteur commercial spécialisé dans l'agriculture.
- Le marché extérieur.

I.3.2. Prévisions de vente

L'Algérie est un marché très important dans l'industrie d'agriculture, Il faut dire que les besoins de notre pays en la matière sont estimés à plus de 200machines par an. Ce qui est considéré comme l'un des plus importants marchés d'Afrique et du monde arabe. Dans le contexte défini ci-dessus, le risque de disparition du marchés faible. Le besoin est validé par conséquent, le projet est stable [5].

L'étude préliminaire du projet a clarifié les besoins marche à ce type de machin, ce qui donne de l'importance à cette étude.

Chapitre II :
Généralités et recherche sur le
concassage et le criblage.

chapitre II : Généralités et recherche sur le concassage et le criblage.

II.1. Introduction :

La mécanisation facilite et améliore la productivité dans différents domaines, dans ce contexte, les producteurs d'amandes ont pensé vers l'idée de fabrication d'une machine d'extraction d'amandes, qui peut leur faciliter la tâche pour obtenir un produit (amandes) à moindre cout avec plus de quantité de production par rapport à une production manuelle [6].

La machine d'extraction d'amandes se compose essentiellement de deux parties,

- Partie concassage (craquage) : qui consiste à craquer les noix d'amandes.
- Partie criblage (tamisage) : qui consiste à séparer les noix craquées de leurs coquilles.

Donc pour concevoir notre machine on a besoin de voir ce qui se passe en terme concassage et de criblage sur les machines industrielles existante sur le marché.

II.2. Concassage (craquage) :

Le concassage consiste en la séparation des différents constituants d'une matière première pour les utiliser dans la fabrication de produits [7].

Il existe des concasseurs de technologie différente, les plus fréquents sont cités ci-dessous.

II.2.1. Concasseur à mâchoires :

Le concasseur à mâchoire est une machine à broyer des roches (granite, calcaire, etc.) généralement à des fins industrielles, vu que la roche est la matière première par excellence de quasiment toutes les industries (métallurgie minière, etc.)

L'appellation « à mâchoire » est due au dispositif de concassage, qui reprend le principe de base d'une mâchoire, avec une paroi fixe et un autre mobile, la roche étant coincée entre les deux. La partie mobile est entraîné en rotation par une bielle (excentrique) qui assure la rotation de la mâchoire. Le ressort de rappel à sa base permet de ramener la mâchoire afin de laisser passer les matériaux broyés. Ce concasseur associe donc deux mouvements. Un mouvement de compression (de gauche à droite) afin de concasser le granulat et un mouvement de friction (du haut vers le bas) afin de faire descendre les matériaux vers le

convoyeur de réception des matériaux broyés. Les débits de telles machines sont conditionnés par leur taille d'ouverture et le réglage côté fermé à la base des mâchoires, là où sortent les matériaux.

Les mouvements répétitifs de la partie mobile, entraînés généralement par un moteur et une courroie, brisent la roche en petites pierres, la transformant en un produit fini commercialisable pour la fabrication du béton de construction, voire de route et autres applications.

Le concasseur à mâchoire reste de très loin le concasseur le plus populaire dans le monde, grâce à sa conception rudimentaire, sa fiabilité, sa maintenance peu coûteuse et ne nécessitant pas de grandes notions d'ingénierie [7].

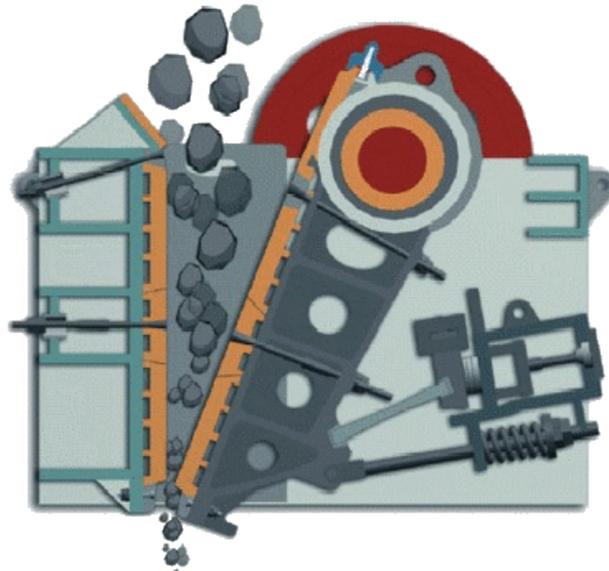


Figure II-1: Concasseur à mâchoires.

II.2.2. Concasseur a cône :

Un concasseur à cône ou concasseur conique a un fonctionnement similaire au concasseur giratoire, avec moins de pente dans la chambre de cassage et une plus grande zone parallèle entre les zones de concassage. Un concasseur à cône brise la roche en la serrant entre une tête excentrée tournante, qui est couverte par un blindage résistant à l'usure (mâchoire mobile), et le bol, couvert par un concave manganèse ou une mâchoire fixe. Comme la roche entre par le sommet du concasseur à cône, elle se coince et se comprime entre la mâchoire mobile et la mâchoire fixe. De gros morceaux de minerai sont cassés une fois, puis tombent à une position inférieure (car ils sont maintenant plus petits), où ils sont à nouveau cassés. Ce processus continue jusqu'à ce que les morceaux soient assez petits

pour passer à travers l'ouverture étroite dans le bas de la chambre de cassage. Un concasseur à cône est adapté au concassage de divers minerais et roches, pour des duretés allant de mi-dure à dure. Il a l'avantage d'une construction fiable, d'une haute productivité, d'un réglage facile et de faibles coûts opérationnels. Le système de libération à ressort d'un concasseur à cône agit comme une protection contre les surcharges qui permet aux matériaux imbroyables de passer par la chambre de concassage sans endommager le concasseur [7].



Figure II-2: Concasseur a cône.

II.2.3. Concasseur à percussion :

Le concasseur à percussion appelé aussi concasseur à marteau peut être à axe horizontal ou vertical.

A / Concasseur à percussion à axe horizontal

Le concasseur à axe horizontal utilise la percussion pour briser la roche contrairement aux concasseurs à mâchoires, giratoire et à cône qui utilisent la compression. Il est composé d'un rotor lui-même équipé de battoirs ou marteaux et d'écrans de projection lieux d'impact des cailloux. Ce type de concasseur peut être utilisé en primaire ou secondaire ou tertiaire selon les tailles et technologies.

B / Concasseur à percussion à axe vertical

Le concasseur à axe vertical est utilisé pour fabriquer des sables de qualité. En effet, il permet de concasser encore plus finement les graviers en finissant de rompre les liaisons les plus faibles rémanentes du granulat. On obtient ainsi un sable dont la consistance et la forme sont optimaux pour les sables types bétons notamment. Cette machine combine l'énergie de rotation avec l'énergie de percussion pour concasser les matériaux [7].

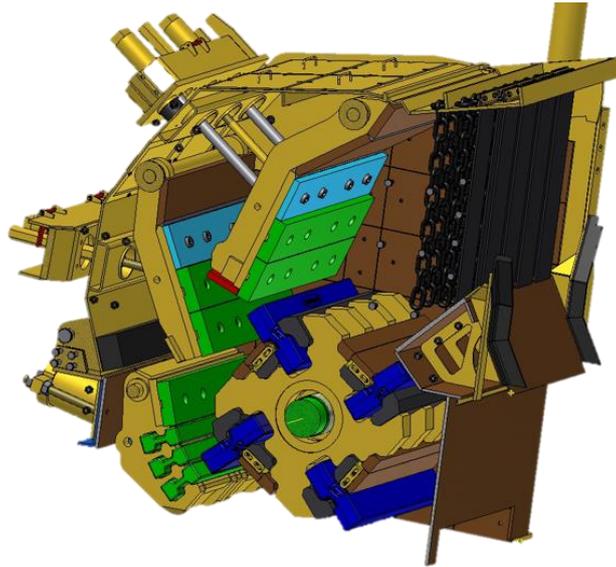


Figure II-3: Concasseur à marteau.

II.2.4. Concasseur à rouleau :

Les concasseurs à double rouleaux sont idéals pour le broyage intermédiaire de matériaux durs à mi-durs, tels que roches et minerais avant un broyage fin sur un pulvérisateur, après un concassage au broyeur à mâchoires. Ce sont également des broyeurs intermédiaires entre les broyeurs de laboratoire et les broyeurs de production.

Application : industrie minière, industrie alimentaire, broyage intermédiaire à haut et faible débit [7].



Figure II-4: Concasseur a rouleaux.

II.3. Criblage (tamisage) :

Le tamisage, à sec ou humide, manuel ou mécanique, permet de trier un ensemble de particules selon leurs dimensions en utilisant un ou plusieurs tamis. Le tamisage s'applique aux particules dont les dimensions sont comprises entre 125mm et 20 μ m. Toutefois, les tamis à fond électro formé permettent l'analyse des poudres plus fines, jusqu'à 5 μ m [7].

II.3.1. Les différents types des tamis :

Il existe plusieurs types de tamis alimentaires, vibrants, centrifuges...etc.

A /Tamis alimentaires :

Les tamis et tamiseurs alimentaires sont des machines ou appareils de triage et de calibrage de produits alimentaires. Généralement, les tamis et les tamiseurs alimentaires permettent de sélectionner les produits suivant leurs tailles et leur poids. Il existe plusieurs types de tamis et de tamiseurs alimentaires tels que les tamis à grille, les tamis vibrants, les tamis centrifugeuses, les tamiseurs gravitaires, etc. De plus, les tamis et les tamiseurs alimentaires sont utilisés dans de nombreux domaines comme dans le domaine des fruits, des légumes, des grains... Selon le modèle, le système de fonctionnement des tamis et des tamiseurs alimentaires peut être manuel, semi-automatique ou automatique [7].

B /Tamis vibrants :

Les tamis vibrants éliminent les corps étrangers et les agglomérats pour garantir une production de qualité.

Il est destiné aux différents secteurs : agro-alimentaire, pharmacie, chimie et synthétiques.

Le tamisage s'effectue grâce à des moteurs vibrants implantés sur le côté de la machine. L'alimentation est assurée par la bride centrale supérieure connectée par manchette souple. Les agglomérats sont détruits et les corps étrangers éliminés. La maille du tamis est disponible en inox ou en nylon et en différentes tailles pour s'ajuster aux besoins de chaque client et à chaque spécificité de produit [8].

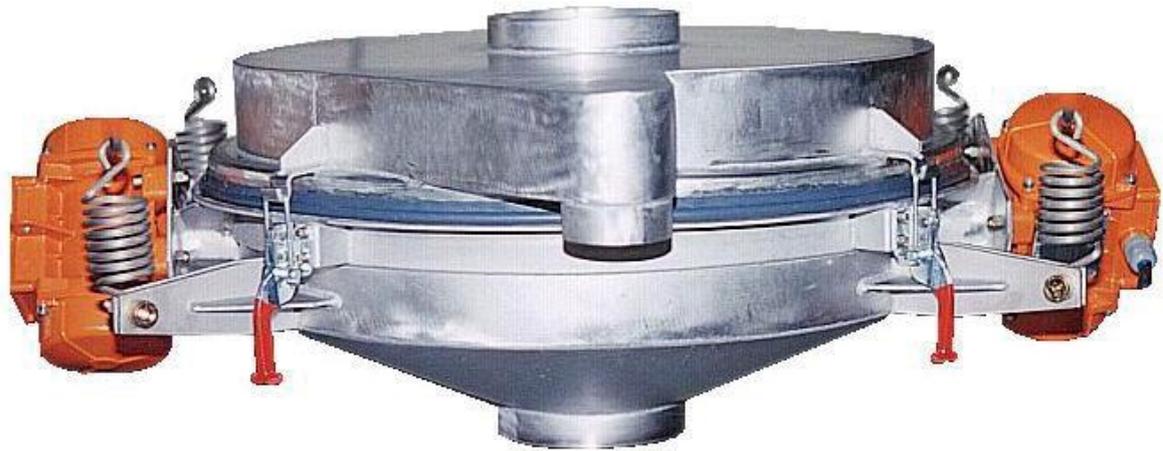


Figure II-5: tamis vibrant

C/ Tamis circulaires à vibration :

Le tamiseur circulaire à vibration est un outil de criblage efficace spécialement conçu pour une haute productivité et haute densité de criblage. La méthode de criblage la plus simple est de regarder les matériaux à cribler et de le faire à la main. Cet équipement de criblage oscillant est une simulation mécanique de cette méthode. Etant actuellement l'équipement simulant une opération de criblage manuelle la plus efficace (la précision de tamisage, l'efficacité et la durée de vie des mailles sont 5 à 10 fois supérieures aux tamis circulaires conventionnels.) ce tamiseur vibratoire est adapté au traitement de toutes les poudres ultras fines ainsi que des matériaux en particules. Il est particulièrement adapté aux matériaux difficiles à cribler [8].

D/ Tamis centrifuges

Le tamiseur centrifuge permet la séparation des corps étrangers des poudres et des granulés. Les déchets sont éjectés vers la sortie de refus pour garantir des fines de haute qualité. Le tamiseur centrifuge a pour objectif d'éliminer les corps étrangers, de réduire les agrégats et d'effectuer une séparation granulométrique des produits reçus en sacs ou en vrac. Le tamis centrifuge vous assure un produit propre, sans motte, sans corps étranger et protège votre ligne de production d'éventuels endommagements mécaniques. Il garantit donc un produit

final de haute qualité. Il est particulièrement adapté aux secteurs de l'agro-alimentaire, la pharmacie, la chimie ou du synthétique [8].

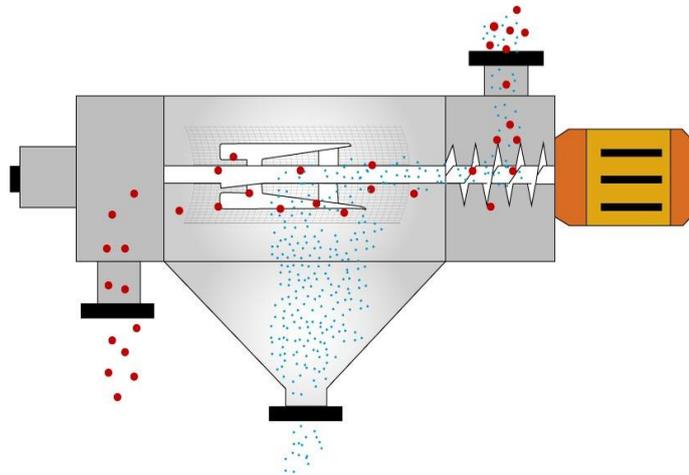


Figure II-6: Tamis centrifuges

E /Tamis giratoires

Le tamis giratoire est une machine de criblage type tamis efficace pouvant répondre aux besoins de haute précision et grande capacité. Il est grandement utilisé dans les industries chimiques, métallurgiques, minières, alimentaires et autres, et il est spécialement adapté aux alcalis lourds, sel, résines, granules urées, aliments, poudres de fer réduites, oxyde de zirconium, céramique, barytine, etc. Le tamiseur giratoire est un tamiseur rectangulaire à mouvement circulaire horizontal permettant de répartir le produit de façon uniforme et régulière sur la totalité de la toile. Il permet une sélection granulométrique fine de granulés ou poudres pour tout type d'industrie [8].



Figure II-7: Tamis giratoires.

II.4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons précisé les deux opérations d'extraction d'amandes, le concassage et le criblage, avec une recherche plus au moins détaillée de chaque catégorie de machines, ainsi nous avons cité les différents types de craquage et tamisage.

Dans le prochain chapitre on s'intéressera à la conception et l'étude technologique de notre système.

Chapitre III :
Conception et étude technologique

chapitre III : Conception et étude technologique

III.1. Introduction

Dans le but de fabriquer une machine d'extraction d'amande à faible coup, et de répondre au besoin du marché algérien.

Puisque notre machine d'extraction se compose essentiellement de deux parties qui sont le craquage et tamisage. Dans ce chapitre on va préciser leur choix par rapport à la recherche effectuée dans le chapitre précédent. Aussi on va utiliser le logiciel SolidWorks pour la conception va utiliser de la machine.

III.2. Choix de méthodes de craquage et tamisage :

III.2.1.Méthode de craquage :

Parmi les types de concasseurs étudiés (en section 1.5), on a choisi d'utiliser un concasseur à rouleaux qui est le concasseur étudié assurer le meilleur craquage des noix.



Figure III-1: rouleaux de craquage.

Détails du concasseur à rouleaux : concasseur à rouleaux fiable, entretien facile, faibles coûts de fonctionnement.

Peut être largement utilisé dans le ciment, la métallurgie, l'industrie chimique, industrie alimentaire... [8].

III.2.2. Méthode de tamisage (séparation) :

Pour une meilleure séparation on a choisi d'utiliser un tamis de type giratoire à deux étages, pour la facilité de conception et efficacité de production.



Figure III-2: tamis de séparation.

III.3. Conception de la machine et de ses éléments

Dans ce chapitre on va présenter les principaux compartiments de la machine ainsi leurs éléments et organes et aussi leurs rôles dans le mécanisme. La conception s'est faite par le logiciel SolidWorks, version 2016.

III.4. Logiciel SolidWorks

Ce logiciel offre des outils très puissants à ceux qui veulent réaliser une conception mécanique intégrale. Ce n'est pas seulement un logiciel de dessin mais aussi un simulateur qui permet de calculer les propriétés volumétriques et massiques d'un ensemble. Il permet de faire des simulations des mouvements entre des pièces ou des ensembles de façon que l'on puisse détecter les possibles interférences. Une fois le dessin 3D achevé, le logiciel permet une mise en plan rapide et pratique. Le transfert du dessin sur un logiciel d'éléments finis donne l'opportunité au dessinateur de vérifier la résistance de sa conception et de la valider [9].

III.5. Conception des pièces

Les pièces se conforment à partir d'une esquisse dessinée sur un plan. Cette esquisse 2D est obtenue par des formes géométriques simples comme lignes et cercles. Une fois l'esquisse prête, le logiciel offre plusieurs fonctions à exécuter. On peut la prolonger vers une direction (extrusion), la faire tourner autour d'un axe ou réaliser plusieurs autres opérations. Comme cela, on obtient une pièce qui prend une troisième dimension. Cette pièce peut être modifiée à posteriori en changeant les paramètres de la fonction ou l'esquisse Object de la fonction. Chaque opération réalisée sur la pièce requière une esquisse. Le dessin est paramétré, c'est-à-dire qu'on peut modéliser la forme souhaitée sans se préoccuper des dimensions exactes. Les dimensions des différentes pièces peuvent être liées de façon que lorsqu'un change, les autres changent aussi. Comme cela une petite variation d'une pièce n'entraîne pas la modification manuelle et laborieuse des autres pièces de l'ensemble [9].

III.6. Mécanisme global

Un diagramme schématique de la machine montrant les différentes parties est illustré dans la figure III .3. Les principales composantes de la machine étaient les suivantes :

- 1 unité d'alimentation.
- 2 unité de craquage.
- 3 unités de séparation.
- 4 moteur électrique.
- 5 unités de transmission de puissance.

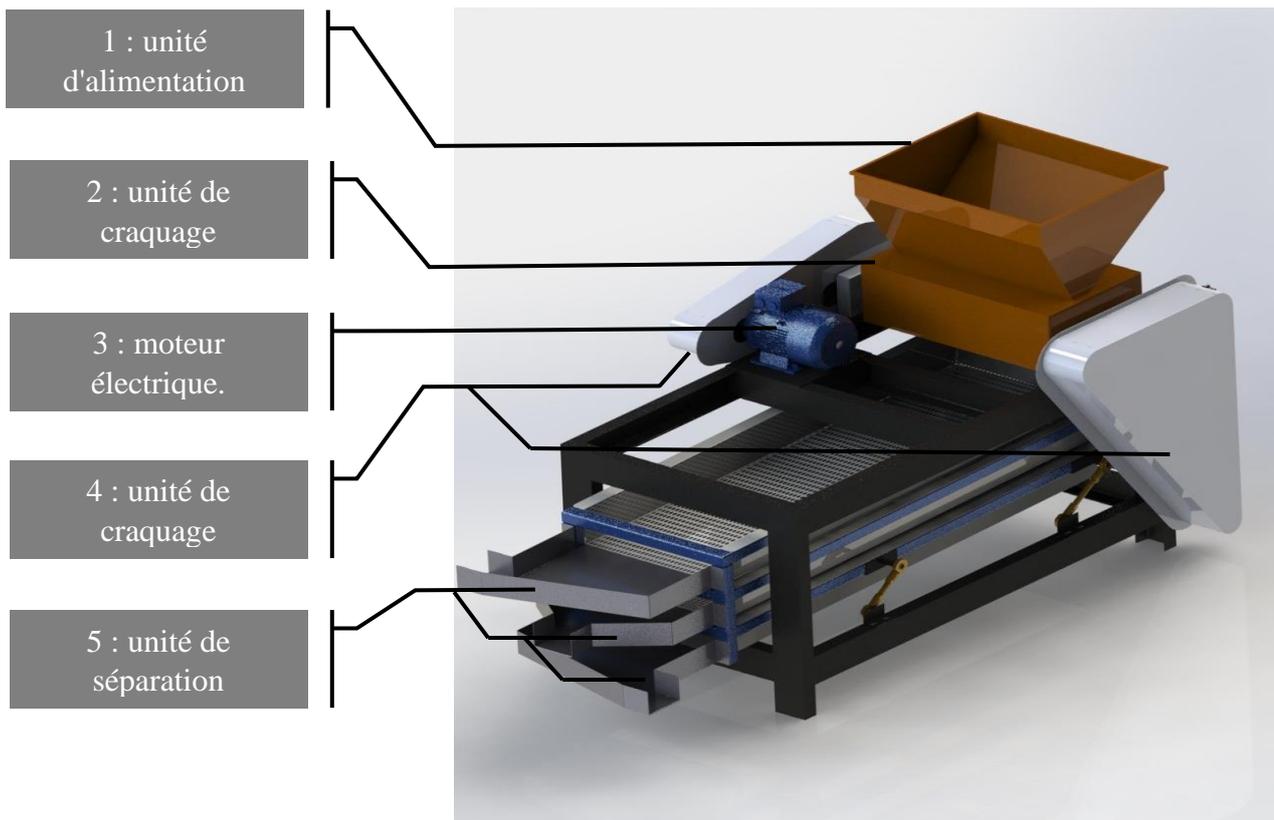


Figure III-3: Modélisation schématique de la Machine globale.

III.6.1. Unité d'alimentation

Il y'a plusieurs façons pour verser les amandes sur l'unité de craquage (alimentation a godet, alimentation a chaine ...), le meilleur choix est de placer une trémie de forme trapézoïdale pour plusieurs raisons :

- Economiser le cout de fabrication et les frais de maintenance de la machine.
- Facilité de montage et démontage des unités de la machine.

La trémie de forme trapézoïdale a été concepté en tôle d'acier de 3 mm d'épaisseur, il a une ouverture supérieure carrée d'admission de 600×600 mm et une ouverture carrée de base de sortie de 600×30 mm (600mm par rapport à la longueur des rouleaux de craquage, et 30mm par rapport à la taille de la noix). L'angle entre chaque côté vertical de la trémie et la base horizontale est de 60° pour faciliter le versement des noix vers le bas (vers les rouleaux de concassage) et d'éviter le ralentissement de l'alimentation. La capacité de la trémie est environ entre 10 et 15 kg de noix d'amande.

Le versement des amandes dans la trémie se fait à l'aide d'un opérateur machine.

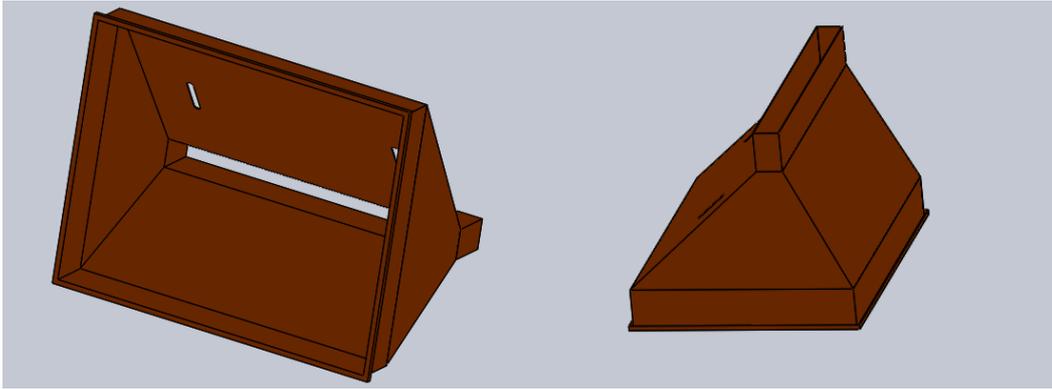


Figure III-4: Modélisation schématique d'Unité d'alimentation.

III.6.2. Unité de craquage

L'unité de craquage se compose de deux rouleaux. Les rouleaux ont été conçus en utilisant des tôles d'acier galvanisé de 3 mm d'épaisseur [10]. L'acier galvanisé est très utilisé dans le domaine alimentaire.

Deux arbres en acier montés sur un palier lisse à chaque extrémité, ont été utilisés pour faire fonctionner les rouleaux (figure.III.5).

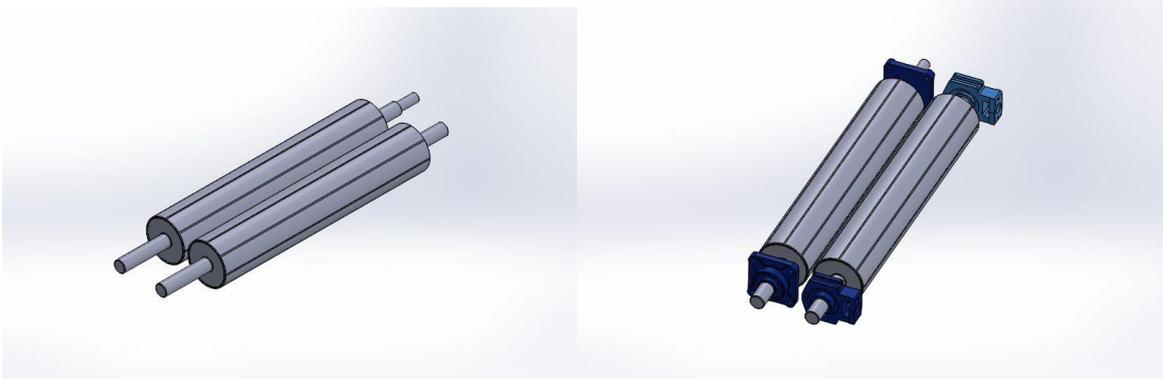


Figure III-5: Modélisation schématique de Rouleaux de craquage.

Un mécanisme goujon-écrou-ressort mis en contact avec le palier du rouleau libre et supporté dans le cadre comme indiqué sur la figure pour régler le jeu à travers le bras de serrage et la force de pression entre les rouleaux.

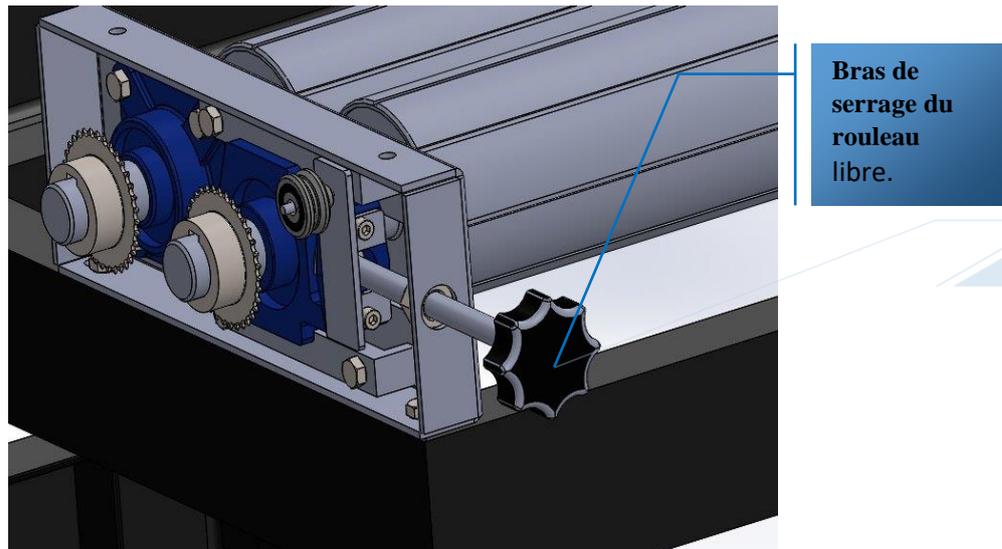


Figure III-6: Bras de serrage des rouleaux de craquage.

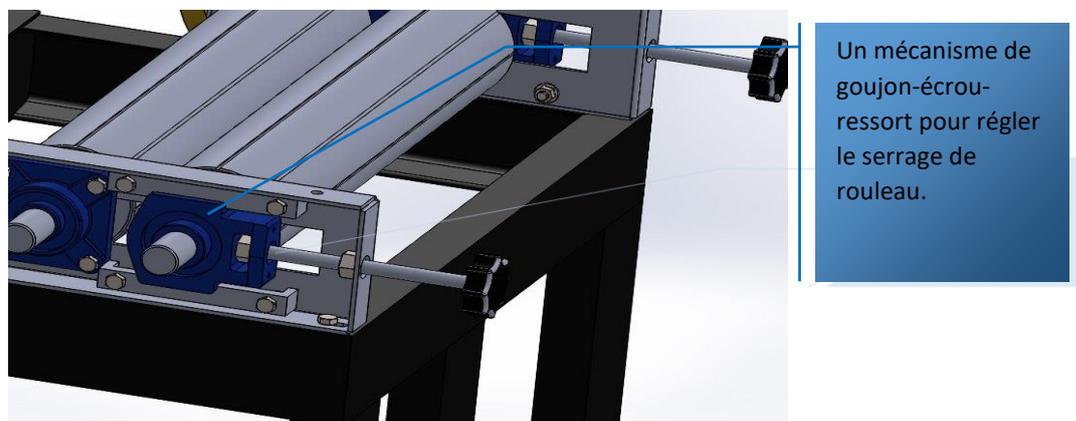


Figure III-7: Un mécanisme goujon-écrou-ressort pour régler le jeu entre les rouleaux de craquage.

III.7. Système de transmission

Il est composé d'un moteur réducteur et deux poulies l'une menante et l'autre menée et une courroie de transmission.

III.7.1. Moteur électrique :

Un moteur électrique est une machine électromécanique capable de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique.

Il est responsable sur la rotation des rouleaux de craquage et du mouvement des tamis.

Après l'étude dans le chapitre précédent et les choix disponibles sur notre marché algérien, on a opté pour un moteur triphasé avec les caractéristiques suivantes : puissance 6 kW,

vitesse de rotation 1440 tr/min. (Puissance est vérifiée par le calcul par la suite section IV.4.1)

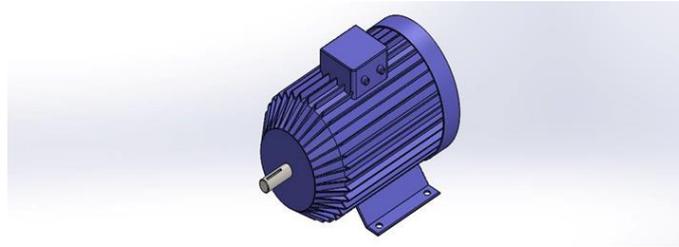


Figure III-8: Modélisation schématique de Moteur électrique.

Un agencement d'entraînement de courroie et de poulie a été mis en place pour transférer la puissance du moteur électrique (source d'alimentation) au rouleau principal. L'autre rouleau tournait librement.

Ce système de transmission assure la rotation du rouleau de craquage.

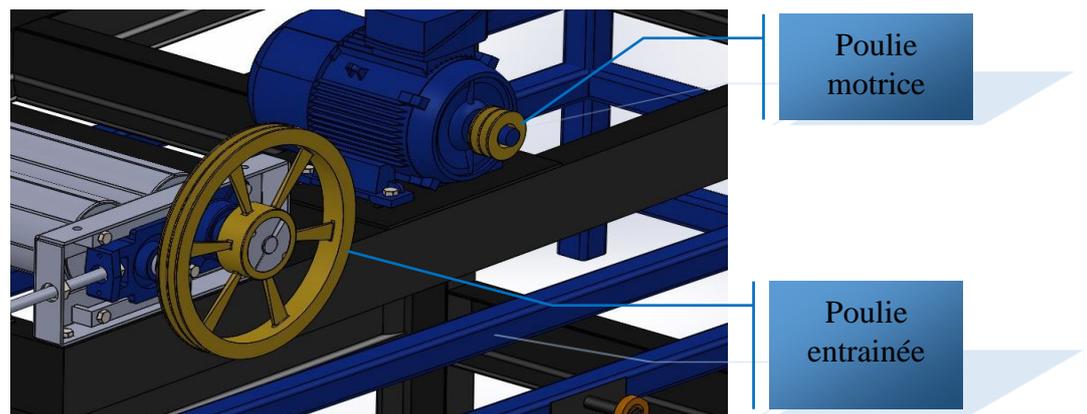


Figure III-9: Modélisation schématique de Système de transmission.

III.7.2. Les courroies

La courroie est une pièce utilisée pour la transmission du mouvement. Elle est construite par un matériau souple. Par rapport à d'autres systèmes, elle présente l'avantage d'une grande souplesse de conception, silencieuse et d'amortir les vibrations, chocs.

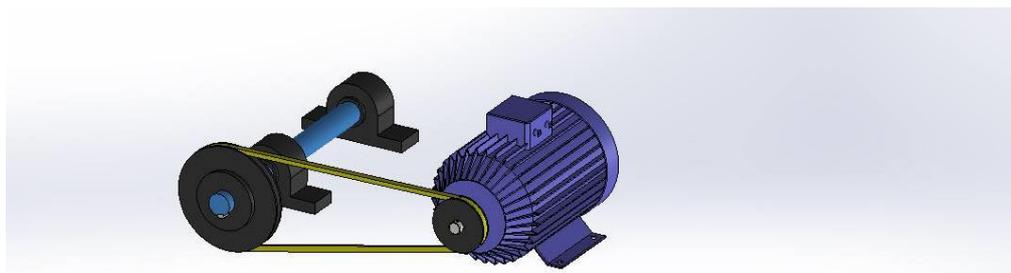


Figure III-10: Modélisation schématique de Transmission par courroie.

D'après l'étude dans le chapitre suivant et le choix proposé par les fournisseurs on a opté une courroie trapézoïdale.

Les courroies trapézoïdales sont caractérisées par :

- Une grande résistance à la traction.
- Une résistance au fluage élastique due aux propriétés des fibres de renforts
- Un rendement élevé (pouvant atteindre 95%) lorsque le système de transmission est bien conçu.
- Une durée de vie raisonnable (bonne résistance à la fatigue et à l'usure) [10].

III.7.3. Les paliers

Les paliers sont des organes utilisés en construction mécanique pour supporter et guider, en rotation, des arbres de transmission [10]. Suivant l'usage désiré, ces paliers peuvent être :

- Paliers lisses.

Exemples : paliers de butée, boîtards, crapaudines, et coussinets...etc. [10].

- Paliers à roulements.

Exemples : paliers roulements à billes, paliers roulements à galets [10].

Dans notre conception de la machine d'extraction d'amandes, nous avons choisi d'utiliser des paliers à roulements pour supporter et guider les arbres de rotation.

Avantages des paliers à roulement : Capacité de charge plus élevée, meilleure résistance aux chocs et une surface de contact plus importante. Compensation des défauts d'alignement et amortissement des vibrations grâce à leur revêtement de protection. Fonctionnement silencieux lié à l'absence d'éléments en mouvement [10].

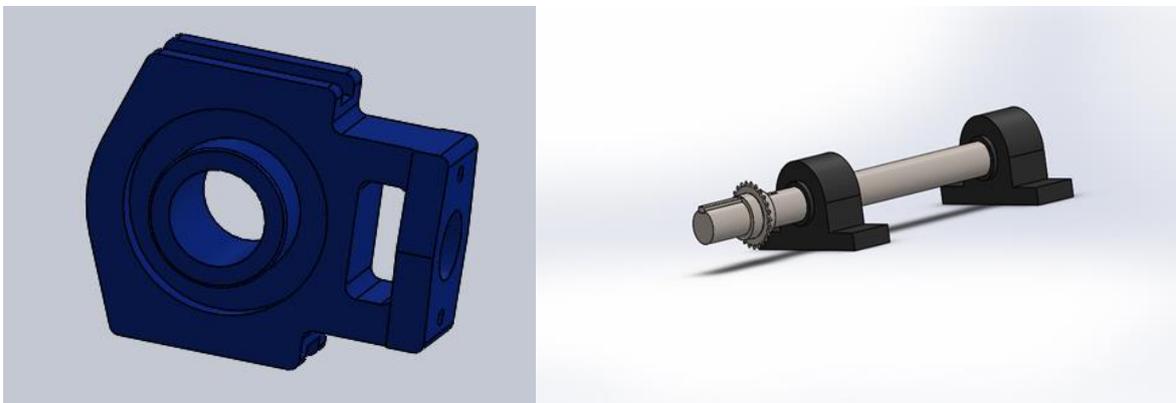


Figure III-11: Modélisation schématique des paliers.

III.8. Système de séparation

Un ensemble de deux tamis de 130 cm de longueur et 70 cm de largeur ont été conçu à partir d'une tôle d'acier galvanisé de 3 mm d'épaisseur.

Le rôle des deux tamis est l'assurance de la séparation des grains amandes craquées de leurs coquilles. Pour le faire les tamis doivent être dotés des ouvertures (maillage de grilles) de géométrie et tailles adéquates.

La surface des tamis supérieur et inférieur était couverte par 2 types démaillage de grilles (trous).

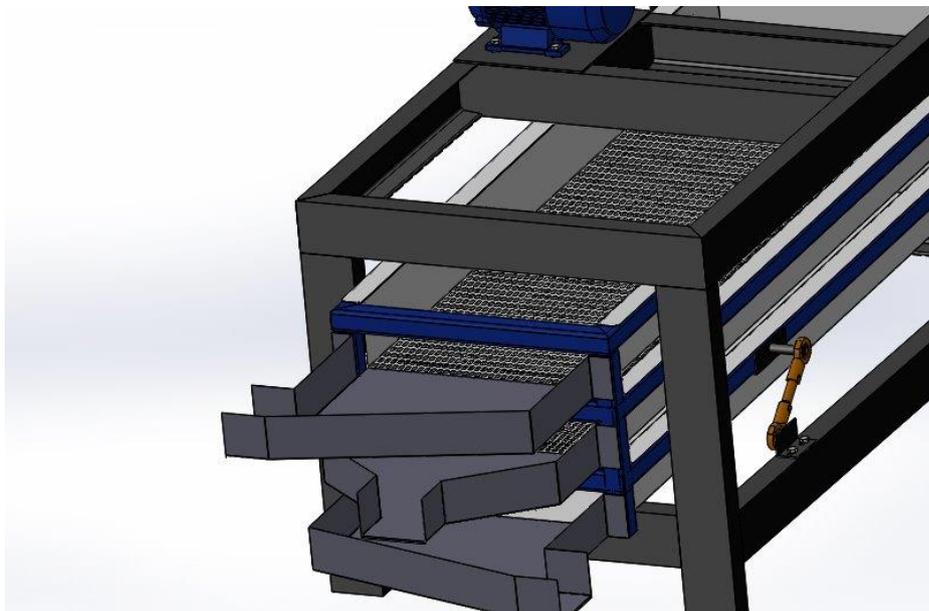


Figure III-12: Modélisation schématique des deux tamis de séparation.

III.8.1. Types des mailles des tamis de séparation

La surface des deux tamis de séparations était couverte par un maillage de grilles (trous) en deux types de maillage : mailles perforés et mailles de type oblong [12].

Un maillage de grilles (mailles perforés) de **24 × 24 mm** et **18 × 18 mm** (mailles oblongues), respectivement. (Suivant la taille de la noix d'amande).

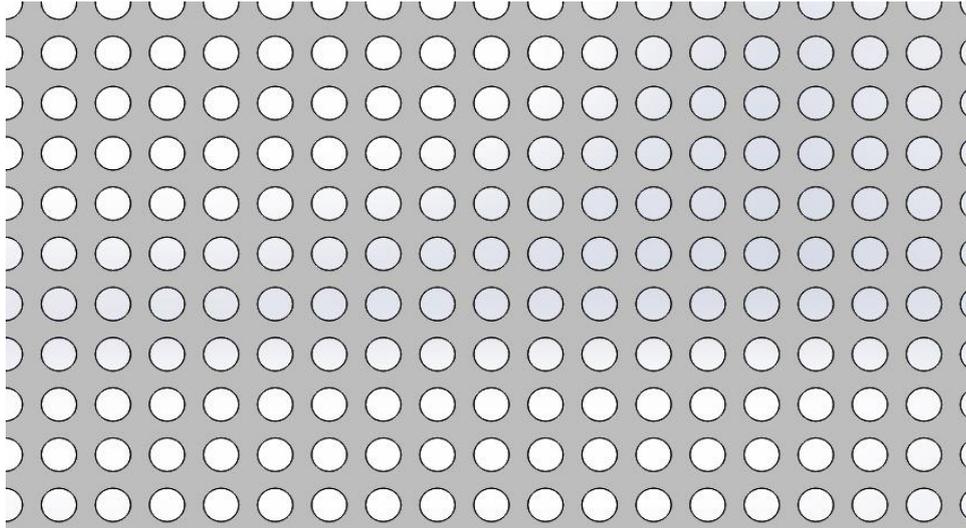


Figure III-13: Modélisation schématique des Mailles perforées.

Un maillage de grilles (mailles oblongues).

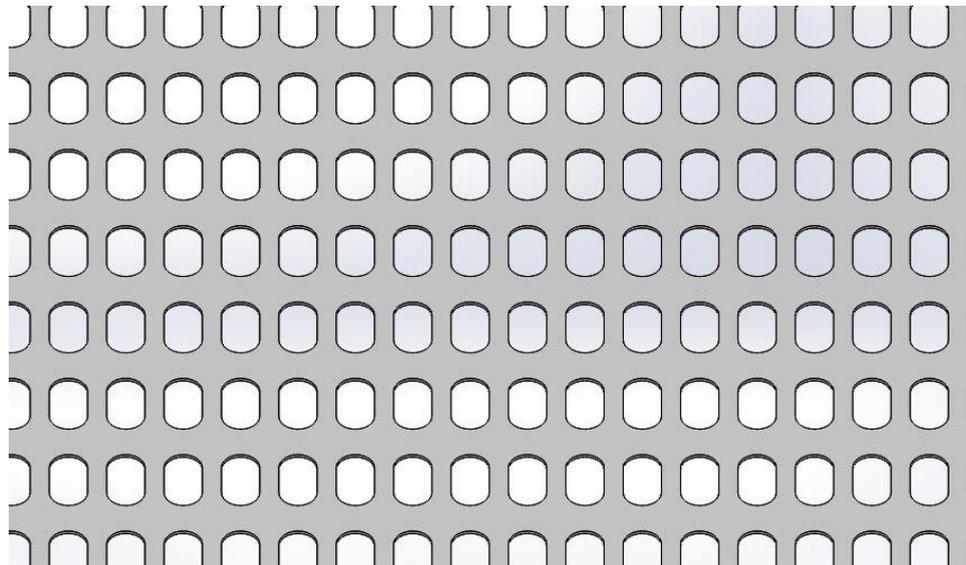


Figure III-14: Modélisation schématique des Mailles oblongues.

III.9. Embout mécanique

Des embouts mécaniques ont été utilisée pour supporter et maintenir le châssis de l'unité de séparation avec le châssis de la machine mère pendant le mouvement des tamis.

Les principaux avantages des embouts mécaniques :

- Sécurité accrue et durable au niveau du fonctionnement et des contacts.
- Serrage constant des raccords vissés
- Résistances de contact faibles durables
- Sécurité anti-vibration accrue [13].

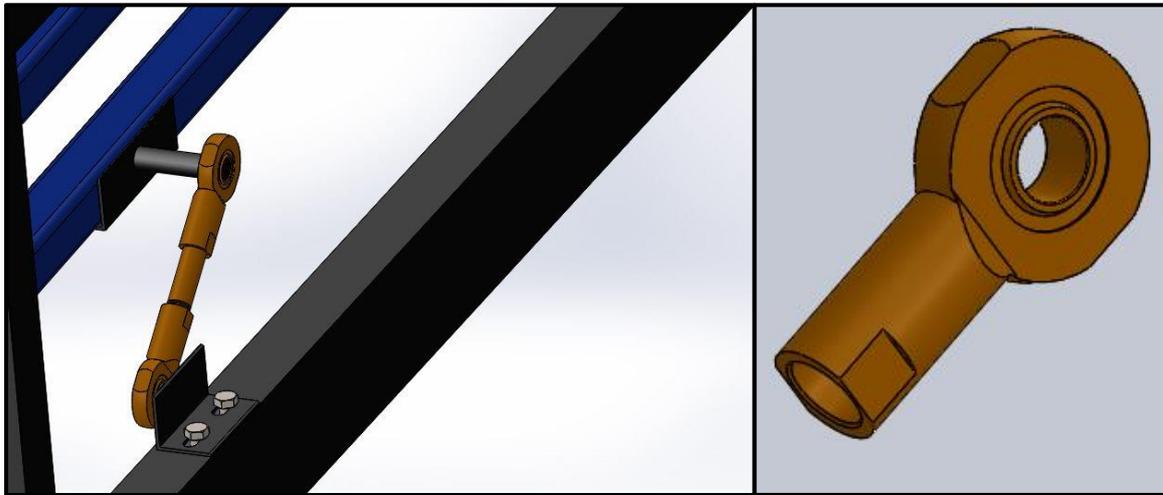


Figure III-15: Modélisation schématique de l'embout mécanique.

III.10. Système bielle manivelle

Un système bielle manivelle (un embout à un axe excentrique) été utilisé pour convertir le mouvement de rotation du moteur électrique en mouvement alternatif pour mouvementer l'unité de séparation [13].

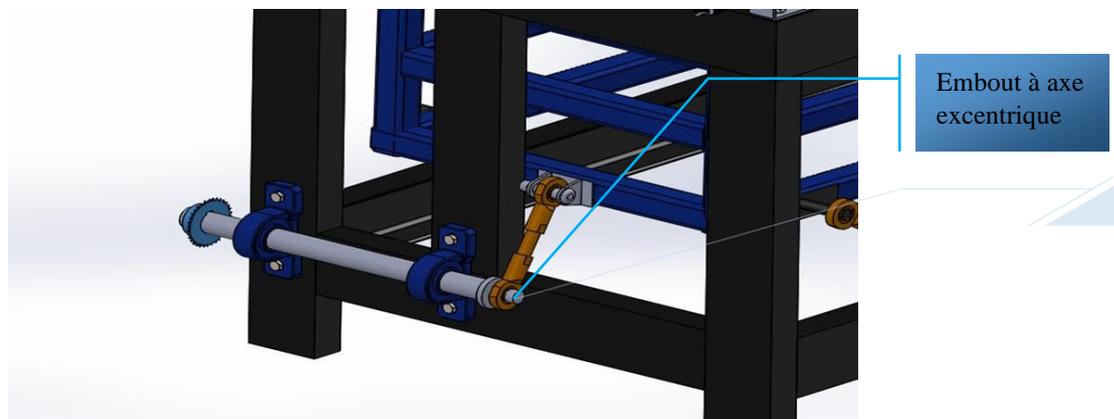


Figure III-16: Modélisation schématique du système bielle manivelle.

III.11. La machine mère

Elle est considérée comme la colonne vertébrale du mécanisme, c'est celle qui contient l'unité de craquage, le moteur électrique, et les deux systèmes de transmission.

Elle englobe aussi les deux unités, d'alimentation et de la séparation.

La machine mère se compose de plusieurs éléments qui font le bon fonctionnement du système.

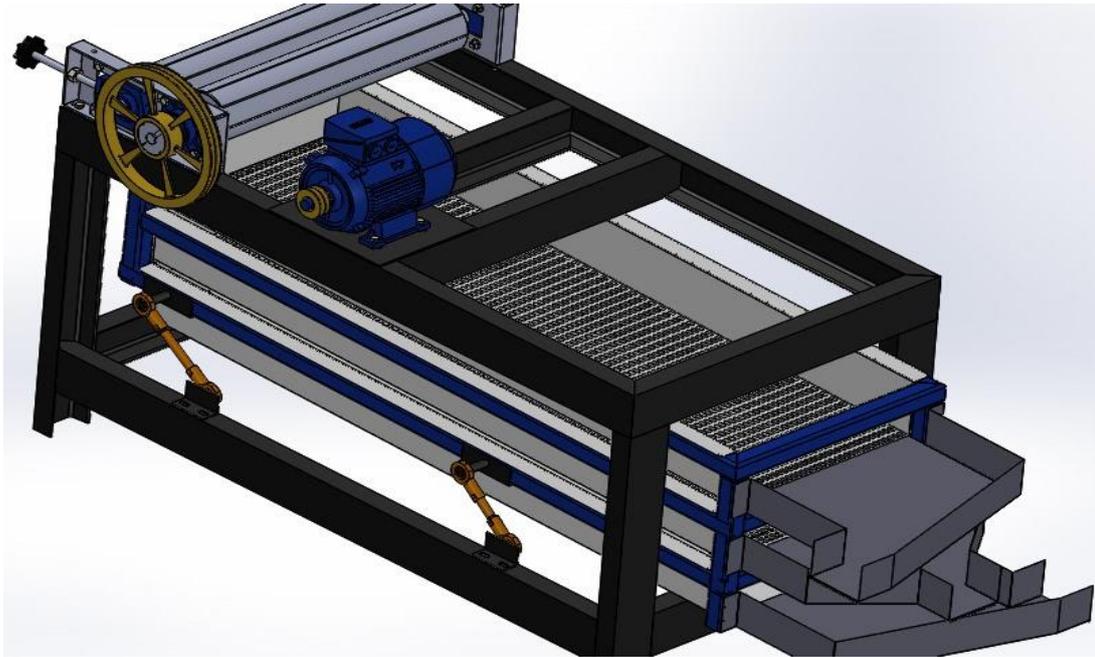


Figure III-17: Modélisation schématique de la Machine mère.

III.12. Cadre et support

Un cadre en acier a été conçu à partir d'un profilé en acier (acier de construction mécanique E320), pour servir de squelette, sur où tous les composants de la machine ont été montés. Les dimensions du cadre sont de 150cm de longueur, 70 cm de largeur et 80 cm de hauteur.



Figure III-18: Modélisation schématique du châssis de la machine.

III.13. Conclusion

Dans ce chapitre Nous avons vu la modélisation schématique des différentes composantes de du système avec toutes les illustrations effectuées sur le logiciel SolidWorks, ainsi les principaux éléments et organes et leurs fonctionnements.

Par la suite on va passer aux calculs de dimensionnement et de vérifications des différents éléments de notre machine.

Chapitre VI :
Calculs des dimensionnements des éléments

chapitre IV : Calculs des dimensionnements des éléments

IV.1. Introduction

La coquille d'amande est utilisée dans de nombreuses applications industrielles et hydroponique aussi. Le processus de fissuration est l'étape la plus critique et délicate pour atteindre des grains de haute qualité. La méthode traditionnelle pour casser l'amande (manuellement) est exigeante en main-d'œuvre, lente et fastidieuse. Les propriétés mécaniques des noix sont une pré-requise pour la conception et le développement d'une machine à craquer. La qualité d'extraction des noix dépendait de la teneur en humidité de la coquille, de l'épaisseur de la coquille, de la taille des noix et des positions de chargement dans les noix.

IV.2. Calcul cinématique

IV.2.1. Calcul de rayon de rouleaux de craquage :

La conception proposée est basée sur l'augmentation de l'efficacité de fissuration avec une rupture minimale du noyau.

Un mécanisme de craquelin à rouleaux a été utilisé.

L'hypothèse que la trémie façonne les secours par gravité. Un craquelin à rouleaux se compose de deux cylindres à rotation opposée agroalimentaire (rouleaux) pour casser les noix. L'écart entre les rouleaux est légèrement plus petit que la dimension la plus étroite de la noix d'amande (rouleaux réglable). L'objectif est de casser l'écrou sans endommager le noyau.

Les coefficients frictionnels diffèrent entre la noix d'amande, et un matériau est évident sur l'observation et en raison de cette différence dans les caractéristiques physiques, les rouleaux frotteurs pourraient accomplir l'enlèvement de la noix d'amande [14].

Croquis schématique montre les forces agissant sur une noix d'amande quand il passe entre deux rouleaux rotatifs de contre-rotation illustrés dans la figure IV-1.

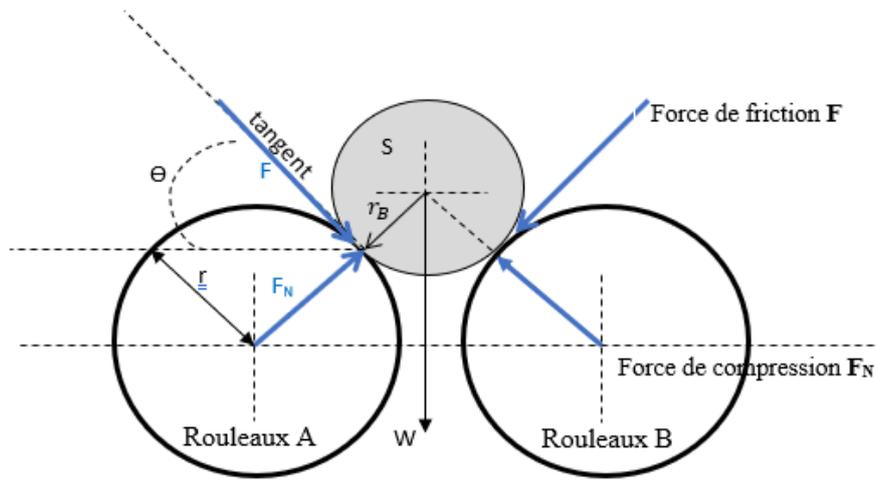


Figure IV-1 : Croquis diagramme pour les forces agissantes sur un écrou sphérique pendant le processus de fissuration.

Application numérique :

Les forces équilibrent dans la direction verticale donnée par :

$$2F \sin \theta + W = 2F_N \cos \theta \quad (\text{IV.1})$$

$$F = \mu F_N \quad (\text{IV.2})$$

- F est la force de friction entre l'écrou et la surface de rouleau.
- μ est le coefficient de friction cinétique entre l'écrou et les surfaces de rouleau .
- F_N (N) est la normale force de compression.
- W (N) est le poids de l'écrou.
- θ (deg) est l'angle entre la noix d'amande S et les rouleaux (A et B).

$$2F \left(\sin \theta - \frac{\cos \theta}{\mu} \right) + W = 0 \quad (\text{IV.3})$$

À la figure IV-1, r le rayon de l'écrou sphérique (S) et r_B est le rayon du rouleau A ou B, h est la distance entre deux rouleaux.

$$2F \left(\frac{\cos \theta}{\mu} - \sin \theta \right) = W > 0 \quad (\text{IV.4})$$

Donc

$$\cot \theta > 0 \quad (\text{IV.5})$$

Les coefficients frotteur entre les surfaces des rouleaux et la noix d'amande sont des facteurs importants.

Toutefois, d'après le diagramme de la figureIV-1, $\cot \theta$ exprimé comme suit :

$$\cot \theta = \frac{\sqrt{(r + r_B)^2 + \left(r + \frac{1}{2}h\right)^2}}{r + \frac{1}{2}h} = \sqrt{\frac{(r + r_B)^2}{\left(r + \frac{1}{2}h\right)^2} - 1} \quad (\text{IV.6})$$

Donc

$$\sqrt{\frac{(r + r_B)^2}{\left(r + \frac{1}{2}h\right)^2} - 1} > \mu \quad (\text{IV.7})$$

Dans Equation (IV.7), en supposant le rayon de l'amande Écrou r_B , est une valeur constante et le coefficient μ est toujours positif (selon l'état de surface des rouleaux), Equation (IV.7) établit la limite maximale du rouleau rayon r .

$r \geq 45$ mm suivant à la condition limite de l'équation IV.7

IV.2.2. Détermination de la force de rupture d'une noix d'amande

La résistance à la rupture a été testée pour identifier l'ampleur de la force qui est nécessaire pour briser les noix d'amande [15].

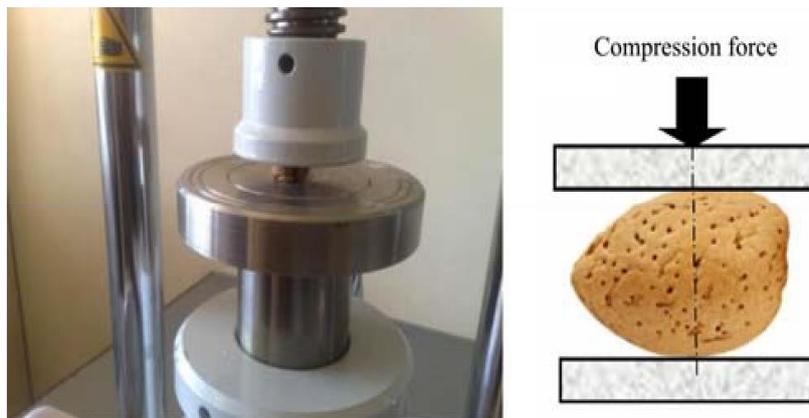


Figure IV-2 : Chargement et compression de l'écrou entre deux plaques parallèles.

La force de compression normale (FN) a été déterminée en plaçant l'écrou d'amande entre deux surfaces planes, comme illustré sur la figureIV-2, et en augmentant

progressivement la force appliquée. Il a été constaté que la déformation permanente de l'écrou d'amande s'est produite entre une force appliquée de **162,11** et **202,15 N** dans la direction de l'axe de la largeur de l'écrou (l'écrou se brise). Selon le tableau IV-1, l'épaisseur des noix d'amande se situait entre 14,12 mm et 16,88 mm. Le rayon équivalent de l'écrou r_B était considéré comme l'épaisseur minimale (14,12 mm). Pour déterminer le rayon maximal du rouleau comme dicté par l'équation (IV.7), les valeurs min de r_B et μ doivent être sélectionnées ($r_B = 14,12$ mm et $\mu = 0,414$) et substituées dans l'équation (IV.7). Cela signifie que les rouleaux dont le rayon est inférieur à **45** mm satisferont à la condition limite de l'équation (IV.7) [15].

IV.3. Procédure de conception

Les principaux composants de la machine de craquage proposée sont :

- L'unité de craquage.
- Les arbres des rouleaux rotatifs.
- L'unité de transmission de puissance.
- L'unité d'alimentation.
- Le châssis principal et l'unité de support.
- L'unité de séparation.

IV.3.1. Rouleau de craquage

Un cylindre en acier ayant un diamètre extérieur de **90 mm**, un diamètre intérieur de **80 mm** et une longueur (L_c) de **600 mm** a été utilisé pour construire le tambour de craquage. Deux plaques circulaires en acier de **8 mm** d'épaisseur ont été soudées pour fermer les côtés du cylindre.

En fait, le poids du rouleau et les forces de compression et de friction sont répartis uniformément avec la longueur du rouleau.

IV.3.2. Détermination de l'angle de repos par expérience

L'angle de repos (θ deg) est déterminé en utilisant un cylindre ouvert de 15 cm de diamètre et 50 cm de hauteur. Le cylindre a été placé au centre d'une plaque circulaire ayant un diamètre de 70 cm et rempli d'écrou. Le cylindre a été soulevé lentement jusqu'à former un cône sur la plaque circulaire [16].

L'angle de repos a été calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{2H}{d} \right) \quad (\text{IV.8})$$

Où, H est la hauteur du cône (cm).

L'angle θ de la figure IV-1 a été estimé à partir de l'équation (IV.6) à 57° .

IV.3.3. Détermination du coefficient de frottement statique

Le coefficient de frottement statique (μ) de la noix d'amande contre différents matériaux, à savoir contreplaqué, galvanisé, métal et caoutchouc.

Un appareil a été utilisé pour la détermination du coefficient de frottement comme le montre la figure IV.3 [14].

Le coefficient de frottement statique était calculé comme suit :

$$\mu = \frac{F_T - F_E}{W} \quad (\text{IV.9})$$

Où

- F_T est la force requise pour démarrer le mouvement du cadre en bois rempli (N).
- F_E est la force requise pour démarrer le mouvement du cadre en bois vide (N).
- W est le poids de l'objet (N).

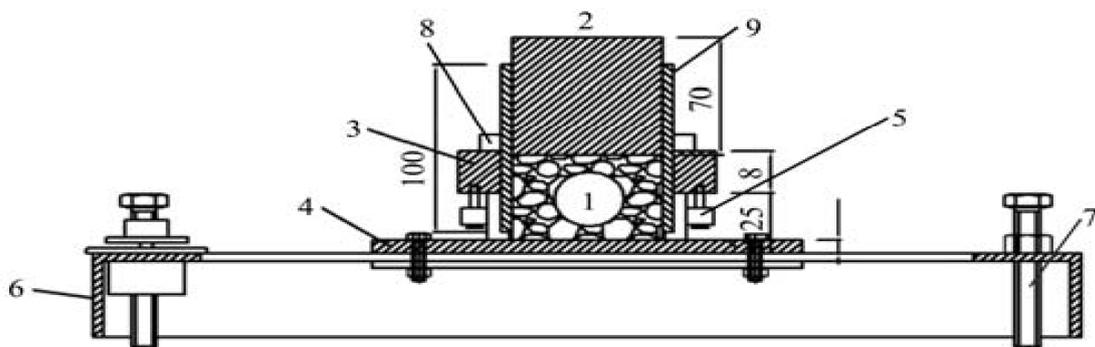


Figure IV-3 : Le dispositif de mesure de la force de friction.

1. Échantillon.
2. Piston.
3. Chariot.
4. Surface Coulissante.
5. Roues roulantes.
6. Base.
7. Vis réglable.
8. Écrou réglable.
9. Cylindre.

Les résultats des forces de rupture F_t et F_e et les coefficients de frottement entre la noix d'amande et les différents matériaux sont donnés au tableau VI.1

Tableau IV-1 : Propriétés physiques et mécaniques d'une noix d'amande [17].

Propriété		Min.	Max.	Moy
Longueur, mm		26.39	30.73	29.05
Largeur, mm		17.43	20,41	18.90
Épaisseur, mm		14.12	16.88	15.19
Mass, g		2.8	4.1	3.3
Densité réel, kg m^{-3}		730	880	790
Densité apparente, kg m^{-3}		250	480	320
Angle de repos,	Vide	33.5	37.3	36.6
Propriété	Remplie	34.4	38.1	27.5
Coefficient de friction	Métal	0.305	0.414	0.352
	Bois	0.325	0.509	0.465
	Élastique	0.491	0.625	0.518
Force de rupture, N	Longueur	322.63	473.60	410.96
	Largeur	251.21	312.25	267.13
	Épaisseur	162.11	202.15	197.16

IV.4. Vérification de la puissance du moteur

IV.4.1. La puissance requise pour casser les noix d'amande

La puissance requise pour casser les noix d'amande (P, en W) a été estimée selon comme suit :

$$P = n_r T \omega \quad (\text{IV.10})$$

- n_r est le nombre de rouleaux rotatifs ($n_r = 2$).
- ω est la vitesse angulaire du rouleau, en rad / seconde,

$$\omega = 2\pi N_s / 60$$

$$\omega = 2\pi * 210/60 = 22 \text{ rad/s}$$

- N_s est la vitesse du rouleau (en tr / min).
- T est le couple (en N m) est estimé comme :

$$T = r F_t \quad (\text{IV.8})$$

Dans l'équation (IV.11), r est le rayon du rouleau rotatif ($r = 45 \text{ mm}$) et F_t est la force de frottement totale induite entre la surface du rouleau et les écrous chargés pendant le processus de crash (N).

Pour un écrou, la force de compression normale (F_N) qui est nécessaire pour casser un écrou d'amande a été mesurée à **202,15 N** (tableauIV-1) et la force de friction correspondante (F) est définie par l'équation (VI.2). La force F a été estimée sur la base d'un coefficient de frottement ($\mu = 0,414$) entre le rouleau (c'est-à-dire la surface extérieure du cylindre) et les noix d'amande (tableauIV-1).

La valeur de : $F = \mu F_N = 85 \text{ N}$.

Le taux de chargement est défini comme la longueur du rouleau 600 mm divisée par la largeur de l'écrou 18,9 mm. En conséquence, le nombre d'écrous qui seront fissurés simultanément est de **32**.

La force de friction totale F_t entre le tambour et les écrous (F_t dans l'équation (IV.11) a été estimée comme la valeur de F multipliée par le nombre total de noix d'amande serait fissurée simultanément :

$$F_t = 85 \times 32 = 1856 \text{ N}$$

Et la force de compression totale F_{NT} est égale à :

$$F_{NT} = 32 \times 202,15 = 6468,4 \text{ N.}$$

Ensuite, la valeur de T dans l'équation (IV.11) est égale à **84,44 Nm** et la puissance requise équation (IV.10) est égale à :

$$P = n_r T \omega = 4,1 \text{ kW} \quad (\text{IV.12})$$

Pour faire fonctionner le cylindre de craquage à 210 tr / min.

Moteur électrique

Il existe plusieurs types de moteurs avec une infinité de spécifications, le choix final a été porté sur un moteur électrique triphasé de 6 kW à 1440 tr / min utilisé comme source de mouvement pour la machine d'extraction. Qui est disponible sur le marché et qui répond aux spécifications prescrites ou les dépassés (4,1 kW, 210tr /min).

Une boîte de réduction a été fixée entre le moteur et l'arbre d'entraînement pour réduire la rotation à **100 tr / min**. on utilise le réducteur pour dégrader la grande vitesse de rotation du moteur électrique (1440 tr/min) à une vitesse de 100 tr/min pour notre besoin.

IV.5. Calcul de transmission de puissance

IV.5.1. Arbre tournant

Le cylindre de fissuration est monté sur l'arbre tournant, la puissance est transmise à l'arbre via une poulie montée sur l'arbre, deux roulements sont nécessaires pour supporter L'arbre, comme illustré à la figureIV-3.

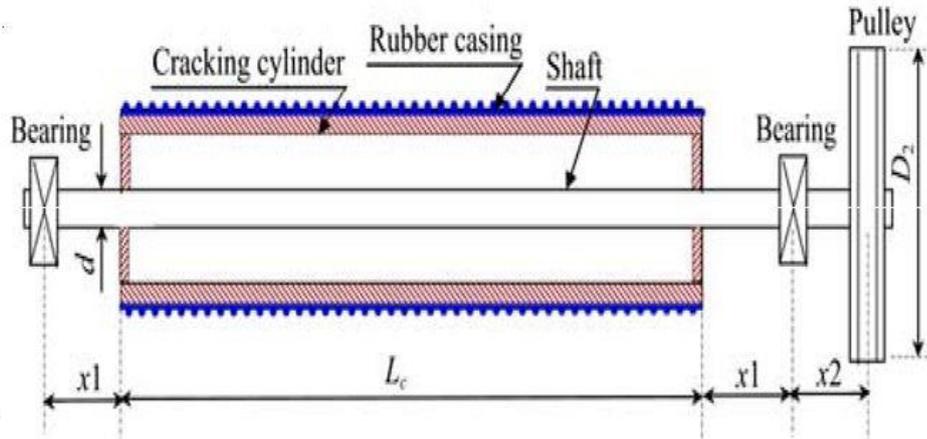


Figure IV-3 : Diagramme en coupe montrant le cylindre de craquage et la poulie ont été fixés sur l'arbre.

Par conséquent, le diamètre de l'arbre a été calculé comme suit :

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_s} \sqrt{[K_b M_b]^2 + [K_t M_t]^2} \quad (\text{IV.13})$$

$$M_t = \frac{P \times 60}{2\pi N} \quad (\text{IV.14})$$

Où, d est le diamètre de l'arbre (mm).

- **Mb** est le moment de flexion résultant (Nm).
- **Mt** est le moment de torsion (N m).
- **Kb** est le facteur combiné de choc et de fatigue appliqué au moment de flexion.
- **Kt** est le facteur combiné de choc et de fatigue appliqué au moment de torsion.
- **Ss** est la contrainte de cisaillement admissible du matériau de l'arbre (Nm).

Les valeurs de **Kb** et **Kt** ont été prises respectivement à **1,5** et **1,0** et à la contrainte de cisaillement admissible du matériau de l'arbre (**Ss**) était de **40 MN m⁻²**. (Acier de construction mécanique E320) [18].

Le moment de flexion résultant, **Mb**, dans l'équation (13) est calculé en déterminant les moments sur l'arbre en raison des charges horizontales et verticales, puis création des diagrammes de moment de flexion de l'arbre pour estimer **Mb**.

La valeur maximale de $(T1 + T2)$ a été considérée dans la conception proposée. En conséquence, la charge verticale totale agissante sur l'axe central de la poulie menée qui est égal à $(T1 + T2 + Wp)$ a été estimé à 1778,45 N.

Enfin, l'arbre est soumis aux charges suivantes : les composantes verticales de FNT et Ft agissantes au milieu de rouleau, les composantes horizontales de FNT et Ft agissantes au milieu du rouleau, la charge verticale (Wc) agissante au milieu du rouleau, la charge verticale $(T1 + T2 + Wp)$ agissante au centre de la poulie menée (D2), et les réactions aux emplacements des roulements.

Dans la procédure de calcul pour déterminer le diamètre de l'arbre (d), Le moment de flexion maximum sur l'arbre s'est avéré être de **170 Nm** et il sera pris comme **Mb** dans l'équation (IV.13). En substituant les valeurs de Mb (**170 N m**) et Mt (**92 N m**) dans l'équation(IV.13), la valeur résultante du diamètre de l'arbre (d) doit être égale ou supérieure à **33 mm**.

$$d_3 \geq 33 \text{ mm.}$$

Le moment de torsion (M_t) est donné comme suit :

$$M_t = \frac{P \times 60}{2\pi N} = 91,95 \text{ N m.} \quad (\text{IV.15})$$

Pour la puissance estimée, P, de **4,1 KW** utilisée pour faire fonctionner le rouleau à une vitesse de rotation de **210 tr / min**, la valeur de π est constante (3,14), la valeur de M_t a été calculée à : **91,95 N m**.

IV.6. Dimensionnement du mécanisme d'entraînement

Les chaînes, comme les courroies, sont des éléments flexibles qui permettent la transmission de la puissance entre deux arbres parallèles mais éloigné l'un de l'autre. Puisqu'elles sont composées de maillons articulés faits d'aciers de haute de résistance, les chaînes peuvent être soumises à des conditions d'utilisation plus difficiles celles appliquées aux courroies [11].

Les chaînes sont des éléments normalisés sur le plan international et fabriqués en série par des firmes spécialisées. Les lubrifications publient des catalogues et d'autres documents destinés à guider le concepteur qui doit choisir le plus judicieusement possible les divers paramètres géométriques d'une transmission par chaîne [11].

Notre choix se porte sur un entraînement composé, transmission par courroie et une transmission par chaîne.

IV.6.1. Transmission par courroie

La figure illustre un système de transmission par courroie composé d'une poulie entrainante et d'une poulie entraînée reliées par courroie.

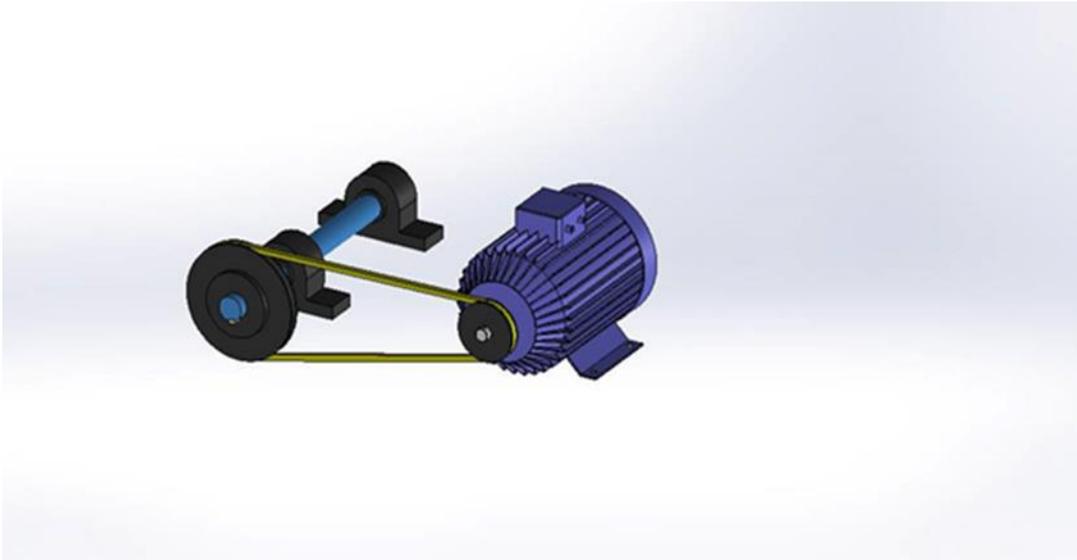


Figure IV-4 : Système de transmission par courroie

F / Poulie

La poulie en aluminium a été sélectionnée, ayant un diamètre **D1** de **120 mm** et une épaisseur de **40 mm**, le poids statique de la poulie WP a été estimé à **11,98 N**.

Les paramètres de ce système sont les suivants :

- D1**: diamètre de la petite poulie (mm).
- D2**: diamètre de la grande poulie (mm)
- C** : entraxe (distance entre les axes de rotation des poulies, **60 mm**).
- N1** et **N 2**: vitesses de rotation respectives de la petite et de la grande poulie (*tr/min*).
- Ω** : vitesses angulaires des poulies (rad/s).
- F1** : traction du brin moteur (N).
- F2** : traction du brin entraîné (N).
- θ** : angles de contact entre la courroie et les poulies, en degrés ou radians (rad)
- f**: coefficient de frottement entre la courroie et les poulies.
- v**: vitesse de la courroie (m/s).
- b**: largeur de la courroie (mm).
- e**: épaisseur de la courroie (mm).

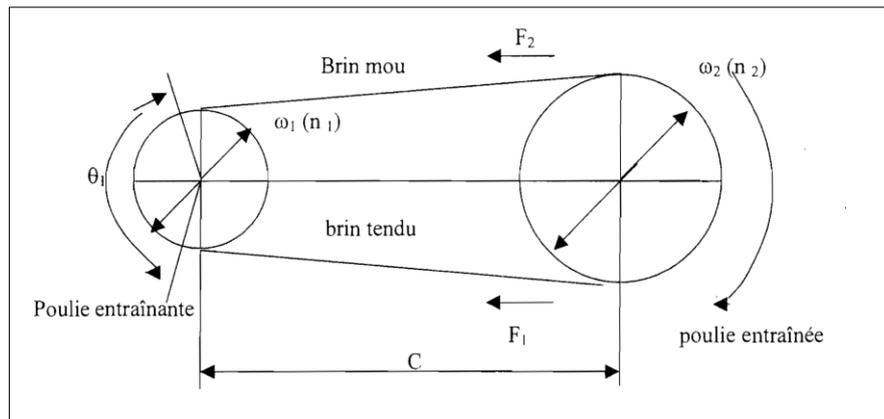


Figure IV-5 : schéma explicatif de la transmission par courroie.

Pour atteindre différentes vitesses de rouleaux, différentes combinaisons de poulies ont été utilisées pour transférer la puissance du moteur à l'arbre d'entraînement. Les diamètres des poulies ont été déterminés selon :

$$N_1 D_1 = N_2 D_2 \quad (\text{IV.16})$$

Où, N_1 et D_1 sont la rotation (tr / min) et le diamètre de la poulie motrice, N_2 et D_2 sont la rotation (tr / min) et le diamètre de la poulie entraînée. Les diamètres et la rotation des poulies correspondant à trois rotations différentes du rouleau sont illustrés dans le tableau 2.

Tableau IV-2 : tableau montre les diamètres et les vitesses de rotation des poulies.

La vitesse de rouleau $m \text{ sec}^{-1}$	Poulie motrice		Poulie entraînée	
	N_1 , tr/min	D_1 , mm	N_2 , tr/min	D_2 , mm
0.5	100	120	100	120
0.8	100	120	176	210
1.0	100	120	210	255

AN :

D1=4,7244 pouces. / 120 mm

D2= ??

N1=100 tr/min (vitesse de sortie du moteur).

N2= 210 tr/min.

On a la relation :

$$D_1/D_2 = N_2/N_1$$

Alors :

$$D_2 = (D_1/N_2) * N_1$$

$$D_2 = (120/255) * 210$$

$$N_2 = 210 \text{ tr/min.}$$

$$D_2 = 8,3071 \text{ po/ } 255 \text{ mm}$$

La courroie **trapézoïdale** a été sélectionnée, capable de transmettre 15 kW.

La puissance transmise de la poulie de la source d'alimentation (D1 de diamètre) à la poulie d'arbre (D2) à travers la courroie est en fonction des forces de tension de la courroie (T1 et T2) et de la vitesse de la poulie. Les forces de tension de la courroie sur la poulie ont été estimées par les équations suivantes.

$$2,3 \log \left(\frac{T_1}{T_2} \right) = \mu \theta \sin^{-1} \beta \quad (\text{IV.17})$$

$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{D_2 - D_1}{2C} \right) = 32 \text{ rad} \quad (\text{IV.18})$$

$$M_t = (T_1 - T_2) \frac{D_1}{2} \quad (\text{IV.19})$$

Où, **T1** et **T2** sont les forces de tension sur les côtés serrés et lâches (N), respectivement.

μ est le coefficient de frottement entre la courroie et la poulie ($\mu = 0,25$).

L'angle d'enroulement sur la petite poulie est donné par :

θ est l'angle de chaîne.

$\theta = [180-2\alpha] \pi / 180$ en radian.

$$\theta = [180-2(6,45)] \pi / 180 = 166 \text{ rads}$$

Cette valeur de l'angle d'enroulement est acceptable, car elle est supérieure à **130 rad**.

L'angle α est donné par :

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{D_1 - D_2}{2Z} \right) = 6,45 \quad (\text{IV.20})$$

Où,

- **Z** est la distance entre les centres des deux poulies (l'entraxe) **60 cm**.
- β représente l'angle de rainure de la poulie (32°).
- **M_t** est le moment de torsion (Nm).
- Le couple transmis par la poulie (Mt) a été estimé à **91,95 Nm**.

Tableau IV-3 : Valeurs de T1 et T2

D_1 (mm)	D_2 (mm)	α , dégrée	Θ radian	(T_1/T_2)	T_1 (N)	T_2 (N)	T_1+T_2 (N)
120	120	0	3.14	17.3	1626.52	94.02	1720.54
120	211	3.35	3.02312	15.56	1637.75	105.25	1743.01
120	255	6.46	2.91462	14.1	1649.48	116.98	1766.47

La valeur maximale de $(T_1 + T_2)$ a été prise en compte dans la conception proposée. En conséquence, la charge verticale totale agissant sur l'axe central de la poulie menée qui est égale à $(T_1 + T_2 + W_p)$ a été estimée à **1778,45 N**.

La longueur de la courroie :

- La vitesse de rotation de la poulie = **210 tr/mn**.
- La vitesse de rotation du moteur choisi = **100 tr/mn**.
- La puissance fournie par le moteur $P = 6 \text{ kw}$.
- L'entraxe $C = 600 \text{ mm}$.

Les équations utilisées pour calculer la longueur de la courroie font intervenir les diamètres primitifs des poulies, la longueur ainsi obtenue est la longueur primitive **L_{PP}**.

$$L_p = 2C + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{(D_1 + D_2)^2}{4C} \quad \text{(IV.9)}$$

On prend : $L_p = 46 \text{ po} = \mathbf{1168,4 \text{ mm}}$.

Calcul de nombre de courroie nécessaire :

Puissance admissible du moteur électrique : $P = 6 \text{ KW}$.

Puissance effective transmise par la courroie sélectionnée : **P_{eff}**,

$$P_{eff} = \frac{\pi \cdot D \cdot N_1 (F_1 - F_2)}{6000} = \mathbf{9,6 \text{ KW}} \quad \text{(IV.10)}$$

$$N_c \text{ le nombre de courroie nécessaire : } N_c = \frac{P_a}{P_{eff}} = \frac{9,6}{6} = \mathbf{1,6} \quad \text{(IV.23)}$$

$$N_c = \mathbf{2}$$

Donc le nombre de courroie nécessaire est deux (2) courroies.

IV.7. Estimation du cout de la machine :

Parmi les différentes étapes de gestion d'un projet, l'évaluation du coût du projet est la plus importante et la plus délicate. En effet, cette phase nécessite beaucoup de rigueur et doit être la plus exhaustive possible afin de fournir un chiffrage précis, fiable et pertinent.

Dans ce but nous avons donné une estimation du cout pour notre machine.

Désignation	Unité	Quantité	Prix (DA)	Total (DA)
Profilé en acier (50*50*3)	Barre	10	12 00	12 000
Tube carré	Barre	5	2300	11 500
Tôle (1 mm)	Feuille	4	2 800	11 200
Tôle (3 mm)	Feuille	3	3 200	9 600
Embout mécanique	/	6	300	1 800
Goujon	/	1	500	500
Moteur réducteur	/	1	56 000	56 000
Ressort	/	5	200	1 000
Tôle perforée	/	2	15 000	30 000
Palier	/	6	500	3 000
Poulie (diamètre 255)	/	1	1600	1 600
Poulie (diamètre 120)	/	1	1400	1400
Pignon	/	4	1000	4 000
Chaine	/	1	1200	1 200
Courroie	/	2	600	1 200
Arbre (diamètre 50)	Barre	3	6 000	18 000
Cylindre	/	2	30 000	60 000
Les boulons + les écrous	/	/	1 500	1500
L'armoire électrique (le variateur de vitesse, câblage, les boutons, ...etc.)	/	/	15 000	15 000
Autres frais	/	/		10 000
Frais d'usinage	/	/	100 000	100 000
Frais d'étude	/	/	150 000	70 000
Le cout totale				370 000,00

Les frais totaux de fabrication d'une machine d'extraction d'amandes à faible cout sont

Environ 370 000,00 DA. Ce cout est raisonnable par rapport aux couts d'importation d'une machine de même type.

IV.8. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons essayé de justifier l'essentiel de notre choix. Nous avons procédé au calcul des organes et éléments. Et nous avons donné une estimation du cout de fabrication de la machine d'extraction d'amande à faible cout.

Conclusion générale

L'Algérie est un pays très vaste, la surface des terres agricoles couvre 20% de la superficie totale du pays. Toutes les investigations et études affirment la possibilité d'améliorer la production nationale dans le secteur agricole.

Parmi les produits végétaux sont les amandes, il y a une augmentation remarquable dans la production dans les années récentes mais il y a toujours un manque de la culture d'amande reste pénalisé par la faiblesse de la mécanisation surtout l'extraction des amandes. Dans le but de mécaniser et améliorer la production d'amandes nous avons conçu une machine agricole d'extraction des noix d'amandes dans le cadre de l'élaboration du projet de fin d'études. Cette expérience nous a permis d'approfondir nos connaissances en conception, en design, en fabrication mécanique et nous a donné une expérience par rapport au travail de l'ingénieur dans le domaine.

On a commencé ce travail par une analyse fonctionnelle et solutions technologiques de la mécanisation d'extraction d'amandes pour clarifier le but de projet avec le milieu extérieur.

Suite à une recherche sur le concassage et le criblage, et les différentes technologies de chaque opération, nous avons précisé nos choix pour la conception de notre machine qui se compose essentiellement de ces deux parties. La conception des différents éléments de notre machine a été réalisée en utilisant le logiciel SolidWorks.

Durant le travail sur ce mémoire nous avons trouvé des difficultés pour obtenir les données réelles sur beaucoup de pièces et de mécanismes, faute d'un manque flagrant de la documentation technique.

Cette conception représente une première approche, donc c'est un prototype qui doit être amélioré par rapport à ces performances de production, en termes de quantité et qualité.

L'estimation du coût pour la réalisation de cette machine est un paramètre très important que nous espérons de le faire, mais faute du manque du temps et surtout de fixer toutes les opérations de fabrication et d'évaluer leur coût avec précision nous a poussé à une estimation plus au moins approximative.

En perspective, nous souhaitons approfondir cette étude pour améliorer ce prototype en termes de, qualité et quantité de production, et en termes de coût de réalisation.

Le travail de ce mémoire, c'est juste une partie d'un grand travail de la conception et la fabrication de la machine d'extraction des noix d'amandes.

Références

- [1] AgricEngInt, «CIGR Journal Open access,» [En ligne]. Available: <http://www.cigrjournal.org..>
- [2] «materiel-elagage.4mepro.com,» [En ligne]. Available: <https://materiel-elagage.4mepro.com/content/161-comment-choisir-sa-chaine-de-tronconneuse-..>
- [3] Y. GARDAN, «Etudes en CFAO CAO Mécanique,» Editions Hermès 51, Paris, 1986.
- [4] «www.shellingmachine.com,» [En ligne]. Available: <https://www.shellingmachine.com/cracking-shelling-machine/almond-shelling-machine.html>.
- [5] «guide.directindustry.com,» [En ligne]. Available: <http://guide.directindustry.com/fr/bien-choisir-une-courroie/#:~:text=Pourquoi%20choisir%20une%20courroie%20trapézoïdale%20%3F,-Courroie%20trapézoïdale%20de&text=Ce%20sont%20les%20courroies%20les,dans%20les.>
- [6] R. E. Arnold, «Experiments with rasp bar threshing drums,» *Journal of Agricultural*, n° %19(2): 99–131, 1964.
- [7] O. Eric, Manuel des machines, New York:Presseindustrielle: 20e éd, 1976.
- [8] M. M. brahim, «Détermination du coefficient de frottement dynamique pour certains matériaux pour granulés d'alimentation sous différentes valeurs de pression et de température,» *Misr Journal of Agriculture Engineering*, pp. 25 (4): 1389-1409, 2008.
- [9] R. Bernik et S. D, «Une comparaison de morphologiques et les caractéristiques physiques de trois haselnut différents,» *PomologiaCroatica*, 2009.
- [10] E. Karababa, «Physical properties of popcorn kernels,» *Journal of Food Engineering*, n° %172(1): 100–107, 2006.
- [11] S. Joseph et M. , Moisturemeasurement - unground grain and seeds, ASAE, 1999.
- [12] D. Hunt, «Gestion de l'énergie et des machines agricoles,» Univ. D'État de l'Iowa, Ames, Iowa, États-Unis, 1983.
- [13] www.fao.org/sustainable-agriculturalmechanization/overview/whatissustainablemechanization/fr/ .
- [14] www.agrobelts.be/pagina/prostav3.htm .
- [15] www.perriol.com/2culture/cul_beaba/beaba.htm .

- [16] 6 AgricEngInt: CIGR Journal Open access at <http://www.cigrjournal.org>.
- [17] guide.directindustry.com/fr/bien-choisir-une-courroie/#:~:text=Pourquoi%20choisir%20une%20courroie%20trap%C3%A9zo%C3%ADdale%20%3F,-Courroie%20trap%C3%A9zo%C3%ADdale%20de&text=Ce%20sont%20les%20courroies%20les,dans%20les%20variateurs%20de%20vitesse..
- [18] materiel-elagage.4mepro.com/content/161-comment-choisir-sa-chaine-de-tronconneuse-.
- [19] R. S. Khurmi et J. k. Gupta, «Noix de palme fissuration sous une charge d'impact répétée,» *Théorie des machines*, n° 16 (11), p. 2471–2475, 2005.