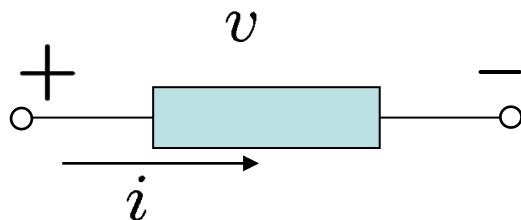


# Chapitre 8

## Puissance en régime permanent

# Rappels sur les puissances

## Convention passive



$$\text{puissance} \quad p = vi$$

**Si**

$p$  positive



$p$  négative



*Élément qui absorbe de la puissance*

e.g., Résistance, Inductance, capacité

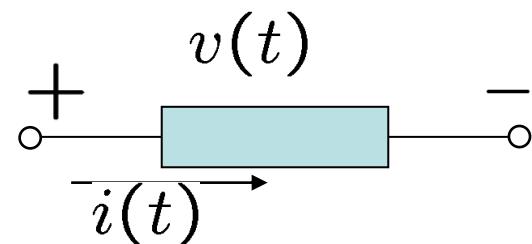
*Élément qui produit de la puissance*

e.g., source de tension ou de courant

# Types de puissances

## Puissance Instantanée

Si la tension ou le courant sont en fonction du temps :



$$p(t) = v(t)i(t)$$

Ce type de puissance est appelé

**Puissance Instantanée**

## Puissance Instantanée

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_V)$$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \theta_I)$$

$$p(t) = V_m I_m \cos(\omega t + \theta_V) \cos(\omega t + \theta_I)$$

**Sachant  
que**

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} (\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)) \\ \cos(\alpha + \beta) = \cos(\alpha) \cos(\beta) - \sin(\alpha) \sin(\beta) \end{array} \right.$$

**Alors**

$$\rightarrow p(t) = \frac{V_m I_m}{2} (\cos(\theta_V - \theta_I) + \cos(2\omega t + \theta_V + \theta_I))$$

**en Watts**

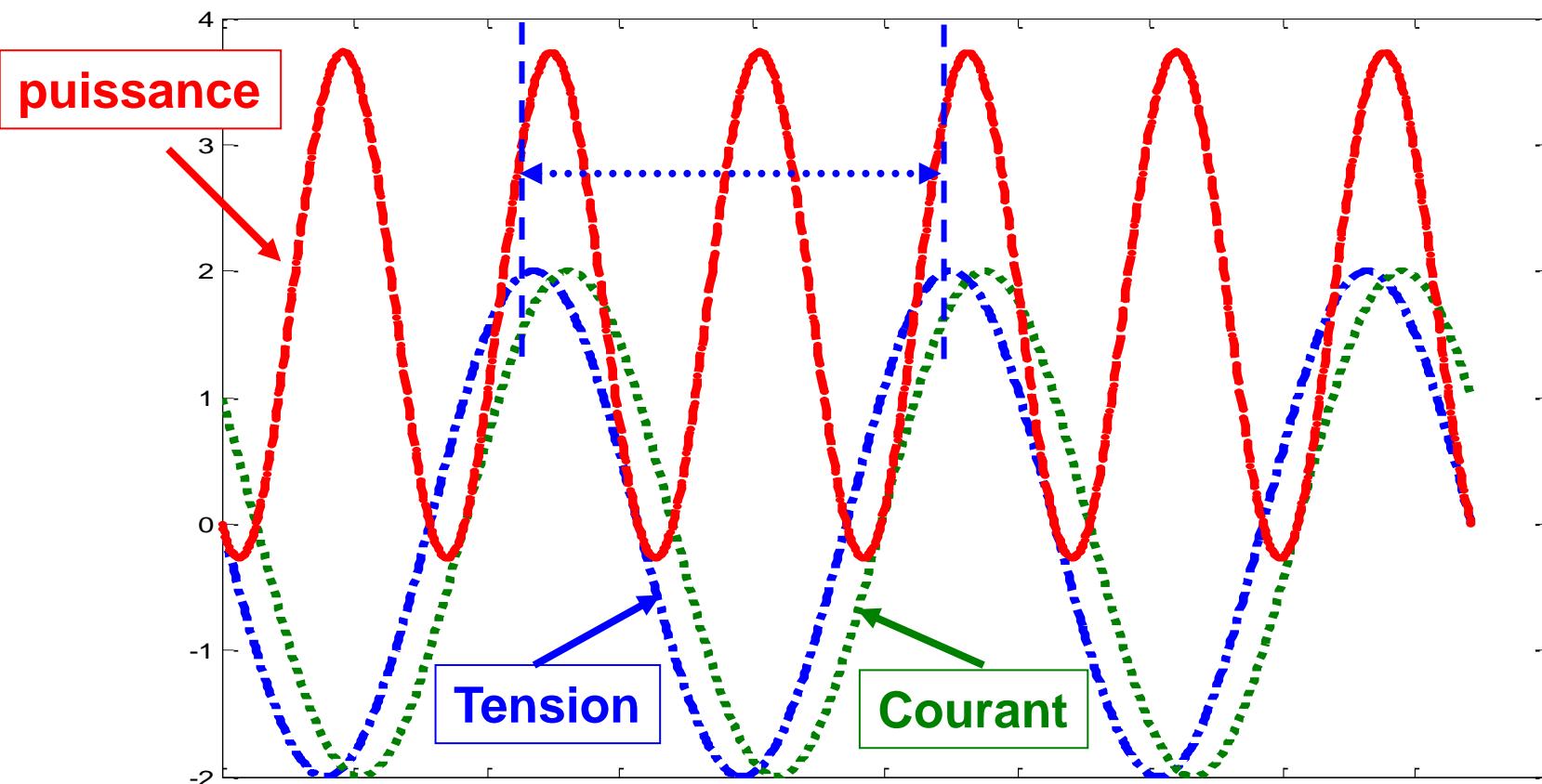
## Puissance Instantanée - Exemple

$$v(t) = 2 \cos(10t + 45^\circ)$$

$$i(t) = 2 \cos(10t + 10^\circ)$$

$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2} (\cos(\theta_V - \theta_I) + \cos(2\omega t + \theta_V + \theta_I))$$

$$p(t) = 2 \cos(35^\circ) + 2 \cos(20t + 55^\circ)$$



## Puissance Moyenne

**Puissance  
Moyenne**

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \int_0^T \frac{V_m I_m}{2} (\cos(\theta_V - \theta_I) + \cos(2\omega t + \theta_V + \theta_I)) dt$$

$$= \frac{1}{T} \left( \int_0^T \frac{V_m I_m}{2} (\cos(\theta_V - \theta_I)) dt + \int_0^T \left( \frac{V_m I_m}{2} \cos(2\omega t + \theta_V + \theta_I) \right) dt \right)$$

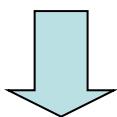


0

## Puissance Moyenne

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_V - \theta_I) dt$$

Puissance  
Moyenne



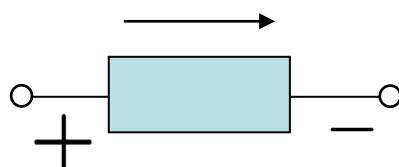
$$P = \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_V - \theta_I)$$

dépend  
de

- 1. Des amplitudes du courant et de la tension
- 2. De l'angle de phase entre le courant et la tension

## Puissance Complexe

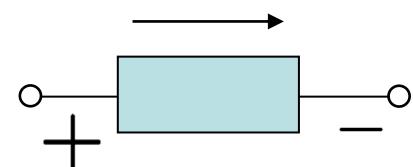
$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \theta_I)$$



$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_V)$$

Domaine Temps

$$\mathbf{I} = I_m \angle \theta_I$$

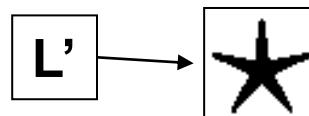


$$\mathbf{V} = V_m \angle \theta_V$$

Domaine Fréquence

## Puissance Complexe

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{I} = I_m \angle \theta_I \\ \text{---} \\ \mathbf{V} = V_m \angle \theta_V \end{array} \right\} \rightarrow \mathbf{S} = \frac{\mathbf{VI}^*}{2}$$



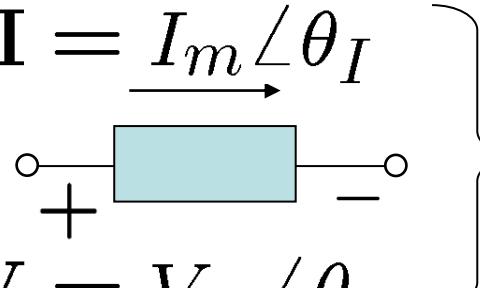
Désigne le complexe conjugué

**Exemple**

$$(3 + j4)^* = 3 - j4$$

$$(5 \angle 54^\circ)^* = 5 \angle -54^\circ$$

## Puissance Complexe

$\mathbf{I} = \underline{I_m \angle \theta_I}$        $\mathbf{V} = \underline{V_m \angle \theta_V}$ 


$$\mathbf{S} = \frac{\mathbf{VI}^*}{2}$$

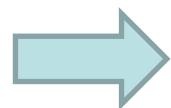
$$\mathbf{S} = \frac{V_m \angle \theta_V (I_m \angle \theta_I)^*}{2}$$

$$\mathbf{S} = \frac{V_m \angle \theta_V (I_m \angle -\theta_I)}{2}$$

$$\mathbf{S} = \frac{V_m I_m \angle \theta_V - \theta_I}{2}$$

## Puissance Complexe

$$\mathbf{S} = \frac{V_m I_m \angle \theta_V - \theta_I}{2}$$



$$\mathbf{S} = |\mathbf{S}| \angle \beta$$

où

$$|\mathbf{S}| = \frac{V_m I_m}{2}$$

$$\beta = \theta_V - \theta_I$$

**Puissance apparente**

## Puissance Complexe

$$\mathbf{S} = \frac{V_m I_m \angle \theta_V - \theta_I}{2} \quad \rightarrow \quad \mathbf{S} = |\mathbf{S}| \angle \beta$$

$$\mathbf{S} = |\mathbf{S}| \cos \beta + j|\mathbf{S}| \sin \beta$$

**Substituer en utilisant**

$$|\mathbf{S}| = \frac{V_m I_m}{2} \quad \beta = \theta_V - \theta_I$$

$$\mathbf{S} = \underbrace{\frac{V_m I_m}{2} \cos (\theta_V - \theta_I)}_{\text{Puissance moyenne}} + j \underbrace{\frac{V_m I_m}{2} \sin (\theta_V - \theta_I)}_{\text{Puissance réactive}}$$

**Puissance moyenne**

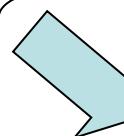
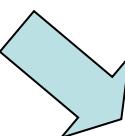
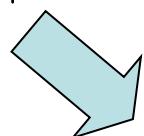
**P**

**Puissance réactive**

**Q**

# Puissance Complexe

$$S = \underbrace{\frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_V - \theta_I)}_{\text{Puissance Complexe}} + j \underbrace{\frac{V_m I_m}{2} \sin(\theta_V - \theta_I)}_{\text{Puissance Réactive}}$$



**Puissance  
Complexé**

=

**Puissance  
Moyenne**

+

**Puissance  
Réactive**

Unités



**VA**



**Watts**



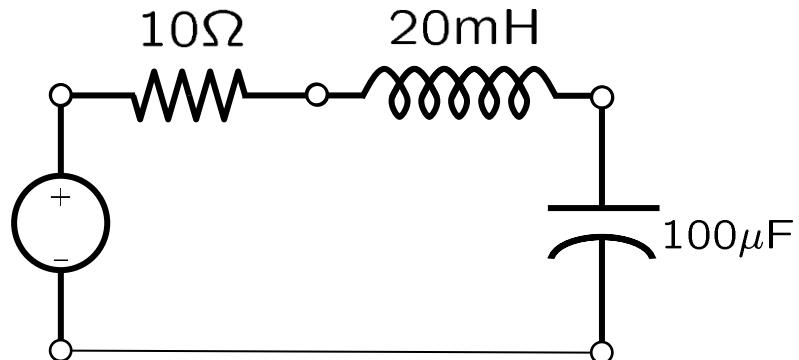
**VAR**

**Puissance  
Active**

# Exemple

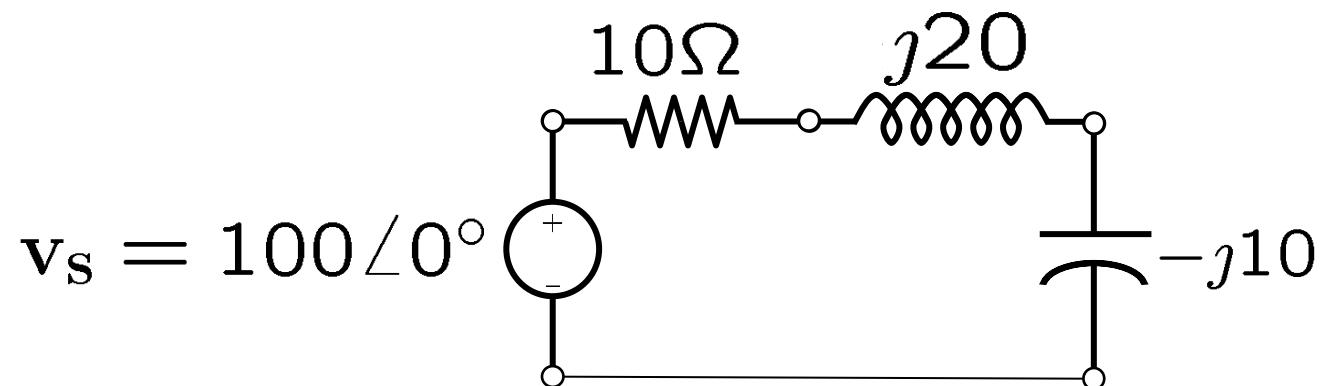
$$v_s(t) = 100 \cos(1000t)$$

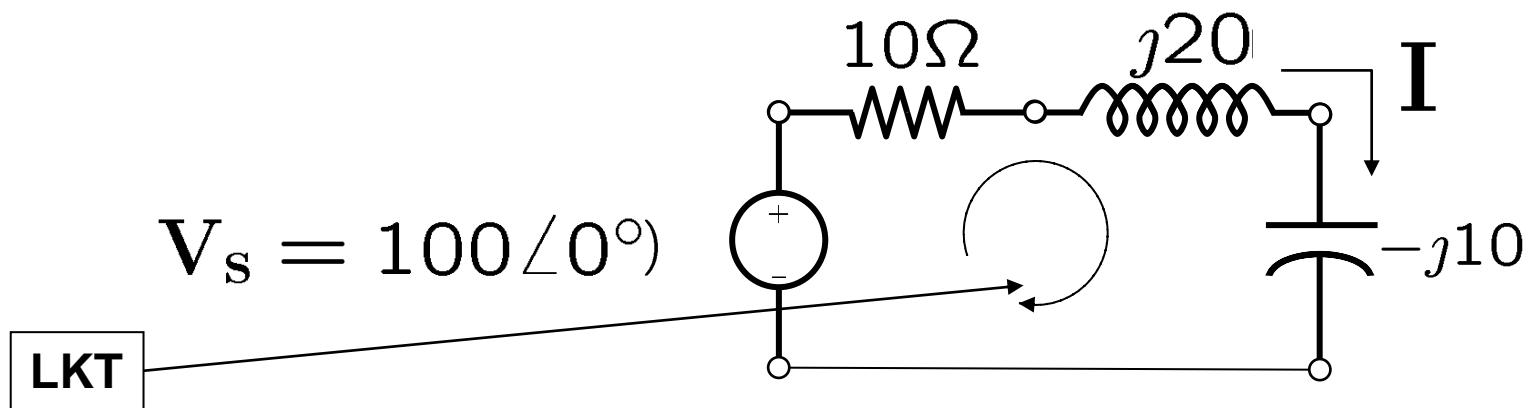
  $\omega = 1000$



**Calculer la puissance complexe au niveau de chaque élément**

Premièrement, redessiner le circuit avec les phaseurs



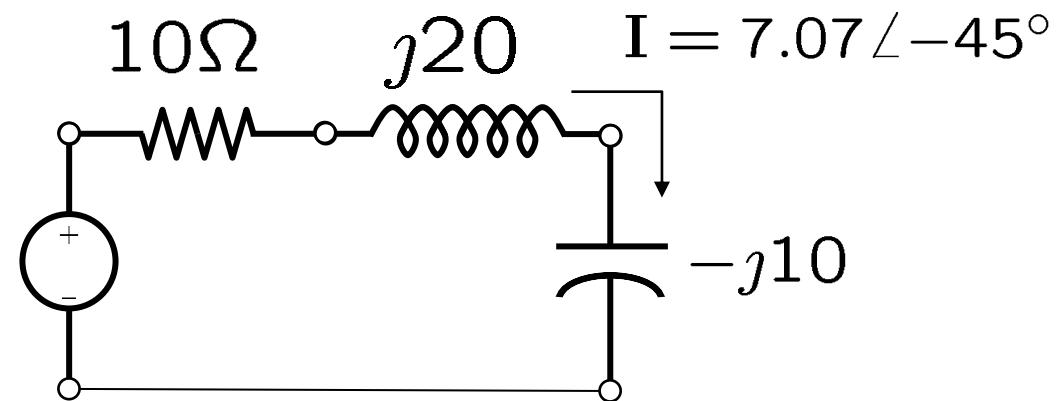


$$-V_s + V_R + V_L + V_C = 0$$

$$-100\angle 0^\circ + (10 + j20 - j10)I = 0$$

$$I = \frac{100\angle 0^\circ}{(10 + j20 - j10)} = \frac{100\angle 0^\circ}{(10 + j10)} = \frac{10\angle 0^\circ}{(1 + j1)}$$

$$I = 7.07\angle -45^\circ \text{A}$$



**Calculer la puissance complexe**

$$\begin{array}{cccc} S_V & S_R & S_L & S_C \\ \frac{V_s I^*}{2} & \frac{V_R I^*}{2} & \frac{V_L I^*}{2} & \frac{V_C I^*}{2} \end{array}$$

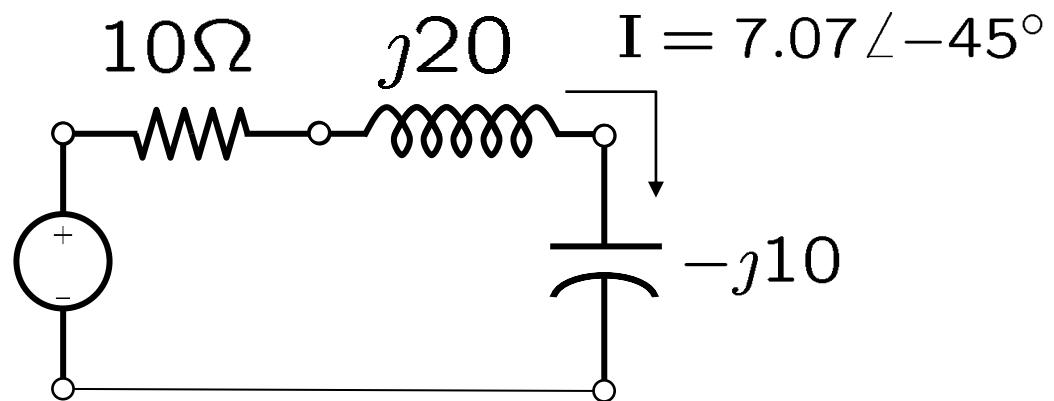
Source

Résistance

Inductance

Capacité

$$S_V \rightarrow \frac{V_s I^*}{2}$$

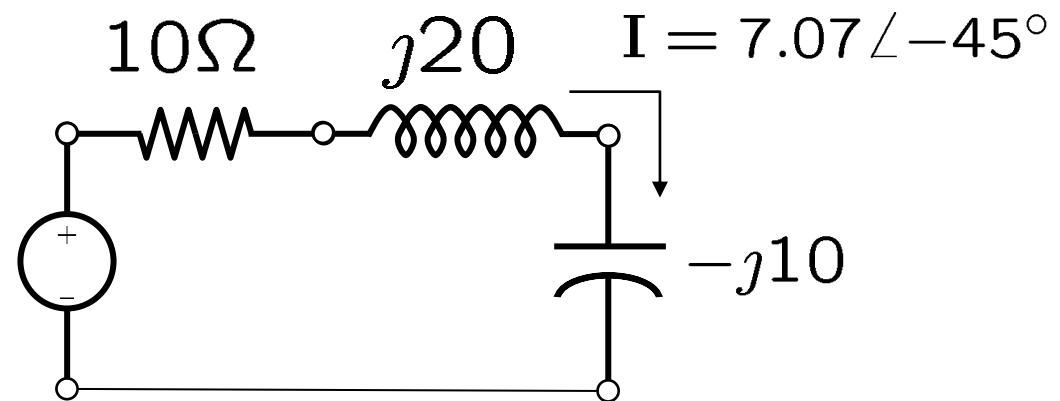


$$S_V = \frac{(V_s) \times I^*}{2} = \frac{(100 \angle 0^\circ) \times (-7.07 \angle -45^\circ)^*}{2}$$

$$S_V = \frac{(100 \angle 0^\circ) \times (-7.07 \angle 45^\circ)}{2}$$

$$S_V = -353.5 \angle 45^\circ \text{VA}$$

$$\mathbf{S}_R \rightarrow \frac{\mathbf{V}_R \mathbf{I}^*}{2}$$

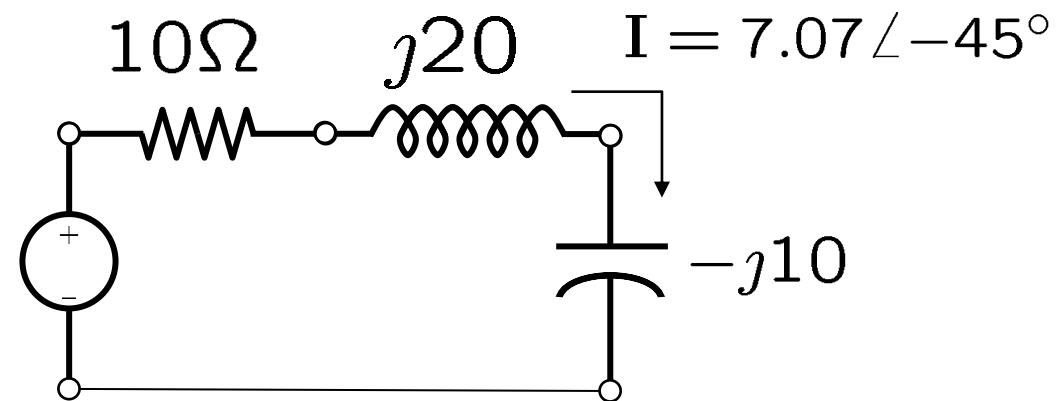


$$\mathbf{V}_R = \mathbf{Z}_R \times \mathbf{I} = 10 \times \mathbf{I}$$

$$\mathbf{S}_R = \frac{(\mathbf{V}_R) \times \mathbf{I}^*}{2} = \frac{\mathbf{I} \times 10 \times (7.07 \angle -45^\circ)^*}{2}$$

$$\mathbf{S}_R = 250 \angle 0^\circ \text{VA}$$

$$\mathbf{S}_L \rightarrow \frac{\mathbf{V}_L \mathbf{I}^*}{2}$$



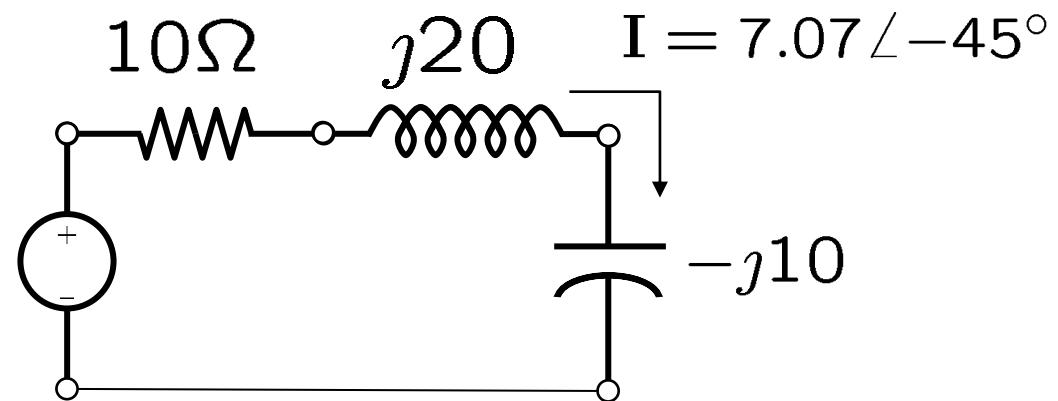
$$\mathbf{V}_L = \mathbf{Z}_L \times \mathbf{I} = j20 \times \mathbf{I}$$

$$\mathbf{S}_L = \frac{(\mathbf{V}_L) \times \mathbf{I}^*}{2} = \frac{\mathbf{I} \times j20 \times (7.07\angle -45^\circ)^*}{2}$$

$$\mathbf{S}_L = \frac{(\mathbf{V}_L) \times \mathbf{I}^*}{2} = \frac{7.07\angle -45^\circ \times j20 \times (7.07\angle -45^\circ)^*}{2}$$

$$\mathbf{S}_L = 500\angle 90^\circ \text{VA}$$

$$S_C \rightarrow \frac{V_C I^*}{2}$$

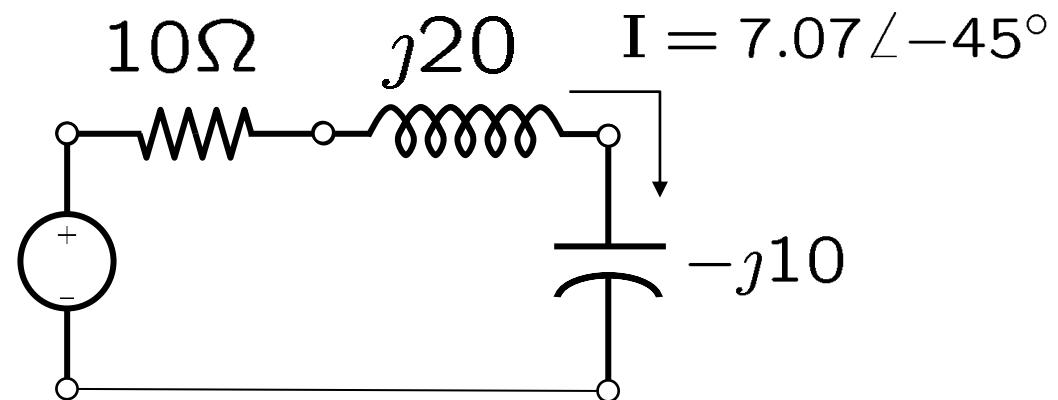


$$V_C = Z_C \times I = -j10 \times I$$

$$S_C = \frac{(V_C) \times I^*}{2} = \frac{I \times -j10 \times (7.07\angle -45^\circ)^*}{2}$$

$$S_C = \frac{(V_C) \times I^*}{2} = \frac{7.07\angle -45^\circ \times -j10 \times (7.07\angle -45^\circ)^*}{2}$$

$$S_C = 250\angle -90^\circ \text{VA}$$



$$\mathbf{S}_C + \mathbf{S}_L + \mathbf{S}_R =$$

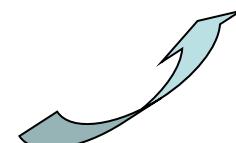
$$250\angle 0^\circ + 500\angle 90^\circ + 250\angle -90^\circ = 353\angle 45^\circ \text{VA}$$

$$250 + j500 - j250 =$$

**Puissance reçue**

$$\mathbf{S}_V = -353.5\angle 45^\circ \text{VA}$$

**Puissance fournie**



**Conservation de puissance :**

**Puissance fournie = puissance reçue**

# Facteur de puissance

$$PF = \frac{P}{S} = \cos(\theta_V - \theta_I)$$

## Facteur de Puissance et coefficient de réactance

$$RF = \frac{Q}{S} = \sin(\theta_V - \theta_I)$$

Le rapport entre résistance du circuit et amplitude de l'impédance du circuit est appelé facteur de puissance

$$\text{Facteur de puissance} = \frac{R}{|Z|}$$

Le facteur de puissance est une évaluation de la manière dont la charge convertit la puissance totale consommée en travail réel.

Un facteur de puissance de 1.0 indique que la charge convertit toute la puissance consommée en travail réel.

D'un autre coté, un facteur de puissance de 0.0 signifie que la charge ne produit aucun travail réel. Comme seule la partie résistive d'un circuit dissipe de la puissance, nous sommes intéressés par la partie résistive de l'impédance pour avoir toute l'information.

# Plaques des moteurs



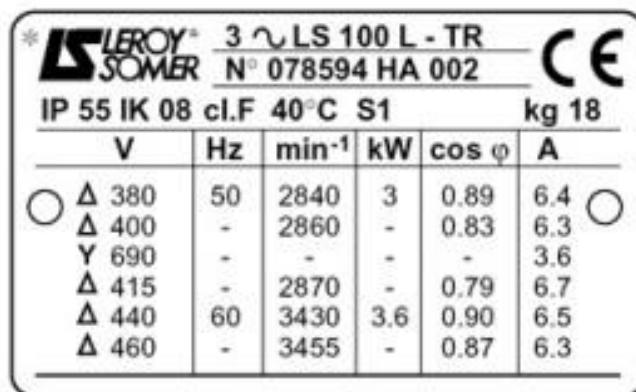
Plaque signalétique



Manuel d'instructions

<b>LEROY SOMER</b>		<b>MOT. 3 ~ FLSB 180 M</b>		<b>CE</b>																									
<b>N° 596 059 GH 001</b>		<b>kg : 208</b>																											
<b>IP 55</b>	<b>IK 08</b>	<b>I cl. F</b>	<b>40 °C</b>	<b>S3</b>	<b>40 %</b>																								
<b>6 d/h</b>																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>V</th><th>Hz</th><th>min<sup>-1</sup></th><th>kW</th><th>cos φ</th><th>A</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>△ 220</td><td>50</td><td>1427</td><td>17</td><td>0.88</td><td>60</td></tr> <tr> <td>Y 380</td><td>50</td><td>1427</td><td>17</td><td>0.88</td><td>35</td></tr> <tr> <td>U<sub>R</sub> 250</td><td></td><td></td><td></td><td>I<sub>R</sub> 42</td><td></td></tr> </tbody> </table>						V	Hz	min <sup>-1</sup>	kW	cos φ	A	△ 220	50	1427	17	0.88	60	Y 380	50	1427	17	0.88	35	U <sub>R</sub> 250				I <sub>R</sub> 42	
V	Hz	min <sup>-1</sup>	kW	cos φ	A																								
△ 220	50	1427	17	0.88	60																								
Y 380	50	1427	17	0.88	35																								
U <sub>R</sub> 250				I <sub>R</sub> 42																									
<b>GRAISSE ESSO UNIREX N3</b>																													
DE 6310 C3		15 cm <sup>3</sup>		11000 /	H 50/60 Hz																								
NDE 6310 C3		15 cm <sup>3</sup>		11000 /	H 50/60 Hz																								
<b>Couplage adopté</b>	<b>Vitesse nominale</b>	<b>Puissance utile</b>	<b>Facteur de puissance</b>	<b>Intensité du courant en ligne</b>																									





- 3 ~** : Moteur triphasé alternatif  
**L** : Série  
**100** : Hauteur d'axe  
**L** : Symbole de carter  
**TR** : Repère d'imprégnation  
**N°** : Numéro série moteur  
**V** : Tension d'alimentation  
**Hz** : Fréquence d'alimentation  
**min<sup>-1</sup>** : Nombre de tours par minute

#### ▼ Définition des symboles des plaques signalétiques



Repère légal de la conformité du matériel aux exigences des Directives Européennes.

**IP55 IK08** : Indice de protection

(I) **cl. F** : Classe d'isolation F

**40°C** : Température d'ambiance contractuelle de fonctionnement

**S** : Service

**%** : Facteur de marche

**...d/h** : Nombre de cycles par heure

**kg** : Masse

**cos φ** : Facteur de puissance

**A** : Intensité nominale

**△** : Branchement triangle

**Y** : Branchement étoile

**kW** : Puissance nominale

# 50 Hz ou 60 Hz ?

\* **LEROY SOMER** 3 ~ LS 100 L - TR N° 078594 HA 002 **CE**

IP 55 IK 08 cl.F 40°C S1 kg 18

V	Hz	min <sup>-1</sup>	kW	cos φ	A
△ 380	50	2840	3	0.89	6.4
△ 400	-	2860	-	0.83	6.3
Y 690	-	-	-	-	3.6
△ 415	-	2870	-	0.79	6.7
△ 440	60	3430	3.6	0.90	6.5
△ 460	-	3455	-	0.87	6.3

L'utilisation de la fréquence 50 Hz par rapport à 60 Hz est purement historique : les entreprises américaines fabriquant des équipements 60 Hz et les entreprises européennes fabriquant des équipements 50 Hz afin de disposer d'un monopole. Cette rivalité a conduit à la scission que nous voyons aujourd'hui.

La société allemande AEG (issue d'une société fondée par Edison en Allemagne) a construit le premier parc de production allemand fonctionnant à 50 Hz, prétendument parce que « 60 » n'était pas un numéro préféré. Certains pensent que le choix de la fréquence 50 Hz d'AEG est lié à un nombre plus "métrique" que 60. A l'époque, AEG avait un monopole virtuel et leur norme était étendue au reste de l'Europe.

Au Japon, la partie occidentale du pays (Kyoto et l'ouest) utilise 60 Hz et la partie orientale (Tokyo et l'est) 50 Hz. Cela provient des premiers achats de générateurs d'AEG en 1895, installés à Tokyo, et de General Electric en 1896, installés à Osaka. La limite entre les deux régions contient quatre sous-stations HVDC dos à dos qui convertissent la fréquence; Ce sont Shin Shinano, le barrage de Sakuma, Minami-Fukumitsu et le convertisseur de fréquence Higashi-Shimizu.

## Angle du facteur de puissance

Si l'impédance d'un circuit alternatif est résistive ( $Z = R$ ) nous avons un facteur de puissance de 1. Quand l'impédance est réactive ( $Z = jX$ ), le facteur de puissance est nul. En général, le facteur de puissance est lié à l'angle de phase exprimé par

$$\text{Angle du facteur de puissance} = \cos(\theta) = R/|Z|$$

Pour un utilisateur, un **cos ( $\theta$ ) faible** entraîne une mauvaise utilisation des installations. Des courants importants vont être véhiculés pour une faible puissance active consommée.

Ces courants élevés vont entraîner des pertes joule élevées et il faudra un surdimensionnement de la section des conducteurs de lignes, des transformateurs et des appareils de commande et de sécurité → surcoût élevé et diminution du rendement des installations.

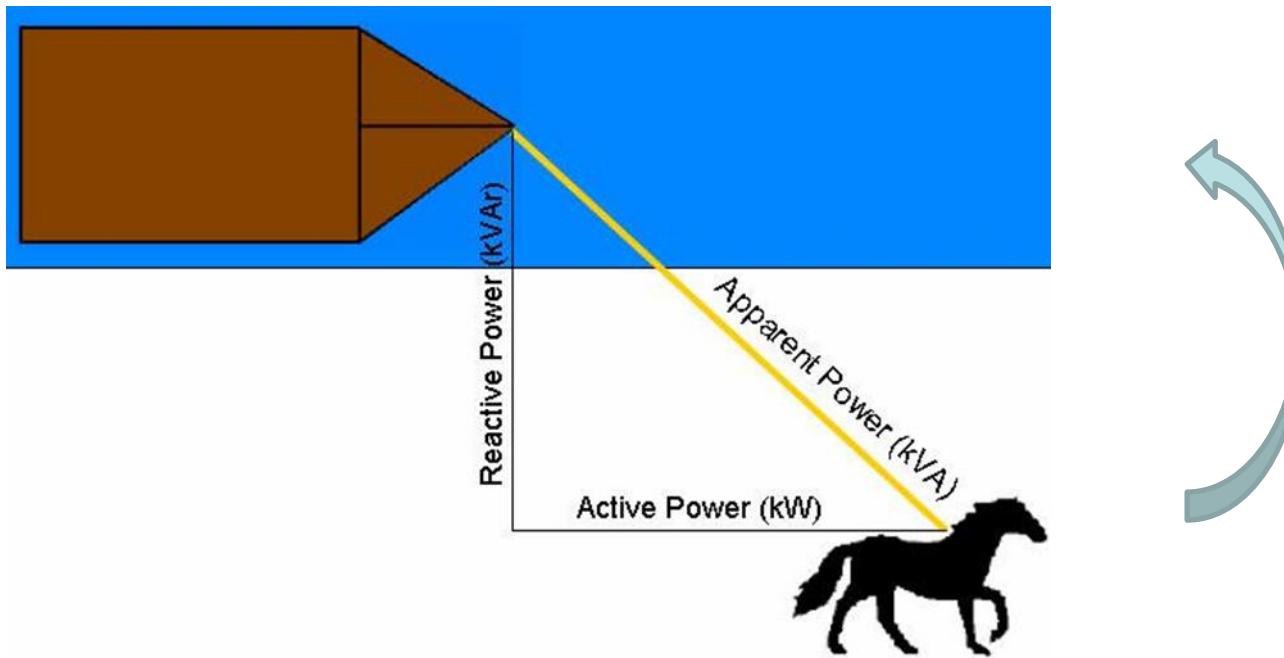
## Angle du facteur du puissance

L'entreprise responsable de la distribution de l'électricité (Hydro) applique des pénalisations tarifaires importantes pour les consommateurs d'énergie réactive.

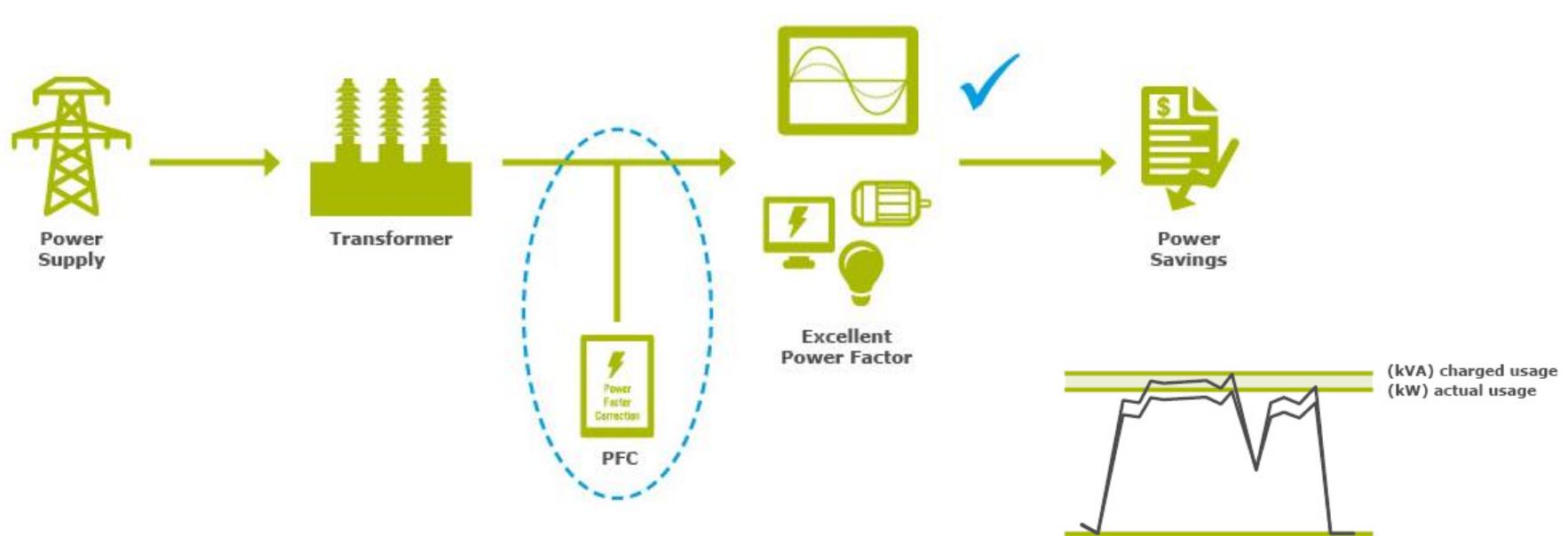
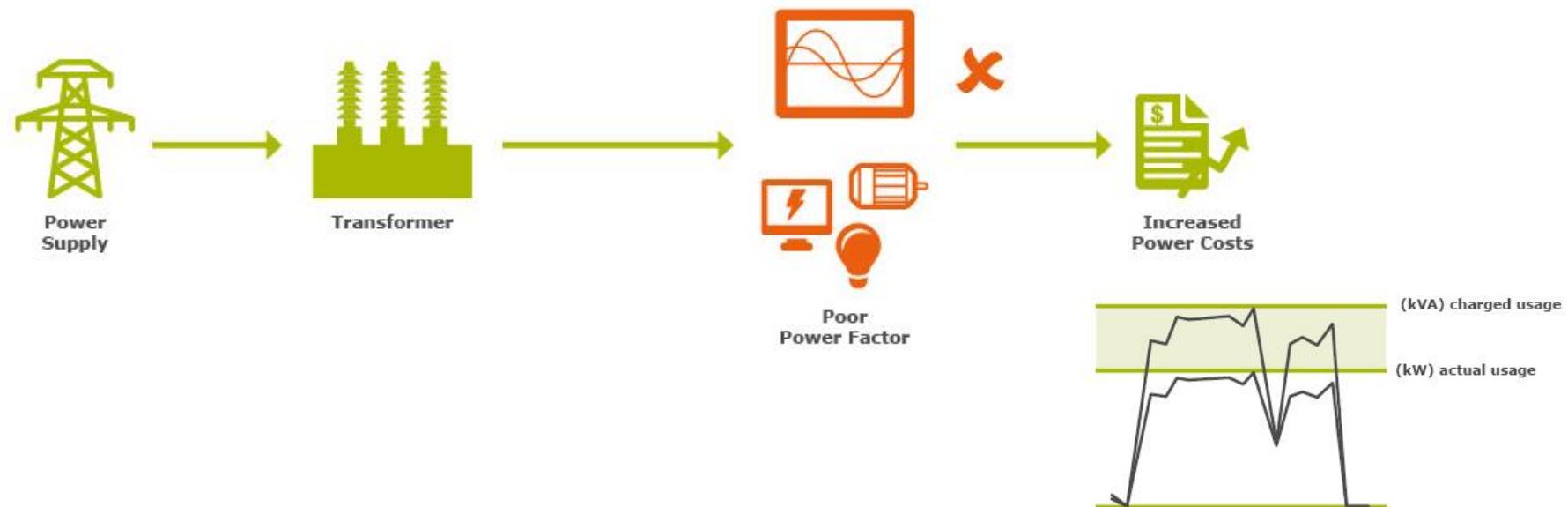
L'énergie réactive (dite magnétisante) est facturée s'il y a dépassement d'un certain seuil du cos ( $\theta$ ) (réglementé pour chaque province).

L'utilisateur a donc intérêt à **relever** le facteur de puissance de son installation. Il utilise pour cela des **batteries de condensateurs** qui fournissent la puissance réactive magnétisante absorbée par les circuits inductifs.

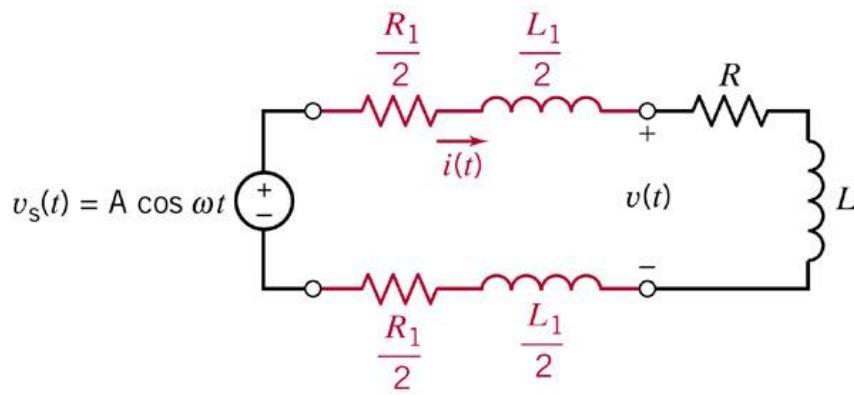
## Correction du facteur de puissance



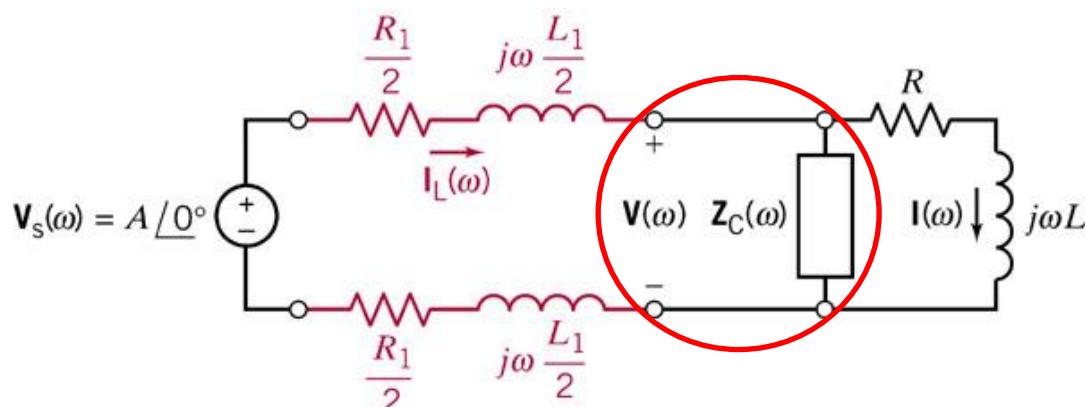
Prenons l'exemple d'un cheval qui est attelé de biais par rapport à une charrue : il doit produire plus de puissance pour la faire avancer que s'il était directement en ligne avec la charrue !



## Correction du facteur de puissance

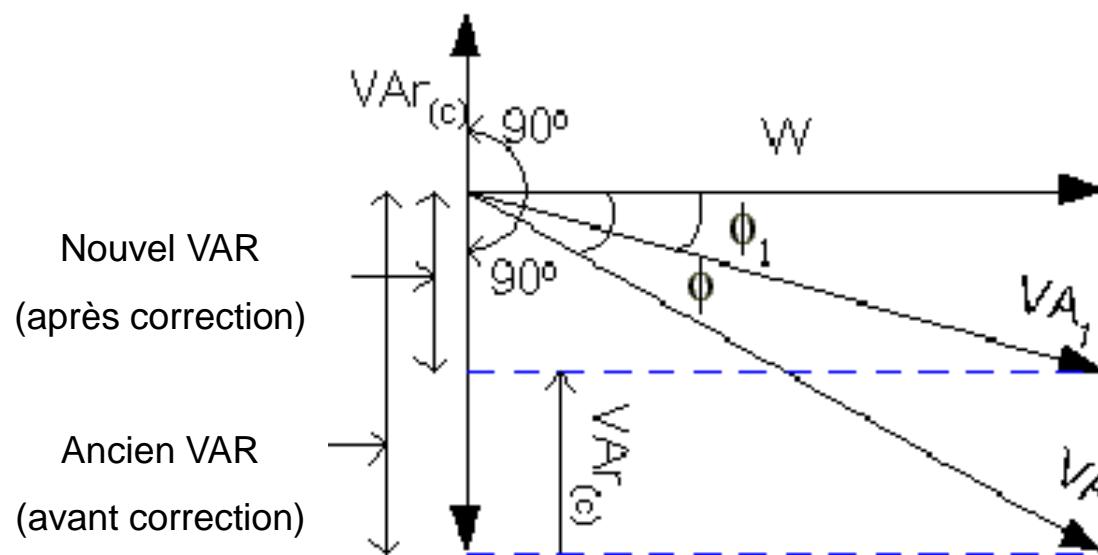


| Source Câbles Usine  
(Hydro) électriques (charge)

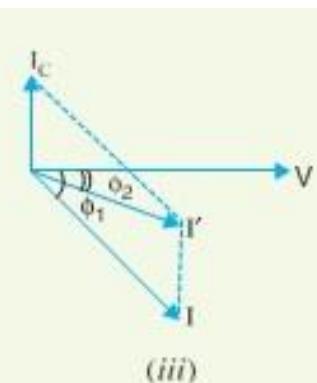
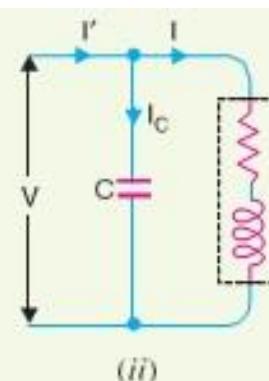
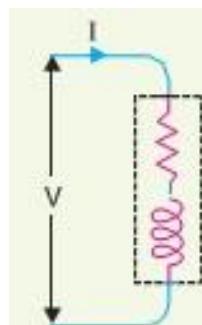
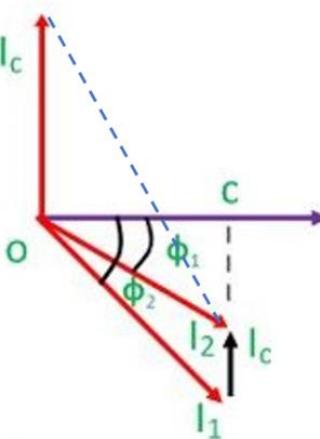
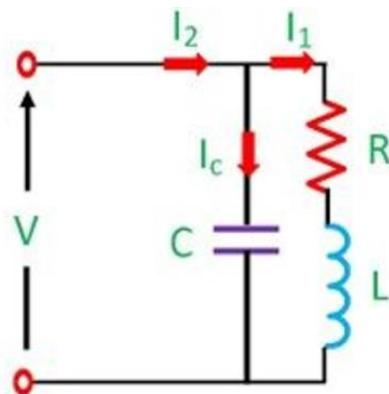


Source Câbles Batterie de Usine  
(Hydro) électriques Capacités (charge)

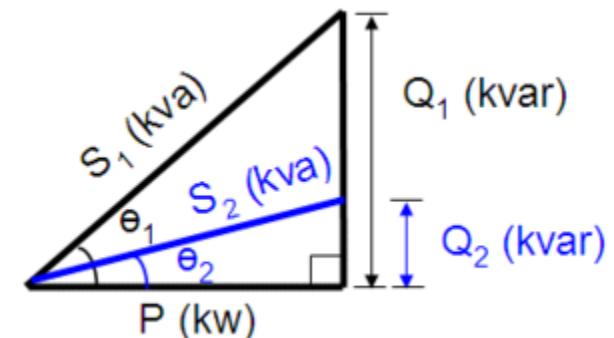
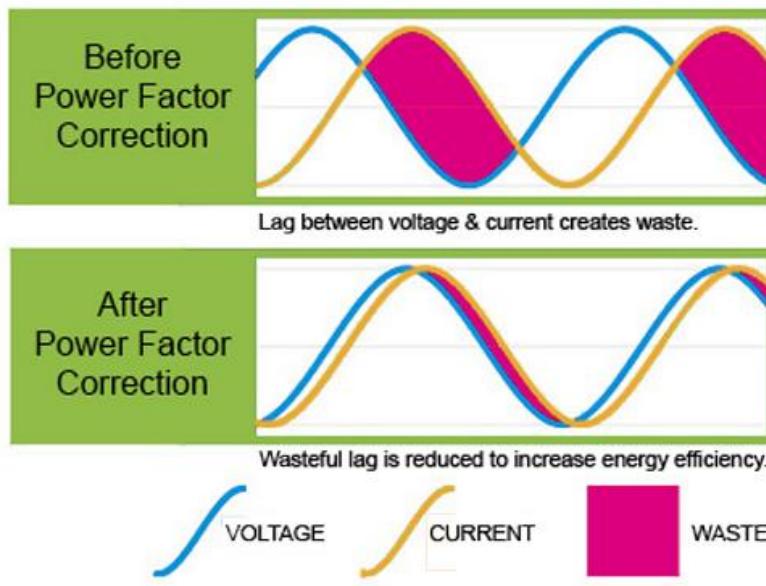
## Correction du facteur de puissance



## Correction du facteur de puissance

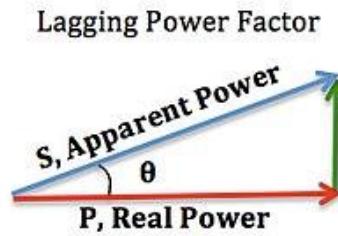


# Correction du facteur de puissance



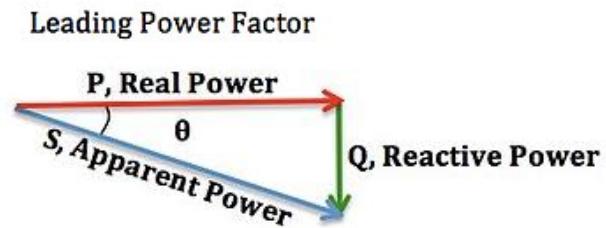
Facteur de puissance **arrière** :

$Q > 0$  : Inductance !



Facteur de puissance **avant** :

$Q < 0$  : Capacité !

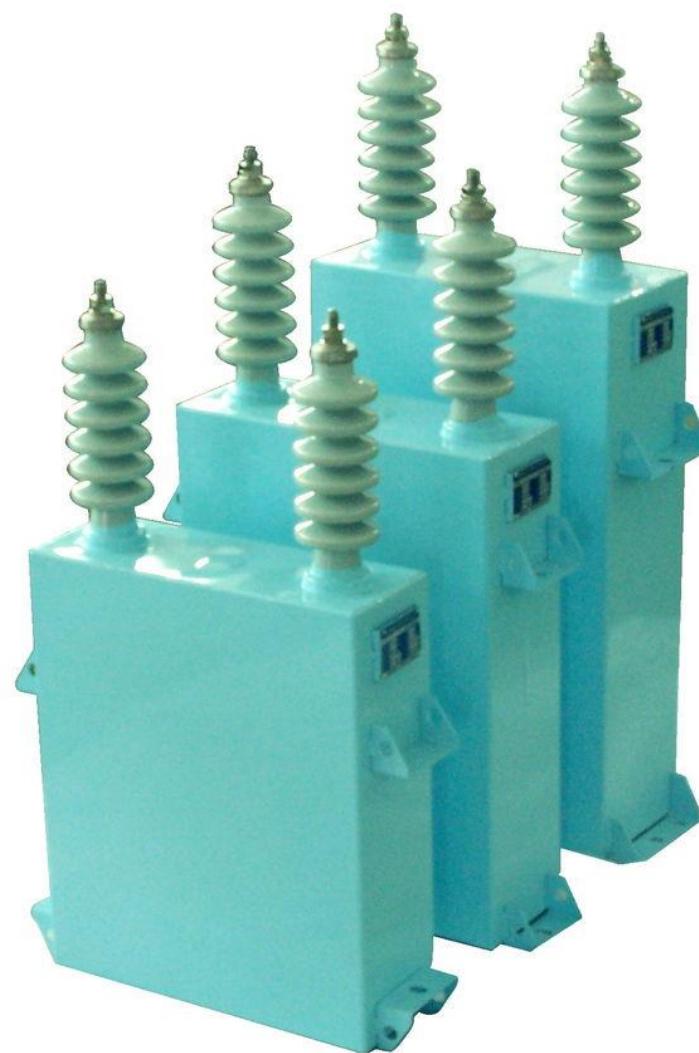


<https://www.electricalprojectsaustralia.com.au/power-factor-correction-calculator>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_factor](https://en.wikipedia.org/wiki/Power_factor)

<https://www.a-m-c.com/experience/technologies/power/power-factor-correction/>

## Batterie de condensateurs



## Batterie de condensateurs



Batterie de condensateurs shunt  
à rack ouvert 1-110 kV, 0.3 - 60  
MVAR (Chint Electric Co.,Ltd. )



Batterie de condensateurs shunt  
1 - 10 kV, 0.3 - 20 MVAR  
(Chint Electric Co.,Ltd. )

Batterie de condensateurs  
shunt à rack ouvert  
(GE Digital Energy)

# Batterie de condensateurs

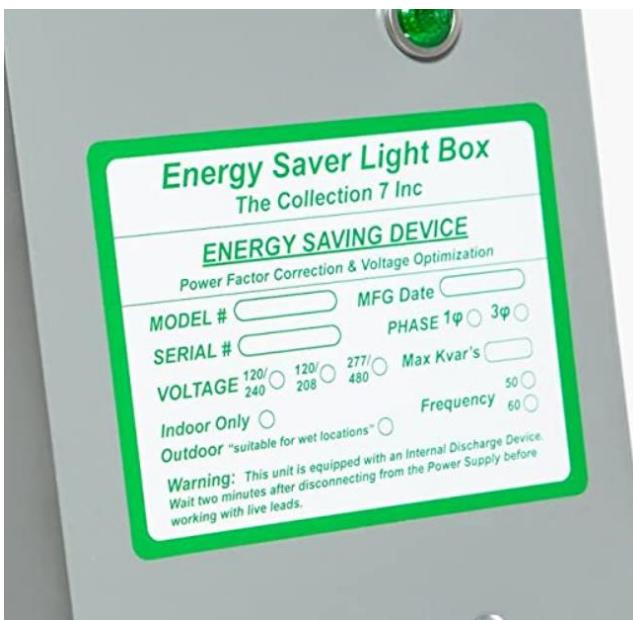


<https://www.ampcontrolgroup.com/power-factor-correction-and-power-quality/>



<https://electrical-engineering-portal.com/download-center/books-and-guides/power-substations/power-factor-correction-pp-engineers>

# Correcteur de facteur de puissance (résidentiel)



JKL2C-contrôleur de compensation automatique

Power Factor Correction Unit Flush Mount 1050 AMP Energy Saver Box KVAR

Dr. M.C.E. Yagoub

# Résumé

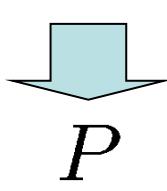
# Sommaire des termes :

$$\mathbf{I} = \underline{I_m} \angle \theta_I$$

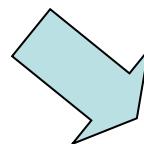


$$\mathbf{V} = \underline{V_m} \angle \theta_V$$

**Puissance moyenne**



$P$



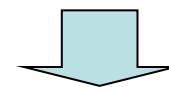
Dite aussi  
puissance active

$$\frac{V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_I)}{2}$$

**Puissance complexe**



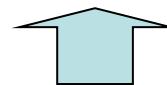
$S$



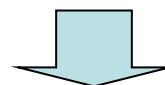
$$\frac{\mathbf{V}\mathbf{I}^*}{2}$$

$$\frac{V_m I_m \sin(\theta_v - \theta_I)}{2}$$

**Puissance reactive**



$$S = P + jQ$$



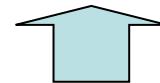
**Puissance moyenne**

$$\frac{V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_I)}{2}$$

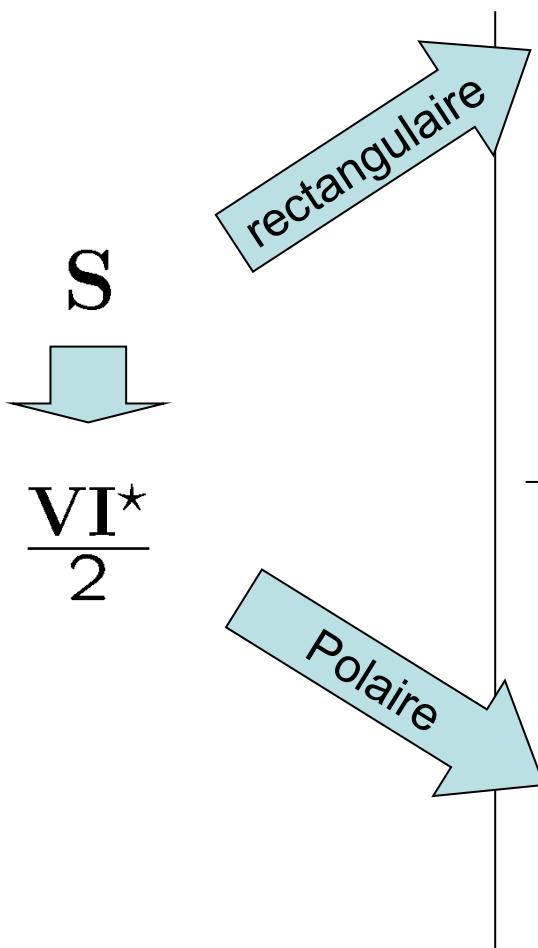
---


$$\frac{V_m I_m}{2}$$

**Puissance apparente**



$$S = |S| \angle (\theta_v - \theta_V)$$



**Merci de votre attention**

**Fin du chapitre 8**