

4.1 Introduction

De nos jours, l'amélioration du rendement des moteurs électriques, et son impact sur les économies d'énergie, deviennent un grand défi aux chercheurs et aux fabricants du monde entier. Les moteurs électriques utilisent plus que le demi de l'électricité a consommé, avec une gamme typique de 40-60%, les limites sont inférieures ou supérieures selon le développement des pays. Les moteurs à induction représentent approximativement 90% de la consommation totale des moteurs électriques. Ces données statistiques sur les moteurs électriques garent partout le spectacle mondial. Ce sujet est considéré comme un principal champ de recherche sur les économies d'énergie, et souligne l'intérêt croissant pour l'amélioration de la commande des systèmes électriques.

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

4.2. Evaluation du rendement d'un moteur asynchrone

Le rendement d'un système électrique dépend de plusieurs facteurs tels que: le rendement du moteur et les techniques du contrôle, les qualités du réseau de distribution, la transmission mécanique c'est à dire ; problèmes d'entretien et d'entraînement, la gestion de la charge. Pour l'amélioration du rendement d'un système électrique, différentes approches sont proposées. Ces dernières utilisent principalement la vitesse variable, ainsi qu'une dimension optimale des moteurs électriques pour améliorer leur conception. La première approche à un rapport avec le réseau, alors que la seconde est en rapport avec le concepteur du moteur lui-même. Pour l'évaluation du rendement, diverses méthodes sont proposées:

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

Toutes ces méthodes déterminent le rendement selon la définition exprimée par l'équation (4.1).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{\text{Puissance mécanique}}{\text{Puissance électrique}} \quad (4.1)$$

La puissance absorbée sous forme électrique est mesurée directement, mais la puissance mécanique est évaluée en déduisant les pertes calculées, et peut être obtenu directement ou indirectement, dans différents chemins. Dans le cas indirect qui constitue la tâche la plus difficile les pertes doivent être répartis, par une variété de méthodes normalisées. En fait, les pertes dans les machines tournantes peuvent être divisées en trois groupes principaux:

- Pertes Electriques P_{Elect} ;
- Pertes magnétique de Fer P_{fer} ;
- Pertes Mécaniques P_{Mec} .

Un quatrième groupe moins important de quelques pertes supplémentaires due aux phénomènes parasites (flux de fuite) est nommé: pertes P_{Sup} .

On peut remarqué, que le rendement du moteur électrique prend des valeurs différentes, selon les épreuves expérimentales accomplies et la précision de l'appareil utilisée. Les normes les plus usagées pour la détermination du rendement sont : les Electro- Internationaux Comité Technique (IEC-60034-2) et la norme (IEC 61972), l'Association Nationale des Fabricants Electrique (NEMA-MG1) qui se conforme à l'Institut d'Ingénieur Electrique et Electronique (IEEE 112-B), et l'Electro Japonais Comité Technique (JEC-37). Le fabricant Electro- Industrie Algérienne (E.E, Azazga), utilise la norme Allemande (VACARME) et VDE 0530, lesquelles sont conformes à l'IEC 34-T2.

4.3 Recherche du maximum d'une fonction réelle à une variable

Cette exemple, concerne une fonction mathématique à une variable dont on cherche le maximum. Il est traité d'une manière pédagogique afin ce de faciliter la compréhension de l'implémentation de l'approche génétique.

Cherchons le maximum de $f(x) = -x^2 + 4x$ dans l'intervalle $[1 \ 3]$ avec une précision de $1/10$.

Analytiquement, on voit rapidement que $f'(x) = -2x + 4$, que $f'(x) = -2 < 0$ et que le maximum correspond à $x=2$ et $f(x) = 4$.

Cherchons la longueur du chromosome (nombre de bits de la chaîne).

- a. La longueur de l'intervalle est $3-1=2$;
- b. Chaque unité doit être subdivisée en 10 (précision souhaitée) ;
- c. Donc, l'intervalle est subdivisée en $2 * 10 = 20$ petits intervalles ;

- d. Le nombre de bits requis pour représenter tous les réels considérés dans l'intervalle est k tel que :

$$2^{(k-1)} \leq 2 \leq 2^k \quad k=5$$

Pour modéliser le problème, convenons de ce qui suit :

- 1) Une population de 4 individus (chromosome), chaque individu codé sur cinq bits (gènes).

$$P_c = 0.75 \quad \text{et} \quad P_m = 0.01.$$

- 2) Construisons aléatoirement la génération initiale

| | | | | |
|----------------------|--------------|--------------------------|--|-------------------|
| V₁ | 01100 | x₁'=12 | x₁=1+x₁'(2/(2⁵-1))=1.8 | eval =3.96 |
| V₂ | 00011 | x₂'=3 | x₂=1+x₂'(2/(2⁵-1))=1.8 | eval =3.36 |
| V₃ | 11011 | x₃'=27 | x₃=1+x₃'(2/(2⁵-1))=1.8 | eval =3.45 |
| V₄ | 10100 | x₄'=20 | x₄=1+x₄'(2/(2⁵-1))=1.8 | eval =3.91 |

La somme des évaluations est 14.68 ; la plus grande évaluation 3.96 et la valeur moyenne 3.67. Formons la première génération.

- 3) Sélection :

En calculant les probabilités de sélection, on obtient :

| | |
|----------------------------|----------------------------|
| P₁=0.269 | q₁=0.269 |
| P₂=0.228 | q₂=0.497 |
| P₃=0.235 | q₃=0.732 |
| P₄=0.266 | q₄=0.998 |

- 4) On fait tourner 4 fois la roulette pour générer des nombres r dans $[0 \ 1]$, on obtient :
0.512 0.710 0.216 0.773

| | | |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------|
| r= 0.512 | q₃>0.512 | V3 est sélectionné |
| r= 0.710 | q₃>0.710 | V3 est sélectionné |
| r= 0.216 | q₁>0.216 | V1 est sélectionné |
| R= 0.773 | q₄>0.773 | V4 est sélectionné |

5) La première génération devient :

V_1' **11011**
 V_2' **11011**
 V_3' **01100**
 V_4' **10100**

6) Croisement:

Assumons qu'aléatoirement, on procède au croisement à partir de la deuxième position, on fait tourner la roulette pour générer des nombres r dans $[0 \quad 1]$.

Si $r < 0.75$, le chromosome est sélectionné pour le croisement.

On obtient : 0.82 0.52 0.17 0.35

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' **11011** **11100**
 V_3' **01100** **10011**

Après croisement on obtient :

V_1'' **11011**
 V_2'' **11100**
 V_3'' **01011**
 V_4'' **10100**

7) Mutation :

Il y a $4 \times 5 = 20$ bits.

On tourne la roulette 20 fois pour générer r dans $[0 \quad 1]$

Si $r < 0.01$, on mute le bit de ce rang.

Seulement, au 18^{ième} tour, on obtient $r = 0.008$, on mute, alors le 18^{ième} bit qui correspond au 3^{ième} bit du 4^{ième} vecteur.

Finalement, la première génération devient :

| | |
|----------------------|--------------|
| V₁ | 11011 |
| V₂ | 11100 |
| V₃ | 01011 |
| V₄ | 01000 |

En évaluant la première génération, on obtient :

| | |
|--------------------------|---------------------------------|
| X₁=2.6 | eval (V₁)=3.6 |
| X₂=2.5 | eval (V₂)=3.7 |
| X₃=1.7 | eval (V₃)=3.8 |
| X₄=1.5 | eval (V₄)=3.7 |

Evaluation totale=14.8 la plus grande valeur=3.8 la valeur moyenne=3.7

On vient de terminer une itération de la boucle "tant que".

8) Forment la deuxième génération

En prenant maintenant comme population initiale la première génération et en refaisant la boucle "tant que" (on applique les opérations de sélection, de croisement et de mutation) on obtient la deuxième génération :

| | | | |
|----------------------|--------------|--------------------------|----------------------------------|
| V₁ | 01100 | X₁=1.7 | eval (V₁)= 3.9 |
| V₂ | 11011 | X₂=2.8 | eval (V₂)= 3.6 |
| V₃ | 01100 | X₃=1.7 | eval (V₃)= 3.9 |
| V₄ | 01011 | X₄=1.6 | eval (V₄)= 3.8 |

- Somme des évaluation=15.2
- La plus grande valeur =3.9 (revient 2 fois)
- La moyenne =3.8

On remarque une certaine stagnation autour de X=1.7 et X=2.3 qui donnent tous les deux f(x)=3.9.

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, de croisement et de

mutation). En suite, on forme autant de génération qu'il faut jusqu'à la satisfaction du critère d'arrêt.

4. 4. Notre contribution

Dans la première étape, faisant varier le diamètre interne du stator, avec un rapport géométrique constant. Puisque dans les catalogues de conception des machines asynchrone, le rapport géométrique est donné dans un intervalle bien défini, pour que la machine soit réalisable. Comme deuxième étape on a essayé d'avoir qu'elle est l'influence du profondeur d'encoche statorique et rotorique sur le rendement de la machine, pour différente gamme de puissance et différent nombre de paire de pôle.

Le travail réalisé est basé sur un programme de conception général, et un sous programme qui a pour but l'optimisation par les algorithmes génétiques, il s'agit d'appliquer la fonction fitness. Cette dernière est une fonction réservée pour le calcul du minimum, puisque notre but c'est de déterminer le maximum du rendement.

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

4. 5 Résultats

a. Variation du diamètre d'alissage

| Pu (kW) | D1e (mm) | Rend1 (%) | Rend2 (%) | Inter D1e (mm) | Inter λ | Rend3 (%) | D1eop (mm) | λ_{op} |
|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 1.1 | 95 | 77.00 | 77.31 | 95 -----100 | 0.5-----0.7 | 78.630 | 97.400 | 0.6454 |
| 5.5 | 140 | 85.00 | 85.12 | 140-----200 | 0.5-----0.8 | 85.250 | 157.23 | 0.6040 |
| 11 | 140 | 87.00 | 88.05 | 100-----160 | 0.5-----0.9 | 88.186 | 110.48 | 0.8300 |
| 22 | 190 | 90.00 | 90.37 | 140-----200 | 0.5-----0.9 | 90.393 | 184.55 | 0.7340 |
| 37 | 210 | 92.00 | 92.20 | 210-----220 | 0.7-----1 | 92.320 | 215.30 | 0.9583 |
| 55 | 220 | 94.00 | 93.76 | 220-----230 | 0.7-----1.1 | 93.980 | 224.70 | 0.9899 |
| 75 | 245 | 94.50 | 94.48 | 245-----260 | 0.7-----1.1 | 94.530 | 252.90 | 0.8688 |
| 110 | 270 | 90.25 | 92.21 | 270-----280 | 0.8-----1.2 | 92.380 | 273.60 | 0.9285 |
| 220 | 350 | 94.00 | 93.34 | 350-----360 | 0.8-----1 | 93.410 | 356.10 | 0.9963 |

Tabl. 4.1 Résultats d'optimisation machine de p=1

| Pu (kW) | D1e (mm) | Rend1 (%) | Rend2 (%) | Inter D1e (mm) | Inter λ | Rend3 (%) | D1eop (mm) | λ_{op} |
|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 1.1 | 120 | 74.0 | 76.87 | 120 -----130 | 0.8-----1 | 78.17 | 121.3 | 0.9904 |
| 5.5 | 180 | 84.0 | 85.48 | 180 -----210 | 0.8-----1.1 | 87.00 | 203.5 | 0.9497 |
| 11 | 200 | 88.0 | 87.69 | 200 -----240 | 0.9-----1.5 | 87.85 | 225.0 | 1.0621 |
| 22 | 250 | 90.5 | 89.60 | 250-----270 | 1-----1.7 | 89.70 | 266.8 | 1.1350 |
| 37 | 240 | 92.0 | 92.16 | 240 -----260 | 1-----1.7 | 92.38 | 251.3 | 1.4657 |
| 55 | 300 | 93.0 | 93.09 | 300 -----330 | 1-----1.6 | 93.28 | 305.8 | 1.3480 |
| 75 | 340 | 94.0 | 93.01 | 340-----370 | 1-----1.6 | 93.26 | 363.6 | 1.5655 |
| 110 | 370 | 94.5 | 93.76 | 370-----380 | 1-----1.6 | 93.89 | 374.9 | 1.5529 |
| 220 | 410 | 94.5 | 94.95 | 410-----420 | 0.9-----1.7 | 95.14 | 411.2 | 1.5200 |

Tabl. 4.2 Résultats d'optimisation machine de p=2

| Pu (kW) | D1e (mm) | Rend1 (%) | Rend2 (%) | Inter D1e (mm) | Inter λ | Rend3 (%) | D1eop (mm) | λ_{op} |
|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 1.1 | 140 | 74.0 | 74.80 | 140-----150 | 1-----1.7 | 76.46 | 145.6 | 0.6205 |
| 5.5 | 215 | 84.0 | 83.95 | 215-----230 | 1-----1.7 | 86.21 | 222.4 | 1.5220 |
| 11 | 219 | 88.0 | 86.86 | 219-----225 | 1-----1.8 | 87.12 | 219.8 | 1.6628 |
| 22 | 285 | 90.0 | 91.47 | 285-----310 | 1-----1.9 | 91.85 | 285.5 | 1.0211 |
| 37 | 310 | 90.5 | 90.33 | 310-----335 | 1-----1.9 | 95.10 | 333.5 | 1.4832 |
| 55 | 350 | 93.0 | 92.16 | 350-----380 | 1.2-----1.9 | 92.62 | 362.3 | 1.7988 |
| 75 | 400 | 93.5 | 92.80 | 400-----425 | 1.2-----1.9 | 93.16 | 424.9 | 1.7255 |
| 110 | 455 | 94.5 | 93.42 | 455-----465 | 1.2-----1.9 | 93.56 | 461.2 | 1.5908 |
| 220 | 500 | 94.5 | 93.96 | 500-----515 | 1.2-----1.9 | 94.10 | 506.7 | 1.7701 |

Tabl. 4.3 Résultats d'optimisation machine de p=3**Légende :**

- Pu (k W)** Puissance utile ;
D1e (mm) Diamètre intérieure du stator ;
Rend1 (%) Rendement de la machine donné ;
Rend2 (%) Rendement de la machine recalculé ;
Inter D1e (mm) Intervalle de changement du diamètre intérieur du stator ;
Inter λ Intervalle de changement du rapport géométrique ;
Rend3 (%) Rendement de la machine après l'optimisation ;
D1eop (mm) Diamètre intérieure du stator après l'optimisation ;
 λ_{op} Rapport géométrique après l'optimisation.

b. Variation de la profondeur d'encoche statorique

| Pu (kW) | Rend1 (%) | Rend2 (%) | Pencoche Sencoche (m) ----- (m) | Inter Pencoche (m) Rend3 (%) | PencocheOp (m) |
|--------------------|----------------------|----------------------|---|---|--|
| 1.1 | 77.00 | 77.30 | $1.06 \cdot 10^{-2}$ ----- $3.941 \cdot 10^{-5}$ | 0 ----- $1.06 \cdot 10^{-2}$ 77.598 $1.06 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.5 \cdot 10^{-2}$ 77.24 | $5.29 \cdot 10^{-3}$ $1.77 \cdot 10^{-3}$ |
| 5.5 | 85.00 | 85.24 | $1.23 \cdot 10^{-2}$ ----- $7.017 \cdot 10^{-5}$ | 0 ----- $1.23 \cdot 10^{-2}$ 85.496 $1.23 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.5 \cdot 10^{-2}$ 85.15 | $5.7639 \cdot 10^{-3}$ $1.4865 \cdot 10^{-3}$ |
| 11 | 87.00 | 88.003 8 | $1.65 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.0206 \cdot 10^{-4}$ | 0 ----- $1.65 \cdot 10^{-2}$ 88.189 $1.65 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.8 \cdot 10^{-2}$ 88.008 | $9.024 \cdot 10^{-3}$ $9.024 \cdot 10^{-2}$ |
| 22 | 90.00 | 90.373 | $1.381 \cdot 10^{-2}$ -- $1.0891 \cdot 10^{-4}$ | 0 ----- $1.381 \cdot 10^{-2}$ 90.388 $1.381 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.45 \cdot 10^{-2}$ 90.362 | $1.3112 \cdot 10^{-2}$ $1.4267 \cdot 10^{-2}$ |
| 37 | 92.00 | 92.2 | $1.39 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.2162 \cdot 10^{-4}$ | 0 ----- $1.39 \cdot 10^{-2}$ 92.204 $1.39 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.6 \cdot 10^{-2}$ 92.19 | $1.3601 \cdot 10^{-2}$ $1.4862 \cdot 10^{-2}$ |
| 55 | 94.00 | 93.76 | $1.75 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.6793 \cdot 10^{-4}$ | 0 ----- $1.75 \cdot 10^{-2}$ 93.884 $1.75 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.8 \cdot 10^{-2}$ 93.76 | $7.7263 \cdot 10^{-3}$ $1.774 \cdot 10^{-2}$ |
| 75 | 94.5 | 94.205 | $1.78 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.8879 \cdot 10^{-4}$ | 0 ----- $1.78 \cdot 10^{-2}$ 94.489 $1.78 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.9 \cdot 10^{-2}$ 94.476 | $1.6212 \cdot 10^{-2}$ $1.8007 \cdot 10^{-2}$ |
| 110 | 90.25 | 92.208 | $1.55 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.7603 \cdot 10^{-4}$ | 0 ----- $1.55 \cdot 10^{-2}$ 92.212 $1.55 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.7 \cdot 10^{-2}$ 92.199 | $1.5221 \cdot 10^{-2}$ $1.6195 \cdot 10^{-2}$ |
| 220 | 94.00 | 93.336 | $1.55 \cdot 10^{-2}$ ----- $2.2677 \cdot 10^{-4}$ | 0 ----- $1.55 \cdot 10^{-2}$ 93.348 $1.55 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.7 \cdot 10^{-2}$ 93.329 | $1.2738 \cdot 10^{-2}$ $1.6977 \cdot 10^{-2}$ |

Tabl. 4.4 Résultats d'optimisation machine de p=1

| Pu (kW) | Rend1 (%) | Rend2 (%) | Pencoche Sencoche (m) ----- (m) | Inter Pencoche (m) Rend3 (%) | PencocheOp |
|--------------------|----------------------|----------------------|--|---|--|
| 1.1 | 74.00 | 76.872 | $1.26 \cdot 10^{-2}$ ---- $6.2276 \cdot 10^{-5}$ | 0 ----- $1.26 \cdot 10^{-2}$ 77.101 $1.26 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.4 \cdot 10^{-2}$ 76.823 | $8.5267 \cdot 10^{-3}$ $1.3476 \cdot 10^{-3}$ |
| 5.5 | 84.00 | 85.481 | $1.65 \cdot 10^{-2}$ ---- $1.2875 \cdot 10^{-4}$ | 0 ----- $1.65 \cdot 10^{-2}$ 85.571 $1.65 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.8 \cdot 10^{-2}$ 85.471 | $1.023 \cdot 10^{-2}$ $1.6716 \cdot 10^{-2}$ |
| 11 | 88.00 | 87.692 | $1.49 \cdot 10^{-2}$ ---- $1.2566 \cdot 10^{-4}$ | 0 ----- $1.49 \cdot 10^{-2}$ 87.953 $1.49 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.65 \cdot 10^{-2}$ 87.648 | $6.8601 \cdot 10^{-3}$ $1.6245 \cdot 10^{-2}$ |
| 22 | 90.50 | 89.597 | $1.42 \cdot 10^{-2}$ ---- $1.469 \cdot 10^{-4}$ | 0 ----- $1.42 \cdot 10^{-2}$ 89.913 $1.42 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.6 \cdot 10^{-2}$ 89.589 | $1.7827 \cdot 10^{-3}$ $1.4537 \cdot 10^{-2}$ |
| 37 | 92.00 | 92.161 | $1.69 \cdot 10^{-2}$ ---- $1.743 \cdot 10^{-3}$ | 0 ----- $1.69 \cdot 10^{-2}$ 92.173 $1.69 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.8 \cdot 10^{-2}$ 92.15 | $1.576 \cdot 10^{-2}$ $1.7387 \cdot 10^{-2}$ |
| 55 | 93.00 | 93.089 | $1.5 \cdot 10^{-2}$ ---- $1.885 \cdot 10^{-4}$ | 0 ----- $1.5 \cdot 10^{-2}$ 93.196 $1.5 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.7 \cdot 10^{-2}$ 93.081 | $3.8103 \cdot 10^{-3}$ $1.5844 \cdot 10^{-2}$ |
| 75 | 94.00 | 93.014 | $1.41 \cdot 10^{-2}$ ---- $1.9762 \cdot 10^{-4}$ | 0 ----- $1.41 \cdot 10^{-2}$ 93.015 $1.41 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.6 \cdot 10^{-2}$ 93.001 | $1.3933 \cdot 10^{-3}$ $1.5593 \cdot 10^{-2}$ |
| 110 | 94.5 | 93.756 | $1.51 \cdot 10^{-2}$ ---- $2.3318 \cdot 10^{-4}$ | 0 ----- $1.51 \cdot 10^{-2}$ 93.765 $1.51 \cdot 10^{-2}$ ----- $1.7 \cdot 10^{-2}$ 93.756 | $1.3953 \cdot 10^{-2}$ $1.5131 \cdot 10^{-2}$ |
| 220 | 94.5 | 94.589 | $2.05 \cdot 10^{-2}$ ---- $1.6817 \cdot 10^{-4}$ | 0 ----- $2.05 \cdot 10^{-2}$ 94.61 $2.05 \cdot 10^{-2}$ ----- $2.15 \cdot 10^{-2}$ 94.5850 | $1.6322 \cdot 10^{-2}$ $2.1294 \cdot 10^{-2}$ |

Tabl. 4.5 Résultats d'optimisation machine de p=2

| Pu (kW) | Rend1 (%) | Rend2 (%) | Pencoche Sencoche (m) ----- (m) | Inter Pencoche (m) Rend3 (%) | PencocheOp |
|--------------------|----------------------|----------------------|--|---|--|
| 1.1 | 74.00 | 74.804 | $1.5*10^{-2}$ ----- $5.2992*10^{-5}$ | 0----- $1.5*10^{-2}$ 75.459 $1.5*10^{-2}$ ----- $1.7*10^{-2}$ 74.725 | $3.1227*10^{-3}$ $1.6448*10^{-2}$ |
| 5.5 | 84.00 | 83.951 | $1.83*10^{-2}$ ----- $1.0641*10^{-4}$ | 0----- $1.83*10^{-2}$ 84.055 $1.83*10^{-2}$ ----- $1.95*10^{-2}$ 83.947 | $1.0952*10^{-2}$ $1.0518*10^{-3}$ |
| 11 | 88.00 | 86.858 | $1.77*10^{-2}$ ----- $1.0446*10^{-4}$ | 0----- $1.77*10^{-2}$ 87.274 $1.77*10^{-2}$ ----- $1.9*10^{-2}$ 86.855 | $5.6579*10^{-3}$ $1.7800*10^{-2}$ |
| 22 | 90.00 | 89.242 | $1.63*10^{-2}$ ----- $1.2384*10^{-4}$ | 0----- $1.63*10^{-2}$ 89.331 $1.63*10^{-2}$ ----- $8*10^{-2}$ 89.226 | $1.2855*10^{-2}$ $1.6916*10^{-2}$ |
| 37 | 91.5 | 90.327 | $1.92*10^{-2}$ ----- $1.157*10^{-4}$ | 0----- $1.92*10^{-2}$ 90.395 $1.92*10^{-2}$ ----- $2.903*10^{-2}$ 90.311 | $1.5927*10^{-2}$ $1.9925*10^{-2}$ |
| 55 | 93.00 | 92.158 | $1.95*10^{-2}$ ----- $1.8757*10^{-4}$ | 0----- $1.95*10^{-2}$ 92.219 $1.95*10^{-2}$ ----- $2.5*10^{-2}$ 92. 131 | $1.2204*10^{-2}$ $2.2726*10^{-2}$ |
| 75 | 93.5 | 92.798 | $1.73*10^{-2}$ ----- $1.8767*10^{-4}$ | 0----- $1.73*10^{-2}$ 92.807 $1.73*10^{-2}$ ----- $2*10^{-2}$ 92.779 | $1.6285*10^{-2}$ $1.952*10^{-2}$ |
| 110 | 94.5 | 93.424 | $1.83*10^{-2}$ ----- $1.0075*10^{-4}$ | 0----- $1.83*10^{-2}$ 93.426 $1.83*10^{-2}$ ----- $2*10^{-2}$ 93.417 | $1.815*10^{-2}$ $1.922*10^{-2}$ |
| 220 | 94.5 | 93.962 | $2.15*10^{-2}$ ----- $3.0026*10^{-4}$ | 0----- $2.15*10^{-2}$ 93.968 $2.15*10^{-2}$ ----- $2.25*10^{-2}$ 93.959 | $2.0428*10^{-2}$ $2.2168*10^{-2}$ |

Tabl. 4.6 Résultats d'optimisation machine de p=3

c. Variation de la profondeur de la barre rotorique

| Pu (kW) | Rend1 (%) | Rend2 (%) | Sbar (m) ----- Pbar (m) | Inter Pbar (m) Rend3 (%) | Pbar Op |
|--------------------|----------------------|----------------------|---|--|--|
| 1.1 | 77.00 | 77.30 | $2.1028 \cdot 10^{-5}$ --- $4.58 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ ----- $4.5856 \cdot 10^{-3}$ 77.301 $4.5856 \cdot 10^{-3}$ ----- $8 \cdot 10^{-3}$ 77.165 | $2.4478 \cdot 10^{-3}$ $8.0467 \cdot 10^{-3}$ |
| 5.5 | 85.00 | 85.24 | $2.2969 \cdot 10^{-5}$ --- $7.92 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ ----- $7.926 \cdot 10^{-3}$ 85.25 $7.926 \cdot 10^{-3}$ ----- $1 \cdot 10^{-2}$ 85.241 | $4.6613 \cdot 10^{-3}$ $5.1217 \cdot 10^{-3}$ |
| 11 | 87.00 | 88.38 | $3.899 \cdot 10^{-5}$ --- $6.244 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ ----- $6.2445 \cdot 10^{-3}$ 87.86 $6.2445 \cdot 10^{-3}$ ----- $10 \cdot 10^{-3}$ 88.029 | $4.8480 \cdot 10^{-3}$ $7.3927 \cdot 10^{-3}$ |
| 22 | 90.00 | 90.373 | $3.780 \cdot 10^{-5}$ --- $6.148 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ ----- $6.1489 \cdot 10^{-3}$ 90.39 $6.1489 \cdot 10^{-3}$ ----- $1 \cdot 10^{-2}$ 90.337 | $4.6258 \cdot 10^{-3}$ $9.2259 \cdot 10^{-3}$ |
| 37 | 92.00 | 92.2 | $4.366 \cdot 10^{-5}$ --- $6.603 \cdot 10^{-3}$ | 10^{-3} ----- $6.6035 \cdot 10^{-3}$ 92.205 $6.60 \cdot 10^{-3}$ ----- $10 \cdot 10^{-3}$ 92.181 | $6.0785 \cdot 10^{-3}$ $9.2450 \cdot 10^{-3}$ |
| 55 | 94.00 | 93.76 | $6.397 \cdot 10^{-5}$ --- $7.998 \cdot 10^{-3}$ | 10^{-3} ----- $7.998 \cdot 10^{-3}$ 93.655 $7.998 \cdot 10^{-3}$ ----- $12 \cdot 10^{-3}$ 93.743 | $4.5600 \cdot 10^{-3}$ $10.950 \cdot 10^{-3}$ |
| 75 | 94.5 | 94.205 | $6.456 \cdot 10^{-5}$ --- $8.03 \cdot 10^{-3}$ | 10^{-3} ----- $8.03 \cdot 10^{-3}$ 94.474 $8.03 \cdot 10^{-3}$ ----- $12 \cdot 10^{-3}$ 94.462 | $4.9230 \cdot 10^{-3}$ $10.928 \cdot 10^{-3}$ |
| 110 | 90.25 | 92.208 | $7.545 \cdot 10^{-5}$ --- $6.68 \cdot 10^{-3}$ | 10^{-3} ----- $6.68 \cdot 10^{-3}$ 92.391 $6.6866 \cdot 10^{-3}$ ----- $12 \cdot 10^{-3}$ 92.197 | $6.8176 \cdot 10^{-3}$ $10.625 \cdot 10^{-3}$ |
| 220 | 94.00 | 93.336 | $9.94 \cdot 10^{-5}$ --- $9.972 \cdot 10^{-3}$ | 10^{-3} ----- $9.972 \cdot 10^{-3}$ 93.344 $9.972 \cdot 10^{-3}$ ----- $15 \cdot 10^{-3}$ 93.326 | $8.1013 \cdot 10^{-3}$ $12.883 \cdot 10^{-3}$ |

Tabl. 4.7 Résultats d'optimisation machine de p=1

| Pu (kW) | Rend1 (%) | Rend2 (%) | Sbar (m) ----- Pbar (m) | Inter Pbar (m) Rend3 (%) | Pbar Op |
|--------------------|----------------------|----------------------|--|--|--|
| 1.1 | 74.00 | 76.872 | 2.894×10^{-5} ---- 5.379×10^{-3} | 1×10^{-3} ----- 5.379×10^{-3} 75.891 5.379×10^{-3} ----- 8×10^{-3} 76.76 | 5.1613×10^{-3} 6.9157×10^{-3} |
| 5.5 | 84.00 | 85.481 | 4.433×10^{-3} ---- 6.658×10^{-3} | 1×10^{-3} ----- 6.658×10^{-3} 85.492 6.658×10^{-3} ----- 8×10^{-2} 85.472 | 6.3968×10^{-3} 6.8806×10^{-3} |
| 11 | 88.00 | 87.692 | 4.588×10^{-2} ---- 6.773×10^{-3} | 1×10^{-3} ----- 6.773×10^{-3} 87.742 6.773×10^{-3} ----- 8×10^{-2} 87.67 | 4.8917×10^{-3} 7.6440×10^{-3} |
| 22 | 90.50 | 89.597 | 5.937×10^{-5} ---- 7.705×10^{-3} | 1×10^{-3} ----- 7.705×10^{-3} 89.628 7.705×10^{-3} ----- 1×10^{-2} 89.562 | 4.6194×10^{-3} 9.7219×10^{-3} |
| 37 | 92.00 | 92.161 | 7.644×10^{-5} ---- 8.743×10^{-3} | 10^{-3} ----- 8.7432×10^{-3} 92.197 8.743×10^{-3} ----- 12×10^{-3} 92.127 | 6.7396×10^{-3} 11.932×10^{-3} |
| 55 | 93.00 | 93.089 | 8.157×10^{-5} ---- 9.032×10^{-3} | 10^{-3} ----- 9.032×10^{-3} 93.136 9.032×10^{-3} ----- 12×10^{-3} 93.085 | 5.3904×10^{-3} 9.4216×10^{-3} |
| 75 | 94.00 | 93.014 | 8.979×10^{-5} ---- 9.495×10^{-3} | 10^{-3} ----- 9.495×10^{-3} 93.043 9.495×10^{-3} ----- 12×10^{-3} 92.917 | 6.8030×10^{-3} 1.1469×10^{-2} |
| 110 | 94.5 | 93.756 | 1.073×10^{-4} ---- 1.031×10^{-2} | 10^{-3} ----- 1.034×10^{-2} 93.799 1.031×10^{-2} ----- 15×10^{-3} 93.75 | 5.4316×10^{-3} 11.100×10^{-3} |
| 220 | 94.5 | 94.589 | 8.169×10^{-5} ---- 9.038×10^{-3} | 10^{-3} ----- 9.0387×10^{-3} 95.05 9.0387×10^{-3} ----- 15×10^{-3} 95.51 | 6.6691×10^{-3} 10.887×10^{-3} |

Tabl. 4.8 Résultats d'optimisation machine de p=2

| Pu (kW) | Rend1 (%) | Rend2 (%) | Sbar (m) ----- Pbar (m) | Inter Pbar (m) Rend3 (%) | Pbar Op |
|--------------------|----------------------|----------------------|--|---|---|
| 1.1 | 74.00 | 74.804 | 2.398×10^{-5} ---- 4.874×10^{-3} | 1×10^{-3} ----- 4.897×10^{-3} 75.012 4.897×10^{-3} ----- 6×10^{-3} 74.75 | 3.1738×10^{-3} 5.500×10^{-3} |
| 5.5 | 84.00 | 83.951 | 4.441×10^{-3} ---- 7.381×10^{-3} | 1×10^{-3} ----- 7.381×10^{-3} 84.116 7.381×10^{-3} ----- 1×10^{-2} 83.909 | 5.1935×10^{-3} 8.2290×10^{-3} |
| 11 | 88.00 | 86.858 | 5.75×10^{-5} ----- 7.603×10^{-3} | 1×10^{-3} ----- 7.603×10^{-3} 86.873 7.603×10^{-3} ----- 12×10^{-3} 86.774 | 6.9900×10^{-3} 10.8200×10^{-3} |
| 22 | 90.00 | 89.242 | 5.0979×10^{-5} ---- 7.14×10^{-3} | 1×10^{-3} ----- 7.14×10^{-3} 89.272 7.14×10^{-3} ----- 1×10^{-2} 89.208 | 5.7600×10^{-3} 9.2460×10^{-3} |
| 37 | 91.5 | 90.327 | 6.8227×10^{-5} ---- 8.25×10^{-3} | 10^{-3} ----- 8.25×10^{-3} 90.357 8.25×10^{-3} ----- 1×10^{-2} 90.309 | 7.08400×10^{-3} 9.9700×10^{-3} |
| 55 | 93.00 | 92.158 | 7.692×10^{-5} ---- 8.770×10^{-3} | 10^{-3} ----- 8.77×10^{-3} 92.641 8.770×10^{-3} ----- 1×10^{-2} 92.148 | 2.0830×10^{-3} 9.6599×10^{-3} |
| 75 | 93.5 | 92.798 | 1.198×10^{-4} ---- 1.094×10^{-2} | 10^{-2} ----- 1.094×10^{-2} 92.846 1.094×10^{-2} ----- 3×10^{-2} 92.746 | 7.7730×10^{-3} 1.6288×10^{-2} |
| 110 | 94.5 | 93.424 | 8.373×10^{-5} ---- 9.150×10^{-3} | 10^{-3} ----- 9.150×10^{-3} 93.71 9.1509×10^{-3} ----- 12×10^{-3} 93.404 | 2.2800×10^{-3} 1.1800×10^{-2} |
| 220 | 94.5 | 93.962 | 1.374×10^{-4} ---- 1.172×10^{-2} | 10^{-3} ----- 1.172×10^{-2} 93.97 1.172×10^{-2} ----- 5×10^{-2} 86.1 | 1.0470×10^{-2} 4.0000×10^{-2} |

Tabl. 4.9 Résultats d'optimisation machine de p=3

Légende :

| | |
|---------------------------------|--|
| Pu (k W) | Puissance utile ; |
| Rend1 (%) | Rendement de la machine donné ; |
| Rend2 (%) | Rendement de la machine recalculé ; |
| Rend3 (%) | Rendement de la machine après l'optimisation ; |
| Pencoche (m) | profondeur d'encoche statorique ; |
| Sencoche (m²) | surface d'encoche statorique; |
| Inter Pencoche (m) | Intervalle de changement de profondeur d'encoche statorique; |
| PencocheOp (m) | profondeur d'encoche statorique optimisé ; |
| Pbar (m) | profondeur de la barre ; |
| Sbar (m²) | surface de la barre; |
| Inter Pbar (m) | Intervalle de changement de la barre ; |
| Pbar Op (m) | profondeur de la barre optimisée ; |

d. Effet de diamètre d'lissage sur le rendement

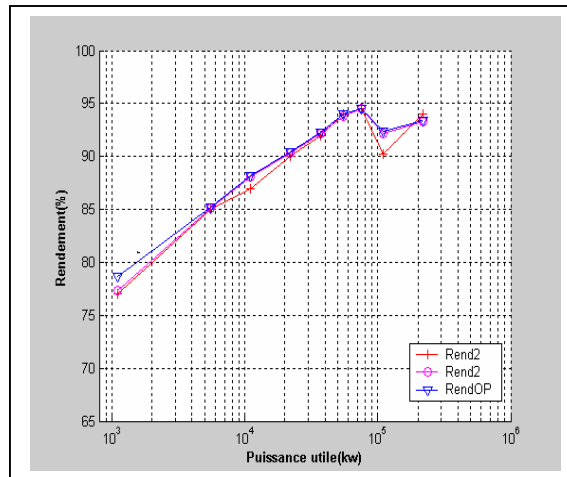


Figure. 4.1 Rendement en fonction de la puissance utile pour p=1

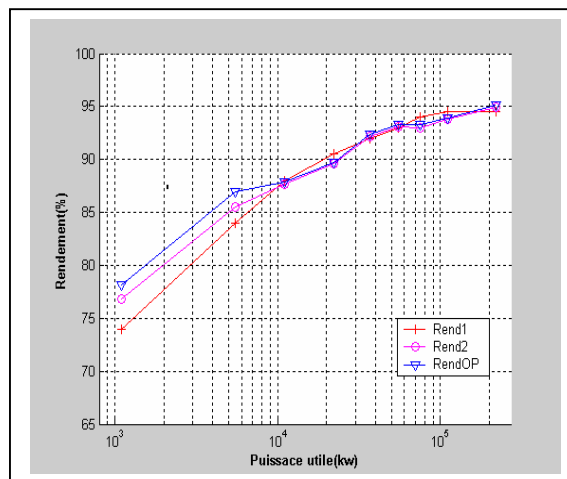


Figure. 4.2 Rendement en fonction de la puissance utile pour p=2

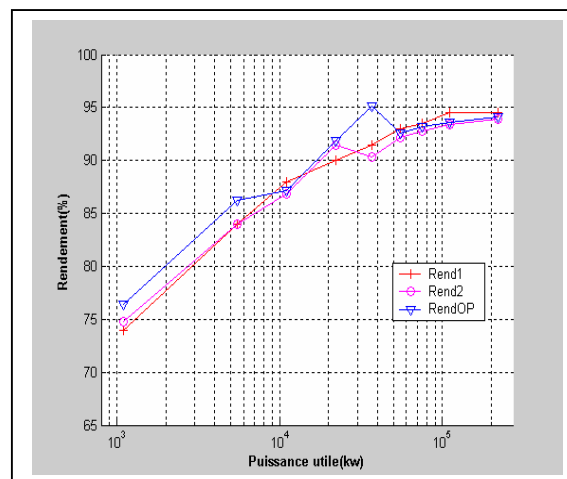


Figure. 4.3 Rendement en fonction de la puissance utile pour p=3

e. Effet de la profondeur d'encoche statorique sur le rendement

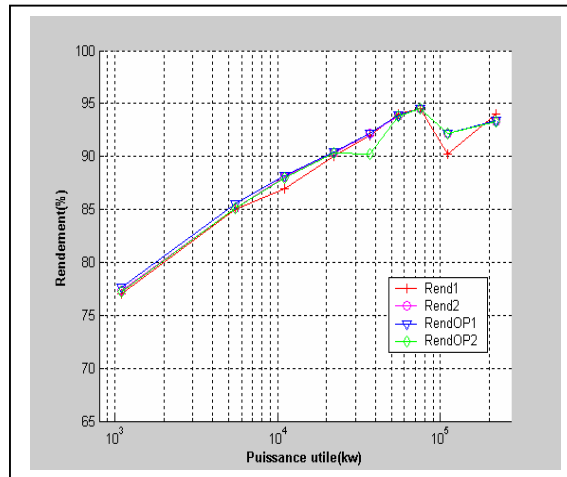


Figure. 4.4 Rendement en fonction de la puissance utile pour p=1

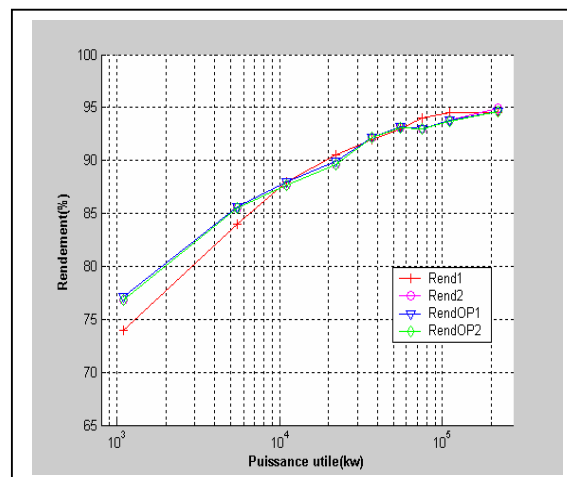


Figure. 4.5 Rendement en fonction de la puissance utile pour p=2

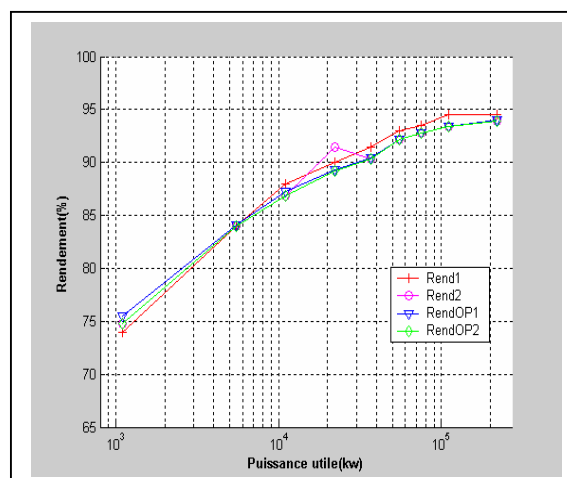


Figure. 4.6 Rendement en fonction de la puissance utile pour p=3

f. Effet de la profondeur de la barre rotorique sur le rendement

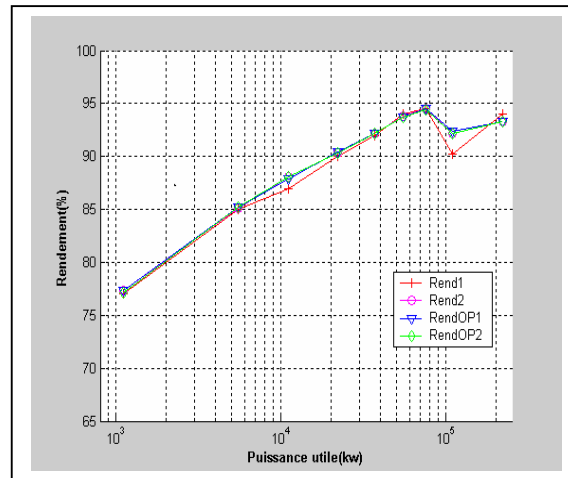


Figure. 4.7 Rendement en fonction de la puissance utile pour p=1

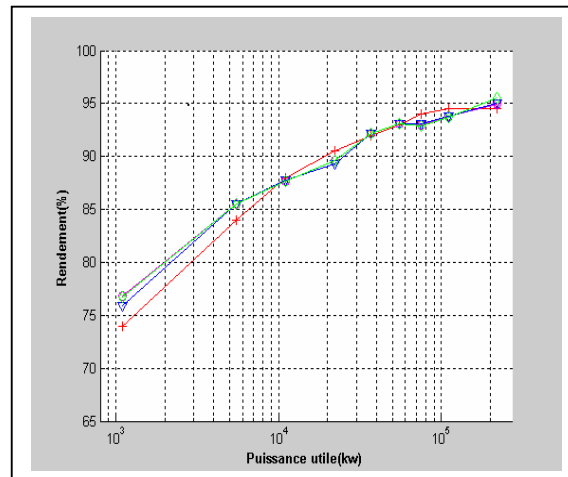


Figure. 4.8 Rendement en fonction de la puissance utile pour p=2

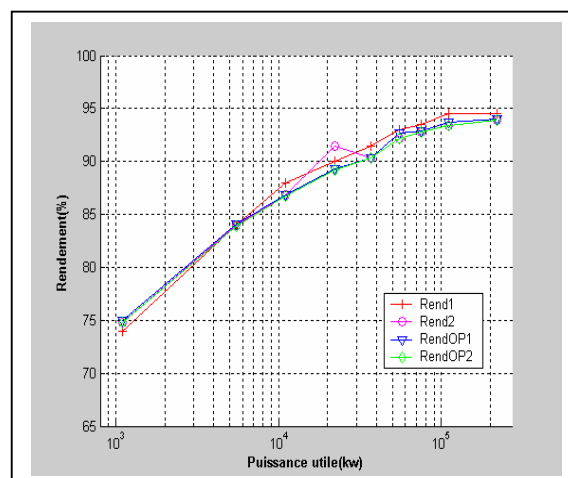


Figure. 4.9 Rendement en fonction de la puissance utile pour p=3

4.6 Interprétation des résultats

Le rendement part de zéro à vide et croît avec la puissance utile suivant une caractéristique ayant à peu près la même allure pour toutes les machines tournantes.

D'après les résultats représentés sous forme de courbes, certaines remarques peuvent être enregistrées :

- ✓ Les résultats de simulation sont comparables avec les valeurs de catalogue.
- ✓ L'augmentation du diamètre interne du stator provoque toujours une amélioration du rendement, cette dernière est considérable sur les machines de faible puissance. Par contre pour les grande et les moyennes puissance l'amélioration de rendement n'est pas vraiment intéressante.
- ✓ L'augmentation du profondeur de l'encoche statorique et rotorique engendre une diminution au niveau du rendement.

4.7. Conclusion

Dans le but d'augmenter le rendement de la machine asynchrone, plusieurs méthodes sont proposées dans la littérature technique. L'idée que nous avons proposée est appliquée sur des machines de différentes gammes de puissance permis de constater que :

L'augmentation du diamètre interne statorique provoque une augmentation du rendement de la machine contrairement à celle du profondeur d'encoche statorique et rotorique.

