

Remerciements

Au nom d'ALLAH, le tout miséricordieux, le très miséricordieux, par de divinité à part lui, le vivant, celui qui subsiste par lui-même.

Nous remercions avant tous ALLAH pour son aide, ses innombrables dons, ALLAH qui nous a donné la force, la volonté et le moral pour accomplir nos études en ingénieur en électromécanique, et tout ceux qui ont participé de près ou de loin à l'aboutissement de cette modeste étude

Nous remercions nos encadreur Mr : S. CHAKROUNE

Pour

L'aide qu'elles nous ont fourni afin d'achever ce modeste travail.

L'adresse également mes remerciements aux examinateurs pour avoir accepté de juger notre travaille.

Que soient remercie tous nos enseignant durant toute nos années L'étude.

Enfin, nous n'oublions pas à remercier le personnel du département L'électrotechnique et toutes les personnes qui nous avons aidé de prêt ou de loin à réaliser ce travaillent dans les meilleures conditions morales et matérielles.

ABDELKRIM

ET

ABDALLAH

DEDICACE

*JE DEDIE CE MEMOIRE :
A MES PARENTS AVEC TOUTE MA
GRATITUDE POUR
TOUS CES ANNEES DE SACRIFICES ET
DE*

*D'ENCOURAGEMENT
A TOUS MES PROFS QU'IL M'ONT
APPRIIS DURANT TOUTES MES
ANNEES D'ETUDE*

A MES FRERES.

*A TOUS MES AMIES QUE JE NE VAIS
PAS NOMMER CAR ILS SONT
NOMBREUX & JE NE SAIS PAS QUI
CHOISIR.*

*A TOUS MES COLLEGUES SANS
EXCEPTION & A TOUTES LES PROMOS
2007 SURTOUT ELECTROMECHANIQUE*

NOTATION

ET

SYMBOLES

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction Générale

1- Généralités

Le moteur asynchrone est le moteur le plus utilisé dans l'ensemble des applications industrielles, du fait de sa facilité de mise en oeuvre, de son faible encombrement, de son bon rendement et de son excellente fiabilité, depuis quelques années, grâce à la mise au point des calculateurs « temps réel » rapides, on exploite de plus en plus les machines asynchrones. Les machines à cage sont de fabrication simple et ne posent pas de problèmes de maintenance.

La conception et le dimensionnement des machines électriques sont des axes très importants dans l'industrie électrique surtout pour la construction et la fabrication du matérielle dans une durée limitée et rapide. Elles sont applicables dans les différents types de machines. Le développement des machines électriques est basé sur des caractéristiques bien définies.

Le problème à résoudre peut souvent s'exprimer comme un problème d'optimisation : on définit une fonction objective, que l'on cherche à minimiser ou à maximiser par rapport à la variation des paramètres concernés, dans bon nombre de problèmes d'optimisation la fonction à optimiser dépend de nombreux paramètres, et peut se décomposer comme somme de sous-fonctions qui prennent en compte une partie des variables seulement.

En pratique, on observe aujourd'hui que les algorithmes génétiques se sont révélés les plus performants pour la résolution de problèmes. D'une part, ils permettent de conserver des profils de trajectoires réalistes. On ne peut néanmoins envisager l'application opérationnelle concrète de tels algorithmes.

2- Objectifs

L'objectif principal de ce présent travail est:

- ✓ Présenter une nouvelle approche d'amélioration du rendement à l'aide des algorithmes génétiques, dimensions géométriques et les grandeurs de la plaque signalétique, qui sont utilisés comme contraintes pour la conception de ces
-

machines. Les résultats obtenus seront ensuite vérifiés et validés par comparaison avec les résultats donnés par le constructeur.

3- Structure du mémoire

Ce présent mémoire s'articule autour des chapitres suivants :

Dans le premier chapitre, nous allons d'abord présenter des généralités et la conception des machines asynchrones, Nous présenterons ensuite les évaluations du rendement en cas particulier est les différentes pertes existantes.

Enfin, une conclusion générale viendra faire le point sur notre travail et mettra en évidence les principaux résultats obtenus.

Dans le troisième, on donne le principe des algorithmes génétiques illustré par un exemple d'application.

Dans le quatrième chapitre, nous présenterons une approche d'amélioration du rendement des machines asynchrones, cette méthode est basée sur les algorithmes génétiques.

CHAPITRE I :

GENERALITES ET CONCEPTION DES MACHINES ASYNCHRONES

INTRODUCTION

Historiquement le dix-neuvième siècle fût l'époque des grandes découvertes en Electrotechnique dont les bases fondamentales ont été établies (1820--1830) par des hommes de science parmi lesquels on peut citer, OERSTED, AMPERE, BIOT, SAVART, LAPLACE, OHM, FARADAY Plus tard en (1873) MAXWELL formalisa les lois de l'électromagnétisme moderne dans son ouvrage fameux; "Treatise on Eelectricity and Magnétisme".

Mais ce n'est qu'à partir de (1870) que l'électrotechnique industrielle s'affirma notamment grâce a la production d'énergie électrique par les génératrices a courant continu (dynamos) de gramme et de siemens. Ensuite, dans les années (1880), furent conçus les alternateurs et les transformateurs polyphasés. Les premiers devaient concurrencer et détrôner les dynamos pour la production de l'électricité, enfin les travaux du yougoslave TESLA et de l'italien FERRARIS complétèrent les systèmes a courants alternatifs polyphasés par la conception et la construction des machines d'induction ou asynchrones en (1888), [1].

Les machines asynchrones couvent actuellement l'essentiel de besoins de la transformation d'énergie électrique en énergie mécanique, A titre d'exemple, elle sont utilisées pour la quasi-totalité des fonction auxiliaires d'une centrale de production électrique il sont généralement de même dans les procédés industrielles. L'étude de ces machines acquit donc une grande importance,

I.1- GENERALITE SUR LES MACHINES ASYNCHRONE

I.1.1- Eléments Constitution des machines asynchrones

On se propose, dans cette partie, de donner quelques précisions sur les éléments des constitutions des machines asynchrones. Cette description va nous permettre de comprendre de quelle façon la système est réalise physiquement. Les machines asynchrones triphasées peuvent se décomposer, du point de vue mécanique, en trois parties distinctes, [2].

- Le stator, partie fixe de la machine où est connectée l'alimentation électrique;
- Le rotor, partie tournante qui permet de mettre en rotation la charge mécanique;
- Les paliers, partie mécanique qui permet la mise en rotation de l'arbre moteur.

I.1.1.1- Stator

Le stator de la machine asynchrone est constitué de tôles d'acier dans lesquelles sont placés les bobinages statoriques. Ces tôles sont, pour les petites machines, découpées en une seule pièce alors qu'elles sont, pour les machines de puissance plus importantes, découpées par sections. Elles sont habituellement recouvertes de vernis pour limiter l'effet des courants de Foucault. Au final, elles sont assemblées les unes aux autres à l'aide de boulons ou de soudures pour former le circuit magnétique statoriques.

Une fois cette étape d'assemblage terminée, les enroulements statoriques sont placés dans les encoches prévues à cet effet. Ces enroulements peuvent être insérés de manière imbriqués, ondulés ou encore concentriques. L'enroulement concentrique est très souvent utilisé lorsque le bobinage de la machine asynchrone est effectué mécaniquement. Pour les grosses machines, les enroulements sont faits de méplats de cuivre de différentes sections insérés directement dans les encoches. L'isolation entre les enroulements électriques et les tôles d'acier s'effectue à l'aide de matériaux isolants qui peuvent être de différents types suivant l'utilisation de la machine asynchrone.

Le stator d'une machine asynchrone est aussi pourvu d'une boîte à bornes à laquelle est reliée l'alimentation électrique. Nous représentons sur la (*Fig. 1.1*) les différentes parties de constitution du stator d'une machine asynchrone. Nous pouvons visualiser la présence d'ailettes de ventilation assurant le refroidissement la machine lorsque celle-ci fonctionne en charge, [2].

I.1.1.2- Rotor

Tout comme le stator, le circuit magnétique rotorique est constitué de tôles d'acier qui sont, en général, de même origine que celles utilisées pour la construction du stator. Les rotors des machines asynchrones peuvent être de deux types bobinés ou à cage d'écureuil, [2].

I.1.1.2.1- Rotor à bagues

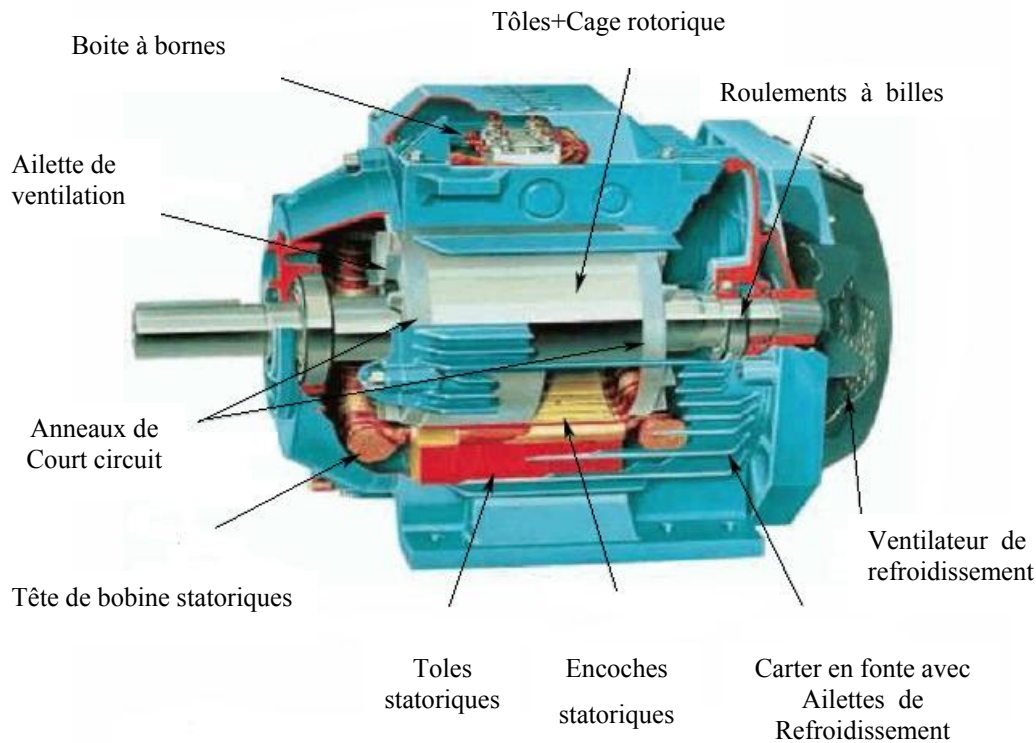
Les rotors bobinés sont construits de la même manière que le bobinage statoriques (insertion des enroulements dans les encoches rotorique). Les phases rotorique sont alors disponibles grâce à un système de bagues-balais positionné sur l'arbre de la machine, [2].

I.1.1.2.2- Rotor à cage

Les rotors à cage d'écureuil, les enroulements sont constitués de barres de cuivre pour les gros moteurs ou d'aluminium pour les petits. Ces barres sont court-circuitées à chaque extrémité par deux anneaux dits "de court-circuit", eux aussi fabriqués en cuivre ou en aluminium. Il existe différentes structures de rotor à cage qui dépendent principalement de la taille du moteur et de l'application qu'il en sera faite. Nous donnons à la (Fig. I.1) les différents éléments de constitution d'un rotor à cage d'écureuil. Nous pouvons visualiser l'arbre sur lequel les tôles sont empilées, les deux anneaux de court-circuit ainsi que les barres d'aluminium formant la cage d'écureuil. Très souvent, ces barres sont uniformément inclinées pour limiter les harmoniques et ainsi diminuer très fortement le bruit lors de l'accélération de la machine asynchrone. L'isolation des barres avec les tôles magnétiques n'est en général pas nécessaire du fait de la faible tension induite aux bornes de chacune d'entre elles. De plus, la résistivité de l'alliage utilisé pour la construction de cette cage est suffisamment faible pour que les courants ne circulent pas à travers les tôles magnétiques, sauf lorsque la cage rotorique présente une rupture de barre. Le rotor de la machine asynchrone est aussi pourvu d'ailettes de ventilation pour permettre un refroidissement de la cage le plus efficace possible comme le montre la (Fig. I.1), [2].

I.1.1.3- Paliers

Les paliers, qui permettent de supporter et de mettre en rotation l'arbre rotorique, sont constitués de flasques et de roulements à billes insérés à chaud sur l'arbre. Les flasques, moulés en fonte, sont fixés sur le carter statoriques grâce à des boulons ou des tiges de serrage comme nous pouvons le visualiser sur la (Fig. I.1). L'ensemble ainsi établi constitue alors la machine asynchrone à cage d'écureuil, [2].



(Fig. I.1) *Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écurieil*

I.1.2- Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone

Le principe de fonctionnement du moteur asynchrone est basé sur l'induction des courants dans le bobinage du rotor par un champ tournant dans l'entrefer dû à la circulation des courants polyphasés dans le stator. Ce champ tournant va créer un couple moteur qui s'exerce sur les conducteurs des courants induits, Il provoque ainsi le démarrage et la rotation du rotor dans le même sens que le champ tournant, [3].

En fonctionnement normal, le rotor de la machine asynchrone tourne à la vitesse Ω_R exprimée en radians par seconde, et la force magnétomotrice produite par les courants statoriques tourne à la vitesse de synchronisme Ω_s , exprimée en radians par seconde, mais la vitesse Ω_R est généralement inférieure à Ω_s où :

$$\Omega_s = \frac{\omega_s}{p} \quad (I.1)$$

Avec :

Ω_s : Pulsation statorique, liée à la fréquence du stator.

p : Nombre de pair de pôle de la force magnétomotrice résultant.

Le rotor est constitué de manière à obtenir trois enroulements ayant un nombre de pôles identique à celui du stator. Les enroulements rotoriques sont en court circuit, et avec la vitesse de rotation du rotor est inférieure à Ω_s , on note:

g : Glissement de la vitesse de rotation par rapport à celle du champ tournant statorique.

f_s : Fréquence de la vitesse statorique.

f_R : Fréquence de la vitesse rotorique.

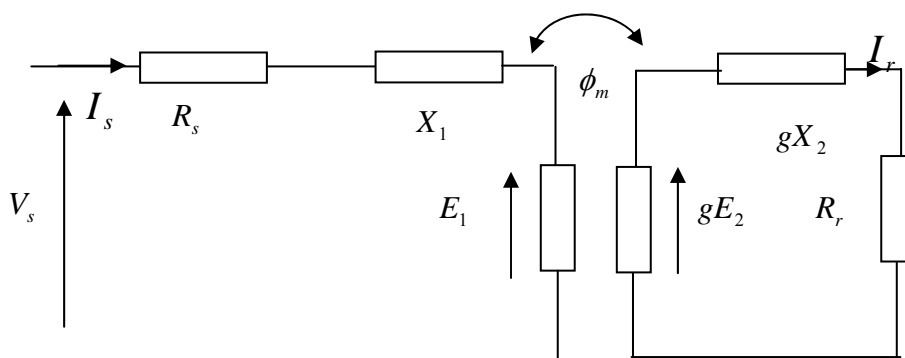
On obtient les relations de glissement g , [4] .

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega_R}{\Omega_s} = \frac{f_s - f_R}{f_s} \quad (\text{I-2})$$

Dans une machine asynchrone, la condition de fréquence, $\omega_s = \omega_g + \omega_R$ ou $f_s = f_g + f_R$ est constamment satisfait. Où quand la pulsation mécanique ω_R est égale à la pulsation du champ tournant ω_s , le phénomène d'induction électromagnétique disparaît, Ω_g est la pulsation de glissement.

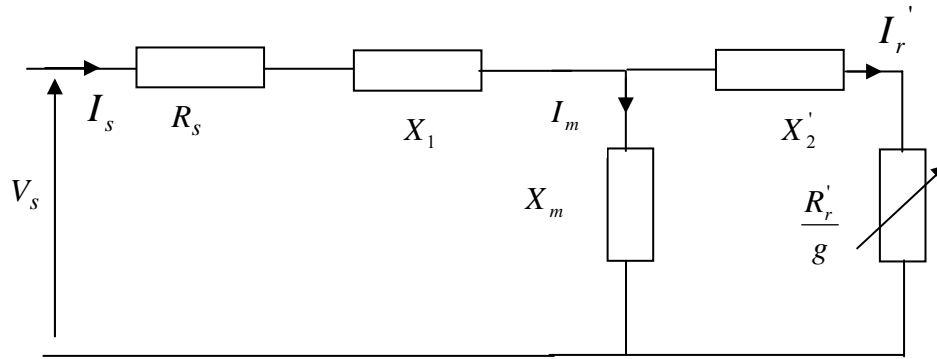
I.1.3- Schéma équivalent d'une machine asynchrone

Dans ce type de schéma les circuits primaire et secondaire sont couplés grâce au flux d'induction ϕ_m .



(Fig.I.2) Schéma par phase réaliste de la machine asynchrone

En ramenant le circuit secondaire de la (Fig. I.2) au primaire, on obtient le schéma équivalent du transformateur de la (Fig. I.3), où le circuit magnétisant est constitué de la réactance de



(Fig. I.3) Schéma équivalent ramené au stator

Magnétisation ramenée X_m et d'une résistance rotorique ramenée exprimée en fonction du glissement.

m : Etant le rapport de transformation stator/rotor

$X_m = m.M.\omega$: Réactance de magnétisation ramenée, responsable du flux dans l'entrefer;

$X_1 = \omega.L_s - m.M.\omega$: Réactance de fuite du stator;

$X_2' = \omega.m^2.L_r - m.M.\omega$: Réactance de fuite du rotor ramenée au stator ;

$R_r' = m^2.R_r$: Résistance rotorique ramenée au stator.

Il apparaît d'après cette étude que le moteur asynchrone possède plusieurs modèles, dont l'utilisateur peut choisir le modèle convenable.

➤ Dans le schéma de la (Fig. I.3) si on prend $m = \frac{M}{L_r}$, nous avons: $X_2 = 0$

et $X_1 = \omega\sigma L_s$. Nous obtenons le schéma équivalent à flux de fuite secondaire nul ;

➤ Dans le cas où $m = \frac{L_s}{M}$ annule le flux de fuite primaire, ceci permet d'obtenir un schéma équivalent plus simple dit schéma à flux de fuite primaire nul ;

➤ Pour $m = \frac{L_s}{M}$, $R_1 = m.R_s$; $R_2 = m^2.R_r$; $X_2 = m^2.X_2$; $X_1 = m.X_1$ on obtient le schéma équivalent avec circuit magnétisant ramené aux bornes du réseau.

I.2- LA CONCEPTION DES MACHINES ASYNCHRONES

Pour la construction des machines électriques, la connaissance de la nature des matériaux devient importante afin de produire, de transmettre ou d'isoler un des phénomènes qui s'y produisent, [5].

Dans cette partie on présentera les matériaux utilisés dans la conception des machines électriques qui peuvent être divisé en trois catégories, puis on donnera les différents types de refroidissement, de fixation ainsi les degrés de protection et les types de bouts d'arbre.

I.2.1- Les matériaux utilisés dans les machines électriques

a) Les matériaux de construction

Elle sont utilisés pour la fabrication des pièces et des Eléments des machines, qui sont destinés surtout à transmette, a recevoir des charges mécaniques et à donner pour certains éléments, les formes requises pour que la machine puisse fonctionner normalement, [5].

- Fonte ordinaire.
- Acier au carbone et acier allié.
- Métaux non ferreux et leurs alliages.
- Matières plastiques.

b) Les matériaux actifs

Sont des conducteurs électriques et magnétiques. Ils servent à créer les conditions nécessaires pour que les processus " électromagnétique" puissent avoir lieu, [5].

b. 1- Les matériaux magnétiques

Les matériaux magnétiques sont utilisés dans les circuits magnétiques des machines électriques ces circuits ont comme rôles, la canalisation des lignes d'induction magnétique. Le circuit magnétique peut constituer le bâti de la machine, de bonnes propriétés ont la fois mécaniques et magnétiques, sont désirables.

Les matériaux magnétiques utilisés sont :

- Acier pour embrayage magnétique.

Des qualités d'ordre mécanique et magnétique sont recherchées pour les aciers qui constituent le circuit magnétique des embrayages magnétiques.

- Font, acier coulé.

La fonte n'est guère employée pour la construction des circuits magnétiques à cause de sa faible perméabilité, qui est environ de deux fois plus faible que celle de l'acier, et de son champ coercitif élevé, plus grand que 400 A/m.

L'acier coulé utilisé pour les circuits magnétiques est à faible teneur en carbone (inférieure à 0,2 %) comme pour la fonte.

Il existe une variante de matériaux magnétiques qui sont:

- Matériaux ferromagnétiques à très haute perméabilité.
- Matériaux ferromagnétiques à saturation magnétique élevée.
- Matériaux magnétiques à cycle d'hystérésis rectangulaire.

b. 2- Les matériaux électriques

Ces matériaux sont caractérisés par une résistivité électrique qui s'exprime en $\Omega.m$; conditionne les pertes ohmiques, c'est -à- dire que la puissance dissipée par effet joule dans l'enroulement parcouru par un courant I :

Afin de réduire ces pertes, on utilise pour les enroulements ; des métaux de résistivité aussi faible, [5].

Les matériaux électriques les plus utilisés sont:

- Cuivre.
- Aluminium.

Les matériaux électriques les moins utilisés :

- Or.
- Argent.

c) Les matériaux isolants

Les pertes d'énergie électrique et mécanique dans les machines électriques se produisent par la transformation de ces formes d'énergie thermique, ce qui chauffe certaines parties de la machine. Pour assurer la fiabilité des machines électriques, l'échauffement des différentes parties de la machine doit être limitée.

La tâche la plus difficile et la plus importante sont d'assurer la bonne tenue de l'isolation des enroulements ; pour cette raison la charge admissible d'une machine est déterminée tout d'abord par la température admissible des isolants utilisés. « *Tableau I.1* »

La température admissible pour laquelle sont assurées la rigidité diélectrique, la résistance mécanique et la stabilité thermique de l'isolation (capacité de conserver ses propriétés sans modifications importantes pendant 15 à 30 années), dépend des classes des isolants utilisés, [5].

Classe	Temp. limite	Constitution
y	90°C	Fibreux en cellulose et soie non imprégnés et non plongée dans un isolant liquide.
A	105°C	Fibreux en cellulose ou soie imprégnés, ou plongés dans un isolant liquide.
E	120°C	Pellicules organiques synthétiques.
B	130°C	à base de mica et de fibre de verre utilisés avec des liants organiques.
F	155°C	à base de mica, et de fibre de verre combinés avec des liants et des compositions d'imprégnation synthétiques.
H	180°C	à base de mica et de fibre de verre utilisés en combinaison avec les silicones.
C	Plus de 180°C	Le mica, les céramiques, le verre, quartz utilisé sans liants organiques.

Tableau. I.1 : Classe des isolants, [5].

I.2.2- Protection des machines électriques

Choisir la protection du moteur en fonction des conditions d'environnement. Les constructeurs proposent en réalisation standard leurs machines avec des protections de type IP55X, Des réalisations en IP 23X sont aussi aux catalogues des constructeurs ce qui permet une économie d'environ 15% à 20% sur certains moteurs, [6]. « *Tableau .I.2* »

	Protection contre les solides		Protection contre les liquides		Protection mécanique
IP	Définition	IP	Définition	IP	Définition
0	Pas de protection	0	Pas de protection	0	Pas de protection
1	Protégée contre les corps solides supérieure à 50 mm	1	Protégée contre les chutes verticale des gouttes d'eau (condensation)	1	Energie de choc : 0.225j
2	Protégée contre les corps solides supérieure à 12 mm	2	Protégée contre les chutes des gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale	2	Energie de choc : 0.375j
3	Protégée contre les corps solides supérieure à 2.5 mm	3	Protégée contre les chutes des gouttes d'eau jusqu'à 60° de la verticale	3	Energie de choc : 0.5j
4	Protégée contre les corps solides supérieure à 1 mm	4	Protégée contre les projections d'eau de toutes les directions	4	Energie de choc : 2j
5	Protégée contre les poussières (pas de dépôt nuisible)	5	Protégée contre les jets d'eau des toutes les directions à la lance	5	Energie de choc : 0.6j
6	Totalement protégée contre les poussières ne concerne pas les machines tournantes	6	Protégée contre les projections d'eau assimilés aux paquets de mer	6	Energie de choc : 20j
7	-	7	Protégée contre les effets de la l'immersion entre 0.1 et 1 m	7	
8		8	Protégée contre les effets prolongés de l'immersion sous pression	8	

Tableau .I.2 : Indices de protection des enveloppes des matériels électriques, [6].

I.2.3- Prise en compte d'un mode de refroidissement différent

La Publication IEC 34-6 fait état des modes de refroidissement des machines tournantes. Pour la désignation de ces modes, on a recours à deux codes de symbolisation, l'un simplifié, pour les types de machines les plus courantes refroidies à l'air, l'autre complet, pour des types de machines présentant des systèmes plus complexes de refroidissement. Le mode de refroidissement est symbolisé par les lettres IC (International Cooling) suivies, dans le cas du code simplifié, d'un groupe de deux ou trois chiffres ou, dans le cas d'un système complet, d'un groupe d'une lettre et de deux lettres et chiffres significatifs pour chaque circuit de refroidissement, [6].

Disposition du circuit		Fluide de refroidissement		Mode de circulation	
0	Libre circulation	A	Air	0	Convection
1	Canalisation d'aspiration	F	Fréon	1	Auto circulation
2	Canalisation de refoulement	H	Hydrogène	2	Réservé
3	2 canalisations ci-dessus	N	Azote	3	Réservé
4	Refroidie par la surface	C	Dioxyde de carbone	4	Réservé
5	Echangeur incorporé à air	W	Eau	5	Circulation forcée intégrée
6	Echangeur ajouté à air	U	Huile	6	Circulation forcée ajoutée
7	Echangeur incorporé	S	Autre fluide (à préciser)	7	Circulation indépendante
8	Echangeur ajouté	Y	Fluide non choisi ...	8	Déplacement relatif
9	Echangeur séparé			9	

Tableau .I.3: code simplifié IC 411 ou système complet IC 4 A 1 A 1

Quelques exemples du code simplifié :

- Le premier chiffre indique la disposition du circuit de refroidissement.
- Le deuxième chiffre indique la manière dont est fournie la puissance nécessaire à la circulation de l'air.

Code de ventilation	Description sommaire
IC 01	Machine ouverte auto refroidie Ventilateur monté sur l'arbre.
IC 06	Machine ouverte avec ventilation indépendante montée sur la machine.
IC 11	Machine auto-ventilée. L'air de refroidissement est canalisé à l'entrée. Le ventilateur est monté sur l'arbre.
IC 17	Machine dont l'air de refroidissement est canalisé à l'entrée. L'air est fourni et sa circulation est assurée par un réseau de distribution indépendant.
IC 21	Machine auto-ventilée. L'air de refroidissement est canalisé à la sortie. Le ventilateur est monté sur l'arbre.
IC 27	Machine dont l'air de refroidissement est canalisé à la sortie, un dispositif d'aspiration indépendant fait circuler l'air.
IC 31	Machine auto-ventilée dont l'air de refroidissement est canalisé à l'entrée et à la sortie.
IC 37	Machine dont l'air de refroidissement est canalisé à l'entrée et à la sortie. Un réseau de distribution indépendant fournit l'air et le fait circuler.
IC 41	Moteur fermé à carcasse ventilée. Ventilateur externe monté sur l'arbre.
IC 51	Moteur fermé carcasse à tubes avec deux ventilateurs externe et interne.

Tableau .I.4 : Exemple de systèmes courants de ventilation, [6].

Quelques exemples du système complet décrivant deux circuits de refroidissement

- Le premier chiffre indique la disposition du circuit de refroidissement.
- La première lettre indique la nature du fluide primaire.
- Le deuxième chiffre indique le circuit de refroidissement primaire dans la machine.

La deuxième lettre indique la nature de fluide secondaire.

Le troisième chiffre indique le circuit de refroidissement secondaire, qui est à la température la plus basse dans l'échangeur thermique.

L'air et l'eau, les fluides de refroidissement les plus usuels, sont symbolisés respectivement par les lettres A et w. La lettre A est supprimée lorsque l'air est le seul fluide de refroidissement employé, « *Tableau.I.4* »

IC4 A1 A0 OÙ IC411	Machine fermée refroidie par sa surface. Pas de ventilateur externe. L'air à l'intérieur circule en circuit fermé sous l'effet de moyens propres à la machine et cède sa chaleur à travers la surface de la carcasse.
IC4 A1 A1 OÙ IC411	Machine fermée à carcasse ventilée. La ventilation externe est propre à la machine. L'air à l'intérieur circule en circuit fermé sous l'effet de moyens propres à la machine et cède sa chaleur à travers la surface de la carcasse.
IC5 A1 A1 OÙ IC511	Machine fermée avec échangeur de chaleur incorporé (exp: carcasse à tube) refroidi par air ambiant. Deux ventilateurs propres à la machine, l'un extérieur, l'autre intérieur, font circuler respectivement l'air ambiant de refroidissement et l'air chaud interne à travers l'échangeur.
IC4 A1 A6 OÙ IC416	Machine fermée à carcasse ventilée au moyen d'un système de ventilation indépendant monté sur la machine. L'air à l'intérieur circule en circuit fermé sous l'effet de moyens propres à la machine et cède sa chaleur à travers la surface de la carcasse.
IC3 A1 W7	Machine refroidie par air, avec hydro réfrigérant incorporé. La circulation de l'air chaud interne à travers l'échangeur est obtenue par une ventilation propre à la machine celle de l'eau par pompe ou par distribution.

Tableau .I.5: Exemple de systèmes courants de ventilation, [6].

I.2.4- Formes constructives pour les machines électriques

Suivant la forme constructive, les symboles conventionnels des groupes sont indiqués dans le « *Tableau .I.4* », Exemple de systèmes courants de ventilation x V dans chacun des neuf group, les machines sont classées suivant le type de fixation mécanique (le deuxième et troisième chiffres de désignation), le nombre et le type de bout d'arbre sont désignés par le quatrième chiffre. La désignation du bout d'arbre est indiquée dans les « *Tableau .I.5, Tableau .I.4* », exemple de systèmes courants de ventilation.

Symboles du groupe	Forme constructive des Machines
IM1	Machines a pattes et paliers flagues.
IM2	Machines a pattes, à paliers flasques et bride sur un plier.
IM3	Machines sans pattes, a paliers flasque et bride sur un plier.
IM4	Une machine sans pattes, a palier flasque et bride sur la carcasse.
IM5	Machines à paliers lisses.
IM6	Machines à paliers flasques et bâtis de palier.
IM7	Machines à bâtis de palier (sans palier flasque).
IM8	Machines à axe vertical non comprises dans les groupes de IM1et IM4.
IM9	Machines à organes de fixation spéciaux

Tableau .I.6 : Groupes courants de formes constructives pour machines électriques, [5].

CONCLUSION

Ce chapitre nous a permis d'étudier la machine asynchrone, principe de fonctionnement, constituant et pertes existants.

Une autre partie de ce chapitre est consacrée a la manière sur laquelle au se base pour les choix du degré de protection et du système de refroidissement adéquat puisque la construction et la technologie constructive des moteurs asynchrones doivent répondre aux principales conditions prescrites par les normes internationales, ainsi toute machine doit être conçue de façon tell qu'elle puisse fournir sous défaillance le service nominal au quel elle est destinée.

CHAPITRE II :

EVALUATION DU

RENDEMENT

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années la tendance dans la conception des machines électriques porte d'une part sur l'amélioration des performances et d'autre part à la minimisation de la puissance massique et du prix de revient. En effet, cela repose particulièrement sur le rendement de ces machines. Avec l'augmentation continue du coût de l'énergie et de la pression causée par le souci de la protection de l'environnement, les fabricants des machines électriques ainsi que les consommateurs s'intéressent à la réduction de la consommation d'énergie des systèmes électriques. Ce qui conduit au lancement d'importants travaux à travers le monde, particulièrement pour l'amélioration du rendement des machines asynchrones, cela est principalement à la place qu'elles occupent.

Le moteur asynchrone est le moteur électrique le plus utilisé dans l'industrie qui représente 80% des moteurs utilisés. Etant donné leur simplicité de construction et leur facilité de démarrage. Dans ce chapitre on donne les principales pertes existantes et les différents méthodes de calculer le rendement. Enfin on terminera avec la présentation des moteurs à haut rendement ainsi que la normalisation internationale dans ce domaine, [1].

II.1- RENDEMENT ET PERTES DANS LA MACHINE ASYNCHRONE

II.1.1- Rendement

Le rendement du moteur, par définition est le rapport entre la puissance utile P_u fournie à la charge et la puissance absorbée P_a fournie au moteur soit:

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (\text{II-1})$$

Ou:

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{utile}} + \sum \text{pertes}} \quad (\text{II-2})$$

D'une autre façon nous pouvons aussi exprimer le rendement en fonction de la puissance. En effet, en fonctionnant moteur la machine asynchrone reçoit du réseau de l'énergie active et réactive et délivre de la puissance mécanique, [6].

$$\eta = \frac{P_{méc}}{P_{élec}} \quad (\text{II-3})$$

Or la puissance mécanique peut être exprimé à partir de la puissance électrique

$$\eta = \frac{P_{méc}}{P_{élec}} = \frac{P_{élec} - \sum \text{pertes}}{P_{élec}} \quad (\text{II.4})$$

II.1.1.1- Evaluation du rendement

Le rendement d'un système électrique dépend de plusieurs facteurs tels que : le rendement du moteur et les techniques mécanique c'est-à-dire, problèmes d'entretien, et d'entraînement et la gestion de la charge, du contrôle, les qualités du réseau de distribution, la transmission.

Pour l'amélioration du rendement d'un système électrique, différentes approches sont proposées. Ces dernières utilisent principalement la vitesse variable, ainsi qu'une dimension optimale des moteurs électriques pour améliorer leur conception. La première approche a un rapport avec le réseau, alors que la seconde est en rapport avec le concepteur du moteur lui même.

Pour l'évaluation du rendement, diverses méthodes sont proposées, [1].

- Méthode de la plaque signalétique;
- Méthode directe;
- Méthode des pertes séparées;
- Méthode Statistique;
- Méthode du circuit équivalente.

II.1.2- Les pertes

Les pertes dans la machine peuvent être divisé en trois grands groupes. Par ordre d'importance usuelle décroissante, nous pouvons distinguer la classification comme suite, [7]:

II.1.2.1- Les pertes dans les circuits électriques

Ce sont les pertes par effet Joule dans les enroulements d'induit, d'excitation et, plus généralement, dans toutes les parties conductrices d'une machine traversées par des courants, y compris les balais.

II.1.2.1.1- Pertes normales en base fréquence

Tout conducteur de résistance R parcouru par un courant continu ou alternatif de valeur efficace I est le siège des pertes par effet Joule qui valent :

$$P_j = R.I^2 \quad (\text{II.5})$$

En base fréquence et pour les conducteurs de section filiforme, la densité de courant est uniformément répartie dans toute la section du conducteur. La résistance d'un enroulement, réalisée à l'aide de fils fin, [7].

$$R_0 = \rho \cdot \frac{l_{\text{moy}}}{a \cdot s} \cdot N_s$$

(II.6) Ou :

- ρ : Résistivité ;
- a : Nombre de voies parallèles ;
- l_{moy} : Longueur moyenne du conducteur ;
- N_s : Nombre de spires en série.

La résistivité ρ doit être celle qui correspond à la température de fonctionnement de l'enroulement selon la loi, [7].

$$\rho(\theta) = \rho(\theta_1) \frac{1 + \alpha \cdot \theta_2}{1 + \alpha \cdot \theta_1} \quad (\text{II.7})$$

- α : Coefficient caractéristique du matériau;
- $\rho(\theta_1)$: Résistivité à la température θ_1 ;
- θ_1 : La température du matériau.

II.1.2.1.2- Pertes supplémentaires à fréquence élevée

◆ Cas des courant sinusoïdaux

Lorsque le courant, qui parcourt un conducteur, est de forme sinusoïdale à fréquence f élevée, la densité de courant dans une section droite du conducteur n'est plus uniforme (effet kelvin). Cela est du à l'action du flux propre interne du conducteur qui rejette le courant vers la périphérie de celui-ci. La résistance du conducteur se réduit à celle d'une couronne d'épaisseur E_p , dite de peau, qui est définie par l'équation :

$$E_p = \sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot \mu \cdot f}} \quad (\text{II.8})$$

La résolution des équations de Maxwell conduit aux expressions simplifiées suivantes pour des conducteurs dans l'air.

- ✓ Pour un conducteur à section circulaire de diamètre D_0 : on introduit le diamètre réduit :

$$d = \frac{D_0^2}{4 \cdot E_p} \quad (\text{II.9})$$

Si R_0 est la résistance du conducteur en courant continu, la résistance effective R est donnée, de façon approchée.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } d < 1, \quad \text{par: } R = R_0 \left[1 + \left(\frac{d^4}{3} \right) \right] \\ \text{Si } d > 1, \quad \text{par: } R = R_0 \left(d + \frac{1}{4} + \frac{3}{64d} \right) \end{array} \right. \quad (\text{II.10})$$

- ✓ Pour un conducteur à section rectangulaire plate, pour un tel conducteur, lorsque la largeur est nettement supérieure à l'épaisseur h_{cd} , On introduit l'épaisseur réduite :

$$h_{cdr} = \frac{h_{cd}}{E_p} \quad (\text{II.12})$$

On obtient alors :

$$R = R_0 \frac{(sh(2h_{cdr}) + \sin(2h_{cdr}))}{(ch(2h_{cdr}) - \cos(2h_{cdr}))} \quad (\text{II.13})$$

◆ Cas des courant non sinusoïdaux

Pour les courants alternatifs non sinusoïdaux, les conducteurs étant généralement de matériaux à caractéristiques linéaires, il suffit de calculer la résistance R_i correspondant à chaque fréquence f_i des termes de série de Fourier composant le courant et d'additionner les pertes dues à chaque harmonique sous la forme :

$$P_j = \sum_{i=1}^n R_i \cdot I_i^2 = R_0 I_1^2 \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{R_0} \left(\frac{I_i}{I_1} \right)^2 = P_{j1} \cdot K_f \quad (\text{II.14})$$

P_{j1} : Pertes dues au fondamental I_1 du courant ;

K_f : Coefficient du aux harmoniques (pour des courant en créneaux, K_f est de l'ordre de 8 à 10 %), [1].

II.1.2.2- Les pertes dans le circuit magnétique

Les alliages ferromagnétiques utilisés dans les circuits magnétiques sont communément appelés **fer** [7], ces pertes représentent entre 20 et 25% des pertes totales de la machine, [6].

II.1.2.2.1- Les pertes par courant de Foucault

Dans ces alliages résultent, selon la loi de Faraday, des variations temporelles des flux qui induisent des forces électromotrices, dans leurs masses. Ces f.e.m. générées dans ces alliages conducteurs, de résistivité voisine de $50 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$, donnent naissance à des courants qui se ferment dans la masse du fer dans ces plans normaux à la direction du flux. Le phénomène est analogue à celui qui génère des courants dans une boucle fermée conductrice traversée par un flux variable, la masse du fer pouvant être décomposée, par la pensée, en un ensemble de boucles fermées conductrices. Ces courants sont constitués par le mouvement des électrons libres du matériau magnétique, du fait de l'action du champ électrique local, que l'on peut déduire des équations de Maxwell à partir du champ magnétique d'excitation, comme dans tout conducteur excité par une f.e.m, [1].

On peut exprimer les pertes par courant de Foucault par la relation :

$$P_f = K_r (e \cdot f \cdot B_m^2) \quad (\text{II.15})$$

Avec :

P_f : Pertes par effet de Foucault ;

e : Epaisseur de la tôle ;

f : Fréquence de l'induction (Hz) ;

B_m : Induction magnétique maximale ;

K_r : Coefficient caractéristique de tôle.

II.1.2.2.2- Les pertes par hystérésis

Résultent, sous l'effet de la variation en intensité et /ou en direction du champ magnétique appliqué, de transformation de l'organisation de la matière en domaines de Weiss dans lesquels l'aimantation est uniforme en direction et module, les moments magnétisation des atomes d'un domaine étant colinéaire. La variation de la magnétisation provoque des déplacements, des suppressions ou des créations des parois entre domaines qui tendent à orienter leurs moments dans le sens du champ appliqué. Ces transformations irréversibles se font avec apparition d'hystérésis et absorbent de l'énergie.

Les électrons concernés ici sont les électrons liés du matériau et le phénomène est totalement différent du précédent. Il est évident que ce phénomène d'hystérésis est discontinu à l'échelle microscopique des domaines mais, à l'échelle macroscopique de l'électrotechnique, les tôles les plus minces ayant encore une épaisseur de $50\mu m$ (soit environ 10^3 longueurs de domaines), [1].

On peut déterminer les pertes par hystérésis par l'expression :

$$P = K_h \cdot f \cdot B_m^2 \quad (\text{II.16})$$

Avec :

K_h : Coefficient de pertes par hystérésis.

II.1.2.3- Les pertes mécaniques

Les pertes mécaniques P_{mec} sont deux types, pertes par frottements et pertes par ventilation.

II.1.2.3.1- Pertes par frottement

Les pertes mécanique sont dues aux frottement :

- dans les paliers;
- dans les roulements;
- de l'air sur l'induit et sur le ventilateur destiné au refroidissement de la machine;
- pertes aérodynamiques.

Les pertes qui proviennent du frottement du rotor des organes fixes (paliers, balais) entraînent l'échauffement de la machine. Plus la machine tourne vite, plus que les pertes

mécaniques deviennent importantes. Ces pertes dépendent de nombreuses factures et il est très difficile de prédire leur valeur. Pour les déterminer avec exactitude, il faut faire des essais sur la machine.

II.1.2.3.1.1- Les pertes par frottement dans les paliers

Dépendent du type de palier (lisse ou à roulements) et de la lubrification. Dans les petites machines, on obtient des pertes acceptables en utilisant des roulements à billes ou à galets lubrifiés avec de la graisse consiste. Dans les grosses machines, on utilise des paliers à friction brifiés, pour réduire le frottement, avec des huiles minérales. Toutes choses étant égales par ailleurs, les pertes par frottement, dans les paliers croissent avec l'augmentation de la vitesse de rotation, de la masse du rotor et du diamètre du tourillon dans la zone du palier. L'expression suivant donne la somme des pertes par ventilation et par frottement aux paliers (En W) :

$$P_{v+p} = 0.3 \text{ à } 0.7(P_u V_t^2 10^{-5}) \quad (\text{II.17})$$

Avec :

P_u (W) : Puissance utile de la machine

V_t (m/s) : Vitesse tangentielle du rotor

II.1.2.3.1.2- Les pertes par frottement dans les roulements

Les pertes mécaniques, dues aux frottement dans les roulements, ont des origines très diverses, elles proviennent :

- Des contacts corps roulants chemin de roulement, corps roulants cage, cage bagues ;
- Du barattage (brassage) du lubrifiant ;
- Des joints intégrés aux roulements.

Ces frottements dépendent de nombreux facteurs :

- Type de lubrification (graisse, barbotage ou injection d'huile) ;
- Viscosité, voir la rhéologie (Viscosité élasticité) du lubrifiant ;
- Type de géométrie interne du roulement;
- Charge et vitesse de rotation auxquelles les roulements sont soumis.

L'évaluation des pertes par frottement dans les roulement ou les joints peut être effectuée de deux manières :

- ✓ Par l'utilisation de formules simples issues de l'expérience et largement diffusées par les constructeurs de roulement;
- ✓ Par le calcul des pertes élémentaires pour chaque contact interne, cette démarche est encore du domaine de la recherche et est employée lorsque les roulement sont sollicités sous des conditions très sévères, par exemple dans l'aéronautique, cette méthode est très lourde à mettre en oeuvre, ne sera pas abordée dans ce travail, [2].

II.1.2.3.1.3- Les pertes aérodynamiques

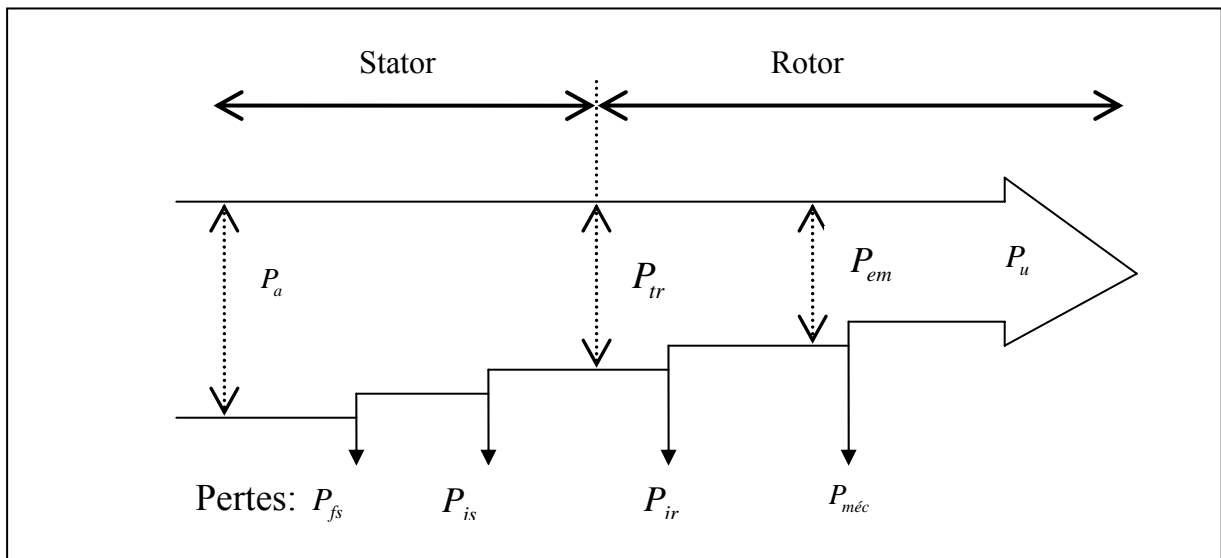
Le fluide gazeux, confiné dans le volume de l'entrefer d'une machine frotte sur la surface du rotor en mouvement, lorsque la vitesse périphérique du rotor est importante ce frottement est source de pertes non négligeables à la surface du rotor, d'autant plus que la pression dans l'entrefer est élevée.

II.1.2.3.2- Les pertes par ventilation

Elles représentent la puissance consommée par les moteurs d'actionnement des ventilateurs ou des pompes qui assurent la circulation du fluide dans le système de refroidissement. Cette puissance est proportionnelle au débit Q du fluide, c'est à dire à sa quantité passant par le système de refroidissement par unité de temps et à la pression H développée par le ventilateur ou par de la pompe. Cette puissance ce est d'autant plus grand que le rendement η_v du ventilateur ou de pompe est plus faible.

Les pertes de puissance par ventilation sont déterminées lors du calcul hydraulique ou thermique de la machine. Elles sont d'autant plus faibles que le système hydrodynamique de refroidissement est plus perfectionné et le choix du fluide de refroidissement est plus approprié. Sa valeur est plus petite pour les fluides liquides que pour les fluides gazeux, [5].

II.2- Bilan énergétique



(Fig.II.1) Flux de puissance active dans la machine asynchrone

P_j : Pertes joule dans les circuits traversés par des courants électrique;

P_{fer} : Pertes dans le fer dû à la variation des champs;

$P_{méc}$: Pertes mécaniques par frottements et ventilation.

Les pertes correspondant aux courants et au flux à fréquence fondamentale, sont appelées pertes normales, par contre, celles correspondant aux flux de fuite, même à la fréquence harmoniques, sont appelées pertes supplémentaires, [6].

CONCLUSION

L'étude faite dans ce chapitre permet la connaissance de différentes pertes existantes dans la machine asynchrone, permis ces derniers on peut citer

- Pertes électriques;
- Pertes magnétiques;
- Pertes mécaniques.

Sans oublier qu'on a présenté les méthodes d'évaluation du rendement d'une machine asynchrone.

CHAPITRE III :

LES ALGORITHMES GENETIQUES

INTRODUCTION

Malgré l'évolution permanente des calculateurs et les progrès fulgurants de l'informatique, il existe pour plusieurs problèmes d'optimisation une taille critique de l'espace de solutions admissibles. La méthode permettant d'obtenir une solution optimale est bien évidemment celle de l'énumération complète de l'espace de recherche. Cette dernière est dans la plupart des cas prohibitive. Compte tenu de ces difficultés, certains chercheurs, il y a environ une trentaine d'années, se sont interrogés pour savoir comment faire mieux : il est apparu plusieurs similarités entre le monde biologique et le monde informatique. De ce fait, l'approche évolutive fût utilisée. En particulier, les algorithmes génétiques vu qu'ils présentent des qualités intéressantes pour la résolution de divers problèmes. Ils sont basés sur la théorie de l'évolution des espèces dans leur milieu naturel, soit une transposition artificielle des concepts basiques de la génétique et des lois de survie énoncées par Charles Darwin : les individus les plus adaptés survivent et se reproduisent. Selon Darwin, les mécanismes à l'origine de l'évolution naturelle des êtres vivants reposent sur la compétition qui sélectionne les individus les plus adaptés à l'environnement actuel au détriment des autres. L'hypothèse de la théorie de Darwin compte tenu des connaissances actuelles de la génétique, montre que ces mécanismes ne sont pas toujours justifiés. Ces mêmes mécanismes seront utilisés dans l'implémentation de l'algorithme génétique, [9].

L'application des algorithmes génétiques aux problèmes d'optimisation a été formalisée par Goldberg en 1989. Ensuite ils se sont vite imposés (comme méthodes d'optimisation globale), en permettant l'optimisation des problèmes très variés. Particulièrement, ces méthodes permettent de traiter des problèmes dont la taille est considérable, ou encore des problèmes non décrits de manière explicite. Leur vaste champ d'action, leur implantation généralement aisée sont certainement à l'origine de leur succès. Ce chapitre présente donc, cette méthode d'optimisation stochastique, qui sera utilisée dans la suite pour le problème de l'amélioration de rendement. Cette présentation nous semble nécessaire du fait de la relative nouveauté des algorithmes génétiques. Elle se veut générale et sans lien immédiat avec le problème de minimisation des pertes, [9].

III.1- DEFINITION DES L'ALGORITHMES GENETIQUES

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes évolutionnistes d'optimisation qui recherchent le ou les extrêmes d'une fonction définie sur un intervalle de donnés. Fondés sur la théorie de l'évolution de Darwin et sur les lois de la génétique vue précédemment. Ces

algorithmes fonctionnent (évoluent) de la façon dont peut évoluer une population en passant par les mêmes étapes : sélection, croisement et mutation, [10].

III.2- TERMINOLOGIE ET ELEMENTS DE BASE

Un algorithme génétique recherche les extrêmes d'une fonction définie sur un espace de données appelé *population*. Par analogie avec la génétique, chaque individu de cette population est un *chromosome* et chaque *caractéristique* de l'individu est un *gène*. Dans un cas simple, un gène sera représenté par un bit (0 ou 1), un chromosome par une chaîne de bits. Chaque gène représente une partie élémentaire du problème, il peut être assimilé à une variable et peut prendre des valeurs différentes appelées *allèles*. La position du gène dans le chromosome se nomme *locus*.

On parle également de *génotype* et de *phénotype*. Le *génotype* représente l'ensemble des valeurs des gènes du chromosome alors que le *phénotype* représente la solution réelle après transformation du chromosome. Lors de la génération d'une nouvelle population, des opérateurs génétiques tels que la sélection, le croisement et la mutation sont nécessaires pour la manipulation des chromosomes, [9].

Le «*Tableau.III.1*» présente une récapitulation de la terminologie naturelle et celle utilisée par les algorithmes génétiques.

nature	Algorithme génétique
Chromosome	Chaîne
Gène	Trait, caractéristique
Allèle	Valeur de la caractéristique
Locus	Position dans la chaîne
Génotype	Structure Ensemble des valeurs des gènes
Phénotype	Ensemble de paramètres, structure décodée Evaluation d'un génotype

Tableau III .1: Comparaison de la terminologie naturelle et celle des algorithmes génétiques

Les AGs utilisent donc un vocabulaire similaire à celui de la génétique. On parlera ainsi d'individus ou chromosomes dans une population. Chaque individu ou chromosome est constitué d'un ensemble d'éléments appelés gènes contenant les caractères héréditaires de l'individu. Ils utilisent un mécanisme de sélection naturelle, basée essentiellement sur la reproduction et sur le codage génétique qui stocke les informations décrivant l'individu sous forme de gènes imitant les systèmes naturels de l'évolution des espèces, [9].

III.3- CONCEPTION D'UN ALGORITHME GENETIQUE

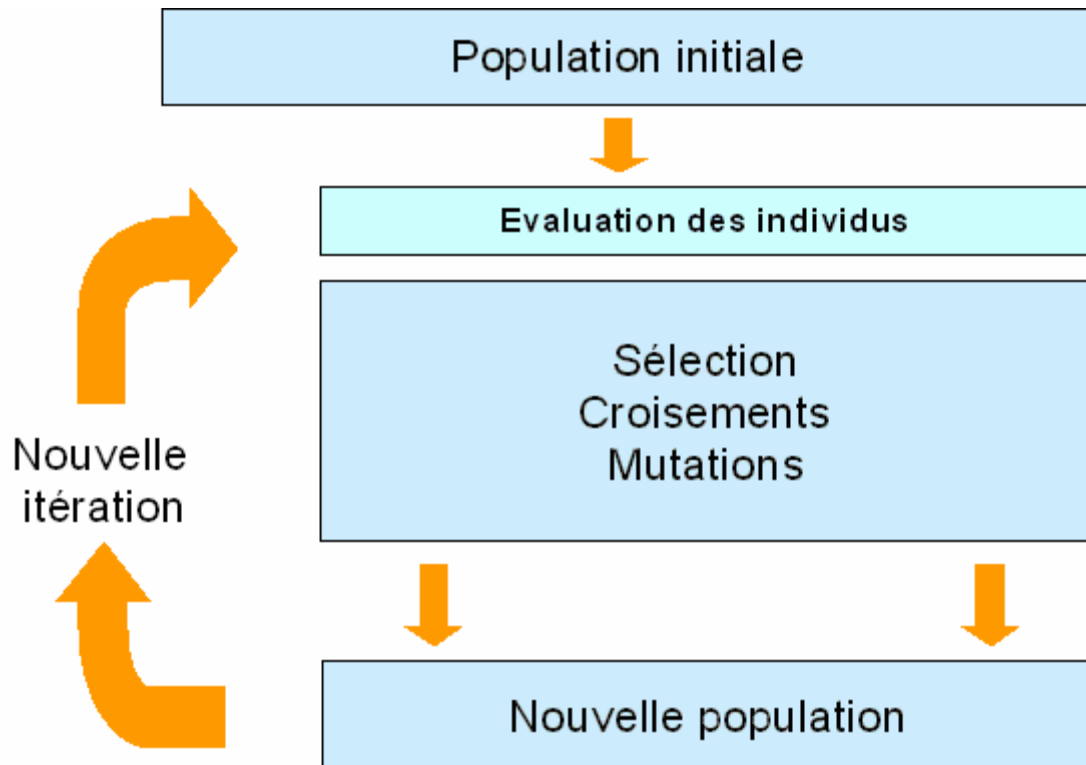
La simplicité de mise en oeuvre et l'efficacité constituent deux des caractéristiques les plus attrayantes de l'approche proposée par les AGs. La mise en oeuvre d'un algorithme génétique sollicite la disponibilité:

- d'une **représentation génétique** du problème, c'est-à-dire un codage approprié des solutions sous la forme de chromosomes. Cette étape associe à chacun des points de l'espace de recherche une structure de données. Elle se place généralement après une phase de modélisation mathématique du problème traité. La qualité du codage des données conditionne le succès des algorithmes génétiques
- d'un **mécanisme de génération** de la population initiale, Ce mécanisme doit être capable de produire une population non homogène qui servira de base pour les générations futures. Le choix de la population initiale est important car il peut prendre plus ou moins rapidement la convergence vers l'optimum global. Dans le cas où l'on ne connaît rien sur le problème à résoudre, il est essentiel que la population initiale soit répartie sur tout le domaine de recherche ;
- d'une **fonction d'évaluation** pour mesurer la force de chaque chromosome ;
- d'un **mode de sélection** des chromosomes à reproduire ;
- des **opérateurs** permettant de diversifier la population au cours des générations et d'explorer l'espace de recherche. L'opérateur de croisement recompose les gènes d'individus existant dans la population, l'opérateur de mutation a pour but de garantir l'exploration de l'espace de recherche ;
- des **valeurs** pour les **paramètres** qu'utilise l'algorithme : taille de la population, nombre total de générations ou critère d'arrêt, probabilités de croisement et de mutation, [9].

III.4- FONCTIONNEMENT DE L'ALGORITHME GENETIQUE

Un algorithme génétique fonctionne typiquement à travers un cycle simple de quatre étapes

1. création d'une population de chromosomes ;
2. évaluation de chaque chromosome ;
3. sélection des meilleurs chromosomes ;
4. manipulation génétique, pour créer une nouvelle population de chromosomes.



(Fig. III.1) Cycle génétique.

Le cycle décrit par la (Fig.III.1) est inspiré par la terminologie génétique. Lors de chaque cycle, une nouvelle génération de solutions du problème est obtenue. Initialement, une population initiale est générée où chaque individu u-solution de la population est codé sous forme d'une chaîne de caractères (chromosomes). Ensuite, une évaluation de chaque chromosome sera établie. Cette évaluation consiste à évaluer la qualité des chromosomes à l'aide de la fonction d'évaluation (ou fitness). Ce qui permet de sélectionner les chromosomes les plus adaptés et par conséquent leur appliquer les opérateurs génétiques (croisement et mutation) ce qui crée une nouvelle génération. A la fin du cycle, une nouvelle population est

acquise ouvrant ainsi la voie pour une nouvelle génération et par conséquent un nouveau cycle, [9].

III.5- LES DIFFERENTS OPERATEURS DE L'ALGORITHME GENETIQUE

III.5.1- Le codage

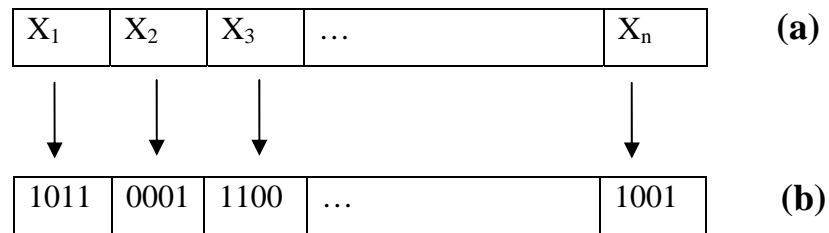
Dans l'algorithme génétique de base, tel qu'il a été fondé par Holland, les gènes sont formés de **1** et **0**. Dans ce cas, chaque valeur réelle X_n (paramètres à optimiser) est codée par son équivalent en binaire et l'individu obtenu est représenté par une chaîne codée de plusieurs gènes représentant une solution particulière pour la fonction objective (*Fig.III.2. b*).

De nouvelles versions d'algorithme génétique sont apparues. Elles ne se basent plus sur le codage binaire mais elles travaillent directement sur les paramètres réels. Ces versions, appelées l'algorithme génétique codé réel, offrent d'une part l'avantage d'accélérer la recherche et d'autre part de rendre plus facile le couplage avec d'autres méthodes d'optimisation. Ce codage est de plus en plus répandu.

A chaque itération, appelée génération, est générée une nouvelle population avec, toujours, le même nombre d'individus au total ($n=N$). Cette population est mieux adaptée à l'environnement tel qu'il est représenté par la fonction objective et les critères de l'optimisation (maximisation, minimisation, ...) plus on progresse dans les générations plus les individus vont devoir tendre vers l'optimum de la fonction objective.

Le passage d'une génération à l'autre s'effectue en trois étapes, évaluation puis sélection et enfin reproduction avec des opérateurs de *croisement* et *mutation*.

Ces différentes étapes vont permettre, à la fin de la procédure, de trouver la combinaison optimale de gènes constituant l'individu le mieux adapté, [12].



(Fig. III.2) Représentation d'un individu; codage réel (a),
Codage binaire (b)

III.5.2- Génération de la population initiale

La rapidité de l'algorithme est fortement dépendante du choix de la population initiale d'individus. Si la position de l'optimum dans l'espace d'état est totalement inconnue, il est naturel et plus simple de générer aléatoirement des individus en faisant des tirages uniformes dans l'espace d'état en veillant à ce que les individus produits respectent les contraintes. Si par contre, des informations à priori sur le problème sont disponibles, les individus sont générés dans un sous-domaine particulier afin d'accélérer la convergence, [13].

III.5.2.1- Taille d'une population

La taille de la population est l'un des paramètres les plus importants d'un algorithme génétique. Trop grande, la population ralentit le processus d'optimisation, trop petite, la population n'emploie pas pertinemment les opérateurs génétiques. Elle affecte sérieusement les propriétés de convergence d'un algorithme stochastique. De plus, il a été démontré que la taille de la population et le codage des variables en chromosomes affectent de manière significative l'efficacité des algorithmes génétiques. D'une façon générale, on utilise une taille de la population de 5 à 10 fois le nombre de variables à optimiser, [11].

III.5.3- Evaluation (fitness)

L'évaluation consiste à calculer la force de chaque chromosome de la population afin que les plus forts soient retenus (étape de sélection). Un algorithme génétique tend donc à maximiser la force des individus de la population, Aucune condition particulière n'est requise pour la fonction objective, il suffit simplement que cette fonction retourne des valeurs numériques comparables. Auxquelles dépend la performance de l'algorithme génétique,

clairement, le choix de la fonction d'évaluation va fortement influencer sur le succès de l'algorithme génétique, [12].

III.5.4- Sélection

Cet opérateur détermine la capacité de chaque individu à persister dans la population et à se diffuser. En règle générale, la probabilité de survie d'un individu sera directement liée à sa performance relative au sein de la population. Cela traduit bien l'idée de la sélection naturelle : les gènes les plus performants ont tendance à se diffuser dans la population tandis que ceux qui ont une performance relative plus faible ont tendance à disparaître. Donc, après avoir réalisé l'évaluation d'une génération, la population à un instant t , on opère une sélection à partir de la fonction d'adaptation. La sélection permet d'identifier statistiquement les meilleurs individus d'une population et d'éliminer les mauvais. Il existe plusieurs méthodes de sélection, parmi lesquelles on trouve, [13].

III.5.4.1- Sélection par roulette biaisée (Sélection sur la fitness)

La méthode RWS (Roulette Wheel Sélection) consiste à associer à chaque individu de la population un segment dans la roulette. La largeur de ce segment est proportionnelle à sa fitness ou, plus précisément, à une probabilité d'être sélectionné proportionnelle à sa fitness.

Donc à chaque individu X est associé une probabilité $P_s(X)$ tel que
$$P_s(X) = \frac{F(X_i)}{\sum_{k=1}^n F(X_k)}$$

(Où : $X \in P$). La sélection d'un individu revient à choisir aléatoirement un point du segment avec une distribution de probabilité uniforme. Avec ce système, les grands segments, c'est à dire les bons individus, seront plus souvent adressés que les petits. Une certaine diversité est cependant maintenue, car même les individus les moins performants conservent une chance d'être choisis, [13].

III.5.4.2- Sélection par tournoi

La sélection par tournoi consiste à choisir aléatoirement un certain nombre d'individus, et à sélectionner pour la reproduction celui qui a la plus grande adaptation. Cette étape est répétée est autant de fois qu'il y a d'individus à remplacer dans la génération. Les individus qui participent à un tournoi restent dans la population et sont de nouveau disponibles pour les tournois ultérieurs, [13].

III.5.4.3- Sélection par élitisme

Du fait que le caractère aléatoire de la sélection ne garantit pas que le meilleur individu soit conservé, la méthode de sélection par élitisme surpasse cet inconvénient en recopiant automatiquement le meilleur individu de chaque génération directement dans la génération suivante. Le modèle élitiste, en fait, n'est pas une méthode de sélection en soi, mais plutôt une variante qu'on ajoute à d'autres méthodes, [13].

III.5.4.4- Sélection par troncature

Dans cette méthode, la sélection n'est pas laissée au hasard. Les individus sont triés selon leur fonction d'adaptation, ensuite sont choisis les premiers individus de la génération pour générer la suivante. Cela revient en quelque sorte à généraliser le modèle élitiste à tout le processus de sélection. Le problème avec cette méthode est qu'on ne peut pas maintenir une diversité génétique suffisante dans la population, [13].

III.5.5 Le croisement

Le croisement en anglais crossover consiste à produire des individus à partir de la population initiale. Il a commencé juste après l'étape de sélection, les individus survivants sont répartis en couple aléatoirement. Chaque couple est ensuite passé à l'opérateur de croisement, [12].

L'opérateur de croisement prend en entrée deux individus « parents(X1, X2) » et donne, en sortie, deux individus « enfants (E1, E2) » qui reprennent des caractéristiques de leurs deux « parents ». Son action exacte est déterminée par des paramètres aléatoires. Ce croisement permet le « brassage génétique », afin d'essayer de concentrer dans le même individu les plus intéressantes.

Nous avons trois types de croisement standard :

- Le croisement à un point;
- Le croisement multipoints;
- Le croisement uniforme.

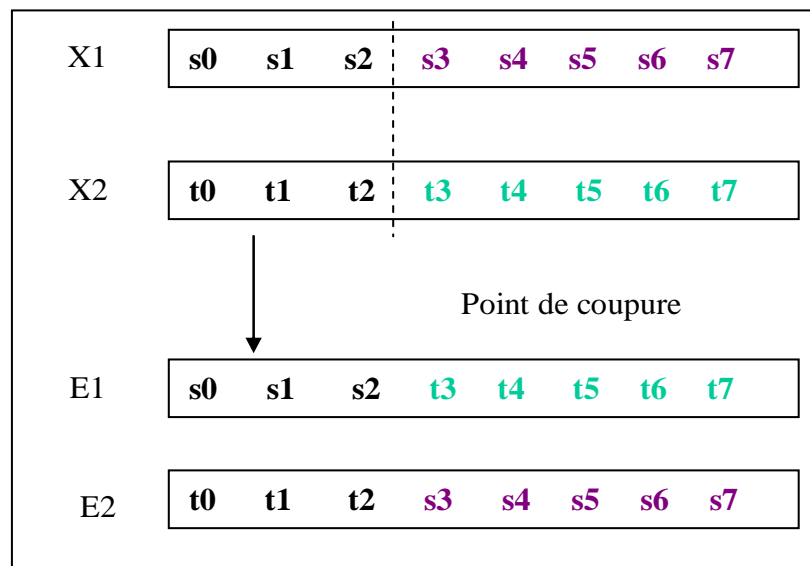
III.5.5.1 Croisement à un point:

Le croisement à un point est le croisement le plus simple. Pour effectuer ce type de croisement, on sélectionne aléatoirement un point de coupure k qui soit compris entre 1 et $L-1$ (L est la longueur du chromosome) puis on subdivise le génotype de chacun des parents en

deux parties de part et d'autre part de ce point. On échange ensuite les deux sous-chaînes Terminales de chacun des deux chromosomes, ce qui produit deux enfants, [13].

$$E1(i) = \begin{cases} X1(i) & \text{si } i \text{ appartient à } [1, k] \\ X2(i) & \text{si } i \text{ appartient à } [k+1, L] \end{cases}$$

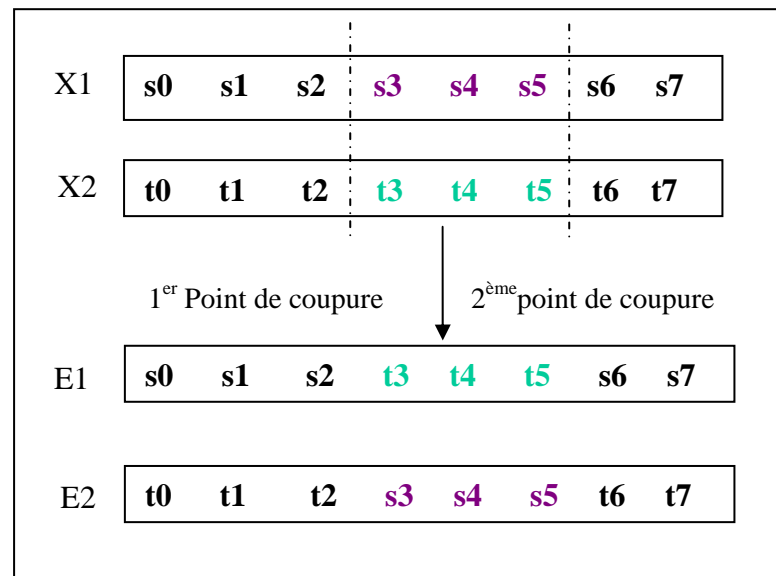
$$E2(i) = \begin{cases} X2(i) & \text{si } i \text{ appartient à } [1, k] \\ X1(i) & \text{si } i \text{ appartient à } [k+1, L] \end{cases}$$



(Fig.III.3) Opérateur de croisement à un seul point de coupure

III.5.5.2- Croisement multipoints

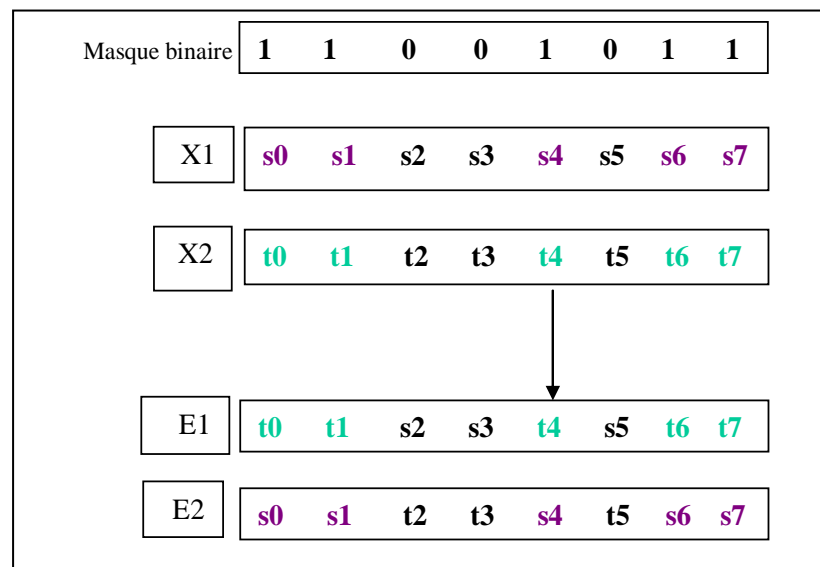
Ce type de croisement peut être vu comme une généralisation du croisement à un point, en découpant le chromosome non pas en 2 sous-chaînes mais en k sous-chaînes.



(Fig. III.4) Opérateur de croisement à deux points de coupure

III.5.5.3- Croisement uniforme

Le croisement uniforme peut être vu comme un croisement multi-points dont le nombre de coupures est indéterminé a priori. Pratiquement on utilise un "masque de croisement", engendré aléatoirement pour chaque couple d'individus, qui est un mot binaire de même longueur que les chromosomes. Un "0" à la $n^{\text{ième}}$ position du masque laisse inchangé les symboles à la $n^{\text{ième}}$ position des deux génotypes, un "1" déclenche un échange des symboles correspondants, [13].

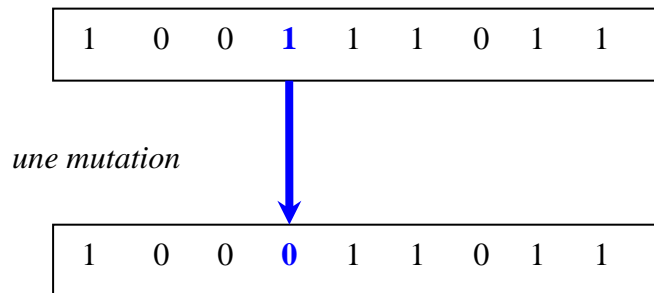


(Fig. III.5) Opérateur de croisement uniforme

III.5.6- La mutation

La mutation veut dire changement ou modification. En biologie, elle signifie la modification des bases de l'ADN.

Dans les algorithmes génétiques elle consiste à échanger la valeur d'un bit sélectionné au hasard (Fig.III.6). Elle assure la diversité de la population par l'exploration de nouveaux points de l'espace, [10].

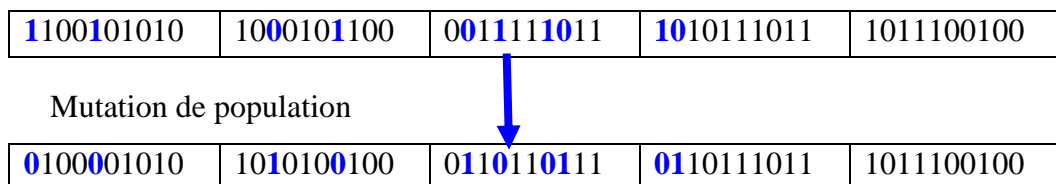


(Fig. III.6) Représentation schématique d'une mutation dans un chromosome.

III.5.6.1- Probabilité de mutation

La probabilité de mutation P_m désigne le nombre de bits à muter k . Une fois se nombre définie, k bits de la population seront choisis au hasard pour être mutés.

Prenons l'exemple d'une population constituée de cinq chromosomes, où chaque chromosome est représenté par une chaîne de dix bits. Le nombre de bits total de la population sera de 50 bits. Pour une probabilité de mutation de 0.2 seul dix bits subiront une mutation. Leur emplacement sera choisi aléatoirement, [10].



(Fig. III.7) Notion de probabilité de mutation.

Contrairement au croisement, la mutation converge lentement vers les meilleures solutions, de ce fait la probabilité de mutation doit être petite et inférieure à la probabilité de croisement.

Cette faible probabilité nous permet d'éviter une convergence prématurée tout en nous permettant d'explorer de nouveaux points.

III.5.7- Critère d'arrêt

Le plus souvent on utilise comme critère d'arrêt un nombre prédéfini de génération. Plus la fonction à optimiser est complexe plus le nombre de générations est élevé, [10].

III.6- Application des AGs aux Fonctions Mathématiques

Dans cette section nous décrivons les caractéristiques fondamentales d'un algorithme génétique au travers d'un exemple. Supposons que nous recherchions le maximum de la fonction :

$$f(x) = \frac{1}{(x-0.3)^2 + 0.1} + \frac{1}{(x-1.5)^2 + 0.2} \quad x \in [0, 2] \quad (\text{III-1})$$

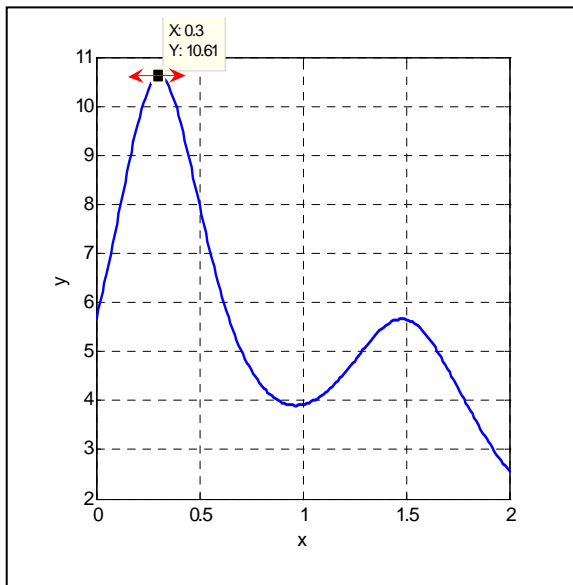
Par un algorithme génétique standard. La (Fig.III.8) montre la représentation graphique de cette fonction.

III.6.1- Représentation binaire

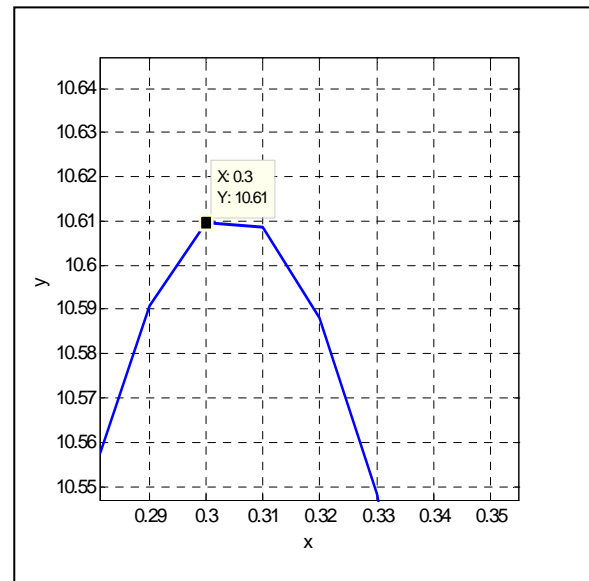
Holland propose de représenter les chromosomes par des chaînes de bits, appelées chaînes binaires. Le parallélisme structurel des représentations binaires rend plus facile l'analyse des caractéristiques des algorithmes génétiques standard, comme le parallélisme implicite, le théorème des schémas et même l'influence des opérateurs de croisement et de mutation

Durant cette étape de codage, on transforme une valeur de la variable x prise dans l'intervalle $[0, 2]$ en une chaîne binaire ou chromosome. Cette transformation est guidée par un critère très important : la précision de la solution à laquelle on souhaite aboutir. Dans notre exemple, si la précision souhaitée est de 0.01, l'intervalle $[0, 2]$ doit être divisé en au moins 200 parties égales. Puisqu'on utilise un codage binaire des solutions, on utilise au minimum 8 bits pour distinguer les 200 valeurs :

$$128 = 2^7 < 200 < 2^8 = 256.$$



(Fig.III.8) fonction dont on cherche le maximum



(Fig.III.9) Zoom : fonction dont on cherche le maximum

Un nombre x sera représenté par un individu décrit par la chaîne binaire $(b_7b_6...b_0)$, Issue d'une transformation simple appliquée à x :

$$x' = \sum_{i=0}^7 b_i \cdot 2^i \cdot \left(\frac{2}{2^8 - 1} \right) \tag{III-2}$$

Dans laquelle x' est le nombre le plus proche de x pouvant être décomposé de cette façon. Par exemple, (01100000)₂ représente le nombre décimal 0.7529, puisque :

$$(01100000)_2 = 2^5 + 2^6 = 96 \quad \text{et} \quad 0.7529 = 96 \cdot \frac{2}{2^8 - 1}$$

III .6.2- Population initiale

Le processus d'initialisation est assez simple. On définit une population initiale d'individus qui correspond à la première génération. Le nombre d'individus, ou taille de la Population N_p est un des paramètres de l'algorithme génétique. La chaîne binaire représentant Chaque individu est constituée de bits initialisés de façon aléatoire. Dans notre exemple, on choisit une taille de population de 10 chromosomes ($N_p = 10$), initialisée au hasard à :

$$C_1^0 = (01100000) \quad C_2^0 = (01011001) \quad C_3^0 = (10111100) \quad C_4^0 = (10010111) \quad C_5^0 = (10100001)$$

$$C_6^0 = (00101111) \quad C_7^0 = (11110100) \quad C_8^0 = (11010100) \quad C_9^0 = (01010011) \quad C_{10}^0 = (01110111)$$

C_i^k : désignant le $i^{\text{ème}}$ individu de la $k^{\text{ème}}$ génération ($k = 0$ pour la population initiale).

III .6.3- Fonction d'évaluation

La fonction d'évaluation joue le rôle de l'environnement où évolue la population. Elle permet d'avantager ou de désavantager un individu vis-à-vis des règles de sélection et de reproduction. Cette fonction, dont la seule variable est la chaîne binaire caractérisant un individu, prend une valeur élevée lorsque ce dernier est performant. Dans notre exemple, la fonction d'évaluation $f_e(C)$, pour une chaîne binaire C est identique à la fonction $f(x)$:

$$f_e(C) = f(x') \quad (\text{III-3})$$

Où C est le chromosome qui est représenté par la chaîne binaire et x' est la valeur qu'on obtient par l'équation (III-2). En appliquant la fonction d'évaluation sur la population initiale obtenue précédemment, nous obtenons les valeurs suivantes :

$$\begin{aligned} f_e(C_1^0 = (01100000)) &= f(x'_1 = 0.7529) = 4.5961 \\ f_e(C_2^0 = (01111001)) &= f(x'_2 = 0.6980) = 5.0555 \\ f_e(C_3^0 = (10111100)) &= f(x'_3 = 1.4745) = 5.6597 \\ f_e(C_4^0 = (10010111)) &= f(x'_4 = 1.1843) = 4.4709 \\ f_e(C_5^0 = (10100001)) &= f(x'_5 = 1.2627) = 4.8757 \\ f_e(C_6^0 = (00101111)) &= f(x'_6 = 0.3686) = 10.2259 \\ f_e(C_7^0 = (11110100)) &= f(x'_7 = 1.9137) = 3.0640 \\ f_e(C_8^0 = (11010100)) &= f(x'_8 = 1.6627) = 4.9263 \\ f_e(C_9^0 = (01010011)) &= f(x'_9 = 0.6510) = 5.5665 \\ f_e(C_{10}^0 = (01110111)) &= f(x'_{10} = 0.9333) = 3.9145 \end{aligned}$$

Dans la population initiale, la fonction d'évaluation est maximale pour l'individu numéro 6. On dit que l'individu caractérisé par le chromosome C_6^0 est le meilleur.

III.6.4- Sélection

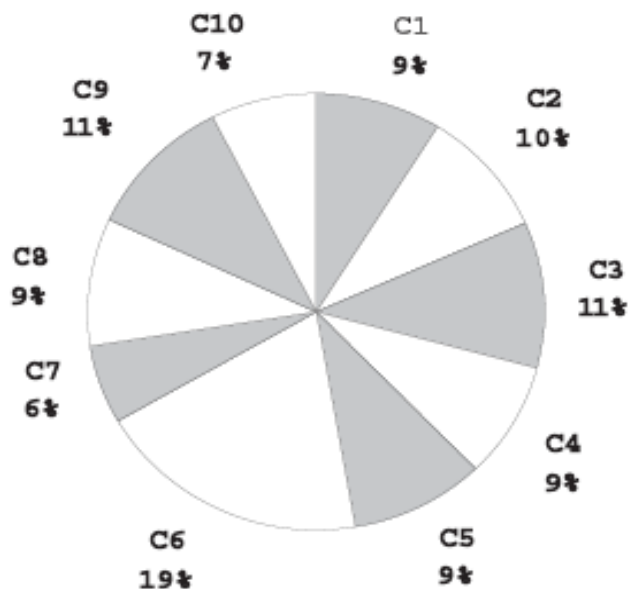
Le rôle de la sélection est de choisir parmi tous les individus d'une population les parents qui assureront la reproduction. Ce choix est réalisé par tirage au sort parmi les individus, en tenant compte d'une probabilité de sélection affectée à chacun d'eux. Un

individu a d'autant plus de chances d'être sélectionné que sa fonction d'évaluation prend une valeur importante. Pratiquement, la probabilité p_i d'évolution d'un individu C_i est définie par :

$$P_i = \frac{f_e(C_i)}{\sum_{j=1}^{Np} f_e(C_j)} \quad (\text{III.4})$$

La méthode souvent utilisée pour sélectionner les individus assurant la reproduction est la roulette de casino. Chaque individu occupe un secteur de la roulette dont l'angle est proportionnel à sa probabilité de sélection, définie par l'équation (III.4). On actionne Np fois la roulette, afin de définir les parents qui assureront la reproduction.

La (Fig.III.10) représente la roulette de sélection obtenue en calculant les probabilités de sélection pour la population initiale définie pour notre exemple. On constate aisément que les individus les plus performants ont plus de chances d'être sélectionnés puisqu'ils occupent une surface plus importante de la roulette. Lors du tirage au sort, certains individus peuvent être retenus plusieurs fois, alors que d'autres sont tenus à l'écart. En cela, cette méthode respecte bien les règles de la sélection naturelle.



(Fig.III.10) Sélection par la méthode de la roulette de casino.

La sélection d'individus parmi la population initiale fournit les parents $C_i^{\prime 0}$ caractérisés par les chromosomes suivants :

$$\begin{array}{ll}
 C_1^{\prime 0} = (C_2^0) = (01011001) & C_2^{\prime 0} = (C_2^0) = (01011001) \\
 C_3^{\prime 0} = (C_3^0) = (10111100) & C_4^{\prime 0} = (C_3^0) = (10111100) \\
 C_5^{\prime 0} = (C_5^0) = (10100001) & C_6^{\prime 0} = (C_5^0) = (10100001) \\
 C_7^{\prime 0} = (C_5^0) = (10100001) & C_8^{\prime 0} = (C_6^0) = (00101111) \\
 C_9^{\prime 0} = (C_9^0) = (01010011) & C_{10}^{\prime 0} = (C_9^0) = (01010011)
 \end{array}$$

On constate dans cet exemple que les individus de la population initiale pour lesquels la fonction d'évaluation est la plus élevée (C_3^0 , C_5^0 , $C_6^{\prime 0}$ et C_9^0) ont été sélectionnés au moins une fois comme parents. Par contre, les individus C_7^0 et C_{10}^0 ont été éliminés.

III .6.5 Reproduction et croisement

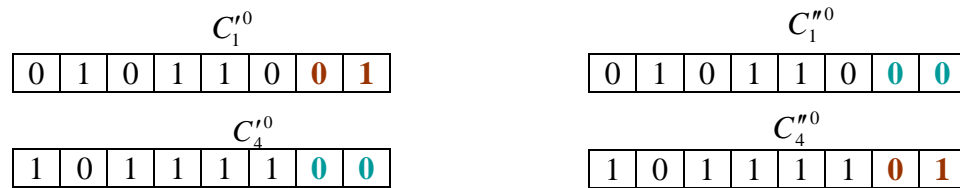
L'étape de sélection a permis de choisir parmi une population les individus les plus aptes à se reproduire. Ensuite, ces individus sont regroupés par paires qui constitueront les parents de la génération suivante. Durant l'étape de reproduction, les chaînes binaires qui caractérisent deux parents sont utilisées pour créer les chaînes binaires qui caractérisent deux enfants

Deux modes de reproduction sont envisageables : soit les enfants sont génétiquement identiques à leurs parents (conservation du matériel génétique), soit les enfants sont créés par un croisement des chromosomes des parents (modification du matériel génétique). L'opération de croisement est essentielle, car elle permet d'obtenir de nouveaux individus, distincts de ceux déjà existants, et donc d'explorer tout un espace de recherche. Dans un algorithme génétique standard, on définit ainsi un deuxième paramètre de fonctionnement: la probabilité de croisement P_c , qui permet de choisir entre une conservation ou une modification des chromosomes la phase de reproduction est menée de la façon suivante sur la population issue de la phase de sélection :

- A.** En fixant la probabilité de croisement à 0.6, un premier tirage au sort désigne les individus $C_1^{\prime 0}$, $C_3^{\prime 0}$, $C_4^{\prime 0}$ et $C_5^{\prime 0}$ comme reproducteurs. Les autres individus seront conservés sans modification.

B. Un deuxième tirage au sort détermine les couples sur lesquels va intervenir le croisement: $(C_1^{\prime 0}$ et $C_4^{\prime 0}$) ainsi que $(C_3^{\prime 0}$ et $C_5^{\prime 0}$) sont regroupés.

C. Pour chaque paire de parents, un tirage au sort détermine le point de croisement. Par exemple, pour la paire $(C_1^{\prime 0}$ et $C_4^{\prime 0}$), le croisement s'effectue en position 6, la (Fig. III.11) montre le résultat du croisement pour cette paire de chromosomes. Après l'opération de reproduction, la population totale, constituée des individus



(Fig. III.11) Croisement des parents $C_1^{\prime 0}$ et $C_4^{\prime 0}$

III. 6.6 Mutation

En biologie, une mutation est une modification spontanée d'un chromosome qui n'est pas issue d'une opération normale de reproduction ou de croisement. Il est assez difficile de cerner l'effet d'une mutation dans le cas des organismes vivants. Cependant, pour certains biologistes, c'est un point clé de l'évolution, qui évite à une population de stagner lorsque tous ses individus sont devenus génétiquement identiques.

Dans les algorithmes génétiques, le processus de sélection peut parfois faire disparaître complètement certains gènes. Par exemple, suite à une phase de sélection, il peut arriver que tous les chromosomes contiennent la même sous-chaine binaire dans une position donnée. On constate facilement que cette évolution est irréversible, puisque cette sous-chaine ne peut plus être modifiée par les opérations de sélection et de croisement.

C'est à ce niveau qu'intervient l'opération de mutation. Elle permet de modifier de façon tout à fait aléatoire le chromosome d'un individu. Toutefois, pour ne pas trop perturber l'évolution globale de la population, la probabilité d'apparition d'une mutation doit rester très faible.

Dans les algorithmes génétiques standard, une mutation correspond à une inversion de la valeur d'un bit de la chaîne binaire. Dans notre exemple, si on utilise une probabilité de mutation p_m égale à 0.01, on doit s'attendre à obtenir une inversion d'environ 0,8 bits à chaque génération, puisque la population comporte 10 individus caractérisés par 8 bits. Pour

chaque bit, on tire au sort un nombre compris entre 0 et 1, et on inverse la valeur du bit si ce nombre est inférieur à P_m .

Après la phase de mutation, seul le sixième bit du chromosome C_1'' s'est trouvé inversé, ce qui nous donne la population suivante pour la première génération :

$$C_1^1=(01011100) \quad C_2^1=(01011001) \quad C_3^1=(10100001) \quad C_4^1=(10111101) \quad C_5^1=(10111100) \\ C_6^1=(10100001) \quad C_7^0=(10100001) \quad C_8^1=(00101111) \quad C_9^1=(01010011) \quad C_{10}^1=(01010011)$$

III.6.7 Evolution de la population

Les phases de sélection, reproduction et de mutation ont permis de créer une nouvelle population en partant de la population initiale. La fonction d'évaluation prend les valeurs suivantes pour la nouvelle population :

$$\begin{array}{ll} f_e(C_1^1) = f(0.7216) = 4.8415 & f_e(C_2^1) = f(0.6980) = 5.0555 \\ f_e(C_3^1) = f(1.2627) = 4.8757 & f_e(C_4^1) = f(1.4824) = 5.6598 \\ f_e(C_5^1) = f(1.4745) = 5.6597 & f_e(C_6^1) = f(1.2627) = 4.8757 \\ f_e(C_7^1) = f(1.2627) = 4.8757 & f_e(C_8^1) = f(0.3686) = 10.2259 \\ f_e(C_9^1) = f(0.6510) = 5.5665 & f_e(C_{10}^1) = f(0.6510) = 5.5665 \end{array}$$

On constate que la nouvelle population est globalement plus performante que la population initiale, puisque la somme des valeurs de la fonction d'évaluation est passée de 52.3551 à 57.2024.

Le processus d'évolution se poursuit en réitérant les opérations de sélection, reproduction et mutation, de façon à créer une succession de populations. Dans notre exemple, on obtient la population suivante au bout de 50 générations :

$$C_1^{50} = (00100111) \quad C_2^{50} = (00100111) \quad C_3^{50} = (10100111) \quad C_4^{50} = (00100111) \quad C_5^{50} = (00100111) \\ C_6^{50} = (00100111) \quad C_7^{50} = (00100111) \quad C_8^{50} = (00100111) \quad C_9^{50} = (00100111) \quad C_{10}^{50} = (00100111)$$

Les individus sont caractérisés par les valeurs suivantes de la fonction d'évaluation :

$$\begin{array}{ll} f_e(C_1^{50}) = f(0.3059) = 10.6116 & f_e(C_2^{50}) = f(0.3059) = 10.6116 \\ f_e(C_3^{50}) = f(1.3098) = 5.1272 & f_e(C_4^{50}) = f(0.3059) = 10.6116 \\ f_e(C_5^{50}) = f(0.3059) = 10.6116 & f_e(C_6^{50}) = f(0.3095) = 106116 \\ f_e(C_7^{50}) = f(0.3059) = 10.6116 & f_e(C_8^{50}) = f(0.3059) = 10.6116 \\ f_e(C_9^{50}) = f(0.3059) = 10.6116 & f_e(C_{10}^{50}) = f(0.3059) = 10.6116 \end{array}$$

Dont la somme vaut 100.6315. On constate que sur 10 individus initialement différents, 9 sont devenus identiques. Ils correspondent à une valeur de X égale à 0.3059, qui est l'estimation la plus précise de l'abscisse du maximum de la fonction que l'on peut obtenir en utilisant en codage des chromosomes sur 8 bits.

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons décrit brièvement le principe des algorithmes génétiques, et les différents opérateurs (mécanisme de sélection, croisement et mutation).

A la fin de ce chapitre un exemple est donné pour mieux comprendre le principe des Algorithmes génétique

CHAPITRE VI :

AMELIORATION DU RENDEMENT DE LA M.A.S PAR L'APPLICATION DES AGS

INTRODUCTION

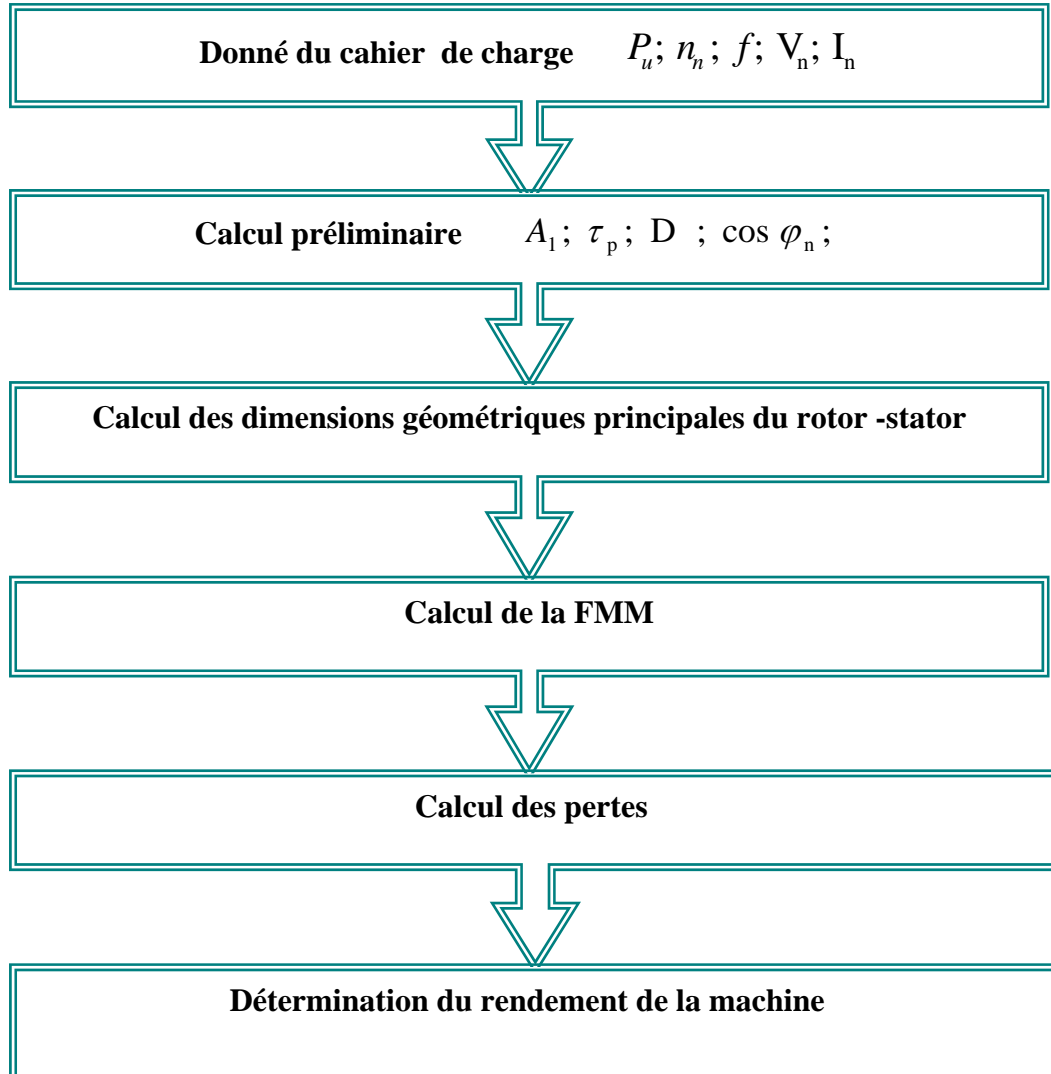
De nos jours, l'amélioration du rendement des moteurs électriques, et son impact sur les économies d'énergie, deviennent un grand défi aux chercheurs et aux fabricants du monde entier. Les moteurs électriques utilisent plus que le demi de l'électricité à consommé ; avec une gamme typique de 40-60%, les limites sont inférieurs ou supérieures selon le développement des pays, [14]. Les moteurs à induction représentent approximativement 90% de la consommation totale des moteurs électriques, comme il a été présenté dans, [15]. Ces données statistiques sur les moteurs électriques garent partout le spectacle mondial.

Le fonctionnement à rendement optimisé est de plus en plus recherché dans les entraînements électriques. Si l'on se contente en général de minimiser les pertes, dans le cas particulier des machines asynchrones.

Dans ce chapitre, une recherche bibliographique en premier lieu sera faite sur les travaux déjà réalisés sur l'amélioration du rendement des moteurs à inductions. En suite en va voir la possibilité d'économie de l'énergie en Algérie par la présentation d'une approche, qu'on l'applique sur les moteurs du type (E.E.I .Azazga), [14].

IV.1- Organigramme de calcul

La procédure de calcul d'une machine électrique est résumée dans l'organigramme suivant:



(Fig. IV .1) Organigramme de calcul pour la conception d'une machine asynchrone.

IV.2- Cahier de charge

Les données du cahier des charges sont principalement les performances de la machine au point de fonctionnement nominal ($P_u, p, f, V_n, I_n, \eta, \cos \varphi, \dots$ etc.).

IV.3- Procédure de calcul

IV.3.1- Calcul préliminaire

L'essentielle dans cette étapes, on faire un petit calcul, mais intéressant pour les étapes Prochaines. On prendre pour base la puissance apparent, la liaison entre les dimensions principales et les contraintes, tant électriques que magnétiques, est donnée par une relation définissent le coefficient d'utilisation de la machine.

Dans l'hypothèse d'un champ sinusoïdal:

$$V \approx E_1 = 4.44 f_1 N_1 K_{w1} \phi \quad (\text{IV-1})$$

La valeur approximative de flux:

$$\phi = \alpha_i \tau_p l_i B_\delta \quad (\text{IV-2})$$

$\alpha_i = \frac{2}{\pi}$: Pour le cas d'un champ sinusoïdal.

N_1 : Nombre de spire de primaire par phase.

K_{w1} : Facteur de bobinage.

ϕ : Flux par pôle.

τ_p : Pas polaire.

l_i : Longueur virtuelle de l'induit.

α_i : Coefficient d'aplatissement.

En exprimant:

$$\tau_p = \frac{\pi D}{2p} \quad \text{et} \quad f_1 = p n_s. \quad (\text{IV-3})$$

D : Diamètre de stator à l'alésage;

p : Nombre de paire de pôles.

La relation de la densité linéaire du courant au périphérique de l'induit, avec un m phases est donné par:

$$A_1 = \frac{2m_1 N_1 I_n}{\pi D} \quad (\text{IV-4})$$

Dans la détermination des dimensions principales des machines à courant alternatif, il est indiqué de prendre pour base la puissance apparente (P_s). La liaison entre les dimensions principales et les contraintes, tant électriques que magnétiques, est donnée par la relation suivant, [15]:

$$\frac{P_s 10^{-3}}{D^2 l_i 60 n_{ss}} = \frac{A_1 B_\delta K_{wl}}{8.610^3} = C \quad (\text{IV-5})$$

Ou:

C : Est appelé facteur d'utilisation de la machine, qui est proportionnel au nombre de paire de pôles

La puissance apparente:

$$P_s = m_1 V_1 I_1 \quad (\text{IV-6})$$

et :

$$P_s = \frac{P_u}{\eta \cos \varphi} \quad (\text{IV-7})$$

L'équation (IV-4) est aussi l'équation fondamentale pour le calcul des dimensions principales de la machine.

Pour calculée le volume $D^2 l_i$, il faut choisit un champ d'induction dans l'entrefer B_δ , et une densité de courant linéaire A_1 ;

Après le calcul de la valeur de $D^2 l_i$ on peut calculer le diamètre D et la longueur virtuelle l_i par l'utilisation de la relation empirique suivante, [16]:

$$\frac{l_i}{\tau_p} = \sqrt[3]{p} = \lambda \quad (\text{IV-8})$$

Le rapport λ est en fonction du nombre de paires de pôles, et avec un intervalle de variation pour le quel les caractéristiques de la machine reste inchangées.

Ainsi que le rendement η et le facteur de puissance $\cos \varphi$ sont tirés d'après des diagrammes tracés à partir des études statistiques faites sur un grand nombre de moteurs (Normes allemandes), [16].

IV.3.1.1- Circuit magnétique

Le calcul du circuit magnétique constitue une partie importante dans la construction des machines électriques. La loi de circulation du champ dans le circuit magnétique constitue la base fondamentale pour ce calcul, soit:

$$\int H dL = \sum F.m.m \quad (IV-9)$$

La différence de potentiel magnétique le long d'une ligne fermée est égale à la somme des forces magnétomotrice ($F. M. M$), [16,19].

Pour simplifier les calculs dans les machines électriques on décompose l'intégrale (IV-9) en une somme de produits et en considère dans un circuit i la valeur du champ magnétique H_i est constante. On peut alors écrire:

$$\int H_i . dL_i = \sum_{i=1}^n H_i L_i = H_1 L_1 + H_2 L_2 + \dots + H_n L_n \quad (IV-10)$$

H : Intensité du champ, (A/m).

L : La largeur de tronçon, (m).

IV.3.2- Calcul de la F.M.M

Le calcul de la $F.M.M$ s'effectue de la manière suivante:

Connaissant la valeur de B_δ et les dimensions du moteur on calcule le flux par pôle ϕ , alors on peut déterminer aisément les valeurs de l'induction B_i et du champ magnétique H_i dans chaque tronçon par conservation du flux :

$$B_i = \frac{\phi_i}{S_i} \quad , \quad H_i = \frac{B_i}{\mu_i} \quad , \quad \mu_i = \mu_0 \mu_{ri} \quad (IV-11)$$

μ_0 : Perméabilité magnétique de l'air.

μ_{ri} : Perméabilité relative du matériau.

Le choix des tôles se fait suivant des critères économiques, et selon leur qualité électromagnétique, afin de réduire les pertes Hystérésis et les pertes par courants de Foucault.

$$H_i L_i = F_i \quad (IV-12)$$

Alors:

$$\sum_{i=1}^n H_i L_i = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n = F \quad (\text{IV-13})$$

IV.3.2.1- F.M.M dans l'entrefer

L'entrefer constitue de premier pas de calcul de la *F.M.M*, puisque l'on considère comme une base de calcul d'induction B_δ ou le flux ϕ_δ dans celui-ci, et le fait que la chute de potentiel dans l'entrefer est la plus importante dans la machine.

La chute de potentiel magnétique dans l'entrefer est proportionnelle au champ magnétique de l'entrefer H_δ et à l'épaisseur de l'entrefer δ :

$$F_\delta = H_\delta \cdot \delta = \delta \cdot \frac{B_\delta}{\mu_0} \quad (\text{IV-14})$$

Tel que :

$$B_\delta = \frac{\phi}{\alpha_i \tau_p l_i} \quad (\text{IV-15})$$

On note que la surface virtuelle traversée par le flux S_δ est dépend de la longueur virtuelle l_i et à l'arc polaire virtuel b_i :

$$S_\delta = b_i l_i \quad (\text{IV-16})$$

b_i : Arc polaire virtuel représentant une fraction du pas polaire τ_p .

La détermination de la valeur de S_δ présente quelque difficulté du fait des interruptions du fer que produisent les encoches le long de l'entrefer. Les canaux radiaux de ventilation et les intervalles entre les pôles ainsi que de l'influence exercée par la saturation des dents sur la répartition de l'induction dans l'entrefer. On not que l'arc polaire b_i est dépend de la forme des pôles et de la saturation du fer, donc de la forme de la courbe d'induction.

$$b_i = \alpha_i \cdot \tau_p \quad (\text{IV-17})$$

Soit :

$$\alpha_i = \frac{B_{\delta eff}}{B_{\delta max}} < 1 \quad (IV-18)$$

α_i : Est appelé coefficient d'aplatissement de la courbe.

Pour un champ sinusoïdale $\alpha_i = \frac{2}{\pi}$, mais dans le cas général la courbe d'induction n'est pas sinusoïdale du fait de la saturation dans le fer. L'augmentation de la saturation engendre une augmentation de coefficient d'aplatissement α_i qui devient supérieur à $\frac{2}{\pi}$.

IV.3.2.2- F.M.M dans les dents

Pour déterminée la F.M.M dans les dents statorique/rotorique, il faut calculer l'intensité moyenne du champ dans les dents, on utilise la règle de **Simpson** qui donne des résultats meilleurs, sachant qu'on subdivise la dent en trois parties, [15] :

$$H_{z.moy} = \frac{1}{6}(H_{z.min} + 4H_{z.med} + H_{z.max}) \quad (IV-19)$$

- ✓ $H_{z.min}$: La valeur du champ minimum dans la dent.
- ✓ $H_{z.med}$: La valeur du champ médian dans la dent.
- ✓ $H_{z.max}$: La valeur du champ maximum dans la dent.
- ✓ $H_{z.moy}$: La valeur du champ moyenne dans la dent.

Alors La valeur de la chute de potentiel magnétique F_z dans la dent est:

$$F_z = h_z \cdot H_{z.moy} \quad (IV-20)$$

h_z : Hauteur de la dent.

IV.3.2.3- F.M.M dans la culasse statorique/rotorique

Pour calculer la chute de tension magnétique dans la culasse, on suppose que le flux est Uniformément réparti dans la section droite de celle-ci. Si l'on considère ϕ_j le flux pénétrant dans la culasse, le flux traversant la section droite est égale à $\phi_j/2$, on peut alors écrire:

$$B_{ji} = \frac{\phi_j}{2.K_{fe}.L_{fe}h_{ji}}.(1 + \sigma_{H1}) \quad (IV-21)$$

B_{ji} : Induction dans la culasse statorique $i = 1$ ou rotorique $i = 2$;

h_{ji} : Epaisseur de la culasse ;

Ligne de parcours moyenne pour les lignes d'induction dans les culasses.

◆ Dans la culasse rotorique

On prend pour la ligne de parcours moyenne:

$$h_{j2} = \frac{D - 2\delta - 2pt - 2d_b}{2} \quad (IV-22)$$

$$l_{j2} = \frac{(d_b + h_{j2}).\pi}{2p} \quad (IV-23)$$

h_{j2} : Epaisseur de la culasse rotorique ;

h_{z2} : Profondeur de l'encoche rotorique ;

pt : Pont rotorique;

l_{j2} : Valeur de parcours moyen du flux dans la culasse rotorique;

d_b : Diamètre de la barre.

◆ Dans la culasse Statorique

$$l_{j1} = \frac{D + 2h_{z1} + h_{j1}}{2p}.\pi \quad (IV-24)$$

$$h_{j1} = \frac{\phi(1 + \sigma_{H1})}{2K_{fe}.L_{fe}.B_{j1}} \quad (IV-25)$$

h_{z1} : Profondeur (ou hauteur) de l'encoche statorique ;

h_{j1} : Epaisseur de la culasse statorique;

B_{j1} : Induction dans la culasse statorique.

La chute de potentiel magnétique dans la culasse rotorique ou statorique serait alors égal à :

$$F = H_{ji}.l_{ji} \quad (IV -26)$$

La valeur de h_{ji} est tirée de la caractéristique magnétique du fer utiliser après avoir calculer B_{ji} .

$$B_{j1} = \frac{\phi_{\delta}}{2.K_{fe}.L_{fe}.h_{j1}}.(1 + \sigma_{H1}) \quad (IV.27)$$

h_{j1} : Epaisseur de la culasse statorique.

B_{j1} : Induction dans la culasse du stator.

$$B_{j2} = \frac{\phi}{2.K_{fe}.L_{fe}.h_{j2}} \quad (IV.28)$$

IV.3.3- Coefficient de saturation de la zone dentaire

Lorsque on trace la courbe ($B = f(Fmm_t)$) pour différentes valeurs de B_{δ} , on remarque que pour des petites valeurs de B_{δ} la chute de tension magnétomotrice dans l'entrefer est prédominante, mais des que B_{δ} dépasse certaine valeur, le rapport de la somme des chutes de tension magnétique, et celle de l'entrefer augmente. Ceci est exprimé par la relation suivante :

$$K_s = \frac{F_{\delta} + F_{z1} + F_{z2}}{F_{\delta}} > 1 \quad (IV.29)$$

On remarque que la valeur de K_s dépend éventuellement de la chute de tension magnétique dans les dents statorique et rotorique F_{z1} et F_{z2} , donc de la saturation du fer dans celle-ci, puisque l'augmentation de K_s signifie une saturation dans les dents. Ce dernier à une grande influence sur les caractéristiques de la machine et comme première approximation est pris entre 1,1 et 1,4. [18].

IV .3.4- Coefficient de forme de la courbe d'induction

Par définition le coefficient de forme K_f représente le rapport de la valeur efficace de l'induction dans l'entrefer $B_{\delta,eff}$ à la valeur moyenne de l'induction dans l'entrefer B_{δ} .

$$K_f = \frac{B_{\delta\text{eff}}}{B_\delta} \geq 1 \quad (\text{IV.30})$$

Le coefficient K_f augmente quand la saturation diminue, celle-ci intervient dans le calcul de la FMM , le coefficient d'aplatissement α_i et le coefficient de forme K_f étant fonction de coefficient de saturation K_s , sont données par une courbe. Ces courbes ont été établies à partir d'études statistiques faites sur un grand nombre de machines asynchrones.

IV.3.5- Facteur de carter (correction de l'entrefer)

Pour tenir compte de la présence d'encoche dans le calcul du pas polaire virtuel b_i , en définie le facteur de carter K_c qui représente le rapport de la valeur d'épaisseur de l'entrefer δ à la valeur d'épaisseur de l'entrefer fictif δ' , [17,19].

Soit :

$$\frac{\delta}{\delta'} = K_c > 1 \quad (\text{IV.31})$$

La relation (4.15) devient:

$$F_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0} \cdot K_c \cdot \delta = \frac{\phi_\delta}{S_\delta \cdot \mu_0} \cdot K_c \cdot \delta \quad (\text{IV.32})$$

Après le calcul des inductions, on déduit les valeurs des champs magnétiques relatifs à chaque tronçon, ce qui nous permet de calculer les chutes de potentiel magnétique :

$$2F_\delta = 2 \cdot K_c \cdot \delta \cdot \frac{B_\delta}{\mu_0} \quad (\text{IV.33})$$

$$2F_{z1} = 2 \cdot H_{z1} \cdot h_{z1} \quad (\text{IV.34})$$

$$2F_{z2} = 2 \cdot H_{z2} \cdot h_{z2} \quad (\text{IV.35})$$

$$F_{j1} = H_{j1} \cdot l_{j1} \quad (\text{IV.36})$$

$$F_{j2} = H_{j2} \cdot l_{j2} \quad (\text{IV.37})$$

Avant de déterminer la chute de potentiel dans les culasse ; il faut calculer la valeur de K_s , et la comparer avec la valeur de K_s celle choisi au préalable. Si ces valeurs sont différentes, on

prend la valeur moyenne et on refait les calculs jusqu'à l'égalité des deux valeurs, ce qui permet d'avoir les trois coefficients: K_s , K_f et α_i .

IV.3.6- Les pertes

Les pertes associées aux différentes formes d'énergie sont comme suit:

- Les pertes par effet Joule ou pertes en cuivre;
- Les pertes par Hystérésis, courants de Foucault et pulsation du flux (pertes dans le fer);
- Les pertes par frottement et ventilation, qui sont très petites par rapport aux autres Pertes;
- Les pertes supplémentaires en cuivre et dans les parties constructives de la machine, généralement sont estimées à 0,5% de la puissance nominale (normes allemandes).

IV.3.6.1- Pertes Joule

Afin de calculer les pertes Joule nous commençons par évaluer la résistance d'une phase en fonction des dimensions des conducteurs utilisés et de la résistivité du cuivre.

a) Pertes joule dans le stator

Le calcul de la résistance statorique est généralement rapporté à la température 75°C. Les pertes par effet Joule dans les enroulements du stator sont :

$$P_{j1} = m_1 R_1 I_1^2 \quad (\text{IV.38})$$

R_1 : Représente la résistance statorique par phase.

I_1 : Courant de phase.

m_1 : Nombre de phases

La machine est triphasée, chaque phase est donc constituée de n_{tc} / m_1 conducteurs (n_{tc} étant le nombre total de conducteur dans le moteur et m_1 le nombre de phases) de section s_{fil} chacun.

La résistance R_1 d'une phase est alors donnée par la formule suivante :

$$R_1 = \rho_{cu}(T_{cv}) \cdot \frac{n_{tc}}{m_1 \cdot s_{fil}} \cdot L_{C0} \quad (\text{IV.39})$$

T_{cv} : la température de cuivre

L_{C0} : La longueur de conducteur.

s_{fil} : La section des conducteur utilisant dans l'enroulement.

ρ_{Cu} : La résistivité de cuivre, elle est dépend de la température de cuivre.

b) Perte joule dans le rotor

Les pertes dans le cuivre pour le secondaire sont:

$$P_{j2} = m_2 R_2 \cdot I_{2bar}^2 = m_2 R_2' I_2'^2 \quad (IV.40)$$

R_2 : La résistance totale d'une phase du secondaire (résistance d'une barre).

R_2' : La résistance totale d'une phase du secondaire ramenée au primaire.

I_2' : Courant de barre ramenée au primaire.

$$R_{ba} = \frac{\rho \cdot L_{bar}}{S_{bar}} \quad (IV.41)$$

L_{bar} : La longueur d'une barre avec une inclinaison égale au pas dentaire statique τ_{z1} , et un dépassement de chaque coté.

On peut calculer la longueur total de la barre par la relation suivante:

$$L_{bar} = \frac{\tau_{z1}}{\sin \alpha} + \hbar \quad (IV.42)$$

\hbar : Le dépassement.

$$\tan g \alpha = \frac{\tau_{z1}}{L_a}, \alpha = \arctg \frac{\tau_{z1}}{L_a} \quad (IV.43)$$

➤ La résistance de l'anneau:

$$R_{an} = \rho \frac{L_{an}}{S_{an}} \quad (IV.44)$$

➤ La longueur de l'anneau est prise d'une manière approximation:

$$L_{an} = (\tau_p) - \left(\frac{d_b}{2} \right) \quad (IV.45)$$

d_b : Diamètre de la barre.

Pour calculer la résistance totale d'une phase du secondaire il faut ramener la résistance de l'anneau au courant de la barre.

- Le facteur de réduction est: $\frac{1}{2 \sin \frac{P}{z_2}}$ Pour le courant.

$$R'_{an} = R_{an} \left(\frac{I_{an}}{I_b} \right)^2 = \frac{R_{an}}{4 \sin \left(\frac{\pi P}{z_2} \right)^2} \quad (\text{IV.46})$$

A chaque barre correspondent deux anneaux, nous aurons:

$$R_2 = R_{bar} + 2R'_{an} \quad (\text{IV.47})$$

IV.3.6.2- Pertes fer

Les pertes dans le fer se composent principalement de pertes Hystérésis et perte par courants de Foucault.

a) pertes d'Hystérésis

Les pertes Hystérésis représentent l'énergie nécessaire à l'aimantation cyclique alternative du fer. Pour améliorer les caractéristiques d'une machine électrique, il est important de choisir un fer qui possède un coefficient de pertes faible, ce qui réduit considérablement ces pertes.

Les pertes Hystérésis sont proportionnelle à:

- L'aire du cycle d'hystérésis.
- Aux nombre de cycles d'aimantation.

L'équation permet de calculer ces pertes est:

$$p_h = \sigma_h \cdot f \cdot \hat{B}^2 \cdot 10^{-2} \quad (\text{IV.48})$$

\hat{B} : Désigne l'induction maximale dans le fer.

σ_h : Constant de matériau utilisé (Coefficient de Hystérésis).

b) Pertes par courant de Foucault

L'aimantation cyclique alternative engendre des courants induit dans le fer, ces courants son appelés courants de Foucault, pour réduit les pertes engendrées par ces courants, on utilise des tôle feuilletées isolées les une des autres, disposées parallèlement aux lignes d'induction.

$$P_w = \sigma_w (S_t f \hat{B})^2 10^2 \quad (\text{IV.49})$$

S_t : Désigne l'épaisseur de la tôle du fer.

f : Fréquence des courant.

σ_w : Constant de fer.

Enfin les pertes dans le fer (Les pertes Hystérésis et de Foucault) sont transformés en chaleur.

La somme des pertes par seconde dans un Kg de fer:

$$P_{h+w} = \sigma_H f \hat{B}^2 10^{-2} + \sigma_w (S_t f \hat{B})^2 10^2 \quad (\text{IV.50})$$

Les constants σ_H , σ_w pour les différents matériaux sont donnés par des tableaux, [9].

IV.3.7- Le rendement

Enfin, pour un point de fonctionnement donné, le rendement du moteur est exprimé de la façon suivante :

$$\eta = \frac{P_u}{P_u + P_j + P_{fer} + P_{ft+vt}} \quad (\text{IV.51})$$

P_j : Pertes par effet de joule statorique et rotorique.

P_{fer} : Pertes fer.

P_u : Puissance utile

P_{ft+vt} : Pertes par ventilation et par frottement.

IV.4- Travail réalisé

L'outil qui permet l'amélioration du rendement des machines asynchrones est les algorithmes, et cela à l'aide d'un programme développé sous environnement Matlab7.

Il s'agit d'un programme principal, et d'un sous programme qui a pour but l'optimisation par ces algorithmes génétiques.

L'application de La fonction fitness (fonction aptitude) qui est la fonction optimiser, pour les algorithmes de l'optimisation standard, c'est connu comme la fonction objective. La boîte à outils essaie de trouver le minimum de la fonction de l'aptitude.

Nous pouvons écrire la fonction de l'aptitude comme un fichier et le passer comme une discussion de l'entrée à la fonction de l'algorithme génétique principale, l'individu est tout

point auquel nous pouvons appliquer la fonction de l'aptitude, la valeur de la fonction de l'aptitude pour un individu est son résultat.

La diversité est essentielle à l'algorithme génétique parce qu'il permet à l'algorithme de chercher une plus grande région de l'espace. La meilleure valeur de la fonction pour une population est la plus petite valeur de l'aptitude pour tout individu dans la population. Cette dernière est une fonction réservée pour le calcul du minimum, puisque notre bute c'est de déterminer le maximum du rendement.

Dans ce travail on a essayé de voir quelle est l'influence des paramètres, de la machine qui améliore le rendement.

Dans une première étape on a pris la section du conducteur dans un certain intervalle bien défini, pour optimiser le rendement, et cela par la minimisation des pertes totale. On refera Le même travail, concernant l'influence des dimensions de la dent statorique, et cela Pour différentes gammes de puissance, et différents nombres de paire de pôle.

IV.4.1- Résultats

Les résultats, obtenus sont regroupés dans des tableaux, et représentés sous formes des courbes. Ces derniers nous permettons de tirer une conclusion sur la technique d'optimisation adoptée.

IV.4.1.1- Tableaux

Les tableaux suivants, représentent les résultats obtenus par le programme pour chaque paramètre sur le rendement de la machine.

a) Influence de la section du conducteur

P_u (KW)	η_{don} (%)	η_{cal} (%) S_{cond} (m ²)	η_{Opt} (%)				
			1	2	3	4	5
1.1	77.00	77.31 5.0929e-7	77.37 5.1236e-7	78.40 5.7455e-7	78.48 5.8008e-7	78.56 5.3105e-7	77.70 5.3105e-7
5.5	85.00	85.09 2.2282e-6	85.54 2.4223e-6	85.66 2.4823e-6	85.59 2.5405e-6	85.96 2.6409e-6	85.77 2.5367e-6
11	87.00	87.75 4.4551e-6	87.86 4.5203e-6	88.21 4.9797e-6	88.35 5.1592e-6	87.93 4.6470e-6	88.47 5.3262e-6
22	90.00	90.11 8.5143e-6	90.51 9.6927e-6	90.30 9.0620e-6	90.50 9.6716e-6	90.46 9.5504e-6	90.35 9.1885e-6
37	92.00	92.09 1.3849e-5	92.36 1.5594e-5	92.41 1.5974e-5	92.43 1.6141e-5	92.47 1.6392e-5	92.32 1.5324e-5
55	94.00	93.58 1.9922e-5	93.80 2.1658e-5	93.71 2.0896e-5	93.76 2.1326e-5	93.78 2.1542e-5	94.00 2.3629e-5
75	94.50	94.39 3.3778e-5	94.68 4.0026e-5	94.49 3.5786e-5	94.56 3.7138e-5	94.56 3.7224e-5	94.44 3.4777e-5
110	95.00	94.11 3.8986e-5	94.42 4.6245e-5	94.30 4.3048e-5	94.40 4.5890e-5	94.32 4.3566e-5	94.35 4.4436e-5
220	95.50	94.69 7.7564e-5	94.95 9.2733e-5	94.88 8.8420e-5	94.82 8.4733e-5	94.77 8.1634e-5	94.78 8.2565e-5

Tableau. IV.1: Résultats pour p=1

P_u (KW)	η_{don} (%)	η_{cal} (%) S_{cond} (m ²)	η_{Opt} (%)				
			1	2	3	4	5
1.1	74.00	74.85 5.5611e-7	75.59 5.9765e-7	75.39 5.8614e-7	75.81 6.1093e-7	76.23 6.3818 e-7	75.51 5.9300 e-7
5.5	84.00	84.38 2.3343 e-6	85.30 2.6774e-6	85.07 2.5820e-6	84.85 2.4996e-6	85.48 2.7572 e-6	85.16 2.6210 e-6
11	88.00	88.09 4.4045e-6	88.47 4.7756e-6	88.89 5.2783e-6	88.86 5.2383e-6	88.61 4.9385 e-6	88.65 4.9791e-6
22	90.50	90.16 8.8753e-6	90.53 9.7805e-6	90.61 1.0012e-6	90.44 9.5531e-6	90.57 9.8959 e-6	90.55 9.8260 e-6
37	92.00	91.89 1.4338e-5	92.07 1.5154e-5	92.00 1.4804e-5	91.92 1.4432e-5	92.21 1.5881 e-5	92.25 1.6091 e-5
55	93.00	92.89 2.0559e-5	93.30 2.4513e-5	93.12 2.2499e-5	93.15 2.2719e-5	93.13 2.2562 e-5	93.30 2.4240 e-5
75	94.00	93.64 2.8114e-5	93.77 2.9801e-5	93.85 3.0911e-5	94.01 3.3374e-5	93.84 3.0792 e-5	93.86 3.1076 e-5
110	94.50	94.12 4.1016e-5	94.48 4.8946e-5	94.37 4.6145e-5	94.39 4.6770e-5	94.42 4.7332 ^e -5	94.28 4.4276 e-5
200	95.00	94.94 7.1681e-5	95.17 8.1176e-5	95.15 8.0017e-5	95.10 7.8150e-5	95.19 8.2103 e-5	95.27 8.5853 e-5

Tableau. IV.2: Résultats pour $p=2$

P_u (KW)	η_{don} (%)	η_{cal} (%) S_{cond} (m ²)	η_{Opt} (%)				
			1	2	3	4	5
1.1	74.00	73.33 6.0060e-7	74.22 6.4764e-7	74.41 6.5872 e-7	73.90 6.3011e-7	75.19 7.0698 e-7	75.31 7.1560 e-7
5.5	84.00	83.00 2.6107 e-6	83.47 2.7597e-6	84.09 2.9857 e-6	83.50 2.7725e -6	83.35 2.7217e-6	84.37 3.1019e -6
11	88.00	87.08 4.8563 e-6	87.37 5.1227e-6	87.65 5.4088 e-6	87.67 5.4229 e-6	87.65 5.4088e-6	87.47 5.2205e -6
22	90.00	89.65 8.9246 e-6	90.04 9.7772e-6	90.14 1.0025 e-5	90.28 1.0393 e-5	90.29 1.0425 e-5	90.24 1.0285 e-5
37	91.50	90.66 1.4416 e-5	91.25 1.7155e-5	91.07 1.6231 e-5	91.10 1.6373 e-5	91.07 1.6231 e-5	91.03 1.6021 e-5
55	93.00	92.04 2.1084 e-5	92.52 2.5071e-5	92.26 2.2504 e-5	92.58 2.5061 e-5	92.52 2.5071 e-5	92.11 2.1505 e-5
75	93.50	92.76 2.8597 e-5	93.08 3.2280e-5	93.03 3.1553 e-5	92.81 2.9140 e-5	93.08 3.2280 e-5	93.20 3.3860 e-5
110	94.50	93.62 4.1498 e-5	94.00 4.9384e-5	93.82 4.5325 e-5	93.74 4.3765e-5	93.82 4.5367 e-5	93.82 4.5367 e-5
200	94.50	93.98 7.3717 e-5	94.29 8.6416e-5	94.14 7.9723 e-5	94.23 8.3556 e-5	94.11 7.8797 e-5	94.30 8.6924 e-5

Tableau. IV.3: Résultats pour p=3

P_u (KW) : Puissance utile;

η_{don} (%) : Rendement donnée;

η_{cal} (%) : Rendement calculé;

η_{Opt} (%) : Rendement optimisé;

S_{cond} (m²) : Section du conducteur.

b) Influence des dimensions de la dent statorique

P_u (KW)	η_{don} (%)	η_{cal} (%) Z1me (m) hz1 (m)	η_{Opt} (%)				
			1	2	3	4	5
1.1	77.00	77.31	77.59	77.39	77.38	77.42	77.38
		0.0041	0.0039	0.0044	0.0038	0.0042	0.0046
		0.0136	0.0045	0.0116	0.0109	0.0104	0.0118
5.5	85.00	85.09	85.40	85.11	85.17	85.12	85.13
		0.0061	0.0070	0.0056	0.0056	0.0056	0.0067
		0.0162	0.0011	0.0155	0.0114	0.0137	0.0145
11	87.00	87.75	88.01	87.78	87.79	87.82	87.80
		0.0065	0.0072	0.0075	0.0069	0.0072	0.0060
		0.0171	0.0015	0.0158	0.0148	0.0135	0.0126
22	90.00	90.11	90.29	90.12	90.13	90.18	90.16
		0.0083	0.0095	0.0087	0.0099	0.0089	0.0091
		0.0168	0.0012	0.0162	0.0153	0.0109	0.0127
37	92.00	92.09	92.13	92.12	92.19	92.11	92.12
		0.0092	0.0090	0.0088	0.0110	0.0105	0.0096
		0.0157	0.0105	0.0112	0.0011	0.0135	0.0121
55	94.00	93.58	93.60	93.60	93.59	93.63	93.61
		0.0096	0.0108	0.0062	0.0097	0.0104	0.0075
		0.0205	0.0171	0.0102	0.0178	0.0083	0.0105
75	94.50	94.39	94.44	94.41	94.43	94.40	94.43
		0.0107	0.0073	0.0092	0.0120	0.0121	0.0126
		0.0207	0.0019	0.0138	0.0100	0.0179	0.0115
110	95.00	94.11	94.16	94.13	94.14	94.13	94.12
		0.0118	0.0110	0.0140	0.0138	0.0112	0.0116
		0.0181	0.0017	0.0158	0.0105	0.0106	0.0149
220	95.50	94.69	94.74	94.69	94.71	94.71	94.70
		0.0153	0.0174	0.0106	0.0172	0.0160	0.0133
		0.0178	0.0012	0.0139	0.0124	0.0123	0.0136

Tableau. IV.4: Résultats pour $p=1$

P_u (KW)	η_{don} (%)	η_{cal} (%) Z1me (m) hz1 (m)	η_{opt} (%)				
			1	2	3	4	5
1.1	74.00	74.85	74.86	74.87	74.88	74.93	75.03
		0.0052	0.0042	0.0056	0.0050	0.0058	0.0057
		0.0156	0.0103	0.0157	0.0134	0.0133	0.0079
5.5	84.00	84.38	84.39	84.47	84.37	84.43	83.92
		0.0079	0.0073	0.0068	0.0058	0.0066	0.0022
		0.0195	0.0160	0.005	0.0173	0.0060	0.0123
11	88.00	88.09	88.16	88.11	88.14	88.10	88.11
		0.0087	0.0102	0.0100	0.0096	0.0092	0.0104
		0.0179	0.0101	0.0181	0.0113	0.0184	0.0179
22	90.50	90.16	90.24	90.16	90.18	90.19	90.16
		0.0109	0.0126	0.0097	0.0126	0.0109	0.0101
		0.0172	0.0050	0.0122	0.0164	0.0132	0.0123
37	92.00	91.89	91.92	91.95	91.93	91.92	91.92
		0.0105	0.0126	0.0154	0.0139	0.0113	0.0117
		0.0199	0.0165	0.0079	0.0135	0.0123	0.0143
55	93.00	92.89	92.91	92.91	92.92	92.91	92.91
		0.0131	0.0146	0.0141	0.0138	0.0141	0.0145
		0.0180	0.0198	0.0173	0.0120	0.0156	0.0186
75	94.00	93.64	93.70	93.66	93.64	93.65	93.61
		0.0148	0.0139	0.0174	0.0129	0.0132	0.0128
		0.0218	0.0018	0.0222	0.0124	0.0128	0.0220
110	94.45	94.12	94.16	94.14	94.10	94.16	94.10
		0.0161	0.0148	0.0175	0.0102	0.0140	0.0123
		0.0181	0.0126	0.0128	0.0123	0.0131	0.0207
200	95.00	94.94	94.96	94.95	94.96	94.96	94.94
		0.0089	0.0069	0.0081	0.0099	0.0058	0.0097
		0.0235	0.0070	0.0181	0.0166	0.0011	0.0241

Tableau. IV.5: Résultats pour $p=2$

Z1me: largeur de la dent statorique;

hz1 : Hauteur de la dent statorique.

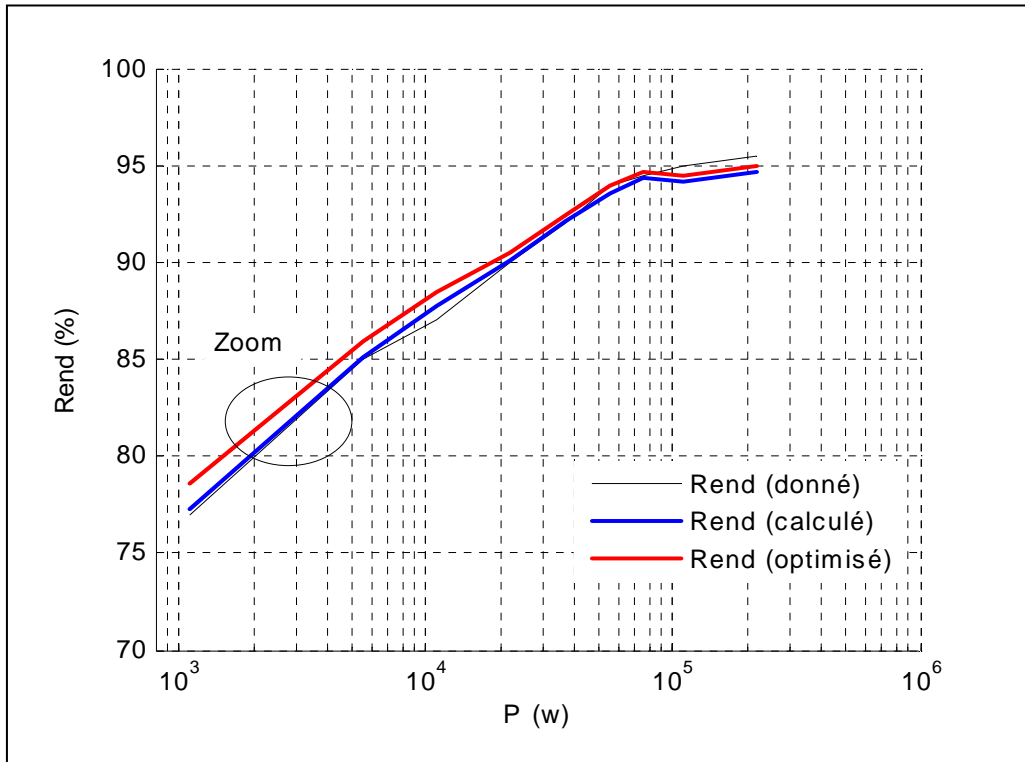
P_u (KW)	η_{don} (%)	η_{cal} (%) Z1me (m) hz1 (m)	η_{Opt} (%)				
			1	2	3	4	5
1.1	74.00	73.33	73.50	73.34	73.37	73.34	73.35
		0.0041	0.0047	0.0044	0.0043	0.0047	0.0041
		0.0180	0.0013	0.0196	0.0188	0.0206	0.0156
5.5	84.00	83.00	83.03	83.04	83.02	83.07	83.04
		0.0063	0.0050	0.0062	0.0066	0.0075	0.0067
		0.0213	0.0081	0.0135	0.0194	0.0114	0.0132
11	88.00	87.08	87.10	87.13	87.11	87.16	87.12
		0.0064	0.0039	0.0076	0.0073	0.0071	0.0068
		0.0207	0.0098	0.0168	0.0197	0.0107	0.0143
22	90.00	89.65	89.67	89.67	89.69	89.68	89.72
		0.0083	0.0097	0.0092	0.0096	0.0089	0.0097
		0.0193	0.0182	0.0179	0.0121	0.0131	0.0119
37	91.50	90.68	90.68	90.72	90.67	90.71	90.67
		0.0068	0.0067	0.0078	0.0072	0.0081	0.0080
		0.0222	0.0025	0.0022	0.0212	0.0055	0.0227
55	93.00	92.04	92.05	92.08	92.04	92.06	92.05
		0.0102	0.0078	0.0118	0.0096	0.0087	0.0071
		0.0225	0.0109	0.0155	0.0202	0.0101	0.0104
75	93.50	92.76	92.80	92.77	92.80	92.79	92.79
		0.0116	0.0137	0.0121	0.0133	0.0135	0.0125
		0.0203	0.0053	0.0165	0.0138	0.0084	0.0094
110	94.50	93.62	93.63	93.66	93.63	93.62	93.62
		0.0066	0.0064	0.0067	0.0072	0.0076	0.0072
		0.0213	0.0142	0.0136	0.0173	0.0229	0.0217
200	94.50	93.98	94.00	94.00	93.99	93.98	94.02
		0.0145	0.0156	0.0126	0.0165	0.0184	0.0154
		0.0228	0.0062	0.0073	0.0173	0.0225	0.0142

Tableau. IV.6: Résultats pour $p=3$

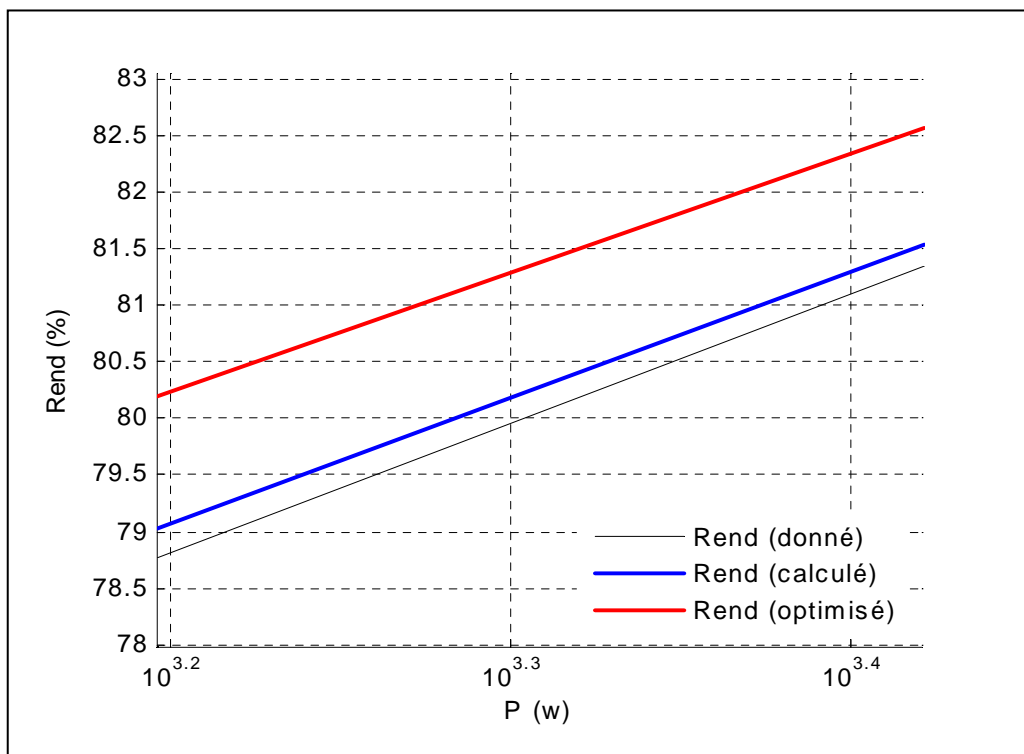
IV.4.1.2- Les courbes

Les courbes suivantes traduisent les résultats des tableaux de chaque paramètre sur le rendement de la machine.

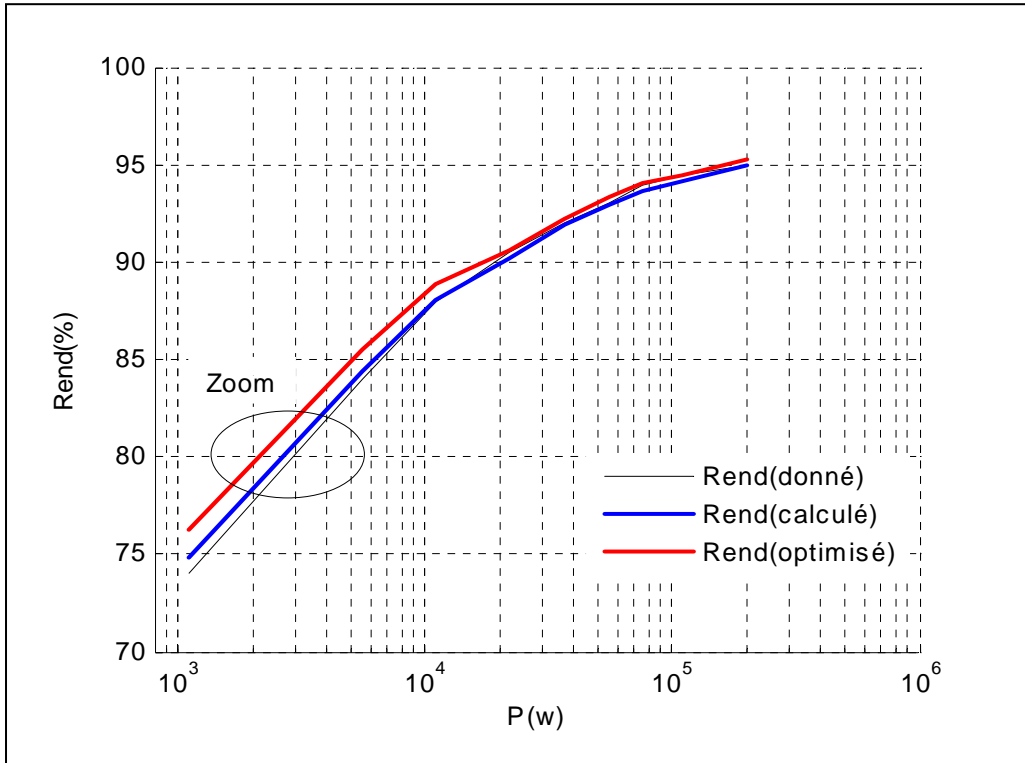
a) Influence de la section du conducteur



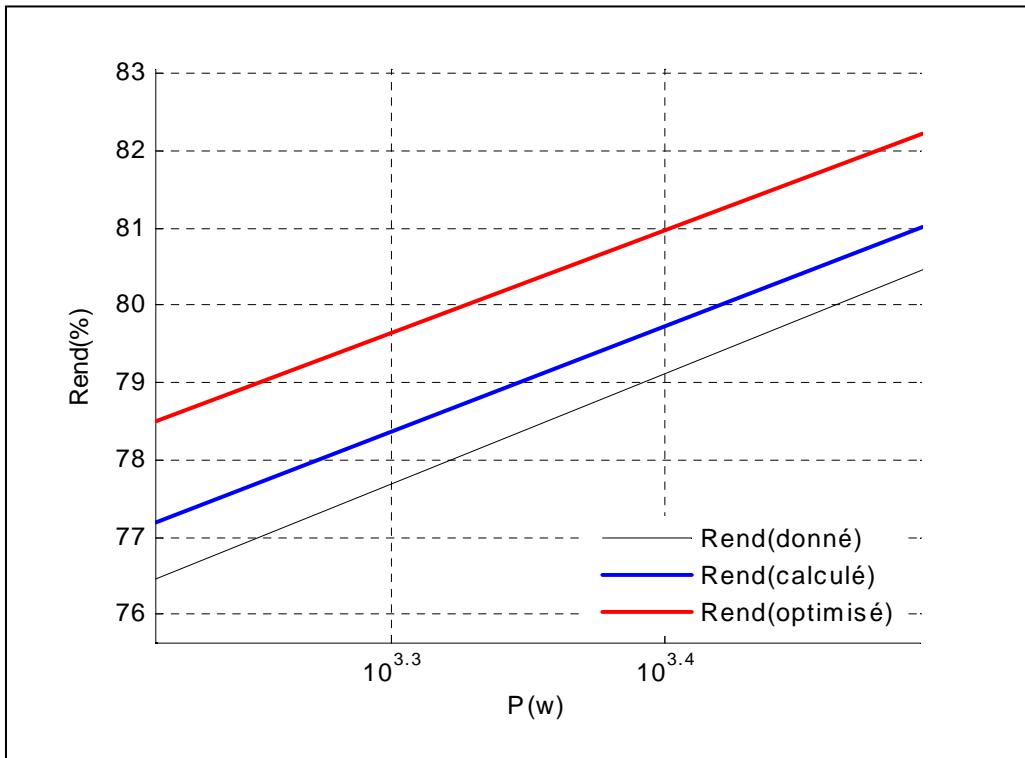
(Fig. IV.2) $\eta = f(P_u)$ pour $p = 1$



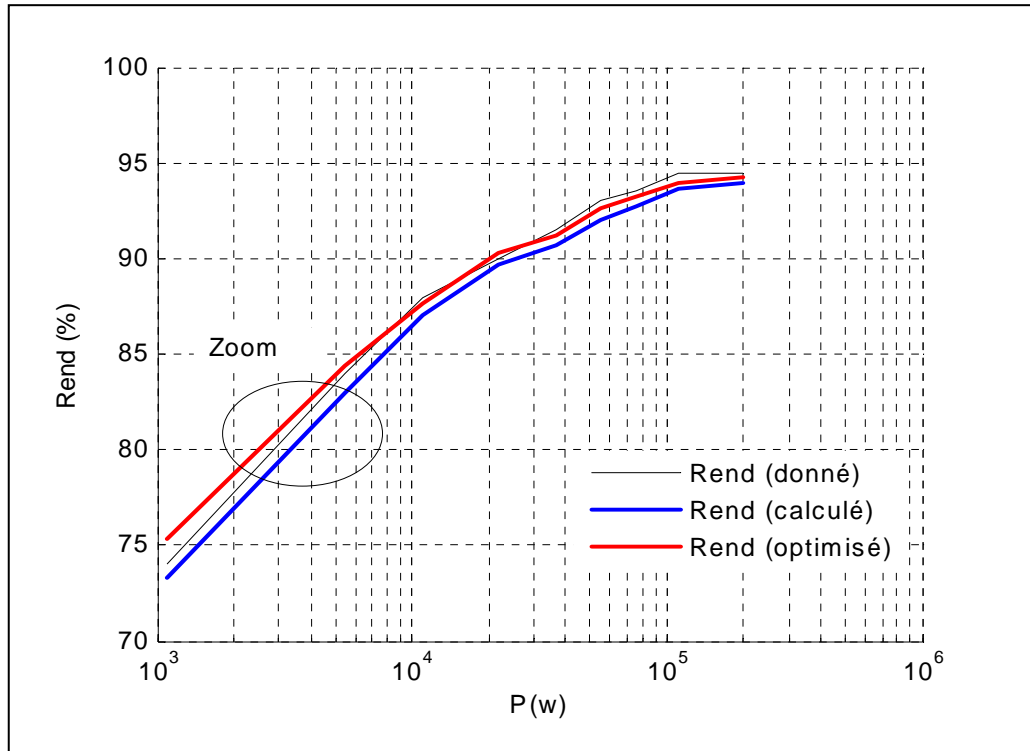
(Fig. IV.3) Zoom $\eta = f(P_u)$ pour $p = 1$



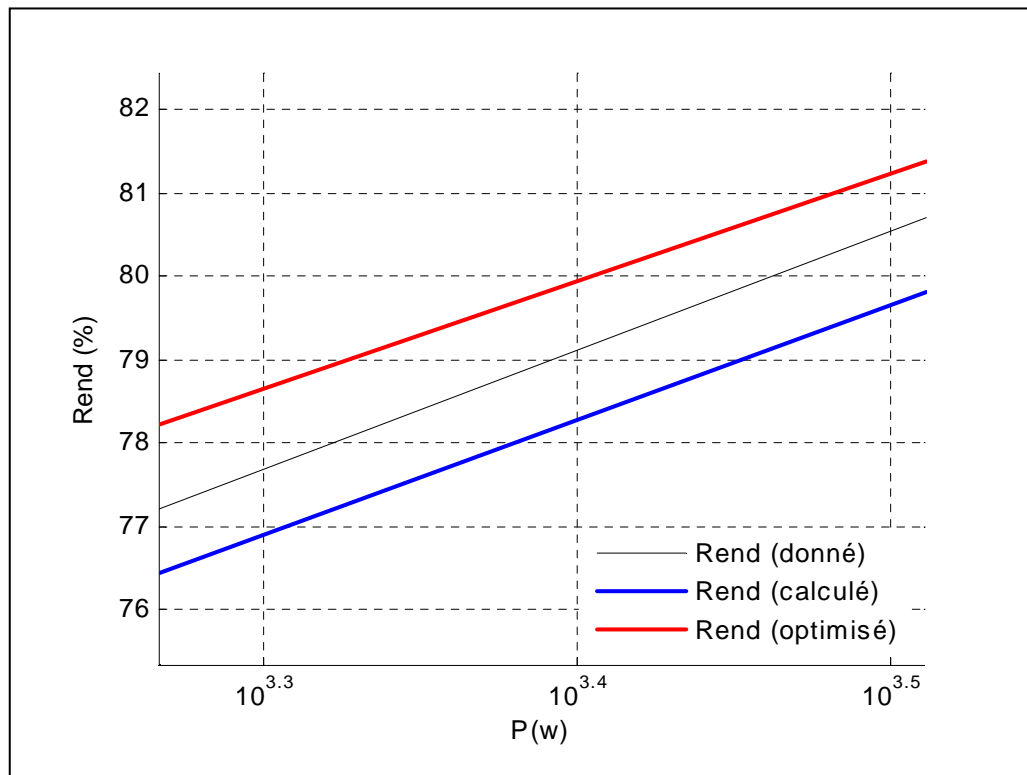
(Fig. IV.4) $\eta = f(P_u)$ pour $p = 2$



(Fig. IV.5) Zoom $\eta = f(P_u)$ pour $p = 2$

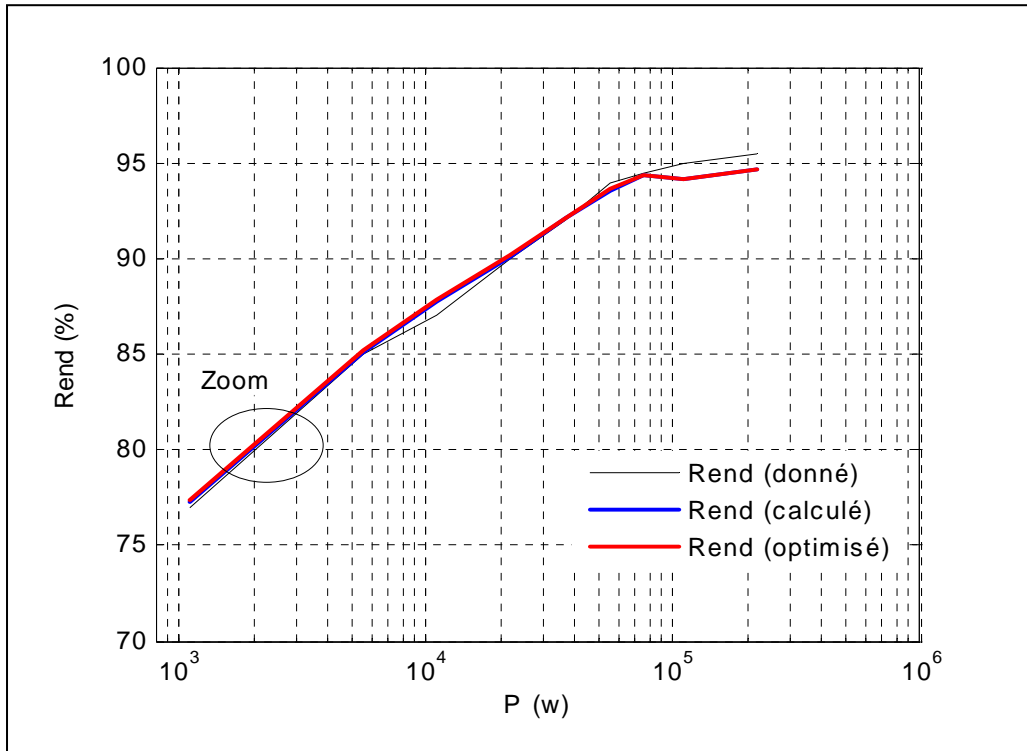


(Fig. IV.6) $\eta = f(P_u)$ pour $p = 3$

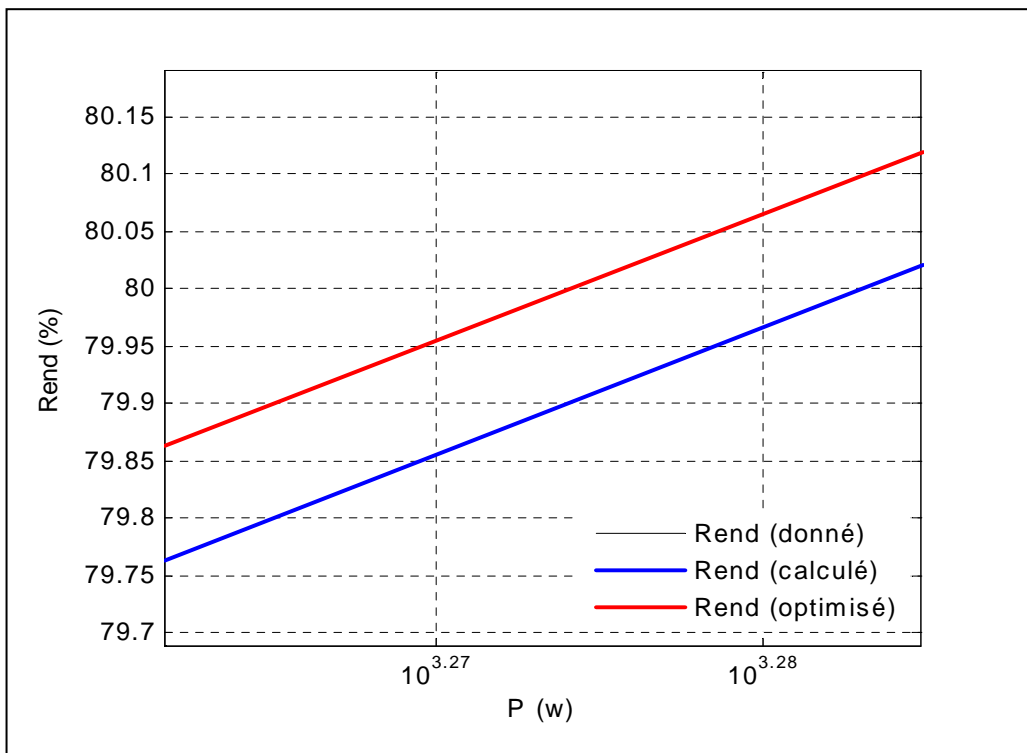


(Fig. IV.7) Zoom $\eta = f(P_u)$ pour $p = 3$

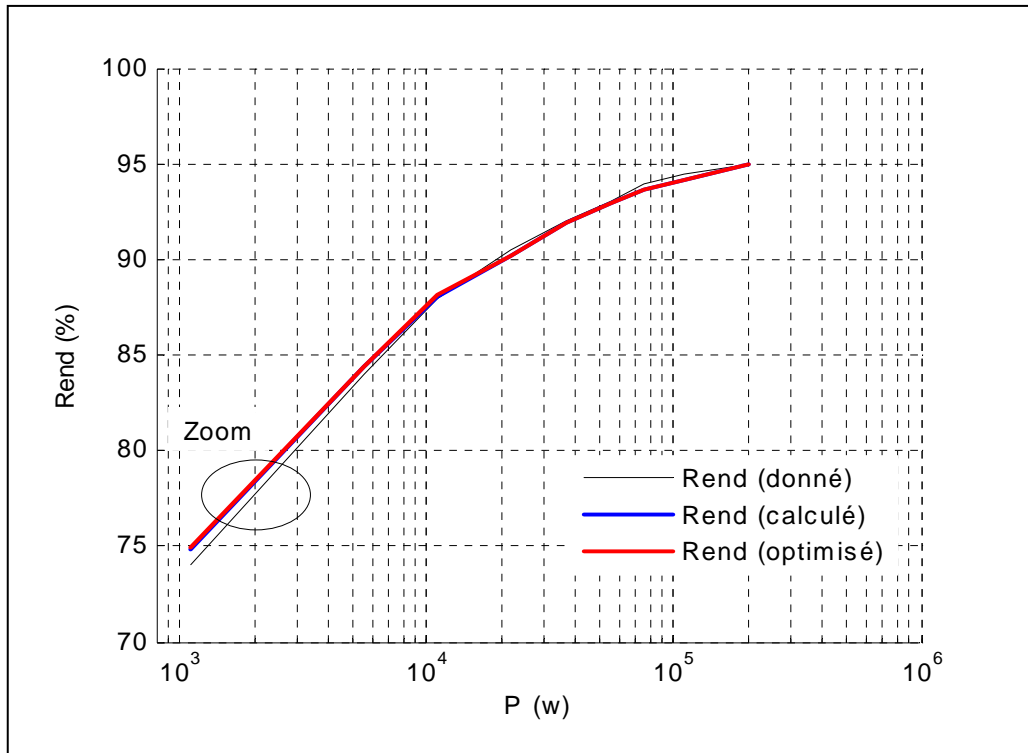
b) Influence des dimensions de la dent statorique



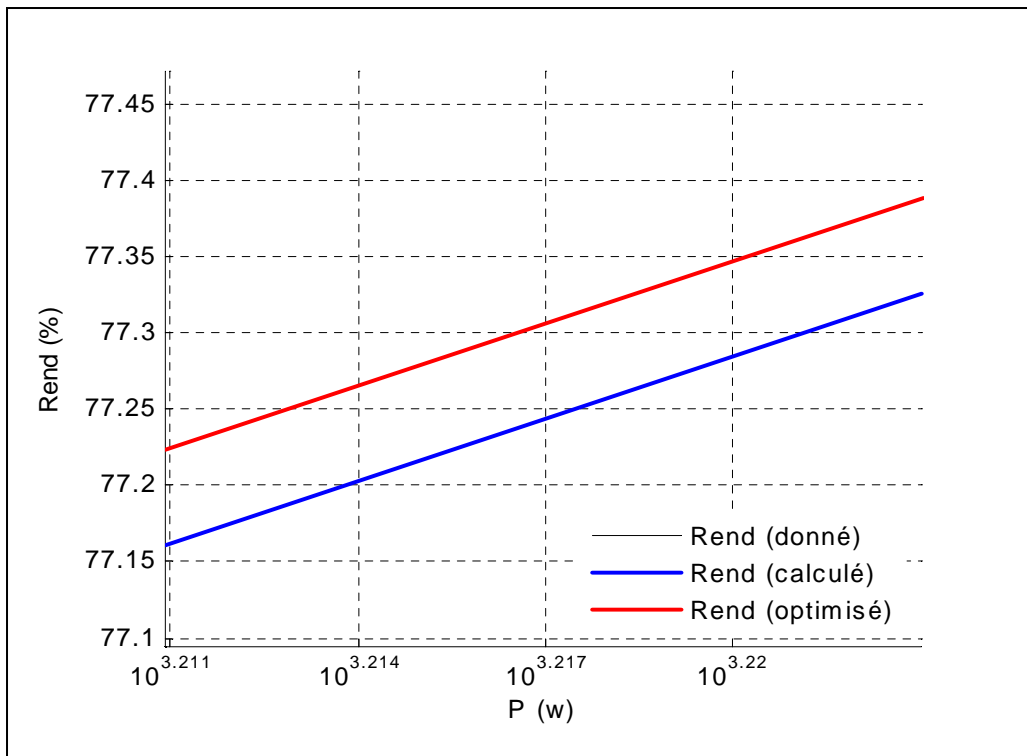
(Fig. IV.8) $\eta = f(P_u)$ pour $p = 1$



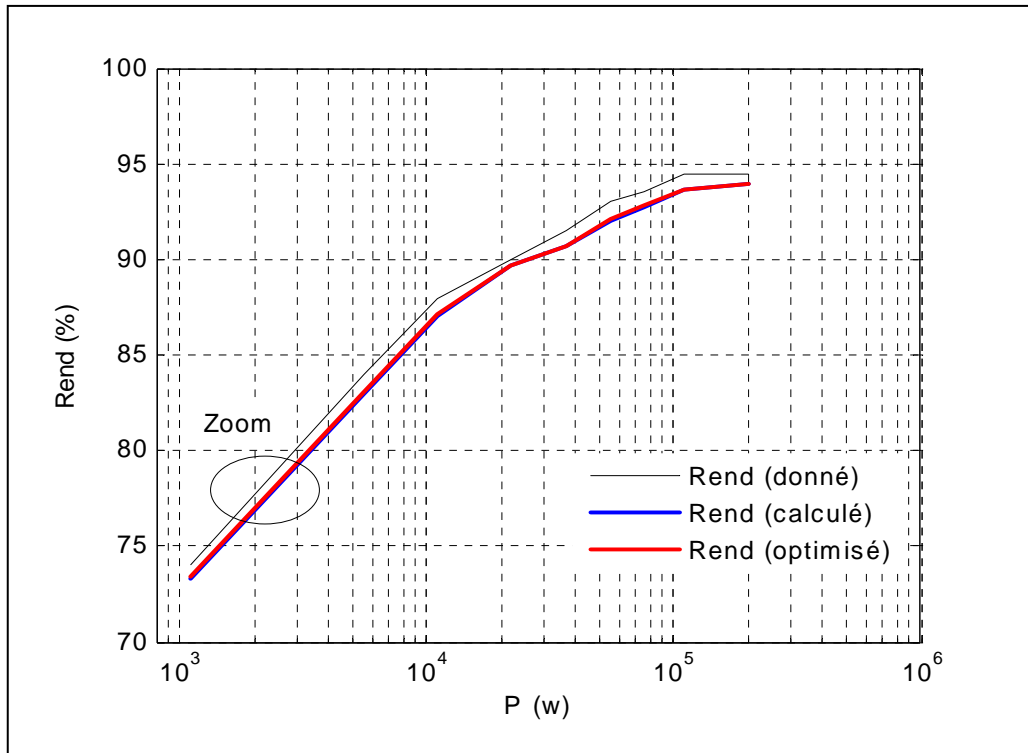
(Fig. IV.9) Zoom $\eta = f(P_u)$ pour $p = 1$



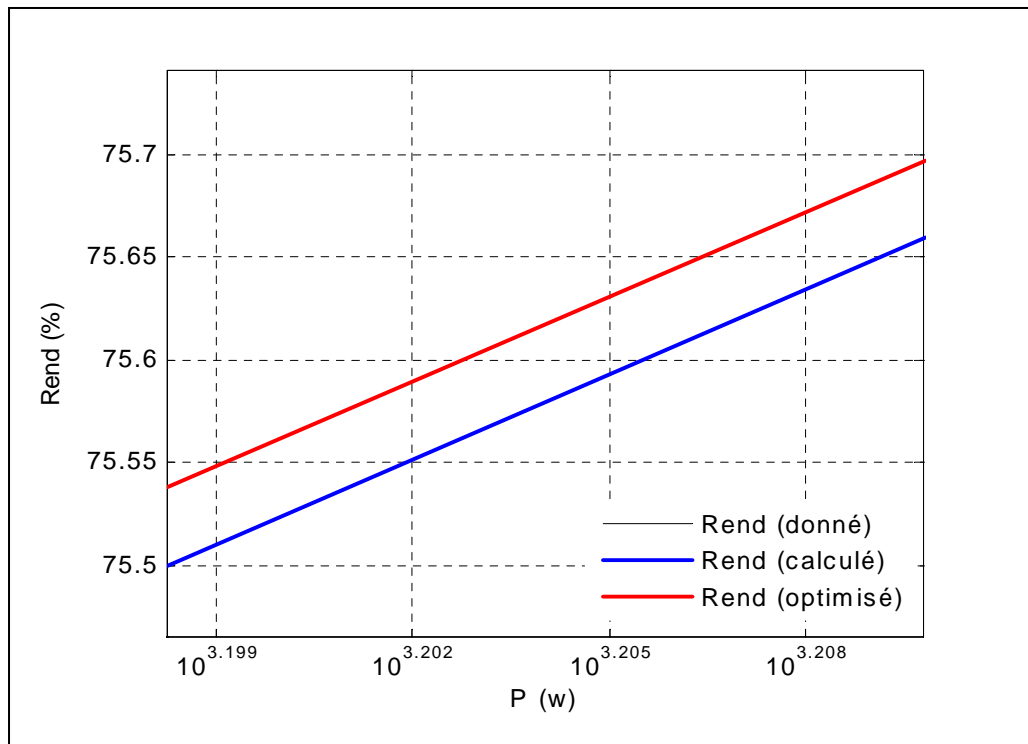
(Fig. IV.10) $\eta = f(P_u)$ pour $p = 2$



(Fig. IV.11) Zoom $\eta = f(P_u)$ pour $p = 2$



(Fig. IV.12) $\eta = f(P_u)$ pour $p = 3$



(Fig. IV.13) Zoom $\eta = f(P_u)$ pour $p = 3$

Interprétation de résultats

Dans cette étude on a utilisé des machines de différentes puissances utiles (faible, moyenne et fort puissance) et de nombre de paire de pôles ($P=1, 2, 3$).

Les tableaux précédents, représentent l'évolution du rendement donné de la machine, calculé par la méthode géométrique ainsi que le rendement optimisé en fonction de la puissance utile. Finalement pour chaque exécution les paramètres électriques de la machine on été donnés.

Les figures précédentes représentent le rendement donné, calculé et optimisé en fonction de la puissance utile, où certaines remarques peuvent être enregistrées :

- Les résultats de simulation sont comparables avec les valeurs de catalogue;
- L'augmentation de la section du conducteur statorique provoque toujours une amélioration du rendement;
- L'influence des dimensions de la dent statorique est légère;
- pour les machines de faible puissance, le rendement optimisé est amélioré par rapport au rendement donné et calculé, mais pour les grandes et les moyennes puissances l'amélioration du rendement n'est pas vraiment intéressante.

CONCLUSION

Dans ce travail, on a agit sur les paramètre de la machine asynchrone successivement, les dimensions de la dent statorique et la section du conducteur. On peut conclure que l'efficacité de la section du conducteur sur le rendement est plus significative, contrairement à l'autre paramètre.

Ces remarques sont valables pour les différentes gammes de puissance, et de nombre de paire de pôles

CONCLUSION

GENERALE

conclusion Générale

1- Travail accompli

La machine asynchrone est la plus utilisée dans l'ensemble des applications industrielles, du fait de sa facilité de mise en oeuvre, de son faible encombrement, de son bon rendement et de son excellente fiabilité, aussi très appréciée dans les milieux industriels par sa robustesse, son couple massique important et son faible coût de revient.

De nos jours, l'amélioration du rendement des moteurs électriques, et son impact sur les économies d'énergie, deviennent un grand défi aux chercheurs et aux fabricants du monde entier. Les moteurs électriques utilisent plus que le demi de l'électricité consommée ; avec une gamme typique de 40-60%, les limites sont inférieures ou supérieures selon le développement des pays. Les moteurs asynchrones représentent approximativement 90% de la consommation totale des moteurs électriques, comme il a été présenté dans. Ces données statistiques sur les moteurs électriques gèrent partout le spectacle mondial.

Dans ce travail, nous avons présenté une nouvelle méthode d'optimisation avec les algorithmes génétiques. L'algorithme proposé peut être appliqué à n'importe quel principe d'optimisation des paramètres électriques ou mécaniques de la machine électrique. Lors de ce travail nous avons appliqué les algorithmes génétiques sur les paramètres géométriques de la machine asynchrone. On s'est basé sur la variation des pertes, car le rendement est directement lié aux pertes. Cette procédure est adaptée pour des machines de différentes puissances et différentes paires de pôles.

L'intérêt des algorithmes génétiques est de produire des solutions diversifiées notamment en utilisant des heuristiques telles les partages, et temps contrôlable afin de les appliquer à un problème particulier, il est nécessaire de définir convenablement la fonction d'évolution et le codage d'une solution. Ces algorithmes nécessitent également la définition d'opérateur, aussi bien de mutations que de croisement en adéquation avec le problème.

Pour utiliser un algorithme génétique sur un problème d'optimisation, on doit disposer d'un principe de codage des individus, d'un mécanisme de génération de la population initial

et d'opérateurs permettent de diversifier la population au cours des générations et d'explorer l'espace de recherche.

Les résultats trouvés, montrent qu'uniquement le rendement des machines de faible puissance peut être amélioré pour un seul paramètre et l'autre n'est pas suffisant.

2- Problèmes rencontrés

Il nous appartient d'affirmer que la tâche qui nous a été confiée demeure délicate dans ce mémoire, que se soit à la manière de choisir les paramètres d'optimisation pour améliorer le rendement, ou bien à l'absence des travaux réalisés dans ce domaine pour des raisons de comparaison.

3- Suggestions et perspectives

Vu l'importance de cette étude pour l'utilisation des machines asynchrones, certaines remarques fondamentales susceptibles d'améliorer cette étude au futur sont :

- Voir l'influence de plus d'autres paramètres ;
- Intégrer une optimisation de point de vue économique.