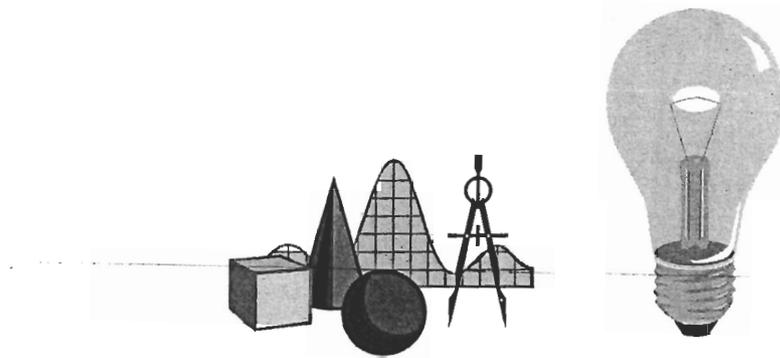


Nom :

Prénom :



# FORMULAIRE d'ÉLECTROTECHNIQUE



Lycée Napoléon 61300 L'AIGLE. Gérard VESQUE ; Le : 16 mars 2009

## SOMMAIRE

1.	Ecriture des nombres : .....	3
2.	Puissances de 10 multiples de 3 : .....	3
3.	Quelques lettres grecques : .....	3
4.	Relation entre grandeurs et nombres : .....	3
5.	Grandeurs et leurs unités normalisées : .....	4
6.	Energie ou Travail mécanique W en joules (J) : .....	6
7.	Energie ou travail en mécanique et en électricité : .....	6
8.	Puissance mécanique P en watt (W) fournie par un couple : .....	6
9.	Bilan des puissance : .....	6
10.	Rendement : .....	6
11.	Quantité d'électricité Q en coulomb (C) : .....	7
12.	Loi des Nœuds : .....	7
13.	Loi des Branches en <u>Courant Continu</u> : .....	7
14.	Loi des Mailles : .....	7
15.	Densité de courant J : .....	8
16.	Résistance $R_0$ d'un fil uniforme et homogène à 0°Celsius : .....	8
17.	Variation de résistance avec la température : .....	8
18.	Code des couleurs pour résistance : .....	8
19.	Association de résistances : .....	8
20.	Energie W à fournir à un corps pour élever sa température : .....	9
21.	Puissance et Energie électrique en <u>Courant Continu</u> : .....	9
22.	Puissance en Courant Alternatif Sinusoïdal Monophasé : .....	9
23.	Puissance en Courant Alternatif Sinusoïdal Triphasé Equilibré : .....	9
24.	Puissance dissipée par effet joule (chaleur) dans un montage étoile ou triangle équilibré : .....	9
25.	Tension en triphasé <u>équilibré</u> : .....	9
26.	Courant avec un couplage triangle en triphasé <u>équilibré</u> : .....	9
27.	Loi d'ohm : .....	10
28.	Résistances, Réactances, Impédances, Inductance et Capacité : .....	10
29.	Circuit R.L.C. : .....	11
30.	Magnétisme : .....	14
31.	Condensateur : .....	15
32.	Condensateur de relèvement de facteur de puissance : .....	15
33.	Loi de Laplace (Forces électromagnétiques) : .....	16
34.	Travail W (en joule) produit par le déplacement ou la déformation d'un circuit dans un champ magnétique : .....	16
35.	Loi de Faraday et de Lenz (Induction électromagnétique) : .....	16
36.	Machines à courant continu : .....	17
37.	Moteur Asynchrone triphasé : .....	18
38.	Machines Synchrones triphasées : .....	19
39.	Transformateur monophasé : .....	20
40.	Transformateur triphasé : .....	22
41.	Distribution triphasée : .....	22
42.	Index : .....	23

1. **écriture des nombres :**

Sauf exigence particulière, toujours garder **3 chiffres significatifs pour le résultats final** puis l'encadrer.

Ex : 257A 0,257A 0,025 7A 2 570A 25 700A

(Garder plus de précision pour les résultats intermédiaires.)

Si le 4<sup>ème</sup> chiffre significatif est **0,1,2,3** ou **4** : **arrondir par défaut** le 3<sup>ème</sup>.

Si le 4<sup>ème</sup> chiffre significatif est **5,6,7,8** ou **9** : **arrondir par excès** le 3<sup>ème</sup>.

Utiliser des **puissances de 10 multiples de 3**. Ex :  $10^{-6}$   $10^3$   $10^9$   $10^{12}$

2. **Puissances de 10 multiples de 3 :**

SOUS-MULTIPLES			MULTIPLES		
Préfixe	Symbole	Valeur	Préfixe	Symbole	Valeur
					$10^0 = 1$
pico	p	$10^{-12}$	kilo	k	$10^3 = 1\ 000$
nano	n	$10^{-9}$	méga	M	$10^6$
micro	$\mu$	$10^{-6}$	giga	G	$10^9$
mili	m	$10^{-3} = 0,001$	tera	T	$10^{12}$

3. **Quelques lettres grecques :**

Lettre	Nom	Lettre	Nom
$\alpha, A$	alpha	$\mu, M$	mu
$\beta, B$	bêta	$\nu, N$	nu
$\gamma, \Gamma$	gamma	$\pi, \Pi$	pi
$\delta, \Delta$	delta	$\rho, P$	rhô
$\epsilon, E$	epsilon	$\sigma, \Sigma$	sigma
$\eta, H$	êta	$\tau, T$	tau
$\theta, \Theta$	théta	$\varphi, \Phi$	phi
$\lambda, \Lambda$	lambda	$\omega, \Omega$	oméga

4. **Relation entre grandeurs et nombres :**

$\approx$	environ égal à	$\neq$	différent de	$\Rightarrow$	implique que
$<$	inférieur à	$>$	supérieur à	$\Delta$	variation de
$\leq$	inférieur ou égal	$\geq$	supérieur ou égal	$\Sigma$	somme de

5. Grandeurs et leurs unités normalisées :

GRANDEURS		UNITES		Correspondances Observations	
Nom	Symbole	Nom	Symbole		
longueur	$l$	mètre	m	$1\text{ m} = 10^3\text{ mm}$	Espace
surface	S	mètre carré	$\text{m}^2$	$1\text{ m}^2 = 10^6\text{ mm}^2$	
volume	V	mètre cube	$\text{m}^3$	$1\text{ m}^3 = 10^9\text{ mm}^3$	
angle plan	$\alpha, \beta$	radian	rad	$2\pi\text{ rad} = 360^\circ$	

temps	t	seconde	s	$1\text{ h} = 60\text{ mn} = 3\,600\text{ s}$	Temps
période	T	seconde	s	$f = \frac{1}{T}$	
fréquence	f	hertz	Hz		
pulsation	$\omega$	radian par seconde	rad/s	$\omega = 2\pi f$	
constante de temps	$\tau$	seconde	s	$\tau = R.C \quad \tau = \frac{L}{R}$	

masse	m	kilogramme	kg	$1\text{ kg} = 9,81\text{ N}$	Masse
masse volumique	$\rho$	kg par mètre cube	$\text{kg}/\text{m}^3$		
force, poids	F, P	newton	N		

vitesse	v	mètre par seconde	m/s	$\text{m/s} = \text{ms}^{-1}$	Mécanique
fréquence de rotation	n	tours par seconde	tr/s	$\text{tr/s} = \text{trs}^{-1} = \text{s}^{-1}$	
vitesse angulaire	$\Omega$	radian par seconde	rad/s	$\Omega = 2\pi n$	
énergie, travail	W	joule	j	$W = F \times l$	
puissance	P	watt	W	$P = W/t = T\omega$	
moment du couple	T	newton-mètre	Nm	$T = F \times l$	
pression	P	pascal	Pa	$1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa}$	

intensité du courant électrique	I	ampère	A	$U = Z \times I$ pour RLC série $Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$	Electricité
tension électrique ou différence de potentiel	U	volt	V		
force électromotrice	E	volt	V		
impédance	Z	ohm	$\Omega$		
résistance	R	ohm	$\Omega$		
résistivité	$\rho$	ohm-mètre	$\Omega\text{m}$		

**Grandeurs et leurs unités normalisées (suite) :**

GRANDEURS		UNITES		Correspondances	
Nom	Symbole	Nom	Symbole	Observations	
réactance	X	ohm	$\Omega$	pour LC série $X = L\omega - \frac{1}{C\omega}$	
conductance	G	siemens	S	$\Omega^{-1}$	
énergie, travail	W	joule	j	1 Wh = 3 600j	
puissance active	P	watt	W	P = W/t	
puissance apparente	S	volt ampère	VA	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	
puissance réactive	Q	volt ampère réactif	VAR		
champ électrique	E	volt par mètre	V/m	$V/m = Vm^{-1}$	
capacité électrique	C	farad	F	1 $\mu$ F = 10 <sup>-6</sup> F	
constante diélectrique ou permittivité	$\epsilon$	farad par mètre	F/m		
quantité d'électricité	Q	coulomb	C	ampère heure 1Ah = 3 600C	
charge électrostatique	q	coulomb	C		

Electricité (suite)

excitation magnétique	H	ampère par mètre	A/m $Am^{-1}$		
champ magnétique	B	tesla	T		
flux magnétique	$\Phi$	weber	Wb		
constante magnétique	$\mu_0$	sans unité		$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$	
perméabilité magnétique relative	$\mu_r$	sans unité		elle dépend du matériau considéré	
inductance	L	henry	H		

Magnétisme

coefficient de température	$a_0$	kelvin <sup>-1</sup>		$R_\theta = R_0 (1 + a_0 \theta)$	
rapport de transformation	m M	sans unité			
rendement	$\eta$	sans unité		$\leq 1 \leq 100\%$	

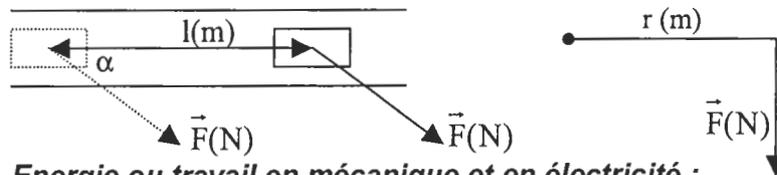
Complément

6. **Energie ou Travail mécanique  $W$  en joules (J) :**

$F$  = force en newton (N)

$W = F.l.\cos\alpha$       $l$  = longueur du déplacement en mètre (m)

$\alpha$  = angle formé par  $F$  et  $l$



7. **Energie ou travail en mécanique et en électricité :**

$W$  = énergie ou travail en joules (J)

$W = P.t$       $P$  = puissance électrique ou mécanique en watt (W)

$t$  = temps en seconde (s)

8. **Puissance mécanique  $P$  en watt (W) fournie par un couple :**

$P = T \times \Omega$

$T$  = couple en newton-mètre (Nm)

$T = F \times r$

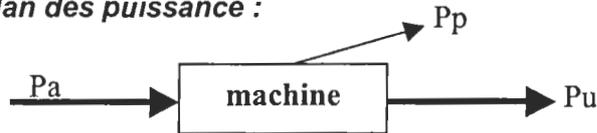
$\Omega$  = vitesse angulaire en radian par seconde (rad/s)

$\Omega = 2\pi n$

$n$  = fréquence de rotation en tours par seconde (tr/s)

$r$  = rayon ou longueur du bras de levier en mètre (m)

9. **Bilan des puissance :**



$P_u$  = puissance utile en watt (W)

$P_u = P_a - P_p$       $P_a$  = puissance absorbée en watt (W)

$P_p$  = puissance perdue en watt (W)

10. **Rendement :**

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

$W_u = W_a - W_p$

$\eta$  = rendement sans unité, s'exprime en %

$W_a$  = énergie absorbée

$\eta = \frac{W_u}{W_a}$

$W_u$  = énergie utile

$W_p$  = énergie perdue

Pour les grandes puissances :

1h = 3 600s	$P$ en (W), $t$ en (h) et $W$ en (Wh) ou :
1Wh = 3 600J	$P$ en (kW), $t$ en (h) et $W$ en (kWh)

**ATTENTION : Ces unités de puissance ne sont pas normalisées, elles ne fonctionnent pas toujours dans les formules.**

11. **Quantité d'électricité Q en coulomb (C) :**

$$Q = I.t$$

I = courant de charge ou de décharge  
t = temps de charge ou de décharge

Pour les grandes quantité d'électricité (ex : batterie de voiture ...) :

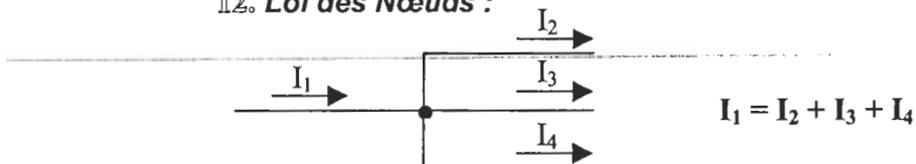
$$1h = 3\,600s$$

$$1Ah = 3\,600C$$

I en (A), t en (h) et Q en (Ah)

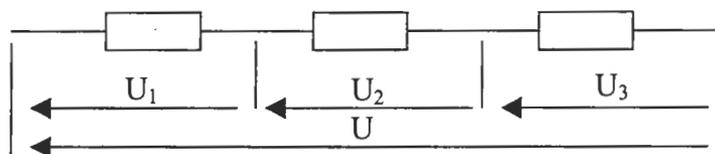
**ATTENTION : Ces unités ne sont pas normalisées, elles ne fonctionnent pas toujours dans les formules.**

12. **Loi des Nœuds :**



La  $\Sigma$  des courants qui entrent dans un nœud est égale à la  $\Sigma$  des courants qui en sortent.  
( $\Sigma$  = somme)

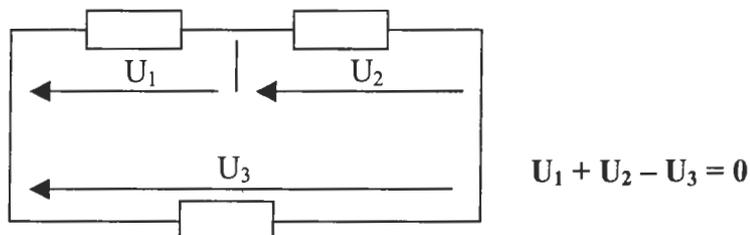
13. **Loi des Branches en Courant Continu :**



$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

La tension aux bornes d'une branche est égale à la  $\Sigma$  des tensions partielles.

14. **Loi des Mailles :**



La  $\Sigma$  des tensions partielles dans une maille est nulle (en comptant négativement celles qui se présentent à l'envers).

15. **Densité de courant J :**

$$J = \frac{i}{S}$$

$i$  = intensité du courant électrique en ampère (A)  
 $S$  = surface de la section du fil en mètre carré (m<sup>2</sup>)

16. **Résistance  $R_0$  d'un fil uniforme et homogène à 0°Celsius :**

$$R_0 = \rho_0 \frac{L}{S}$$

$\rho_0$  = résistivité à 0°C en ohm-mètre (Ω.m)  
 $L$  = longueur du fil en mètre (m)  
 $S$  = surface de la section du fil en mètre carré (m<sup>2</sup>)

17. **Variation de résistance avec la température :**

$R_\theta$  = résistance à la température  $\theta$  en ohm (Ω)

$$R_\theta = R_0 (1 + a_0 \cdot \theta)$$

$R_0$  = résistance à 0 degré Celsius en ohm (Ω)  
 $a_0$  = coefficient de température en kelvins<sup>-1</sup> (K<sup>-1</sup>)  
 $\theta$  = température en degré Celsius (°C) de la résistance

18. **Code des couleurs pour résistance :**



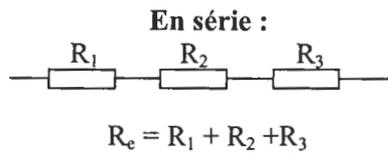
1<sup>er</sup> chiffre  
 2<sup>ème</sup> chiffre  
 nombre de zéro  
 anneau de précision

noir	0
marron	1
rouge	2
orange	3
jaune	4
vert	5
bleu	6
violet	7
gris	8
blanc	9

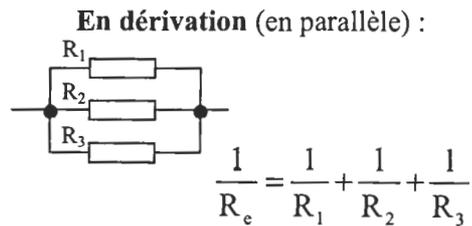
Code des couleurs pour les 3 premiers anneaux : →

4 <sup>ème</sup> anneau = Anneau de précision :	
marron	1%
rouge	2%
or	5%
argent	10%
sans 4 <sup>ème</sup> anneau	20%

19. **Association de résistances :**



$R_e$  = Résistance équivalente au groupement de résistances.



**20. Energie W à fournir à un corps pour élever sa température :**

$W = m.c(\theta_2 - \theta_1)$

m = masse du corps en kilogrammes (kg)  
c = capacité thermique massique en joule par kilogramme et par kelvins ( $\text{j.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )  
 $\theta_2$  = température finale en degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\theta_1$  = température initiale en degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ )

**21. Puissance et Energie électrique en Courant Continu :**

$P = U.I$        $P = R.I^2$        $P = \frac{U^2}{R}$        $P = \frac{W}{t}$        $W = U.I.t$

**22. Puissance en Courant Alternatif Sinusoïdal Monophasé :**

$P = U.I.\cos\varphi$       P = puissance active en watt (W)  
 $Q = U.I.\sin\varphi$       Q = puissance réactive en volt-ampère réactif (Var)  
 $S = U.I$       S = puissance apparente en volt-ampère (VA)  
 $\cos\varphi = \frac{P}{S}$        $\varphi$  = angle de déphasage entre U et I en degré ou radian  
cos $\varphi$  = facteur de puissance sans unité et  $\leq 1$

**23. Puissance en Courant Alternatif Sinusoïdal Triphasé Equilibré :**

$P = U.I.\sqrt{3}.\cos\varphi$        $\cos\varphi = \frac{P}{S}$  uniquement si le système est équilibré  
 $Q = U.I.\sqrt{3}.\sin\varphi$   
 $S = U.I.\sqrt{3}$

**24. Puissance dissipée par effet joule (chaleur) dans un montage étoile ou triangle équilibré :**

C'est la même formule pour les deux montages :  $p_j$  en watt (W)  
 $p_j = \frac{3}{2}rI^2$       r = résistance mesurée entre deux phases en ohm( $\Omega$ )  
I = courant dans une phase en ampère (A)

**25. Tension en triphasé équilibré :**

$U = V.\sqrt{3}$       U = tension composée en volt (V)  
V = tension simple (V) Voir page : 22

**26. Courant avec un couplage triangle en triphasé équilibré :**

$I = J.\sqrt{3}$       I = courant dans les fils de ligne en ampère (A)  
J = courant dans les dipôles (A)  
avec un couplage étoile, J n'existe pas.

Voir page : 22

27. **Loi d'ohm :**

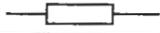
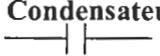
$$U = Z.I$$

$Z =$  impédance en ohm ( $\Omega$ )  
 $U =$  tension mesurée **aux bornes de Z** en volt (V)  
 $I =$  courant **passant dans Z** en ampère (A)

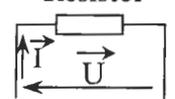
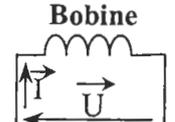
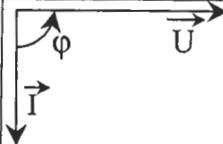
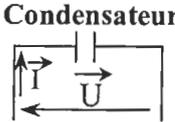
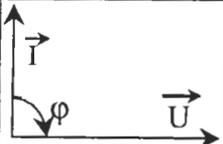
*Loi d'ohm en Courant continu :*

dans les **Générateurs** :  $U = E - RI$       dans les **Récepteur**  $U = E' + RI$   
 $E =$  f.e.m.= force électromotrice,  $E' =$  f.c.e.m.= force contre électromotrice.  
 Sans f.e.m.(V) et f.c.e.m.(V) :  $U = RI$

28. **Résistances, Réactances, Impédances, Inductance et Capacité :**

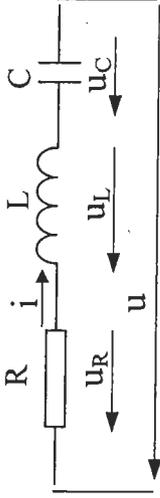
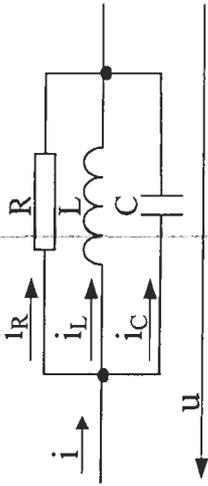
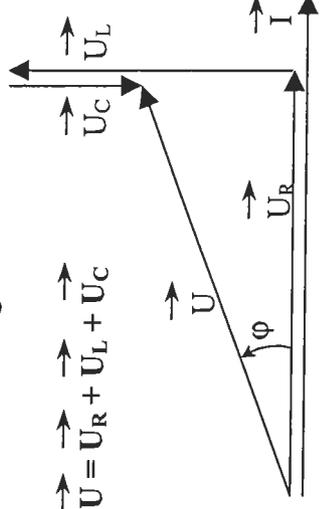
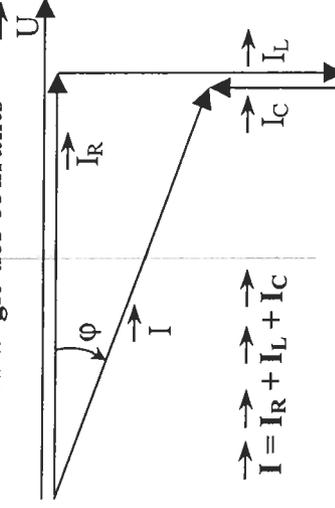
Elément passif parfait	Résistance R ( $\Omega$ )	Réactance X ( $\Omega$ )	Impédance Z ( $\Omega$ )
<b>Résistor</b> 	R	nulle	$Z = R$
<b>Bobine</b> 	nulle	$X_L = L\omega$	$Z = X_L = L\omega$
<b>Condensateur</b> 	nulle	$X_C = \frac{1}{C\omega}$	$Z = X_C = \frac{1}{C\omega}$

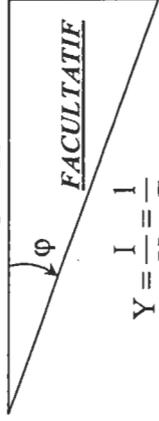
**Grandeurs caractérisants ces éléments et déphasage :**

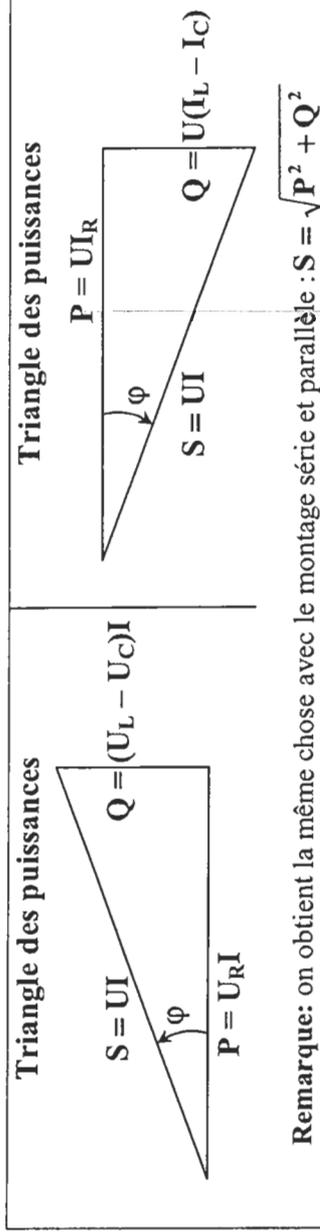
Elément passif parfait	Grandeur	Unité	Déphasage (de U par rapport au courant I)	Représentation de Fresnel
<b>Résistor</b> 	Résistance <b>R</b>	ohm <b><math>\Omega</math></b>	en phase $\varphi = 0^\circ$	
<b>Bobine</b> 	Inductance <b>L</b>	henry <b>H</b>	en quadrature arrière $\varphi = +90^\circ = +\frac{\pi}{2}$	
<b>Condensateur</b> 	Capacité <b>C</b>	farad <b>F</b>	en quadrature avant $\varphi = -90^\circ = -\frac{\pi}{2}$	

29. **Circuit R.L.C. :**

Réacteur de Résistance  $R(\Omega)$ , Bobine d'inductance  $L(H)$ , Condensateur de capacité  $C(F)$  en courant alternatif sinusoïdal monophasé.

<b>RLC en Série</b>	<b>RLC en Parallèle</b>
 <p style="text-align: center;"><b>i est commun</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>u est commun</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>Triangle des tensions</b></p>  <p style="text-align: center;"><math>\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C</math></p>	<p style="text-align: center;"><b>Triangle des courants</b></p>  <p style="text-align: center;"><math>\vec{I} = \vec{I}_R + \vec{I}_L + \vec{I}_C</math></p>

<i>RLC en Série</i>	<i>RLC en Parallèle</i>
<p>Triangle des impédances <math>Z(\Omega)</math></p> $Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$  <p> <math>X = \frac{U_L - U_C}{I} = \frac{1}{L\omega} - \frac{1}{C\omega}</math>  <math>R = \frac{U_R}{I}</math>  <math>R(\Omega) = \text{Résistance}</math>  <math>X(\Omega) = \text{Réactance}</math> </p>	<p>Triangle des admittances <math>Y(S)</math> (S = siemens = <math>\Omega^{-1}</math>)</p> $G = \frac{I_R}{U} = \frac{1}{R}$  <p> <math>B = \frac{I_L - I_C}{U} = \frac{1}{C\omega} - \frac{1}{L\omega}</math>  <math>Y = \frac{I}{U} = \frac{1}{Z}</math>  <math>Y = \sqrt{G^2 + B^2}</math>  <math>G(S) = \text{Conductance}</math>  <math>B(S) = \text{Susceptance.}</math> </p>
<p><i>Circuit Résonnant</i></p> <p>il y a résonance ou circuit bouchon si : <math>X_L = X_C \Rightarrow L\omega = \frac{1}{C\omega} \Rightarrow \boxed{LC\omega^2 = 1} \Rightarrow \cos\phi = 1</math></p>	<p><i>Circuit Bouchon</i></p>
<i>RLC en Série</i>	<i>RLC en Parallèle</i>



**MONTAGE MONOPHASE**

S = puissance apparente Volt Ampère (VA)

P = puissance active en Watt (W)

Q = puissance réactive en Volt Ampère Réactif (VAR)

cos φ = facteur de puissance

⇒ Loi d'ohm

**Méthode de Boucherot :** Quelque soit le couplage, série, parallèle ou mixte les P et les Q s'additionnent séparément, les S ne peuvent pas s'additionner et se calculent par :  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$  (sans puissance déformante).

**En présence de Puissance Déformante :**

D = puissance déformante en Volt Ampère Déformant (VAD). (Générée par les harmoniques, elle se représente verticalement au plan du triangle.)

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

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

### 30. Magnétisme :

$L = \frac{\Phi_T}{i}$	L = inductance d'une bobine en henry (H) $\Phi_T$ = Flux total dans la bobine en weber (Wb) <i>i</i> = courant dans la bobine en ampère (A)
$\Phi_T = B.S.N.\cos\alpha$	B = champ magnétique dans une spire en tesla (T) <i>S</i> = surface délimitée par une spire en mètre carré (m <sup>2</sup> ) <i>N</i> = nombre de spires (sans unité) $\alpha$ = angle formé par B et la perpendiculaire à la surface <i>S</i> (° ou rad)
$\Phi = B.S.\cos\alpha$	$\Phi$ = flux dans la bobine en weber (Wb) <i>B</i> = champ magnétique total dans un solénoïde en weber (Wb) solénoïde = bobine cylindrique longue
$B = \frac{\mu_0\mu_r Ni}{l}$	$\mu_0$ = constante magnétique (sans unité) $\mu_r$ = perméabilité magnétique relative du matériau constituant le noyau (sans unité) <i>l</i> = longueur de la bobine
$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$	$B_0$ = champ magnétique dans un solénoïde sans noyau en tesla (T)
$B_0 = \frac{\mu_0 Ni}{l}$	
$H = \frac{Ni}{l}$	H = excitation magnétique en ampère par mètre (A/m = Am <sup>-1</sup> ) ou en ampère tour par mètre (Atr/m)
$F = Ni$	F = force magnétomotrice en ampère (A) ou en ampère tour (Atr)
$\mu_r = \frac{B}{B_0}$	B = champ magnétique quelconque avec circuit magnétique (noyau) en tesla (T) <i>B</i> <sub>0</sub> = même champ magnétique sans circuit magnétique (dans l'air ou le vide) en tesla (T)
$W = i\Delta\Phi$	W = énergie produite par la déformation d'un circuit en joule (J) <i>i</i> = courant parcourant le circuit en ampère (A) $\Delta\Phi$ = variation de flux produite par la déformation du circuit électrique en weber (Wb)
$W = \frac{1}{2}Li^2$	W = énergie emmagasinée par une bobine en joule (J)
$\tau = \frac{L}{R}$	$\tau$ = constante de temps en seconde (s) <i>L</i> = inductance de la bobine en henry (H) <i>R</i> = résistance totale du circuit de charge ou de décharge en ohm ( $\Omega$ )

### 31. Condensateur :

$$C = \frac{Q}{U}$$

C = capacité du condensateur en farad (F)

Q = quantité d'électricité emmagasinée dans le condensateur en coulomb (C)

U = tension aux bornes du condensateur en volt (V)

$$C_{ep} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

$C_{ep}$  = condensateur équivalent de condensateurs associés en **parallèle**

$$\frac{1}{C_{es}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$

$C_{es}$  = condensateur équivalent de condensateurs associés en **série**

$$F = qE$$

F = force électrostatique en newton (N)

q = charge électrostatique en coulomb (C)

E = champs électrique en volt par mètre (V/m)

$$W = \frac{1}{2}CU^2$$

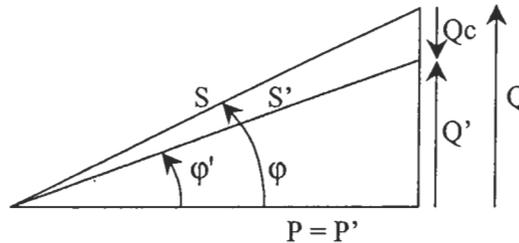
W = énergie emmagasinée par le condensateur en joule (J)

$\tau$  = constante de temps en seconde (s)

$$\tau = RC$$

R = résistance totale du circuit de charge ou de décharge en ohm ( $\Omega$ )

### 32. Condensateur de relèvement de facteur de puissance :



En décomposant :

$$Q = P \cdot \tan \varphi$$

$$Q' = P \cdot \tan \varphi'$$

$$Q_c = Q - Q'$$

$$C = \frac{Q_c}{U^2 \omega}$$

C = capacité du condensateur de relèvement du facteur de puissance en farad (F)

$\varphi'$  et  $\varphi$  = angle de déphasage entre U et I avant et après rattrapage en degré ( $^\circ$ ) ou en radian (rad)

$\cos \varphi'$  et  $\cos \varphi$  = facteur de puissance avant et après mise en place du condensateur C (sans unité)

Q et Q' = puissance réactive avant et après rattrapage du  $\cos \varphi$  en volt ampère réactif (Var)

ou Directement :

$$C = \frac{P(\tan \varphi - \tan \varphi')}{U^2 \omega}$$

$Q_c$  = puissance réactive à fournir par C en (Var)

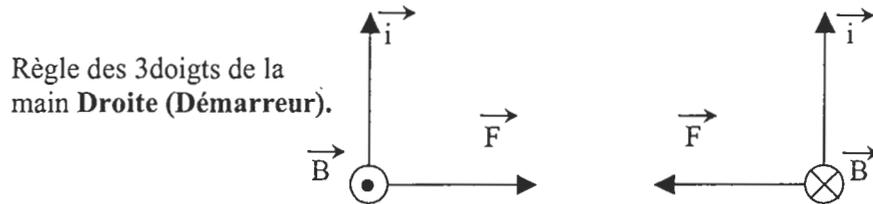
U = Tension aux bornes de C en volt (V)

$\omega$  = pulsation en radian/seconde (rad/s) = (rad.s<sup>-1</sup>)

f = fréquence en hertz (Hz)

$$\omega = 2\pi f$$

**33. Loi de Laplace (Forces électromagnétiques) :**



**Loi de Laplace :** Le passage d'un courant électrique  $i$  dans un fil rectiligne noyé dans un champ magnétique crée une force  $F$  appliquée sur ce courant.

$$F = B \cdot i \cdot l \cdot \sin\alpha$$

$F$  = force induite par  $i$  circulant dans  $B$  en newton (N)  
 $B$  = champ magnétique en tesla (T)  
 $l$  = longueur du fil parcouru par  $i$  et noyé dans  $B$  (m)  
 $\alpha$  = angle formé par  $B$  et  $I$  en degré ou en radian (rad)

**34. Travail  $W$  (en joule) produit par le déplacement ou la déformation d'un circuit dans un champ magnétique :**

$$W = i \cdot \Delta\Phi$$

$i$  = courant parcourant le circuit qui se déforme (A)  
 $\Delta\Phi$  = variation de flux provoqué par le déplacement ou la déformation du circuit.

**35. Loi de Faraday et de Lenz (Induction électromagnétique) :**

**Loi de Faraday :** Toute variation de Flux à travers un circuit donne naissance à une force électromotrice induite (f.e.m.). Si ce circuit est fermé elle induit un courant électrique.

**Loi de Lenz :** Le sens de la f.e.m. induite et du courant induit est tel qu'ils s'opposent à la cause qui leurs a donné naissance. Signe - dans la formule et règle des 3 doigts de la main Gauche (Générateur).

$$e = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$e$  = f.e.m. induite par une variation de flux en volt (V)  
 $\Delta\Phi$  = variation de flux en weber (W)  
 $\Delta t$  = temps écoulé pendant la variation de flux en (s)

$$e = - B \cdot l \cdot v$$

$B$  = champ magnétique dans lequel se déplace un conducteur rectiligne en tesla (T)  
 $l$  = longueur active du conducteur en mètre (m)  
 $v$  = vitesse de déplacement du conducteur en mètre par seconde ( $m/s = ms^{-1}$ )

$$e = - \frac{L \Delta i}{\Delta t}$$

$L$  = inductance de la bobine en Henrys (H)

### 36. Machines à courant continu :

Elles comportent : - un **collecteur** à lamelles et des **balais**.  
- un **Induit** dans le rotor, un **inducteur** dans le stator

$E$  = force électromotrice en volt (V)

$p$  = nombre de paires de pôles (sans unité)

$a$  = nombre de paires de voies d'enroulement

$N$  = nombre de conducteurs dans l'Induit

$n$  = fréquence de rotation en tour par seconde (tr/s)

$\Phi$  = excitation de la machine = flux magnétique produit par l'inducteur en weber (W)

$$E = \frac{p}{a} N n \Phi$$

#### Fonctionnement en Génératrice :

$$U = E - RI$$

$U$  = tension aux bornes de la génératrice en volt (V)

$$U \approx k.ni$$

$R$  = résistance de l'Induit en ohm ( $\Omega$ )

$I$  = courant électrique débité par l'Induit en (A)

#### Fonctionnement en Moteur

$$U = E' + R'.I$$

$U$  = tension aux bornes du moteur en volt (V)

$R$  = résistance de l'Induit en ohm ( $\Omega$ )

$E'$  = force contre électromotrice en volt (V)

$$I_{dd} = \frac{U}{R}$$

**Au démarrage :  $E' = 0$  volt**

$I$  = courant électrique consommé par l'Induit en (A)

$I_{dd}$  = courant de démarrage dans l'Induit en (A)

$$P_{eu} = P_{em} = E'.I$$

$P_{eu} = P_{em} =$  puissance élec utile ou électromagnétique

$$P_{em} = T_{em} \times \Omega$$

$T_{em}$  = couple électromagnétique

$\Omega$  = vitesse angulaire en radian par seconde (rad/s)

$$\Omega = 2\pi n$$

$k$  et  $k'$  = constante

$$n \approx k' \frac{U}{i}$$

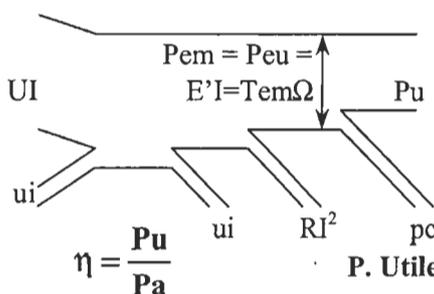
$i$  = courant d'excitation (d'inducteur) de la Génératrice ou du Moteur en ampère (A)

**Pour un Moteur on en déduit que :**

$n$  est **proportionnel** à la tension d'alimentation du moteur  $U(V)$ .

$n$  est **inversement proportionnel** au courant d'excitation  $i(A)$ .

#### Bilan des Puissances en moteur :



pour l'Induit :  $P = UI$

pour l'inducteur  $P_e = u i$

$u$  et  $i$  = tension et courant inducteur

**Puissance Absorbée :  $P_a = UI + u i$**

pertes effet Joule inducteur =  $u i$

pertes effet Joule Induit =  $RI^2$

pertes collectives (fer et méca.) =  $P_c$

$\eta$  = rendement en %

$$P. \text{ Utile : } P_u = UI - RI^2 - P_c = T. \Omega$$

### 37. Moteur Asynchrone triphasé :

On dit asynchrone car il y a un glissement  $g$  entre le rotor et le stator.

Il comporte : - un rotor en court circuit dit « à cage d'écureuil » ou  
- pour quelques uns, un rotor bobiné alimenté par 3 bagues lisses pour les démarrages de charges fragiles (téléski .....)

$$n = \frac{f}{p}$$

$n$  = fréquence de synchronisme ou fréquence du champ magnétique tournant produit par le stator en tours par seconde (tr/s) = (tr.s<sup>-1</sup>)

$f$  = fréquence du courant d'alimentation en hertz(Hz)

$p$  = nombre de paires de pôles du stator

$$g = \frac{n - n'}{n} = \frac{\Omega - \Omega'}{\Omega}$$

$g$  = glissement en pourcentage (2% <  $g$  < 8%)

$n'$  = fréquence de rotation du rotor en (tr/s)

$$\Omega = 2\pi n$$

$\Omega$  = vitesse angulaire de synchronisme en radian par seconde (rad/s)

$$\Omega' = 2\pi n'$$

$\Omega'$  = vitesse angulaire du rotor en (rad/s)

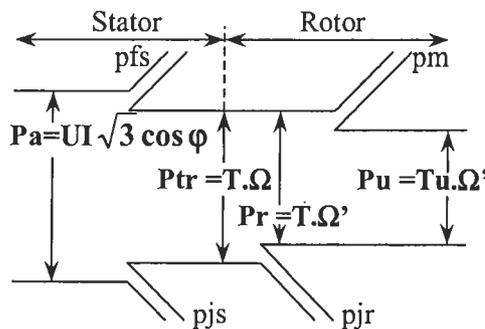
$$g = \frac{f_g}{f}$$

$f_g$  = fréquence des courants rotoriques en (Hz)

$$\Omega_g = \Omega g + \Omega'$$

$\Omega_g$  = vitesse angulaire des courants rotoriques(rad/s)

**Bilan des Puissances :**



$P_a$  = puissance absorbée en (W)

$U$  = tension entre phase en (V)

$I$  = courant par phase en (A)

$\cos \varphi$  = facteur de puissance

$\varphi$  = angle de déphasage entre  $U$  et  $I$  en ( $^\circ$  ou rad)

$P_{tr}$  = puissance transmise au rotor en watt (W)

$P_r$  = puissance électromagnétique du rotor (W)

$P_u$  = puissance utile mécanique en watt (W)

$P_u$  = puissance utile mécanique en watt (W)

$$p_{js} = \frac{3}{2} r I^2$$

$p_{js}$  = pertes joule dans le stator en watt (W)

$r$  = résistance mesurée entre 2 phases quelque soit le couplage en ohm ( $\Omega$ )

$$p_{jr} = g \cdot T \cdot \Omega$$

$p_{jr}$  = pertes joule dans le rotor en watt (W)

$$p_c = p_{fs} + p_m$$

$T$  = couple électromagnétique du stator transmis au rotor.

$T_u$  = couple méc. sur le rotor en newton mètre (Nm)

$$P_u = P_a - p_{js} - p_{jr} - p_c$$

$p_{fs}$  = pertes fer (hystérésis et Foucault) dans le stator

$p_m$  = pertes mécanique dans le rotor (W)

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

$p_c$  = pertes collectives en watt (W)

### 38. Machines Synchrones triphasées :

On dit synchrone car son rotor tourne en **synchronisme** avec le **champ magnétique tournant** qui est à la base de son principe de fonctionnement.

$$n = \frac{f}{p}$$

$n$  = fréquence de synchronisme ou fréquence du champ magnétique tournant (produit par le stator pour les moteurs et par le rotor pour les alternateurs) en tours par seconde ( $\text{tr/s}$ ) = ( $\text{tr} \cdot \text{s}^{-1}$ ) = ( $\text{s}^{-1}$ )  
 $f$  = fréquence du courant d'alimentation en hertz (Hz)  
 $p$  = nombre de paires de pôles

#### Fonctionnement en génératrice synchrone : Alternateur.

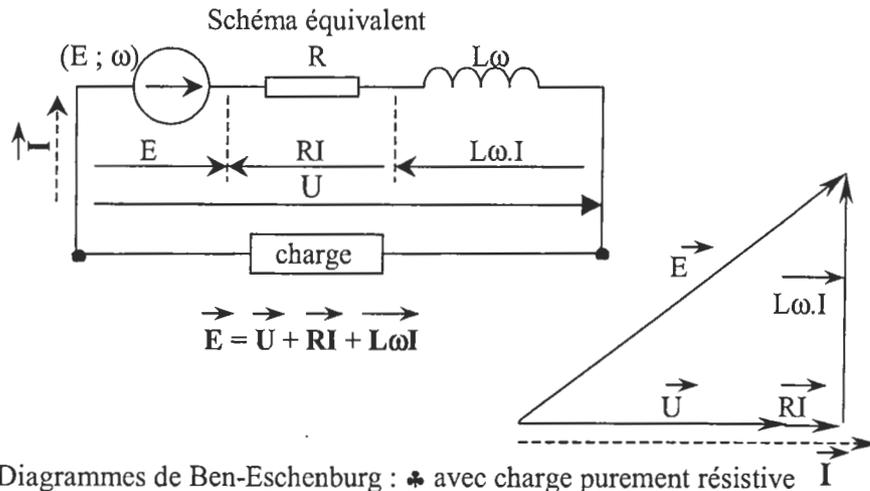
$E$  = valeur efficace de la f.c.m.

$$E = KNpn\hat{\Phi}$$

$K$  = coefficient de Kapp ( $1,9 < K < 2,6$ ) ( $K \approx 2,22$ )

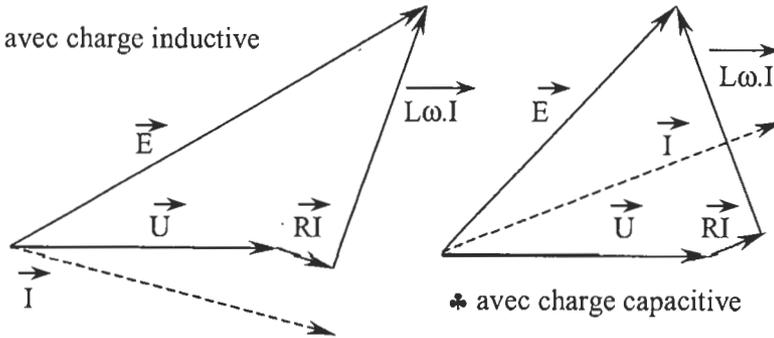
$N$  = nombre de conducteurs actifs

$\hat{\Phi}$  = flux maximum sous un pôle



Diagrammes de Ben-Eschenburg : ♣ avec charge purement résistive  $\vec{I}$

♣ avec charge inductive



### 39. Transformateur monophasé :

**Formule de Boucherot** (valable au primaire et au secondaire) :

$E = f \cdot e.m.$  induite par les variations de flux en volt(V)

$\hat{B}$  = Champ magnétique maximum en tesla (T)

$E = 4,44 \hat{B} N f S$   $N$  = nombre de spires

$f$  = fréquence du courant en hertz (Hz)

$S$  = section droite du circuit magnétique ( $m^2$ )

**Pour un TRANSFORMATEUR IDEAL**, c'est à dire avec  $I_1 v = 0A$  :

$I_1 v$  = courant primaire à vide considéré comme nul

$m$  = rapport de transformation

$N_1$  = nombre de spires au primaire

$N_2$  = nombre de spires au secondaire

$U_1$  = tension au primaire (V)

$U_2$  = tension au secondaire (V)

$I_2$  = courant consommé par la charge du secondaire

$I_1$  = courant entrant au primaire (A)

$P_2$  = puissance active fournie à la charge par le secondaire (W)

$P_1$  = puissance active entrant au primaire (W)

$Q_2$  = puissance réactive sortant du secondaire (Var)

$Q_1$  = puissance réactive entrant au primaire (Var)

$S_1$  et  $S_2$  = puissance apparente en volt ampère (VA)

$\cos \varphi_2$  = facteur de puissance de la charge du secondaire

$\cos \varphi_1$  = facteur de puissance résultant au primaire.

$Z$  = impédance de la charge du secondaire ( $\Omega$ )

$Z'$  = impédance image de cette charge vue du primaire en ohm ( $\Omega$ )

$$m = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 100\%$$

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = P_2 \\ Q_1 = Q_2 \end{array} \right\}$$

$$\Rightarrow S_1 = S_2$$

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2$$

$$Z' = \frac{Z}{m^2}$$

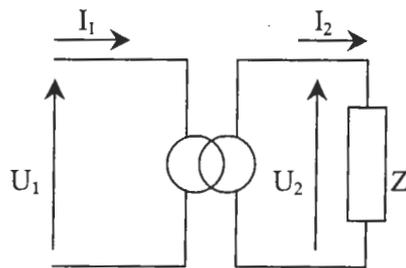


Schéma réel

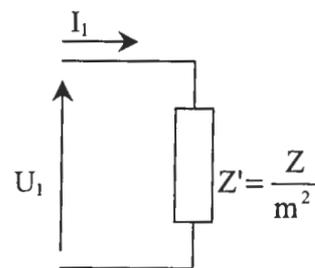
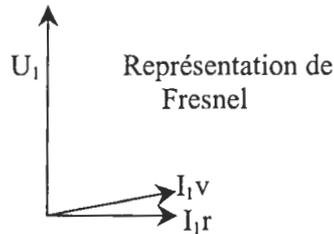


Schéma équivalent

Pour un TRANSFORMATEUR REEL monophasé, avec  $I_{1v} \neq 0A$  :

- à vide, c'est à dire avec  $I_2 = 0A$  :



$I_{1v}$  = courant primaire à vide en ampère (A)

$I_{1r}$  = composante réactive du courant primaire à vide = **courant magnétisant.**

$$I_{1v} \approx I_{1r}$$

$$mv = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_{2v}}{U_1}$$

$mv$  = rapport de transformation à vide

$U_{2v}$  = tension de sortie à vide en volt (V)

- en charge, avec  $I_2 > 0A$  :

$$\Delta U_2 = U_{2v} - U_2$$

$\Delta U_2$  = **chute de tension absolue**, en sortie et en charge (V)

$$m = \frac{I_1}{I_2}$$

$U_{2v}$  = tension au secondaire à vide en volt (V)

$U_2$  = tension au secondaire en charge (V)

$$\frac{\Delta U_2}{U_{2v}} = \frac{U_{2v} - U_2}{U_{2v}}$$

$\frac{\Delta U_2}{U_{2v}}$  = **chute de tension relative**, en sortie et en

charge, elle s'exprime en %. (en général < 4%)

**Bilan des puissances :**

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$\eta$  = rendement du transformateur en %

$P_2$  = puissance active fournie par le secondaire à la charge en watt (W)

$P_1$  = puissance active absorbée par le primaire (W)

$\eta \approx 90\%$  pour les petits transformateurs

$\eta > 99\%$  pour les transformateurs de très grande puissance

$U_2$  = tension au secondaire en charge (V)

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\phi_2$$

$I_2$  = courant absorbé par la charge au secondaire (A)

$\cos\phi_2$  = facteur de puissance de la charge

$$P_1 = P_2 + P_F + P_j$$

$P_F$  = **pertes fer totales = pertes constantes** : elles se déterminent par un **essais à vide** (W)

$$P_F = P_h + P_f$$

$P_j$  = **pertes joule = pertes cuivre** : elles se déterminent par un **essais en court circuit** (W)

$$P_h = K_1 V f \hat{B}^2 \quad P_h = \text{pertes par hystérésis (W)}$$

$$P_f = K_2 V f^2 \hat{B}^2 \quad P_f = \text{pertes par courants de Foucault}$$

$$P_j = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 \quad K_1 \text{ et } K_2 = \text{constantes liées au circuit magnétique}$$

$$\quad \quad \quad V = \text{volume du circuit magnétique (en m}^3\text{)}$$

$$\quad \quad \quad f = \text{fréquence du courant en hertz (Hz)}$$

$$\quad \quad \quad \hat{B} = \text{champ magnétique maximum en tesla (T)}$$

40. **Transformateur triphasé :**

$$S_1 = U_1 I_1 \sqrt{3}$$

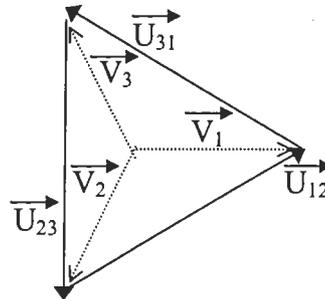
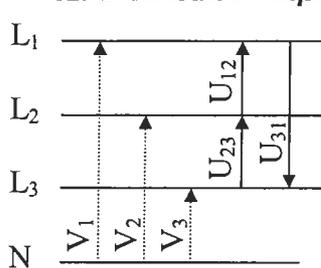
$$S_2 = U_2 I_2 \sqrt{3} \quad \text{Même signification des termes qu'en monophasé}$$

$$P_2 = U_2 I_2 \sqrt{3} \cos \varphi$$

$$M = \frac{U_2}{U_1} \quad \text{Le rapport de transformation } M \text{ peut être différent de } m \text{ en fonction des couplages utilisés.}$$

$$m = \frac{N_2}{N_1} \quad \text{Si le couplage primaire est le même que le couplage secondaire on a : } M = m$$

41. **Distribution triphasée :**



$$v_1 + v_2 + v_3 = 0 \quad V = \text{tension simple mesurée entre phase et neutre}$$

$$\vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 = 0 \quad U = \text{tension composée mesurée entre deux phases}$$

$$\vec{U}_{12} + \vec{U}_{23} + \vec{U}_{31} = 0 \quad \text{Différentes mesures possibles de } U \text{ ou } V :$$

$$U = v \cdot \sqrt{3} \quad u = \text{tension instantanée sinusoïdale}$$

$$\hat{U} = U \sqrt{2} \quad \hat{U} = \text{tension crête, tension maximum}$$

$$\bar{U} = 0 \quad U = U_{\text{eff}} = \text{tension efficace}$$

$$\text{(car tension sinusoïdale)} \quad \bar{U} = \text{tension moyenne}$$

$$I = J \cdot \sqrt{3} \quad I = \text{courant dans une phase en montage équilibré}$$

$$\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad J = \text{courant dans la branche d'un couplage triangle équilibré. (J n'existe pas en couplage étoile.)}$$

*Voir page : 9*

## 42. Index :

- absolue (chute de tension) : 21  
admittance (triangle des) : 12  
alternateur : 19  
ampère par mètre : 5  
ampère : 4  
ampère-heure : 5-7  
angle de déphasage : 9-10-18  
angle plan : 4  
arrondir par défaut : 3  
arrondir par excès : 3  
asynchrone (moteur triphasé) : 18  
bagues lisses : 18  
balais : 17  
Ben-Eschenburg (diagrammes de) : 19  
bilan des puissances : 17-18-21  
bobine : 10-14-16  
Boucherot (formule de) : 20  
Boucherot (méthode de) : 13  
bouchon (circuit) : 12  
branches (loi des) : 7  
cage d'écureuil : 18  
capacité thermique massique : 8  
capacité : 5-10-15  
champ électrique : 5-15  
champ magnétique tournant : 18-19  
champ magnétique : 5-14-16-20-22  
charge électrostatique : 5-15  
chiffre significatif : 3  
chute de tension relative ou absolue : 21  
circuit bouchon ou résonnant : 12  
circuit R.L.C. : 11-12-13  
code des couleurs : 8  
coefficient de Kapp : 19  
collecteur : 17  
collectives (pertes) : 17  
composée (tension composée) : 9-22  
condensateur : 10-15  
conductance : 5-12  
constante de temps : 4-14-15  
constante diélectrique : 5  
constante magnétique : 5-14  
cosφ : 9-10-13-15-18-20-22  
couleurs (code des) : 8  
coulomb : 5-7  
couplage triangle : 9-22  
couple électromagnétique : 17  
couple : 4  
courant (triangle des) : 11  
courant composé : 9  
courant de Foucault (perte par) : 18-22  
courant magnétisant : 21  
courant simple : 9  
courant : 4-9  
courants rotoriques : 18  
cuivre (pertes cuivre ou pertes par effet joule) : 17-18-21  
déformante (puissance déformante) : 13  
densité de courant : 8  
déphasage (angle de) : 9-10  
diagramme de Ben-Eschenburg : 19  
diélectrique : 5  
différence de potentiel : 4  
doigts (règle des 3) : 16  
écriture : 3  
écureuil (cage d') : 18  
effet joule : 17  
efficace (tension efficace) : 22  
électricité : 4-5  
énergie absorbée : 6  
énergie emmagasinée dans un condensateur : 15  
énergie emmagasinée dans une bobine : 14  
énergie perdue : 6  
énergie produite par déformation d'un circuit électrique dans un champ magnétique : 14-16-20  
énergie utile : 6  
énergie : 4-5-6-9  
espace : 4  
excitation magnétique : 5  
f.c.e.m. : 10  
f.e.m. : 10-16-19-20  
facteur de puissance : 9-10-13-15-18-20-22  
farad : 5-10-15

farad : par mètre : 5  
 Faraday (loi de) : 16  
 fer (pertes fer) : 17-18-21  
 flux magnétique : 5-14-16-17-19  
 force contre électromotrice : 10  
 force électromagnétique : 16  
 force électromotrice : 4-10-16-19  
 force électrostatique : 15  
 force induite : 16  
 force magnétomotrice : 14  
 force : 4-6  
 formule de Boucherot : 20  
 Foucault (pertes par) : 18-22  
 fréquence de rotation : 4-17  
 fréquence de synchronisme : 18-19  
 fréquence : 4-15-17-18-19-20  
 Fresnel (représentation de) : 10  
 générateur (trice) : 10-17-19  
 génératrice synchrone : 19  
 glissement : 18  
 grandeurs : 3-4-5  
 henry : 5-10-14-16  
 hertz : 4-15-18-19-20  
 hystérésis (pertes par) : 18-22  
 idéal (transformateur monophasé) : 20  
 impédance (triangle des) : 12  
 impédance image : 20  
 impédance : 4-10-12-20  
 inductance : 5-10-14-16  
 inducteur : 17  
 induire (f.e.m. induite) : 16  
 induit : 17  
 instantanée (tension instantanée) : 22  
 intensité : 4  
 joule : 4-5-6-14-15-16-17-18-21  
 Kapp (coefficient de) : 19  
 kilogramme par mètre cube : 4  
 kilogramme : 4  
 kilowatt : 6  
 kilowattheure : 6  
 Laplace (loi de) : 16  
 Lenz (loi de) : 16  
 lettres grecques : 3  
 loi d'ohm : 10  
 loi de Faraday : 16  
 loi de Laplace : 16  
 loi de Lenz : 16  
 loi des branches : 7  
 loi des mailles : 7  
 loi des nœuds : 7  
 longueur : 4  
 machine à courant continu : 17  
 machine asynchrone triphasée : 18  
 machine synchrone : 18  
 magnétisant (courant magnétisant) : 21  
 magnétisme : 5-14  
 mailles (loi des) : 7  
 main droite (démarreur) : 16  
 main gauche (générateur) : 16  
 masse volumique : 4  
 masse : 4  
 maximum (tension maximum) : 22  
 mécanique : 4-6  
 mécaniques (pertes) : 17-18  
 méthode de Boucherot : 13  
 mètre carré : 4  
 mètre cube : 4  
 mètre par seconde : 4  
 mètre : 4  
 moment d'un couple : 4  
 moteur à courant continu : 17  
 moteur asynchrone triphasé : 18  
 moteur synchrone : 19  
 moteur : 17  
 moyenne (tension moyenne) : 22  
 multiple de : 3  
 multiple : 3  
 newton : 4-6-15  
 newton-mètre : 4  
 nœuds (loi des) : 7  
 nombre : 3  
 ohm (loi d') : 10-13  
 ohm : 4-5-10-12-20  
 ohm-mètre : 4  
 paire de pôles : 17-18-19  
 paire de voies d'enroulement : 17  
 parallèle (R.L.C.) : 11-12-13-15  
 pascal : 4  
 période : 4  
 perméabilité magnétique : 5-14

permittivité : 5  
 pertes collectives : 17-18  
 pertes constantes : 21  
 pertes fer : 17-18-21  
 pertes mécaniques : 17-18  
 pertes par courant de Foucault : 18-22  
 pertes par effet joule : 17-18-21  
 pertes par hystérésis : 18-22  
 phase (en phase) : 10  
 poids : 4  
 pôles (paire de) : 17-18  
 potentiel : 4  
 préfixe : 3  
 pression : 4  
 primaire : 20-21-22  
 puissance (bilan des) : 17-18-20-21  
 puissance (triangle des) : 13  
 puissance absorbée : 6-17-18  
 puissance active : 5-13-20  
 puissance apparente : 5-13-20  
 puissance de dix : 3  
 puissance déformante : 13  
 puissance dissipée par effet joule en étoile  
 ou triangle équilibré : 9-18  
 puissance électromagnétique du rotor : 18  
 puissance perdue : 6-17-18  
 puissance réactive : 5-13-15-20  
 puissance transmise au rotor : 18  
 puissance utile : 6-17-18  
 puissance : 4-6-9-13-17-18-20  
 pulsation : 4-12-15  
 quadrature (en quadrature) : 10  
 quantité d'électricité : 5-7-15  
 R.L.C. : 11-12-13  
 radian par seconde : 4-12-15-17  
 radian : 4  
 rapport de transformation : 20-21-22  
 réactance : 5-10-12  
 récepteur : 10  
 réel (transformateur monophasé) : 20  
 règle des 3 doigts : 16  
 relative (chute de tension) : 21  
 relèvement de  $\cos\phi$  : 15  
 rendement : 6-17-18-20-21  
 représentation de Fresnel : 10  
 résistance (variation avec la  
 température) : 8  
 résistance d'un fil uniforme : 8  
 résistance : 4-10-12-8  
 résistivité : 4-8  
 résistor : 10  
 résonnant (circuit) : 12  
 rotation (fréquence de) : 4-17  
 rotor bobiné : 18  
 rotor : 17-18  
 secondaire : 20-21-22  
 seconde : 4  
 série (R.L.C. série) : 11-12-13-15  
 siemens : 5-12  
 simple (tension simple) : 9-22  
 $\sin\phi$  : 9  
 solénoïde : 14  
 sous-multiple : 3  
 stator : 17-18  
 surface : 4  
 susceptance : 12  
 symbole : 3-4-5  
 temps : 4  
 tension (triangle des) : 11  
 tension composée : 9  
 tension efficace : 22  
 tension instantanée : 22  
 tension maximum : 22  
 tension moyenne : 22  
 tension simple : 9  
 tension : 4-9  
 tesla : 5-14-16-20-22  
 $\tan\phi$  : 13-15  
 tours par seconde : 4  
 transformateur monophasé idéal : 20  
 transformateur monophasé réel : 20  
 transformation (rapport de) : 20-21-22  
 travail : 4-5-6 (autre : voir énergie)  
 triangle (couplage triangle) : 22  
 triangle des ... : 11-12-13  
 unité : 4-5  
 VA : 5-9  
 Var ou VAR : 5-9  
 variation de résistance avec la  
 température : 8

vitesse angulaire : 4-17-18  
vitesse : 4  
voies d'enroulement (paire de) : 17  
volt ampère réactif : 5-9  
volt ampère : 5-9  
volt par mètre : 5  
volt : 4  
volume : 4  
watt heure : 6  
watt : 4-5-6-9-13-15-17-18  
weber : 5-14-16-17-19

---

Fus. à perc. avec circuit de signalisation		Oscilloscope	
Fusible interrupteur		Voltmètre différentiel	
Fusible sectionneur (ou sectionneur porte-fusible)		Galvanomètre	
Fusible interrupteur-sectionneur		Multimètre	
<b>• Eclateurs et parafoudres</b>			
Eclateur		Indicateur de position angulaire ou de pression :	
Parafoudre		- à courant continu	
Tube à gaz limiteur de tension		- à induction	

**C03-208**

**Appareils de mesure, lampes et dispositifs de signalisation**

**• Indicateurs, enregistreurs et compteurs**

Appareil indicateur		Heuremètre, compteur horaire	
Appareil enregistreur		Ampèreheuremètre	
Appareil intégrateur (ex. : compteur d'énergie électrique)		Wattheuremètre, compteur d'énergie active	
		Compteur d'énergie active mesurant l'énergie dans un seul sens	
		Varheuremètre, compteur d'énergie réactive	

**• Appareils indicateurs et enregistreurs**

Le symbole de l'appareil est complété en son centre par l'une des mentions suivantes :

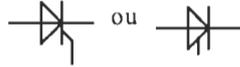
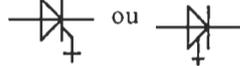
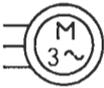
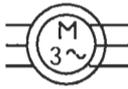
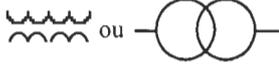
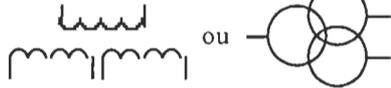
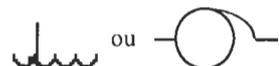
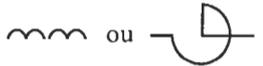
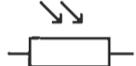
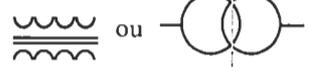
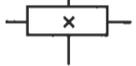
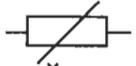
Ampèremètre	A
Cos φ mètre	cos φ
Couplemètre	Tx
Fréquence	f
Fréquencemètre	Hz
Heure	h
Impédance	Z
Ohmètre	Ω
Ondemètre	λ
Phasemètre	φ
Tachymètre	n
Temps	t
Thermomètre, pyromètre	Θ
Varheure	varh
Varmètre (puissance réactive)	var
Voltampèremètre	VA
Voltmètre	V
Watt	W
Wattheure	Wh

**• Dispositifs de comptage**

Fonction de comptage d'un nombre d'événements, symbole distinctif	
Compteur d'impulsions électriques	
Compteur d'impulsions électriques à affichage numérique	
Compteur d'impulsions électriques avec mise à n manuelle (mise à zéro si n = 0)	
Compteur d'impulsions électriques avec mise à 0 électrique	

Bouton rotatif à 2 directions		Démarreur rhéostatique	
Bouton rotatif à 2 directions et une position médiane stables		Démarreur série-parallèle	
Bouton rotatif à deux directions à retour automatique en position médiane		<b>• Relais : organes de commande</b>	
Commutateur à deux positions stables, l'une en poussant, l'autre en tirant : bouton "pousser-tirer"		Organe de commande d'un relais, symbole général	
Commutateur à deux positions stables, à deux boutons-poussoirs, l'un actionnant, l'autre libérant		2 enroulements	
Commutateur à deux positions stables commandé par un seul bouton-poussoir alternativement d'action et de libération : bouton "pousser-pousser"		Mise au repos retardée	
Télérupteur (cf § relais)		Mise au travail retardée	
		Mi. au repos et mi. au travail retardées	
		Relais rapide	
<b>• Symboles fonctionnels de démarreurs de moteurs</b>		Relais insensible au courant alternatif	
Démarreur, symbole général		Relais à courant alternatif	
Démarreur opérant par échelons		Relais à verrouillage mécanique	
Démarreur régleur (variateur)		Relais polarisé	
Dém. avec mise à l'arrêt automatique		Relais à rémanence	
Démarreur direct par contacteur pour deux sens de marche		Relais thermique	
Démarreur étoile-triangle		Dispositif de réenclenchement auto.	
Démarreur par auto-transformateur		<b>• Fusibles et interrupteurs à fusibles</b>	
Démarreur régleur par thyristor		Fusible, symbole général	
Dém. automatique, symbole général		Fusible dont l'extrémité demeure sous tension après fusion	
Dém. semi-auto, symbole général		Fusible à percuteur	

Red. à tension continue réglable		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contacts à fonctionnement décalé</b></li> <li>Contact à fermeture anticipée</li> <li>Contact à fermeture retardée</li> <li>Contact à ouverture anticipée</li> <li>Contact à ouverture retardée</li> </ul>	
Redresseur en pont		NB : contact fermant (resp. ouvrant) plus tôt (resp. plus tard) que les autres contacts d'un même ensemble.	
Onduleur			
Redresseur/Onduleur		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contacts à temps spécifié</b></li> <li>Contact à fermeture, retardé à la fermeture</li> <li>Contact à ouverture, retardé à la fermeture</li> <li>Contact à fermeture, retardé à la fermeture et à l'ouverture</li> </ul>	
Variateur de puissance à thyristor			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Piles et accumulateurs</b></li> <li>Pile ou accumulateur, FEM simple</li> <li>Pile ou accumulateur, FEM double</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Interrupteurs thermiques</b></li> <li>Interrupteur agissant par effet thermique direct (bilame), contact à ouverture</li> </ul>	
<b>C03-207</b>			
<b>Appareillage et dispositifs de commande et de protection</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contacts : symboles distinctifs</b></li> <li>Fonction contacteur</li> <li>Fonction disjoncteur</li> <li>Fonction sectionneur</li> <li>Fonction interrupteur-sectionneur</li> <li>Fonction déclenchement automatique</li> <li>Fonction contact de position</li> <li>Fonction retour automatique</li> <li>Fonction position maintenue</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Appareils mécaniques de connexion</b></li> <li>Contacteur</li> <li>Discontacteur</li> <li>Rupteur</li> <li>Disjoncteur</li> <li>Sectionneur</li> <li>Sectionneur à deux directions avec position d'isolement médiane</li> <li>Interrupteur sectionneur</li> <li>Interrupteur sectionneur à ouverture automatique</li> <li>Sectionneur à commande manuelle avec dispositif de blocage</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contacts à deux ou trois positions</b></li> <li>Contact à fermeture (contact travail)</li> <li>Contact à ouverture (contact de repos)</li> <li>Contact à 2 directions</li> <li>Contact à 2 directions avec position médiane</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Exemples de contacteurs</b></li> <li>Contact à fermeture, à retour automatique</li> <li>Contact à fermeture, à position maintenue</li> <li>Contact à ouverture, à retour automatique</li> <li>Contact à deux directions</li> <li>avec position de coupure médiane d'ouverture, à retour automatique pour la direction haute et à position maintenue pour la direction basse</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contacts de passage à deux positions</b></li> <li>Contact de passage fermant momentanément : <ul style="list-style-type: none"> <li>-à l'action de son organe de commande</li> <li>-au relâchement de son organe de comde</li> <li>-à l'action et au relachement</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Commande manuelle, symbole général</li> <li>Bouton-poussoir</li> <li>Tirette à fermeture</li> </ul>	

		<b>C03-206</b>		
		<b>Production, transformation et conversion de l'énergie électrique</b>		
Diac				
<b>• Thyristors</b>				
Thyristor	 ou 	<b>• Machines à courant continu</b>		
GTO (thyristor blocable par la gachette)	 ou 	Génératrice à courant continu		
		Moteur à courant continu		
		<b>• Machines asynchrones à induction</b>		
Triac		Moteur triphasé, rotor en court-circuit (cage d'écureuil)		
<b>• Transistors</b>				
Transistor bipolaire PNP		Moteur triphasé, rotor bobiné		
Transistor bipolaire NPN		<b>• Moteur pas à pas</b>		
Transistors, montage darlington NPN		Moteur pas à pas à aimant permanent		
Transistors, montage darlington PNP		<b>• Machines à collecteur</b>		
T. jonction à effet de champ, canal N		Moteur à collecteur monophasé		
T. jonction à effet de champ, canal P		<b>• Transformateurs</b>		
T. MOS à enrichissement, canal P		Transformateur à deux enroulements		
T. MOS à enrichissement, canal N		Transformateur à trois enroulements		
T. MOS à déplétion, canal N		Autotransformateur		
T. MOS à déplétion, canal P		Inductance		
<b>• Dispositifs photosensibles &amp; magétosensibles</b>				
Photorésistance		Transformateur à écran		
Photodiode		Transformateur triphasé couplage étoile.triangle		
Cellule photovoltaïque		<b>• Convertisseurs de puissance</b>		
Phototransistor		Convertisseur, symbole général		
Optocoupleur à phototransistor		Convertisseur continu-continu		
Optocoupleur à phototriac		Rredresseur		
Dispositif à effet Hall				
Magnéto-résistance				

• **Dispositifs et méthodes de commande**

Commande mécanique manuelle, symbole général	
Commande par tirette	
Commande rotative	
Commande par poussoir	
Commande par effet de proximité	
Commande par effleurement	
Bouton poussoir de sécurité ("coup de poing")	
Commande par volant	
Commande par pédale	
Commande par levier	
Commande par clé	
Commande par manivelle	
Commande par galet	
Commande par came	
Com <sup>de</sup> hydraulique ou pneumatique à simple ou double effet	
Commande électromagnétique	
Com <sup>de</sup> par protection électromagnétique de surintensité	
Com <sup>de</sup> par élément thermosensible (ex. : protection thermique de surintensité)	
Commande par moteur électrique	

• **Origine des potentiels**

Terre	
Terre de protection	
Masse, châssis	
Equipotentialité	

• **Éléments idéaux de circuit**

Source idéale de courant	
Source idéale de tension	

**C03-203**

**Conducteurs et dispositifs de connexion**

• **Dispositifs de connexion**

Fiche et prise (simple) de connecteur ou prolongateur		ou	
Fiche et prise (double)		ou	
Barrette de connexion fermée (ou cavalier)			
Barrette de connexion ouverte			
Picot, point de test			
Douille			
Connecteur, partie fixe			
Connecteur, partie mobile			

**C03-204**

**Composants passifs**

résistance		ou	
potentiomètre			
résistance variable		ou	
condensateur			
condensateur polarisé			
bobine			
bobine à noyau			
cristal piézoélectrique			

**C03-205**

**Semiconducteurs**

• **Diodes à semiconducteurs**

Diode shottky	
Diode zener	
Transil	
Diode jonction PN	
Diode électroluminescente	
Diode laser	