



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ANTSIRABE VAKINANKARATRA



CENTRE DE FORMATION ET D'APPLICATION DU
MACHINISME AGRICOLE



Mention : Génie rural

Parcours : Mécanisation Agricole



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME

D'INGENIEUR EN MECANISATION AGRICOLE

GRADE MASTER

CONCEPTION D'UN BROYEUR LABORATOIRE



Présenté par : Edith ANDRIANTEFINANAHARY

Dirigé par : Haga Johary RAKOTOARISOA



REMERCIEMENTS

Nos propres efforts ne nous ont pas suffi pour réaliser ce mémoire, aussi : nous tenons tout d'abord à rendre grâce à Dieu tout puissant pour la force et le privilège qu'Il nous a accordé tout au long de la période de préparation de cette mémoire.

Que Monsieur RANDRIANJA Roger vice président de l'université d'Antananarivo trouve ici notre profonde gratitude pour l'autorisation qu'il nous a donnée pour la réalisation de ce présent ouvrage.

Nous exprimons également nos remerciements particuliers à l'endroit de Monsieur, RAJAONARISAONA Eddy Franck, le directeur de l'IES-AV.

Toute notre reconnaissance à l'endroit de Monsieur RAKOTOARISOA Haga Johary, responsable du parcours MECANISATION AGRICOLE, et en tant qu'encadreur pour les aides et conseils inestimables qu'il nous a fournis tout au long de la préparation de cette mémoire.

Nous remercions Monsieur ANDRIANJATOVO Mahefanirina qu'on bien voulu examiner notre travail. Son présence va valoriser, de manière certaine le travail que nous avons effectué.

Nous ne manquerions pas d'adresser aussi nos remerciements au corps professoral et à toute l'équipe administrative de l'IES-AV qui nous ont servi de guide durant nos années d'études.

Et enfin, nous adressons et exprimons nos affectueux remerciements à l'endroit de notre famille et de toutes les personnes qui ont, de loin ou de près, contribué à la réalisation de ce présent travail.

Que la grâce de Dieu vous accompagne.

Un grand merci à toutes et à tous !

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I: GENERALITE SUR LES BROyeurs

- I.1- Définition*
- I.2- Mode de fragmentation*
- I.3- Mécanismes de fragmentation*
- I.4- Caractéristiques des matériaux à broyer*
- I.5- Les différents types de broyeurs*
- I.6- Différentes utilisations des broyeurs*

CHAPITRE II: GENERALITES SUR LES CAPTEURS

- II.1- Définition :*
- II.2- Classification des capteurs*

CHAPITRE III: GENERALITES SUR L'ARDUINO

- III.1- Les différents types d'Arduino(11)*
- III.2- Afficheur LCD*
- III.3- Le module I2C*

DEUXIEME PARTIE : CONCEPTION ET REALISATION

CHAPITRE IV: RESULTAT DE L'ENQUETE

- IV.1- Contexte*

CHAPITRE V: LES ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN BROyeur A MARTEAUX

- V.1- La trémie :*
- V.2- La chambre de broyage :*
- V.3- Les marteaux :*
- V.4- L'arbre :*
- V.5- Les paliers :*
- V.6- Grille ou tamis :*
- V.7- Le bâti :*

CHAPITRE VI: DIMENSIONNEMENTS

- VI.1- Étape de conception*
- VI.2- Détermination du diamètre de la poulie à l'axe du broyeur*
- VI.3- Détermination de diamètre de l'arbre :*
- VI.4- Programmation des appareils de mesure*

CHAPITRE VII: PROCEDE ET FABRICATION

- VII.1- Gamme de fabrication*
- VII.2- Installation des capteurs sur le broyeur*

CHAPITRE VIII: ESSAIS ET ANALYSES DES RESULTATS

CHAPITRE IX: ANALYSES

- IX.1- Forces*

IX.2- Faiblesse

IX.3- Suggestion

IX.4- Entretien de la machine.

CONCLUSION

REVUE BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

TABLE DES MATIERES

RESUME

ABSTRACT

LISTE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure N° 1. Chambre de broyage d'un broyeur à couteaux	6
Figure N° 2. Schéma d'un broyeur à marteaux.....	8
Figure N° 3. Chambre de broyage d'un broyeur à broches	9
Figure N° 4. Les deux types de broyeur à cylindre	10
Figure N° 5. Schéma d'un broyeur à meule.....	13
Figure N° 6. Broyage traditionnelle au mortier pilon	14
Figure N° 7. Schéma fonctionnel de l'opération des capteurs.....	18
Figure N° 8. Généralité de l'arduino	21
Figure N° 9. Carte Arduino UNO	23
Figure N° 10.Écran LCD 20X4.....	24
Figure N° 11.Le broyeur à marteaux.....	26
Figure N° 12.Un broyeur à couteaux.....	27
Figure N° 13.Trémie.....	28
Figure N° 14.La chambre de broyage	29
Figure N° 15.Le tamis	30
Figure N° 16.Corps du broyeur en premier essai	32
Figure N° 17.Rotor du broyeur en premier essai	32
Figure N° 18.Le système de mesure.....	39
Figure N° 19.DS 18B92 en boîtier TO-92.....	40
Sonde étanche DS18B20	40
Figure N° 20.Schéma d'installation du disque codeur	43
Figure N° 21.Broches de sorties du capteur photoélectrique H206	43
Figure N° 22.Capteur à effet Hall ACS712	46
Figure N° 23.Schéma du circuit ACS712.....	47
Figure N° 24.Montage finale de l'appareil de mesure	49
Figure N° 25.L'emplacement de la sonde DS18B20	55
Figure N° 26.L'emplacement du capteur H206 et le disque DZ186	56
Figure N° 27.Schéma du montage de capteur ACS712 sur le moteur du broyeur	56
Figure N° 28.La variation de la puissance du moteur	57
Figure N° 29.La variation de vitesse de rotation du moteur	58
Figure N° 30.La variation des températures dans la chambre de broyage	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N° 1. Les capteurs les plus fréquents	17
---	----

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

PIB	: Produit Intérieur Bruit	P	: poids
mm	: millimètre	N	: newton
µm	: micromètre	Mr	: moment réduit
m.s¹	: mètre par seconde	σ_{eq}	: contrainte équivalente
ch	: Cheval vapeur	Mf	: moment de flexion
kW	: kilowatt	Wf	: module de résistance à la flexion
t/mn	: tour par minute	τ	: contrainte tangentielle
T/h	: tonne par heure	Mt	: moment de torsion
TOR	: Tout ou rien	Wt	: module de résistance à la torsion
ILS	: Interrupteur à lame souple	P	: puissance
VAC	: Courant alternatif en volt	w	: watt
LVDT	: Linear Variable Differential Transformer	ch	: Cheval vapeur
V	: Volt	ω	: vitesse angulaire
PC	: Personal Computer	rad/s	: radiant par seconde
OS	: Operating System	N	: vitesse de rotation
USB	: Universal Serial Bus	rpm	: rotation par minute
mA	: milli Ampère	d	: diamètre
KB	: Kilo Bits	σ_e	: résistance élastique
MHz	: Méga Hertz	S	: surface
SRAM	: Synchronius Random Acces Memory	s	: coefficient de sécurité
EEPROM	: Erasable Programmable Read Only Memory	F	: force
LCD	: Liquid Crystal Display	V	: vitesse
I2C	: Inter-Integrated Circuit	R	: rayon
IDE	: Integrated Drive Electronics	H	: Hauteur
VCC	: Alimentation positive	PT	: Page Table.
GND	: Ground, Alimentation négative	NL	: Native Language
SDA	: Serial Data Line	DEL	: Diode Electro Luminescent
SCL	: Serial Clock Line	N	: Vitesse de rotation en rpm
e	: épaisseur	Nm	: Newton mètre
V	: volume	Rpg	: Résistance Pratique au Glissement
L	: longueur	Rpe	: Résistance pratique à l'extension
l	: largeur	°C	: Degré Celsius
m	: masse	kV	: kilo Volt
ρ	: masse volumique	kΩ	: kilo ohm
kg	: kilogramme	mV	: millivolt
dm	: décimètre	kV	: Kilovolt

INTRODUCTION

Faisant partie des pays du tiers monde, Madagascar nécessite plusieurs efforts pour atteindre l'objectif du développement durable. Plusieurs domaines et secteurs comme la santé, l'éducation, l'accès à l'eau potable et à l'énergie renouvelable ainsi que le développement de l'agriculture et de l'élevage sont plus que primordiales sur l'économie du pays. Ces derniers constituent le revenu des 80% de la population et doivent être priorités par les responsables et acteurs du développement. Le secteur agricole avec l'agroalimentaire constituent une composante essentielle de l'économie malgache car ils contribuent pour près de 43 % du produit intérieur brute (PIB) du pays.(1)

Comme annoncé précédemment, 80% de la population Malagasy vivent dans le monde rural et s'activent dans l'agriculture et l'élevage, mais, malgré cela, la majorité de la population est toujours menacée par la malnutrition et la pénurie alimentaire, ce pour manque des moyens financiers et matériels pour les agriculteurs qui devraient assurer et répondre aux besoins en matière de production agricole au profit de la population toute entière.

Malgré le fait qu'il constitue l'activité des 80% de la population Malgache, le secteur est vulnérable et nécessite beaucoup d'effort pour assurer son développement. Outre les nouvelles techniques, la mécanisation agricole joue également un rôle important pour assurer le développement de ce domaine. Le secteur est très vaste mais les plus importants touchent généralement l'agriculture et l'élevage. Ces derniers et la « transformation » sont également interdépendants si l'on ne parle que de la transformation des produits pour améliorer l'alimentation animale et aussi celle de l'homme, ce pour un revenu complémentaire.

L'élevage de vaches laitières, des porcs, et des poules pondeuses et poulets de chair est devenu très courant dans le pays depuis quelques dizaines d'années. Aussi, outre la production de différentes farines pour l'alimentation humaine, la production de différentes provendes pour animale exige l'utilisation des machines et matériels agricoles.

Nous avons donc ainsi décidé de faire des recherches sur le broyeur qui est le plus utilisé en matière de transformation en nous concentrant sur l'amélioration de sa fabrication. La plupart des entreprises à Madagascar utilisent tous des broyeurs artisanaux, qui ont leurs propres formes et présentations. Etant donné qu'il est le plus facile à manipuler, le broyeur à marteaux est les plus courants dans le pays pour la bonne raison que notre étude se porte sur la conception d'un broyeur laboratoire.

De quelle référence mathématique les concepteurs et les fabricants de broyeur peuvent ils se baser pour la réalisation d'une machine ?

Aussi, afin de répondre à cette question, nous avons subdivisé notre ouvrage en deux parties dont la recherche bibliographique et la conception du dit broyeur.

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**CHAPITRE I: GENERALITE SUR LES BROYEURS****I.1-Définition****I.1.1- Le broyeur**

Le broyeur est une machine ou un appareil dont la fonction est de broyer, de concasser ou de réduire l'état d'une particule. Il peut également réduire un matériau en poudre fine ou en très micro éléments en voie séchage ou le contraire.(2)

Les industries de construction, les laboratoires, le compostage ainsi que la provenderie utilisent des broyeurs de différents types correspondant à leur besoins respectifs.

I.1.2- Le broyage

Le broyage est une opération unitaire visant à fragmenter un matériau pour réduire la taille afin de lui donner une forme utilisable ou d'en séparer les constituants.

Le but du broyage est de réduire des matières solides d'une taille donnée à une taille plus petite, en les fragmentant.

A cet effet, le matériau est soumis à des sollicitations mécaniques qui entraînent une augmentation de son énergie libre.

Lors de la fragmentation, cette énergie peut être transformée suivant différent processus : en énergie élastique (mettant en jeu les défauts de réseau qui donnent naissance à la fissuration), en énergie de surface (Progression de fracture et énergie génératrice de fractures), et diverses autres formes d'énergie permettant en conséquence l'amorphisation superficielle ou massique des solides cristallins, l'agglomération, les transitions polymorphiques, les réactions mécano-chimiques.

I.2-Mode de fragmentation

Suivant le type de broyeur utilisé, les contraintes infligées au produit à broyer sont de nature différente.

La compression ou l'écrasement sont souvent utilisés, notamment dans les industries alimentaires où l'on trouve fréquemment des broyeurs à cylindres lisses ou cannelés,

Les broyeurs à impact permettent d'atteindre différents ordres de grandeurs en termes de taille, allant du broyage grossier avec les broyeurs à marteaux au broyage ultra fin avec les broyeurs à jet d'air en passant par les broyages fins avec les broyeurs à broches.

Le broyage par attrition est mis en œuvre dans les broyeurs colloïdaux ou broyeurs à disques.

Le découpage et le cisaillement qui permettent éventuellement l'obtention de produit de dimension fini sur des matières qui peuvent présenter une certaine élasticité.

I.3-Mécanismes de fragmentation

Suivant le matériau traité et le mode de fragmentation mis en œuvre, différents mécanismes de fragmentation restent possibles. On considère, en général trois grands types de mécanisme de fragmentation qui compte tenu de l'inhomogénéité de la répartition des défauts structuraux des particules, interviendront souvent simultanément :

➤ L'abrasion consiste en une érosion de la surface des particules ; elle génère deux grandes populations : La première de taille voisine de la particule abrasée, la seconde constituée par les fragments arrachés étant une population de particules beaucoup plus fines que la population de départ. L'abrasion a donné lieu à de nombreuses études notamment de la part des spécialistes de la fluidisation et des réacteurs catalytiques, domaine dans lequel ce mode de fragmentation est généré par un phénomène indésirable : l'attrition.

L'attrition est définie comme une usure de deux particules dures par frottement.

➤ La désintégration résulte d'un apport énergétique suffisamment intense pour engendrer une contrainte qui dépasse largement le point de fracture. Les particules ainsi générées sont de petite taille devant celle de la particule mère et la distribution de tailles de ces fragments est très étalée.

➤ Le clivage, phénomène intermédiaire entre l'abrasion et la désintégration, engendre la production de particules du même ordre de grandeur que la particule mère, il résulte d'un apport énergétique juste suffisant à la propagation de fractures préexistantes dans le matériau traité.

I.4-Caractéristiques des matériaux à broyer

Le comportement d'un lot de particules vis-à-vis d'un processus de broyage va être étroitement lié à la nature de ces particules. Nous proposons ci- après un rapide inventaire des principales propriétés relatives à l'aptitude au broyage d'un matériau qui devra être prise en compte pour le choix d'un type de broyeur à utiliser.

Le choix d'un broyeur dépend principalement de trois facteurs :

➤ La nature de la matière première : abrasive, oléagineuse, dure, cassante, élastique, thermosensible, hygroscopique ?

➤ La distribution granulométrique (taille moyenne et variante) du produit que l'on cherche à obtenir.

➤ Le dimensionnement de l'unité industrielle : quantité et /ou débit.

I.5-Les différents types de broyeurs

La plupart des applications alimentaires peuvent être traitées avec des grands types de broyeurs tels que :(2)

- Broyeurs à couteaux
- Broyeurs à marteaux
- Broyeurs universel
- Broyeur à cylindre (à rouleaux)
- Broyeur à meules.

I.5.1- Broyeur à couteaux

Les broyeurs à couteaux sont utilisés pour le pré-broyage des matériaux tendres, mi-durs, caoutchouteux, élastiques et fibreux ainsi que des mélanges des matériaux hétérogènes comme les épices, aliments pour animaux, bois, caoutchoucs, cartons, cuirs, déchets électroniques, lignites, morceaux de plantes, os, pailles, papiers, plastiques, résines, textiles, ...

I.5.1.1- Principe de fonctionnement

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 et aussi pour les matières plastiques et le papier. Les tailles obtenues sont généralement de l'ordre de 1 à 6 mm. A titre indicatif, les débits peuvent être très importants et dépasser plusieurs dizaines de tonnes à l'heure comme lors du broyage de la betterave en sucrerie. Certains appareils sont munis de dispositif d'alimentation permettant d'introduire des pièces de grandes tailles.(3)

I.5.1.2- Avantages

- coupes optimales
- nettoyage rapide et facile grâce aux surfaces lisses et au rotor extractible
- granulométrie finale définie par des tamis de fond à ouverture de maille de 0,25 à 20 mm
- vaste gamme d'accessoires tels que trémies, récipients collecteurs, rotors et tamis
- normes de sécurité les plus élevées

I.5.1.3- Souplesse et robustesse

Les broyeurs à couteaux sont l'idéal pour fragmenter des matériaux mous à mi-durs, cassants, fibreux, résistants, sensibles à la température, pour broyer des plastiques et préparer des mélanges hétérogènes. Les échantillons sont fragmentés par coupes et cisaillements, la cassette-tamis détermine la finesse souhaitée.

Des couteaux en géométries diverses et des lames remplaçables assurent une flexibilité et une durabilité optimisées. Pour contrôler le comportement à l'abrasion, il est possible d'utiliser des outils de coupe en différents types d'acier ou en carbure de tungstène.

Figure N° 1. Chambre de broyage d'un broyeur à couteaux.



Source : Auteur

I.5.2- Broyeur à marteaux

Broyeur dans lequel le matériau est soumis à des marteaux articulés fixés à un rotor ; destiné aux produits demi-durs et non abrasifs.

Ils produisent une réduction de taille par impact entre les particules et une surface dure. Dans le broyeur à marteaux, les grains ne sont pas écrasés mais éclatés par choc avec les marteaux articulés tournant à grande vitesse (3000 tr/mn ou plus) dans une chambre de broyage.

La finesse des farines est en fonction de celle des perforations de la grille entourant la chambre de broyage. Plus le diamètre de perforation est petit, plus la farine sera fine mais cela implique un faible débit du broyeur. La granulométrie finale peut aller de la moyenne (2mm) à fine (20µm).(4)

Les principaux facteurs régissant le procédé sont

- La taille et la forme du tamis associées
- Le type des marteaux
- La vitesse périphérique des marteaux (20 à 60 m.s¹)

Ces moulins sont les plus utilisés dans les industries de Provenderie ; leur arbre horizontal est entraîné par une source d'énergie extérieure, moteur électrique ou thermique.

Certains modèles peuvent aussi être couplés à la prise de force d'un tracteur.

Un rotor muni de pièces d'acier fixe ou mobile appelé « marteau » lance le produit à plus de 100mètres à la seconde sur une plaque de choc fixe et sur une grille dont le diamètre de perforation règle la finesse de broyage.

La granulométrie de la provende est bonne pourvue que les marteaux ne soient pas usés et que la grille ne présente pas des trous anormaux dus à des corps étrangers (pierre ; pièces métalliques).

La puissance des moteurs électriques varie entre 2 et 15kW, selon la taille et le modèle de broyeur.

I.5.2.1- Principe de fonctionnement :

Les moulins à marteaux ont pour principe de pulvériser les grains en les projetant à grande vitesse contre la chambre de broyage.

Le broyage s'effectue principalement entre la grille et les marteaux. Lorsque la finesse voulue est atteinte, les matériaux passent alors à travers la grille d'évacuation.

Cet appareil doit obligatoirement, être entraîné par un moteur car la vitesse de rotation des marteaux ne permet pas un entraînement manuel.

Son principal avantage est centré sur l'entretien simple et peu coûteux ; son principal inconvénient réside sur le fait qu'il s'accommode mal à des oléagineux et à des céréales humides.

Dans le broyeur à marteaux, les grains ne sont pas écrasés mais éclatés par choc avec les marteaux articulés tournant. La vitesse de rotation des marteaux doit être d'au moins 1500 tours par minute ; le plus souvent, elle est de 3000 tours par minute pour un moteur de puissance 5 à 7ch.

Le débit est influencé par plusieurs facteurs, en particulier par les caractéristiques de la grille, le taux d'humidité des grains et la puissance du moteur.

Le broyeur à marteaux est utilisé pour réduire des produits de masse moyenne à lourde en percutant la matière par des marteaux. La finesse des farines est en fonction de celle des perforations de la grille entourant la chambre de broyage. Plus le diamètre de perforation est petit et plus la farine sera fine mais cela implique également un faible débit du broyeur.

Le broyeur à marteaux est polyvalent, robuste, et nécessite un entretien aisé. Il n'est utilisé que pour des produits secs (grains, cossettes..) notamment avec les grilles à fines perforations.

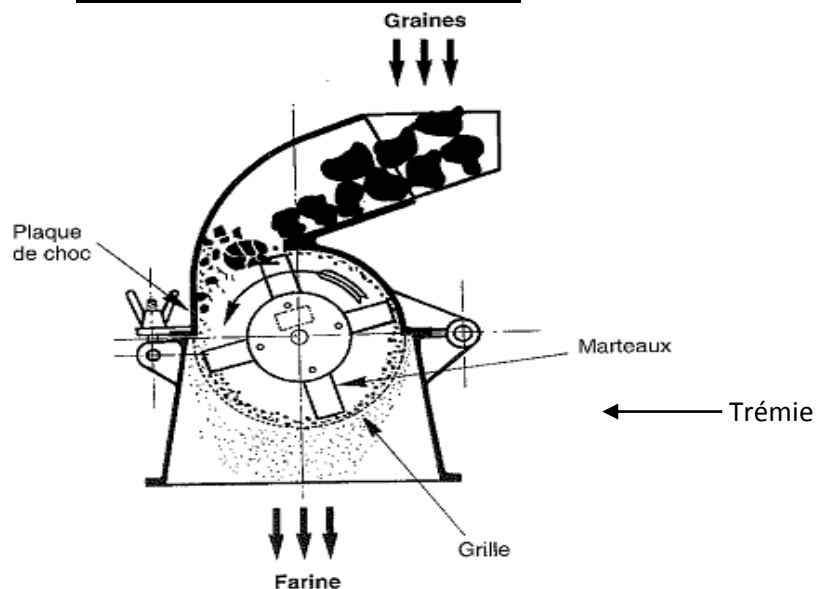
Selon sa configuration, le broyeur à marteaux peut traiter les produits tendres, de masse faible, moyenne ou lourde, collants, abrasifs... dans les domaines suivants :

- Environnement et recyclage
- Combustibles
- Minéraux, engrais, chimie minérale
- Alimentaire, pharmacie, chimie fine
- Métaux

I.5.2.2- Avantages

- Robuste
- Broyeur totalement adaptable,
- Granulométrie uniforme à la sortie,
- Usage industriel intensive,
- Transmission par courroie,
- Accès aisé pour l'entretien et le contrôle de l'usure,
- Accès et remplacement faciles de la grille.

Figure N° 2. Schéma d'un broyeur à marteaux



(2)

I.5.3- Broyeur à broches

Sur la base du corps de broyeur du broyeur à croisillon Peppink, des broyeurs à broches sont construits selon les spécifications du client. Un broyeur à broches a la propriété de broyer finement un produit. Utiliser le broyeur à broches comme pré concasseur pour un broyeur à croisillon est aussi une option. Le broyeur à broches est exécuté selon les spécifications

émanant du client sous une forme soudée. Le produit à broyer, la granulométrie et la capacité jouent un rôle important dans la conception du broyeur à broches.

Figure N° 3. Chambre de broyage d'un broyeur à broches



Principe de fonctionnement

Le broyeur à broches se compose de deux disques verticaux disposés en face l'un de l'autre ; des broches sont fixées sur les disques. Le matériau est introduit au centre de ces disques qui broient le produit grâce à un disque à rotatif à broches. Le produit est alors amené à travers les cercles concentriques des broches vers l'extérieur. La granulométrie finale peut être influencée en modifiant la vitesse du disque interne. Le disque extérieur (porte) peut être aisément ouvert, de manière à permettre à un nettoyage rapide et en profondeur. En option, le disque stationnaire peut aussi être entraîné dans le sens opposé.

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 petites production industrielles.

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

- Les impacts entre particules et corps broyant
- Les chocs inter-particules
- L'attrition

Lors de l'utilisation d'un module rotor-stator de type disques 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 fixe du stator. La vitesse du rotor peut atteindre des vitesses périphériques de l'ordre de 200 m.s^{-1} . La taille des particules est dans cette configuration déterminée par les débits d'alimentation et les vitesses des disques à broches

I.5.4- Broyeur à cylindres :

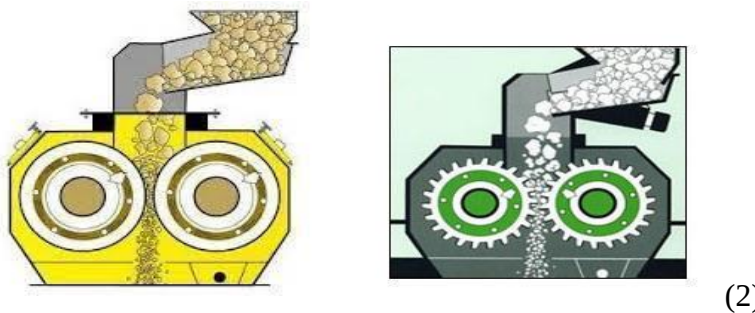
Très utilisés dans les industries agro-alimentaires, on les trouve dans de nombreux secteurs. Ils comportent généralement plusieurs paires de cylindres.

Principe de fonctionnement

Chaque paire de cylindres tournent en sens opposé de vitesse différente. La surface des cylindres (lisses ou cannelés), leur vitesse de rotation et leur écartement conditionnent la finesse de la mouture. Lorsque les cylindres sont lisses, la compression et frottement sont les facteurs de fracture tandis qu'avec des cylindres cannelés, une action de cisaillement existe également.

La matière passe entre deux cylindres et ressort sous forme de plaquette friable. Ce type d'appareil est souvent utilisé en pré-broyage ou en broyage hybride. Outre le concassage des produits moyennement abrasifs, il peut servir pour le concassage de produits mous, collants, élastiques ou fibreux.

Figure N° 4. Les deux types de broyeur à cylindre



(2)

I.5.5- Broyeur à meules

I.5.5.1- Principe de fonctionnement :

Le moulin est constitué d'une meule fixe, et d'une meule mobile tournant sur la première, dans un plan horizontal ou vertical.

Les deux meules de la machine sont de matière ayant de dimensions identiques.

Le grain est déversé dans une trémie d'alimentation de forme conique ou pyramide inversée.

Une vanne d'alimentation située à la base de trémie permet de régler le débit du grain.

Il pénètre dans la chambre de broyage par le centre d'une des meules dont la partie axiale est creuse.

Le broyage du grain se fait durant le trajet effectué entre les deux meules, du centre vers la périphérie.

L'un des disques est fixe tandis que l'autre est entraîné par une courroie reliée à un moteur électrique ou thermique.

Le disque mobile tourne à une vitesse de l'ordre de 600 t/mn.

Les grains sortant d'une trémie sont amenés par une vis sans fin dans l'intervalle qui sépare les deux meules ; l'écartement de ces deux dernières peut être modifié selon la finesse de la mouture désirée. Les meules portent des rainures destinées à faciliter le cisaillement et l'écrasement des grains.

La production horaire des moulins à meules métalliques dépend de la finesse de mouture désirée, de la variété du grain et de sa teneur en humidité.

I.5.5.2- Éléments déterminants :

Les meules métalliques sont des plaques de broyage fabriquées en fonte ou en acier. Elles sont très solides, et permettent de broyer une grande variété de produit sec ou légèrement humide (céréales, maniocs, arachides).

Par contre, la farine risque de s'échauffer et pour obtenir une farine très fine, il faut la repasser deux fois au moulin.

Le réglage de l'écartement des meules détermine la finesse de la farine. Plus les meules sont rapprochées, plus la farine est fine et le débit est faible.

Les moulins à meule métallique peuvent broyer tous type de céréales, et peuvent même broyer des particules humides comme les oléagineux mais malgré cela, ces moulins sont difficiles à construire, en particulier le système de réglage de meule. De ce fait, très peu d'artisans se sont lancés pour leur fabrication.

Dans les moulins à meules métalliques (que l'on désigne, parfois aussi sous les noms de moulins à disques ou moulins à plateaux), la mouture est réalisée par deux disques métalliques parallèles logés à l'intérieur d'un carter. La machine elle-même est montée sur un bâti ou sur un socle.

Le moulin à meules est destiné à moudre les produits secs (grains, cossettes...) mais il peut également être utilisé pour les produits humides. C'est un moulin très apprécié pour sa polyvalence.

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.

Ces actions sont accomplies par deux lourdes meules tournant à l'intérieur d'une cuve cylindrique avec plaque de fond perforée sur laquelle la matière à traiter est alimentée.

La structure de base autoportante permet l'installation de grands plateaux ou tapis de déchargement

La motorisation principale est aisément accessible.

La capacité de production, variable de 40 à 140 T/h, est obtenue grâce à 3 modèles aux différents diamètres du plateau de base et largeurs des roues.

- Structure de base en deux parties, soutenue par 4 piliers en béton, avec éléments anti-vibration.

- Pistes de broyage interne et externe séparées.

- Alimentation centrale de la matière à la piste de broyage interne par trémie rotative.

- Section centrale robuste pour le logement des meules.

- Éléments d'usure interchangeables entre les plaques perforées et la structure de base.

- Réducteur épicycloïdal central monté dans la partie inférieure.

- Groupe de refroidissement pour le réducteur épicycloïdal.

- Moteur de commande placé sur le côté de la structure de base, loin de la zone de chute de la matière première.

- Adaptation au groupe réducteur central par arbre et joint de cardan.

Actuellement, on utilise souvent ce type de broyeur pour l'extraction d'huile d'olive.

Cette machine universelle est celle qui offre le plus grand rendement pour la préparation de matériaux par voie humide.

Sa conception est fondée sur un système d'alimentation centrale et d'actionnement inférieur, ce qui la dote des avantages suivants par rapport à d'autres types :

- Distribution parfaite

- Faible consommation

- Fonctionnement silencieux

- Uniformité du broyage

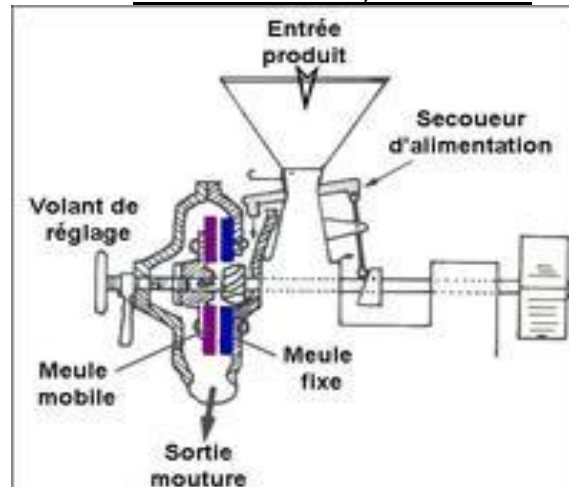
- Haut niveau d'homogénéisation du matériau broyé

- Facile à entretenir

- Sécurité totale d'utilisation.

Par contre, l'inconvénient de ce matériel se focalise sur la nécessité d'un démontage quasi-complet pour assurer un bon nettoyage.

Figure N° 5. Schéma d'un broyeur à meule



I.6-Différentes utilisations des broyeurs

I.6.1- Broyage des pierres :

Les cailloux utilisés pour les travaux des diverses constructions sont produits par le broyage des pierres par des machines. Les broyages manuels avec des marteaux et enclumes sont aussi possibles et plus fréquent dans le domaine non industriel.

I.6.2- Broyage des matières organiques :

Dans le secteur agricole, le broyage des fanes utilisées pour la production du compost nécessite l'utilisation du broyeur à lames. Et pour la transformation post récolte, trois principes sont utilisés pour déchiqueter les matières premières :

- Le broyage manuel au Mortier et Pilon
- Le broyage par écrasement : Moulins à meules
- Le broyage par percussion : Moulins à marteaux

Le broyage manuel au marteau pilon est le procédé traditionnel plus utilisé dans les campagnes.

La mouture comprend plusieurs passages de "mortier-pilon", et le nombre de passages dépend de l'effort transmis au pilon par l'opérateur et de la finesse désirée du produit fini.

➤ En cours de mouture, le pilage au mortier est interrompu par plusieurs tamisages permettant d'obtenir toute une gamme des produits, de la semoule à la farine la plus fine.

- L'avantage de ce procédé est sa souplesse d'utilisation.

Figure N° 6. Broyage traditionnelle au mortier pilon



Source : kdaombaramita.blaogy.com

CHAPITRE II: GENERALITES SUR LES CAPTEURS**II.1- Définition :**

Un capteur est un dispositif qui transforme l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable. En d'autres termes, les capteurs prélèvent une information sur le comportement de la partie opérative et la transforment en une information exploitable par la partie commande (donc sous une forme électrique). Le but étant de faire évoluer le système aux caractéristiques de l'environnement extérieur. (5)

Dans les systèmes automatisés séquentiels, la partie commande traite des variables logiques ou numériques. L'information délivrée par un capteur pourra être logique (2 états), numériques (valeur discrète) ou analogique.

Nous pouvons caractériser les capteurs selon deux critères :

- en fonction de la grandeur mesurée : on parle de capteurs de position, de température, de vitesse, de force, de pression etc.
- en fonction du caractère de l'information délivrée : on parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs tout ou rien (TOR), de capteurs analogiques ou numériques.

II.2- Classification des capteurs

On peut classer les capteurs en deux types :

II.2.1- Capteurs passifs

Ils ont besoin, dans la plupart des cas, d'apport d'énergie extérieure pour fonctionner (ex: thermistance, photorésistance, potentiomètre, jauge d'extensométrie appelée aussi jauge de contrainte).

Ce sont des capteurs modélisables par une impédance. Une variation du phénomène physique étudié (mesuré) engendre une variation de l'impédance. Il faut leur appliquer une tension pour obtenir un signal de sortie.

II.2.2- Capteurs actifs

On parle de capteur actif lorsque le phénomène physique qui est utilisé pour la détermination du mesurande effectue directement la transformation en grandeur électrique. C'est la loi physique elle-même qui relie mesurande et grandeur électrique de sortie.

Un capteur actif fonctionne assez souvent en électromoteur et dans ce cas, la grandeur de sortie est une différence de potentiel.(6)

Le nombre des lois physiques permettant une telle transformation est évidemment limité, on peut donc recenser facilement les capteurs actifs (dont le nombre est fini). Toutefois, les domaines d'application sont très étendus,(6)

On peut alors classer les capteurs en deux catégories, les capteurs à contact qui nécessitent un contact direct avec l'objet à détecter et les capteurs de proximité.

Chaque catégorie peut être subdivisée en trois catégories de capteurs : les capteurs mécaniques, électriques, pneumatique.

Pour choisir un capteur spécifique, il faut donc chercher à délimiter les principales caractéristiques que l'on souhaite y attacher. Globalement, voici les caractéristiques que nous avons cherchés à délimiter :

- L'étendu de la mesure : C'est plus ou moins la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible.
- La sensibilité : c'est la plus petite variation d'une grandeur physique détectable par un capteur.
- La rapidité : c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information est prise en compte par la partie commande. (7)

Tous les capteurs présentent deux parties distinctes. Une première partie qui a pour rôle de détecter ou mesurer un événement et une deuxième partie qui a pour rôle de traduire un événement en un signal compréhensible par un système de contrôle PC. Pour choisir correctement un capteur, il est donc important de définir :

- Le type d'évènement à détecter
- La nature de l'évènement.
- La grandeur de l'évènement.

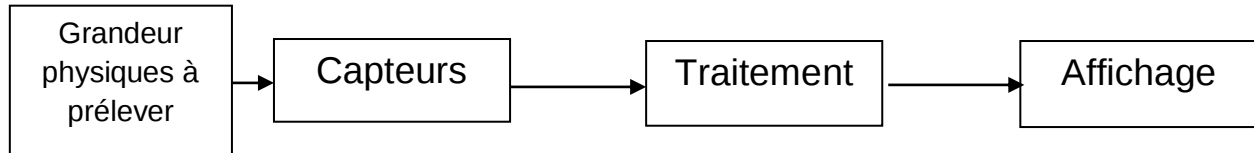
En fonction de ces paramètres, on pourra effectuer un ou plusieurs choix pour un type de détection. D'autres éléments peuvent permettre de cibler précisément le capteur à utiliser.

- Ses performances.
- Son encombrement.
- Sa fiabilité.
- La nature du signal délivré par le capteur (électrique, pneumatique etc.)

Nous nous sommes également documenté sur la nature des différents types des capteurs existant. Voici donc un tableau représentatif de leurs spécificités afin de bien les différencier.

Tableau N° 1. Les capteurs les plus fréquents(8)

Inductif.	Produisent dans l'axe du capteur un champ magnétique oscillant. Ce champ est généré par un système constitué d'une self et d'une capacité montée en parallèle. Lorsqu'un objet métallique pénètre dans ce champ, il y a perturbation de ce champ ainsi que l'atténuation du champ oscillant.
Capacitif.	Capteurs de proximité permettant de détecter des objets métalliques ou isolants. Lorsqu'un objet entre dans le champ de détection des électrodes sensibles du capteur, la fréquence des oscillations est modifiée en même temps que la capacité de couplage du condensateur.
Capteur photoélectrique ou optique.	Composé d'un émetteur de lumière associé à un récepteur. La détection d'un objet se fait par coupure du faisceau lumineux
Capteur de position	Ce sont des capteurs à contact. Ils peuvent être équipés d'un galet, d'une tige souple ou d'une bille. L'information donnée par ce type de capteur est de type tout ou rien et peut être électrique ou pneumatique.
Capteur ILS (Interrupteur à Lame Souple)	Un capteur ILS est un capteur de proximité composé d'une lame souple sensible à la présence d'un champ magnétique mobile. Lorsque le champ se trouve sous la lame, il ferme le contact du circuit provoquant la commutation du capteur. Ce capteur se monte directement sur un vérin et permet de détecter les autres positions comme les positions extrêmes. Pour utiliser ce type de capteur, il est nécessaire d'utiliser un vérin comportant un aimant sur le piston.
Capteurs à fuite.	Les capteurs à fuite sont des capteurs de contact. Le contact avec l'objet à détecter peut se faire soit par une tige souple, soit par une bille. Pour pouvoir fonctionner correctement, ces capteurs doivent être couplés avec un relais pour capteur à fuite. Le capteur est alimenté en pression par le relais. L'air peut alors s'échapper de ce capteur par un orifice prévu à cet effet. Lorsque la bille ou la lame souple est déplacée dans son logement, elle obture l'orifice d'évacuation d'air et le relais pour capteur à fuite se déclenche et émet un signal à la pression industrielle.
Capteur de température :	pyromètre, thermomètre, sonde PT100, thermocouple, thermistance...
Capteur de pression :	tube de Bourdon, capsule anéroïde, piézo-électrique, corde vibrante, baromètre, hypsomètre...
Capteur de lumière :	photodiode ou phototransistor, capteur photographique, cellule photoélectrique...
Capteur de débit :	débitmètre à turbine, roues ovales, plaque à orifice, tube de Pitot, débitmètre à effet vortex, débitmètre, électromagnétique, débitmètre à Venturi, débitmètre à ultrasons, débitmètre ionique, débitmètre massique...
Capteur de courant :	Capteur de courant à effet Hall, Shunt...
Capteur de son :	microphone, hydrophone...

Figure N° 7. Schéma fonctionnel de l'opération des capteurs

II.2.3- Type de sortie

Les capteurs et leurs conditionneurs peuvent aussi faire l'objet d'une classification par type de sortie :

II.2.3.1- Capteurs analogiques

Les capteurs analogiques servent à transformer une grandeur physique et un autre type de variation d'impédance, de capacité, d'inductance et de tension. Un signal est dit analogique lorsque l'amplitude de la grandeur physique qu'il représente peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle donné. Ainsi on peut dire que la tension de secteur sinusoïdale (230 VAC) est un signal de type analogique.

La sortie est une grandeur électrique dont la valeur est en fonction de la grandeur physique mesurée par le capteur. La sortie peut prendre une infinité de valeurs continues. (6)

Le signal des capteurs analogiques peut être du type :

a- Signal continu :

C'est un signal qui varie « lentement » dans le temps et qu'on retrouve à la sortie d'une sonde de température, de pression ou encore d'une photo résistance.

b- Temporel :

C'est la forme de signal au cours du temps. C'est aussi la trace du signal sur l'écran d'un oscilloscope.

c- Fréquentiel :

C'est le spectre fréquentiel qui transporte l'information désirée

Quelques capteurs analogiques typiques :

- capteur à jauge de contrainte ;
- LVDT (Linear Variable Differential Transformer)
- thermocouple.

II.2.3.2- Capteurs numériques

La sortie est une séquence d'états logiques qui, en se suivant, forment un nombre. La sortie peut prendre une infinité de valeurs discrètes. Le signal des capteurs numériques peut être du type : (9)

- train d'impulsions, avec un nombre précis d'impulsions ou avec une fréquence précise ;

- code numérique binaire ;
- bus de terrain ;

Quelques capteurs numériques typiques :

- codeur rotatif incrémental ;
- codeurs référentiels AA34.

Échantillonnage :

C'est l'image numérique d'un signal analogique sous la forme d'un « escalier » (On retrouve cette caractéristique en sortie des convertisseurs analogiques/numériques). Un intervalle de tension d'entrée correspond à une seule valeur de la sortie.

II.2.3.3- Capteurs logiques ou capteurs TOR (Tout ou Rien) :

Ce type de capteur permet de détecter un événement ou un objet lié au fonctionnement du système technique.

Le signal électrique qui sort de ce capteur est de type logique. Il ne fonctionne qu'à deux niveaux :

- niveau logique 0 (NL0)
- niveau logique 1 (NL1)

Il y a 4 types de capteurs logiques :

- courant présent/absent dans un circuit ;
- potentiel, souvent 5 V/0 V ;
- DEL allumée/éteinte ;
- signal pneumatique (pression normale/forte pression) ;

Quelques capteurs logiques typiques :

- capteurs de fin de course ;
- capteurs de rupture d'un faisceau lumineux ;
- divers capteurs de position.

II.2.3.4- Choix d'un capteur :

Tous les capteurs dont les fonctionnements ont été décrits précédemment présentent deux parties distinctes. Une première partie qui a pour rôle de détecter un événement et une deuxième partie qui a pour rôle de traduire un événement en un signal compréhensible d'une manière ou d'une autre par une partie PC. Pour choisir correctement un capteur, il faudra définir tout d'abord

- le type d'événement à détecter,
- la nature de l'événement,
- La grandeur de l'événement,
- l'environnement de l'événement.

En fonction de ces paramètres, on pourra effectuer un ou plusieurs choix pour un type de détection. D'autres éléments peuvent permettre de cibler précisément le capteur à utiliser :

- ses performances,
- son encombrement,
- sa fiabilité
- la nature du signal délivré par le capteur (électrique, pneumatique)

CHAPITRE III: GENERALITES SUR L'ARDUINO

L'Arduino est un projet crée par une équipe de développeurs composé de six personnes dont Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Maartino, David Mellis et Nicholas Zambetti.(10)

Cet outil permet aux débutants, amateurs ou professionnels de créer des systèmes électroniques plus ou moins complexes.

Ce système nous permet de programmer des systèmes électronique. L'électronique programmé est très avantageux car elle simplifie beaucoup les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation et la charge de travail à la conception d'une carte électronique baissent .

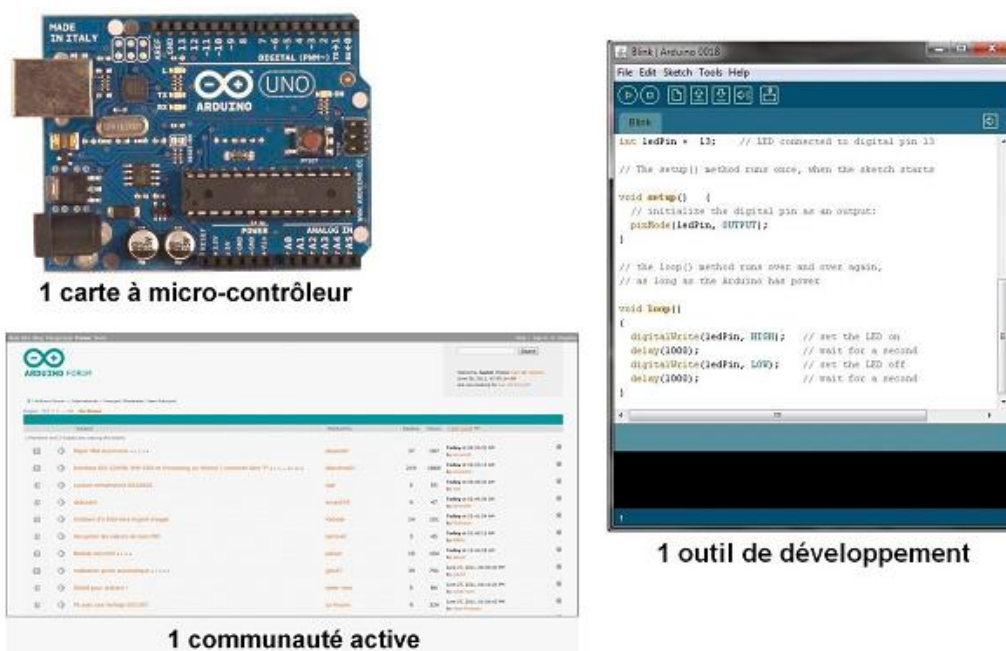
Le système Arduino nous permet de réaliser un grand nombre de chose qui ont une application dans tous les domaines.

Voici quelques exemples :

- Contrôler des appareils domestiques ;
- Fabriquer un robot ;
- Faire un jeu de lumières ;
- Télécommander un appareil mobile ;

L'Arduino est l'ensemble d'une carte à microcontrôleur, un outil de développement et une communauté active.

Figure N° 8. Généralité de l'arduino



Source :Louis REYNIER

Le concepteur n'a plus qu'à développer des interfaces et programmer le macro-composant pour réaliser son application. En tous cas, le logiciel et les matériels sont open source.

La carte Arduino est utilisée comme un macro-composant dans des applications de prototypages électroniques.

III.1- Les différents types d'Arduino(11)

Il existe plusieurs types des cartes Arduino.

III.1.1- La carte Arduino UNO

C'est la carte idéale pour découvrir l'environnement ARDUINO. Elle permet à tout débutant de se lancer dans tous ses premiers petits projets. Comme elle est la carte la plus utilisée, il est très facile de se référer aux tutoriels très nombreux sur le net et ainsi de ne pas rester seul dans son exploration.

Sa simplicité devient par contre un handicap lorsqu'il s'agit de multiplier les périphériques, de manipuler des algorithmes lourds ou d'interagir avec les OS Android pour lesquels d'autres cartes arduino sont plus adaptées

III.1.2- La carte Arduino Leonardo

C'est la carte qui est prévue pour succéder à la carte Arduino Uno en présentant des caractéristiques équivalentes mais une ergonomie revue et une stabilité plus éprouvée. Sa diffusion moins importante limite le support utilisateur disponible sur le net.

III.1.3- La carte Arduino Méga

La carte Arduino Méga est la carte la plus diffusée après la carte Arduino Uno. Elle offre un nombre d'entrées/sorties beaucoup plus important (54 contre 14), un processeur plus puissant doté d'une mémoire plus vaste qui permet d'exploiter des algorithmes plus complexes.

III.1.4- La carte Arduino Méga ADK

La carte Arduino méga ADK offre les mêmes caractéristiques techniques que la carte Arduino méga mais son port USB permet de la connecter avec un environnement Android ouvrant de nouvelles perspectives d'interaction avec le monde des smartphones et des capteurs dont ils sont dotés. Sa mise en œuvre nécessite par contre de solides connaissances en Java et la capacité à développer ses propres applications.

III.1.5- La carte Arduino Due

La carte Arduino Due est une évolution de la carte Arduino Méga et offre des performances réputées 3 fois supérieures. Elle permet de manipuler rapidement des algorithmes lourds particulièrement utiles dans le monde de la robotique par exemple.

III.1.6- La carte Arduino Nano

La carte Arduino nano n'est ni plus ni moins qu'une carte Arduino uno miniaturisée. La réduction de sa taille et de son poids est destinée à une utilisation dans des espaces réduits (en textile par exemple) ou dans des applications de robotique ou de modélisme pour lesquels le poids et la taille sont des facteurs déterminant (hélicoptères, drones...)

III.1.7- La carte Arduino Mini Pro

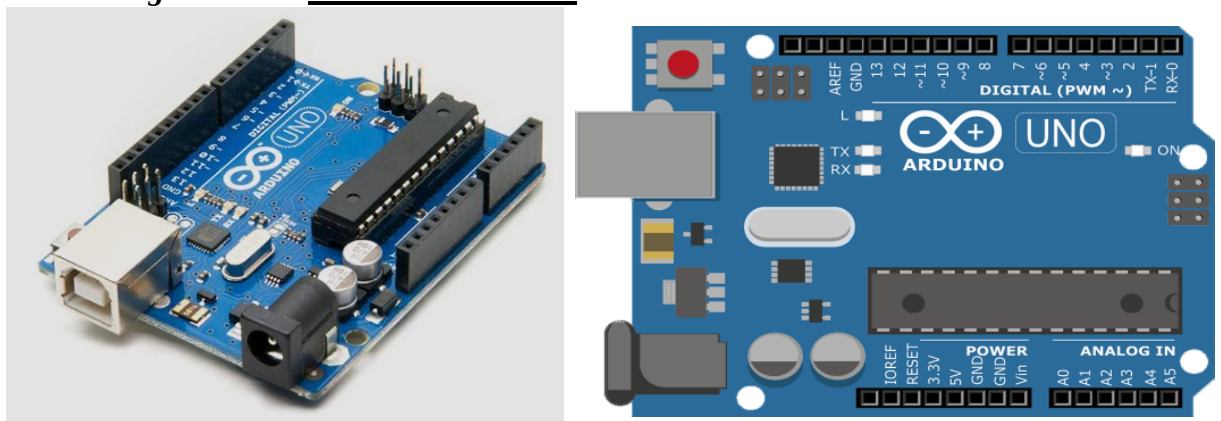
La carte arduino Mini Pro est une carte Arduino Uno simplifiée à l'extrême permettant néanmoins de piloter de petits projets ou certains éléments d'un projet. Attention, cette carte n'intègre pas de port USB ce qui rends sa connectivité délicate.

III.1.8- La carte Arduino Yun

La carte Arduino Yun, récemment proposée par Arduino, est conçue pour contrer les avantages de la carte Raspberry. Elle est un dérivé de la carte Leonardo et a pour rôle de combiner la puissance de Linux avec la facilité d'utilisation d'une carte Arduino. Elle est également la première carte Arduino à être dotée d'un wifi intégré.

Comme la carte Arduino UNO est idéale pour découvrir l'environnement ARDUINO, et elle permet à tout débutant de se lancer dans tous ses premiers petits projets, nous avons donc choisi de l'utiliser pour notre projet.

Figure N° 9. Carte Arduino UNO



Source : Louis REYNIER

Caractéristiques

- Microcontrôleur : ATmega328 ;
- Tension d'alimentation interne = 5V ;
- Tension d'alimentation (recommandée) = 7 à 12V, limites = 6 à 20V ;
- Entrées /sorties numérique : 14 dont 6 pour PWM ;
- Entrées analogiques= 6 ;
- Courant max par broches E/S = 40 mA ;

- Courant max sur sortie 3,3V = 50mA ;
- Mémoire Flash 32KB dont 0,5KB utilisée par le boot loader ;
- Mémoire SRAM 2KB ;
- Mémoire EEPROM1KB ;
- Fréquence horloge = 16MHz ;
- Dimensions= 68,6mm x 53,3mm ;

III.2- Afficheur LCD

Les afficheurs LCD, autrement appelés afficheurs à cristaux liquides, sont des modules compacts intelligents nécessitant peu de composants externes pour un bon fonctionnement.

Figure N° 10. Écran LCD 20X4



Source : Auteur

Ils sont très utilisés dans les montages à microcontrôleur, et permettent une grande convivialité. Ils sont aussi utilisés lors de la phase de développement d'un programme, car on peut facilement y afficher les valeurs de différentes variables.

Dans le système de mesure, l'afficheur LCD est conçu pour afficher les données captées par les capteurs. D'ailleurs, il est équipé d'une interface I2C pour faciliter le câblage avec la carte Arduino.

a- Caractéristiques

Dans la grande famille afficheur LCD, on distingue plusieurs catégories :

- Les afficheurs alphanumériques ;
- Les afficheurs graphiques monochromes ;
- Les afficheurs graphiques couleur.

Nous avons choisi l'afficheur alphanumérique LCD 20 X 4.

b- Caractéristiques principales :

- Format : 4 lignes de 20 caractères ;
- Connecteur : 1 rangée en haut à gauche ;

- Circuit oscillateur interne ;
- Circuit de RESET automatique à la mise sous tension ;
- Consommation rétro-éclairage : 240 mA ;
- Mémoire usuelle : 80 octets ;

III.3- Le module I2C

En le soudant à l'arrière d'un écran LCD, ce module permet de le commander en I2C en simplifiant ainsi sa programmation et son câblage (seulement deux broches sont nécessaires).

Elle possède 4 pattes :

- Les 2 pattes sont l'alimentation(VCC) et la masse(GND) ;
- Et les 2 autres sont les signaux série de données(SDA) et série d'horloge (SCL).

DEUXIEME PARTIE : CONCEPTION ET REALISATION**CHAPITRE IV: RESULTAT DE L'ENQUETE****IV.1- Contexte**

Le broyeur à marteaux est le broyeur très utilisé dans le domaine du broyage des produits alimentaire ou nutrition animale.

Les broyeurs de fabrication locale sont les plus utilisés à Madagascar. Pour avoir des références sur l'utilisation des broyeurs et le broyage, nous avons mené des enquêtes auprès de quelques utilisateurs des broyeurs pour connaître les types et caractéristiques des broyeurs utilisés.

IV.1.1- Cas 1 : Broyeur à marteaux

Source d'énergie : Moteur électrique

Caractéristiques :

Puissance : 14 Ch, 2940 rpm

Vitesse de rotation du rotor : 3360 rpm

Dimension de la chambre de broyage : 10000cm³

Distance entre marteaux et tamis : 10 mm

Capacité de travail : 1700 kg/heure

Transmission : courroie trapézoïdale

Figure N° 11. Le broyeur à marteaux



Source : Auteur

IV.1.2- Cas 2 : Broyeur à couteaux Type SM1

Source d'énergie : Moteur électrique

Caractéristiques :

Puissance : 2,038Ch

Vitesse de rotation du rotor : 2500rpm

Dimension de la chambre de broyage : 6000cm³

Distance entre couteaux et contre couteaux : 5mm

Capacité de travail : 40kg/h

Transmission : Direct

Figure N° 12. Un broyeur à couteaux



Source :Auteur

Ce broyeur est utilisé par un laboratoire, pour broyer des graines, des fourrages, des pailles et autres matières afin de les analyser. Sa capacité de travail est 25 kg/h. Sa chambre de broyage est assez grande par rapport à la puissance de son moteur. On voit que l'axe des marteaux est relié directement à l'axe du moteur. On peut dire qu'il n'y a pas des pertes de transmission et du couple.

CHAPITRE V: LES ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN BROYEUR A MARTEAUX

Le broyeur à marteaux est composé essentiellement d'une trémie d'entrée ; d'une chambre de broyage, à l'intérieure de laquelle tourne un rotor sur lequel sont montés les marteaux.

Une grille à la base de la chambre de broyage permet le passage des produits triturés.

V.1- La trémie :

La trémie est la partie la plus haute du broyeur. Elle sert à alimenter le moulin. Elle est conçue simplement avec des tôles soudées et assemblée par vis au moulin.

Une trémie d'alimentation qui doit être utilisée lors des manipulations en régime continu et qui est équipée d'une trappe permettant l'entrée des produits de granulométrie de départ ne dépasse pas d'une taille de 20 mm dans la chambre de broyage.

Figure N° 13. Trémie



Source : Auteur

V.2- La chambre de broyage :

La chambre de broyage est la partie où se trouvent les éléments essentiels de la machine. Elle loge les mécanismes de broyage.

L'intérieur de la chambre de broyage n'est pas strictement lisse, pour que le grain entraîné par les marteaux rencontre suffisamment des obstacles pour être pulvérisé.

Cette chambre ouverte à la partie supérieure pour l'introduction des matériaux à broyer, est constituée par un capot ouvrant permettant l'accès intérieur de la machine et le remplacement des toutes les pièces sans démonter la trémie d'entrée.

Une plaque de choc est montée sur la partie supérieure de la chambre de broyage. Elle permet d'obtenir un débit élevé avec une surface de grille réduite et sert particulièrement au broyage des produits fibreux ou de broyage difficile.

Figure N° 14. La chambre de broyage



Source : Auteur

V.3- Les marteaux :

Les marteaux tournent et frappent les grains avec une vitesse de rotation élevée afin de les renvoyer contre les parois du broyeur ou aux plaques de choc.

Les marteaux sont généralement réversibles, c'est-à-dire que l'on peut modifier leur position, de manière à changer la partie travaillante, ce qui permet d'augmenter leur durée de vie.

Les marteaux réversibles peuvent être utilisés sur leurs quatre angles successivement.

Pour éviter les dégâts lors de présence des corps étrangers dans la chambre au moment de broyage, nous avons le choix d'utiliser les marteaux mobiles.

V.4- L'arbre :

L'arbre transmet le mouvement rotatif du moteur vers les pièces travaillantes dans la chambre de broyage par l'intermédiaire de la courroie de transmission et de poulie.

Il est fixé solidairement avec des flasques grâce à un assemblage par clavettes et monté sur des paliers.

V.5- Les paliers :

Le palier permet une rotation de l'axe tout en réduisant son usure.

On peut le lubrifier facilement grâce à une tête graisseuse située à son extrémité. Cette opération est vraiment indispensable pour assurer la vitesse de rotation maximale de la machine.

V.6- Grille ou tamis :

La grille permet la sortie des particules les plus fines dont le diamètre est inférieur au diamètre de maille en retenant les plus grosses dans la chambre.

Elle permet d'obtenir une mouture homogène, étant donné que la taille moyenne des particules qui s'échappent de la chambre de broyage est inférieure au diamètre des orifices. Les produits restent emprisonnés dans le tambour jusqu'à ce que les particules soient triturées au point de passer dans les orifices. Quand les orifices sont de grande taille, les particules s'échappent rapidement de la chambre de broyage et le débit de broyage augmente en parallèle avec la mouture à grande taille.

L'utilisateur peut remplacer facilement la grille lorsqu'il est usé.

La surface de grille influe sur le rendement des broyeurs, puisqu'elle détermine le débit.

L'espace entre chaque orifice, soit la distance d'un centre à l'autre, est égal ou légèrement inférieur au diamètre des orifices. Les grilles plus épaisses ont tendance à diminuer le débit des broyeurs.

Figure N° 15. Le tamis



Source : Auteur

V.7- Le bâti :

Le bâti assure le maintien de presque toutes les autres pièces de la machine.

C'est un bâti rigide, très renforcé et très stable. Il est réalisé à partir de fer cornier et son assemblage est fait par soudure.

CHAPITRE VI: DIMENSIONNEMENTS**VI.1- Étape de conception****Choix du moulin :**

Lors du choix d'un moulin, il faut tenir compte de :

- la simplicité de maniement afin que l'opérateur contrôle facilement l'opération ;
- la facilité de réglage ;
- la facilité d'accès aux pièces d'usure courante (marteaux, grilles) ;
- la réversibilité de certaines pièces (marteaux) pour diminuer les coûts de fonctionnement.
- la robustesse de l'appareil.

Parmi les types de broyeur que nous avons cité auparavant, nous avons choisi le broyeur à marteaux.

Dès qu'on a eu le projet de concevoir ce broyeur labo, la première chose qui nous est venue en tête c'est d'utiliser les matériels qu'on a à notre disposition comme le moteur monophasé d'une puissance 450W et de 2500tr/mn. On l'a donc ainsi utilisé comme moteur pour le broyeur en question. On a commencé par la confection de la chambre de broyage en continuant avec tous les éléments de broyage (rotor) composé par 3 axes formés chacun par 4 marteaux.

Le marteau a été formé par une « lame de ressort » mesurant 40mmx15mmx4mm. Avec des dimensions de 180 mm x180 mm x100 mm, la chambre de broyage a été ensuite conçue conformément avec ces éléments susmentionnés.

Une fois la machine construite, on a commencé à faire des essais qui se résument ainsi :

- Ralentissement du tour moteur à 10% par rapport au tour moteur à vide.
- Réchauffement du moteur sans même accomplir le broyage de 200 g de maïs.

Figure N° 16. Corps du broyeur en premier essai



Source : Auteur

Figure N° 17. Rotor du broyeur en premier essai



Source : Auteur

Après observation et études, on a conclu que le moteur ne supporte pas ce rotor et on a donc ainsi conclu de réduire la dimension du chambre de broyage et le nombre des marteaux du rotor à 3.

On a ensuite révisé la mesure des flasques et des marteaux sans changer les pièces de fabrication en tenant compte des paramètres observés lors des essais et des enquêtes :

- distance entre les marteaux et le tamis
- distance entre le flasque et le corps (chambre de broyage)
- distance entre les marteaux et le flasque

On a également tenu compte sur les résultats des calculs et de la dimension de l'arbre, le diamètre de la poulie et l'axe marteau.

VI.2- Détermination du diamètre de la poulie à l'axe du broyeur

Parmi les produits à broyer, le maïs a besoin d'une vitesse plus élevée pour la moudre. Cette vitesse atteint 3000 tr/mn.

Notre enquête nous permet de conclure que le frottement dans la chambre de broyage durant l'opération peut réduire cette vitesse jusqu'à 2%. On a donc besoin d'augmenter cette vitesse au moins de 2% pour assurer le bon broyage.

Notre moteur est un moteur monophasé de 450W, 2500 rpm, ayant une poulie de diamètre 100mm comme poulie menant.

Soit N_1 et D_1 le nombre de tour et diamètre respectif de la poulie du moteur et N_2 et D_2 celle du broyeur

$$N_1 D_1 = N_2 D_2$$

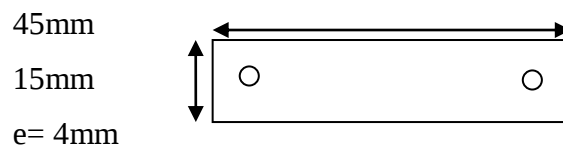
$$D_2 = N_1 D_1 / N_2 = 2500 \times 100 / 3600 = 69,44$$

On prend $D_2 = 70 \text{ mm}$

VI.3- Détermination de diamètre de l'arbre :

Avant de déterminer le diamètre de l'arbre de notre broyeur, il est obligatoire de calculer d'abord la valeur de la force qui s'exerce sur cet arbre. Cette force est la somme du poids des marteaux avec celui des flasques.

a- Calcul de poids des marteaux :



➤ Volume d'un marteau :

$$V = L \times l \times e$$

$$V = 45 \times 15 \times 4 = 2700$$

$$V = 2700 \text{ mm}^3$$

b- Masse d'un marteau :

$$m = V \times \rho$$

$$V = 2700 \text{ mm}^3 = 0,0027 \text{ dm}^3$$

Masse volumique du métal, $\rho = 7,85 \text{ kg/dm}^3$ (12)

$$m = 0,0027 \times 7,85$$

$$m=0,021\text{kg}$$

c- Poids d'un marteau :

$$P=mg$$

On prend $g=10\text{N/kg}$

$$P=0,021 \times 10 = 0,21$$

$$P=0,21\text{N}$$

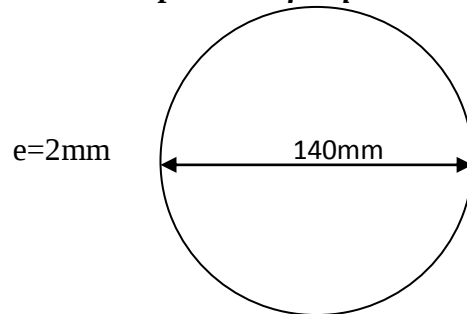
Et on a 3 marteaux, donc

$$P=0,21 \times 3 = 0,63$$

Le poids des marteaux est

$$P=0,63\text{N}$$

d- Calcul de poids des flasques



e- Calcul du poids d'un flasque :

➤ La surface d'une section circulaire est

$$S= R^2$$

➤ La surface d'une flasque est,

$$S=3,14 \times 70^2$$

$$S=15386\text{mm}^2$$

➤ Volume d'un flasque:

$$V=S \times e$$

$$V=15386 \times 2 = 30772 \text{ mm}^3$$

$$V=0,030772 \text{ dm}^3$$

➤ Masse d'un flasque :

$$m= \rho \times v$$

$$m=7,85 \times 0,030 = 0,24$$

$$m=0,24\text{kg}$$

- Poids d'un flasque :

$$P=mg$$

On prend $g=10\text{N/kg}$

$$P=0,24 \times 10 = 2,4$$

$$P=2,4\text{N}$$

- Poids pour les 2 flasques

$$P=2,4 \times 2 = 4,8$$

$$P=4,8\text{N}$$

f- Poids du rotor :

Le poids total du rotor en général est la somme du poids des marteaux et des flasques.

$$P=0,63+4,8= 5,43$$

$$P=5,43 \text{ N}$$

g- Calcul d'arbre du rotor et de l'axe des marteaux

Un cas extrêmement courant en mécanique est le calcul d'arbre de machine. Dans la plupart des cas, l'arbre sera soumis à la flexion et à la torsion. Ici le cisaillement est négligeable, et nous avons trouvé un cas de sollicitations composé de flexion et de torsion dues aux poids et au couple exercés à cet axe.

Le problème qui se pose lors de la conception d'arbre de machine est de déterminer son diamètre en connaissant les besoins auxquels il sera soumis.

De ce fait, l'arbre est donc soumis à une flexion sous l'action d'un laps de temps appelé moment réduit (noté Mr) ou moment de flexion idéal.

La contrainte retenue est généralement celle du critère de Von Mises ou du critère de Tresca(13)

Les arbres des machines sont toujours fabriqués en matériaux ductiles.

Pour les matériaux ductiles, on utilise souvent le critère de Von Mises, car c'est plus précis, mais pour avoir une marge de sécurité légèrement plus grande, on utilise celle de Tresca.(14),

$$\text{Pour Tresca : } \sigma_{\text{eq}} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

$$\sigma = \frac{Mf}{Wf}$$

$$\tau = \frac{Mt}{Wt} \quad \text{avec : } Wt=2Wf \quad \text{car } I_{\text{polaire}}=2I_{\text{flexion}}$$

Wf et Wt ; module de résistance à la flexion et à la torsion

$$\sigma_{\text{eq}} = \frac{Mr}{Wf}$$

Revenons dans le critère de Tresca :

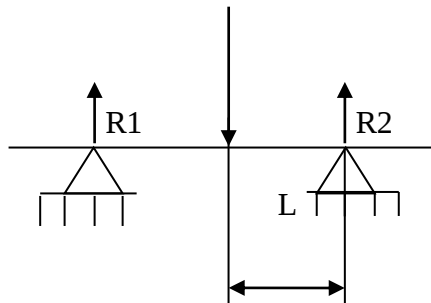
$$\frac{Mr}{Wf} = \sqrt{(Mf/Wf)^2 + 4(Mt/2Wf)^2}$$

$$\frac{Mr}{Wf} = \frac{1}{Wf} \sqrt{Mf^2 + 2Mt^2}$$

Et nous trouvons l'expression du moment réduit pour un matériau ductile :

$$Mr = \frac{1}{Wf} \sqrt{Mf^2 + 2Mt^2}$$

Déterminons les moments



$$P = 5,43 \text{ N}$$

$$R1 = R2 = P/2$$

$$L = 15 \text{ mm}$$

Le poids de l'ensemble rotor agit verticalement, on considère que ce poids est une charge ponctuelle et les paliers servent comme des appuis simples.

h- Moment de Torsion :

$$P = Mt \times \omega \Rightarrow Mt = \frac{P}{\omega} \quad \text{or } \omega = \frac{\pi N}{30} \quad \omega: \text{vitesse angulaire (rad/s)}.$$

$$Mt = \text{--- (Nm)}$$

P : puissance du Moteur, P=450 W

et N =2500tr/mn

$$Mt = \frac{30 \times 450}{3,14 \times 2500} = 1,72$$

$$Mt = 1,72 \text{ Nm}$$

i- Moment de flexion :

$$Mf = F \cdot l$$

Avec F=P et L= 15 mm=0,015m

$$Mf = 5,43 \times 0,015 = 0,081$$

$$Mf = 0,081 \text{ Nm}$$

j- Moment Réduit:

$$Mr = \sqrt{(0,081)^2 + 2(1,72)^2} = 2,43$$

$$Mr = 2,43 \text{ Nm}$$

Dans le cas qui nous préoccupe, nous devons déterminer le diamètre d de l'arbre.

Soit :

$$\sigma_{\text{eq}} = \frac{Mr}{W_f} \leq \sigma_{\text{adm}} \quad \text{avec } W_f = \frac{\pi d^3}{32} \quad (\text{pour la section circulaire})$$

$$\text{et donc : } \sigma_{\text{adm}} \geq \frac{32Mr}{\pi d^3} \quad \sigma_{\text{adm}} : \text{contrainte admissible.}$$

Et dans ce cas, nous obtenons :

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32Mr}{\pi \sigma_{\text{adm}}}}$$

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{\sigma_e}{s} \quad \sigma_e = 270 \text{ N/mm}^2 \quad \text{et la coefficient de sécurité est égal à 3}$$

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{270}{3} = 90$$

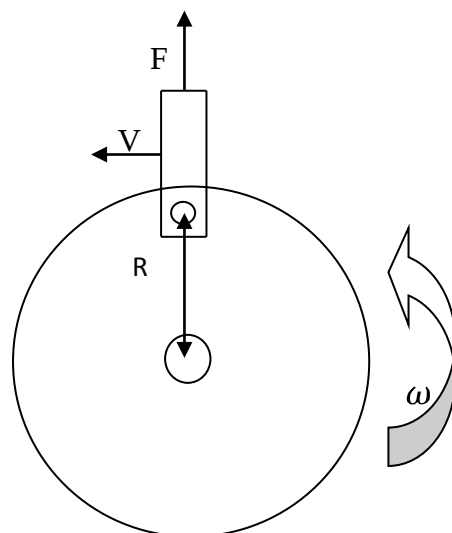
$$\sigma_{\text{adm}} = 90 \text{ N/mm}^2$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \times 2,43 \times 1000}{\pi \times (3,14 \times 90)}} = 6,5$$

$$d \geq 6,5 \text{ mm}$$

On prend $d=10 \text{ mm}$ pour l'arbre de cette broyeur, pour avoir plus de sécurité car les frottements réagis par les produits dans la chambre de broyage représentent également des charges à supportées par l'arbre au cours du fonctionnement de la machine.

➤ Détermination de diamètre de l'axe de marteau



Ici, l'axe de marteau subit en général un cisaillement.

- Calcul de la force centrifuge :

$$F = m \cdot \omega^2 R$$

m : masse en kg, ω : vitesse angulaire en rad/s

R : rayon en m

Masse d'un marteau : $m = 0,021 \text{ kg}$

$$\omega = \frac{\pi N}{30} = 384,33 \text{ rad/s} \quad \text{et } R = 60 \text{ mm} = 0,06 \text{ m}$$

$$F = 0,021 \times 384,33^2 \times 0,06$$

$$F = 186,22 \text{ N}$$

- Formule approchée pour la contrainte tangentielle :

$$\tau = \frac{T}{2S} \quad (\text{Articulation en chape}) \quad (15)$$

τ : Contrainte tangentielle (en N/mm^2)

T : effort tranchant (en N)

S : section (en mm^2)

- Équation d'équarrissage :

$$\tau \leq R_{pg}, \quad R_{pg}: \text{résistance pratique au glissement}$$

$$\text{Or } R_{pg} = \frac{1}{2} R_{pe}$$

$$\tau \leq \frac{1}{2} R_{pe}$$

$$\text{Avec } R_{pe} = \frac{\sigma_e}{s}$$

$$\frac{T}{2S} \leq \frac{\sigma_e}{2s} \quad \text{or } S = \pi d^2 / 4$$

$$\frac{2T}{\pi d^2} \leq \frac{\sigma_e}{2s}$$

$$\pi d^2 \geq \frac{4sT}{\sigma_e}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4sT}{\pi \sigma_e}}$$

$$T = 186,22 \text{ N} \quad s = 3; \sigma_e = 270 \text{ N/mm}^2$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \times 3 \times 186,22}{270 \times 3,14}} = 1,62$$

Pour l'axe du marteau, on prend $d = 4 \text{ mm}$

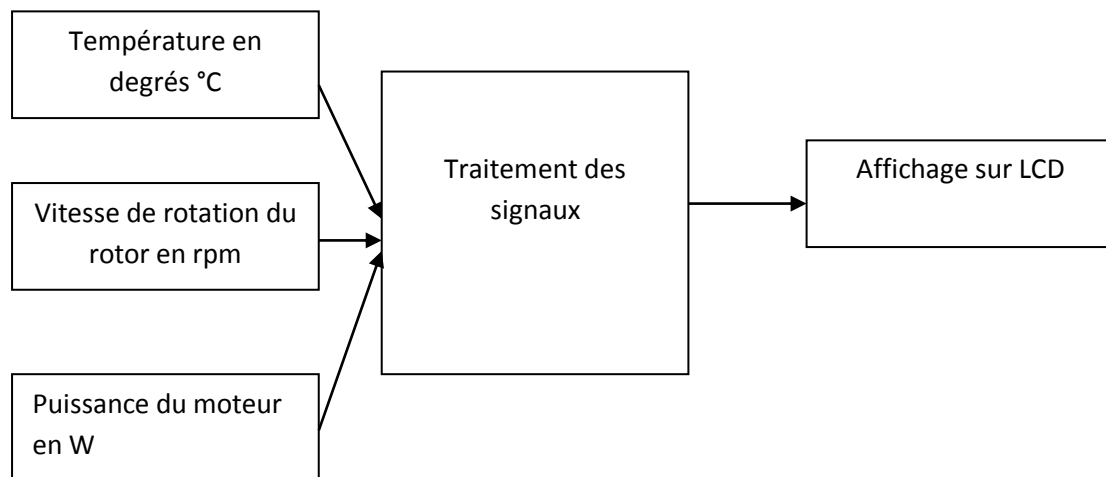
VI.4- Programmation des appareils de mesure

Des appareils de mesures comme mesure de température, mesure de vitesse de rotation du rotor, mesure du courant, ont été installés dans cette machine afin de pouvoir noter le changement du tour de rotor pendant le broyage et de la température de la chambre de broyage ainsi que les conséquences probables de l'irrégularité de la tension du courant.

Afin de lire les résultats de ces capteurs, les arduino uno et un écran LCD ont été utilisés par l'intermédiaire d'une programmation, spécialement conçu pour traduire les mesures des appareils utilisés comme sonde.

Le concept est de réaliser un appareil de mesure qui permet de mesurer à la fois la température, le nombre de tours et la puissance du moteur.

Figure N° 18. Le système de mesure



Source :Auteur

Pour la réalisation, nous avons divisé les mesures en trois :

- La mesure de température
- La mesure de vitesse de rotation
- La mesure de la puissance du moteur.

VI.4.1- L'appareil de mesure de température :

Le but c'est d'avoir un thermomètre électronique pouvant afficher la température en degré Celsius sur l'écran LCD.

VI.4.1.1- Le capteur DS18B20

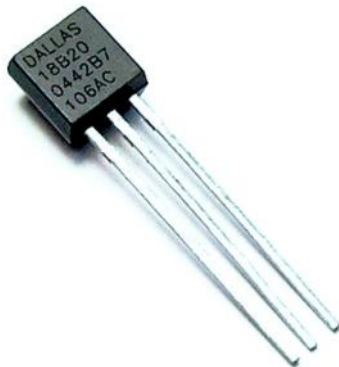
Diverses références de capteurs de température numériques existent, mais le plus connu c'est le capteur DS18B20. C'est un capteur de température numérique intégrant tout

le nécessaire requis pour faire la mesure : capteur analogique, convertisseur analogique / numérique, électronique de communication et alimentation.

Le capteur DS18B20 existe dans le commerce en deux versions :

- En boîtier **TO-92**(format transistor) pour utilisation standard en intérieur.
- En format « **sonde** » étanche pour des applications en humide ou extérieur.

Figure N° 19. DS 18B20 en boîtier TO-92



Sonde étanche DS18B20



Source : Mathieu Dumont dans Webm@ster

La sonde utilisant le capteur DS18B20 est une sonde de grande qualité en acier inox étanche et anti rouille. Il mesure 6 mm de diamètre et de 30 mm de longueur

VI.4.1.2- Caractéristiques

a- Plage de mesure.

Ce capteur possède une plage de température allant de -55°C à 125°C avec une tolérance comprise entre -0.5°C/+0.5°C si celle-ci se situe entre -10°C et 80°C. Son temps de réponse est seulement 750ms. (8)

Cette précision rend ce capteur très intéressant pour une utilisation « normale ».

b- Résolution.

La température peut être codée dans une variable de 9 à 12 bits, ce qui offre une résolution de 0.0625°C sur 12 bits.

c- Capteur de température numérique.

L'avantage d'un capteur numérique est que l'on peut le brancher sur n'importe quelle borne de l'arduino (et non pas uniquement sur l'une des 6 entrées analogique), et qu'il est moins sujet aux parasites.

d- La technologie one wire

L'one wire (1 wire) permet de brancher plusieurs capteurs sur la même broche de l'arduino. Chaque capteur possède en fait une adresse unique codée sur 64 bits associés à une librairie chargée dans l'arduino. Il permet aussi de dissocier chacun des DS18X20. Autrement dit, là où il faut une carte arduino UNO complète pour brancher 16 capteurs, avec le DS18B20, on peut tout mettre sur 1 seule entrée Tout Ou Rien (car c'est un capteur numérique, et non pas analogique).

Il est alimenté sous une tension de 3 à 5.5 V continu (directement compatible avec Arduino), Cette capteur a une bonne résistance à la flexion et à l'oxydation et une bonne conductivité thermique.

La sortie présente 3 fils de couleur et utilisation différent :

- Si, Rouge, Bleu, Noir ; Le rouge relie au (Vcc), bleu (Data) et noir (Gnd)
- Si, Rouge, Gris, Jaune : Le rouge relie au (Vcc), gris (Ground), jaune (data).

VI.4.1.3- Principe de fonctionnement

La sonde étanche DS18B20 est un capteur 1-Wire, cela signifie qu'il communique avec un maître (la carte Arduino) au moyen d'un bus 1-Wire.

Une seule résistance de 4,7kΩ en résistance de tirage à l'alimentation sur la broche de données est nécessaire pour fonctionner ce capteur.

Il existe aussi un mode « parasite » qui ne nécessite que deux fils (masse et données), toutefois ce n'est pas le plus adapté pour faire des mesures.

La température devra être captée à l'aide d'un capteur de notre choix, la sonde étanche DS18B20. Pour le traitement des informations, nous utiliserons la carte Arduino et pour le l'affichage, un écran LCD.

VI.4.1.4- Programmation.

Le programme effectuant les lectures des informations captées par la sonde et transformant les valeurs en température (°C) puis affichant le résultat sur l'écran se présente comme suit ;

```
/*-----Début Code-----*/  
//declaration librairies  
#include<LiquidCrystal_I2C.h>  
#include <OneWire.h>  
#include <DallasTemperature.h>
```

```

#define ONE_WIRE_BUS 5    //définir la pin5 pour le capteur
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS) ;//instance pour communiquer avec le protocole
OneWire.h

DallasTemperature sensors(&oneWire);    //instance pour communiquer avec le
DallasTemperature.h

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); // instance pour l'écran LCD
void setup() {
  sensors.begin();
  Serial.begin(9600); //Pour le serial monitor de l'Arduino
  lcd.begin(20,4); // initialise LCD en 20 caractère et 4 lignes.
  lcd.backlight(); // Ecran noir
  lcd.setCursor(0,0); //premier ligne
  lcd.print(" Broyeur a Marteaux");
  }
  void loop() {
    sensors.requestTemperatures(); //On ne garde que la première température(index = 0).
    float Temp=sensors.getTempCByIndex(0); //récupère la valeur donné par le capteur
    lcd.setCursor(0,1); // deuxieme ligne
    lcd.print(" t = ");
    lcd.print(Temp,1);
    lcd.write(176); // caractere °
    lcd.print(" *C");
    delay(500);
    lcd.setCursor(0,1); // retourne au deuxième ligne
  }
  /*-----Fin Code-----*/

```

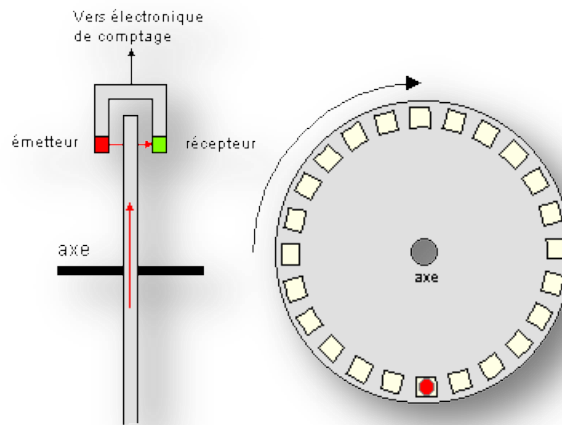
VI.4.2- L'appareil de mesure de vitesse de rotation

On a besoin d'un tachymètre électronique capable de compter la vitesse de rotation d'un moteur. On utilise le phénomène optique pour compter cette vitesse.

Notre compteur se fait avec un capteur de vitesse de rotation H206

VI.4.2.1- Le capteur H206

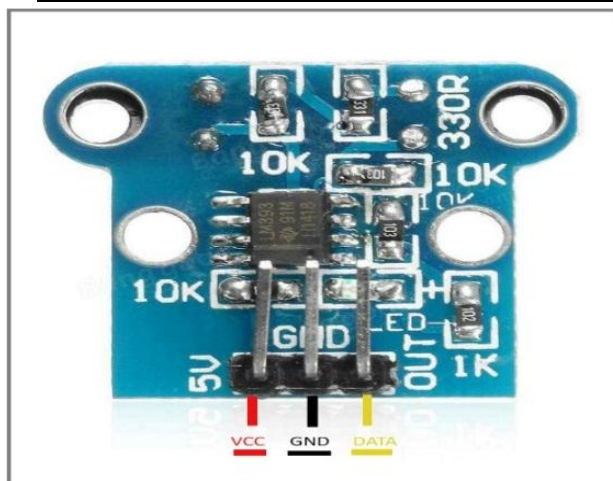
C'est un capteur de vitesse avec une haute résolution, une grande tension, un temps de réponse très courte et un module de vitesse de sortie numérique. Il est équipé d'un disque codeur DZ186 pourvu de 20 trous.

Figure N° 20. Schéma d'installation du disque codeur**VI.4.2.2- Caractéristique**

- Tension de travail : DC 4,5V à 5V ;
- Précision de résolution : 0,01mm ;
- Longue taille : 26 mm x 22mm ;
- Composant principale : LM393, sur la fréquence de mesure infrarouge 5KHz ;
- Largeur de la fente photoélectrique : 6mm.

Il est composé de trois bornes :

- VCC (5V) : alimentation positive ;
- GND : Alimentation négative ;
- OUT : sortie du signal, connecté au microcontrôleur

Figure N° 21. Broches de sorties du capteur photoélectrique H206

Source : Louis REYNIER

VI.4.2.3- Principe de fonctionnement

La périphérie du disque codeur est divisée en "20" fentes régulièrement réparties. Un faisceau lumineux se trouve derrière ces fentes dirigés vers une diode photosensible. Lorsque le trou passe devant le capteur, le récepteur reçoit le signal et retourne la valeur 0 et chaque fois que le faisceau est coupé, le capteur envoie un signal 1 qui permet de connaître la variation de position de l'arbre. Pour connaître le sens de rotation du codeur, on utilise un deuxième faisceau lumineux qui sera décalé par rapport au premier. Le premier faisceau qui envoie son signal indiquera aussi le sens de rotation du codeur. Le microcontrôleur Arduino effectue le traitement des signaux issus du capteur puis les affiche sur l'écran.

De cette manière, on peut connaître la vitesse de rotation du moteur en comptant le nombre de trous reconnu par le capteur durant un intervalle de temps donné.

La formule qui détermine la vitesse de rotation ou rpm (Rotation Par Minute) est le suivant :

$$V = (\text{Nombre d'impulsion} / \text{Nombres de trous}) * \text{Temps}$$

Avec

- V : vitesse de rotation par minute ou vitesse de rotation (rpm).
- Nombre d'impulsion : les nombres d'impulsion effectué en une seconde.
- Nombre de trous : nombre de trous du disque codeur (20 trous)
- Temps : 60 pour la vitesse de rotation par minute.

La résolution des disques est très importante, plus elle est grande et plus la mesure de la vitesse de rotation est précise. Cette résolution ne dépend pas du type de disque codeur mais du nombre d'impulsions par tour d'arbre moteur. Ce nombre d'impulsions est défini par le nombre des trous sur le disque.

VI.4.2.4- Programmation

Le programme effectuant des lectures des données venant du capteur H206, comptant des nombres d'impulsion effectué en une seconde, calculant des vitesses de rotation en fonction des nombres d'impulsion et les nombres de trous du disque codeur et affichant des résultats sur l'écran LCD et sur le moniteur de série de l'IDE d'Arduino est conçu comme suit :

```

/*-----Debut Code-----*/

//declaration
#include<LiquidCrystal_I2C.h>
volatile long comptageImpuls=0;
int nbrTrou = 20;
int pin = 2;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
long timeRef=0;
long delai=1000;
float rps;
float rpm;
void gestionINT0(){
    comptageImpuls=comptageImpuls+1;
}
void setup() {
    pinMode(2,INPUT);
    Serial.begin(9600);
    lcd.begin(16,2);
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Mesure de vitesse");
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("V = 0 tr/min");
    attachInterrupt(0,gestionINT0,RISING);
    timeRef=millis();
}
void loop() {
    lcd.setCursor(0,1);
    if(millis()>(timeRef+delai)){

        timeRef=timeRef+delai;
        rps = (int)(comptageImpuls/2)/nbrTrou ;//rotation par seconde
        rpm = rps *60;//rotation par minute
        lcd.print("V= ") ;
    }
    lcd.print((int)rpm);
    lcd.print(" tr/min ");
    comptageImpuls=0;
}
/*-----Fin Code-----*/

```

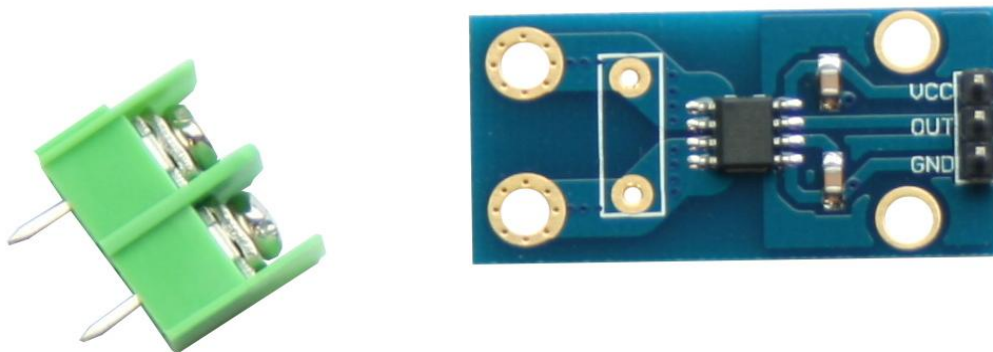
VI.4.3- L'appareil de mesure du courant :**VI.4.3.1- Le capteur à effet Hall ACS712-30A**

Un capteur à effet Hall permet de mesurer une variation de champ magnétique. C'est donc un capteur inductif. En général, on les appelle « effet Hall » lorsqu'une électronique interne au capteur le rend plus performant en amplifiant ou traitant le signal avant transmission, limitant ainsi les risques de perturbations d'environnement. Ce sont donc des capteurs actifs. Les capteurs actifs possèdent toujours trois broches au minimum. Ils peuvent donc servir par exemple à fabriquer un Teslamètre. Dans la mesure où un courant électrique génère un champ magnétique, on utilise aussi un capteur à effet Hall pour mesurer l'intensité d'un courant électrique.(17)

Le capteur à effet Hall ACS712 est un capteur de courant. Il utilise le champ magnétique généré par le courant pour mesurer le courant qui le traverse.

Il permet de mesurer un courant alternatif ou continu. La sortie est de type analogique et peut facilement être utilisés avec la carte Arduino.

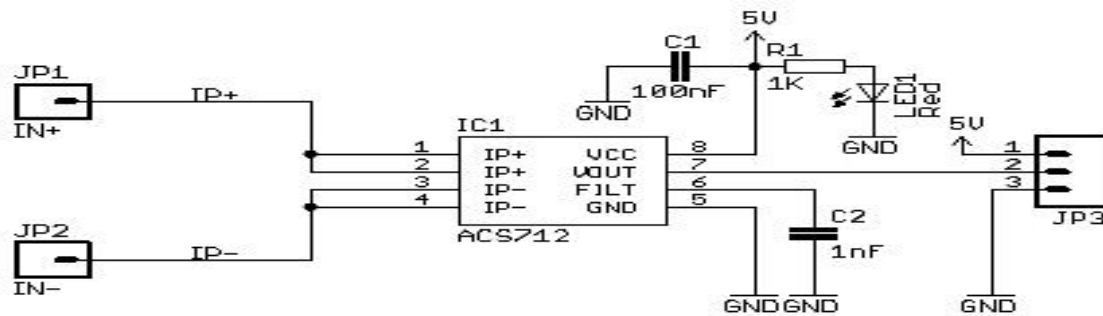
Figure N° 22. Capteur à effet Hall ACS712



Source : Louis REYNIER

VI.4.3.2- Caractéristique

- Sensibilité : 66 mV par Ampère ;
- Tension logique : 4,5V – 5,5V ;
- Isolation : 2,1kV ;
- Erreur : 1,5% à 25°C ;
- Délai de répercussion sur la sortie : 5 microsecondes

Figure N° 23. Schéma du circuit ACS712

Source : Mathieu Dumont

VI.4.3.3- Principe de fonctionnement

Le capteur ACS172 est branché en série avec la charge sur un circuit alternatif ou continue en permettant de mesurer le courant qui traverse le capteur.

Ce capteur a une sortie de type analogique, il renvoie la valeur du courant en entrée sous forme d'une tension continue en sortie proportionnelle au courant à raison de 66 millivolts par ampère. On peut donc lire cette tension sur une entrée analogique de la carte Arduino avec la méthode « analogRead() ».

Il s'agit d'un ACS712-30A, sa sensibilité est 66 millivolts par ampère. Le « 0 » est obtenu pour $V_{cc}/2$ donc à 2,5 volts si V_{cc} est de 5 volts. Et 30 ampères correspond à 2,5 volts + ou - 1,98 volts soit une amplitude de 0,5 à 4,5 volts. Une tension 0 volt vaut donc 512 points et 5 volts correspondent à 1024 point, 1 point de la valeur senseur va donc correspondre à $5/1024$ en volt ou $5/1024/66$ en milliampère de courant.

La formule finale pour calculer l'intensité du courant en milliampère est donc :

$$I = (\text{valeur senseur} - 512) / 1024 * 5 / 66 * 1000000$$

Et la puissance est

$$P = U * I * \cos \phi$$

avec $\cos \phi = 0,9$ pour ce moteur

Le capteur à effet Hall est très sensible au champ magnétique, la présence d'un aimant à son proximité modifie la tension de sortie, ce qui pourra fausser la lecture.

VI.4.3.4- Programmation

Voici le programme, effectuant des lectures sur le capteur ACS712, transformant la valeur en courant (milliampère) puis en puissance (watt) et affichant les résultats sur l'écran LCD et aussi sur le moniteur de série de l'IDE d'Arduino.

```
/*-----Début Code-----*/  
//déclaration  
#include<LiquidCrystal_I2C.h>  
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);  
#define CURRENT_SENSOR A2 //entrée analogique pour le capteur  
floatintensite, intensite_efficace;  
floatpuissance;  
floattension_efficace = 220; //la tension du source  
void setup() {  
  lcd.begin(20,4);  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print("Mesure Puissance");  
  Serial.begin(9600);  
  pins_init();  
}  
voidpins_init(){  
  pinMode(CURRENT_SENSOR, INPUT);  
}  
intgetMaxValue()  
{  
  intsensorValue; //valeurs donnés par le capteur  
  intsensorMax = 0;  
  uint32_t start_time = millis();  
  while((millis()-start_time) < 1000) //comptage pendant 1sec  
  {  
    sensorValue = analogRead(CURRENT_SENSOR);  
    if (sensorValue>sensorMax)  
    {  
      /* enregistre le valeur max*/  
      sensorMax = sensorValue;  
    }  
  }  
  returnsensorMax;  
}
```

```

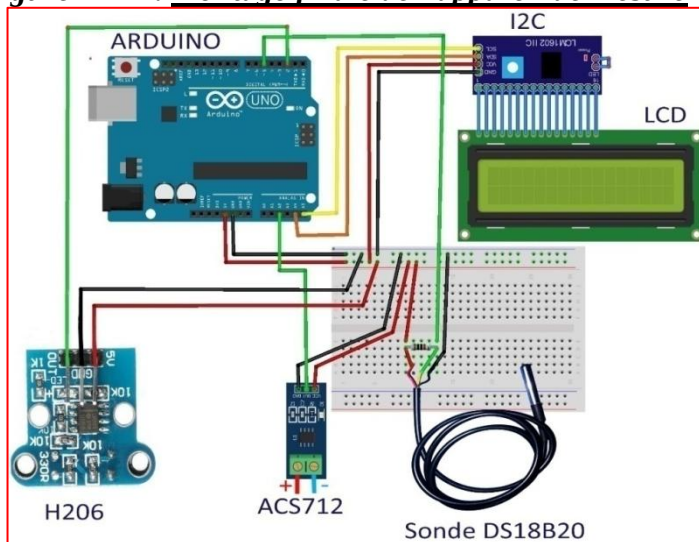
void loop() {
  intsensor_max;
  sensor_max = getMaxValue();
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("I = ");
  lcd.print(intensite,1);
  lcd.print(" mA ");
  intensite=(float) (sensor_max-512)/1024*5/66*1000000) ;
  intensite_efficace=intensite * 1,414;
  puissance = (float)(intensite_efficace/1000) * tension_efficace *0,9
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("P = ");
  lcd.print(puissance,1) ;
  lcd.print(" W ");
}
/*-----Fin Code-----*/

```

VI.4.4- Assemblage de l'appareil de mesure

Nous avons réalisé les 3 appareils de mesures différentes. Mais notre objectif c'est d'avoir un appareil de mesure capable de mesurer la température, la vitesse de rotation et la puissance du courant en même temps. Dans ce cas nous allons accoupler ces trois appareils.

Figure N° 24. Montage final de l'appareil de mesure



Source : Louis REYNIER

Et voici le programme final, effectuant :

➤ les lectures sur la sonde DS18B20, sur le capteur photoélectrique H206 et sur le capteur à effet Hall ACS712 ;

➤ les transformations des signaux de la sonde en température (en degré), du capteur de courant en intensité du courant (milliampère) puis en puissance du courant (watt) et le capteur photoélectrique en vitesse de rotation (tours par seconde) ;

➤ l'affichage des résultats sur l'écran LCD et aussi sur le moniteur de série de l'IDE Arduino.

```
/*-----Debut code-----*/
```

Déclaration

```
#include<LiquidCrystal_I2C.h>
```

```
#include <OneWire.h>
```

```
#include <DallasTemperature.h>
```

```
#define ONE_WIRE_BUS 5
```

```
//-----
```

```
volatile long comptageImpuls=0;
```

```
long vitesse = 0;
```

```
intnbrTrou = 20;
```

```
intpinVitesse = 2;
```

```
longtimeRef=0;
```

```
longdelai=1000;
```

```
float rpm, rps;
```

```
//-----
```

```
#define CURRENT_SENSOR A2
```

```
floatintensite ;
```

```
float puissance ;
```

```
floattension_nominale = 230 ;
```

```
//-----
```

```
OneWireoneWire(ONE_WIRE_BUS);
```

```
DallasTemperaturesensors(&oneWire);
```

```
//-----
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
```

```
voidgestionINT0(){
```

```
comptageImpuls=comptageImpuls+1;
```

```
}
```

```
voidpins_init()
```

```
{
```

```
pinMode(CURRENT_SENSOR, INPUT);
```

```
pinMode(pinVitesse,INPUT);
```

```
}
```

```
intgetMaxValue()
```

```
{
```

```
floatsensorValue;
```

```
float sensorMax = 0;
uint32_t start_time = millis();
while((millis()-start_time) < 1000)
{
  sensorValue = analogRead(CURRENT_SENSOR);
  if (sensorValue > sensorMax)
  {
    sensorMax = sensorValue;
  }
}
return sensorMax;
}
```

Réglages et liaisons des capteurs / Arduino / I2C + LCD

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(20,4);
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("SYSTEME DE MESURE");
  pins_init();
  // -----
  attachInterrupt(0,gestionINT0,RISING);
  timeRef=millis();
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("V = 0 tr/sec ");
  // -----
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("I = 0.00 mA ");
  // -----
  sensors.begin();
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("T = 0.0 "),lcd.write(223),lcd.print("C ");
}
```

➤ Acquisitions des signaux / traitement des signaux / affichages résultats

```
void loop() {
  lcd.setCursor(0,2);
  if(millis() > (timeRef+delai)){
    timeRef=timeRef+delai;
    rps = (float)(comptageImpuls/40);
    rpm = rps * 60;
```

```
lcd.print("V = "),lcd.print((int)rpm),lcd.print(" tr/min ");
Serial.print("rps ="),Serial.print(rps);
Serial.print(" - rpm ="),Serial.println(rpm);
comptageImpuls=0;
    }
// -----
lcd.setCursor(0,3);
floatsensor_max;
sensor_max = getMaxValue();
intensite=(float)(sensor_max-510)/1024*5/66*1000000;
    puissance = (float)(intensite/1.414*1000) * tension_nominale * 0,9
lcd.print("P = "),lcd.print(puissance,2),lcd.print(" W ");
// -----
lcd.setCursor(0,1);
sensors.requestTemperatures();
floatTemp=sensors.getTempCByIndex(0);
lcd.print("T = "),lcd.print(Temp,1),lcd.write(223),lcd.print("C ");
}
/*-----Fin code-----*/
```

CHAPITRE VII: PROCÉDE ET FABRICATION**VII.1-Gamme de fabrication**

Après avoir effectué les différents calculs nécessaires, nous sommes passés à la réalisation de notre machine.

Le port des équipements de protection (Gants, chaussures, Tablier ou combinaison, lunettes etc...) est obligatoire durant la fabrication.

VII.1.1- Étapes de fabrication :**VII.1.1.1- Débitage :**

Pour avoir une forme précise de la machine, le traçage des différents organes est nécessaire avant tout.

Les outils suivants sont utilisés ;

- Pointe à tracer,
- Réglette,
- Equerre,
- Mètre,
- Compas

Après avoir tracé les pièces, on a entamé le découpage suivant leurs traces. Les procédés utilisés sont :

Le sciage, le burinage, le tronçonnage par des machines électriques.

Les outils utilisés sont :

- Scie à métaux
- Burin et marteau,
- Machine et disque tronçonneuse
- Cisaille.

VII.1.1.2- Le Perçage :

C'est un procédé d'usinage par enlèvement des copeaux qui permet d'obtenir des coupes d'une forme géométrique précise. Le perçage consiste à faire un trou dans une pièce à percer (Flasque,)

Outils de travail

- Pointeau et marteau,
- Perceuse portative et à colonne.

VII.1.1.3- Pliage :

C'est un procédé qui consiste à plier le métal en suivant le plan ou le dessin du matériel.

Outils de travail :

- Marteau
- Enclume
- Etau

VII.1.1.4- Tournage :

Le tournage c'est l'action d'usiner une pièce sur un tour pour avoir la forme voulue.

Outils de travail : Tour parallèle

VII.1.1.5- Assemblage :

a- Par soudage :

C'est un moyen d'assemblage permanent. Ce procédé utilise des électrodes de soudure.

Outils de travail :

- Poste de soudure électrique
- Masque et lunette de protection

b- Par boulonnage :

Ceci consiste à assembler des pièces avec des boulons suivant la référence et le dimensionnement du trou sur les pièces.

Outils de travail : Clés,

VII.1.1.6- Finition :

Celle-ci consiste à faire des ajustements afin que le matériel puisse fonctionner normalement. (Ébarbage, limage,..)

Outils de travail :

- Machine et disque ébarbeuse
- Lime

VII.1.1.7- Revêtement

C'est l'étape où l'on mastique et peint la machine

Outils et matériel de travail :

- Pistolet à peindre
- Couteau à mastiquer
- Pinceau,
- Compresseur d'air.

VII.2-Installation des capteurs sur le broyeur

La mesure de la température dans la chambre de broyage, de la vitesse de rotation du rotor de la puissance apparente du moteur exige un bon montage ou une bonne installation des capteurs sur le corps de la machine.

VII.2.1- Capteur de température

Pour mieux capter la variation de température due au frottement des pièces travaillantes et des produits dans la chambre de broyage qui est transmis aux farines passées par la grille de tamisage, nous avons placé le capteur de température DS18B20 à la partie inférieur de la chambre de broyage en le fixant sur un trou taraudé. C'est une sonde étanche qui résiste à l'humidité.

Figure N° 25. L'emplacement de la sonde DS18B20



Source : Auteur

VII.2.2- Capteur de vitesse de rotation

Pour la mesure de la vitesse de rotation, le disque codeur Z186 est fixé au bout de l'arbre du rotor et le capteur H206 est installé perpendiculairement à l'arbre afin que sa position soit placée parallèlement entre l'émetteur et récepteur du capteur.

Figure N° 26. L'emplacement du capteur H206 et le disque DZ186

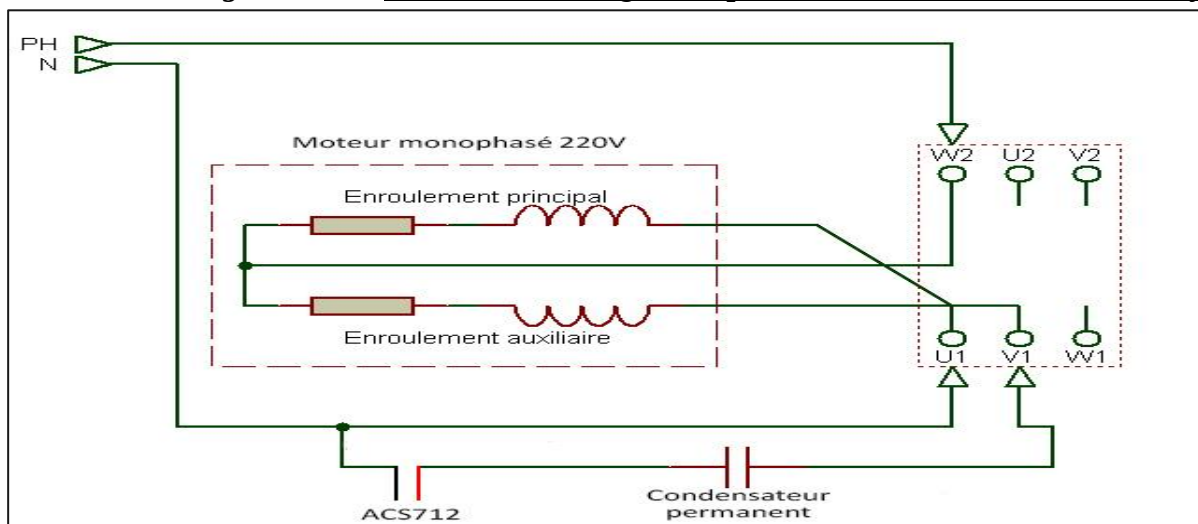


Source : Auteur

VII.2.3- Capteur de courant

Pour la mesure de courant, le capteur de courant à effet Hall ACS712 est relié entre le condensateur permanent du moteur et la source de courant.

Figure N° 27. Schéma du montage de capteur ACS712 sur le moteur du broyeur



Source :Philippe.berger2 dans les capteurs

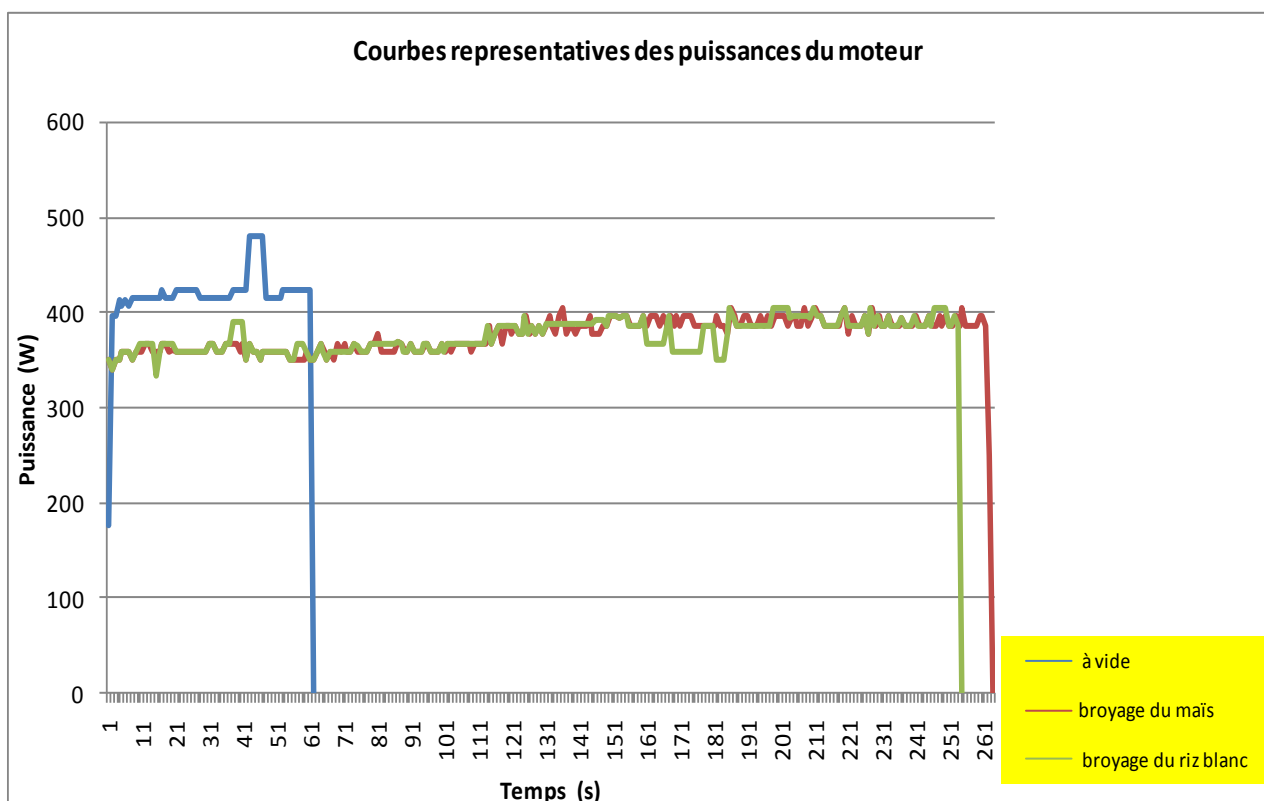
CHAPITRE VIII: ESSAIS ET ANALYSES DES RESULTATS

Après l'essai à vide, notre essai est concentré avec quelques spéculations pour la fabrication des provendes et de la farine telles que le maïs et ainsi du riz blanc pour vérifier la capacité de la machine.

Durant l'essai, le programme arduino enregistre les variations des données captées (Puissance, Température et vitesse de rotation) à chaque seconde de marche.

Ci-dessous les courbes représentatives de ces données :

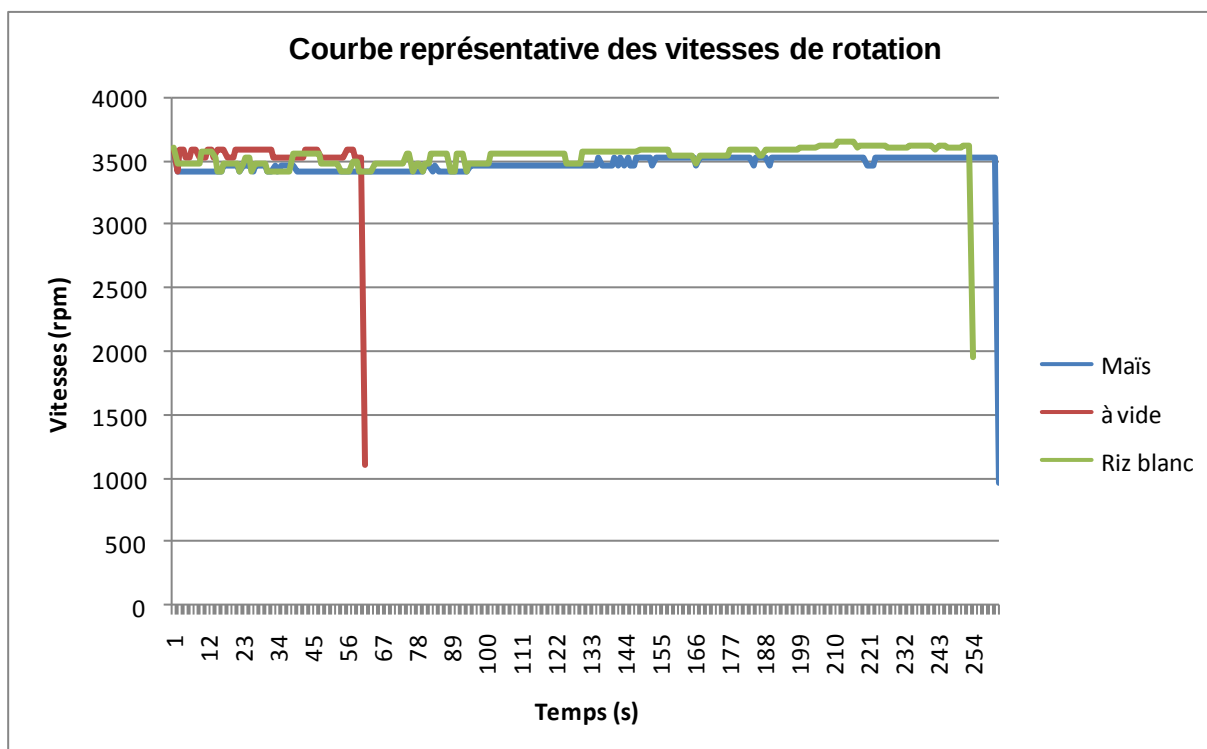
Figure N° 28. La variation de la puissance du moteur



Source : Auteur

Avec un essai à vide, la puissance moyenne de la machine est de 418W et dès qu'on effectue l'essai avec des particules, la puissance diminue progressivement.

Le superpositionnement des courbes de broyages de riz et de maïs durant la première moitié du temps avec une puissance moyenne de 360 W augmentant jusqu'à 380W durant la deuxième seconde moitié du temps signifie que la machine effectue plus d'effort au premier temps. Les travaux effectués par le broyeur s'allège progressivement dès que les particules commencent à être broyées.

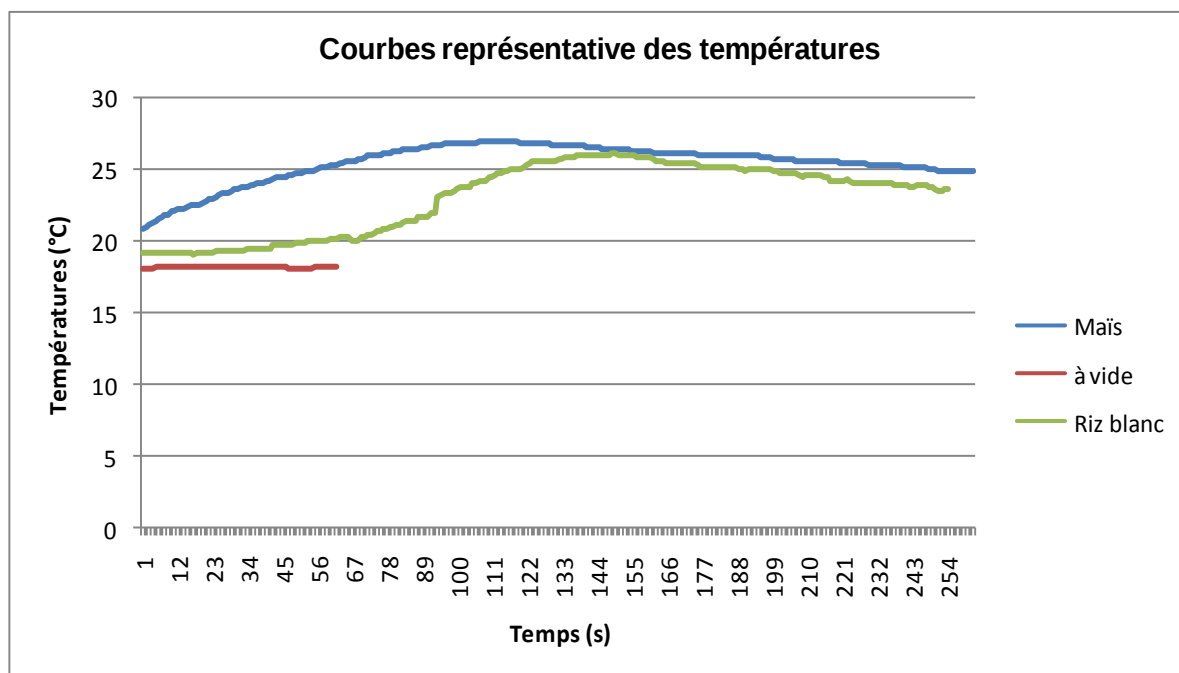
Figure N° 29. La variation de vitesse de rotation du moteur

Source : Auteur

Les trois courbes présentées ici ont presque le même niveau. Toutes fois, la diminution de la vitesse est remarquable dès que la machine effectue les travaux de broyage. On observe également que la vitesse est lente durant la première moitié du temps. Ce phénomène est semblable pour toutes les gammes de spéculation mis en essai. La vitesse de broyage du riz est plus rapide que celle du maïs. Ce qui signifie que la résistance à la brisure du riz est plus légère que celle du maïs.

La vitesse dépend ainsi de la puissance du moteur.

En conclusion, pendant l'opération de broyage proprement dit, le moteur se ralentit un peu, la température augmente progressivement et quand le broyage touche à son terme, la machine ne fait que chasser les produits finis vers l'extérieur de la chambre de broyage et la température s'abaisse.

Figure N° 30. La variation des températures dans la chambre de broyage

Source : Auteur

L'essai à vide que nous avons effectué pendant une minute nous a montré que la température est presque invariable. Cette différence de 0,1°C est négligeable par rapport à une variation de température.

On peut donc conclure que la chambre de broyage ne s'échauffe pas durant la marche à vide.

La courbe représentative des essais effectués avec les deux spéculations montre ici que la température augmente progressivement durant la première moitié du temps puis elle diminue au second temps.

On peut conclure que pendant que la machine effectue le broyage, la température dans la chambre de broyage augmente et quand le broyage est presque fini et que la machine chasse les produits finis vers l'extérieur, la température descend.

En effet, la variation des températures de la chambre de broyage durant l'essai à vide est négligeable et durant l'opération de broyage, elle s'accroît progressivement et descend à partir de la deuxième moitié du temps de broyage.

En effet, les phénomènes qui provoquent ces variations de puissance viennent du principe de conservation de l'énergie ou le premier principe de la thermodynamique ;

Energie électrique = énergie mécanique + énergie thermique. (17)

$$\Delta E = W + Q$$

Ici, l'énergie mécanique produite par le moteur est une énergie **utile** (**W_u**).

La chaleur qui apparaît par les chocs entre les marteaux et les produits dans la chambre de broyage (énergie thermique) est une perte : c'est l'énergie **perdue** (**W_p**).

L'énergie électrique consommée par le moteur est l'énergie **absorbée** (**W_a**).

Nous avons donc la relation suivante : **W_a = W_u + W_p**

Quand l'énergie thermique (W_p) augmente, plus l'énergie mécanique (W_u) diminue et par contre quand l'énergie thermique diminue, l'énergie mécanique augmente.

Les résultats obtenus durant les essais nous ont permis ainsi d'affirmer que cette machine peut servir de référence pour la fabrication des autres broyeurs.

Le calcul doit être basé sur la puissance du moteur et du volume de la chambre de broyage qui se résume en cette formule :

Volume de chambre de broyage = _____ [cm ³]

Il faut également retenir que le rapport entre le volume du rotor et de la chambre de broyage est approximativement de 1/5.

CHAPITRE IX: ANALYSES**IX.1- Forces**

- En se basant sur l'unité de production et sur de nombreux essais effectués, ce broyeur peut servir de référence pour les éventuelles fabrications.
- Même en sa qualité d'unité de production, il peut être utile à :
 - moulin des produits à faibles quantités.
 - servir davantage au laboratoire et pour les commerçants transformateurs des épices.
- La facilité d'installation permet sa mobilité.

IX.2- Faiblesse

- La granulométrie de départ qu'est de 20mm exige des travaux supplémentaires comme la granulation afin de réduire la taille des produits comme le manioc avant le broyage.
- Ce moteur est très rare sur le marché.
- La variation de tension électrique n'est pas tenue en compte durant l'étude.

IX.3- Suggestion

- Il faut installer aussi un capteur de tension ou un voltmètre pour tenir en compte la variation de tension électrique.
- Pour éviter le surchauffage du moteur, il faut mettre du ventilateur ou le remplacer par un moteur équipé de ventilateur.
- La variation de débit a un grand rôle pour mieux connaître la puissance utile ; donc il faut mettre un système d'alimentation de la trémie pour avoir un débit constant.

IX.4- Entretien de la machine.

La maintenance systématique est utile pour assurer le bon fonctionnement de la machine. Pour cette machine l'entretien est un peu facile ;

Entretien journalier

- ✓ Nettoyage de la machine après l'utilisation.

Entretien hebdomadaire

- ✓ Vérification de serrage des boulons de fixation
- ✓ Vérification de l'état de grille (usure ou destruction).
- ✓ Vérification de l'état et de la tension de la courroie

Entretien mensuel

- ✓ Graissage des paliers.

CONCLUSION

Faisant partie des pays pauvres, Madagascar a besoin de beaucoup d'effort afin d'atteindre les 17 objectifs du développement durable. Le développement du monde rural qui est occupé par 80% de la population Malgache s'avère être primordiale car la population active de ce milieu participe beaucoup à l'économie du pays.

Ainsi, la mécanisation agricole fait donc partie de la politique nationale de l'Etat pour le développement rural, voire pour le développement du pays tout entier. De nombreux secteurs sont touchés par ce dernier mais ce qui nous intéresse, c'est le broyeur plutôt indispensable pour la transformation des produits agricoles en produits alimentaires ou en provendes.

S'appuyant en général sur une longue expérience d'essais, le broyage est l'une des opérations les plus courantes dans les industries agroalimentaires.

Aussi, dans l'objectif d'optimiser le broyage, nous avons mené des recherches pour la conception d'un broyeur laboratoire qui devrait servir de référence pour les concepteurs et fabricants de cette machine qui est utilisée dans plusieurs petite, moyenne et grande entreprise agroalimentaires. Des démarches scientifiques dont celle du génie des procédés à commencer par la conception et le dimensionnement de procédés industriels appliqué avec des modélisations numérique ont été ainsi effectuées au cours de la conception.

Des recherches bibliographiques ont été effectuées avant d'entamer la conception proprement dite suivies par des essais avec différents types de spéculations dont le riz, et le maïs. L'opération de broyage elle-même, avec ses propres caractéristiques (rendement énergétique, propriétés du produit, etc.) et l'opération en amont et en aval au sein desquelles l'opération de broyage s'insère sont aussi importants.

Notons que le résultat de ces essais et la formule d'extrapolation indiquée dans cet ouvrage peuvent donc servir de base ou de référence pour les éventuelles conceptions ou fabrication d'un broyeur. Ils doivent avoir donc des références et des aperçus sur la taille du corps de la machine et la capacité du moteur correspondant à leurs attentes.

REVUE BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

1. Ministère de l'agriculture, éditeur. Agriculture à Madagascar. Fiche pays - Madagascar, 2015.
2. Alain Chamayou, Jacques Fages. Broyage dans les industries agroalimentaires.
3. Henri Berthiaux. Broyage. Guide pratique. 2007.
4. Broyeur à marteaux. Appareils Dragon;
5. CFAURY. Les Différents Types de Capteurs : TPE 2010. "Ministère de l'Agriculture". 2016.
6. F. Baudoin, M. Lavabre. Capteurs : principes et utilisations, Éd. Casteilla.; 2007.
7. Philippe. Berger². Les Capteurs. 15 avr 2016;
8. Georges Asch. Les capteurs en instrumentation industrielle.
9. Dr. Abdelkader Abderrahmane. Capteurs résistifs.
10. Louis REYNIER. C'est quoi l'arduino.
11. Mathieu D. Les différents type d'Arduino.
12. HERMANN JÛTZ Brunswick et EDUARD Sharkus. Table westermann.
13. James A. GOULET- Enseignant Polytechnique Montréal. Critère de défaillance et concentration de contraintes.
14. Pierre BADEL. Cours de résistance des matériaux.
15. Pr Eric BECHET. Dimensionnement d'arbre - CONCEPTION MECANIQUE. LIEGE Université.
16. Capteur à effet Hall. Micronet 91 Association informatique.
17. Jean Marie de Conto. CHAINE DE MESURE. UIT 1 Grenoble- Mesures physiques.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

INTRODUCTION 1

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE..... 3

CHAPITRE I: GENERALITE SUR LES BROyeurs 3

I.1- Définition..... 3

I.1.1- Le broyeur..... 3

I.1.2- Le broyage 3

I.2- Mode de fragmentation 3

I.3- Mécanismes de fragmentation..... 4

I.4- Caractéristiques des matériaux à broyer 4

I.5- Les différents types de broyeurs 5

I.5.1- Broyeur à couteaux..... 5

I.5.1.1- Principe de fonctionnement 5

I.5.1.2- Avantages 5

I.5.1.3- Souplesse et robustesse..... 6

I.5.2- Broyeur à marteaux 6

I.5.2.1- Principe de fonctionnement : 7

I.5.2.2- Avantages 8

I.5.3- Broyeur à broches..... 8

I.5.4- Broyeur à cylindres : 10

I.5.5- Broyeur à meules..... 10

I.5.5.1- Principe de fonctionnement : 10

I.5.5.2- Éléments déterminants : 11

I.6- Différentes utilisations des broyeurs 13

I.6.1- Broyage des pierres : 13

I.6.2- Broyage des matières organiques : 13

CHAPITRE II: GENERALITES SUR LES CAPTEURS 15

II.1- Définition : 15

II.2- Classification des capteurs..... 15

II.2.1- Capteurs passifs..... 15

II.2.2- Capteurs actifs 15

II.2.3- Type de sortie..... 18

II.2.3.1- Capteurs analogiques..... 18

II.2.3.2- Capteurs numériques..... 18

II.2.3.3- Capteurs logiques ou capteurs TOR(Tout ou Rien) : 19

II.2.3.4- Choix d'un capteur : 19

CHAPITRE III:GENERALITES SUR L'ARDUINO 21

III.1- Les différents types d'Arduino 22

III.1.1-	La carte Arduino UNO.....	22
III.1.2-	La carte Arduino Lenardo	22
III.1.3-	La carte Arduino Méga	22
III.1.4-	La carte Arduino Méga ADK.....	22
III.1.5-	La carte Arduino Due.....	22
III.1.6-	La carte Arduino Nano.....	23
III.1.7-	La carte Arduino Mini Pro	23
III.1.8-	La carte Arduino Yun	23
III.2-	<i>Afficheur LCD</i>	24
III.3-	<i>Le module I2C</i>	25
DEUXIEME PARTIE : CONCEPTION ET REALISATION		26
CHAPITRE IV: RESULTAT DE L'ENQUETE		26
IV.1-	<i>Contexte</i>	26
IV.1.1-	Cas 1 : Broyeur à marteaux	26
IV.1.2-	Cas 2 : Broyeur à couteauxType SM1	27
CHAPITRE V: LES ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN BROEUR A MARTEAUX.....		28
V.1-	<i>La trémie</i> :	28
V.2-	<i>La chambre de broyage</i> :	28
V.3-	<i>Les marteaux</i> :	29
V.4-	<i>L'arbre</i> :	29
V.5-	<i>Les paliers</i> :	29
V.6-	<i>Grille ou tamis</i> :	30
V.7-	<i>Le bâti</i> :	30
CHAPITRE VI: DIMENSIONNEMENTS		31
VI.1-	<i>Étape de conception</i>	31
VI.2-	<i>Détermination du diamètre de la poulie à l'axe du broyeur</i>	33
VI.3-	<i>Détermination de diamètre de l'arbre</i> :	33
VI.4-	<i>Programmation des appareils de mesure</i>	39
VI.4.1-	L'appareil de mesure de température :	39
VI.4.1.1-	Le capteur DS18B20	39
VI.4.1.2-	Caractéristiques	40
VI.4.1.3-	Principe de fonctionnement	41
VI.4.1.4-	Programmation.....	41
VI.4.2-	L'appareil de mesure de vitesse de rotation	42
VI.4.2.1-	Le capteur H206.....	42
VI.4.2.2-	Caractéristique	43
VI.4.2.3-	Principe de fonctionnement	44
VI.4.2.4-	Programmation.....	44
VI.4.3-	L'appareil de mesure du courant :	46
VI.4.3.1-	Le capteur à effet Hall ACS712-30A	46
VI.4.3.2-	Caractéristique	46
VI.4.3.3-	Principe de fonctionnement	47
VI.4.3.4-	Programmation.....	48
VI.4.4-	Assemblage de l'appareil de mesure	49

CHAPITRE VII: PROCEDE ET FABRICATION.....	53
<i>VII.1- Gamme de fabrication.....</i>	<i>53</i>
VII.1.1- Étapes de fabrication :.....	53
VII.1.1.1- Débitage :.....	53
VII.1.1.2- Le Perçage :.....	53
VII.1.1.3- Pliage :.....	54
VII.1.1.4- Tournage :.....	54
VII.1.1.5- Assemblage :.....	54
VII.1.1.6- Finition :	54
VII.1.1.7- Revêtement	55
<i>VII.2- Installation des capteurs sur le broyeur</i>	<i>55</i>
VII.2.1- Capteur de température	55
VII.2.2- Capteur de vitesse de rotation	56
VII.2.3- Capteur de courant.....	56
CHAPITRE VIII: ESSAIS ET ANALYSES DES RESULTATS	57
CHAPITRE IX: ANALYSES.....	61
<i>IX.1- Forces.....</i>	<i>61</i>
<i>IX.2- Faiblesse</i>	<i>61</i>
<i>IX.3- Suggestion</i>	<i>61</i>
<i>IX.4- Entretien de la machine</i>	<i>61</i>
CONCLUSION.....	63
REVUE BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE	
TABLE DES MATIERES	
RESUME	
ABSTRACT	

RESUME

L'utilisation des broyeurs est très courante dans le pays surtout dans le domaine de la transformation des produits agricoles en produits alimentaires (farine) et provendes. Dans l'objectif d'optimiser le broyage qui est très utilisé dans plusieurs industries de différents secteurs dans le pays, cet ouvrage est concentré sur la conception d'un broyeur laboratoire. L'objectif étant de fournir des références en terme technique et technologique pour les fabricants de cette machine. Le broyeur laboratoire a été ainsi conçu à l'issue de nombreuses références et études bibliographiques et la pratique des acquis théoriques et pratiques que nous avons obtenus tout au long de nos nombreuses années d'études. De nombreux essais ont été ensuite effectués et c'est à partir de cela que nous arrivons à tirer toutes les conclusions de la recherche inscrite dans cet ouvrage.

ABSTRACT

The use of crushers is very current in the country, especially in the processing of agricultural products into food products (flour) and feed. In order to optimize crusher which is widely used in several industries of different sectors in the country, this book is focused on the design of a laboratory mill. The aim is to provide technical and technological references for the manufacturers of this machine. The crusher laboratory was thus designed on the basis of many references and bibliographic studies and the practice of theoretical and practical knowledge that we have obtained throughout our many years of studies. Many tests were then carried out and it is from this that we succeed in drawing all the conclusions of the research recorded in this work.