

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE M'SILA
FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE

OPTION: COMMANDE ELECTRIQUE

THEME

OPTIMISATION GEOMETRIQUE DES MACHINES ASYNCHRONES
PAR L'EXPLOITATION DES ALGORITHMES GENETIQUES

Proposé et dirigé par :

Monsieur: S. CHEKROUN

Présenté par :

DJERAR Asma
SAADA Zineb
MEZAACHE Nassira

Année Universitaire : 2006 / 2007

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE**

OPTION: COMMANDE ELECTRIQUE

Proposé et dirigé par : Monsieur: S. CHEKROUN

**Présenté par : DJERAR Asma
SAADA Zineb
MEZAACHE Nassira**

Thème :

OPTIMISATION GEOMETRIQUE DES MACHINES ASYNCHRONES

PAR L'EXPLOITATION DES ALGORITHMES GENETIQUES

Résumé :

L'Optimisation est l'une des branches les plus importantes des mathématiques appliquées modernes, et de nombreuses recherches, à la fois pratiques et théoriques, lui sont consacrées. Si on met de côté les problèmes d'optimisation discrète ou multicritère, alors la théorie de l'optimisation peut être séparée en deux grandes branches : l'optimisation locale et l'optimisation globale. Si on peut considérer que la première est presque «entièrement connue », la seconde est encore partiellement méconnue et les recherches y sont à leur apogée, comme le confirment les nombreuses parutions récentes. La tâche principale de l'optimisation globale est la recherche de la solution qui minimisera un critère de coût donné, appelée «optimum global ». L'optimisation globale vise donc à rechercher non seulement un minimum local, mais surtout le plus petit de ces minima locaux.

Il existe deux grandes approches à l'optimisation globale. L'une est dite déterministe : les algorithmes de recherche utilisent toujours le même cheminement pour arriver à la solution, et on peut donc « déterminer » à l'avance les étapes de la recherche. L'autre est aléatoire : pour des conditions initiales données, l'algorithme ne suivra pas le même cheminement pour aller vers la solution trouvée, et peut même proposer différentes solutions. C'est vers cette seconde branche, la recherche global aléatoire, que vont s'orienter notre sujet, et plus particulièrement vers un type bien précis d'algorithme de recherche aléatoire, les algorithmes génétiques

Mots Clés:

Machines asynchrones, Optimisation géométrique, Algorithmes génétiques.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA
FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE

OPTI ON : COMMANDE ELECTRI QUE

THEME

OPTIMISATION GEOMETRIQUE DES MACHINE ASYNCHRONES

APPLICATION DES ALGORITHMES GENETIQUES

Proposé et dirigé par:

Mr: S. CHAKROUN

Présenté par:

DJERAR Asma

SAADA Zineb

MEZAACHE Nacira

Année Universitaire: 2006 / 2007

Remerciements

Avant tout, nous remercions le bon dieu tout puissant qui nous donne de la foi, du courage et de patience afin d'accomplir ce modeste travail.

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur monsieur CHEKROUN pour avoir d'abord proposée ce thème, pour suivi continuel tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessée de nous donner ses conseils.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants et le chef de département d'Electrotechnique qui a contribué à notre formation par ailleurs, ainsi à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

En fin nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutient moral et matériel.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à:

Mes chers parents avec toute ma gratitude pour toutes ces années de sacrifices et d'encouragement.

Mes très chers frères : Ahmed, Nourddine, Hamza, abdefetah

Mes très chers sœurs : Akila, Fatima, Hadjira, Nadjet, Rabia

Et particulièrement les enfants de ma sœur: Siham, Amina, Karim

A toute la famille SAADA et à tous ceux qui me connaissent de près ou de loin.

A mes collègues : Nassira et Asma qui m'ont accompagnées pendant le long de cette période pour réaliser ce modeste travail.

A tout les étudiants de département d'électrotechnique surtout commande électrique.



Dédicace

Je dédie ce mémoire à:

Mes chers parents avec toute ma gratitude pour toutes ces années de sacrifices et d'encouragement.

Mes très chers frères : Yazid, Yacine, Adel, Sofiane, Ali

Mes très chers sœurs : Aziza, Noura, Dlila, Hassina

Et particulièrement A MON AMIE D'ENFANCE Samra (رحمة الله عليها)

A mes collègues : Nassira et Zineb qui m'ont accompagnées pendant le long de cette période pour réaliser ce modeste travail.

A tout les étudiants de département d'électrotechnique surtout commande électrique.

Je vous remercie

tous

Asma



Dédicace

Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail :

A tous les membres de ma famille grande et petite

A ma mère "Fatima" (رحمة الله عليها) avec toute m'affection .

A mon père avec toute ma reconnaissance.

A ma grand-mère que dieu le garde, et surtout mon frères chamse Eddine, zohire, Samir, a ma sœur, sa fille narimane, kanza, kami lai, Fouzia, zahira.

A tous les enseignants qui m'ont aidé de proche ou de loin pour être un jour un ingénieur d'état en é électrotechniques.

A tous mes amis, surtout faiza, nawel, adila ,asma, zineb .

A tous les étudiants de la faculté en génie électrotechnique surtout les étudiants de la 5ème année promotion 2007.

A tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, même qu'il soit un mot d'encouragement et de gentillesse surtout mon ancle abde naçer, et fairouze.

Nassira



Liste de Figure

Fig 1.1 Enroulements statoriques d'une phase d'une machine à 4 pôles.....	5
Fig 1.2 Rotor à cage d'écureuil.....	6
Fig 1.3 Caractéristique mécanique.....	9
Fig 1.4 Schéma équivalent de la machine asynchrone.....	9
Fig 1.5 Bilan énergétique d'un moteur asynchrone.....	17
Fig 2.1 Principe général des algorithmes génétiques.....	26
Fig 2.2 illustration schématique du codage des variables d'optimisation xi.....	27
Fig 2.3 chaque gène est code par un entière long (32 bits).....	27
Fig 2.4 Représentation schématique du fonctionnement de notre algorithme.....	29
Fig 2.5 Représentation schématique du croisement en un point	33
Fig 2.6 Représentation schématique croisement en deux points.....	33
Fig 2.7 Croisement uniforme.....	34
Fig 2.8 Organigramme d'un AG standard.....	35
Fig 2.9 Allure de la fonction à optimiser	40
Fig 3.1 Différentes sources de l'énergie électrique	46
Fig 3.2 Différence du rendement entre les MI-HRs et les MICls, pour différentes puissances.....	53
Fig 3.3 Le rendement selon les différentes normes.....	56
Fig 3.4 Plage de rendement maximal	61
Fig 3.5 Le rendement nominale pour un moteur à 6 pôles à différentes puissances.....	62
Fig 3.6 Le rendement nominal pour un moteur à 4 pôles à différentes puissances.....	62
Fig 3.7 Le rendement nominal pour un moteur à 2 pôles à différente puissance.....	63
Fig 3.8 Le rendement nominal pour un moteur à 4 pôles à différentes puissances	63
Fig 3.9 Rendement nominale pour les moteurs à inductions à haut rendement à 4 pôles à différentes puissances.....	65
Fig 3.10 Pertes nominales dans les moteurs à inductions à haut rendement à 4 pôles à différentes puissances	65
Fig 4.11 Le rendement des moteurs à inductions à haut rendement et les moteurs de E.E-I Azazga (à 4 pôles et de 2.2-75 kW)	66
Fig 4.1 Organigramme de calcul pour la conception de la machine électrique.....	69

Fig 4.2 Organigramme d'optimisation par AG.....	78
Fig 4.1 Caractéristique $\eta = f(Pu)$ pour $p = 1$.....	85
Fig 4.2 Caractéristique $\eta = f(Pu)$ pour $p = 2$.....	85
Fig 4.3 Caractéristique $\eta = f(Pu)$ pour $p = 3$	86
Fig 4.4 Caractéristique $\eta = f(Pu)$ pour $p = 1$	86
Fig 4.5 Caractéristique $\eta = f(Pu)$ pour $p = 2$	87
Fig 4.6 Caractéristique $\eta = f(Pu)$ pour $p = 3$	87

N	Nombre des barres d'une cage	
p	Nombre de paire de pôle	
n_s	Vitesse de synchronisme ou vitesse du champ tournant	trs/min
n_r	Vitesse rotorique ou vitesse d'exploitation	trs/min
n_n	Vitesse nominale	trs/min
g	Glissement	
P	Puissance active	W
Q	Puissance réactive	W
C_u	Couple utile	N.m
C_n	Couple nominal	N.m
$C_{\text{éle}}$	Couple électromagnétique	N.m
P_{mec}	Puissance mécanique	W
$P_{\text{éle}}$	Puissance électrique	W
P_a	Puissance absorbée	W
P_u	Puissance utile	W
P_{js}	Pertes joule statorique	W
P_{jr}	Pertes joule rotorique	W
P_{fs}	Pertes fer statorique	W
P_{fr}	Pertes fer rotorique	W
P_j	Pertes joule	W
P_{v+p}	perles par ventilation et par frottement aux paliers	W
η	Rendement	
R	Résistance de conducteur	Ω
I	valeur efficace de courant continu ou alternatif	A
ρ	Résistivité du matériau	Ω
a	Nombre de voies parallèles	
L_{moy}	Longueur moyenne	m
N_s	Nombre de spires en série	
α	Coefficient caractéristique du matériau	m
E_p	Epaisseur de peau	Hz
f	Fréquence	
μ	Perméabilité	m
D_0	Diamètre du conducteur à section circulaire	m
d	Diamètre réduit	m
R_0	Résistance du conducteur en courant continu	Ω
h_{cd}	Epaisseur du conducteur	m
h_{cdr}	Epaisseur réduite du conducteur	Hz
R_i	Résistance des termes de série de Fourier	W
f_i	fréquence des termes de série de Fourier	
P_{j1}	Pertes dues au fondamental du courant	
K_f	Coefficient du aux harmoniques	
K_r	Coefficient caractéristique de tôle	
P_f	Pertes par effet de Foucault	W
e	Epaisseur de la tôle	T
B_m	Induction maximale	W
P_h	Pertes par hystérésis	
K_h	Coefficient de pertes par hystérésis	

V_t	Vitesse tangentielle du rotor	trs/min
Z_1	Nombre d'encoches dans le stator	
Z_2	Nombre d'encoches dans le rotor	
f_{d1}	Fréquence de pulsation dans le stator	Hz
f_{d2}	Fréquence de pulsation dans le rotor	Hz
U	Tension composée	V
$\cos\varphi$	Facteur de puissance	
Ω_s	Vitesse de synchronisme	rad/s
Ω_r	Vitesse angulaire mécanique	rad/s
E	Espace de recherche	
y	Fonction du coût	
h	fonction de transformation	
f_j	fonction d'aptitude de la chaîne j	
f_{moyen}	Valeur moyenne de la fonction de cout	
f_{max}	Valeur maximum de la fonction de cout	
f_{min}	Valeur minimale de la fonction de cout	
$R+$	Fitness ou fonction d'évaluation d'individu	
P_1, P_2	Parents de la population	
E_1, E_2	Enfants de la population	
L	Longueur de chromosome	
K	Nombre entier	
P_c	Probabilité de croisement	
P_m	Probabilité de mutation	
P_s	Probabilité de sélection	
N	Nombre d'individu de la population ou taille de population	
F	Nombre d'évaluation totale	
F	Fonction simple	
a, b	Nombre réel	
f_{eval}	Fonction d'évaluation	
q	Probabilité cumulative	
v_j	Code binaire de chaque chromosome binaire	
x	Valeur décimale	
R	Nombre généré aléatoirement	
$V_1, V_2,$ V_3, V_4	Vecteur de la génération initiale en binaire	
V_1	Tension statorique simple	V
P_s	Puissance apparent	W
N_1, N_2	Nombre de spire par phase rotorique et statorique	
Φ	Flux par pôle	Wb
B_δ	L'induction dans l'enterfer	T
A_1	Densité linéaire de courant	A/m
τ_p	Pas polaire	m
l_i	Longueur virtuelle de l'induit	m
D	Désigne le Diamètre intérieur du stator (diamètre d'alésage)	m
C	Coefficient d'utilisation	
K_{w1}	Facteur de bobinage	
m_1, m_2	Nombre de phase primaire et secondaire	
$F.M.M$	Force magnétomotrice totale	At
I_1, I_2	Valeur efficace du courant primaire et secondaire	A
f_1	Fréquence	Hz

λ	Rapport	
β	rapport du raccourcissement	
y	L'ordre d'harmonique	
H	Intensité du champ magnétique	A/m
F	F.M.M nécessaire pour l'excitation de la machine Induction	At
H_i	Intensité du champ pour chaque tronçon	A/m
F_i	Tension magnétique pour chaque tronçon	At
H_δ	Intensité du champ dans l'entrefer	A/m
δ	Entrefer	m
δ'	Entrefer fictif	m
F_δ	Force magnétomotrice dans l'entrefer	At
K_f	Facteur de forme de la courbe d'induction	
K_s	Coefficient de saturation	
Φ_δ	Flux dans l'entrefer	Wb
σ_H	Représente une constante du matériau utilisé	
σ_w	Constance du fer	
τ_{z1}	Pas dentaire statorique et rotorique	m
F_{z1}, F_{z2}	Force magnétomotrice au dent statorique et rotorique	At
F_{j1}, F_{j2r}	Force magnétomotrice dans la culasse statorique et rotorique	At
$I_{2\text{bar}}$	Courant de la barre	A
h	Hauteur (au profondeur) d'encoche	m
h_{z1}, h_{z2}	Profondeur de la dent statorique et rotorique	m
δ	Résistivité	
H_{j1}, H_{j2}	Champ magnétique dans la culasse statorique et rotorique	A/m
H_{z1}, H_{z2}	Champ magnétique dans la dent statorique, rotorique	A/m
R_1, R_2	Résistance statorique et rotorique par phase	Ω
R_2'	Résistance totale d'une phase secondaire ramenée au primaire	Ω
R_{bar}	Résistance de barre	Ω
I_{bar}	Courant de la barre	A
I_2'	Courant de barre ramenée au primaire	A
L_{bar}	Longueur d'une barre	m
d_b	Résistance de anneau	Ω
S_{an}	Diamètre de barre	m
L_a	Longueur de la machine	m
S_t	Désigne l'épaisseur de la tôle du fer	m
P_w	Pertes par courant de Foucault	W
P_{h+w}	Pertes Hystérésis et de Foucault	W
P_{hz}	Pertes d'Hystérésis dans les dents d'encoche statorique	W
D_e	Diamètre extérieur de la culasse	m
m_i	Masse de la culasse	Kg
m_z	Masse totale des dents	Kg
K_{wj}	Masse d'une dent	Kg
m_1	Nombre des phases	

Sommaire

Sommaire
Liste des figures
Notation et symboles
Introduction générale.....1

Chapitre un

Généralités sur les machines asynchrones

1.1 Introduction.....3
1.2 Généralités sur les machines asynchrones.....4
1.3 Constitution des machines asynchrones4
 a) Le stator.....4
 b) Le rotor5
 b.1 Rotor à cage5
 b.2 Rotor à bague6
1.4 Principe de fonctionnement6
1.5 Caractéristiques de fonctionnement7
 1.5.1 Fonctionnement à vide.....7
 1.5.2 Fonctionnement en charge7
1.6 Glissement d'une machine asynchrone.....8
1.7 Caractéristique mécanique couple / vitesse.....9
1.8 Schéma équivalent de la machine asynchrone.....9
1.9 Les pertes dans les machines asynchrones10
 1.9.1 Les Pertes dans les circuits électriques10
 1.9.1.1 Pertes normales en basse fréquence11
 1.9.1.2 Pertes supplémentaires à fréquence élevée11
 ▶ Cas des courant sinusoïdaux11
 ▶ Cas des courant non sinusoïdaux12
 1.9.2 Les Pertes dans le circuit magnétique12

1.9.2.1 Les pertes magnétiques de fer	13
1.9.2.2 Les pertes par courant de Foucault	13
1.9.2.3 Les pertes par hystérésis	13
1.9.3 Pertes mécaniques	14
1.9.3.1 Les pertes par frottement dans les roulements	14
1.9.3.2 Les pertes par frottement dans les paliers	15
1.9.3.3 Les pertes complémentaires	15
1.9.3.5 Les pertes par ventilation	16
1.10 Couple du moteur asynchrone	17
1.11 Détermination du rendement	17
1.12 Bilan énergétique.....	18
1.13 Applications des machines asynchrones triphasées.....	19
1.14 La Conception	19
1.14.1 Introduction	19
1.14.2 La conception assistée par ordinateur (CAO)	20
1.14.3 Avantages	20
1.15 Conclusion	21

Chapitre Deux

Application des algorithmes génétiques

2.1 Introduction	22
2.2 Historique des algorithmes génétiques.....	22
2.3 Un peu de génétique	23
2.4 Description et analyse des algorithmes génétiques	24
2.5 Caractéristiques	25
2.6 Les concepts importants des algorithmes génétiques.....	25
2.7 Le Principe Des Algorithmes Génétiques	25
2.8 Codage des variables	26
2.9 Création de la population	28
2.10 Fonction d'évaluation et d'adaptation	28
2.11 Importance du fitness	28
2.12 Les paramètres de dimensionnement.....	29
2.13 Les opérateurs génétiques	29
2.13.1 Reproduction et sélection	29
2.13.1.1 La sélection par roulette	30

2.13.1.2	La sélection par rang	30
2.13.1.3	La sélection steady – state	31
2.13.1.4	La sélection par tournoi	31
2.13.1.5	L' elistisme	31
2.13.2	Opérateur Croisement	32
2.13.2.1	Croisement binaire	32
2.13.2.1.1	Croisement en un point	33
2.13.2.1.2	Croisement en deux point	33
2.13.2.3	Croisement réel	34
2.13.2.4	Croisement uniforme	34
2.13.3	L'opérateur de mutation	34
2.13.3.1	Mutation binaire	35
2.13.3.2	Mutation réelle	35
2.13.3.3	Mutation non uniforme	36
2.14	Structure d'un AG.....	36
2.15	Différence fondamental entre AGs et autres méthodes	37
2.16	Avantages de l'algorithme	37
2.17	Incovènients de l'algorithme.....	37
2.18	Les AGS et la résolution des problèmes.....	38
2.19	Application des AGs aux Fonctions Mathématiques	39
2.20	Procédure de maximisation des fonctions par algorithmes génétiques	39
2.21	Exemple d'application	40

Chapitre trois

Moteur à induction à haut rendement

3.1	Introduction	4
3.2	Définition et concept de la maîtrise de l'énergie	45
3.3	Maîtrise d'énergie en Algérie	46
3.4	Actions de la maîtrise de l'énergie lors de son utilisation	47
3.4.1	Maîtrise de l'énergie dans le bâtiment	47
3.4.2	Eclairage	47
3.5	Maîtrise de l'énergie dans l'industrie	48
3.5.1	Energie électrique	48

3.6 Effet des (MI-HRs) sur la maîtrise de l'énergie électrique	49
3.6.1 Qualité du moteur	49
3.6.2 Taille du moteur	49
3.6.3 Coût du moteur	49
3.7 Economie d'énergie par les moteurs à inductions à haut rendement	49
3.8 Economie d'énergie par les M.I-H.Rs (E.U)	50
3.9 Economie d'énergie par les M.I-H.Rs (USA)	51
3.10 Moteurs à induction à haut rendement (MI-HRs)	52
3.11 Rendement des moteurs à induction	54
3.12 Caractéristiques des moteurs à haut rendement	54
3.13 Différentes normes de mesures du rendement	55
3.14 Répartition des moteurs électriques classes de rendement	56
3.15 Pertes dans les moteurs à induction	57
3.15.1 Pertes dans les circuits électriques	57
3.15.2 Pertes magnétiques	57
3.15.3 Pertes mécaniques	57
3.15.4 Pertes additionnelles de charge	57
3.16 Différentes méthodes de mesures du rendement	58
3.17 Calcul des pertes additionnelles de charges	59
3.18 Différents facteurs qui influent sur le rendement des moteur	60
3.18.1 Qualité d'alimentation d'énergie	60
3.18.2 Charge du moteur	60
3.18.4 Plage d'utilisation des moteurs	60
3.18.5 Maintenance du moteur	61
3.19 Rendement des moteurs à induction produits en Algérie	61
3.20 Amélioration du rendement des moteurs	64
3.21 Avantage d'utilisation des MI-HRs	66
3.23 Conclusion	67

Chapitre Quatre

Application des AGs à l'amélioration du rendement d'une MAS

4.1 Introduction	68
4.2 Méthode de conception	69
4.2.1 Organigramme de calcul	69
4.2.2 Calcul préliminaire	69

Introduction Générale

1. Généralités

Le moteur asynchrone est représenté 80% des moteurs utilisés dans l'industrie, étant donné leur simplicité de construction et leur facilité de démarrage, et les moteurs à induction sont les plus gros consommateurs d'énergie électrique, représentant environ 90% de la consommation totale des moteurs électriques, et environ 11,48 TWh (2002) en Algérie. En raison du manque d'énergie électrique, des coûts élevés pour et les contraintes de temps des nouveaux investissements dans ce domaine, particulièrement durant ces dernières années. Cela a conduit à soutenir le développement des moteurs à haut rendement avec un fonctionnement à rendement optimal, ce qui peut mener à une économie substantielle d'argent et d'énergie.

Le développement des moteurs électriques par l'utilisation de nouveaux matériaux plus performants, l'optimisation de leur conception et l'utilisation de fonctionnement optimisé à l'aide de l'algorithme génétique

Une nouvelle génération du moteur électrique est proposée sur le marché mondial, durant ces dernières décennies, ils sont connus comme moteurs à haut rendement. Parmi ces moteurs les moteurs asynchrones ou à induction à haut rendement (MI-HRs) occupent une place privilégiée. L'utilisation de cette nouvelle génération de moteurs est d'un grand impact sur la maîtrise de la consommation de l'énergie électrique, une petite amélioration du rendement par le choix de ces moteurs peut mener à une économie significative d'énergie. Pour cela, le programme électrique national pour la maîtrise d'énergie électrique renforce le besoin de l'utilisation de cette nouvelle génération des moteurs électriques.

2. Objectifs

L'objectif de ce travail est de donner une proposition au problème de la maîtrise de l'énergie ainsi qu'une étude sur l'utilisation des moteurs à induction à haut rendement et leurs impacts économiques sur la maîtrise de l'énergie électrique et nous essayons de situer le rendement des moteurs à induction produits par E.E-I Azazga.

Amélioration du rendement à l'aide des algorithmes génétiques et les dimensions géométriques qui sont utilisés comme contraintes pour la conception de la machine.

Les résultats obtenus seront ensuite vérifiés et validés par comparaison avec les résultats donnés par le constructeur, [1].

3. Présentation du mémoire

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres à savoir :

Le premier chapitre, traitera la machine asynchrone et les différentes pertes

Généralités sur les algorithmes génétiques, et un exemple d'application sont donnés dans le deuxième chapitre

Dans le troisième chapitre, on présentera les moteurs à induction à haut rendement et les différentes méthodes, les normes pour le calcul du rendement de moteur et on présentera l'effet des moteurs à induction à haut rendement sur la maîtrise et l'économie d'énergie électrique à grande échelle.

Le dernier chapitre est consacré à la présentation de la méthode de conception des machines asynchrones, et l'amélioration du rendement à l'aide des algorithmes génétiques et les dimensions géométriques.

Enfin, on terminera par une conclusion générale qui résumera notre travail et donnera les perspectives futures pour une éventuelle continuité et un enrichissement de ce thème.

Introduction générale

Chapitre un

Introduction sur les machines asynchrones

Chapitre deux

Principe des algorithmes génétiques

Chapitre trois

Moteur à Induction à Haut Rendement (MI-HRs)

Chapitre quatre
Application des AGs
à l'amélioration du rendement
d'une MAS

Conclusion générale

Sommaire

Références bibliographiques

Notation et Symboles

1.1 Introduction

Le moteur asynchrone est le plus utilisé dans toutes les applications industrielles ou domestiques de l'électricité, du fait de sa facilité d'installation, de son bon rendement et de son excellente fiabilité. Il existe plusieurs types de moteurs asynchrones : monophasé, triphasé à cage, triphasé à rotor bobiné.

Plusieurs caractéristiques, dont les principales font l'objet de normalisation, conduisent donc au choix d'un moteur asynchrone pour une application donnée : la puissance nominale, la tension d'alimentation, le mode de construction mécanique et le degré de protection des enveloppes. Il faut aussi veiller à ce que le démarrage se fasse dans de bonnes conditions pour le moteur et la machine entraînée ainsi que pour le réseau d'alimentation. Deux facteurs non complètement indépendants sont ainsi à surveiller : le couple et l'intensité du courant de démarrage. Ces facteurs peuvent ainsi conduire à orienter le choix technologique du moteur.

Le bon fonctionnement des moteurs peut être altéré par les perturbations de la tension provoquées par les incidents de nature aléatoire intervenant sur les réseaux et les installations électriques, qui résultent du fonctionnement des automatismes de protection. Des précautions de mise en œuvre peuvent être employées pour réduire la sensibilité des moteurs aux perturbations de types creux de tension ou coupures brèves. En outre, avec les progrès de l'électronique de puissance, les utilisations de la variation électronique de vitesse des moteurs se sont développées, en particulier pour les applications industrielles. Il existe maintenant plusieurs technologies d'entraînements à vitesse variable utilisant des moteurs asynchrones qui couvrent une gamme très étendue de puissances et d'applications. La technologie du convertisseur de fréquence à onduleur de tension commandé en modulation de largeur d'impulsions associé à un moteur asynchrone à cage tend à s'imposer comme la solution de référence pour des puissances atteignant quelques centaines de kilowatts, [2].

1.2 Généralités sur les machines asynchrones

Historiquement le dix-neuvième siècle fût l'époque des grandes découvertes en Electrotechnique dont les bases fondamentales ont été établies 1820 et 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), [3].

1.3 Constitution des machines asynchrones

La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction comprend un stator et un rotor, constitués de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements. Le stator est fixe ; on y trouve les enroulements reliés a la source. Le rotor est monté sur un axe de rotation. Selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieur ou sont fermées sur eux mêmes en permanence, on définit deux types de rotor : bobiné ou à cage d'écureuil, [4].

a) Le stator

Le circuit magnétique est un empilement de tôles minces d'acier découpées, faisant apparaître les différentes encoches statoriques. On utilise des tôles minces dont l'épaisseur varie entre 0,35 et 0,50mm pour minimiser les pertes dans le circuit magnétique. De plus, afin de limiter l'effet des courants de Foucault, on isole habituellement les tôles d'une mince couche de vernis ou de silicate de soude. Le bobinage statorique est constituée de deux parties (Fig. 1.1) : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de

bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant leur circulation, l'objectif étant d'obtenir une répartition des forces magnétomotrices et du flux la plus sinusoïdale possible dans l'entrefer, pour limiter les oscillations du couple électromagnétique, [4].

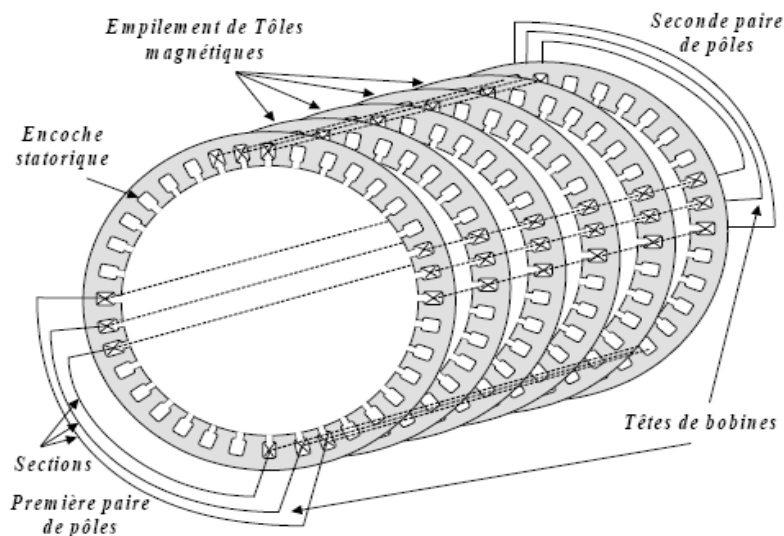


Fig 1.1 Enroulements statoriques d'une phase d'une machine à 4 pôles

b) Le rotor

Le rotor quant à lui représente la partie tournante de la machine et le plus souvent la partie induite c'est à dire la partie dans laquelle sont induits des courants électriques par le fait du passage du champ magnétique du stator. La partie magnétique du rotor est constituée, comme celle du stator, d'un empilement de tôles ferromagnétiques dans laquelle est entreposé le circuit électrique qui peut être composé soit d'un bobinage électrique (bobiné), soit de barres d'aluminium (en court-circuit ou à cage d'écureuil), [4].

b.1 Rotor à cage

Dans le cas des rotors à cage d'écureuil, les encoches peuvent être semi-ouvertes ou fermées. Les enroulements sont constitués de barres court-circuitées par un anneau terminal placé à chaque extrémité du rotor. Les conducteurs sont généralement réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre ou, à l'occasion, en laiton préformées et frettées dans les tôles du rotor. Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres

rotoriques et les tôles magnétiques. Leur résistance est suffisamment faible pour que les courants ne circulent pas dans les tôles, sauf lorsqu'il y a une rupture de barre, [4].

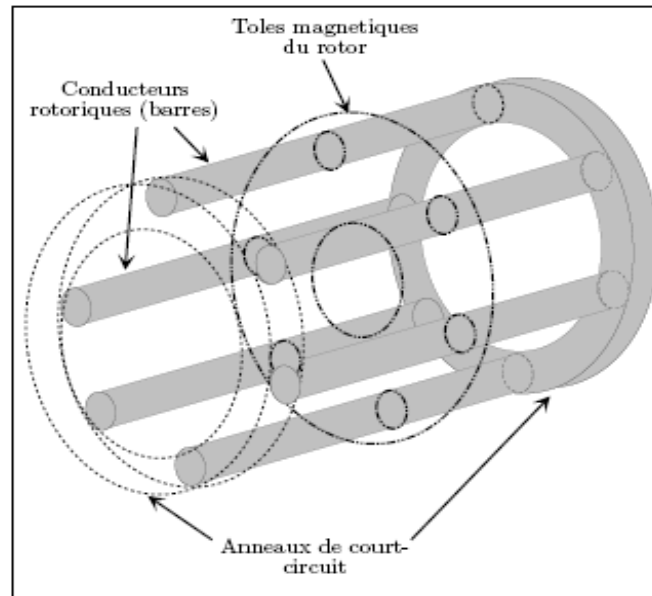


Fig 1.2 Rotor à cage d'écureuil

b.2 Rotor à bague

Le rotor d'une machine à bague est constitué de 3 bobines (on parle aussi de rotor bobiné). Chaque bobine est reliée à une bague. Les bagues permettent d'avoir une liaison électrique avec les bobines du rotor. Ce type de rotor a été conçu pour permettre la variation de résistance du rotor en insérant des résistances en série avec les bobines afin de réaliser un démarrage rotorique. Ce dispositif a ensuite permis la variation de vitesse avec un rendement acceptable au moyen d'un procédé appelé cascade hyposynchrone. Le coût élevé de ce type de machines et l'apparition des variateurs de fréquence a rendu obsolètes ce type de machines, [5].

1.4 Principe de fonctionnement

Les courants statoriques créent un champ magnétique tournant dans le stator. La fréquence de rotation de ce champ est imposée par la fréquence des courants statoriques, c'est-à-dire que sa vitesse de rotation est proportionnelle à la fréquence de l'alimentation électrique. La vitesse de ce champ tournant est appelée vitesse de synchronisme.

L'enroulement au rotor est donc soumis à des variations de flux (du champ magnétique). Une force électromotrice induite apparaît qui crée des courants rotoriques. Ces courants sont responsables de l'apparition d'un couple qui tend à mettre le rotor en mouvement afin de s'opposer à la variation de flux : loi de Lenz. Le rotor se met donc à tourner pour tenter de suivre le champ statorique.

La machine est dite asynchrone car elle est dans l'impossibilité, sans la présence d'un entraînement extérieur, d'atteindre la même vitesse que le champ statorique. En effet, dans ce cas, les courants s'annulent de même que le couple qu'ils produisent et la machine n'est plus entraînée. La différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique est appelée vitesse de glissement,[5].

1.5 Caractéristiques de fonctionnement

1.5.1 Fonctionnement à vide

Lorsque le moteur tourne à vide, le courant est compris entre 50% et 20% du courant de pleine charge. Ce courant est semblable au courant d'excitation d'un transformateur. Ainsi, il est composé en majeure partie d'un courant magnétisant qui produit le flux tournant Φ_m et d'une faible composante active pour fournir les pertes par frottement et aération. Plus les pertes dans le fer. Le flux Φ_m accroche le rotor et le stator ; par conséquent, il est semblable à un flux mutuel.

La puissance réactive requise pour créer le champ tournant est donc considérable et, afin de la réduire, lorsqu'un moteur asynchrone fonctionne à vide, le flux créé est essentiellement un flux mutuel Φ_m . A cause de la présence de l'entrefer, une puissance réactive considérable est requise pour produire ce flux.

On est amené à utiliser un entrefer aussi petit que possible, en tenant compte des tolérances mécaniques acceptables.

- ❖ Le facteur de puissance à vide est compris entre 20% pour les petits moteurs et 5% pour les gros.
- ❖ Le rendement est nul, car la machine ne débite aucune puissance utile, [6].

1.5.2 Fonctionnement en charge

Le moteur est en charge, le courant circulant dans le rotor produit une FMM qui tend à changer le flux mutuel Φ_m . Ceci engendre un courant dans le stator dont la FMM tend à

s'opposer à celle créée par le rotor. Ces FMM sont très semblables à celles produites par le primaire et le secondaire d'un transformateur sous charge. Par conséquent, en plus du flux mutuel Φ_m , des flux fuite Φ_{f1} et Φ_{f2} sont créés.

Lorsque le moteur fonctionne en charge, la puissance réactive (kVAR) requise pour produire ces trois flux est légèrement supérieure à celle absorbée à vide. Par contre. La puissance active (kW) absorbée par le moteur varie proportionnellement avec la charge mécanique. Il s'ensuit que le facteur de puissance du moteur (kW / kVA) s'améliore à mesure que la charge croit: à pleine charge, il est compris entre 80% pour les petits moteurs et 90% pour les gros. Le rendement à pleine charge est particulièrement élevé; il peut atteindre 98% pour les grosses machines.

A pleine charge, le flux mutuel Φ_m diminue mais des flux de fuites sont créés par le rotor et le stator, [6].

1.6 Glissement d'une machine asynchrone

- On désigne par N_s la vitesse de synchronisme, c'est-à-dire la fréquence de rotation du champ statorique dans la machine.
- On désigne par N la vitesse de rotation de la machine.

La fréquence de synchronisme est toujours un sous multiple entier de la fréquence du secteur

- en 50 Hz c'est un sous multiple de 3000 tr/min soit : 3000 ; 1500 ; 1000 ; 750 ; etc.
- en 60 Hz c'est un sous multiple de 3600 tr/min, soit : 3600 ; 1800 ; 1200 ; 900 ; etc.

Soit P le nombre de paires de pôles de la machine et f la fréquence de l'alimentation. On a :

$$N_s = f / p \text{ en tr/s ou } N_s = 60 f / p \text{ en tr/min.}$$

Le glissement correspond à la différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique exprimée sous la forme d'un pourcentage de la vitesse de synchronisme.

$$N_s - N = g N_s, \text{ soit } g = \frac{N_s - N}{N_s}$$

Le glissement est toujours faible, de l'ordre de quelques pour-cent : de 2 % pour les machines les plus grosses à 6 ou 7 % pour les petites machines triphasées, il peut atteindre 10 % pour les petites machines monophasées, [5].

1.7 Caractéristique mécanique couple / vitesse

La figure (1-3) donne la caractéristique généralisée du couple en fonction de la vitesse pour les trois modes de fonctionnement d'une machine asynchrone. La machine fonctionne normalement comme moteur, développant un couple variant entre zéro et le couple de pleine charge C_n . Or, entre ces limites, la courbe donnant le couple en fonction de la vitesse est essentiellement une ligne droite. A tension constante, la pente de cette droite dépend surtout de la résistance du rotor: plus la résistance est grande, plus la pente est faible, [6].

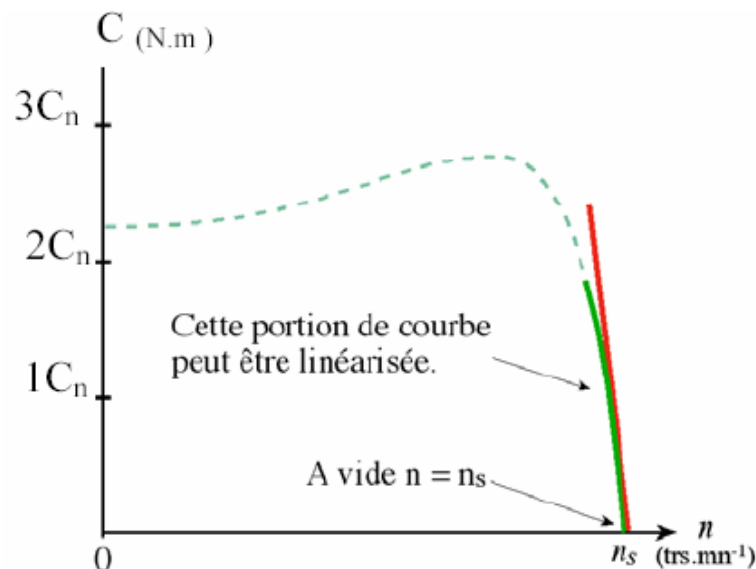


Fig 1.3 Caractéristique mécanique.

C_n : Couple nominal.

- ❖ --- Couple de démarrage du moteur. On constate que ce couple est fort, la machine peut démarrer en charge.
- ❖ — Zone de fonctionnement du moteur. On constate qu'elle est presque linéaire, cette partie de la courbe est très verticale la vitesse varie peu avec la charge.
- ❖ — La zone de fonctionnement peut être modélisée par une droite.

1.8 Schéma équivalent de la machine asynchrone

La machine asynchrone est présentée par plusieurs modèles, le schéma équivalent de la machine asynchrone à simple cage d'écurueil sans pertes fer le plus proche du modèle physique

est celui du type transformateur ramené au stator dans lequel les fuites statoriques et rotoriques sont représentées séparément, comme illustré par la figure (1.4).

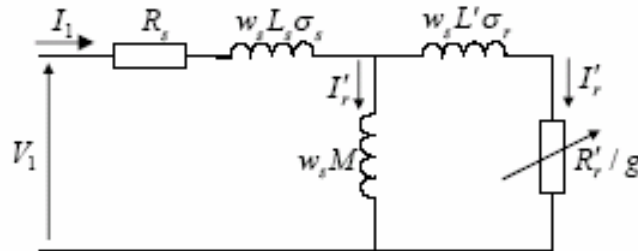


Fig 1.4 Schéma équivalent de la machine asynchrone par phase.

Ce schéma est obtenu grâce à une transformation de Park de l'ensemble des grandeurs électriques du système triphasé (réelle), composé de deux circuits couplés électromagnétiquement en grandeurs équivalentes en système biphasé, sous les hypothèses simplificatrices suivantes :

- ✦ Le circuit magnétique n'est pas saturé.
- ✦ Les inductances mutuelles entre deux enroulements varient sinusoïdalement, en fonction de l'angle entre les axes magnétiques.
- ✦ L'entrefer est constant, [5].

1.9 Les pertes dans les machines asynchrones

Les moteurs asynchrone ont les mêmes pertes que tous autres moteurs électriques, c'est-à-dire les pertes mécaniques et les pertes complémentaires, pertes fer, pertes cuivre. Les pertes principales sont celles qui sont dues aux principaux phénomènes électromagnétiques et mécaniques qui se manifestent lors du fonctionnement de la machine.

Ces pertes sont : les pertes principales dans le cuivre de l'enroulement statoriques et électrique, les pertes dans le fer, les pertes par frottement dans les paliers et par frottement des balais sur les bagues ainsi que les pertes par ventilation, [7].

1.9.1 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, [8].

1.9.1.1 Pertes normales en basse fréquence

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

$$P_j = R I^2 \quad (1.1)$$

Les pertes par effet joule sont :

- a) pertes par effet joule dans les enroulements statoriques.
- b) pertes par effet joule dans les enroulements rotorique.

En basse 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

$$R_0 = \rho \cdot \frac{L_{moy} \cdot N_s}{a \cdot s} \quad (1.2)$$

Ou :

ρ : Résistivité ;

a : Nombre de voies parallèles ;

L_{moy} : Longueur moyenne de stator ;

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 :

$$\rho(\theta_2) = \rho(\theta_1) \frac{1 + \alpha \cdot \theta_2}{1 + \alpha \cdot \theta_1} \quad (1.3)$$

α : Coefficient caractéristique du matériau, [8].

1.9.1.2 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 :

$$E_p = \sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot \mu \cdot f}} \quad (1.4)$$

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 :

$$d = \frac{D_0^2}{4 \cdot E_p} \quad (1.5)$$

Si R_0 est la résistance du conducteur en courant continu, la résistance effective R est donnée, de façon approchée, [8].

► 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 :

$$P_j = \sum_{i=1}^n R_i I_i^2 = R_0 \cdot I_1^2 \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{R_0} \left(\frac{I_i}{I_1} \right)^2 = P_{j1} K_f \quad (1.6)$$

P_j 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 %).

1.9.2. Les Pertes dans le circuit magnétique

Ces dernières correspondent à un déplacement des électrons libres du matériau sous l'effet d'une variation de flux magnétique, alors que les pertes par hystérésis correspondent à une modification locale du mouvement des électrons liés (au noyau), qui modifie l'orientation des moments magnétiques des atomes associés, sous l'effet de la variation de champ magnétique appliqué, [8].

1.9.2.1 Les pertes magnétiques de fer

Elles sont appelées aussi fer du fait que les matériaux utilisés pour ce circuit sont habituellement, à base de fer. Ces pertes regroupent les pertes par hystérésis et les pertes par courant de Foucault, [8].

1.9.2.2 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 déduire des équations de Maxwell à partir du champ magnétique d'excitation, comme magnétique, du fait de l'action du champ électrique local, que l'on peut dans tout conducteur excité par une f.e.m.

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

$$P_f = K_r (e \cdot f \cdot B_m^2) \quad (1.7)$$

Avec :

P_f : Pertes par effet de Foucault ;

e : Epaisseur de la tôle ;

f : Fréquence de l'induction (Hz)

B_m : Induction maximale à la fréquence (T) ;

K_f : Coefficient caractéristique de tôle, [8].

1.9.2.3 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 $50 \text{ m } \mu$ (soit environ 10^3 longueurs de domaines).

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

$$P = Kh.f.Bm^2 \quad (1.8)$$

Kh: Coefficient de pertes par Hystérésis, [8].

1.9.3 Pertes mécaniques

Ces pertes prennent en compte tous les frottements dus à la rotation de la partie tournante de la machine, que ce soit des frottements entre solides ou entre solide et fluide.

Les pertes dues aux phénomènes principaux, en particulier celles qui correspondent aux courants et flux à fréquence fondamentale, sont appelées pertes normales.

Les pertes dues à tous les phénomènes parasites, en particulier celles qui correspondent aux flux de fuite, même à la fréquence fondamentale, et aux courants et flux aux fréquences harmoniques sont appelées pertes supplémentaires. Selon les conditions d'existence du phénomène correspondant, ces pertes supplémentaires sont présentes à vide ou en charge, [8].

1.9.3.1 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 œuvre, ne sera pas abordée dans ce travail, [8].

1.9.3.2 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 briffés, 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, [3].

1.9.3.3 Les pertes complémentaires

Elles forment un groupe de pertes spéciales, se sont :

- a) Les pertes complémentaires dans le cuivre ;
- b) Les pertes complémentaires dans le fer.

Pour une tension sinusoïdale aux bornes du moteur, les pertes complémentaires dans le cuivre Prennent naissance partiellement sous l'influence des harmoniques supérieurs de la F.M.M et Partiellement sous l'effet de déplacement du courant.

Les pertes complémentaires dans le cuivre dues aux harmoniques supérieur de la F.M.M. Elles ont lieu surtout dans les enroulements d'un rotor à cage d'écureuil. Lorsque le rotor tourne dans les champs magnétiques créés par les harmoniques supérieurs de la F.M.M du stator, des

courants prennent naissance dans l'enroulement rotorique dont la fréquence dépend du glissement et la fréquence du champ tournant. Pour réduire ces pertes on raccourcit le pas d'enroulement du stator, ce qui provoque une diminution des harmoniques supérieures de la F.M.M. l'inclinaison des encoches du rotor par rapport à celles du stator joue le même rôle que le raccourcissement du pas, et on choisit convenablement le nombre d'encoches dans le stator et dans le rotor Z_2 et Z_1 .

L'analyse montre que si les pertes complémentaires dans le rotor ne doivent pas dépasser 10% des pertes principales provoquées par le premier harmonique du courant, avec des encoches non inclinées $Z_2 \leq 4/3 Z_1$.

Les pertes complémentaires dans le fer des machines asynchrones comme dans le cas des machines synchrones, comprennent les pertes de pulsation et les pertes superficielles.

Les pertes de pulsation sont provoquées par les pulsations longitudinales du flux magnétique par suite de la variation de la perméance provoquée par la variation continue de la position relative des dents du stator et du rotor lors de la rotation de ce dernier. , [8].

1.9.3.5 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 est d'autant plus grande que le rendement η du ventilateur ou de pompe est plus faible.

La puissance des pertes par ventilation est déterminée 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, [9].

1.10 Couple du moteur asynchrone

La définition du couple électromagnétique C_e est:

$$C_e = \frac{P_e}{\Omega_s} \quad (1.9)$$

Et celle du couple utile

$$C_u = \frac{P_u}{\Omega} \quad (1.10)$$

La relation entre C_u et C_e découle de ces deux définitions :

$$\frac{PM}{\Omega} = \frac{(1-g) \cdot P_e}{(1-g) \cdot \Omega_s} \quad (1.11)$$

D'où

$$C_e = \frac{PM}{\Omega} = P_u + P_m / \Omega = C_u + P_m / \Omega \quad (1.12)$$

En définitive

$$C_u = C_e - \frac{P_m}{\Omega} \quad (1.13)$$

Le couple électromagnétique est égale au couple utile quand les pertes mécaniques sont négligeables, [4].

1.11 Détermination du rendement

Par définition, le calcul du rendement suppose la mesure des puissances utiles et absorbée, au cours d'un essai direct, et s'exprime :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (1.14)$$

Toutefois, en l'absence d'essai direct, on peut calculer le rendement approché, associé à un fonctionnement donné, à partir des différentes pertes de la machine dans ce fonctionnement, calculées ou mesurées au cours d'essais à faibles puissances (essais à vide, en court-circuit, sous tension réduite, ...) . le rendement s'exprime alors:

$$\eta = \frac{P_u}{P_u + \text{pertes}} \quad (1.15)$$

Ou

$$\eta = \frac{P_a - \text{pertes}}{P_a} \quad (1.16)$$

Le rendement est toujours inférieur à l'unité ($\eta < 1$) et il est d'autant plus voisin de l'unité que le rapport des pertes à la puissance utile transformée dans la machine est plus faible. Pour éviter un échauffement excessif de la machine, les pertes qui s'y dérogent sous forme calorifique doivent être évacuées vers l'extérieur à l'aide d'un système de refroidissement dans lequel circule un fluide refroidisseur, un gaz ou un liquide, [9].

1.12 Bilan énergétique

La figure (1,5), représente les différentes puissances et les pertes de la machine asynchrone.

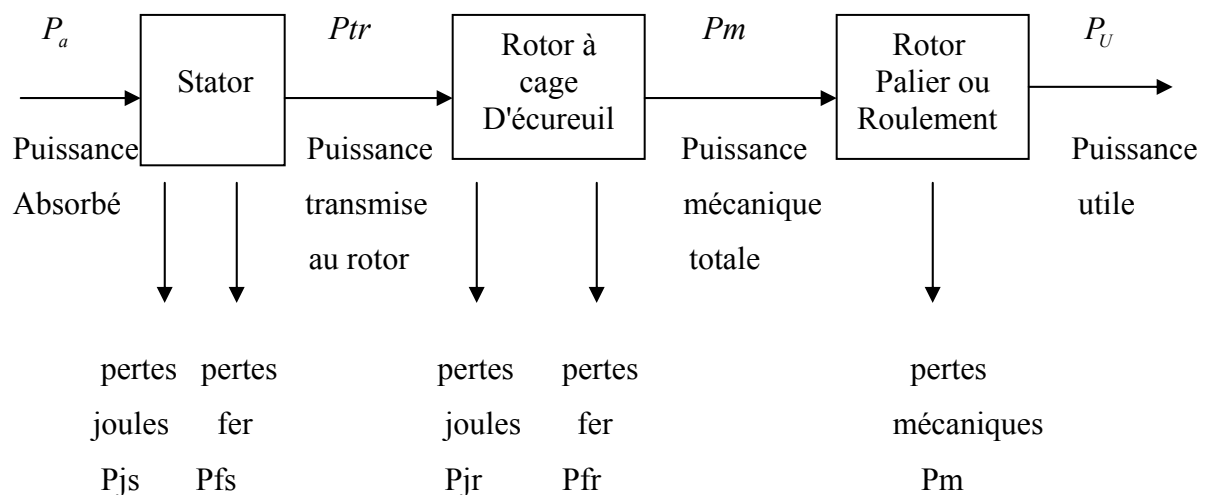


Fig 1.5 Bilan énergétique d'un moteur asynchrone

- Puissance absorbée : $P_a = \sqrt{3} UI \cdot \cos \varphi$ (1.17)

- Pertes : - Joule stator : $P_{js} = \frac{3}{2} \cdot R \cdot I^2$ (1.18)

- Fer stator : P_{fs}

- Mécanique : P_m

- Pertes : - Joule rotor : $P_{jr} = \frac{3}{2} \cdot R \cdot I^2$ (1.19)

- Fer rotor : P_{fr}

- Puissance utile : $P_U = \sqrt{3}UI \cos \varphi - \text{pertes}$ (1.20)

- Puissance transmise au rotor : $P_{éle} = P_u - \text{pertes stator} = P_a - P_{js} - P_{fs}$

Les pertes joules rotor sont égales au produit du glissement par la puissance transmise, [8].

1.13 Applications des machines asynchrones triphasées

Lorsqu'on veut utiliser un moteur asynchrone triphasé pour une application particulière, on se rend compte que plusieurs types de moteurs remplissent les exigences de la charge. Il faut donc faire un choix. Le problème est généralement simplifié du fait que le fabricant du tour, du ventilateur, de la pompe, etc..., indique la catégorie de moteur convient le mieux à la charge à entraîner. Il est cependant très utile de connaître les caractéristiques de construction et d'utilisation des différents types de moteurs asynchrones triphasés, car ce sont elles qui en déterminent le choix,[6].

1.14 La Conception

1.14.1. Introduction

La conception des machines asynchrones recouvre un domaine d'activité très vaste qui va de la machine de quelques watts de puissance destinée à des applications informatiques jusqu'au moteur de quelques mégawatts implanté dans des procédés industriels lourds. Il n'est pas possible de couvrir, dans les limites de cet article, la diversité de l'approche de l'ensemble de ces applications, ce qui nous conduit à nous restreindre aux machines polyphasées de taille moyenne.

Cependant, dans cette seule catégorie qui recouvre la plupart des applications industrielles, le cadre dans lequel se déroule la conception est d'une très grande variété qui inclut la conception de gammes normalisées de machines destinées à la constitution d'un catalogue, mais aussi, ce qui est de plus en plus fréquent de nos jours, la réponse à la commande d'un client pour une utilisation spécifique.

La caractérisation des machines asynchrones nous entraîne à formuler une méthode de dimensionnement qui s'appuie sur les équations de la machine en tenant compte des divers phénomènes électromagnétiques et aboutit à une définition globale de la machine.

Le dimensionnement définitif, tel qu'il est pratiqué en utilisant les logiciels de CAO les plus courants, est ensuite décrit en exploitant les spécificités destinées aux machines asynchrones, [10].

1.14.2 La conception assistée par ordinateur (CAO)

Les exigences ethnologiques donnent lieu à des projets complexes et qui résultent en un morcellement du travail. L'industrie se trouve vis-à-vis ses travailleurs intellectuels dans la même situation qu'au début siècle avec les travailleurs manuels. le pari des entreprise est que CAO permettra une hausse semblable de la productivité des ingénieurs.

Les progrès dans le domaine de l'électronique mettent à la disposition de l'ingénieur une puissance de calcul. De mémoire et de traitement énorme et ceci bon marché .d'autre part, la création de logiciels extrêmement évolués permet d'informatiser de nombreuses tâches quantitatives du processus de conception tout on libèrent l'esprit utilisant au mieux les qualités de l'homme et de l'ordinateur. La façon dont le cerveau humain combine des données et fait appel à des ressources en fonction certains objectifs sont complexes et loin d'être clairs. La réalisation de cet objectif constitue un des domaines d'avenir et sa maîtrise sera l'équivalent de la révolution industrielle pour le travail intellectuel, [11].

1.14.3 Avantages

Sous l'effet de fortes pressions provenant de la compétition, de la conjoncture économique de diverses contraires du public et des organismes gouvernementaux pour de meilleurs produits (et à meilleur marché), l'industrie et forcée de hausser la productivité du personnel technique. Il est vite apparu qu'à l'aide de l'informatique, des économies appréciables sont possibles pour chacune des différentes phases du processus de design.

- **Création d'un modèle**

À l'aide des systèmes CAO disponibles sur le marché, la création géométrique d'un objet (pièce, circuit, etc.) est grandement facilitée. On peut également étudier l'objet sous divers angles et en tirer des copies à volonté à différents niveaux de réalisme.

- **Analyse**

Les caractéristiques de l'objet, une fois créé, sont immédiatement disponibles pour des programmes d'analyse ou de simulation (éléments finis, vibrations, réponses en fréquence..) et, en retour l'utilisateur reçoit les résultats de ces calculs sous forme graphique pour évaluer si l'objet est conforme aux contraintes.

- **Modifications**

Suite à l'analyse ou à la simulation, des modifications sont faciles et rapides à incorporer, au modèle informatique. Avec un tel outil, il est possible d'envisager plusieurs solutions et de choisir la plus adéquate. A titre d'exemple, on cite dans l'industrie de l'automobile pour la mise au point d'un nouveau modèle. Il est évident que la CAO n'est qu'un outil, mais un outil qui modifie l'exercice de la profession de l'ingénieur et permet de faire un meilleur travail. Par exemple, dans le domaine des structures, les programmes d'analyses sont devenus très précis et complets de manière à ce que le comportement d'éléments telles les poutres, etc., peut être analysé avec beaucoup plus de fiabilité et de détails qu'avec les formules empiriques utilisées auparavant, [11].

1.15 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentées les constitutions et le principe de fonctionnement de la machine asynchrone, étudier les caractéristiques mécanique couple / vitesse, avec différents pertes de ces machines dans ce fonctionnement, et déterminer le rendement et le couple et présenter la conception assisté par ordinateur

2.1 Introduction

La vie a besoin en permanence de s'adapter à un nouvel environnement, à un nouvel prédateur ou à de nouvelles proies. Le vocabulaire et les intuitions des algorithmes génétiques appartiennent en partie au vocabulaire et aux intuitions de la biologie.

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes fondés sur les mécanismes de la sélection naturelle et la génétique, ils utilisent à la fois les principes de la survie des structures les mieux adaptées. Ces algorithmes fabriquent des chromosomes qui codent chacun; une solution potentielle à un problème donné à chaque étape (appelée génération), ces chromosomes se combinent, mutent et sont sélectionnés en fonction de leur qualité à répondre au problème à fin de les explorer dans la génération suivante avec l'espoir d'améliorer la performance qui en résulterait.

Le principal apport de ce type d'algorithmes probabiliste est heuristiques et la robustesse, en effet un tel algorithme est capable de résoudre des problèmes d'optimisations combinatoires difficiles (NP- complet) en effectuant une recherche efficace et indépendante de la taille du problème traité, dans un espace contenant un ensemble de solutions potentielles, chose qui dépasse la puissance des algorithmes déterministes limités aux petits espaces de recherche, [12].

2.2 Historique des algorithmes génétiques

Au siècle dernier, Charles Darwin observa les phénomènes naturels et fit les constatations suivantes:

- L'évolution n'agit pas directement sur les êtres vivants; elle opère en réalité sur les chromosomes contenus dans leur ADN.
- L'évolution a deux composants: la sélection et la reproduction.
- La sélection garantit une reproduction plus fréquente des chromosomes les plus forts.
- La reproduction est la phase durant laquelle s'effectue l'évolution.

Dans les années 60, John H Holland expliqua comment ajouter de l'intelligence dans un programme informatique avec les croisements (échangeant le matériel génétique) et la mutation (source de la diversité génétique). Il formalisa ensuite les principes fondamentaux des algorithmes génétiques:

- Une individu est liée à un environnement par son code d'ADN.
- Une solution est liée à un problème par son indice de qualité, [13].

2.3 Un peu de génétique:

L'évolution dans la nature survient quand les entités ont la capacité de se reproduire, qu'il existe une population de ces entités qu'il existe une variété (diversité) à travers ces entités et que le survie des entités dépend des différences entre elles. Toute entité vivante possède un génotype et les phénotypes.

❖ Le génotype

Le génotype est constitué de gènes situés sur des chromosomes stockés dans le noyau des cellules sous la forme d'une longue chaîne d'acide désoxyribonucléique (ADN). Dans la nature, l'ADN est un polymère constitué par l'enchaînement de quatre molécules: les nucléotides adénine (A), cytosine (C), guanine (G) et la thymine (T). On peut donc décrire l'ADN par des chaînes de quatre caractères ACGT. L'ADN constitue l'ensemble des chromosomes ou le génome d'un individu.

❖ Le phénotype

Le phénotype est l'ensemble des protéines et enzymes qui peuvent être fabriqués à partir de l'ADN. En fait l'ADN est copié par un messager (ARN) qui est au niveau du ribosome se traduit en chaîne d'acides aminés formant les protéines et les enzymes. En générale, on compte une protéine (un enzyme) par gène. Ce sont les protéines et les enzymes qui dictent la structure et le comportement des cellules qui permettent à un individu de réaliser des tâches dans son environnement de survivre et de reproduire à des taux différents.

❖ La reproduction


La reproduction se traduit par la transmission du génome aux individus de la progéniture, ce qui permet de préserver les gènes menant à des performances supérieures.

Occasionnellement, un processus naturel; la mutation génétique introduit une variation dans les chromosomes, or les individus les mieux adaptés c'est-à-dire capable de mieux effectuer les tâches nécessaires à leur survie, se reproduisent à des taux les plus élevés alors que les individus les moins adaptés se reproduisent à des taux plus faibles. On s'avère alors qu'une population ayant une grande variété va de génération en génération contenir des individus dont le génotype se traduit par une meilleure adaptation et ceci à cause de la contrainte de la sélection naturelle, [12].

2.4 Description et analyse des algorithmes génétiques

L'algorithme génétique ne fait que transposer ce que fait la nature à des systèmes artificiels. Il simule les processus évolutif Darwiniens et génétiques s'appliquant aux chromosomes afin de transformer un ensemble de dispositifs (l'objet matériel ou non) que nous voulons étudier et optimiser en une nouvelle population pour résoudre un problème donné. Plus formellement ; un algorithme génétique est un algorithme itératif qui maintient une population d'individus (chromosomes)

$$P(t) = \{X^1, X^2, X^3, \dots, X^n\} \text{ pour la génération } t$$


 N individus

On chaque individu X^1 représente une solution potentielle pour le problème posé et implémenté par une structure de données S (complexe) chaque individu X^1 est évalué pour donner une mesure de son adaptation.

En suite une nouvelle population est construite (génération $t+1$) en choisissant les individus les mieux adaptés (étape de sélection). Les individus sélectionnés subissent des transformations au moyen d'opérateur génétique (mutation, croisement) pour former de nouvelles solutions. La transformation de type mutation crée de nouveaux individus par un petit changement d'un seul individu, et la transformation de type croisement forme de nouveaux individus en combinant des parties de plusieurs (individus).

Après un certain nombre d'étape (génération) le programme du AGS converge vers une génération dont le plus bon élément est une approximation de la solution cherchée.

On peut schématiser tout ça par un programme simple, [12]

```

    T = 0
    Initialiser p (t)
    Evaluer p (t)
    Tant que (condition de terminaison est fausse)
        Début
            T = t+1
            Sélectionner p(t) de p(t-1)
        Evaluer p (t)
    Fin
  
```

2.5 Caractéristiques

Les Caractéristiques des algorithmes génétiques peuvent se résumer par les aspects fondamentaux suivants :

- ❖ Les AG travaille sur un codage de l'ensemble des paramètres eux-mêmes.
- ❖ Les AG cherchent l'optimum à partir d'une population de points et non à partir d'un seul point.
- ❖ Les AG utilisent l'information (ou le coût) de la fonction objectif et non pas les Informations provenant des fonctions dérivées de quelque ordre que ce soit.
- ❖ Les AG font appel à des règles de transition probabilistes et non pas à des règles déterministes, [12].

2.6 Les concepts importants des algorithmes génétiques

- Individu: entité représentée par son code génétique
- Population: groupe d'individus.
- Evaluation: mesure de l'aptitude a son environnement.
- Sélection : choix des individus pour la reproduction.
- Reproduction : croisement + mutation.
- Croisement : création d'un individu a partir de deux individus parents.
- Mutation: modification (aléatoire) de codage génétique d'un individu.
- Environnement : l'espace de recherche
- Génotype: code des individus en binaire.
- Phénotype: la représentation du génotype en décimale, [11].

2.7 Le Principe Des Algorithmes Génétiques

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes d'exploration reposant sur les Principes de la sélection naturelle et de la génétique.

Ces Principes sont simples: les solutions potentielles du problème sont codées sous forme de chaînes d'élément de base (souvent des bits ou des caractères), toute chaîne peuvent être rompre entre deux de ses éléments de la même façon qu'un brin d' ADN peut se rompre entre deux nucléotides. On génère tout d'abord un ensemble de telle chaîne (Appelait population initiale) puis on évalue la justesse de ces solutions au moyen d'une fonction d'adaptation. Les solution S les plus intéressantes sont sélectionnées et appareillées deux à

deux. Les paires ainsi conçues se voient appliquées des opérateurs génétiques dans le but de construire une nouvelle population ayant des caractéristiques globalement meilleures que la celle de la génération précédente. Les opérateurs génétiques les plus importants utilisés pour la production d'une nouvelle population sont le croisement et la mutation.

Ce mécanisme est répété jusqu'à l'obtention d'une solution acceptable pour le problème, [11]

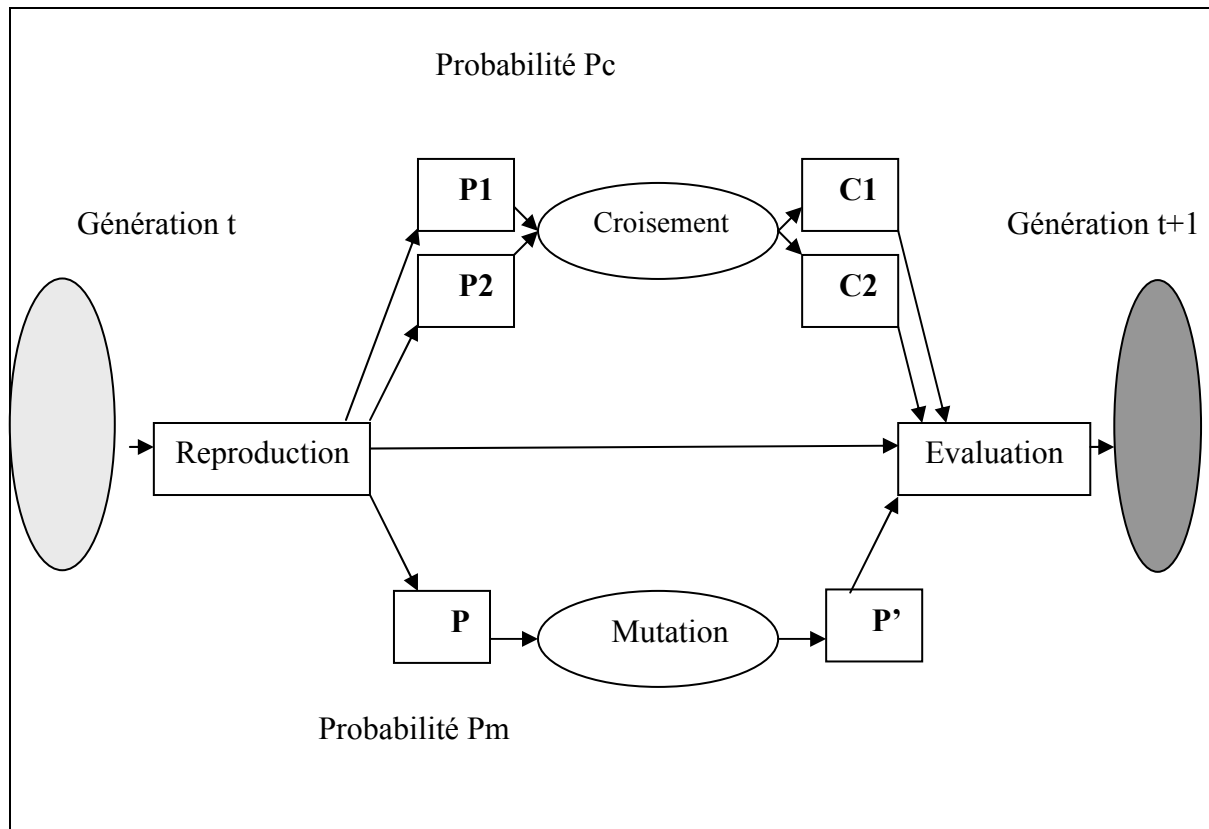


Fig 2.1 Principe général des algorithmes génétiques

2.8 Codage des variables

La première étape est de définir et de coder convenablement le problème. A chaque variable d'optimisation X_i (à chaque paramètre du composant), nous faisons correspondre un gène.

Nous appelons chromosome un ensemble de gènes. Chaque composant est présente par un individu doté d'un génotype constitué d'un ou plusieurs chromosomes. Nous appelons population un ensemble de N individus que nous allons faire évoluer.

D'un point de vue informatique, nous utilisons dans notre algorithme un codage binaire, c'est-à-dire qu'un gène est un entier long (32 bits). Un chromosome est un tableau de gènes

2.9 Création de la population

La première étape de l'algorithme est la création de la population, c'est à dire le choix des composants de départ que nous allons faire évoluer. On pourrait prendre des individus (des composants) régulièrement repartis dans l'espace.

Néanmoins, une initialisation aléatoire est plus simple à réaliser :

les valeurs g_i des gènes sont tirées au hasard selon une distribution uniforme. Notons qu' on peut, si nécessaire, introduire des individus déjà calculés, [12].

2.10 Fonction d'évaluation et d'adaptation:

On a dit que l' AGS est un algorithme d'optimisation globale qui s'appuie sur l'évaluation à optimiser. Il est nécessaire de quantifier l'adaptabilité de chaque objet (chromosomes $ch.$) au contraintes du milieu qui l' entour, un individu de population qui voile une contrainte ou qui est en totale des adéquation avec son milieu se verra attribuer une mauvaise fitness et il aura une probabilité forte d' être éliminer par le processus de sélection.

En effet pour calculer le coût d'un point de l'espace de recherche, on utilise cette fonction d'évaluation (EVAL). Mais l'évaluation ne dépend pas de celles des autres individus, et le résultat fournit par l'évaluation va permettre de sélectionner ou de refuser les individus pour ne garder que les individus ayant le meilleur coût en fonction de la population courante. Cette méthode permet de s'assurer que les individus performants seront conservés alors que les individus peu adaptés seront progressivement éliminés de la population.

Le choix de la fonction d'évaluation est étroitement lié au domaine d'application, si à titre d'exemple le problème est d'optimiser une fonction mathématique f alors il suffit de prendre $eval(ch.) = f(ch)$, [12].

2.11 Importance du fitness

L'évaluation du fitness permet une classification des individus dans la population. Le critère utilisé dépend du problème spécifique à résoudre. Le mécanisme qui est utilisé pour améliorer le fitness des individus constitue la plus importante partie de la procédure. Dans la phase de reproduction, des paires d'individus qui sont destinées à croiser doivent être sélectionnées de telle sorte que la probabilité de sélection est plus importante pour les individus ayant un fort fitness, [7].

2.12 Les paramètres de dimensionnement

La démarche de l' AGS est guidée par un certain nombre de paramètre fixe à l'avance. La valeur de ces paramètres influence sur la réussite ou non d'un algorithme, ces paramètres sont les suivants:

- ❖ La taille de la population N et la longueur du codage de chaque individu L , si N est très grand le temps de calcul de l' algorithme peut s' avérer très important, et si N est trop petit l' AGS peut converger trop rapidement. Cette importance de la taille est essentiellement du à la notation du parallélisme implicite qui implique que le nombre d'individus traite par l' algorithme est au moins proportionnelle au cube du nombre d'individus.
- ❖ Le nombre d'étape ou de génération qui peut intervenir comme un critère d'arrêt de l' algorithme.
- ❖ La probabilité de croisement P_c . Elle dépend de la forme de la fonction de fitness, son choix est en général heuristique. Plus elle est élevée, plus la population subit de changements importants. Les valeurs généralement admises sont comprises entre 0,5 et 0,9.
- ❖ La probabilité de mutation P_m étaux est généralement faible puisqu' un taux élevé risque - optimale. de conduire à une solution sous, [12]

2.13 Les opérateurs génétiques

2.13.1 Reproduction et sélection

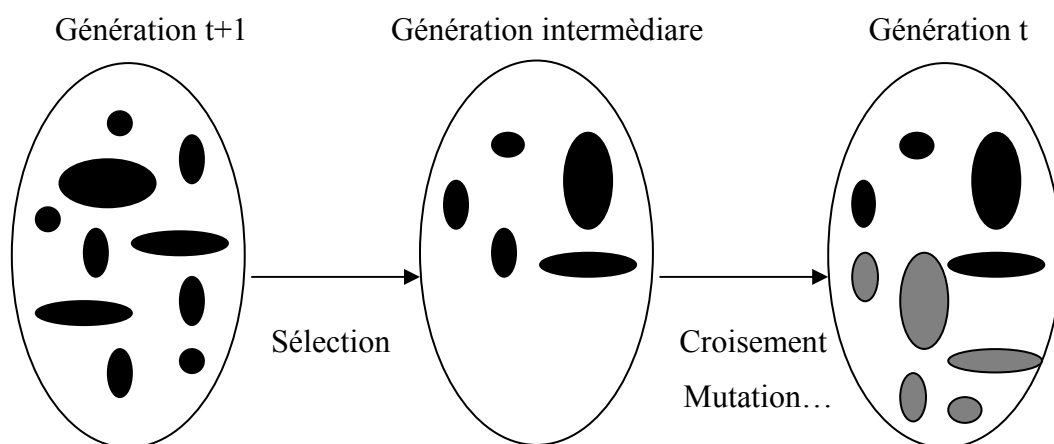


Fig 2.4 Représentation schématique du fonctionnement de notre algorithme, [13].

A l'inverse d'autres techniques, les algorithmes génétiques ne requièrent pas l'hypothèse particulière sur la régularité de la fonction objective. L' AGS n'utilise pas ses l'hypothèse particulière sur la régularité de la fonction objective. L' AGS n'utilise pas ses dérivées successives ce qui rend très vaste son domaine d'application. Dans la pratique les AGS sont sensible à la régularité des fonctions qu'ils optimisent. L'opérateur de sélection est peut être le plus important puisqu'il permet aux individus d'une population de survivre de se reproduire ou de mourir. La probabilité de survivre d'un individu sera directement liée à son efficacité relative au sien de la population c'est a dire relative à sa fonction d' adaptation (fitness).

$$P_{s1} = f_i / \sum f_i \quad (2.3)$$

Alors les AGS itèrent les meilleurs individus à partir de la population initiale sur les quels on applique le croisement et la mutation.

Il existe un nombre important de principes de sélection plus au moins adaptés aux problèmes qu'il traite .tel que

- ♦ La sélection par roulette "roulette Wheel sélection "
- ♦ La sélection par rang.
- ♦ La sélection stead state.
- ♦ La sélection par tournoi
- ♦ N/2 elitisme, [12].

2.13.1.1 La sélection par roulette

Consiste à associer à chaque individu un segment dont la longueur est proportionnelle à sa fitness. On reproduit ici le principe de tirage aléatoire utilisé dans les roulettes de casinos avec une structure linéaire. Ces segments sont ensuite concaténés sur un axe que l' on normalise entre 0 et 1. on tire alors un nombre aléatoire de distribution uniforme entre 0 et 1, puis on regarde quel est le segment sélectionné. Avec ce système, les grands segments c'est à dire les bons individus seront plus souvent adressés que les petits, [12].

2.13.1.2 La sélection par rang

La sélection par roulette rencontre de problèmes lorsque la valeur d' adaptation des chromosomes varient énormément, si la meilleur fonction d' évaluation d' un chromosome

représente 90% de la roulette alors les autres chromosomes auront très peu de chance d'être sélectionnés et on arriverait à une stagnation de l'évolution.

La sélection par rang trie d'abord la population par fitness ensuite, chaque chromosome se voit associer un rang en fonction de sa position. Ainsi le plus mauvais chromosome aura le rang 1 le suivant 2 et ainsi de suite jusqu'au meilleur chromosome qui aura le rang N pour une population de taille N. donc la sélection par rang est la même que par roulette, mais les proportions sont en relation avec le rang plutôt qu'avec la valeur d'évaluation.

Avec cette méthode de sélection, tous les chromosomes ont une chance d'être sélectionnés, cependant, elle conduit à une convergence plus lente vers la bonne solution, ceci est dû au fait que les meilleurs chromosomes ne diffèrent pas énormément des plus mauvais, [12].

2.13.1.3 La sélection steady - state

Ce n'est une méthode particulière de sélection des chromosomes parents, l'idée principale est qu'une grande partie de la population puisse survivre à la prochaine génération. L'AGS marche alors de la manière suivante; à chaque génération sont sélectionnés quelques chromosomes (parmi ceux qui ont le meilleur coût) pour créer les chromosomes fils. Ensuite les chromosomes les plus mauvais sont retirés et remplacés par les nouveaux le reste de la population survit à la nouvelle génération, [12].

2.13.1.4 La sélection par tournoi

Elle consiste que deux individus sont choisis au hasard et combattent (on compare leurs fitness) pour accéder à la génération intermédiaire. Le plus adapté l'emporte avec une probabilité $0,5 < P < 1$ que nous avons généralement prise égale à 1 (une valeur inférieure permet de réduire la pression de sélection si nécessaire) cette étape est répétée jusqu'à ce que la génération intermédiaire soit remplie (N/2 composants). Il est tout à fait possible que certains individus participent à plusieurs tournois; s'ils gagnent plusieurs fois, ils auront donc le droit d'être copiés plusieurs fois dans la génération intermédiaire, ce qui favorisera la pérennité de leurs gènes, [12].

2.13.1.5 L'élitisme

Consiste que les individus sont triés selon leur fonction d'adaptation, seule la moitié supérieure de la population correspondant aux meilleurs composants est sélectionnée. On a pu constater que cette méthode induisait une convergence prématurée de l'algorithme, la pression de sélection est trop forte. Il est en effet nécessaire de maintenir une diversité

génétique suffisante dans la population, celle ci constituant un réservoir de gènes pouvant être utilisés par la suite. En effet, tout individu peut transmettre à sa descendance des gènes qui une fois combinés avec d'autre peuvent se révéler intéressants, [12].

2.13.2 Opérateur Croisement

Une fois la génération intermédiaire à moitié remplie, les individus sont aléatoirement repartis en couples hermaphrodites. Les chromosomes des parents sont alors copiés et recombinaison de façon à former deux descendants possédant des caractéristiques issues des deux parents.

On forme ainsi la génération $t+1$.

L'opérateur croisement favorise l'exploration de l'espace de recherche. Considérons deux gènes A et B pouvant être améliorés par mutation. Il est peu probable que les deux gènes améliorés A' et B' apparaissent par mutation dans un même individu. Mais l'opérateur de croisement permettra de combiner rapidement A' et B' dans la descendance de deux parents portant chacun un des gènes mutants. Il est alors possible que la présence simultanée des deux gènes produise un individu encore plus adapté. L'opérateur de croisement assure donc le brassage du matériel génétique et l'accumulation des mutations favorables. En termes plus concrets, cet opérateur permet de créer de nouvelles combinaisons des paramètres des composants .

Le phénomène de croisement est une propriété naturelle de l'ADN. C'est par analogie qu'ont été conçus les opérateurs de croisement dans les AGs.

❖ La probabilité de croisement

✓ S'il n'y a pas d'hybridation, les fils sont composés d'une partie de chacun de leurs Parents

✓ Si la probabilité est de 0%, la nouvelle génération est la copie de la précédente.

✓ Si la probabilité est fixée à 100% tous les descendants sont générés par hybridation

✓ S'il y a d'hybridation, les fils sont composés d'une partie de chacun de leurs parents

L'hybridation est mise en place pour que les nouveaux chromosomes gardent la meilleure partie des chromosomes anciens ceci dans le but d'obtenir peut être de meilleurs chromosomes,[11].

2.13.2.1 Croisement binaire

Deux techniques de croisement existent:

2.13.2.1.1 Croisement en un point

On choisit au hasard un point de croisement, pour chaque couple –notons que le croisement s’effectue directement au niveau binaire et non pas au niveau des gènes un chromosomes peut donc être coupé au milieu d’un gène:

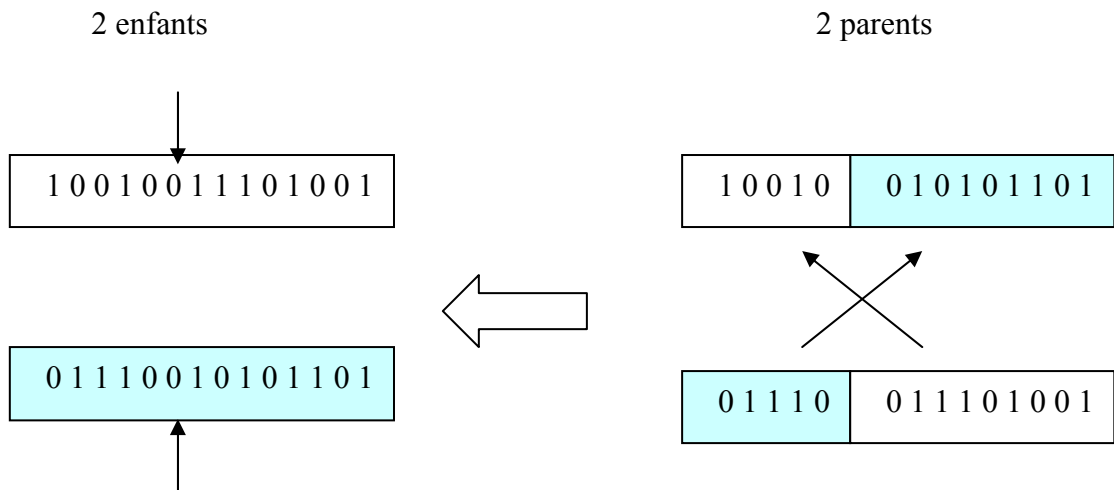


Fig 2.5 Représentation schématique du croisement en un point.

2.13.2.1.2 Croisement en deux point

Cette technique est similaire à la précédente ; mais, ce cas deux positions sont sélectionnées et les sous chaînes entre ces deux positions sont échangées. Cette méthode aux mêmes propriétés déjà décrites. Mais elle peut combiner certain schéma que la version à un point ne peut pas.

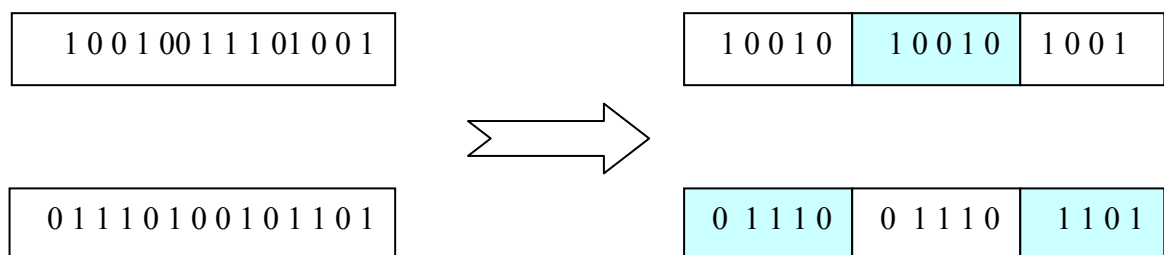
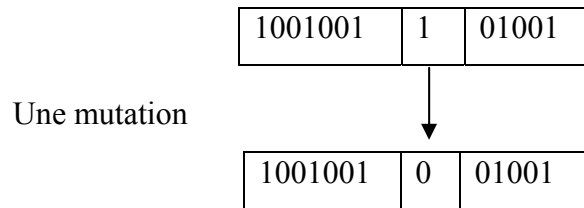


Fig 2.6 Représentation schématique croisement en deux points



D'autre part, une population trop petite peut s'homogénéiser à cause des erreurs stochastiques: les gènes favorisés par le hasard peuvent se répandre au détriment des autres. Cet autre mécanisme de l'évolution, qui existe même en l'absence de sélection, est connu sous le nom de dérive génétique. Les mutations permettent de contrebalancer cet effet en introduisant constamment de nouveaux gènes dans la population.

Comment réaliser l'opérateur de mutation ?

De nombreuses méthodes existent, souvent la probabilité de mutation P_m par bit composant un chromosome. Il est possible d'associer une probabilité différente de chaque gène et ces probabilités peuvent être fixes ou évoluer dans le temps.

A chaque variable est associée sa propre probabilité de mutation qui est elle-même soumise au processus d'évolution. L'individu possède donc un second chromosome codant ces probabilités. Après divers essais, ils ont abouti à la méthode d'auto-adaptation des probabilités de mutation. Si dans un environnement stable, il est préférable d'avoir un taux de mutation faible, la survie d'une espèce dans un environnement subissant une évolution rapide nécessite un taux de mutation élevé permettant une adaptation rapide. Les taux de mutation d'une espèce dépendent donc de leur environnement, [12].

2.13.3.1 Mutation binaire

La mutation binaire s'applique à un seul chromosome, un bit du chromosome est tiré au hasard. Sa valeur est alors inversée. Il existe ou plusieurs bits peuvent au sein d'un même chromosome. Un test sous le taux de mutation est effectué non plus pour le chromosome mais pour chacun de ses bits : en cas de succès, un nouveau bit tiré au hasard remplace l'ancien, [12].

2.13.3.2 Mutation réelle

La mutation réelle ne diffère de la mutation binaire que par la nature de l'élément qu'elle altère n'est plus un bit qui est inversé, mais une variable réelle qui est de nouveau tirée au hasard sur son intervalle de définition, [12].

2.13.3.3 Mutation non uniforme

La mutation uniforme possède la particularité de retirer les éléments qu'elle altère dans un intervalle de définition variable et de plus en plus petit. Plus on avance dans les générations, moins la mutation n'écarte les éléments de la zone de convergence.

Cette mutation adaptative offre un bon équilibre entre l'exploration du domaine de recherche et affinement des individu, [12]

2.14 Structure d'un AG

L'organigramme fonctionnel suivant, illustre la structure Générale d'un AG standard, [4].

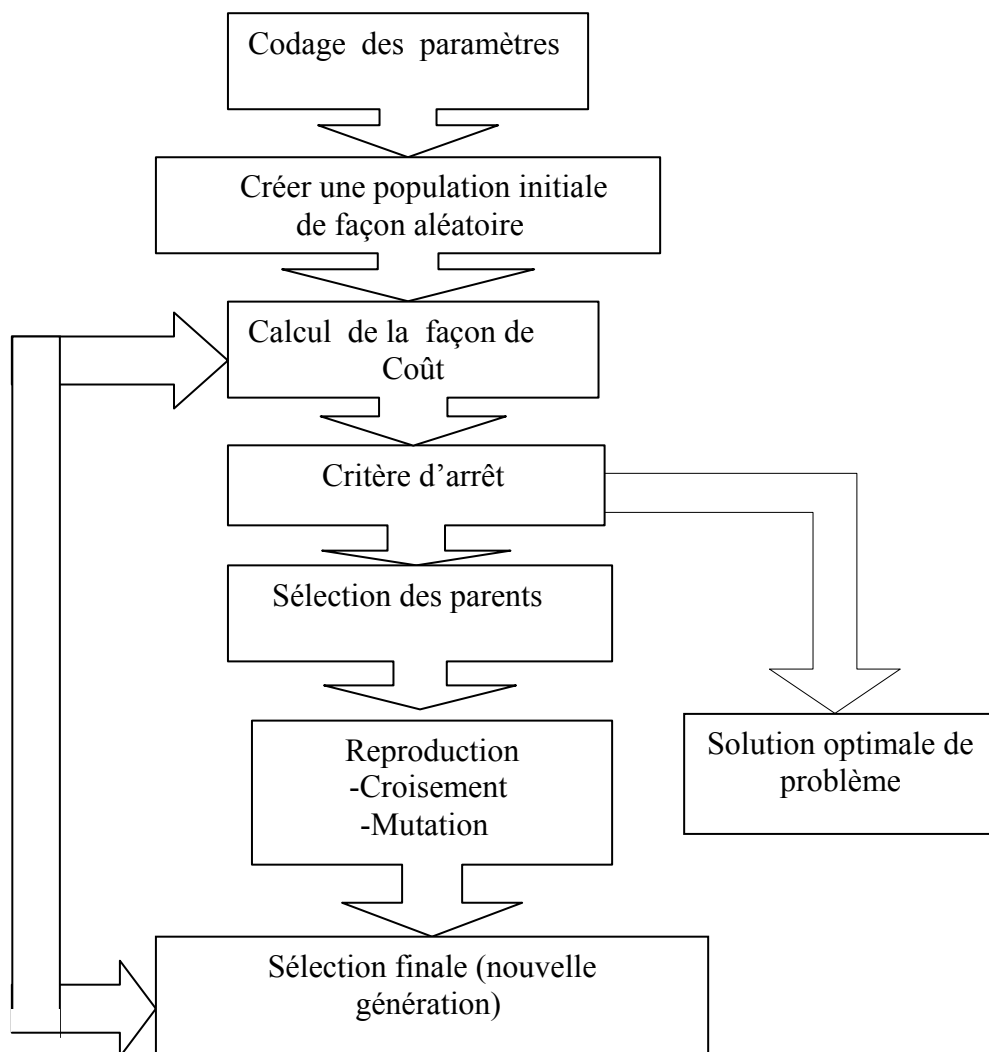


Fig 2.8 Organigramme d'un AG standard

2.15 Différence fondamentale entre AGs et autres méthodes

- 1- les algorithmes génétiques utilisent un codage des paramètres, et non les paramètres eux – mêmes.
- 2- Les algorithmes génétiques travaillent sur une population des points, au lieu d'un point unique.
- 3- Les algorithmes génétiques n'utilisent que les valeurs de la fonction étudiée, Pas sa dérivée, ou une autre connaissance auxiliaire.
- 4- Les algorithmes génétiques utilisent des règles de transition probabilités (Opérateurs de sélection, mutation, croisement.....), et non déterministes,[13].

2.16 Avantages de l'algorithme

- ❖ À mémoire, convergence, Rapide.
- ❖ Outil d'optimisation et de prévision.

Contrairement à la recherche opérationnelle, l'algorithme génétique est Indépendant du problème à résoudre. Il est seulement nécessaire de pouvoir écrire la fonction qui décode le génotype en une solution possible (tout décodage peut être utilisé de préférence le plus simple possible) et celle qui évalue la qualité de la solution. Il est donc léger à mettre en œuvre.

Le moteur de l'algorithme étant commun à tous problèmes.

- ❖ Les solutions ne sont pas trop éloignées des solutions optimales, même si l'on ne connaît pas de méthode de résolution.

Pour trouver une très bonne solution, il suffit de tester beaucoup moins de solution qu'il faudrait tester de possibilités sur un problème, [13].

2.17 Inconvénients de l'algorithme

- ❖ Stochastique.
- ❖ ne renvoie aucune information sur l'optimalité de la solution trouvée ou sur la non faisabilité du problème.
- ❖ Dans le cas de problèmes peu complexes, cette méthodes beaucoup moins efficace puisque ne dépendant pas du problème à résoudre. Ainsi, pour la recherche du plus court chemin dans un réseau, nous avons préféré utiliser l'algorithme de Dijkstra qui est un des algorithmes plus efficace, [13].

2.18 Les AGS et la résolution des problèmes

Pour une résolution génétique d'un problème il est nécessaire de tenir compte les points suivants :

✓ La convergence prématurée

Le problème de la convergence prématurée défini comme étant la convergence rapide de la population vers un optimum local. Ceci se produit lorsqu' un individu de fitness élevée et proche de l'optimum local domine sur les autres individus et conduit la population à converger rapidement vers un optimum qui ne représente pas la solution globale. Pour lutter Contre la convergence prématurée, il faut comprendre l'influence de deux facteurs fondamentaux sur la recherche génétique :

- **La pression sélective et la diversité de la population**

Les deux sont étroitement liées, en effet une forte pression sélective implique une faible diversité et vice versa. Une forte pression sélective favorise les individus de fitness élevée et peut conduire à une convergence prématurée, et une grande diversité de la population peut rendre la recherche inefficace. Il faut donc chercher un équilibre entre les deux en définissant des stratégies de sélection et d'évaluation adéquate

✓ Utilisation des données liée aux problèmes

Pour fonctionner efficacement un AG doit être basé sur les données du problème qui peuvent intervenir pour :

- ♦ Imposer une structure adéquate des chromosomes.
- ♦ L'évaluation d'un chromosome.
- ♦ Le développement d'opérateurs génétiques heuristique (non aveugle) basés sur les données du problème.

✓ Accélération de la recherche de bonnes solutions

Ceci est atteint entres par :

- Un bon choix des paramètres génétique.
- Une technique permettant aux paramètres génétique de s'adapter dynamiquement au fur et à mesure du processus d'optimisation.
- Une parallélisation de l'AG, [13].

2.19 Application des AGs aux Fonctions Mathématiques

On a constaté qu'il est d'intérêt de développer la procédure de la mise en œuvre d'un algorithme génétique pour résoudre des problèmes d'optimisation concrétisés par des exemples.

2.20 Procédure de maximisation des fonctions par algorithmes génétiques

Pour chercher le maximum d'une fonction simple $f(x)$ dans l'intervalle $[a, b]$ avec une précision de n chiffres significatifs, on procédera de la manière suivantes :

* L'intervalle $[a, b]$ est subdivisé en $(b-a)10^n$ petits intervalles qui représenteront Chacun un chromosome.

* Chaque chromosome est codé en binaire à l'aide de k bits, avec k vérifiant les Inéquations suivantes :

$$2^{(k-1)}((b-a)10^n) \leq 2^k \quad (2.4)$$

* La valeur décimale, x' , correspondant au code binaire de chaque chromosome binaire $v_j = (a_{k-1} \dots a_1 a_0)_j$, est calculé par :

$$x'_j = \sum_{i=0}^{i=k} a_i 2^i \quad (2.5)$$

Le nombre réel, x , correspondant à la valeur binaire est déterminé par :

$$x_j = a + x'_j ((b-a) / (2^k - 1)) \quad (2.6)$$

* Pour chaque génération les calculs suivants sont effectués :

Calcul de la fonction d'évaluation $f_{eval}(x_j)$ pour chaque chromosome v_j ,

Calcul de l'évaluation totale, F , de la population constitué de N individus :

$$F = \sum_{j=1}^n f_{eval}(x_j) \quad (2.7)$$

Calcul de la probabilité de sélection, P_s , de chaque chromosome :

$$p_{aj} = f_{eval}(x_j) / F \quad (2.8)$$

Calcul de la probabilité de cumulative, q , pour chaque chromosome :

$$q_j = p_1 + p_2 + \dots + p_j \quad (2.9)$$

Pour sélectionner à l'aide de la roue de loterie biaisé, on fait tourner la roulette N fois (taille de la population) de la façon suivante : à chaque fois, on génère

Aléatoirement un nombre r dans l'intervalle $[0, 1]$. Ensuite, on compare ces nombres aux probabilités q_j . Si $r < q_1$, v_1 est sélectionné, sinon v_j est sélectionné. Avec $2 \leq j \leq N$ tel que $q_{j-1} < r < q_j$. On procède de la même manière pour le reste des r_i ($i = 2, N$).

Pour chaque chromosome de la nouvelle génération, on génère, au hasard, N nombres r dans $[0, 1]$ et on les compare à la probabilité de croisement P_c . $r_i < P_c$, le $i^{\text{ème}}$ chromosome est sélectionné pour le croisement, sinon il n'est pas.

Croisement des chromosomes ainsi sélectionnés deux à deux. Si le nombre de ces chromosomes est impair, on peut élaguer un, ou bien reprendre un autre.

On mute un bit de l'ensemble des gènes des différents chromosomes si le nombre généré arbitrairement r . Probabilité de mutation P_m .

2.21 Exemple d'application

Dans ce paragraphe, on propose de donner un exemple simple d'utilisation des algorithmes génétiques dans l'optimisation des fonction. Pour ce faire, on considère la fonction :

$$f(x) = \sin(x) + \exp(0.1 * x)$$

Sur l'intervalle $[-4, 3]$, l'allure de cette fonction est donnée par la figure (2.9)

Le maximum cette fonction est calculé par l'algorithme génétique

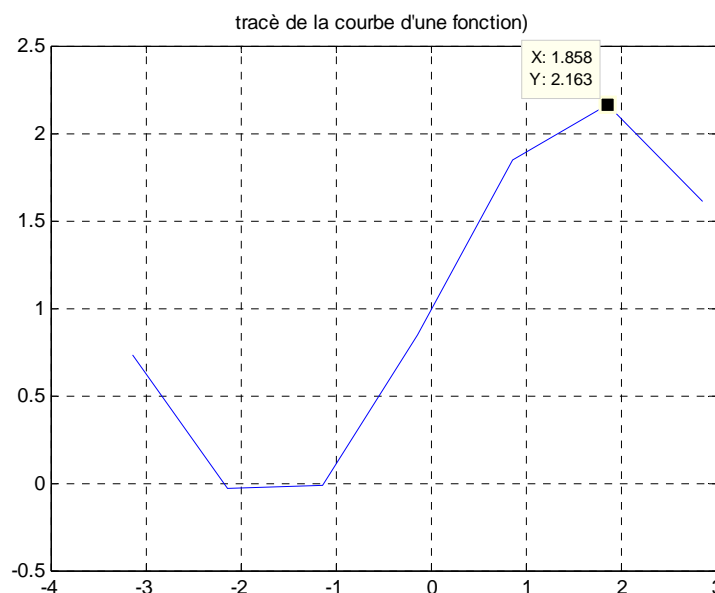


Fig 2.9 Allure de la fonction à optimiser.

2.21.1 Maximisation d'une fonction à une variable

Cherchons la maximisation de la fonction $f(x) = \sin(x) + \exp(0.1 * x)$ dans l'intervalle [1 3] avec une précision 1/10.

Le maximum obtenu est $f(x) = 2.1632$ pour une valeur de $x = 1.858$

2.21.2 Première phase : la genèse de la population et les paramètres

Pour ce problème de maximum d'une fonction, nous allons prendre les paramètres suivants:

- La longueur de l'intervalle est $3-1=2$;
- Chaque unité doit être subdivisée en 10^n (précision souhaitée, $n=1$) ;
- Donc, l'intervalle est subdivisée en $2^k * 10 = 20$ petits intervalles; en $2 * 10 = 20$ petits intervalles
- Le nombre de bits requis pour représenter tous les réels considérés dans l'intervalle est k tel que : $2^{k-1} \leq 20 \leq 2^k$ $k=5$:
- la probabilité de croisement $P_c = 0.75$
- la probabilité de mutation $P_m = 0.01$.
- Pour modéliser le problème, convenons de ce qui suit :

La taille de la population sera 4 individus (chromosome), chaque individu codé sur cinq bits (gènes). Choisis aléatoirement la génération initiale

$$V_1 = 10101$$

$$V_2 = 00110$$

$$V_3 = 10011$$

$$V_4 = 10111$$

2.21.3 Deuxième phase : l'évaluation

On va commencer par calculer la valeur de ou le chromosome V représente le réel x pour tous les chromosomes V_i pour $i = 1, 2, 3, 4$.

Ils correspondent aux valeurs :

$$X_1 = 21, \quad x_1 = 1 + 21 * (2) / 31 = 2.3548$$

$$X_2 = 6, \quad x_2 = 1 + 6 * (2) / 31 = 1.3871$$

$$X_3 = 19, \quad x_3 = 1 + 19 * (2) / 31 = 2.2258$$

$$X4 = 23, \quad x4 = 1 + 23 * (2) / 31 = 2.4839$$

Par conséquent, leurs fonctions d'évaluation respectives sont :

$$\text{Eval (V1)} = f(x1) = 1.9736$$

$$\text{Eval (V2)} = f(x2) = 2.1320$$

$$\text{Eval (V3)} = f(x3) = 2.0423$$

$$\text{Eval (V4)} = f(x4) = 1.8933$$

la plus grande évaluation **2.1320** et la valeur moyenne **2.0103**

Formons la première génération.

2.21.4 Troisième phase : la sélection

La sélection se fait par la méthode de la sélection proportionnelle. Pour cela, il faut construire une roulette de sélection.

Commençons par le calcul de l'aptitude totales des chromosomes :

$$F = \sum_1^4 f(xi) = 8.0412$$

Puis calculons les probabilités de sélection de chaque chromosome, on obtient :

$P1 = f(x1) / F = 0.2454$	$Q1 = 0.2454$
$P2 = f(x2) / F = 0.2651$	$Q2 = 0.5106$
$P3 = f(x3) / F = 0.2540$	$Q3 = 0.7646$
$P4 = f(x4) / F = 0.2354$	$Q4 = 1.0000$

On fait tourner 4 fois la roulette pour générer des nombres r dans [0 1], on obtient :

0.512 0.71 0.216 0.773

$$r = 0.512 \quad Q3 > 0.512 \quad V3 \text{ est sélectionné}$$

$$r = 0.71 \quad Q3 > 0.71 \quad V3 \text{ est sélectionné}$$

$$r = 0.216 \quad Q1 > 0.216 \quad V1 \text{ est sélectionné}$$

$$r = 0.773 \quad Q4 > 0.773 \quad V4 \text{ est sélectionné}$$

La première génération devient

$$V1' = V3 = 10011$$

$$V2' = V3 = 10011$$

$$V3' = V1 = 10101$$

$$V4' = V4 = 10111$$

2.21.5 Quatrième phase : le croisement

Nous pouvons désormais appliquer l'opération de croisement aux individus de la nouvelle population (les vecteurs V_i). La probabilité de croisement est de $P_c = 0.75$. Assumons qu'aléatoirement, on procède au croisement à partir de la deuxième position, on fait tourner la roulette pour générer des nombres r dans $[0, 1]$. Si $r < 0.75$, le chromosome est sélectionné pour le croisement.

On obtient :

0.9501 0.2311 0.6068 0.4860

Alors V_2, V_3, V_4 sont sélectionnés. Comme le nombre est impair, on laisse tomber le dernier.

Cela donne pour le croisement :

$V_2' \quad 10011 \longrightarrow 10101$

$V_3' \quad 10101 \longrightarrow 10011$

La nouvelle population est donc :

$V_1'' \quad 10011$

$V_2'' \quad 10101$

$V_3'' \quad 10011$

$V_4'' \quad 00111$

2.21.6 Cinquième phase : la mutation

L'opérateur de mutation est effectué bit par bit. La probabilité de la mutation est $P_m = 0.01$. Il y a $4 \times 5 = 20$ bits dans toute la population. Chaque bit a la même chance de mutation.

On tourne la roulette 20 fois pour générer r dans $[0, 1]$. Si $r < 0.01$, on mute le bit de ce rang. Seulement, au 16^{ième} tour, on obtient $r=0.008$, on mute, alors le 16^{ième} bit qui correspond au 1^{ième} bit du 5^{ième} vecteur.

Finalement, la première génération devient :

$V_1 \quad 10011, \quad x_1 = 19$

$V_2 \quad 10101, \quad x_2 = 21$

$V_3 \quad 10011, \quad x_3 = 19$

$V_4 \quad 00111, \quad x_4 = 7$

En évaluant la première génération, on obtient :

$X_1=2.2258 \quad \text{Eval}(V_1) = 2.0423$

$X_2=2.3548 \quad \text{Eval}(V_2) = 1.9736$

$X_3=2.2258 \quad \text{Eval}(V_3) = 2.0423$

$X_4= 1.4516 \quad \text{Eval}(V_4) = 2.1491$

Evaluation totale égale 8.2074 la plus grande valeur 2.1491 la valeur moyenne égale 2.0518

On vient de terminer une itération de la boucle "tant que". et la solution délivrée par cette génération est $X_3=2.2258$ qui correspond à $f(x_3)=2.0423$

Si ce résultat n'est satisfaisant, on forme une autre génération à partir de celle-ci et en refaisant la boucle "tant que" (on applique les opérateurs de sélection, croisement et de mutation). ensuite, on forme autant de génération qu'il faut jusqu'à la satisfaction du critère d'arrêt.

2.22 Conclusion

L'algorithme génétique est un outil efficace permettant de rechercher l'optimum des fonctions quelconques sur lesquelles il n'est besoin de faire aucune hypothèse particulière, notamment la dérivabilité. Les AG peuvent constituer une alternative intéressante lorsque les méthodes d'optimisation traditionnelles (méthode du gradient, méthode des moindres carrés....) ne parviennent pas à fournir efficacement des résultats faibles.

Le principe des AGS repose sur une analogie entre un individu dans une population et la solution d'un problème parmi l'ensemble de solutions potentielles : les individus (solutions) sont codés sous forme de chaînes de caractères, généralement binaires. L'algorithme fait évaluer une population d'individus à l'aide de divers opérateurs (sélection, croisement et mutation). Cependant, pour mettre en œuvre avec succès un AG il faut choisir avec soin les trois paramètres suivants:

- *la probabilité de croisement P_c .*
- *la probabilité de mutation P_m .*
- *la taille de la population N .*

Bien qu'il existe plusieurs variantes des algorithmes génétiques, notons entre autres l'algorithme canonique, l'AG modifié et l'AG Hiérarchisé, on s'est limité, dans ce chapitre, à l'étude de l'AGS (Algorithme génétique simple). Ce dernier nous a donné, tout de même des résultats très satisfaisants sur l'exemple traité.

3.1 Introduction

A cause de la facilité de son alimentation, la simplicité de sa construction, sa robustesse, son entretien limité et aussi son prix relatif intéressant, la machine asynchrone ou machine à induction, couvre la plupart des applications tant industrielles qu'à usage domestique couvrant, une large gamme de puissance qui peut s'étendre de quelques centaines de Watts à quelques Méga-Watts. Les moteurs électriques utilisent plus de 50 % (approximativement deux tiers) de l'électricité qu'est consommé dans la plupart des pays. Typiquement 60-80% de l'électricité est employée dans le secteur industriel et 25-40% de l'électricité est utilisée dans le secteur commercial et résidentiel. Où Les moteurs à induction représentent 90% de la consommation totale des moteurs électriques. De nos jours, l'amélioration de rendement des moteurs électriques et son impact sur l'épargne d'énergie deviennent un grand défi aux chercheurs et fabricants des moteurs dans le monde, [14].

En raison du manque d'énergie électrique, des coûts élevés pour et les contraintes de temps des nouveaux investissements dans ce domaine, particulièrement durant ces dernières années. Cela a conduit à soutenir le développement des moteurs à haut rendement avec un fonctionnement à rendement optimal, ce qui peut mener à une économie substantielle d'argent et d'énergie. Suites à ces contraintes, il a été créé en 1999, en Algérie un programme national sur la maîtrise d'énergie électrique et de la préservation de l'énergie Ce programme nous a poussé à la réflexion sur l'utilisation des moteurs à haut rendement dans un sucé de maîtrise de l'énergie, [15].

3.2 Définition et concept de la maîtrise de l'énergie

Parce que la production, la transformation, le transport et la consommation d'énergie sont responsables de la plus grande part des grande part des nuisances environnementales dues à l'activité humaine; augmentation de l'effet serre, pollution des sols, des eaux de pluies acides. De plus les ressources d'énergies que nous utilisons sont principalement des énergies fossiles dont les réserves sont limitées et la demande sans cesse croissant dues à la poussée démographique importante conduit forcément aux solutions de délestage. Tous ces problèmes nous amènent à réfléchir à la maîtrise de l'énergie qui définit une gestion raisonnée de l'énergie disponible pour satisfaire les besoins exprimés par la société. L'objectif n'est pas de diminuer le confort des usagers mais de le maintenir au même niveau tout en économisant l'énergie, [15].

3.3 Maîtrise d'énergie en Algérie

La maîtrise de l'énergie est parmi les préoccupations de l'Algérie, puisque elle pense que la ME est une solution à la pression démographique; cette dernière conduite à une augmentation de la consommation en énergie électrique, donc à une diminution des réserves pétrolières. Les statistiques de l'année 2003 donnent que la production en pétrole est 32.7 Mtep, et la consommation est d'environ 20.7 Mtep alors les pertes sont estimées a 12 Mtep. Toutes ces contraintes conduisent aux solutions du délestage électrique.

Durant ces dernières années l'Algérie élaborera une nouvelle politique nationale c'est la loi N°99-09 du 15 Rabi - Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie (N°JORA:051 du 02-08-1999). Qui permet d'assurer et d'encourager le progrès technologique, l'amélioration de l'efficacité économique et de contribuer au développement durable, à la protection de l'environnement, ainsi qu'à la promotion des énergies renouvelables.

La figure (3.1), représente les différentes sources de l'énergie électrique:

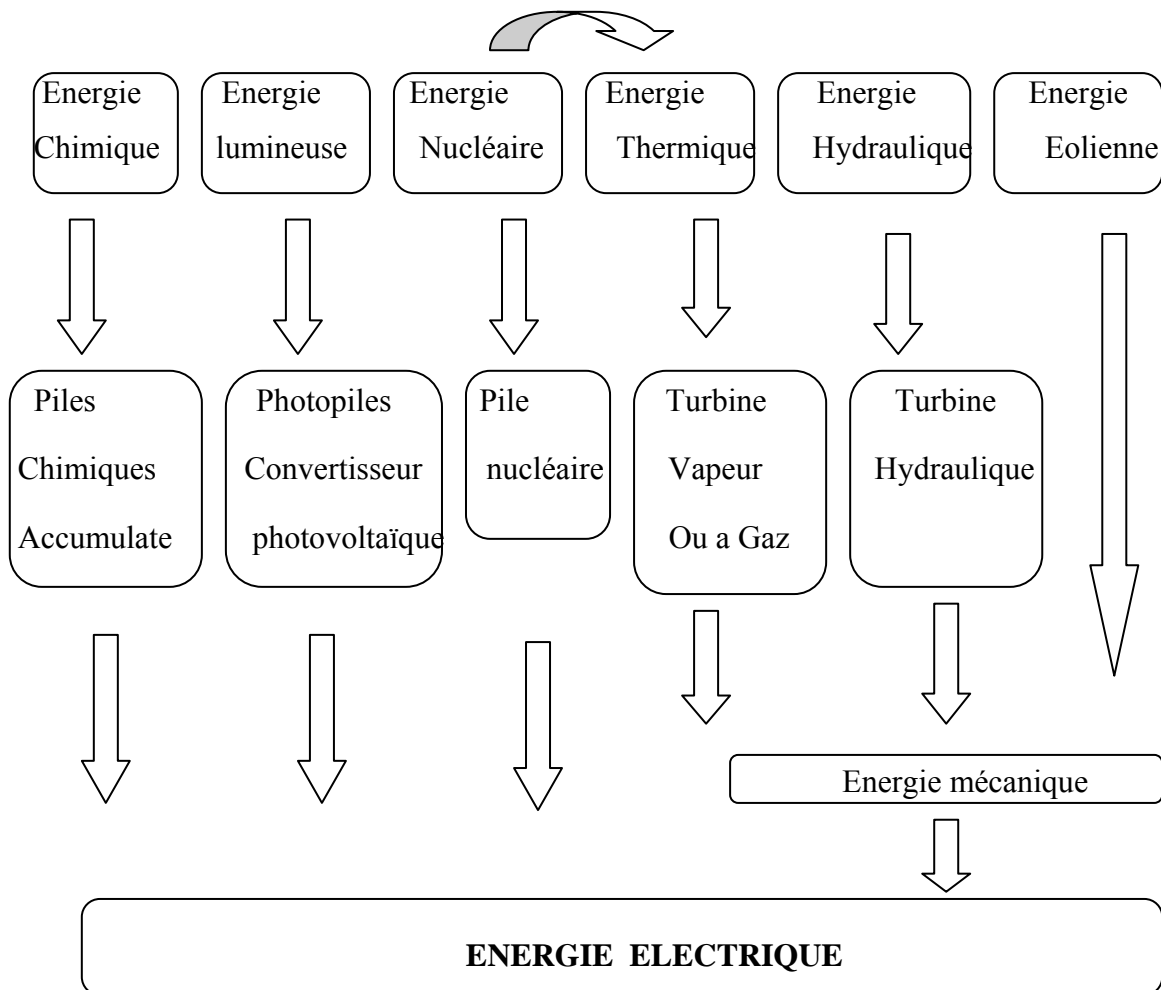


Fig 3.1 Différentes sources de l'énergie électrique, [15].

3.4 Actions de la maîtrise de l'énergie lors de son utilisation

3.4.1 Maîtrise de l'énergie dans le bâtiment

Un grand nombre de logement ne sont pas conçus, ou le sont incorrectement sur le plan thermique. Cela s'explique par l'absence de réglementation thermique spécifique pour l'habitat. Cette situation a pour conséquence une consommation énergétique importante des bâtiments.

La réglementation thermique dans les bâtiments neufs s'appliquant à la conception et à la construction des bâtiments détermine:

- ❖ Les catégorie de bâtiments et les normes de rendement énergétique y afférentes, selon les données climatiques des lieux où sont situés les bâtiments;
- ❖ Les normes techniques relatives à la construction se rapportant à la résistance thermique à l'étanchéité des ouvertures de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment, à la qualité des matériaux d'isolation et leur mode d'installation, à la fenestration, aux dispositifs des systèmes de chauffage ou de climatisation.
- ❖ Les modalités relatives à la certification et au contrôle de conformité avec les normes d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie.

Pour limiter les conséquences négatives de cette situation l'état doit conduire, autour de cette filière, des actions de sensibilisation ou d'étude, [15].

3.4.2 Eclairage

L'éclairage fait partie intégrante de notre vie, nous permettant de réaliser toutes nos activités et contribuant aussi à créer des ambiances correspondant à notre personnalité ou notre humeur du moment. Mais un éclairage de mauvaise qualité peut générer une augmentation sensible de la consommation d'électricité. Il faut savoir que l'éclairage représente en moyenne 15% de notre facture d'électricité. Un éclairage efficace ne se mesure pas au nombre de Watts installés mais au choix des équipements et à l'usage qui en est fait,[15].

3.5 Maîtrise de l'énergie dans l'industrie

La maîtrise de l'énergie ne concerne pas seulement les bâtiments mais aussi l'industrie car cette dernière qui représente une partie importante de la consommation de l'énergie électrique environ (50%). Au delà de l'application de la réglementation, la mise en œuvre d'actions de maîtrise l'énergie en respectant les consignes environnementales constitue, sur le plan économique et social, un facteur déterminant de la compétitivité d'une entreprise. Les actions de maîtrise de l'énergie dans les entreprises portent généralement sur :

- ❖ Le développement de procédés et d'équipements énergétiquement performants et leur diffusion;
- ❖ Promotion d'une gestion efficace de l'énergie dans les entreprises par l'utilisation d'équipements innovants et l'utilisation de bonnes pratiques. Nous présentons ci-après les principales actions de maîtrise de l'énergie dans les filières électriques, thermiques et pneumatique, [15].

3.5.1 Energie électrique

Il est évident qu'à cause du coût élevé de l'électricité, l'économie d'énergie électrique est plus attirante que l'économie de n'importe quelle autre forme d'énergie.

L'énergie électrique est la première énergie finale consommée. La démarche maîtrise de l'énergie (ME) vise à mieux utiliser l'électricité consommée. L'objectif n'est pas de diminuer le confort des usagers mais de le maintenir au même niveau tout en économisant de l'énergie. Cela est possible par l'utilisation d'appareils moins consommateurs d'électricité, par une gestion rationnelle des équipements en place, et en agissant sur le comportement des usagers. L'énergie économisée, non consommée, n'émet ni polluants locaux, ni gaz à effet de serre. La démarche ME permet de:

- ❖ Faire bénéficier aux consommateurs d'une diminution du montant de leur facture d'électricité;
- ❖ Minimiser les impacts sur l'environnement en ne multipliant pas à l'excès les moyens de production, de transport et de distribution de l'électricité;
- ❖ Participer à une sensibilisation générale aux économies d'énergie;

❖ Optimiser les investissements publics liés à la distribution d'électricité pour faire face aux pointes de consommations.

Dans une installation électrique industrielle, de nombreuses actions doivent être menées dans le but d'éviter les consommations injustifiées d'énergie. Ces actions se situent à tous les niveaux de l'installation et concernent à priori tous ses éléments, [15].

3.6 Effet des (MI-HRs) sur la maîtrise de l'énergie électrique

Comme il est mentionné, il y a beaucoup d'approches pour économiser l'énergie électrique. Dans la partie suivante, on étudiera l'emploi des moteurs à inductions à haut rendement pour l'épargne d'énergie, en tenant compte des meilleurs facteurs de «qualité, taille, coûts».

3.6.1 Qualité du moteur

Le choix de la qualité de moteur avec des conduites de haut rendement à l'épargne d'énergie particulièrement si la différence de prix d'achat est relativement petite, même quelques %, ce qui peut mener à l'épargne significative d'une énergie. Ceci signifie que le moteur fonctionne avec un coût inférieur et développe la même puissance.

3.6.2 Taille du moteur

Le choix de la taille de moteur est également très important. Par exemple, si le moteur est relativement surdimensionné à son application, alors le moteur fonctionne au-dessous des conditions de charge, avec un rendement et un fonctionnement plus faible et avec un coût plus élevé. Néanmoins, si le moteur est bien choisi, ceci mènera à une épargne significative de l'énergie.

3.6.3 Coût du moteur

Le choix du prix du moteur acheté doit être basé sur le rapport de coût/bénéfice. Il est plus intéressant d'acheter le plus cher, mais en possédant un meilleur rendement et par conséquent conduisant à une épargne significative de l'énergie, [14]

3.7 Economie d'énergie par les moteurs à inductions à haut rendement

Pour illustrer, l'épargne d'énergie on utilise les moteurs à induction à haut rendement avec une meilleure qualité d'alimentation en énergie électrique, deux types de moteurs sont

analysés dans cette partie de notre travail, le premier de faible puissance de 2,2 kW, et le deuxième avec une puissance plus élevée de 75 kW.

Le tableau 3.1, donne le prix d'achat des moteurs à induction classique (MI-Cls) sur le marché international et les moteurs à induction à haut rendement (MI-HRs) en Europe et leurs pris équivalent en Algérie. Cette estimation est faite sur la base de 1 EUR = 80 DA, avec un prix d'achat typique environ 40-50 EUR/kW, ce qui est équivalent à 3.2 - 4.0 10³ DA/kW en Algérie. Les moteurs à inductions à haut rendement (MI-HRs) sont environ 30% plus chers que les moteurs classiques (MI-Cls) équivalents, le prix national moyen de l'énergie est de 3.60 DA/kWh. La période annuelle moyenne d'utilisation est de 6000 h, à 80% de la charge, ce qui est dans la gamme du rendement maximum.

Tabl 3.1 Le prix d'achat de différents moteurs à haut rendement et les Moteurs classiques équivalents pour les deux types de moteurs (2.2-75) kW.

Type de moteur	Unité de prix 10 ³ .DA/kW	Prix d'achat 10 ³ .DA (2.2 kW)	Prix d'achat 10 ³ .DA (75 kW)
MI-Cls	3,2 - 4,0	7,04 -- 8,80	240,0 -- 300,0
MI-HRs	4,0 -- 5,2	8,80 -- 11,44	300,0 -- 390,0

3.8 Economie d'énergie par les M.I-H.Rs (E.U)

Les Tableaux 3.2a et b, montrent clairement les économies annuelles relatives d'énergie, pour ces deux moteurs à inductions à haut rendement choisis (2,2 et 75) kW selon la norme européenne (E.U)

Tabl 3.2a Energie et économie d'énergie avec les MI-HRs (E.U) de 2.2 KW.

Tableau 3.2a (2.2 kW)	Moteur (1)-(78%) MI-Cls E.E-I Azazga	Moteur (2)-(85%) MI-HRs (E.U)	Economie d'énergie (1-2)
Energie (kWh)	13538,4	12423,5	1114,9
Prix (10 ³ .DA)	48,7384	44,7247	4,0136

Tabl 3.2b Energie et économie d'énergie avec les MI-HRs (E.U) de 75 KW

Tableau 3.2 b (75 kW)	Moteur (4)-(94%) MI-Cls E.E-I Azazga	Moteur (5)-(94.1%) MI-HRs (E.U)	Economie d'énergie(4-5)
Energie (kWh)	382978,7	382571,7	406,9
prix (10 ³ .DA)	1378,7234	1377,2581	1,46528

3.9 Economie d'énergie par les M.I-H.Rs (USA)

Les Tableaux 3.3a et b, donnent les mêmes remarques mais avec des moteurs à induction à haut rendement (MI-HRs) qui sont utilisés dans l'USA.

Tabl 3.3a Energie et économie d'énergie avec les MI-HRs (USA) de 2.2 KW

Tableau 3.3a (2.2 kW)	Moteur (1)-(78%) Cl.Ms E.E-I Azazga	Moteur (3)-(87%) E-E.Ms (USA)	Economie d'énergie (1-3)
Energie (kWh)	13538,4	12137,9	1400,5
Prix (10 ³ .DA)	48,7384	43,6965	5,0418

Tabl 3.3b Energie et économie d'énergie avec les MI-HRs (USA) de 75 KW

Tableau 3.3b (75 kW)	Moteur (4)-(94%) MI-Cls E.E-I Azazga	Moteur (6)-(95.1%) MI-HRs (USA)	Economie d'énergie(4-6)
Energie (kWh)	382978,7	378548,8	4429,9
prix (10 ³ .DA)	1378,7234	1362,7760	15,9474

Les moteurs de 2.2 kW peuvent être le meilleur marché couru que l'équivalent à d'E.E-I Azazga, et peuvent être amortis en moins de deux ans. Par contre, les moteurs de 75 kW peuvent être amortis de 5-10%/année.

3.10 Moteurs à induction à haut rendement (MI-HRs)

Récemment, à la suite de la crise énergétique, une nouvelle génération de moteurs, appelés moteurs à haut rendement, a fait son apparition. Comme leur appellation l'indique, ces moteurs ont un rendement et un facteur de puissance supérieur à ceux des moteurs équivalents de construction classique. Leur coût d'achat plus élevé, est rapidement amorti par les économies d'énergie réalisées lorsqu'ils fonctionnent pendant de longues périodes et à des charges se rapprochant de la pleine charge.

Le tableau 3.4 donne des valeurs typiques du rendement et du facteur de puissance pour des moteurs de diverses puissances de construction classique ainsi que pour des moteurs à haut Rendement.

On remarque pour ces derniers une diminution importante des pertes et une amélioration sensible du facteur de puissance. Pour obtenir ces résultats, il a fallu réviser les critères de conception. En premier lieu, on utilise une plus grande quantité d'aciers de meilleure qualité pour construire le circuit magnétique. Ces aciers ont des pertes spécifiques qui s'élèvent à seulement 3,3W/kg au lieu de 6,6W/kg pour l'acier de qualité usuelle. De plus on a réduit la densité de flux et accru l'isolation entre les tôles de façon à réduire à la fois les pertes par Hystérésis et les pertes dues aux courants de Foucault. Le nombre d'encoches ainsi que leur forme ont été optimisés. On utilise aussi des conducteurs de 35 à 40% plus gros afin de réduire les pertes dues à l'effet joule. On a toutefois maintenu deux critères importants : les dimensions des carcasses et les caractéristiques des moteurs, qui conservent le comportement des moteurs à couple normal et à faible courant de démarrage. De cette manière, ces nouveaux moteurs sont interchangeables avec les moteurs classiques de même type, [15].

Tabl 3.4 Comparaison entre certains moteurs à induction à haut rendement (MI-HRs) et de type classique équivalents (MI-Cl)

Charge (%)		100%		75%		50%	
kW	Type	η (%)	Fp	η (%)	Fp	η (%)	Fp
0.75	MI-HRs	84.0	80.5	84.0	74.0	81.5	62.0
0.75	MI-Cl	72.0	78.0	72.0	70.0	68.0	58.0
7.5	MI-HRs	90.2	88.0	90.2	85.0	90.2	77.0
7.5	MI-Cl	84.0	85.5	84.0	80.5	81.5	75.0
37	MI-HRs	92.8	84.5	93.0	81.0	91.7	73.0
37	MI-Cl	91.7	84.0	91.7	81.0	90.2	71.5
75	MI-HRs	93.5	91.5	94.0	91.0	93.8	87.0
75	MI-Cl	91.7	83.5	91.7	80.5	90.2	73.0
150	MI-HRs	94.8	90.5	94.6	88.5	94.3	83.0
150	MI-Cl	89.0	88.5	91.7	86.5	89.5	80.0

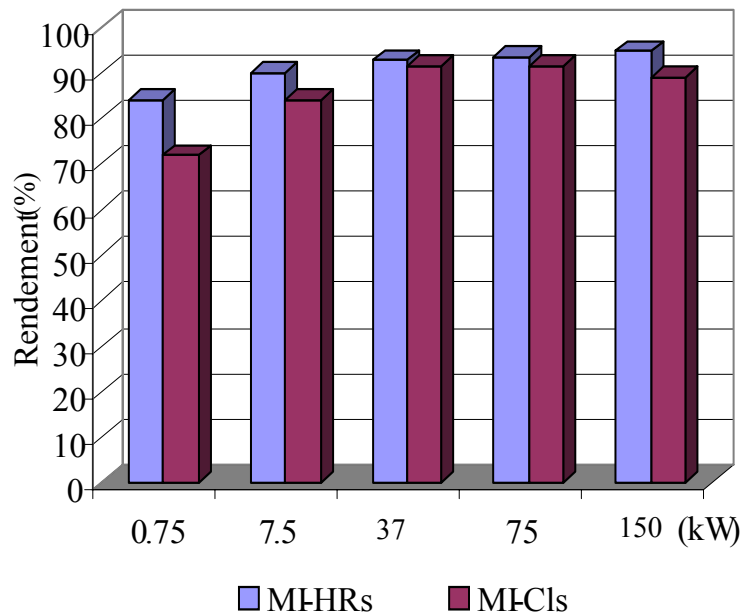


Fig 3.2 Différence du rendement entre les MI-HRs et les MI-Cl, pour différentes puissances.

3.11 Rendement des moteurs à induction

Pour les systèmes de puissance électrique le rendement est d'une très grande importance, car cela a un impact direct sur le fonctionnement de la machine et une incidence sur l'aspect économique de la consommation énergétique. Pour déterminer le rendement des moteurs électriques, il existe plusieurs méthodes, parmi ces méthodes on trouve: méthode de la plaque signalétique, méthode de glissement, méthode de courant, méthode statistique, méthode du circuit équivalent, méthode des pertes isolées, méthode de couple d'entrefer. Et on peut les mesurer directement ou indirectement. Toutes ces méthodes déterminent le rendement selon la définition donnée par l'équation (3.1).

$$\eta = \frac{PMec}{Pele} = \frac{Pele - Ptot}{Pele} = 1 - \frac{Ptot}{Pele} \quad (3.1)$$

En principe trois types de mesures peuvent être employés pour déterminer le rendement par la:

- ❖ Mesure directe de la puissance électrique d'entrée et mécanique de sortie ;
- ❖ Mesure directe des pertes totales et de la puissance d'entrée ;
- ❖ Mesure des différents composants de perte et de la puissance d'entrée, [16].

3.12 Caractéristiques des moteurs à haut rendement

Les moteurs à haut rendement ont la même construction que les moteurs classiques mais il se distinguent par:

- ❖ L'acier mince et de bonne qualité pour le stator
- ❖ Une augmentation de la quantité de cuivre dans les enroulements
- ❖ Une minimisation de l'épaisseur de l'entrefer entre le stator et le rotor
- ❖ Une réduction des pertes de ventilation
- ❖ Une grande longueur
- ❖ Une augmentation de la taille de la carcasse

Pour un coût supplémentaire de 20 à 30%, les moteurs efficaces (EEMs), aussi appelés moteurs à haut rendement, ont un rendement meilleur de 2 à 6%, ce qui représente des économies d'énergie significatives.

La réduction des pertes permet une élévation moindre de la température dans le moteur, aussi de plus, dans de nombreux cas:

- ❖ La fiabilité augmente
- ❖ Les coûts de maintenance et d'arrêt sont réduits
- ❖ La tolérance aux stress thermiques s'accroît
- ❖ La capacité de résistance aux surcharges s'améliore
- ❖ La résistance aux conditions de fonctionnement anormales – sous et sur tension, aux phases non équilibrées, aux variations de la forme de la puissance et du courant (par exemple les harmoniques),etc. s'améliore:
- ❖ Le facteur de puissance s'améliore
- ❖ Le bruit est réduit, [15].

3.13 Différentes normes de mesures du rendement

De nos jours, avec l'emphase croissante sur la conservation d'énergie, les valeurs de rendement sont devenues très importantes et même dominantes dans l'industrie.

Les valeurs de rendement indiquées par les fabricants sont mesurées ou calculées selon certaines normes. Dans le monde entier, il existe plusieurs normes pour examiner les machines électriques. Parmi ces normes en trouve :

- ❖ La norme américaine NEMA MGI (IEEE 112b/1991) ;
- ❖ La norme japonaise de JEC-37 ;
- ❖ La norme européenne IEC 60034-2/1972 International UK/germany/france/aust.). A cet instant, une nouvelle norme du IEC(IEC 61972), est en cours de développement;
- ❖ La norme australienne 1359 (2000) ;
- ❖ ABNT NBR 5383/1982(norme brésilienne) ;
- ❖ La norme CSA C-390/1993 de l'association canadienne.

En Algérie, le fabricant algérien Electro-Industry (E.E-I) Azazga, emploie la norme de l'institut de Deutschland (DIN) et VDE 0530, ce qui sont conformées à la norme du CEI 34-t2.

Pour les moteurs à inductions, les trois normes les plus importantes sont : la norme américaine IEEE 112b/1991, le Japonais JEC-37 et le IEC 60034 -2 européens. La différence

entre ces normes et la manière de traiter les pertes additionnelles ou les pertes parasites de charge.

La figure 3.3 présente la différence entre les valeurs de rendement des différentes normes de mesures les plus utilisées et celui utilisée en Algérie, pour un moteur à induction à 4 pôles et de (4, 7.5, 15, 55) kW.

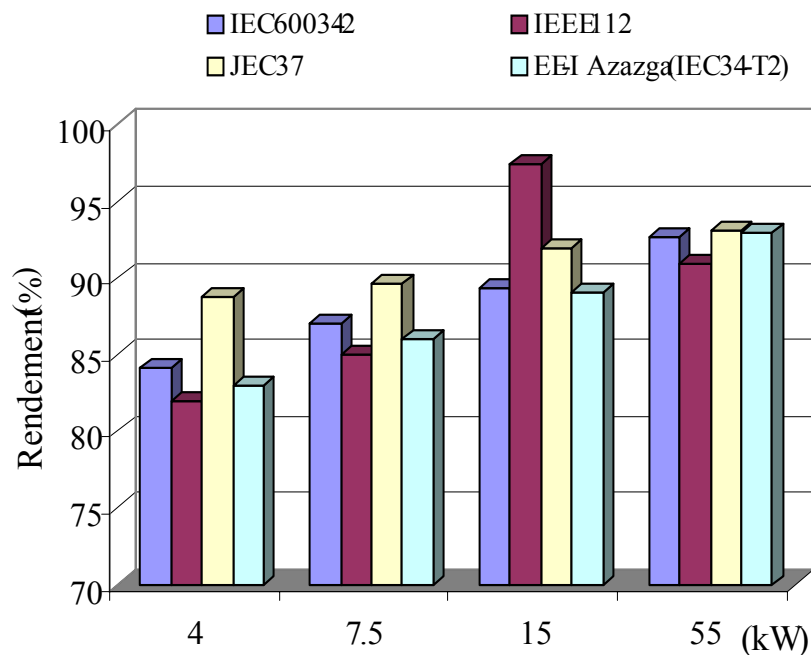


Fig 3.3 Le rendement selon les différentes normes.

La figure 3.3 montre une différence de rendement des moteurs environ 2-6% pour les basses puissances et de 1% pour les moteurs à haut puissance. Il peut voir également que le rendement dans la norme JEC-37 est le plus haut par rapport aux autres normes, [14]

3.14 Répartition des moteurs électriques classes de rendement

Dans le courant de cette année, les moteurs électriques seront répartis en classe de rendement. Cela concerne actuellement les moteurs triphasés à 2 et 4 pôles les plus fréquents pour une tension de réseau de 400 V, une fréquence de 50 Hz et un type d'usage S1. La puissance des moteurs électriques est définie entre 1,1 et 90 kW.

Trois classes de rendement ont été définies, sur la base des normes IEC 34 – 1 et 34 – 21.

La Classe I est réservée aux moteurs qui sont très économiques au niveau énergie,

La Classe II aux moteurs économiques et la Classe III s'adresse aux moteurs électriques standard sans classification. Les moteurs électriques de la Classe III seront principalement

prévus dans des endroits où ils ne doivent être utilisés que pendant une brève période, ou si leur durée d'utilisation annuelle est inférieure à 1.000 heures. Le prix d'achat du moteur prévaudra pour ce dernier cas.

L'achat des moteurs de Classe I étant considérablement plus chers à, ils ne sont utilisés que là où la durée d'utilisation annuelle dépasse les 4.000 heures. Les coûts de consommation et la disponibilité sont ici les principaux éléments qui interviennent dans le choix du moteur électrique. Dans tous les autres cas. Des moteurs de Classe II devraient être utilisés, [15].

3.15 Pertes dans les moteurs à induction

Les différentes composantes des pertes se produisant dans un moteur sont les suivantes:

3.15.1 Pertes dans les circuits électriques

Ce sont les pertes par effet Joule dans les enroulements induits, d'excitation et plus généralement dans les parties conductrices d'une machine traversée par des courants (pertes Joule statoriques et pertes Joule rotoriques).

3.15.2 Pertes magnétiques

Elles sont appelées aussi pertes dans le fer, du fait que les matériaux utilisés pour ce circuit est habituellement à base de fer. Ces pertes regroupent les pertes par hystérésis et les pertes par courant de Foucault. Les pertes par hystérésis dépendent des propriétés magnétiques du fer utilisé et les pertes de courant de Foucault de l'épaisseur, de la fréquence, de la densité de flux et de la résistivité du fer.

3.15.3 Pertes mécaniques

Ces pertes prennent en compte tous les frottements dus à la rotation de la partie tournante de la machine et des ventilations. Dans les petits moteurs à induction les pertes mécaniques sont habituellement environ de 10% de toutes les pertes électriques dans les petits moteurs.

3.15.4 Pertes additionnelles de charge

Ce sont les pertes non couvertes par les autres composantes des pertes, autrefois, elles sont désignées sous le nom des pertes parasites de charge ou des pertes supplémentaires.

On peut exprimer ces pertes par la relation (3.2) suivant :

$$P_{tot} = P_{ele}(P_{js} + P_{jr}) + P_{Mec} + P_{mag} + P_{add} \quad (3.2)$$

- ❖ P_{js} : pertes Joule statorique ;
- ❖ P_{jr} : pertes Joule rotorique ;
- ❖ P_{mag} : pertes magnétiques ;
- ❖ P_{Mec} : pertes mécaniques et de frottement d'enroulement ;
- ❖ P_{Addi} : pertes additionnelles de charge.

Les quatre premières composantes des pertes de puissance ne sont pas beaucoup traitées, par contre la dernière composante (les pertes additionnelles de charge), a été le sujet de plusieurs travaux et recherches scientifiques. On peut noter, que ce rendement électrique de moteur prend différentes valeurs, selon les essais expérimentaux réalisés et selon les différentes normes de mesures, [16].

3.16 Différentes méthodes de mesures du rendement

Les méthodes de mesures sont décrites dans les normes IEEE 112/1991, IEC 60034-2/1972, CSA C-390/1993 et ABNT NBR 5383/1982. De ces quatre normes mentionnées ci-dessus, cinq groupes de méthodes pour déterminer le rendement de moteur peuvent être obtenus.

Méthode 1 : dans laquelle la puissance d'entrée et de sortie sont directement mesurées, selon les normes d'IEEE, IEC 60034-2 et de ABNT NBR. La mesure de puissance d'entrée et de sortie (l'essai c'est fait après l'élévation de la température de charge). La norme d'IEEE demande une correction des pertes de stator à une température indiquée avant de déterminer le rendement de moteur.

Méthode 2: dans laquelle les puissances d'entrée et de sortie sont mesurés avec la séparation des pertes et la mesure indirecte des pertes parasites de charge, selon les normes d'IEEE et de CSA C-390. Les pertes parasites de charge sont définies comme toutes les pertes sans la somme des pertes conventionnelles (pertes électriques, pertes magnétiques et pertes mécaniques). Les pertes parasites de charge sont obtenues à partir des analyses d'une régression linéaire pour réduire l'effet des erreurs aléatoires dans les mesures d'essai. La méthode 2 peut fournir des résultats différents de la méthode1, principalement en raison des

ajustements des pertes parasites de charge dans lesquels toutes les erreurs de mesure d'essai sont incluses.

Méthode 3: Méthode avec les machines reproduites, comme vu dans les normes d'IEEE, IEC 60034-2 et de ABNT NBR. Quand deux machines identiques sont couplées ensemble et alimentées à partir de deux sources d'énergie séparées. Le courant électrique dans et hors des deux machines est mesuré et la différence sont les pertes combinée des deux machines.

Méthode 4: Méthode avec la mesure directe des pertes parasites de charge et de la séparation des pertes, selon des normes d'IEEE, IEC 60034-2, CSA C-390 et ABNT NBR. Dans cette méthode, le rendement est indirectement calculé par la détermination des tous les pertes (pertes électriques, pertes magnétiques et pertes mécaniques et les pertes parasites de charge). Aux normes d'IEEE et de CSA C-390 les pertes parasites de charge sont obtenues directement à partir des essais spécifiques.

Méthode 5: Méthode dans laquelle le circuit équivalent est déterminé, selon des normes d'IEEE, CSA C-390 et ABNT NBR. Le rendement de moteur est calculé à partir des paramètres du circuit équivalent. Dans cette méthode, il est très important de prendre l'impédance de rotor au basse fréquence. La précision d'impédance de rotor affectera considérablement les caractéristiques sous la charge. En calculant les paramètres, les réactances sont corrigées à la fréquence et les résistances sont corrigées à une température indiquée, [17].

3.17 Calcul des pertes additionnelles de charges

Afin de déterminer le rendement, différentes normes sont employées. La différence entre les valeurs de rendements de ces normes de mesures est due à la manière de traiter les pertes additionnelles ou les pertes parasites de charge :

- ❖ La norme japonaise de JEC 37 néglige complètement les pertes additionnelles de charge ;
- ❖ Dans la norme d'IEEE 112-b, elles sont déduites en mesurant la puissance d'entrée et de sortie; les pertes non couvertes par les trois autres termes de perte (P_{Ele} , P_{Mec} , P_{Mag}) sont alors supposés comme des pertes additionnelles de charge ;
- ❖ Dans la norme du IEC 60034-2, ces pertes sont estimées à 0,5 % de la puissance d'entrée ;
- ❖ La nouvelle norme proposée du CEI 61972 donne deux possibilités pour l'évaluation des pertes additionnelles de charge. La première est une détermination au moyen de la

puissance mesurée de sortie, comme dans la norme l'IEEE 112-b, la seconde attribue une quantité fixe à chaque machine de la même puissance évaluée[14].

3.18 Différents facteurs qui influent sur le rendement des moteur électriques

Il y a un nombre de facteurs relatifs au fonctionnement et à l'entretien du moteur qui ont un grand effet sur son rendement. Dans le but de maintenir et d'améliorer le rendement de fonctionnement du moteur, plusieurs facteurs peuvent être utilisés: le rendement et les techniques de commande de moteur, la qualité de système d'alimentation, le réseau de distribution, la taille des moteurs électriques, les moyens mécaniques de transmission, les problèmes d'entretien, cycles de gestion de charge...etc.

3.18.1 Qualité d'alimentation d'énergie

Moteurs électriques, et en particulier moteur à induction, sont conçus pour fonctionner avec une exécution optimale, une fois alimentés par des formes d'ondes sinusoïdales triphasés symétriques avec la valeur de tension nominale. Les déviations de ces conditions idéales peuvent causer la détérioration significative de rendement et de la vie de moteur.

3.18.2 Charge du moteur

La charge du moteur peut avoir aussi un effet significatif sur son rendement. Un moteur chargé à plus de 50% a un rendement relativement stable. A charge plus faible, le rendement diminue considérablement. Les faibles rendements sont due aux charges inadaptées ou à un fonctionnement à vide des moteurs ; de telles conditions doivent être évitées.

3.18.4 Plage d'utilisation des moteurs

D'une manière générale le rendement (η) des moteurs électriques prend une valeur maximal pour : $0.6 I_n \leq I_n \leq 1.0 I_n$, car dans cette plage on considère, que le rapport des pertes à la puissance consommée est minimal. En dehors de cette plage, les pertes devenant beaucoup plus prépondérantes, entraîne la croissance de ce rapport donc une réduction du rendement (η), la figure (3.4) illustre la plage du rendement maximal dans les moteurs électriques .

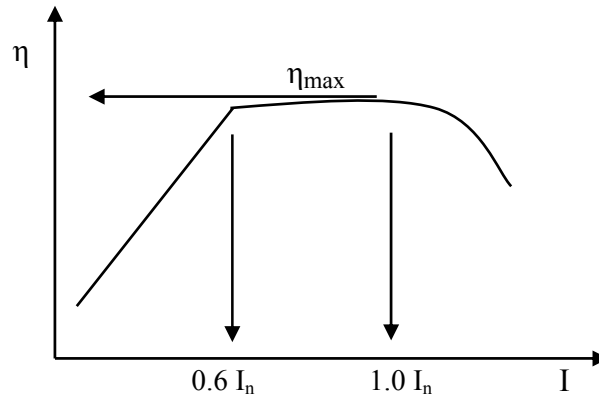


Fig 3.4 Plage de rendement maximal.

3.18.5 Maintenance du moteur

Les moteurs fonctionnent plus efficacement, durent plus longtemps et nécessitent moins d'attention s'ils sont nettoyés, refroidis, séchés et lubrifiés correctement. Les moteurs installés dans un environnement sévère et exposés à une grande humidité et à un lavage fréquent ont une durée de vie largement au-dessous de la moyenne. Des corps étrangers ne doivent pas bloquer les branchements corrects font prolonger la durée de vie du moteur et maintiennent un rendement optimal. L'inspectant pour aboutir à cette fin. La mesure périodique de la tension et du courant du moteur est fortement recommandée,[14].

3.19 Rendement des moteurs à induction produits en Algérie

Dans cette partie, nous essayons de situer le rendement des moteurs à induction produits par E.E-I Azazga. Les figure 3.5 - 3.6, illustrent le rendement du produit algérien construit et examiné selon les normes DIN 57530 et le IEC 34-t2 respectivement, comparé à la norme IEC 60034-2, pour les machines de $2p=2,4$, et 6 pôles.

L'analyse de la figure 4.3, montre une différence dans le rendement de 1-2% pour la grande majorité des moteurs pour les deux normes, pour les machines de 6 pôles. Dans la figure 3.3, les deux normes donnent des rendements semblables, pour une puissance plus grand que 15 kW, mais les moteurs d'E.E-I Azazga ont un rendement inférieur environ de 3-4% pour les moteurs de 0,75 à 11 kW.

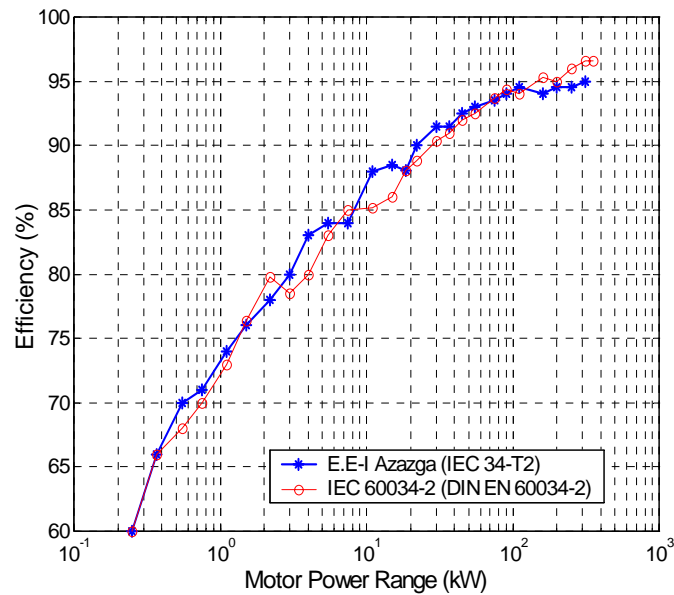


Fig 3.5 Le rendement nominal pour un moteur à 6 pôles à différentes puissances

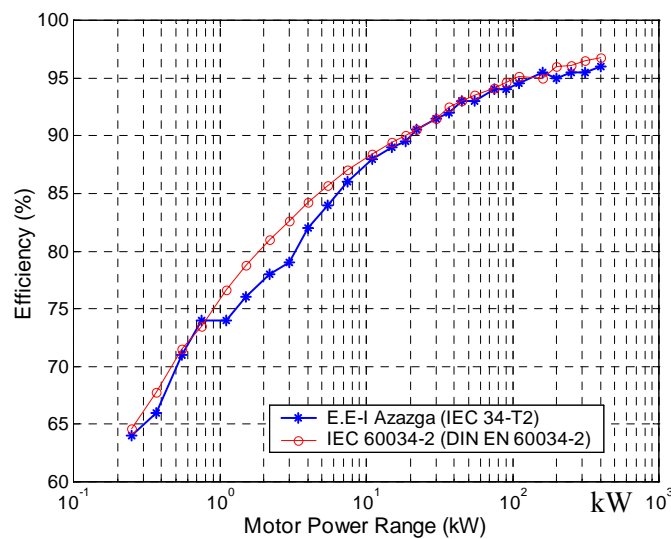


Fig 3.6 Le rendement nominal pour un moteur à 4 pôles à différentes puissances

La figure 3.7, prouve que les moteurs d'E.E-I Azazga qui sont examinées selon la norme du IEC 34-t2 ont des rendements inférieurs (environ 3-5%) que ceux du IEC 60034-2.

Ces figures illustrent également, que le produit d'E.E-I Azazga doit être d'abord alignés sur la nouvelle exécution de rendement donnée par la norme du IEC 60034-2 afin d'être concurrentiel sur le marché international des machines à induction classiques,[14].

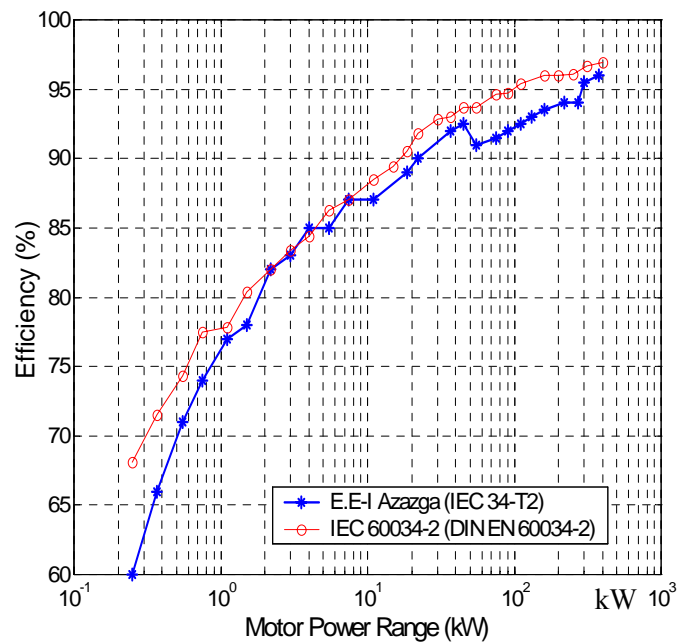


Fig 3.7 Le rendement nominal pour un moteur à 2 pôles à différentes puissance

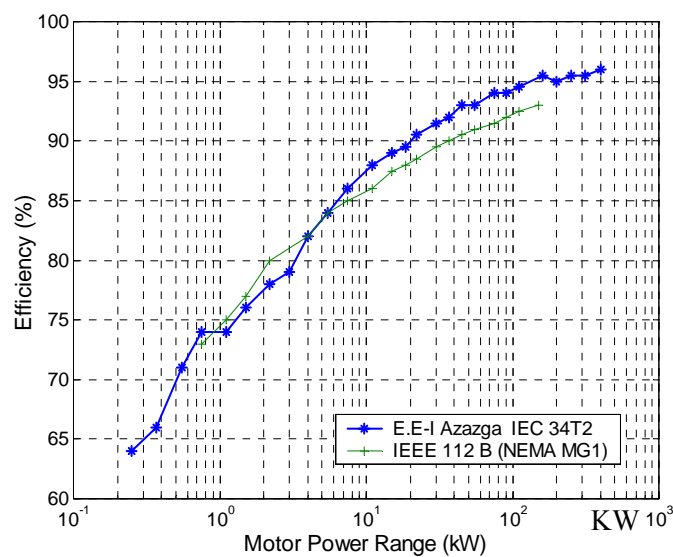


Fig 3.8 Le rendement nominal pour un moteur à 4 pôles à différentes puissance

La figure 3.8 illustre le rendement de produit d'E.E-I Azazga avec la norme du IEC 34-t2, pour un moteur de 4 pôles comparé à ceux de IEEE 112-b (NEMA MG1), c'est la norme la plus grave, comme représenté sur la figure 3.1. Ceci ne signifie pas que le produit d'E.E-I Azazga est le meilleur.

3.20 Amélioration du rendement des moteurs

Pendant les dernières décennies, la tendance sur la conception de moteur a été principalement concentrée sur la réduction de la densité de puissance et du coût, donner ainsi de plus petites machines avec des coûts inférieurs. En même temps, les prix de l'électricité commencent à augmenter rapidement. Les fabricants de moteurs ont proposé une nouvelle génération des moteurs de haut rendement (MI-HRs) pour une gamme de puissance élevée. De nos jours, les consommateurs sont plus avertis et intéressés sur la conservation d'énergie et le coût de fonctionnement inférieur, ainsi besoin des moteurs de haut rendement.

Comme il est mentionné auparavant, pour améliorer le rendement des moteurs deux approches peuvent être adoptées:

- ❖ D'abord, nous devons agir par un choix approprié du classement par taille de moteur, ou on actionnant le moteur d'une manière efficace.
- ❖ En second lieu, par l'action sur la conception de moteur, qui signifie l'augmentation du volume du matériel actif (fer et le cuivre), utilisant de plus longues machines afin de garder la même conception des dents, choisissant une densité de courant inférieure et un facteur de remplissage plus élevé, choix de nouveau matériel avec des exécutions magnétiques élevées (basses pertes de fer), type et choix de l'enroulement (facteur de bobinage, facteur de distribution, et facteur de raccourcement) et optimisant la conception de moteur selon son rendement.

Comme exemple, le tableau 3.1 compare et illustre l'effet d'augmenter le volume actif de matériel et optimisant la conception de moteur sur l'amélioration de rendement.

Tabl 3.5 Poids et rendement des moteurs à inductions selon E.E-I Azazga (IEC 34-T2) et IEC 60034-2 pour une série de moteur de 4 pôles

Puissance (kW)		1.1	2.2	3.0	4.0	7.5	11	22	55	75
E.E-I Azazga	Poids(kg)	12	22	24	42	66	92	190	455	610
	η (%)	74	78	79	83	86	88	90.5	93	94
VEM Motors	Poids(kg)	15.5	23.5	30	37	70	92	170	375	520
	η (%)	76.6	81	82.6	84.2	87	88.4	90.5	93.5	94.1

Les figures 9, 10 et 11, donnent une idée au niveau désiré de rendement pour les futures machines, de nos jours il est disponible aux niveaux des Etats-Unis et pays européens, et la situation de rendement de produit algérienne, relativement à ces pays.

Ces figures montrent une grande différence dans le rendement pour des moteurs à basses puissances, jusqu'à 10%, et des valeurs presque égales (une différence moins que 1%) pour les moteurs à haute puissance, [14].

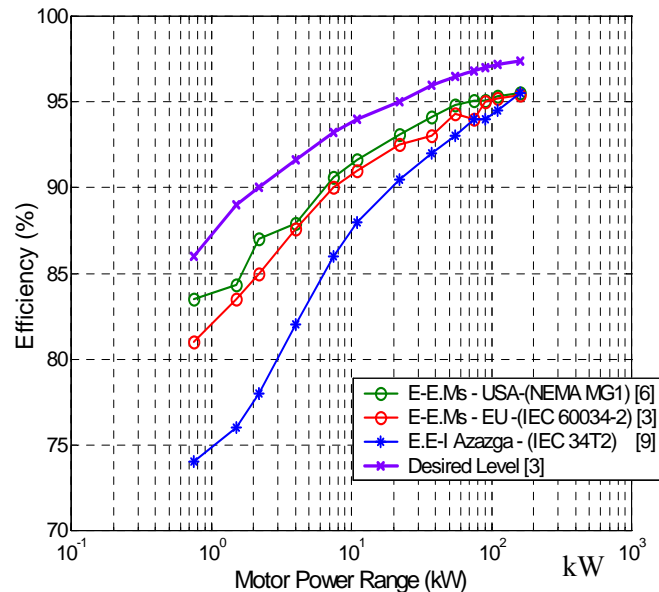


Fig 3.9 Rendement nominal pour les moteurs à inductions à haut rendement à 4 pôles à différentes puissances.

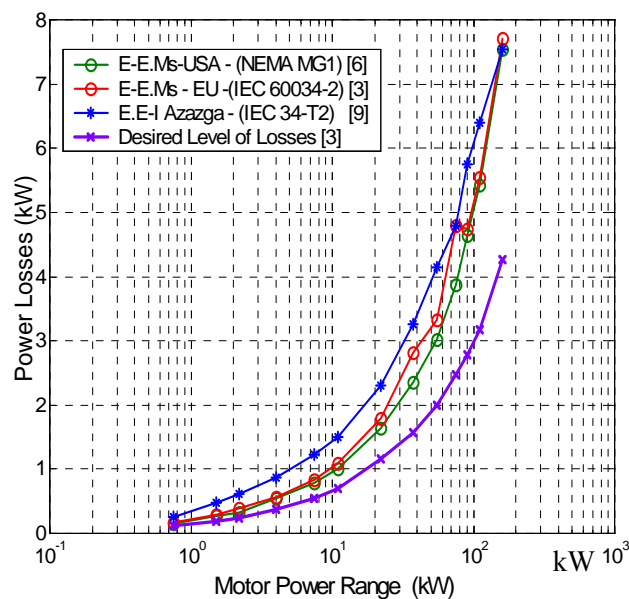


Fig 3.10 Pertes nominales dans les moteurs à inductions à haut rendement à 4 pôles à différentes puissances.

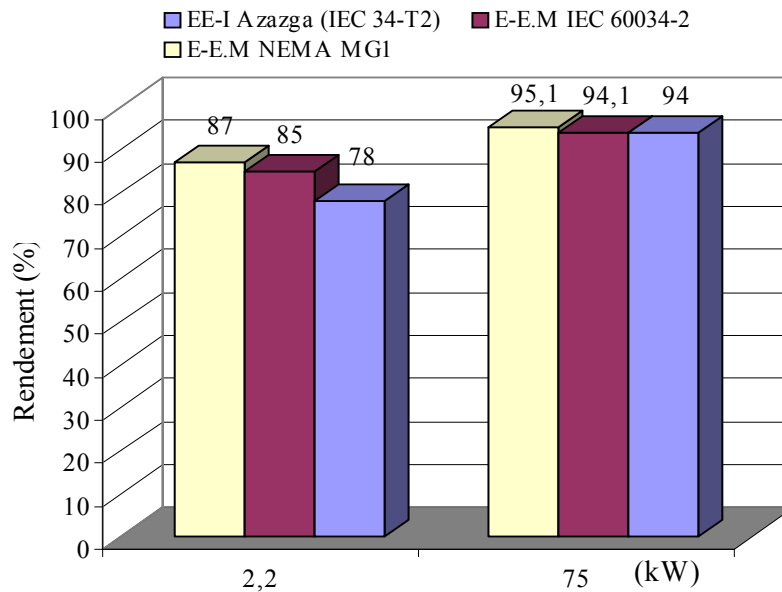


Fig 4.11 Le rendement des moteurs à inductions à haut rendement et les moteurs de E.E-I Azazga (à 4 pôles et de 2.2-75 kW).

3.21 Avantage d'utilisation des MI-HRs

Il y a beaucoup d'avantages pour employer les moteurs à induction à haut rendement permettent là on cite:

- Ces moteurs à haut rendement produisent la même puissance de sortie, mais avec une puissance d'entrée électrique moins que les moteurs standards ;
- Fiabilité et rendement suffisamment élevé ;
- Présentent les mêmes besoins d'entretien que les moteurs standards ;
- Les frais d'exploitation des moteurs à haut rendement sont inférieurs aux moteurs standard ;
- Ces moteurs à haut rendement son disponibles aux différentes puissances et avec différentes vitesses (750, 950, 1500, et de 3000 t/mn) à 220/380V ;
- Ces moteurs à haut rendement sont généralement plus chers de 25-30% par rapport aux moteurs standard, alors que le prix de leurs rebobinages est de 60-80% du prix d'un nouveau moteur standard. Au cours de la vie prévue du moteur (en général 10-15 ans) ;

- L'économie à employer un moteur à haut rendement est beaucoup plus grande que son coût initial ;
- Ces moteurs à haut rendement ont typiquement 30-50 % de pertes inférieures que les moteurs standards équivalents ;
- Panne réduite en raison de leur conception et construction ;
- Donner beaucoup d'années de service valable au-delà de la période de remboursement initiale ;
- L'épargne significative en raison du choix, achat, fonctionnement efficace et correct du moteur pour une telle application ;
- Réduit de la Sensibilité du facteur de puissance et le rendement aux fluctuations de tension et de charge, [14].

3.23 Conclusion

Dans ce chapitre, premièrement nous avons présenté les différentes normes de mesure du rendement existant dans le monde entier, les différents facteurs qui influent sur le rendement des moteurs à induction, la place des moteurs à induction produits en Algérie par le fabricant d'E.E-I Azazga, ont été présenté par rapport à ceux utilisés dans les pays industriels pour deux principaux motifs importants: Conservation et économies d'énergie. Enfin, les différentes avantages des moteurs à induction à haut rendement par apport au moteur classique.

4.1 Introduction

L'établissement du projet d'une machine électrique commence par le choix des dimensions et des matériaux de ses parties actives et constructives et en premier lieu de ses dimensions principales: du diamètre D et de la longueur de calcul de l'armature magnétique l_i de l'induit. Après cela, on effectue les calculs électromagnétique, mécanique. A la suite de ces calculs, on apporte, s'il y a lieu, des corrections nécessaires dans les dimensions choisies primitivement et on choisit des matériaux présentant d'autres propriétés. Puis on reprend tous ces calculs jusqu'à ce qu'on obtienne une variante qui répond entièrement aux exigences énoncées dans le Cahier des charges, [9].

Dans ce chapitre nous avons essayés de trouver une méthode qui concerne l'optimisation du rendement d'une machine, asynchrone. Cette dernière est basée sur l'application des AGs. A fin de minimiser les pertes totales. Les grandeurs concernées par cette étude sont les dimensions géométriques, telles que: la largeurs virtuelle de circuit magnétique, et l'épaisseur de la culasse statorique.

4.2 Méthode de conception

La méthode de conception d'une machine asynchrone est résumée dans l'organigramme suivant:

4.2.1 Organigramme de calcul

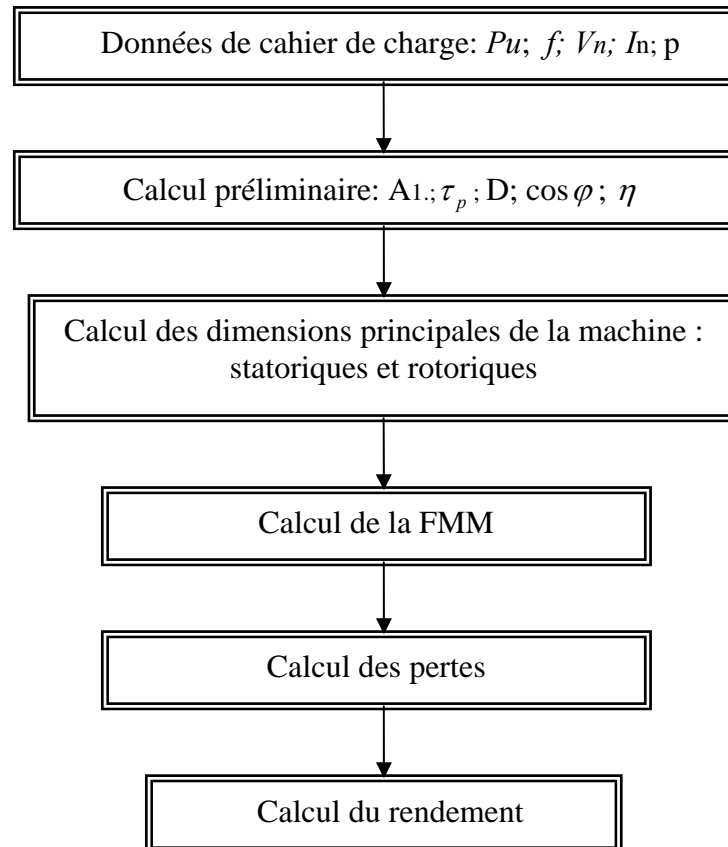


Fig 4.1 Organigramme de calcul pour la conception de la machine électrique, [18].

4.2.2 Calcul préliminaire

Lorsqu' on veut construire une machine électrique, on ne doit pas seulement tenir compte de ses propriétés électromagnétiques, mais faire en sorte que sa construction et son exploitation soient économiques et rentables.

Le dimensionnement d'une machine électrique dépend, tant du point de vue magnétique que du point de vue électrique, d'une série de facteurs liés en partie aux propriétés thermiques des matériaux isolants et, en partie, à la durée de vie du collecteur, ainsi qu'aux exigences de

l'exploitation, pour ce qui concerne notamment la capacité de surcharge, le rendement, le facteur de puissance et les conditions de démarrage.

Les facteurs qui influent sur le dimensionnement ne sont pas les mêmes pour tous les types de machines. Dans celles à collecteur, outre l'échauffement et le rendement, la commutation est également déterminante. En revanche, dans les machines sans collecteur, ce sont la capacité de surcharge, le facteur de puissance et les conditions de démarrage qui deviennent déterminantes.

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:

$$\frac{P_s 10^{-3}}{l_i D^2 60n} = \frac{K_{wl} A_1 \widehat{B}_\delta}{8,6 \cdot 10^3} = C \quad (4.1)$$

C : est appelé le coefficient d'utilisation.

Pour déterminer les dimensions principales de la machine, on part de sa puissance apparente. En désignant par P_u la puissance de l'arbre (W), le rendement η et le facteur de puissance par $\cos \varphi$, la puissance apparente P_s en VA est exprimée par:

$$P_s = \frac{P_u}{\eta \cos \varphi} \quad (4.2)$$

Le facteur de puissance et le rendement de la machine dépendant de la puissance de celle-ci, ils varient de 0.7 pour les petites machines à 0.5 pour les grandes machines.

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, [18].

Ou par l'expression suivante:

$$\eta = \frac{P_u}{\sqrt{3} U_1 I_1 \cos \varphi} \quad (4.3)$$

En posant:

$$A_1 = \frac{m_1 \cdot 2 \cdot N_1 l_i}{\pi \cdot D} \quad (4.4)$$

Où A_1 désigne la densité linéaire de courant, c'est-à-dire le nombre d'ampères-tours par m de périphérique de l'induit. Alors que l'induction dans l'entrefer B_δ caractérise l'utilisation magnétique de la machine, la densité linéaire A_1 en caractérise l'utilisation électrique.

Pour pouvoir déterminer, au moyen du coefficient d'utilisation, les dimensions de la machine à partir de la puissance et de la vitesse de rotation, on doit fixer le rapport λ de la longueur virtuelle l_i de l'induit au pas polaire τ_p .

$$\lambda = \frac{l_i}{\tau_p} = \sqrt[3]{p} \quad (4.5)$$

4.2.3 Dimensions principaux de la machine

Choisir le nombre d'encoche statorique Z_1 revient à choisir le nombre d'encoche par pôle et par phase, sachant que le nombre de paire de pôle et nombre de phases

Pour le choix de nombre d'encoches rotoriques Z_2 , il n'existe aucune théorie. Cependant il existe des tableaux établis à partir d'essais ou résultats pratiques pour le choix de Z_2 en fonction du nombre de paires de pôles p et du nombre d'encoches statoriques Z_1 . Ces tableaux sont établis pour atténuer les vibrations et assurer une bonne caractéristique mécanique de la machine.

4.2.4 Choix de l'entrefer

L'entrefer dans la machine présente la réluctance principale dans le circuit magnétique de la machine qui s'oppose au flux magnétique, c'est-à-dire à peu près 80% de la chute de tension magnétique a lieu au niveau de l'entrefer.

Pour limiter le courant absorbé par la machine pendant le fonctionnement à vide on choisit très étroit. On détermine l'épaisseur de l'entrefer en utilisant la courbe qui donne la variation de l'épaisseur en fonction du diamètre et le nombre de paire de pôles, [18].

4.2.5 Calcul de la FMM

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

$$\oint_c \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum F(At) \quad (4.6)$$

Pour N spires par phase parcourues par un même courant I , on a :

$$F = N.I \quad (4.7)$$

Pour simplifier les calculs dans les machines électriques on décompose l'intégrale (4.27) en une somme de produits :

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{i=1}^n H_i \cdot l_i = F(At) \quad (4.8)$$

$$H_i \cdot l_i = F_i \quad \text{en (A)} \quad (4.9)$$

On aura :

$$\sum_{i=1}^n H \cdot l_i = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n = F = N.I \quad (4.10)$$

H : Est exprimé en A / m ;

l_i : En mètre (m) ;

F : En Ampère tours (At).

Le calcul de la FMM se fait de la manière suivante :

$$2F_\delta = 2 \cdot K_c \cdot \delta \cdot \frac{B_\delta}{\mu_0} \quad (4.11)$$

$$2F_{z1} = 2 \cdot H_{z1} \cdot h_{z1} \quad (4.12)$$

$$2F_{z2} = 2 \cdot H_{z2} \cdot h_{z2} \quad (4.13)$$

$$F_{j1} = H_{j1} \cdot l_{j1} \quad (4.14)$$

$$F_{j2} = H_{j2} \cdot l_{j2} \quad (4.15)$$

La F.M.M est égal à la somme des chutes de potentiel magnétique :

$$F_{tot} = 2F_\delta + 2F_{z1} + 2F_{z2} + F_{j1} + F_{j2} \quad (4.16)$$

On remarque que les dents rotoriques et statoriques sont parcourues deux fois.

4.2.6 Coefficient de saturation

Supposons que l'on a tracer la courbe d'induction en fonction de la FMM ($B = f(F)$) pour différentes valeurs de B_δ .

F : la F.M.M nécessaire pour l'excitation de la machine.

On remarque que pour des petites valeurs de B_δ la chute de tension magnétomotrice dans l'entrefer est prédominante, mais dès que B_δ dépasse une certaine valeur, la chute de tension dans les dents augmente ; le rapport de la somme des chutes de tensions FMMt dans l'entrefer et les dents à la tension F_δ augmente.

$$K_s = \frac{F_\delta + F_{Z1} + F_{Z2}}{F_\delta} > 1 \quad (4.17)$$

4.2.7 Les pertes

Les pertes d'une machine électrique peuvent être divisées en trois parties :

- Les pertes par effet Joule ou les pertes dans le cuivre ;
- Les pertes dans fer (Hystérésis, courant de Foucault et pulsation du flux) ;
- Les pertes par frottement et ventilation, qui sont très petites par rapport aux autres pertes.

4.2.7.1 Pertes dans le cuivre ou pertes joule de la machine

- **Dans le stator**

Les pertes par effet Joule dans les enroulements du stator sont :

$$P_j = m_1 \cdot R_1 \cdot I_1^2 \quad (4.18)$$

R_1 : la résistance statorique par phase.

I_1 : le courant de phase.

m_1 : nombre de phases.

- **Dans le rotor**

Les pertes dans le cuivre pour le secondaire sont

$$P_{Cui} = m_2 R_2 \cdot I_{2BAR}^2 = m_2 \cdot R_2 \cdot I_2' \quad (4.19)$$

R_2 : Représente la résistance totale d'une phase secondaire (résistance d'une barre et résistance d'anneau rapportée au courant de la barre).

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

I_2' : Le courant de barre ramenée au primaire.

❖ Résistance d'une barre

$$R_{bar} = \frac{\rho L_{bar}}{S_{bar}} \quad (4.20)$$

L_{bar} : La longueur d'une barre avec une induction égale au pas dentaire statorique, et un dépassement de chaque côté.

$$L_{bar} = \frac{\tau_{z1}}{\sin \alpha} + h \quad (4.21)$$

h : Le dépassement.

$$\tan g \alpha = \frac{\tau_{z1}}{L_a} \cdot \alpha = \arctg \frac{\tau_{z1}}{L_a} \quad (4.22)$$

❖ Résistance de l'anneau

$$R_{an} = \rho \frac{L_{an}}{S_{an}}$$

❖ La longueur de l'anneau:

$$L_{an} = \tau_p - \frac{d_b}{2} \quad (4.23)$$

d_b : Diamètre de la barre.

4.2.7.2 Pertes dans le fer

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

- **Pertes par Hystérésis**

Les pertes par Hystérésis représentent l'énergie nécessaire à l'aimantation cyclique alternative du fer.

Les pertes par Hystérésis sont proportionnelles à

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

L'équation de **RICHTER** nous permet de calculer ces pertes,

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m^2 \quad (4.24)$$

Avec:

K_h : Coefficient de pertes par hystérésis.

- **Pertes par courants de Foucault**

L'aimantation cyclique alternative engendre des courants induits dans le fer, ces courants sont appelés courants de Foucault, pour réduire les pertes engendrées par ces courants, utilise des tôles feuilletées isolées les unes des autres, disposées parallèlement aux lignes d'induction. Les pertes par courants de Foucault peuvent être calculées par l'équation.

$$P_w = \sigma_w (S_t f \cdot \hat{B})^2 \cdot 10^2 \quad (\text{W/Kg}) \quad (4.25)$$

S_t : désigne l'épaisseur de tôles du fer ;

σ_w : Constant de fer;

f : fréquence de courant;

Les pertes par Hystérésis et par courants de Foucault sont transformées en chaleur, la somme des pertes par seconde dans un kg de fer est :

$$P_{h+w} = \sigma_H f \cdot B^2 \cdot 10^{-2} + \sigma_w (S_t f \cdot \widehat{B})^2 \cdot 10^2 \quad (\text{W/Kg}) \quad (4.26)$$

Les constants σ_H , σ_w pour les différents matériaux sont donnés, [18].

- **Pertes superficielles par pulsation du flux dans les dents**

Les pertes superficielles par pulsation du flux dans les dents sont faibles dans les petites machines à faible puissance, elles dépendent de l'ouverture d'encoche des deux parties de la machine et sont estimées à 0.5% de P_U .

4.2.7.3 Pertes dans la culasse statorique

- ✓ **Les pertes Hystérésis dans la culasse statorique**

Les formules générales, pour le calcul des pertes par Hystérésis, ne tiennent pas compte de l'influence de la répartition du champ dans la culasse. Pour tenir compte de ce phénomène, on multiplie la formule des pertes par Hystérésis et par un coefficient K_{hj} .

$$P_{hj} = \sigma_H f \cdot \widehat{B}^2 m_j \cdot K_{hj} \cdot 10^{-2} \quad (4.27)$$

Le coefficient K_{hj} est représenté par un diagramme en fonction du paramètre $\frac{D}{D_e}$ pour différentes paires de pôles.

D : Diamètre à l'alésage ;

D_e : Diamètre extérieur de la culasse ;

m_j : La masse de la culasse ;

✓ Les pertes par courants de Foucault dans la culasse statorique

Pour les mêmes considérations, de calcul des pertes par courants de Foucault, la formule générale est multipliée par un coefficient K_{hj} pour tenir compte de la répartition du champ dans la culasse.

$$P_{wj} = \sigma_w (S_i f \cdot \widehat{B}_j) m \cdot K_{wj} \cdot 10^2 \quad (4.28)$$

4.2.7.4 Pertes dans les dents

❖ Les pertes Hystérésis dans les dents

Les pertes par Hystérésis dans la zone dentaire statorique des machines électriques sont égales à :

$$P_{hz} = \sigma_H f \cdot \widehat{B}_z^2 m_z \cdot 10^{-2} \quad (4.29)$$

m_z : Masse des dents ;

B_z : Valeur moyenne des inductions au pied, au milieu et à la tête dans les dents.

❖ Les pertes par courants de Foucault dans les dents

$$P_{hz} = \sigma_H f \cdot \widehat{B}_z^2 m_z \cdot 10^{-2} \quad (4.30)$$

Toute fois cette équation n'est valable que pour des inductions sinusoïdales dans les dents.

4.2.8 Le rendement

L'expression du rendement est donnée par l'équation suivante:

$$\eta = \frac{P_U}{P_U + \sum \text{pertes}} \quad (4.32)$$

4.3 Amélioration du rendement d'une MAS par l'application des AGs

Le travail réalisé est basé sur un sous programme de conception, et un programme principale qui fait l'exécution de l'optimisation par les algorithmes génétiques, on appliquant la fonction fitness, cette dernière calcule la valeur minimale des pertes correspondant le maximum du rendement.

Dans la première partie, on a essayé d'avoir l'influence de l'épaisseur de la culasse statorique sur le rendement pour chaque machine dans un intervalle bien défini.

Dans la deuxième partie, on varie la longueur du circuit magnétique et la masse totale de la machine pour voir leur influence sur le rendement, dont on considère que le rapport géométrique est constant.

Ces exécutions sont réalisées pour différentes gammes de puissance et différents nombres de paire de pôle.

Les étapes mentionnées présentées sous forme d'un organigramme:

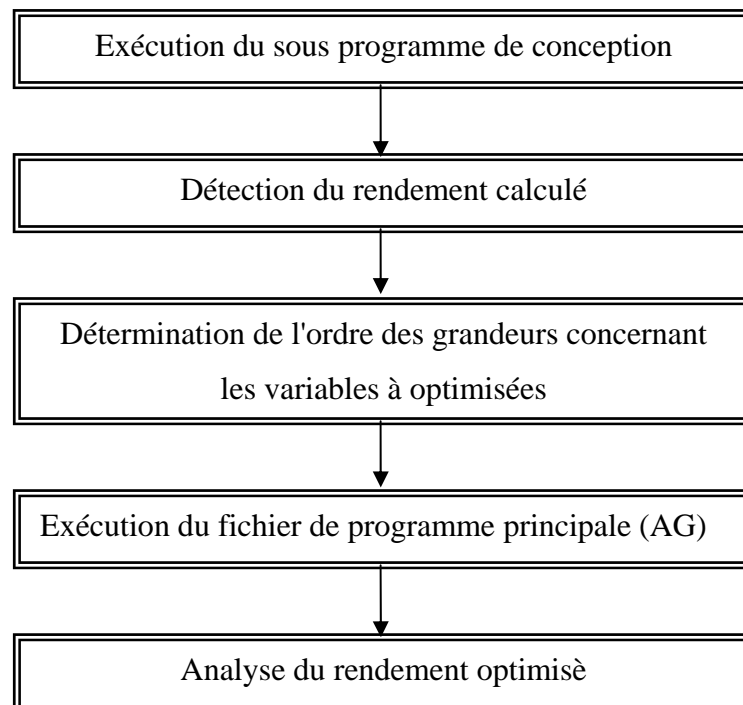


Fig 4.2 Organigramme d'optimisation par AG

4.4 Résultats

Les tableaux suivants représentent les résultats du programme d'optimisation et l'influence de chaque paramètre sur le rendement de la machine.

Légende

η_{don} : Rendement donné ;

η_{cal} : Rendement calculé ;

η_{opt} : Rendement optimisé ;

h_{j1} : L'épaisseur de la culasse statorique ;

λ : Rapport géométrie;

PTM : La masse totale de la machine ;

Lie : Longueur virtuelle du circuit magnétique;

a) Influence de l'épaisseur de la culasse statorique

Tabl 4.1 Résultats d'optimisation machines de P =1

P _u (kW)	η _{don} (%)	η _{cal} (%) h _{j1} (m)	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}
			η _{opt} (%) h _{j1} (m)	η _{opt} (%) h _{j1} (m)	η _{opt} (%) h _{j1} (m)	η _{opt} (%) h _{j1} (m)	η _{opt} (%) h _{j1} (m)
1.1	77	77.31 0.0219	78.65 0.0104	79.08 0.0064	79.41 0.0032	78.83 0.0088	77.91 0.0169
5.5	85	85.09 0.037	85.63 0.0284	85.88 0.0243	86.19 0.0191	87.15 8.9 10 ⁻⁴	87.09 0.0020
11	90	87.75 0.051	87.77 0.0506	88.43 0.0347	88.62 0.0296	89.07 0.0169	89.35 0.0083
22	90	90.11 0.0665	90.97 0.0347	91.15 0.0273	91.51 0.0117	91.74 4.1.10 ⁻⁴	91.48 0.0131
37	92	92.09 0.0626	92.15 0.0595	92.69 0.0282	92.84 0.0181	92.96 0.0100	92.23 0.0052
55	94	93.58 0.0630	93.62 0.0599	93.95 0.0920	94.06 0.0172	94.14 0.0083	94.17 0.0052
75	94.5	94.39 0.0636	94.87 0.0233	94.95 0.0158	95.03 0.0074	95.08 0.0022	94.73 0.0353
110	95	94.11 0.0778	94.29 0.0547	94.34 0.0547	94.46 0.0407	94.52 0.0339	94.54 0.0322
220	95.5	94.69 0.1009	94.91 0.0719	95.07 0.0501	95.21 0.0279	95.33 0.0279	95.34 0.0059

Tab 4.1 Résultats d'optimisation machines de P = 2

P_u (kW)	η_{don} (%)	$\eta_{cal}(\%)$ hj1(m)	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}
			$\eta_{opt}(\%)$ hj1(m)	$\eta_{opt}(\%)$ hj1(m)	$\eta_{opt}(\%)$ hj1(m)	$\eta_{opt}(\%)$ hj1(m)	$\eta_{opt}(\%)$ hj1(m)
1.1	74	74.85 0.0159	75.78 0.0079	76.05 0.0055	76.06 0.0055	76.15 0.0046	76.22 0.0039
5.5	84	84.38 0.0238	84.42 0.0226	84.57 0.0173	84.83 0.0081	84.99 0.0018	84.75 0.0109
11	88	88.09 0.0279	88.41 0.0166	88.57 0.0106	88.61 0.0088	88.69 0.0056	88.70 0.0055
22	90.5	90.16 0.036	88.41 0.0291	90.44 0.0224	90.54 0.0168	90.70 0.0086	90.78 0.0042
37	92	91.89 0.036	91.96 0.0323	92.04 0.026	92.19 0.086	92.26 0.0137	92.44 0.0020
55	93	92.89 0.0468	92.93 0.0445	93.36 0.0128	93.44 0.0061	93.47 0.0039	94.17 0.0052
75	94.5	94.39 0.0636	94.87 0.0233	94.95 0.0158	95.03 0.0074	95.08 0.0022	93.95 0.0216
110	94.5	94.12 0.056	94.21 0.0490	94.46 0.0273	94.50 0.0233	94.53 0.0206	94.70 0.0045
200	95	94.94 0.0611	94.98 0.0569	95.00 0.0547	95.09 0.0434	95.24 0.0243	95.31 0.0145

Tab 4.1 Résultats d'optimisation machines de P =3

Pu (kW)	η_{don} (%)	hj1(m)	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}
			$\eta_{opt}(\%)$ hj1(m)	$\eta_{opt}(\%)$ hj1(m)	$\eta_{opt}(\%)$ hj1(m)	$\eta_{opt}(\%)$ hj1(m)	$\eta_{opt}(\%)$ hj1(m)
1.1	74	73.33 0.0112	73.86 0.0030	74.03 $1.982 \cdot 10^{-4}$	74.02 $4.51 \cdot 10^{-4}$	73.86 0.0031	73.96 0.0015
5.5	84	83.00 0.0193	83.32 0.0086	83.35 0.0074	83.36 0.0073	83.52 0.0013	83.30 0.0020
11	88	87.08 0.0228	87.41 0.0104	87.54 0.0052	87.59 0.003	87.58 0.0035	87.21 0.018
22	90	89.65 0.0269	89.74 0.0232	89.81 0.0200	90.00 0.0116	90.17 0.0034	91.48 0.0131
37	91.5	90.66 0.0303	90.77 0.0595	90.80 0.022	91.00 0.0103	91.11 0.0034	91.16 $1.7 \cdot 10^{-4}$
55	93.5	92.76 0.0416	92.79 0.0395	92.91 0.0302	93.12 0.0141	93.15 0.0121	93.26 0.0031
75	93	92.04 0.0353	92.19 0.0247	92.28 0.018	92.30 0.0170	92.34 0.0137	92.37 0.0116
110	94.5	93.62 0.0477	93.86 0.029	94.11 0.0083	94.18 0.0023	94.19 0.0021	94.10 0.0096
200	94.5	93.89 0.0529	94.11 0.0384	94.16 0.0331	94.22 0.0261	94.41 0.0023	94.43 $7.1 \cdot 10^{-4}$

b) Influence de la longueur virtuelle du circuit magnétique

Tab 4.2 Résultats d'optimisation machine des P = 1

P _u (kW)	η _{don} (%)	η _{cal} (%) λ PTM(kg) Lie(m)	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}
			η _{opt} (%) λ PTM (kg) Lie (m)	η _{opt} (%) λ PTM(kg) Lie(m)	η _{opt} (%) λ PTM(kg) Lie(m)	η _{opt} (%) λ PTM(kg) Lie(m)	η _{opt} (%) λ PTM (kg) Lie(m)
1.1	77	77.31	77.75	77.84	78.04	78.02	77.92
		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
		18.8024	17.485	15.0976	17.996	15.985	16.0739
		0.0746	0.0851	0.0820	0.07893	0.0851	0.0833
5.5	85	85.09	85.12	85.28	85.39	85.44	85.37
		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
		41.2291	48.3812	43.7589	48.9665	49.585	41.561
		0.1100	0.1113	0.1193	0.1270	0.1307	0.1254
11	87	87.75	87.79	87.87	88.02	87.99	87.95
		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
		63.3272	63.976	64.3026	66.5409	60.4173	61.0354
		0.1178	0.1204	0.1254	0.1396	0.1355	0.1313
22	90	90.11	90.15	90.17	90.16	90.14	90.12
		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
		150.971	151.276	166.899	144.684	162.316	147.406
		0.2089	0.2266	0.2412	0.2381	0.2228	0.2151
37	92	92.16	92.17	92.13	92.15	92.11	92.12
		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
		216.961	218.959	205.287	214.319	211.824	213.5451
		0.2914	0.2966	0.2671	0.2818	0.2560	0.2592
55	94	93.58	93.75	93.72	93.77	93.60	93.62
		0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
		228.935	223.311	218.294	238.264	232.775	226.344
		0.2765	0.3205	0.3122	0.3268	0.2801	0.2839
75	94.5	94.39	94.44	94.46	94.39	94.48	94.49
		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
		321.673	311.276	315.487	314.130	325.441	18.8024
		0.3271	0.3547	0.3667	0.3273	0.3853	0.3897
110	95	94.11	94.17	94.12	94.16	94.13	94.18
		0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
		394.484	381.754	423.811	407.564	383.187	303.873
		0.3393	0.3704	0.3432	0.3654	0.3471	0.3779
220	95.5	94.69	94.70	94.72	94.69	94.71	94.75
		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
		761.969	758.668	747.295	737.772	712.97	739.601
		0.4123	0.4171	0.4440	0.4135	0.4333	0.4852

Tab 4.2 Résultats d'optimisation machines de P = 2

P _u (kW)	η _{don} (%)	η _{cal} (%) λ PTM(kg) Lie(m)	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}
			η _{opt} (%) λ PTM(kg) Lie(m)	η _{opt} (%) λ PTM(kg) Lie(m)	η _{opt} (%) λ PTM(kg) Lie(m)	η _{opt} (%) λ PTM(kg) Lie(m)	η _{opt} (%) λ PTM(kg) Lie(m)
1.1	74	74.85 0.75 20.4107 0.0707	74.91 0.75 29.4921 0.0713	75.60 0.75 12.1319 0.07900	75.44 0.75 19.0880 0.0771	75.28 0.75 18.6053 0.0752	75.94 0.75 23.0828 0.0837
5.5	84	84.38 0.75 49.5464 Lie=0.106	84.97 0.75 56.3378 0.1200	85.10 0.75 54.973 0.1237	84.46 0.75 49.3755 0.1076	84.52 0.75 47.6750 0.1089	85.09 0.75 55.1169 0.1236
11	88	88.09 1.1 84.7746 0.1728	88.12 1.1 88.3812 0.1748	88.32 1.1 82.3116 0.1902	88.10 1.1 81.3514 0.1734	88.11 1.1 83.7514 0.1741	88.49 1.1 85.3851 0.2069
22	90.5	90.16 1.0 141.392 0.1963	90.46 1.0 139.798 0.2272	90.30 1.0 144.710 0.2094	90.47 1.0 143.613 0.2290	90.35 1.0 136.538 0.2147	90.27 1.0 175.222 0.2691
37	92	91.89 1.4 177.271 0.2635	91.94 1.4 183.363 0.2713	91.96 1.4 189.009 0.2747	92.13 1.4 173.654 0.3129	92.04 1.4 181.286 0.2910	91.93 1.4 175.222 0.2691
55	93	92.89 1.15 269.437 0.2710	92.97 1.15 270.332 0.3471	93.65 1.15 277.431 0.2897	92.93 1.15 277.431 0.2787	93.01 1.15 269.437 0.3001	93.08 1.15 274.095 0.3195
75	94	93.64 1.3 426.515 0.3471	93.70 1.3 406.850 0.3776	93.65 1.3 441.905 0.3511	93.69 1.3 433.782 0.3737	93.71 1.3 411.402 0.0.3866	93.74 1.3 432.461 0.4158
110	94.5	94.12 1.25 511.811 0.3632	94.17 1.25 526.347 0.3821	94.20 1.25 505.446 0.4013	94.16 1.25 525.434 0.3805	94.25 1.25 501.359 0.4342	94.23 1.25 512.089 0.4197
200	95	94.94 1.25 694.783 0.4025	95.02 711.612 0.4436	95.06 1.25 656.259 0.4745	95.01 1.25 649.773 0.4408	94.99 1.25 714.378 0.4260	94.96 1.25 625.188 0.4136

Tab 4.2 Résultats d'optimisation machines de P = 3

P _u (kW)	η _{don} (%)	η _{cal} (%) λ PTM(kg) Lie(m)	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}
			η _{opt} (%) λ PTM(kg) Lie(m)	η _{opt} (%) λ PTM(kg) Lie(m)	η _{opt} (%) λ PTM(kg) Lie(m)	η _{opt} (%) λ PTM(kg) Lie(m)	η _{opt} (%) λ PTM(kg) Lie(m)
1.1	74	73.33 1.15 24.7783 0.0843	74.69 1.15 20.3819 0.1007	73.91 1.15 22.7729 0.0905	74.51 1.15 20.0054 0.0982	73.69 1.15 23.3454 0.0881	74.72 1.15 28.7907 0.1011
5.5	84	83.00 0.90 57.2843 0.1013	84.04 0.90 53.5688 0.1209	84.05 0.90 55.2384 0.1209	83.03 0.90 51.5824 0.1018	84.05 0.90 51.1622 0.1210	84.03 0.90 52.6066 0.1206
11	88	87.08 1.40 86.0455 0.1605	92.09 1.40 81.5567 0.1615	92.36 1.40 89.8506 0.1865	92.16 1.40 89.5047 0.1670	92.39 1.40 89.7579 0.1889	92.13 1.40 80.5266 0.1648
22	90	89.65 1.40 162.607 0.2089	89.67 1.40 169.048 0.2106	89.77 1.40 162.89 0.2207	89.93 1.40 165.444 0.2378	89.97 1.40 167.001 0.2433	89.98 1.40 161.672 0.2442
37	91.5	90.66 1.48 219.918 0.2402	90.69 1.48 228.081 0.2449	90.88 1.48 225.950 0.2730	90.87 1.48 227.401 0.2709	90.68 1.48 220.748 0.2433	90.84 1.48 220.158 0.2660
55	93	92.04 1.35 407.987 0.2827	93.63 1.35 283.219 0.2615	93.58 1.35 281.235 0.2523	93.70 1.35 288.277 0.2787	93.73 1.35 280.793 0.2880	93.76 1.35 282.684 0.2956
75	93.5	92.76 1.35 407.983 0.2827	92.83 1.35 405.594 0.2981	92.89 1.35 409.516 0.3113	92.79 1.35 403.086 0.2884	92.93 1.35 402.408 0.3215	92.84 1.35 405.339 0.3007
110	94.5	93.92 1.35 584.552 0.3216	93.74 1.35 585.018 0.3689	93.73 1.35 588.341 0.3647	93.62 1.35 586.595 0.3234	93.76 1.35 588.286 0.3821	93.68 1.35 586.984 0.3424
200	94.5	93.98 1.5 852.068 0.3927	94.02 1.5 855.225 0.4109	94.11 1.5 858.209 0.4653	94.02 1.5 852.892 0.4120	94.09 1.5 859.718 0.4558	94.04 1.5 857.320 0.4213

Les courbes

Les résultats regroupés dans les tableaux précédents sont représentés sous forme de courbes

a) Influence de l'épaisseur de la culasse statorique

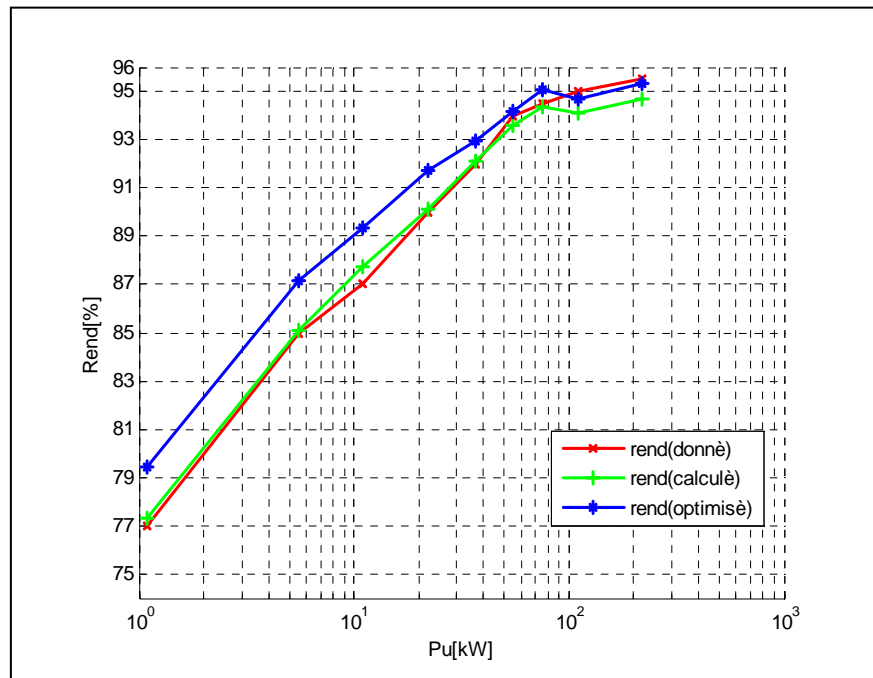


Fig 4.1 Caractéristique $\eta = f(Pu)$ pour $p = 1$

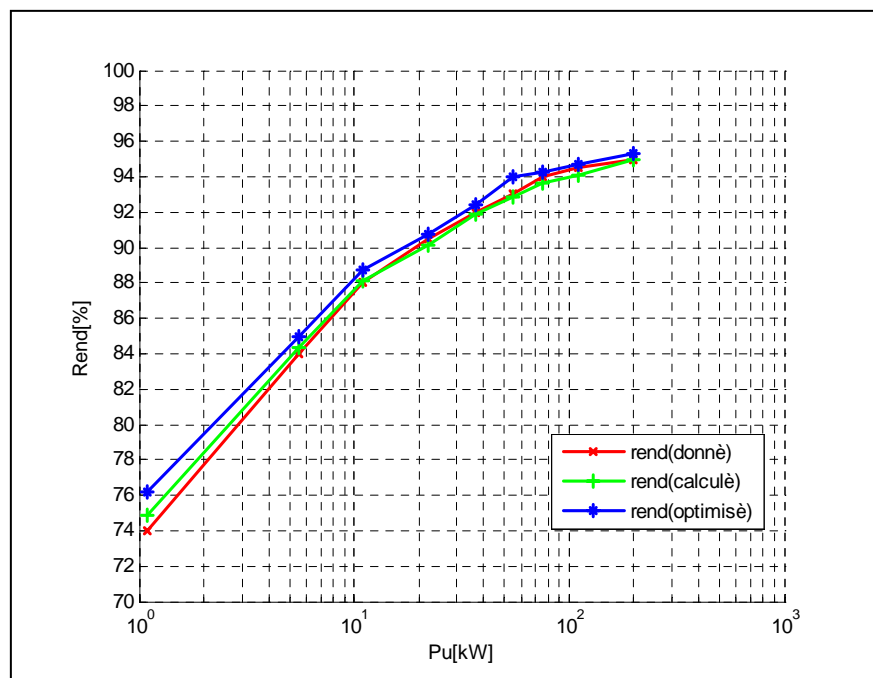


Fig 4.2 Caractéristique $\eta = f(Pu)$ pour $p = 2$

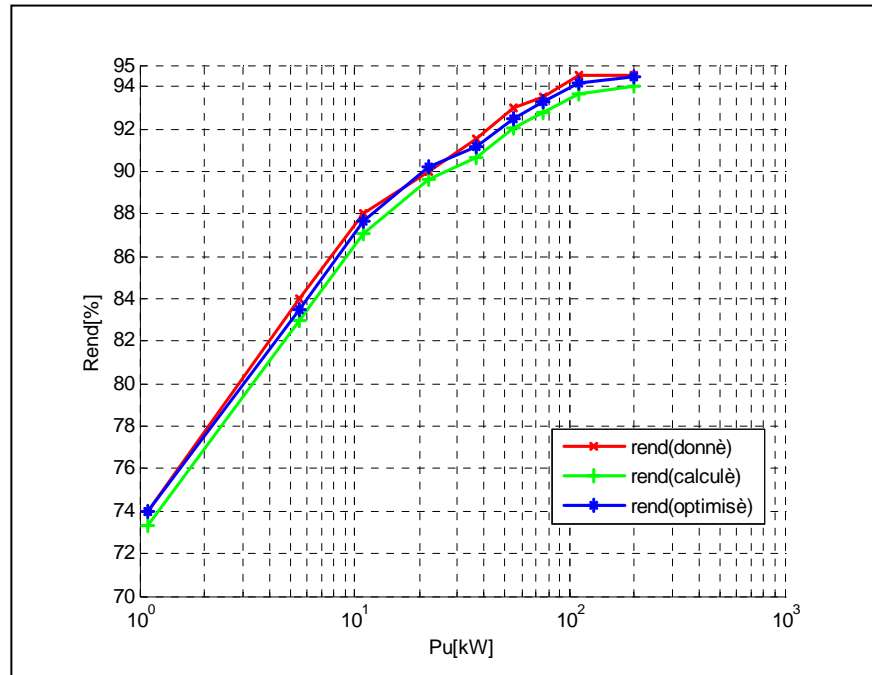


Fig 4.3 Caractéristique $\eta = f(Pu)$ pour $p=3$

b) Influence de la longueur virtuelle du circuit magnétique

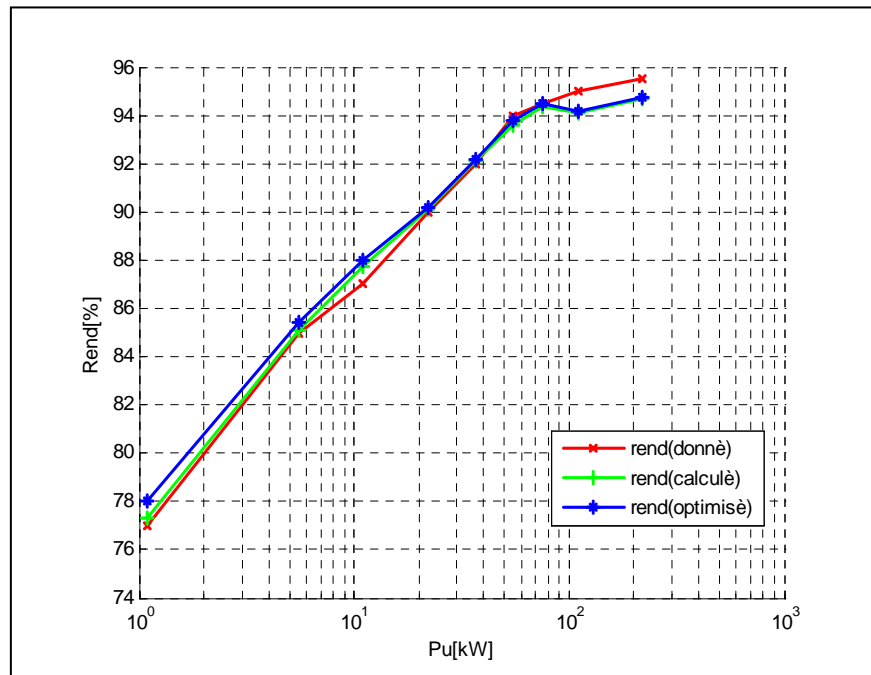


Fig 4.4 Caractéristique $\eta = f(Pu)$ pour $p=1$

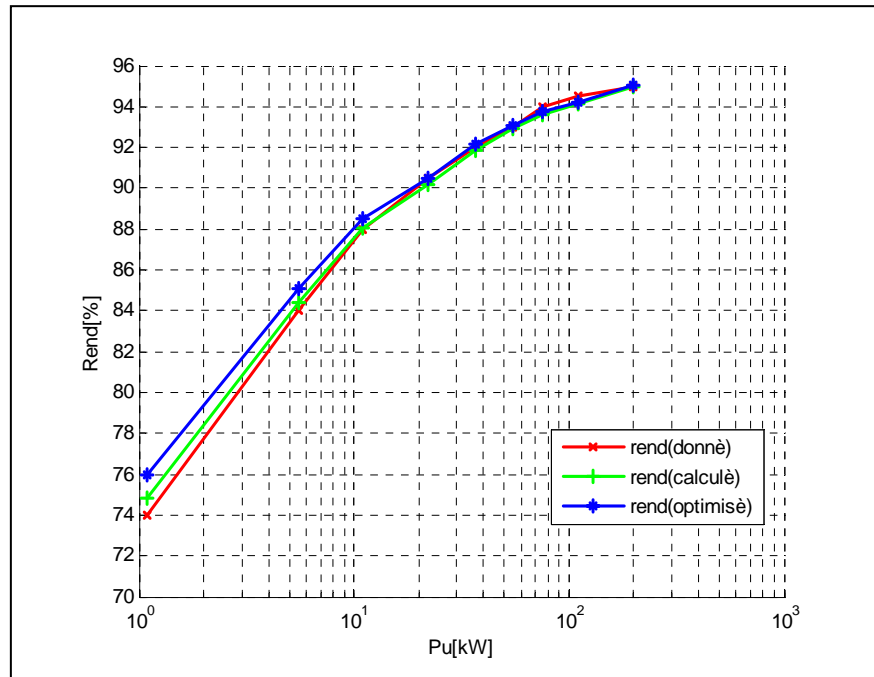


Fig 4.5 Caractéristique $\eta = f(Pu)$ pour $p = 2$

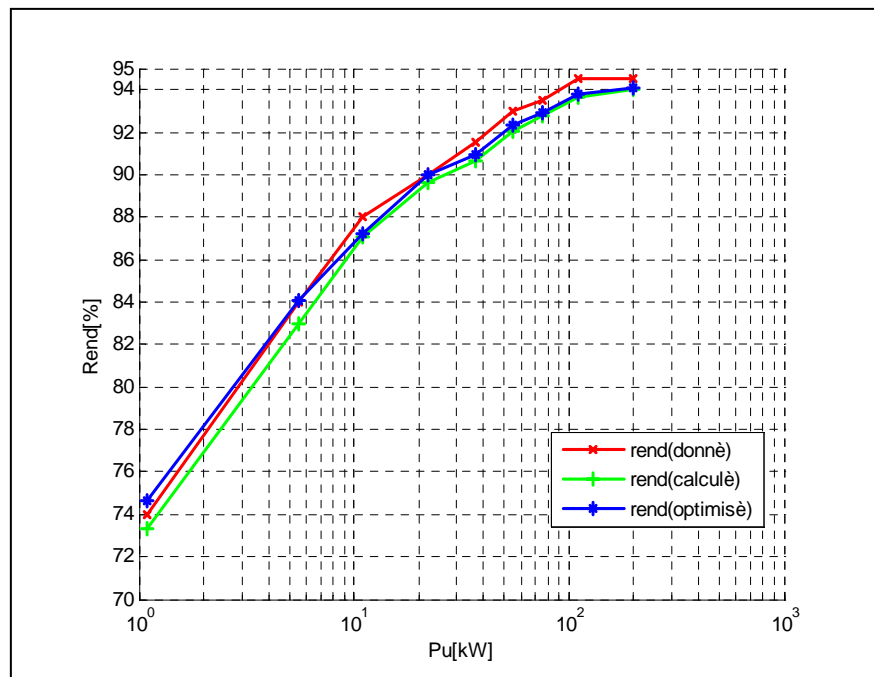


Fig 4.6 Caractéristique $\eta = f(Pu)$ pour $p = 3$

4.4 Analyse et interprétation des résultats

Dans notre travail nous avons analysé les influences des paramètres géométriques sur le rendement de la machine.

Les tableaux précédents et les figures, représentent l'évolution du rendement donné, calculé et optimisé par la méthode géométrique, en fonction de la puissance utile, et cela pour chaque exécution et différents nombres de paire de pôles.

D'après les résultats représentés dans les tableaux et les courbes, certaines remarques peuvent être enregistrées:

- La diminution de l'épaisseur de la culasse statorique provoque l'augmentation du rendement de la machine contrairement la longueur du circuit magnétique.
- pour les machines de faible puissance, le rendement optimisé est amélioré par rapport au rendement donné et calculé,
- pour les machines de moyennes et grandes puissances l'amélioration de rendement n'est pas vraiment intéressante..

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'effet de l'application des algorithmes génétiques sur les paramètres géométriques de la machine. La fonction fitness proposée permet de vérifier encore une autre fois les résultats d'optimisation de ces paramètres. Cette méthode conduit à l'amélioration du rendement par minimisation des pertes totales de la machine, ou' On a agit sur deux paramètres géométriques pour observer leur influences sur le rendement pour obtenir la valeur optimale.

Conclusion générale

1. Travail accompli

Dans ce mémoire, en premier lieu nous avons présenté les différentes actions de maîtrise d'énergie qui sont très importantes pour économiser et utiliser l'énergie électrique sur tout dans l'industrie par des moteurs à haut rendement.

En second lieu, une étude sur l'amélioration du rendement des moteurs à induction utilisés dans les pays industrialisés et leurs équivalents produits en Algérie par le fabricant d'E.E-I Azazga, a été présentée. Cela fait ressortir que nous sommes en retard dans ce domaine ce qui conduit à l'exigence de l'amélioration du rendement, des moteurs classiques à induction produits à l'échelle nationale vers ceux des moteurs à induction à haut rendement (MI-HRs), pour deux principaux motifs importants: la conservation et les économies d'énergie.

Cette nouvelle génération de moteurs offre d'énormes possibilités intéressantes d'économie, principalement pour les moteurs de faible et moyenne puissance. En effet, les moteurs à induction sont les plus gros consommateurs d'énergie électrique, représentant environ 90% de la consommation totale des moteurs électriques.

Les principales techniques d'optimisation paramétriques des machines asynchrones à haut rendement par l'application des algorithmes génétiques, ont donné des résultats encourageants.

2. Recommandation

A partir du constat de ce travail, quelques recommandations peuvent être faites:

- *La mise en application du programme national sur la maîtrise d'énergie électrique et plus que nécessaire.*
- *Encourager et favoriser l'utilisation de telles machines électriques à haut rendement, pour des économies d'énergie à grande échelle, par la mise en en place d'une nouvelle législation sur l'utilisation de l'énergie électrique et l'importation du matériel électrique.*
- *Améliorer le rendement des moteurs produits en Algérie par le fabricant d'E.E-I Azazga avec :*
 - ✓ *L'augmentation du volume des matériaux actifs.*
 - ✓ *L'emploi de matériau nuya pas défini.*

- ✓ *L'emploi de tôles magnétiques de meilleure qualité.*

3. Suggestions et perspectives

Vu l'importance de cette étude nous :

- *Nous recommandons la mise en application de loi sur la maîtrise de l'énergie électrique, et la nouvelle génération des moteurs à haut rendement qui offre d'économiser l'énergie surtout dans le secteur industriel ;*
- *Encourageons le développement des énergies renouvelables ;*