

Matière



Electrotechnique

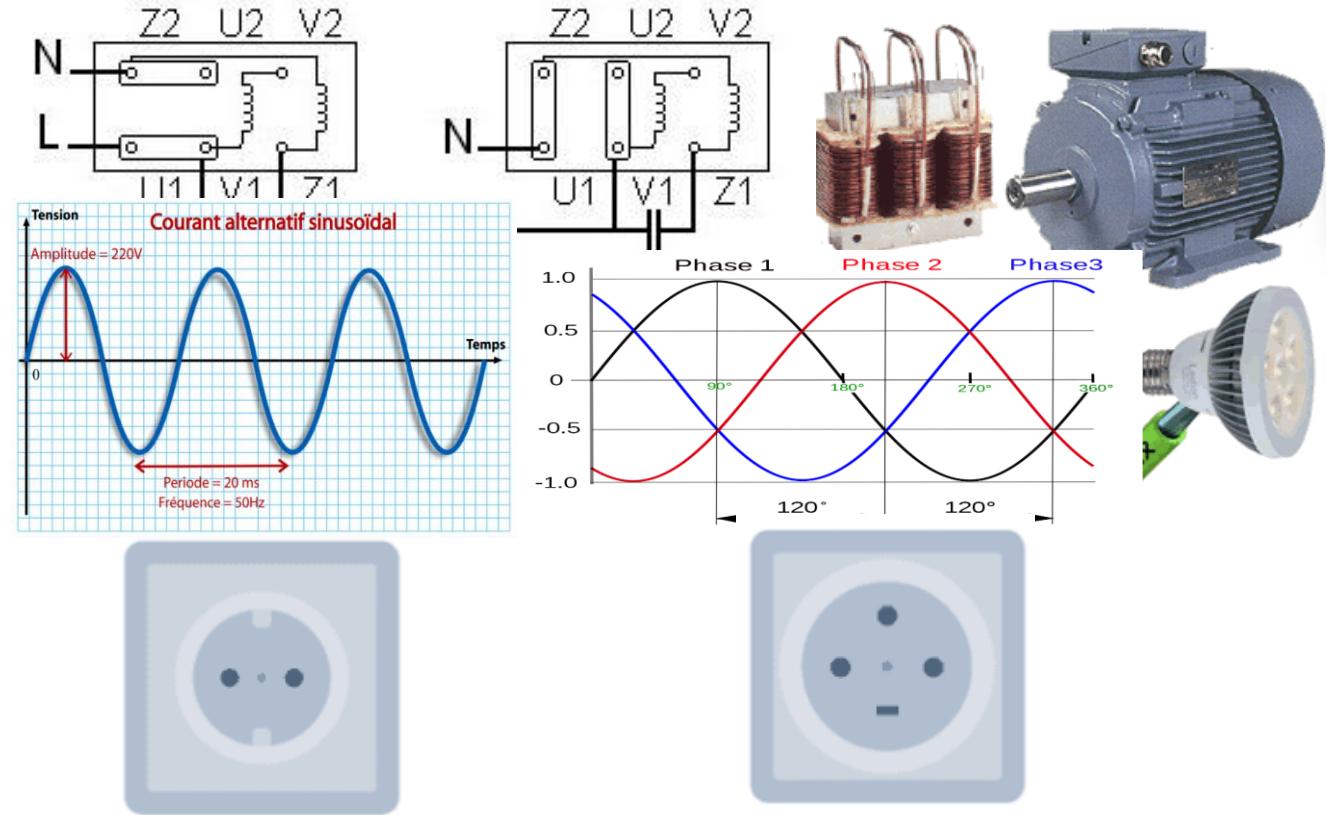
Animée par : M.COULIBALY



2022-2023

ELECTROTECHNIQUE

Pr. COULIBALY Moussa
HESTIM
moussa.coulibaly@hestim.ma



PLAN DU COURS

- Introduction, Généralités et rappels
- Systèmes monophasés
- Systèmes triphasés
- Machines électriques
 - Moteurs à courant continu
 - Machines synchrones, asynchrones
- Appareillages Electriques

QUELQUES PRÉCISIONS

MODE D'ÉVALUATION

- Devoir surveillé (50%)
- Implication et réalisation des TP (25%)
- Implication et réalisation du Projet (25%)

VOLUME HORAIRES (24H)

- Cours (06h)
- TD (06h)
- Projet (06h)
- TP (06h)

Ceci n'est qu'un guide pour vous aider à suivre et comprendre le cours. Il vous appartient de le compléter et de l'enrichir des différents éléments abordés en cours, en TDs et aux TP.

QUELQUES OBJECTIFS

- Définir et comprendre l'importance de l'électrotechnique
- Vocabulaire, définitions et généralités en électrotechnique
- Les grandeurs et les unités
- Les circuits monophasés et triphasés
- Les machines électriques électriques

QUELQUES MOTIVATIONS

L'électrotechnique est l'application de l'électricité dans le domaine industriel, de façon générale et particulièrement, la production, le transport, la transformation et l'utilisation de l'énergie électrique. C'est plus spécifiquement aux machines électriques, domaine « classique » de l'électrotechnique, que se consacre ce cours.

- Optimiser la production, le transport de l'électricité
- Alimentation des moteurs



ELECTROTECHNIQUE

Chapitre 1 : Introduction, Généralités et rappels

PLAN

Grandeurs physiques liées à l'électrotechnique

Exemples d'applications

GRANDEURS PHYSIQUES

DÉFINITION

Une grandeur physique est une propriété quantifiable de la matière, de l'espace ou d'un phénomène : elle est mesurable ou repérable.

Pour un état donné du système, la grandeur est constituée d'un ou plusieurs nombres et d'une unité. Une grandeur est qualifiée de **scalaire** quand elle est décrite par un seul nombre, de **vectorielle** si elle est définie par plusieurs nombres que l'on peut numérotter avec un seul indice (les composantes d'un vecteur), et de **tensorielle** quand elle est décrite par un ensemble de nombres avec plusieurs indices

GRANDEURS PHYSIQUES

SYMBOLES

Les symboles littéraux des grandeurs sont formés à partir de caractères latins ou grecs.

ÉQUATIONS AUX DIMENSIONS

La dimension caractérise la nature propre d'une grandeur physique. La dimension d'une grandeur G se note soit $\dim G$, soit par une majuscule entre crochets : $[G]$. Une équation aux dimensions exprime symboliquement les relations entre les différentes grandeurs. Elle peut servir à vérifier l'homogénéité des formules littérales, ce qui permet de détecter un certain nombre d'erreurs dans les calculs. Une formule est homogène si elle exprime l'égalité de deux grandeurs de même dimension.

Les différents termes d'une somme être de même dimension. La dimension d'un produit est le produit des dimensions. Il en est de même pour un quotient. Les variables des fonctions \exp , \ln et des trigonométriques sont sans dimension, tout comme leur image.

GRANDEURS PHYSIQUES

SYMBOLES

Nom	Minuscules	Majuscules
alpha	α	A
bêta	β	B
gamma	γ	Γ
delta	δ	Δ
epsilon	ε	E
dzêta	ζ	Z
êta	η	H
thêta	θ	Θ
iota	ι	I
kappa	κ	K
lambda	λ	Λ
mu	μ	M

nu	ν	N
xi	ξ	Ξ
omicron	\circ	O
pi	π	Π
rhô	ρ	P
sigma	σ	Σ
tau	τ	T
upsilon	υ	Υ
phi	φ	Φ
khi	χ	X
psi	ψ	Ψ
oméga	ω	Ω

GRANDEURS PHYSIQUES

DIMENSIONS FONDAMENTALES

La longueur L ;

La masse M ;

Le temps T ;

L'intensité I ;

La température Q ;

La quantité de matière N ;

L'intensité lumineuse J.

La dimension de toute grandeur physique s'écrit sous la forme suivante :

$$[G] = L^a M^b T^c I^d Q^e N^f J^g$$

où a, b, c, d, e, f et g sont des exposants rationnels

Nous nous limitons ici aux dimensions des grandeurs rencontrées en électrotechnique

GRANDEURS PHYSIQUES

DIMENSIONS DES GRANDEURS UTILISÉES EN ÉLECTROTECHNIQUE

Grandeur	Dimension
Intensité	I
Tension, force électromotrice	$L^2MT^{-3}I^{-1}$
Charge	TI
Charge volumique	$L^{-3}TI$
Densité de courant	$L^{-2}I$
Résistance, réactance, impédance	$L^2MT^{-3}T^2$
Conductance, susceptance, admittance	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$
Inductance	$L^2MT^{-2}T^2$
Capacité	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$
Résistivité	$L^3MT^{-3}T^2$
Champ électrique	$LMT^{-3}T^1$
Déplacement électrique	$L^{-2}TI$
Permittivité diélectrique	$L^{-3}M^{-1}T^4I^2$
Champ magnétique	$MT^{-2}I^{-1}$
Excitation magnétique	$L^{-1}I$
Perméabilité magnétique	$LMT^{-2}T^2$

Flux magnétique	$L^2MT^{-2}T^1$
Tension magnétique, force magnétomotrice	I
Réductance	$L^{-2}M^{-1}T^2I^2$
Fréquence	T^{-1}
Longueur, distance	L
Aire	L^2
Volume	L^3
Temps	T
Vitesse	LT^{-1}
Vitesse ou fréquence de rotation	T^{-1}
Masse	M
Force	LMT^{-2}
Moment d'un couple	L^2MT^{-2}
Moment d'inertie	L^2M
Énergie, travail	L^2MT^{-2}
Puissance	L^2MT^{-3}

GRANDEURS PHYSIQUES

UNITÉS DE BASE

Grandeur	Unité	Symbol	Définition	Grandeur	Unité	Symbol	Définition
Longueur	mètre	m	Longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant $1/299\ 792\ 458$ de seconde.	Quantité de matière	mole	mol	Quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12.
Masse	kilogramme	kg	Masse du prototype en platine iridié qui a été sanctionné par la Conférence générale des poids et mesures, tenue à Paris en 1889 et qui est déposé au Bureau international des poids et mesures.	Intensité lumineuse	candela	cd	La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 watt par stéradian.
Temps	seconde	s	Durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césum 133.				
Intensité de courant électrique	ampère	A	Intensité d'un courant électrique constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force de 2×10^{-7} newton par mètre de longueur.				
Température	kelvin	K	Le kelvin, unité de température thermodynamique, est la fraction 1/273,16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau.				

Exprimer en unités de base ces unités (voir TD) :

Tension électrique

Puissance électrique

Fréquence

Force

GRANDEURS PHYSIQUES

MULTIPLES DES UNITÉS

Facteur multiplicatif	Préfixe à placer devant le nom de l'unité	Symbole à placer devant celui de l'unité
10^{24}	yotta	Y
10^{21}	zetta	Z
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	téra	T
10^9	giga	G
10^6	méga	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10	déca	da

SOUS-MULTIPLES DES UNITÉS

Facteur multiplicatif	Préfixe à placer devant le nom de l'unité	Symbole à placer devant celui de l'unité
10^{-1}	déci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	m
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a
10^{-21}	zepto	z
10^{-24}	yocto	y

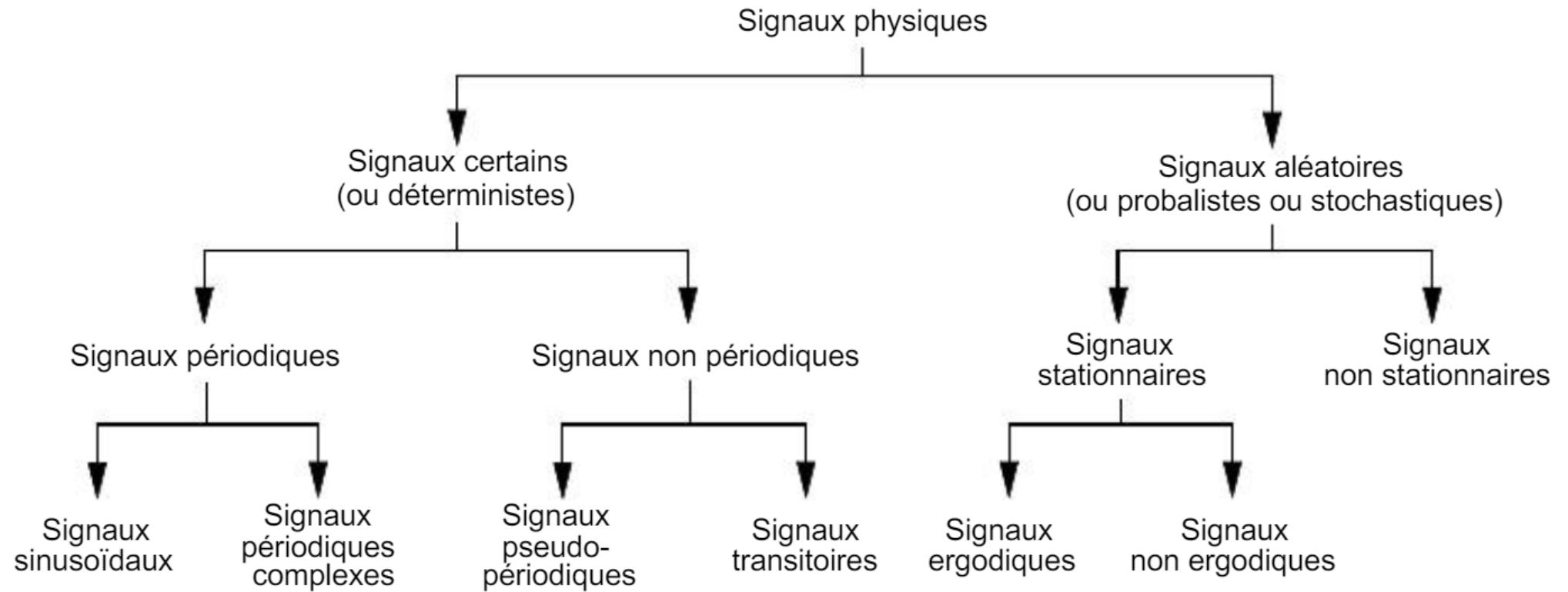
GRANDEURS PHYSIQUES

MULTIPLES DES UNITÉS

Grandeur	Dénomination	Symbole	Valeur en unités SI
Volume	litre	L ou l	$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3$
Temps	minute	min	$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$
	heure	h	$1 \text{ h} = 60 \text{ min}$
	jour	d	$1 \text{ d} = 24 \text{ h}$
Angle plan	degré	$^\circ$	$1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad}$
	minute	'	$1' = \left(\frac{1}{60}\right)^\circ$
	seconde	"	$1'' = \left(\frac{1}{60}\right)'$
Énergie	watt-heure	W h	$1 \text{ W h} = 3 \text{ 600 J}$

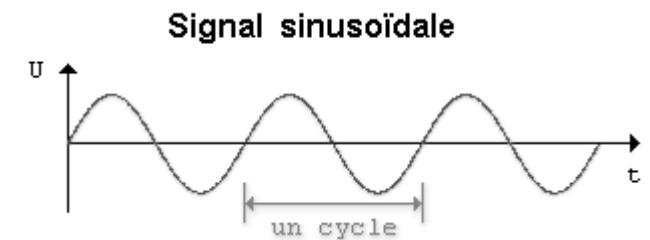
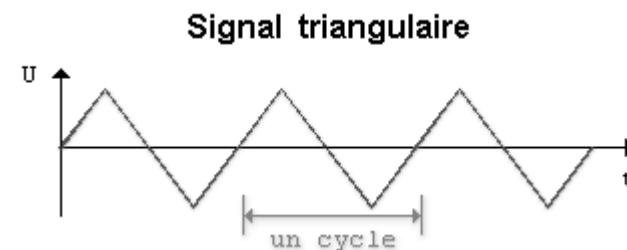
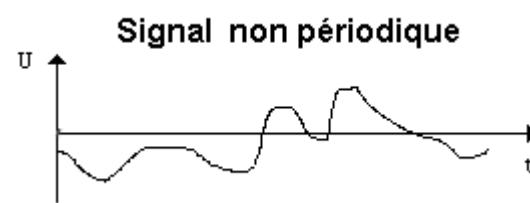
SIGNAUX

CLASSIFICATION DES SIGNAUX OBSERVÉS DANS LE DOMAINE TEMPOREL

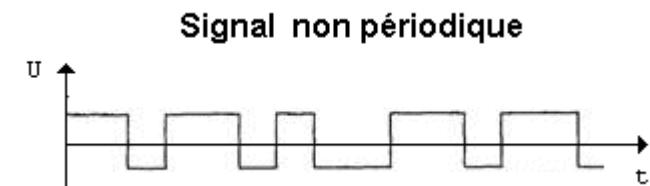
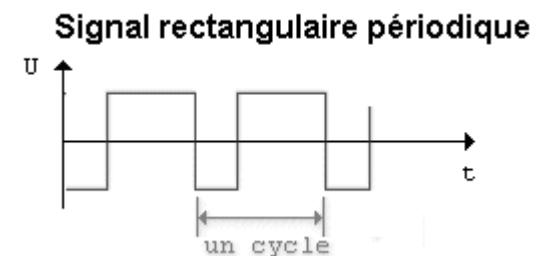
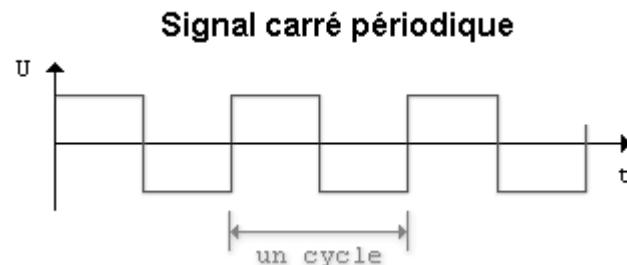


SIGNAUX

SIGNAUX ANALOGIQUES



SIGNAUX NUMÉRIQUES



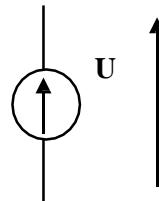
Allure, amplitude, période (fréquence)

SOURCES

DÉFINITION

Une source d'énergie électrique se définit comme un dipôle qui impose une grandeur électrique à ses bornes. Ainsi, il existe deux grands types de sources :

SOURCE DE TENSION

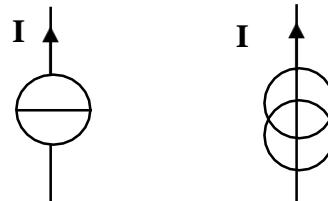


EN ALTERNATIVE

SOURCE DE TENSION OU COURANT



SOURCE DE COURANT



EN CONTINUE

SOURCE DE TENSION OU COURANT



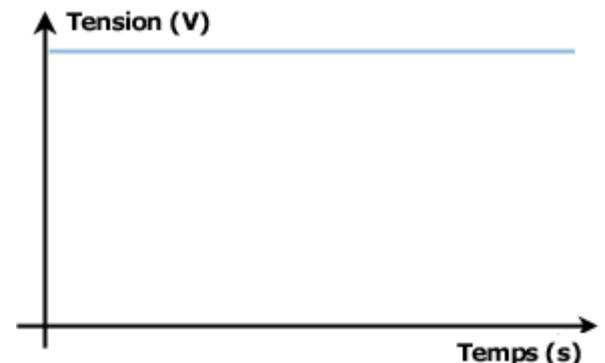
RÉGIME CONTINU (DC OU =)

DÉFINITION

Lorsqu'on utilise des générateurs de tension ou de courant continu comme les piles, accumulateurs, batteries, génératrices à CC, dynamos.



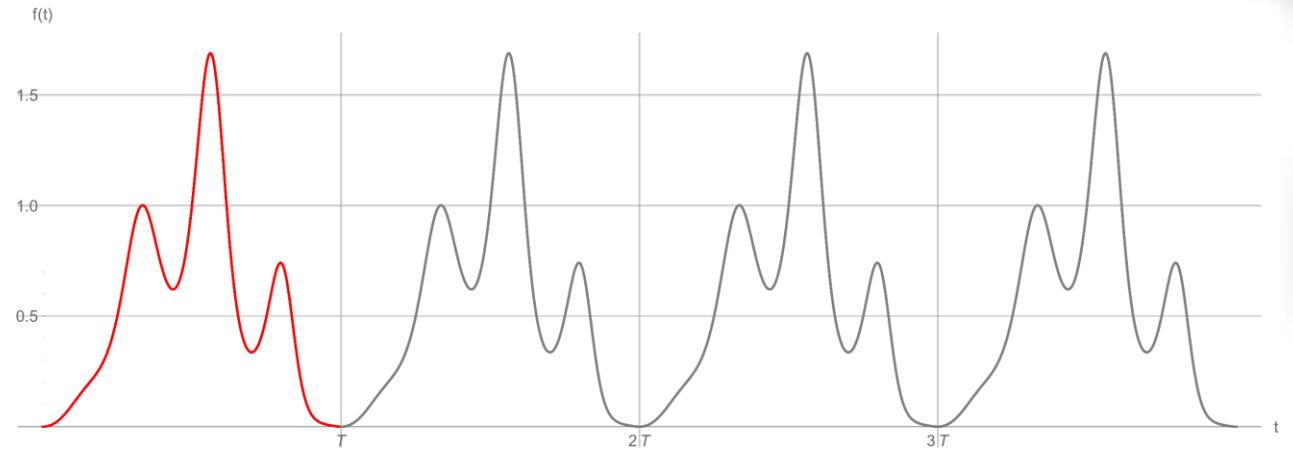
En régime permanent continu, les tensions et courants ne dépendent pas du temps, elles sont caractérisées par une seule valeur qui représente la valeur moyenne, maximale, minimale, efficace...



SIGNAL PÉRIODIQUE QUELCONQUE

DÉFINITION

On parle de grandeurs périodiques dès lors que les courants i et tensions v présentent une période temporelle, T , telle que : $i(t) = i(t+T)$ ou $v(t) = v(t+T)$.



$f = \frac{1}{T}$ est la fréquence de répétition de la grandeur périodique. f est en Hertz (Hz) et T en secondes (s).

La pulsation w est liée à la fréquence f et à la période T par les formules : $w = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

VALEUR MOYENNE

Pour un signal périodique s de période T , on note $\langle s \rangle$ sa valeur moyenne. Sa formule est donnée par :

$$\langle s \rangle \triangleq \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} s(t) dt \quad \langle s \rangle \text{ représente la composante continue de } s(t).$$

SIGNAL PÉRIODIQUE QUELCONQUE

VALEUR EFFICACE

La valeur efficace, dite aussi valeur RMS d'un signal périodique ou d'un signal aléatoire ergodique, est la racine carrée de la moyenne du carré de cette grandeur, sur un intervalle de temps donné ou la racine carrée du moment d'ordre deux du signal.

$$S_{eff} \triangleq \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} s^2(t) dt}$$

- C'est la recherche de la puissance par effet Joule due à un courant alternatif qui mène à la notion de valeur efficace.
- En réalité la valeur efficace d'un courant est celle qui produit la même puissance consommée par effet Joule qu'un courant continu de même valeur.
- En bref, la formulation des puissances sera la même en alternatif et en continu sous réserve d'utiliser la valeur efficace (vraie) dans tous les cas.
- La mesure des courants ou tensions efficaces se fait par les appareils dits « RMS »
si $i(t) = i_1(t) + i_2(t)$ alors $\langle i \rangle = \langle i_1 \rangle + \langle i_2 \rangle$
Mais $I \neq I_1 + I_2$



EXERCICES D'APPLICATIONS

VEUILLEZ CONSULTER LE SUPPORT DE TD



ELECTROTECHNIQUE

Chapitre 2 : Systèmes monophasés

PLAN

Représentation des signaux sinusoïdaux

Dipôles linéaires passifs

Puissances

Dipôles actifs et réactifs et théorème de Boucherot

OBJECTIFS

Le régime sinusoïdal permanent a une grande importance en électrotechnique. C'est sous cette forme que pratiquement toute l'énergie électrique est générée et transportée et qu'une bonne partie de cette énergie est utilisée. Par ailleurs, les signaux périodiques non sinusoïdaux peuvent être décomposés en séries de Fourier qui font apparaître des composantes sinusoïdales. Au terme de ce cours, vous saurez entre autres :

- Les caractéristiques des signaux de ce régime
- Puissance active et réactive des dipôles
- Les différentes représentations des signaux sinusoïdaux
- Le théorème de Boucherot

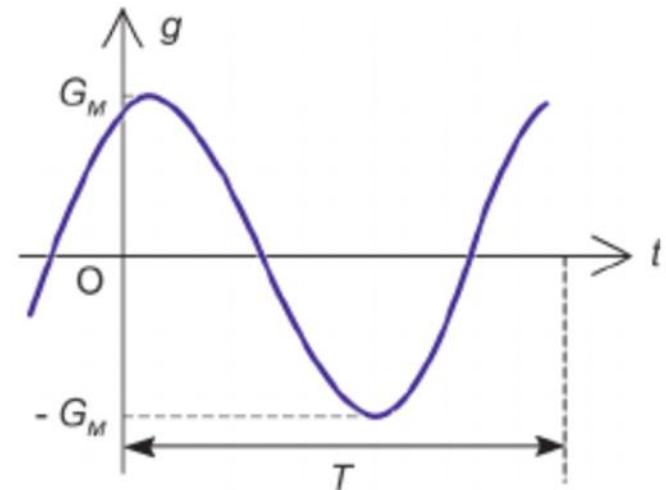
REPRÉSENTATION DES SIGNAUX SINUSOIDAUX

VALEUR INSTANTANÉE

La valeur instantanée g d'une grandeur sinusoïdale s'écrit :

$$g = G_M \cos(\omega t + \varphi)$$

La grandeur considérée peut être de diverse nature (courant, tension, flux...). G_M est l'amplitude de la grandeur, son unité est celle de g . ω est la pulsation, elle s'exprime en radians par seconde (rad s^{-1}). $\omega t + \varphi$ est la phase, et φ la phase à l'origine des temps, elle s'exprime en radians (rad). La fonction cosinus peut être remplacée par la fonction sinus, seule la phase à l'origine des temps diffère.



REPRÉSENTATION DES SIGNAUX SINUSOÏDAUX

VALEUR MOYENNE

La valeur instantanée g d'une grandeur sinusoïdale s'écrit :

$$\langle s \rangle \triangleq \int_{t_0}^{t_0+T} s(t) dt = 0$$

VALEUR EFFICACE

La valeur efficace G de la grandeur sinusoïdale s'exprime à partir de l'amplitude G_M :

$$G_{eff} = G \triangleq \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} g^2(t) dt} = \frac{G_M}{\sqrt{2}}$$

La valeur instantanée g peut être réinscrite :

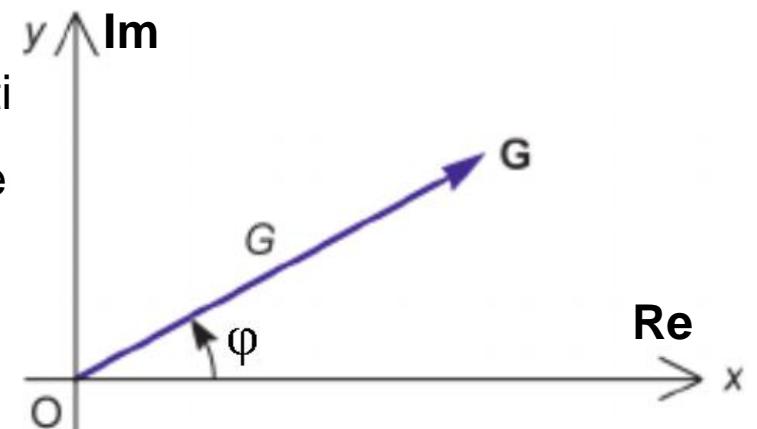
$$g = G\sqrt{2} \cos(\omega t + \varphi)$$

REPRÉSENTATION DES SIGNAUX SINUSOIDAUX

REPRÉSENTATION DE FRESNEL

Après avoir muni le plan d'un repère orthonormé Oxy, on associe à la fonction sinusoïdale g le vecteur de Fresnel \mathbf{G} de norme G et faisant un angle φ avec l'axe des abscisses.

La représentation de Fresnel ou diagramme de Fresnel est un outil graphique permettant d'ajouter, de soustraire, de dériver et d'intégrer des fonctions sinusoïdales de **même pulsation (fréquence)**.



REPRÉSENTATION COMPLEXE (NOTATION D'EULER)

On associe à la fonction sinusoïdale g le nombre complexe \underline{G} de module G et d'argument φ

$$\underline{G} = G e^{j\varphi}$$

L'angle est en radian



REPRÉSENTATION DES SIGNAUX SINUSOÏDAUX

DÉPHASAGE

La phase à l'origine est une notion liée aux choix du type de fonction sinusoïdale (cosinus ou sinus) et de l'origine des temps. Ces choix sont arbitraires pour la première fonction sinusoïdale rencontrée, mais ils doivent être conservés pour les autres fonctions sinusoïdales utilisées ensuite. Dans la pratique, il est commode de définir un angle ne nécessitant pas de préciser ces choix : c'est le déphasage.

Lorsque deux fonctions sinusoïdales sont de la forme :

$$a = A \cos(\omega t) \text{ et } b = B \cos(\omega t + \phi)$$

On dit que ϕ est le déphasage de b par rapport à a.

REPRÉSENTATION DES SIGNAUX SINUSOIDAUX

DÉPHASAGE

Si les deux fonctions possèdent une phase à l'origine :

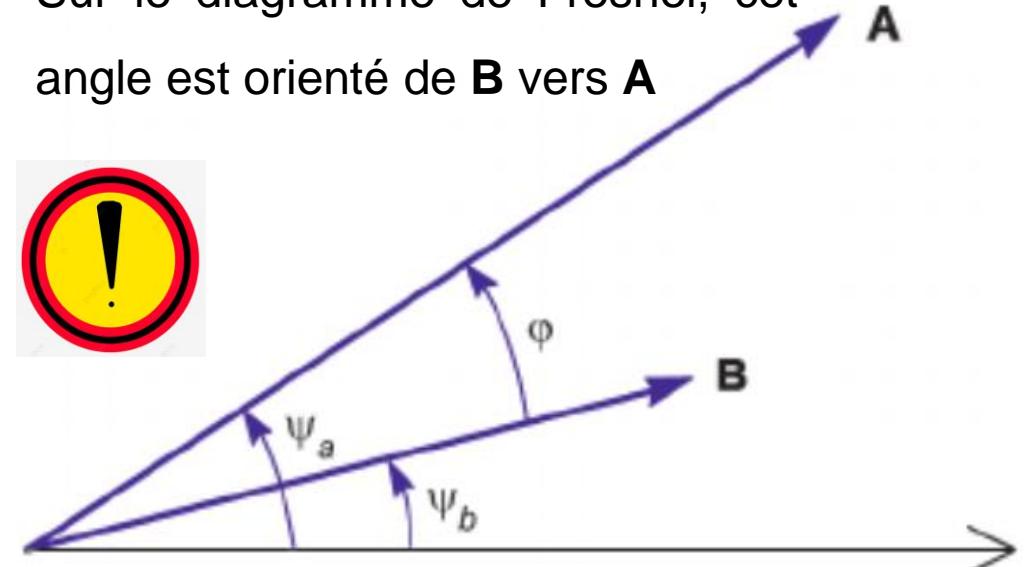
Lorsque deux fonctions sinusoïdales sont de la forme :

$$a = A \cos(\omega t + \Psi_a) \text{ et } b = B \cos(\omega t + \Psi_b)$$

le déphasage de b par rapport à a est égal à la différence entre la phase à l'origine de a et la phase à l'origine de b , appelée plus simplement différence de phase entre a et b :

$$\varphi = \Psi_a - \Psi_b$$

Sur le diagramme de Fresnel, cet angle est orienté de B vers A



Avec les grandeurs complexes, le déphasage de b par rapport à a est la différence entre l'argument de \underline{A} et l'argument de \underline{B} :

$$\varphi = \text{Arg}(\underline{A}) - \text{Arg}(\underline{B})$$

DIPÔLES LINÉAIRES PASSIFS

IMPÉDANCE ET ADMITTANCE

Pour un dipôle linéaire passif, la relation entre la grandeur complexe \underline{U} associée à la tension et la grandeur complexe \underline{I} associée au courant est linéaire. Si le courant et la tension sont orientés en convention récepteur, cette formule s'écrit : $\underline{U} =$

\underline{Z} est l'impédance du dipôle. Elle s'exprime en ohms (Ω). Son inverse Y est appelé admittance du dipôle et s'exprime en siemens (S) : $\underline{Y} =$

La relation entre courant et tension peut ainsi se mettre sous la forme : $\underline{I} =$

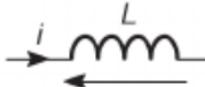
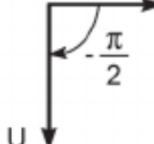
L'impédance et l'admittance sont des nombres complexes qui peuvent être mis sous forme algébrique ou sous forme trigonométrique :

$$\underline{Z} = R + jX = |\underline{Z}| e^{j\varphi}$$

$$\underline{Y} = G + jB = |\underline{Y}| e^{-j\varphi}$$

DIPÔLES LINÉAIRES PASSIFS

DIPÔLES LINÉAIRES PASSIFS ÉLÉMENTAIRES

	Résistance	Bobine	Condensateur
Symbol			
Relation entre tension et courant	$u = Ri$	$u = L \frac{di}{dt}$	$i = C \frac{du}{dt}$
Relation entre grandeurs complexes	$\underline{U} = R \underline{I}$	$\underline{U} = jL\omega \underline{I}$	$\underline{U} = \frac{\underline{I}}{jC\omega}$
Impédance	$\underline{Z} = R$	$\underline{Z} = jL\omega$	$\underline{Z} = \frac{1}{jC\omega}$
Relation entre valeurs efficaces	$U = RI$	$U = L\omega I$	$U = \frac{1}{C\omega} I$
Déphasage du courant par rapport à la tension	$\varphi = 0$	$\varphi = +\frac{\pi}{2}$	$\varphi = -\frac{\pi}{2}$
Représentation de Fresnel			

DIPÔLES LINÉAIRES PASSIFS

ASSOCIATION EN SÉRIE

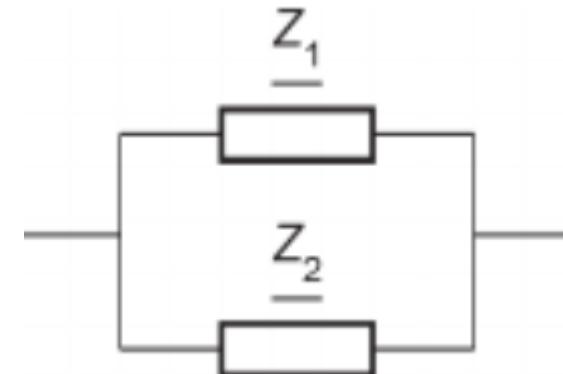
Lorsque N dipôles sont en série, leurs impédances s'ajoutent :



$$\underline{Z_{eq}} = \sum_{k=1}^N \underline{Z_k}$$

ASSOCIATION EN PARALLÈLE (OU DÉRIVATION)

Lorsque N dipôles sont associés en parallèle, leurs admittances s'ajoutent :



$$\underline{Y_{eq}} = \sum_{k=1}^N \underline{Y_k}$$

PUISANCES

PIUSSANCE INSTANTANÉE

La puissance instantanée p reçue par un dipôle est toujours le produit de la tension instantanée u et de l'intensité instantanée i , l'orientation étant choisie en convention récepteur :

Dans le cas du régime sinusoïdal permanent,
la tension et l'intensité du courant s'écrivent :

$$u = U\sqrt{2} \cos \omega t$$

$$i = I\sqrt{2} \cos(\omega t - \varphi)$$

La puissance instantanée est alors donnée par la formule : $p = UI \cos \varphi + UI \cos(2\omega t - \varphi)$

Le premier terme, constant, est la puissance moyenne P et le second terme, fonction sinusoïdale de fréquence double de celle de la tension et du courant, est la puissance fluctuante.

PUISANCES

PIUSSANCE ACTIVE

Dans le cas du régime sinusoïdal permanent, la puissance moyenne P est aussi appelée puissance active. Elle s'exprime en fonction de la tension efficace U, de l'intensité efficace I et du déphasage φ du courant par rapport à la tension :

$$P = UI \cos \varphi$$

L'unité de puissance active est le watt (W).

Seule la puissance active correspond à une véritable puissance au sens général du terme en physique.

PIUSSANCE RÉACTIVE

La puissance réactive Q est définie par :

$$Q = UI \sin \varphi$$

L'unité de puissance réactive est le volt-ampère réactif (VAR).

PIUSSANCE APPARENTE

La puissance apparente S est définie par :

$$S = UI$$

L'unité de puissance apparente est le volt-ampère (VA).

La puissance apparente peut s'exprimer en fonction de la puissance active et de la puissance réactive :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

PUISANCES

PIUSSANCE COMPLEXE

La puissance complexe S est définie par :

$$\underline{S} = \underline{P} + j\underline{Q}$$

La puissance active est donc la partie réelle de la puissance complexe, la puissance réactive, sa partie imaginaire et la puissance apparente, son module :

$$P = \text{Re } \underline{S} \quad Q = \text{Im } \underline{S} \quad S = |\underline{S}|$$

La puissance complexe peut s'écrire comme le produit de la grandeur complexe de la tension et du conjugué de la grandeur complexe du courant : $\underline{S} = \underline{U} \underline{I}^*$

En remplaçant les grandeurs complexes par leurs définitions, la puissance complexe peut s'exprimer en fonction de la tension efficace U , de l'intensité efficace I et du déphasage φ du courant par rapport à la tension :

$$\underline{S} = U I e^{j\varphi}$$

PUISANCES

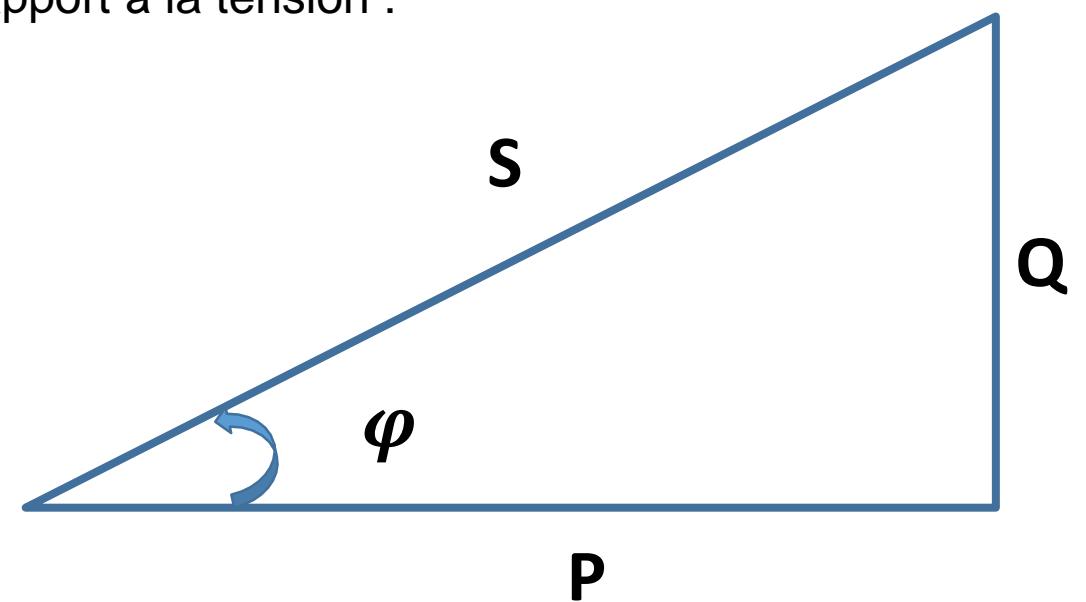
FACTEUR DE PUISSANCE

De façon générale, le facteur de puissance λ est défini par :
$$\lambda = \frac{P}{S}$$

Dans le cas du régime sinusoïdal permanent, le facteur de puissance λ est le cosinus du déphasage φ du courant par rapport à la tension :

$$\lambda = \cos \varphi$$

TRIANGLE DES PUISSANCES :



DIPÔLES ACTIFS ET RÉACTIFS ET THÉORÈME DE BOUCHEROT

ENONCÉ

Dans un circuit en régime quelconque la puissance électrique se conserve.

En régime sinusoïdal, les puissances active, réactive et complexe se conservent.

Les puissances apparentes ne sont pas conservées car les valeurs efficaces ne sont pas additives.

La puissance complexe totale consommée par un réseau est égale à la somme des puissances complexes des N éléments constituant ce réseau :

$$\underline{S} = \sum_{k=1}^N \underline{S}_k$$

$$P = \sum_{k=1}^N P_k$$

$$Q = \sum_{k=1}^N Q_k$$

EXERCICES D'APPLICATIONS

VEUILLEZ CONSULTER LE SUPPORT DE TD



ELECTROTECHNIQUE

Chapitre 3 : Systèmes Triphasés

PLAN

Systèmes Triphasés

Récepteurs Monophasés et Récepteur Triphasés

Couplage Etoile / Couplage Triangle

Puissances Electriques en régime triphasé équilibré

Exercices d'application

OBJECTIFS

Les circuits triphasés ont une grande importance en électrotechnique. Le principe des moteurs et des générateurs triphasés est plus simple que celui des machines monophasées et leurs performances sont meilleures. Le transport de l'énergie est également plus économique. Au terme de ce cours, vous saurez entre autres :

- Les caractéristiques des signaux de ce régime
- Puissance active et réactive des dipôles
- Les différentes représentations des signaux sinusoïdaux

SYSTÈMES TRIPHASÉS

DÉFINITION

Un système triphasé équilibré est un ensemble de trois grandeurs sinusoïdales de même nature, de même fréquence, de même amplitude et déphasées entre elles de $\frac{2\pi}{3}$.

Suivant le sens du déphasage, le système est direct ou inverse.

Un système inverse s'écrit :

Un système direct s'écrit :

$$g_1 = G_M \cos(\omega t)$$

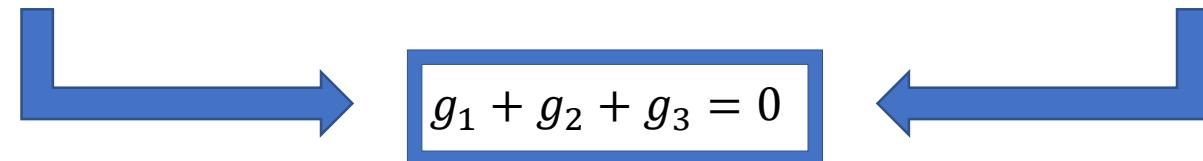
$$g_2 = G_M \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

$$g_3 = G_M \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) = G_M \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$g_1 = G_M \cos(\omega t)$$

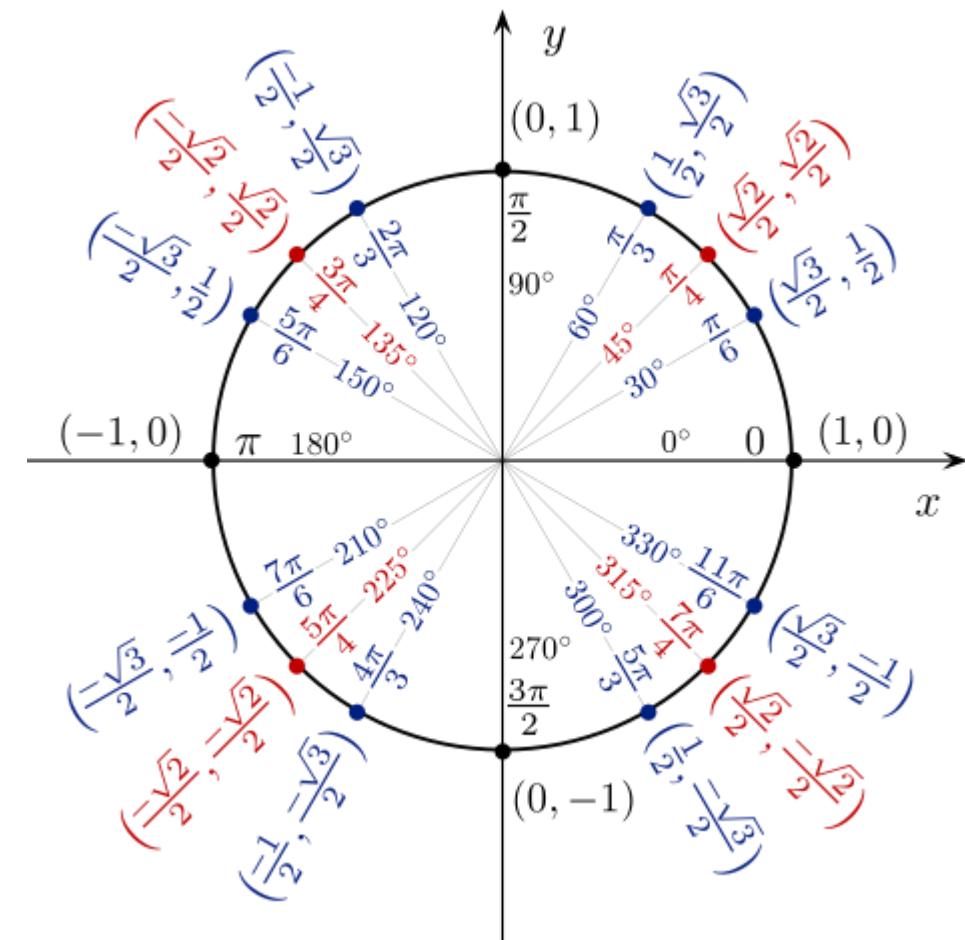
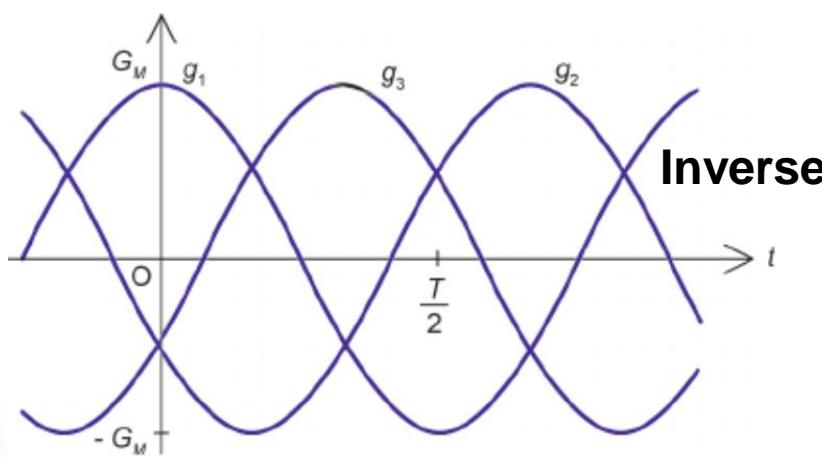
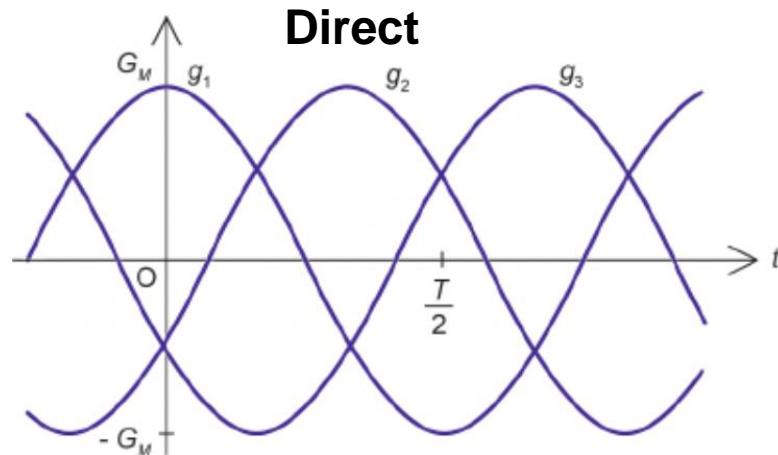
$$g_2 = G_M \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$

$$g_3 = G_M \cos\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right) = G_M \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$



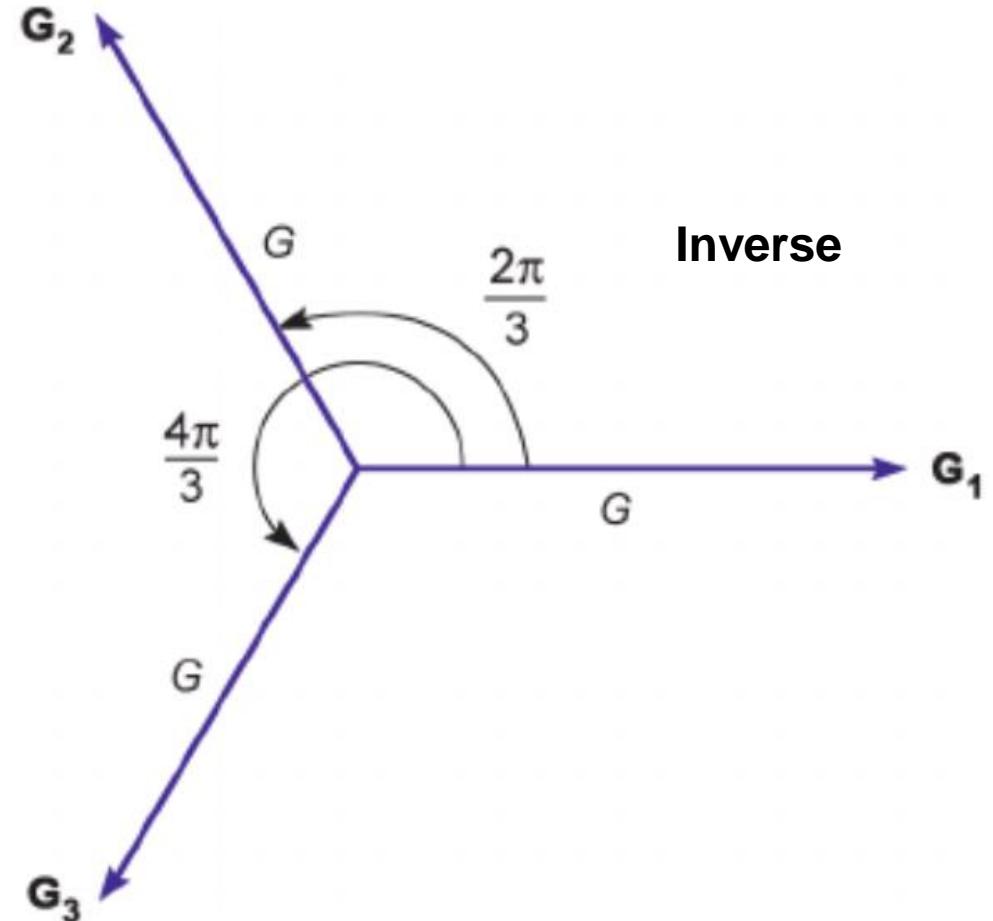
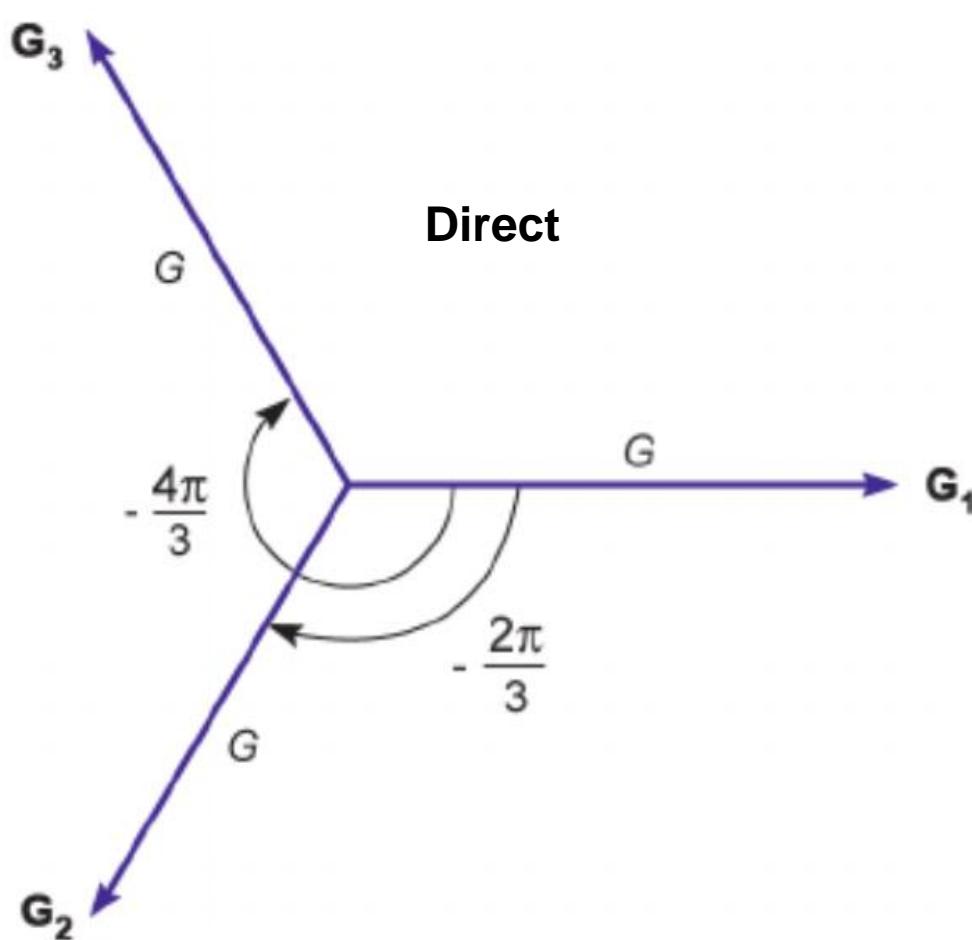
SYSTÈMES TRIPHASÉS

COURBES



SYSTÈMES TRIPHASÉS

REPRÉSENTATION DE FRESNEL



SYSTÈMES TRIPHASÉS

REPRÉSENTATION COMPLEXE

Direct

$$\underline{G_1} = G$$

$$\underline{G_2} = G e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\underline{G_3} = G e^{-j\frac{4\pi}{3}}$$

$$\underline{G_1} = G$$

$$\underline{G_2} = a^2 G$$

$$\underline{G_3} = a G$$

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = e^{-j\frac{4\pi}{3}}$$

$$a^2 = e^{-j\frac{2\pi}{3}} = e^{j\frac{4\pi}{3}}$$

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$1 + a + a^2 = 0$$

$$a^* = a^2$$

$$\frac{1}{a} = a^2$$

Inverse

$$\underline{G_1} = G$$

$$\underline{G_2} = G e^{j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\underline{G_3} = G e^{j\frac{4\pi}{3}}$$

$$\underline{G_1} = G$$

$$\underline{G_2} = a G$$

$$\underline{G_3} = a^2 G$$

GÉNÉRATEURS, LIGNES ET RÉCEPTEURS TRIPHASÉS

LIGNES TRIPHASÉES

Ligne à quatre fils

Tensions Simples

$$v_1 = V\sqrt{2} \cos(\omega t)$$

$$v_2 = V\sqrt{2} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

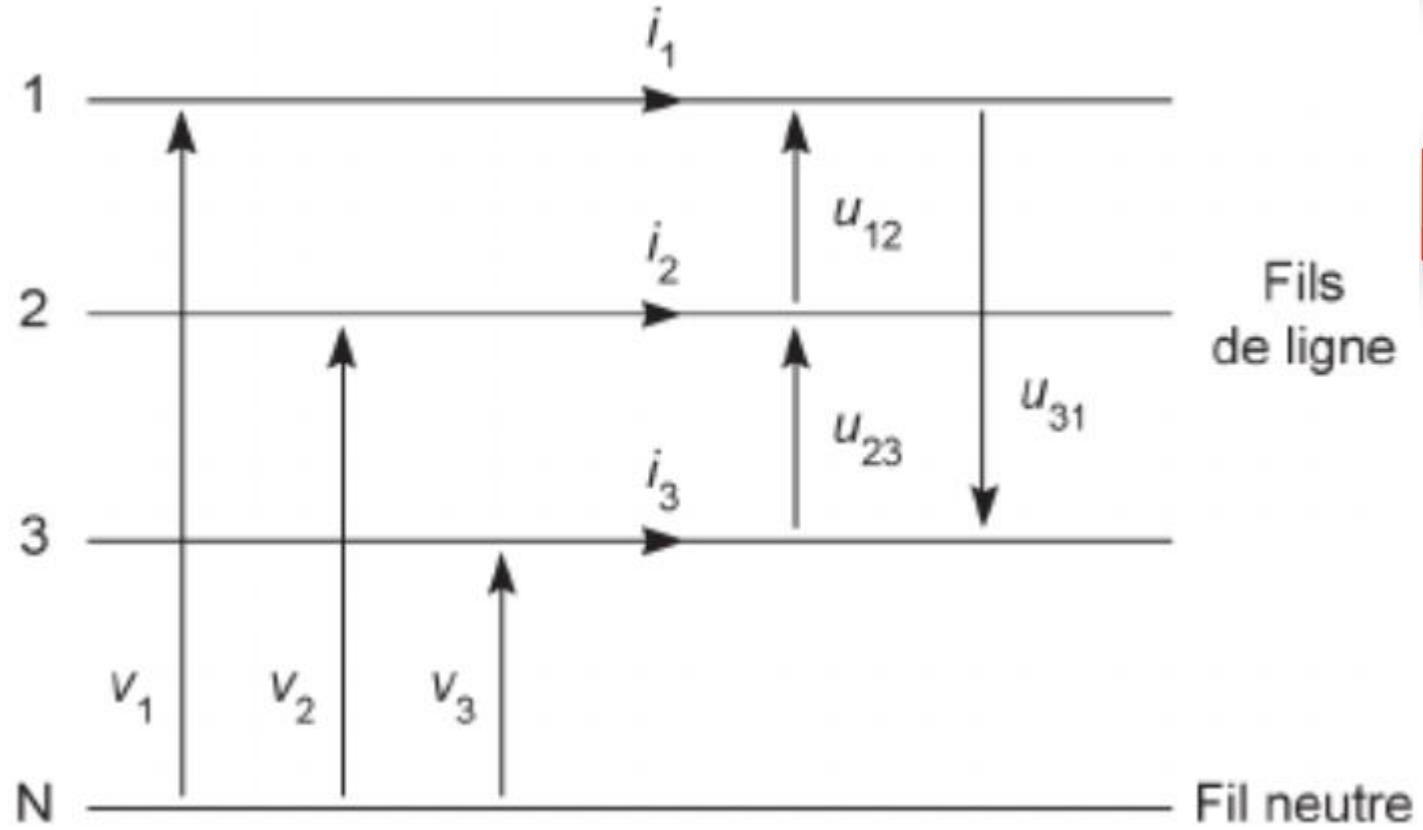
$$v_3 = V\sqrt{2} \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$

Tensions Composées

$$u_{12} = v_1 - v_2$$

$$u_{23} = v_2 - v_3$$

$$u_{31} = v_3 - v_1$$



GÉNÉRATEURS, LIGNES ET RÉCEPTEURS TRIPHASÉS

LIGNES TRIPHASÉES

Ligne à quatre fils

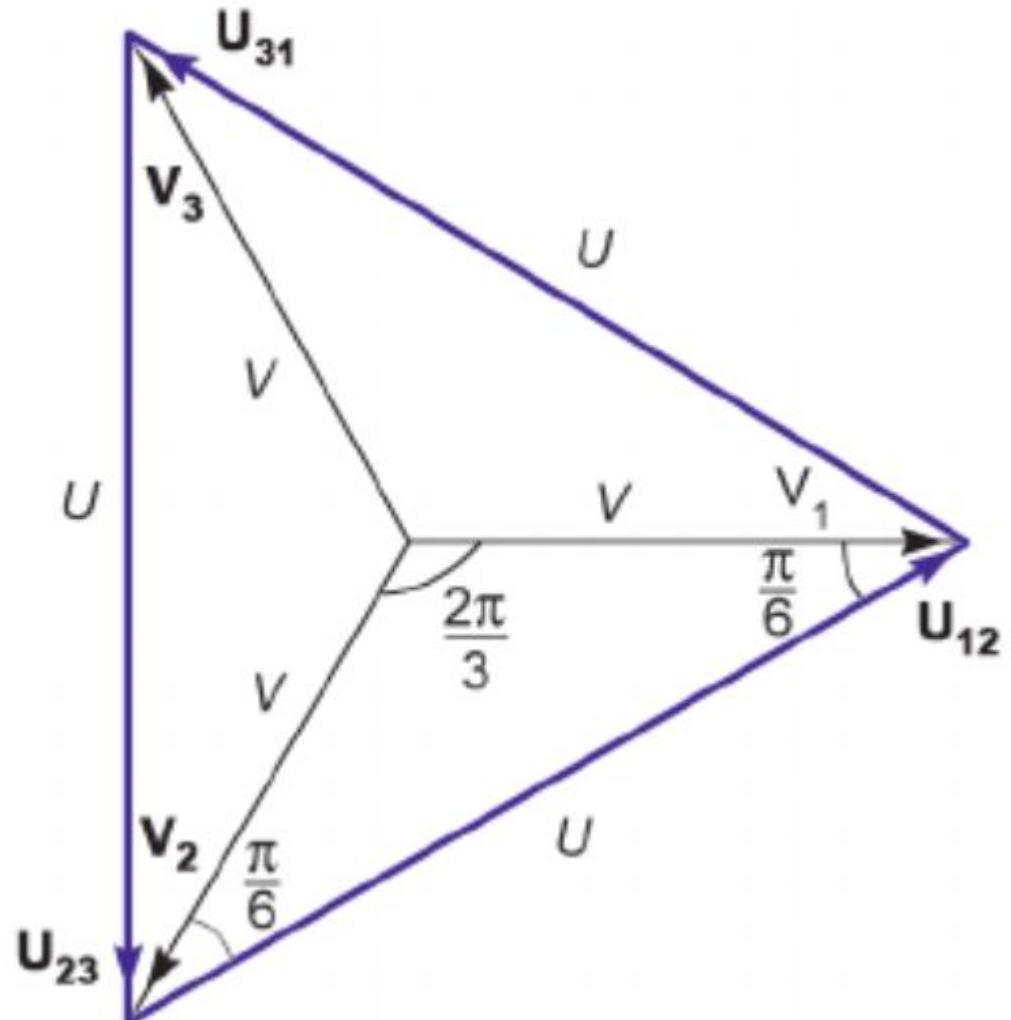
Tensions Composées : Valeur efficace

$$U = V\sqrt{3}$$

$$u_{12} = U\sqrt{2}\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

$$u_{23} = U\sqrt{2}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$u_{31} = U\sqrt{2}\cos\left(\omega t + \frac{5\pi}{6}\right)$$

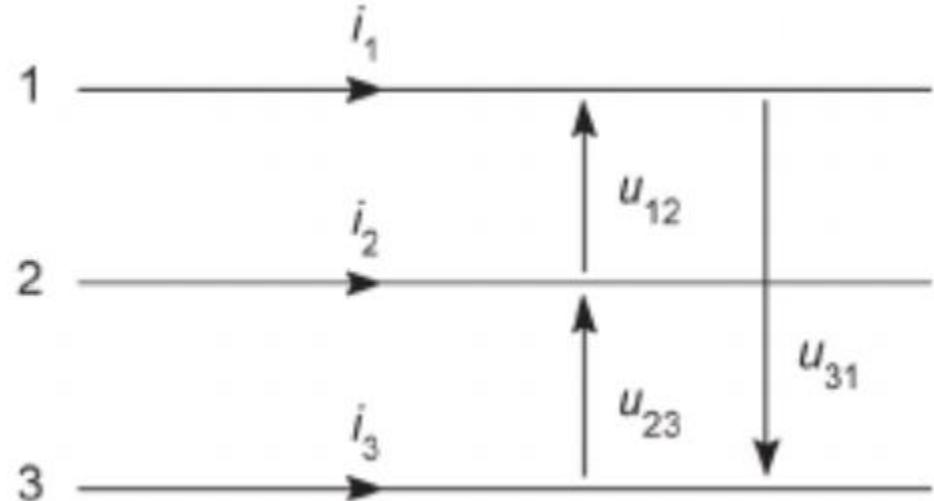


GÉNÉRATEURS, LIGNES ET RÉCEPTEURS TRIPHASÉS

LIGNES TRIPHASÉES

Ligne à trois fils

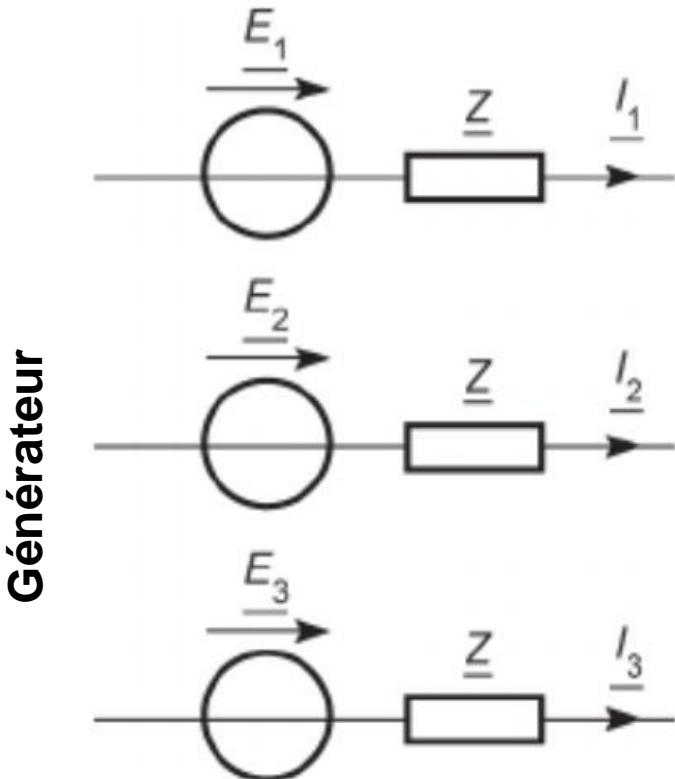
Lorsque le fonctionnement est équilibré, le fil neutre peut être supprimé puisqu'il n'est parcouru par aucun courant.



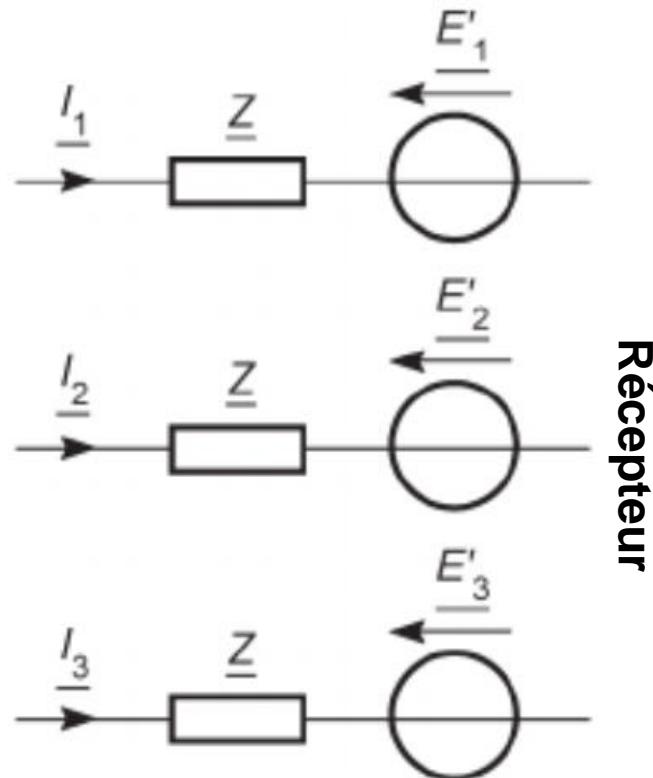
GÉNÉRATEURS, LIGNES ET RÉCEPTEURS TRIPHASÉS

GÉNÉRATEUR, RÉCEPTEUR TRIPHASÉ

Un générateur ou un récepteur triphasé équilibré est constitué de trois dipôles que nous pouvons décrire par leur modèle de Thévenin. Chaque dipôle est appelé phase du générateur ou du récepteur.



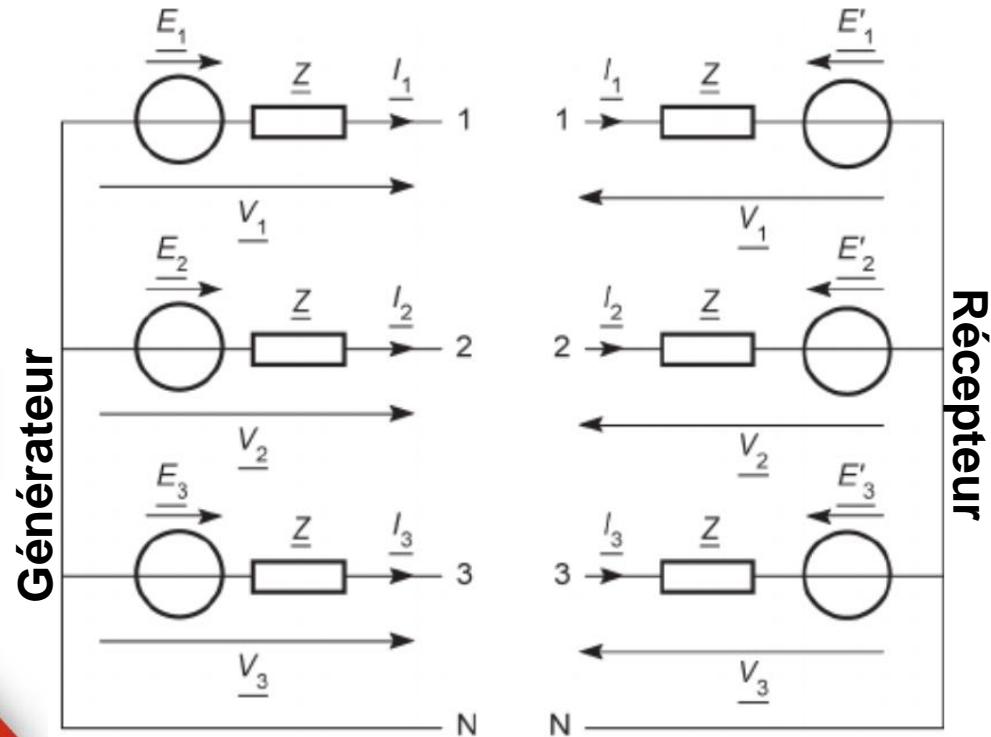
Générateur



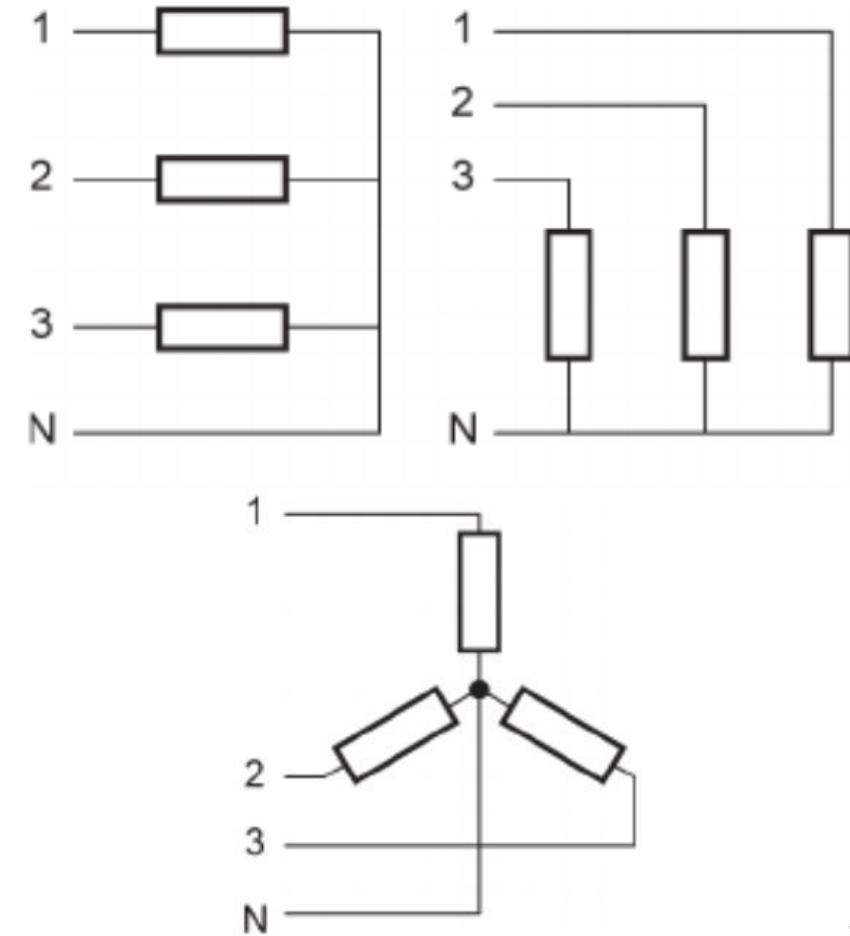
Récepteur

COUPLAGE ETOILE / COUPLAGE TRIANGLE

COUPLAGE ÉTOILE AVEC NEUTRE

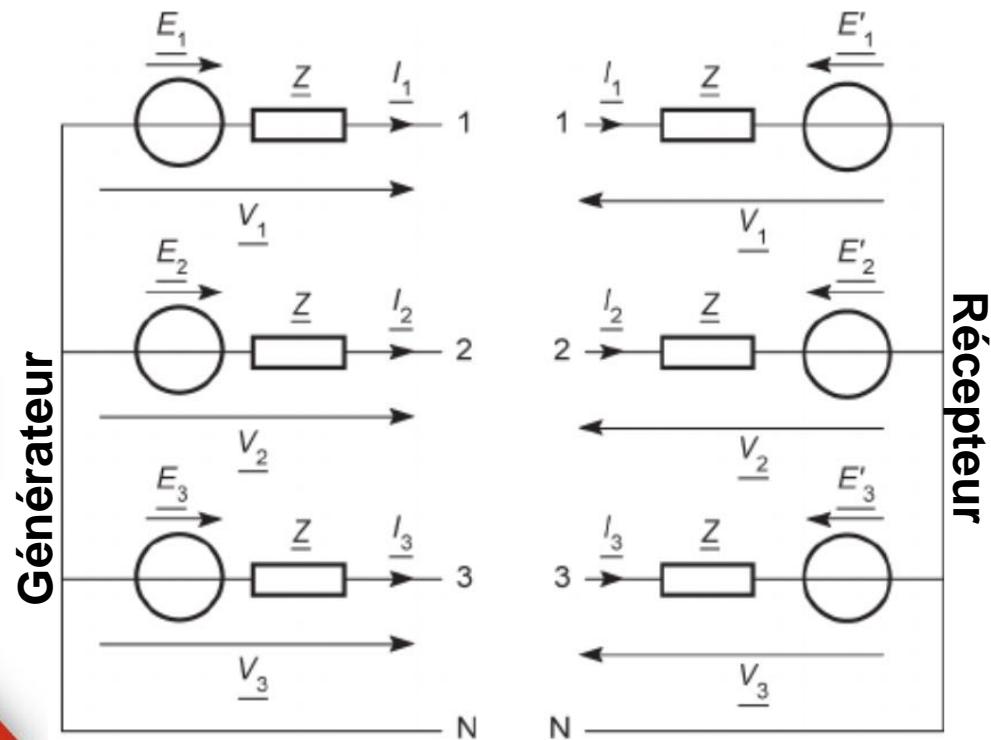


Diverses façons de dessiner un dispositif triphasé couplé en étoile (cas d'un récepteur passif)

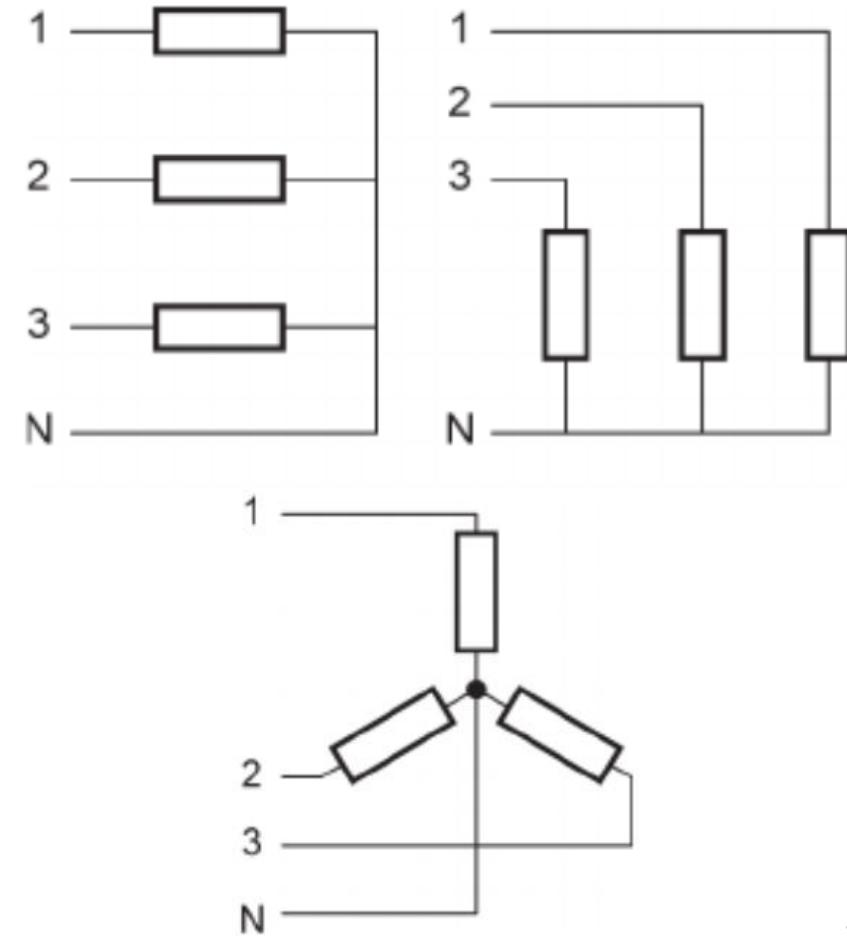


COUPLAGE ETOILE / COUPLAGE TRIANGLE

COUPLAGE ÉTOILE SANS NEUTRE



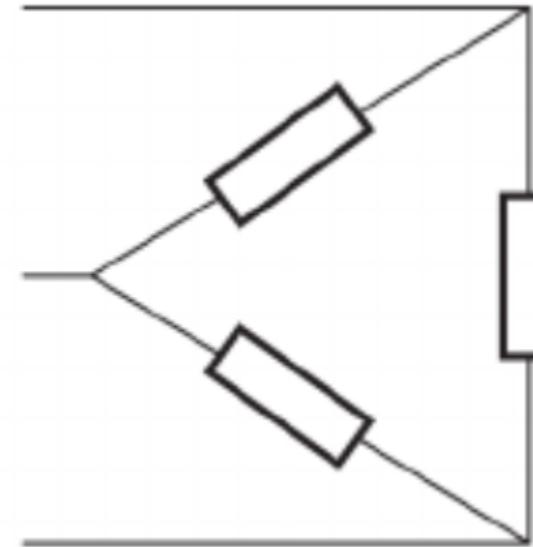
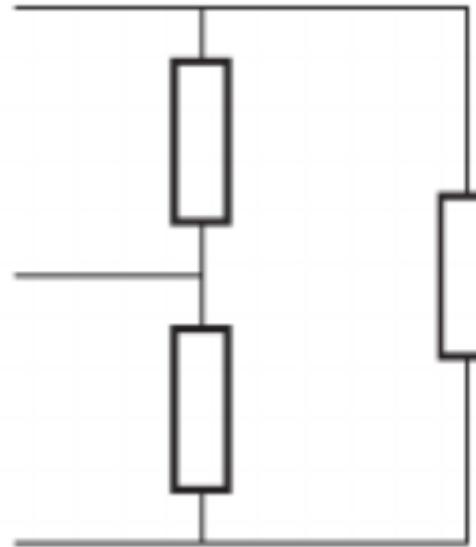
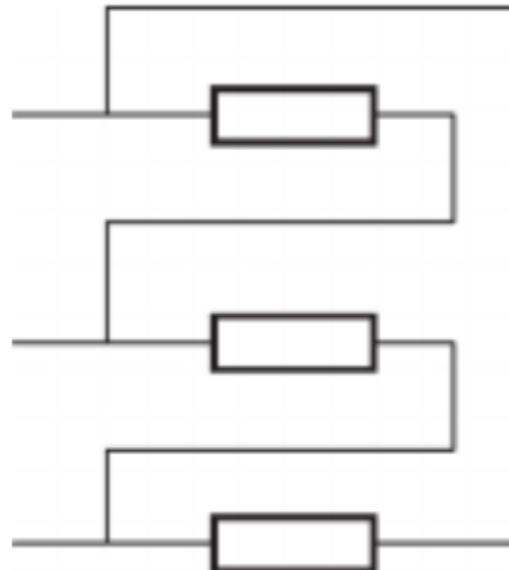
Diverses façons de dessiner un dispositif triphasé couplé en étoile (cas d'un récepteur passif)



COUPLAGE ETOILE / COUPLAGE TRIANGLE

COUPLAGE TRIANGLE

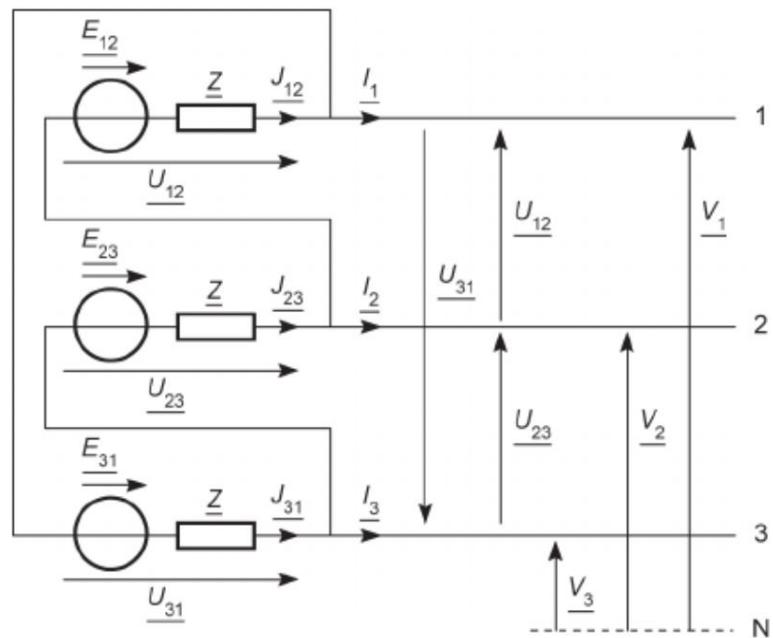
La dernière manière de connecter un générateur ou un récepteur triphasé sur une ligne à trois ou quatre fils consiste à brancher chaque phase du dispositif entre deux fils de ligne. Le neutre, s'il existe, n'est pas utilisé.



COUPLAGE ETOILE / COUPLAGE TRIANGLE

COUPLAGE TRIANGLE

Les courants j_1 , j_2 et j_3 sont appelés courants de phase ou courants polygonaux (c'est le courant qui traverse chaque élément du récepteur triphasé). Si les tensions composées forment un système triphasé équilibré direct, il en est de même pour les courants de phase. Ces derniers sont liés aux courants en ligne par les lois des nœuds aux bornes 1, 2 et 3 :

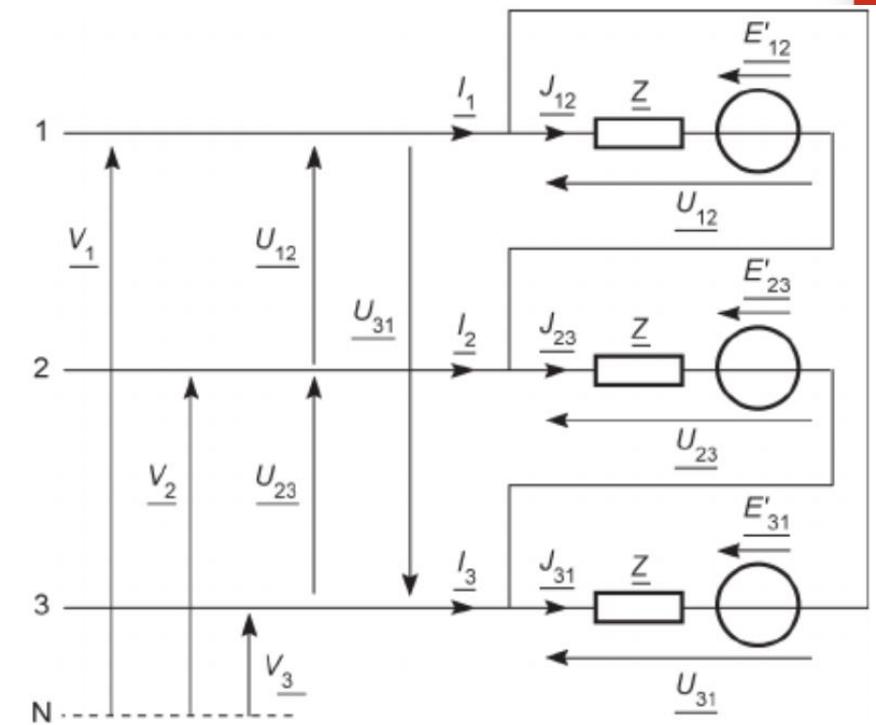


Générateur

$$i_1 = j_{12} - j_{31}$$

$$i_2 = j_{23} - j_{12}$$

$$i_3 = j_{31} - j_{23}$$

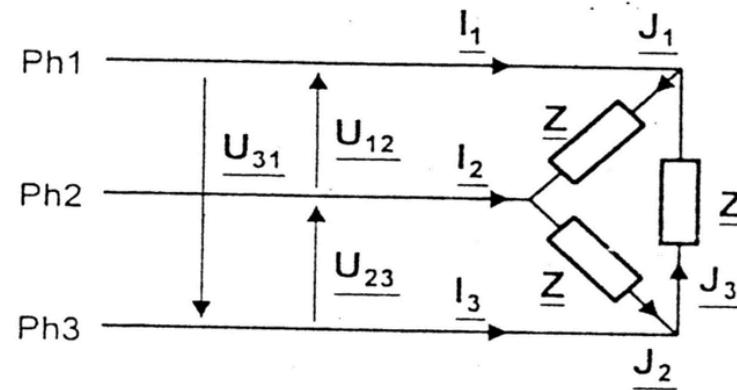
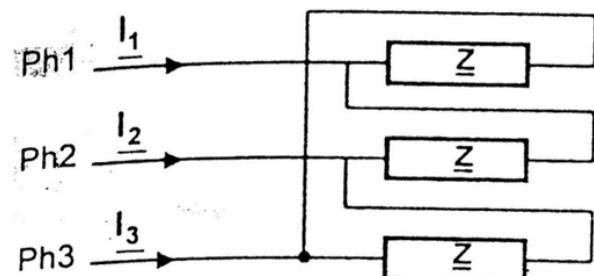


Récepteur

COUPLAGE ETOILE / COUPLAGE TRIANGLE

COUPLAGE TRIANGLE

Les courants j_1 , j_2 et j_3 sont appelés courants de phase ou courants polygonaux (c'est le courant qui traverse chaque élément du récepteur triphasé). Si les tensions composées forment un système triphasé équilibré direct, il en est de même pour les courants de phase. Ces derniers sont liés aux courants en ligne par les lois des nœuds aux bornes 1, 2 et 3 :



$$\underline{I}_1 = \underline{J}_1 - \underline{J}_3$$

$$\underline{I}_2 = \underline{J}_2 - \underline{J}_3$$

$$\underline{I}_3 = \underline{J}_3 - \underline{J}_2$$

COUPLAGE ETOILE / COUPLAGE TRIANGLE

COUPLAGE TRIANGLE

Courant par phase : Valeur efficace

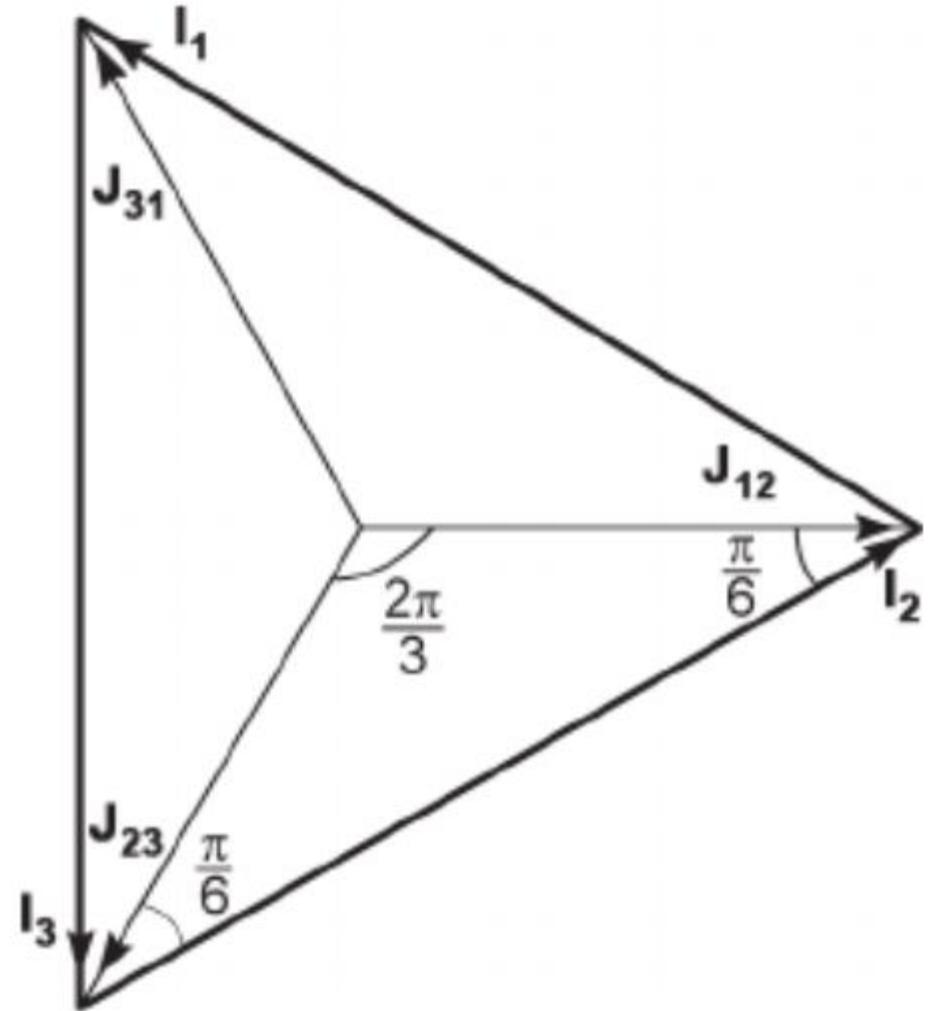
$$I = J\sqrt{3}$$

Courant par phase : Notation complexe

$$\underline{J_{12}} = \frac{I_1}{\sqrt{3}} e^{j\frac{\pi}{6}}$$

$$\underline{J_{31}} = \frac{I_3}{\sqrt{3}} e^{j\frac{\pi}{6}}$$

$$\underline{J_{23}} = \frac{I_2}{\sqrt{3}} e^{j\frac{\pi}{6}}$$



PUISANCES ELECTRIQUES EN RÉGIME TRIPHASÉ ÉQUILIBRÉ

Couplage étoile

P_Y

Q_Y

S_Y

Couplage Triangle

P_Δ

Q_Δ

S_Δ

PUISANCES ELECTRIQUES EN RÉGIME TRIPHASÉ ÉQUILIBRÉ

En étoile, on travaille avec les courants de ligne (I) et les tensions simples (V).

En triangle, on travaille avec les courants par phase (J) et les tensions composées (U).

Comparaison des Puissances des deux couplages

EXERCICES D'APPLICATIONS

VEUILLEZ CONSULTER LE SUPPORT DE TD



ELECTROTECHNIQUE

Chapitre 4 : Machines Electriques

PLAN

Classification des Machines électriques

MCC

Généralités

Principe

Modélisation

Etude énergétique

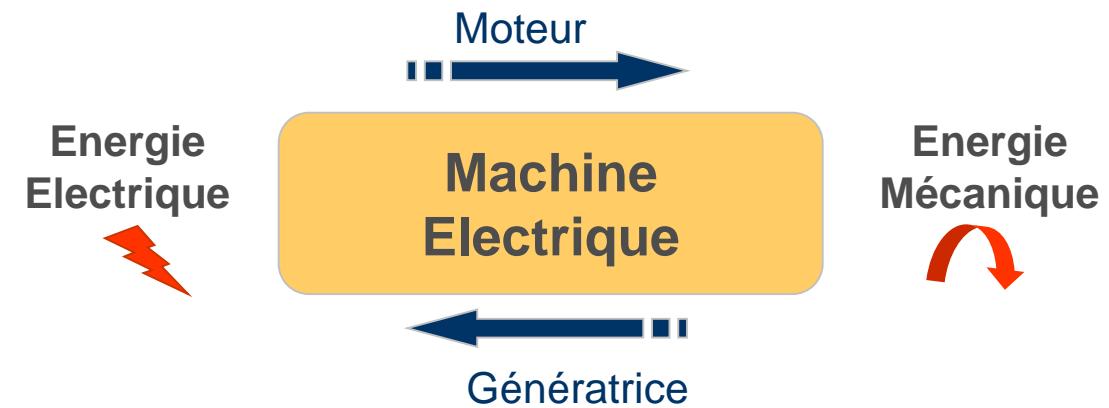
OBJECTIFS

Les moteurs électriques sont aujourd'hui présents dans toutes les branches de l'industrie et des transports. Ils consomment environ la moitié de l'énergie électrique générée dans le monde. Beaucoup de moteurs sont branchés directement sur le réseau, mais de plus en plus, ils sont associés à des convertisseurs électroniques permettant une variation de leur vitesse.

CLASSIFICATION DES MACHINES ÉLECTRIQUES

DÉFINITION

Ce sont des convertisseurs électromécaniques qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique et réciproquement.



Conversion Electrique → Mécanique : Fonctionnement Moteur.

Exploitation de la force électrodynamique (Loi de Laplace).

Conversion Mécanique → Electrique : Fonctionnement Générateur.

Exploitation de la force électromotrice induite (Loi de Faraday).

CLASSIFICATION DES MACHINES ÉLECTRIQUES

ÉLÉMENTS DE BASE

Toute conversion électromécanique nécessite les éléments suivants :

Une induction magnétique, créée par l'enroulement de l'inducteur.

Un courant circulant dans les enroulements de l'induit : siège des forces électromotrices induites.

Il existe deux façons de créer une force électromotrice induite :

INDUCTEUR FIXE (INDUCTION CONSTANTE) : les conducteurs de l'enroulement induit sont mobiles, cas des machines cc.

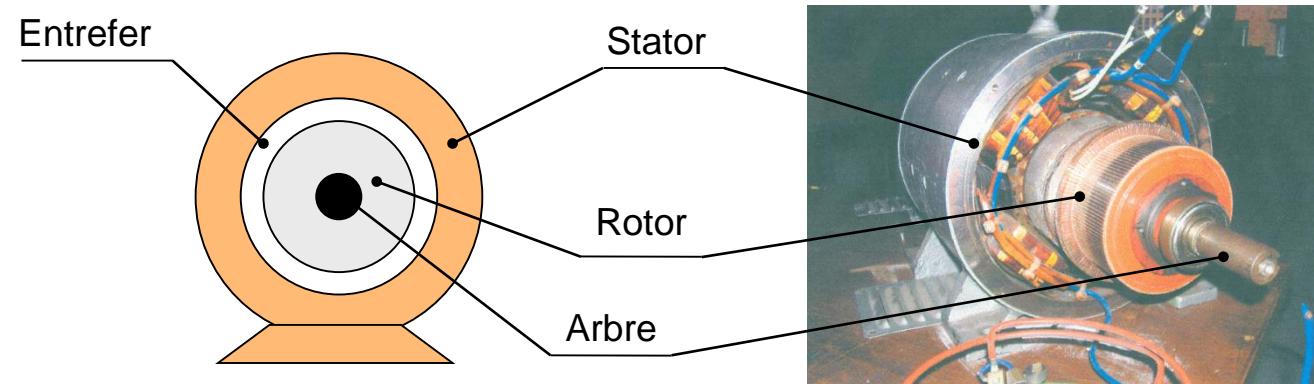
INDUCTEUR MOBILE (INDUCTION VARIABLE) : les conducteurs de l'enroulement induit sont fixes, cas des machines synchrones.

CLASSIFICATION DES MACHINES ÉLECTRIQUES

CONSTITUTION DE BASE

La construction se réalise sur deux armatures cylindriques et coaxiales, contenant des enroulements inducteur et induit :

- L'armature mobile est appelée rotor : elle transmet ou reçoit une puissance mécanique en présence d'un champ d'induction tournant.
- L'armature fixe est appelée stator : elle assure la fermeture des lignes d'induction canalisées par l'armature d'induit.



CLASSIFICATION DES MACHINES ÉLECTRIQUES

CLASSIFICATION

Machines à courant continu (DC)

Elles offrent des performances remarquables avec des réglages simples et efficaces. Cependant, leur coût élevé et leur maintenance difficile limitent leur champ d'application.

Machines à courant alternatif (AC)

- Machines Synchrones : Elles sont utilisées comme alternateurs ou comme compensateurs de l'énergie réactive.
- Machines Asynchrones : Elles sont de construction simple. Ce sont les plus utilisées (comme moteurs) en industrie, mais leur réglage est complexe.

Machines spéciales

Ces machines, de construction spéciale, sont essentiellement utilisées en robotique et dans les procédés d'automatisation et de régulation.

MOTEURS A COURANT CONTINU (MCC)

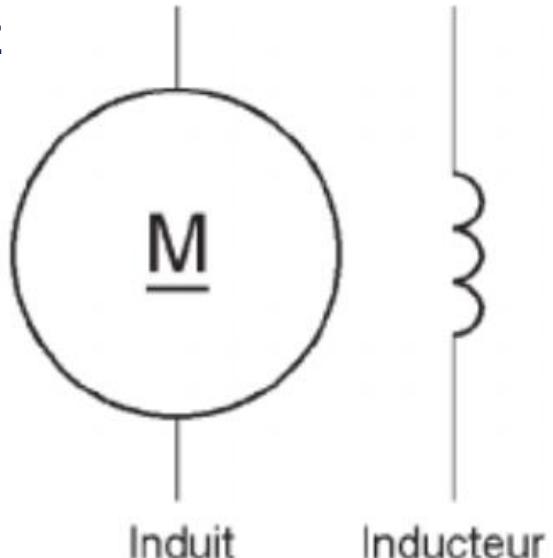
La machine à courant continu n'est plus beaucoup utilisée dans les applications nouvelles, mais on la rencontre encore dans les installations existantes. Cette machine présente en effet de nombreux inconvénients, avec en particulier son coût élevé et la maintenance nécessaire à cause des balais frottant sur le collecteur. La machine à courant continu peut être employée en génératrice ou en moteur. Le fonctionnement en génératrice n'a plus guère d'applications depuis longtemps. Par contre, il y a quelques années, le moteur à courant continu était la principale solution pour une vitesse variable du fait de la simplicité de sa commande. Aujourd'hui, les machines à courant alternatif sont préférées dans la plupart des applications. Compte tenu de cela, nous présenterons cette machine de manière plus succincte et en n'envisageant que son usage en moteur.

MOTEURS A COURANT CONTINU (MCC)

DÉFINITION

Un moteur à collecteur à courant continu est une machine destinée à transformer de l'énergie électrique, disponible sous forme de tension et de courant continus, en énergie mécanique. Il comporte un induit, un collecteur et des pôles magnétiques excités par une source de courant continu ou constitués d'aimants permanents.

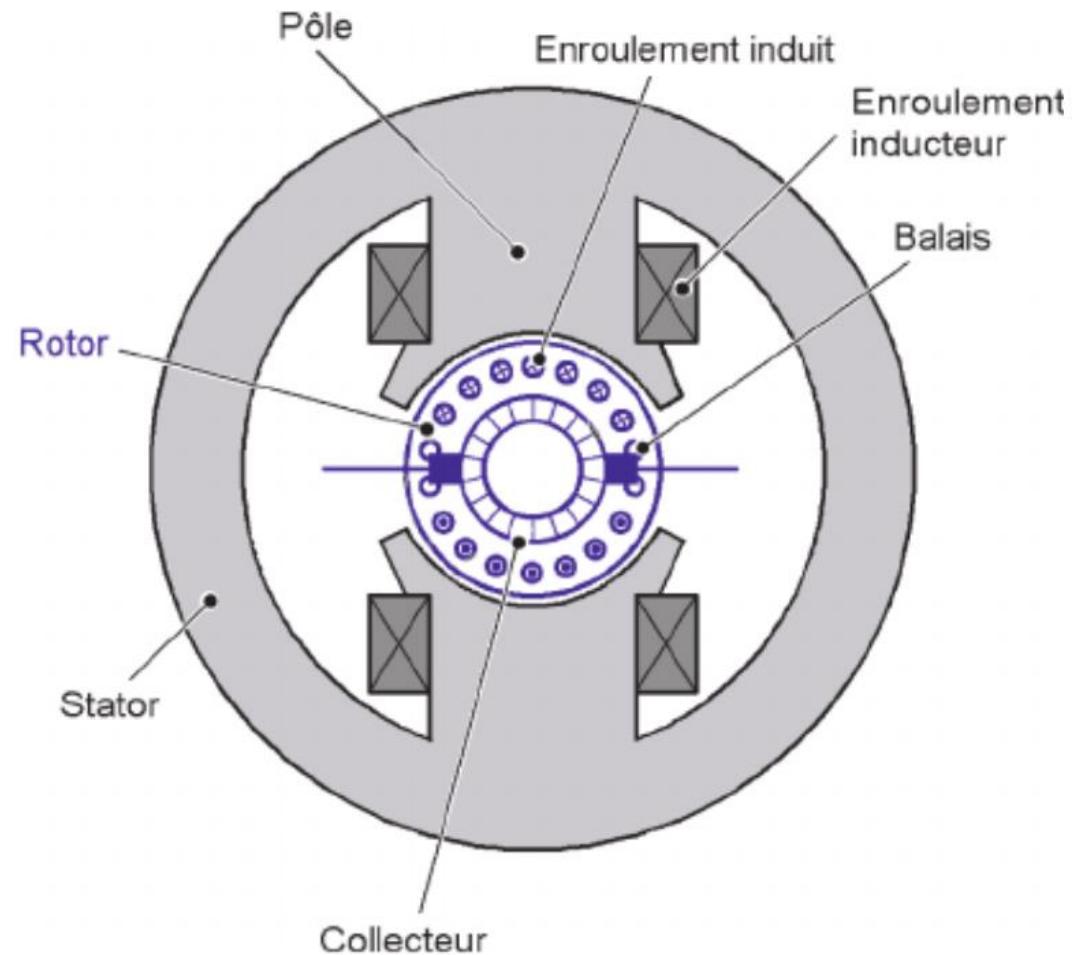
SYMBOLE NORMALISÉ



MOTEURS A COURANT CONTINU (MCC)

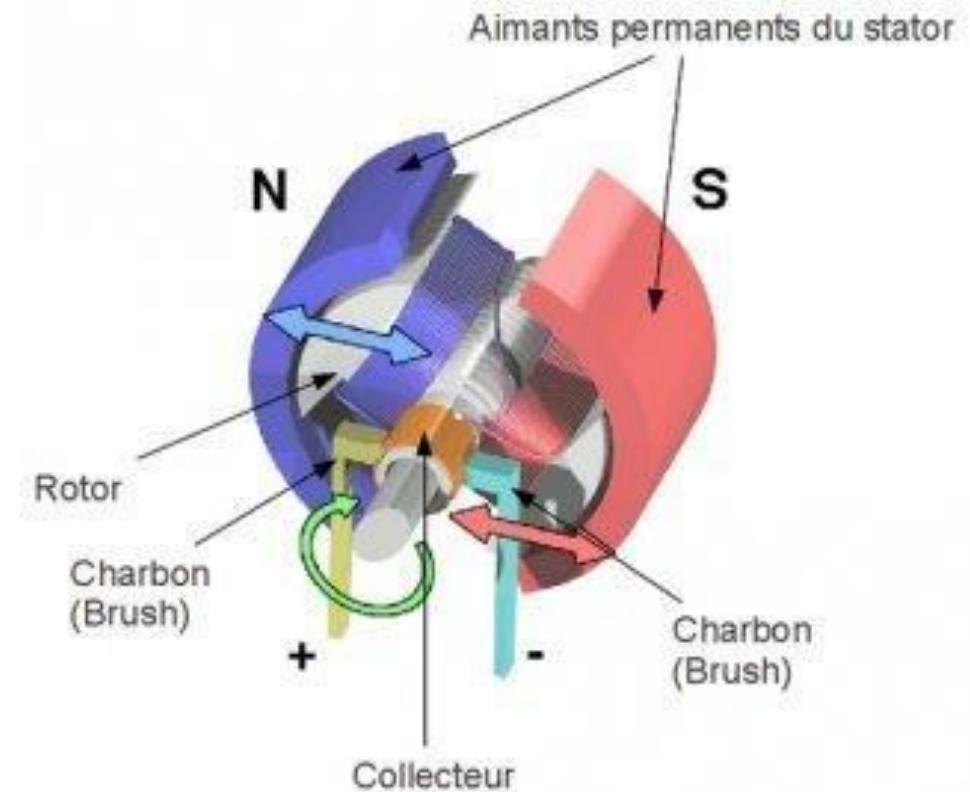
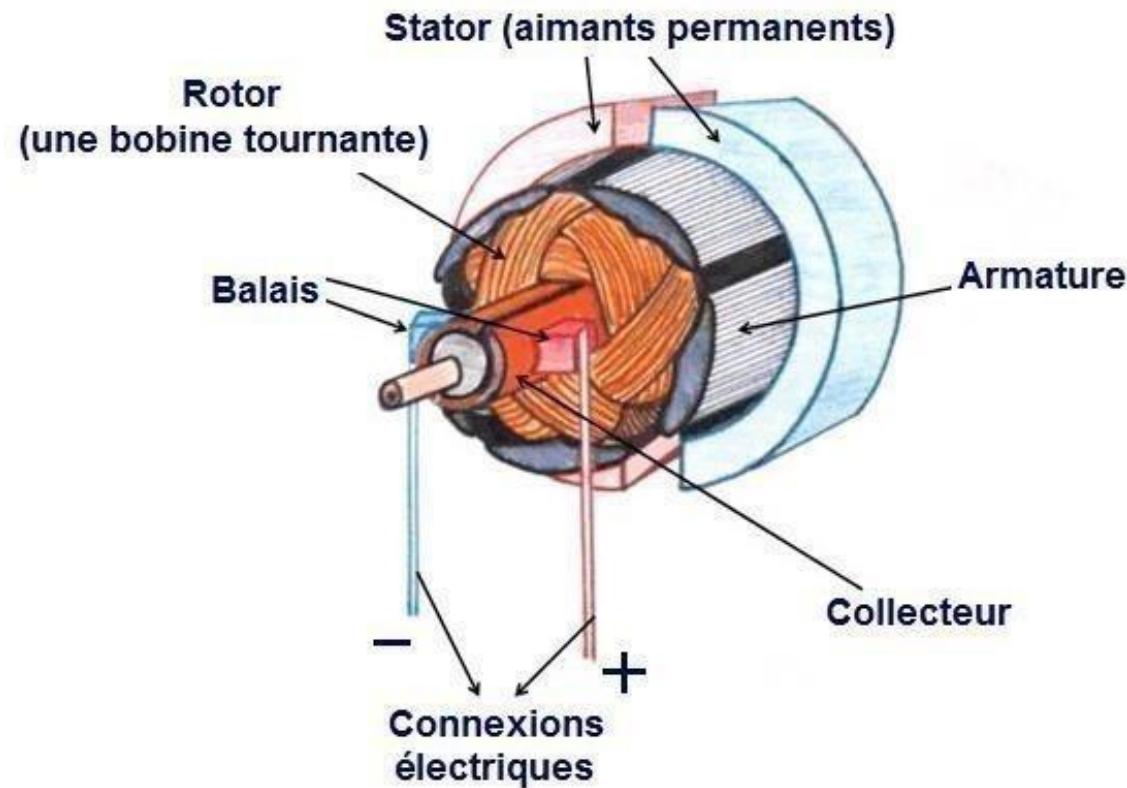
CONSTITUTION

Comme toute machine tournante, le moteur à courant continu comporte un stator et un rotor séparés par un entrefer, mais un dispositif particulier est nécessaire à son fonctionnement, le collecteur et les balais.



MOTEURS A COURANT CONTINU (MCC)

CONSTITUTION



MOTEURS A COURANT CONTINU (MCC)

STATOR OU INDUCTEUR

Le stator est muni de pôles saillants qui portent un enroulement d'excitation (ou inducteur), destiné à être alimenté en continu. Il peut également être muni de pôles de commutation disposés entre les pôles inducteurs. Pour les petites machines, l'enroulement d'excitation peut être remplacé par des aimants permanents.

ROTOR OU INDUIT

Le rotor est formé d'un circuit magnétique feuilleté comportant des encoches dans lesquelles sont placés des conducteurs associés pour former l'enroulement d'induit.

COLLECTEUR ET BALAIS

Les connexions avec le générateur qui alimente le moteur se font par l'intermédiaire de contacts mobiles : les balais, solidaires du stator, frottent sur le collecteur lié au rotor. L'enroulement d'induit est relié au collecteur formé de lames conductrices isolées entre elles.

MODÉLISATION

MODÈLE ÉLECTRIQUE DE L'INDUIT À EXCITATION INDÉPENDANTE

Les connexions avec le générateur qui alimente le moteur se font par l'intermédiaire de contacts mobiles : les balais, solidaires du stator, frottent sur le collecteur lié au rotor. L'enroulement d'induit est relié au collecteur formé de lames conductrices isolées entre elles.

R (Ω) : C'est la résistance interne totale : câble, balais, lame de collecteur et enroulement d'induit.

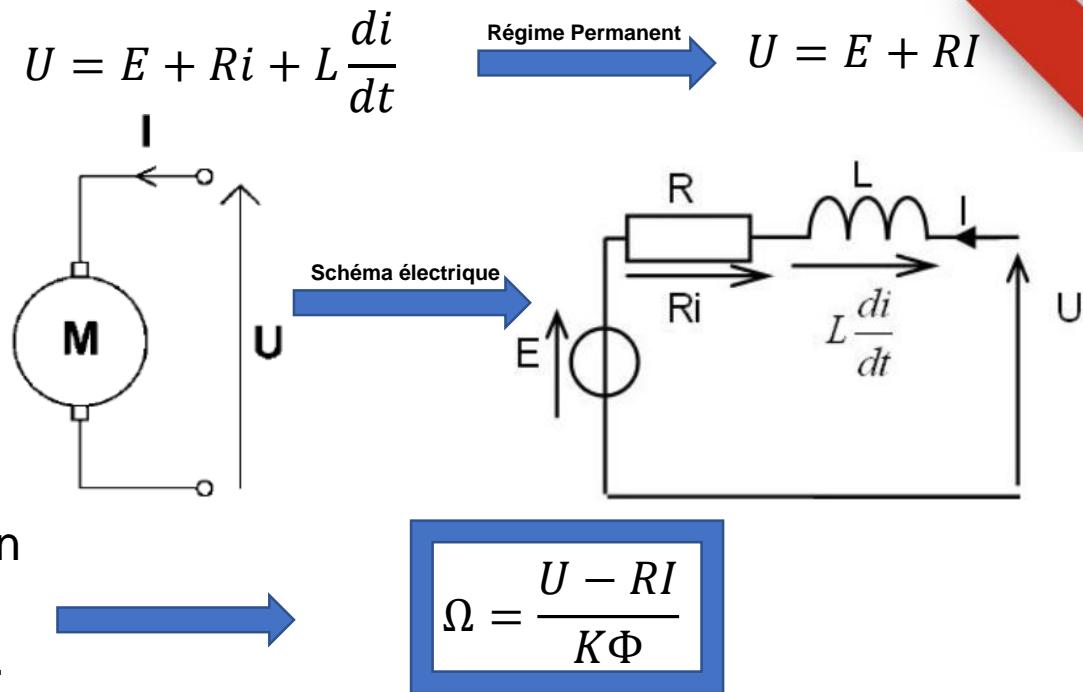
L (H) : C'est l'inductance de l'enroulement d'induit. Elle intervient dans les régimes transitoires d'alimentation du moteur.

Force électromotrice : $E = K \cdot \Phi \cdot \Omega$

K (V.Wb-1.rad-1.s) : constante liée à la constitution interne du moteur.

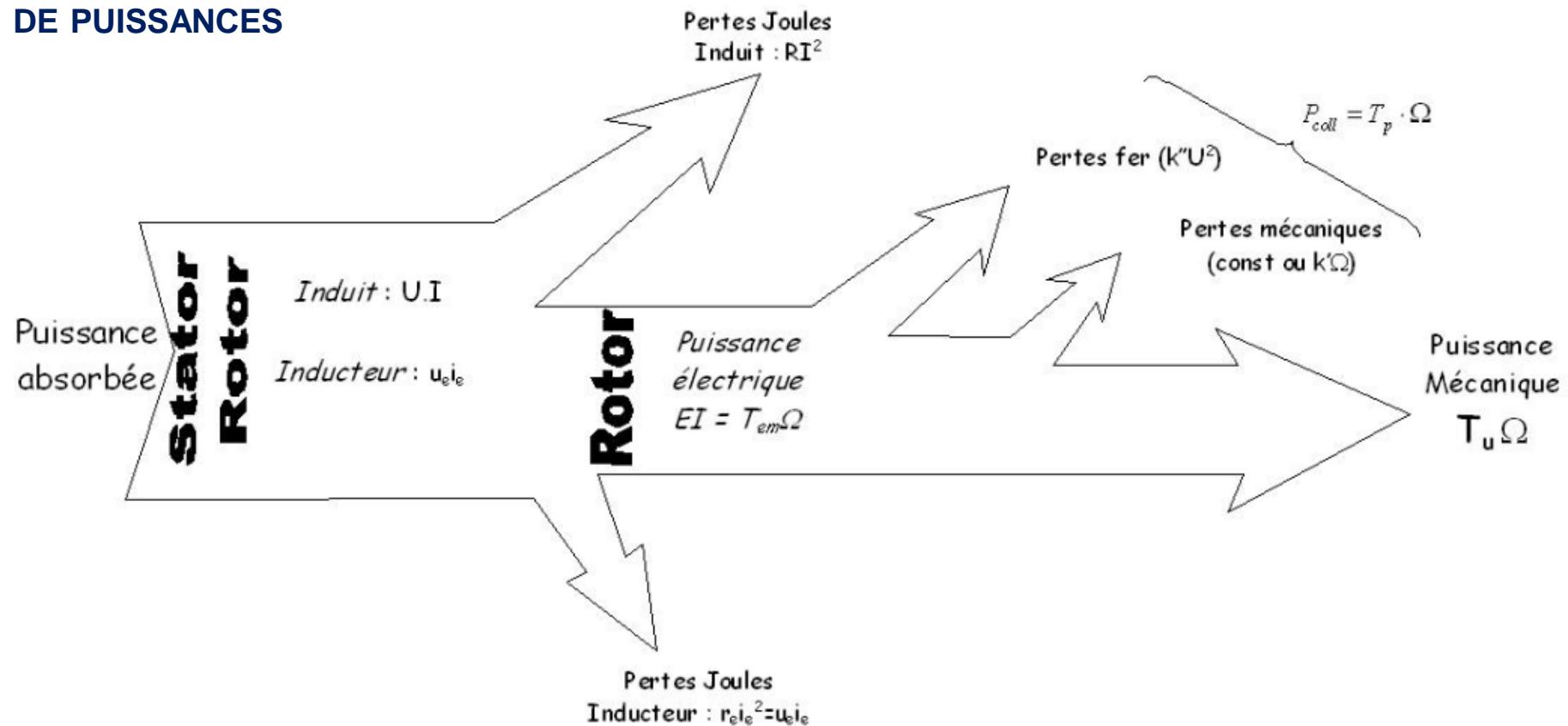
Φ (en Wb) : flux utile sous chaque pôle inducteur.

Ω : vitesse du moteur en rad/s



ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE

ARBRE DE PUISSANCES



ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE

BILAN DE PUISSANCES ET RENDEMENT

La puissance appelée (absorbée) par l'induit du moteur est : $P_a = UI$

L'induit et l'inducteur sont les sièges de pertes par effet Joule $p_j = RI^2$.

Le rotor est le siège de pertes ferromagnétiques p_f . Le système balais collecteur provoque des pertes ferromagnétiques p_m .

La puissance utile est égale à la puissance absorbée moins les pertes : $P_u = P_a - p$

Le rendement est le rapport entre la puissance mécanique et la puissance électrique.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_{méca}}{P_{elec}}$$

DOMAINES D'UTILISATION

ON LA RENCONTRE DANS DES APPLICATIONS TRÈS DIVERSES, PAR EXEMPLE:

- Moteur de jouet (très faible puissance, alimentation par pile)
- Moteurs d'équipement automobile (démarreur, essuie-glace, ventilateur...)
- Moteur d'entraînement à vitesse variable
- Traction électrique (Tramway, trains, T.G.V.) ...
- Levage : Portique de porte-conteneur, ascenseur, positionnement pour les fortes puissances ...
- Le « moteur universel », favori des équipements électroménagers et du petit outillage est également dérivé d'une machine à courant continu

EXERCICES D'APPLICATIONS

VEUILLEZ CONSULTER LE SUPPORT DE TD



ELECTROTECHNIQUE

Chapitre 5 : Moteurs Synchro

PLAN

Généralités

Principe

Etude énergétique

Exemples d'applications

OBJECTIFS

Depuis longtemps, les moteurs synchrones sont utilisés dans des applications de forte puissance à vitesse fixe, mais les progrès dans le domaine de l'alimentation et de la commande leur permettent aujourd'hui d'être présents en vitesse variable. L'arrivée d'aimants performants à un coût raisonnable a également permis de développer les moteurs synchrones de petite et moyenne puissance, qui, associés à l'électronique, ont des qualités analogues à celles des moteurs à courant continu, sans en avoir les inconvénients. Au terme de ce chapitre, vous seriez capable :

- D'identifier un moteur synchrone triphasé.
- De tracer ses caractéristiques.
- De mettre en œuvre une chaîne de démarrage.

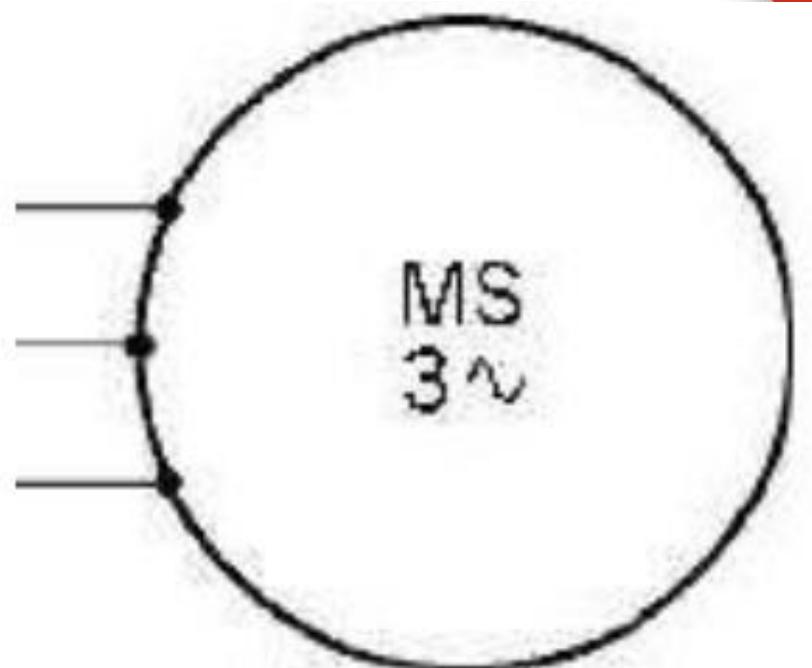
GÉNÉRALITÉS

DÉFINITION

Un moteur synchrone est un moteur à courant alternatif pour lequel la vitesse de rotation de l'arbre est égale à la vitesse de rotation du champ tournant.

SYMBOLE NORMALISÉ

Le moteur synchrone peut être représenté par son symbole général



GÉNÉRALITÉS

CONSTITUTION

Stator

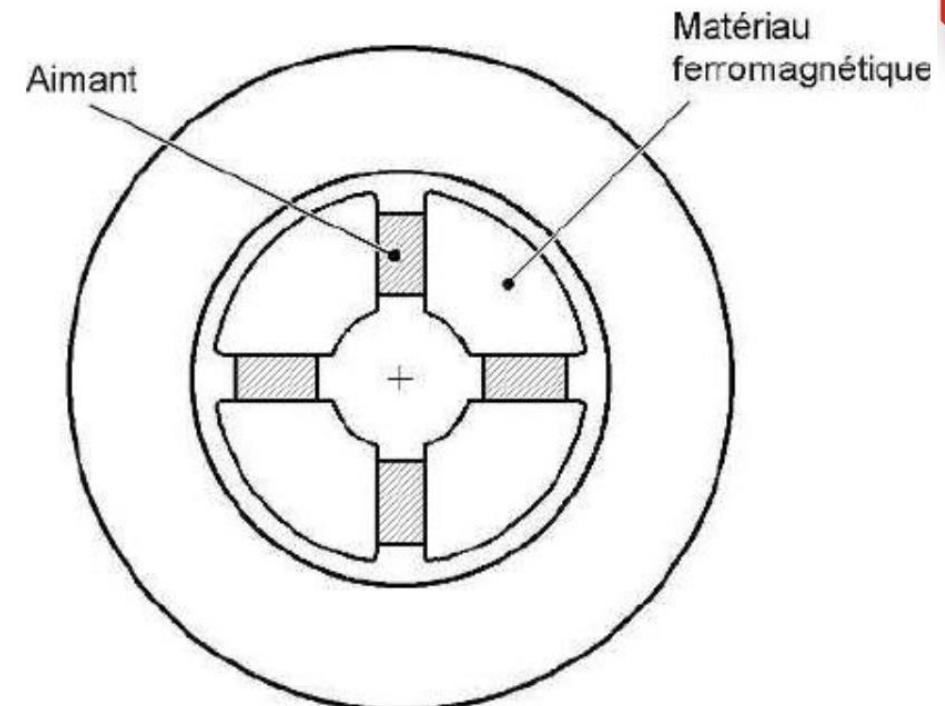
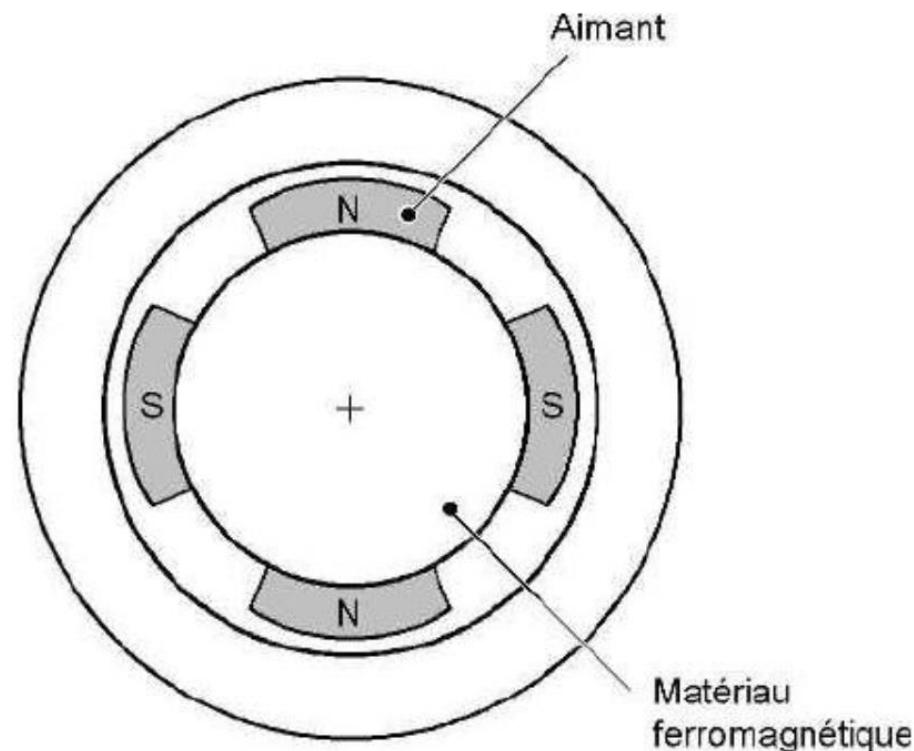
Le stator du moteur synchrone est identique à celui du moteur asynchrone. Le circuit magnétique feuilleté porte un enroulement triphasé réparti dans des encoches. Ce bobinage constitue l'induit du moteur car il est le siège de forces électromotrices induites par le champ tournant.

GÉNÉRALITÉS

CONSTITUTION

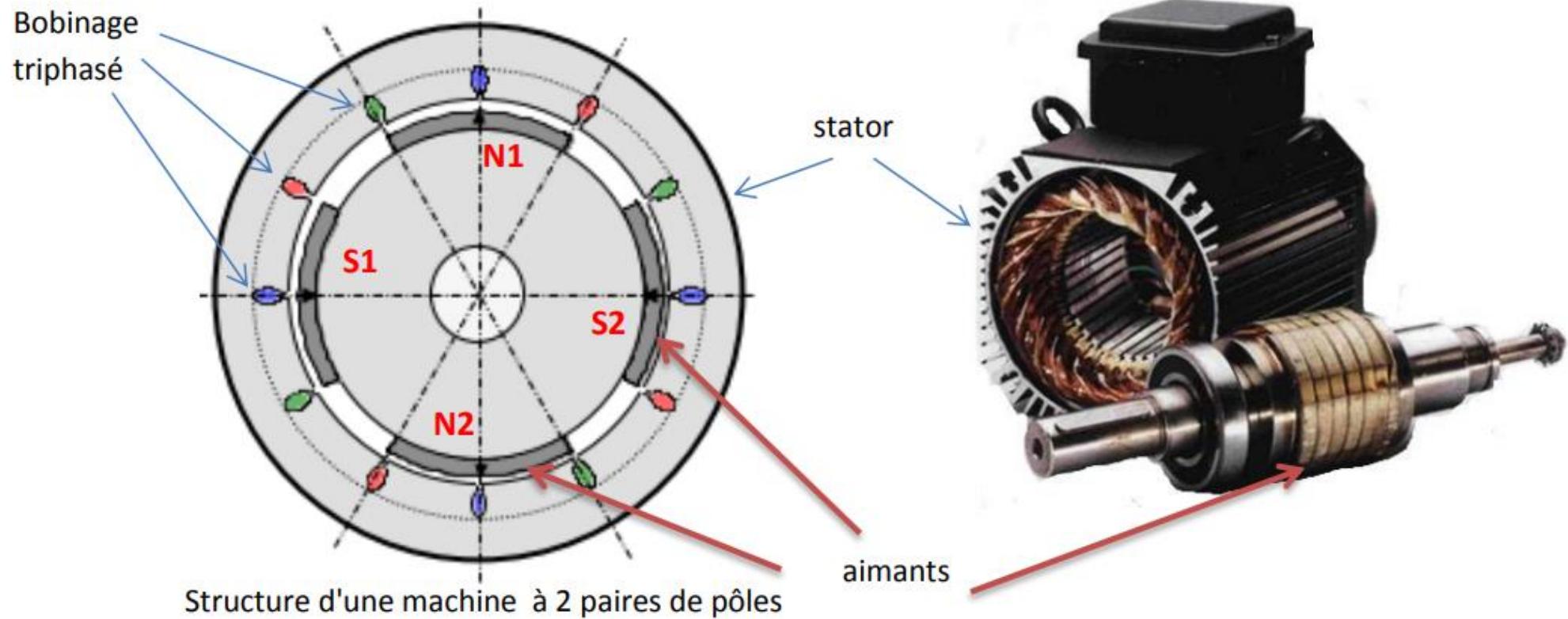
Rotor : Rotor à aimants

Le rotor est feuilleté et comporte des aimants permanents, soit montés en surface, soit enterrés.



GÉNÉRALITÉS

CONSTITUTION



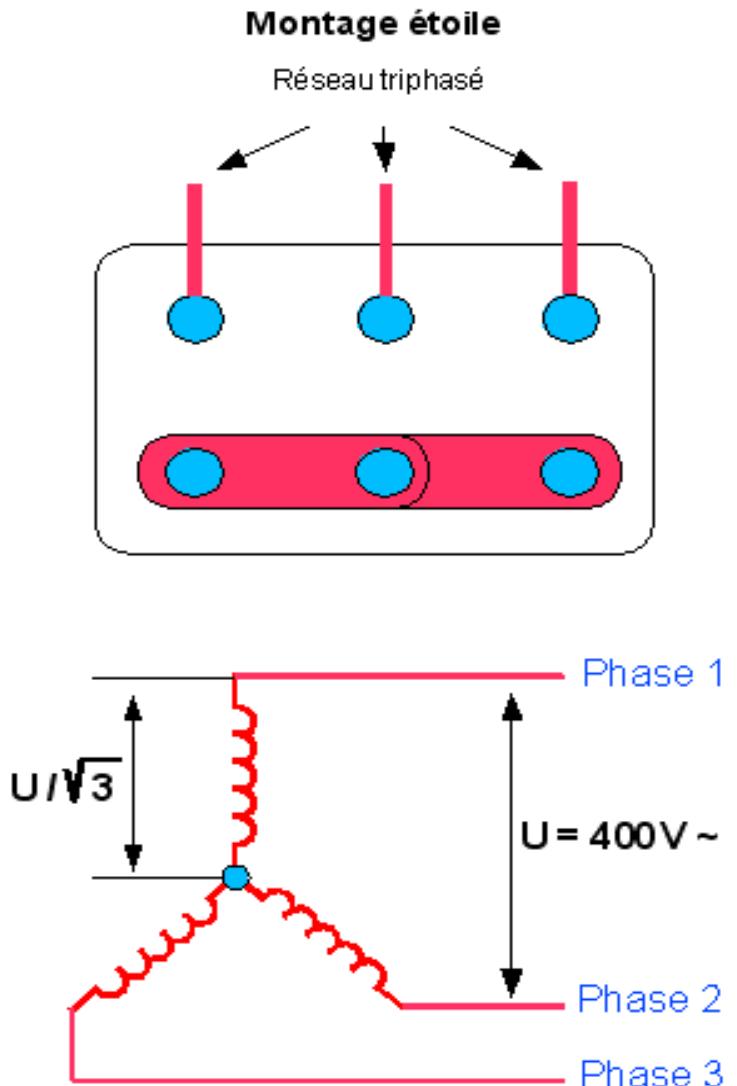
GÉNÉRALITÉS

COUPLAGE-BRANCHEMENT

Deux Manières de relier les bornes du moteur au réseau électrique : Etoile ou Triangle.

Couplage étoile : Ici, les enroulements reçoivent une tension réduite (tension simple du réseau triphasé). Il s'utilise donc si la tension du réseau d'alimentation est égale à la tension du moteur.

Exemple : La plaque signalétique d'un moteur triphasé affiche une tension nominale 230/400 V et que celle de l'alimentation est 230/400 V.



GÉNÉRALITÉS

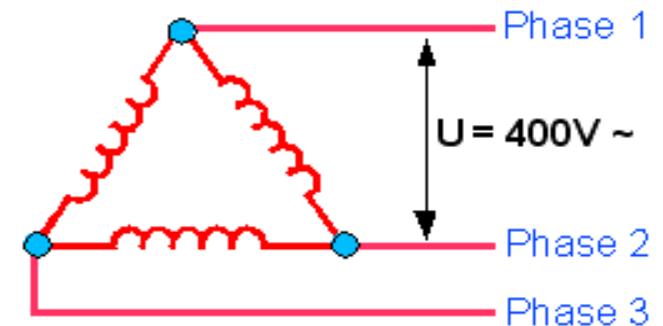
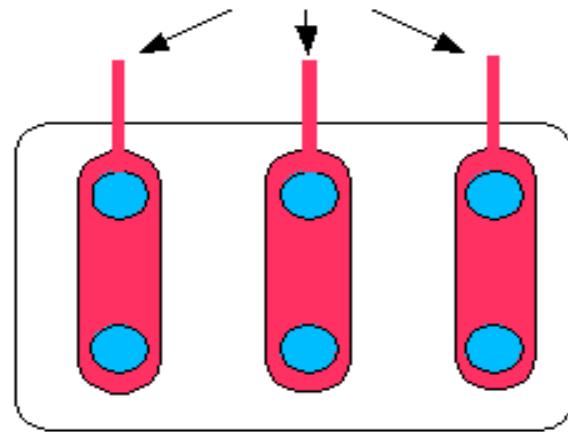
COUPLAGE-BRANCHEMENT

Couplage triangle : Dans ce couplage, chaque enroulement reçoit la tension appliquée, on l'utilise donc si la plus grande tension du réseau est égale à la plus petite tension moteur.

Exemple : La plaque signalétique d'un moteur triphasé affiche une tension nominale de 230V/400V sur un réseau dont la tension serait de 127/230V.

Montage triangle

Réseau triphasé



PRINCIPE

L'enroulement statorique, parcouru par un système triphasé équilibré de courants de pulsation ω_s crée une tension magnétique tournante d'entrefer à la vitesse synchrone Ω_s , soit avec p paires de

$$\text{pôles : } \Omega_s(\text{rad. s}^{-1}) = \frac{\omega_s}{p} \quad n_s(\text{tr/min}) = \frac{60f_s}{p} \quad f_s \text{ Fréquence réseau (Hz)}$$

MODÉLISATION

La machine synchrone triphasée à aimants permanents peut être représentée par le schéma électrique :

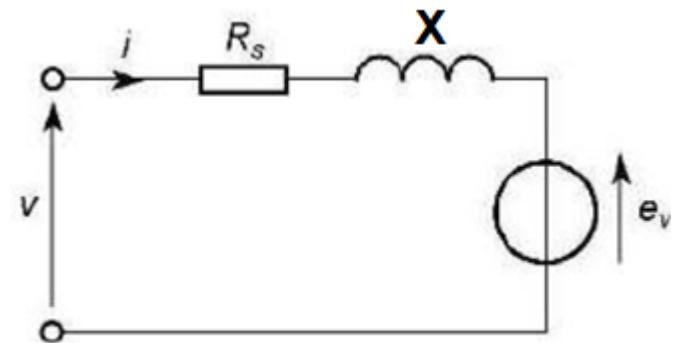
R (Ω) : la résistance d'un enroulement.

X (Ω) : est la réactance synchrone.

e_v (V) : est la force électro motrice.

I (A) : est le courant de phase circulant dans les enroulements statoriques.

v (V) : est la tension simple aux bornes d'un enroulement.



$$\underline{V} = \underline{E}_v + R_s \underline{I} + jX \underline{I}$$

ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE

PUISANCES ÉLECTRIQUES ABSORBÉES

La puissance active consommée sur le réseau en triphasé est : $P_a = UI\sqrt{3} \cos \varphi$

La puissance réactive : $Q_a = UI\sqrt{3} \sin \varphi$ La puissance apparente : $S = UI\sqrt{3}$

Le stator est le siège de pertes ferromagnétiques P_{fs} et de pertes par effet Joule P_{js} : $P_{js} = 3R_s I^2$

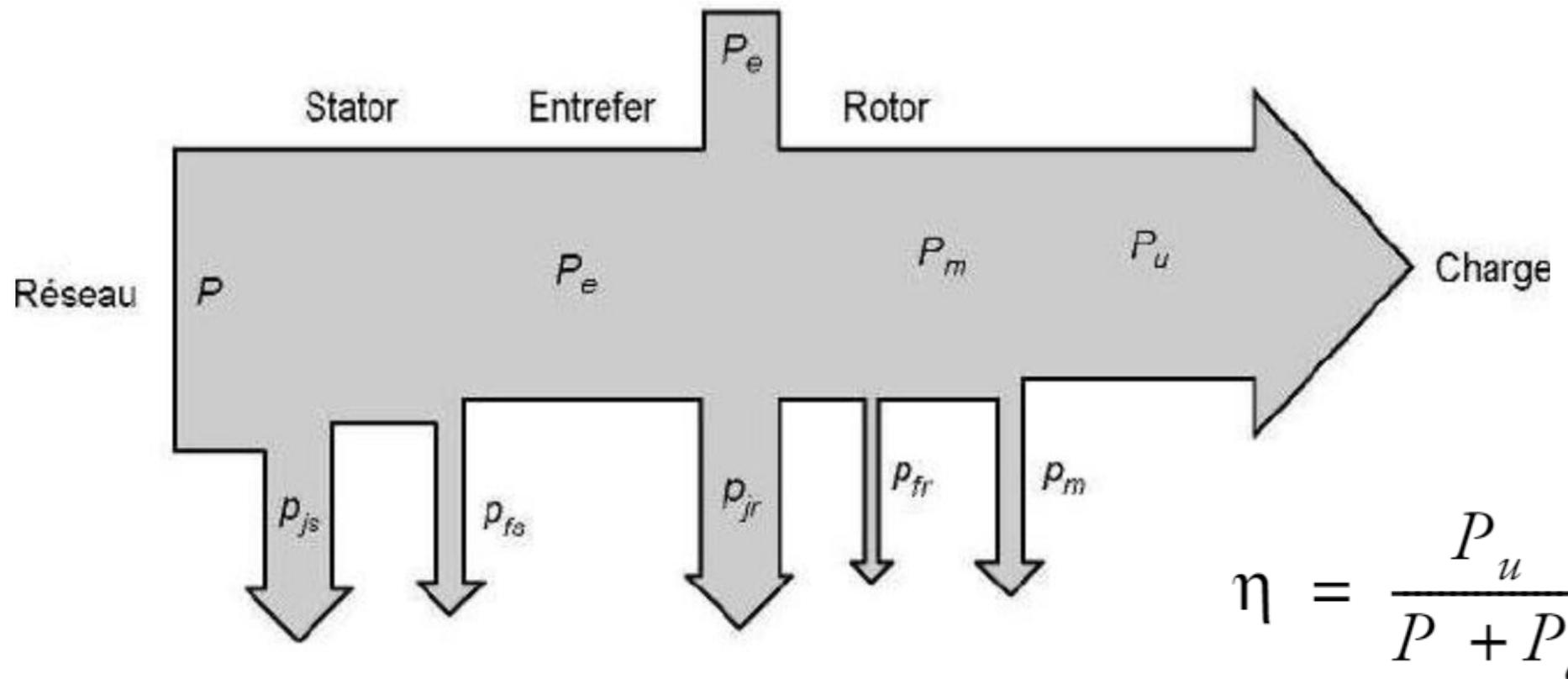
La puissance reçue par le circuit inducteur de son alimentation continue est : $P_e = v_f i_f$

Le rotor est le siège de pertes ferromagnétiques P_{fr} et de pertes par effet Joule P_{jr} dans le circuit d'excitation : $P_{jr} = R_f i_f^2$

ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE

PIUSSANCE UTILE (MÉCANIQUE)

Cette puissance est transmise au rotor par le couple électromagnétique $P_u = P_m - p_m = T_u \Omega_r$



DOMAINES D'UTILISATION

Les moteurs synchrones sont rencontrés dans tous les domaines de puissance, de moins d'un watt à plus de dix mégawatts, mais avec des technologies différentes.

MOTEUR SYNCHRONE À AIMANTS

- Petites et moyennes puissances, jusqu'à quelques dizaines (rarement centaines) de kilowatts
- Associés à une alimentation électronique
- Machines-outils, les robots, et plus généralement les entraînements à performances élevées
- Véhicules électriques ou hybrides

MOTEUR SYNCHRONE À ROTOR BOBINÉ

- Fortes puissances
- Directement branchés sur le réseau ou associés à une alimentation électronique
- Traction ferroviaire, la propulsion des navires, les laminoirs, les compresseurs, les concasseurs
- Dans quelques modèles de véhicules électriques

EXERCICES D'APPLICATIONS

VEUILLEZ CONSULTER LE SUPPORT DE TD



ELECTROTECHNIQUE

Chapitre 6 : Moteurs Asynchrones

PLAN

Généralités

Principe

Etude énergétique

Exemples d'applications

OBJECTIFS

Le moteur asynchrone est depuis longtemps la solution la plus répandue pour les machines qui ne sont pas munies d'une variation de vitesse. Son coût modéré et sa robustesse le rendent incontournable dans ce domaine. Les progrès récents dans les domaines de l'alimentation et de la commande en font maintenant une solution souvent retenue pour les machines à vitesse variable.

Au terme de ce chapitre, vous seriez capable :

- D'identifier un moteur asynchrone triphasé.
- De tracer ses caractéristiques.
- De décrire et d'utiliser les règles de branchement et de protection de ces moteurs
- De mettre en œuvre une chaîne de démarrage.

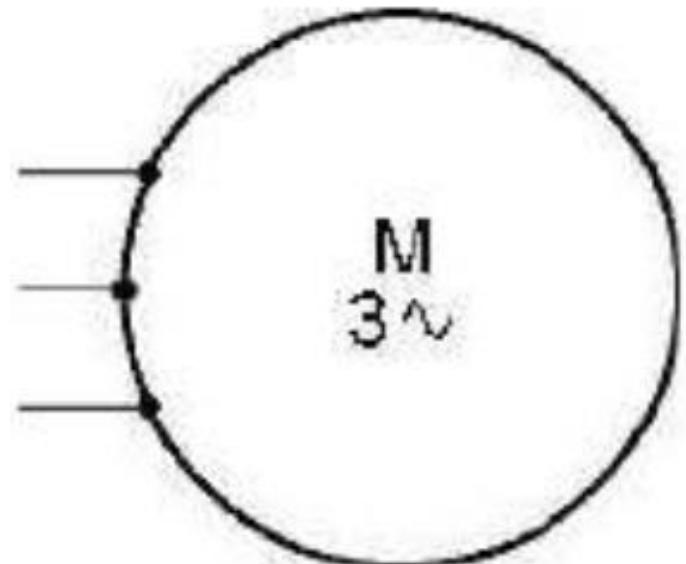
GÉNÉRALITÉS

DÉFINITION

Un moteur asynchrone est un moteur à courant alternatif pour lequel la vitesse de rotation de l'arbre est différente de la vitesse de rotation du champ tournant. La machine qui nous intéresse dans ce chapitre est plus précisément un moteur à induction. En effet, en anglais ce moteur est appelé moteur à induction, ce moteur électrique à courant alternatif tourne sans connexion entre le stator et le rotor.

SYMBOLE NORMALISÉ

Le moteur asynchrone peut être représenté par son symbole normalisé général ou par deux autres symboles normalisés indiquant s'il s'agit d'un moteur à cage ou d'un moteur à rotor bobiné.

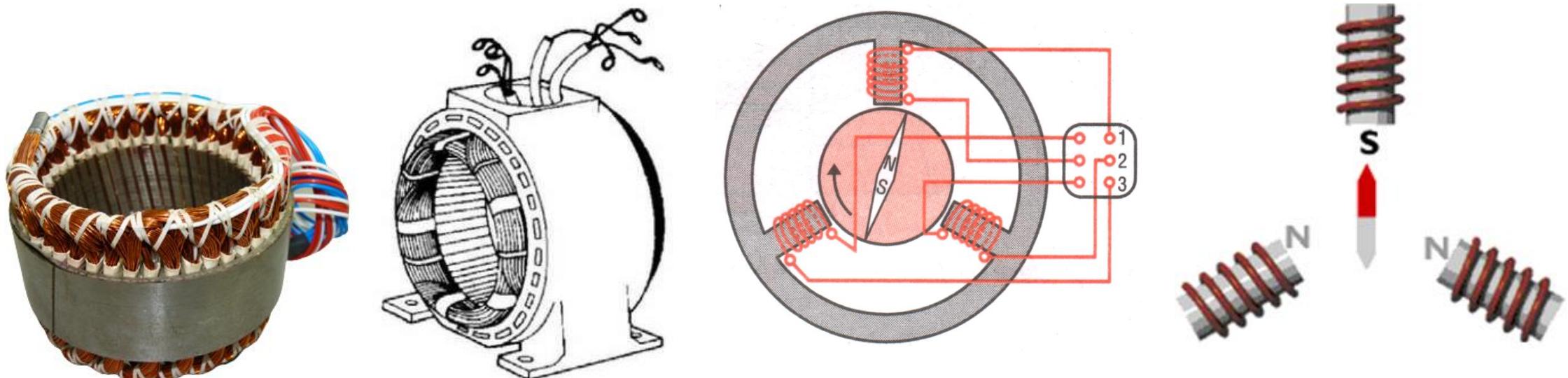


GÉNÉRALITÉS

CONSTITUTION

Stator

Le stator comporte une carcasse en fonte ou en tôle d'acier dans laquelle est inséré un circuit magnétique formé d'un empilage de tôles. Le stator d'un moteur asynchrone triphasé porte un enroulement triphasé réparti dans des encoches du circuit magnétique. Il est généralement couplé en étoile. Il constitue l'inducteur.

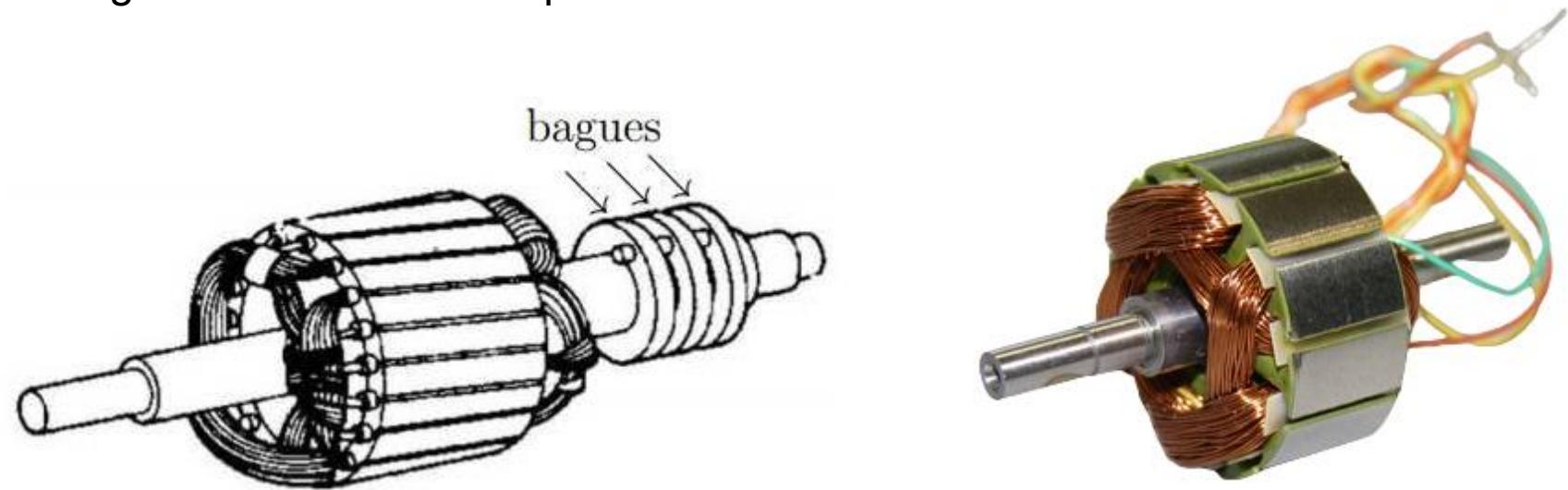


GÉNÉRALITÉS

CONSTITUTION

Rotor : Rotor bobiné

Dans ce cas, les encoches présentes à la périphérie du rotor contiennent un enroulement similaire à celui du stator. Le bobinage rotorique est toujours couplé en étoile et il est accessible de l'extérieur grâce à un système de bagues et de balais, ce qui permet soit de le court-circuiter soit de le relier à un circuit permettant d'agir sur les caractéristiques du moteur dans certains fonctionnements.

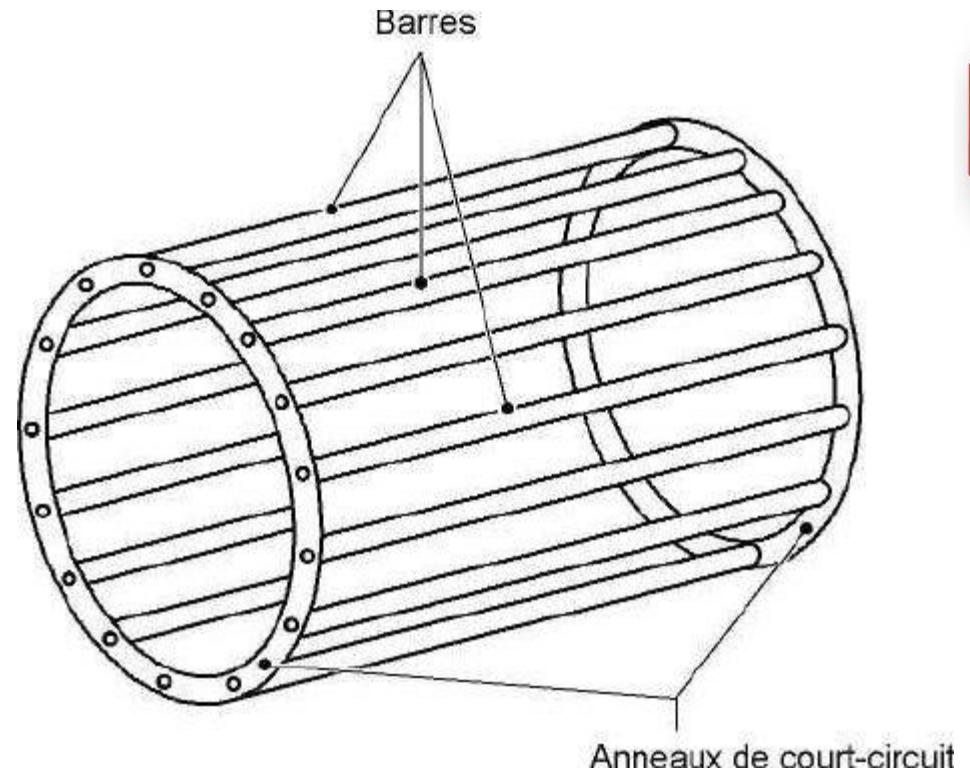


GÉNÉRALITÉS

CONSTITUTION

Rotor : Rotor à cage

Dans ce cas, les encoches contiennent des barres reliées aux deux extrémités par des anneaux de court-circuit. L'ensemble forme une cage d'écuréuil. Les barres sont en alliage d'aluminium pour les machines de petite et moyenne puissance, en cuivre pour les moteurs de forte puissance. L'enroulement ainsi obtenu n'est pas accessible de l'extérieur. La cage rotorique forme un enroulement dont le nombre de phases et le nombre de pôles ne sont pas fixés par construction.



GÉNÉRALITÉS

CONSTRUCTEUR

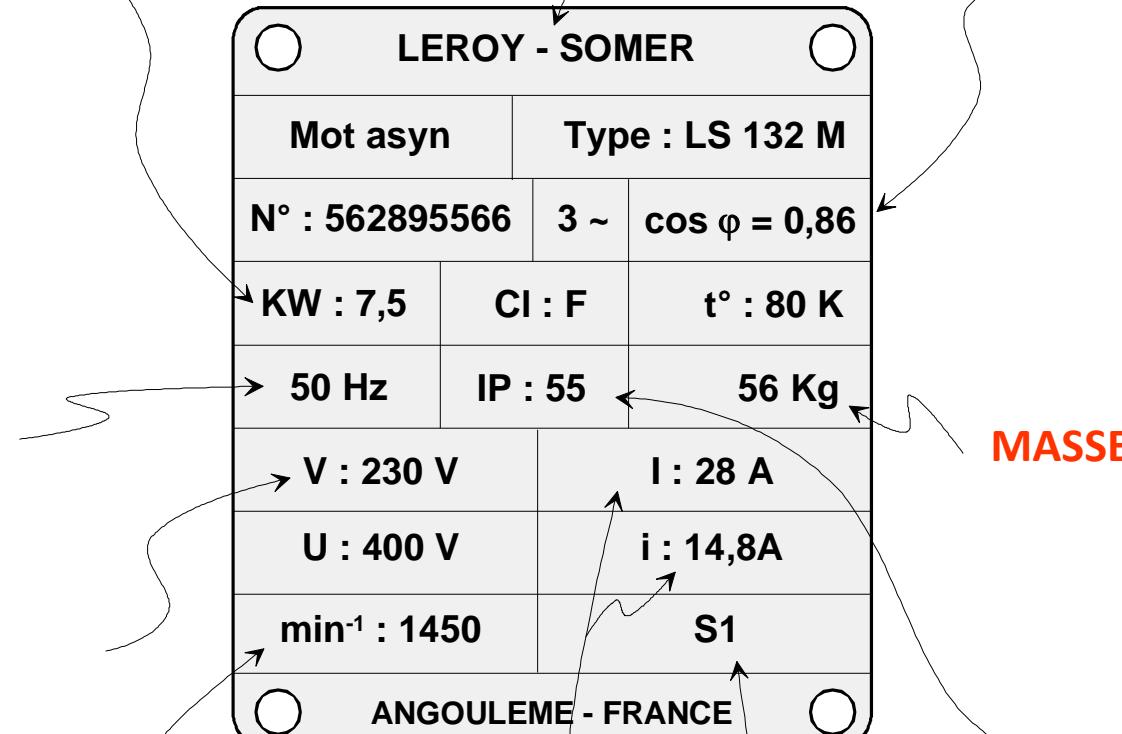
PIUSSANCE UTILE

PLAQUE SIGNALÉTIQUE

FREQUENCE

FACTEUR DE PUISSANCE

MASSE



GÉNÉRALITÉS

PLAQUE SIGNALÉTIQUE

Tension d'alimentation					
230 V			400 V		
U1	V1	W1	U1	V1	W1
W2	U2	V2	W2	U2	V2

Couplage triangle Couplage étoile

Mot asyn	Type : LS 132 M
N° : 562895566	3 ~ $\cos \varphi = 0,86$
KW : 7,5	CI : F
50 Hz	IP : 55
	56 Kg
V : 230 V	I : 28 A
U : 400 V	i : 14,8A
min ⁻¹ : 1450	S1
ANGOULEME - FRANCE	

Vitesse de rotation de l'arbre moteur ($f = p \times n$) $f = 50 \text{ Hz}$			
p : nbre de pôles	n : vitesse (min ⁻¹)	p : nbre de pôles	n : vitesse (min ⁻¹)
2	3000	6	1000
4	1500	8	750

Réglage du relais Thermique	
1 ^{ère} tension	2 ^{ème} tension
230 V	400 V
Ir : 28 A	Ir : 14.8A

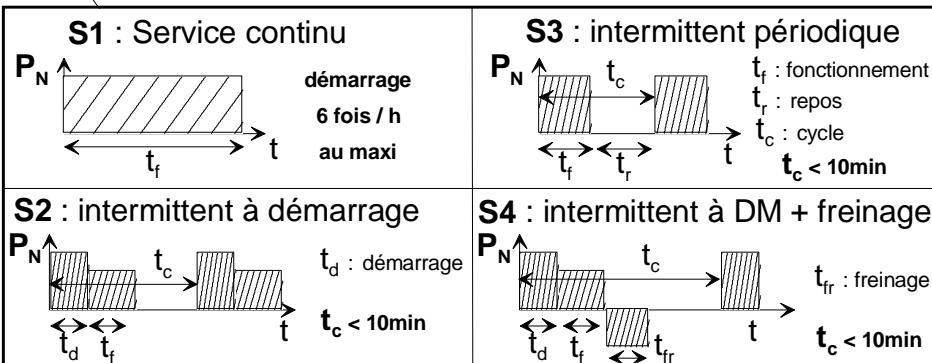
GÉNÉRALITÉS

PLAQUE SIGNALÉTIQUE

Mot asyn	Type : LS 132 M	
N° : 562895566	3 ~	$\cos \phi = 0,86$
KW : 7,5	CI : F	t° : 80 K
50 Hz	IP : 55	56 Kg
V : 230 V	I : 28 A	
U : 400 V	i : 14,8A	
min ⁻¹ : 1450	S1	
ANGOULEME - FRANCE		

Classe de l'isolant		
Classe	Echauffement limite	t° limite
A	60°C	105°C
E	75°C	115°C
B	80°C	120°C
F	90°C	140°C
H	125°C	165°C

Indice de protection	
IP 55	Moteur étanche
IP 44	Moteur fermé
IP 43	Moteur protégé
IK	Indice de protection mécanique



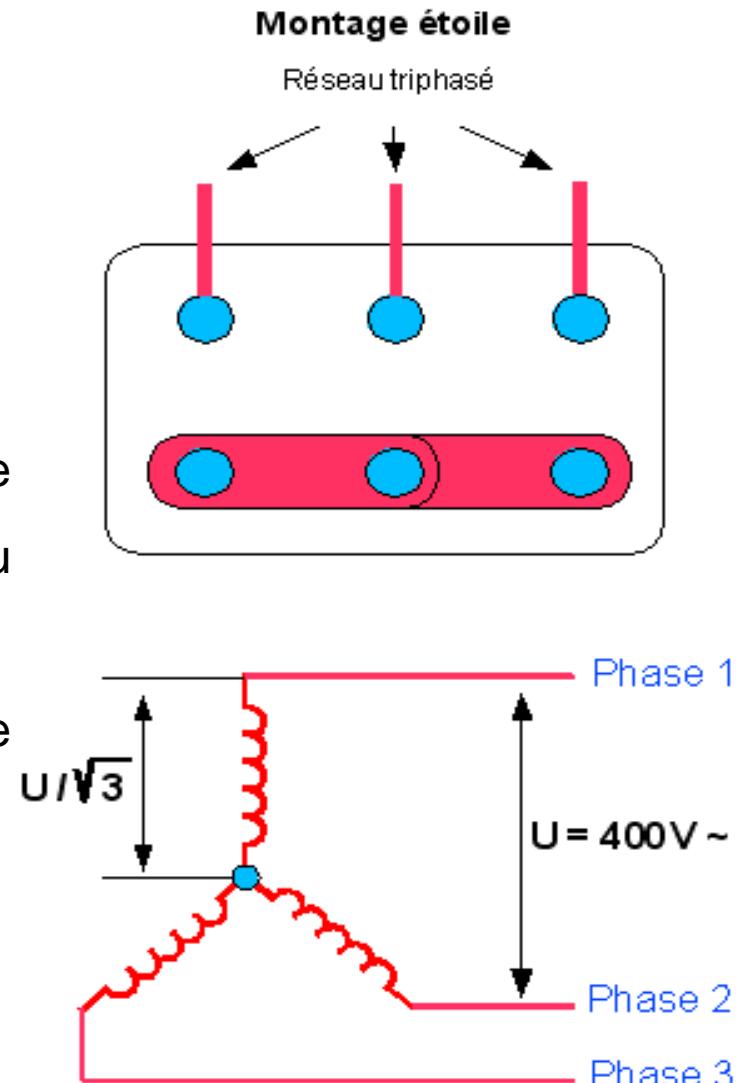
GÉNÉRALITÉS

COUPLAGE-BRANCHEMENT

Deux Manières de relier les bornes du moteur au réseau électrique : Etoile ou Triangle.

Couplage étoile : Ici, les enroulements reçoivent une tension réduite (tension simple du réseau triphasé). Il s'utilise donc si la tension du réseau d'alimentation est égale à la tension du moteur.

Exemple : La plaque signalétique d'un moteur triphasé affiche une tension nominale 230/400 V et que celle de l'alimentation est 230/400 V.



GÉNÉRALITÉS

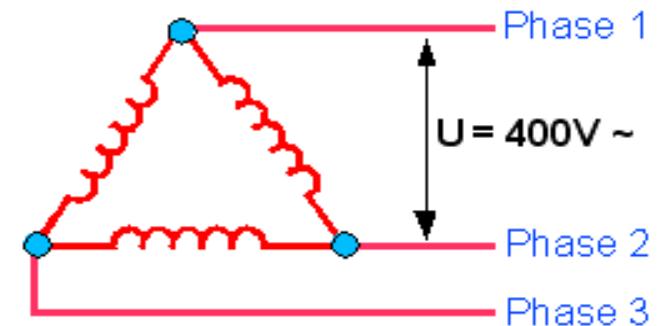
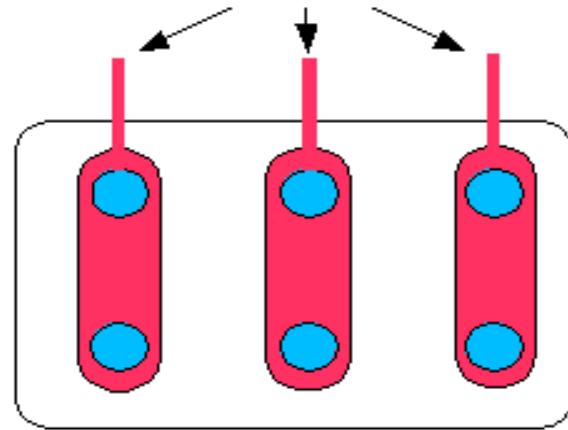
COUPLAGE-BRANCHEMENT

Couplage triangle : Dans ce couplage, chaque enroulement reçoit la tension appliquée, on l'utilise donc si la plus grande tension du réseau est égale à la plus petite tension moteur.

Exemple : La plaque signalétique d'un moteur triphasé affiche une tension nominale de 230V/400V sur un réseau dont la tension serait de 127/230V.

Montage triangle

Réseau triphasé



PRINCIPE

L'enroulement statorique, parcouru par un système triphasé équilibré de courants de pulsation ω_s crée une tension magnétique tournante d'entrefer à la vitesse synchrone Ω_s , soit avec p paires de pôles :

$$\Omega_s(\text{rad. s}^{-1}) = \frac{\omega_s}{p} \quad n_s(\text{tr/min}) = \frac{60f_s}{p}$$

f_s Fréquence réseau (Hz)

Les trois enroulements du stator créent un champ magnétique tournant. Les conducteurs du rotor, mis en court-circuit, sont le siège de courant induit (courants de Foucault).

L'action du champ magnétique statorique sur ces courants met en mouvement le rotor. La vitesse Ω_r du rotor est inférieure à la vitesse synchrone Ω_s . On dit que la rotation est asynchrone. Le rotor glisse par rapport au champ tournant. La différence relative s'appelle le glissement et s'exprime :

Parfois, Ω_r est simplement noté Ω

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s} = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

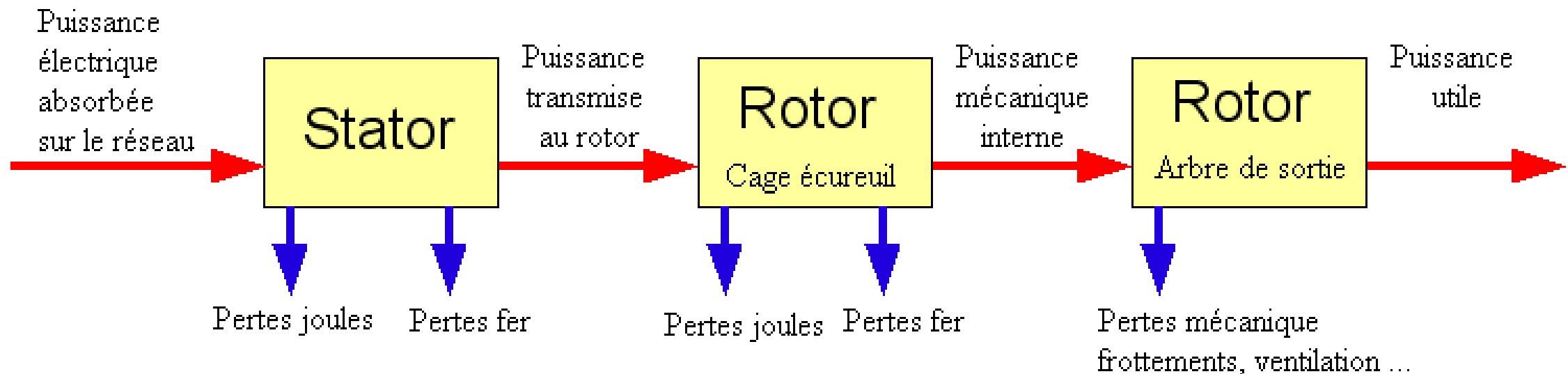
PRINCIPE

QUELQUES RELATIONS

n_s : Vitesse de rotation de synchronisme du champ tournant (tr/s)

$$n_r : \text{vitesse de rotation du rotor (tr/s)} \quad n_r = (1 - g)n_s$$

$$n_g : \text{vitesse de glissement (tr/s)} \quad n_g = n_s - n_r = g \cdot n_s$$



ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE

PUISANCES ÉLECTRIQUES ABSORBÉES

La puissance active consommée sur le réseau en triphasé est : $P_a = UI\sqrt{3} \cos \varphi$

La puissance réactive : $Q_a = UI\sqrt{3} \sin \varphi$

La puissance apparente : $S = UI\sqrt{3}$

PERTES AU STATOR

Pour un moteur en charge :

P_{js} et P_{fs} : Ce sont les pertes par effet Joule et les pertes fer (magnétiques) au stator.

En étoile : $P_{js} = 3rI^2 = \frac{3}{2} RI^2$ r : résistance d'un enroulement entre le neutre et la phase ;

R : résistance entre deux bornes de phase du stator.

En triangle : $P_{js} = 3rJ^2 = \frac{3}{2} RI^2$ J : courant par phase ; I : courant en ligne.

ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE

PUISSEANCE TRANSMISE AU ROTOR

Cette puissance est transmise au rotor par le couple électromagnétique

$$P_{tr} = P - P_{fs} - P_{js} = T_{em}\Omega_s$$

T_{em} : Moment du couple électromagnétique en Nm.

Ω_s : Vitesse angulaire de synchronisme en rad/s.

PUISSEANCE TRANSMISE À L'ARBRE DU ROTOR ET PERTES AU ROTOR

Il faut enlever à la précédente les pertes Joule dans le rotor : $P_r = P_{tr} - P_{jr} = (1 - g)P_{tr}$

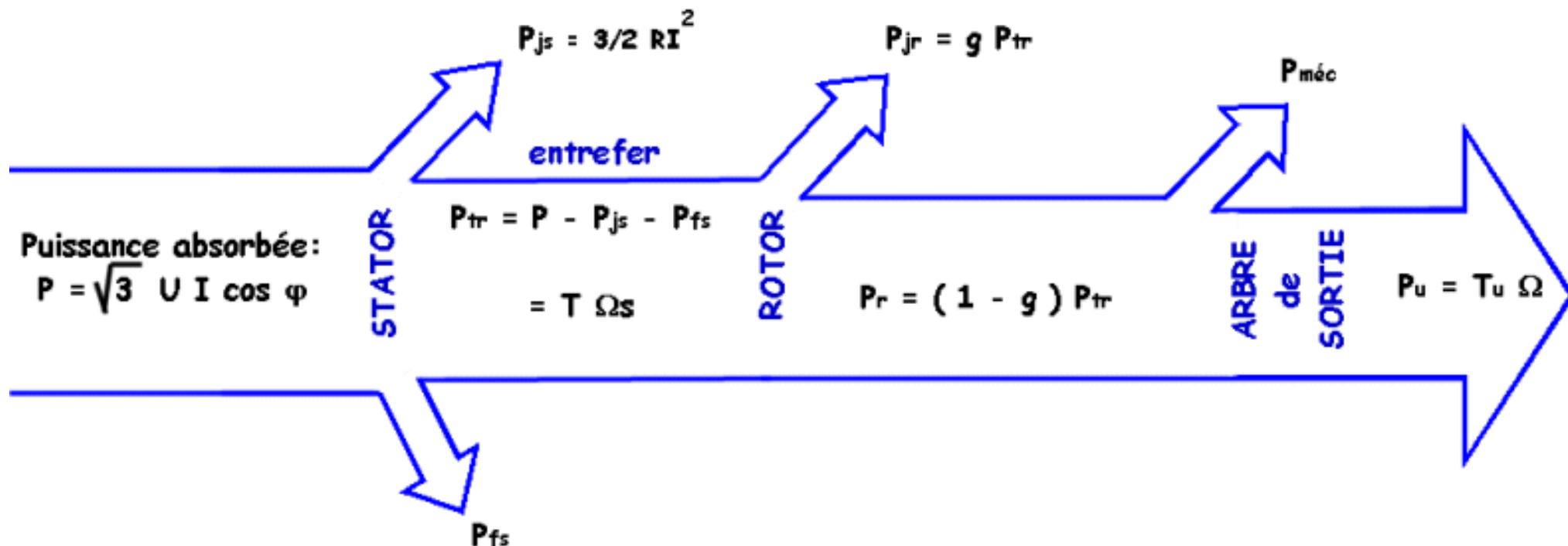
Les pertes électriques au niveau du rotor sont les pertes par effet Joule : $P_{jr} = gP_{tr}$

ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE

PIUSSANCE UTILE (MÉCANIQUE)

Cette puissance est transmise au rotor par le couple électromagnétique $P_u = P_r - P_{mec} = T_u \Omega_r$

Où T_u est le couple utile en N.m et P_{mec} les pertes mécaniques

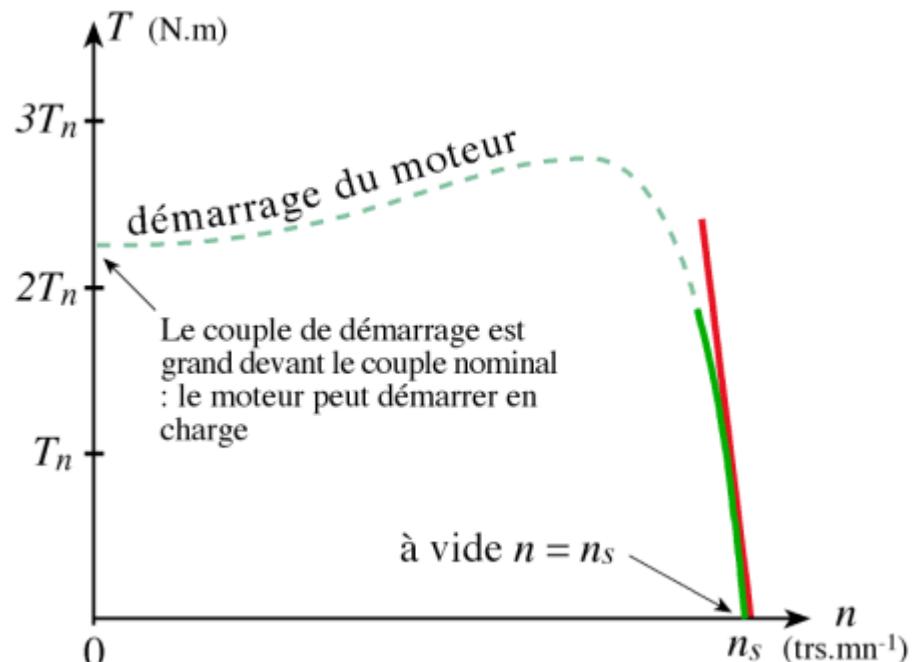


ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE

RENDEMENT

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

CARACTÉRISTIQUE MÉCANIQUE $T=F(n)$



DOMAINES D'UTILISATION

Le moteur asynchrone est le moteur industriel par excellence. Les moteurs asynchrones ont, pour leur grande majorité un rotor à cage. Les progrès accomplis ces dernières années dans l'alimentation et la commande des machines n'ont fait que réduire la part des moteurs asynchrones à rotor bobiné par rapport à leurs homologues à cage d'écureuil.

EXERCICES D'APPLICATIONS

VEUILLEZ CONSULTER LE SUPPORT DE TD



ELECTROTECHNIQUE

Chapitre 7 : Appareillages Electriques

PLAN

Les interrupteurs

Les commutateurs

Le sectionneur

Le contacteur

Fusibles

Relais thermique

Relais électromagnétique

Disjoncteurs

OBJECTIFS

L'appareillage électrique désigne tous les dispositifs en rapport avec la protection du réseau électrique. Un schéma électrique est composé d'appareillages simples réalisant chacun une ou plusieurs fonctions données :

- Protection des personnes
- Protection des biens
- Consignation et coupure visible de l'alimentation électrique
- Commander la puissance

SCHÉMA ÉLECTRIQUE

□ Niveaux de Tension

Tension	Domaine	Appellation	Valeurs usuelles
$\leq 50 \text{ V}$	TBT		12 - 24 - 48 V
$\leq 1000 \text{ V}$	BT	BT (basse tension)	230 - 380 - 400 V
$1 \text{ kV} \leq U \leq 50 \text{ kV}$	HTA	MT (moyenne tension)	5.5 - 6.6 - 10 - 15 - 20 - 36 kV
$U > 50 \text{ kV}$	HTB	HT (haute tension) THT (très haute tension)	63 - 90 - 150 kV 225 - 400 kV

SCHÉMA ÉLECTRIQUE

□ Schéma de Puissance (Tensions du secteur)

- Alimentation des actionneurs
- Section importante selon courant véhiculé ($\geq 1,5 \text{ mm}^2$)
- Partie puissance des appareillages
 1. Disjoncteurs ou sectionneurs porte-fusibles (Q)
 2. Contacteurs Moteurs (KMx)
 3. Relais thermique (Fx)
 4. Actionneurs
 5. Départ vers l'alimentation de la partie commande

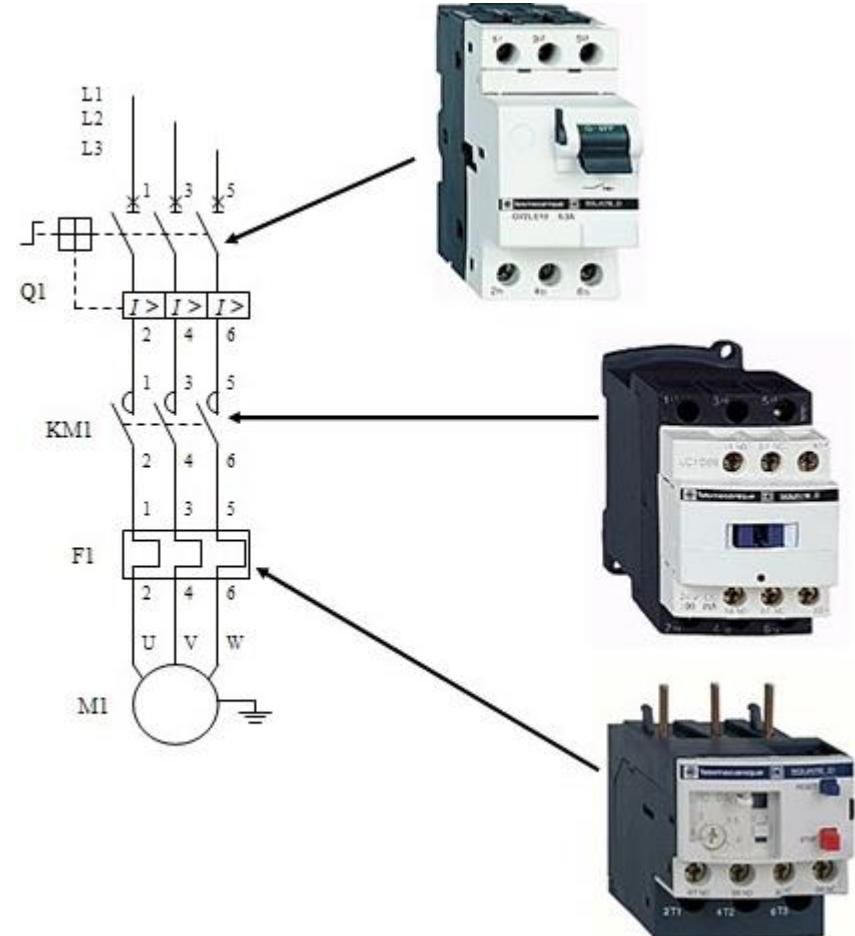
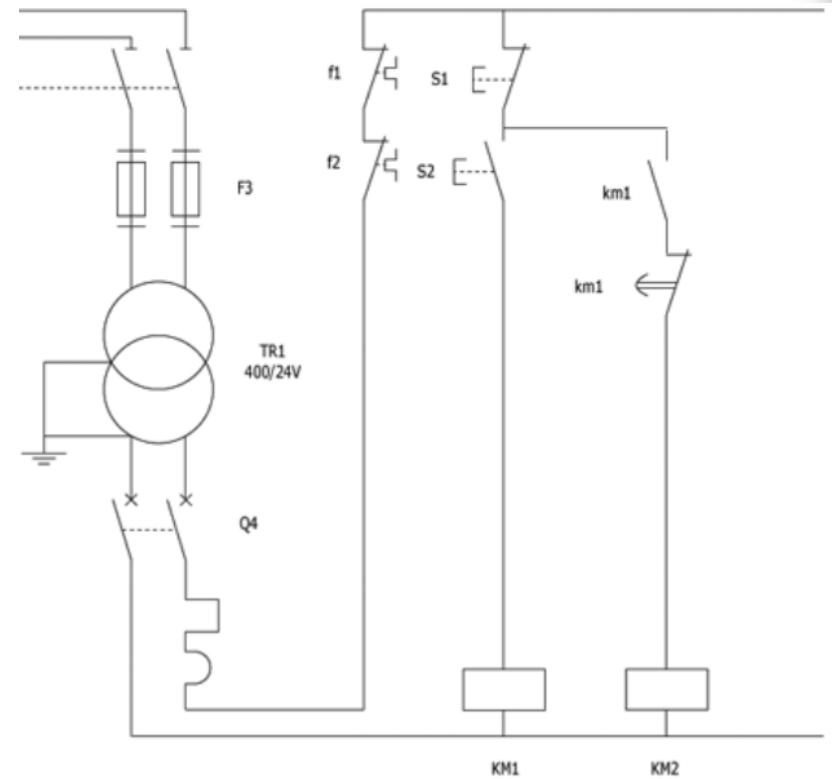


SCHÉMA ÉLECTRIQUE

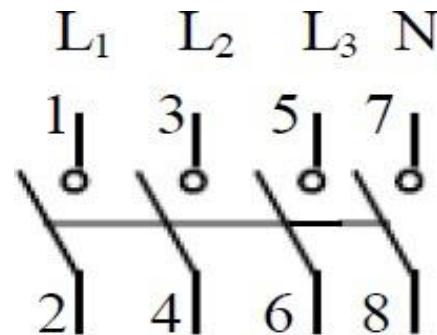
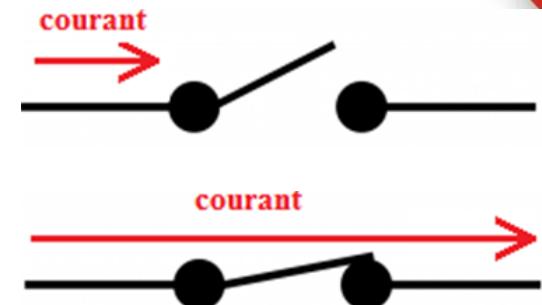
□ Schéma de Commande (Très basse tension)

- Alimentation des parties commandes des appareillages
- Peu de courant d'où faible section ($\geq 1 \text{ mm}^2$)
- Partie commande des appareillages
 1. Bouton d'arrêt d'urgence (S1)
 2. Boutons poussoirs (S2, S3...)
 3. Bobines des contacteurs (KMx : A1-A2)
 4. Contacts auxiliaires des contacteurs (kmx) / Contacts temporisés des contacteurs
 5. Contacts des relais thermiques (Fx)
 6. Voyants (Hx)



LES INTERRUPEURS

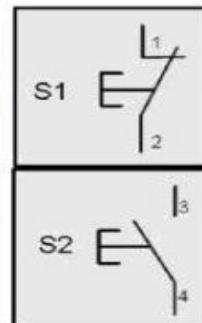
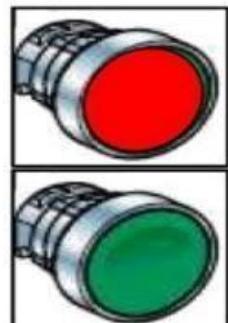
Appareil mécanique de connexion capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales du circuit.



Interrupteur à bouton poussoir

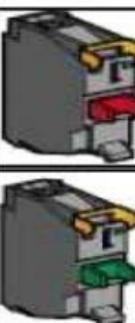
Dispositif à action momentanée ou fugitive.

L'appui d'un bouton entraîne une modification de l'état du contact.



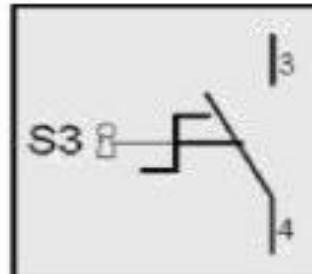
bouton poussoir d'arrêt de système
(ne maintient pas la position enfoncé lorsqu'on relâche la pression sur le bouton)

bouton poussoir de mise en marche de système
(ne maintient pas la position enfoncé lorsqu'on relâche la pression sur le bouton)

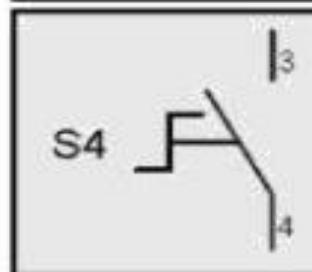
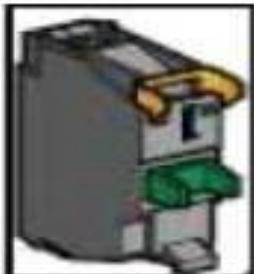


LES INTERRUPEURS

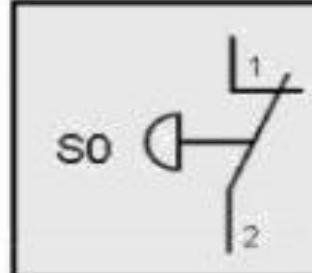
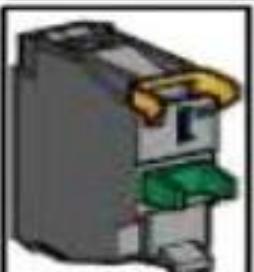
Interrupteur Commutateur



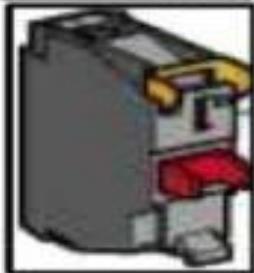
vérrouillage à accrochage
mécanique du commutateur de
positionnement
(maintient mécaniquement la position
enfoncé du contact)



commutateur à accrochage
mécanique de positionnement
(maintient mécaniquement la position
enfoncé du contact)



bouton d'arrêt d'urgence à
accrochage mécanique
(maintient mécaniquement la position
enfoncé du contact)



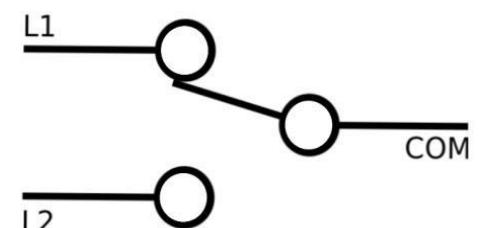
LES INTERRUPEURS

Interrupteur à levier



LES COMMUTATEURS

Le commutateur est un interrupteur qui permet de choisir entre plusieurs états actifs d'un appareil. Il est destiné à couper, à rétablir, à inverser le sens du courant électrique, ainsi qu'à le distribuer à volonté dans différents circuits.



LE SECTIONNEUR

Le sectionneur est un appareil électromécanique permettant de séparer de façon mécanique, un circuit électrique de son alimentation, tout en assurant physiquement une distance de sectionnement électriquement satisfaisante afin d'isoler la partie de l'installation en aval du sectionneur.



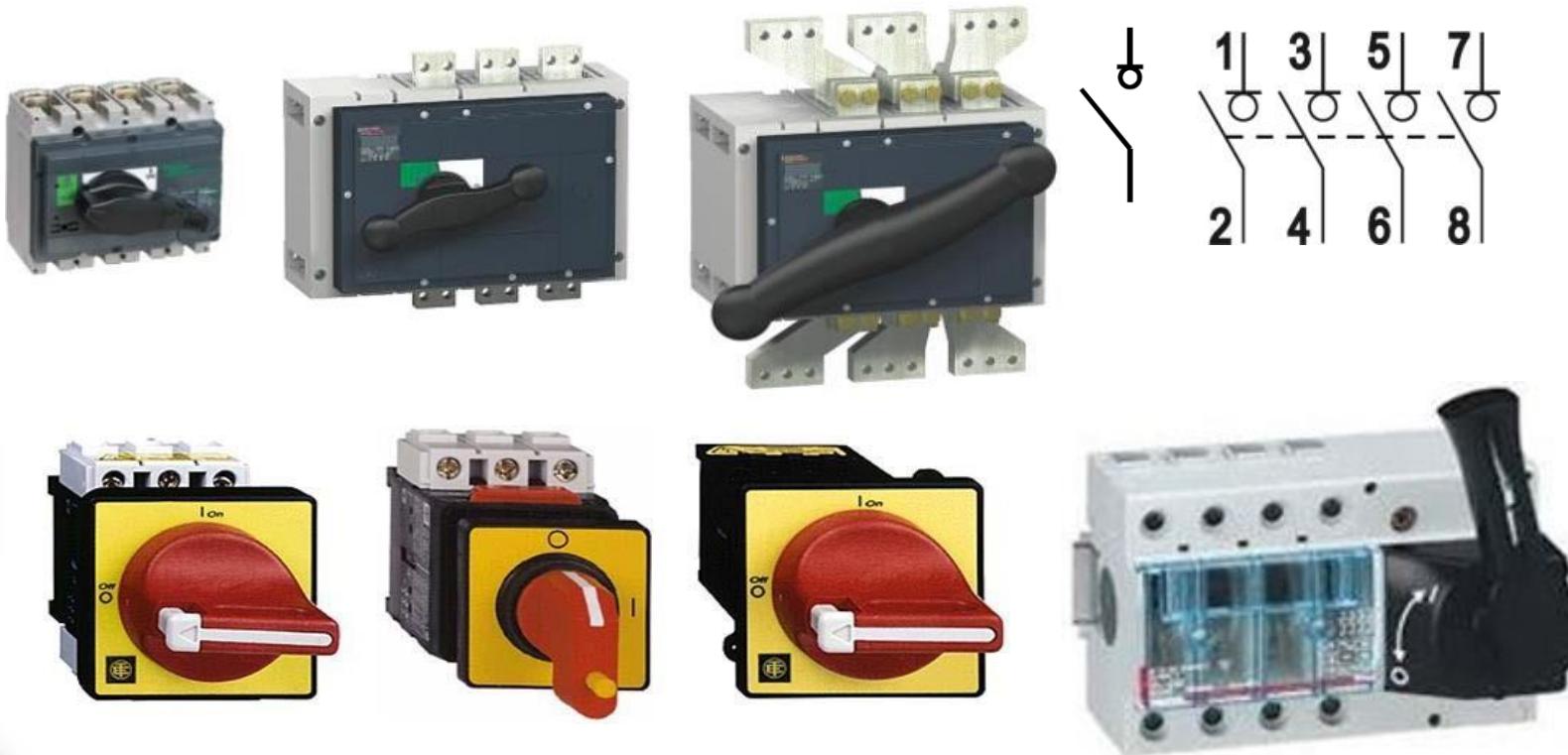
Une coupure électrique réellement visible



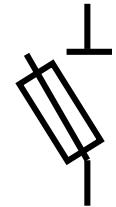
Sectionneur porte fusible

INTERRUPEUR-SECTIONNEUR

L'interrupteur sectionneur est un appareil de commande capable de couper et fermer un circuit en service normal, et de séparer de façon certaine tous les conducteurs actifs.

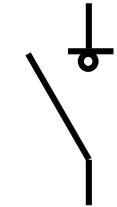
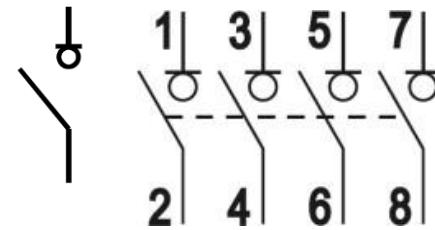


Symboles



Sectionneur

Sectionneur
porte fusibles



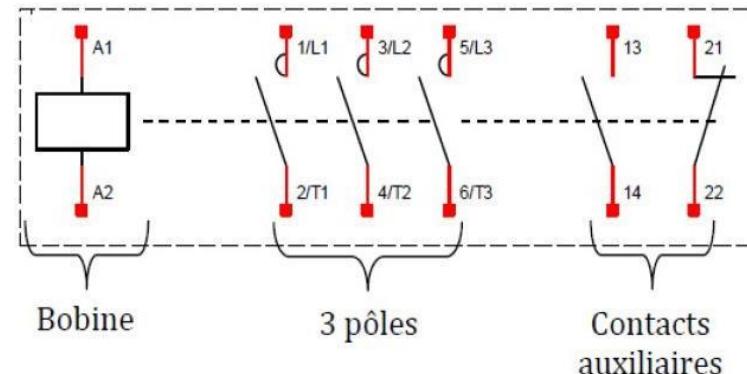
Interrupteur-
Sectionneur

LE CONTACTEUR

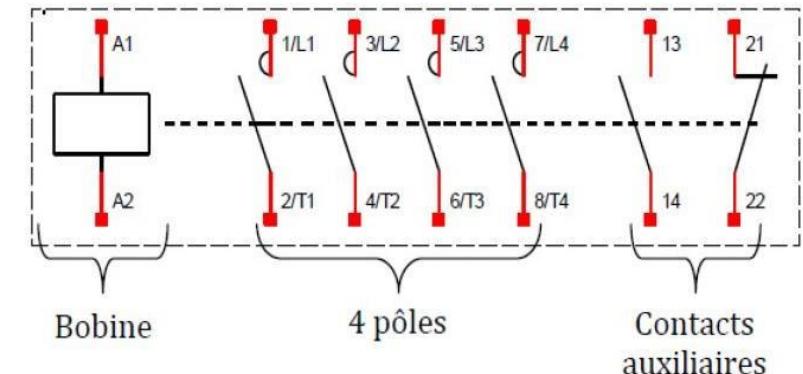
Le contacteur est un appareil qui sert à établir ou interrompre et à supporter les courants dans les conditions normales de fonctionnement d'un circuit. L'intérêt du contacteur est de pouvoir être commandé à distance.



Contacteur tripolaire :



Contacteur tétra polaire :



LE CONTACTEUR

❑ Partie puissance

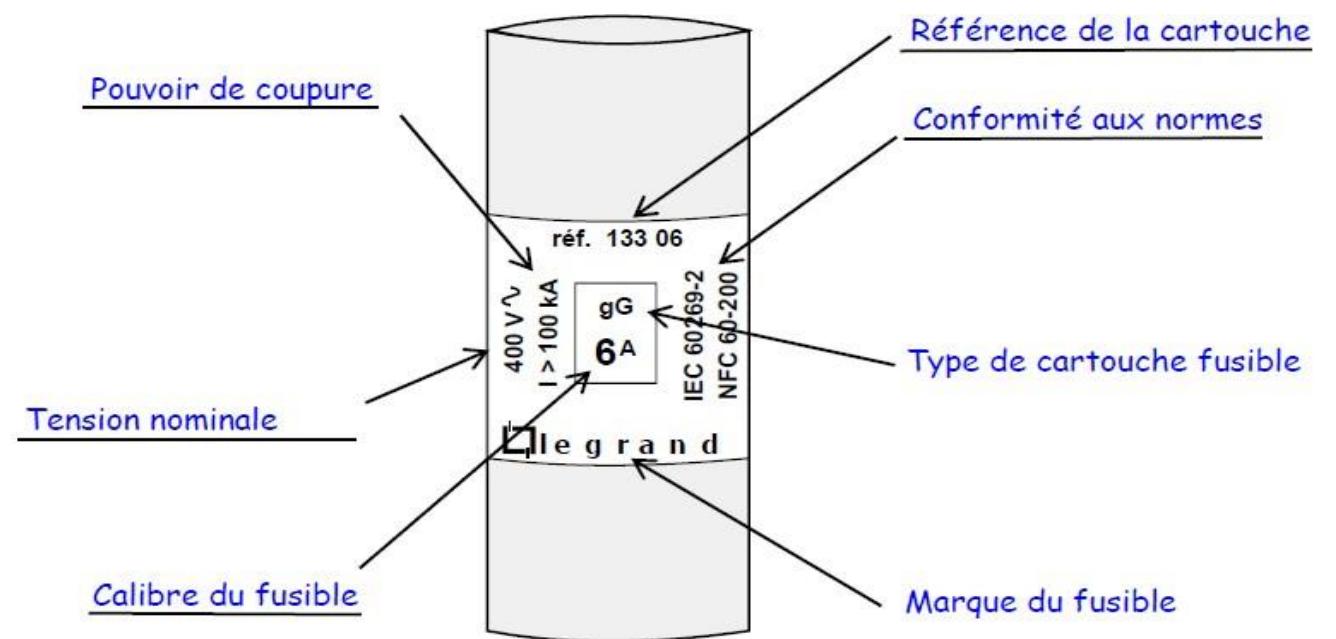
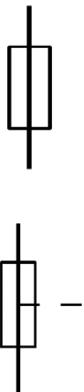
- Contacts principaux (uni, bi, tri ou encore tétra-polaires)
- Fort PdC

❑ Partie commande

- Bobine
- Contact auxiliaire
- Faible PdC

LES FUSIBLES

Un fusible est un dispositif de sécurité qui protège contre les courts-circuits et les surcharges. Il se présente sous la forme d'un cylindre, en verre ou en céramique, dont le cœur est traversé par un filament.



Courant nominal pouvant traverser la cartouche fusible sans provoquer ni fusion, ni échauffement excessif

Dimensions :

Fonction de la tension du réseau. Pour les cartouches domestiques, elles sont fonction du calibre (8.5x23→10A ; 10.3x25,6→16A...).

LES FUSIBLES

TYPES

- **gG** : (protection générale) contre les faibles et fortes surcharges ainsi que les courts-circuits.
- **aM** (accompagnement moteur) : fortes surcharges ainsi que les courts-circuits.
- **aD** (accompagnement disjoncteur) : Utilisé par les distributeurs sur la partie du branchement.
- **UR** (ultra-rapide) : Semi-conducteurs de puissance et les circuits en tension continue.



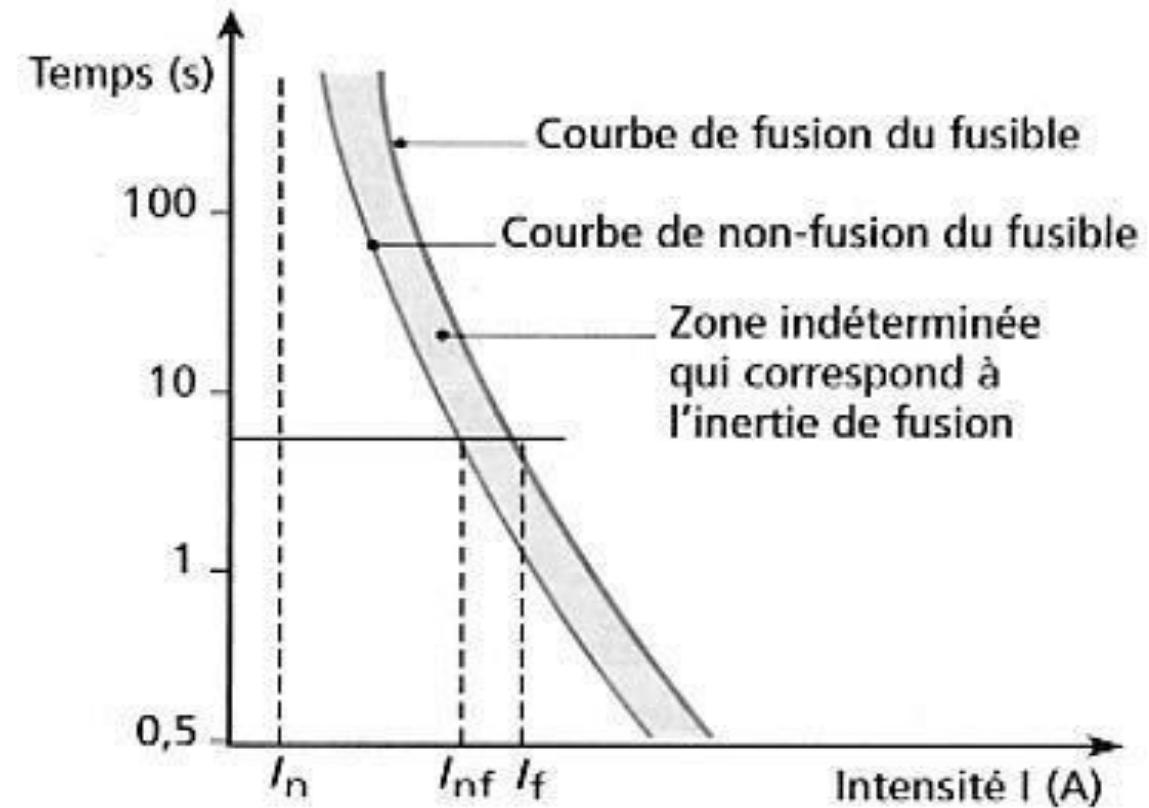
LES FUSIBLES

CARACTÉRISTIQUES

- Tension nominale U_n
- Courant nominal I_n
- Courant de non fusion « I_{nf} »
- Courant de fusion « I_f »
- Courant de court-circuit présumé
- Pouvoir de coupure
- Durée de coupure

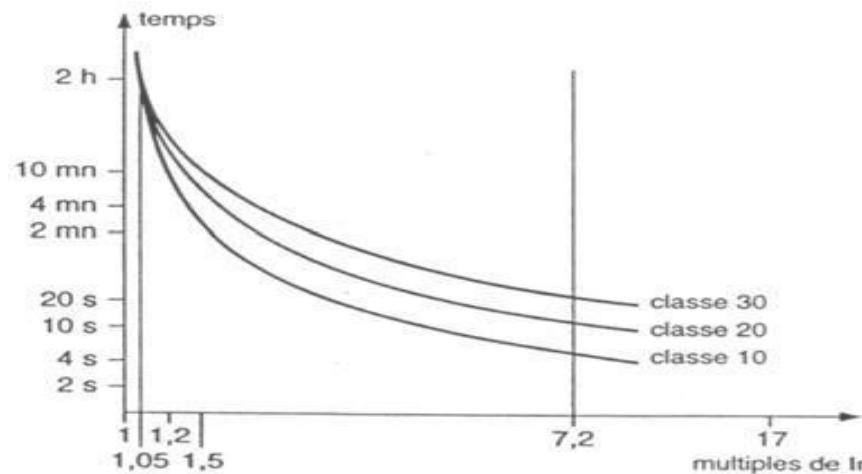
Courbe de fonctionnement du fusible

On exprime le temps de fusion en fonction de l'intensité, ce qui se traduit par deux courbes :



LES RELAIS THERMIQUES

Pour répondre au besoin pour les relais de supporter les courtes surcharges, la norme leur définit pour trois classes de déclenchement :



- Classe 10 : temps de démarrage inférieur à 10s (applications courantes)
- Classe 20 : temps de démarrage inférieur à 20s
- Classe 30 : temps de démarrage inférieur à 30s

Critères de choix d'un relais thermique

- ❖ Le courant nominal du moteur
- ❖ La plage de réglage du relais thermique
- ❖ La classe de déclenchement en fonction du temps de démarrage

LES RELAIS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Le relais magnétique est un déclencheur à maximum de courant. C'est est un relais unipolaire dont le rôle est de détecter l'apparition d'un court-circuit. Il n'a pas de pouvoir de coupure et ce sont ses contacts à NF(91-92) et à NO(93-94) qui vont être utilisés dans le circuit de commande pour assurer l'ouverture du circuit de puissance du récepteur et signaler un défaut.

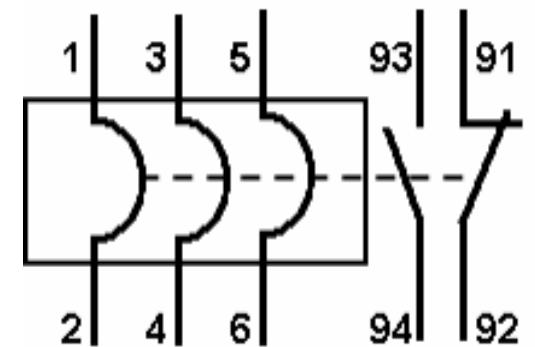
Ce relais est recommandé pour la protection des circuits sans pointe de courant ou au contrôle des pointes de démarrage des moteurs asynchrones à bagues.

Réglage

Le choix du réglage doit tenir compte :

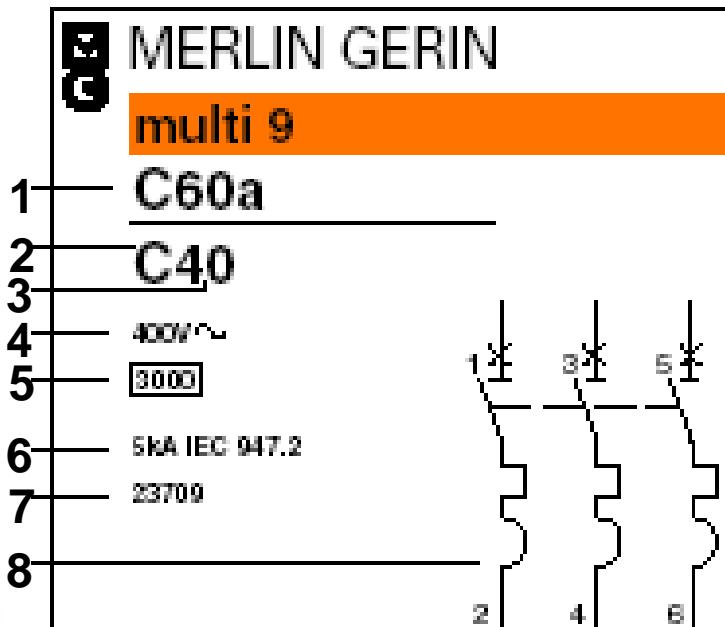
De l'intensité du réglage en service permanent ;

De la valeur du réglage qui doit être supérieure au courant et aux pointes normales.



LES DISJONCTEURS

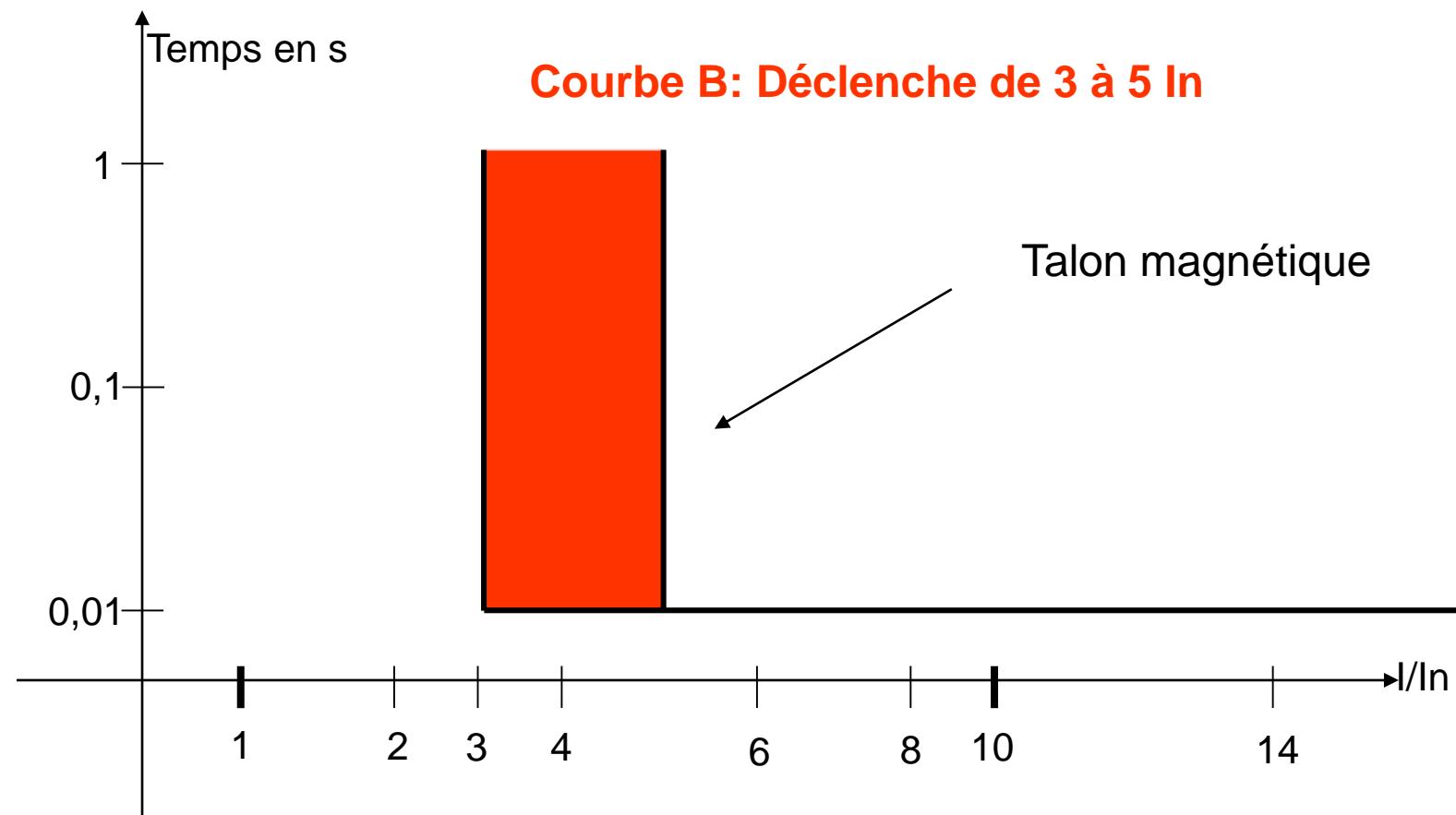
Le disjoncteur est un appareil de connexion électrique capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, ainsi que d'établir, de supporter pendant une durée spécifiée et d'interrompre des courants dans des conditions anormales spécifiées telles que celles du court-circuit ou de la surcharge.



- 1 : Variante du disjoncteur suivant le pouvoir de coupure
- 2 : Courbe de déclenchement
- 3 : Calibre du disjoncteur (courant assigné)
- 4 : Tension d'emploi U_e
- 5 : Pouvoir de coupure suivant la norme « domestique et analogue » NFC 61-410
- 6 : Pouvoir de coupure suivant la norme « industrielle » NF C 63-120
- 7 : Référence commerciale
- 8 : Symbole électrique suivant le nombre de pôles

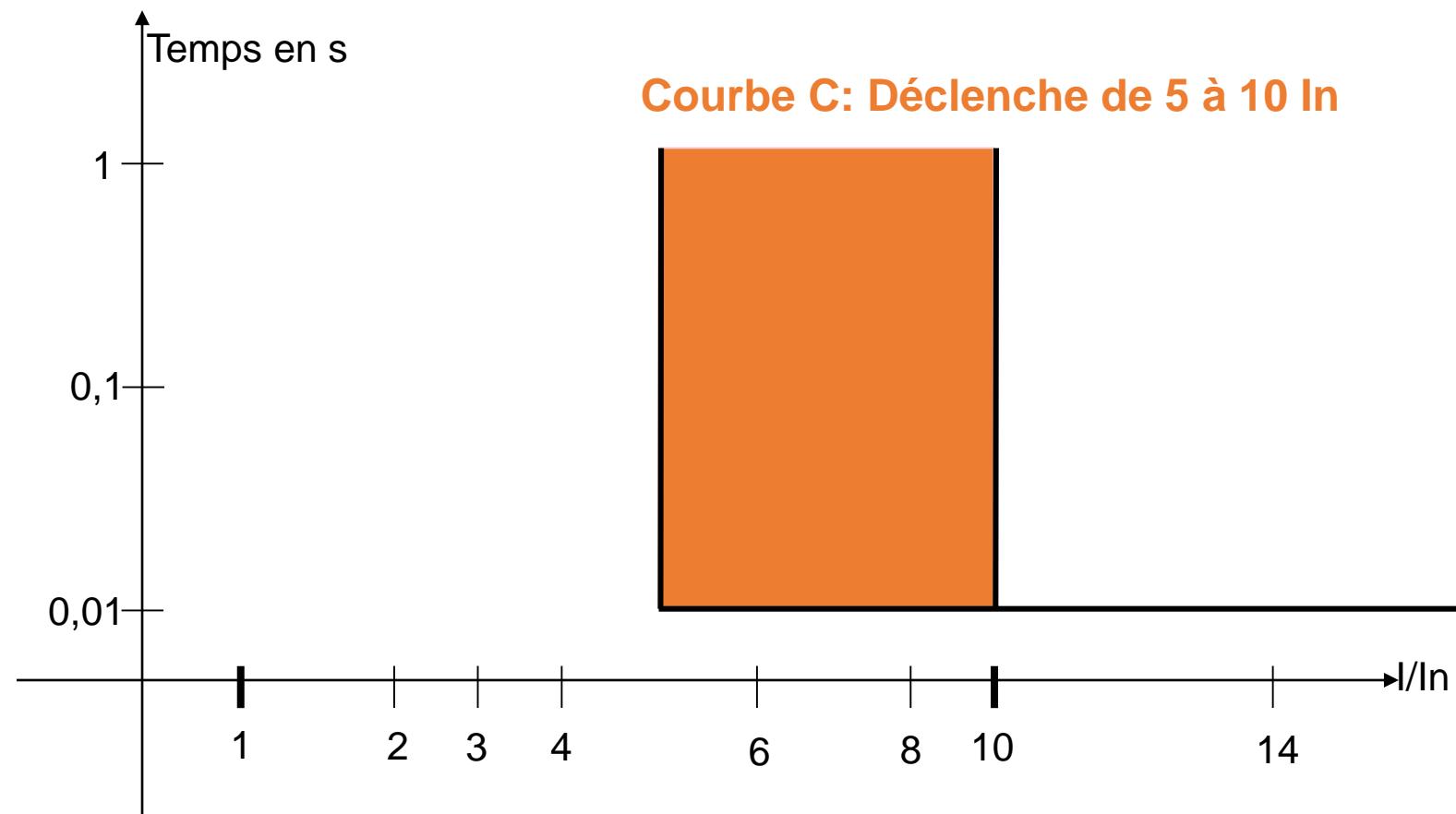
LES DISJONCTEURS

Courbes de déclenchement



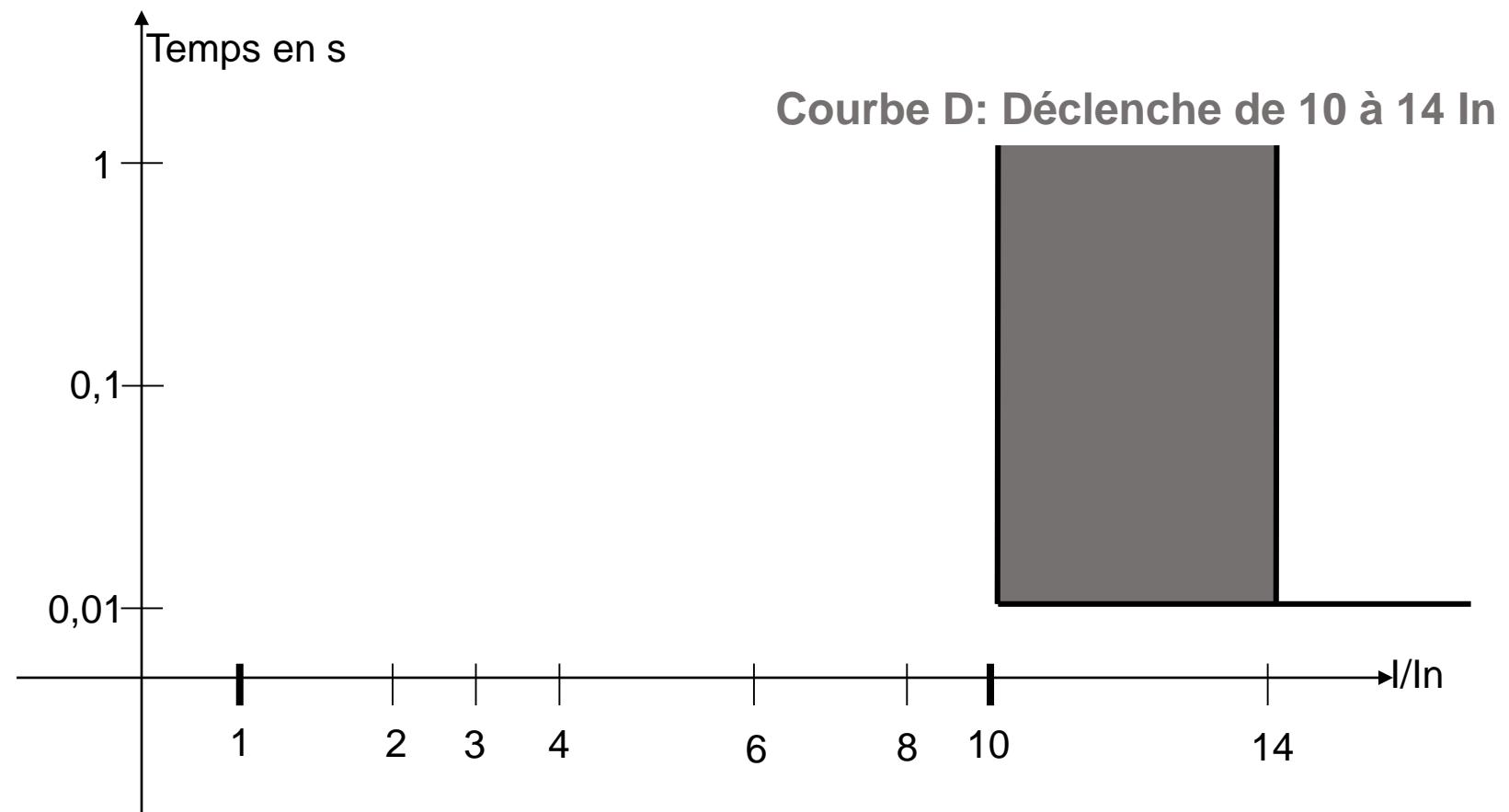
LES DISJONCTEURS

Courbes de déclenchement



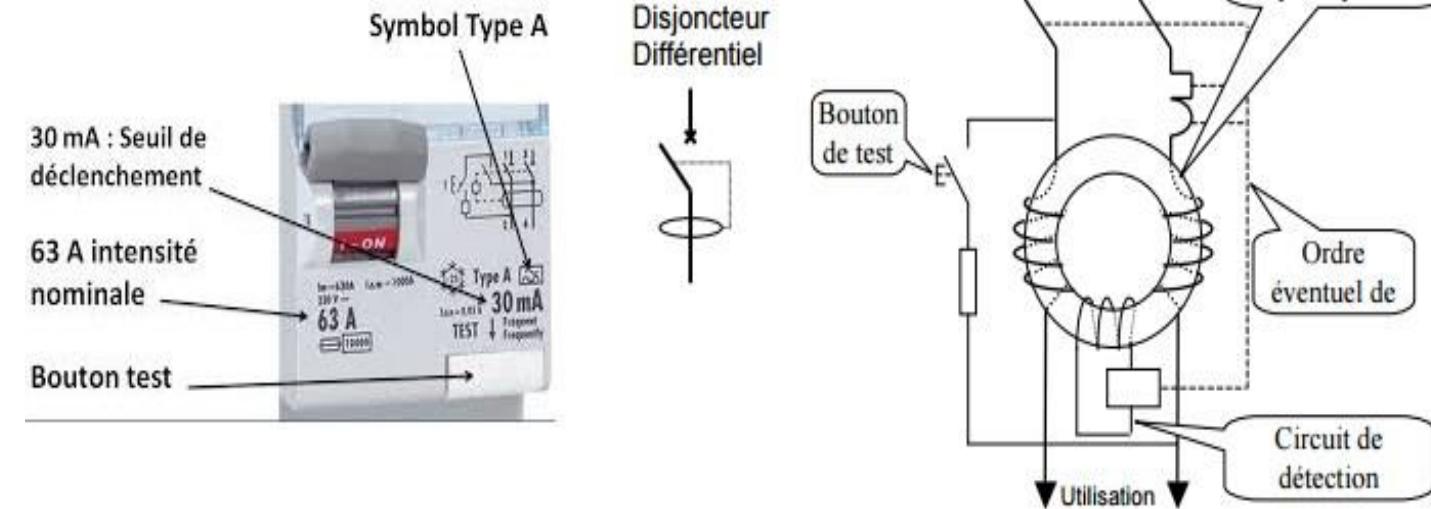
LES DISJONCTEURS

Courbes de déclenchement



LES DISJONCTEURS-DIFFÉRENTIELS

Un disjoncteur différentiel est un interrupteur différentiel réalisant également une protection en courant de court-circuit (surcharge).



- Comparer les intensités sur les différents conducteurs qui traversent le DDR.
- La "sensibilité différentielle du disjoncteur" est la différence d'intensité du courant à laquelle il réagit et est notée $I_{\Delta n}$.

LES DISJONCTEURS-DIFFÉRENTIELS

Plages de fonctionnement



RÉSUMÉ

Fonctions des appareillages électriques

1. Séparer & Condamner
2. Protéger contre les courts-circuits
3. Protéger contre les surcharges
4. Protéger les personnes
5. Etablir et interrompre l'énergie (Contacteur)
6. Moduler l'énergie (Variateur)

RÉSUMÉ

Fonctions des appareillages électriques

1. Séparer & Condamner

- Isoler tout ou une partie d'une installation du réseau.
- Interdire les manœuvres de remise sous tension.

Sectionneur



On ne peut pas le manœuvrer en charge :

Pas de pouvoir de coupure

Sectionneur porte-fusibles



Interrupteur sectionneur



On peut le manœuvrer en charge :

Coupure de In



RÉSUMÉ

Fonctions des appareillages électriques

2. Protéger contre les courts-circuits

- Protection des matériels lorsque $I > I_{\text{in}}$

Disjoncteurs



Magnétique

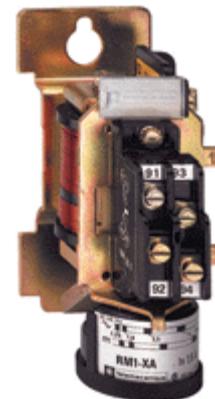


Magnétothermique

Fusibles



Relais magnétiques



Disjoncteurs et fusibles ont un pouvoir de coupure



Pas de pouvoir de coupure de

RÉSUMÉ

Fonctions des appareillages électriques

3. Protéger contre les surcharges

- Protection contre les surcharges 1,2 à 3 ou 4 In

Disjoncteur Magnétothermique



Relais thermique



Disjoncteurs et fusibles ont un pouvoir de coupure



Pas de pouvoir de coupure.

RÉSUMÉ

Fonctions des appareillages électriques

4. Protéger les personnes

Disjoncteur Différentiel (DDR)



Interrupteur Différentiel



ID/click bi 40 A 30 mA

Disjoncteurs et Interrupteur Différentiel ont un pouvoir de coupure

EXERCICES D'APPLICATIONS

VEUILLEZ CONSULTER LE SUPPORT DE TD



MERCI

**Pr. COULIBALY Moussa
HESTIM
moussa.coulibaly@hestim.ma**