

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**Université A/Mira de Bejaia**



Faculté de technologie  
**Département Electromécanique**

## Mémoire de Fin d'étude

En vue de l'obtention de un diplôme master académique  
en Electromécanique

Thème de projet :

---

Etude et dimensionnement d'un broyeur pour olive

---

➤ Préparé par :

devant le jury :

*Mr* : MOUSSAOUI AMAR

**Président : Mr A.RAHMANNI**

*Mr* : LAIB MEHANNI

**Examineur: Mr Y.MEBARKI**

**Promoteur : Mr A.AMRI**

Promotion : 2020/2021.



# *Remerciements*

*Nous remercions avant tout notre dieu le tout puissant de nous avoir donné la foi, la Volonté et le courage de mener à bien ce modeste travail.*

*Nous remercions notre promoteur Mr AMRI ATHEMANE, Pour nous avoir assuré l'encadrement et d'avoir consacré le temps nécessaire pour la réalisation de ce mémoire.*

*Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté de juger notre Travail.*

*Nous remercions également tous les enseignants qui ont participé à notre Formation.*

*Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

*Merci à vous tous...*



# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*À ceux qui n'ont jamais cessé de m'encourager et de me soutenir, à ceux qui  
leur amour m'a donné la volonté d'aller toujours de l'avant,*

*À mes chers parents que dieu protèges.*

*À mon cher grand frère Nourddine*

*À mes chers sœur Sorya, Khadidja, Dalila*

*À toute ma famille.*

*À tous mes amis et collègues*

*À tous les étudiants de la promotion 2020/2021*

*Option : ELECTROMECHANIQUE*

*À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.*

**AMAR.MOUSSAOUI**



# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*À la mémoire de mes grands parents*

*Aux plus belles personnes sur terre que Dieu a créées : mes parents :*

- *Ma mère : la source de patience, générosité et de tendresse, qui a été non seulement une maman mais même une source d'encouragement.*
- *Mon père : qui lui aussi a contribué dans mon parcours, il s'est toujours montré présent pour nous orienter et nous donner ses précieux conseils.*

*Tous les remerciements ne pourront être efficaces pour montrer ma gratitude vers eux. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde gratitude.*

*À mes petites sœurs      Melissa, Noura*

*À toute ma famille.*

*À tous mes amis et collègues*

*À tous les étudiants de la promotion 2020/2021*

*Option ; ELECTROMECHANIQUE*

*À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.*

**LAIB. MEHENNI**

# SOMMAIRE

# Sommaire

## Chapitre I

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| Introduction générale .....                                              | 1-2 |
| I.1 Introduction .....                                                   | 3   |
| I.2 Généralité sur l'huile d'olives .....                                | 3   |
| I.2.1 Origine de l'olivier .....                                         | 3   |
| I.2.2 Définition .....                                                   | 4   |
| I.2.3 La composition de l'huile d'olives .....                           | 4   |
| I.2.4 Les caractéristiques de l'huile d'olive .....                      | 4   |
| I.2.5 Les types de l'huile d'olives .....                                | 5   |
| I.3 Généralité sur les broyeurs .....                                    | 6   |
| I.3.1 Définition d'un broyeur .....                                      | 6   |
| I.3.2 Caractéristiques principales d'un broyeur .....                    | 6   |
| I.3.3 Broyage .....                                                      | 6   |
| I.3.4 Les différents types de broyages .....                             | 7   |
| I.3.4.1 Broyeurs à couteaux .....                                        | 11  |
| I.3.4.2 Broyeur à marteaux .....                                         | 11  |
| I.3.4.3 Broyeurs à cylindres .....                                       | 12  |
| I.3.4.4 Broyeur à meule .....                                            | 13  |
| I.3.4.5 Broyeurs universels .....                                        | 14  |
| I.3.4.6 Broyeurs équipés d'un dispositif de classification intégré ..... | 15  |
| I.3.4.7 Broyeurs à jets de fluide .....                                  | 16  |
| I.4 Applications du broyage aux industries agroalimentaires .....        | 17  |
| I.4.1 Industrie des corps gras .....                                     | 18  |
| I.4.2 Industrie fromagère .....                                          | 19  |
| I.4.3 Industrie des hydro colloïdes .....                                | 19  |
| I.4.4 Industrie de la viande .....                                       | 20  |
| I.4.5 Industrie de la pêche .....                                        | 20  |
| I.4.6 Alimentation animale .....                                         | 20  |
| I.4.7 Industrie des épices et des condiments .....                       | 20  |
| I.4.8 Industries du café et de la chicorée .....                         | 21  |

|          |                                                         |    |
|----------|---------------------------------------------------------|----|
| I.4.9    | Industrie du chocolat.....                              | 21 |
| I.4.10   | Sous-produits et déchets.....                           | 22 |
| I.4.11   | Industrie des céréales.....                             | 22 |
| I.4.11.1 | Mouture par voie sèche.....                             | 23 |
| I.4.11.2 | Mouture par voie humide en amidonnerie/glucoserie ..... | 24 |
| I.4.11.3 | Industrie de la bière .....                             | 25 |
| I.4.11.4 | Féculerie.....                                          | 25 |
| I.5      | Conclusion.....                                         | 25 |

## Chapitre II

|          |                                                       |    |
|----------|-------------------------------------------------------|----|
| II.1     | Introduction .....                                    | 26 |
| II.2     | Application à l'huile d'olive.....                    | 26 |
| II.2.1   | L'extraction de l'huile d'olive .....                 | 26 |
| II.2.2   | Principe Fondamentaux.....                            | 27 |
| II.2.3   | Opération Préliminaire .....                          | 27 |
| II.2.4   | Tri.....                                              | 27 |
| II.2.5   | Pesage.....                                           | 28 |
| II.2.6   | Entreposage .....                                     | 28 |
| II.2.7   | Lavage .....                                          | 28 |
| II.3     | Broyage .....                                         | 29 |
| II.3.1   | Broyeurs à meules .....                               | 29 |
| II.3.2   | Broyeurs à marteaux.....                              | 30 |
| II.3.3   | Comparaison entre broyage à meule et à marteaux ..... | 31 |
| II.4     | Le malaxage .....                                     | 32 |
| II.5     | Les différents systèmes d'extraction d'huile.....     | 32 |
| II.5.1   | Extraction d'huile d'olive .....                      | 32 |
| II.5.1.1 | Extraction par pression .....                         | 33 |
| II.5.1.2 | Extraction par centrifugation.....                    | 35 |
| II.5.1.3 | Extraction en Sinolea .....                           | 35 |
| II.6     | Séparation de l'huile et de l'eau .....               | 37 |
| II.6.1   | Décantation naturelle.....                            | 37 |

|        |                                                                  |    |
|--------|------------------------------------------------------------------|----|
| II.6.2 | Centrifugation verticale .....                                   | 38 |
| II.6.3 | Traitements ultérieurs.....                                      | 38 |
| II.7   | Séparation des phases .....                                      | 39 |
| II.7.1 | Séparation des phases liquides-solides.....                      | 39 |
| II.7.2 | Séparation des phases liquides-liquides .....                    | 39 |
| II.8   | Les procédés d'extraction d'huile.....                           | 39 |
| II.8.1 | Procédés en discontinu ou système de presse .....                | 39 |
| II.8.2 | Procédés en continu ou système à centrifugation.....             | 40 |
| II.8.3 | Système continu à trois phases .....                             | 40 |
| II.8.4 | Système continu à deux phases .....                              | 41 |
| II.9   | Comparaison entre les procédés en discontinu et en continu ..... | 41 |
| II.10  | Conclusion.....                                                  | 42 |

### **Chapitre III**

|           |                                                                    |    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|----|
| III.1     | Introduction .....                                                 | 43 |
| III.2     | Etude cinématique.....                                             | 43 |
| III.2.1   | Schéma cinématique .....                                           | 43 |
| III.2.2   | Détermination de la force d'écrasement des noyaux des olives ..... | 44 |
| III.2.3   | Calcul de la force d'écrasement.....                               | 45 |
| III.2.4   | Calcul de la force d'écrasement totale .....                       | 46 |
| III.2.5   | Calcul de la puissance .....                                       | 46 |
| III.3     | Calcul de RDM des éléments sollicités dans le broyeur .....        | 50 |
| III.3.1   | Dimensionnement de l'arbre qui porte les marteaux .....            | 50 |
| III.3.1.1 | Calcul des réactions des paliers .....                             | 50 |
| III.3.1.2 | Calcul des moments fléchissant :.....                              | 52 |
| III.3.1.3 | Calcul du diamètre de l'arbre à la flexion :.....                  | 53 |
| III.3.1.4 | Calcul du diamètre de l'arbre à la torsion .....                   | 55 |
| III.3.1.5 | Vérification aux sollicitations composées :.....                   | 56 |
| III.3.2   | Roulement .....                                                    | 57 |
| III.3.2.1 | Choix du roulement .....                                           | 57 |
| III.3.2.2 | Caractéristique du roulement à billes :.....                       | 58 |
| III.3.2.3 | Durée de vie du roulement:.....                                    | 58 |
| III.3.2.4 | Désignation du roulement:.....                                     | 60 |



|           |                                               |    |
|-----------|-----------------------------------------------|----|
| III.3.3   | Clavette .....                                | 61 |
| III.3.3.1 | Calcul d'une clavette rectangulaire.....      | 61 |
| III.3.3.2 | Condition de résistance au cisaillement ..... | 63 |
| III.3.3.3 | Vérification au matage.....                   | 63 |
| III.4     | Conclusion.....                               | 64 |
|           | Conclusion générale .....                     | 65 |

# Liste des figures

## Chapitre I

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure I.1:</b> schéma des différents modes de broyage .....                                                                     | 7  |
| <b>Figure I.2 :</b> Les différents types de broyeur en fonction de la dureté du matériau et de la taille du produit à obtenir ..... | 10 |
| <b>Figure I.3 :</b> Schéma d'un broyeur à couteaux .....                                                                            | 11 |
| <b>Figure I.4 :</b> Les différents éléments d'un broyeur à marteaux.....                                                            | 12 |
| <b>Figure I.5 :</b> Schéma d'un broyeur à cylindres .....                                                                           | 13 |
| <b>Figure I.6 :</b> Corse Pressoir à olives à meule .....                                                                           | 13 |
| <b>Figure I.7 :</b> Schéma d'un broyeur universel .....                                                                             | 14 |
| <b>Figure I.8 :</b> Schéma d'un broyeur à jets d'air opposés avec classificateur intégré .....                                      | 17 |
| <b>Figure I.9 :</b> Broyage d'un grain de blé dans un broyeur à cylindres.....                                                      | 23 |

## Chapitre II

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure II.1 :</b> Systèmes d'extraction d'huile d'olive .....                                                                     | 26 |
| <b>Figure II.2 :</b> Meule de granit à deux roues .....                                                                              | 30 |
| <b>Figure II.3 :</b> Broyeurs à marteaux.....                                                                                        | 31 |
| <b>Figure II.4 :</b> Pâte d'huile en mélange à l'intérieur d'un malaxeur .....                                                       | 32 |
| <b>Figure II.5 :</b> Presse hydraulique moderne. ....                                                                                | 33 |
| <b>Figure II.6 :</b> centrifugeuses haute pression.....                                                                              | 35 |
| <b>Figure II.7 :</b> extraction sans pression sur la masse des olives. Nous effectuons cette extraction par la machine Sinolea. .... | 37 |
| <b>Figure II.8 :</b> schéma de décantation naturelle.....                                                                            | 38 |
| <b>Figure II.9 :</b> procédé d'extraction presse et super presse .....                                                               | 39 |
| <b>Figure II.10 :</b> chaine continue à deux et trois phase pour l'extraction d'huile d'olive .....                                  | 40 |
| <b>Figure II.11 :</b> procédé d'extraction continue a trois phase.....                                                               | 40 |
| <b>Figure II.12 :</b> procédé d'extraction continue à deux phases.....                                                               | 41 |

## Chapitre III

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure III.1:</b> Schéma cinématique .....                              | 43 |
| <b>Figure III.2 :</b> expérience pour mesurer la force d'écrasement .....  | 44 |
| <b>Figure III.3:</b> dimension du marteau .....                            | 46 |
| <b>Figure III.4:</b> schéma explicatif d'écrasement du l'olive .....       | 46 |
| <b>Figure III.5 :</b> schéma explicatif d'écrasement du l'olive .....      | 47 |
| <b>Figure III.6:</b> Représentation des efforts appliqués sur l'arbre..... | 50 |
| <b>Figure III.7 :</b> Digramme des efforts tranchant.....                  | 52 |
| <b>Figure III.8 :</b> diagramme des moments fléchissant.....               | 53 |

## Liste des figures

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure III.9 :</b> Catalogue Timken Des Roulements Rigides À Billes. .... | 60 |
| <b>Figure III.10:</b> Clavette rectangulaire.....                            | 62 |
| <b>Figure III.11:</b> Clavette rectangulaire monté sur l'arbre .....         | 62 |
| <b>Figure III.12 :</b> Dimensionnement de la clavette .....                  | 63 |

# Liste des tableaux

## Chapitre I

|                                                                                                                                    |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| <b>Tableau I.1:</b> Les différents types de broyeur en fonction de la dureté du matériau et de la taille du produit à obtenir..... | 9 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

## Chapitre III

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau III.1:</b> les éléments de la chaîne cinématique.....         | 44 |
| <b>Tableau III.2:</b> caractéristique du roulement rigide à billes ..... | 58 |

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

# Introduction générale

---

## Introduction générale

L'olivier, cet arbre béni et sacré dans toutes les civilisations de l'histoire humaine, connaît une distribution géographique assez large due à son adaptation à toutes les conditions édaphiques (liées aux caractéristiques du sol) et aux reliefs du sol. Mais il trouve une place de choix dans les pays du bassin méditerranéen, où, on en retrouve plus de 90 % d'oliviers.

Si l'olivier s'est installé si facilement dans tout le bassin méditerranéen, c'est parce qu'il a trouvé sa véritable terre d'adoption où il produit de « l'or liquide ».

L'huile d'olive, est le signe distinctif du régime agroalimentaire méditerranéen, c'est la principale source de matière grasse. Plusieurs études indiquent que l'huile d'olive, et en particulier l'huile d'olive vierge et plus encore l'huile d'olive vierge extra, est efficace dans la prévention contre plusieurs maladies.

La production mondiale de l'huile d'olive de la campagne 2017/2018 atteindrait 2 900 000 tonnes. Les principaux pays producteurs d'huile d'olive sont l'Espagne avec 56%, l'Italie avec 8%, la Grèce avec 8% et la Turquie avec 8% de la production mondiale.

Pour cette valeur agroalimentaire et sanitaire de l'huile d'olive l'être humain a utilisé en première fois des broyeurs en pierre mobile (broyeur à meule) pour leur extraction.

La meule est un instrument employé depuis plusieurs millénaires, qui a subi de nombreuses modifications au fil des âges. Il existe des meules anciennes de diverses dimensions, coniques cylindriques ou cylindro-coniques. L'action mécanique est exercée par la rotation d'une ou plusieurs grandes roues en pierre (généralement de granit) sur la masse travaillée. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, la libération des sucs n'est pas provoquée par l'écrasement, mais par l'action de frottement des arêtes coupantes des fragments de noyau sur la pulpe des olives. Le rôle des roues est donc de concasser les noyaux.

Les broyeurs à marteaux est entièrement métalliques sont les appareils préférés dans les installations modernes à cycle continu parce qu'ils intègrent parfaitement les exigences de l'automatisation. Ils se composent d'une série d'éléments métalliques tournant rapidement et munis d'arêtes vives, marteaux ou couteaux variant en nombre et en épaisseur ; leur vitesse de rotation est de 1200-3000 tours par minute. Ils sont mus par des moteurs d'une puissance de dix à quarante kilowatts. La rupture de la pulpe est causée par les chocs des dispositifs

## Introduction générale

---

tournant à grande vitesse, et, également par l'action mécanique des fragments de noyaux. Le traitement se fait en des temps très brefs, de l'ordre de quelques secondes, et se prête bien à un fonctionnement en cycle continu avec chargement et déchargement automatisé.

L'objectif de ce travail consiste à une étude générale du broyeur à marteau qui ce compose de 4 marteaux avec couplage directe. Ainsi, ce travail s'articule autour des chapitres suivant :

Le premier chapitre est consacré à la description de la structure de huile d'olives et des broyeur en générales.

Le second chapitre parle sur les différentes applications d'huile d'olives et de différents broyeurs qui existe.

Le dernier chapitre nous l'avons consacré aux calculs et dimensionnements de l'arbre de transmission, calcul de puissance utile, la force d'écrasement et les roulements.

# CHAPITRE I

**Généralité sur l'huile d'olives et les broyeurs**



## I.1 Introduction

L'huile d'olive vierge est l'huile obtenue du fruit de l'olivier uniquement par des procédés mécaniques ou d'autres procédés physiques dans des conditions ; thermiques notamment, qui n'entraînent pas d'altération de l'huile, et n'ayant subi aucun traitement autre que le lavage, la décantation, la centrifugation et ...etc.

## I.2 Généralité sur l'huile d'olives

### I.2.1 Origine de l'olivier

L'olivier est parmi les plus vieux arbres cultivés dans le monde [1]. Les premiers vainqueurs des jeux olympiques au 7e siècle avant Jésus Christ se voyaient couronnés de rameaux d'olivier et recevaient des jarres d'huile d'olive en récompense de leurs performances. De tout temps l'olivier a été associé à des vertus telles que la sagesse, la paix, la victoire, la richesse, la fertilité et la fidélité. L'origine de l'olivier a été le sujet de plusieurs débats [2]. Bien que des fossiles datant de la période tertiaire (il y a 1 million d'années) aient prouvé l'existence d'un ancêtre de l'olivier en Italie [3], il paraît certain que l'olivier existait depuis 5000 ans dans la région qui correspond à l'ancienne Perse et Mésopotamie, puis sa culture s'est étendue dans le "croissant fertile", aire englobant l'Egypte, la Syrie, la Palestine et la Phénicie [4].

L'histoire de l'olivier se confond avec celle des civilisations qui ont vu le jour autour du bassin Méditerranéen. C'est ainsi que l'on a retrouvé des fossiles de feuilles d'olivier dans les gisements du Pliocène de Mon gardions (Italie), des restes fossilisés dans les couches du paléolithique supérieur en Afrique du Nord, des morceaux d'oléastres et des noyaux dans les excavations de l'Enéolithique en Espagne. En Algérie, la culture de l'olivier remonte à la plus haute antiquité. En effet, l'huile d'olive faisait l'objet d'un commerce intense entre Algérie et Rome, durant l'époque romaine et constituait l'une des bases essentielles des activités économiques des populations rurales. Des historiens et géographes, tels que Polybe au Ier siècle avant J.-C., Idrisi au Xe siècle et MAR mole au XVIe siècle, décrivaient avec admiration les olivettes qui assuraient la prospérité de l'Algérie. De nos jours nous rencontrons, dans certains coins reculés des hauts plateaux dénudés de toute végétation pérenne, de nombreux vestiges de pressoirs d'olives datant de l'époque Romaine [5].

## I.2.2 Définition

L'huile d'olive est une huile obtenue à partir du fruit de l'olivier, à l'exclusion des huiles obtenues par extraction avec des solvants, par des procédures de ré-estérification, ou par n'importe quel mélange avec d'autres types d'huiles [6]. A la différence des autres huiles végétales, l'huile d'olive ne requiert aucune étape de raffinage ni aucune transformation chimique.

Grâce à cette simplicité procédurale, l'huile d'olive a pu être fabriquée depuis l'antiquité. La technique a subi de nombreuses évolutions au cours du temps qui peuvent être regroupées en deux grandes catégories : les évolutions relatives au broyage des olives et les évolutions relatives à la séparation des différentes phases. Entre ces deux grandes étapes, la pâte d'olive est malaxée afin d'être homogénéisée et de permettre la coalescence des gouttelettes d'huile.

## I.2.3 La composition de l'huile d'olives

L'huile d'olive est composée d'environ 99 % de triglycérides. Le 1 % restant constitue les composés mineurs ; il s'agit essentiellement (par ordre d'importance) : du scalène, des alcools tri terpéniques, des stérols ( $\beta$ -sitostérol), des phénols, et des dérivés du tocophérol [7].

Indice d'acide : 0,3–1,0

Indice d'iode : 80 – 88

Point d'éclair : 225 °C

Point de trouble : entre 5 et 10 °C

## I.2.4 Les caractéristiques de l'huile d'olive sont les suivantes

- Point de fumée : 210 °C contre 180 °C pour la température normale de friture ;
- Densité : 0,92 (un litre d'huile d'olive pèse environ 920 grammes) ;
- Apport calorique : 900 kcal pour 100 grammes ;
- Conservation : l'huile d'olive rancit moins vite grâce à son indice d'iode peu élevé : 78/88 contre 83/98 pour l'huile d'arachide et 120/132 pour l'huile de tournesol.

## Chapitre I : Généralité sur l'huile d'olives et les broyeurs

---

Elle se conserve mieux si elle est stockée au frais et protégée de la lumière. Il est préférable de la consommer dans les deux années suivant sa fabrication.

L'huile d'olive est composée d'environ 99 % de triglycérides. Le 1 % restant constitue les composés mineurs ; il s'agit essentiellement (par ordre d'importance) : du scalène, des alcools tri terpéniques, des stérols ( $\beta$ -sitostérol), des phénols, et des dérivés du tocophérol.

Les triglycérides de l'huile d'olive, comme tous les triglycérides qui constituent les huiles et les graisses, ont des molécules formées d'un résidu de glycérol et de trois résidus d'acides gras de différentes sortes, dont la répartition est caractéristique de l'huile d'olive, et à un niveau de détail plus poussé, des différentes variétés ou du lieu de production. Lorsque des triglycérides sont dégradés, les résidus d'acides gras qui les constituaient peuvent s'en détacher et former des « acides gras libres ». Leur pourcentage dans l'huile est ce que l'on appelle « acidité » de l'huile, et s'exprime en « grammes d'acide oléique libre pour 100 grammes d'huile ». Cette acidité ne se perçoit jamais sous forme de goût acide, mais sous la forme de telle ou telle dégradation, comme un goût de moisi [8].

### I.2.5 Les types de l'huile d'olives

Les 1types d'huile d'olive sont :

- L'huile d'olive extra vierge :

L'huile d'olive est dite vierge extra lorsqu'elle est issue d'une première pression à froid. Une fois cueillies, les olives sont pressées mécaniquement à température ambiante sans subir aucun traitement chimique ni raffinage.

- L'huile d'olive vierge :

On définit une huile d'olive vierge comme une huile qui n'a pas été coupé avec d'autres huiles d'olive. C'est une huile d'olive pure. L'huile d'olive dite vierge désigne aussi une huile d'olive qui a été peu chauffée afin de conserver au mieux ses propriétés.

- L'huile d'olive (Mélange de raffiné et de Vierge) :

Il s'agit de l'huile obtenue par le raffinage de l'huile d'olive vierge. Ce procédé industriel réduit l'acidité de l'huile et élimine les substances oxydées. Sa teneur en acidité libre, exprimée en acide oléique, ne dépasse pas 0,3 gramme pour 100 grammes.

- L'huile de grignons d'olive (mélange de grignons d'olive raffinée et vierge) :

L'huile de grignons d'olive est l'huile obtenue par traitement aux solvants ou d'autres procédés physiques, des grignons d'olive, à l'exclusion des huiles obtenues par des procédés de ré estérifiassions et de tout mélange avec des huiles d'autre nature.

## **I.3 Généralité sur les broyeurs**

### **I.3.1 Définition d'un broyeur**

Machine ou appareil dont la fonction est de broyer, de concasser, de réduire l'état de particule. Le broyeur peut parfois être considéré comme un véritable moyen de production notamment dans l'agroalimentaire.

Exemple : extraction de l'huile d'olives

### **I.3.2 Caractéristiques principales d'un broyeur**

- Grande fiabilité.
- Durée de vie des éléments principaux de broyage.
- Coûts d'exploitation et d'entretien peu élevés.

### **I.3.3 Broyage**

Le broyage (ou trituration) des olives a pour but de détruire les cellules des olives afin que celles-ci puissent ensuite libérer leur contenu. A ce stade du procédé, les olives sont réduites en une pâte plus ou moins homogène qui devra être malaxée.

Une autre définition générale le broyage est une opération consistant à diviser un solide, pour augmenter sa surface spécifique (surface développée de la poudre par unité de masse) et donc sa réactivité. En minéralurgie, le broyage se fait jusqu'à la maille de libération [9].

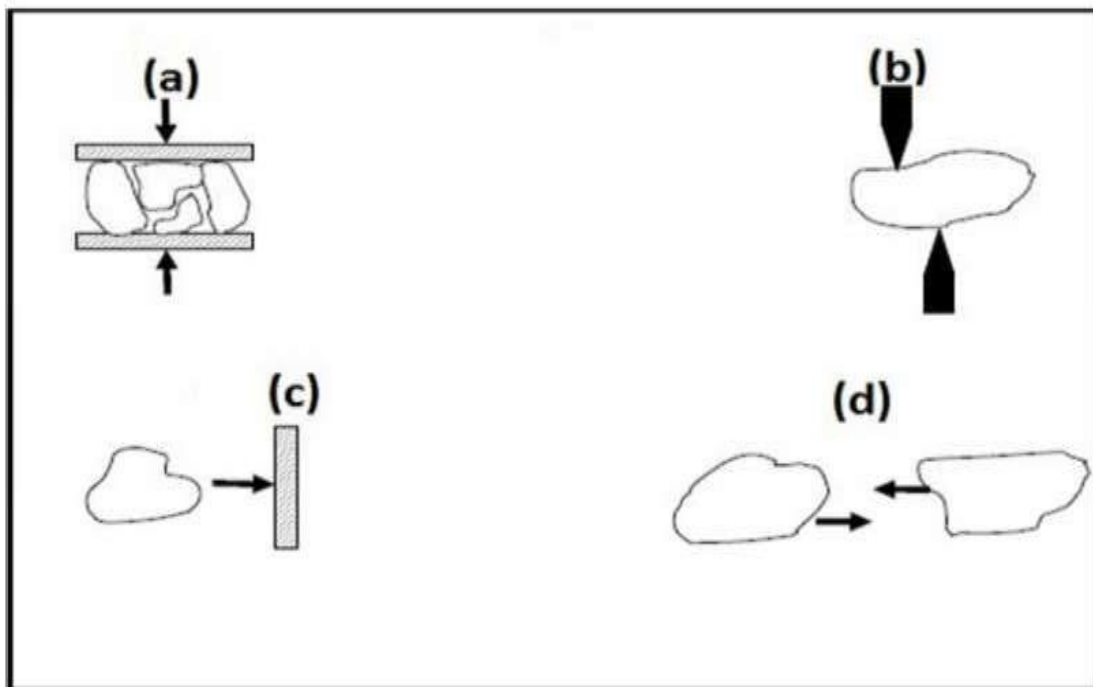
La maille de libération d'un minéral est la taille au-dessous de laquelle une particule de minéral est parfaitement libérée, c'est-à-dire constituée uniquement de l'espèce minérale à valoriser.

En chimie, en pharmacie et en cuisine, le broyage manuel se fait à l'aide d'un mortier et d'un pilon.

# Chapitre I : Généralité sur l'huile d'olives et les broyeurs

Dans la nature il existe quatre types d'actions principales qui nous permettent de solliciter une matière à savoir ; compression, traction, cisaillement, flexion ou la torsion. Mais aussi on peut la solliciter à une combinaison de ces actions [10] ;

- (A) : par compression ou par friction
- (b) : par cisaillement
- (c) : par choc contre une paroi
- (d) : par collision entre les éléments à broyer



**Figure I.1** : schéma des différents modes de broyage

## I.3.4 Les différents types de broyages

La plupart des applications alimentaires peuvent se traiter sur sept ou huit grands types de

Broyeurs :

- Les broyeurs à couteaux (parfois aussi appelés granulateurs)
- Les broyeurs à marteaux
- Les broyeurs à broches

## Chapitre I : Généralité sur l'huile d'olives et les broyeurs

---

- Les broyeurs dits universels : ils deviennent l'un ou l'autre des types ci-dessus par simple

Changement d'un couple rotor-stator

- Les broyeurs à classificateur intégré
- Les broyeurs à jets de fluide et lit fluidisé
- Les broyeurs à cylindres (ou rouleaux)
- Les broyeurs à meules

Le choix d'un broyeur se fait en deux temps [11] :

Dans une première étape, il convient de déterminer les types d'appareils convenables en se basant sur la taille des particules désirées en sortie de l'opération et sur la dureté du matériau à broyer (Figure 2).

Dans un second temps, on affine la sélection en introduisant les contraintes spécifiques du produit traité et du secteur industriel.

Pour une taille initiale donnée, la taille finale désirée va imposer l'énergie à fournir lors de l'étape de broyage. Pour des matériaux faciles à broyer et pour une finesse moyenne, les broyeurs à impact sont des outils convenant à de nombreuses applications. En revanche, l'obtention d'un produit très fin nécessitera souvent l'utilisation de corps broyant ou de broyeurs à jets de fluide.

Une contrainte supplémentaire souvent imposée par les propriétés d'usage du produit, porte sur la distribution de tailles des particules. Une distribution resserrée imposera éventuellement l'utilisation d'un dispositif de classification qui peut selon les cas être intégré au broyeur ou externe.

## Chapitre I : Généralité sur l'huile d'olives et les broyeurs

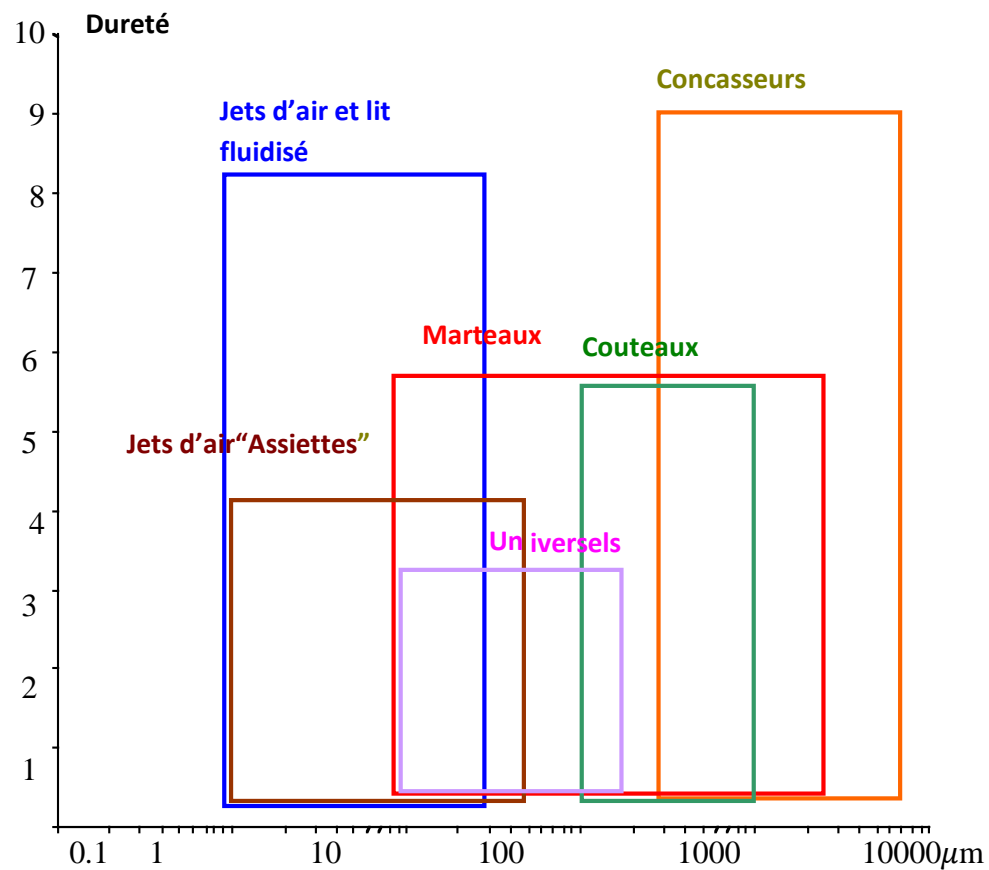
| Taille (µm)                                  |       | 1000   | 500    | 150   | 50    | 10   | < à 10 | < à 1 |
|----------------------------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|------|--------|-------|
|                                              | >5000 | à 5000 | à 1000 | à 500 | à 150 | à 50 |        |       |
| Broyeurs à couteaux                          | +     | +      | +      | +     | -     | -    | -      | -     |
| Concasseurs                                  | +     | +      | +      | -     | -     | -    | -      | -     |
| Broyeurs universels et à broches             | -     | +      | +      | +     | +     | +    | -      | -     |
| Broyeurs à marteaux                          | -     | -      | +      | +     | +     | +    | -      | -     |
| Broyeurs mécaniques à classificateur intégré | -     | -      | -      | +     | +     | +    | -      | -     |
| Broyeurs à cylindres                         | -     | -      | -      | +     | +     | +    | -      | -     |
| Broyeurs à jets de fluids                    | -     | -      | -      | -     | -     | +    | +      | -     |
| Broyeurs à corps broyants en voie sèche      | -     | -      | -      | -     | -     | +    | +      | +     |
| Broyeurs à corps broyants en voie humide     | -     | -      | -      | -     | -     | -    | -      | +     |

**Tableau 1 :** Les différents types de broyeur en fonction de la dureté du matériau et de la taille du produit à obtenir.

## Chapitre I : Généralité sur l'huile d'olives et les broyeurs

Deux autres facteurs importants pour le choix d'une technologie de broyage sont la dureté du matériau et son abrasivité. Pour des matériaux de dureté supérieure à 3 sur l'échelle de Mohs ou particulièrement abrasifs, on aura recours à des appareils munis de revêtements spécifiques ou constitués de matériaux convenablement traités pour résister à l'abrasion.

Ces deux aspects permettent dans la plupart des cas de réduire le choix à deux ou trois catégories d'appareils à partir du tableau 1.

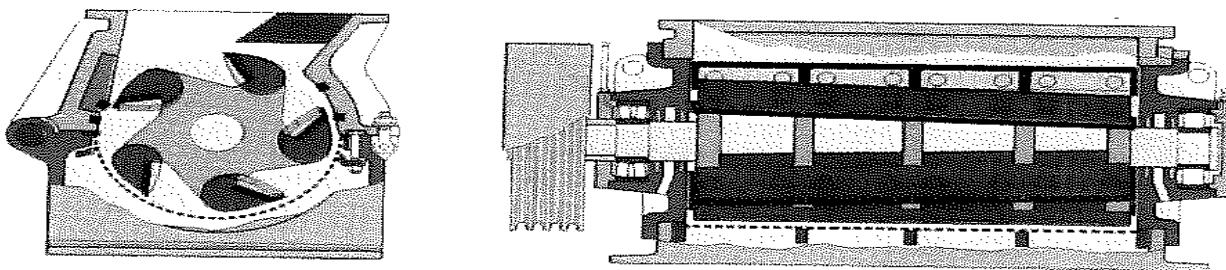


**Figure I.2 :** Les différents types de broyeur en fonction de la dureté du matériau et de la taille du produit à obtenir.



### I.3.4.1 Broyeurs à couteaux

Parfois appelés granulateurs, ils mettent en œuvre un système rotor-stator qui cisaille le produit broyé. Leur capacité de production dépend de la puissance fournie (de l'ordre de 250 à 1500 Watts), de la vitesse du rotor ainsi que de la longueur et du nombre des couteaux dont la forme peut aussi éventuellement varier. Ces appareils sont particulièrement recommandés pour le traitement des matériaux fibreux tels que les légumes, les plantes aromatiques et certaines épices mais aussi pour les matières plastiques et le papier. Les tailles obtenues sont généralement de l'ordre de 1 à 6 mm. À titre indicatif, les débits peuvent être très importants et dépasser plusieurs dizaines de tonnes à l'heure comme lors du broyage des betteraves en sucrerie. Certains appareils sont munis de dispositifs d'alimentation permettant d'introduire des pièces de grandes tailles.

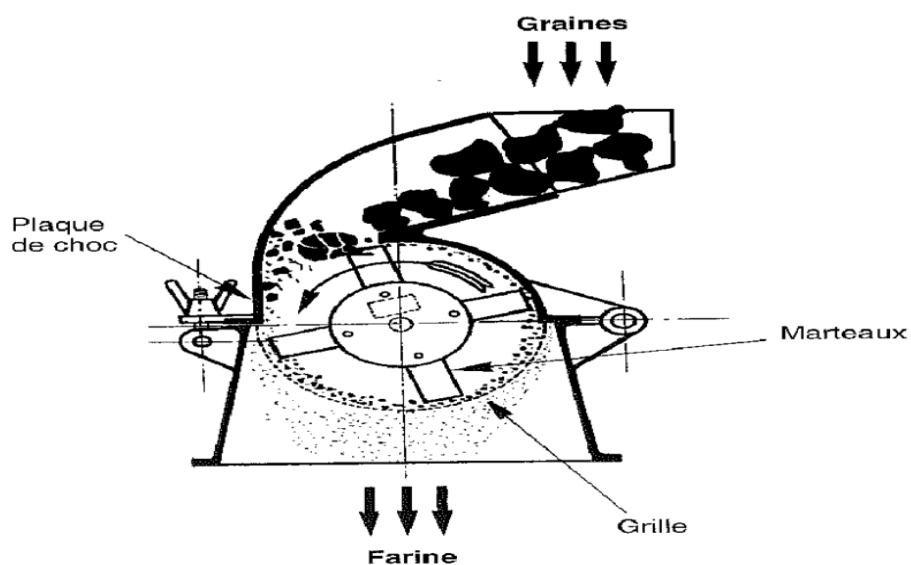


**Figure I.3:** Schéma d'un broyeur à couteaux

### I.3.4.2 Broyeur à marteaux

Ils produisent une réduction de taille par impact entre les particules et une surface dure. Les Principaux facteurs régissant le procédé sont

- la taille et la forme du tamis associé
- le type de marteaux
- la vitesse périphérique des marteaux ( $20 \text{ à } 60 \text{ m.s}^{-1}$ )

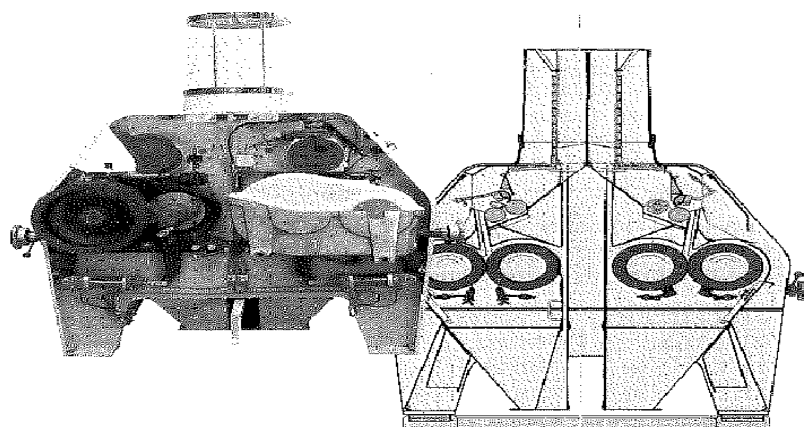


**Figure I.4** : Les différents éléments d'un broyeur à marteaux

Ces appareils couvrent un large domaine de distributions granulométriques dans la mesure où on peut changer les marteaux et les grilles. Ils permettent de traiter des matériaux tendres et de dureté moyenne avec des tailles de particules en sortie de 90 à 850  $\mu\text{m}$  pour des débits allant jusqu'à 15 t.h. Certaines configurations permettent de travailler en broyage cryogénique en utilisant de l'azote liquide pour refroidir et fragiliser les matériaux broyés. Ils sont notamment utilisés pour le traitement de produit fibreux, thermoplastique, ou sensible à l'échauffement.

### **I.3.4.3 Broyeurs à cylindres**

Très utilisés dans les IAA, on les trouve dans de nombreux secteurs. (Voir & 5). Ils comportent généralement plusieurs paires de cylindres. Pour chaque paire, les cylindres tournent en sens opposé et à des vitesses différentes. La surface des cylindres (lisses ou cannelés), leurs vitesses de rotation et leur écartement conditionnent la finesse de la mouture. Lorsque les cylindres sont lisses, compression et frottements sont les moteurs de la fracture tandis qu'avec des cylindres cannelés une action de cisaillement existe également.



**Figure I.5 :** Schéma d'un broyeur à cylindres

### I.3.4.4 Broyeur à meule

Avant l'utilisation généralisée des appareils à cylindres en meunerie, on utilisait des broyeurs où une meule en pierre mobile venait écraser le grain sur un plateau circulaire fixe. Les modes de fragmentation mis en jeu étant la compression, l'abrasion et le cisaillement. La principale utilisation actuelle de ce type de broyeur se trouve aujourd'hui dans la production d'huile d'olive.



**Figure I.6 :** Corse Pressoir à olives à meule

### I.3.4.5 Broyeurs universels

Ils se caractérisent par l'interchangeabilité de couples rotor-stator (couteaux, marteaux, broches, disques de cisaillement) qui leur donne une grande diversité d'applications. Ils sont souvent présents dans les laboratoires et en petite production industrielle.

Souvent classés dans la catégorie des broyeurs à impacts pour broyage fin, ils génèrent la fragmentation par trois phénomènes :

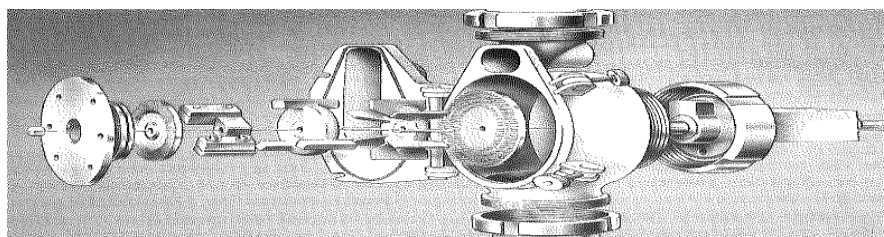
- les impacts entre particules et corps broyant,
- les chocs sinter particulaires
- l'attrition

Lors de l'utilisation d'un module rotor-stator de type disque à broches, le solide à broyer entre par gravité au niveau de l'axe de la chambre de broyage et est projeté par la force centrifuge contre les broches fixes du stator. La vitesse du rotor peut atteindre des vitesses périphériques de l'ordre de 200 m/s. La taille des particules est, dans cette configuration, déterminée par le débit d'alimentation et la vitesse du disque à broches.

La possibilité de modifier le couple " rotor-stator " permet une grande flexibilité quant à la distribution granulométrique obtenue. Un jeu d'outils de type "marteaux-tamis" permet ainsi d'effectuer des opérations de broyage moyen fin (500 à 1000  $\mu\text{m}$ ) à très fin (50 à 150  $\mu\text{m}$ ).

Ce type d'appareil est particulièrement adapté aux opérations de broyage fin qui ne nécessitent pas le niveau d'énergie mis en œuvre dans les broyeurs à jets de fluide ou n'exigeant pas une grande précision sur la limite de taille supérieure, précision accessible au moyen des classificateurs intégrés sur ce dernier type de broyeurs.

En ce qui concerne la dureté, les broyeurs universels traitent des produits de dureté en général inférieures à 3 sur l'échelle de Mohs notamment du fait de la dureté du matériau constitutif de l'outillage (broches).



**Figure I.7 :** Schéma d'un broyeur universel

Suivant les conditions opératoires et le type de matériau broyé, ces broyeurs permettent d'obtenir des diamètres de particules d  $97=10 \mu\text{m}$  pour les plus fines et souvent de l'ordre de  $d 97=200 \mu\text{m}$ . Ils permettent en outre l'obtention de distributions relativement étroites et leurs polyvalence les rend très prisés dans différents secteurs industriels. : Pharmacie, agroalimentaire, poudres minérales, chimie (engrais, pesticides, peintures, pigments). Certains appareils disposent de plus de configurations permettant des opérations de broyage cryogéniques. L'utilisation de modules à broches avec des chambres de grandes tailles peut par ailleurs permettre dans certains cas une bonne dissipation de la chaleur générée et donc de traiter des produits thermosensibles tels que le cacao.

### **I.3.4.6 Broyeurs équipés d'un dispositif de classification intégré**

Pour l'obtention de distributions granulométrique resserrées, un équipement fréquemment mis en œuvre est le couplage d'un broyeur à marteaux avec un dispositif de classification à air intégré au broyeur. Ce dispositif ne va autoriser la sortie du broyeur qu'aux particules ayant atteint la finesse requise. Dans ce type de broyeurs, le produit à

Broyer est introduites dans la zone de broyagesur un rotor à marteaux ou à broches. Lorsque la taille des particules diminue, celles-ci sont entraînées par un courant d'air et passent à travers une roue de classification qui permet la récupération des particules suffisamment fines et recycle les grosses dans la zone de broyage. Le balayage d'air permet, par ailleurs le maintien des particules à une température convenable pour traiter des produits à bas point de fusion. Ce type d'appareil peut notamment être utilisé pour le broyage du sucre. Dans ces appareils, la granulométrie est essentiellement contrôlée par trois facteurs : la vitesse du rotor, celle de la roue de classification et enfin, le débit d'air.

La capacité de production est fonction du débit d'air et de la taille requise en sortie du broyeur.

Ce type d'appareil est en particulier intéressant pour les produits thermosensibles, et des minéraux comme le talc ou le kaolin. Selon les matériaux traités et le type d'application il est ainsi possible d'accéder à des granulométries de l'ordre de  $30 \mu\text{m}$ . Certains de ces appareils sont de plus, spécialement conçus pour être nettoyés facilement ce qui les rend intéressant dans des secteurs d'application tels que la pharmacie ou les poudres d'enrobage.

### I.3.4.7 Broyeurs à jets de fluide

Ce type de broyeurs opère la réduction de taille en générant des collisions : les particules, accélérées par des jets de gaz à grande vitesse sont fragmentées par choc, soit sur une plaque « Cible » soit par collision inter particulaire.

Deux grandes classes d'installations se rencontrent en pratique : celles munies d'un système de classification intégré ou celles qui n'en ont pas. Dans la première catégorie se trouvent les broyeurs à jets d'air et à lit fluidisés et éventuellement certains équipements à cible.

Dans la seconde classe se trouvent notamment les broyeurs dits « à assiette » (pancake mills) et les broyeurs à boucle de type « jet o mizer ». Ces appareils conviennent bien pour des matériaux cristallins fragiles (dureté inférieure à 4 sur l'échelle de Mohs) comme ceux que l'on rencontre en chimie fine et en pharmacie (acide ascorbique). Leur usage est manifestement limité.

Les broyeurs à assiette sont très appréciés pour leur conception particulièrement simple et facilité de nettoyage : ils sont constitués d'une chambre de broyage cylindrique de faible hauteur qui est munie de buses disposées tangentiellement sur la paroi latérale. L'alimentation en produit se fait par l'intermédiaire d'un injecteur pneumatique (de type tube de Venturi) qui accélère les particules avant de les projeter dans la chambre de broyage. Le produit fragmenté par chocs est alors soumis d'une part à la force centrifuge due au vortex créé par les buses latérales et d'autre part à la force de friction qui a tendance à entraîner les particules dans le courant gazeux vers l'axe de la chambre de broyage. Ces deux forces ont ainsi un effet de classification qui maintient les particules de tailles grossières dans la zone périphérique (zone de broyage) et entraîne vers le centre les fines qui rejoignent la sortie avec le courant gazeux.

Les broyeurs à lit fluidisé sont utilisés pour obtenir des produits fins à ultra fins avec des matériaux dont la dureté peut être élevée (10 sur l'échelle de Mohs). Ces appareils permettent de broyer des produits thermosensibles, éventuellement sous atmosphère inerte. Ils ne nécessitent pas un calibrage particulier de l'alimentation, autorisent le travail

Matériaux abrasifs. Du point de vue de la consommation énergétique, les broyeurs à jets d'air et à lits fluidisés sont en général plus économes que les broyeurs à assiette et permettent de plus l'obtention de distributions granulométriques plus étroites. D'un point de vue pratique, ils sont constitués de deux zones distinctes : dans la partie basse, se trouvent des buses

permettant de générer des jets d'air concourant définissant la zone de broyage. Dans la partie haute se trouve la zone de fluidisation au sommet de laquelle des sélecteurs dynamiques qui renvoient les grosses particules dans la zone de broyage et laissent sortir celles ayant la finesse requise. Ce type d'appareil est notamment utilisé pour la micronisation de sucre caramélisé et décaféine.



**Figure I.8 :** Schéma d'un broyeur à jets d'air opposés avec classificateur intégré

### **I.4 Applications du broyage aux industries agroalimentaires :**

Dans les industries agricoles et alimentaires, le broyage est une opération unitaire très répandue. Tous les types de broyeurs peuvent être rencontrés : par compression, par impact, par cisaillement ou encore par attrition.

Cependant, on utilise souvent le broyage comme un moyen de séparer les constituants de nature histologique différente que contient un organe ou une graine. C'est, par exemple, le cas des graines de céréales, dont on souhaite séparer l'albumen du germe et des enveloppes. La relative fragilité de ce type de matériau explique la grande importance qu'ont dans ces industries les appareils dont le principe repose sur un écrasement c'est-à-dire essentiellement les appareils à cylindres. Qu'ils soient lisses ou cannelés, on les retrouve dans de nombreuses industries à commencer bien sûr par celles des céréales mais aussi celle des oléagineux, du café, de la chicorée, Leur réglage est souvent d'une extrême finesse et requiert un importants savoir-faire.

Le résultat de cette opération est une population de particules hétérogènes non seulement en taille mais également en densité et en composition car issues de diverses provenances au sein de la graine. Il faudra donc mettre en œuvre d'autres opérations permettant de séparer ces particules sur ces critères.

L'autre grande famille de broyeurs largement utilisée dans les IAA est celle des broyeurs à marteaux. Rustiques, facilement modulables, relativement simples à régler et à entretenir, on les rencontre souvent dans les phases amont des procédés de fabrication où ils servent de pré-traitement de la matière première.

Très souvent le broyage ne peut pas être considéré comme une opération indépendante de celles qui le précèdent ou qui le suivent dans le procédé. Plusieurs broyages sont souvent nécessaires pour obtenir le produit souhaité, parfois plusieurs types de broyeurs sont même requis. Enfin, il faut noter que l'opération de broyage est presque toujours associée à une opération de classification et souvent on trouvera en série une succession de phases de broyage- classification. Pour des raisons didactiques, ces deux étapes sont traitées séparément dans cet ouvrage, mais il convient de ne pas perdre de vue leur étroite et constante imbrication.

On trouvera dans les paragraphes suivants une rapide présentation de quelques utilisations du broyage dans les différentes filières de l'industrie agroalimentaire.

### **I.4.1 Industrie des corps gras**

L'opération unitaire centrale des huileries est le pressage qui à partir des graines ou des fruits va donner l'huile. Cependant, il est rare que l'on puisse procéder directement à une extraction par pressage -ceci est vrai également pour les jus de fruits- sans qu'il soit nécessaire de la faire précéder d'une étape de concassage et/ou de décorticage pour les graines comportant une coque qu'il faut éliminer (tournesol, arachide, soja,).

- Les décors tiqueurs utilisent soit un broyage ménagé entre des disques ou des rouleaux ou encore la projection des graines sur une cible où la coque vient se briser.
- Dans le cas du soja, un concassage est réalisé par des appareils spécifiques à deux paires de rouleaux cannelés.
- Les graines sont ensuite broyées dans des opérations appelées laminage ou aplatissage : on utilise le plus souvent des aplatisseurs à cylindres lisses (soja, colza, tournesol). L'aplatissage de la graine concassée conduit à un flocon dont la forme, en raison d'une grande surface de contact, est bien adapté à une étape éventuelle d'extraction par solvant.



Pour des graines particulièrement dures (amandes de palmiste) on peut utiliser des broyeurs à marteaux. L'arachide est aussi pré-broyée sur broyeurs à marteaux pour obtenir des fragments de quelques millimètres. Le coprah (chair de la noix de coco) est d'abord passé dans des broyeurs à couteaux pour obtenir des morceaux de 50 mm avant de passer sur des appareils à cylindres cannelés.

### **I.4.2 Industrie fromagère**

Certains fromages présentent dans leur fabrication une étape de broyage. A titre d'exemple on peut citer le laguiole, fromage bénéficiant d'une A.O.C., et produit sur le plateau de l'Aubrac. Le tome frais égoutté subit une opération continue de broyage dans un appareil à cylindres cannelés, ce qui la réduit en "boulettes", lesquelles sont ensuite intimement mélangées à du gros sel dans un mélangeur à cuve.

### **I.4.3 Industrie des hydro colloïdes**

Ce sont des produits utilisés comme additifs dans l'industrie alimentaire. Leurs propriétés en font des texturants où l'on utilise leurs propriétés d'épaississants et de gélifiants. Ils peuvent être d'origine végétale, animale ou microbienne. On trouvera ci-dessous deux exemples d'étapes de broyage dans cette industrie.

- Les alginates sont extraits d'algues par un procédé de fabrication assez complexe qui comporte des étapes de broyage. Après extraction de l'acide alginique des algues brunes et conversion en sel d'alginate, le produit est pré-broyé à l'aide de sècheurs-broyeurs à marteaux, tamisé et les refus sont ré-broyés à l'aide soit de broyeurs à marteaux soit de broyeurs à attrition pour atteindre les granulométries souhaitées qui dans le cas des applications alimentaires sont souvent inférieures à  $125\mu\text{m}$ .

- La gélatine est un dérivé du collagène qui est largement utilisée dans les IAA mais aussi en pharmacie ou encore dans l'industrie de la photographie. Elle est extraite de la peau ou des os des bovins et des porcins. Après des étapes de prétraitement de la matière première, la gélatine est extraite à l'eau chaude acidifiée puis les solutions sont filtrées, concentrées, gélifiées et séchées. La gélatine est alors broyée grossièrement à l'aide de broyeurs à marteaux en grains de diamètre d'environ  $500\mu\text{m}$  avant qu'une étape ultérieure de broyage- tamisage ne termine le procédé. La granulométrie pour les applications alimentaires est variable. Elle se situe généralement entre 100 et  $300\mu\text{m}$ .

### **I.4.4 Industrie de la viande**

On va trouver dans cette industrie des opérations unitaires qui s'apparentent à un broyage. C'est le cas des opérations de hachage et tranchage pour la réalisation de viandes restructurées. Les déchets d'abattoirs sont souvent broyés à l'aide de broyeurs à couteaux (mono ou birotors) à débit élevé (jusqu'à 15t/h).

### **I.4.5 Industrie de la pêche**

Comme pour l'industrie de la viande certaines opérations comme le déchiquetage et le malaxage des filets de poisson (avant d'être amalgamés pour confectionner le surimi) peuvent être considérés comme des opérations de broyage. De même la fabrication d'hydrolysats de protéines de poisson fait appel à de telles opérations.

### **I.4.6 Alimentation animale**

Les aliments pour animaux sont souvent des mélanges de poudres plus ou moins grossières que l'on met en forme par granulation (pour les animaux de ferme) ou encore par extrusion (pour les animaux domestiques). L'obtention de ces poudres requiert des opérations de broyage. Le broyage des matières premières (céréales, graines protéagineuses, tourteaux,) est généralement effectué par broyeurs marteaux.

### **I.4.7 Industrie des épices et des condiments**

Certains types de broyage plus sophistiqués sont rencontrés dans cette industrie qui manipule des produits dont la valeur ajoutée peut être élevée :

- Broyage cryogénique des noix de muscade (coriandre, poivre,)
- Broyage par broyeur à deux rotors à broches et à large chambre sans tamisage.

Dans l'industrie des condiments, il existe aussi un broyage « à l'ancienne » à l'aide de meules de pierre horizontales afin de broyer les graines de moutarde préalablement diluées dans un liquide à base de vinaigre nommé verjus. Ce procédé assez rustique est pourtant d'une grande efficacité et toujours utilisé industriellement. En faisant travailler plusieurs dizaines de meules en série (chaque paire de meules ayant un diamètre de seulement une trentaine de centimètres) on peut broyer jusqu'à 12 tonnes par heure de graines. L'utilisation de broyeurs à couteaux existe également mais n'a jamais réussi à remplacer complètement l'usage des meules de pierre.

### I.4.8 Industries du café et de la chicorée

Après la torréfaction, les grains de café sont broyés par des machines à deux paires de cylindres pour atteindre la granulométrie souhaitée (environ 500  $\mu\text{m}$ ). Pour le café instantané, on transforme en poudre une solution obtenue par extraction à l'eau chaude du café broyé. Cette réduction en poudre peut être faite soit par atomisation soit par lyophilisation. Dans ce second cas, il faut parfois broyer entre les étapes de congélation et de sublimation. Le broyage cryogénique peut alors avoir lieu dans certains cas vers  $-8^{\circ}\text{C}$  après une congélation primaire ou encore vers  $-40$  à  $-45^{\circ}\text{C}$  après une congélation secondaire.

L'industrie de la chicorée se rapproche dans les procédés utilisés de celle du café. On y retrouve les mêmes phases du procédé avec les deux voies du produit : pour décoction et pour produit soluble.

### I.4.9 Industrie du chocolat

Dans le procédé de fabrication du chocolat, le broyage intervient à divers stades :

- Broyage des fèves après fermentation, séchage et torréfaction. On sépare par des appareils à cylindre les coques du contenu des fèves. Cette opération est parfois effectuée avant la torréfaction.

- Pour la fabrication du chocolat en poudre et des petits-déjeuners on broie des tourteaux de cacao (après dégraissage partiel) à l'aide de broyeurs du type broyeurs à broches afin d'obtenir une poudre de cacao de granulométrie voisine de celle du sucre en poudre avec laquelle on va la mélanger dans une proportion souvent voisine de 1 part de cacao pour 2 parts de sucre. A noter que le sucre doit lui aussi être broyé avant ce mélange et que la granulométrie recherchée est très fine, de l'ordre de 30  $\mu\text{m}$  pour que les cristaux soient imperceptibles une fois en bouche I.3.10. Industrie du sucre [12].

Le sucre est un produit obtenu par cristallisation après diffusion du saccharose dans de l'eau et plusieurs étapes de concentration dans des chaudières à multiple effets. Cependant en amont de l'étape de diffusion, dans le cas de la betterave comme dans celui de la canne, plusieurs étapes assimilables à du broyage sont pratiquées :

- Broyage de la betterave : un appareil à couteaux montés sur un disque de grand diamètre, découpe les racines de betterave en lanières rigides appelées cossettes.

Broyage de la canne à sucre : plusieurs étapes se succèdent. Une découpe par des bras

munis de couteaux tournant à très grande vitesse. Un défibrage broyant la canne entre deux cylindres. Un hachage intervient ensuite. Enfin, un broyage dans un moulin à cylindre est effectué.

De plus, on peut dans certains cas retrouver des étapes de broyage du produit fini pour homogénéiser ou obtenir une granulométrie particulière (sucre glace). La remise du sucre à une granulométrie moyenne se fait par exemple à l'aide de broyeurs à disques dentés. C'est ce type d'appareil qui est aussi utilisé pour le sel, les engrais, et autres produits durs.

### **I.4.10 Sous-produits et déchets**

Certains sous-produits agricoles qui étaient considérés comme des déchets font aujourd'hui l'objet d'une valorisation. Un cas typique est celui de la rafle de maïs qui est valorisée par broyage et tamisage. Un broyage dans des broyeurs à marteaux et un tamisage permettent de séparer les parties tendres et dures de la rafle qui sont ensuite re-broyées sur des broyeurs à cylindres pour décliner diverses granulométries correspondant à des applications différentes : traitement de surface de métaux, support de principes actifs pour la pharmacie vétérinaire, chaussettes absorbantes, ...

### **I.4.11 Industrie des céréales**

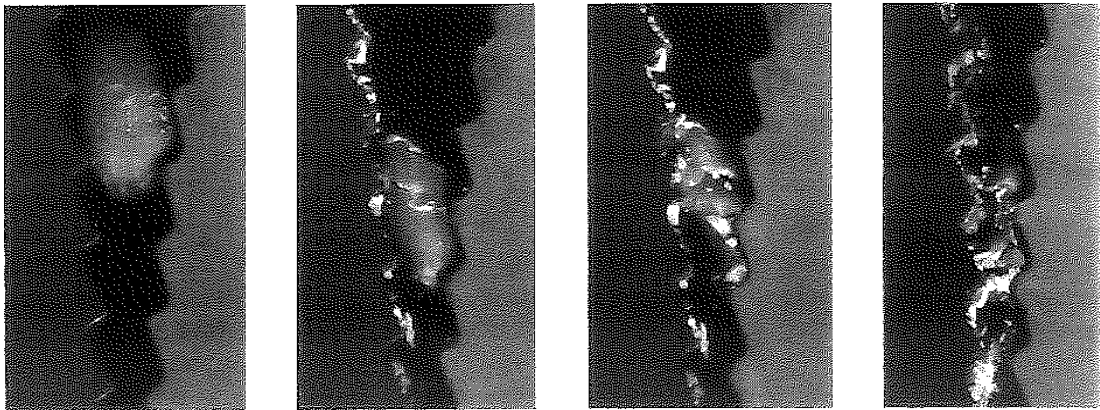
L'objet est de séparer les parties comestibles du grain (l'amande ou albumen) de celles qui ne le sont pas (les enveloppes Lignon-cellulosiques). Pour prédire l'aptitude d'un grain à sa fragmentation, on a développé des méthodes basées sur la dureté du grain (Particule size index) et son comportement lors d'un broyage de laboratoire en conditions normalisées. Cependant la structure hétérogène des tissus qui composent le grain conduit à des distributions granulométriques multimodales correspondant à des natures différentes : amidon, protéines, ...

Cette complexité liée à la variabilité biologique inhérente à toute production végétale fait que les opérations de broyage restent grandement empiriques, un savoir-faire très pointu ayant été développé au cours des siècles. Des études de modélisation [13] utilisant notamment le formalisme mathématique des " chaînes de Markov " et le calcul matriciel développé plus haut dans ce chapitre sont toutefois menées sans qu'une application industrielle n'ait pu encore voir le jour.

### I.4.11.1 Mouture par voie sèche

- **Meunerie : broyage de blé tendre en farine** [14].

Après un nettoyage et une humidification limitée, les grains de blé subissent une opération de broyage qui est effectuée par étapes, chacune étant séparée de l'autre par tamisage. Le plus généralement, le broyage est effectué à l'aide de cylindres métalliques lisses ou cannelés qui tournent en sens inverse à des vitesses égales ou différentes et dont on peut régler l'écartement. Ces broyeurs à cylindres sont particulièrement bien adaptés à des matériaux friables comme les grains de blé (figure 9).



**Figure I.9 :** Broyage d'un grain de blé dans un broyeur à cylindres

On établit des diagrammes qui définissent les passages de la mouture dans les différents broyeurs (appelés broyeurs, claqueurs et convertisseurs) et tamiseurs (tamis plans agités : les plansichters). On obtient la farine composée d'amidon et de protéines (le gluten) avec un rendement souvent supérieur à 75 % et les refus de tamisage que l'on appelle les sons et les remoulages qui contiennent les enveloppes du grain riches en cellulose et en minéraux.

- **Semoulerie : broyage du blé dur en semoule**

Dans son principe, une semoulerie travaille comme une meunerie. Cependant en raison de la granulométrie recherchée, les diagrammes seront différents et on trouve également des sasseurs qui permettent une séparation dans un courant d'air pour mieux séparer les semoules des enveloppes du grain moins denses.

- **Semoulerie de maïs**

Les semoules proprement dites ont une granulométrie comprise entre 200 et 750 µm. Elles sont utilisées pour diverses applications alimentaires comme la polenta ou encore les biscuits apéritifs extrudés. Les produits à grosse granulométrie sont divisés en deux catégories : les particules de 3 à 6 mm (appelées "hominy") destinées à devenir des flocons pour petits déjeuners et celles à granulométrie plus fine de 0,75 à 2 mm (les "gris") utilisées en brasserie. L'industrie brassicole utilise en effet, ce qu'elle appelle des grains crus, qui sont en fait une source d'amidon et qui proviennent de maïs broyé ou d'autres céréales telles le riz (utilisé notamment aux USA).

La difficulté est ici de générer le moins de fines possible. On trouve généralement un premier broyage effectué par un appareil à marteaux suivi d'un broyage sur un appareil à cylindres.

#### **I.4.11.2 Mouture par voie humide en amidonnerie/glucoserie**

Cela concerne principalement le broyage du maïs dans l'industrie de l'amidon. On parle de mouture par voie humide car la première étape est un trempage par opposition à la mouture par voie sèche où seule une hydratation limitée est utilisée. Après nettoyage des grains, l'amidon est séparé du reste du grain par des procédés physiques :

- Trempage effectué à 50°C pendant 24 à 48h dans de l'eau additionnée de 0,2 à 0,4% de SO<sub>2</sub>. Le trempage est réalisé à contre-courant par passages successifs des grains dans plusieurs cuves;
- Broyage grossier qui permet le dégermage ou séparation de l'embryon par densité. Il est effectué par des broyeurs à attrition à meules dont l'écartement est suffisant pour garder intact les embryons. Ceux-ci sont récupérés par flottation à l'aide d'hydro cyclones. Ils seront ensuite lavés, séchés et pressés pour obtenir de l'huile et des tourteaux valorisés en alimentation animale;
- Broyage final sur broyeurs à disques et séparation des sons par double tamisage. Les sons, matières cellulosiques rejoignent les autres sous-produits de cette industrie pour une valorisation en alimentation animale.

### **I.4.11.3 Industrie de la bière**

Le malt qui est de l'orge stoppée par séchage à un stade bien précis du processus de germination constitue la matière première des industries de brasserie.

Le malt est parfois ré-humidifié avant l'étape de mouture. On procède à un broyage assez grossier du malt, le concassage, donnant une mouture peu homogène. Le but est de garder les enveloppes des grains entières car elles serviront de support de filtration lors de l'étape de brassage. Le grain est broyé en gruaux qui ne doivent pas avoir une mouture trop fine qui compromettrait cette étape de filtration.

Les équipements utilisés sont des broyeurs à plusieurs paires de cylindres (généralement 2 ou 3), spécifiquement développés pour broyer le malt. Contrairement aux appareils utilisés en meunerie et en semoulerie, ils comportent des tamis qui peuvent se trouver entre deux paires de cylindres. Les débits peuvent atteindre 10t/h.

### **I.4.11.4 Féculerie**

La fécule est le nom donné à l'amidon des tubercules de pommes de terre et de manioc. Ces deux plantes voient au cours du procédé leurs tubercules subir une opération de râpage qui peut être assimilée à un broyage.

## **I.5 Conclusion**

Le broyage est l'une des opérations unitaires les plus courantes dans les industries agroalimentaires. Elle s'appuie généralement sur une longue expérience où l'empirisme a prévalu. Un savoir-faire tout à fait considérable a peu à peu été établi. Cependant on se rapproche des limites d'un tel système et il apparaît de plus en plus qu'une démarche scientifique est nécessaire pour faire évoluer cette opération. Cette démarche est celle du génie des procédés. Il s'agit d'utiliser à la fois la modélisation numérique pour la conception et le dimensionnement de procédés industriels mais également de s'intéresser aux phénomènes mis en jeu à l'échelle de la particule (voire de la molécule) et des interactions avec ses congénères. Outre cette approche multi-échelle on va également privilégier une approche intégrée comprenant non seulement l'opération de broyage elle-même avec ses caractéristiques propres (rendement énergétique, propriétés du produit des coproduits et des sous-produits éventuels, etc.) mais également les opérations amont et aval au sein desquelles l'opération de broyage s'insère.







# CHAPITRE II

**Application à l'huile d'olive**

# Chapitre II : Application à l'huile d'olive

## II.1 Introduction

L'extraction de l'huile des olives peut se faire très simplement. En écrasant une poignée d'olives dans la main, on peut voir s'échapper quelques gouttes d'huile. Dès l'Antiquité, les hommes ont donc extrait l'huile des olives. Au départ avec des moyens rudimentaires puis en améliorant les techniques pour améliorer les rendements. D'autre part l'homme a développé les moyens pour faciliter la production d'huile d'olive

## II.2 Application à l'huile d'olive

### II.2.1 L'extraction de l'huile d'olive

C'est le processus industriel, réalisé dans un moulin à huile, dont l'objet est d'extraire l'huile des drupes de l'olivier. Ce processus comprend deux étapes fondamentales : la préparation de la pulpe (broyage) suivie de la séparation de la fraction huileuse de l'autre composant solide et liquide (extraction proprement dite).

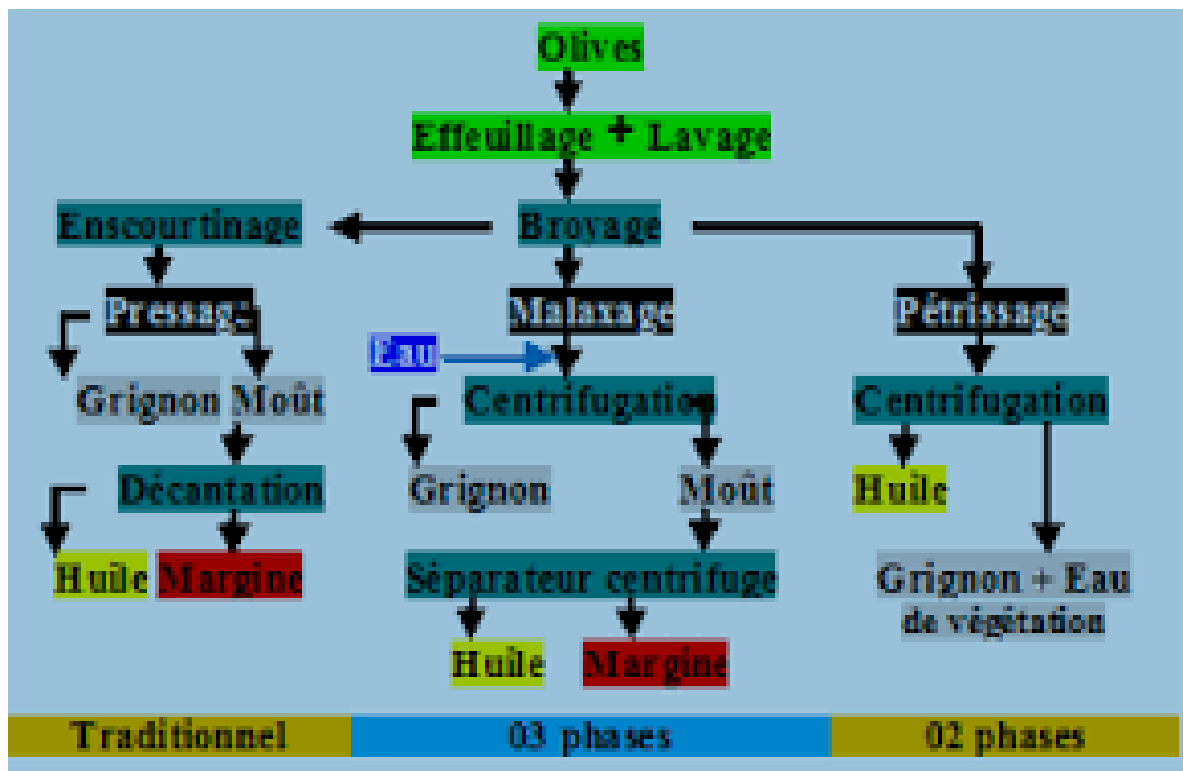


Figure II.1 : Systèmes d'extraction d'huile d'olive [15].

## Chapitre II : Application à l'huile d'olive

---

### II.2.2 Principe Fondamentaux

L'huile d'olive proprement dite est contenue dans les lipes qui sont des vacuoles des cellules du mésocarpe (pulpe). Le processus prévoit donc l'extraction de la phase liquide des cellules, la séparation des fractions solides et la séparation de la fraction lipidique de la fraction aqueuse. L'huile d'olive « vierge » se distingue nettement des autres types d'huiles par deux caractéristiques : la matière première, constituée par la pulpe des olives, la méthode d'extraction, faite de processus de nature exclusivement mécanique.

L'extraction de l'huile vierge fait appel exclusivement au choc, à la pression, à la centrifugation, à la décantation, à la filtration, à la tension superficielle et au traitement mécanique des émulsions. Le recours au chauffage est admis, à des températures modérément élevées, afin d'augmenter le rendement en huile.

D'autres techniques prévoient l'emploi de méthodes physiques et chimiques. Cependant la réglementation et les normes de qualité imposent l'emploi exclusif de méthodes mécaniques pour la production d'huile dite « vierge ». L'huile obtenue par le recours à des méthodes chimiques et physico-chimiques est donc identifiée à des types de produits différents et distincts de l'huile vierge. Dans le cas de l'huile d'olive, les méthodes physiques et chimiques sont des processus secondaires mis en œuvre dans des installations distinctes, pour rectifier des huiles vierges non comestibles ou pour extraire la fraction lipidique des grignons.

### II.2.3 Opération Préliminaire

Avant l'extraction proprement dite, les olives doivent être préparées, c'est l'objet des opérations préliminaires. Il s'agit d'opérations prenant place entre la récolte et le broyage réalisé initialement par le moulin à huile.

### II.2.4 Tri

Il consiste en un nettoyage des olives pour les séparer de la terre, des petits rameaux et des feuilles. Cette opération peut se faire directement lors de récolte, sur le champ, ou bien, pour de petites quantités récoltées à la main, sur le sol dans un local de l'exploitation, avant la livraison ; ou encore au moment de la livraison aux moulins coopératifs. Le tri de quantités plus importantes s'effectue à l'aide de cribles statiques ou vibrants.

Autrefois, certains laissaient une petite quantité de feuilles dans le but de donner à l'huile un arôme plus fruité.

## Chapitre II : Application à l'huile d'olive

---

### II.2.5 Pesage

Il se fait au moulin à huile, au moment de la livraison. En Italie, la structure de la filière, constituée essentiellement de petites exploitations oléicoles qui livrent leur récolte à des moulins coopératifs ou qui opèrent pour le compte de tiers, fait que les quantités livrées sont généralement modestes (1 à 1,5 t au maximum). Le pesage se fait donc après le déchargement du véhicule de transport des cageots, Palos et sacs.

### II.2.6 Entreposage

Dans le cas de lots de faible importance, récoltés intégralement à la main, cette phase se déroule en partie dans l'exploitation oléicole dans le but d'atteindre les quantités nécessaires pour un cycle de traitement. Pour des lots plus importants, obtenus en général par des moyens mécanisés, les olives récoltées sont directement livrées au moulin à huile et entreposées dans un espace ou un local séparé, voire directement dans un espace situé au départ de la ligne de traitement. Autrefois, on entreposait les olives en sacs de jute, actuellement on emploie des caisses ajourées ou des Palos dans le cas de systèmes palettisés, en réduisant autant que possible l'épaisseur des couches pour améliorer l'aération des olives et prévenir les risques de fermentation.

### II.2.7 Lavage

Les olives sont lavées à l'eau froide. Le lavage permet d'éviter l'interférence des Terres avec la couleur, l'odeur et le goût de l'huile. Cette étape consiste à éliminer les matières Étrangères (saletés, moisissures...) Pour obtenir une huile de qualité [16].

La qualité du produit final dépend des opérations finales, de l'état de conservation des olives et des délais. La conservation en tas importants, avec une aération insuffisante de la masse des olives et des délais de l'ordre de plusieurs jours, provoquent l'apparition de phénomènes de fermentation des olives qui modifient très rapidement les caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques de l'huile, et entraînent une élévation de température. Le phénomène s'accroît dans le cas d'olives ayant subi des chocs lors de la récolte ou des attaques par la mouche de l'olivier [17]. Les orientations actuelles sont les suivantes :

- a) Entreposage des olives en milieu frais et suffisamment ventilé, en couches peu épaisses ;
- b) Réduction des délais à trois heures au maximum à partir de la livraison.

## Chapitre II : Application à l'huile d'olive

---

### II.3 Broyage

Le broyage constitue la première phase de l'extraction proprement dite. Les olives sont soumises à des actions mécaniques qui provoquent la rupture des parois cellulaires et des membranes entraînant la libération des sucres cellulaires et de l'huile. Cette action résulte du frottement des fragments de noyaux sur la pulpe, ou des chocs des dispositifs mécaniques en rotation à grande vitesse dans la masse de la pulpe. Le produit obtenu à l'issue de cette phase, dans la plupart des installations, est une pâte, la pâte d'huile, masse semi-fluide composée d'une fraction solide (fragments de noyaux, peaux et pulpe) et d'une fraction liquide (émulsion d'eau et d'huile) [18].

Les systèmes utilisés sont fondamentalement de deux types :

#### II.3.1 Broyeurs à meules

La meule est un instrument employé depuis plusieurs millénaires, qui a subi de nombreuses modifications au fil des âges. Il existe des meules anciennes de diverses dimensions, coniques cylindriques ou cylindro-coniques. Les meules modernes fonctionnent toujours selon le même principe : l'action mécanique est exercée par la rotation d'une ou plusieurs grandes roues en pierre (généralement de granit) sur la masse travaillée. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, la libération des sucres n'est pas provoquée par l'écrasement, mais par l'action de frottement des arêtes coupantes des fragments de noyau sur la pulpe des olives. Le rôle des roues est donc de concasser les noyaux et de malaxer la masse travaillée [19].

Autrefois, la meule était constituée d'une seule roue actionnée au moyen d'un bras attelé à un âne ou un cheval ; elle était d'un encombrement important pour permettre le mouvement circulaire de l'animal. La meule actuelle est mue par un moteur de cinq à douze kilowatts et est de dimensions relativement limitées, d'un encombrement de 10 à 25 m<sup>2</sup>. Elle se compose d'un bac à fond de granit ou d'acier et aux bords relevés et d'un ensemble de deux à six roues en granit à axe horizontal, et disposées par paires, à des écartements variant par rapport à l'axe vertical du bac. Le plan de roulement des roues est relevé de quelques millimètres par rapport au fond du bac et est réglable de manière à obtenir des fragments de noyaux de dimensions adéquates. En général le réglage du plan de roulement est adapté aux caractéristiques des noyaux de la variété d'olivier prédominante dans les environs du moulin. La meule est enfin munie de lames qui ont pour mission de racler la pâte qui adhère aux roues et d'améliorer le malaxage en repoussant la pâte sous les roues.

## Chapitre II : Application à l'huile d'olive

---

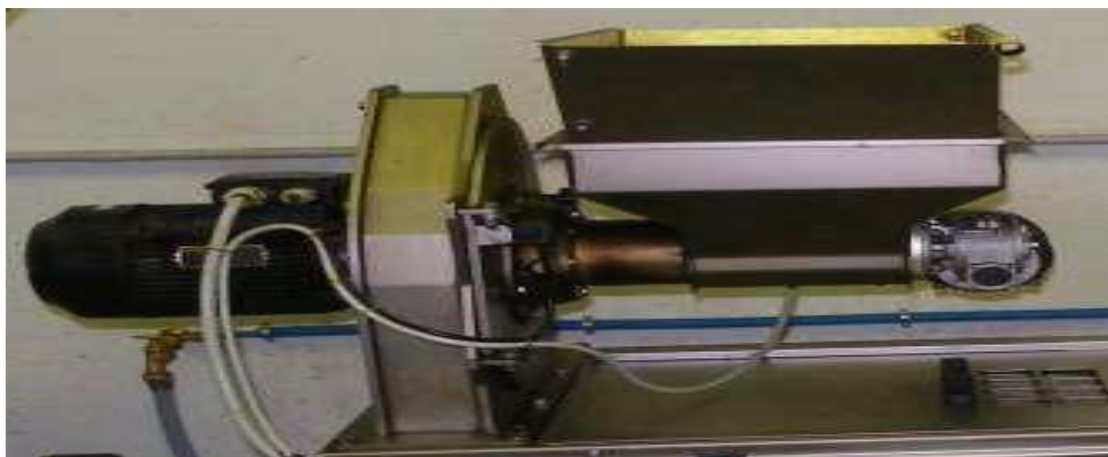
Le travail de la meule se fait avec une rotation lente, de douze à quinze tours par minute, et dure de vingt à quarante minutes. La quantité d'olives traitées en un cycle est de 2,5 à 3 quintaux, cette quantité donnant un volume de pâte correspondant à une charge de la presse hydraulique dans la phase d'extraction. Cette exigence s'impose moins dans le cas des installations qui recourent à d'autres systèmes d'extraction et, en général, la capacité de traitement est calculée de manière à intégrer la meule dans une installation d'extraction à cycle continu.



**Figure II.2 :** Meule, de granit à deux roues

### II.3.2 Broyeurs à marteaux

Les broyeurs à marteaux entièrement métalliques sont les appareils préférés dans les installations modernes à cycle continu parce qu'ils intègrent parfaitement les exigences de l'automatisation. Ils se composent d'une série d'éléments métalliques tournant rapidement et munis d'arêtes vives, marteaux ou couteaux variant en nombre et en épaisseur ; leur vitesse de rotation est de 1200-3000 tours par minute. Ils sont mus par des moteurs d'une puissance de dix à quarante kilowatts. La rupture [20] de la pulpe est causée par les chocs des dispositifs tournant à grande vitesse, et, également par l'action mécanique des fragments de noyaux. Les broyeurs à disques tournent moins rapidement [21]. Le traitement se fait en des temps très brefs, de l'ordre de quelques secondes, et se prête bien à un fonctionnement en cycle continu avec chargement et déchargement automatisé [22].



**Figure II.3 :** Broyeurs à marteaux

### II.3.3 Comparaison entre broyage à meule et marteaux

Les deux systèmes présentent des avantages et des inconvénients.

L'écrasement classique entraîne un faible degré d'émulsion ce qui permet d'obtenir des rendements qualitatifs et quantitatifs plus élevés. La qualité est en outre améliorée avec un fruité plus intense parce que les temps de traitement permettent une action plus poussée des enzymes. L'oxydation de la pâte sous l'effet de l'exposition à l'air est un phénomène négatif résultant de la méthode d'extraction employée, toutefois si la meule est intégrée dans un système à cycle continu ou semi-continu la qualité du produit est généralement élevée.

Le broyage provoque un degré d'émulsion poussé entre eau et huile, offre des rendements quantitatifs plus faibles et rend indispensable le malaxage. La qualité du produit dépend beaucoup de la température à laquelle s'effectue la phase suivante de malaxage : un compromis entre rendement et qualité est nécessaire. Les avantages résident dans l'importante capacité de traitement horaire, dans l'automatisation intégrale du processus, et dans la parfaite intégration dans une installation à cycle continu.

Les huiles obtenues sont différentes, celles extraites par les broyeurs à meules sont généralement plus douces et dotées d'un fruité peu herbacé mais néanmoins complexe ; celles extraites par les broyeurs à marteaux ou à couteaux étant plus ardentes, plus amères, au fruité plus végétal. Un dégustateur expert est en mesure de discerner une huile produite à l'aide d'une meule, d'une autre produite par un broyeur à marteaux. Un choix judicieux peut être fait en prenant en compte le potentiel organoleptique de la variété d'oliviers dominants, et la perception favorable qu'ont les clients du cliché du moulin à meules.



### II.4 Le malaxage



**Figure II.4 :** Pâte d'huile en mélange à l'intérieur d'un malaxeur

Outre le rôle d'homogénéisation de la pâte, le malaxage permet la coalescence des gouttes d'huile : les microgouttelettes d'huile qui viennent d'être libérées de leurs Lip vacuoles cellulaires vont se regrouper afin de former des gouttes de plus grande taille qui seront plus faciles à extraire de la pâte [29].

Les conditions idéales de malaxage sont de 30 à 45 minutes à une température de 30°C (museau de l'olive).

### II.5 Les différents systèmes d'extraction d'huile

#### II.5.1 L'extraction d'huile d'olive

Elle consiste en la séparation du moût d'huile et des grignons, fraction solide constituée par les fragments de noyau, des peaux et morceaux de pulpe. L'extraction est réalisée par divers systèmes qui font appel à des principes mécaniques de conception différente. En raison de ces différences le moût et le marc ont des caractéristiques différentes selon la méthode d'extraction employée, mais on doit mettre en évidence également de profondes différences dans l'installation, la qualité du produit, l'organisation du travail et dans la gestion elle-même. Les méthodes d'extraction se rattachent à trois types fondamentaux.

## Chapitre II : Application à l'huile d'olive

### II.5.1.1 Extraction par pression



**Figure II.5 :** Presse hydraulique moderne.

C'est la méthode ancienne, qui sépare le moût d'huile du grignon par une filtration sous l'effet de la pression. La pression est obtenue dans une presse hydraulique ouverte en disposant la pâte d'huile en couches minces alternées avec des disques en fibre [23], appelés scourtins en une tour mobile. Le dispositif utilisé pour la construction de la pile consiste en un plateau circulaire en acier au bord légèrement relevé et profilé, monté sur un chariot pour la manutention. Au centre du plateau est inséré un cylindre creux (dit aiguille) qui a pour objet de maintenir la pile en position verticale et favoriser l'écoulement du moût d'huile également le long de l'axe central de la pile.

La construction de la pile respecte un ordre standard : les scourtins sont constituées par un disque en fibre synthétique percé au centre de manière à pouvoir les enfiler sur l'aiguille. Sur la première scourtins, posée sur le fond du plateau, on dispose une couche de pâte épaisse de 3 cm, on superpose une seconde scourtins et une seconde couche de pâte et ainsi de suite. Toutes les trois couches de pâte, on superpose une scourtins sans pâte et un disque d'acier afin de répartir la pression uniformément. Globalement on construit une pile formée par la superposition de 60 scourtins alternées avec 60 couches de pâte, 20 disques d'acier et 20 scourtins sans pâte [24]. La quantité de pâte employée correspond à un lot d'olives écrasées à

## Chapitre II : Application à l'huile d'olive

---

La meule (2,5 à 3 quintaux) [25]. Toute l'opération de chargement d'une presse se fait à la main, mais actuellement on utilise des doseuses spéciales, souvent intégrées au malaxeur. La tour est alors insérée dans la presse et soumise à une pression moyenne de l'ordre de 400 atm. Sous l'effet de la pression, le moût d'huile se sépare de la fraction solide et s'écoule du système drainant le long des parois extérieures et le long de l'aiguille et est recueilli sur le plateau. Une fois l'extraction terminées, la pile est démontée et on retire le grignon des scrutins à l'aide de machines ad-hoc.

Anciennement le scourtin était un double disque filtrant, réalisé en fibres de coco, soudé sur le bord extérieur et percé au centre. La pâte se mettait à l'intérieur du scourtin. Ce système présentait de nombreux inconvénients. Les opérations de chargement et déchargement était plutôt onéreuses, mais surtout le défaut principal résidait dans la difficulté de nettoyage des scourtins : les fibres retenaient toujours des résidus de pâte qui s'altéraient facilement sous l'effet de moisissures ou de l'oxydation et conféraient à l'huile des saveurs désagréables (goût de scourtin). Pour des raisons organisationnelles et pour améliorer les standards de qualité, les scourtins ont été totalement abandonnés et remplacés par des scrutins circulaires en fibres synthétiques.

➤ **Avantage :**

- Meilleur rendement en huile ;
- Bonne qualité des grignons ;
- Faible consommation d'eau et d'énergie ;
- Moindre quantité d'eau de végétation à éliminer.

➤ **Inconvénients :**

- Coûts de main d'œuvre élevés.
- Charges liées à la difficulté de nettoyage des scourtins.
- Fonctionnement en cycle discontinu.
- Risques de dégradation de la qualité en cas de défaut de propreté des scourtins.
- Grandes difficultés, voire impossibilité à extraire l'huile des pâtes à haute teneur en eau (début de saison et variétés à faible rendement).
- Forte charge polluante des margines.

## Chapitre II : Application à l'huile d'olive

### II.5.1.2 Extraction par centrifugation

C'est une méthode de grande diffusion parce qu'elle permet de surmonter les multiples inconvénients associés à l'extraction par pression. La pâte d'huile est soumise à une centrifugation dans un tambour conique tournant sur un axe horizontal (décanteur). La centrifugation se fait à une vitesse de rotation d'environ 3400 tours par minute. Sous l'effet des différences de poids spécifiques, la centrifugation sépare deux ou trois phases. Selon les spécifications techniques.

➤ **Avantage :**

- grande capacité de traitement.
- bonne qualité de l'huile grâce au faible degré d'oxydation et à la facilité de nettoyage.

➤ **inconvénients :**

- consommation énergétique élevée.
- consommation d'eau élevée.
- difficultés de gestion des grignons

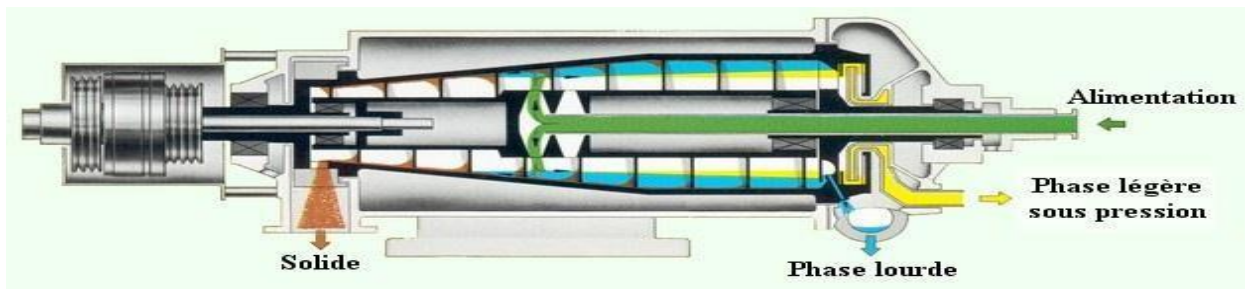


Figure II.6 : centrifugeuses haute pression

### II.5.1.3 Extraction en Sinolea

La Sinolea est un dispositif intégré dans une installation spécifique à cycle continu qui se fonde sur un schéma de traitement différent des autres installations. Le principe physique à la base de la Sinolea est la différence entre la tension superficielle de l'eau et celle de l'huile : du fait de cette différence, l'huile tend à adhérer à une surface métallique plus facilement que l'eau [26].

La Sinolea consiste fondamentalement en une cuve contenant la pâte, issue d'un broyeur à marteaux, dans laquelle s'immerge le dispositif extracteur [27]. Ce dernier est constitué d'une série de lames d'acier qui sont immergées dans la pâte d'huile par un mouvement alternatif régulier qui alterne les phases suivantes :

## Chapitre II : Application à l'huile d'olive

---

- Immersion ;
- Soulèvement ;
- Raclage de l'huile.

À chaque cycle d'immersion, le soulèvement du dispositif fait s'égoutter l'eau de végétation sous l'effet de la gravité tandis que l'huile adhère aux surfaces métalliques. Pendant le mouvement de retour les surfaces métalliques entrent en contact avec un dispositif racleur qui enlève l'huile en la faisant confluier dans un système de recueil. Ce système permet d'obtenir une huile de très haute qualité, toutefois son rendement est plutôt faible. Si c'est intéressant sur le plan économique, la pâte résiduelle peut être soumise à un second processus d'extraction par centrifugation. De cette manière, on obtient deux produits différenciés du point de vue de la qualité.

➤ **Avantage :**

- Grande qualité de l'huile ;
- Traitement à froid ;
- Automatisation du processus et intégration dans un cycle continu ;
- Main d'œuvre réduite ;
- Moût d'huile sans eau, donc ne nécessitant pas de traitements ultérieurs.

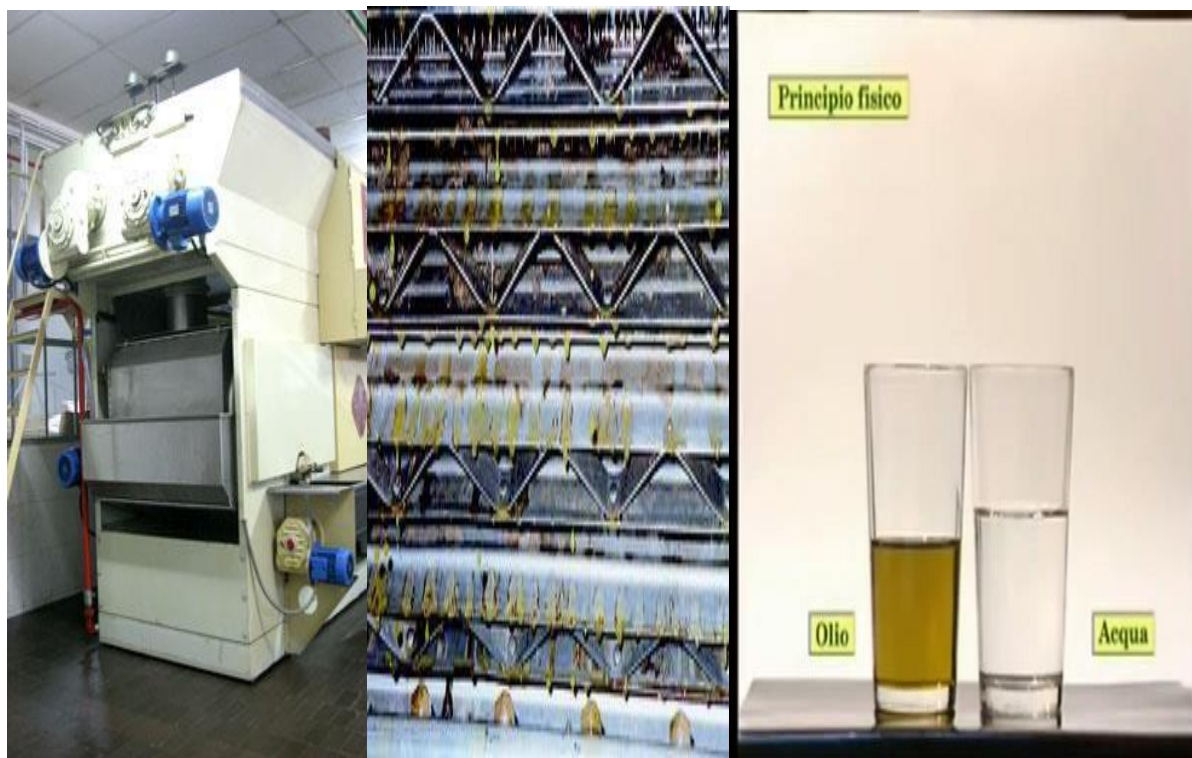
➤ **Inconvénients :**

- Rendement réduit ;
- Nécessité de combiner l'installation avec un dispositif accessoire pour la récupération de la fraction d'huile résiduelle ;
- Exposition potentielle aux processus d'oxydation à cause du plus grand contact avec l'air.

Le système Sinolea a bénéficié d'un fort engouement avant que n'apparaissent les décanteurs 2 phases. Il permettait en effet d'extraire une grande partie de l'huile avant l'adjonction d'eau lorsqu'il était couplé à un décanteur 3 phases, tout en diminuant la main d'œuvre face aux systèmes à presses, ou bien d'extraire une grande partie de l'huile avant le contact avec les scourtins (et donc en réduisant les inconvénients liés à la fermentation à

## Chapitre II : Application à l'huile d'olive

L'intérieur de la masse fibreuse) pour les systèmes en couplage avec des presses. L'apparition des décanteurs 2 phases a fortement réduit l'intérêt de ce dispositif relativement lent et difficile à nettoyer.



**Figure II.7 :** extraction sans pression sur la masse des olives. Nous effectuons cette extraction par la machine Sinolea.

### II.6 Séparation de l'huile et de l'eau

À l'exclusion de la méthode de la Sinolea, le moût d'huile obtenu par l'extraction contient toujours une quantité résiduelle d'eau qui est ensuite éliminée par l'effet de la différence de densité entre les deux liquides par la décantation ou la centrifugation [28].

#### II.6.1 Décantation naturelle

C'est la méthode ancienne fondée sur la non-miscibilité de l'huile et de l'eau. En phase de repos, l'huile, plus légère, tend à remonter à la surface, en se séparant de l'eau. Le moût, à peine issu du pressurage, subit une première séparation qui permet d'obtenir un produit de meilleure qualité. La séparation de la quantité résiduelle nécessitait en revanche une décantation plus longue dans l'huilier dans des bacs cimentés prévus à cet effet. De manière analogue, on récupérait une quantité d'huile résiduelle de mauvaise qualité à partir des marges stockées dans les enfers, un local prévu à cet effet.

## Chapitre II : Application à l'huile d'olive

La décantation naturelle est une méthode fortement délaissée du fait qu'elle est très difficile à exploiter dans le cadre des exigences qualitatives actuelles.

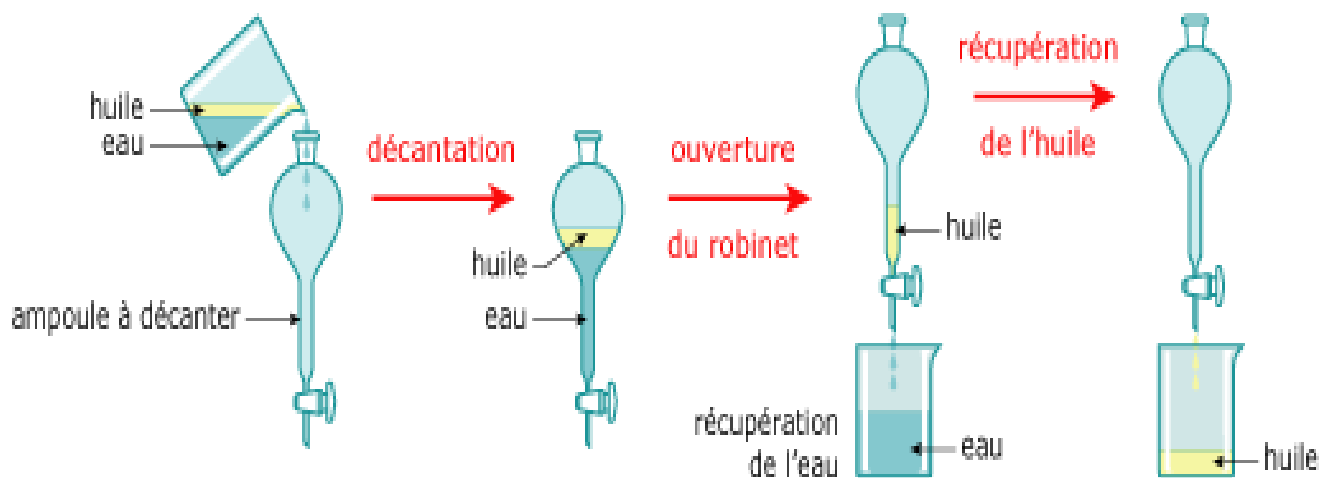


Figure II.8 : schéma de décantation naturelle

### II.6.2 Centrifugation verticale

La centrifugation verticale est le système employé dans toutes les installations pour séparer l'huile de l'eau. On soumet à ce processus soit le moût d'huile obtenu par pressurage ou par centrifugation horizontale, soit l'eau de végétation issue de la centrifugation horizontale.

À cet effet, on utilise des séparateurs centrifuges verticaux. Il s'agit de machines empruntées aux installations de l'industrie laitière (écrémeuses) qui effectuent la séparation en vertu d'une rotation à grande vitesse. Le séparateur centrifuge consiste en un réservoir cylindrique contenant le tambour tournant composé d'une série d'assiettes coniques perforées et superposées. Le moût d'huile, introduit par le haut entre dans le tambour est soumis à une centrifugation à 6000-7000 tours par minute. Sous l'effet de la différence de densité, l'huile et l'eau se séparent. Pendant la rotation, il se produit une accumulation de résidus solides qui sont expulsés par l'intermédiaire d'un système de sécurité automatisé (débourbage).

### II.6.3 Traitements ultérieurs

À la sortie du séparateur centrifuge, l'huile est un produit prêt à la consommation. Telle quelle, cette huile contient encore des résidus solides en suspension (mucilages et graisses) et présente un aspect trouble. À l'état de repos, le résidu solide se dépose sur le fond du récipient et l'huile se clarifie spontanément. Par conséquent, dès sa sortie du séparateur, l'huile est conservée dans des cuves en acier, sous une atmosphère d'azote pour prévenir l'oxydation et pour favoriser la sédimentation spontanée de la lie. L'huile destinée à une commercialisation

## Chapitre II : Application à l'huile d'olive

Immédiate est en revanche soumise à une filtration à l'aide de filtres en cellulose de type braise ou filtres-presses avant la mise en bouteilles.

### II.7 Séparation des phases

#### II.7.1 Séparation des phases liquides-solides

La pâte malaxée va ensuite être pressée ou centrifugée horizontalement afin de séparer les phases solides et liquides. La phase solide contient les restes des noyaux ainsi que la peau et la pulpe des olives dépourvue de son huile. Cette phase solide s'appelle "grignons" et constitue l'un des deux principaux coproduits de la fabrication de l'huile d'olive [30].

#### II.7.2 Séparation des phases liquides-liquides

La phase liquide est un mélange d'eau et d'huile qu'il faut séparer. Cela se fait soit par simple décantation gravitationnelle, soit par centrifugation. Dans les deux cas la phase aqueuse appelée "margines" est séparée de l'huile et constitue le second coproduit de la fabrication de l'huile d'olive [31].

### II.8 Les procédés d'extraction d'huile

#### II.8.1 Procédés en discontinu ou système de presse

Ce sont les systèmes classiques par pression avec broyeurs. Le broyage des olives suivi du malaxage se font sous des meules. Il se termine par obtention d'une pâte qui est composée de grignon et un mout contenant l'huile et les margines [32]. La séparation des deux phases solides-liquides se fait par simple pression, alors que la phase liquide-liquide se fait par décantation naturelle [33].

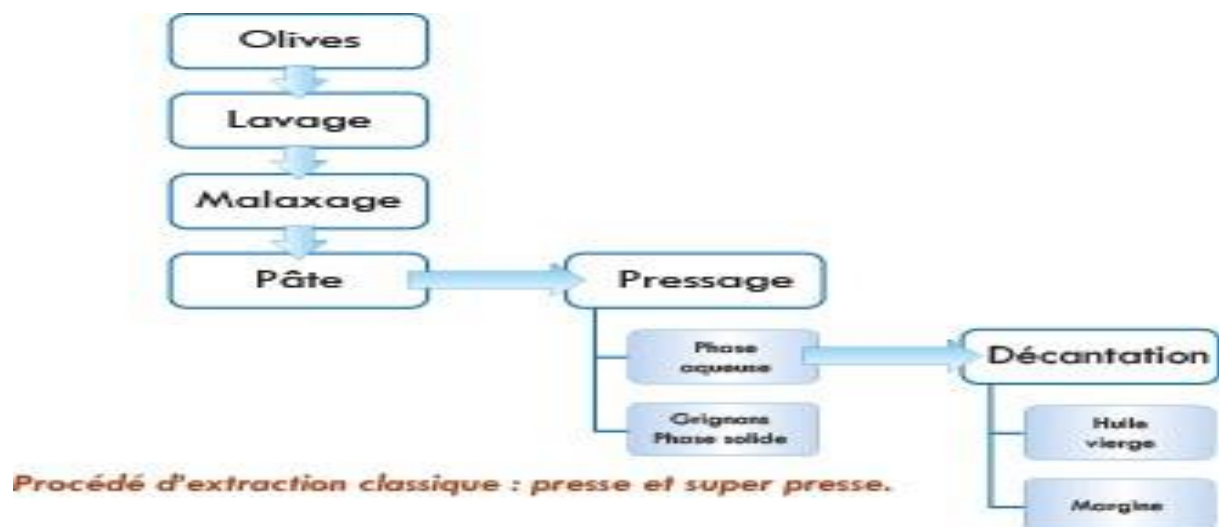


Figure II.9 : procédé d'extraction presse et super presse



## Chapitre II : Application à l'huile d'olive

### 1. Procédés en continu ou système à centrifugation

Les olives sont lavées, broyées, mélangées avec de l'eau chaude et malaxées. Les

Phases liquides-solides sont séparées par une centrifugation. Les phases liquides-liquides subissent aussi une centrifugation pour séparer l'huile des margines [34].

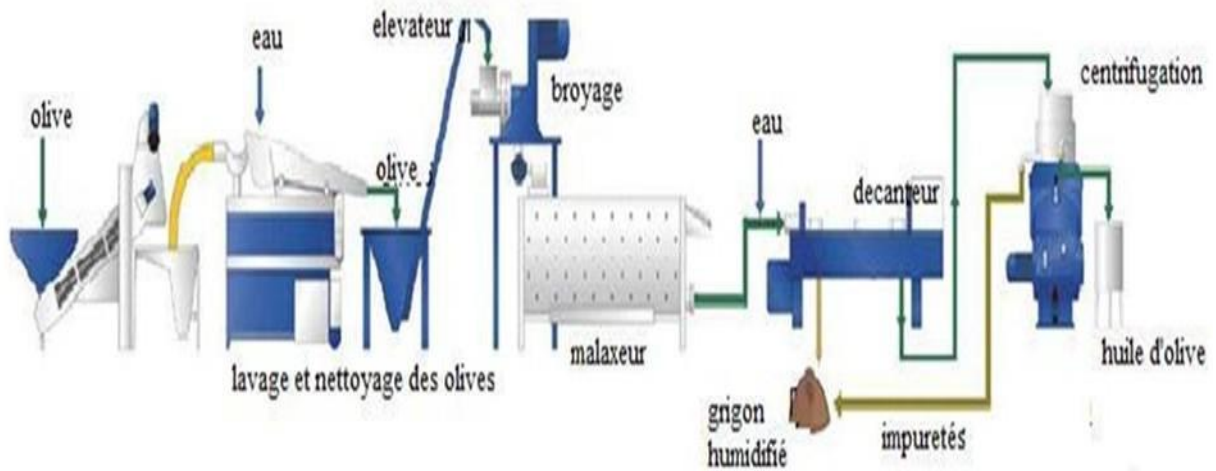


Figure II.10 : chaîne continue à deux et trois phases pour l'extraction d'huile d'olive [35].

### II.8.3 Système continu à trois phases

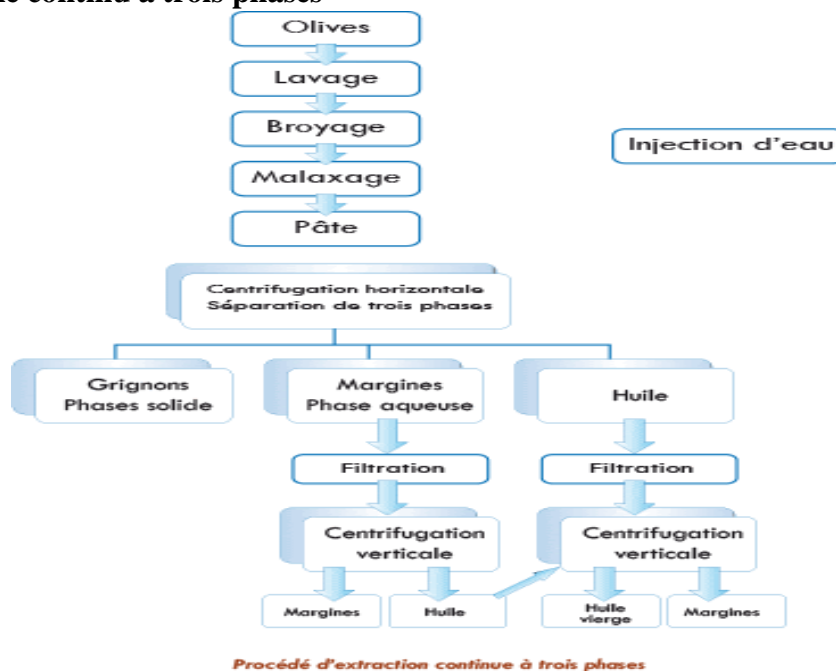
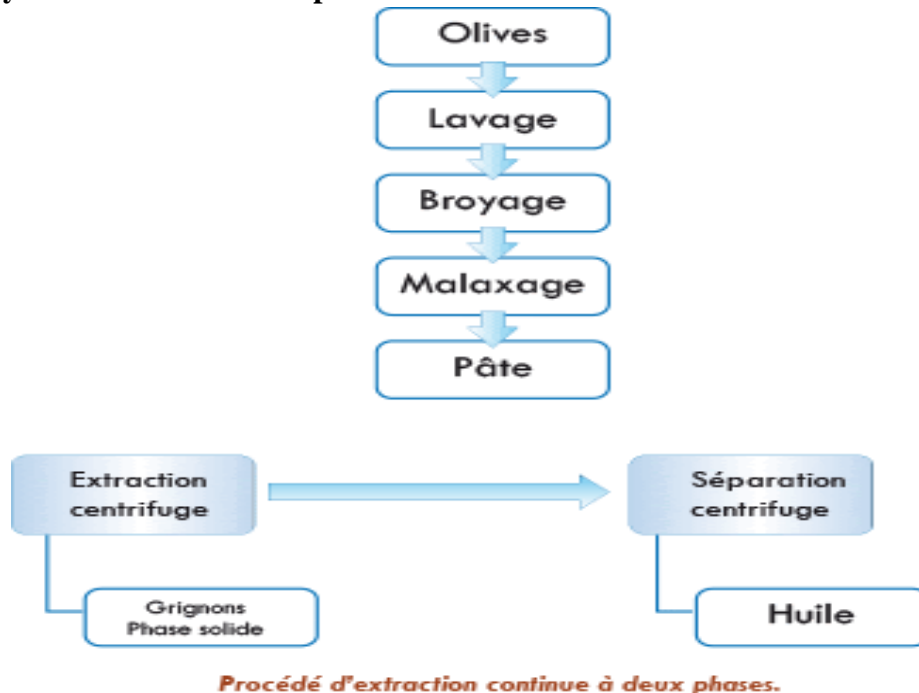


Figure II.11 : procédé d'extraction continue à trois phases

## Chapitre II : Application à l'huile d'olive

Les trois phases sont : huile, margines et grignons. L'introduction de ces installations « continues » a permis de réduire les coûts de transformation et la durée de stockage des olives avec comme conséquence une production d'huile de moindre acidité. Ce système présente les inconvénients suivants : les rapports élevés en eau chaude font que l'huile extraite se trouve appauvrie en composés aromatiques et phénoliques. Ces composés passent dans les margines [36] (Figure 1).

### II.8.4 Système continu à deux phases



**Figure II.12 :** procédé d'extraction continue à deux phases

Le procédé technologique d'extraction des huiles d'olives fonctionne avec un nouveau décanteur avec centrifugation à 2 phases qui ne nécessite pas l'ajout de l'eau pour la séparation des phases huileuses et solide contenant le grignons et les margines. Le rendement en huile généré par ce système est légèrement plus élevé que les autres [37] (Figure 1).

### II.9 Comparaison entre les procédés en discontinu et en continu

- le système à centrifugation travaille plus rapidement que le système de presse.
- les coûts de main-d'œuvre des procédés en continu sont plus élevés avec le système de Presse.
- les installations à cycle continu présentent des inconvénients dus principalement à la

## Chapitre II : Application à l'huile d'olive

---

Consommation élevée d'eau chaude, ce qui se traduit par une production accrue des Margine. Dans les systèmes traditionnels, l'extraction se fait sans addition significative D'eau, ce qui se répercute sur la charge des margines en matière organique et en suspension. En effet, le margine des unités traditionnelles son plus chargées et plus concentrées Que ceux des unités modernes [19].

Actuellement, les grandes usines dites super-presse emploient le procédé en continu Pour améliorer le rendement de production d'huile d'olive et minimiser les quantités des Margine produites.

### II.10 Conclusion

Ce chapitre est consacré sur les différentes applications pour l'huile d'olive afin de montrer les différentes étapes suivis pour le produire en revanche on cité aussi un aperçu globale sur ces méthodes en prendre en mesure le broyeur à marteau pour notre étude.

# CHAPITRE III

**Calcul et Dimensionnement des broyeurs**

## III.1 Introduction

Au cours de ce travail nous avons essayé de fournir un maximum d'informations sur les broyeurs à marteaux, qu'on a proposé comme solution pour l'extraction de l'huile d'olives, que ce soit dans le côté de son mécanisme, son dimensionnement et même du côté sécuritaire. Ces informations peuvent être utilisées dans le cas d'une éventuelle étude de fabrication ou de réalisation.

### ➤ Cahier de charge :

- Vitesse de rotation donnée  $N = 750 \text{ tr/min}$ .
- Nombre d'olive sur le marteau (n) : 10 olives.
- Longueur de l'arbre (L): 150 mm.
- Diamètre de marteau (R): 200 mm.

## III.2 Etude cinématique

### III.2.1 Schéma cinématique

Tout mécanisme est composé de plusieurs sous-ensembles reliés entre eux par une ou plusieurs liaisons et pour mieux comprendre il faut établir un schéma cinématique qui doit représenter le plus fidèlement possible les relations entre les différents groupes de pièces.

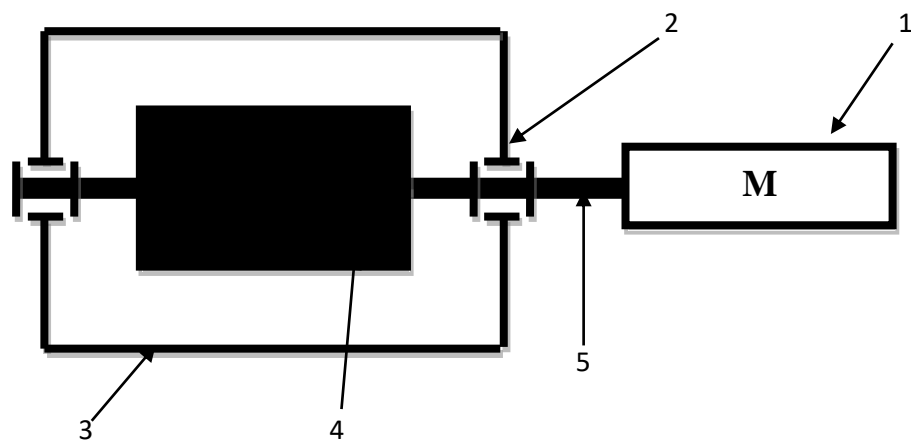


Figure III.1:Schéma cinématique

## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

| Designation         | Nombre |
|---------------------|--------|
| Moteur électrique   | 1      |
| Roulement           | 2      |
| Carcasse            | 3      |
| Marteau             | 4      |
| Arbre moteur        | 5      |
| Arbre porte marteau | 5      |

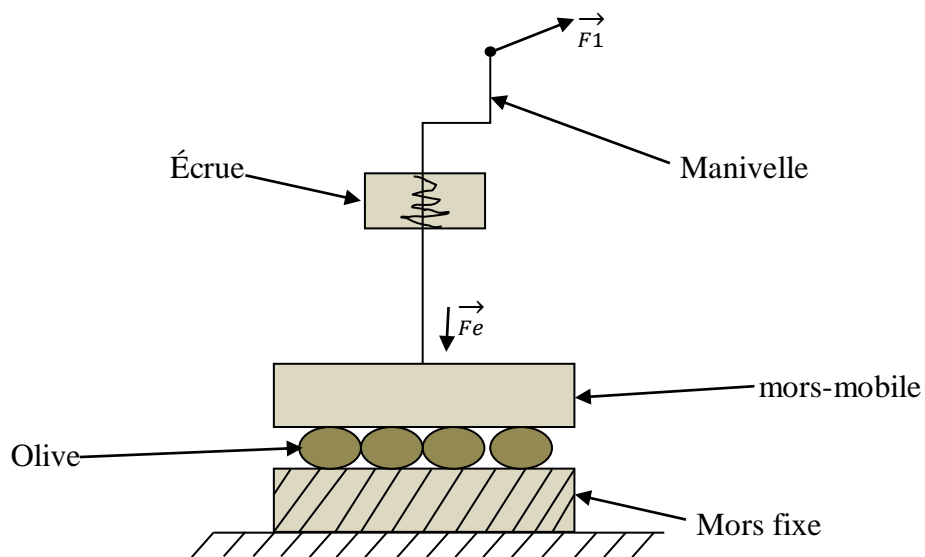
**Tableau III.1:** les éléments de la chaîne cinématique

La figure représente le schéma cinématique de la machine de broyage, elle est composée d'un :

- Moteur électrique fixé sur le châssis.
- Le mouvement d'arbre du moteur électrique est transmis à l'arbre qui porte les marteaux.
- Le mouvement de l'arbre est transmis au marteau à l'aide de cannelure sur l'arbre.

### III.2.2 Détermination de la force d'écrasement des noyaux des olives

D'après l'expérience que nous avons faite dans le hall-technologie, nous avons pris un étai pour pouvoir mesurer cette force. Le principe est celui d'une presse mécanique.



**Figure III.2 :** expérience pour mesurer la force d'écrasement

## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

---

### III.2.3 Calcul de la force d'écrasement

Pour les donner connu et l'étude quand a fait pour déduire la force exercé sur quatre olive.

➤ Par la T.P.V

On a la formule suivante :

$$\boxed{C \times \Theta = F \times x} \dots (1)$$

C : le couple du moteur (N\*m)

$\Theta$ : angle de rotation :  $\Theta = 2\pi$

F : la force d'écrasement dune olive (N)

x : le pas : x=5mm

Nous avons la relation suivante :

$$\boxed{C = F1 \times R} \dots (2)$$

D'où : F1 : la force exercée sur une olive : F1=15N

R : le rayon de levier : R=160mm

Par les formules (1) et (2) on tire

$$F = \frac{C \times \theta}{x}$$

AN :

$$F = \frac{15 \times 160 \times 2\pi}{5}$$



$$\boxed{F = 3014.4 \text{ N/noyau}}$$

# Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

## III.2.4 Calcul de la force d'écrasement totale

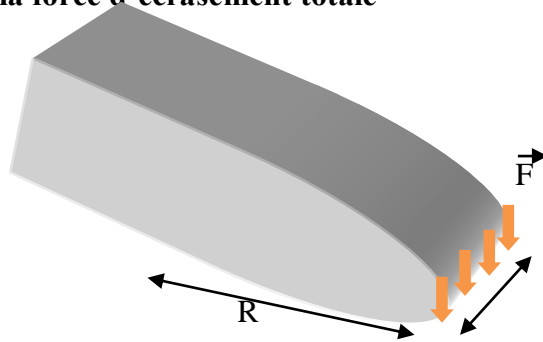


Figure III.3: dimension du marteau

Dans notre projet nous avons émis l'hypothèse suivante :

La largeur du marteau est de 150mm est qui correspond a la sommes des petits diamètres d'une dizaine d'olives.

D'où l'on tire la force totale

$$F_{et} = n \times F \dots (2)$$

Avec : n : nombre d'olive sur le marteau

F : la force d'écrasement d'une olive

AN :

$$F_{et} = 10 \times 3014.4$$



|                              |
|------------------------------|
| $F_{et} = 30140.4 \text{ N}$ |
|------------------------------|

## III.2.5 Calcul de la puissance

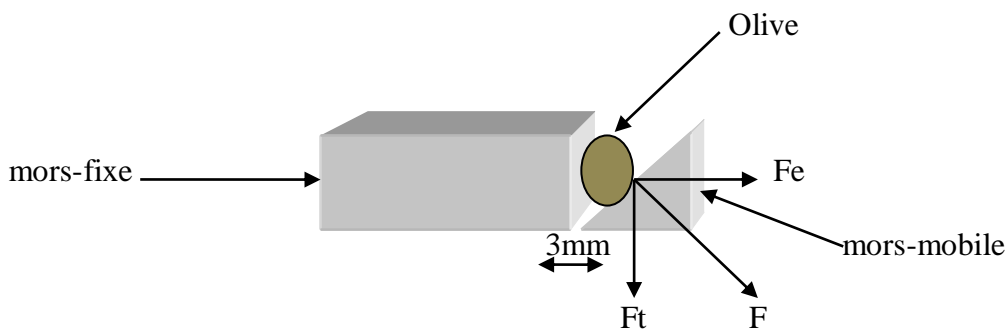


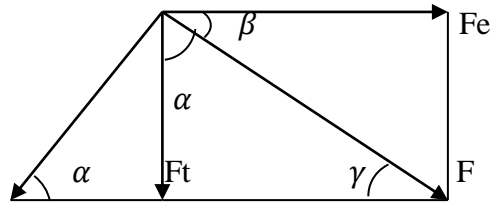
Figure III.4: schéma explicatif d'écrasement du l'olive



## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

Pour déterminer la force des mors fixe et mobile nous nous sommes inspirés du système d'écrasement avec des meules en pierres.

D'après la figure (5), nous pouvons extraire ce schéma suivant :



**Figure III.5** : schéma explicatif d'écrasement de l'olive

D'après la figure (6), nous avons extraits les formules suivantes :

$$\alpha + \beta = 90^\circ \dots\dots\dots (1)$$

$$\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_t \dots\dots\dots (2)$$

Donc on déduit deux expressions :

- $F_e = F \times \cos \beta = F \times \sin \alpha \dots\dots\dots (3)$

- $F_t = F \times \sin \beta = F \times \cos \alpha \dots\dots\dots (4)$

D'après le système des meules en pierres on déduit la formule suivante :

$$\gamma = \frac{c}{R}$$

Avec :

C : l'inclinaison de la face du mors-mobile : C=50mm

R : le rayon de la meule : R=800mm

AN :  $\gamma = \frac{50}{800}$

**$\gamma = 0.0625 \text{ rd}$**

L'angle  $\gamma = 3.58^\circ$

Donc on peut déterminer l'angle  $\alpha$  avec la formule suivante :

$$\gamma + 2\alpha = \pi$$

## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

---

On tire :  $\alpha = (\pi - \gamma)/2$

AN :  $\alpha = (180 - 3.58)/2$

$$\alpha = 88.21^\circ$$

D'après la formule (1) on déduit que :  $\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$

AN :  $\beta = 90 - 88.21$

$$\beta = 1.79^\circ$$

De 3 et 4 on déduit :

$F_e = F \cdot \cos \beta$  avec :  $\cos \beta \approx 1$

$F_t = F \cdot \sin \beta$  Avec :  $\sin \beta \approx 0$

Avec ces relations on calcule  $F_t$  :

$$F_t = F \cdot \cos \alpha = \frac{F_e}{\sin \alpha} \times \cos \alpha \quad \longrightarrow \quad F_t = \frac{F_e}{\tan \alpha}$$

AN :  $F_t = \frac{3014.04}{32}$

$$F_t = 94.18 \text{ N}$$

D'après les données qu'on a sur la figure(2). Nous avons la formule de la puissance utile comme suit :

$$P = C \times \omega$$

D'où :  $C$  : le couple du moteur en (N\*m)

$\omega$  : la vitesse angulaire (rd/s)

D'après le calcul de  $F_t$  on peut calculer le couple à partir la relation suivante :

$$C = F_t \times R$$

AN :  $C = 94.18 \times 0.2$

$$C = 18.83 \text{ N*m}$$

## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

---

Pour dix noyaux le couple est :

$$C = 188.3N \cdot m$$

A partir de la relations de puissance utile on déduire

$$P = C \times \omega$$

Avec :

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

AN :

$$P = \frac{188.3 \times 2\pi \times 750}{60}$$

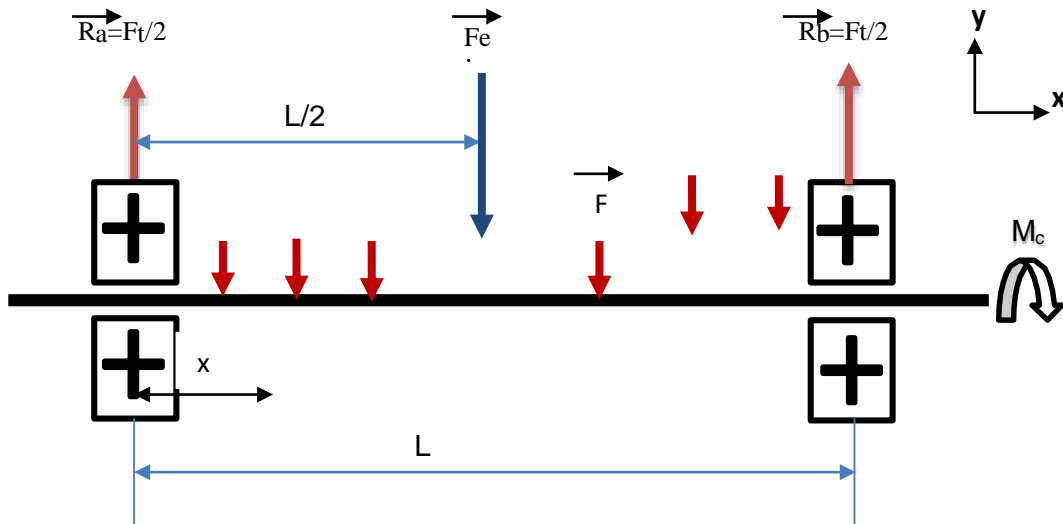
➔  $P = 14.781 \text{ kw}$



## III.3 Calcul de RDM des éléments sollicités dans le broyeur

### III.3.1 Dimensionnement de l'arbre qui port les marteaux

#### III.3.1.1 Calcul des réactions des paliers



**Figure III.6:** Représentation des efforts appliqués sur l'arbre

Par les principes fondamentaux de la statique

$$\sum \vec{F}_{ext} = 0$$

Avec :  $F_{ext}$  Forces extérieures exercées sur l'arbre.

$M$  : moments de flexion exercés sur l'arbre.

$F_{et}$  : la somme des forces  $f$ .

$T$  : la force de réaction aux appuis.

$x$  : distance de la section à l'appui A.

Pour les forces en les projetant sur l'axe (Oy), et les moments par rapport au point (Oz) et on aura :

$$R_a = R_b = \frac{F_{et}}{2} \dots \dots \dots (1)$$

Calcul de l'effort tranchant T

$$R_a - F_r + T = 0 \dots \dots \dots (2)$$

Avec :  $R_a$  et  $R_b$  : les Forces de réaction au niveau des appuis.

## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

---

De (1) on a:

$$R_b = \frac{n \times f}{2} \quad \longrightarrow \quad R_b = \frac{F_{et}}{2}$$

AN :  $R_b = \frac{10 \times 3014.4}{2}$

$$\longrightarrow R_b = 15070.2N$$

De (1) on a :

$$R_a = R_b$$

AN :  $\longrightarrow R_a = 15070.2N$

De (2) on a:

$$T = -R_a + F_r$$

Avec :

$$F_r = F \times x$$

On aura :

$$T = \frac{-F_{et}}{2} + (f \times x)$$

Avec :

$$F = \frac{F_{et}}{L}$$

On trouve :

$$T(x) = \frac{-F_{et}}{2} + \frac{F_{et}}{L} \times x$$

AN :

$$T(x) = \frac{-30140.4}{2} + \left( \frac{30140.4}{150} \times x \right)$$

Pour  $x=0$

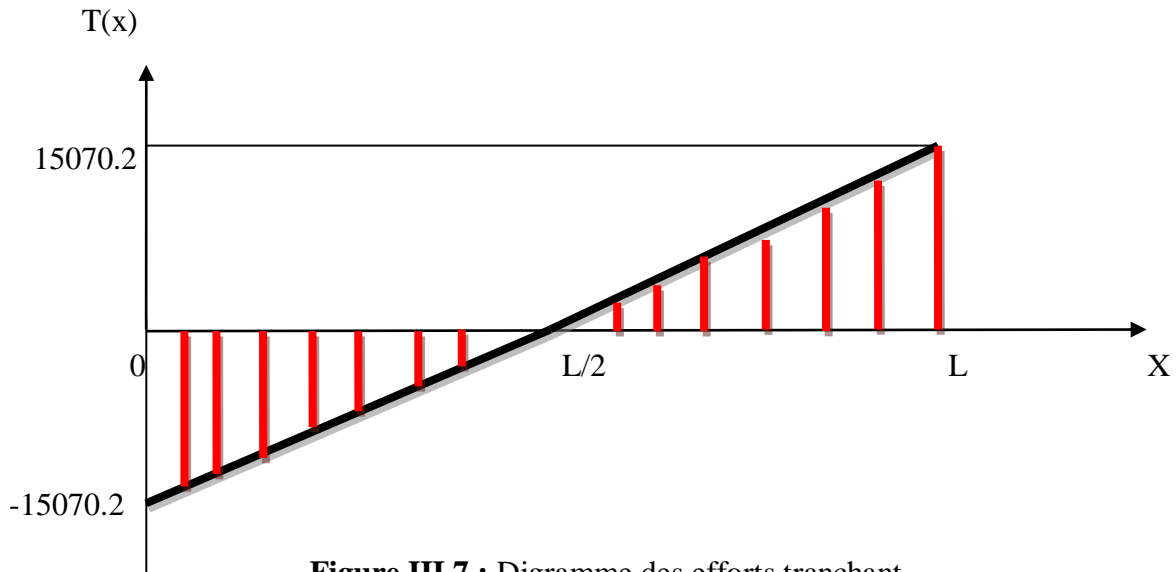
$$\longrightarrow T = -15070.2N$$

Pour  $x=75$

$$\longrightarrow T = 0N$$

Pour  $x=150$

$$\longrightarrow T = 15070.2N$$



**Figure III.7 : Digramme des efforts tranchant**

### III.3.1.2 Calcul des moments fléchissant :

Pour les moments en les projetant sur l'axe (Oz)

On aura :

$$M_f - R_a \times x + F_r \times \frac{x}{2} = 0 \dots \dots \dots (1)$$

Avec :

$$F_r = F \times x \dots \dots \dots (2)$$

Et

$$F = \frac{F_{et}}{L} \dots \dots \dots (3)$$

On aura :

$$M_f(x) - \frac{F_{et}}{2} \times x + \frac{F_{et}}{2L} \times x^2 = 0$$

Alors :

$$M_f(x) = -\frac{F_{et}}{2} \times x + \frac{F_{et}}{2L} \times x^2$$

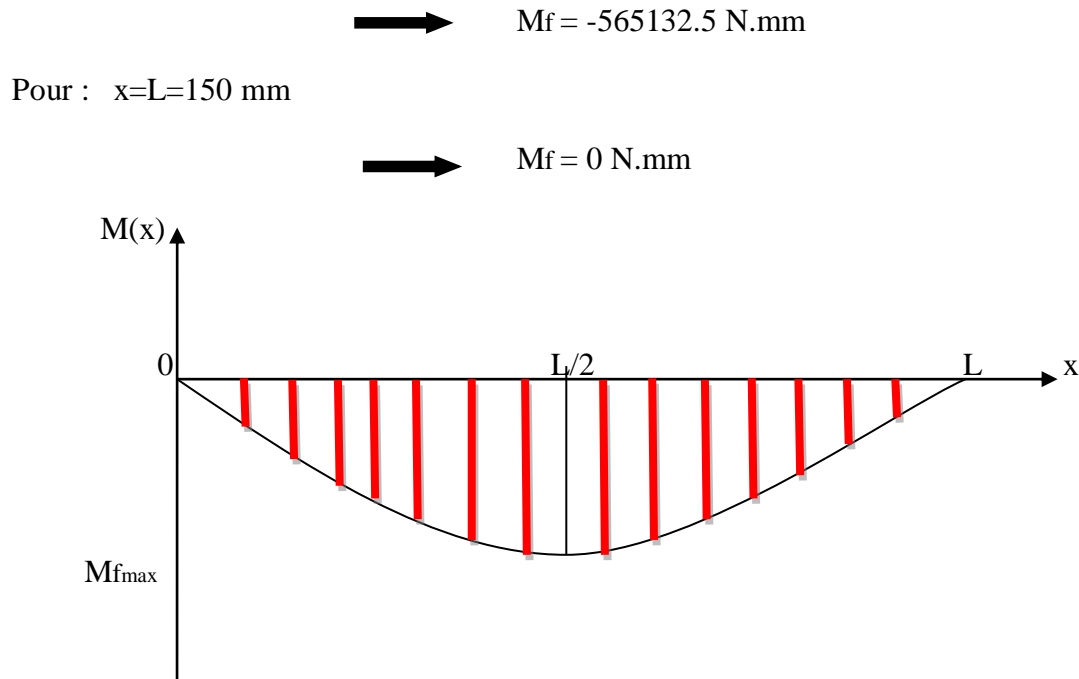
AN :

$$M_f(x) = - 15070.2 \times x + \frac{15070.2}{150} \times x^2$$

Pour : x=0

➔
M<sub>f</sub> = 0 N.mm

Pour : x=L/2=75 mm



**Figure III.8** : diagramme des moments fléchissant

A partir de la figure(3), on déduit  $M_{fmax} = 565132.5 \text{ mN}$ .

### III.3.1.3 Calcul du diamètre de l'arbre à la flexion :

- **Matériaux utilisés pour l'arbre :**

L'acier A60 : (A acier ordinaire et 60 [daN/mm<sup>2</sup>] C'est la résistance minimale à la rupture). Selon la nouvelle désignation, cet acier est représenté par l'écriture S335(S pour acier d'usage général et 335 pour la valeur moyenne de sa limite d'élasticité soit 335 MPa).

- Famille des aciers non alliés
- Aciers d'usage courant ne devant subir aucun traitement thermique.

On a  $\sigma_p < Re$  avec  $Re = \sigma_e = 335 \text{ MPa}$  ( $Re$  : Résistance d'élastique)

On prend un coefficient de sécurité  $s = 5$

Avec :

$$S = \sigma_e / \sigma_p$$

Où  $\sigma_p$  est la résistance pratique du matériau en MPA,

$\sigma_e$  est la résistance d'élasticité du matériau en MPA,

Et  $s$  est le coefficient de sécurité ( $s = 2.5$ ) pour notre étude.

D'où la relation devient :

$$\sigma_p = \sigma_e / s$$



## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

$$\text{AN : } \sigma_p = 335/5$$

$$\longrightarrow \sigma_p = 67 \text{ MPa}$$

D'après la documentation technique (technique de l'ingénieur), la résistance au cisaillement est reliée à la résistance à la traction par la relation suivante :

$$\tau_e = 0.7 \times \sigma_e$$

$$\text{Ou } \tau_p = 0.7 \times \sigma_p$$

Où  $\sigma_p$  est la contrainte pratique à la traction en MPA,

Et  $\tau_p$  est la contrainte pratique au cisaillement en MPA.

Application numérique

$$\tau_p = 0.7 \times 67$$

$$\longrightarrow \tau_p = 46.9 \text{ MPa}$$

Nous avons l'arbre qui porte des marteaux soumis à la flexion, d'où nous allons calculer le diamètre de ce dernier qui peut résister à cet effort dans le cas le plus défavorable ou la force de coupe est appliquée au milieu de cet arbre.

On sait que la contrainte maximale à la flexion est donnée par la relation suivante :

$$\sigma = \frac{M_{fmax}}{I_{gz}/v} \leq \sigma_p$$

Où  $I_{gz}$  est le moment quadratique polaire en mm<sup>4</sup>,

Et  $v$  est le rayon de l'arbre (section circulaire,  $v = R$ ) en mm.

Nous avons un arbre plein, d'où le moment quadratique polaire est :

$$I_{gz} = \frac{\pi R^4}{4}$$

D'où on obtient :

$$R \geq \sqrt[3]{\frac{4 \times M_{fmax}}{\pi \times \sigma_p}}$$

AN :

$$R \geq \sqrt[3]{\frac{4 \times 565132.5}{\pi \times 67}}$$

$$\longrightarrow R \geq 22.06 \text{ mm}$$

$$\longrightarrow d \geq 44.12 \text{ mm}$$

## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

---

D'où on retient un diamètre de l'arbre à la flexion :

$$d=44.12\text{mm}$$

### III.3.1.4 Calcul du diamètre de l'arbre à la torsion

Premièrement nous allons calculer le moment de torsion de l'arbre qui porte les couteaux à partir les données qui se trouvent dans le cahier de charge, dans le but de calculer son diamètre qui peut résister à l'effort de torsion appliquée sur cet arbre.

Nous avons la relation suivante :

$$M_t = \frac{P}{\omega}$$

Avec :

P : la puissance transmise

$\omega$ : La vitesse angulaire.  $\omega = \frac{2\pi \times N}{60}$

$$\text{AN : } \omega = \frac{2\pi \times 750}{60} = 78.5 \text{ rd}$$

Où  $M_t$  est le moment de torsion de l'arbre en mN.

$$\text{AN : } M_t = \frac{14781.55}{78.5}$$

$$M_t = 188.3 \text{ mN}$$

Pour les mêmes données utilisées pour le calcul du diamètre de l'arbre à la flexion et après le calcul du moment de torsion nous allons calculer le diamètre de ce dernier à la torsion.

On sait que la contrainte maximale à la flexion est donnée par la relation suivante :

$$\tau_{max} = \frac{M_t \times v}{I_0} \leq \tau_p$$

Où  $I_0$  est le moment quadratique polaire en  $\text{mm}^4$ ,

Et  $v$  est le rayon de l'arbre (section circulaire,  $v = R$ ) en mm

$$\text{Avec : } I_0 = \frac{\pi \times R^4}{2}$$

## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

Nous allons calculer le rayon de l'arbre à la torsion, d'où on obtient la relation finale suivante :

$$R \geq \sqrt[3]{\frac{4 \times Mt}{\pi \times \tau_p}}$$

AN : 
$$R \geq \sqrt[3]{\frac{4 \times 188.3}{\pi \times 46.9}}$$



$$R \geq 2.5 \text{ mm}$$

D'où on retient un diamètre de l'arbre à la torsion :

$$d \geq 5 \text{ mm}$$

### III.3.1.5 Vérification aux sollicitations composées :

Nous avons un arbre qui est soumis à une sollicitation composée (flexion et torsion), dans ce cas nous allons calculer le diamètre idéal de cet arbre à partir du **critère de Rankine**. La condition de résistance selon Rankine s'exprime par la relation suivante :

$$|\sigma_{\max}| \leq \sigma_p$$

Nous avons la relation de Rankine suivante :

$$|\sigma_{\max}| = \frac{1}{2} \times \left[ \frac{Mifz + \sqrt{Mifz^2 + Mit^2}}{Igz/v} \right] \leq \sigma_p$$

- Où :
- $\sigma_{\max}$  est la contrainte maximale de flexion en Mpa,
  - $\sigma_p$  est la contrainte pratique de flexion en Mpa,
  - $Mit$  est le moment de torsion idéal ( $Mit = Mt$ ) en mN,
  - $v$  est le rayon de l'arbre (section circulaire) en mm, avec :  $v = R$ ,
  - Et  $Igz$  est le moment quadratique polaire en  $\text{mm}^4$ .

Pour une section circulaire le moment quadratique polaire est :

$$Igz = \frac{\pi \times R^4}{4}$$

D'où on obtient la relation suivante :

$$\sigma_p \geq 2 \times \left[ \frac{Mifz + \sqrt{Mifz^2 + Mit^2}}{\pi \times R^3} \right]$$

D'où l'on tire

$$R \geq \sqrt[3]{2 \times \left[ \frac{Mifz + \sqrt{Mifz^2 + Mit^2}}{\pi \times \sigma_p} \right]}$$

AN :

$$R \geq \sqrt[3]{2 \times \frac{565132.5 + \sqrt{565132.5^2 + 188.3^2}}{\pi \times 46.9}}$$

→ **R ≥ 25mm**

D'où le diamètre de l'arbre est

→ **d ≥ 50 mm**

### III.3.2 Roulement

Le guidage par palier lisse (coussinets) présente les inconvénients suivants : usure, échauffement, perte de puissance par frottement. Pour éviter ces inconvénients, une solution consiste à interposer des éléments roulants entre les pièces mobiles (arbre et alésage).

#### III.3.2.1 Choix du roulement

Le Choix du roulement dépend de la nature des efforts supportés et des conditions d'utilisations, vitesse de rotation et durée de fonctionnement.

Nous avons choisie des roulements à une rangée de billes, à contact radial.

## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

### III.3.2.2 Caractéristique du roulement à billes :

Symboles : +++ Excellent    ++ Bon    + Satisfaisant  
-Peu adapté    -- Inadapté

| Type de roulement         | Charge purement radiale | Charge purement Axiale | Charge Combinée | couple | Vitesse Elevée | Faible frottement |
|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|--------|----------------|-------------------|
| Roulement rigide à billes | +                       | +                      | +               | -      | +++            | +++               |

**Tableau III.2 :** caractéristique du roulement rigide à billes

### III.3.2.3 Durée de vie du roulement:

La durée de fonctionnement des broyeurs pour les olives est d'une moyenne de trois mois (décembre, janvier, février) pour chaque année. Le fonctionnement du broyeur est continu.

La durée de fonctionnement pour une saison :

On a :  $L_s = T \times d$

Avec :

$L_s$  : la durée de fonctionnement d'une saison.

$T$  : les heures dans 1 journée.

$d$  : nombre de jours dans la saison.

AN :  $L_s = 24 \times 90$



**$L_s = 2160 \text{ h}$**

## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

---

Nous estimons que la durée de vie du broyeur doit être au moins de dix saisons (10 ans).

Donc :  $L_{10} = L_s \times 10$

Avec :  $L_{10}$  : durée de vie nominale exprimée en 10 ans.

AN :

$$L_{10} = 2160 \times 10$$



|                             |
|-----------------------------|
| $L_{10H} = 21600 \text{ h}$ |
|-----------------------------|

Dans notre cas les roulements sont soumis uniquement des décharges radiales  $R_a$  ou  $R_b$ .

Donc la charge radiale équivalente est :  $P = R_a$

D'après l'équation de la durée de vie pour dix ans on peut déduire la capacité de charge dynamique :

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n$$

Avec :

$C$  : capacité de charge dynamique en daN.

$P$  : charge radiale équivalente en daN.

$n$  : 3 pour les roulements à billes.

On déduit que :  $C = \sqrt[3]{L_{10} \times P^3}$

AN :  $C = \sqrt[3]{21600 \times 15070.02^3}$



|                         |
|-------------------------|
| $C = 41700 \text{ daN}$ |
|-------------------------|

# Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

## III.3.2.4 Désignation du roulement:

D'après les calculs de RDM, Le diamètre de l'arbre est de 50 mm, Nous commençons par choisir des roulements a contacte radiales a contacte de diamètre 50mm.

TABLEAU 1. SÉRIE 6000

| Réf. du roulement | Caractéristiques |    |    |     |     |    | Dimensions de base |     |         |                   |                   |                  | Capacités de charge |                | Vitesse de référence thermique |        | Poids |
|-------------------|------------------|----|----|-----|-----|----|--------------------|-----|---------|-------------------|-------------------|------------------|---------------------|----------------|--------------------------------|--------|-------|
|                   |                  |    |    |     |     |    | Alésage            | DE  | Largeur | Rayon             |                   |                  | Dynamique           | Statique       | Graisse                        | Huile  |       |
|                   |                  |    |    |     |     |    | d                  | D   | B       | R <sub>1min</sub> | D2 <sub>max</sub> | f <sub>max</sub> | C <sub>r</sub>      | C <sub>s</sub> | TR/MIN                         | TR/MIN |       |
| Description       | Z                | ZZ | RS | ZRS | ZRZ | NR | mm                 | mm  | mm      | mm                | mm                | mm               | kN                  | kN             | TR/MIN                         | TR/MIN | kg    |
| 6000              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 10                 | 26  | 8       | 0,3               | 29,2              | 0,70             | 4,60                | 2,00           | 26000                          | 38000  | 0,020 |
| 6200              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 10                 | 30  | 9       | 0,6               | 34,7              | 1,12             | 5,10                | 2,40           | 22000                          | 32000  | 0,030 |
| 6300              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 10                 | 35  | 11      | 0,6               | 39,7              | 1,12             | 8,10                | 3,50           | 20000                          | 29000  | 0,050 |
| 6001              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 12                 | 28  | 8       | 0,3               | 30,8              | 0,85             | 5,10                | 2,40           | 23000                          | 33000  | 0,020 |
| 6201              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 12                 | 32  | 10      | 0,6               | 36,7              | 1,12             | 6,80                | 3,00           | 21000                          | 30000  | 0,040 |
| 6301              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 12                 | 37  | 12      | 1,0               | 41,3              | 1,12             | 9,70                | 4,20           | 19000                          | 27000  | 0,060 |
| 6002              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 15                 | 32  | 9       | 0,3               | 36,7              | 1,12             | 5,60                | 2,80           | 20000                          | 30000  | 0,030 |
| 6202              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 15                 | 35  | 11      | 0,6               | 39,7              | 1,12             | 7,60                | 3,70           | 19000                          | 28000  | 0,050 |
| 6302              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 15                 | 42  | 13      | 1,0               | 46,3              | 1,12             | 11,40               | 5,40           | 16000                          | 24000  | 0,080 |
| 6003              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 17                 | 35  | 10      | 0,3               | 39,7              | 1,12             | 6,00                | 3,30           | 19000                          | 28000  | 0,040 |
| 6203              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 17                 | 40  | 12      | 0,6               | 44,6              | 1,12             | 9,60                | 4,80           | 17000                          | 25000  | 0,070 |
| 6303              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 17                 | 47  | 14      | 1,0               | 52,7              | 1,12             | 13,60               | 6,60           | 15000                          | 22000  | 0,120 |
| 6004              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 20                 | 42  | 12      | 0,6               | 46,3              | 1,12             | 9,40                | 5,00           | 17000                          | 25000  | 0,070 |
| 6204              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 20                 | 47  | 14      | 1,0               | 52,7              | 1,12             | 12,80               | 6,60           | 15000                          | 22000  | 0,100 |
| 6304              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 20                 | 52  | 15      | 1,1               | 57,9              | 1,12             | 15,90               | 7,80           | 13000                          | 20000  | 0,140 |
| 6005              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 25                 | 47  | 12      | 0,6               | 52,7              | 1,12             | 10,10               | 5,80           | 14000                          | 21000  | 0,080 |
| 6205              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 25                 | 52  | 15      | 1,0               | 57,9              | 1,12             | 14,00               | 7,90           | 14000                          | 20000  | 0,130 |
| 6305              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 25                 | 62  | 17      | 1,1               | 67,7              | 1,70             | 20,60               | 11,20          | 12000                          | 17000  | 0,220 |
| 6405              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 25                 | 80  | 21      | 1,5               | 86,6              | 1,70             | 36,10               | 18,80          | 10000                          | 15000  | 0,530 |
| 6006              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 30                 | 55  | 13      | 1,0               | 60,7              | 1,12             | 13,20               | 8,30           | 12000                          | 18000  | 0,110 |
| 6206              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 30                 | 62  | 16      | 1,0               | 67,7              | 1,70             | 19,50               | 11,30          | 11000                          | 16000  | 0,200 |
| 6306              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 30                 | 72  | 19      | 1,1               | 78,6              | 1,70             | 26,60               | 15,00          | 10000                          | 15000  | 0,350 |
| 6406              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 30                 | 90  | 23      | 1,5               | 96,5              | 2,46             | 47,30               | 24,50          | 9300                           | 13000  | 0,740 |
| 6007              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 35                 | 62  | 14      | 1,0               | 67,7              | 1,70             | 15,90               | 10,30          | 11000                          | 16000  | 0,150 |
| 6207              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 35                 | 72  | 17      | 1,1               | 78,6              | 1,70             | 25,70               | 15,30          | 10000                          | 14000  | 0,290 |
| 6307              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 35                 | 80  | 21      | 1,5               | 86,6              | 1,70             | 33,40               | 19,20          | 9300                           | 13000  | 0,450 |
| 6307M             |                  |    |    |     |     |    | 35                 | 80  | 21      | 1,5               | -                 | -                | 33,40               | 19,20          | 9300                           | 13000  | 0,550 |
| 6407              |                  |    |    |     |     |    | 35                 | 100 | 25      | 1,5               | -                 | -                | 55,50               | 29,40          | 8500                           | 12000  | 0,950 |
| 6008              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 40                 | 68  | 15      | 1,0               | 74,6              | 1,70             | 16,80               | 11,50          | 10000                          | 15000  | 0,190 |
| 6208              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 40                 | 80  | 18      | 1,1               | 86,6              | 1,70             | 29,50               | 18,10          | 8800                           | 13000  | 0,370 |
| 6308              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 40                 | 90  | 23      | 1,5               | 96,5              | 2,46             | 40,70               | 24,00          | 8500                           | 12000  | 0,640 |
| 6408              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 40                 | 110 | 27      | 2,0               | 116,6             | 2,46             | 63,70               | 34,60          | 7800                           | 11000  | 1,250 |
| 6009              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 45                 | 75  | 16      | 1,0               | 81,6              | 1,70             | 19,90               | 14,00          | 9200                           | 13000  | 0,230 |
| 6209              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 45                 | 85  | 19      | 1,1               | 91,6              | 1,70             | 31,20               | 20,30          | 8200                           | 12000  | 0,420 |
| 6309              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 45                 | 100 | 25      | 1,5               | 106,5             | 2,46             | 48,80               | 29,30          | 7800                           | 11000  | 0,840 |
| 6309M             |                  |    |    |     |     | *  | 45                 | 100 | 25      | 1,5               | -                 | -                | 48,80               | 29,30          | 7800                           | 11000  | 1,025 |
| 6409              |                  |    |    |     |     | *  | 45                 | 120 | 29      | 2,0               | 129,7             | 2,82             | 77,20               | 45,20          | 7200                           | 10000  | 1,550 |
| 6010              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 50                 | 80  | 16      | 1,0               | 86,6              | 1,70             | 21,80               | 16,50          | 8300                           | 12000  | 0,250 |
| 6210              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 50                 | 90  | 20      | 1,1               | 96,5              | 2,46             | 35,00               | 23,20          | 7700                           | 11000  | 0,460 |
| 6310              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 50                 | 110 | 27      | 2,0               | 116,6             | 2,46             | 57,50               | 35,30          | 7200                           | 10000  | 1,050 |
| 6310M             |                  |    |    |     |     |    | 50                 | 110 | 27      | 2,0               | -                 | -                | 57,50               | 35,30          | 7200                           | 10000  | 1,260 |
| 6410              |                  |    |    |     |     |    | 50                 | 130 | 31      | 2,1               | -                 | -                | 83,10               | 49,40          | 6800                           | 9700   | 1,900 |
| 6011              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 55                 | 90  | 18      | 1,1               | 96,5              | 2,46             | 28,30               | 22,40          | 7800                           | 11000  | 0,260 |
| 6211              | *                | *  | *  | *   | *   | *  | 55                 | 100 | 21      | 1,5               | 106,5             | 2,46             | 43,40               | 29,20          | 7000                           | 10000  | 0,610 |

Figure III.9: Catalogue Timken Des Roulements Rigides À Billes.

## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

---

D'après le groupe chevalier nous avons choisir un roulement qui conviens avec nous calculs de marque Timken qu'a les caractéristiques qu'on a besoin. La capacité de charge dynamique de ce roulement est supérieure a celle qu'on a calculé donc sa nous conviens exacte pour notre projet.

La référence du roulement choisi :

Roulement Timken série 6310 d50 D110

6310 : série de base

d50 : diamètre intérieure

D110 : diamètre extérieure

### III.3.3 Clavette

La clavette est utilisée entre un arbre et le moyeu de la machine (poulies, engrenage ...) c'est un moyen commode et économique destiné pour tout montage qui tourne à basse

vitesse, lorsqu'on doit fréquemment monter ou démonter l'élément de l'arbre en générale, le montage à clavette est accompagné d'un passage léger (c'est à dire que l'alésage est légèrement supérieure au diamètre de l'arbre).

Pour éviter l'excentricité et le jeu de rotation, on distingue 3 types principaux de clavette :

- les clavette parallèle (carrées ou rectangulaires)
- les clavette inclinées (avec ou sans talon)
- les clavettes disque

La longueur de la clavette est alors ajustée pour satisfaire aux exigences de résistance des matériaux. Pour déterminer la résistance d'une clavette, on utilise l'hypothèse simplificatrice voulant que les forces soient distribuées uniformément sur les surfaces d'une clavette.

#### III.3.3.1 Calcul d'une clavette rectangulaire

Si la puissance à transmettre  $p$  est connue, on peut déduire le couple de torsion  $M_t$  en utilisant :

La relation suivante

$$M_t = \frac{p}{\omega}$$

$\omega$  : Vitesse de rotation rd/s

$p$  : Puissance à transmise tr/min

Donc :

$$M_t = 188.3 \text{ mN}$$



## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

Ce couple transmet une force  $F$  entre l'arbre et la clavette sachant que

$$M_t = F \times \frac{d}{2}$$

$$\longrightarrow F = M_t \times \frac{2}{d}$$

AN :

$$F = \frac{188.3 \times 2}{50}$$

$$\longrightarrow \boxed{F = 7.5\text{N}}$$

Avec  $F$  et la force exercée sur la clavette, cette force  $F$  engendre des contraintes de compression (écrasement) sur les surfaces et des contraintes de cisaillement dans le plan.



Figure III.10: Clavette rectangulaire

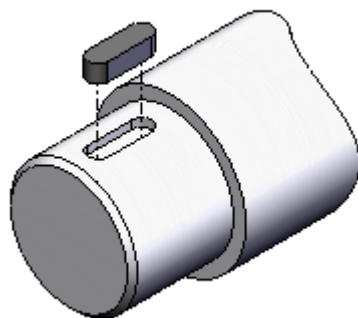


Figure III.11: clavette rectangulaire monté sur l'arbre

## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

### III.3.3.2 Condition de résistance au cisaillement

Matériau acier A60

$$R_p = 600 \text{ N/mm}^2$$

Avec :

$R_{pg}$  : la résistance pratique élastique au glissement (ou cisaillement).

$$R_{pg} = R_p / 2$$

D'après le groupe chevalier on prend les paramètres suivant qui nous conviens pour notre diamètre au cisaillement ( $d=50\text{mm}$ ) qui sont normalisé :

$a$  : la largeur de la clavette au cisaillement :  $a=14\text{mm}$

$L$  : la longueur de la clavette au cisaillement.

$S$  : la surface au cisaillement de la clavette :  $S = L \times a$

On calcule la longueur de la clavette au cisaillement en utilisant la relation suivante :

$$\tau = \frac{Ft}{S}$$

$$\text{Avec : } Ft = \frac{2 \times Mt}{d}$$

$$\text{Donc en déduire : } \tau = \frac{2 \times Mt}{L \times a \times d} \leq R_{pg}$$

$$\longrightarrow L \geq \frac{2 \times Mt}{a \times d \times R_{pg}}$$

$$\text{AN : } \longrightarrow L \geq \frac{2 \times 188.3}{14 \times 50 \times 300}$$

$$L = 18 \text{ mm}$$

### III.3.3.3 Vérification au matage

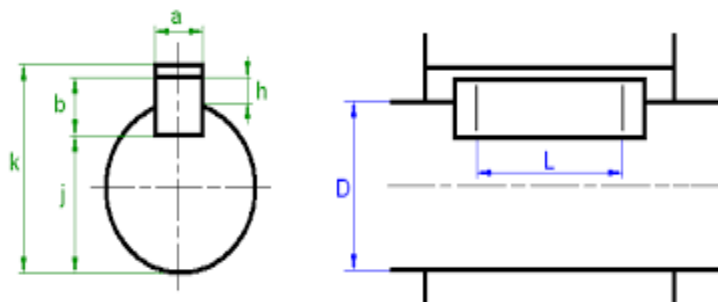


Figure III.12: Dimensionnement de la clavette

## Chapitre III : Calcul et Dimensionnement des broyeurs

D'après le groupe chevalier on prend les paramètres suivant qui nous conviens pour notre diamètre ( $d=50\text{mm}$ ) au matage qui sont normalisé:

$$H : \text{la hauteur de la clavette au matage: } j + \frac{H}{2} = d \longrightarrow H=11\text{mm}$$

$L'$  : la longueur de la clavette au matage.

$$J : \text{la tolérance : } j = d - \frac{H}{2}$$

$$S' : \text{la surface soumise au matage d la clavette : } S' = \frac{H}{2} \times L'$$

On calcule la longueur de la clavette au matage en utilisant la relation suivante :

$$\sigma_{\text{matage}} = \frac{Ft}{S'}$$

Donc en déduire :

$$L' \geq \frac{2 \times Mt}{H \times d \times \sigma} \leq Rpg$$

$$\longrightarrow L' \geq \frac{2 \times Mt}{H \times d \times Rpg}$$

$$\text{AN : } \longrightarrow L' \geq \frac{2 \times 188.3}{11 \times 50 \times 600}$$

$$\boxed{L' = 23\text{mm}}$$

On conclure que la longueur au matage est supérieure a la longueur au cisaillement.

### III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous utilisons différents calculs de roulement RDM et d'arbre pour déterminer la taille des différents composants du broyeur à marteaux. Sur la base de ces calculs, nous avons sélectionné les enroulements appropriés, et nous avons également effectué des calculs pour clavette. De plus, les résultats de cette découverte confirment la résistance de ces éléments sous la force.



CONCLUSION

GÉNÉRALE

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

On a remarqué d'après nos renseignements qu'en Algérie, les broyeurs sont souvent utilisés dans des carrières minerais et usines de carrelage, et que la majorité des machines de broyage sont importées de l'étranger.

Donc, on a commencé par mentionner quelques généralités sur les divers types de broyeurs qui existent dans le domaine agroalimentaire, et c'est à partir de là qu'on a défini le projet: l'étude d'un broyeur à marteaux pour l'huile d'olives.

Il a fallu citer les diverses caractéristiques des broyeurs mais essentiellement le broyeur à marteaux pour l'huile d'olives. Pour ce dernier, la première partie a présenté quelques généralités sur ses caractéristiques incluant tous ses composants. A cette étape du travail on a commencé la partie de dimensionnement de chaque élément dont notre broyeur sera constitué. Le vrai travail dans ce projet a été partagé en deux parties par l'encadreur, la première partie dans laquelle on a effectué des recherches sur les généralités de l'olive et les broyeurs. Tandis que la deuxième a contribué aux calculs et dimensionnement des éléments constituant le broyeur à marteau.

Enfin grâce à notre essai dans le hall-technologie on a calculé la force d'écrasement d'olives qui nous a permis de calculer la puissance du moteur retenu et le calcul de RDM des éléments sollicités dans le broyeur à marteau

# BIBLIOGRAPHIE

## Bibliographies

---

- [1] **Lipshitz N (1991)**. The beginning of olive (*Olea europaea*) cultivation in the old world: a reassessment. *J. Arch. Sci.* 18, 441-453.
- [2] **Loukas M., Krimbas C.M. (1983)**. History of olive cultivars based on their genetic distances. *J. Hort Sci.* 58, 121.
- [03] **Boskou.D**, olive oil; chemistry and technology, edition AOCS press, 1996.
- [4] **Di Giovacchino L., Sestili S. & Di Vincenzo D. (2002)**. Influence of olive processing on virgin olive oil quality. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(9-10), 587-601.
- [5] **Alloum D. (1987)**. L'oléiculture Algérienne. *Options méditerranéennes – N° 24*, 45-48.
- [6] **385. Veillet S. (2010)**. Enrichissement nutritionnel de l'huile d'olive : Entre Tradition et Innovation. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. 153 pp.
- [7] **internet (Wikipédia)**.
- [8] **internet (Wikipédia)**.
- [09] **Cuellar. L.R**, amélioration de la qualité de l'huile d'olive, collection ; manuel protique (conseil oléicole international 1990).
- [10] **Pierre Blazy, El-Aid Djdid**, fragmentation –Technologie, technique de L'ingénieur.
- [11] **Miranda S, Yaeger S (1998)**. Homing in on the best size reduction method. *Chemical Engineering*, 11 : 102-110.
- [12] **Beckett. ST (1995)**. Physico-chemical aspects of food processing. Chapman & Hall, New York.
- [13] **Bertrand D, Melcion JP, Guibert D, Lysiak G (1996)**. Modélisation Markovienne du broyage des graines. Estimation des Proceedings of the 9th Symposium on comminution, Albi, France 8-10 septembre.
- [14] **Posner ES, Hibbs AN (1997)**. Wheat flour milling. American Association of Cereal Chemists, St Paul, Minn., Etats-Unis.
- [15] **Hammadi chimi**, technologies d'extraction de l'huile d'olive et gestion de sa qualité bulletin mensuel d'information et liaison du PNTTA.N 141 juin 2006 Maroc.



## Bibliographies

---

- [16] **AISSAM H, 2003.** Etude de la biodégradation des effluents des huileries (margines) et leur valorisation par production de l'enzyme tannas. Thèse de doctorat national, faculté des sciences DHAR EL MEHRAZ FES, université Sidi Mohamed BEN ABDELLAH, 156p.
- [17] **Cuellar. L.R,** amélioration de la qualité de l'huile d'olive, collection ; manuel protique (conseil oléicole international 1990).
- [18] **Benyahia Nadia,** analyse des problèmes de l'industrie de l'huile d'olive et solutions récemment développées, 2 -ème conférence international < suisse environmental solution for emerging countries (SESEC II) du 28-29 janvier 2003 à Lausanne, suisse.
- [19] **Amouretti.M-C, Comet.G,** le livre de l'olivier edisund, 1985.
- [20] Site internet [http : //www.herbold.com](http://www.herbold.com), consulté le 13 avril 2018.
- [21] **Boskou dimitrios,** olive oil chemistry and technology, 2 eme edition AOCS press, 2006.
- [22] **Roger Francois,** les industries des corps gras, Edition technique et documentation, 1974.
- [23] **Foin julien., Claude Sarfati,** le guide des huiles d'olive, Edition du rauergue, 2002.
- [24] **Argensou.c et all,** l'olivier, les éditions ctiff, 1999, 204 pages
- [25] **Foin julien., Claude Sarfati,** le guide des huiles d'olive, Edition du rauergue, 2002.
- [26] **Amouretti.M-C, Comet.G,** le livre de l'olivier edisund, 1985.
- [27] **Cuellar. L.R,** amélioration de la qualité de l'huile d'olive, collection ; manuel protique (conseil oléicole international 1990).
- [28] **Di Givacchino.L,** L'Extraction de l'huile des olives par le système de pression de la centrifugation et de percolation incidence de technologie d'extraction sur le rendement en huile, olivae, N36, p.15, 1991.

## Bibliographies

---

- [29] **AISSAM H, 2003.** Etude de la biodégradation des effluents des huileries (margines) et leur valorisation par production de l'enzyme tannas. Thèse de doctorat national, faculté des sciences DHAR EL MEHRAZ FES, université Sidi Mohamed BEN ABDELLAH, 156p.
- [30] **AISSAM H, 2003.** Etude de la biodégradation des effluents des huileries (margines) et leur valorisation par production de l'enzyme tannas. Thèse de doctorat national, faculté des sciences DHAR EL MEHRAZ FES, université Sidi Mohamed BEN ABDELLAH, 156p.
- [31] **AISSAM H, 2003.** Etude de la biodégradation des effluents des huileries (margines) et leur valorisation par production de l'enzyme tannas. Thèse de doctorat national, faculté des sciences DHAR EL MEHRAZ FES, université Sidi Mohamed BEN ABDELLAH, 156p.
- [32] **Argensou.c et all,** l'olivier, les éditions ctiff, 1999,204 pages
- [33] **Foin julien., Claude Sarfati,** le guide des huiles d'olive, Edition du rauergue,2002.
- [34]**Niaounakis. M, Halvadakis.C. P,** olive processing waste management, 2<sup>nd</sup> édition.
- [35] **Hammadi chimi,** technologies d'extraction de l'huile d'olive et gestion de sa qualité bulletin mensuel d'information et liaison du PNTTA.N 141 juin 2006 Maroc.
- [36] **EL Hajjouji Houda,** évolution des caractéristiques physico-chimiques, spectroscopiques et ecataxicologique des effluents d'huileries d'olive au cours de traitement biologique et chimique, thèse de doctorat, institut polytechnique de Toulouse (France, 2007).
- [37] **Hammadi chimi,** technologies d'extraction de l'huile d'olive et gestion de sa qualité bulletin mensuel d'information et liaison du PNTTA.N 141 juin 2006 Maroc.

# Bibliographies

---

# Résumé

On a remarqué d'après nos renseignements qu'en Algérie, les broyeurs sont souvent utilisés dans des carrières minérales et usines de carrelage, et que la majorité des machines de broyage sont importées de l'étranger.

Donc, on a commencé par mentionner quelques généralités sur les divers types de broyeurs qui existent dans le domaine agroalimentaire, et c'est à partir de là qu'on a défini le projet : l'étude d'un broyeur à marteaux pour l'huile d'olives.

Il a fallu citer les diverses caractéristiques des broyeurs mais essentiellement le broyeur à marteaux pour l'huile d'olives. Pour ce dernier, la première partie a présenté quelques généralités sur ses caractéristiques incluant tous ses composants. A cette étape du travail on a commencé la partie de dimensionnement de chaque élément dont notre broyeur sera constitué.

Le vrai travail dans ce projet a été partagé en deux parties par l'encadreur, la première partie dans laquelle on a effectué des recherches sur les généralités de l'olive et les broyeurs. Tandis que le deuxième a contribué aux calculs et dimensionnement des éléments constituant le broyeur à marteau.

It has been noted from our information that in Algeria, crushers are often used in ore quarries and tiling factories, and that the majority of crushing machines are imported from abroad.

So, we started by mentioning some generalities on the various types of crushers that exist in the food industry, and it is from there that we defined the project: the study of a hammer mill for the olive oil.

We had to cite the various characteristics of the crushers, but mainly the hammer mill for olive oil. For the latter, the first part presented some generalities on its characteristics including all its components. At this stage of the work, we started the dimensioning part of each element of which our crusher will be made.

The real work in this project was split into two parts by the mentor, the first part in which research was carried out on the generalities of olives and grinders. While the second contributed to the calculations and sizing of the constituent elements of the hammer mill.