

Moteur asynchrone triphasé

1 Introduction

Le moteur asynchrone, dont la puissance varie de quelques centaines de watts à plusieurs mégawatts est le plus répandu et le plus utilisé de tous les moteurs électriques en raison de sa robustesse, de sa simplicité de construction et de sa facilité d'entretien. Par rapport à un moteur synchrone il présente un rapport coût/puissance plus faible.

Le fonctionnement de ce type de moteur est basé sur le principe de l'action d'un champ magnétique tournant sur un enroulement en court-circuit. Il est constitué d'une partie fixe, le stator qui comporte le bobinage, et d'une partie rotative, le rotor qui est bobiné en cage d'écureuil.

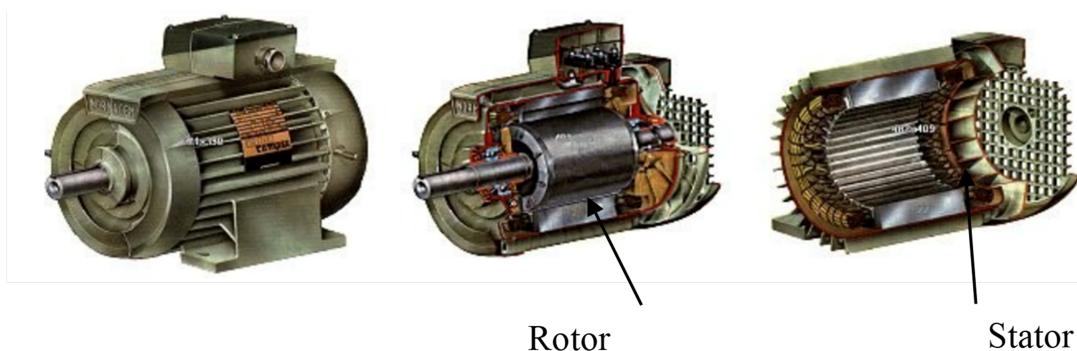


FIGURE 1 – Éléments principaux d'un moteur asynchrone

Le banc de charge disponible en TP permet l'étude d'un moteur asynchrone triphasé dont les caractéristiques sont : 230/400V-1500 W (voir Figure 2 et Annexe A.3).

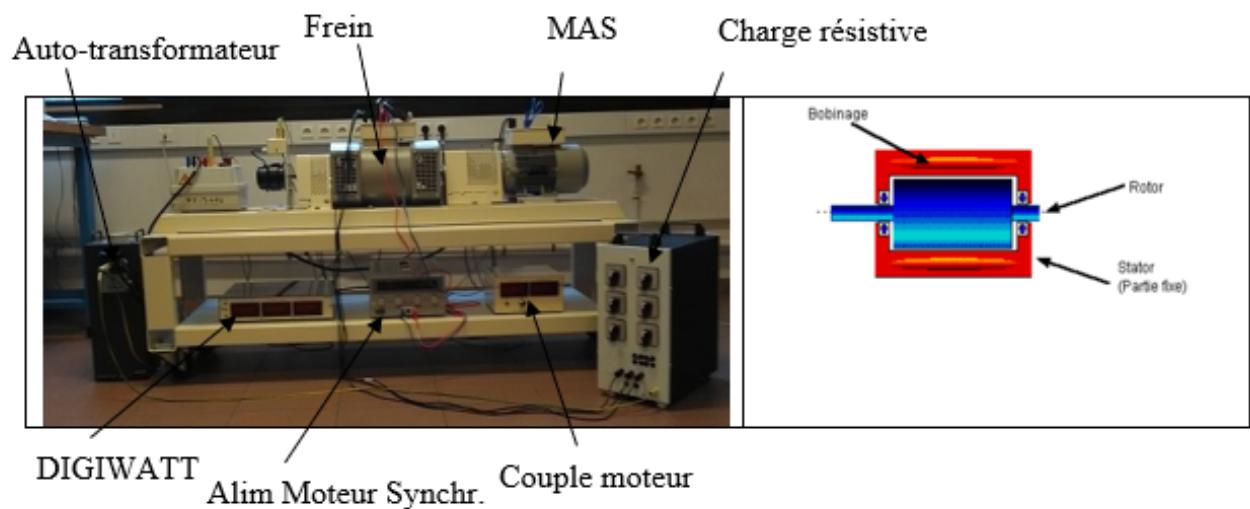


FIGURE 2 – Banc de charge et modules associés / Éléments du moteur

2 Présentation du matériel

Les différents éléments accompagnant le moteur asynchrone triphasé sont montés sur un banc dit « banc de charge », le tout sur un châssis à roulettes, voir Figure 2.

Le moteur est chargé par un frein (machine synchrone triphasée (alternateur), 1500 W) et est commandé par un autotransformateur qui est directement branché sur un réseau triphasé équilibré. Par ailleurs, on trouve aussi sur le banc divers modules de commande, de mesure (capteur de couple rotatif sans balais, dynamo-tachymétrique, modules d'affichage de grandeurs telles que couple, courant, tension, vitesse du moteur, puissance, etc.)

2.1 Le moteur asynchrone

Le moteur asynchrone dont nous disposons est un moteur triphasé SIEMENS. Selon le réseau électrique dont nous disposons en TP, le moteur peut être connecté en étoile ou bien en triangle (voir plaque signalétique au-dessus du moteur (Annexe A.1)) et Annexe A.3). Dans notre cas, nous disposons d'un réseau EDF triphasé 400 V.

2.2 Contrôle du moteur asynchrone

2.2.1 L'autotransformateur

Le moteur asynchrone est alimenté par un auto-transformateur triphasé, placé en amont. Celui-ci est directement branché sur le réseau EDF. Il permet de fixer la tension d'entrée et de la maintenir constante, quelque soit la tension fournie par le réseau EDF. La fréquence ne change pas, elle est celle du réseau 50 Hz.

Dans ce dispositif, on fera varier la vitesse de rotation du moteur en lui imposant un couple de freinage. On n'utilisera pas un variateur de vitesse, qui aurait permis, en faisant varier la fréquence des courants statoriques, de faire varier la vitesse du champ magnétique tournant. Cette dernière est la vitesse de synchronisme N_s et donc la vitesse du rotor.

2.3 Le freinage

2.3.1 Description du frein

Le freinage est effectué par un alternateur, entraîné par le moteur asynchrone lui-même. L'alternateur débite un courant dans une charge résistive variable (5%, 10%, 15%, 20%, 25%). Le courant continu débité dépend de la charge fixée. Ce courant alimente le stator de la machine synchrone et le champ magnétique tournant créé (proportionnel au courant injecté) impose une force contre-électromotrice qui s'oppose au mouvement du rotor. C'est ainsi que le moteur asynchrone est freiné par l'intermédiaire de son axe. On peut donc faire varier le freinage et donc le couple résistant T_r appliqué par le frein sur l'arbre de transmission en modifiant la charge résistive. On modifie de ce fait le couple utile T_u déployé par le moteur.

2.3.2 Commande de l'alternateur

L'alternateur ne tourne que si sa bobine d'induction est alimentée. La tension appliquée devra être proche de 45 V (le courant correspondant est de 2.5 A).

2.4 Les appareils de mesures électriques

2.4.1 Le wattmètre numérique TRMS. REF. DIGIWATT

DIGIWATT est un multimètre numérique, à entrées flottantes, affichant simultanément sur sa face AVANT les 3 grandeurs électriques : tension entre phases ou tension composée, courant d'une ligne, puissance totale. Il mesure les valeurs efficaces vraies de ces grandeurs U, I et W, cf. Figure 3.

Sur sa face ARRIERE se trouvent des sorties de « recopie » de U, I, W. Il s'agit en réalité de sorties délivrant un signal d'origine, mais isolé galvaniquement de celui-ci. Ces sorties de recopie 0 V - 10 V permettent l'acquisition des trois grandeurs électriques par un PC ou tout autre système d'acquisition.

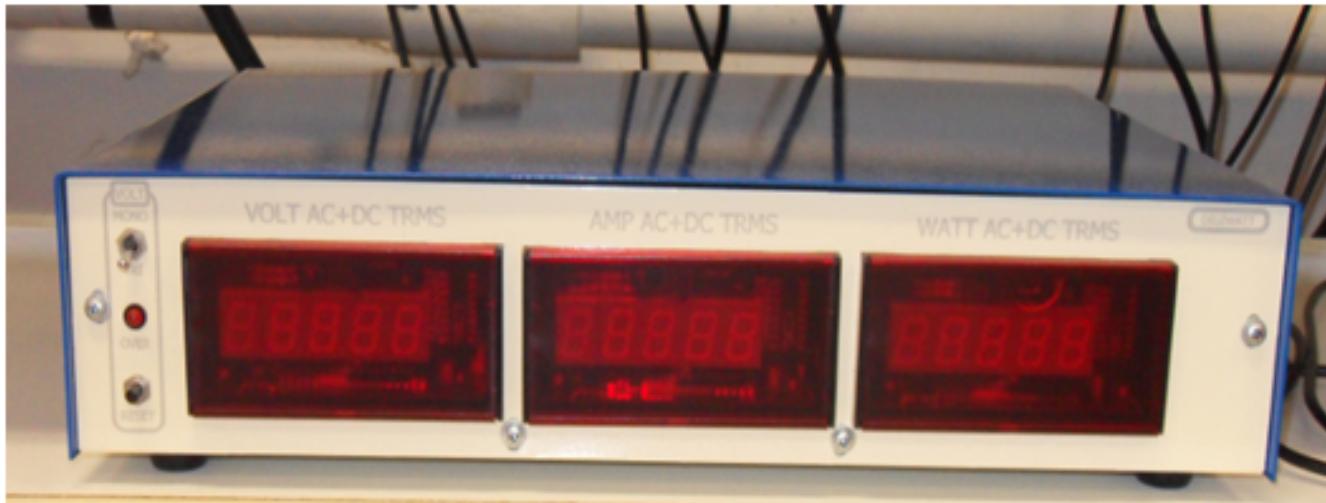


FIGURE 3 – Le module DIGIWATT

3 Préparation du TP (à faire avant d'arriver en séance)

A partir des caractéristiques nominales du moteur, données en Annexe A.1, et des équations données en Annexe A.2) répondre aux questions suivantes :

- A quoi correspondent les grandeurs nominales ?
- Quel montage (étoile ou triangle) devra-t-on utiliser pour brancher le moteur ? Justifier.
- A partir de la plaque signalétique, indiquer en les nommant, les données nominales qui nous concernent.
- Donner la vitesse de synchronisme, (valeur standard).
- Déterminer le nombre p de paires de pôles du moteur.
- Calculer le glissement.
- Calculer le couple utile.
- Calculer les puissances active, réactive et apparente. Que représentent ces puissances ?
- Calculer le rendement nominal η_n du moteur.

4 Procédure de mise en route et procédure d'arrêt : Voir la fiche en salle

5 Manipulations

5.1 Mesures

Les mesures seront faites à deux tensions d'alimentation différentes : 230 V et 400 V et les résultats obtenus seront comparés entre eux. Dans les deux cas, le montage est en étoile.

5.1.1 Essai à vide

Afin d'évaluer les pertes constantes du moteur asynchrone, il est nécessaire d'effectuer un essai à vide, c'est-à-dire sans imposer de couple résistant, (moteur libre de toute charge mécanique). On supposera que les pertes fer sont égales aux pertes mécaniques. De plus, la résistance de chaque enroulement r, sera prise égale à 2Ω .

1. Relever la puissance active absorbée à vide par le moteur P_{a0} . Comparer avec le résultat obtenu à partir des données de la plaque signalétique.
2. Relever le courant en ligne et évaluer les pertes Joule au stator P_{JS_0} .
3. En déduire les pertes constantes P_C . (On considérera les pertes P_{fer} comme négligeables et on montrera que les pertes constantes sont bien égales à la puissance absorbée à vide moins les pertes Joule au Stator à vide).

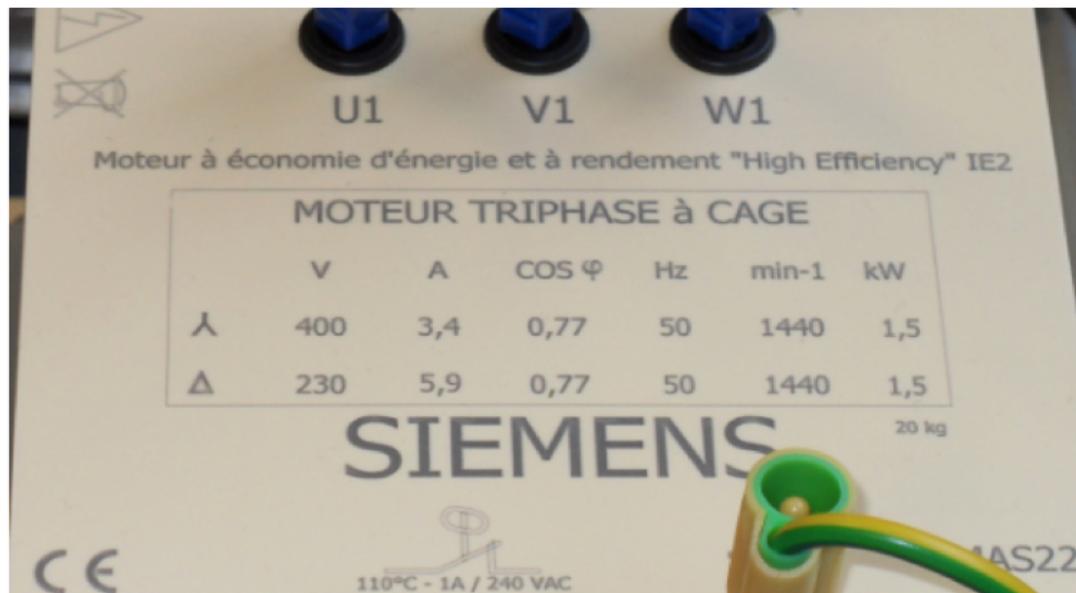
5.1.2 Essai en charge

Pour différentes valeurs du couple utile T_u , déterminer les paramètres caractérisant le fonctionnement du moteur. Pour cela, agir sur la charge résistive contrôlant le freinage. Reporter l'ensemble des mesures et des calculs dans un tableau. (On considérera toujours que les pertes Fer sont nulles).

1. Pour la tension la plus faible (230 V), faire varier la charge résistive de 5% à 20% ou 25% de manière à ne pas dépasser 5 N.m pour T_u .
2. Pour la tension la plus élevée (400 V), faire varier la charge de 5% à 90% ou 95%. de manière à ne pas dépasser 10 N.m pour T_u . Relever l'ensemble des grandeurs disponibles (P_a , U, I, n, T_u). Déterminer $\cos(\Phi)$, Q_r , S.
3. En déduire, pour chaque valeur du couple, la puissance utile P_u , le glissement g et le rendement du moteur η . Détailier les calculs pour un couple donné.
4. Calculer aussi la puissance transmise à l'entrefer P_{tr} ainsi que les pertes Joule au rotor P_{JR} et au stator P_{JS} .
5. Tracer la courbe $T_u(n)$.
6. Tracer sur le même graphe (lorsque c'est possible) η , g, $\cos(\Phi)$ en fonction de P_u .
7. Tracer sur le même graphe (pour 230 V et 400 V) I et Q_r en fonction de P_u .
8. Commenter tous les graphes précédents. Comparer les résultats obtenus pour les deux tensions d'alimentation.

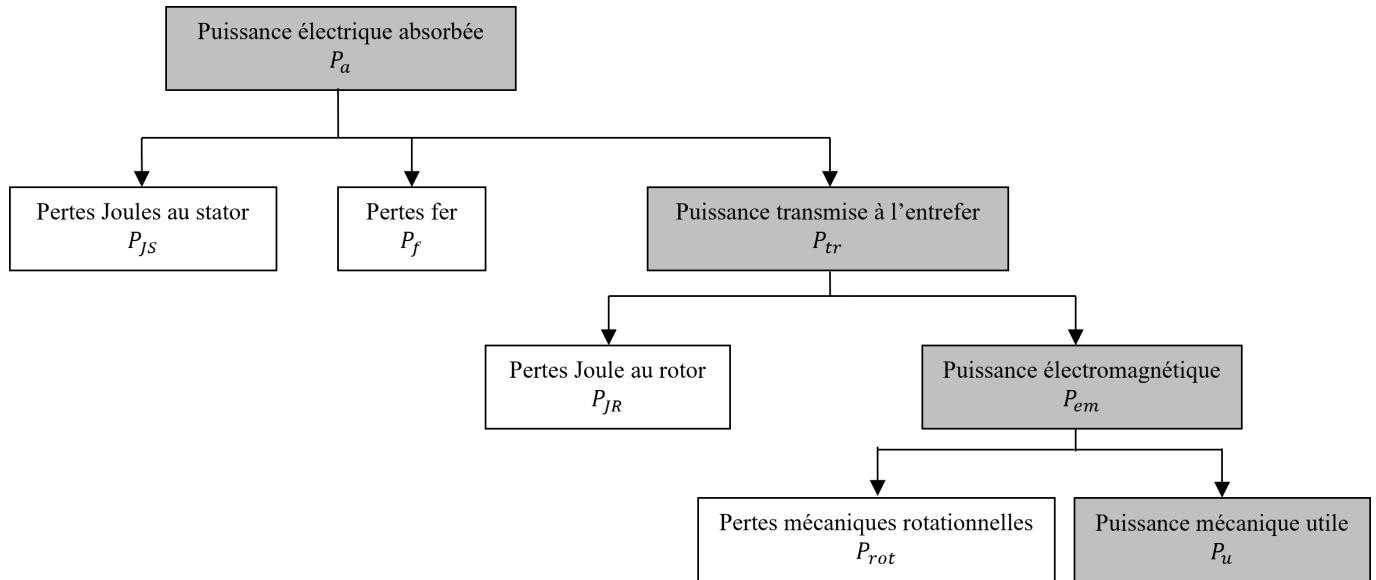
A Annexes

A.1 Caractéristiques du moteur MAS22 - Fiche signalétique



A.2 Bilan des puissances et des pertes (Rappel)

Le bilan des puissances et des pertes dans un moteur asynchrone est reporté sur la figure ci-dessous. Le moteur asynchrone absorbe sur le réseau une puissance électrique active triphasée P_a .



- Puissance absorbée ou **puissance active électrique** : $P_a = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi$
- Pertes par effet Joule au stator : $P_{JS} = \frac{3}{2} \cdot R \cdot I^2$
- Puissance transmise dans l'entrefer : $P_{TR} = P_a - (P_{JS} + P_f)$
- Pertes Joule au rotor : $P_{JR} = g \cdot P_{TR}$
- Puissance électromagnétique : $P_{em} = P_{TR} - P_{JR} = (1-g) \cdot P_{TR}$ et aussi $P_{em} = T_{em} \cdot \Omega$
- Moment du couple électromagnétique : $T_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{P_{TR}}{\Omega_S}$
- Puissance mécanique et couple utiles : $P_u = T_u \cdot \Omega$
- Rendement $\eta = \frac{P_u}{P_a}$ ou encore $\eta = \frac{P_a - \text{pertes}}{P_a} = \frac{P_a - P_{JS} - P_f - P_{JR} - P_{rot}}{P_a}$
- Pertes constantes ou collectives $P_{u_0} = P_{a_0} - P_{JS_0} - P_C - P_{JR_0}$
à vide, $g = 0 \Rightarrow P_{JR_0} = 0$ et $P_{u_0} = 0 \Rightarrow P_C = P_{a_0} - P_{JS_0}$

A.3 Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone

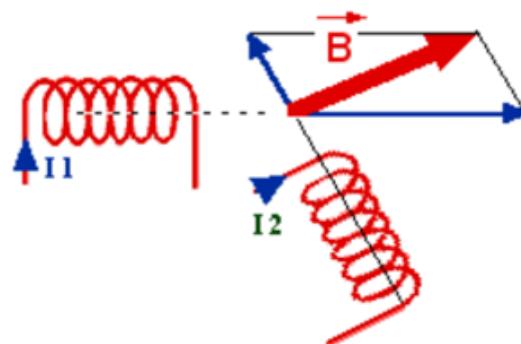
A.3.1 Champ magnétique tournant et cage d'écureuil

Le principe des moteurs à courants alternatifs réside dans l'utilisation d'un champ magnétique tournant produit par des tensions alternatives. La circulation d'un courant dans une bobine crée un champ magnétique B . Ce champ est dans l'axe de la bobine, sa direction et son intensité sont fonction du courant I .

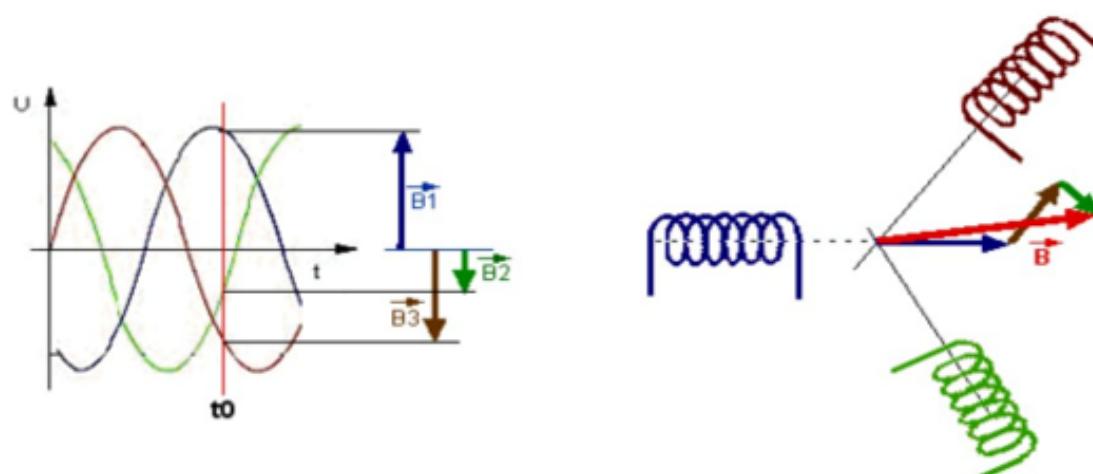


C'est une grandeur vectorielle. Si le courant est alternatif, le champ magnétique varie en sens et en direction à la même fréquence que le courant. Si deux bobines sont placées à proximité l'une de l'autre, le champ magnétique résultant est la somme vectorielle des deux autres.

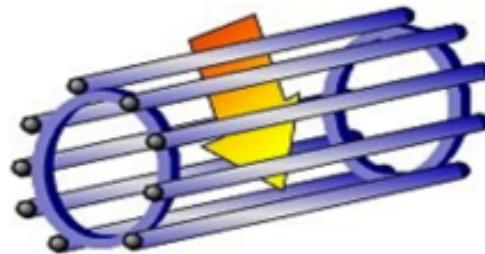
Dans le cas du moteur triphasé, les trois bobines sont disposées dans le stator à 120° les unes des autres, trois champs magnétiques sont ainsi créés.



Compte-tenu de la nature du courant sur le réseau triphasé, les trois champs sont déphasés (chacun à son tour passe par un maximum). Le champ magnétique résultant tourne à la même fréquence que le courant soit $50 \text{ tr/s} = 3000 \text{ tr/min}$. Les 3 enroulements statoriques créent donc un champ magnétique tournant, sa fréquence de rotation est nommée fréquence de synchronisme. Si on place une boussole au centre, elle va tourner à cette vitesse de synchronisme.



Le rotor est constitué de barres d'aluminium noyées dans un circuit magnétique. Ces barres sont reliées à leur extrémité par deux anneaux conducteurs et constituent une "cage d'écureuil".



Cette cage est en fait un bobinage à grosse section et très faible résistance. Cette cage est balayée par le champ magnétique tournant. Les conducteurs sont alors traversés par des courants de Foucault induits. Des courants circulent dans les anneaux formés par la cage, les forces de Laplace qui en résultent exercent un couple sur le rotor. D'après la loi de Lenz les courants induits s'opposent par leurs effets à la cause qui leur a donné naissance. Le rotor tourne alors dans le même sens que le champ mais avec une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme de ce dernier. Le rotor ne peut pas tourner à la même vitesse que le champ magnétique, sinon la cage ne serait plus balayée par le champ tournant et il y aurait disparition des courants induits et donc des forces de Laplace et du couple moteur. Les deux fréquences de rotation ne peuvent donc pas être synchrones d'où le nom de moteur asynchrone. Prenons l'exemple d'un moteur dont la fréquence de rotation nominale relevée sur la place signalétique est de 2840 tr/min, ce moteur étant alimenté en courant de 50 Hz, la fréquence de rotation du champ magnétique est donc de 50 tr/s soit 3000 tr/min. Le rotor est donc balayé par un champ magnétique qui tourne à une fréquence de rotation relative de $\Omega_{rel} = 3000 - 2840 = 160 \text{ tr/min}$.

A.3.2 Le bobinage

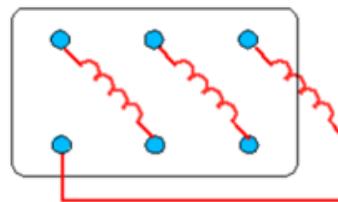
Les bobines sont logées dans les encoches du stator. S'il y a une paire de pôles magnétique pour chacune des trois phases, la fréquence de synchronisme est alors de 3000 tr/min. Si on augmente le nombre de paires de pôles, il est possible d'obtenir des moteurs avec des fréquences de rotation différentes.

1 paire de pôles → 3000 tr/min

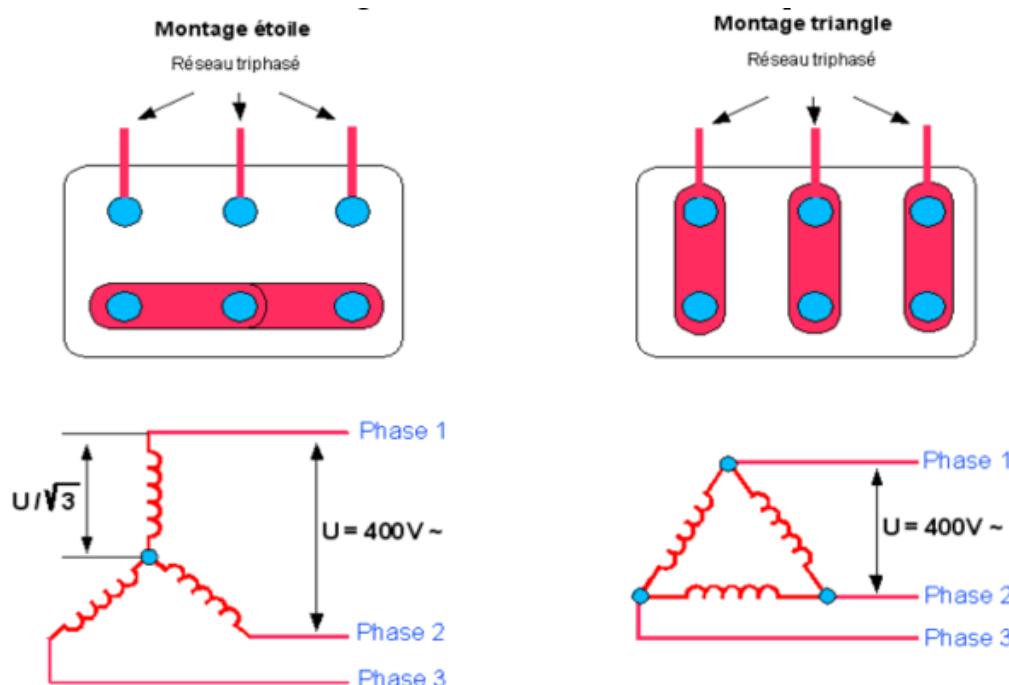
2 paires de pôles → 1500 tr/min



Le branchement des bobines sur le réseau se fait au niveau de la plaque à borne située sur le dessus du moteur. On dispose ainsi de 6 connexions, une pour chacune des extrémités des trois bobines. Les bornes sont reliées aux bobines selon le schéma ci-dessous.



Il y a deux possibilités de branchement du moteur au réseau électrique triphasé. Le montage en étoile et le montage en triangle. Avec un branchement en étoile, la tension aux bornes de chacune des bobines est d'environ 230 V. Dans le montage en triangle, chacune des bobines est alimentée avec la tension nominale du réseau (400 V). On utilise le montage étoile si un moteur de 230 V doit être relié sur un réseau 400 V ou pour démarrer un moteur à puissance réduite dans le cas d'une charge avec une forte inertie mécanique.



A.3.3 Courbe caractéristique du moteur asynchrone

