

MOTEUR / ALTERNATEUR

⌘ INTRODUCTION

Les machines électriques tournantes sont des convertisseurs d'énergies



**Pertes sous forme d'échauffement
(effet Joules, friction des axes, ...)**



**Pertes sous forme d'échauffement
(effet Joules, friction des axes, ...)**

MOTEUR / ALTERNATEUR

Les différentes machines

⌘ Machine à courant continu

⌘ Machine synchrone

☑ rotor bobiné

☑ rotor à aimants permanents

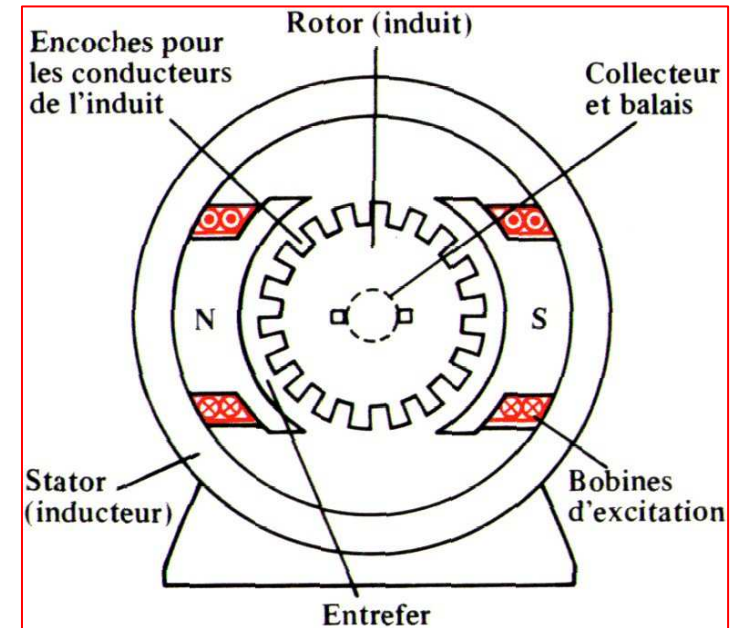
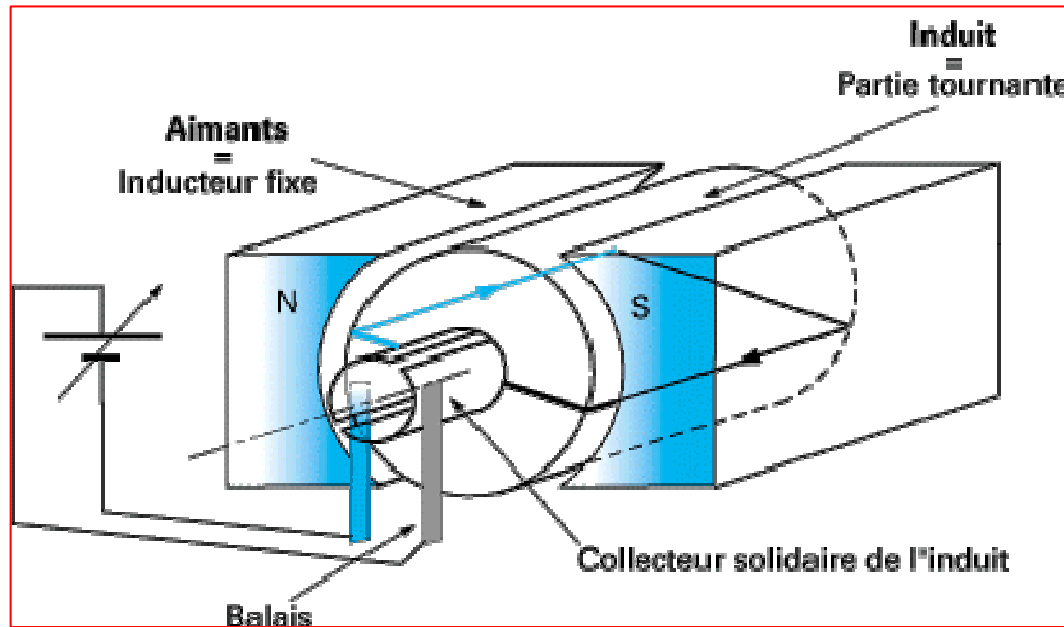
⌘ Machine asynchrone

☑ rotor à cage

☑ rotor bobiné

Machine à courant continu

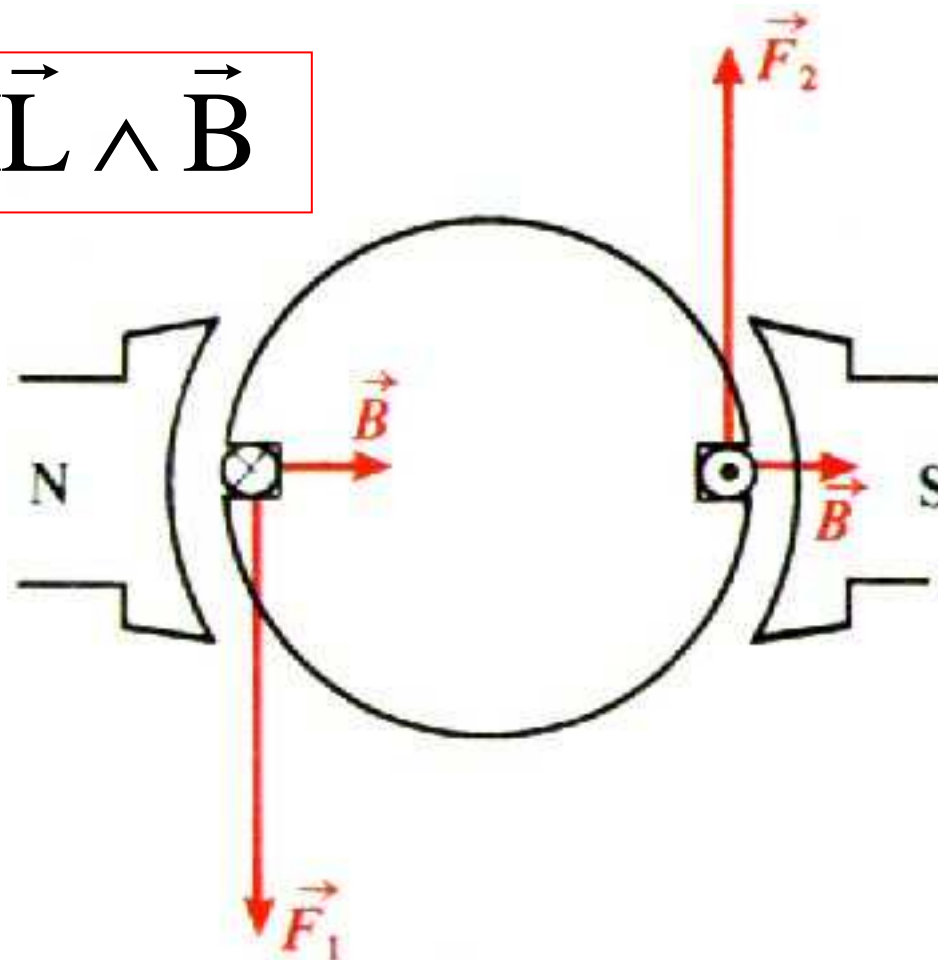
⌘ Constitution



Machine à courant continu

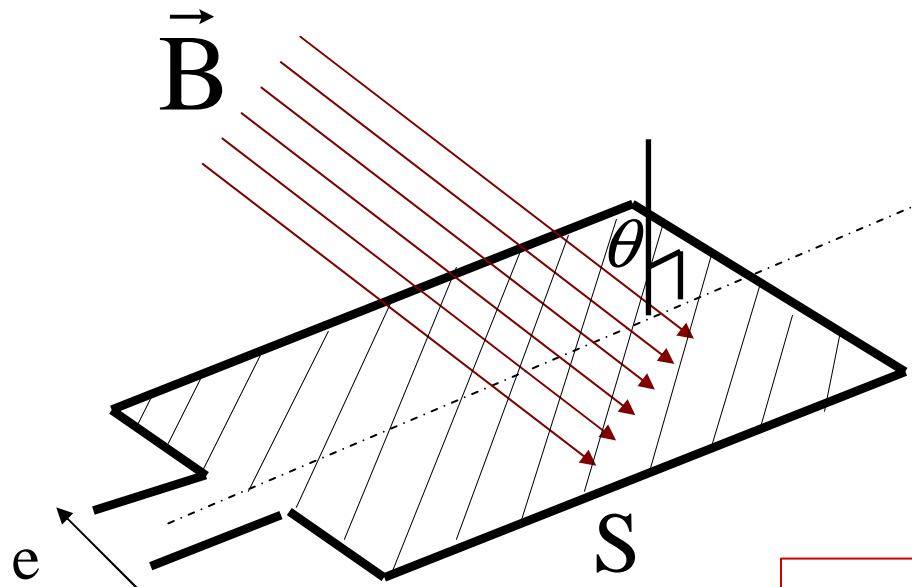
⌘ Principe Moteur : Force de Laplace

$$\vec{F} = I\vec{L} \wedge \vec{B}$$



Machine à courant continu

⌘ Principe Génératrice : Loi de Faraday : $e = -\frac{d\varphi}{dt}$



$$\varphi = B \cdot S \cdot \cos(\theta)$$

Machine à courant continu

⌘ Domaines d 'applications

☑ **Petits moteurs** : adaptée à des sources d'énergie électrochimiques (piles).

☑ **Gros moteurs** : on la trouve dans les lignes de métro-RER où elle fonctionne en moteur (traction) ou en génératrice (freinage).

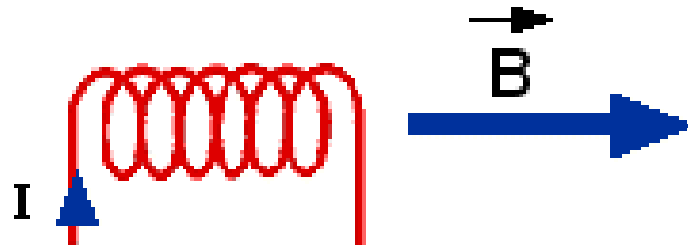
⌘ **Avantage** : Commande en vitesse ($E=K.\Omega$) et en couple ($T=K.I$)

⌘ **Inconvénient** : Les contacts glissants (collecteurs -balais) s'usent (frottement mécanique, arcs électriques...) ce qui nécessite un entretien

=> défaut majeur des machines MCC

Machine synchrone

⌘ Principe - Pré requis



La circulation d'un courant I dans une bobine crée un champ magnétique B .

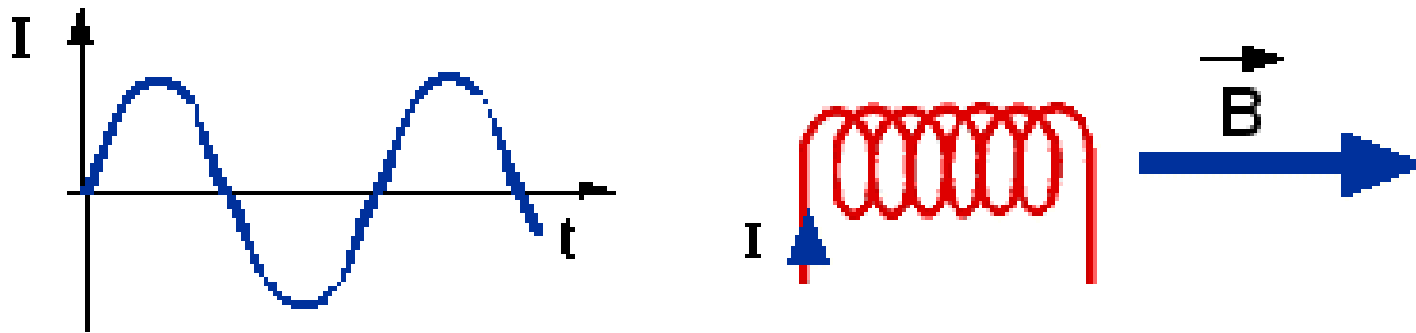
Ce champ est dans l'axe de la bobine.

Sa direction et son intensité dépend de la valeur du courant I :

c'est une grandeur Vectorielle.

Machine synchrone

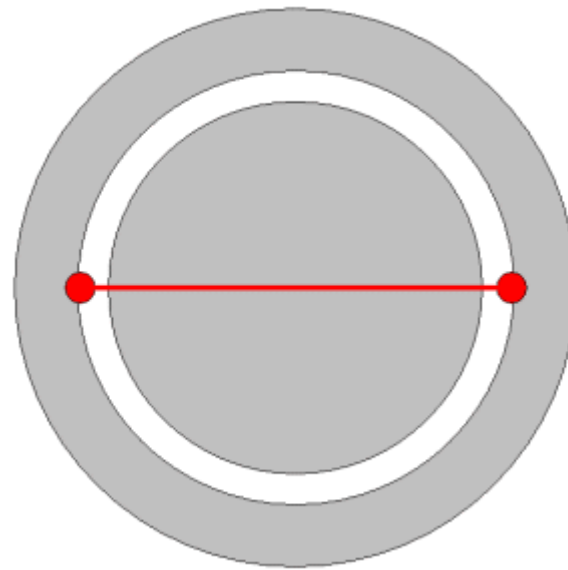
⌘ Principe - Pré requis



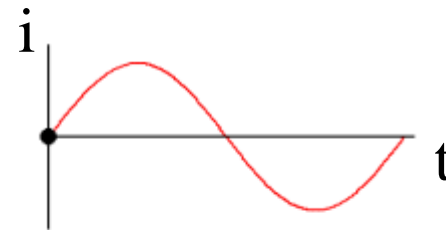
Si le courant est alternatif, le champ B varie en sens et en direction à la même fréquence que le courant

Machine synchrone

⌘ Principe – Champ magnétique créé par un bobinage



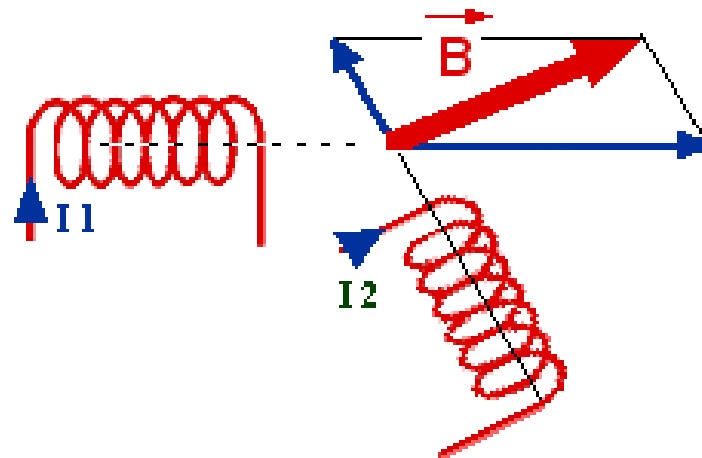
Champ



Courants statoriques

Machine synchrone

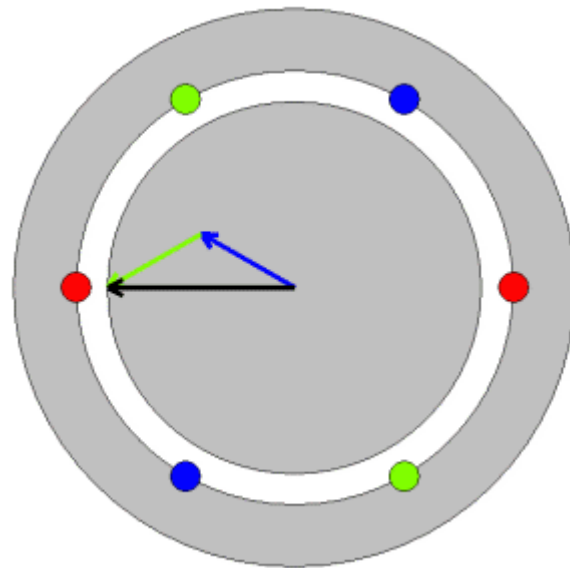
⌘ Principe – Champ créé par plusieurs bobinages



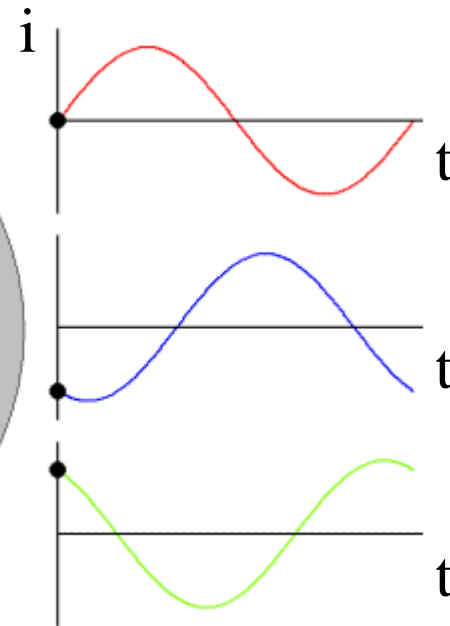
Si deux bobines sont placées à proximité l'une de l'autre, le champ magnétique résultant est la somme vectorielle des deux autres

Machine synchrone

⌘ Principe – Champ tournant créé par trois bobines



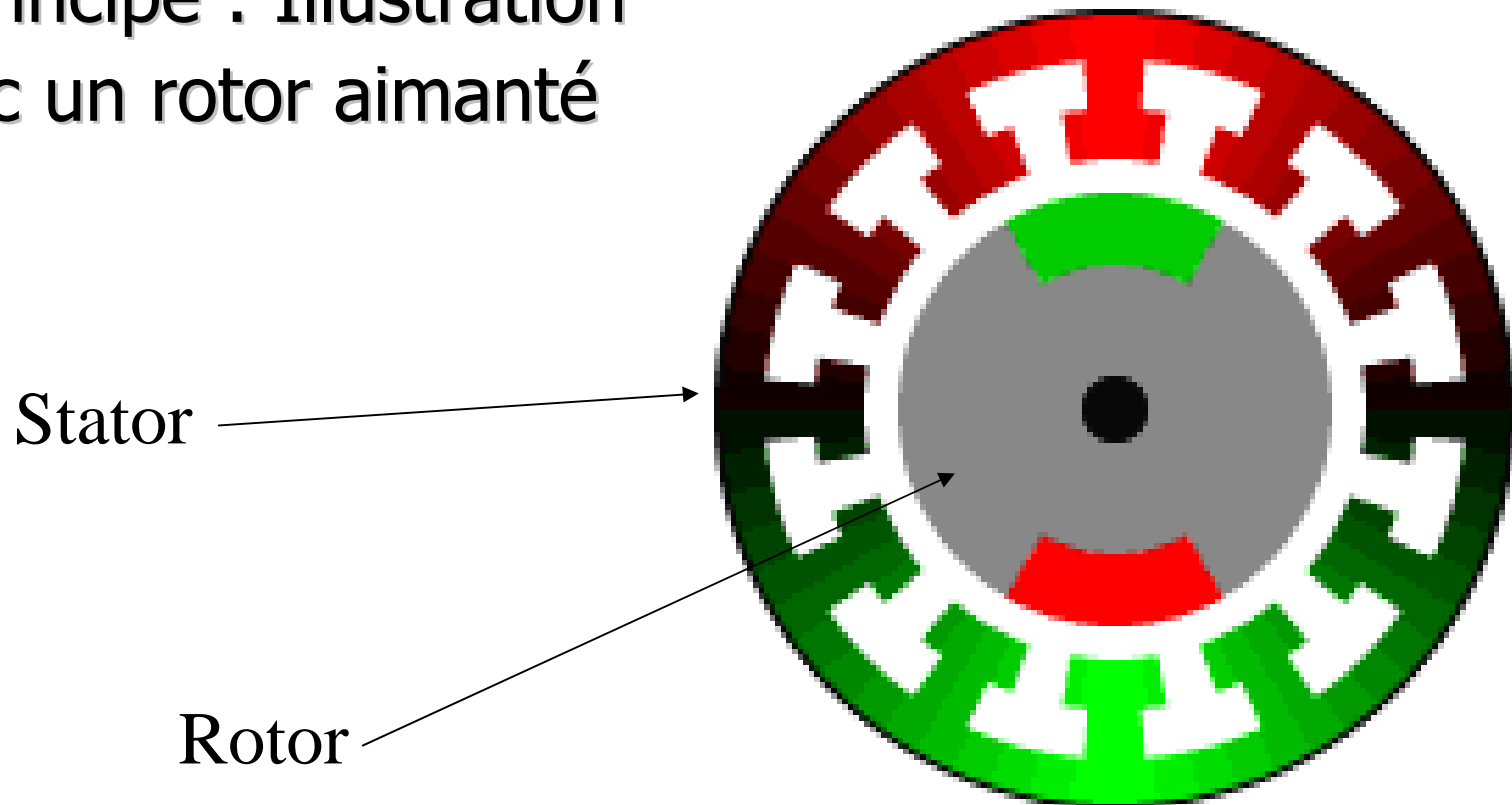
Champ tournant



Courants statoriques

Machine synchrone

⌘ Principe : Illustration avec un rotor aimanté



Rem : Vitesse de rotation = vitesse de rotation des champs tournant¹²

Machine synchrone

⌘ *Constitution*

☒ Le stator est un bobinage polyphasé (en général branché en Y), qui engendre un **champ tournant**.

☒ Le Rotor

☒ Pour les petites puissances (usuellement < 10 kW), le rotor est à aimants permanents. N'ayant ni collecteur ni balais, le moteur est appelé "**brushless**".

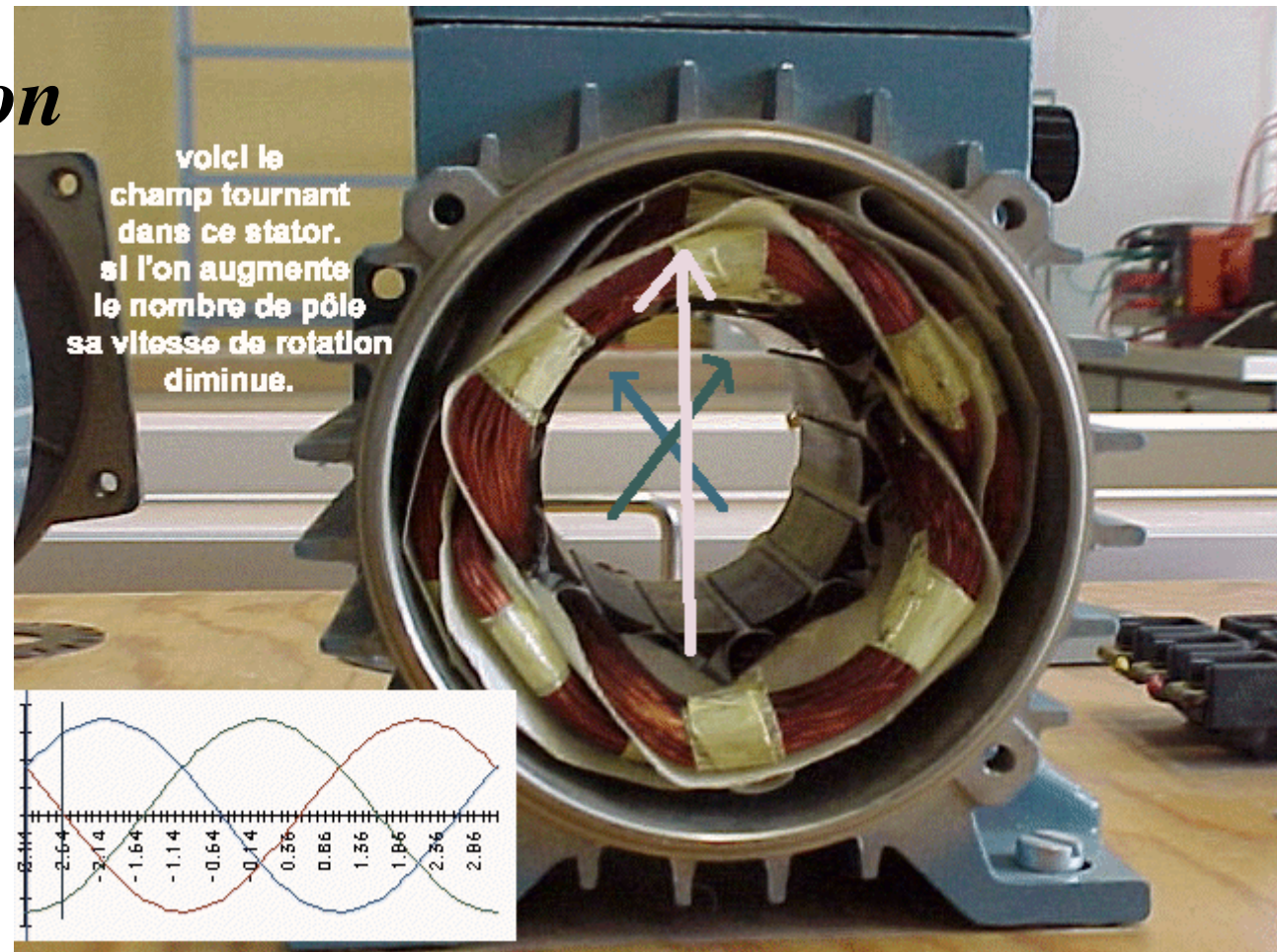
☒ Pour des puissances plus importantes, le rotor est **bobiné**.

Son alimentation en courant continu (connexions du + et du -) peut être assurée par un collecteur à deux bagues (beaucoup plus simple que celui d'une MCC)

Machine synchrone

⌘ Constitution

☒ Le stator

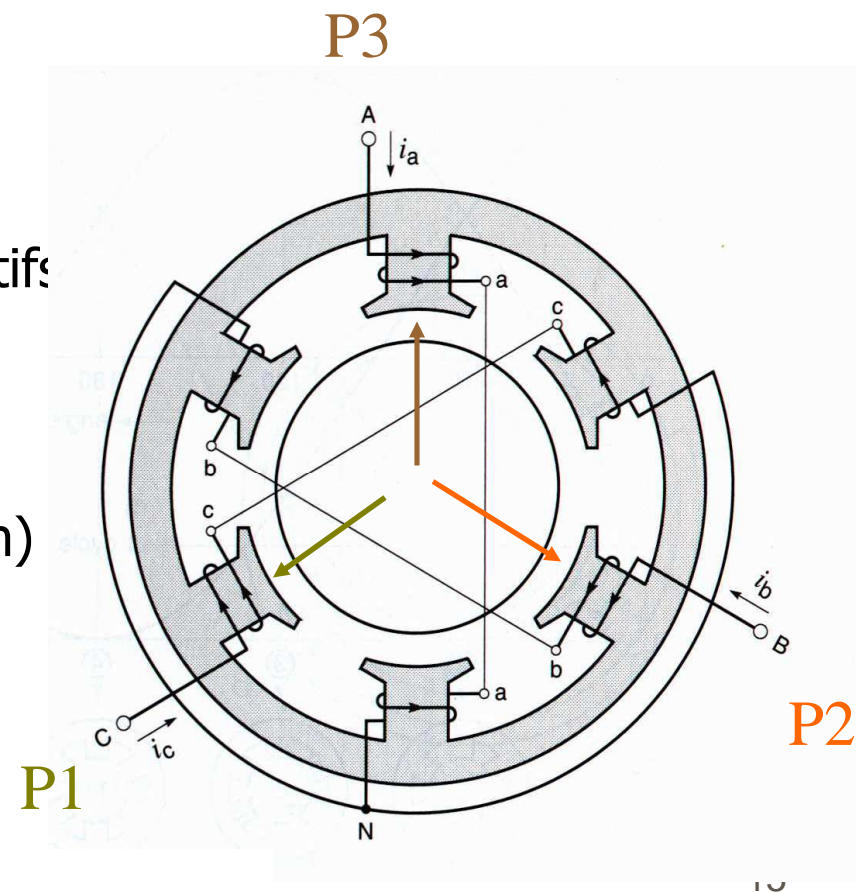


Machine synchrone

⌘ Constitution

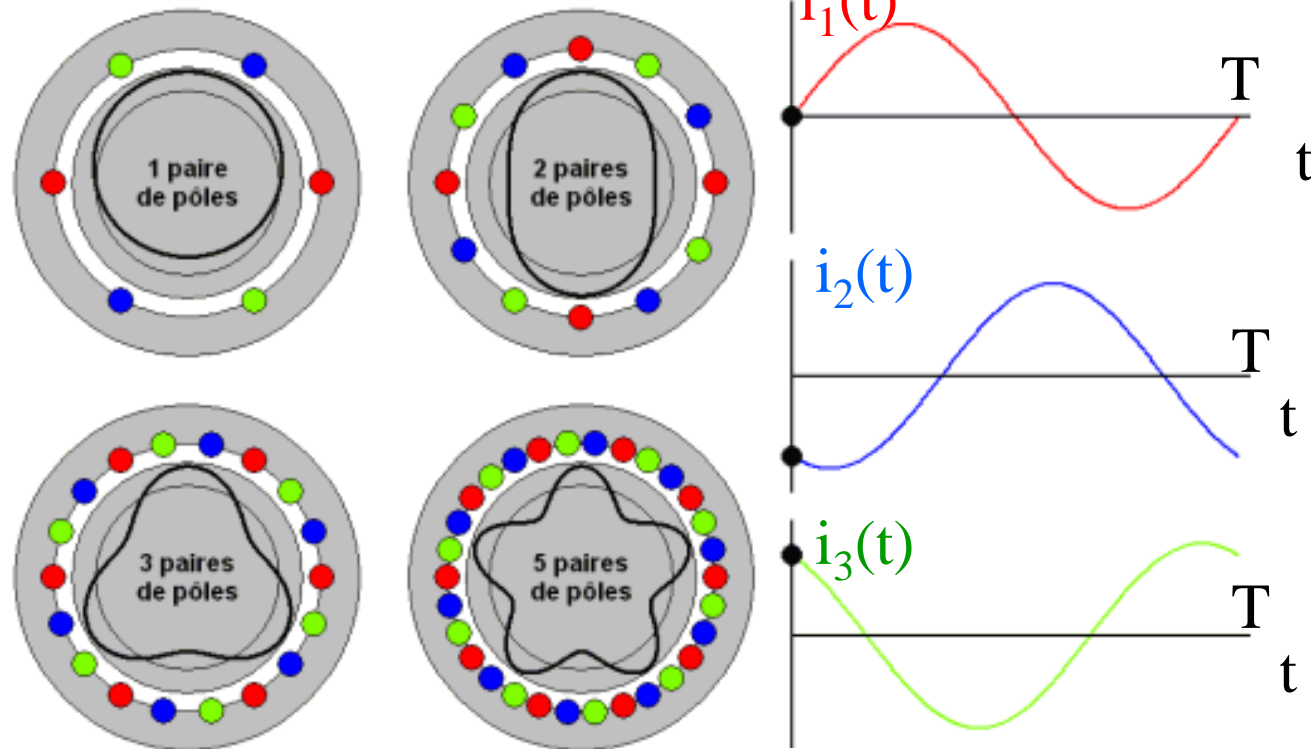
Stator

- ☒ il est constitué de 3 enroulements parcourus par des courants alternatifs triphasés
- ☒ Le champ statorique est créé par le passage du courant dans les enroulements (règle du tire bouchon)



Machine synchrone

⌘ Stator - Vitesse de rotation champ tournant



$$N_s = f/p$$

Machine synchrone

⌘ *Conclusion sur les champs tournants engendrés par le stator :*

Ω_s : vitesse de rotation du champ tournant en rad.s⁻¹

ω : pulsation des courants alternatifs en rad.s⁻¹. $\omega = 2.\pi.f$

N_s : vitesse de rotation du champs tournant en tr.s⁻¹ ;

f : fréquence des courants alternatifs en Hz ;

p : nombre de paires de pôles.

$$N_s = f/p$$

Machine synchrone

⌘ *Constitution*

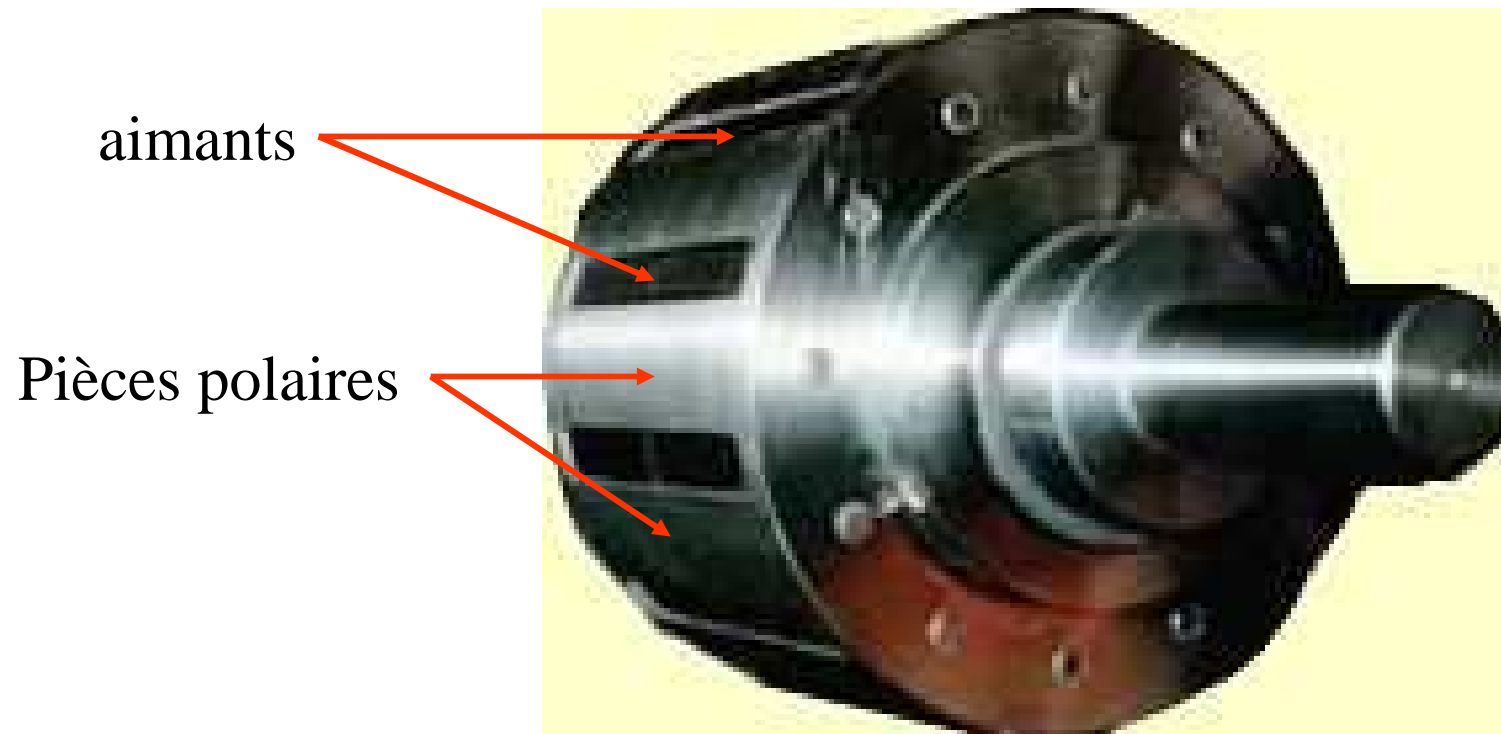
⊞ Le Rotor

- ⊞ Pour les petites puissances (usuellement < 10 kW), le rotor est à **aimants permanents**. N'ayant ni collecteur ni balais, le moteur est appelé "**brushless**".
- ⊞ Pour des puissances plus importantes, le rotor est **bobiné**.
Son alimentation en courant continu
(connexions du + et du -) peut être assurée par un collecteur à deux bagues (beaucoup plus simple que celui d'une MCC)

Machine synchrone

⌘ *Constitution*

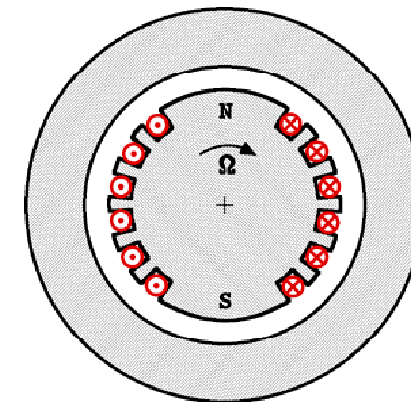
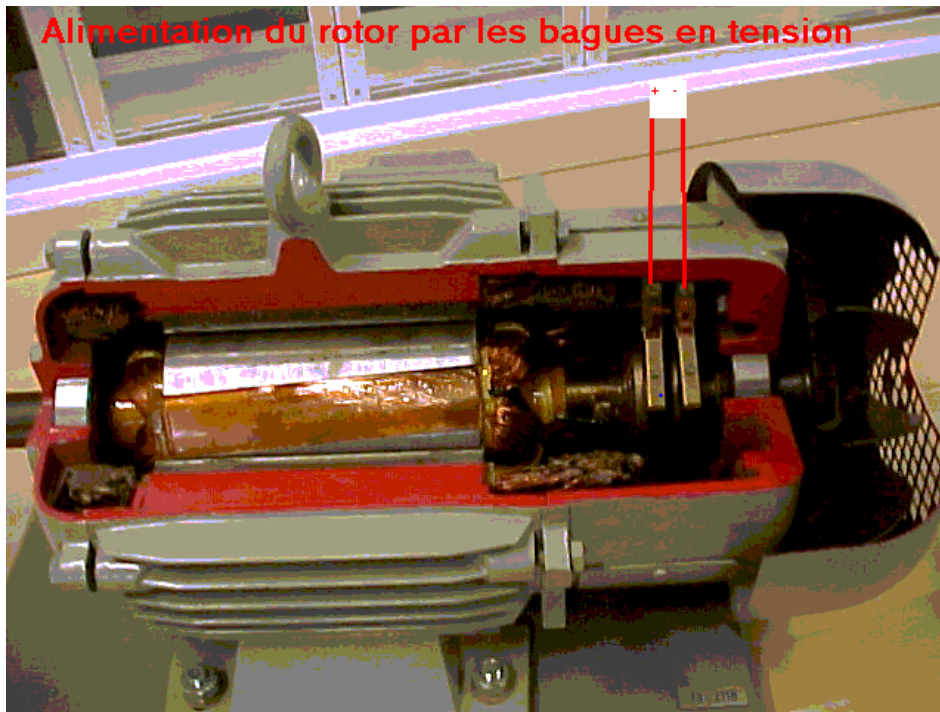
☒ Le Rotor aimant permanent



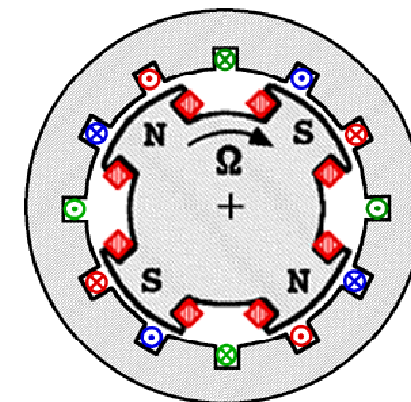
Machine synchrone

⌘ Constitution

☒ Le Rotor bobiné



Pole lisse



Pole saillant

Machine synchrone

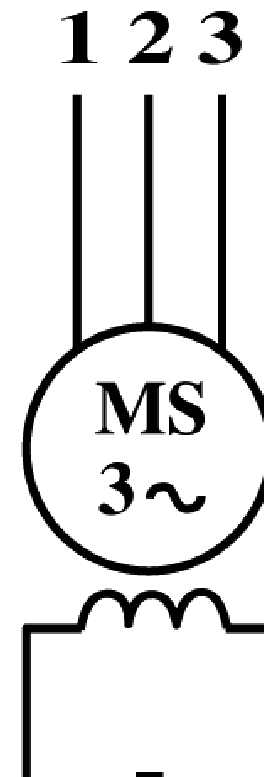
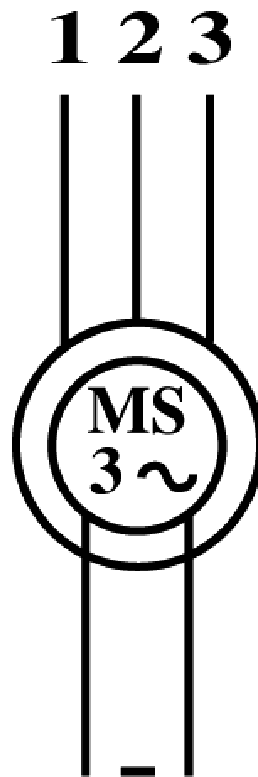
⌘ *Synchronisme*

Le champ tournant du stator accroche le champ inducteur solidaire du rotor.

Rem : Le rotor ne peut donc tourner qu'à la vitesse de synchronisme Ω_s

Machine synchrone

⌘ Symbole



Machine synchrone

⌘ *Trois modes de fonctionnement*

☑ *Moteur*

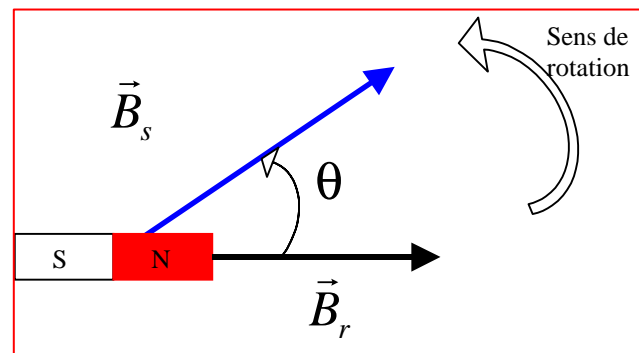
☑ *Génératrice couplée au réseau*

☑ *Génératrice non couplée au réseau*

Machine synchrone

⌘ *Moteur principe*

Le rotor, alimenté en courant continu, par un système de contacts glissants (bagues), crée un champ magnétique rotorique qui suit le champ tournant statorique avec un retard angulaire θ



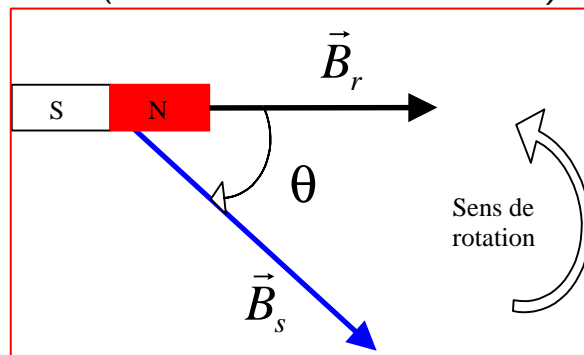
Rem : Le rotor ne peut donc tourner qu'à la vitesse de synchronisme Ω_s avec un retard angulaire qui dépend de la charge mécanique

Machine synchrone

⌘ *Génératrice couplée au réseau principe*

Le rotor, alimenté en courant continu, par un système de contacts glissants (bagues), crée un champ magnétique rotorique devant le champ tournant statorique avec un retard angulaire θ

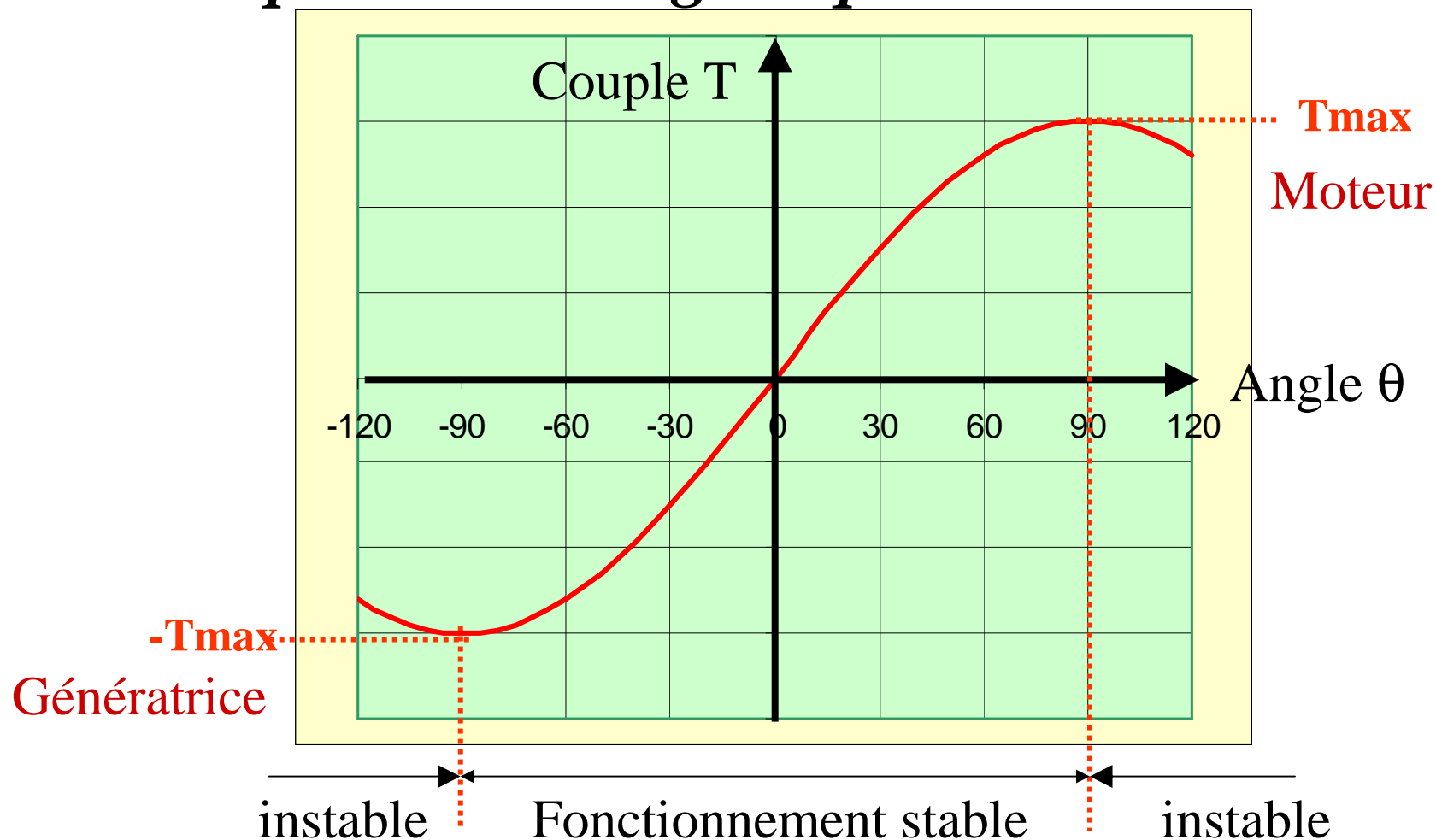
(Voir illustration tableau)



Rem : Le rotor ne peut donc tourner qu'à la vitesse de synchronisme Ω_s avec un retard angulaire qui dépend de la charge mécanique

Machine synchrone

⌘ Couple électromagnétique



Machine synchrone

⌘ *Génératrice isolée du réseau : théorie*

Le rotor, alimenté en courant continu est entraîné (par une turbine , une éolienne ...). Le champ tournant rotorique ainsi créé va induire des tensions dans les bobinages statoriques (loi de Faraday) et créer des courants si le stator est connecté à une charge

(l 'amplitude ainsi que la fréquence de la tension induite est liée à la vitesse de rotation)

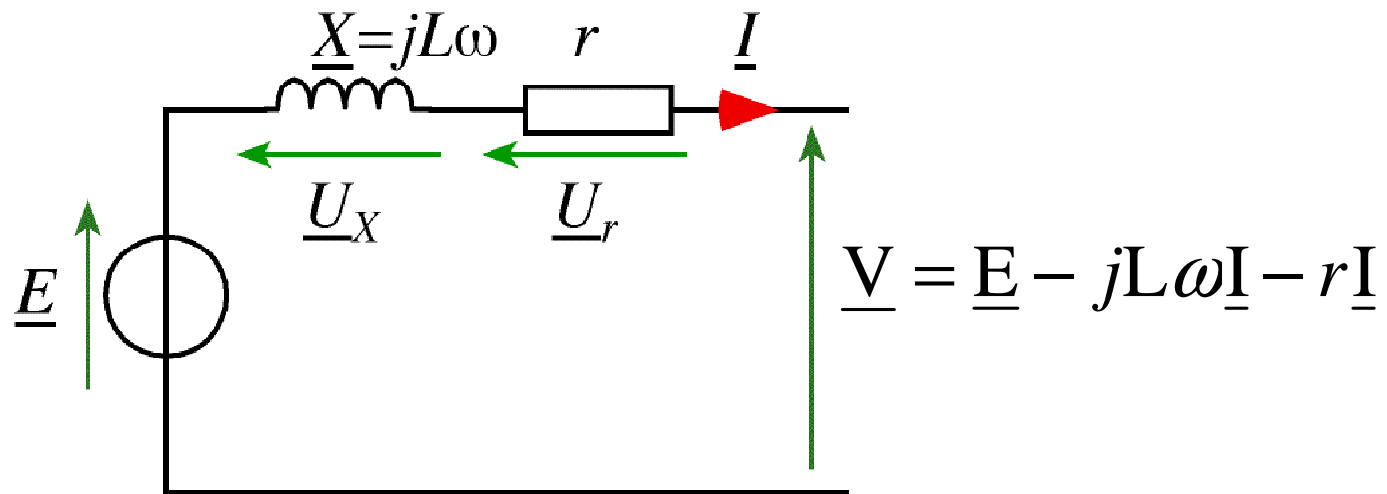
Rem : Voir exemple « alimentation d 'un site isolé »

Machine synchrone

⌘ Génératrice synchrone

☑ Mise en équation : diagramme de Behn Eschembourg

Modèle équivalent par phase



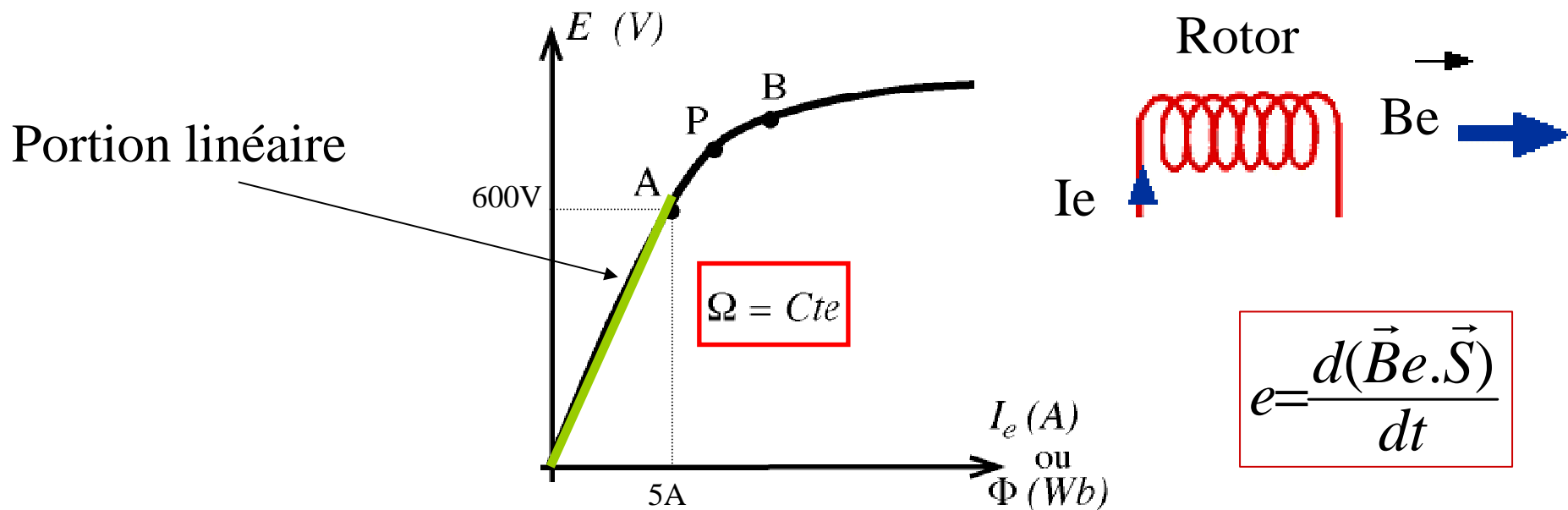
Rem : E valeur efficace de la tension induite statorique, r résistance statorique (par phase) et $L\omega$ réactance synchrone (par phase)

Machine synchrone

⌘ Génératrice synchrone

⌘ Détermination des paramètres : E

⌘ Caractéristique à vide d'une machine synchrone



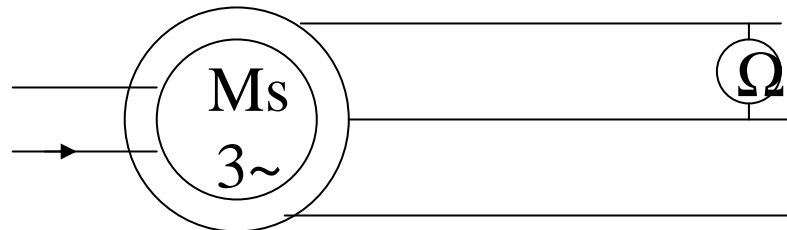
Rem : I_e représente le courant d'excitation rotorique et E la valeur efficace de la tension induite statorique, (à vitesse de rotation constante)

Machine synchrone

⌘ Génératrice synchrone (couplage étoile)

☑ **Détermination des paramètres** : r (résistance statorique par phase)

☒ Mesure de la résistance à chaud entre phases $\Rightarrow R$ (lorsque le moteur à tourné)



$$r=R/2$$

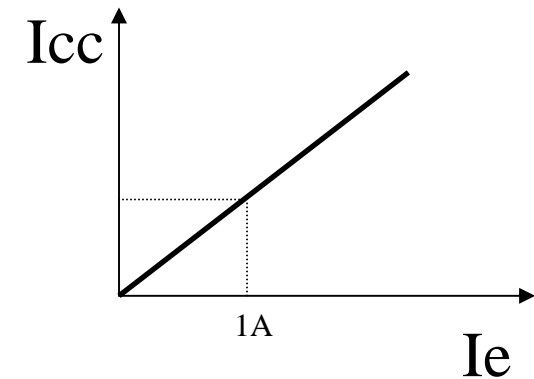
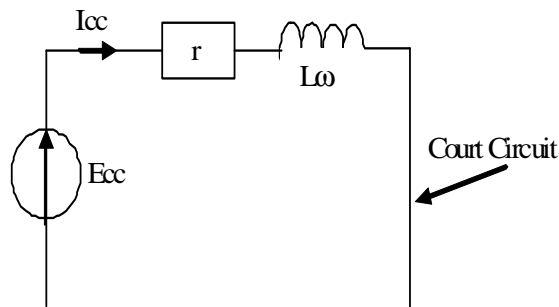
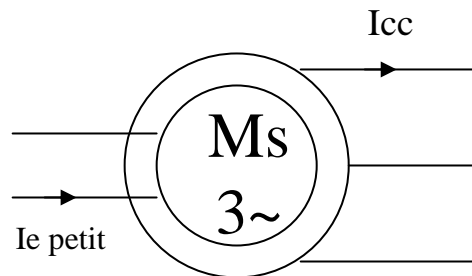
Rem : I_e représente le courant d'excitation rotorique et
 E la valeur efficace de la tension induite statorique,
(à vitesse de rotation constante)

Machine synchrone

⌘ Génératrice synchrone

☑ **Détermination des paramètres** : $L\omega$ (réactance statorique par phase)

☒ **Caractéristique en court circuit d'une machine synchrone** (le faible \Rightarrow E faible)



Démarche : $I_e \Rightarrow E_{cc}$
 $I_e \Rightarrow I_{cc}$

$$L\omega = \sqrt{-r^2 + \left(\frac{E_{cc}}{I_{cc}}\right)^2}$$

Machine synchrone

⌘ *Génératrice synchrone*

☑ *Intérêt de la modélisation :*

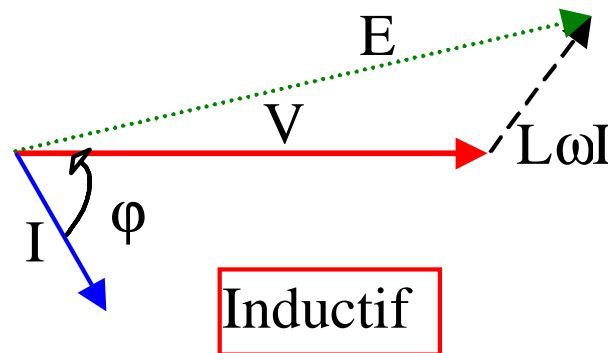
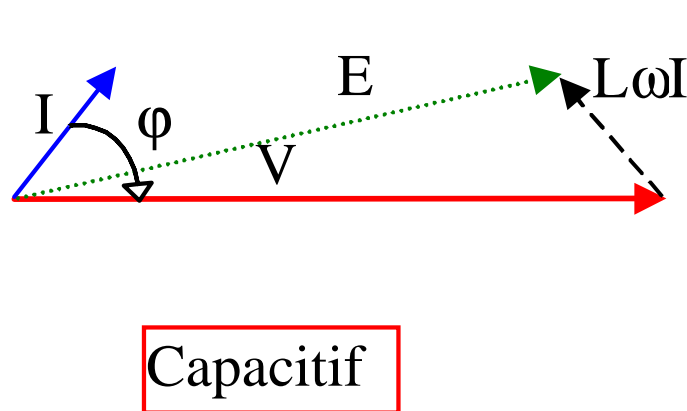
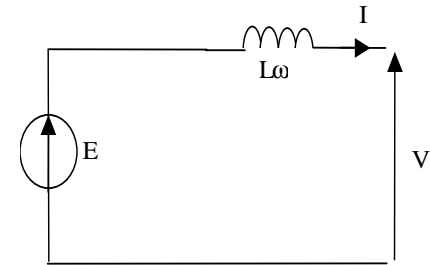
*=> Prévoir les tensions et les courants
de la génératrice en charge (voir Td)*

- Exercice d'application (alternateur sur charge résistive)*

Machine synchrone

⌘ Génératrice synchrone (synthèse)

Prenons le modèle simplifié ($r \ll L\omega$)



Générateur

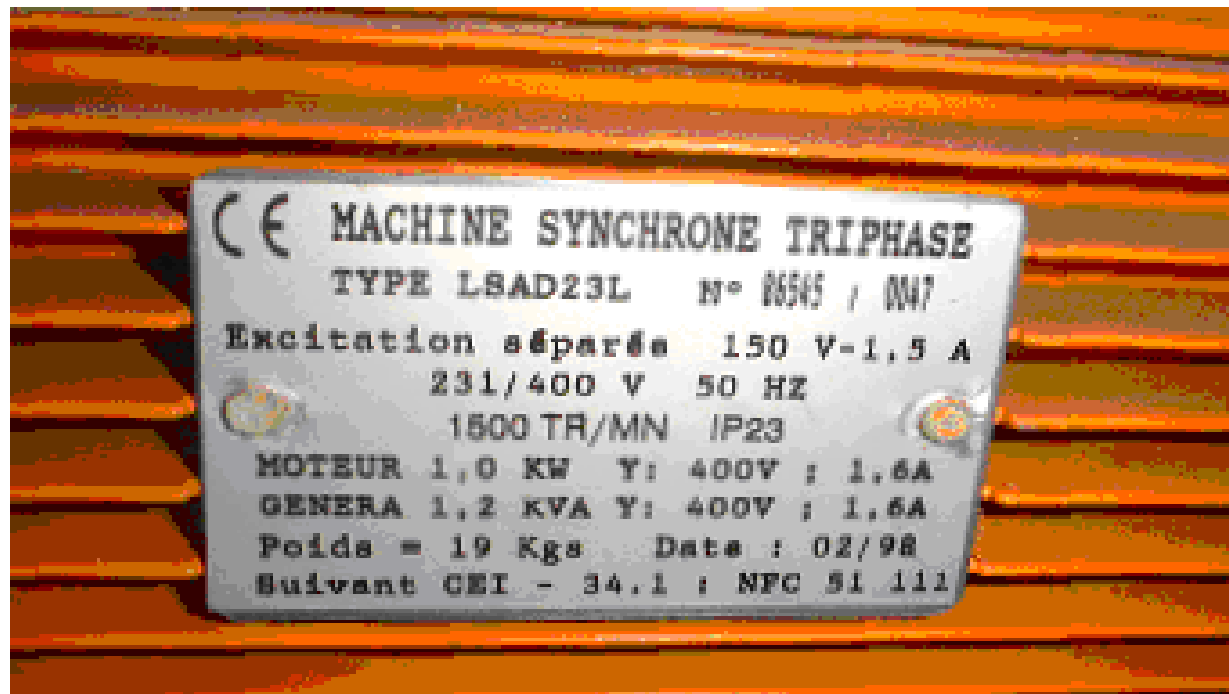
Machine synchrone

⌘ Avantage et inconvénients

- ⊞ L'inconvénient principal de la machine synchrone est que son démarrage n'est pas autonome. Elle est également plus coûteuse à réaliser que la plupart des machines asynchrones.
- ⊞ Ses principaux avantages sont de tourner à vitesse constante (pour les moteurs) et de pouvoir fournir des tensions triphasées équilibrées de fréquence stable (en alternateur connecté au réseau).
- ⊞ De plus, elle peut fournir du réactif (comme une capacité (moteur en compensateur synchrone))

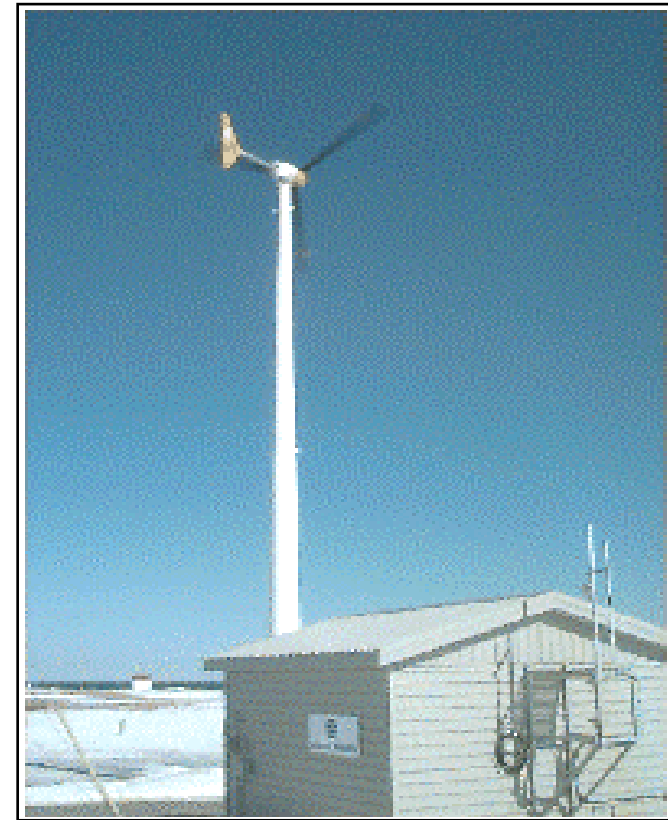
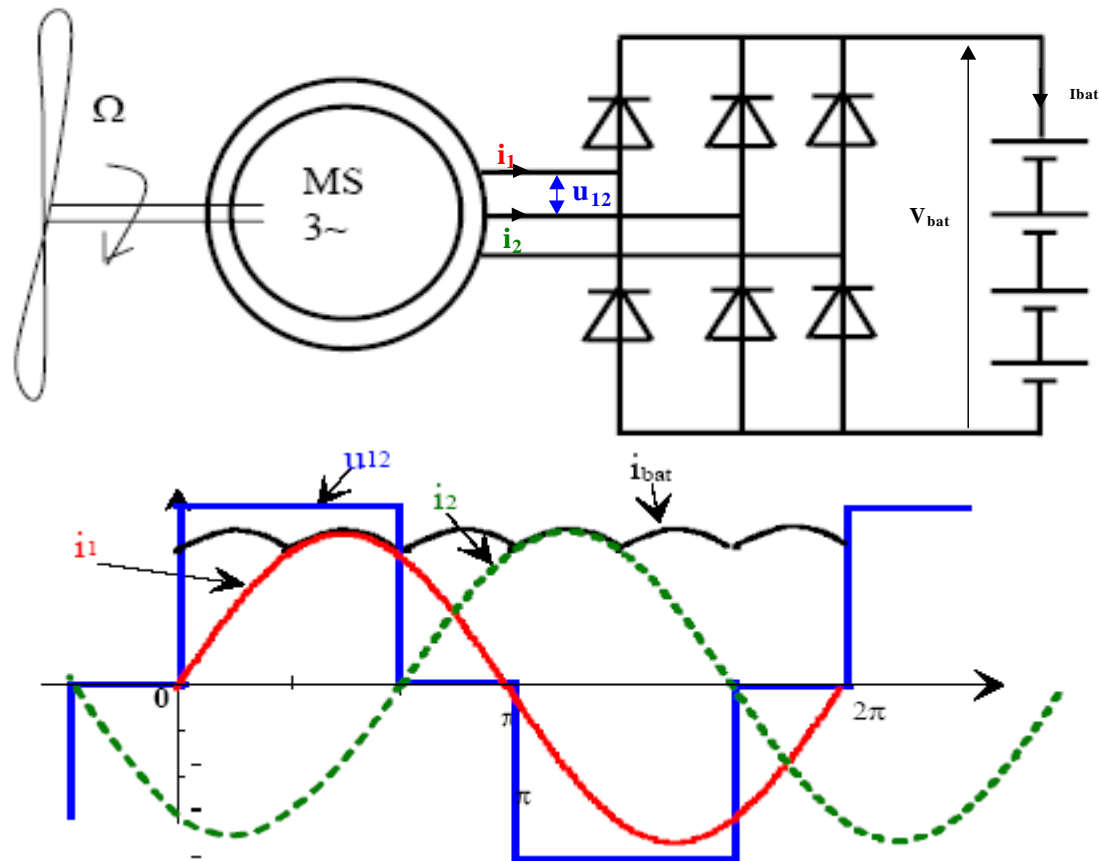
Machine synchrone

⌘ Plaque signalétique Machine synchrone



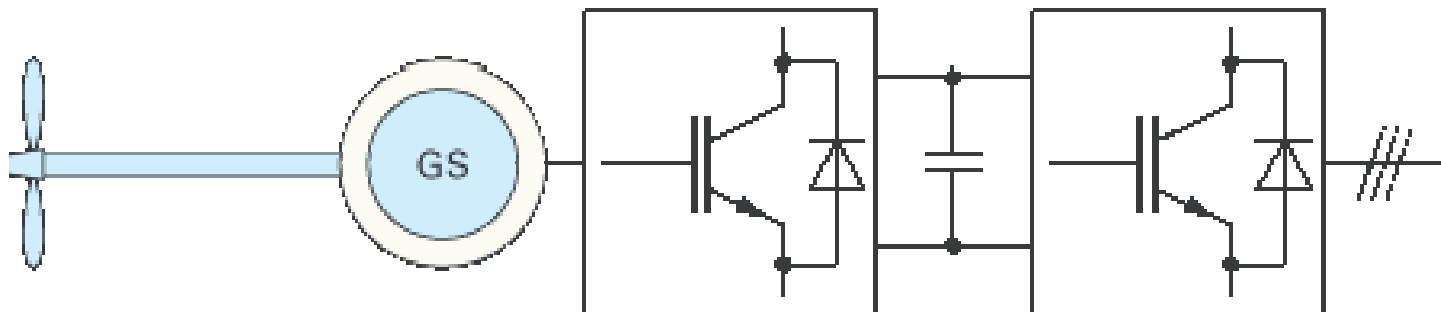
Machine synchrone

⌘ Domaines d'applications : Site isolé



Machine synchrone

⌘ Domaines d 'applications : couplée au réseau



Jeumont J48

- Diamètre rotor : 48m
- Vitesse nominale du vent = 13,5 m/s
- Vitesse de vent de coupure = 25 m/s
- Vitesse de vent de démarrage = 3 m/s
- Fréquence de rotation : 0-20tr/min

- Synchrone discoïde (aimants permanents)
- Puissance nominale : 750kW
- Fréquence de rotation : 1509 tr/min
- Tension nominale : 865V
- convertisseurs (redresseur de courant et onduleur)
- Régulation de puissance : variation de vitesse et orientation des pales