

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION  
DEPARTEMENT D'ELECTROMECHANIQUE

## Mémoire de Fin d'Etude DE MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème :

### Etude et conception d'un moteur asynchrone monophasé à condensateur permanent

Présenté par :

**ACHEMOUN Hakim**  
**MESSAOUDI Ali**

Soutenu le : 01/10/2023 devant le jury d'examen composé de :

<b>M. OULDOUALI Samy Hassani</b>	<b>MCB</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Président</b>
<b>M. HOCINI FARID</b>	<b>MCB</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Promoteur</b>
<b>M. NAIT OUSLIMANE AHMED</b>	<b>MCB</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Examineur</b>

Année Universitaire : 2022/2023

# Remerciements

## **Remerciements**

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribuées de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, nous tenons à remercier chaleureusement M. HOCINI Farid, pour son soutien et sa guidance tout au long de ce projet de recherche sur l'étude et la conception d'un moteur asynchrone monophasé à condensateur permanent.

Ensuite, nous remercions vivement tous les membres de jurys, pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Enfin, nous souhaitons remercier nos familles et nos amis pour leur soutien constant et leur encouragement pendant que nous travaillions sur ce mémoire

# Sommaire

# Table des matières

➤ Introduction général.....	1
<b>Chapitre 1: Généralités sur la machine asynchrone monophasée.....</b>	<b>3</b>
I. Généralités sur la machine asynchrone monophasée.....	4
1.1. Introduction .....	4
1.2. Historique.....	5
1.3. Constitution d'un moteur asynchrone monophasé.....	6
1.3.1. Le stator.....	7
1.3.2. Le rotor.....	8
1.3.2.1. Le rotor a cage d'écureuil .....	8
1.3.2.2. Le rotor bobiné.....	9
1.3.3. Autres éléments constitutifs.....	9
1.4. Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone monophasée.....	10
1.5. Classification des machines asynchrones monophasées.....	10
1.5.1. Moteur asynchrone monophasée à condensateur permanent ou temporaire.....	11
1.5.1.1. Condensateur permanent.....	11
1.5.1.2. Condensateur temporaire.....	12
1.5.1.3. Condensateur permanent et temporaire.....	13
1.5.2. Moteur asynchrone monophasé à bague de déphasage.....	13
1.5.3. Moteur asynchrone monophasé à phase auxiliaire inductive.....	14
1.6. Conclusion.....	15
<b>Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée.....</b>	<b>16</b>
II. Modélisation de la machine asynchrone monophasée :	
2. Les équations maxwell.....	17
2.1. Introduction.....	17
2.2. Equations Maxwell.....	17
2.2.1. Maxwell-Gauss.....	16
2.2.2. Maxwell-Ampère.....	18
2.2.3. Maxwell-Faraday.....	19
2.2.4. Maxwell Thomson.....	19
2.3. Equation Maxwell Magnétodynamique.....	20
2.4. Equation Maxwell magnétostatique.....	22
2.4.1. Modèle magnétostatique scalaire.....	23
2.4.2. Modèle magnétostatique vectorielle.....	23
2.5. La méthode des éléments finis.....	24
2.6. Les étapes de la méthode des éléments finis.....	25
2.7. Discrétisation et approximation.....	26
2.8. Eléments finis réels.....	28
2.9. Conclusion.....	30

## **Chapitre 3: Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé.....32**

III. Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé	
3.1.Introduction.....	31
3.2.Cahier des charges du moteur asynchrone monophasé à cage.....	32
3.3.Données sur les dimensions du noyau statorique et rotorique.....	35
3.4.Dimensionnement du noyau statorique.....	38
3.5.Dimensionnement du noyau du rotorique.....	44
3.6.Dimensionnement de l'enroulement statorique.....	47
3.7.Paramètre de l'enroulement statorique.....	49
3.8.Calcul des densités de courant.....	51
3.9.Résultat de dimensionnement de la machine.....	52
3.10. Conclusion .....	54

## **Chapitre 4 : Conception et résultat de la simulation avec Maxwell.....55**

4.1.Introduction.....	56
4.2.Présentation de logiciel.....	56
4.3.Les étapes de la conception du modèle du moteur asynchrone monophasé avec RMxpert.....	57
4.4.Différents paramètres du moteur sous RMxpert.....	59
4.5.Résultats d'analyse avec RMxpert.....	63
4.5.1. Les courbes.....	63
4.5.2. Interprétation des Résultats d'analyse par RMxpert.....	65
4.6.Conception et analyse des performances du moteur avec Maxwell 2D.....	66
4.6.1. Résultats de la simulation 2D.....	67
4.7. Conclusion.....	67
➤ Conclusion générale.....	68
➤ Bibliographie.....	73

## Table des figures :

Figure 1 Portrait de Michael Faraday .....	3
Figure 2 Constitution d'un moteur asynchrone monophasé.....	5
Figure 3 Stator.....	6
Figure 4 Vue générale d'un rotor a cage d'écureuil d'un moteur asynchrone .....	7
Figure 5 vue d'ensemble d'un rotor bobiné.....	8
Figure 6 Schéma d'un moteur asynchrone monophasé alimenté avec un condensateur permanent.....	9
Figure 7 Schéma d'un moteur asynchrone monophasé à condensateur permanent.....	10
Figure 8 Schéma d'un moteur asynchrone monophasé à condensateur temporaire.....	11
Figure 9 Schéma d'un moteur asynchrone monophasé à condensateur permanent et temporaire.....	12
Figure 10 Schéma d'un moteur asynchrone monophasé à phase auxiliaire inductive.....	13
Figure 11 Exemple l'élément triangulaire.....	26
Figure 12 éléments à une dimension linéaire .....	27
Figure 13 éléments triangulaires à deux dimensions.....	28
Figure 14 éléments carrés à deux dimensions .....	28
Figure 15 Éléments à trois dimensions.....	28
Figure 16 Dessin et dimensionnement de la tole statorique .....	34
Figure 17 Dessin et dimensionnement de la tole rotorique .....	36
Figure 18 Dessin de conducteur et d'isolant dans l'encoche statorique.....	39
Figure 19 Dessin de la barre de la cage.....	40
Figure 20 Interface de logiciel Ansys-Maxwell .....	54
Figure 21 Icône du logiciel.....	55
Figure 22 Les étapes de création d'un modèle RMxprt du Moteur à Induction Monophasé.....	56
Figure 23 Paramètres généraux du MAS monophasé à cage .....	57
Figure 24 Paramètres généraux du Stator.....	57
Figure 25 Paramètres généraux d'encoches statorique.....	58
Figure 26 Type d'encoche du stator .....	58
Figure 27 Paramètres généraux du rotor .....	59
Figure 28 Paramètres généraux d'encoches rotorique.....	59
Figure 29 Type d'encoche du rotor .....	60
Figure 30 Géométrie de la machine.....	60
Figure 31 Distributions du bobinage .....	61
Figure 32 La courbe de première aimantation B-H.....	61
Figure 33 Courbe courant d'entré en fonction de la vitesse .....	62
Figure 34 Courbe de rendement en fonction de la vitesse.....	62
Figure 35 Courbe de puissance de sortie en fonction de la vitesse .....	63
Figure 36 Courbe couple de sortie en fonction de la vitesse .....	63
Figure 37 Courbe couple de sortie en fonction de temps .....	65
Figure 38 Courbes courant d'entré de la phase (A) et (B) en fonction de temps .....	65
Figure 39 Courbe de la vitesse en fonction de temps .....	66
Figure 40 Maillage éléments finis.....	67
Figure 41 Distribution de l'induction Magnétique.....	67
Figure 42 distribution des lignes du potentiel vecteur A.....	68

**Table des tableaux :**

Tableau 1 Cahier de charge de la machine à étudier .....	32
Tableau 2 Dimensionnement de la tôle statorique .....	33
Tableau 3 Dimensionnement de la tole rotorique.....	35
Tableau 4 Les dimensionnement de la machine asynchrone monophasé.....	51

# **Introduction général**

## ➤ Introduction général :

Les moteurs asynchrones monophasés occupent une place prépondérante dans notre vie quotidienne et dans de nombreuses applications industrielles en raison de leur capacité à convertir l'énergie électrique en énergie mécanique. Ils sont largement utilisés dans les secteurs domestiques et légers, propulsant des machines-outils portatives et des appareils électroménagers. L'omniprésence de ces machines et leur rôle central dans nos vies ont conduit à des avancées significatives dans leur compréhension, leur conception et leur optimisation.

Ce travail a pour objectif le dimensionnement et la modélisation du moteur asynchrone monophasé à cage d'écurie d'une puissance nominale de 0.37 KW.

La conception et la modélisation électromagnétique basées sur les équations de Maxwell offrent la possibilité de simuler diverses machines électriques, permettant ainsi de déterminer une structure de machine appropriée pour un mode de fonctionnement spécifique. Cette approche permet également d'anticiper les implications de choix variés, tels que la configuration géométrique, la sélection des matériaux et la détection de défauts. Grâce aux progrès de la puissance de calcul des ordinateurs, la modélisation électromagnétique est devenue un élément essentiel de la conception assistée par ordinateur (CAO) pour les machines électriques.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres :

Le premier chapitre sera dédié à la présentation des principes de fonctionnement de la machine asynchrone monophasée, ainsi qu'à l'exposition de sa constitution.

Le deuxième chapitre se penchera sur les équations fondamentales de l'électromagnétisme, qui sont essentielles pour comprendre le comportement des moteurs asynchrones monophasés. Ces équations de Maxwell fournissent un cadre mathématique précis pour décrire les phénomènes électromagnétiques.

Le troisième chapitre se concentrera sur les paramètres de conception de moteur asynchrone monophasé, enfin le quatrième chapitre nous étudions les étapes de simulation d'une machine asynchrone monophasée à l'aide du logiciel Maxwell. Nous identifions les caractéristiques de cette dernière à travers les courbes de courant et de vitesse.

# **Chapitre 1: Généralités sur la machine asynchrone monophasée**

# Chapitre 1: Généralités sur la machine asynchrone monophasée

## **I. Machine asynchrone monophasée**

### **1.1. Introduction :**

La machine asynchrone monophasée est un dispositif qui convertit de l'énergie électrique en énergie mécanique, et considéré comme étant le type de machine électrique la plus répandu dans les secteurs domestique et légère. Cette machine est alimentée par une source d'énergie monophasée, qui fournit une tension alternative avec une seule phase.

De tous les machines électriques à courant alternatif, le machine monophasée est celle qui nous est la plus familière, car elle est utilisé dans les appareils qui ne requérant qu'une faible puissance, comme les machines-outils portatives et les appareils électroménagers.

De nos jours, il y a une grande diversité de machines électriques monophasées qui peuvent être utilisées pour de nombreuses applications différentes.

### **1.2. Historique :**

L'histoire de la machine asynchrone monophasée remonte au développement de la technologie électrique et des moteurs électriques en général. Voici un bref aperçu de l'histoire de la machine asynchrone monophasée :

1. **Développement des moteurs électriques :** Les premières formes de moteurs électriques ont été développées au 19e siècle. Michael Faraday a découvert le principe de l'induction électromagnétique en 1831, jetant ainsi les bases des moteurs électriques.



**Figure 1 Portrait de Michael Faraday**

## Chapitre 1: Généralités sur la machine asynchrone monophasée

### **2. Moteurs monophasés primitifs :**

Les premières versions de moteurs électriques étaient principalement des moteurs à courant continu. Cependant, il était difficile de les alimenter avec des systèmes électriques monophasés, ce qui limitait leur utilisation.

### **3. Émergence de la machine asynchrone :**

L'un des développements clés dans l'histoire des moteurs électriques a été la création de la machine asynchrone, également appelée moteur à induction. Les travaux de Nikola Tesla dans les années 1880 ont joué un rôle crucial dans cette avancée. Tesla a développé la théorie et les concepts fondamentaux des moteurs asynchrones, qui fonctionnent grâce à l'induction électromagnétique plutôt que par la commutation mécanique, comme c'était le cas pour les moteurs à courant continu.

### **4. Moteurs asynchrones triphasés :**

Les premiers moteurs asynchrones développés par Tesla étaient de type triphasé, nécessitant une alimentation à trois phases. Cependant, la distribution d'électricité monophasée était plus courante dans les foyers et les petites entreprises.

### **5. Transition vers le monophasé :**

Le défi majeur était de développer des moteurs asynchrones adaptés à l'alimentation monophasée qui était plus courante dans les ménages. Au fil du temps, des ingénieurs ont réussi à concevoir des moteurs asynchrones monophasés en utilisant des enroulements auxiliaires et des condensateurs pour créer un champ magnétique de démarrage.

### **6. Développement et améliorations :**

Au cours des 20e et 21e siècles, les moteurs asynchrones monophasés ont continué à être développés et améliorés pour une utilisation dans une grande variété d'applications domestiques et légères. Les avancées technologiques ont permis d'optimiser la performance, l'efficacité et la fiabilité de ces moteurs.

### **7. Applications modernes :**

Les moteurs asynchrones monophasés sont aujourd'hui couramment utilisés dans les appareils électroménagers, les machines-outils portatives, les pompes, les ventilateurs, les compresseurs, les petits systèmes de climatisation, et d'autres applications nécessitant une puissance relativement faible.

L'histoire de la machine asynchrone monophasée reflète l'évolution de la technologie électrique et des moteurs électriques au fil du temps, avec des développements et des adaptations spécifiques pour répondre aux besoins des utilisateurs dans le secteur domestique et léger. [1]

## Chapitre 1: Généralités sur la machine asynchrone monophasée

### 1.3. Constitution d'un moteur asynchrone monophasé :

Le moteur asynchrone monophasé est constitué de deux parties importantes comme la plupart des moteurs électrique, qui sont le rotor et le stator.

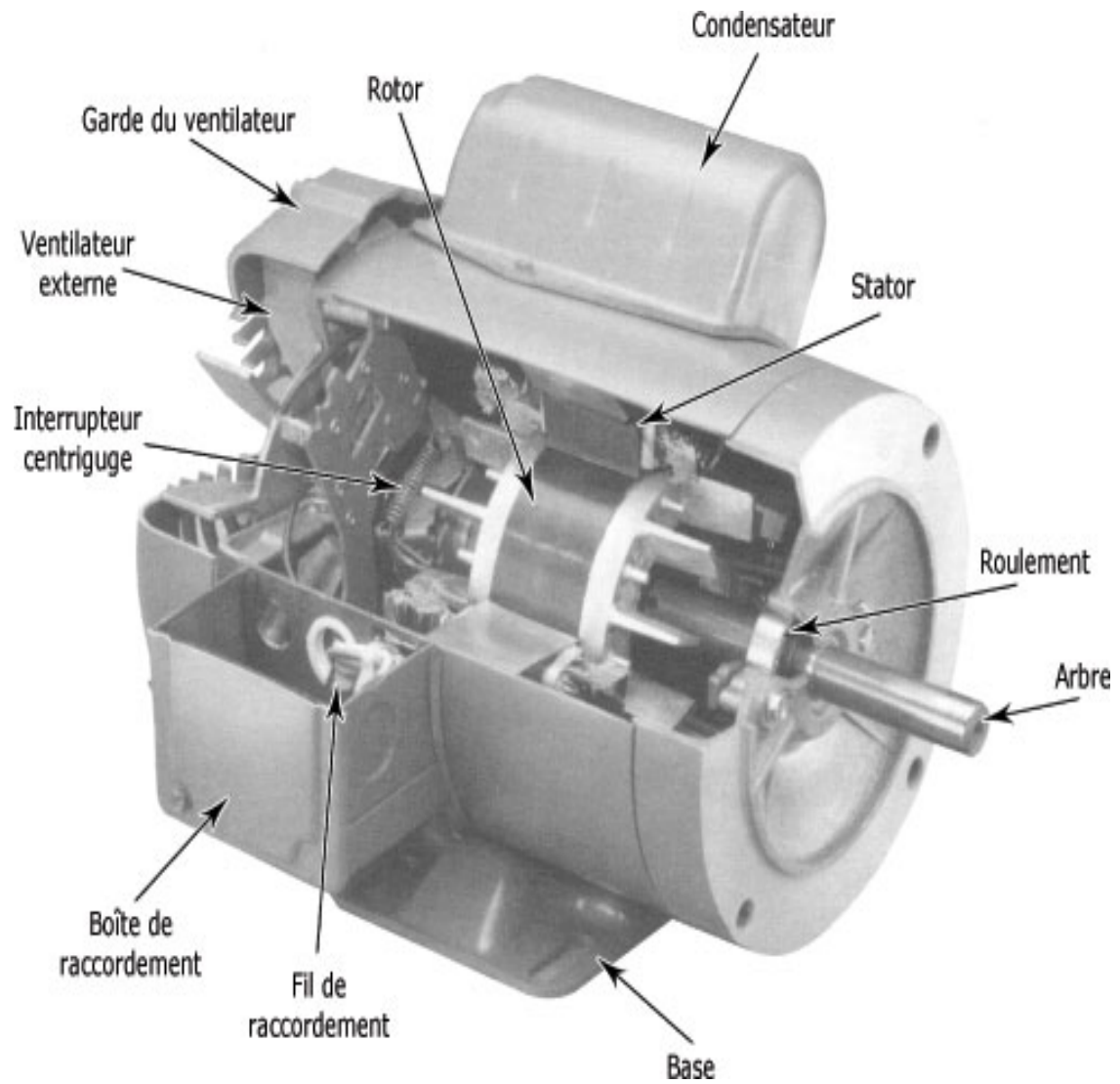


Figure 2 Constitution d'un moteur asynchrone monophasé

## Chapitre 1: Généralités sur la machine asynchrone monophasée

### **1.3.1. Le stator :**

Le stator est la partie fixe de moteur, il est composé d'un noyau en fer laminé et de bobines enroulées autour de ce noyau.

Le stator comporte deux enroulements : un enroulement principal « en marche » (Run) et un enroulement auxiliaire « de démarrage » (Start) ; l'enroulement principal est connecté à une source d'alimentation monophasée, tandis que l'enroulement auxiliaire est utilisé pour créer un champ magnétique de démarrage en étant placé sur l'enroulement de marche et décalé par rapport à celui-ci de 90°, cet aménagement permet de produire un champ magnétique tournant nécessaire au démarrage de moteur.

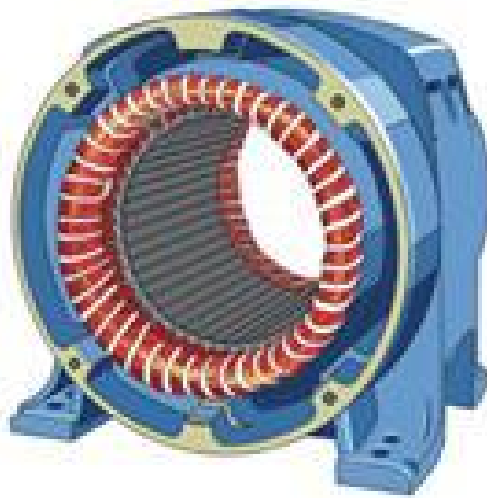


Figure 3 Stator

Le nombre d'enroulements principal est similaire à celui d'auxiliaire et le nombre de pôles définit la vitesse de champs tournant ; qui on appel aussi vitesse de synchronisme et qui se calcule avec la formule suivante :

$$N_s = \frac{60 F_s}{P} \quad (I.1)$$

$N_s$ = vitesse de rotation de champ tournant.

$F_s$ = fréquence de courant d'alimentation.

$P$ = nombre de paires de pôles du moteur.

## Chapitre 1: Généralités sur la machine asynchrone monophasée

### 1.3.2. Le rotor :

Le rotor est la partie la partie mobile du moteur, qui tourne à l'intérieur de stator. Il est composé d'un noyau en fer laminé et des conducteurs électriques, tels que des barres de cuivre ou des bobines et placés tout autour de noyau. Il existe deux types de rotor :

- Le rotor a cage d'écureuil (le plus courant).
- Le rotor bobiné.

#### 1.3.2.1. Le rotor a cage d'écureuil :

C'est la conception la plus couramment utilisé par les moteurs asynchrones monophasés, il est composé d'un noyau en Fer laminé et de conducteurs sous forme de barres métalliques courtes, souvent elles sont en cuivre ou en aluminium et reliées aux extrémités par des anneaux court circuit, formant ainsi une structure sous forme d'une cage d'écureuil.

Lorsque le champ magnétique tournant du stator induit un courant dans les barres de la cage, un champ magnétique est généré à son tour et ce qui produit un couple électromagnétique et fait tourner le rotor.

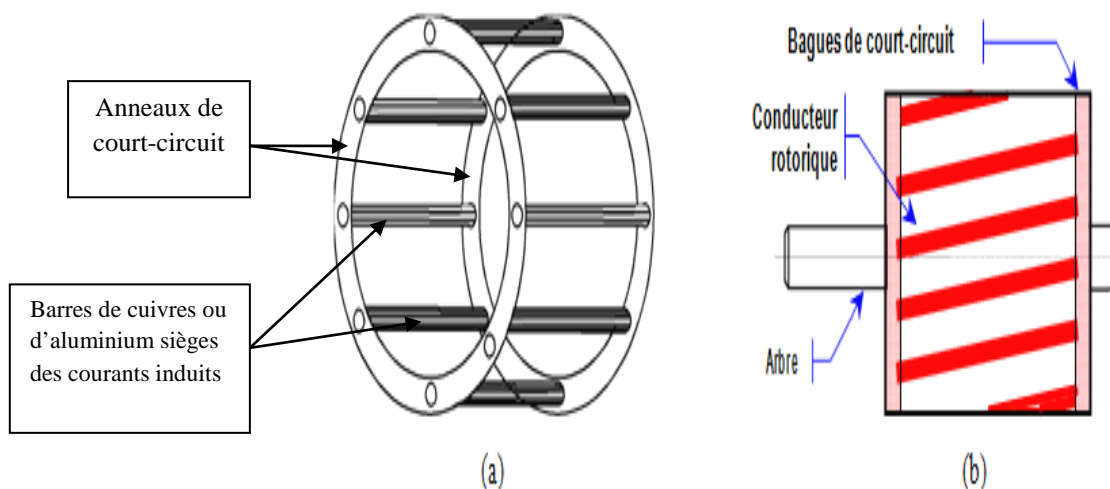


Figure 4 Vue générale d'un rotor a cage d'écureuil d'un moteur asynchrone

## Chapitre 1: Généralités sur la machine asynchrone monophasée

### 1.3.2.2. Le rotor bobiné :

Cette conception est la moins utilisée par rapport à celle de la cage à écureuil, ce rotor est composé d'un noyau en fer laminé et de bobines enroulées autour de celui-ci, contrairement au rotor à cage d'écureuil, les bobines sont connectées à des bagues collectrices à l'extérieur de moteur.

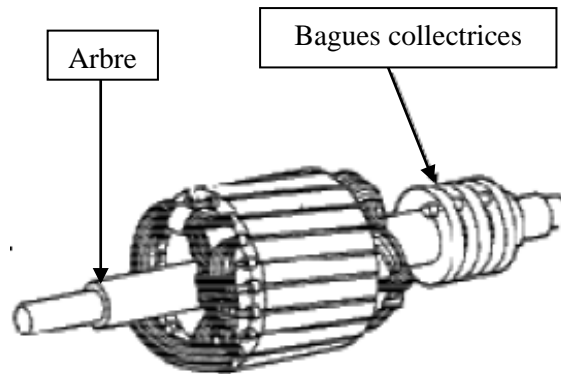


Figure 5 vue d'ensemble d'un rotor bobiné

### 1.3.3. Autres éléments constitutifs :

Outre le stator et le rotor, d'autres éléments sont également présents dans la constitution d'une machine asynchrone monophasée. Parmi ces éléments, on trouve les roulements, qui permettent le bon alignement et le support mécanique des parties mobiles, ainsi que le boîtier ou le carter qui protège les composants internes et assure la sécurité de l'opération.

### 1.4. Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone monophasée :

Le principe de fonctionnement d'une machine asynchrone monophasée repose sur l'interaction entre les champs magnétiques tournants créés par le stator et le rotor. Ce principe est basé sur les lois de l'électromagnétisme et de l'induction.

Lors de l'alimentation de la partie fixe de la machine asynchrone monophasée qui est « le stator », un courant alternatif circule dans son enroulement principal et crée un flux alternatif qui est appelé aussi champ magnétique pulsé. Ce flux traverse l'entrefer et se relie aux conducteurs du rotor dans lesquels des champs magnétiques seront induits de fait de phénomène d'induction électromagnétique. Un circuit fermé se crée et cela permettra l'induction des courants dans les barres du rotor.

En raison de l'interaction des courants induits dans le rotor et le flux de stator, se produit un couple, la moitié supérieure du rotor est soumise à un couple qui tend à la faire tourner dans un sens et la moitié inférieure du rotor est sollicitée par un couple égal qui tend à la faire tourner dans le sens opposé.

## Chapitre 1: Généralités sur la machine asynchrone monophasée

Les deux couples égaux et opposés s'annulent, de sorte que le couple moteur net est nul. Par conséquent, le rotor reste immobile. Ainsi, le moteur monophasé ne parvient pas à développer un couple de démarrage.

Cependant pour démarrer un moteur asynchrone monophasé il faut créer un couple au démarrage et pour cela on le crée avec un enroulement auxiliaire alimenté par l'intermédiaire d'un condensateur et décalé par rapport à l'enroulement principal de  $90^\circ$ , après le démarrage de moteur et son arrivé à la vitesse nominale l'enroulement auxiliaire ne sera plus utile, il pourra rester sous tension (avec condensateur permanent) ou être isolé par un contact centrifuge.

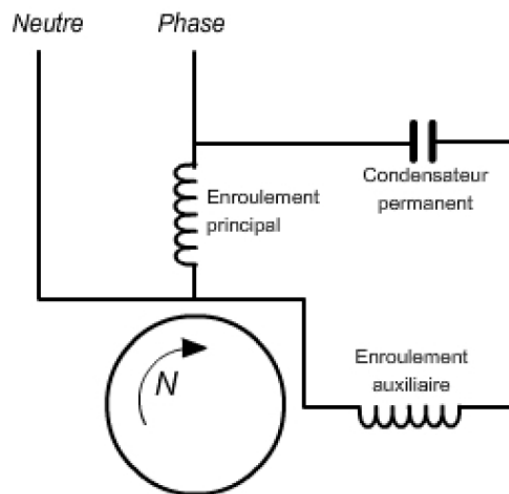


Figure 6 Schéma d'un moteur asynchrone monophasé alimenté avec un condensateur permanent

### 1.5. Classification des machines asynchrones monophasées :

On peut classer les machines asynchrones monophasées en trois catégories en fonction du type d'enroulement auxiliaire qu'elles possèdent. Et on distingue trois types :

1. Moteur asynchrone monophasé à condensateur permanent ou temporaire.
2. Moteur asynchrone monophasé à bague de déphasage.
3. Moteur asynchrone monophasé à phase auxiliaire inductive.

#### 1.5.1. Moteur asynchrone monophasée à condensateur permanent ou temporaire :

Pour avoir du couple au démarrage, il est nécessaire de générer un champ tournant. Le déphasage dans l'enroulement auxiliaire permettant de générer ce champ tournant est obtenu par un condensateur.

## Chapitre 1: Généralités sur la machine asynchrone monophasée

Celui-ci peut-être permanent ou temporaire, c'est-à-dire n'être présent que pour aider au démarrage puis être ensuite mis hors circuit à l'aide d'un dispositif approprié. En effet le démarrage étant réalisé, l'inertie du rotor permet la variation de flux nécessaire à l'entretien du mouvement. [2]

### 1.5.1.1. Condensateur permanent :

Le condensateur est un modèle à film de polypropylène métallisé - auto cicatrisant, ou parfois au papier imprégné d'huile. Sa Valeur de la capacité est en quelques dizaines de micro-farade ( $\mu\text{F}$ ).

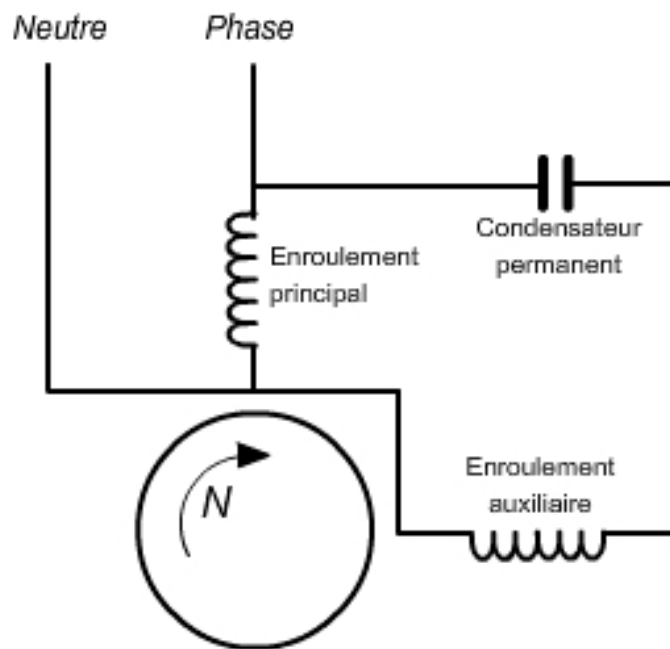


Figure 7 Schéma d'un moteur asynchrone monophasé à condensateur permanent

Ces moteurs ont un faible couple de démarrage :  $C_d/C_n$  compris entre 0,3 - 0,8. C'est le classique des moteurs bas de gamme de grande surface.

On doit donc réserver son utilisation à des usages où l'on peut tolérer un faible couple de démarrage: pompes centrifuges, machines démarrant à vide, etc. Ces solutions sont peu utilisées en puissance moyenne à cause des pertes importantes dans le condensateur.

## Chapitre 1: Généralités sur la machine asynchrone monophasée

### 1.5.1.2. Condensateur temporaire :

Le dispositif de coupure est un relais d'intensité autrement dit relais Klixon où le contact se ferme sous l'action de la surintensité de démarrage et se rouvre dès que le courant est revenu à la valeur nominale une fois le moteur démarré.

D'autres types de dispositifs de coupure peuvent être utilisés :

- Soit un contact centrifuge constitué d'une partie tournante solidaire de l'arbre (en général coté opposé entraînement et juste derrière le ventilateur). Il s'agit d'un système à masselottes s'écartant sous l'effet de la force centrifuge à une certaine vitesse, et d'un contact fixe solidaire du flasque arrière.
- Soit d'un relais de tension placé aux bornes du bobinage de phase auxiliaire.

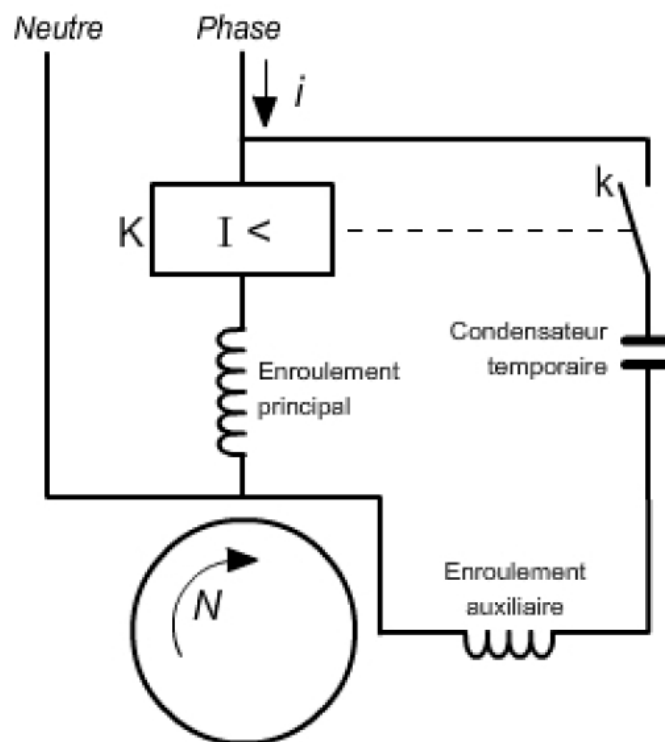


Figure 8 Schéma d'un moteur asynchrone monophasé à condensateur temporaire

## Chapitre 1: Généralités sur la machine asynchrone monophasée

### 1.5.1.3. Condensateur permanent et temporaire:

Il s'agit d'une disposition qui associe les deux solutions précédentes. Elle conduit à une amélioration du rapport  $Cd/Cn$ , du facteur de puissance, et de la Vitesse

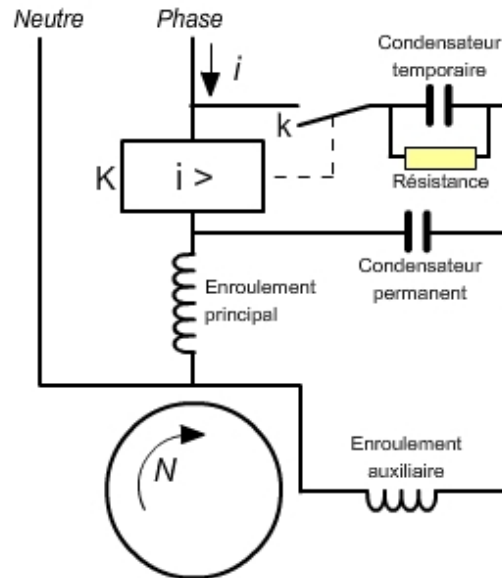


Figure 9 Schéma d'un moteur asynchrone monophasé à condensateur permanent et temporaire

### 1.5.2. Moteur asynchrone monophasé à bague de déphasage :

Le moteur asynchrone monophasé à bague de déphasage est un type de moteur électrique universel très couramment utilisé dans les applications domestiques et industrielles.

Il fonctionne en créant un champ magnétique tournant dans le stator, qui entraîne un flux magnétique à travers les enroulements du rotor, constitué de deux bobines séparées par une bague de déphasage en céramique résistant à la chaleur.

Lorsque le moteur est alimenté en courant alternatif, un courant traverse les bobines du rotor, créant ainsi un champ magnétique qui s'oppose à celui du stator. La bague de déphasage permet de créer un décalage entre les deux bobines du rotor, permettant ainsi au champ magnétique résultant de se déplacer avec un léger décalage par rapport au champ magnétique du stator. Cela permet au rotor de tourner à une vitesse différente de celle du champ magnétique du stator, offrant ainsi une vitesse variable adaptée à diverses applications.

Le moteur asynchrone monophasé à bague de déphasage présente plusieurs avantages, notamment sa simplicité de fabrication et son coût abordable. Cependant, il peut être bruyant et moins efficace que d'autres types de moteurs, et son entretien régulier peut être nécessaire en raison de l'usure de la bague de déphasage.

## Chapitre 1: Généralités sur la machine asynchrone monophasée

### 1.5.3. Moteur asynchrone monophasé à phase auxiliaire inductive :

Le moteur asynchrone monophasé à phase auxiliaire inductive est un type de moteur électrique qui utilise une deuxième bobine, appelée bobine de phase auxiliaire, pour créer un champ magnétique qui permet le démarrage du moteur. Cette bobine est placée dans le stator et est connectée en série avec le bobinage principal, créant ainsi un champ magnétique tournant qui fournit un couple de démarrage au moteur. Une fois que le moteur atteint sa vitesse nominale, la bobine auxiliaire est automatiquement déconnectée.

Ce type de moteur est souvent utilisé dans des applications telles que les ventilateurs, les pompes et les machines à laver. Toutefois, il a une puissance limitée et est moins efficace que les moteurs triphasés.

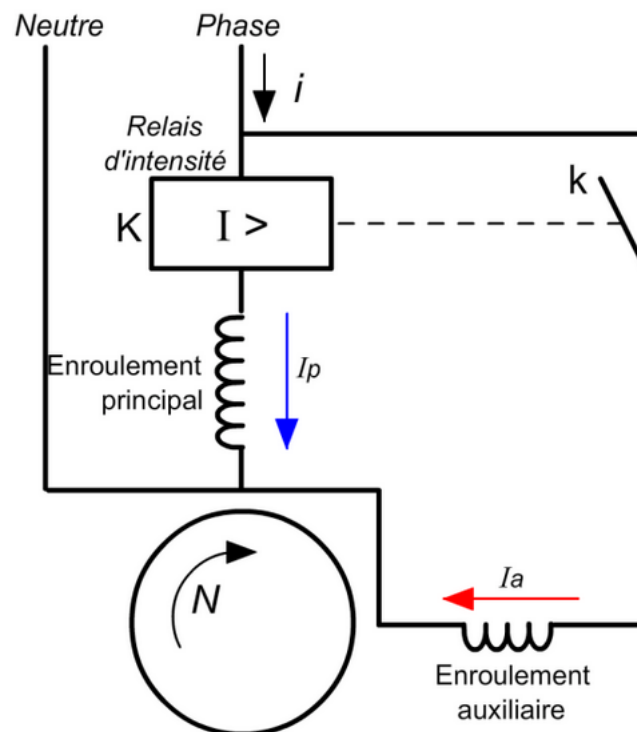


Figure 10 Schéma d'un moteur asynchrone monophasé à phase auxiliaire inductive

## Chapitre 1: Généralités sur la machine asynchrone monophasée

### **1.6. Conclusion :**

La conclusion de ce chapitre sur les "Machines asynchrones monophasées" met en avant l'importance et la diversité des machines asynchrones monophasées dans les domaines domestiques et légers. Les machines asynchrones monophasées sont largement utilisées dans diverses applications, des machines-outils portatives aux appareils électroménagers.

Le chapitre explore en détail la constitution d'un moteur asynchrone monophasé, comprenant le stator et le rotor. Le stator, la partie fixe du moteur, est composé d'enroulements principal et auxiliaire, avec l'enroulement auxiliaire nécessaire pour démarrer le moteur. Le rotor peut être de type cage d'écureuil ou bobiné, chacun ayant ses propres caractéristiques et applications.

Le principe de fonctionnement des machines asynchrones monophasées est basé sur l'interaction entre les champs magnétiques tournants du stator et du rotor, générant un couple électromagnétique. Cependant, pour démarrer efficacement un moteur asynchrone monophasé, un enroulement auxiliaire alimenté par un condensateur est nécessaire pour créer un couple de démarrage. Différents types de moteurs asynchrones monophasés sont présentés, notamment ceux avec condensateur permanent ou temporaire, avec bague de déphasage et avec phase auxiliaire inductive.

En somme, ce chapitre offre un aperçu complet des machines asynchrones monophasées, de leur constitution à leur fonctionnement, en mettant en évidence leur utilisation répandue et les différentes classifications en fonction des caractéristiques des enroulements auxiliaires.

# **Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée**

## Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée

### II. Modélisation de la machine asynchrone monophasée :

#### 2. Les équations maxwells :

##### 2.1. Introduction :

Ces équations sont appelées aussi, équation générales de l'électromagnétisme, elles sont au nombre de quatre, elles permettent de décrire la plupart des phénomènes électromagnétiques. Elles donnent ainsi, un cadre mathématique précis au concept fondamental de champ introduit en physique par Faraday dans les années 1830.

Ces équations montrent notamment qu'en régime stationnaire, les champs électrique et magnétique sont indépendants l'un de l'autre, alors qu'ils ne le sont pas en régime variable. Dans le cas le plus général, il faut donc parler du champ électromagnétique, la dichotomie électrique/magnétique étant une vue de l'esprit. [3]

##### 2.2. Equations Maxwells :

Les phénomènes électromagnétiques sont décrits par les quatre équations aux dérivées partielles de Maxwell. Ces équations s'écrivent généralement sous ces formes suivantes :

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0$$

$\vec{H} \left[ \frac{V}{m} \right]$  et  $\vec{H} \left[ \frac{A}{m} \right]$  : Champs électrique et magnétique.

$\vec{D} \left[ A \cdot \frac{s}{m} \right]$  et  $\vec{B} [T]$  : Induction électrique et magnétique.

$\vec{j} \left[ \frac{A}{m^2} \right]$  et  $\rho \left[ \frac{C}{m^3} \right]$  : Densités de courant de conduction et densités volumique de charge.

## Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée

### 2.2.1. Maxwell-Gauss:

Cette formule de Maxwell-Gauss mentionne que la divergence du champ électrique est proportionnelle à la distribution de charges électriques.

**Forme Différentielle**

→

**Forme intégrale**

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho \quad (\text{II.1})$$

$$\oint_{sp} \vec{D} \cdot \vec{ds} = Q \quad (\text{II.2})$$

Le flux du champ électrique sortant d'une surface fermée est égale à  $\frac{1}{\epsilon}$  fois la charge totale à l'intérieur de cette surface.

### 2.2.2. Maxwell-Ampère :

Cette équation énonce que les champs magnétiques peuvent être générés de deux manières : par les courants électriques (c'est le théorème d'Ampère) et par la variation d'un champ électrique (c'est l'apport de Maxwell sur cette loi).

**Forme Différentielle**

→

**Forme intégrale**

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (\text{II.3})$$

$$\int_s (\vec{j}_c + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \cdot \vec{ds} \quad (\text{II.4})$$

La formule de Maxwell-Ampère stipule que le rotationnel du champ magnétique dépend d'une variation du champ électrique au cours du temps  $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$  et dépend également d'un courant électrique de densité  $\vec{j}$ .

## Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée

### 2.2.3. Maxwell-Faraday :

La formule de Maxwell-Faraday correspond au phénomène d'induction et stipule que le rotationnel du vecteur champ électrique  $\vec{E}$  est inversement proportionnel à la variation du champ magnétique au cours du temps.

**Forme Différentielle**

→

**Forme intégrale**

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{II.5})$$

$$\oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \vec{ds} \quad (\text{II.6})$$

Cette équation signifie que c'est la variation du champ magnétique  $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$  qui produit un champ électrique  $\vec{E}$ , et non le champ magnétique tout seul  $\vec{B}$ .

### 2.2.4. Maxwell Thomson :

Elle énonce qu'il n'existe aucune « charge magnétique » (ou monopôle magnétique) analogue à une charge électrique. Au contraire, le champ magnétique est engendré par une configuration nommée dipôle, qui n'a pas de charge magnétique mais regroupe une charge positive et une charge négative reliées entre elles et inséparables. Cela permet de montrer que le flux magnétique total à travers n'importe quelle surface fermée est nul.

**Forme Différentielle**

→

**Forme intégrale**

$$\text{div } \vec{B} = 0 \quad (\text{II.7})$$

$$\oint_{sp} \vec{B} \cdot \vec{ds} = 0 \quad (\text{II.8})$$

### 2.3. Equation Maxwell Magnétodynamique :

La magnétodynamique c'est l'étude des phénomènes magnétiques et électriques en état dynamique, en ignorant les courants de déplacements  $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$  sous la conjecture de l'électrotechnique. Autrement dit les champs magnétiques sont variables, soit par variation de courants d'excitation, soit par mouvement d'une partie de la géométrie. Il s'agit de déterminer la répartition du champ magnétique et de la densité de courant  $\vec{j}$ , à travers le domaine conducteur à chaque instant après le temps initial, en prenant en compte l'effet des courants

## Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée

induits résultant de l'excitation par un courant variables dans le temps.

Pour les systèmes fonctionnant à basse fréquence, le courant de déplacement est largement insignifiant par rapport au courant de conduction. Par conséquent, dans cette situation, on peut formuler l'équation (II.3) de la manière suivante :

$$\frac{1}{\mu} \overrightarrow{\text{rot}} \vec{B} = \sigma \vec{E} \quad (\text{II.9})$$

On intègre la relation (II.5) par rapport du temps, on obtient :

$$\vec{B} = - \int \overrightarrow{\text{rot}} \vec{E} dt \quad (\text{II.10})$$

Mettant l'équation (II.10) dans le (II.9), il vient :

$$-\frac{1}{\mu} \overrightarrow{\text{rot}} [\int \overrightarrow{\text{rot}} \vec{E} dt] = \sigma \vec{E} \quad (\text{II.11})$$

Compte tenu de la relation (II.7), l'induction magnétique s'écrit comme le rotationnel d'un vecteur appelé potentiel vecteur magnétique A:

$$\vec{B} = \overrightarrow{\text{rot}} \vec{A} \quad (\text{II.12})$$

Remplaçant l'équation (II.10) dans le (II.5), on obtient :

$$\overrightarrow{\text{rot}} \left( \vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0 \quad (\text{II.13})$$

Ceci nous permet de constater que le champ  $\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$  est un champ conservatif ;

## Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée

Il devient :

$$\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = -\overrightarrow{grad} U \quad (\text{II.14})$$

Tel que U est le potentiel électrique scalaire du champ électromagnétique, on obtient :

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad} U - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (\text{II.15})$$

Ensuite, mettant la relation (II.15) dans (II.11), donc:

$$\frac{1}{\mu} \overrightarrow{rot} \left[ \int \overrightarrow{rot} \left( \overrightarrow{grad} U + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) dt \right] + \sigma \left( \overrightarrow{grad} U + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0 \quad (\text{II.16})$$

On constate que le rotationnel d'un gradient est identiquement nulle, c'est-à-dire que :

$$\overrightarrow{rot}(\overrightarrow{grad} U) = 0 \quad (\text{II.17})$$

Finalement, on obtient :

$$\overrightarrow{rot} \left( \frac{1}{\mu} (\overrightarrow{rot} \vec{A}) \right) = -\sigma \left( \overrightarrow{grad} U + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) \quad (\text{II.18})$$

La formule (I.40) est une équation différentielle contient deux inconnues  $\vec{A}$  et U, pour avoir une solution unique.

On doit ajouter à cette équation une autre équation pour former un système de deux équations deux inconnues, dans ce cas l'équation la plus utilisée est celle de la conservation de la densité de courant, Le système obtient est le suivant :

## Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée

Pour introduire cette densité de courant  $\vec{j}$  dans la formulation générale (II.18) et cette grandeur  $\vec{j}$  sera éliminée suivant la région étudiée car  $\vec{j}$  est divergence nulle.

$$\left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{rot} \left( \frac{1}{\mu} (\overrightarrow{rot} \vec{A}) \right) = -\sigma \overrightarrow{grad} U - \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \vec{j} \\ \operatorname{div} \left( \sigma \overrightarrow{grad} U - \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0 \end{array} \right. \quad (\text{II.19})$$

Pour surmonter ce problème, on introduit une condition supplémentaire dite de jauge donnée par:

$$\operatorname{div} \vec{A} = 0 \quad (\text{II.20})$$

Dans le cas des dispositifs alimentent en courant, l'équation magnétodynamique s'écrit: [23]

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = -\overrightarrow{rot} \left( \frac{1}{\mu} (\overrightarrow{rot} \vec{A}) \right) + \vec{j} \\ \operatorname{div} \vec{A} = 0 \end{array} \right. \quad (\text{II.21})$$

### **2.4. Equation Maxwell magnétostatique :**

La magnétostatique se concentre sur l'étude des phénomènes magnétiques lorsqu'ils sont en régime stationnaire. Dans cette situation, le champ magnétique ne varie pas dans le temps et est causé uniquement par des courants stationnaires imposés ou des aimants permanents. Les équations de Maxwell sont utilisées dans ce contexte, où les dérivées temporelles sont négligées. Elles décrivent les dispositifs où le champ électrique est généré par des charges dont la répartition et la conductivité électrique sont nulles, étant donné que le cas est quasi statique.

Il existe deux variantes de ce modèle qui sont appropriées :

## Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée

### **2.4.1. Modèle magnétostatique scalaire :**

Dans ce modèle, lorsque les courants électriques sont absents, les champs ne sont pas dépendants du temps. Cela conduit aux relations suivantes, comme démontré par les équations (II.7) et (II.3) :

$$\begin{cases} \overline{rot} \vec{H} = 0 \\ \text{div} \vec{B} = 0 \end{cases} \quad (\text{II.22})$$

Tel que :

$$\vec{B} = \overline{rot} \vec{A} \quad (\text{II.23})$$

$\vec{H}$  : est dérivé d'un potentiel scalaire, où la nomination du modèle magnétostatique scalaire  $\phi$ .

La formule précédente, devient :

$$\text{div}(\mu \overline{grad} \phi) = 0 \quad (\text{II.24})$$

### **2.4.2. Modèle magnétostatique vectorielle :**

Dans ce modèle, les courants électriques ne sont pas nuls, Alors les deux équations (II.7) et (II.5) deviennent :

$$\begin{cases} \overline{rot} \vec{H} = \vec{j} \\ \text{div} \vec{B} = 0 \end{cases} \quad (\text{II.25})$$

Combinant les deux formulations (II.16) et l'équation de comportement du milieu ( $\vec{B} = \mu \vec{H}$ ), avec (II.25). On obtient :

$$\overline{rot}(v \overline{rot} \vec{A}) = \vec{j} \quad (\text{II.26})$$

Donc, on tirant une équation qui reliant directement le potentiel vecteur à la densité du courant, et puisque le domaine qui nous étudie dans la vide, donc on peut écrire :

$$\overline{rot}(v \overline{rot} \vec{A}) = \overline{grad}(v \text{div} \vec{A}) - v \Delta \vec{A} \quad (\text{II.27})$$

Tel que la jauge de Coulomb est la jauge la plus couramment utilisée.

## Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée

La formulation constituée par les équations (II.26) est adaptée aux problèmes bidimensionnels, alors le jauge de coulomb  $div \vec{A} = 0$  il a disparait alors :

$$\overline{rot}(\overline{vrot} \vec{A}) = -v\Delta \vec{A} \quad (\text{II.28})$$

On introduit un nouvel opérateur :

$$div(\overline{grad} \vec{A}) = \Delta \vec{A} \quad (\text{II.29})$$

On combinant les équations (I.27), (II.28) et (II.24), on obtient :

$$\overline{rot}(\overline{vrot} \vec{A}) = -div(\overline{grad} \vec{A}) = \vec{j} \quad (\text{II.30})$$

Cette formule représente le potentiel vecteur magnétique de type du poisson.

### **2.5. La méthode des éléments finis :**

La méthode des éléments finis (MEF) est une technique numérique utilisée pour résoudre des problèmes d'ingénierie et de physique, en particulier ceux qui impliquent des équations différentielles partielles. Elle permet de trouver des approximations numériques des solutions de ces équations en les discrétisant en éléments plus petits.

Elle est basée sur la transformation des équations aux dérivées partielles en un système d'équations algébriques. Elle est bien utilisée lorsque l'excitation s'effectue à basse ou moyenne fréquence. [4]

En résumé, la méthode des éléments finis est une technique puissante et largement utilisée pour résoudre numériquement des problèmes d'ingénierie et de physique. Elle offre une approche flexible et précise pour obtenir des approximations des solutions de problèmes gouvernés par des équations différentielles partielles.

## Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée

### **2.6. Les étapes de la méthode des éléments finis :**

Les étapes de la méthode des éléments finis pour un moteur asynchrone monophasé peuvent être décrites comme suit :

1. **Modélisation géométrique :** La première étape consiste à créer un modèle géométrique du moteur asynchrone monophasé. Cela comprend la représentation des différentes parties du moteur, telles que le stator, le rotor, les enroulements, etc. Le modèle géométrique doit être précis et refléter les dimensions réelles du moteur.
2. **Discretisation du domaine :** Le domaine du moteur est discrétisé en éléments finis. En fonction de la géométrie et de la complexité du moteur, on peut utiliser des éléments finis 2D (par exemple, des triangles ou des quadrilatères) ou des éléments finis 3D (par exemple, des tétraèdres ou des hexaèdres).
3. **Choix des fonctions d'interpolation :** Des fonctions d'interpolation sont utilisées pour approximer la solution à l'intérieur de chaque élément fini. Pour le moteur asynchrone monophasé, les fonctions d'interpolation peuvent être choisies en fonction des équations électromagnétiques qui régissent le comportement du moteur.
4. **Formulation des équations :** Les équations électromagnétiques qui décrivent le comportement du moteur sont formulées sous forme de problèmes variationnels ou faibles. Cela implique généralement la multiplication des équations par des fonctions tests appropriées et l'intégration sur le domaine du moteur.
5. **Assemblage du système d'équations :** Le système d'équations résultant est obtenu en assemblant les contributions locales des éléments finis. Cela implique la création d'une matrice de rigidité globale et d'un vecteur de force globale, qui représentent les coefficients et les termes sources du système d'équations.
6. **Conditions aux limites :** Les conditions aux limites spécifiques au moteur asynchrone monophasé doivent être appliquées. Cela peut inclure des conditions de Dirichlet pour les valeurs imposées (par exemple, la tension d'alimentation), des conditions de Neumann pour les flux imposés (par exemple, les pertes dans le noyau magnétique), etc. Les conditions aux limites sont incorporées dans le système d'équations.
7. **Résolution du système d'équations :** Le système d'équations résultant est résolu numériquement pour obtenir les valeurs des inconnues, qui peuvent inclure les distributions de champ magnétique, les courants, les pertes, etc. Cela peut être réalisé en utilisant des techniques de résolution adaptées, telles que des méthodes itératives ou des techniques de décomposition de domaine.
8. **Analyse des résultats :** Une fois que les valeurs des inconnues sont obtenues, on peut analyser les résultats pour évaluer les performances du moteur asynchrone monophasé. Cela peut inclure la détermination des forces électromagnétiques, des pertes, du couple, de l'efficacité, etc. [5]

## Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée

### 2.7. Discrétisation et approximation :

L'idée fondamentale de la méthode des éléments finis est de subdivision de la région à étudier en petite sous région appelées élément fini constituant le maillage. Les fonctions inconnues sont approximées sur chaque élément fini par simple fonction appelée fonction de forme qui continue et définit chaque élément seul.

La forme des éléments est directement liée à la dimension du problème (2D ou 3D). pour une géométrie en (2D), on utilise généralement des triangles ou des quadrilatères, pour une géométrie en (3D), on utilise les tétraèdres, les prismes ou les hexaèdres.

La discrétisation est une étape important dans l'analyse éléments finis car la précision des résultats dépend de la méthode de discrétisation et de la finesse de cette subdivision en sous-domaines.

La fonction inconnue est approchée dans chaque élément par une fonction d'interpolation nodale, faisant intervenir les valeurs de l'inconnue aux nœuds de ces éléments ainsi que les coordonnées géométrique de ces nœuds. [6]

L'inconnue A est décrite dans chaque élément e par une combinaison linéaire des valeurs  $A_i^e$  aux nœuds :

$$A_i^e = \sum_{i=0}^3 \alpha_i^e A_i^e \quad (\text{II.31})$$

Avec sont des fonctions de pondération devant vérifier :

$$\alpha_i^e(x_j, y_j) \begin{cases} 1 & \text{Si } i = j \\ 0 & \text{Si } i \neq j \end{cases} \quad (\text{II.32})$$

Dans le cas du calcul du champ dans les structures électromagnétiques, les éléments de formes triangulaires sont les plus utilisés. Cette subdivision exclusivement triangulaire du premier ordre à l'avantage de s'adapter à tout configuration géométrique et permet le traitement des expressions simples.

Dans le cas de l'élément triangulaire représenté sur la figure suivante, les fonctions de pondération sont :

## Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée

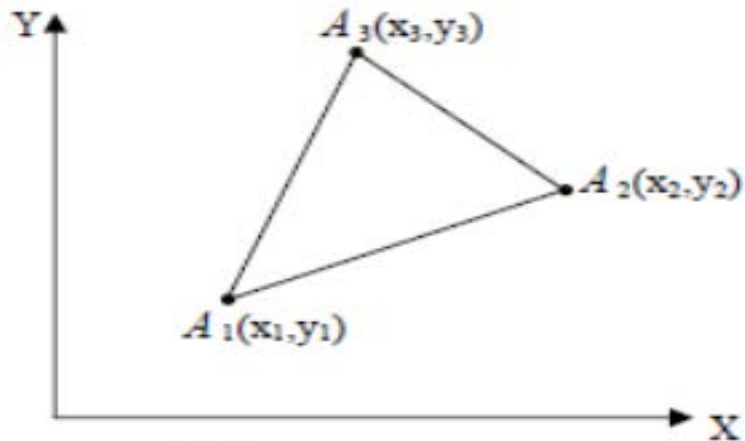


Figure 11 Exemple l'élément triangulaire

$$\alpha_1 = \frac{1}{2 \cdot \Delta} [(x_2 \cdot y_3 - x_3 \cdot y_2) + (y_2 - y_3) \cdot x + (x_3 - x_2) \cdot y]$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2 \cdot \Delta} [(x_3 \cdot y_1 - x_1 \cdot y_3) + (y_3 - y_1) \cdot x + (x_1 - x_3) \cdot y]$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{2 \cdot \Delta} [(x_1 \cdot y_2 - x_2 \cdot y_1) + (y_1 - y_2) \cdot x + (x_2 - x_1) \cdot y]$$

Ou :  $\Delta$  est l'air de l'élément.

$$2 \cdot \Delta = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix} = (x_1 \cdot y_2 - x_2 \cdot y_1) + (x_3 \cdot y_1 - x_1 \cdot y_3) + (x_2 \cdot y_3 - x_3 \cdot y_2)$$

$$\Delta = \frac{1}{2} (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1) \quad (\text{II.33})$$

## Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée

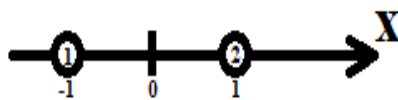
### 2.8. Éléments finis réels :

Les "éléments finis réels" dans le contexte de la modélisation d'un moteur asynchrone monophasé font référence à l'application concrète de la méthode des éléments finis pour analyser, simuler et prédire le comportement électromagnétique, thermique et mécanique d'un moteur asynchrone monophasé dans des conditions de fonctionnement réelles. Cette approche implique la division de la géométrie du moteur en éléments géométriques discrets, tels que des triangles ou des quadrilatères pour les éléments bidimensionnels, ou des tétraèdres, des prismes ou des hexaèdres pour les éléments tridimensionnels. Chaque élément fini est associé à des équations mathématiques qui décrivent les propriétés électromagnétiques, thermiques et mécaniques du moteur.

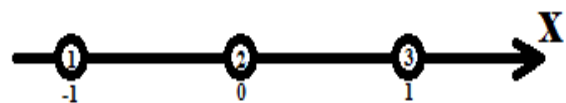
Les solutions sont ensuite approximées sur ces éléments pour obtenir des résultats numériques précis et adaptés aux conditions réelles de fonctionnement du moteur.

Les éléments linéaires, quadratiques ou cubiques sont des concepts largement répandus. Dans ce qui suit, nous vous présentons quelques exemples concrets de tels éléments : [7]

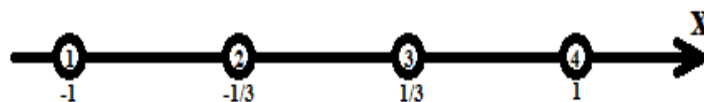
- **Éléments à une dimension :**



Linéaire (2 nœuds)



Quadratique (3 nœuds)



Cubique (4 nœuds)

Figure 12 éléments à une dimension linéaire

## Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée

- **Éléments à deux dimensions :**

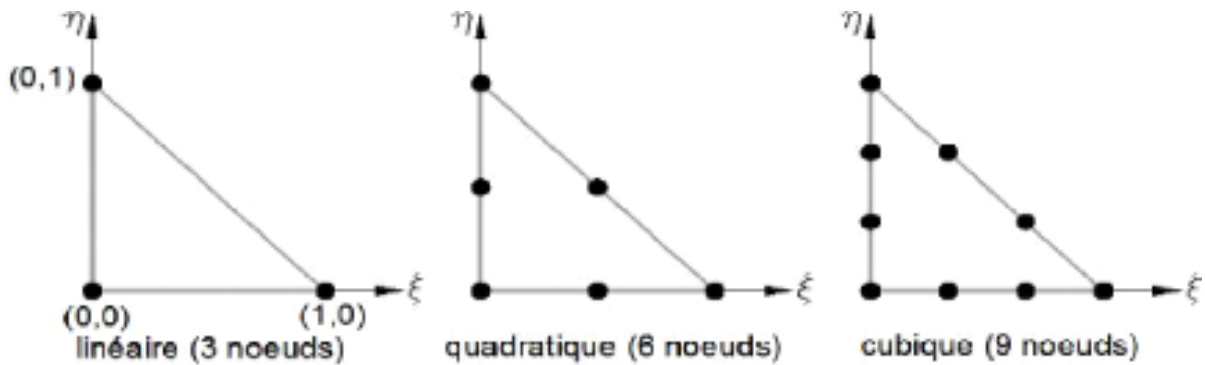


Figure 13 éléments triangulaires à deux dimensions

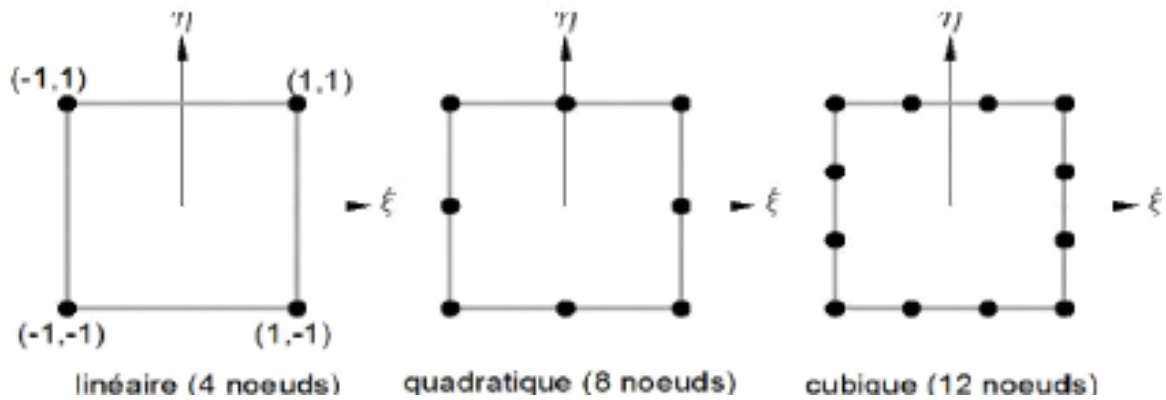


Figure 14 éléments carrés à deux dimensions

- **Éléments à trois dimensions :**

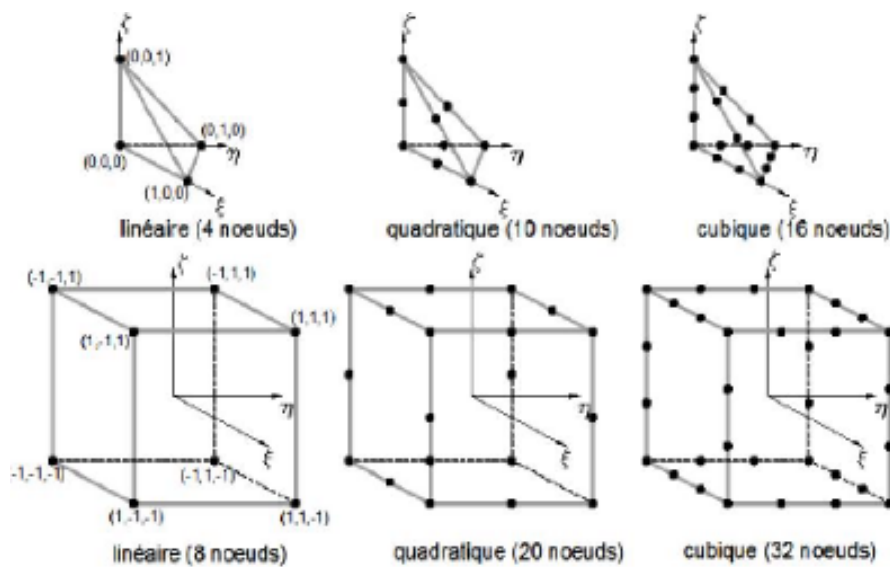


Figure 15 Éléments à trois dimensions

## Chapitre 2 : Modélisation de la machine asynchrone monophasée

### **2.9. Conclusion :**

En conclusion de ce chapitre consacré à la modélisation de la machine asynchrone monophasée, nous avons exploré les équations de Maxwell et leur application dans le domaine de l'électromagnétisme. Ces équations fournissent un cadre mathématique puissant pour décrire les phénomènes électromagnétiques et ont permis de développer des modèles théoriques pour comprendre le comportement des champs électrique et magnétique dans différentes situations.

Les équations de Maxwell, telles que Gauss, Ampère, Faraday et Thomson, ont été présentées en détail, montrant comment elles expriment les relations fondamentales entre les champs électrique et magnétique, les charges et les courants électriques. Ces équations ont servi de base pour dériver les lois qui régissent les phénomènes électromagnétiques, notamment dans les machines électriques telles que la machine asynchrone monophasée.

Nous avons également abordé la méthode des éléments finis, une approche numérique puissante pour résoudre les équations différentielles partielles qui décrivent le comportement de la machine. Cette méthode permet de subdiviser le domaine en éléments géométriques discrets, où les équations sont approximées pour obtenir des solutions numériques précises. Nous avons exploré les différentes étapes de cette méthode, de la modélisation géométrique à l'analyse des résultats obtenus.

En intégrant les équations de Maxwell et la méthode des éléments finis, nous sommes en mesure de développer des modèles précis et réalistes pour prédire le comportement électromagnétique, thermique et mécanique d'une machine asynchrone monophasée dans des conditions réelles de fonctionnement. Ces modèles constituent un outil essentiel pour l'analyse, la conception et l'optimisation des machines électriques modernes, contribuant ainsi aux avancées de l'électrotechnique et de l'ingénierie électrique.

**Chapitre 3:**  
**Dimensionnement de la**  
**machine asynchrone**  
**monophasé.**

### **III. Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé :**

#### **3.1 Introduction :**

Lors de la conception d'une machine électrique, divers paramètres doivent être pris en compte en relation avec sa fabrication, son efficacité économique et sa facilité d'utilisation. Ces considérations englobent des aspects électriques, magnétiques et géométriques. Dans le cadre de ce projet particulier, certains paramètres liés au stator et au rotor de la machine ont une incidence sur son calcul.

Ces paramètres jouent un rôle essentiel dans la détermination des performances et des caractéristiques globales de la machine. Dans ce chapitre nous allons vous présenter ces paramètres spécifiques, mettant en évidence leur influence significative sur le processus de conception et les performances opérationnelles visées.

#### **3.2. Cahier des charges du moteur asynchrone monophasé à cage :**

- **Rappel sur le moteur asynchrone monophasé a cage :**

*Le moteur asynchrone monophasé à cage d'écureuil est un type courant de moteur électrique adapté aux applications domestiques et légères. Il fonctionne sur le principe de l'induction électromagnétique, avec un rotor constitué de barres en forme de cage. Lorsqu'une tension monophasée est appliquée au stator, un champ magnétique rotatif est créé, ce qui induit un courant dans le rotor et provoque sa rotation. Les moteurs monophasés nécessitent souvent un dispositif de démarrage pour s'amorcer. Ils sont largement utilisés dans des applications telles que les ventilateurs, les pompes et les outils électriques en raison de leur simplicité de conception et de leur coût abordable, mais ils sont moins adaptés aux charges lourdes que les moteurs triphasés.*

L'objet de notre étude est une machine monophasée asynchrone à cage et d'une puissance nominale de 0.37 kW.

Le cahier des charges de la machine est présenté dans le tableau suivant:

### Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Puissance nominal	$P_n$	0.37	KW
Hauteur d'axe	$H_{axe}$	7.3	mm
Coefficient de forme	$K_f$	0.97	-
Nombre d'encoches statorique	$Z_s$	24	-
Tension nominal	$U_n$	220	V
Nombre de pole	$2p$	4	-
Nombre d phase	$m$	1	-
Fréquence	$f$	50	Hz
Fréquence de puissance	$\cos\varphi_M$	0.97	-
Vitesse de rotation	$n_s$	1410	trs/min
Diamètre extérieur de stator	$D_{ext}$	110	mm
Hauteur de la fente	$h_{fs}$	0.8	mm
Diamètre inférieur d'encoches statorique	$D_{encs1}$	3.72	mm
Diamètre supérieur d'encoches statorique	$D_{encs2}$	6.14	mm
Degré de protection	-	IP55	-
Classe d'isolation	-	F	-
Nombre de voies en parallèle	$a$	1	-

**Tableau 1 Cahier de charge de la machine à étudier**

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

### 3.3. Données sur les dimensions du noyau statorique et rotorique :

#### 3.3.1. Tôle Statorique :

La tôle statorique d'un moteur asynchrone monophasé est une fine feuille magnétique en acier utilisée pour former les parties fixes du stator. Elle réduit les pertes d'énergie et facilite le flux magnétique pour améliorer l'efficacité du moteur. (Voir la figure 14)

Désignation	Symbole	Valeur
Diamètre extérieure de Stator	$D_{ext}$	110 mm
Diamètre intérieur de Stator	$D_{int}$	65.4 mm
Longueur de stator	$D_1$	119.53 mm
Nombre d'encoche	Z1	24 encoches
Ouverture de l'encoche	Bs0	2.55 mm
--	b'en1/bs1	3.72 mm
--	ben1/bs2	6.14 mm
Rayon de l'encoche statorique	r1	3.07 mm
Angle entre les deux parois verticales de l'encoche	$\theta$	15°

Tableau 2 Dimensionnement de la tôle statorique

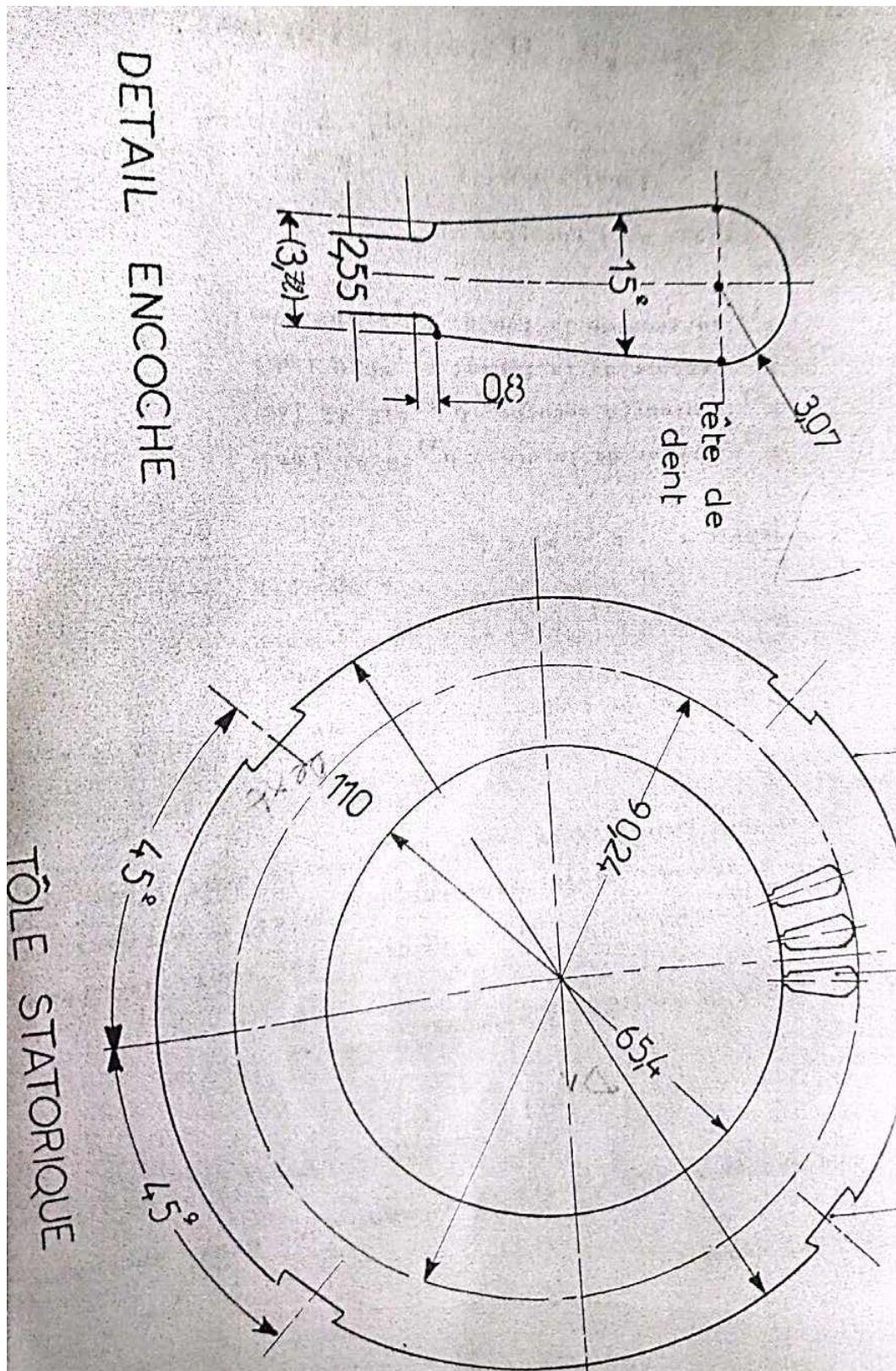


Figure 16 Dessin et dimensionnement de la tole statorique

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

### 3.3.2. Tôle rotorique :

La tôle rotorique d'un moteur asynchrone monophasé est une fine feuille magnétique en acier qui constitue la partie tournante du rotor. Elle contribue à canaliser le flux magnétique et à améliorer l'efficacité de la conversion énergétique du moteur. (Voir la figure 15)

Désignation	Symbole	Valeur
Diamètre extérieur de rotor	$D_{ext}$	65 mm
Diamètre intérieur de rotor	$D_{int}$	44.73 mm
Longueur virtuelle	$l_i$	55 mm
Nombre d'encoche	$Z_2$	18 encoches
Ouverture de l'encoche	$B_{f2}$	1 mm
--	$d'2$	3.98 mm
--	$d2$	1.6 mm
Rayon de l'encoche rotorique	$r2$	0.8 mm
Diamètre de l'arbre	$D_{arb}$	19.5 mm

Tableau 3 Dimensionnement de la tole rotorique

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

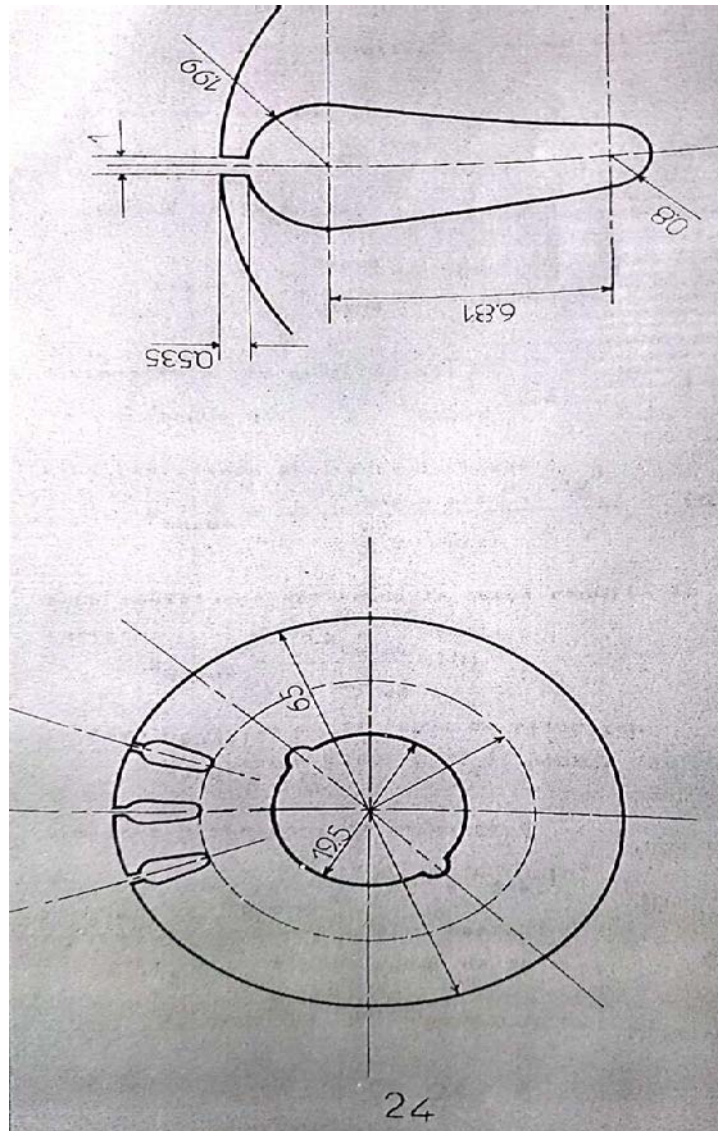


Figure 17 Dessin et dimensionnement de la tole rotorique

### 3.4. Dimensionnement du noyau statorique :

#### 3.4.1. Pas dentaire statorique :

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D_{1int}}{Z_1} \quad (III.1)$$

A N:

$$t_1 = \frac{3.14 \cdot 65.4}{24}$$
$$t_1 = 8.5565 \text{ mm}$$

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

### 3.4.2. Hauteur de la dent :

Elle est aussi la hauteur de l'encoche  $h_{en1}$  plus celle de la fente  $h_{fn}$  :

$$h_{z1} = 0.5(D_{r1} - D1_{int}) \quad (III.2)$$

AN:

$$h_{z1} = 0.5(90.24 - 65.4)$$

$$h_{z1} = 12.42 \text{ mm}$$

### 3.4.3. Largeur de la dent:

$$b_{z1} = \frac{D1_{int} + 2h_{f1}}{Z_1} = \frac{\pi(D1_{int} + 2(h_{z1} - r1))}{Z_1} \quad (III.3)$$

AN:

$$b_{z1} = \frac{3.14(65.4 + 2(12.42 - 3.07))}{24}$$

$$b_{z1} = 11 \text{ mm}$$

Avec  $h_{f1} = 0.8 \text{ mm}$  ; hauteur de la fente statorique.

### 3.4.4. Hauteur de la culasse :

$$h_{c1} = \frac{D_{ext} - D_{r1}}{2} \quad (III.4)$$

AN :

$$h_{c1} = \frac{110 - 90.24}{2}$$

$$h_{c1} = 9.88 \text{ mm}$$

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

### 3.4.5. Pas polaire :

$$\tau_p = \frac{\pi \cdot D_{1int}}{2p} \quad (III.5)$$

AN :

$$\tau_p = \frac{3.14 \cdot 65.4}{4}$$

$$\tau_p = 51.339 \text{ mm}$$

### 3.4.6. Surface de l'encoche statorique: (voire figure 16).

$$S_{en1} = \frac{b'_{en1} + b_{en1}}{2} \times \frac{h_1 + \pi \cdot r_1^2}{2} \quad (III.6)$$

On a :

$$h_1 = h_{z1} - r_1 - h_{f1} \quad (III.7)$$

AN :

$$h_1 = 12.42 - 3.07 - 0.8$$

$$h_1 = 8.55 \text{ mm}$$

On remplace  $h_1$  dans  $S_{en1}$  :

AN :

$$S_{en1} = \frac{3.72 + 6.14}{2} \times \frac{8.55 + 3.14 \cdot 3.07^2}{2}$$

$$S_{en1} = 94.02 \text{ mm}$$

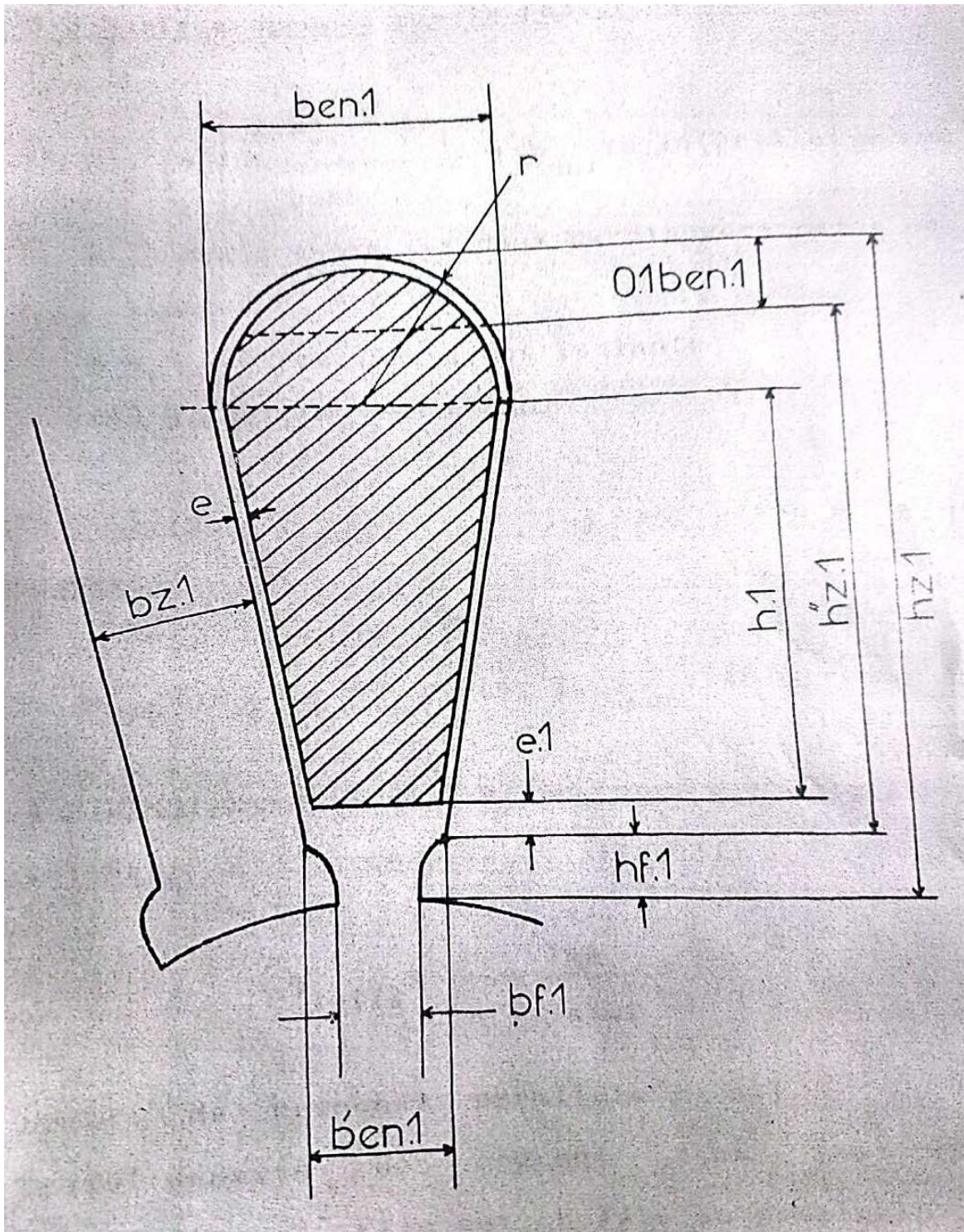


Figure 18 Dessin de conducteur et d'isolant dans l'encoche statorique

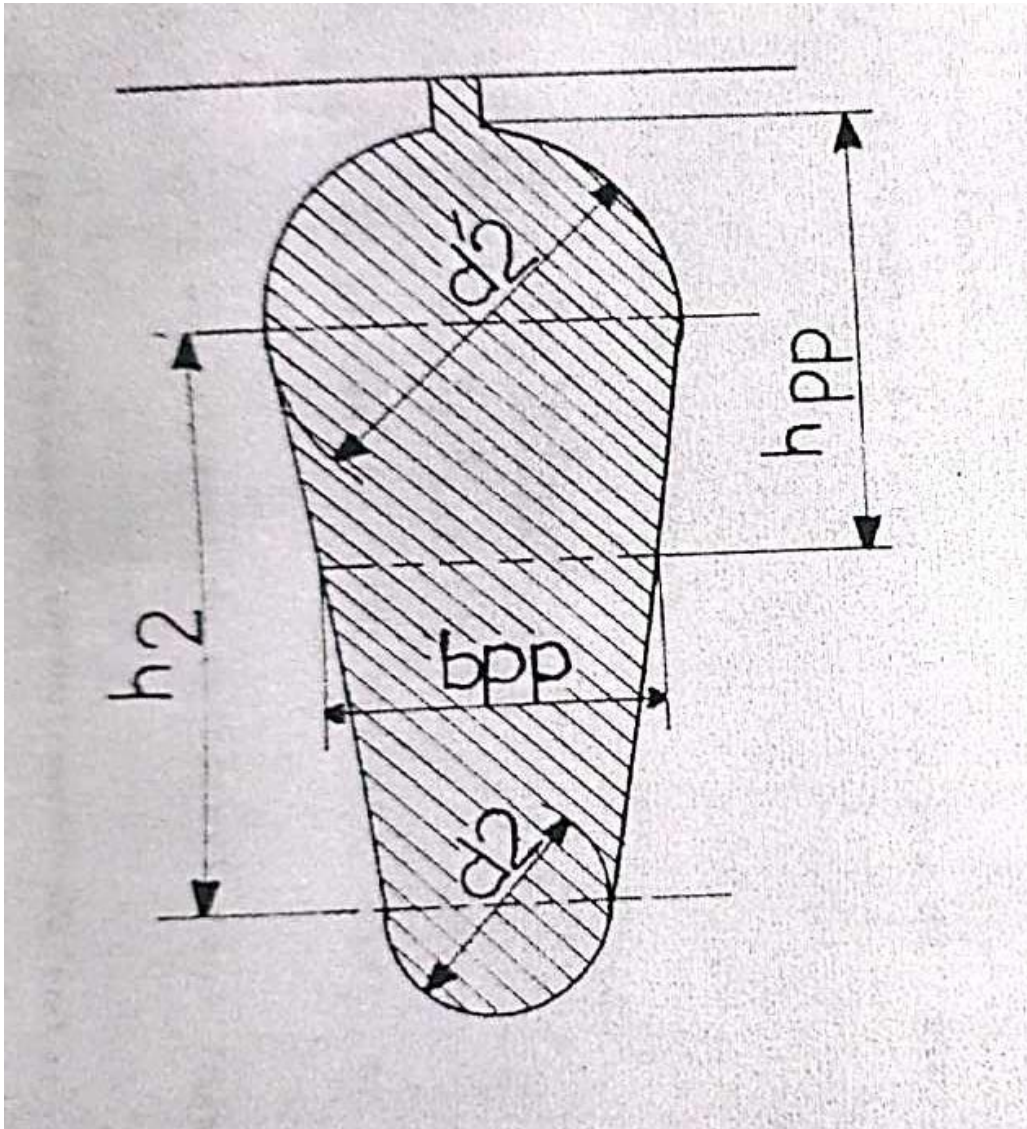


Figure 19 Dessin de la barre de la cage

**3.4.7. Surface occupée par le papier isolant dans l'encoche :**

**3.4.7.1. Surface occupée par la cale de fermeture:**

$$S_{cal} = 1_{cal} \cdot e_1 \quad (III.8)$$

AN:

$$S_{cal} = 10.5 \cdot 0.5$$

$$S_{cal} = 5.25 \text{ mm}^2$$

$S_{cal} = 1_{cal} \cdot e_{cal}$  ; est la largeur et l'épaisseur de la cale. (Voir figure 18)

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

### 3.4.7.2. Surface du caniveau d'encoche :

$$S_{\text{cal}} = \left( 2 \cdot \frac{h_1}{\cos\left(\frac{15^\circ}{2}\right)} \right) \cdot e + \left[ \pi \cdot 2 \cdot \frac{r_1 - e}{2} \right] \cdot e \quad (\text{III.9})$$

AN :

$$S_{\text{cal}} = \left( 2 \cdot \frac{8.55}{\cos\left(\frac{15^\circ}{2}\right)} \right) \cdot 0.2 + \left[ \pi \cdot 2 \cdot \frac{3.07 - 0.2}{2} \right] \cdot 0.2$$

$$S_{\text{cal}} = 3.44 + 1.80$$

$$S_{\text{cal}} = 5.25 \text{ mm}^2$$

Avec :

$e_{\text{can}}$  ; épaisseur du papier isolant

$e_{\text{can}} = 0.2 \text{ mm}$

$e_{\text{cal}} = 0.5 \text{ mm}$

$\theta = 15^\circ$  ; Angle entre les deux parois verticales de l'encoche

$$S_{\text{iso}} = S_{\text{cal}} + S_{\text{can}} \quad (\text{III.10})$$

AN :

$$S_{\text{iso}} = 5.25 + 5.25$$

$$S_{\text{iso}} = 10.5 \text{ mm}^2$$

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

### 3.4.7.3. Surface occupée par les conducteurs dans l'encoche :

$$S_{\text{cond}} = S_{\text{en1}} - S_{\text{iso}} \quad (\text{III.11})$$

AN :

$$S_{\text{cond}} = 94.02 - 10.5$$

$$S_{\text{cond}} = 83.52 \text{ mm}^2$$

### 3.5. Dimensionnement du noyau du rotorique :

#### 3.5.1. Entrefer :

Pour une hauteur d'axe  $h=7.3 \text{ mm}$ , on a :  $\sigma = 0,25 \text{ mm}$ .

D'où le diamètre extérieur du rotor est :

$$D_2 = D_{1\text{int}} - 2\sigma \quad (\text{III.12})$$

AN :

$$D_2 = 65.4 - 2.0,25$$

$$D_2 = 65 \text{ mm}$$

#### 3.5.2. Pas dentaire rotorique :

$$t_2 = \frac{(\pi \cdot D_2)}{Z_2} \quad (\text{III.13})$$

AN :

$$t_2 = \frac{(3,14 \cdot 65)}{18}$$

$$t_2 = 11.33 \text{ mm}$$

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

### 3.5.3. Hauteur de la dent :

$$h_{z2} = 0.5(D_2 - D'_2) \quad (\text{III.14})$$

AN :

$$h_{z2} = 0.5(65 - 44.73)$$

$$h_{z2} = 10.135 \text{ mm}$$

### 3.5.4. Largeur de la dent rotorique:

$$b_{z2} = \frac{\pi(D_2 + 2h_{f2}) - d'_2(Z_2 + \pi)}{Z_2} = \frac{\pi(D_2 - 2h_{z2}) - d_2(Z_2 - \pi)}{Z_2} \quad (\text{III.15})$$

AN :

$$b_{z2} = \frac{3,14(65 + 2 \cdot 0,535) - 3,98(18 + 3,14)}{18} = \frac{3,14(65 - 2 \cdot 10,135) - 1,6(18 - 3,14)}{18}$$

$$b_{z2} = 6.8512 \text{ mm}$$

Avec  $h_{f2}$  : hauteur de la fente rotorique.

$$h_{f2} = h_{z2} - \frac{d'_2}{2} + h_2 + \frac{d_2}{2} \quad (\text{III.16})$$

AN :

$$h_{f2} = (10.135 - 1.99 - 6.81 - 0,8)$$

$$h_{f2} = 0,535 \text{ mm}$$

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

### 3.5.5. Hauteur de la culasse rotorique :

$$h_{c2} = 0.5(D'_2 - D_{arb}) \quad (\text{III.17})$$

AN :

$$h_{c2} = 0.5(44.73 - 19.5)$$

$$h_{c2} = 12.615 \text{ mm}$$

Surface de l'encoche rotorique :

$$S_{en2} = q_{barre} = 0,125 \pi (d'_2 + d_2^2) + 0,5(d'_2 + d_2) h_2 \quad (\text{III.18})$$

$q_{barre}$  = Section de la barre

$$h_2 = h_{z2} - h_{f2} - 0,5(d'_2 + d_2) \quad (\text{III.19})$$

AN :

$$h_2 = 10.135 - 0.535 - 0.5(3.98 + 1.8)$$

$$h_2 = 6.81 \text{ mm}$$

AN :

On remplace  $h_2$  dans  $q_{barre}$  :

$$S_{en2} = q_{barre} = 0.125 \cdot 3,14 (3.98^2 + 1.8^2) + 0.5(3.98 + 1.6) 12.15$$

$$S_{en2} = q_{barre} = 41.38 \text{ mm}^2$$

### 3.5.6. Hauteur de la barre:

$$h_{bar} = h_{en2} = 10.135 \text{ mm}$$

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

### **3.5.7. Glissement:**

$$S = \frac{n - n_s}{n} \quad (\text{III.20})$$

AN:

$$S = \frac{1500 - 1410}{1500} = 0.06$$

$$S = \mathbf{6\%}$$

### **3.6. Dimensionnement de l'enroulement statorique:**

#### **3.6.1. La puissance électromagnétique : $P_e$ (kva)**

$$P_e = E_{1n} \cdot I_{1n} = K_e \cdot U_{1n} \cdot I_{1n} = K_e \cdot S_n \quad (\text{III.21})$$

$S_n$  : (Puissance apparente).

$$S_n = U_{1n} \cdot I_{1n} = \frac{P_n}{\eta \cdot \cos \phi_m} \quad (\text{III.22})$$

On remplace  $S_n$  dans  $P_e$  :

$$P_e = K_e \cdot \frac{P_n}{\eta \cdot \cos \phi_m} \quad (\text{III.23})$$

AN :

$$P_e = 0,97 \cdot \frac{0.37}{0.75 \cdot 0.97}$$

$$P_e = \mathbf{0.49} \text{ kva}$$

#### **3.6.2. Force électromotrice :**

$$E_1 = K_e \cdot U_n \quad (\text{III.24})$$

AN :

$$E_1 = 0.97 \cdot 220$$

$$E_1 = \mathbf{213.4} \text{ v}$$

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

### 3.6.3. Courant nominal :

$$I_{1n} = \frac{P_n \cdot 10^3}{U_{1n} \cdot \eta \cdot \cos \varnothing_m} \quad (\text{III.25})$$

AN :

$$I_{1n} = \frac{370}{220 \cdot 0,75 \cdot 0,97}$$

$$I_{1n} = \mathbf{2,31} \text{ A}$$

### 3.6.4. Courant dans la phase principale :

$$I_{1np} = \frac{P_n \cdot 10^3}{U_{1n} \cdot \eta \cdot \cos \varnothing_p} \quad (\text{III.26})$$

$$\cos \varnothing_m = \sin 2 \varnothing_p \leftrightarrow \varnothing_m + \frac{\pi}{2} = 2 \varnothing_p \leftrightarrow \varnothing_p = (\varnothing_m + \frac{\pi}{2})/2$$

$$\varnothing_p = \frac{\arccos \varnothing_m + \frac{\pi}{2}}{2} \quad (\text{III.27})$$

AN :

$$\varnothing_p = \frac{14,1 + 90}{2}$$

$$\varnothing_p = 52,05^\circ$$

$$\cos \varnothing_p = 0,61$$

AN : (on remplace  $\cos \varnothing_p$  dans  $I_{1np}$ ) :

$$I_{1np} = \frac{370}{2 \cdot 220 \cdot 0,75 \cdot 0,61}$$

$$I_{1np} = \mathbf{1,83} \text{ A}$$

### 3.6.5. Courant nominal dans P.A :

$$I_{1na} = \sqrt{I_{1n}^2 - I_{1np}^2} \quad (\text{III.28})$$

A.N :

$$I_{1na} = \sqrt{2,31^2 - 1,83^2}$$

$$I_{1na} = \mathbf{1,40} \text{ A}$$

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

### **3.7. Paramètre de l'enroulement statorique :**

L'enroulement utilisé est du type concentrique à une seule couche.

#### **3.7.1. Nombre d'encoches par pôle et par phase :**

$$q_1 = \frac{Z_1}{2p \cdot m_1} \quad (\text{III.29})$$

A.N :

$$q_1 = \frac{24}{4 \cdot 2} = 3$$

#### **3.7.2. Nombre d'encoches par pôle de la phase principale :**

$$q_{1p} = \frac{Z_{1p}}{2p \cdot m_{1p}} \quad (\text{III.30})$$

$Z_{1p}$ ; C'est le nombre d'encoches occupées par la phase principale.

#### **3.7.3. Nombre d'encoches par pôle de la phase auxiliaire :**

$$q_{1a} = \frac{Z_{1a}}{2p \cdot m_{1a}} \quad (\text{III.31})$$

$Z_{1a}$  ; c'est le nombre d'encoche statorique occupé par la phase auxiliaire.

$$m_{1a} = m_{1p} = 1$$

Il ya une seule phase principale et une seule auxiliaire.

#### **3.7.4. Pas d'enroulement (arc embrasse par la section) :**

$$Y_1 = \frac{Z_1}{2p} \pm \varepsilon \quad (\text{III.32})$$

#### **3.7.5. Pas d'enroulement de la phase principale :**

$$Y_{1p} = \frac{Z_1}{2p} \quad (\text{III.33})$$

A.N :

$$Y_{1p} = \frac{24}{4} - \frac{4}{2} = 4$$

$Y_{1p} = 4$  encoches

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

### 3.7.6. Pas d'enroulement de la phase auxiliaire :

A.N :

$$Y_{1a} = \frac{24}{4} - \frac{4}{2} = 4$$

$Y_{1a} = 4$  encoches

### 3.7.7. Arc polaire :

$$T = \frac{Z_1}{2p} \quad (\text{III.34})$$

A.N :

$$T = \frac{24}{4} = 6$$

$T = 6$  encoches

### 3.7.8. Angle électrique entre deux encoches voisines :

$$Y = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z_1} \quad (\text{III.35})$$

$$Y = \frac{2 \cdot 360^\circ}{24} = 30^\circ$$

Zone de phase :

$$\alpha = Z_{ph1} = q_1 \cdot Y$$

#### 3.7.8.1. De la phase principale :

$$\alpha_{1p} = q_{1p} \cdot Y \quad (\text{III.36})$$

#### 3.7.8.2. De la phase auxiliaire :

$$\alpha_{1a} = q_{1a} \cdot Y \quad (\text{III.37})$$

### 3.7.9. Vérification de $q_1$ :

$$q_1 = \frac{q_{1p} + q_{1a}}{2p} \quad (\text{III.38})$$

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

### **3.8. Calcul des densités de courant :**

#### **3.8.1. Phase principale :**

$$\Delta_{1p} = \frac{I_{1np}}{q_{1np} \text{Nor} \cdot a_1} \quad (\text{III.39})$$

#### **3.8.2. Phase auxiliaire :**

$$\Delta_{1a} = \frac{I_{1na}}{q_{1na} \text{Nor} \cdot a_1} \quad (\text{III.40})$$

#### **3.8.3. Le flux principal sous un pôle :**

$$\Phi = \alpha_i \cdot \tau_p \cdot I_i \cdot B_G \cdot 10^{-6} \quad (\text{III.41})$$

### **3.9. Résultat de dimensionnement de la machine :**

Désignation	Symbole	Résultat	Unité
Dimensionnement du noyau du stator			
Pas dentaire statorique	$t_1$	8.5565	mm
Hauteur de la dent	$h_{z1}$	12.42	mm
Largeur de la dent	$b_z$	11	mm
Hauteur de la culasse	$h_{c1}$	9.88	mm
Pas polaire	$\tau_p$	51.33	mm
Surface de l'encoche statorique	$S_{en1}$	94.02	mm

### Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

Surface du caniveau d'encoche	$S_{cal}$	5.25	$mm^2$
<b>Dimensionnement de l'enroulement statorique</b>			
La puissance électromagnétique	$P_e$	0.49	kVa
Force électromotrice	$E_1$	213,4	V
Courant nominal	$I_{1n}$	2.31	A
Courant nominal dans P.P	$I_{1np}$	1.83	A
Courant nominal dans P.A	$I_{1na}$	1.40	A
<b>Paramètre de l'enroulement statorique</b>			
Nombre d'encoches par pole et par phase	$q_{1p}$	3	Encoche
Pas d'enroulement de la phase principale	$Y_{1p}$	4	Encoche
Pas d'enroulement de la phase auxiliaire	$Y_{1A}$	4	Encoche
Arc polaire	T	6	Encoche

### Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

Désignation	Symbole	Résultat	Unité
<b>Dimensionnement du noyau du rotor</b>			
Entrefer	$\delta$	0,25	mm
Pas dentaire statorique	$t_2$	11.33	mm
Hauteur de la dent	$h_{z2}$	10.13	mm
Hauteur de la fente rotorique	$h_{f2}$	0,535	mm
Largeur de la dent	$b_{z2}$	6.8512	mm
Hauteur de la culasse rotorique	$h_{c2}$	12.615	mm
Glissement	$S$	0,06	--
Surface de l'encoche rotorique	$S_{en2}$	41.38	$mm^2$
Hauteur de la barre	$h_{bar}$	10.135	mm

**Tableau 4 Les dimensionnement de la machine asynchrone monophasé**

## Chapitre 3 : Dimensionnement de la machine asynchrone monophasé

### **3.10. Conclusion :**

En conclusion de ce chapitre sur le dimensionnement de la machine asynchrone monophasée, il est évident que la conception d'une telle machine nécessite une prise en compte minutieuse de divers paramètres électriques, magnétiques et géométriques. Les performances et les caractéristiques opérationnelles de la machine dépendent largement de ces paramètres, tels que le pas dentaire, la hauteur de la dent, la largeur de la dent, la hauteur de la culasse, le pas polaire, la surface des encoches, les courants nominaux, les densités de courant, et bien d'autres.

L'étude a mis en évidence l'importance des spécifications de la machine, notamment les caractéristiques de la tôle statorique et rotorique, les dimensions des encoches, les paramètres de l'enroulement statorique, et le flux magnétique sous un pôle. Les résultats obtenus reflètent la rigueur de l'analyse effectuée pour assurer un dimensionnement optimal et une performance efficace de la machine asynchrone monophasée.

Dans le chapitre suivant nous allons introduire ces paramètres dans le logiciel Maxwell afin d'obtenir les résultats de la simulation.

**Chapitre 4: Conception et  
résultat de la simulation de  
Moteur asynchrone  
monophasé avec le logiciel  
Maxwell**

## Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell

### IV. Conception et résultat de la simulation de Moteur asynchrone monophasé avec le logiciel Maxwell:

#### 4.2.Introduction :

Le logiciel Maxwell, développé par ANSYS, Inc., est une application renommée dans le domaine de l'ingénierie électrique, utilisée pour la simulation électromagnétique. Il couvre une vaste gamme d'applications, dont la conception de moteurs électriques, en particulier les moteurs asynchrones monophasés.

Dans ce chapitre, nous explorons la création personnalisée de notre modèle de moteur asynchrone monophasé à l'aide de RMXprt, et nous détaillons les étapes de sa conception, notamment la configuration du stator, du rotor, et d'autres caractéristiques clés du moteur. Ensuite, nous utilisons RMXprt pour analyser les performances, telles que le courant de démarrage, le rendement, la puissance de sortie, et le couple en fonction de la vitesse.

De plus, nous explorons l'utilisation du modèle Maxwell 2D généré par RMXprt pour une analyse plus approfondie en régime dynamique. Ce chapitre offre une vue d'ensemble complète du processus de conception et d'analyse des moteurs asynchrones monophasés grâce aux puissants outils offerts par Maxwell.

#### 4.3.Présentation de logiciel :

ANSYS Maxwell est le logiciel de simulation de champs électromagnétiques de pointe Pour la conception et l'analyse de moteurs électriques, d'actionneurs, de capteurs, de Transformateurs et d'autres dispositifs électromagnétiques et électromécaniques. Avec Maxwell, vous pouvez caractériser avec précision le mouvement non linéaire et transitoire de Composants électromécaniques et leurs effets sur le circuit de commande et la conception du Système de contrôle. [8]

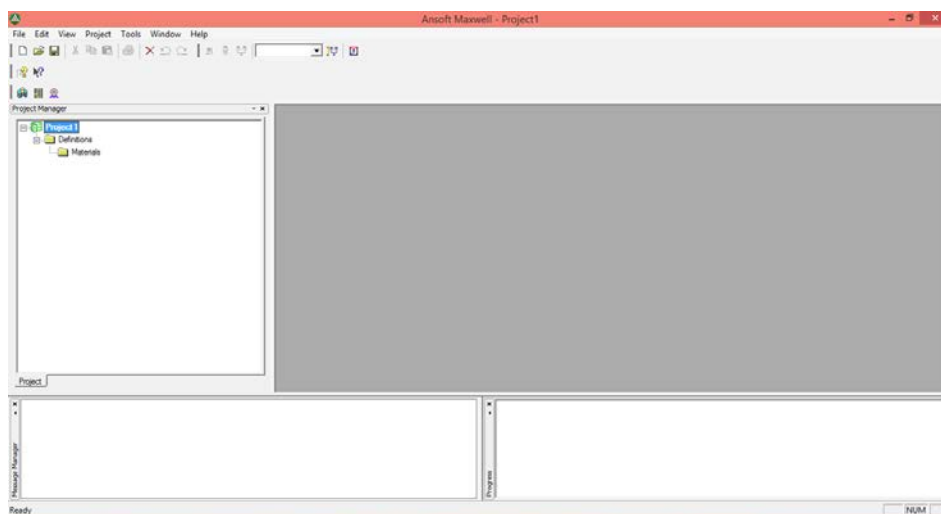


Figure 20 Interface de logiciel Ansys-Maxwell

## Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell

### 4.4. Les étapes de la conception du modèle du moteur asynchrone monophasé avec RMxpprt:

RMxpprt est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) spécialisé dans la conception de moteurs électriques, en particulier les moteurs asynchrones monophasés. Il fait partie de la suite logicielle Maxwell de la société Ansys, qui est largement utilisée dans l'industrie électrique pour la simulation électromagnétique et la conception de systèmes électromagnétiques.

RMxpprt, qui signifie "Rotating Machinery eXpert," est spécialement conçu pour aider les ingénieurs à concevoir et à analyser rapidement et efficacement des moteurs électriques asynchrones monophasés. Ce logiciel offre des fonctionnalités avancées pour la modélisation électromagnétique, l'analyse des performances, et la prédiction du comportement des moteurs. Il permet aux concepteurs de tester différentes configurations, de calculer les performances attendues, de simuler le comportement sous différentes charges et conditions de fonctionnement, et de prendre des décisions éclairées pour optimiser la conception de leur moteur.

Dans notre situation, nous privilégions la création d'un modèle personnalisé dans RMxpprt plutôt que d'utiliser un exemple préexistant de la bibliothèque, afin d'acquérir une maîtrise approfondie du logiciel et de pouvoir configurer tous les paramètres de notre moteur de manière optimale.

Afin de concevoir notre moteur asynchrone monophasé en utilisant MAXWELL, nous devons procéder conformément aux étapes ci-dessous :

1. On ouvre notre logiciel en cliquant sur son icône :



Figure 21 Icône du logiciel

## Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell

2. On clique sur « Insert RMXprt Design » :

Une fenêtre permettant de sélectionner le type de machine apparaît, où nous optons pour "Moteur à induction monophasé". Cette sélection génère un modèle intitulé "Conception RMXprt du Moteur à Induction Monophasé".

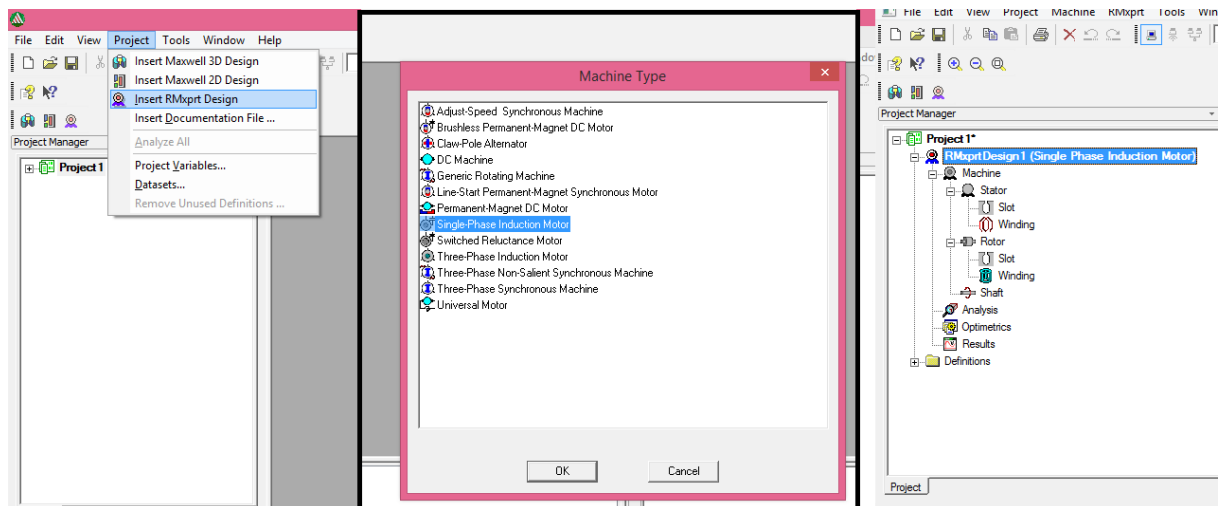


Figure 22 Les étapes de création d'un modèle RMXprt du Moteur à Induction Monophasé

3. On insère les différents paramètres géométriques du notre moteur (Machine, Stator, Rotor et l'arbre) :

- Machine : (nombre de pôles, vitesse de référence, pertes mécaniques et pertes joules, etc.).
- Stator : (diamètre extérieur et intérieur, nombre d'encoches et leur type, matériau avec lequel il est construit).
- Rotor : (diamètre extérieur et intérieur, nombre d'encoches et leur type, longueur et type de matériau avec lequel il est construit).
- Arbre : On choisit uniquement le matériau avec lequel il est construit

Dans notre travail on à créer un nouveau modèle du moteur asynchrone monophasé dans RMXprt et non un exemple prédéfini de la bibliothèque, d'où on a exploré notre cahier des charges « Tableau 5 » et ses paramètres trouvés pour enfin les insérer dans notre logiciel afin de concevoir un modèle adéquat avec des résultats similaires à ceux du moteur monophasé à cage d'écureuil .

## Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell

### 4.5. Différents paramètres du moteur sous RMxprt :

- Paramètres généraux du MAS monophasé à cage :

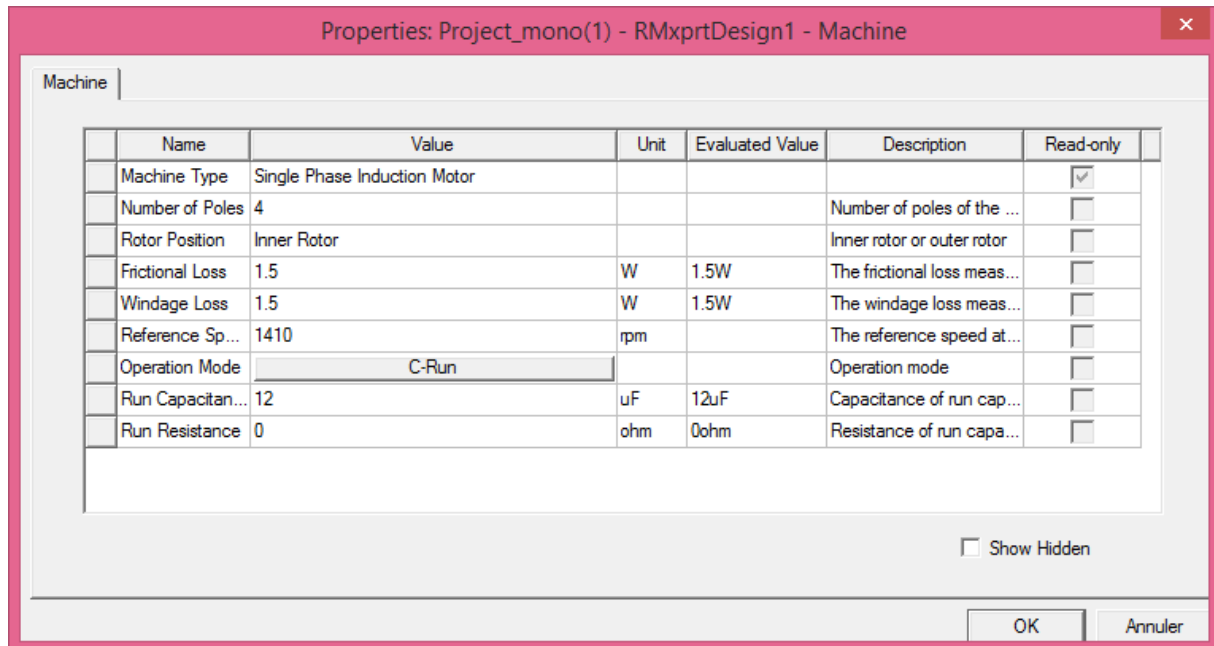


Figure 23 Paramètres généraux du MAS monophasé à cage

- Paramètres généraux du Stator :

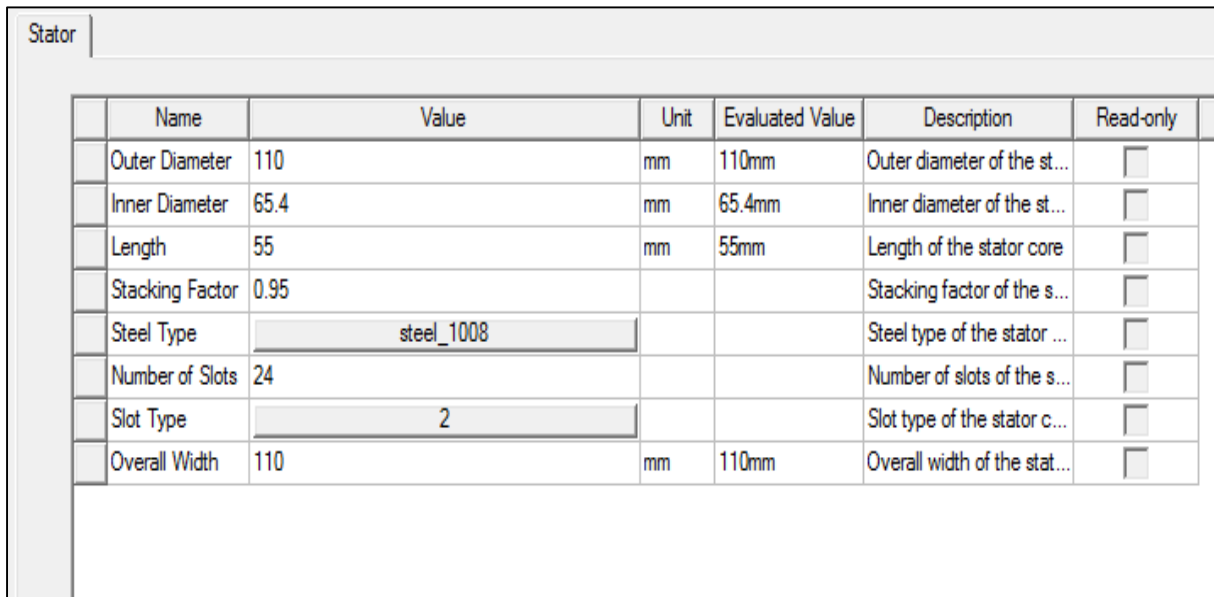


Figure 24 Paramètres généraux du Stator

## Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell

- Paramètres généraux d'encoche statorique :

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Auto Design	<input type="checkbox"/>			Auto design Hs2, Bs1 a...	<input type="checkbox"/>
Parallel Tooth	<input type="checkbox"/>			Design Bs1 and Bs2 ba...	<input type="checkbox"/>
Hs0	0.8	mm	0.8mm	Slot dimension: Hs0	<input type="checkbox"/>
Hs1	0.4	mm	0.4mm	Slot dimension: Hs1	<input type="checkbox"/>
Hs2	8.55	mm	8.55mm	Slot dimension: Hs2	<input type="checkbox"/>
Bs0	2.55	mm	2.55mm	Slot dimension: Bs0	<input type="checkbox"/>
Bs1	3.72	mm	3.72mm	Slot dimension: Bs1	<input type="checkbox"/>
Bs2	6.14	mm	6.14mm	Slot dimension: Bs2	<input type="checkbox"/>

Figure 25 Paramètres généraux d'encoche statorique

La figure ci-dessous représente le type d'encoche du stator :

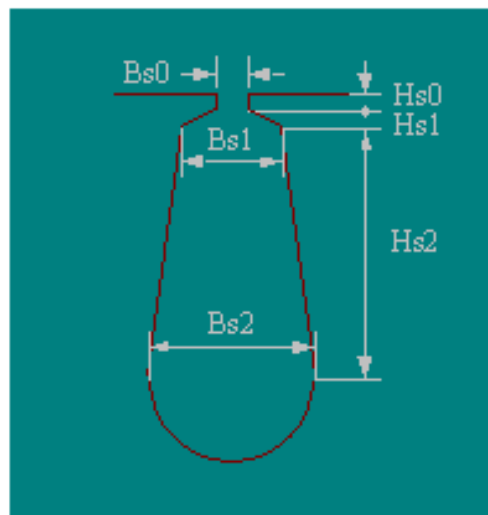


Figure 26 Type d'encoche du stator

## Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell

- Paramètres généraux du rotor :

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Stacking Factor	0.95			Stacking factor of the r...	<input type="checkbox"/>
Number of Slots	18			Number of slots of the r...	<input type="checkbox"/>
Slot Type	1			Slot type of the rotor core	<input type="checkbox"/>
Outer Diameter	65	mm	65mm	Outer diameter of the ro...	<input type="checkbox"/>
Inner Diameter	19.5	mm	19.5mm	Inner diameter of the ro...	<input type="checkbox"/>
Length	55	mm	55mm	Length of the rotor core	<input type="checkbox"/>
Steel Type	steel_1008			Steel type of the rotor c...	<input type="checkbox"/>
Skew Width	0		0	Skew width measured i...	<input type="checkbox"/>
Cast Rotor	<input checked="" type="checkbox"/>			Rotor squirrel-cage win...	<input type="checkbox"/>

Figure 27 Paramètres généraux du rotor

- Paramètres généraux d'encoches rotorique :

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Hs0	0.535	mm	0.535mm	Slot dimension: Hs0	<input type="checkbox"/>
Hs01	0	mm	0mm	Slot dimension: Hs01	<input type="checkbox"/>
Hs2	6.81	mm	6.81mm	Slot dimension: Hs2	<input type="checkbox"/>
Bs0	1	mm	1mm	Slot dimension: Bs0	<input type="checkbox"/>
Bs1	3.98	mm	3.98mm	Slot dimension: Bs1	<input type="checkbox"/>
Bs2	1.6	mm	1.6mm	Slot dimension: Bs2	<input type="checkbox"/>

Figure 28 Paramètres généraux d'encoches rotorique

## Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell

La figure ci-dessous représente le type d'encoches rotoriques :

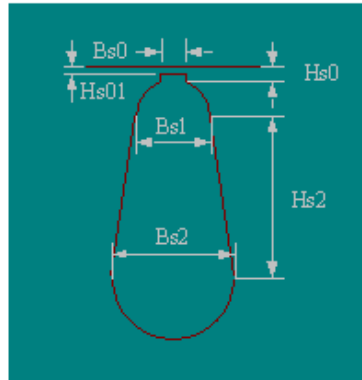


Figure 29 Type d'encoche du rotor

- Structure de la machine :

La figure 29 ci-dessous représente la structure du stator et du rotor (le stator qui contient 24 encoches et le rotor qui contient 18 encoches avec des diamètres extérieurs et intérieurs précis et ce grâce aux résultats obtenus.

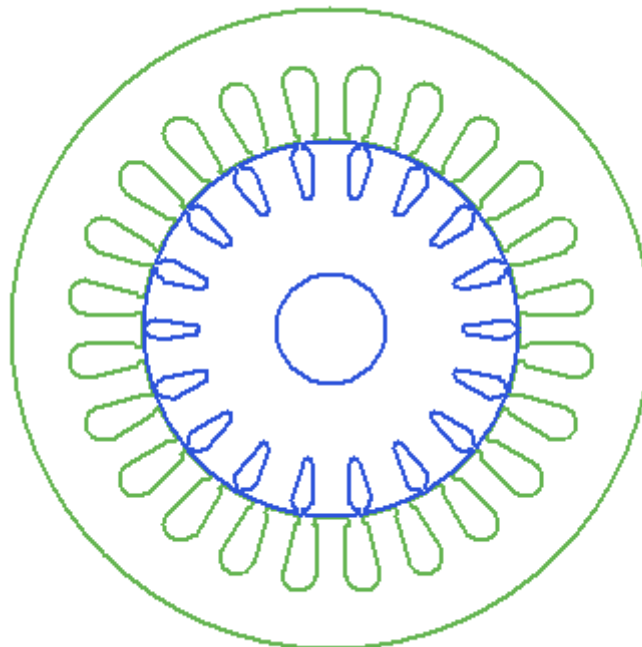


Figure 30 Géométrie de la machine

## Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell

### 4.6.Résultats d'analyse avec RMXprt :

La figure (30) montre la géométrie de l'enroulement statorique qui a 24 encoches avec quatre pole  $2p=4$  sous le logiciel ANSYS MAXWELL

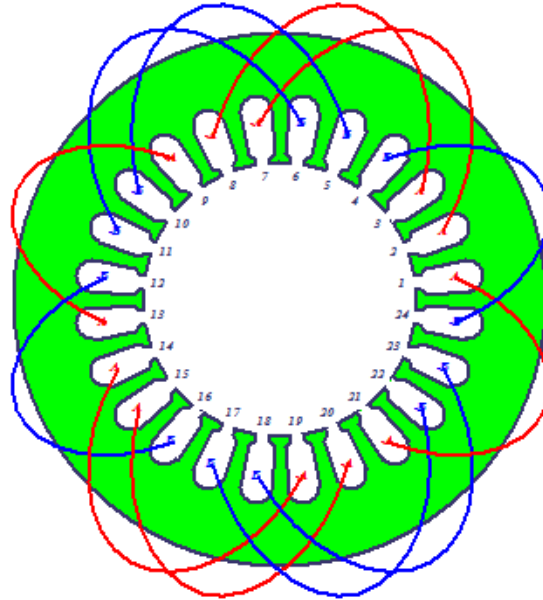


Figure 31 Distributions du bobinage

### 4.6.1. Les courbes :

#### 4.6.1.1.La courbe de la première aimantation :

La courbe B-H représente la caractéristique magnétique fondamentale d'un matériau, la courbe de première aimantation est générée à partir des données expérimentales acquises, comme illustré dans la figure ci-dessous :

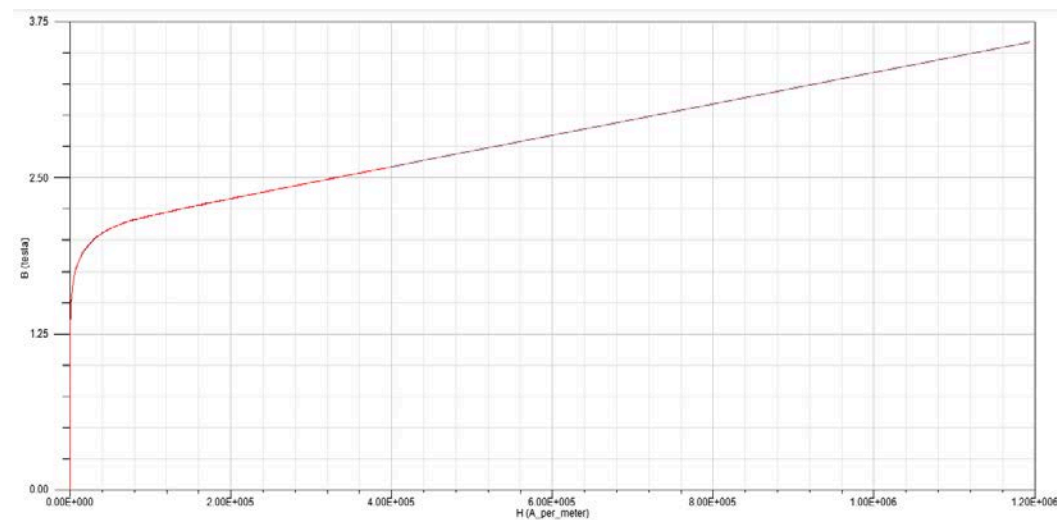


Figure 32 La courbe de première aimantation B-H

## Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell

Les figures (33), (34), (35) et (36) représentent les performances du moteur sous forme des courbes

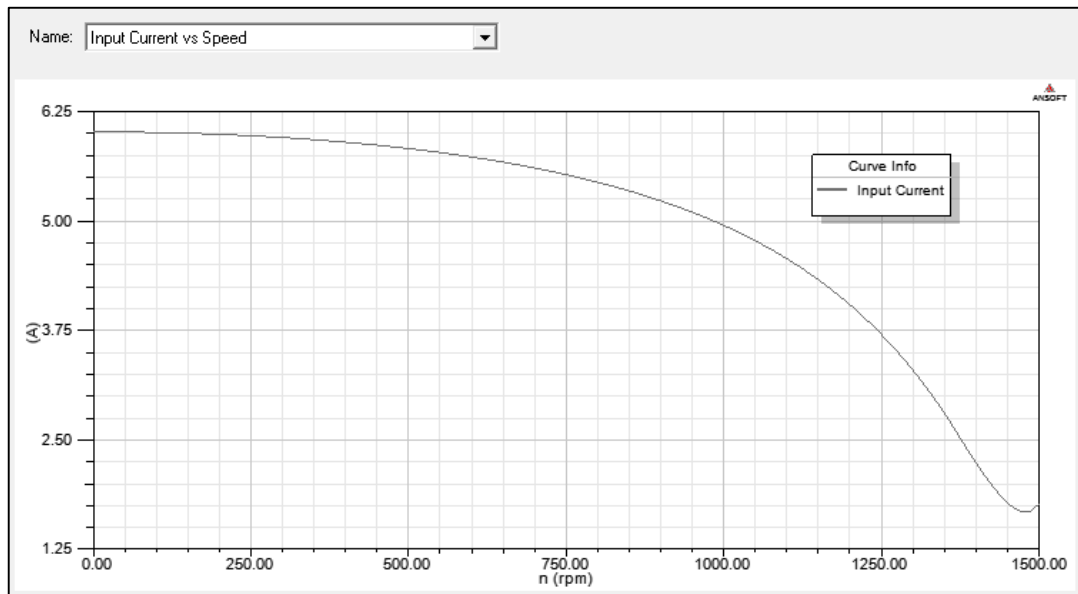


Figure 33 Courbe courant d'entrée en fonction de la vitesse

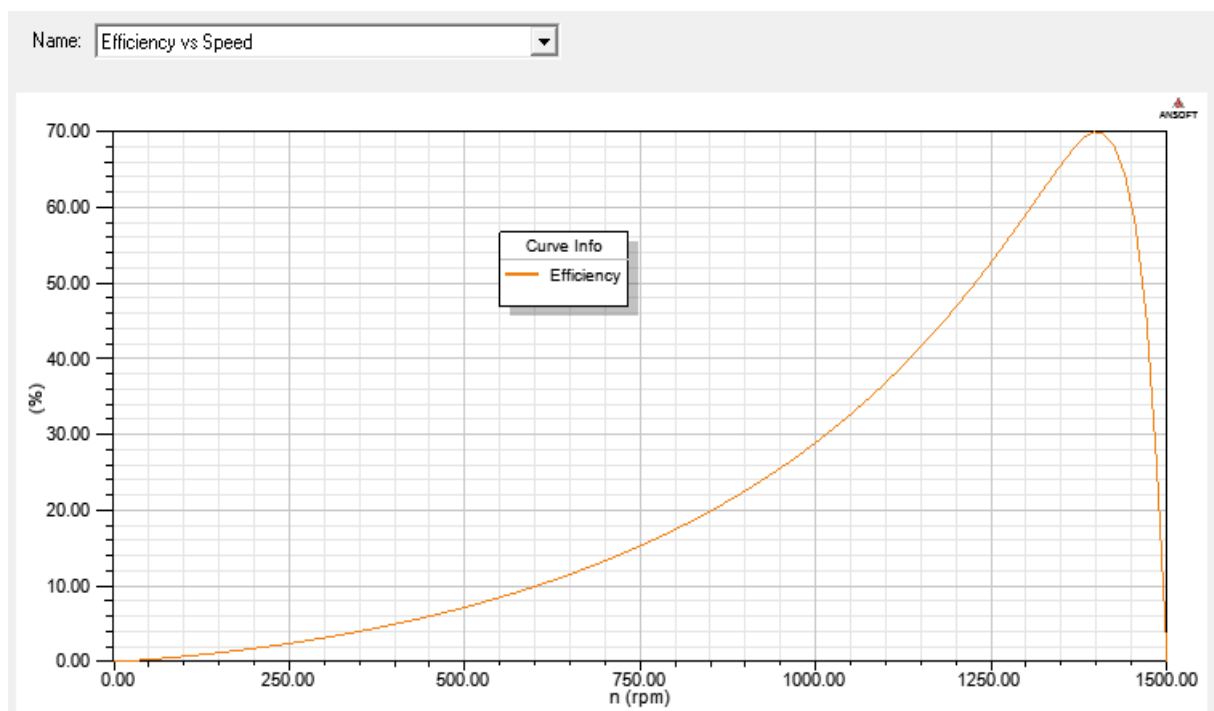


Figure 34 Courbe de rendement en fonction de la vitesse

## Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell

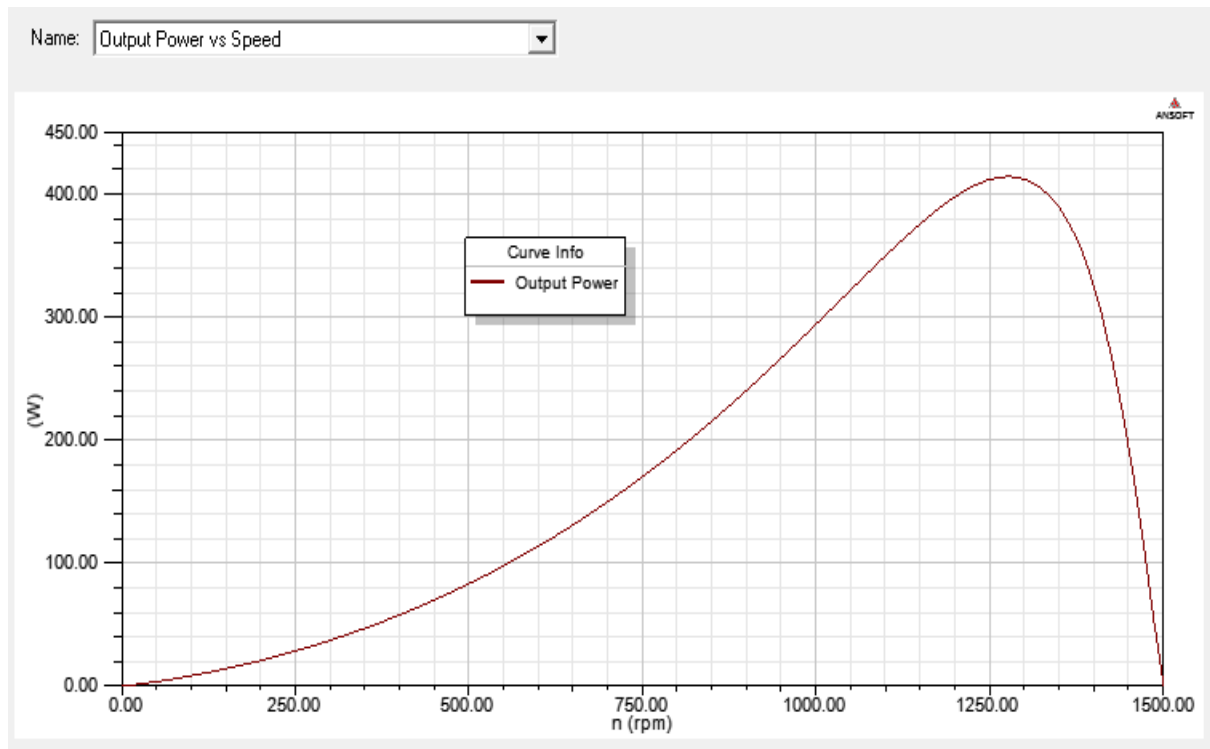


Figure 35 Courbe de puissance de sortie en fonction de la vitesse

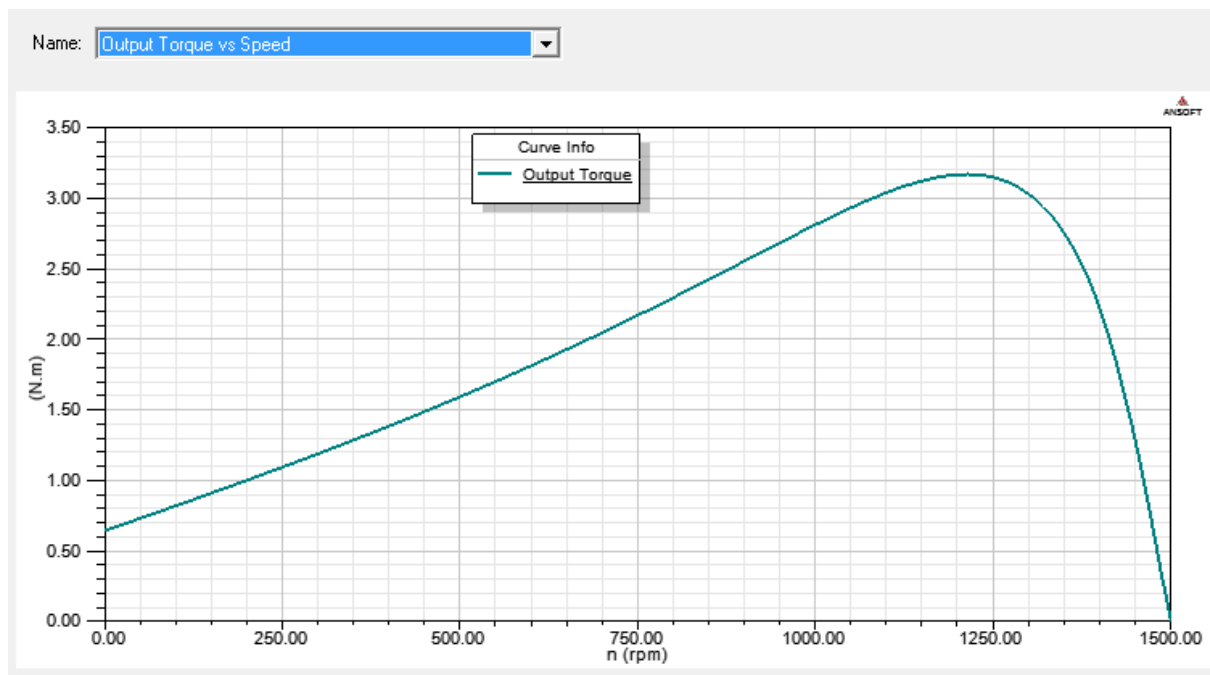


Figure 36 Courbe couple de sortie en fonction de la vitesse

## **Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell**

### **4.6.2. Interprétation des Résultats d'analyse par RMxpirt :**

a) Couple électromagnétique en fonction de la vitesse de rotation : (figure36)

À vitesse nulle, nous observons l'existence d'un couple, appelé couple de démarrage. À mesure que la vitesse augmente, ce couple augmente également jusqu'à atteindre un point maximum, après il diminue progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne zéro à la vitesse synchrone. À ce moment-là, le glissement est nul, ce qui signifie que le rotor ne perçoit aucun changement de flux et qu'il n'y a plus de courants induits, ce qui se traduit par l'absence de couple. Le couple passe par un point particulier est souvent appelé "point de fonctionnement nominal", car il correspond à l'intersection entre la vitesse nominale et le couple utile.

b) Courant de ligne en fonction de la vitesse de rotation : (figure 33)

On observe que le courant de démarrage excède le courant nominal en raison de la présence du couple de démarrage. Ensuite, à mesure que la vitesse augmente, le courant diminue proportionnellement.

c) Rendement en fonction de la puissance utile : (figure 34)

On constate que le rendement du moteur asynchrone à cage est augmenté en fonction de la vitesse, jusqu'au point maximal  $\eta=70$ , après il diminue.

d) Puissance utile en fonction de la vitesse : (figure 35)

On constate que si on fait une projection directe de la puissance  $P=418$  W sur l'axe des vitesses, on peut lire directement qu'elle se rapproche de la vitesse  $N=1410$  tr/min après simulation avec RMxpirt, Donc c'est une validation des résultats.

### **4.7. Conception et analyse des performances du moteur avec Maxwell 2D :**

Pendant la première phase de notre travail, nous avons employé le modèle RMxpirt pour évaluer les performances du moteur asynchrone. Cependant, cette analyse demeure incomplète, car elle n'a pas pris en compte des aspects essentiels des performances. C'est pourquoi nous avons recours à un modèle Maxwell 2D généré par RMxpirt, pour examiner et évaluer de manière approfondie les performances de notre moteur en utilisant la méthode des éléments finis en régime dynamique.

## Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell

### 4.7.1. Résultats de la simulation 2D :

#### 4.7.1.1. Les courbes :

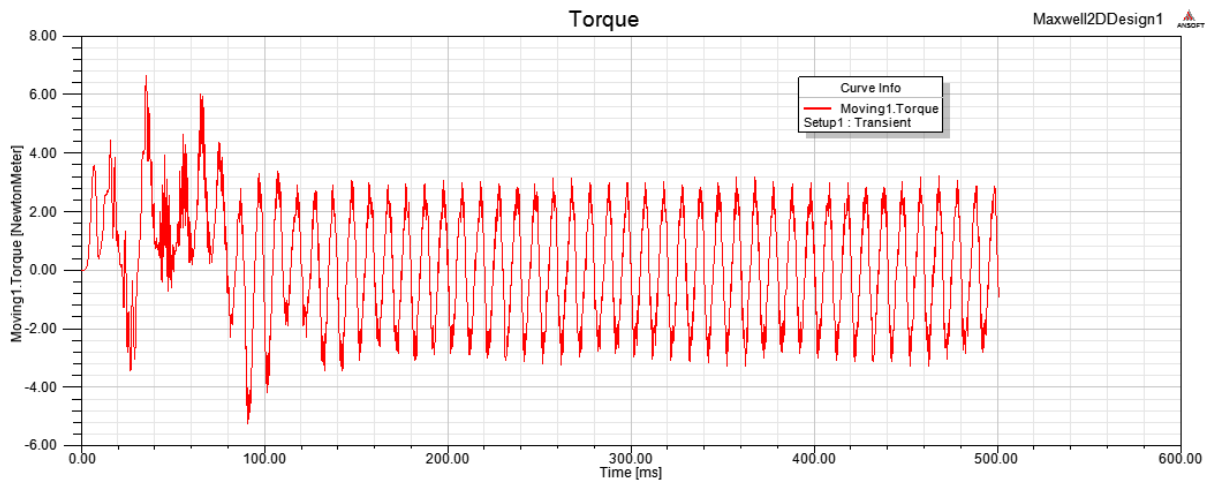


Figure 37 Courbe couple de sortie en fonction de temps

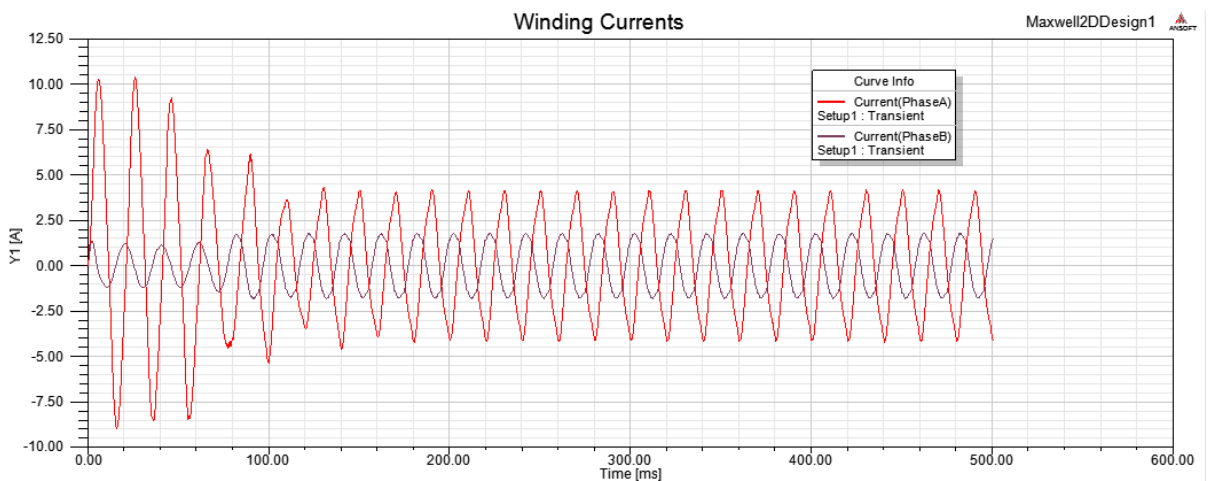


Figure 38 Courbes courant d'entrée de la phase (A) et (B) en fonction de temps

## Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell

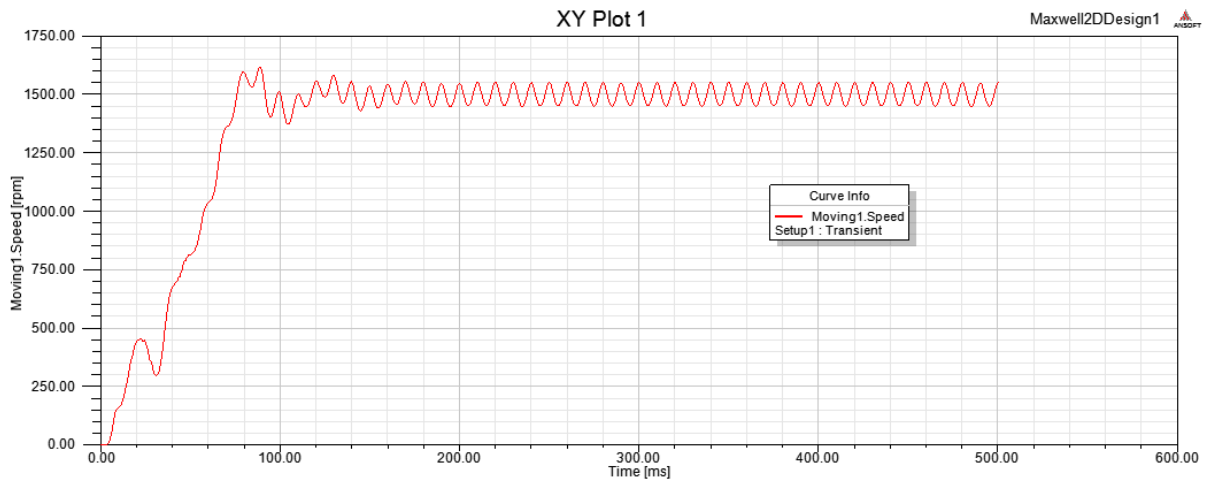


Figure 39 Courbe de la vitesse en fonction de temps

Durant la phase transitoire, le couple électromagnétique s'accroît progressivement jusqu'à atteindre son pic au moment du démarrage, avant de se stabiliser autour de la valeur nominale. Cette transition s'opère presque instantanément. De plus, il est à noter que les courants augmentent progressivement pour atteindre leur valeur nominale en régime permanent, leur évolution dépendant de la charge appliquée à l'arbre du moteur. Par ailleurs, l'application de la charge entraîne une augmentation des pertes fer en raison du couple résistant, ce qui provoque également un échauffement du moteur. Ces observations reflètent le fonctionnement normal d'un moteur asynchrone monophasé en charge.

**Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell**

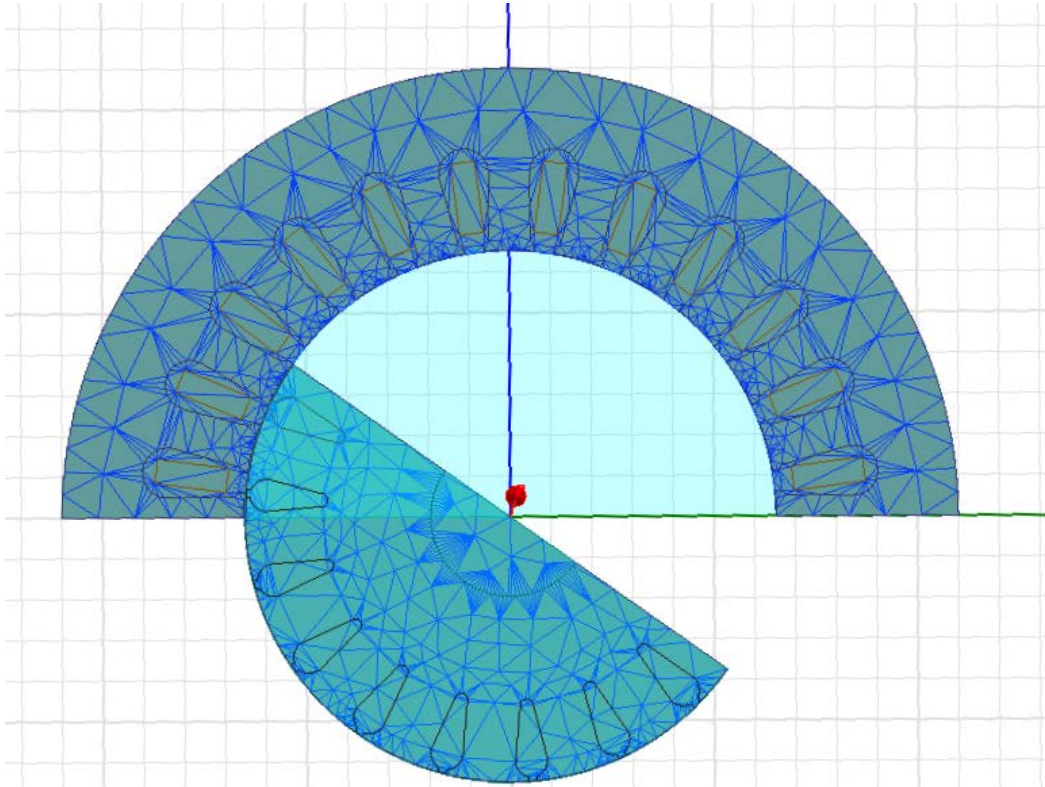


Figure 40 Maillage éléments finis

Le nombre total d'éléments de maillage est de 1000 éléments.

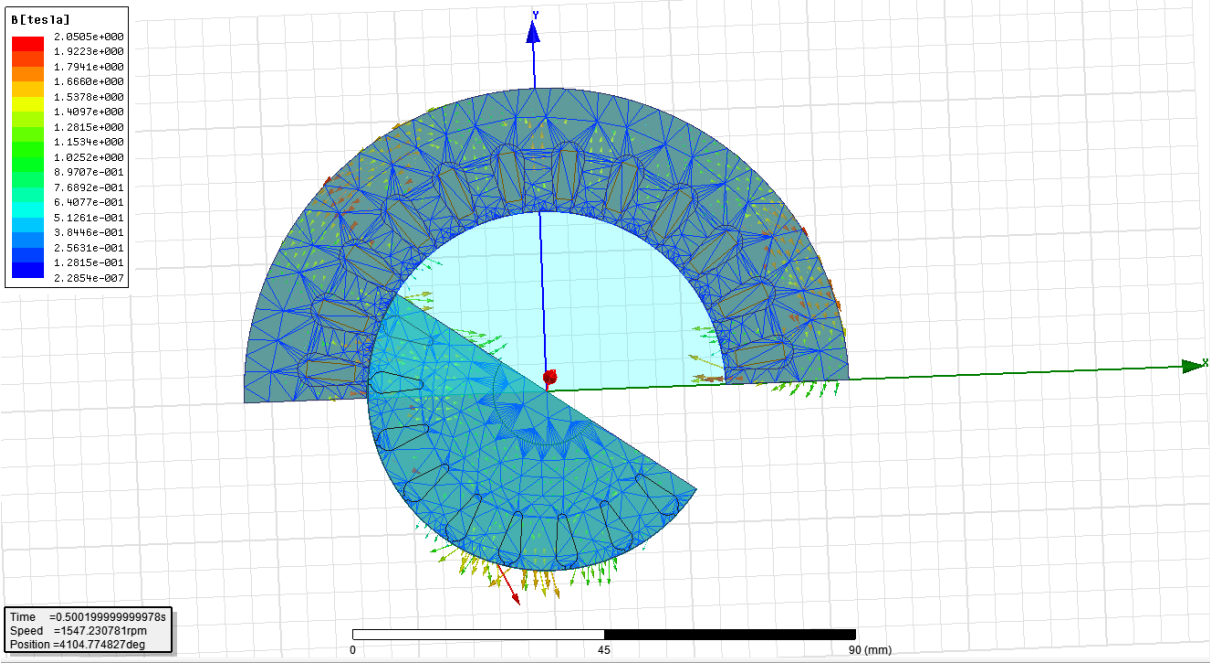


Figure 41 Distribution de l'induction Magnétique

**Chap.4: Conception et résultat de la simulation avec le logiciel Maxwell**

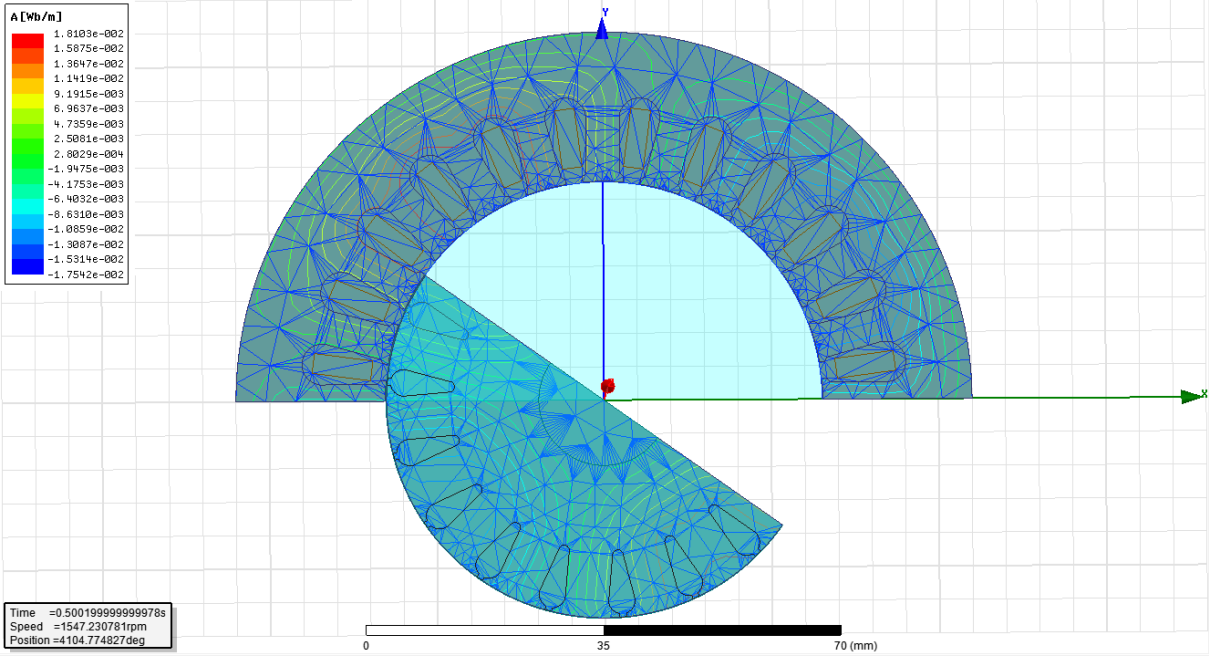


Figure 42 distribution des lignes du potentiel vecteur A

### **4.8.Conclusion :**

En conclusion de ce chapitre, nous avons présenté un logiciel essentiel pour la conception et l'analyse de moteurs électriques : ANSYS Maxwell. ANSYS Maxwell est un logiciel de pointe pour la simulation de champs électromagnétiques, offrant une précision exceptionnelle pour la conception et l'analyse de dispositifs électromagnétiques et électromécaniques. D'autre part, RMXprt, faisant partie de la suite logicielle ANSYS Maxwell, est spécifiquement conçu pour la conception de moteurs électriques, en mettant l'accent sur les moteurs asynchrones monophasés.

Nous avons détaillé les étapes nécessaires pour concevoir un modèle de moteur asynchrone monophasé avec RMXprt, en mettant en évidence l'importance de créer un modèle personnalisé pour répondre aux spécifications de notre moteur.

Les paramètres essentiels du moteur, tels que les caractéristiques géométriques du stator et du rotor, les paramètres d'encoches, le matériau du noyau, et bien d'autres, ont été soigneusement configurés dans RMXprt pour créer un modèle précis.

Nous avons également présenté des résultats d'analyse obtenus à partir de RMXprt, y compris des courbes de performance telles que le courant d'entrée, le rendement, la puissance utile et le couple en fonction de la vitesse.

Enfin, nous avons souligné l'importance de poursuivre l'analyse avec Maxwell 2D pour une évaluation approfondie des performances du moteur, en utilisant la méthode des éléments finis en régime dynamique. Ces étapes de conception et d'analyse sont cruciales pour optimiser la performance de notre moteur asynchrone monophasé et garantir son bon fonctionnement dans diverses conditions.

# **Conclusion général**

➤ **Conclusion générale :**

Une machine asynchrone monophasée est un moteur électrique qui fonctionne avec une seule phase d'alimentation électrique. Elle est couramment utilisée dans des applications domestiques et légères pour accomplir diverses tâches mécaniques simples. Ces machines sont appréciées pour leur simplicité et leur efficacité dans un large éventail d'appareils électriques et d'outils portatifs.

Dans ce mémoire nous avons travaillé sur l'étude et la conception d'une machine asynchrone monophasée à cage d'écureuil, d'une puissance 0.37 kW, et d'un dimensionnement réalisé à base d'un cahier de charge, puis simulé sur le logiciel RMXprt Ansys maxwells.

La machine Asynchrone conçue sous environnement RMXprt est ensuite modélisée en utilisant les équations de Maxwell. L'équation magnétodynamique 2D ainsi obtenue est résolue avec la méthode des éléments finis en utilisant le module Maxwell 2D sous Ansys.

En fin de compte, nous souhaitons que ce mémoire puisse devenir une ressource de travail pour les étudiants à venir, et qu'il soit continuellement amélioré et enrichi afin d'optimiser son utilité.

➤ **Bibliographie :**

- [1] **Ned Mohan**, "Electric Machines and Drives: A First Course", Wiley, 1ère édition (2003)
- [2] **Scenari community**, site officiel, turgotlimoges, MOTEUR ELECTRIQUE, MAS\_mono\_condensateur :[https://turgotlimoges.scenaricomunity.org/STI2D/Ressources%20STI2D/MOTEUR%20ELECTRIQUE/co/MAS\\_mono\\_condensateur.html](https://turgotlimoges.scenaricomunity.org/STI2D/Ressources%20STI2D/MOTEUR%20ELECTRIQUE/co/MAS_mono_condensateur.html)
- [3] **J.J. Labarthe**, Electromagnétisme, Université Paris Sud, 2005. <http://www.lac.u-psud.fr>, Laboratoire Aimé-Cotton.
- [4] **C. Sabonnadière, L. Coulomb**, « Calcul des champs électromagnétiques », Technique de l'ingénieur, D 3020
- [5] **BOUZARIA SAMY, WIKEN AREZKI**. (19/10/2022), mémoire « conception d'un moteur asynchrone monophasé » Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou
- [6] **HAMADOU Adil, NESSISSEN Abdelkader** "modélisation numérique d'un moteur asynchrone a cage d'écureuil" Mémoire de fin d'étude, université Djilali Bounaama khemis Miliana. Année 2015.
- [7] **Belaid AIT IZEM, S. A.** (2014, Septembre 25). Mémoire calcul d'un moteur asynchrone monophasé à condensateur transformé d'un moteur asynchrone triphasé. 65. Tizi Ouzou, Algérie: Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- [8] **DirectIndustry**, Asyns Maxwell, récupéré sur logiciel industriel : [www.directindustry.fr](http://www.directindustry.fr)