
Machine asynchrone triphasée : principe, fonctionnement et structure interne

*«Que ne coûtent point les premiers pas en tout genre ? Le mérite de les faire dispense de celui d'en faire de grands.»
Jean Le Rond d'Alembert in « le discours préliminaire à l'encyclopédie »*

Résumé

La machine asynchrone (MAS), aussi appelée machine d'induction, est basée sur l'utilisation d'un champ tournant sinusoïdal. Pour en expliquer le principe et la mise en œuvre, la première partie présente une machine comportant une partie fixe, le stator, supportant des enroulements qui se logent dans des encoches réparties sur le pourtour et une partie mobile, le rotor. Entre les deux, un entrefer permet le mouvement relatif. Les enroulements assurent la création de pôles magnétiques qui permettent une élévation du nombre de cycles magnétiques autour du stator.

La présentation aborde ensuite l'induction magnétique qui peut être à répartition spatiale sinusoïdale si elle dépend de la position. Mais elle peut aussi se propager à la manière d'une onde circulaire autour du stator à la pulsation de synchronisme : il s'agit d'un champ tournant sinusoïdal.

La partie préliminaire se termine en présentant les moyens de réaliser un champ tournant sinusoïdal. On s'intéresse pour cela à l'évolution du champ d'excitation au passage d'un conducteur du bobinage statorique, puis d'un enroulement comportant davantage de spires alimentées en monophasé. On constate alors que le champ d'excitation suit une évolution trapézoïdale. En ajustant la répartition des conducteurs, les harmoniques indésirables sont éliminées afin d'obtenir un champ d'induction quasi sinusoïdal. Fort de la création de ce champ à répartition spatiale, le théorème de Leblanc indique qu'il est à l'origine de deux champs tournant en sens contraires, donc inadaptés à l'entraînement d'un rotor (sur lequel se caler ?). Une solution est fournie par trois enroulements alimentés en triphasé dont le théorème de Ferraris fournit l'expression.

Les deux applications du champ tournant sont ensuite abordées. Avec un rotor disposant d'une polarité magnétique d'abord (aimant ou électro-aimant), celui-ci tourne à la vitesse de synchronisme pour constituer une machine synchrone (MS), hors programme cependant. L'autre application consiste à réaliser des enroulements sur le rotor et à les court-circuiter pour parvenir à la machine asynchrone.

Pour terminer sur des aspects strictement technologiques, la dernière partie s'attache à présenter la constitution de la MAS au travers de ses trois parties principales : le stator, l'entrefer et le rotor. C'est l'occasion de montrer que si la structure du stator reste invariante, le rotor peut être constitué d'enroulements bobinés ou de conducteurs moulés en cage d'écureuil.

I. Introduction	3
II. Champ tournant sinusoïdal	3
II.1. Machine à induction élémentaire	3
II.2. Induction magnétique dans l'entrefer	4
II.2.1. Caractérisation du champ d'induction magnétique	4
II.2.2. Répartition spatiale de l'induction	4
II.2.3. Champ d'induction tournant sinusoïdal.....	4
II.3. Réalisation d'un champ tournant.....	5
II.3.1. Évolution de H dans l'entrefer au voisinage d'un conducteur.....	5
II.3.2. Comportement au voisinage d'un groupe de conducteurs.....	6
II.3.3. Multiplicité des champs d'induction : théorème de Leblanc	8
II.3.4. Réalisation du champ tournant avec un bobinage triphasé.....	8
II.4. Deux applications des champs tournants	10
II.4.1. Action sur un aimant	10
II.4.2. Action sur une spire en court-circuit	11
II.5. Bilan.....	11
III. Constitution d'une machine asynchrone industrielle	12
III.1. Le stator	12
III.2. L'entrefer	12
III.3. Le rotor.....	13
III.3.1. Rotor de machine asynchrone à cage.....	13
III.3.2. Machine asynchrone à rotor bobiné (ou à bagues).....	14
IV. Conclusion	14
V. Bibliographie	14

I. Introduction

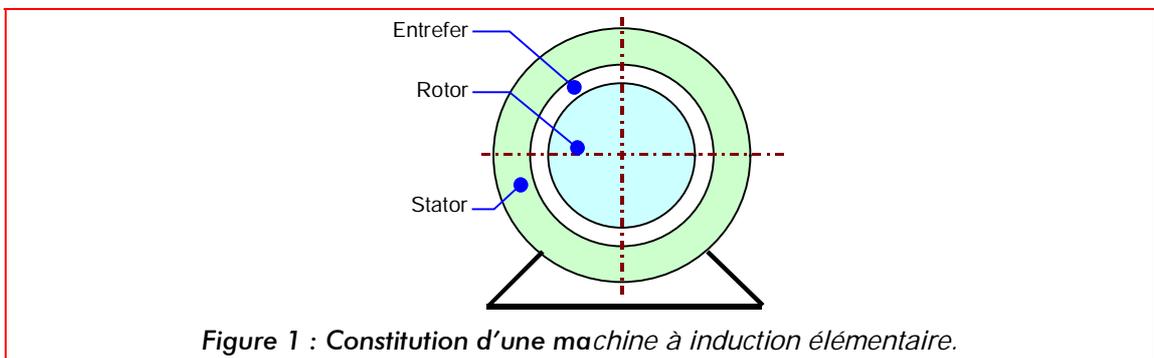
La machine asynchrone (MAS), appelée aussi machine d'induction, fait appel à un principe simple de champs tournant qui lui permet un fonctionnement sans contacts électriques glissants. Ceci conduit à une machine très robuste, à l'entretien aisé, qui convient aujourd'hui très bien dans les applications en vitesse variable.

II. Champ tournant sinusoïdal

Pour les besoins de la définition d'un champ tournant sinusoïdal, on crée une machine à induction élémentaire. Ceci permettra d'introduire les propriétés de ce champ, d'en proposer une réalisation technologique pour présenter deux applications essentielles en électrotechnique.

II.1. Machine à induction élémentaire

On réalise une machine composée d'un cylindre fixe et creux appelé stator. Sur le même axe, un cylindre libre en rotation, le rotor, est couplé à la charge mécanique à entraîner. Ces deux ensembles sont séparés par un entrefer (Figure 1).

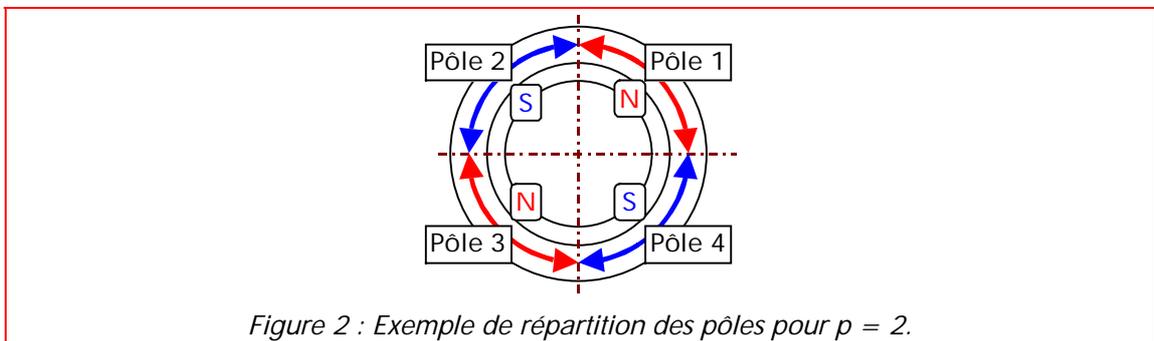


Circuit magnétique statorique

Ce circuit magnétique est constitué de tôles empilées de perméabilité très élevée vis à vis de l'air. Ceci procure des propriétés magnétiques favorisant la circulation des lignes de champ.

Bobinage statorique

Pour créer le champ d'excitation statorique, des encoches parallèles à l'axe de la machine sont aménagées dans la partie intérieure pour y loger des bobinages. Ils sont répartis sur le pourtour du stator pour créer $2p$ pôles (association magnétique nord-sud). Un cycle magnétique correspond alors à une fraction de tour du stator dont l'ouverture angulaire est $\frac{2\pi}{p}$. Chaque pôle occupe donc un arc angulaire $\frac{\pi}{p}$ (Figure 2).



Rotor

Comme le stator, cette partie magnétique est constituée de tôles empilées de perméabilité élevée.

Entrefer

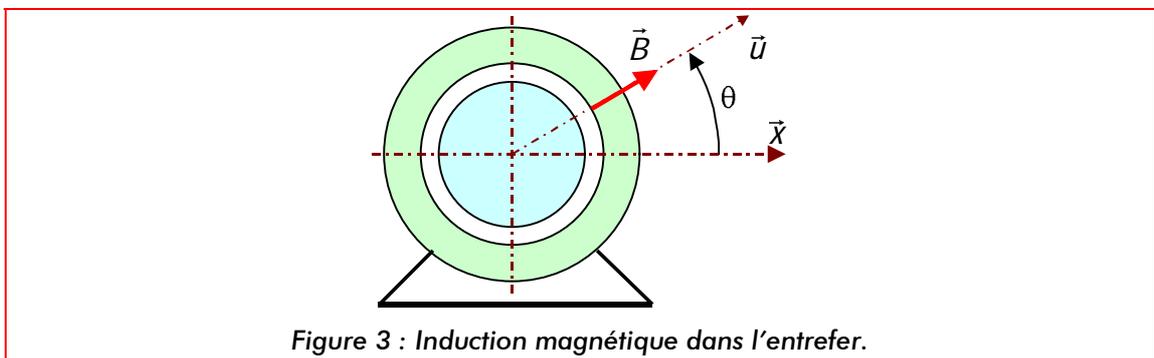
Les deux parties précédentes sont séparées par l'entrefer de faible épaisseur. Il permet le mouvement du rotor par rapport au stator. La grande perméabilité magnétique des matériaux ferromagnétiques vis à vis de l'air permet de supposer que toute induction dans l'entrefer est normale au stator et donc radiale.

II.2. Induction magnétique dans l'entrefer

On s'intéresse maintenant aux grandeurs magnétiques essentielles qui apparaissent dans la machine. On distingue l'induction magnétique dans l'entrefer qui est une grandeur vectorielle. L'autre grandeur est le champ d'excitation, lui aussi vectoriel, et dépendant des courants circulant dans les conducteurs en vertu du théorème d'Ampère.

II.2.1. Caractérisation du champ d'induction magnétique

Les enroulements statoriques créent un champ d'induction magnétique \vec{B} radial suivant l'axe \vec{u} . Cet axe est incliné d'un angle θ variable par rapport à l'axe fixe de référence \vec{x} (Figure 3). On note $b(\theta)$ son module.

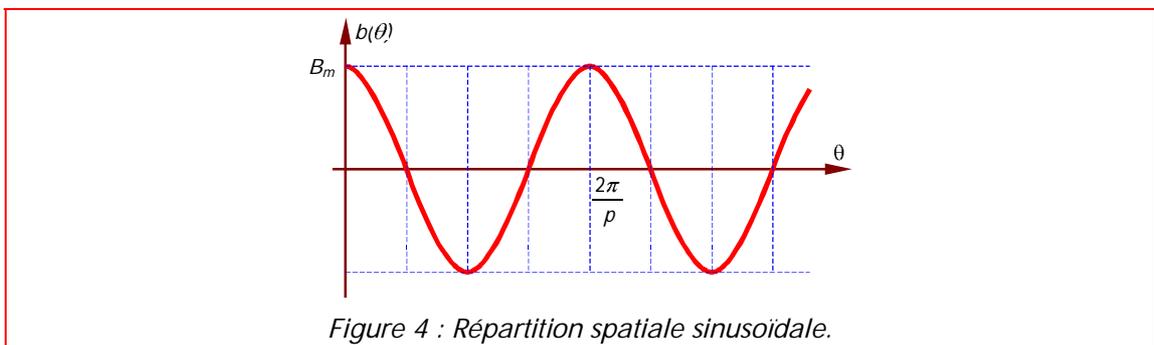


II.2.2. Répartition spatiale de l'induction

On dit que l'induction dans l'entrefer est à répartition spatiale sinusoïdale (Figure 4) si son module est une fonction sinusoïdale de la position θ de la forme :

$$b(\theta) = B_m \cdot \cos p\theta$$

où p est le nombre de paires de pôles au stator de la machine : c'est la répétition du cycle magnétique défini dans la présentation (§II.1, bobinage statorique).



II.2.3. Champ d'induction tournant sinusoïdal

Si le vecteur induction \vec{B} tourne à la vitesse constante ω dans l'entrefer, l'induction dépend à la fois de la position angulaire θ et du temps t :

$$b(\theta, t) = B_m \cdot \cos(p\theta - \omega t)$$

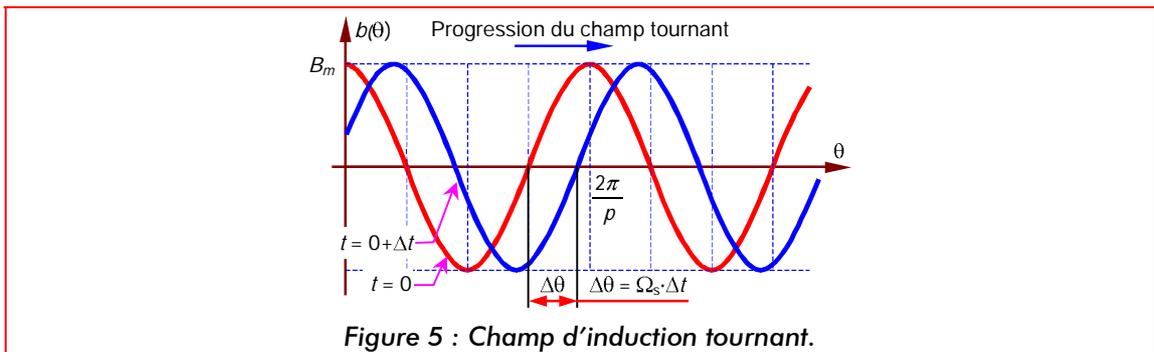
On peut aussi écrire $b(\theta, t)$ sous la forme :

$$b(\theta, t) = B_m \cdot \cos\left[p\left(\theta - \frac{\omega}{p} t\right)\right]$$

où $\Omega_s = \frac{\omega}{p}$ est la pulsation de synchronisme.

Une telle expression de l'induction caractérise un champ tournant sinusoïdal : c'est une onde circulaire se propageant à la vitesse Ω_s .

On peut représenter l'induction à différents instants (Figure 5) : on peut imaginer que spatialement l'onde glisse suivant l'axe θ .



Champ progressif / champ régressif

Suivant son sens de propagation, on dit du champ qu'il est :

- progressif (ou direct) si la pulsation ω est positive, c'est-à-dire dans le même sens que θ .
- régressif (ou inverse) si la pulsation ω est négative (sens contraire de θ).

II.3. Réalisation d'un champ tournant

Le champ tournant est réalisé à l'aide des enroulements statoriques. Le but est de s'approcher au mieux d'une fonction sinusoïdale (continûment variable) en organisant la distribution discrète des conducteurs dans les encoches.

II.3.1. Évolution de h dans l'entrefer au voisinage d'un conducteur

Comme le précisait la présentation de la machine élémentaire, les parties magnétiques sont supposées de perméabilité μ_r très élevée, c'est à dire quasi infinie.

De plus, la conservativité du flux du vecteur champ d'induction magnétique permet de la considérer continue au changement de milieu : entre l'entrefer et le stator et entre l'entrefer et le rotor.

Il en résulte que :

$$h_{fer} = \frac{b}{\mu_0 \mu_r} \quad \text{et} \quad h_{air} = \frac{b}{\mu_0}$$

Avec $\mu_r \rightarrow \infty$, on en déduit que le champ d'excitation h_{fer} est nul.

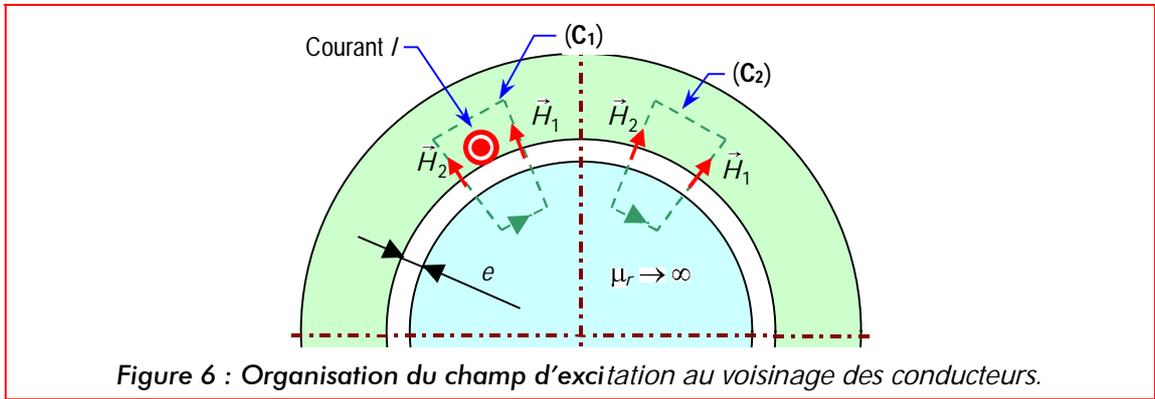


Figure 6 : Organisation du champ d'excitation au voisinage des conducteurs.

En se référant à la Figure 6, on détermine la circulation C_1 du champ d'excitation sur le parcours (C_1) , puis on applique le théorème d'Ampère :

$$C_1 = h_1 \cdot e - h_2 \cdot e = I$$

Suivant le signe du courant I , on observe donc une modification du champ d'excitation au voisinage d'un conducteur :

$$h_1 = h_2 + \frac{I}{e}$$

En reprenant cette évaluation en l'absence de conducteur (circulation C_2 de \vec{H} sur le parcours (C_2)), on obtient que le champ est invariant sans conducteur.

Cas d'une spire diamétrale

Cette étude préliminaire permet de tracer l'évolution du champ d'excitation pour une spire diamétrale (Figure 7).

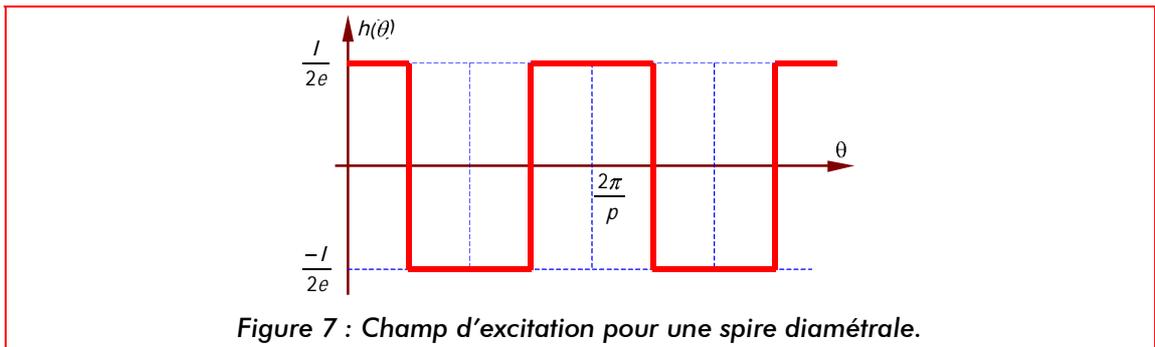


Figure 7 : Champ d'excitation pour une spire diamétrale.

Conclusion

Le champ d'excitation, et par conséquent le champ magnétique, demeurent constants en l'absence de courants. Le champ dans l'entrefer évolue par paliers d'amplitude $\pm \frac{I}{e}$ à chaque passage d'un courant I .

II.3.2. Comportement au voisinage d'un groupe de conducteurs

On réalise maintenant un bobinage diamétral régulier de N spires réparties sur deux arcs d'ouverture angulaire $\frac{\pi}{3}$. Cette configuration correspond à une seule paire de pôles (Figure 8).

Remarque : cette disposition est justifiée par l'utilisation à terme de bobinages triphasés pour réaliser le champ tournant ; chaque enroulement occupe alors un tiers de la périphérie du stator.

On considère donc que $h(\theta)$ est maximal pour $\theta = 0$ (\vec{H} suivant \vec{x}) et minimal pour $\theta = \pi$ (\vec{H} suivant $-\vec{x}$).

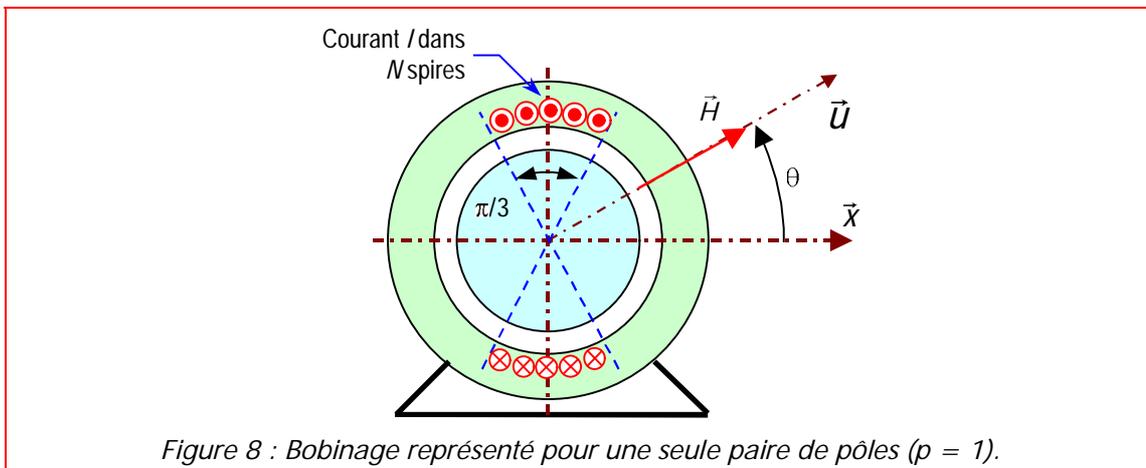


Figure 8 : Bobinage représenté pour une seule paire de pôles ($p = 1$).

Le principe est le même : au passage d'un conducteur on observe un saut de h_θ d'amplitude $\pm \frac{I}{e}$. On peut donc tracer l'évolution de $h(\theta)$ représentée à la Figure 9.

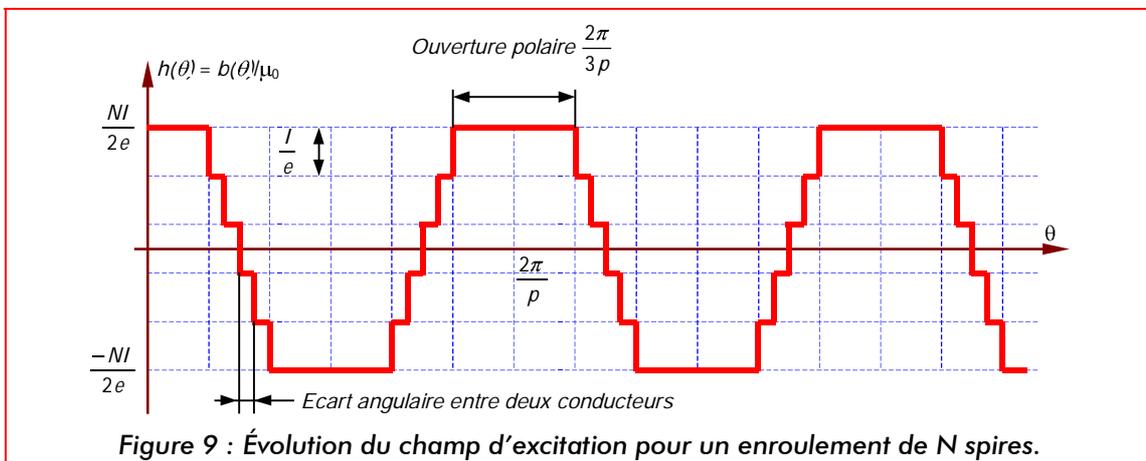


Figure 9 : Évolution du champ d'excitation pour un enroulement de N spires.

Conclusion intermédiaire

Le champ résultant est de forme trapézoïdale. Sa décomposition harmonique (série de Fourier) laisse apparaître un fondamental dont on favorisera l'amplitude. Pour réduire les harmoniques, on agit sur le nombre de conducteurs et leur répartition dans les encoches. C'est ce qui permet de s'approcher d'un champ purement sinusoïdal.

Expression sinusoïdale de $h(\theta)$ pour p quelconque

Si on assimile le tracé de $h(\theta)$ de la Figure 9 à une sinusoïde, son amplitude est la moitié de l'amplitude crête à crête du profil trapézoïdal corrigé par le coefficient K de la décomposition en série de Fourier :

$$h(\theta) = \frac{1}{2} \cdot \frac{NI}{e} \cdot K \cdot \cos(p\theta) \quad \text{où l'amplitude est} \quad H_m = \frac{NI}{2e} \cdot K$$

Conclusion

On peut admettre qu'un tel bobinage distribue les courants de manière à créer un champ à répartition spatiale sinusoïdale.

II.3.3. Multiplicité des champs d'induction : théorème de Leblanc

L'enroulement est alimenté par un courant sinusoïdal $i(t) = I\sqrt{2} \cdot \cos \omega t$ (qui se substitue à I).

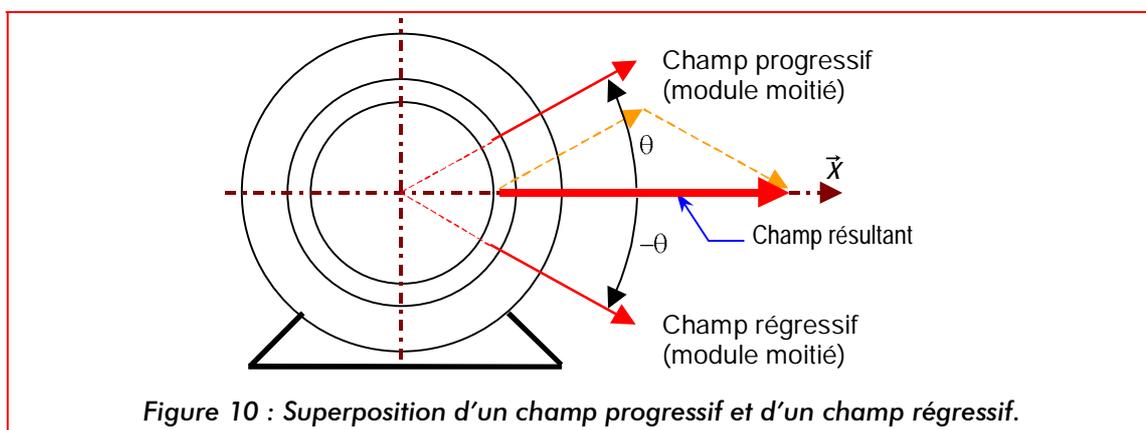
Expression du champ d'excitation dans l'entrefer

$$h(\theta, t) = \frac{N}{2e} \cdot K \cdot \cos(p\theta) \cdot I\sqrt{2} \cos(\omega t), \text{ donc}$$

$$h(\theta, t) = \frac{NI\sqrt{2}}{4e} K \cdot \cos(p\theta - \omega t) + \frac{NI\sqrt{2}}{4e} K \cdot \cos(p\theta + \omega t) = H_m \cdot \cos(p\theta - \omega t) + H_m \cdot \cos(p\theta + \omega t)$$

Cette expression montre que h est la superposition de deux champ tournants (Figure 10) :

- L'un progressif, $h_1(\theta, t) = \frac{NI\sqrt{2}}{4e} K \cdot \cos(p\theta - \omega t)$
- L'autre régressif $h_2(\theta, t) = \frac{NI\sqrt{2}}{4e} K \cdot \cos(p\theta + \omega t)$.



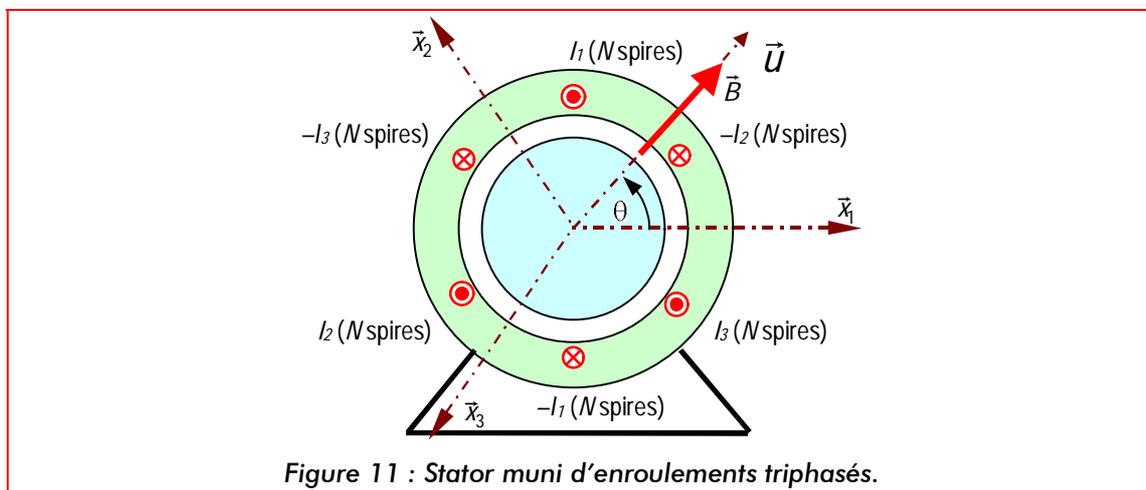
Conclusion

Un enroulement unique alimenté par un courant sinusoïdal crée dans l'entrefer deux champs tournants en sens opposés à la vitesse de synchronisme Ω_s .

Remarque : cette propriété rend particulière la mise en œuvre de MAS monophasées car aucun champ tournant n'est privilégié par le rotor pour sa mise en mouvement.

II.3.4. Réalisation du champ tournant avec un bobinage triphasé

Un enroulement monophasé ne permet pas un champ tournant unique. On a alors recours à trois enroulements identiques au précédent disposés régulièrement sur le pourtour du stator : il s'agit de bobinages triphasés. Pour simplifier, la Figure 11 les représente pour une seule spire.



En généralisant à $2p$ pôles, les axes $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3)$ sont déphasés de $\frac{2\pi}{3 \cdot p}$.

Chaque bobinage crée donc son champ à répartition spatiale sinusoïdale. Les trois sont déphasés mutuellement de $\frac{2\pi}{3 \cdot p}$.

L'ensemble est alimenté par un réseau de trois courants triphasés équilibrés :

$$\begin{cases} i_1(t) = I\sqrt{2} \cdot \cos(\omega t) \\ i_2(t) = I\sqrt{2} \cdot \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ i_3(t) = I\sqrt{2} \cdot \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{cases}$$

Champ d'excitation dans l'entrefer

Les trois champs d'excitation ont pour module :

$$\begin{cases} h_1(\theta, t) = H_m \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos(p\theta) \\ h_2(\theta, t) = H_m \cdot \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \cdot \cos(p\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ h_3(\theta, t) = H_m \cdot \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \cdot \cos(p\theta - \frac{4\pi}{3}) \end{cases}$$

Le champ résultant est la superposition des trois : $h(\theta, t) = h_1(\theta, t) + h_2(\theta, t) + h_3(\theta, t)$

En développant les calculs :

$$h(\theta, t) = H_m [\cos(\omega t) \cdot \cos(p\theta) + \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \cdot \cos(p\theta - \frac{2\pi}{3}) + \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \cdot \cos(p\theta - \frac{4\pi}{3})]$$

$$h(\theta, t) = \frac{H_m}{2} [\cos(p\theta + \omega t) + \cos(p\theta - \omega t) + \cos(p\theta - \frac{2\pi}{3} + \omega t - \frac{2\pi}{3}) + \cos(p\theta - \frac{2\pi}{3} - \omega t + \frac{2\pi}{3}) + \cos(p\theta - \frac{4\pi}{3} + \omega t - \frac{4\pi}{3}) + \cos(p\theta - \frac{4\pi}{3} - \omega t + \frac{4\pi}{3})]$$

Soit :

$$h(\theta, t) = \frac{H_m}{2} [3\cos(p\theta - \omega t) + \cos(p\theta + \omega t) + \cos(p\theta + \omega t - \frac{4\pi}{3}) + \cos(p\theta + \omega t - \frac{8\pi}{3})]$$

Or le terme $\cos(p\theta + \omega t) + \cos(p\theta + \omega t - \frac{4\pi}{3}) + \cos(p\theta + \omega t - \frac{8\pi}{3})$ est nul, donc :

$$h(\theta, t) = \frac{3}{2} H_m \cos(p\theta - \omega t)$$

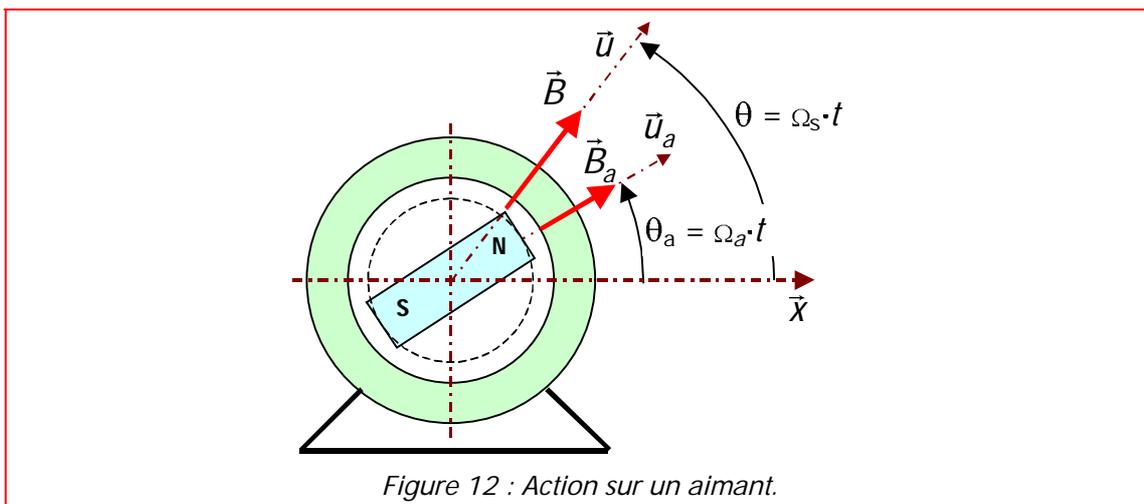
Conclusion : théorème de Ferraris

Trois enroulements constituant p paires de pôles dont les axes sont déphasés de $\frac{2\pi}{3 \cdot p}$, alimentés par un réseau triphasé équilibré de pulsation ω et créant chacun une induction à répartition spatiale sinusoïdale génèrent un champ tournant de pulsation $\Omega_s = \frac{\omega}{p}$.

II.4. Deux applications des champs tournants

II.4.1. Action sur un aimant

Un aimant permanent d'axe \vec{u}_a tournant à la vitesse Ω_a constitue le rotor d'une machine dont l'entrefer est le siège d'un champ tournant d'axe \vec{u} , de module B , à la vitesse Ω_s conformément à la Figure 12. La différence des vitesses provoque un écart angulaire : $\delta = \theta - \theta_a = (\Omega_s - \Omega_a) \cdot t$



Fonctionnement

Un moment magnétique résulte des deux inductions : $\vec{M} = \vec{B} \wedge \vec{B}_a$.

Ce qui s'exprime par :

$$\vec{M} = -B \cdot B_a \cdot \sin \delta \cdot \vec{z}$$

On distingue donc deux cas :

- Si $\Omega_a = \Omega_s$, alors δ est constant, d'où $|\vec{M}| = B \cdot B_a \cdot \sin \delta$. Ce moment est maximal pour $\delta = \frac{\pi}{2} [\pi]$, il existe donc un couple moteur qui peut entraîner une charge mécanique ;
- Si $\Omega_a \neq \Omega_s$, alors $\langle \sin \delta \rangle = \langle \sin [(\Omega_s - \Omega_a) \cdot t] \rangle = 0$, donc le couple \vec{M} est toujours nul.

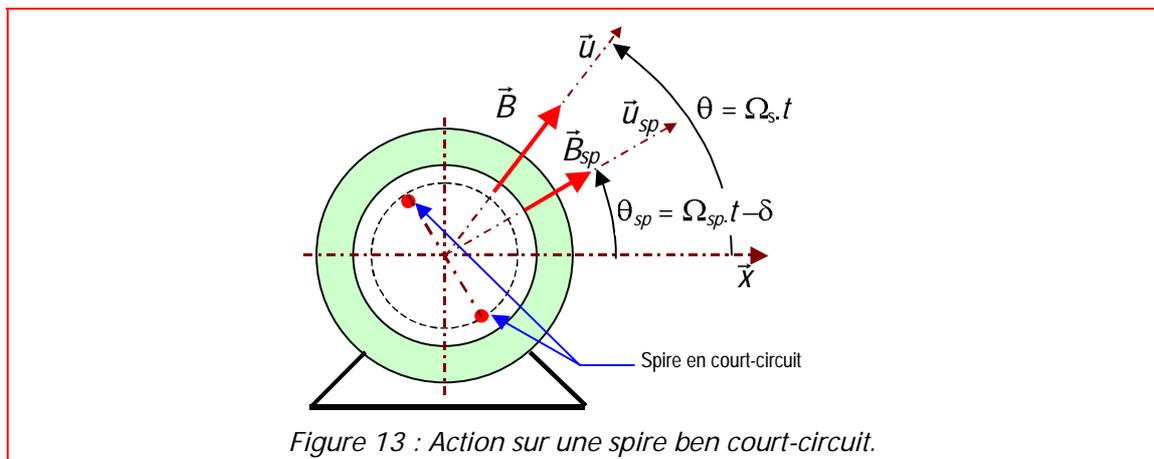
Conclusion

Cette machine fonctionne en tournant toujours à la vitesse de synchronisme : on a réalisé une machine synchrone (MS).

Remarque : cette machine ne fera l'objet d'aucune étude particulière (hors programme en TSI).

II.4.2. Action sur une spire en court-circuit

On place à présent sur le rotor une spire conductrice d'axe \vec{u}_{sp} en court-circuit (Figure 13).



Fonctionnement qualitatif de l'ensemble

- Le champ tournant est une grandeur magnétique variable dans le temps ;
- création d'une f.e.m. induite dans la spire ;
- puisqu'elle est en court-circuit, un courant (induit) y prend naissance ;
- ce courant crée une induction normale à la spire \vec{B}_{sp} ;
- il en résulte un moment magnétique \vec{M} qui entraîne le rotor en rotation ;
- la vitesse Ω_{sp} augmente et tend à rejoindre Ω_s ;
- si $\Omega_{sp} = \Omega_s$, l'effet induit disparaît, le moment et l'entraînement du rotor aussi ;
- le rotor ralenti et l'effet induit reprend ;
- en conséquence, un équilibre s'établit de manière à ce que $\Omega_{sp} < \Omega_s$.

Conclusion

Le rotor de cette machine tourne naturellement à une vitesse légèrement inférieure à celle du synchronisme. C'est pourquoi on l'appelle machine asynchrone (MAS).

II.5. Bilan

Un champ tournant a donc été mis en place au stator. Parmi ses deux applications, la machine asynchrone fera désormais l'objet d'une étude plus approfondie.

Après le principe, on s'attache maintenant à décrire la constitution technologique de la MAS.

III. Constitution d'une machine asynchrone industrielle

III.1. Le stator

Cette partie fixe (comme son nom l'indique !) de la machine crée le champ tournant. Elle est organisée en un circuit magnétique circulaire et creux. Sur la périphérie intérieure des encoches sont aménagées pour recevoir les enroulements du bobinage. Aucun élément n'est saillant, les pôles sont lisses.

Son alimentation peut être effectuée directement par le réseau industriel triphasé ou par le biais d'un convertisseur d'énergie adapté pour permettre une variation de vitesse. Cette partie sera abordée ultérieurement.

Les enroulements statoriques sont libres de couplage (Figure 14). Chacune est accessible par ses deux bornes de connexion.

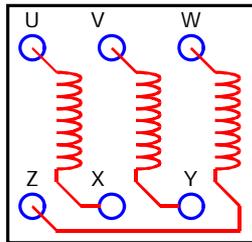


Figure 14 : Plaque à bornes statorique.

La disposition physique en deux rangées de trois bornes permet d'effectuer de manière aisée le couplage des enroulements : interconnexion de X, Y et Z et alimentation par U, V et W en étoile (Figure 15) ou interconnexion et alimentation par les liaisons U-Z, V-X et W-Y pour le couplage triangle (Figure 16).

C'est aussi ce repérage qui est noté sur le symbole de la machine (Figure 17).

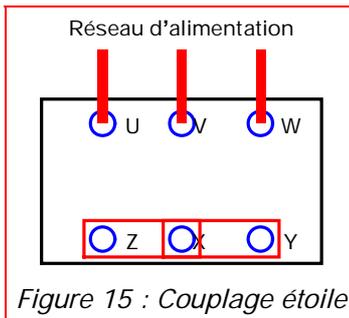


Figure 15 : Couplage étoile

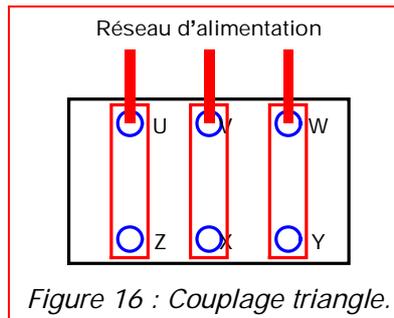


Figure 16 : Couplage triangle.

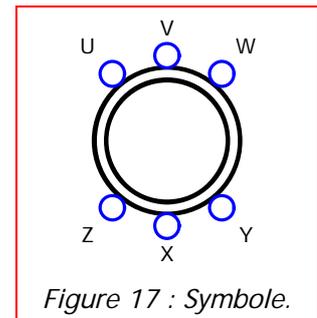


Figure 17 : Symbole.

Les grandeurs électriques sont variables, elles induisent donc des grandeurs magnétiques variables. Pour minimiser les pertes fer, le circuit magnétique est feuilleté par empilement de tôles d'acier au silicium laminées à chaud (Voir cours « les circuits magnétiques en régime sinusoïdal »).

Le stator est fixé sur une carcasse moulée ou mécano-soudée dont les seules qualités retenues sont mécaniques (maintenance, fixation, robustesse, etc.) et fonctionnelles (accessibilité des liaisons électriques).

III.2. L'entrefer

Cette partie amagnétique (c'est de l'air !) est d'épaisseur la plus faible possible (de l'ordre du millimètre). Cette caractéristique appelle plusieurs remarques :

- l'épaisseur réduite rend la taille de l'entrefer sensible aux variations dues aux encoches statoriques. Ceci crée des harmoniques dites d'encoches. Pour les réduire, les encoches sont fermées par des cales magnétiques qui maintiennent le bobinage.
- sur les machines volumineuses, une si faible épaisseur impose peu de fléchissement de la partie centrale. Il doit en être tenu compte dans le dimensionnement mécanique.

III.3. Le rotor

C'est par le rotor, la partie mobile, que la machine asynchrone se distingue de l'autre machine triphasée, la machine synchrone. De manière générale, le rotor est le siège de grandeurs électromagnétiques variables. Pour limiter les pertes, le circuit magnétique sera donc feuilleté.

Les enroulements rotoriques sont toujours en court-circuit. Les différentes propriétés du circuit électrique seront développées dans la partie relative à la modélisation de la MAS. Mais d'ores et déjà, suivant les caractéristiques électromécaniques que l'on souhaite obtenir, on développe des rotors à cage ou bobinés.

III.3.1. Rotor de machine asynchrone à cage

La partie électrique du rotor est constituée de barres conductrices en cuivre placées dans les encoches rotoriques. Elle sont mises en court-circuit permanent par deux anneaux de court-circuit serties de part et d'autre du rotor (*Figure 18*).

Un autre procédé de fabrication consiste à mouler le circuit électrique rotorique en coulant de l'aluminium dans les encoches fermées aménagées dans le circuit magnétique. L'intérêt essentiel de ce procédé est la grande robustesse du rotor, une fabrication aisée et un faible coût de réalisation pour des machines sans pratiquement aucun entretien. De plus, pour éviter les harmoniques d'encoches rotoriques, les conducteurs sont inclinés par rapport à l'axe du rotor (*Figure 19*).

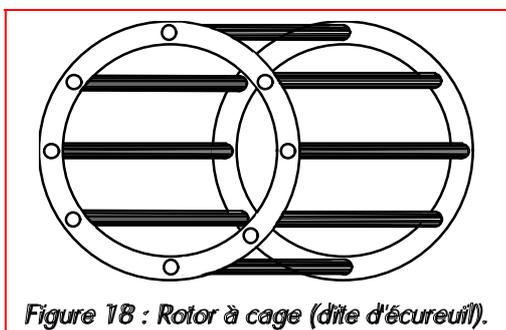


Figure 18 : Rotor à cage (dite d'écureuil).

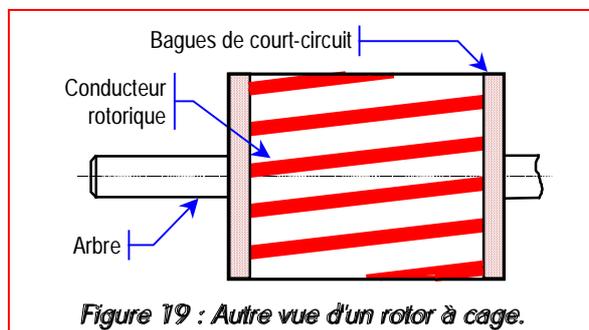


Figure 19 : Autre vue d'un rotor à cage.

La vue éclatée de la Figure 20 permet d'apprécier l'organisation générale de la machine.

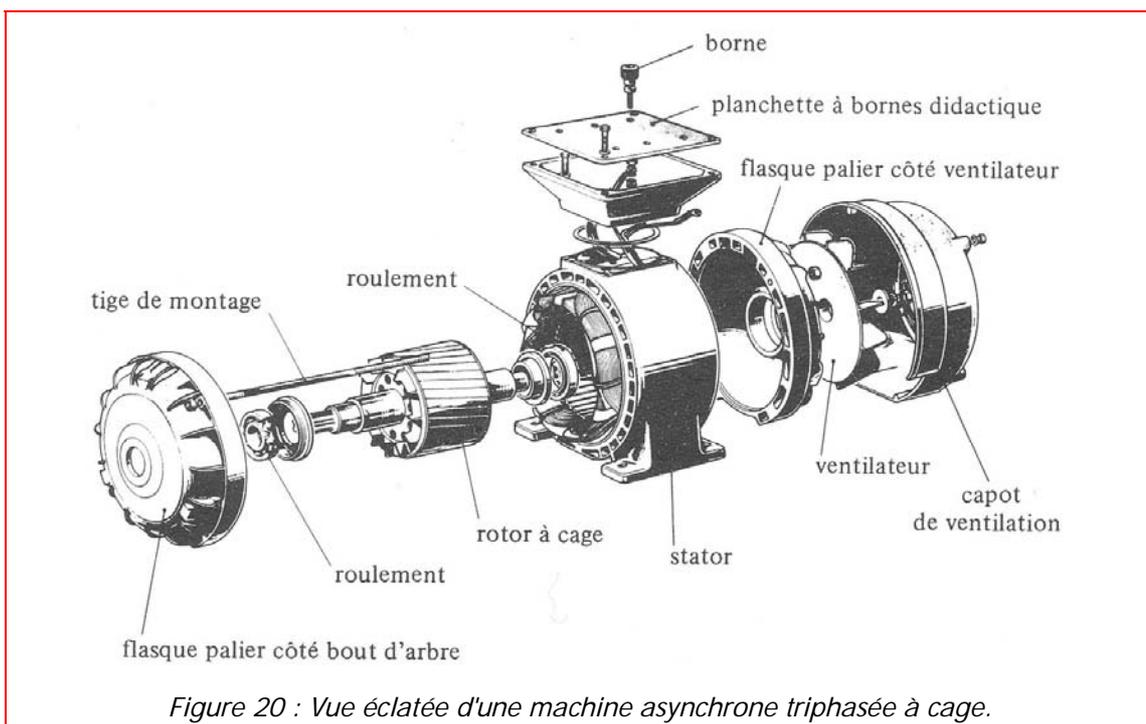


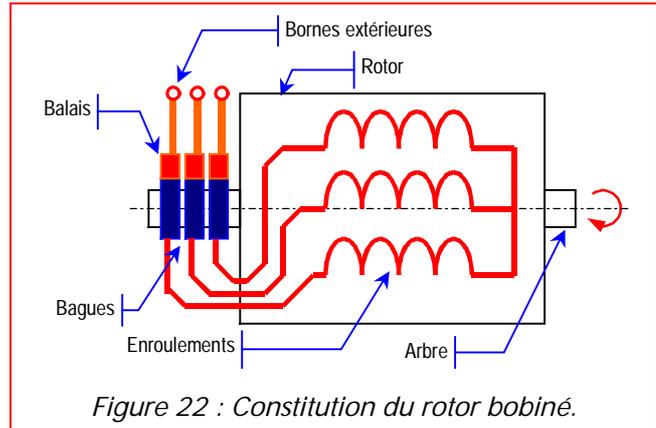
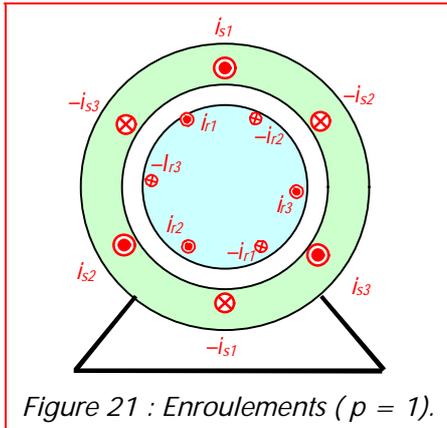
Figure 20 : Vue éclatée d'une machine asynchrone triphasée à cage.

III.3.2. Machine asynchrone à rotor bobiné (ou à bagues)

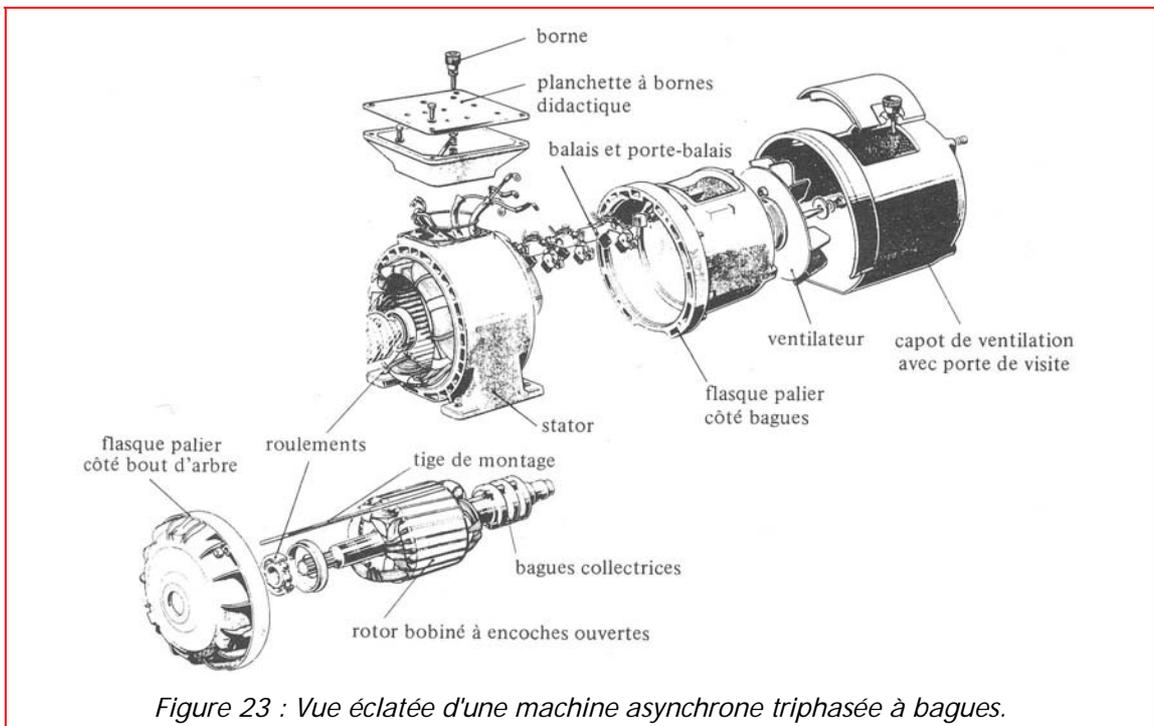
Le rotor est bobiné de manière à obtenir aussi p paires de pôles. Mais à la différence du rotor à cage, il est facile de choisir un nombre de spires par enroulement différent (Figure 21)

Le rotor est mis en court-circuit par l'extérieur au travers de trois bornes liées électriquement par des contacts glissants appelés bagues réalisées en laiton sur lesquelles s'appliquent des balais de graphite.

Les trois enroulements rotoriques sont couplés en étoile à l'intérieur de la machine (Figure 22).



La vue éclatée de la Figure 23 permet d'apprécier l'organisation générale de la machine.



IV. Conclusion

La mise en place du champ tournant et de son application dans la MAS permettent d'aborder la partie suivante : « Machine asynchrone triphasée : modélisation ».

V. Bibliographie

- [1] Séguier Guy et Nottelet Francis. Électrotechnique industrielle. Tec et doc (Lavoisier). 1982.
- [2] Jean Bonal. Entraînements à vitesse variable. Prométhée — Groupe Schneider. Tec et doc (Lavoisier). 1982.
- [3][4] J. Chatelain. Machines électriques. Tomes 1 et 2. T3E. Dunod. 1983.