

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد حليب البليدة  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الآلية و الإلكترونيات  
Département d'Automatique et Électrotechnique



## Mémoire de Master

Mention Automatique  
Spécialité Automatique et Système

présenté par

ZERMANE Ali

&

BERANA Ayoub

# Identification paramétrique de la machine asynchrone par la méthode de colonie d'abeille artificielle

Proposé par : Mme KHEMICI Latifa

Année Universitaire 2022-2023

### Remerciements

Avant de présenter notre thème, nous tenons à remercier notre encadreur, Mme. Khemici. Pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nous remercions également tous les enseignants qui nous ont aidés à surmonter les difficultés que nous avons rencontrées sur le chemin que nous avons envisagé, sous la direction du professeur Mr Aliane, et tous ceux qui nous ont aidés à mener à bien le projet. Nous remercions les membres du jury qui ont l'honneur d'examiner notre travail.

Enfin nous tenons à témoigner toute notre gratitude et reconnaissance à nos familles et nos amis pour leur confiance et soutien infaillible tout au long de ce processus.

**Dédicace**

*A MOI*

*A MES CHÈRES PARENTS*

*"MILOUD ET AICHA"*

*A MA PETITE FAMILLE*

*A MES AMIS*

*A MON MEILLEUR AMI*

*"BATAOUI.RAFIK*

*ALI*

## Dédicace

*A MES CHERS PARENTS*

*“ MASOUAD ET YAMINA ”*

*A MA FAMILLE*

*A MES AMIS*

*“ AMINE , MOUHAMED , KHALED ,  
MOUFIDA ”*

*AYOUB*

## ملخص:

خوارزمية تحسين مستعمرة النحل هي أساليب يتم استخدامها بشكل متزايد لحل بعض مشاكل الأمثلة يهدف هذا البحث من جهة و من جهة أخرى لمشكلة تحديد الماكينة المتزامنة إلى مقارنة أدائها مع طريقة التحديد التقليدية ABC إلى تنفيذ خوارزمية مع مراعاة الخطأ المربع المتوسط ABC تم تحسين النتائج التي تم الحصول عليها من خلال الطريقة التقليدية باستخدام خوارزمية في تقليل هذا الخطأ ABC كمعيار أداء تم إجراء اختبارات و أظهرت تلك الاختبارات تفوق و كفاءة طريقة MAS : الكلمات الدالة الماكينة غير المتزامنة خوارزمية مستعمرة النحل التجارب التقليدية تحديد معالم

---

## Résumé :

Les algorithmes d'optimisation de colonies d'abeilles sont des méthodes de plus en plus utilisées pour la résolution de certains problèmes d'optimisation. Le présent travail d'une part, à mettre en œuvre un ABC sur le problème d'identification de machine synchrone, et d'autre part à comparer ses performances avec la méthode d'identification classique.

Les résultats obtenus à partir de la méthode classique sont améliorés à travers un algorithme à travers ABC en prenant en considération l'erreur quadratique comme critère de performance. Des tests ont été faits et ces derniers ont montré la supériorité et l'efficacité de la méthode ABC en termes de minimisation de cette erreur et détermination des paramètres de la machine asynchrone par rapport aux méthodes classiques.

**Mots clés :** machine asynchrone ; Algorithme de colonie d'abeille artificielle ; essais classiques, identification des paramètres de la MAS.

---

## Abstract:

Bee colony optimization algorithms are increasingly being used for solving certain optimization problems. This study aims to implement an Artificial Bee Colony (ABC) algorithm for asynchronous machine identification and compare its performance with the traditional identification method

The results obtained from the traditional method are improved using the ABC algorithm, considering mean squared error as the performance criterion. Tests were conducted, which demonstrated the superiority and efficiency of the ABC method in terms of minimizing this error and determining the parameters of the asynchronous machine compared to the traditional methods.

**Keywords:** asynchronous machine, Bee Colony algorithm, classical experiments, MAS parameter identification.

## Liste des acronymes et abréviations

**$N_s$**  : Vitesse de rotation.

**$f$** : fréquence

**$g$** : le glissement.

**$V_s, I_s$** : Tension et courant statorique.

**$V_r, I_r$** : Tension et Courant rotoriques.

**$s, r$**  : Indices d'axes correspondants au stator et rotor.

**$a, b, c$**  : Indice correspondants aux trois phases a, b, c.

**$R_s, L_s$**  : Résistance et inductance propre d'une phase statorique.

**$R_r, L_r$**  : Résistance et inductance propre d'une phase rotorique.

**$\theta_s$** : Flux statorique.

**$\theta_r$** : Flux rotorique

**$l_s$** : Inductance propre d'une phase statorique.

**$l_r$** : Inductance propre d'une phase rotorique.

**$M_s$** : inductance mutuelle entre phases statoriques.

**$M_r$** : inductance mutuelle entre phases rotoriques.

**$M_0$**  : Mutuelle inductance maximale entre une phase statorique et une phase rotorique

**$V_{s0}$**  : la tension à vide

**$I_{s0}$**  : le courant à vide

**$T_s, T_r$**  : Constante de temps statorique et Constante de temps rotorique.

**$P$** : Puissance active

**$Q$** : puissance réactive

**$P_{méc}$**  : Puissance mécanique

**$P_{fer}$** : Perte fer

**$P_{js}$** : Perte joule statorique

**$P_{s0}$**  : Puissance active à vide

**$Q_{s0}$**  : puissance réactive à vide

**$P_{cc}$** : Puissance active de court-circuit

# Sommaire

## Table des matières

Introduction Générale .....	1
-----------------------------	---

### Chapitre I Généralités sur la machine asynchrone

1.1	Introduction .....	2
1.2	Historique .....	2
1.3	Présentation de la machine asynchrone : .....	2
1.3.1	Les avantages et les inconvénients .....	3
1.3.2	Domaine d'utilisation de la MAS .....	3
1.3.3	Constitution de la MAS .....	3
1.4	Couplage d'un moteur asynchrone .....	5
1.5	Principe de fonctionnement .....	6
1.6	La plaque signalétique .....	8
1.6.1	Les notions présentées sur la plaque signalétique : .....	8
1.6.2	Lecture d'une plaque signalétique d'un moteur : .....	11
1.7	Schéma équivalent .....	12
1.8	Conclusion .....	13

### Chapitre 2 la modélisation et l'identification

2.1	Introduction .....	14
2.2	Modélisation de la machine asynchrone .....	14
2.2.1	Définition de la modélisation .....	14
2.2.2	Le but de la modélisation .....	14
2.2.3	Modèles mathématiques .....	14
2.2.4	Les étapes principales de la modélisation .....	15
2.3	Identification .....	17
2.3.1	Définition .....	17



2.4	Les différentes méthodes d'identification .....	17
2.4.1	Méthode de la plaque signalétique .....	17
2.4.2	Méthode des essais classiques .....	18
2.4.3	Méthode du modèle de référence .....	21
2.5	Conclusion.....	23

### **Chapitre 3 Les méthodes d'optimisation "A B C"**

3.1	Introduction .....	24
3.2	Méthodes Méta heuristiques.....	24
3.3	L'optimisation par Colonie d'abeille artificielle .....	25
3.4	Les abeilles dans la nature.....	25
3.4.1	Définition .....	25
3.5	Recherche de nourriture chez les abeilles .....	27
3.6	Algorithme d'optimisation de colonie d'abeilles artificielle (ABC).....	27
3.7	Organigramme de l'algorithme ABC .....	28
3.8	Identification paramétrique du MAS par la technique ABC .....	29
3.9	Recherche de nourriture chez les abeilles .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.10	Application de l'algorithme ABC à l'identification des paramètres d'un moteur asynchrone	30
3.10.1	Implantation de la technique d'identification .....	32
3.10.2	Validation de l'identification .....	32
3.11	Conclusion.....	38
	Conclusion Générale .....	33

## Liste des figures

Figure 1. 1: les composants de la MAS.....	4
Figure 1. 2: exemple de stator d'une MAS. ....	4
Figure 1. 3: exemple de rotor d'une MAS. ....	5
Figure 1. 4: le couplage triangle.....	6
Figure 1. 5: le couplage étoile.....	6
Figure 1. 6: la règle de trois doigts.....	7
Figure 1. 7: exemple 1 d'une plaque signalétique d'un moteur.....	8
Figure 1. 8: exemple 2 d'une plaque signalétique d'un moteur.....	11
Figure 2.1 : Représentation d'un système.....	15
Figure 2.2 : Modèle parallèle. ....	16
Figure 2.3 : Modèle série.....	16
Figure 2.4 :Exemple de circulation de l'information pour l'optimisation .....	16
Figure 2.5: montage d'essai en courant continu.....	19
Figure 2.6:schéma du montage de l'essai à vide.....	20
Figure 2.7: schéma de la MAS à vide.....	20
Figure 2.8 : Le montage de mesure.....	21
Figure 2.9: bloc diagramme de la méthode d'identification du modèle de référence.....	22
Figure 3.1: une abeille .....	25
Figure 3.2 : Danse en rond. ....	26
Figure 3.3 : Danse en huit (frétilante).....	26
Figure 3.4 :Organigramme de l'algorithme ABC.....	28
Figure 3.5: principe d'identification par modèle de référence.....	30
Figure 3.6: superposition facteur de puissance classique et facteur de puissance calculé.....	33
Figure 3.7 : superposition courant classique et courant calculé.....	33

## Liste des tableaux

Tableau 1.1: les notions présentes sur cette plaque signalétique

Tableau 3.1: paramètres de l'algorithme ABC choisis pour la simulation.

Tableau 3.2 : paramètres de l'Algorithme ABC pour la fonction Rosenbrock

Tableau 3.3 : Solutions données et simulées Fonction Rosenbrock

Tableau 3.4: paramètres de l'Algorithme ABC pour le circuit *RL* (bobine)

Tableau 3.5: résultats des paramètres identifiés du circuit *RL*

Tableau 3.6 : paramètres de l'algorithme ABC



# Introduction Générale

## **Introduction Générale**

La machine asynchrone est considérée comme un système de conversion électromécanique le plus utilisé dans le milieu industriel, particulièrement pour des entraînements à vitesse variable. Cependant, elle est soumise des différents contraintes (climatique, mécaniques, variations, vieillissement,) qui vont détériorer ses performances au cours du temps. Par conséquent, si la commande du moteur est conçue avec des valeurs de paramètre erronées, le comportement du système ne répondra plus au cahier des charges initial et ne fonctionnera pas efficacement, et aussi le système de control à haute performance dépendant plus ou moins, des paramètres de la machine asynchrone. Toute déviation entre les valeurs réelles et celles cédés au système provoque sur la robustesse de la commande. C'est pourquoi, la phase d'identification des paramètres des machines asynchrones indispensable avant la conception d'une commande [1][2].

Dans la littérature, plusieurs techniques sont proposées pour l'identification des paramètres de la machine asynchrone. Dans ce mémoire, nous allons déterminer les paramètres électriques, électromagnétiques et mécaniques d'une machine asynchrone, à l'aide de différentes méthodes d'identification et de plusieurs essais expérimentaux. Deux méthodes d'identification seront analysées à partir des modèles statique et dynamique de la machine asynchrone. La première technique repose sur une méthode classique d'identification de la machine. La deuxième méthode tire son principe d'une approche méta-heuristique basée sur l'optimisation par colonie d'abeilles [3].

Pour atteindre l'objectif de ce mémoire, ce travail est organisé de la manière suivante :

Le premier chapitre présente une vue générale sur la machine asynchrone tel que leur architecture, et leur avantage et inconvénient, ainsi que son schéma équivalent.

Le second chapitre présente la modélisation de la machine et l'identification des paramètres de cette dernière par l'utilisation de la méthode des essais classiques et le modèle de référence.

Le troisième chapitre analysera l'identification des paramètres électriques du moteur asynchrone par l'implémentation de la technique intelligente basée sur l'optimisation par colonie d'abeilles (ABC).

Nous terminerons par une conclusion générale et des perspectives.

# **Chapitre 1**

Généralités sur la machine asynchrone

## **1.1 Introduction**

La machine asynchrone (MAS) est une machine tournante fonctionnant avec du courant alternatif et ayant un induit (rotor) en court-circuit. Elle est appelée aussi moteur car elle produit de l'énergie mécanique à partir d'énergie électrique.

Ce chapitre donne un aperçu général sur la machine asynchrone : son historique, ses avantages et ses inconvénients et ses domaines d'utilisations. Ainsi, il décrit brièvement les composants de MAS et son principe de fonctionnement. Finalement, il présente la plaque signalétique de la MAS et son schéma équivalent.

## **1.2 Historique**

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

Mais ce n'est qu'à partir de 1870 que l'électrotechnique industrielle s'affirma notamment grâce à la production d'énergie électrique par les génératrices à courant continu (dynamos) de Gramme et de Siemens. Ensuite, dans les années 1880, les alternateurs et les transformateurs polyphasés ont été développés. 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 à courants alternatifs polyphasés par la conception et la construction des machines d'induction ou asynchrones en 1888.

En 1889, Mikhaïl Dolivo-Dobrovolski, électricien allemand d'origine russe, inventa la première machine asynchrone à courant triphasé à cage d'écureuil qui sera construite industriellement à partir de 1891.

## **1.3 Présentation de la machine asynchrone :**

La machine asynchrone, également connue sous le nom de machine à induction, est une machine électrique à courant alternatif dont l'inducteur et l'induit sont électriquement séparés.



### **1.3.1 Les avantages et les inconvénients**

#### **Les avantages :**

- Facile à fabriquer (il y a une usine pour ces moteurs en Algérie ,3zaze9a site).
- Robuste et nécessitent peu d'entretien.
- Prix d'achat est moins élevé.

#### **Les inconvénients :**

- Difficile à commander en forte puissance.

Avec le développement d'électronique de puissance et l'électronique numérique le contrôle de la machine est devenu facile, et donc cet inconvénient n'a plus d'impact significatif sur la machine, c'est pourquoi on l'utilise de plus en plus, et chaque fois on remplace la machine en courant continu par la machine asynchrone. En fait, la machine au courant continu est meilleure que la MAS mais elle plus cher et nécessite de la maintenance [1].

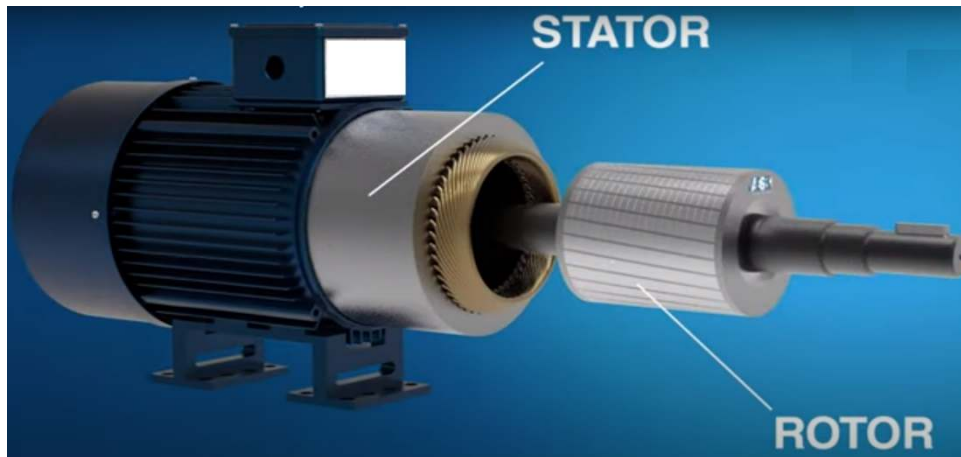
### **1.3.2 Domaine d'utilisation de la MAS**

La MAS est utilisé dans de nombreux domaines :

- Les extractions.
- La production de génie électrique.
- Dans les pompes.
- Centrale thermique (cap Djanet site).
- Tramway [1].

### **1.3.3 Constitution da la MAS**

La machine asynchrone comporte principalement deux parties distinctes et coaxiales, séparées par un entrefer de faible épaisseur et respectivement appelées stator et rotor(voir la figure 1.1) la première étant fixe et la seconde mobile.

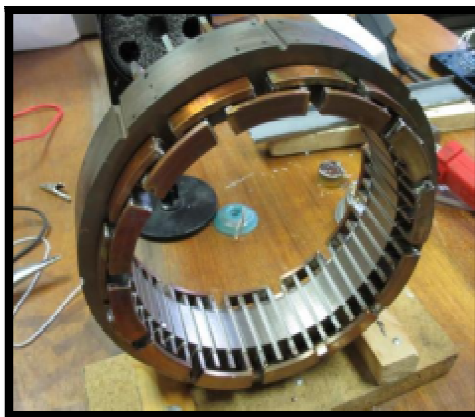


**Figure 1.1: les composants de la MAS.**

**a) Le stator :**

Le stator est la partie fixe de MAS (voir la figure 1.2 ). Il est responsable de la création de champ magnétique, et a été nommé stator parce qu'il est tiré au mot statique. C'est l'armature fixe constitué d'un empilement de couronnes découpées dans un rôle ferromagnétique ayant :

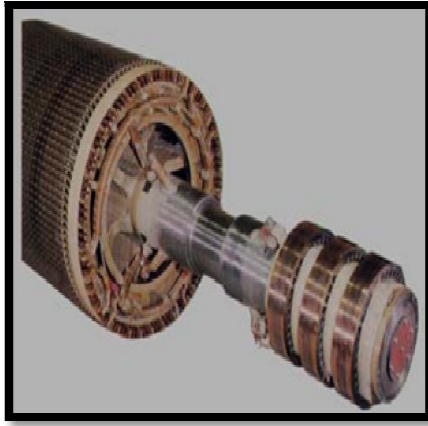
- Un cylindre interne encoché.
- Une épaisseur de quelques dixièmes de millimètres [1].



**Figure 1.2: exemple de stator d'une MAS.**

**b) Le rotor :**

Le rotor porte l'enroulement dans lequel doit circuler les courants induits (**Figure 1.3**). En pratique, on trouve deux types de rotor de la MAS.



**Figure 1.3: exemple de rotor d'une MAS.**

- **Le rotor à cage :**

Toutes les barres du rotor sont reliées par deux boucles qui court-circuitent les barres en permanence. Le rotor est le siège de la création de la force électromotrice et la force de la création de courant induit et en cela se produit le principe de la force de Laplace. Le mot de rotor est tiré du mot rotation et a deux enroulement le premier (drive) et le deuxième (fun).

La mauvaise chose est que nous ne pouvons pas contrôler le courant qui circule à l'intérieur, donc nous ne pouvons pas contrôler aussi le couple. Les limites du moteur asynchrone à cage d'écureuil se situe lors du démarrage ou le couple et /ou le courant ne sont pas raisonnables. Ce type de moteur est utilisé pour les petites puissances ou pour des puissances élevées n'ayant pas besoin de démarrer à pleine charge [1].

- **Le rotor à bague ou rotor bobiné :**

Dans ce type, nous pouvons contrôler le courant, et il doit également être alimenté. Le courant est transmis par des bagues. Chaque phase est reliée à une bague, sur laquelle vient frotter un balai utilisant les bobinages rotoriques à l'extérieur.

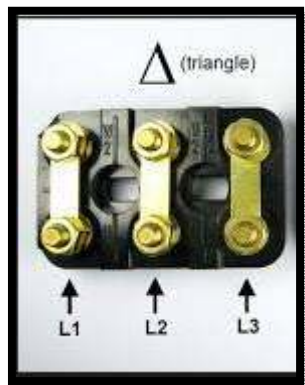
Pour augmenter le couple à faible vitesse de rotation, il faudrait agir sur le courant circulant dans le rotor. Dans le cas d'un moteur à cage, le rotor massif est inaccessible.

## **1.4 Couplage d'un moteur asynchrone**

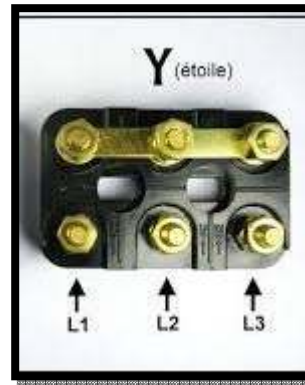
Le couplage du moteur correspond au branchement des bornes du moteur au réseau électrique. Il est important de bien réaliser le couplage d'un moteur asynchrone au risque de le

détériorer ou même de le détruire. Ces moteurs possèdent trois enroulements (phases) qui peuvent être couplées soit en triangle, soit en étoile.

- Le couplage triangle : on l'utilise si la plus grande tension du réseau est égale à la plus petite tension moteur( **Figure 1.4**).
- Le couplage étoile : les enroulements reçoivent une tension réduite. Ainsi, il s'utilise si la tension du réseau d'alimentation est égale à la tension du moteur ( **Figure 1.5**). Par exemple, votre réseau annonce une tension de 230/400V alors que votre moteur affiche une tension nominale de 400/700V.



**Figure 1.4: le couplage triangle.**



**Figure 1.5: le couplage étoile.**

## 1.5 Principe de fonctionnement

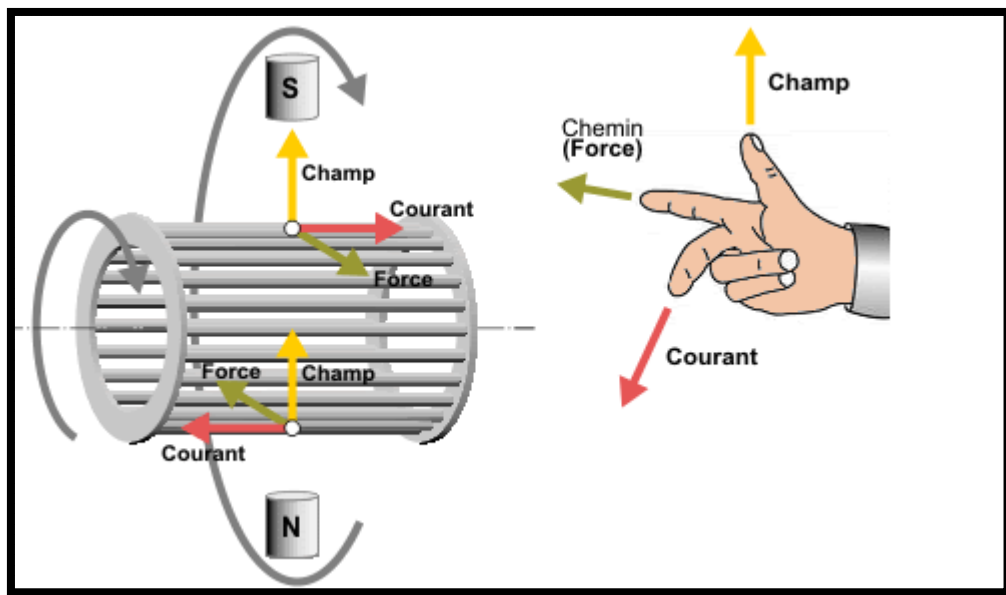
Le principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone repose sur :

D'une part, la génération d'un courant induit dans des conducteurs placés dans un champ magnétique tournant. Le conducteur en question est une barre qui constitue la cage d'écureuil du rotor du moteur (voir figure). La détection de courant ne peut se produire que si les conducteurs sont court-circuités (c'est le cas car les anneaux des deux côtés relient toutes les barres).

D'autre part, une force motrice (courant circulant et placé dans un champ magnétique tournant ou variable) est générée sur le conducteur considéré, dont la direction est donnée par la règle des trois doigts de la main droite (voir figure).

Comme lamontre figure, à un instant donné, la direction du champ tournant est ascendante. En considérant deux conducteurs diamétralement opposés, on constate que les courants induits dans ces deux conducteurs sont de sens opposés et sont liés au champ magnétique, produisant des forces motrices de sens opposés. Le rotor peut tourner librement sur l'axe X-Y, et ces deux forces

se combinent pour transmettre un couple aux deux conducteurs, ce qui fait tourner la cage d'écureuil : le moteur électrique a été inventé.



**Figure 1.6: la règle de trois doigts.**

Pour maintenir le moteur en rotation, il est nécessaire de faire varier le courant ou le champ magnétique dans les conducteurs de la cage. Dans un moteur asynchrone, le champ magnétique change sous la forme d'un champ tournant généré dans le stator.

Au démarrage, un champ magnétique tournant balaie un conducteur de son flux à une vitesse angulaire synchrone. Un rotor en rotation a tendance à rattraper le champ en rotation. Pour avoir un couple soutenu au niveau du conducteur, le changement de flux doit être permanent ; cela signifie que si le conducteur tourne à une vitesse synchrone comme un champ tournant, le changement de flux sur le conducteur devient nul et le couple moteur disparaît.

Un rotor d'un moteur asynchrone ne tourne jamais à la vitesse de synchronisme (50 Hz). La vitesse de rotation du rotor d'un moteur à une paire de pôles, par exemple, peut atteindre 2 950 [tr/min] à 50 Hz, ce qui implique le concept de glissement.

Un rotor d'un moteur asynchrone ne tourne jamais à la vitesse de synchronisme (50 Hz). La vitesse de rotation du rotor d'un moteur à une paire de pôles, par exemple, peut atteindre 2 950 [tr/min] à 50 Hz, ce qui implique le concept de glissement.

## 1.6 La plaque signalétique

Actuellement, la plupart des machines-outils fonctionnent à l'aide de moteurs électriques. Les normes imposées permettent de standardiser ces moteurs électriques. Ces normes rendent assez simple le remplacement et le changement d'un moteur électrique. Le renouvellement de votre moteur électrique ou l'installation d'accessoires électriques supplémentaires nécessite une lecture et une compréhension appropriées de la plaque signalétique. Lors de votre achat, cette plaque vous aidera à identifier les caractéristiques techniques de votre moteur asynchrone.



Figure 1.7: exemple 1 d'une plaque signalétique d'un moteur.

La plaque signalétique est souvent comparée à la carte d'identité de l'appareil. C'est une plaque en métal qui comprend un tableau et diverses inscriptions (voir **Figure 1.7**). Elle contient les caractéristiques clés du moteur qui sont :

- Le type de moteur,
- La tension d'alimentation en Volt,
- La fréquence d'alimentation en Hertz pour le courant alternatif,
- La puissance en Kilowatt,
- La vitesse de rotation,
- L'ampérage.

### 1.6.1 Les notions présentées sur la plaque signalétique :

La plaque signalétique présente les notions suivantes :

#### a) La norme :

Une variété de normes régit la fabrication des moteurs électriques. Ces normes établissent les spécifications de conception et électriques. Ils diffèrent en fonction des pays :

- CE : Conformité Européenne - Europe

- CSA : Canadian Standard Association - Canada
- NEMA : National Electrical Manufacturers Association – U.S.A
- EEMAC : Association des Manufacturiers électriques et Électronique du Canada – Canada.
- IEC : Commission électrotechnique international – Europe
- IEEE : Institute of Electrical and Electronic Engineers - Europe

**b) Le type de moteur :**

Les types de moteurs sont classés en fonction de leur puissance et de leur vitesse de rotation. Le type déterminera les dimensions du moteur électrique. De plus, c'est une référence constructrice.

**c) Le numéro de série :**

C'est un numéro unique attribué à l'appareil qui permet d'identifier le moteur électrique.

**d) La norme de rendement énergétique international (IE code) :**

Le rendement énergétique des moteurs électriques est classé selon un système mondial. Cette norme a été créée pour aider les acheteurs du monde entier à identifier facilement les rendements des produits.

**e) Le couplage du moteur :**

Le couplage peut se faire soit en triangle soit en étoile voir section 1.4. Le couplage des enroulements peut être modifié dans la boîte à bornes d'un moteur asynchrone.

**f) La tension d'alimentation (V) :**

Le voltage indique la tension sous laquelle le moteur électrique est alimenté. Le moteur peut fonctionner à différentes tensions. Un moteur électrique triphasé fonctionnera avec une tension de 230/400V ou 400/700V. En revanche, un moteur électrique monophasé préférera une tension de 230V.

**g) La fréquence (Hz) :**

C'est le nombre de cycles d'une onde sinusoïdale par seconde. En d'autres termes, la fréquence est le nombre de fois que le courant se répète par seconde. Cette fréquence est exprimée en Hertz. En Europe, la fréquence est généralement de 50 Hz, contrairement à 60 Hz en Amérique du Nord ou au Royaume-Uni.

**h) La puissance (kW) :**

La puissance du moteur est exprimée en kilowatts. Il s'agit de la force que le moteur électrique produit lorsqu'il atteint son maximum de vitesse. De plus, la puissance peut être exprimée en Horsepower (HP).

$$1 \text{ HP} = 745,7 \text{ Watt}$$

**i) La puissance (CV) :**

La puissance du moteur est également exprimée dans l'unité de mesure de puissance en chevaux (CV).

$$1 \text{ CV} = 0,75 \text{ kW}$$

**j) La vitesse de rotation (tr/min) :**

C'est la vitesse à laquelle le moteur tourne. La vitesse est liée à la fréquence de l'alimentation et à la puissance maximale. En français, la vitesse est exprimée en nombre de tours par minutes (tr/min) ou en anglais en RPM (Rotation Per Minute). Il est également possible d'exprimer la vitesse de rotation en nombre de pôles :

- 2 pôles = 3000tr/min,
- 4 pôles = 1500tr/min,
- 6 pôles = 1000tr/min,
- 8 pôles = 750tr/min.

**k) L'ampérage (A) :**

L'intensité du courant est mesurée en ampères. L'ampère est la quantité de charge électrique que chaque phase absorbera. La puissance et la tension du moteur électrique détermineront l'intensité. Par conséquent, elle sera plus élevée pour les moteurs monophasés 220V.

**l) Cosinus Phi :**

Le Cosinus Phi, également connu sous le nom de Cos Phi, est un facteur de puissance. Le  $\phi$  de l'alphabet grec le représente. Le Cosinus Phi est la valeur du déphasage angulaire entre la tension et l'intensité du courant dans un circuit alternatif.

**m) Le type de service :**

Le moteur électrique est conçu pour fonctionner dans un type de service.



## 1.6.2 Lecture d'une plaque signalétique d'un moteur :

Figure 1.8 présente une plaque signalétique d'un moteur, nous allons détailler toutes les notions présentes sur cette dernière dans le **Tableau 1.2**.



Figure 1.8: exemple 2 d'une plaque signalétique d'un moteur.

<b>Marque</b>	CEMER
<b>Norme</b>	CE – Normes Européennes
<b>Norme de rendement énergétique international (IE)</b>	IE3
<b>Référence constructeur</b>	MSE 112M-4
<b>Numéro de série (N/S)</b>	1851223026
<b>Type de service</b>	S1
<b>Classe d'isolation</b>	155(F)
<b>Indice de protection</b>	IP55
<b>Degrés supportés maximum</b>	40°C
<b>Poids</b>	37,8 Kilo
<b>Fréquence</b>	50 Hz / 60 Hz
<b>Puissance du moteur</b>	4 kilowatts / 4,8 kW
<b>Tension d'alimentation</b>	230/400 Volts / 275/480 Volts
<b>Couplage</b>	Triangle ou Étoile

<b>Cosinus Phi</b>	0,82 φ
<b>Ampérage / Intensité</b>	13,8/8,0 A / 13,6/7,9 A
<b>Vitesse de rotation</b>	1440 tr/min / 1730 tr/min
<b>Roulement</b>	DE 6306 2RS C3
<b>Roulement bloqué</b>	NDE lockedbearing

**Tableau 1.2: les notions présentes sur cette plaque signalétique.**

## 1.7 Schéma équivalent

La modélisation du comportement dynamique de la machine asynchrone peut se traduire par des circuits électriques équivalents. Un choix judicieux d'une constante appelé «  $a$  », qui signifie constante de transformation adoptée pour ramener le rotor au repère statorique, permet avoir différents schémas équivalents.

Dans notre travail nous avons adopté le schéma équivalent ramené au stator à fuites réparties à égalité entre le stator et le rotor. Dans ce modèle, la constante  $a$  est choisie telle que :

$f_s = l'f_r$  (hypothèse de P. Alger), ce qui donne :

$$L_s = L'_r = a^2 L_r \rightarrow a = \sqrt{\frac{L_s}{L_r}}$$

Les grandeurs statoriques et rotoriques sont donc données par :

$$l_{f_s} = l'_{f_r} = L_s (1 - \sqrt{1 - \sigma})$$

$$M' = \sqrt{\frac{L_s}{L_r}} M = \sqrt{1 - \sigma} L_s$$

$$R'_r = \left(\sqrt{\frac{L_s}{L_r}}\right)^2 R_r = \frac{L_s}{L_r} R_r = \frac{L_s}{T_r}$$

Avec :

$$T_r = \frac{L_r}{R_r} : \text{constante de temps rotorique}$$

$$T_s = \frac{L_s}{R_s} : \text{constante de temps statorique}$$

$R_s$  et  $R_r =$  deux résistances

$M =$  Inductance mutuelle cyclique entre stator et rotor

$L_s =$  Inductance cyclique propre d'une phase statorique

$L_r =$  Inductance cyclique propre d'une phase rotorique

On peut déduire le schéma de la Figure 1.9. Avec ce modèle, le nombre de paramètres électriques à identifier se limite à cinq [ $R_s$ ,  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_m$ ,  $R_r$ ].

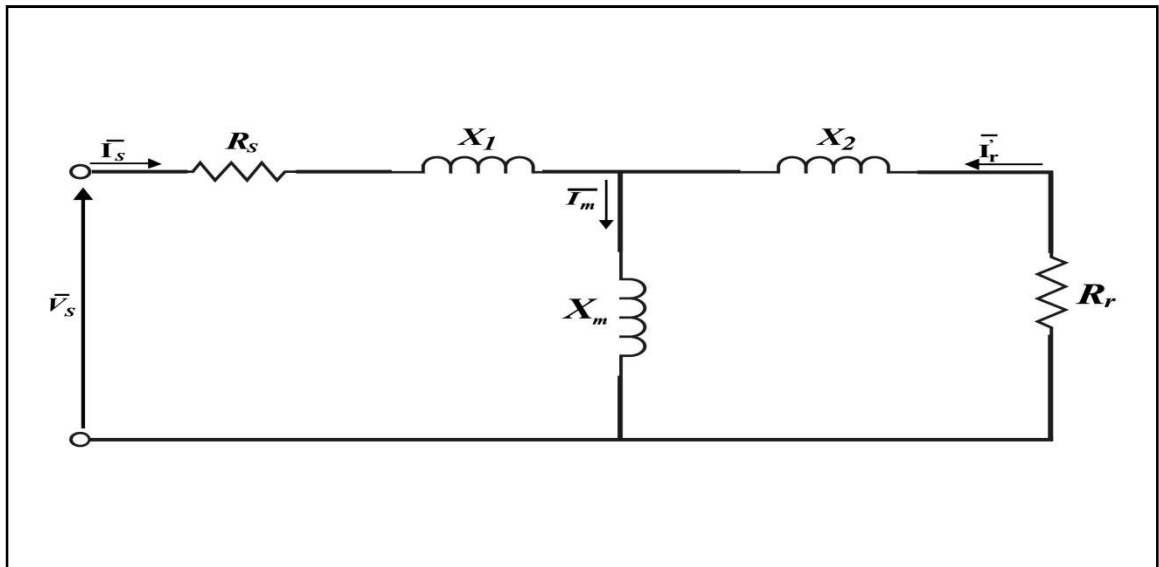


Figure 1.9: schéma équivalent de la MAS à fuites réparties à égalité entre stator et rotor.

## 1.8 Conclusion

L'objectif de ce chapitre est donné d'une description générale de la machine asynchrone, ainsi sa constitution, et son principe de fonctionnement. Ensuite, les notions présentées par la plaque signalétique ont été exposé tout en donnant un exemple de la lecture d'une plaque signalétique. La suite du chapitre est consacrée au schéma équivalent de la MAS tel que nous avons adopté le schéma équivalent ramené au stator à fuites réparties à égalité entre le stator et le rotor.

Dans le chapitre suivant, nous focalisons sur la modélisation de la MAS et sur les approches d'identifications paramétriques

# **Chapitre 2**

la modélisation et l'identification

## **2.1 Introduction**

Dans ce chapitre nous nous intéressons à la modélisation et à l'identification. La modélisation consiste à trouver la relation entre la sortie et l'entrée du système, d'autre part, l'identification est l'opération qui détermine les propriétés dynamiques du système.

## **2.2 Modélisation de la machine asynchrone**

### **2.2.1 Définition de la modélisation**

La modélisation est la représentation d'un système à l'aide d'un modèle plus facile à comprendre. Il peut s'agir d'un modèle de connaissance ou d'un modèle de représentation. Le sera alors numérique ou analogique. La modélisation du procédé consiste à trouver un modèle dont le comportement dynamique est proche de celui du procédé. Ce modèle est utilisé pour prédire les résultats du processus ou pour apprendre l'égaliseur ou pour simuler le processus dans le système de contrôle [13].

### **2.2.2 Le but de la modélisation**

Le but de la modélisation est de trouver une représentation mathématique de qui se comporterait probablement comme un système physique si le modèle et le processus étaient soumis aux mêmes traitements d'entrée [14].

### **2.2.3 Modèles mathématiques**

#### **a) Définition**

Le modèle de système explique les relations entre les différentes variables de ce système à travers des équations, on s'intéresse aux modèles mathématiques qui représentent la description du système à travers des expressions mathématiques telles que des équations différentielles (systèmes continus) ou des équations différentielles (systèmes discrets). La nature des expressions utilisées fournit aux qualificatifs un modèle : linéaire/non linéaire, continu/discret, déterministe/stochastique, obtenu par formulation mathématique entre différentes variables du système.

#### **b) Conception**

Le modèle mathématique est obtenu selon deux approches :

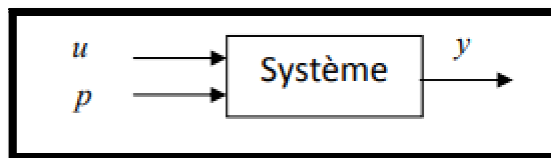
- Model ou Grey Box Model. Les modèles de connaissances sont créés sur la base d'analyses physiques, chimiques, etc., ces modèles n'ont généralement pas de paramètres ajustables, ou très peu de paramètres ajustables. Les modèles de connaissances sont connus de quiconque a étudié la physique ou la chimie, donc les paramètres du modèle de connaissances ont une signification physique [15], (résistance électrique, longueur,...).
- Modèle comportemental d'entrée-sortie ou modèle de boîte noire. Les modèles sont incapables d'expliquer la structure physique d'un objet, sa structure est simplement une relation mathématique qui relie localement les mesures de différentes variables de processus. Ces modèles de représentation sont du type boîte noire, les paramètres n'ont donc aucune signification physique, mais suffisent pour les problèmes de traitement du signal. Les modèles d'apparence sont généralement assez simples pour simuler et mieux adaptés à la commande ; ils sont utilisés très fréquemment[16].

## 2.2.4 Les étapes principales de la modélisation

On distingue six étapes essentielles de la modélisation qui sont [17]:

### a) Système

Le système (le processus) sera pour nous une partie de l'univers qui nous entoure que nous voulons appréhender plus ou moins arbitrairement comme un tout avec lequel nous interagissons. On observe quelques grandeurs caractéristiques du système, et le résultat de ces observations produit un vecteur de sorties  $y$ , qui peuvent être connues et contrôlables, que l'on remarquera, ou incontrôlables et plus ou moins inconnues, c'est-à-dire des perturbations ou du bruit, que nous noterons  $p$ .(voir la figure )



**Figure 2.1** : Représentation d'un système.

### b) Le modèle

Un modèle d'un système physique est une règle qui permet, à partir de grandeurs connues ou mesurées, de calculer d'autres grandeurs dont on espère qu'elles ressembleront aux grandeurs

du système qui nous intéresse. Souvent, à partir de l'entrée système  $u$ , le modèle calcule une sortie  $\hat{y}$  qui ressemble plus à  $y$ . Vecteur de sortie  $y$   $\hat{u}$ , dont on veut rapprocher le plus possible la forme des entrées  $u$  du système, on parle de modèle sériel ou inverse.

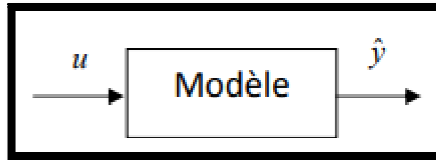


Figure 2.2 : Modèle parallèle.

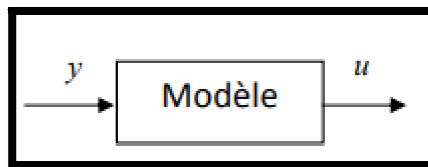


Figure 2.3 :Modèle Série.

### c) Optimiseur

L'algorithme d'optimisation reçoit toute les informations disponibles et les utilise pour minimiser  $J(\theta)$  de façon à calculer  $\hat{\theta}$ . Le schéma de circulation de l'information peut être celui décrit sur la Figure 2.9.

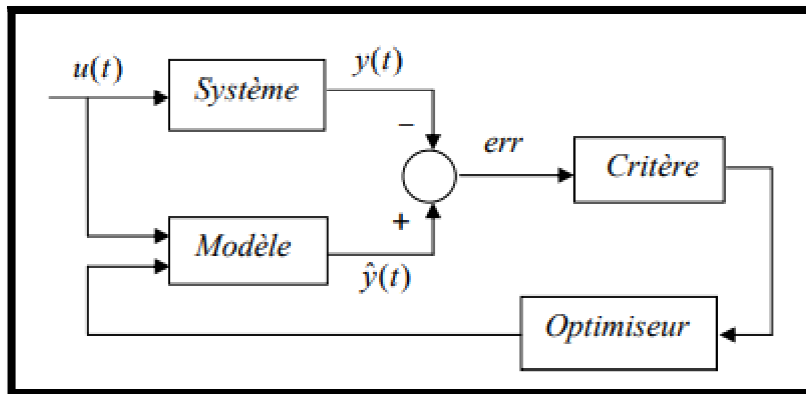


Figure 2.4 :Exemple de circulation de l'information pour l'optimisation .

## 2.3 Identification

### 2.3.1 Définition

L'identification d'un système dynamique réel consiste à caractériser un autre système (appelé modèle) à partir d'une connaissance expérimentale des entrées et sorties du pour obtenir le même comportement. Ainsi, l'identification est une opération qui détermine les propriétés dynamiques du processus (système). Dans cette section, nous nous intéressons à l'identification de 927 modèles paramétriques dynamiques échantillonnés qui conviennent le mieux à la conception et au réglage des systèmes de contrôle numérique. Il existe deux types d'identification : identification non paramétrique (classique). Identification paramétrique [18].

#### a) Identification non paramétrique

Cette méthode initialement est utilisée pour obtenir des modèle paramétriques à partir des méthodes non paramétrique de type réponse à échelon [19].

#### b) Identification paramétrique

Cette approche moderne élimine tous les défauts des méthodes classiques et offre d'autres possibilités telles que [19] :

- Modélisation des bruits.
- Identification des modèles de perturbation.
- Détection et mesure des fréquences d'oscillations  $f$
- Analyse spectrales des signaux.

## 2.4 Les différentes méthodes d'identification

### 2.4.1 Méthode de la plaque signalétique

Cette méthode permet d'obtenir une estimation approximative des paramètres électriques du MAS. Ces derniers sont calculés en utilisant les informations nominales de la plaque de signalétique (la puissance utile  $P_u$ , la tension  $V_{sn}$ , le courant statoriques  $I_{sn}$ , la fréquence  $f_s$ , le facteur de puissance  $\cos \phi_s$ , le glissement  $g_n$ , et la pulsation  $\omega_r$ ). En supposant que  $L'_r = M$  (fuites totalisées dans le stator) et que la machine est sans pertes, donc :



$$\sigma = \frac{1 - \cos \phi}{1 + \cos \phi};$$

$$T_r = \frac{1}{W_r} \sqrt{\frac{1}{\sigma}};$$

$$l_s = \frac{V_s \sqrt{\sigma}}{I_s W_s};$$

$$M = L'_r = l_s \frac{1 - \sigma}{\sigma};$$

$$L_s = M + l_s;$$

$$R'_r = \frac{L'_r}{T_r};$$

Avec ;

$$w_s = 2\pi f_s;$$

$$w_r = g_n w_s = w_s - w$$

Cette première approche est appropriée à l'identification de la MAS triphasée aussi bien à rotor bobiné (à bagues) qu'à rotor à cage d'écureuil.

## 2.4.2 Méthode des essais classiques

Si les éléments du schéma équivalent sont connus, les caractéristiques de fonctionnement en charge d'une machine asynchrone peuvent être déterminées. Ceux-ci sont calculés en fonction des résultats d'essais :

### a) Essai en courant continu : Détermination $R_s$

Il y a deux méthodes pour le calcul des résistances soit sans alimentation c'est-à-dire on mesure par l'ohmmètre directement sur les phases statoriques plusieurs fois et on prend la valeur moyenne.

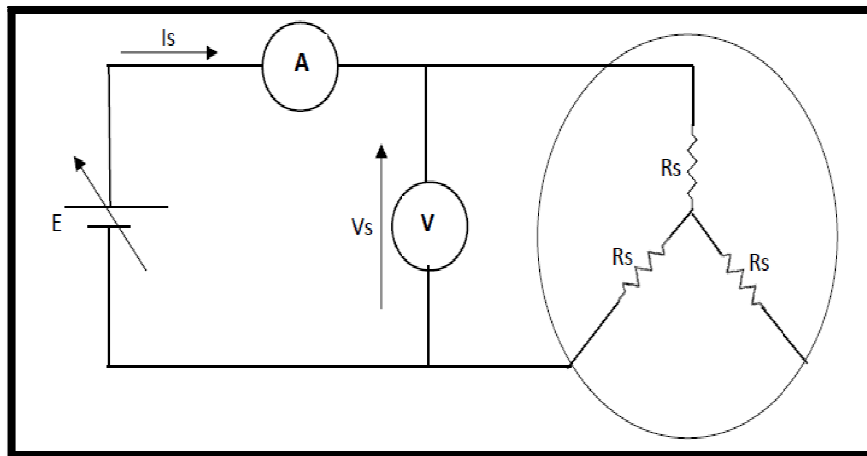
Soit avec alimentation : cette méthode consiste à alimenter une phase du stator par une source de tension continue et de mesurer le courant qui la traverse et la tension entre ses bornes.

Le montage aval est plus approprié et le courant injecté ne doit pas dépasser 10% du courant nominal. La mesure est effectuée à chaud, lorsque le moteur atteint son équilibre thermique.

**Remarque :** Par souci de sécurité, il faut s'assurer lors de l'essai à ne pas dépasser l'intensité maximale par phase.

La résistance étant mesurée à température ambiante (25°C), il est nécessaire de majorer sa valeur d'un facteur 1,15 pour obtenir sa valeur à chaud (80°C) [11].

Voilà la figure ci-dessous qui montre le montage.



**Figure 2.5: montage d'essai en courant continu.**

**b) Essai à vide : Détermination de  $L_s$**

Dans ce cas, la machine est alimentée à sa tension et à sa fréquence nominale, et tourne à vide, le rotor est en court-circuit dans les machines à bagues. La valeur efficace d'une tension composée est mesurée par un voltmètre, l'intensité efficace d'un courant statorique est mesurée par ampèremètre et la puissance active est mesurée par la méthode des deux wattmètres (**Figure**).

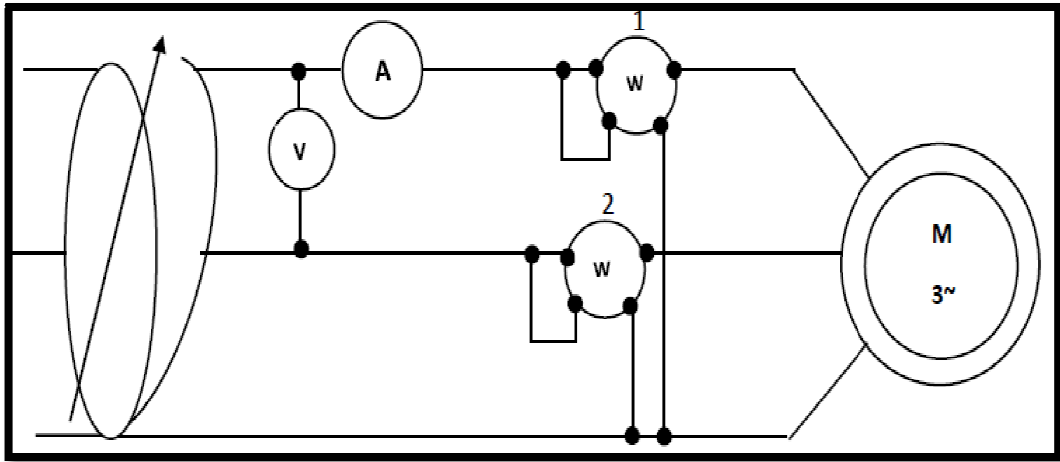


Figure 2.6: schéma du montage de l'essai à vide.

Il existe un couple résistant de très faible valeur équivalent aux pertes mécaniques dues aux frottements et à la ventilation. De ce fait le glissement n'est pas tout à fait nul, les courants rotoriques sont négligeables et le flux dans l'entrefer est créé par le stator seul. On peut écrire alors que : lorsque ( $g = 0$ ). Dans ce cas le terme ( $R_r/g$ ) tend vers l'infini et on peut considérer que la branche rotorique est encircuit-ouvert.

$$\bar{V}_s = \bar{V}_{s0}$$

$$\bar{I}'_s \approx 0 \text{ et } \bar{I}_s = \bar{I}_{s0} \approx \bar{I}_m$$

Dans le schéma équivalent de la **Figure** , la branche correspondante au secondaire est ouverte ( $\frac{R_r}{g} \rightarrow \infty$ ).

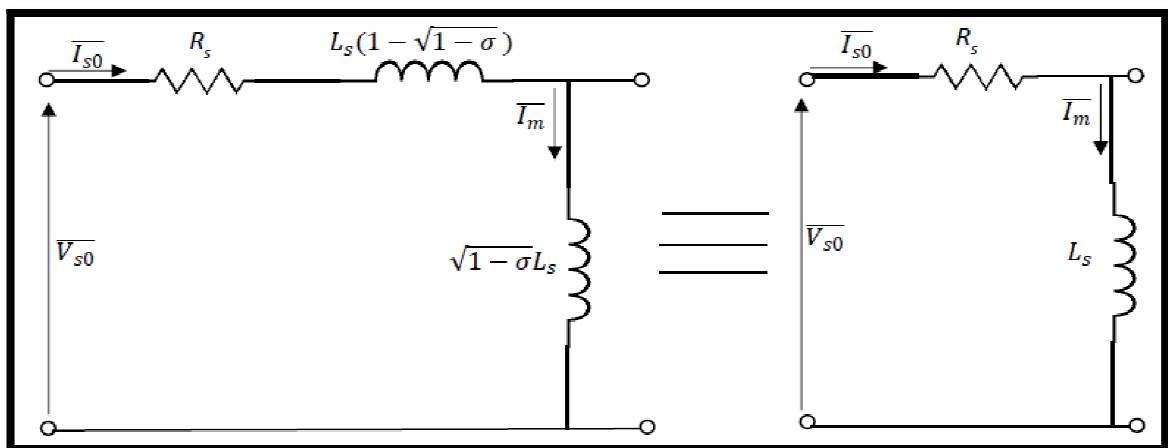


Figure 2.7: schéma de la MAS à vide.

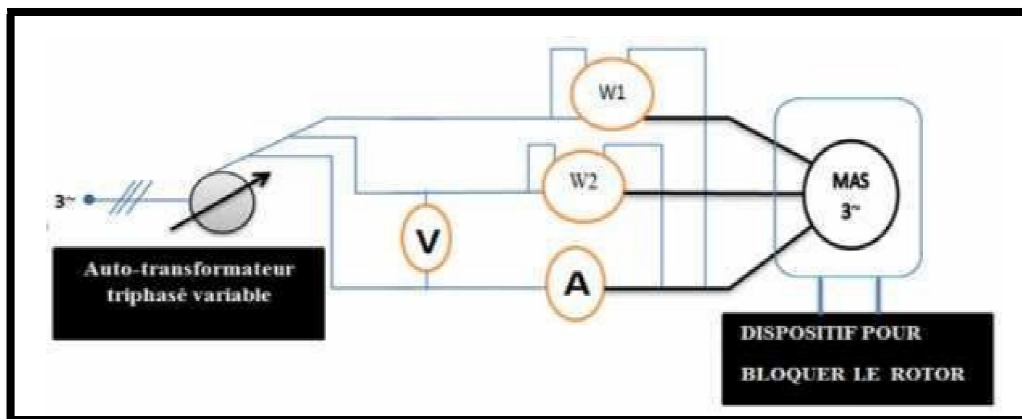
c) **Essai à rotor bloqué (court-circuit) : Détermination  $M_{sret}$   $R_r$**

Le rotor de la machine asynchrone est bloqué. La vitesse de rotation étant nulle, La valeur du glissement est ( $g=1$ ). Le bobinage rotoriques est court-circuité. La puissance utile est nulle et les pertes par frottement et ventilation sont nulles :

$$P_{\text{méca}} = 0.$$

On réalise le montage que bloque le rotor, montage **Figure 2.8**.l'essai est effectué à tension réduite (pour ne pas endommager le moteur) permettant d'avoir le courant nominal de la machine.

On réalise le montage suivant :



**Figure 2.8** : Le montage de mesure.

Dans cet essai on utilise la même méthode (la méthode des 2 wattmètres) à la vitesse de synchronisme et on relève les puissances  $P_1$  et  $P_2$  .

La puissance active et réactive sont donnée par :

$$P_{cc} = (P_1 + P_2) \quad \text{et} \quad Q_{cc} = |\sqrt{3}(P_1 - P_2)|$$

Dans ces conditions, la tension appliquée devient nettement faible devant la tension nominale, ce qui permet de négliger le courant  $I_{s0}$ .

### 2.4.3 Méthode du modèle de référence

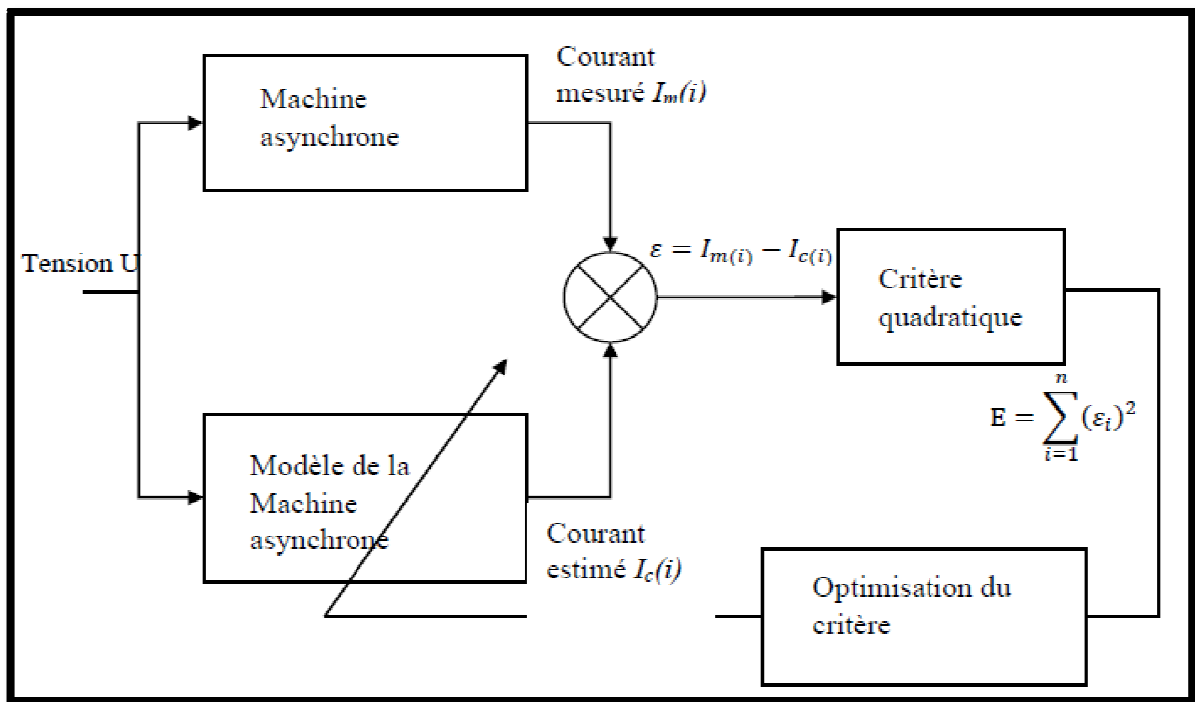
L'identification des paramètres d'une machine à l'aide de la méthode du modèle de référence dépend de plusieurs choix, tels que :

1. Type du modèle de la machine à utiliser.
2. Type des signaux d'entrée-sortie.
3. Critère de performance.
4. Algorithme d'optimisation.

La méthode du modèle de référence est illustrée sur la **Figure** .

Une mesure expérimentale est prise sur une machine triphasée. Les entrées de la machine (U) et les sorties ( $I_m(i)$ ) sont mesurées dans un essai donné. L'algorithme d'optimisation cherche par itération successive un vecteur de paramètres (paramètres de la MAS) qui minimise le critère quadratique  $E(\varepsilon)$ . Le critère se construit sur l'écart entre la sortie de la machine triphasée et la sortie du modèle mathématique. Les deux modèles sont excités par les mêmes entrées (U).

**a) Choix des signaux d'entrée sortie**



**Figure 2.9: bloc diagramme de la méthode d'identification du modèle de référence.**

**b) Critère de performance :**

Pour évaluer les paramètres du modèle mathématique, on définit un critère nommé D. Ce critère est basé sur l'erreur entre la sortie du modèle et celle de la machine asynchrone.

$$\varepsilon(i) = I_m(i) - I_c(i) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Où,  $n$  désigne le nombre de points de mesure.

En conséquence, ce critère dépend implicitement du vecteur des paramètres  $[P]$ . Le but est alors, de trouver  $[P]$  qui minimise l'erreur et donc le critère  $E$ . La minimisation présente deux critères, à savoir :

- Critère en valeurs absolues de  $\mathcal{E}(i)$ .
- Critère quadratique  $\mathcal{E}(i)^2$ .

### c) Méthodes d'optimisation

Une fois la fonction objectif (critère  $E$ ) définie, le choix d'une méthode d'optimisation adaptées impose pour la résolution du problème. Plusieurs méthodes d'optimisation sont proposées dans la littérature. Elles peuvent être classées en deux grandes catégories : les méthodes déterministes et les méthodes stochastiques. Dans notre travail, on s'intéresse aux méthodes stochastiques (méta heuristique) spécialement l'algorithme de colonies d'abeilles artificielles (ABC).

## 2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit quelques concepts très importants pour modéliser et identifier. La modélisation permet de représenter sous forme synthétique et cohérente un ensemble de connaissances. L'identification consiste à ajuster le paramètre inconnu du modèle pour qu'il décrive au mieux le fonctionnement du processus. Sélection de la structure du modèle, Estimation des paramètres du modèle, Validation du modèle identifié.

Dans le chapitre qui suit, nous aborderons les méthodes d'optimisation en global et spécialement la méthode qui nous utilisons ABC.

# **Chapitre 3**

**Les méthodes d'optimisation**

**“A B C”**

### **3.1 Introduction**

Une nouvelle classe de méthodes d'optimisation appelées méta heuristiques, représente une révolution majeure dans le domaine de l'optimisation, en effet, elles sont applicables à toutes sortes de problèmes combinatoires et peuvent également être adaptées aux problèmes continus.

Les méthodes métaheuristiques, commercialisées depuis les années 1980 [16], permettent de trouver une solution de bonne qualité dans un temps de calcul généralement raisonnable, sans garanti.

Ces méthodes se sont avérées très performantes dans leurs domaines d'application tels que la production industrielle, l'économie ou les transports, démontrant leur capacité à résoudre les problèmes les plus difficiles en variables continues et discrètes. L'optimalité de la solution obtenue. A la fin, nous allons tester les performances de la méthode proposée en langage MATLAB.

### **3.2 Méthodes Méta heuristiques**

En complément de la programmation mathématique, les heuristiques sont des méthodes de résolution purement algorithmiques qui permettent d'obtenir des solutions à n'importe quel problème décisionnel rapidement.

Une heuristique est une stratégie de bon sens pour se déplacer intelligemment dans l'espace des solutions, afin d'obtenir une solution approchée, la meilleure possible, dans un délai de temps raisonnable.

Deux types d'heuristiques sont principalement utilisées : les heuristiques de construction (par exemple les méthodes gloutonnes), qui construisent itérativement une solution, et les heuristiques de descente, qui à partir d'une solution donnée cherchent un optimum local.

Des heuristiques plus poussées ont été mises au point et ont données naissance à une nouvelle famille d'algorithmes : les méta-heuristiques.

Les méta-heuristiques sont souvent inspirées de processus naturels et sont de plus en plus hybridées avec d'autres méthodes de recherche opérationnelle.[20]



Parmi les méthodes utilisées pour l'optimisation ,la méthode des abeilles que l'un des méthodes approchées (méta-heuristiques) qui nous permet de résoudre des problèmes d'optimisation combinatoires : [21].



**Figure 3.1: une abeille**

### **3.3 L'optimisation par Colonie d'abeille artificielle**

L'optimisation par colonie d'abeilles est un ensemble d'algorithmes méta-heuristiques récemment développés. Son principe est basé sur le comportement des abeilles réelles. Cette approche de résolution fait l'objet de notre étude [21].

### **3.4 Les abeilles dans la nature**

#### **3.4.1 Définition**

L'un de ces essaims les plus organisés et les plus rigoureux dans leur vie sont ceux des abeilles.

Les abeilles possèdent une très grande capacité de communication. Et grâce à leur intelligence, une méthode appelée méthode des abeilles a été développée.

Dans cette méthode, les abeilles artificielles représentent des agents qui en collaborant les unes avec les autres, pour résoudre des problèmes complexes d'optimisation combinatoire.

Comme les fourmis, les abeilles sont des insectes sociaux. Elles sont obligées de vivre en colonie très organisée, formée d'ouvrières, de faux-bourdon et d'une seule reine.

Les abeilles se nourrissent essentiellement de pollen et de miel. Elles vont butiner les fleurs pour prendre le nectar.

Au cours de sa courte vie (environ 45 jours), l'ouvrière assure plusieurs métiers : elle nettoie les cellules, nourrit les larves, elle range le pollen et le nectar dans les alvéoles, elle ventile la ruche en agitant rapidement ses ailes, elle construit les rayons avec la cire qu'elle produit, elle garde le trou de vol pour chasser les intrus, elle devient butineuse, porteuse d'eau et récolte du pollen et du nectar jusqu'à la fin de sa vie.

L'abeille est capable, par la danse ou par la production de « phéromone », de communiquer aux autres abeilles l'endroit où elle aurait découvert de la nourriture.

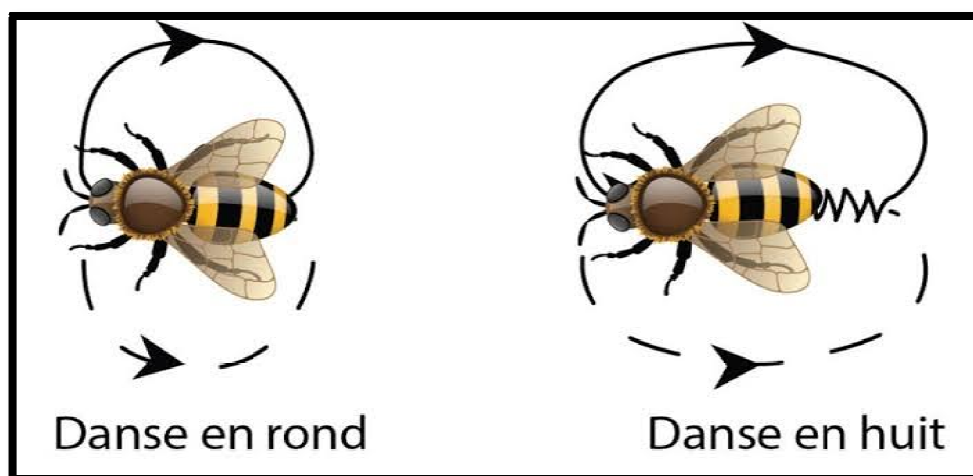
Elle danse en rond quand elle trouve du pollen à faible distance (moins de 25 mètres).

Elle utilise une danse très compliquée dite la danse frétilante ou danse en huit, si la nourriture se trouve à moins de 10 kilomètres.

La direction de la nourriture est exprimée par rapport à la position du soleil.

La distance et la qualité de nourriture sont exprimées par le nombre et la vitesse des tours effectués par l'abeille sur elle-même.

Afin de survivre à l'hiver, les abeilles doivent recueillir et stocker environ 15 à 50 Kg de nectar.



**Figure 3.2 : Danse en rond. Figure 3.3 : Danse en huit (frétilante).**

- Les faux bourdons ne servent que pour la reproduction. Ils sont incapables de se nourrir eux-mêmes (les ouvrières les nourrissent) et ils n'ont pas de dard pour protéger la ruche.

- Il n'y a qu'une seule reine dans la colonie. Quelques jours après sa naissance, elle s'envole pour la seule fois de son existence pour être fécondée par quelques faux-bourdons. Elle s'occupera le reste de ses jours (4 à 5 ans) à pondre jusqu'à 2000 œufs par jour.

- Les abeilles adultes (âgées de 20 à 40 jours) deviennent habituellement des butineuses. Les abeilles butineuses jouent en général l'un des trois rôles suivants :

- Butineuses actives,
- Butineuses éclaireuses.
- Butineuses inactives [22].

### **3.5 Recherche de nourriture chez les abeilles**

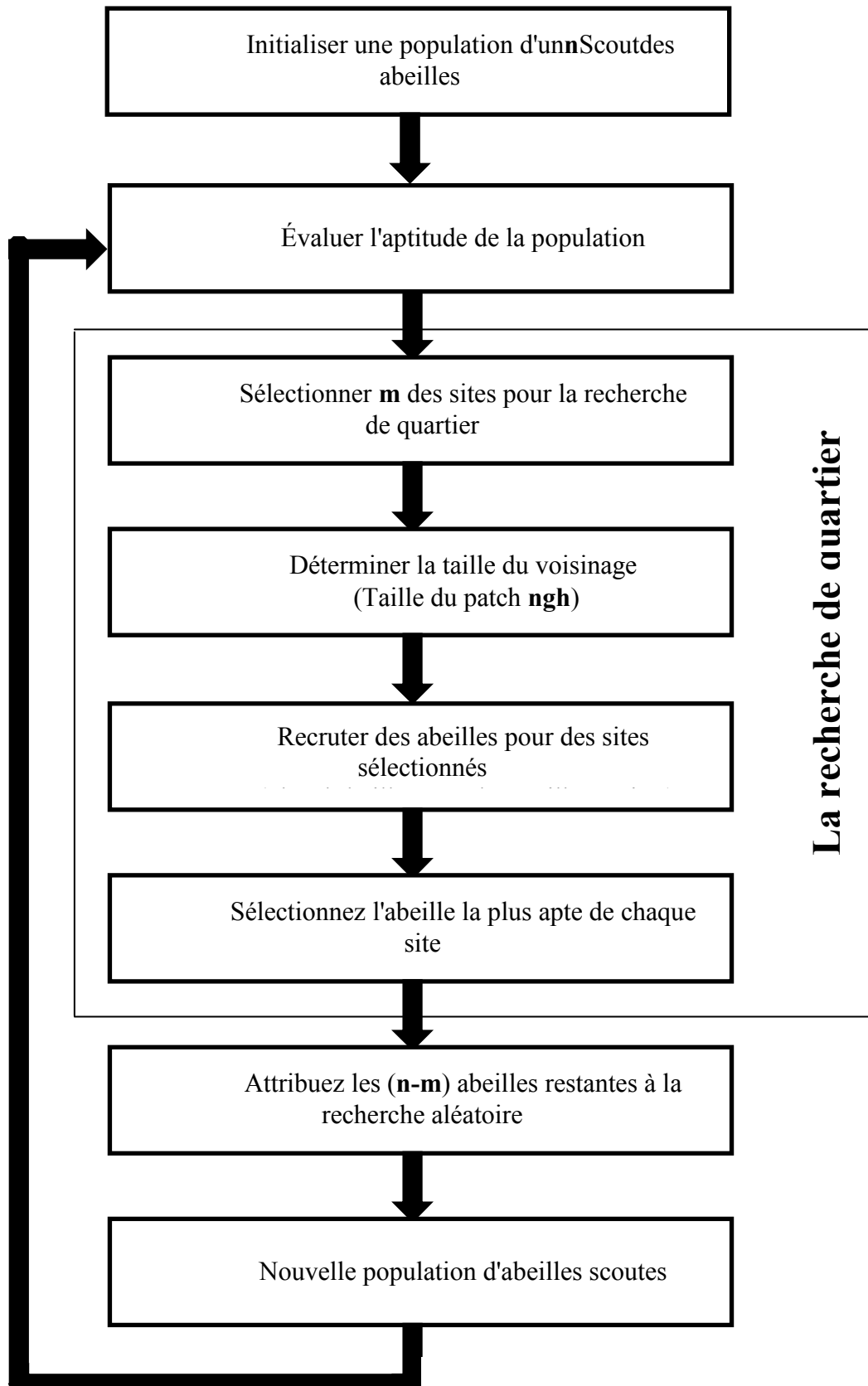
Les scientifiques ont effectué beaucoup de recherches pour déterminer comment l'ordre est maintenu dans la ruche où vivent des dizaines de milliers d'abeilles. Un grand nombre d'études académiques ont été aussi effectuées à cette fin.

Un éminent expert et professeur à l'Université de Munich, le zoologiste autrichien Karl Von Frisch, a consacré un livre de 350 pages à la communication des abeilles, "The dance language and orientation of bees" (Le langage de la danse et l'orientation des abeilles) [23].

### **3.6 Algorithme d'optimisation de colonie d'abeilles artificielle (ABC)**

L'algorithme ABC (Artificial Bee Colony) est développé par Karaboga et Basturk en 2005, en inspectant les comportements des abeilles réelles pour trouver la source de nourriture, qui s'appelle le nectar, et partager l'information des sources de nourriture aux autres abeilles dans le nid.[24]

### 3.7 Organigramme de l'algorithme ABC



**Figure 3.4 :Organigramme de l’algorithme ABC**

**a. Paramètres de l’algorithme ABC**

Le tableau (3.1) résume les paramètres de base de l’algorithme ABC :

<b>Pa ramètre</b>	<b>Désignation</b>
<i>iter max</i>	Nombre maximal d’itérations
$S_N$	Population initiale
$N_O$	Nombre des abeilles ouvrières
$N_S$	Nombre des abeilles spectatrices
$N_{Sc}$	Nombre des abeilles scouts
<i>n</i>	Dimension du problème d’optimisation
<i>lim it</i>	Le nombre d'essais nécessaire à l'abandon d'une source
<i>co mp</i>	Compteur d’abandon

**Tableau (3.1) : paramètres de l’Algorithme ABC**

Il est clair de noter que les paramètres de contrôle de l’algorithme ABC sont :

- Le nombre de population initiale  $S_N$ ,
- Le nombre des abeilles ouvrières  $N_O$ ,
- Le nombre des abeilles spectatrices  $N_S$
- Le nombre d'essais nécessaire à l'abandon d'une source *limit*.
- Le nombre maximal d’itération *itermax*

### **3.8 Identification paramétrique du MAS par la technique ABC**

Contrairement à la modélisation mathématique, l'identification est une approche expérimentale dans laquelle le modèle de connaissances préalables est optimisé sur la base de données de mesure de manière à ce qu'il corresponde le plus possible au comportement du système réel. La méthode d'identification est basée sur la comparaison des résultats du modèle représentant le moteur asynchrone avec les résultats mesurés sur le moteur réel. Cette partie est dédiée à l'identification et à l'optimisation par la technique ABC des paramètres électriques d'un moteur asynchrone.

Le problème d'identification du MAS est formulé sur la base de la comparaison des résultats de son modèle avec les résultats mesurés sur une machine réelle. Les paramètres du modèle sont corrigés à l'aide de l'algorithme ABC pour minimiser l'erreur de sortie au carré. La machine réelle et son modèle sont excités par les mêmes entrées, sorties réelles et estimées, qui sont comparées pour créer le vecteur d'erreur. L'algorithme ajuste ensuite les paramètres du vecteur de paramètres pour minimiser la fonction objectif d'erreur.

A chaque itération du processus d'identification, l'algorithme ABC effectue N itérations et détermine les composantes du vecteur paramètre, c'est-à-dire:  $[R_s, X_1, X_2, X_m, R_r]$ . Le nombre de répétitions du processus sélectionné au départ est pris en compte comme critère d'abandon de l'identification.

Après minimisation de cette fonction objectif, le vecteur de paramètres estimés est le meilleur au regard du critère d'identification choisi.

### **3.9 Application de l'algorithme ABC à l'identification des paramètres d'un moteur asynchrone**

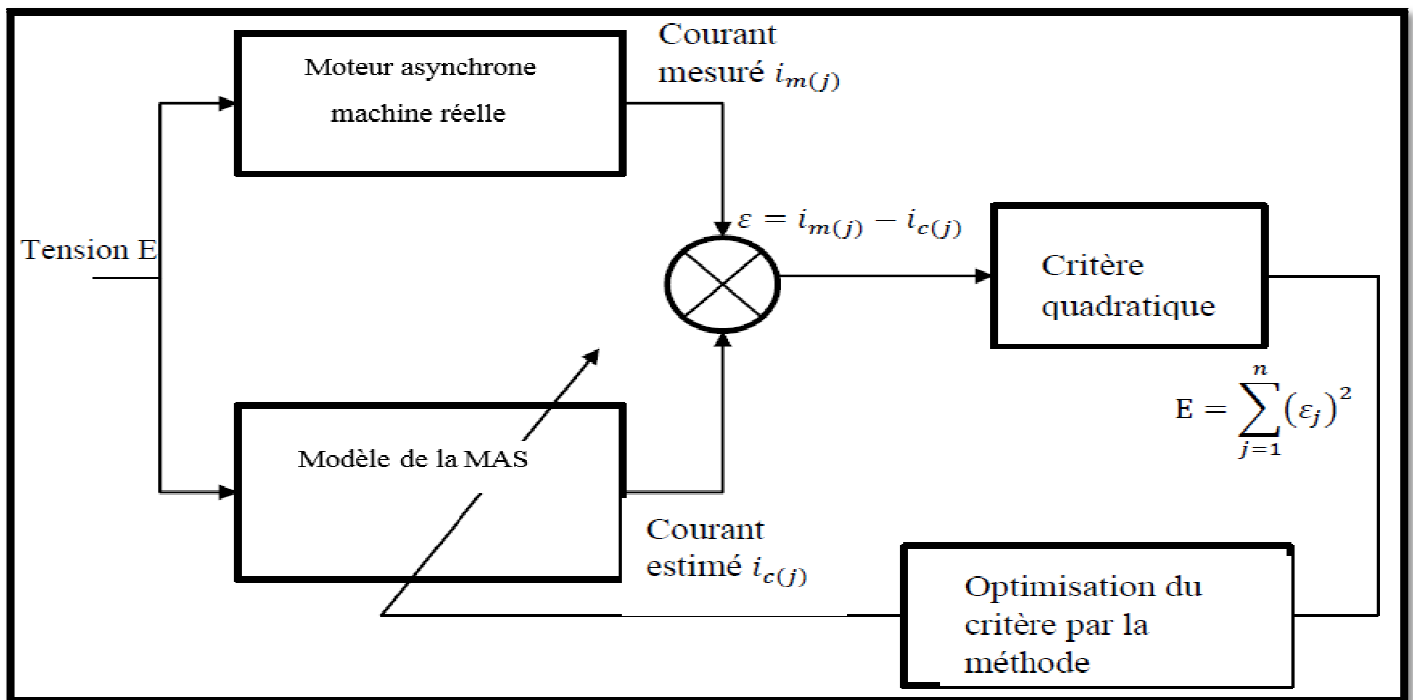
Le processus d'identification est une approche expérimentale, lors laquelle un modèle issu de connaissances a priori est optimisé à partir des données mesurées afin d'approcher le plus fidèlement possible le comportement du système réel. La méthode d'identification repose sur la comparaison entre les sorties de modèle représentant le moteur asynchrone et celles mesurées sur le moteur réel. Cette partie est consacrée à l'identification et l'optimisation par la technique ABC des paramètres électriques de moteur asynchrone.

La machine réelle et son modèle sont alimentés par la même source d'entrée  $U_s$ , les sorties réelles et estimées qui sont comparées pour créer le vecteur d'erreur. Ensuite, l'algorithme ajuste les paramètres du vecteur des paramètres afin de minimiser une fonction objectif liée à l'erreur. Nous choisissons l'erreur quadratique (E) suivante, comme index de performance.

$$E = \sum_{min} (I_m - I_c)^2 + \sum_{min} (FP_{cm} - FP_{cc})^2$$

Avec :

Alors, nous déterminons les paramètres de la machine par la minimisation de l'erreur quadratique (E) entre les résultats de la simulation et l'expérimentales, comme le montre le schéma de principe de l'identification ( **Figure 3**) qui utilise la méthode du modèle de référence.



**Figure 3.5: principe d'identification par modèle de référence.**

Le modèle de la machine utilisé est celui représenté sur la **Figure 1.9**. Ce dernier est décrit par les équation suivantes :

$$V_{th} = \frac{(V_s * X_m)}{(R_s + X_1 + X_m)}$$

$$R_{th} = \frac{(R_s * X_m)}{(R_s + X_1 + X_m)} \quad (3.2)$$

$$(3.3)$$

$$X_{th} = \frac{(X_1 * X_m)}{(R_s + X_1 + X_m)} \quad (3.4)$$

$$I_{sm} = I_s = \frac{V_{th}}{\sqrt{(R_{th} + R_r)^2 + (X_{th} + X_2)^2}} \quad (3.5)$$

$$Z_{eq} = \frac{R_s * R_r * X_2 * X_m + j * (R_r + X_2 R_r + X_2 + X_m)}{R_r + j * (X_2 + X_m)} \quad (3.6)$$

$$F_{pc} = \frac{R(Z_{eq})}{\sqrt{R(Z_{eq})^2 + Im(Z_{eq})^2}}$$

Avec :  $Z_{eq}$  est l'impédance totale du circuit, donnée en fonction des quatre paramètres électriques  $[R_s, X_1, X_2, X_m, R_r]$ .

D'où le problème d'optimisation suivant :

$$\min E_s = \min \left( \sum_{\min} (I_{sm} - I_{sc})^2 + \sum_{\min} (FP_{cm} - FP_{cc})^2 \right)$$

Pour chacune des répétitions du processus d'identification, l'algorithme ABC effectue  $n$  itérations et détermine les composantes du vecteur des paramètres, soit :  $[R_s, X_1, X_2, X_m, R_r]$ . Le nombre de répétition du processus choisit au départ et sera considéré comme le critère d'arrêt de l'identification. Une fois cette fonction objective minimisée ( $\min E_s$ ), le vecteur des paramètres estimés est le meilleur au sens du critère choisi pour l'identification

### 3.9.1 Implantation de la technique d'identification

Pour implémenter et simuler notre travail, nous avons eu recours au logiciel MATLAB qui est un système interactif et convivial de calcul numérique et de visualisation graphique, destiné aux ingénieurs et scientifiques. Il permet d'exprimer les problèmes et les solutions d'une façon aisée

### 3.9.2 Validation de l'identification

Le but de cette simulation est de valider le modèle basé sur la méthode d'optimisation ABC avec la méthode de test classique.

### 3.9.3 Validation de la méthode ABC par la fonction benchmark Rosenbrock

On considère le problème d'optimisation de la fonction rosenbrock à deux variables défini par :

$$\min_{(x_1, x_2) \in D} f(x_1, x_2) = \min(100(x_2 - x_1^2)^2 + (1 - x_1)^2)$$



Avec :

$$D = [-5,5] \times [-5,5]$$

Le minimum de cette fonction est connu, et est donné par :

$$\min (f(x_1, x_2)) = 0 \quad ()$$

pour  $x_1 = 1$ , et  $x_2 = 1$

L'algorithme ABC est appliqué pour trouver le minimum de la fonction objectif à minimiser. Le tableau (3.2) montre les paramètres de l'algorithme.

Paramètre	Nombre
<i>itermax</i>	5000
<i>S<sub>N</sub></i>	100
<i>N<sub>0</sub></i>	50
<i>N<sub>S</sub></i>	50
<i>N<sub>Sc</sub></i>	1
<i>n</i>	2

**Tableau (3.2)** : paramètres de l'Algorithme ABC pour la fonction Rosenbrock

Le tableau (3.3) présente les solutions données et celles simulées.

Solution donnée	Solution simulée
$x_1 = 1$	$x^* = 1.0022$
$x_2 = 1$	$x^* = 1.0047$
$f(x_1, x_2) = 0$	$f(x^*, x^*) = 7.9271 \times 10^{-6}$

**Tableau (3.3)** : Solutions données et simulées Fonction Rosenbrock

### 3.10 Application de la méthode ABC pour l'identification des paramètres d'une bobine

On considère le circuit  $RL$  relié au générateur  $E$ . on ferme l'interrupteur au temps  $t=0$ , puis on mesure le courant  $i_m(t)$ .

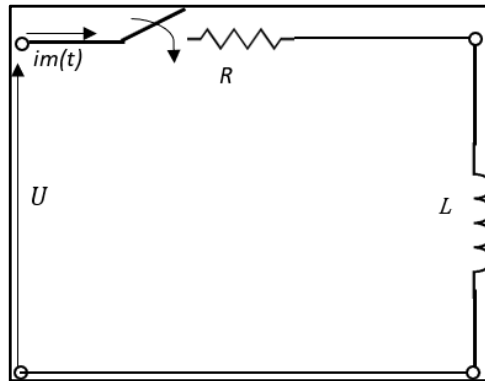


Figure (3.6) : circuit RL

Les paramètres du circuit sont donnés par :

$$R = 4.7\Omega, \quad L = 0.3H$$

En présente dans ce qui suit, une des applications de la méthode ABC, il s'agit de l'identification des paramètres  $R$  et  $L$  du circuit. La méthode du modèle de référence est utilisée comme méthode d'identification.

Le critère  $E$  à minimiser est donné par l'équation suivante :

$$E = \sum_{j=1}^n (i_{m(j)} - i_{c(j)})^2$$

De la figure (3.2), on tire l'équation du courant calculé :

$$U = L \frac{di_c}{dt} + Ri_c \quad ()$$

Le courant calculé  $i_c(t)$  est donné par :

$$i_c(t) = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) \quad ()$$

On remplace l'équation (3.44) dans l'équation (3.42), d'où :

$$E = \sum_{j=1}^n \left( i_{m(j)} - \left( \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right) \right) \right)^2 \quad (0)$$

Ainsi, le problème d'optimisation à résoudre devient :

$$\min_{(R,L) \in D} E = \min \left( \sum_{j=1}^n \left( i_{m(j)} - \left( \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right) \right) \right)^2 \right) \quad (0)$$

Avec :

$$D = [0.5,8] \times [0.1,1]$$

Le tableau (3.4) résume les paramètres choisis pour l'algorithme ABC :

Pa ramètre	N ombre
<i>iter</i>	5
<i>max</i>	00
$S_N$	1 00
$N_O$	5 0
$N_S$	5 0
$N_{Sc}$	1
<i>n</i>	2

**Tableau (3.4)** : paramètres de l'Algorithme ABC pour le circuit *RL* (bobine)

Le tableau (3.5) montre les paramètres donnés et ceux simulés.

Paramètres	Paramètres donnés	Paramètres simulés
$R(\Omega)$	4.700	4.7079
$L(H)$	0.300	0.2987

**Tableau (3.5)**: résultats des paramètres identifiés du circuit *RL*

Ce tableau montre la convergence de la méthode ABC. La figure (3.7) montre la superposition entre le courant mesuré et le courant estimé.

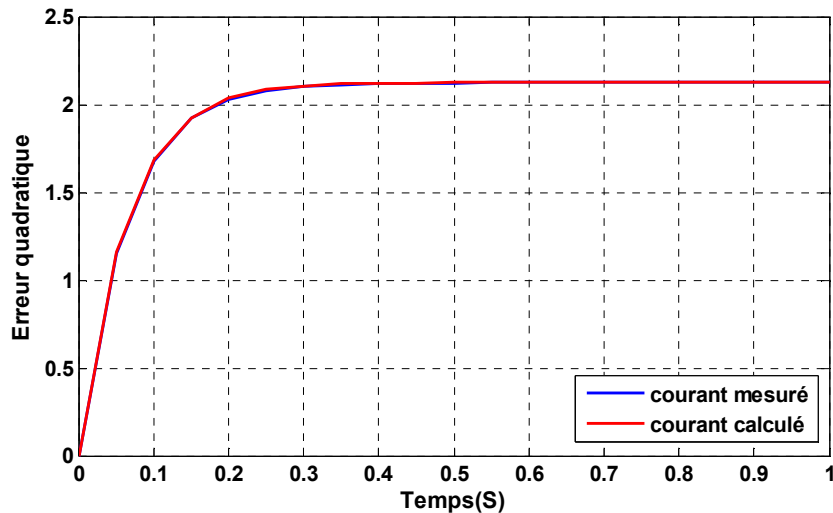


Figure (3.5) : superposition entre courant mesuré et courant calculé

### 3.11 Identification des paramètres électriques d'une machine asynchrone

Les tests expérimentaux sont appliqués sur une machine asynchrone qui possède les Caractéristiques (données de la plaque signalétique) suivantes :

- Puissance utile nominale: 3 kW
- Fréquence nominale: 50 Hz
- Tension stator nominale: 400 V
- Courant stator nominale: 6.6 A
- Vitesse nominale: 1420 tr/min
- Facteur de puissance pour la charge nominale: 0.79

Dans les tableau (3.6), nous trouvons les paramètres de l'algorithme ABC

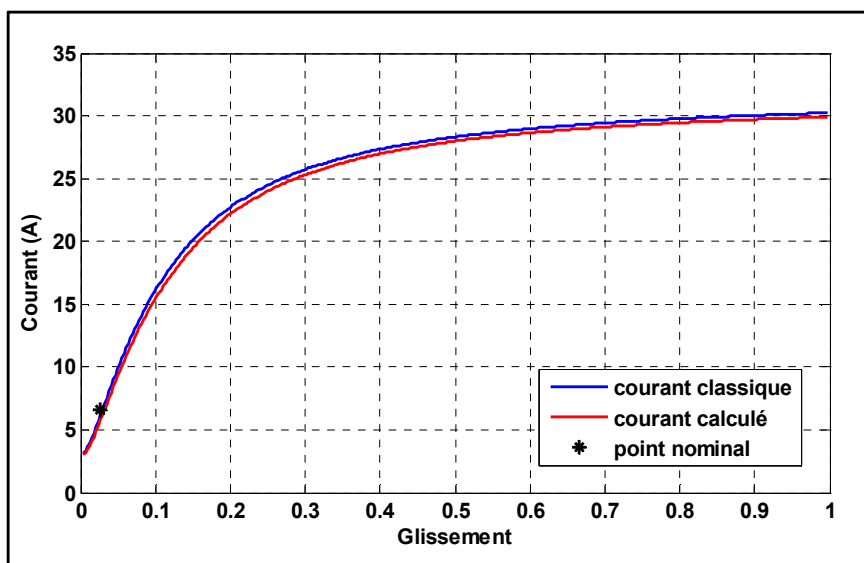
Pa ramètre	N ombre
<i>iter</i>	1
<i>max</i>	30
$S_N$	6
	0
$N_O$	3
	0
$N_S$	3

	0
$N_{Sc}$	1
$n$	5

**Tableau (3.6) :** paramètres de l’algorithme ABC

Le tableau (3.7) présente les paramètres classiques ainsi que ceux estimés par la méthode ABC pour les machines étudiée. Les figures (3.8) et (3.9) montrent la superposition entre le courant mesuré et celui calculé à l’aide des paramètres estimés, et la superposition du facteur de puissance mesuré et celui calculé.

Paramètres	Classiques	Calculés
$R_s$ (Résistance statoriques) [ $\Omega$ ]	2.281	2.640
$X_1$ (Réactance de fuite du stator)[ $\Omega$ ]	3.561	3.446
$X_m$ (Réactance de magnétisation)[ $\Omega$ ]	74.438	71.656
$R_r$ (Résistance rotorique)[ $\Omega$ ]	1.129	1.033
$X_2$ (Réactance de fuite du rotor)[ $\Omega$ ]	3.561	3.446



**Figure 3.6 :** superposition courant classique et courant calculé

### 3.12 Interprétation des résultats

- ✓ On aboutit à des résultats très proche des mesures réelles.
- ✓ La petite différence revient aux erreurs de lecture, précisions des appareils, vieillissement des moteurs asynchrones et aussi la sensibilité des rapports entre les valeurs des inductances rotoriques et statoriques.
- ✓ On remarque qu'il y a une concordance entre le courant simulé et le courant mesuré.
- ✓ Les résultats obtenus sont satisfaisants, comme le montrent les figures donnant l'erreur absolue entre les courants mesurés et calculés

#### Remarque :

Pour valider notre choix de l'algorithme, J'ai testé aussi avec l'algorithme de colonies d'abeilles le programme de la bobine qui calcule l'erreur quadratique entre le courant mesuré et ceux calculés.

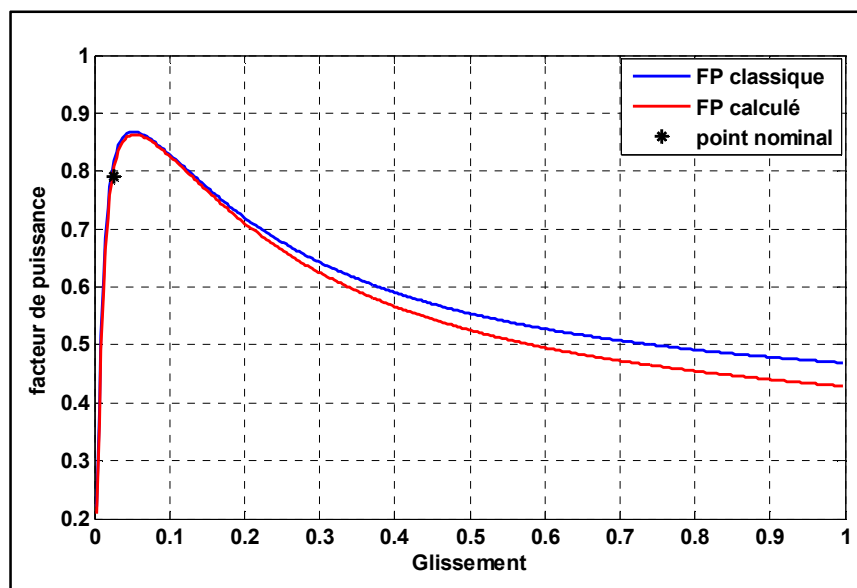


Figure 3.7: superposition facteur de puissance classique et facteur de puissance calculé

### 3.13 Conclusion

L'objectif de ce chapitre est de définir les paramètres de la machine asynchrone en utilisant une méthode métaheuristique, qui consiste en une optimisation par colonie d'abeilles artificielle qui optimise ces paramètres et réduit le taux d'erreur, ce qui est le meilleur que la méthode classique de détermination des paramètres de la machine asynchrone.



# Conclusion Générale



## **Conclusion Générale**

L'identification paramétrique des machines électriques en particulier constitue un axe de recherche très important dans le domaine de la commande des entraînements électriques. Bien que l'identification semble facile, mais elle nécessite des connaissances des options d'identification de la machine asynchrone liées par le type et la validation des formulaires, des tests expérimentaux, le choix des critères d'optimisation et algorithme d'optimisation.

Dans le premier chapitre, nous avons étudié la machine asynchrone, en partant de la description de la machine asynchrone en passant par son principe de fonctionnement, et en terminant par sa schéma équivalent.

Nous avons étudié dans le deuxième chapitre l'identification classique du moteur pour déterminer les paramètres électriques et mécaniques. Dans le troisième chapitre, nous avons parlé sur les techniques d'optimisation utilisant la méthode de l'intelligence artificielle et nous nous sommes appuyés sur la méthode d'optimisation par colonie des abeilles (ABC). Après avoir connu cet algorithme, son mode de fonctionnement, nous nous intéressons à la détermination des paramètres d'une machine asynchrone.

Nous avons implémenté la stratégie d'identification dans le programme MATLAB pour estimer les paramètres de la MAS sur la base d'un processus itératif qui exploite les erreurs entre les sorties de la machine réelle et son modèle dans la référence fixe.

Dans ce chapitre permettent la détermination des paramètres de MAS par l'utilisation de la technique ABC donne de meilleurs résultats que les essais classiques.

Le travail étudié dans ce mémoire ouvre des perspectives de recherche qui peuvent améliorer notre étude :

- L'utilisation des autres méthodes d'identification d'intelligence (PSO, les réseaux de neurones).
- Validation les paramètres identifiés par le test de la robustesse des commandes modernes.

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques

- [1] A. SERIER REDHA "Estimation des paramètres d'une machine asynchrone à cage". "Mémoire de Magister, Université SAAD DAHLAB de BLIDA 2017.
- [2] B. Sidi Mohammed Et B. Bounouar "Détermination des paramètres d'un moteur asynchrone par différentes techniques d'identification." "Mémoire de master, Université AboubakrBelkaïd-Tlemcen2020.
- [3] D.Karaboga, "An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization". Technical report-tr06, Erciyes University, engineering faculty, computer engineering department, 2005.
- [4] Available: [http://ch-rahmoune.univ-boumerdes.dz/about\\_us.html](http://ch-rahmoune.univ-boumerdes.dz/about_us.html). [Accès le 02 05 2023].
- [5] J.Lesenne, F.Notelet, G.Seguirier, "Introduction à l'électrotechnique approfondie", Technique et Documentation
- [6] O.Sahraoui, "Calcul des Schémas Equivalents de la Machine Asynchrone par la Méthode des Eléments Finis", Thèse de Doctorat, INP Grenoble, Juin 1994.
- [7] N. Khenfer, "Machines asynchrones ; ses modèles, son identification et sa commande", Thèse de Doctorat de l'INP de Lorraine.1995.
- [8] L. Khemici, "Conception des systèmes hybrides par optimisation évolutionnaire multicritère », Thèse de doctorat, université Saad Dahlab De Blida 2022.
- [9] P.L.Alger, "Induction machines " , Gordon and Broach Science Publishers, Second Edition 1970.
- [10] J. Chatelain, "Machines électriques. Traité d'électricité ", Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, Vol. X, 1983.
- [11] N. Khenfer, "Machines asynchrones ; ses modèles, son identification et sa commande", Thèse de Doctorat de l' INP de Lorraine.1995.
- [12] J.P. Caron, J.P. Hautier, "Modélisation et Commande de la machine asynchrone" , Edition Technip, France 1995.
- [13] R.Abdessemed "Modélisation et simulation des machines électriques" , ellipsédition,2011
- [14] P.Feyel, "Optimisation des correcteurs par les métaheuristiques. Application à la stabilisation inertielle de ligne de visée" , Thèse de Doctorat,Centrale Supélec, 2015.
- [15] D.Karaboga, B.Basturk, " A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm" , Springer : J Glob Optim , Vol 39,pp

459-471, 2007

[16] M.Souhil “Optimisation de l’écoulement de puissance par une méthode métaheuristique (technique des abeilles) en présence d’une source renouvelable (éolienne) et des dispositifs FACTS” , thèse de magister en électrotechnique, université de setif,2012

[17] D.Karaboga, B.Basturk, “On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm” , Journal Applied Soft Computing, Elsevier, Vol. 8,Issue 1, pp.687-697,2008

[18] **Efrén Mezura-Montes, Mauricio Damian-Araoz and Omar Cetina-Domingez**, "Smart Flight and Dynamic Tolerances in the Artificial Bee Colony for Constrained Optimization," Sep. 2010.

[19] T.MAYSA “identification des parameters de la machine asynchrone par l’algorithme ABC”,memoire de master 2en électrotechenique ,université de Blida 1 ,2022.

[20]<https://www.eurodecision.com/algorithmes/recherche-operationnelle-optimisation/heuristiques-meta-heuristiques>

[21] PPT CHAP 5

[22] H. YAHYA, Book "The Miracle of the honeybee", G. M. D. Cd., Ed. Okmeydani-Istanbul-Turkey, March 2007.

[23] **Efrén Mezura-Montes, Mauricio Damián-Araoz and Omar Cetina-Domínguez**, "Smart Flight and Dynamic Tolerances in the Artificial Bee Colony for Constrained Optimization," Sep. 2010.

