

REPUBLIQUE DU SENEGAL

-----  
Un Peuple – Un But – Une Foi

-----  
Université Cheikh Anta DIOP de Dakar

-----  
École Supérieure Polytechnique



Laboratoire Eau-Énergie-Environnement-Procédés Industriels (LE3PI)

---

Convention relative aux subventions locales

N° de la convention : 83357007

Contribution à la création d'un écosystème favorable au développement d'activités productives s'appuyant sur la formation, la recherche et le soutien technique des différents acteurs

-----  
N° Projet :15.2217.6-001.00

Rapport Final sujet 2

-----  
Octobre 2021

**SUJET DE RECHERCHE 2 :**

**CARACTERISATION ELECTROMECHANIQUE DES MOULINS ET RECHERCHE DE  
PROTOCOLE D'USAGE OPTIMAL**

Travail réalisé par Kodjo Aimé AFEDO sous la supervision de :  
Mamadou Lamine NDIAYE, Mouhamadou Falilou NDIAYE et Vincent SAMBOU

**GIZ-PED**

**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

**PED**

Programmes-Energies-Durables

## Table des matières

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| <b>Table des matières</b> .....   | <i>Erreur ! Signet non défini.</i> |
| Liste des sigles et abréviations.....   | 3                                  |
| <b>Table des figures</b> .....  | 4                                  |
| <b>Liste des tableaux</b> .....   | 5                                  |
| <b>Introduction générale</b> .....  | 1                                  |
| <b>Chapitre I Sommaire</b> .....  | <i>Erreur ! Signet non défini.</i> |
| <b>I.1 Descriptif du sujet</b> .....  | 2                                  |
| <b>I.2 Objectifs du travail</b> .....   | 2                                  |
| <b>I.3 Equipements requis</b> .....   | 3                                  |
| <b>I.4 Présentation du moulin</b> .....   | 3                                  |
| I.4.1 Caractéristiques du moteur d'entraînement.....  | 3                                  |
| I.4.2 Type du moulin.....   | 3                                  |
| I.4.3 Principe de fonctionnement.....   | 4                                  |
| <b>Chapitre II Démarche méthodologique adoptée</b> .....  | <i>Erreur ! Signet non défini.</i> |
| <b>II.1 Caractérisation électromécanique à vide du moulin sans la courroie</b> .....  | 5                                  |
| <b>II.2 Caractérisation électromécanique du moulin à vide avec la courroie</b> .....  | 5                                  |
| <b>II.3 Caractérisation électromécanique en charge</b> .....  | 6                                  |
| II.3.1 Essais de mouture pour divers grains .....   | 6                                  |
| II.3.2 Détermination de la quantité de grains admissible dans la chambre de broyage sans dépassement de la puissance nominale du moulin ..... | 6                                  |
| <b>II.4 Recherche du protocole d'usage optimal</b> .....  | 6                                  |
| <b>II.5 Proposition de méthode de maintenance préventive et curative</b> .....  | 8                                  |
| <b>Chapitre III Résultats obtenus</b> .....   | 9                                  |
| <b>III.1 Caractéristiques à vide du moulin sans la courroie</b> .....   | 9                                  |
| <b>III.2 Caractéristiques à vide du moulin avec la courroie</b> .....   | 9                                  |
| <b>III.3 Caractéristiques en charge du moulin</b> .....   | 10                                 |
| III.3.1 Essais de mouture pour divers grains.....   | 10                                 |
| III.3.2 Quantité de grains admissible dans la chambre de broyage sans dépassement de la puissance nominale du moulin .....                    | 10                                 |
| <b>III.4 Angles de coulée moyennement fluide des grains en fonction de l'ouverture de la vanne</b> .....                                      | 11                                 |
| <b>III.5 Débits de grains en fonction de l'ouverture de la vanne</b> .....  | 12                                 |
| <b>III.6 Protocole d'usage optimal du moulin</b> .....  | 12                                 |
| <b>III.7 Proposition de méthode de maintenance préventive et curative</b> .....   | 15                                 |
| <b>Chapitre IV Recommandations</b> .....  | 16                                 |
| <b>Conclusion générale</b> .....  | 18                                 |

## Liste des sigles et abréviations

A : Ampère

Hz : Hertz

kG : kilogramme

kG/h: kilogramme par heure

kW : kilowatt

ms : milliseconde

s : seconde

trs /min: tours par minute

V : Volt

# Table des figures

|   |    |
|---|----|
| I.1 Vue du moulin à grains .....  | 4  |
| I.2 Chambre de broyage du moulin à grains .....                                   | 4  |
| III.1 Divers courants de démarrage du moulin sur plusieurs essais.....            | 9  |
| IV.1 Chambres de broyage avec obstacles et possibilité de remplacement de tamis . | 16 |

# Liste des tableaux

|       |   |    |
|-------|---|----|
| I.1   | Caractéristiques du moulin. ....  | 3  |
| III.1 | Caractéristiques du moulin pour l'essai à vide sans la courroie. ....                         | 9  |
| III.2 | Caractéristiques du moulin pour l'essai à vide avec la courroie. ....                         | 10 |
| III.3 | Caractéristiques du moulin lors des essais en charge pour diverses céréales. ....             | 10 |
| III.4 | Quantité de grains admissible dans la chambre de broyage pour un fonctionnement nominal ..... | 11 |
| III.5 | Angle de coulée moyennement fluide des grains .....   | 11 |
| III.6 | Débit de grains en fonction de l'ouverture de la vanne.....                                   | 12 |
| III.7 | Protocole d'usage du moulin, temps d'ouverture et de fermeture de la vanne .....              | 13 |
| III.8 | Débites moyen de mouture en utilisant le protocole d'usage .....                              | 13 |
| III.9 | Méthode de maintenance préventive et curative .....   | 14 |
| IV.1  | Quelques recommandations pour le moulin.....  | 15 |

# Introduction générale

Dans les pays en voie de développement, les céréales occupent une place prédominante dans l'alimentation. En Afrique de l'Ouest, le mil, le sorgho, le riz, le haricot et le maïs fournissent aux populations l'essentiel de leur ration calorique. Cependant, des grains récoltés au plat cuisiné, les céréales doivent subir toute une série de transformation. C'est en effet sous forme de semoule ou de farine que les céréales entrent dans la composition des plats, particuliers à chaque région. Leur transformation est primordiale et joue un rôle économique majeur dans les pays en voie de développement.

L'objectif de ce travail est de :

- Faire la caractérisation électromécanique des moulins à grains utilisés dans la transformation des céréales,
- Etudier des protocoles d'usage optimal,
- Proposer une méthode de maintenance préventive et curative.

# **I. Présentation du projet**

## **I.1 Descriptif du sujet**

Les moulins à grains constituent un des équipements productifs les plus utilisés pour accompagner la transformation des produits agricoles. Ils permettent d'alléger le travail domestiques des femmes, de gagner du temps, de développer des activités génératrices de revenus et de contribuer au développement du milieu rural. Au Sénégal il existe plusieurs typologies de moulins et de fabricants. Les équipements sont de caractéristiques différentes et de mode d'utilisations variées. L'absence de données techniques constructeurs est constaté sur plusieurs équipements de fabrication locale et en particulier le rendement énergétique en fonction de la production. Les différents problèmes identifiés autour du moulin sont : le manque d'expertise pour la fabrication et la maintenance, l'absence de fiche technique, l'absence de standardisation rend difficile la recherche de pièce de rechange et l'absence de protocole d'utilisation rend difficile son exploitation.

## **I.2 Objectifs du travail**

Les objectifs de ce travail sont triples :

- Faire la caractérisation électromécanique des moulins à grains ;
- Étudier les protocoles d'usage optimal ;
- Proposer une méthode de maintenance préventive et curative.

### **I.3 Equipements requis**

- Les matières premières à moudre soient divers grains (riz, maïs, haricot, sorgho, mil),
- Un analyseur de réseau pour des enregistrements d'évolution des grandeurs électriques du moteur,
- Une balance pour les mesures de masse de grains,
- Un ensemble géométrique pour la graduation des angles d'ouverture de la vanne,
- Un chronomètre pour la mesure des temps d'ouverture de la vanne,
- Des bassines et des bols.

### **I.4 Présentation du moulin**

#### **I.4.1 Caractéristiques du moteur d'entraînement**

Le tableau I.1 présente les caractéristiques du moteur comme indiquées sur sa plaque signalétique. La puissance nominale du moteur est de 2,895 kW.

Tableau I.1 – Caractéristiques du moulin.

| Caractéristiques                | Valeurs                               |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| Modèle                          | YL90L-2                               |
| Puissance mécanique sur l'arbre | 2.2 kW                                |
| Vitesse                         | 2900 - 3000 trs/min                   |
| Courant                         | 13.7 A                                |
| Tension                         | 220 - 240 V                           |
| Fréquence                       | 50 - 60 Hz                            |
| Rendement                       | 76 % environ (sur recherche du model) |
| Puissance électrique consommée  | 2.895 kW                              |

#### **I.4.2 Type du moulin**

Le moulin est du type broyeur à marteaux. La vitesse nominale du moteur d'entraînement est de 2900-3000 tours/minute. Les avantages d'un moulin à marteaux sont son efficacité, sa facilité d'entretien et sa simplicité de fabrication qui permettent sa production locale. La figure I.1 présente le moulin.



Figure I.1 – Vue du moulin à grains

### I.4.3 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement est le broyage par pulvérisation : le grain est pulvérisé en le projetant à grande vitesse contre les parois de la chambre de broyage, à l'intérieur de laquelle tourne un rotor sur lequel sont fixés les marteaux. Les produits (farine, semoule) sortent par une grille (ou tamis) fixe située dans la chambre de broyage comme présentée à la figure I.2.



Figure I.2 – Chambre de broyage du moulin à grains

## **II. Démarche méthodologique adoptée**

La démarche méthodologique s'articule autour de 5 étapes :

1. Caractérisation électromécanique à vide sans la courroie
2. Caractérisation électromécanique à vide avec la courroie
3. Caractérisation électromécanique en charge
4. Recherche du protocole d'usage optimal
5. Proposition de méthode de maintenance.

### **II.1 Caractérisation électromécanique à vide du moulin sans la courroie**

Les essais à vide ont été effectués en utilisant un analyseur de réseau CA8336 qui permet de mesurer l'évolution des paramètres électriques du système (tension, courant, puissance) des différentes charges.

La courroie du moulin a été enlevée. Le moulin a été démarré plusieurs fois et les mesures de sa puissance consommée à vide ont été effectuées. Le moteur a été à l'arrêt entre deux essais. Une moyenne des puissances consommées a ensuite été effectuée en vue de déterminer la puissance moyenne consommée par le moteur à vide sans la liaison courroie.

### **II.2 Caractérisation électromécanique du moulin à vide avec la courroie**

Plusieurs essais de démarrage du moulin ont été effectués et les courants de démarrage ainsi que les puissances consommées ont été mesurés par un analyseur de réseau CA8336. La moyenne des courants de démarrage a été calculée de même que la moyenne des puissances consommées à vide.

## **II.3 Caractérisation électromécanique en charge**

### **II.3.1 Essais de mouture pour divers grains**

Des essais de mouture pour divers grains ont été effectués pour évaluer la consommation du moulin ainsi que les divers débits de mouture et les pics de puissance. Les diverses céréales utilisées sont : riz, maïs, haricot, sorgho, mil, mélange maïs-mil. Lors des premiers essais, en ouvrant légèrement la vanne à grains pour un débit constant d'entrée en mouture des grains, le moteur cale. Pendant le temps de calage, l'appel en courant est très élevé et le reste jusqu'à l'ouverture du disjoncteur 16A de protection.

Le tableau III.3 résume les essais en charge du moulin pour divers grains. Pour chaque type de grains, une mouture a été effectuée en essayant d'atteindre un débit maximum sans calage du moteur de 2.894 kW par régulation de la vanne à grains.

### **II.3.2 Détermination de la quantité de grains admissible dans la chambre de broyage sans dépassement de la puissance nominale du moulin**

La puissance nominale consommée par le moulin est de 2.895 kW. Des mesures de puissances consommées par le moulin lors de l'admission de diverses quantités données de chaque grain ont été réalisées. Pour chaque mesure la même quantité de grains a été introduite 10 fois dans la chambre de broyage du moulin à travers la trémie. Entre deux introductions de grains, le moteur a d'abord atteint sa puissance maximale à vide de 1 kW. Les pics de puissance mesurés ont permis de déterminer les quantités de grains qui peuvent être admises dans la chambre de broyage sans provoquer un dépassement de la puissance nominale du moulin.

## **II.4 Recherche du protocole d'usage optimal**

Les contraintes d'optimisation suivantes ont d'abord été fixées :

- Absence de stress pour le moteur du moulin,
- Réduction de la consommation électrique du moulin,
- Prévention d'éventuels dommages sur le mécanisme du moulin,
- Obtention d'un meilleur débit de mouture,

- Limitation considérable de l'amas de débris entre les dents,
- Obtention d'une meilleure qualité de mouture.

Les prédispositions suivantes doivent-êtré adoptées :

- Utilisation d'un variateur de vitesse pour limiter le courant de démarrage,
- Protection du moteur par un disjoncteur 16 a,
- Utilisation de grains de faible taux d'humidité pour éviter la formation d'une mouturepâteuse pouvant boucher le tamis.

Dans un premier temps, les angles de coulée moyennement fluide des grains ont été déterminés en faisant varier l'angle d'ouverture de la vanne jusqu'à l'obtention d'un débit non saccadé. Pendant les essais, les grains ont été entraînés hors de la chambre de broyage et le moulin a été démarré pour créer les conditions de mouture.

Dans un deuxième temps, divers débits de coulées des grains en fonction des angles d'ouverture de la vanne ont été déterminés. Ces débits permettent de recharger la chambre de broyage sans la saturer pour une ouverture de l'ordre d'une seconde à quelques secondes et une coulée moyennement fluide des grains. Pour chaque essais, l'ouverture de la trémie du moulin a été réglé sur un angle. Pour chaque type de grains, 5 kg en quantité a été introduit dans la trémie préalablement bouché au papier. Le moulin a ensuite été démarré et le papier pré-introduit a été retiré pour récupérer les grains sans un passage dans la chambre de broyage. Le temps a été chronométré. Chaque test a été répété 5 fois. La mise en marche du moulin a été faite pour créer les conditions de mouture pour la mesure des débits.

Dans un troisième temps des essais de mouture ont été effectués pour chaque grain en procédant à des ouvertures et fermetures de la vanne pour des angles qui permettent une admission fluide et rapide sans provoquer un calage du moulin. En fonction des angles, les durées maximales d'ouverture ont été définies afin de ne pas dépasser la quantité maximale admissible, de ne pas dépasser la puissance nominale du moteur et d'éviter un calage. En variant les temps d'admission et donc les quantités admises, les temps de retour du moulin à sa puissance à vide ont été déterminés. En comparant les sommes du temps d'admission et du temps de retour du

moulin à sa puissance à vide 1kW, on obtient une comparaison des divers débits de mouture qui permet de fixer le protocole optimale d'ouverture et de fermeture de la vanne. Le protocole permet ainsi d'avoir un meilleur débit de mouture sans dépassement de la puissance nominale du moulin.

Le protocole d'usage optimal est présenté à la section III.6.

## **II.5 Proposition de méthode de maintenance préventive et curative**

Une tentative a été faite pour trouver une réponse aux questions suivantes :

- Comment éviter la formation de moisissure dans l'environnement de mouture ?
- Comment réagir après un calage du moteur ?
- À quelle température maximale peut-on utiliser le moteur du moulin ?

# III Résultats obtenus

## III.1 Caractéristiques à vide du moulin sans la courroie

Tableau III.1 – Caractéristiques du moulin pour l’essai à vide sans la courroie.

| Caractéristiques           | Valeurs |
|----------------------------|---------|
| Puissance active consommée | 397 W   |
| Facteur de puissance       | 0.7     |

Le moteur sans entraînement consomme une puissance de 397W.

## III.2 Caractéristiques à vide du moulin avec la courroie

La figure III.1 illustre les divers courants de démarrage. Le tableau III.2 résume les caractéristiques. La puissance moyenne en régime permanent du moulin est de 940 W, ce qui représente le tiers de la puissance nominale du moteur qui est de 2.895 kW. Le pic de courant au démarrage est de 57,24 A, ce qui est assez élevé et peut nécessiter un variateur de vitesse pour le démarrage.

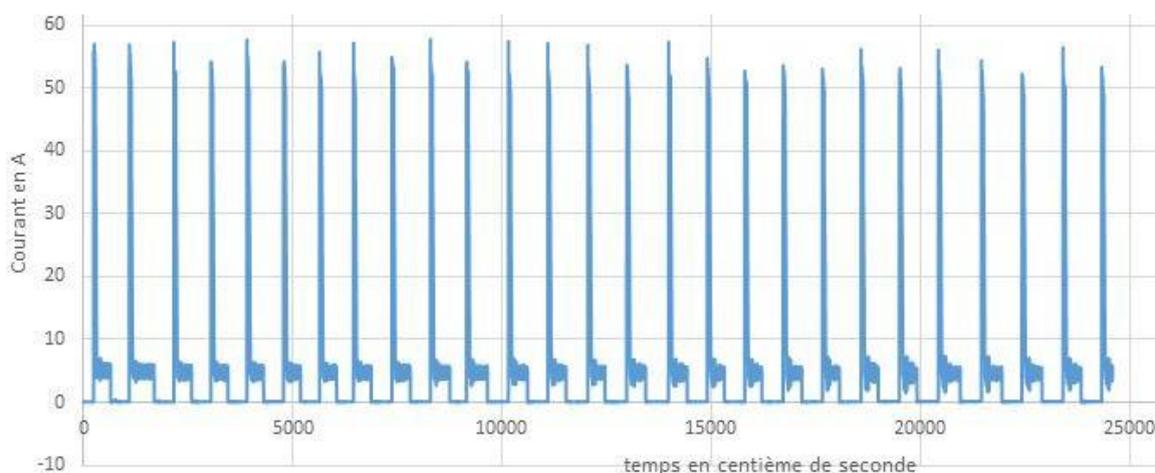


Figure III.1 – Divers courants de démarrage du moulin sur plusieurs essais.

On note pour le moteur les caractéristiques moyennes du tableau III.2.

Tableau III.2 – Caractéristiques du moulin pour l’essai à vide avec la courroie.

| Caractéristiques   | Valeurs      |
|--|--------------|
| Puissance active consommée   | 800 W - 1 kW |
| Puissance active moyenne consommée                                   | 940 W        |
| Courant de démarrage max   | 57.24 A      |
| Durée du pic de courant (de la montée à la chute au courant nominal) | 730 ms       |
| Facteur de puissance   | 0.93         |

### III.3 Caractéristiques en charge du moulin

#### III.3.1 Essais de mouture pour divers grains

Le tableau III.3 présente les résultats de mouture pour divers grains sans utiliser le protocole optimal. Lors des moutures, des dépassements intempestifs de la puissance nominale du moteur ont été notés surtout pour le maïs jusqu’à 10 kW.

Tableau III.3 – Caractéristiques du moulin lors des essais en charge pour diverses céréales.

| Céréale                | Puissance active Moyenne de mouture | Différence de Puissance avec la puissance à vide | Temps total de Mouture sans interruption | Débit de première mouture |
|------------------------|-------------------------------------|--|--|---------------------------|
| Riz (5kG)              | 2039 W                              | 1039 W   | 4min 30s                                 | 66.60 kg/h                |
| maïs (5kG)             | 3757 W                              | 2757 W   | 11min 11s                                | 26.64 kg/h                |
| Haricot (5kG)          | 2316 W                              | 1316 W   | 7min 27s                                 | 40.25 kg/h                |
| Sorgho (5kG)           | 2805 W                              | 1805 W   | 5min 33s                                 | 54.00 kg/h                |
| Mil (5kG)              | 2980 W                              | 1980 W   | 9min 30s                                 | 31.57 kg/h                |
| Mélange maïs-mil (5kG) | 2461 W                              | 1416 W   | 6min 4s                                  | 49.45 kg/h                |

#### III.3.2 Quantité de grains admissible dans la chambre de broyage sans dépassement de la puissance nominale du moulin

Le tableau IV.1 répertorie les résultats des mesures de quantité de grains admissible dans la chambre de broyage sans dépassement de la puissance nominale du moulin.

Tableau III.4 – Quantité de grains admissible dans la chambre de broyage pour un fonctionnement nominal

| Grain            | Quantité | Plage des pics de puissance                  | Temps entre le pic de puissance et le retour à la puissance à vide |
|------------------|----------|--|--|
| Riz              | 175 g    | 2,5 kW - 3 kW                                | 16 s   |
| Maïs             | 75 g     | 2 kW - 2,6 kW                                | 25 s   |
| Haricot          | 125 g    | 2,17 kW - 2,66 kW                            | 15 s   |
| Sorgho           | 150 g    | 2,67 kW - 3 kW                               | 26 s   |
| Mil              | 175 g    | 2,4 kW - 2,98 kW                             | 20 s   |
| Mélange maïs-mil | 125 g    | 2,26 kW - 3,1 kW<br>(très rares dépassement) | 17 s   |

La quantité de maïs qui ne provoque pas de dépassement de la puissance nominale du moteur est assez faible et est de 75 g. Cela s'explique par le fait que le maïs est beaucoup plus dur à moudre. Cette quantité est de 175 g pour le riz et le mil beaucoup plus faciles à moudre. En rechargeant la chambre de broyage du moulin, il faudra ainsi veiller à ne pas dépasser ses quantités afin d'éviter de surcharger le moteur et à la longue de le détruire en détruisant progressivement l'isolation de ses enroulements.

### III.4 Angles de coulée moyennement fluide des grains en fonction de l'ouverture de la vanne

Le tableau III.5 résume les angles de coulée moyennement fluide des grains en fonction des angles d'ouverture de la vanne quand le moulin est en marche.

Tableau III.5 – Angle de coulée moyennement fluide des grains

| Grain            | Angle de coulée moyennement fluide quand le moulin est en marche |
|------------------|--|
| Riz              | 6,75 °   |
| Maïs             | 13,5 °   |
| Haricot          | 10,125 °   |
| Sorgho           | 9 °  |
| Mil              | 6,75 °   |
| Mélange maïs-mil | 13,5 °   |

Les angles de coulée moyennement fluide des grains augmentent avec les dimensions des grains. Il varie de 6,75 ° pour le mil à 13,5 ° pour le maïs.

### III.5 Débits de grains en fonction de l'ouverture de la vanne

Le tableau III.6 résume les débits de grains en fonction des angles d'ouverture de la vanne.

Tableau III.6 – Débit de grains en fonction de l'ouverture de la vanne

| Grain            | Quantité | Angle d'ouverture de la vanne | Temps moyen de coulée | Débit correspondant |
|------------------|----------|-------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Riz              | 5 kg     | 6,75 °                        | 10 min 50 s           | 7,7 g/s             |
| Riz              | 5 kg     | 10,125 °                      | 2 min 2 s             | 41 g/s              |
| Maïs             | 5 kg     | 13,5 °                        | 4 min 39 s            | 18 g/s              |
| Haricot          | 5 kg     | 10,125 °                      | 7 min 6 s             | 11,74 g/s           |
| Haricot          | 5 kg     | 13,5 °                        | 2 min 58 s            | 28 g/s              |
| Sorgho           | 5 kg     | 6,75 °                        | 13 min 2 s            | 6,4 g/s             |
| Sorgho           | 5 kg     | 9 °                           | 2 min 37 s            | 32 g/s              |
| Mil              | 5 kg     | 6,75 °                        | 8 min 36 s            | 9,7 g/s             |
| Mil              | 5 kg     | 10,125 °                      | 1 min 48 s            | 46,3 g/s            |
| Mélange maïs-mil | 5 kg     | 13,5 °                        | 2 min 52 s            | 29 g/s              |

Le riz peut-être assez rapidement chargé dans la chambre de broyage avec un angle de 10,125 °, le maïs avec 13,5 °, le haricot avec 13,5 °, le sorgho avec 9 °, le mil avec 10,125 ° et le mélange maïs-mil avec 13,5 °.

### III.6 Protocole d'usage optimal du moulin

Pour un usage optimal du moulin, il faut prendre les prédispositions suivantes :

- Utiliser un variateur de vitesse monophasé de 3kw pour limiter le courant de démarrage,
- Protéger le moteur par un disjoncteur 16 A,
- Utiliser des grains de faible taux d'humidité pour éviter la formation d'une mouture pâteuse pouvant boucher le tamis.

Ensuite il faut respecter les étapes suivantes pour la mouture :

1. Fermer complètement la vanne du moulin
2. Recharger la trémie avec les grains à moudre
3. Démarrer le moulin s'il est à l'arrêt et attendre 5s
4. Procéder à la mouture comme suit en fonction du type de grains

Pour le riz :

Ouvrir la vanne à 10,125 ° pendant 4 s puis la refermer. Attendre 11 s pour la rouvrir.

Pour le maïs :

Ouvrir la vanne à 13,5 ° pendant 4 s puis la refermer. Attendre 21 s pour la rouvrir.

Pour le haricot :

Ouvrir la vanne à 13,5 ° pendant 5 s puis la refermer. Attendre 11 s pour la rouvrir.

Pour le sorgho :

Ouvrir la vanne à 9 ° pendant 4,5 s puis la refermer. Attendre 22 s pour la rouvrir.

Pour le mil :

Ouvrir la vanne à 10,125 ° pendant 3,5 s puis la refermer. Attendre 16,5 s pour la rouvrir.

Pour un mélange maï-mil :

Ouvrir la vanne à 13,5 ° pendant 4 s puis la refermer. Attendre 19s pour la rouvrir.

- 5.** En cas de calage du moulin, le disjoncteur peut-être directement remis en marche si le calage a duré plus de 2s. En cas de calage brusque du moulin, il faudra d'abord vider la chambre de broyage avant de remettre le disjoncteur en marche.
- 6.** Veiller à arrêter le moulin de temps à autre pour que la température du moteur ne dépasse pas 105 °C, typique pour un moteur de classe inférieure A (les moteurs ne portent pas de classe d'isolation thermique).

Pour la mouture des grains, les angles ainsi que les temps d'ouverture et de fermeture de la vanne du moulin résumés dans le tableau III.7. La vanne des moulins n'étant pas gradué en angle d'ouverture, il conviendrait de les graduer à la fabrication.

Tableau III.7 – Protocole d'usage du moulin, temps d'ouverture et de fermeture de la vanne

| Grain            | Angle d'ouverture de lavanne | Temps d'ouverture de la vanne | Temps de fermeture de la vanne |
|------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Riz              | 10,125 °                     | 4 s                           | 11 s                           |
| Maïs             | 13,5 °                       | 4 s                           | 21 s                           |
| Haricot          | 13,5 °                       | 5 s                           | 11 s                           |
| Sorgho           | 9 °                          | 4,5 s                         | 22 s                           |
| Mil              | 10,125 °                     | 3,5 s                         | 16,5 s                         |
| Mélange maïs-mil | 13,5 °                       | 4 s                           | 19 s                           |

Les divers débits moyens de mouture sont présentés au tableau III.8.

Tableau III.8 – Débits moyen de mouture en utilisant le protocole d'usage

| Grain            | Débit moyen de mouture avec le protocole optimal | Débit moyen de mouture sans protocole optimal |
|------------------|--|---|
| Riz              | 42 kG/h  | 66,6 kG/h                                     |
| Maïs             | 10 kG/h  | 26,64 kG/h                                    |
| Haricot          | 33,75 kG/h                                       | 40,25 kG/h                                    |
| Sorgho           | 20 kG/h  | 54 kG/h                                       |
| Mil              | 31,5 kG/h  | 31,57 kG/h                                    |
| Mélange maïs-mil | 19,5 kG/h  | 42 kG/h                                       |

Comme compromis la pérennité du moulin, les débits de mouture avec le protocole optimal élaboré s'avèrent assez bons pour le riz, le haricot et le mil pour lesquels le débit se situe au-delà de 30 kg/h. Par contre les débits sont assez faibles pour le maïs, le sorgho et le mélange maïs-mil.

### Résultats des essais avec le protocole

Suite aux essais du protocole d'usage, on note :

- Quelques très rares pics de puissance (3 kW), proche de la puissance nominale du moteur 2,894 kW ;
- La majorité des pics de puissance se situe en deçà de la puissance nominale du moteur.

### III.7 Proposition de méthode de maintenance préventive et curative

Tableau III.9 – Méthode de maintenance préventive et curative

| Question  | Réponse   |
|---|---|
| Comment éviter la formation de moisissure dans l'environnement de mouture ? | Éviter les projections d'eau dans l'environnement de mouture, débarrasser l'environnement de mouture des débris de farine dès que possible, dépoussiérer le moulin après chaque journée d'usage |
| Comment réagir après un calage du moteur ?                                  | Remettre le disjoncteur 16A si le ralentissement du moteur avant calage a duré moins de 2s sinon débarrasser la chambre de broyage avant de remettre le disjoncteur.                            |
| À quelle température maxi- male peut-on utiliser le moteur du moulin ?      | Veiller à ce que la température du moteur ne dépasse pas 105 °C, typique pour un moteur de classe d'isolation thermique inférieure A (Les moteurs ne portent pas de classe d'isolation)         |

# IV Recommandations

Tableau IV.1 – Quelques recommandations pour le moulin

| Problèmes  | Causes  | Solutions recommandées  |
|--|---|---|
| Mesure d'angle d'ouverture de la vanne                                   |   | Graduer l'angle d'ouverture de la vanne à la fabrication  |
| Faible débit de mouture, nécessité de gestion accrue de la vanne         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Absence d'obstacle dans la chambre debroyage,</li> <li>• Faible puissance du moteur</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Restructuration et introduction d'obstacles dans la chambre de broyage cf figure IV.1,</li> <li>• Possible augmentation de la puissance du moteur</li> </ul> |
| Granulométrie fixe du produit de mouture                                 | Diamètre fixe des pores du tamis  | Possibilité de remplacement du tamis cf figure IV.1   |
| Projection accrue de débris  | Ouverture de la visière de la chambre de broyage  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Renforcer l'étanchéité des pores,</li> <li>• Recouvrir la visière par un couvert en verre ouvrable et nettoyable</li> </ul>                                  |
| Courant de démarrage du moteur élevé                                     | Normal pour un moteur asynchrone  | Utilisation d'un variateur de vitesse monophasé si besoin   |
| Consommation à vide du moteur élevé pour un en-trainement de la courroie |   | Amélioration des roulements mécaniques  |

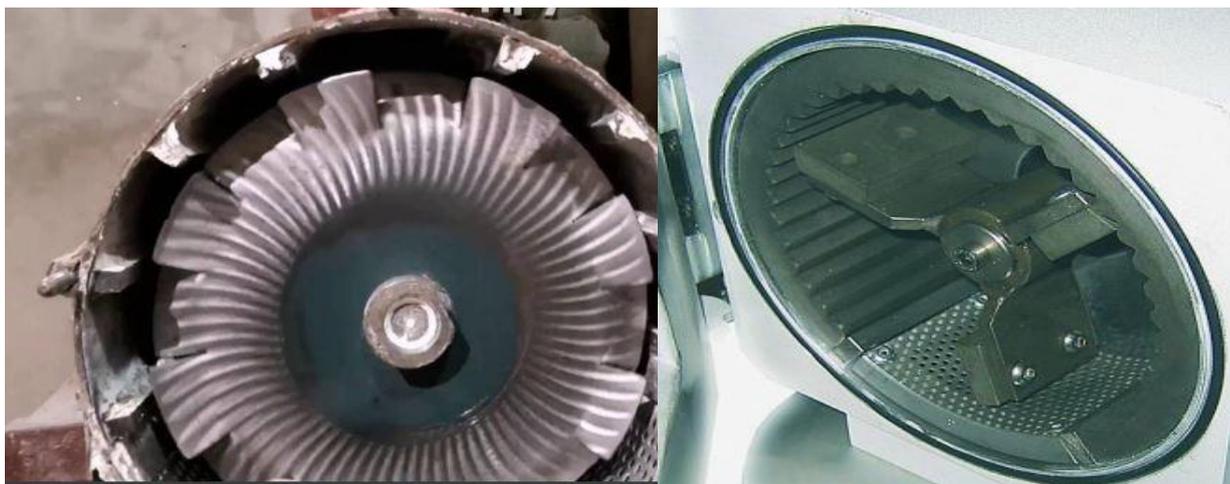


Figure IV.1 – Chambres de broyage avec obstacles et possibilité de remplacement de tamis

# Conclusion générale

Cette étude a permis dans un premier temps de faire la caractérisation électromécanique à vide et en charge du moulin à grains. Des essais de mouture ont ensuite été effectués et ont permis de remarquer des pics de puissance accrue entraînant des arrêts pendant les essais de mouture. Dans un second temps de l'étude, un protocole d'usage a été élaboré puis testé pour un fonctionnement optimal du moulin. D'après les données de test en utilisant le protocole d'usage, on note une quasi-absence de pics de puissance supérieure à la puissance nominale du moulin. Les débits de mouture comparés au cas d'une mouture sans le protocole montrent néanmoins quelques réductions. Une méthode de maintenance préventive et curative des moulins a été en fin proposée.