

# PUISSANCES

## EN RÉGIME SINUSOÏDAL PERMANENT – MONOPHASÉ

|                                                            |          |
|------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Observation de la puissance électrique.....</b>         | <b>2</b> |
| <b>1 -Définition des puissances électriques.....</b>       | <b>3</b> |
| 1.1 -Triangle des puissances.....                          | 3        |
| 1.2 -Puissance apparente complexe.....                     | 4        |
| <b>2 -Puissances sur les dipôles RLC.....</b>              | <b>4</b> |
| <b>3 -Bilan des puissances.....</b>                        | <b>5</b> |
| 3.1 -Théorème de Boucherot.....                            | 5        |
| 3.2 -Lecture des puissances sur un circuit électrique..... | 5        |
| <b>4 -Compensation de la puissance réactive.....</b>       | <b>6</b> |
| 4.1 -Dimensionnement du compensateur.....                  | 7        |
| 4.2 -bilan de la compensation de Q.....                    | 8        |

Un dipôle échange de la puissance électrique s'il y a la présence d'une tension à ses bornes et s'il est traversé par un courant.

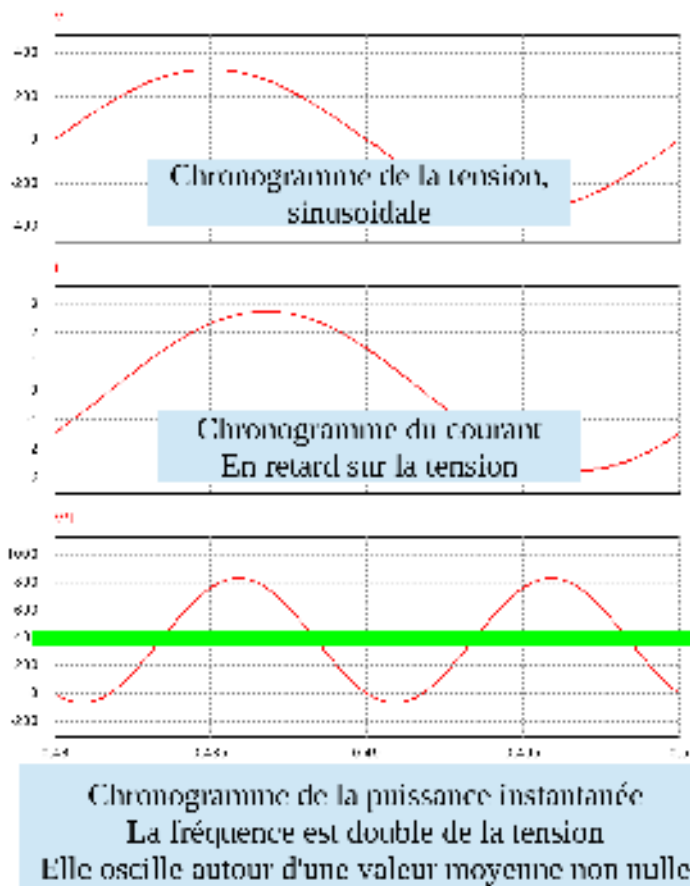
## OBSERVATION DE LA PUISSANCE ÉLECTRIQUE

dipôle orienté en convention récepteur

$$u(t) = U_{AC} \sqrt{2} \sin(\omega t)$$

$$i(t) = I_{AC} \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi) \quad \Leftrightarrow i \text{ est en retard sur } u \text{ (dipôle inductif).}$$

$\varphi$  est orienté de  $\vec{I}$  vers  $\vec{U}$  dans la représentation de Fresnel.



La puissance électrique instantanée reçue par le dipôle est  $p(t) = u(t) \times i(t)$ ,

$$p(t) = U_{AC} \sqrt{2} \sin(\omega t) \times I_{AC} \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi)$$

$$p(t) = U_{AC} \times I_{AC} \times 2 [\sin(\omega t) \sin(\omega t - \varphi)]$$

on utilise la relation :

$$\sin a \times \sin b = 1/2 \times [\cos(a - b) + \cos(a + b)]$$

donc

$$p(t) = U_{AC} \times I_{AC} \times 2$$

$$1/2 \times [\cos(\omega t - (\omega t + \varphi)) + \cos(\omega t + (\omega t + \varphi))]$$

qui amène à :

$$p(t) = U_{AC} \times I_{AC} [\cos(\varphi) + \cos(2\omega t + \varphi)]$$

En convention récepteur la puissance instantanée est composée :

d'un terme constant au cours du temps :

$$\text{« la puissance active » } p(t) = U_{AC} \times I_{AC} [\cos(\varphi)]$$

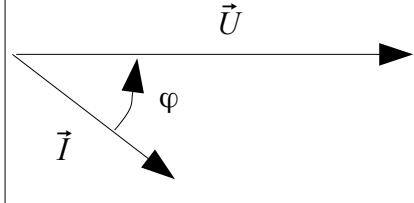
d'un terme évoluant au cours du temps (cosinus de fréquence  $2 \times f$ ) :

$$\text{« la puissance fluctuante » } p(t) = U_{AC} \times I_{AC} [\cos(2\omega t + \varphi)]$$

$p(t) > 0 \Leftrightarrow$  le dipôle reçoit effectivement de la puissance

$p(t) < 0 \Leftrightarrow$  le dipôle produit effectivement de la puissance

## 1 - DÉFINITION DES PUISSANCES ÉLECTRIQUES.

|                                                                                                                                                                     |                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| $u(t) = U_{AC} \sqrt{2} \sin(\omega t)$ $i(t) = I_{AC} \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi) \Leftrightarrow i \text{ est en retard sur } u \text{ (dipôle inductif).}$ |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|

La puissance électrique instantanée reçue par le dipôle est  $p(t) = u(t) \times i(t)$ .

- La puissance active est la valeur moyenne de la puissance instantanée reçue par le dipôle :

$$P = \langle p(t) \rangle = U_{AC} \times I_{AC} \times \cos \varphi \text{ en W}$$

Cette puissance électrique est obligatoirement transformée par le dipôle en une autre puissance.

En convention récepteur :

$P > 0 \Leftrightarrow$  le dipôle reçoit effectivement P

$P < 0 \Leftrightarrow$  le dipôle reçoit effectivement P

- La puissance apparente est la puissance à produire pour alimenter le dipôle :

$$S = U_{AC} \times I_{AC} \text{ en VA}$$

S toujours  $> 0$

- Le facteur de puissance mesure le rapport entre P et S :

$$F_p = P / S$$

$$|F_p| \leq 1$$

### 1.1 - TRIANGLE DES PUISSANCES.

On explique l'écart entre P et S par la présence de puissance réactive Q.

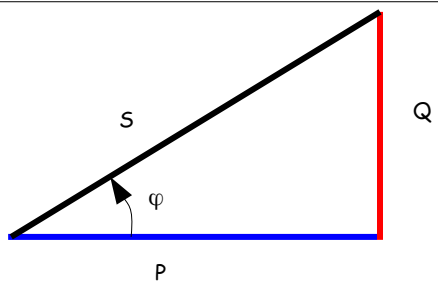
- La puissance réactive est fictive : elle ne correspond pas à une transformation d'énergie.

$$Q = U_{AC} \times I_{AC} \times \sin \varphi \text{ En VAR}$$

la puissance réactive est due au déphasage du courant sinusoïdal par rapport à la tension

- $\cos \varphi$  est appelé le facteur de déplacement « DPF ».

en RSP  $F_p = \text{DPF}$

|                                                                                     |                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>P, Q et S forment un triangle rectangle.</p> $S^2 = P^2 + Q^2$ $\tan \varphi = Q / P$ $P = S \cos \varphi$ $Q = S \sin \varphi$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



## 1.2 - PUISSANCE APPARENTE COMPLEXE.

P, Q et S formant un triangle rectangle dont les cotés sont P et Q, on peut considérer que P est la partie réelle et Q la partie imaginaire d'une puissance apparente complexe  $\underline{S} = P + jQ$ .

$$\underline{U} = [U_{AC}; 0]$$

$$\underline{I} = [I_{AC}; -\varphi]$$

$$\underline{S} = \underline{U} \times \underline{I}^* = [S; \varphi] \quad \text{où } \underline{I}^* \text{ est le conjugué de } \underline{I}$$

## 2 - PUISSANCES SUR LES DIPÔLES RLC.

À connaître par coeur

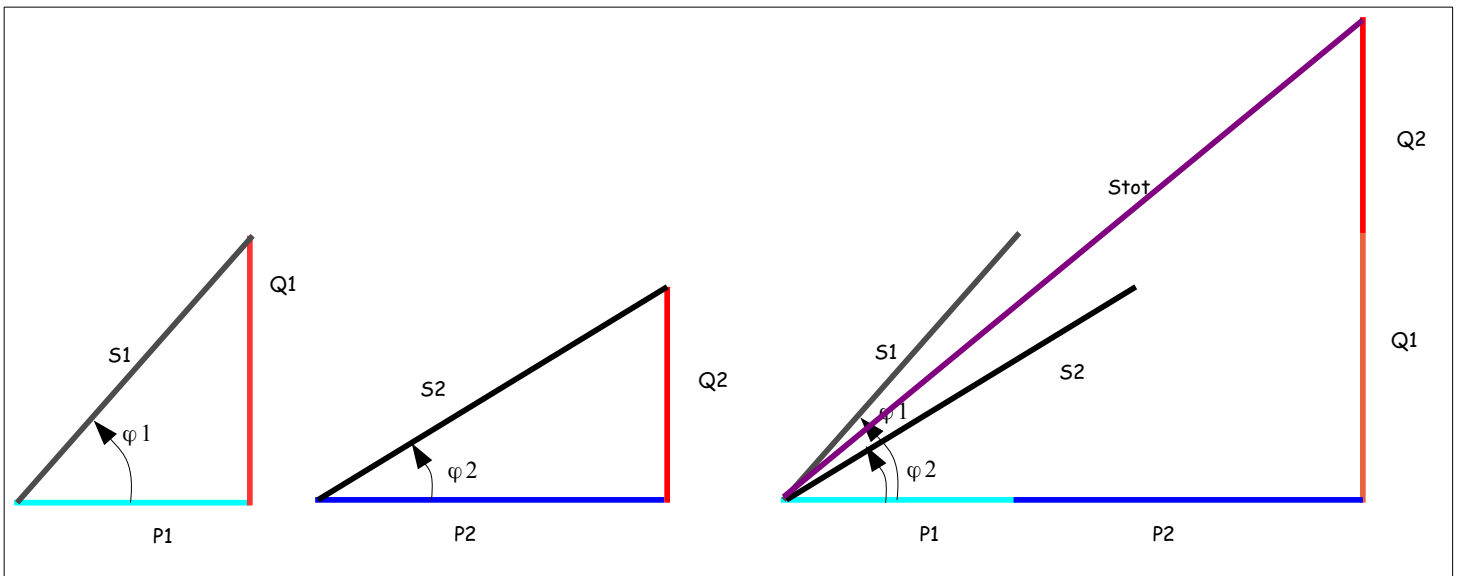
| Dipôle en convention récepteur | R                                   | L                                                | C                                                  |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Puissance active<br>P          | $R I^2$<br>$U^2 / R$                | 0                                                | 0                                                  |
|                                |                                     | une inductance ne consomme pas de P              | un condensateur ne consomme pas de P               |
| Puissance réactive<br>Q        | 0                                   | $L \omega I^2 > 0$<br>$\frac{U^2}{L \omega} > 0$ | $\frac{-I^2}{C \omega} < 0$<br>$-C \omega U^2 < 0$ |
|                                | une résistance ne consomme pas de Q | une inductance <b>consomme</b> Q                 | un condensateur <b>fournit</b> Q »                 |

### 3 - BILAN DES PUISSANCES.

#### 3.1 - THÉORÈME DE BOUCHEROT.

$P_{tot}$  : La puissance active totale consommée par une installation est égale à la somme des puissances actives consommées par chaque dipôle.

$Q_{tot}$  : La puissance réactive totale consommée par une installation est égale à la somme des puissances réactives consommées par chaque dipôle.



On n'a pas le droit d'ajouter des puissances apparentes.

Pour calculer  $S_{tot}$  il faut connaître  $P_{tot}$  et  $Q_{tot}$  :  $S_{tot} = \sqrt{(P_{tot}^2 + Q_{tot}^2)}$

#### 3.2 - LECTURE DES PUISSANCES SUR UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE.

Dans un circuit électrique, si des dipôles sont placés en série, cela veut dire que leurs puissances dépendent du courant qui les traversent.

Dans un circuit électrique, si des dipôles sont placés en parallèle, cela veut dire que leurs puissances dépendent de leur tension.

## 4 - COMPENSATION DE LA PUISSANCE RÉACTIVE.

Pour fournir la puissance nécessaire à un client (les caractéristiques de la charge vont rester inchangées), le fournisseur d'électricité doit produire une puissance  $S_{res}$ .

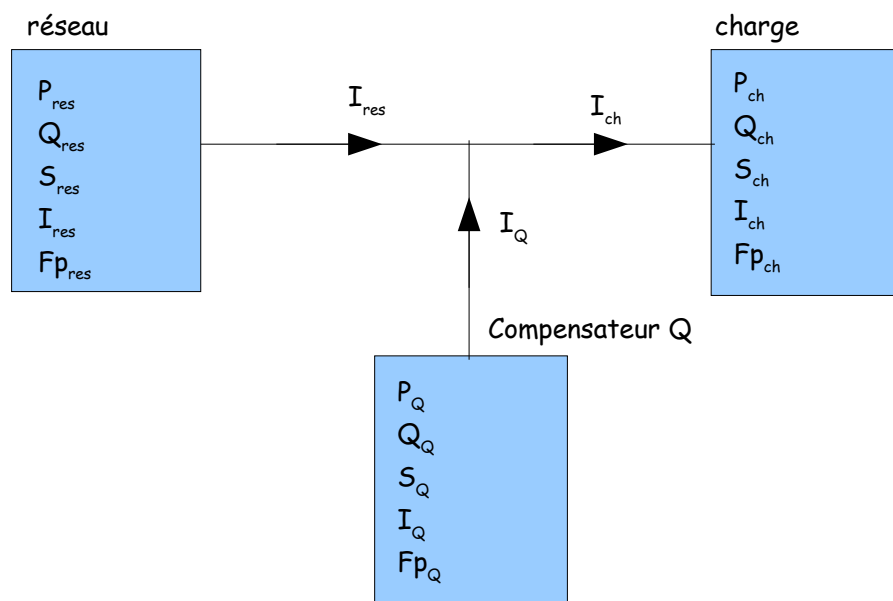
Généralement, le fournisseur facture  $P_{res} = P_{ch}$ .

Sa rentabilité est donc mesurée par le rapport  $P_{res}/S_{res} = Fp_{res}$ . Il a tout intérêt à avoir le meilleur facteur de puissance possible.

L'écart entre  $P_{res}$  et  $S_{res}$  est dû au déphasage du courant  $i_{ch}$  sur la tension  $v_{res}$ .

Ce courant est imposé par la charge (conséquence de  $\varphi_{ch}$ ) et ne peut pas être modifié.

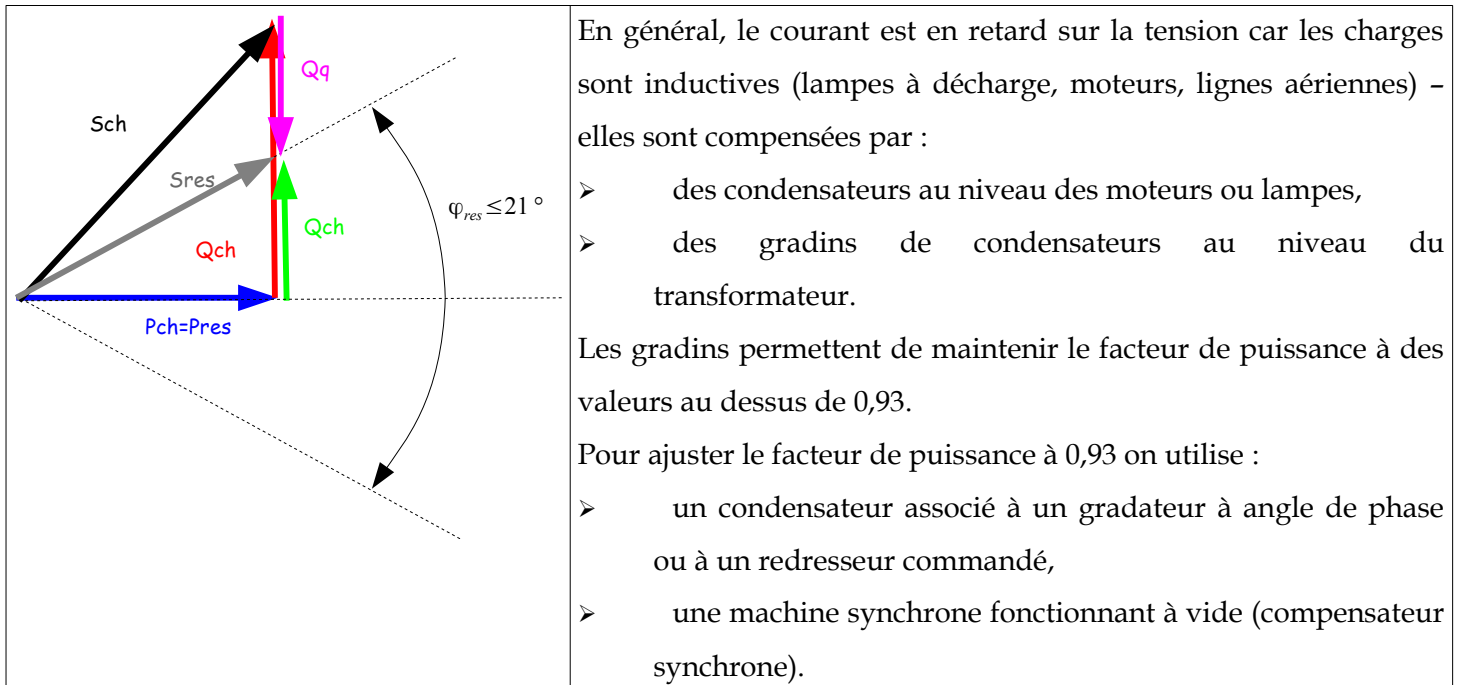
Ce déphasage se traduit au niveau des puissances par la puissance réactive  $Q_{ch}$ .



Pour améliorer le facteur de puissance réseau  $Fp_{res}$ , il faut placer en parallèle à la charge un système tel que :

- ne consomme pas de puissance active  $P_Q = 0$ ,
- fournit de la puissance réactive  $Q_Q$ . Cela aura pour conséquence la diminution de la puissance réactive fournie par le réseau  $Q_{res} < Q_{ch}$  ; le courant fourni par le réseau  $i_{res}$  diminuera et reviendra en phase avec la tension.

Au niveau du réseau RTE  $\tan \varphi_{res} \leq 0,4$ . Le fournisseur d'électricité impose à ses gros clients (contrat vert) d'avoir aussi :  $\tan \varphi_{res} \leq 0,4 \Leftrightarrow \cos \varphi_{res} \geq 0,93 \Leftrightarrow \varphi_{res} \leq 21^\circ$ .



Les lignes enterrées sont capacitatives. La compensation se fait alors par des inductances.

Pour maintenir le facteur de puissance, on joue sur l'enfoncement du noyau dans la bobine de compensation.

#### 4.1 - DIMENSIONNEMENT DU COMPENSATEUR.

À partir du bilan des puissances :

$$P_{res} = P_{ch} \text{ car } P_Q = 0$$

$$Q_{res} = Q_Q + Q_{ch} \text{ avec } Q_{res} = P_{res} \tan \varphi_{res} \text{ et } Q_{ch} = P_{ch} \tan \varphi_{ch}.$$

D'où la relation  $Q_Q = P_{ch} \times (\tan \varphi_{res} - \tan \varphi_{ch})$ .

➤ Si  $Q_Q < 0$  alors il faudra fournir de la puissance réactive avec des condensateurs :

$$Q_Q = -C \omega U_C^2$$

➤ Si  $Q_Q > 0$  alors il faudra consommer de la puissance réactive avec des inductances :

$$Q_Q = + U_L^2 / (L \omega^2)$$

#### 4.2 - BILAN DE LA COMPENSATION DE Q.

Le bilan doit prendre en compte l'impact sur le client, la ligne et le fournisseur d'électricité.

En améliorant le facteur de puissance réseau, on diminue le courant de ligne.



- Pour le client :
  - on ne modifie pas le fonctionnement de la charge
  - on diminue l'abonnement.
- Pour la ligne :
  - on diminue les pertes Joule dans les lignes,
  - on diminue les chutes de tension dans les lignes.
- Pour le fournisseur d'électricité :
  - on diminue les pertes Joule de son réseau électrique (génératrices, transformateurs et lignes)
  - on diminue la production électrique et on l'ajuste mieux à la demande, donc on réduit les coûts de production.