Fondamentaux d'électricité

Sebastien.Kramm@univ-rouen.fr

IUT de Rouen, dept. SRC

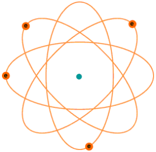
2012-2013

Sommaire

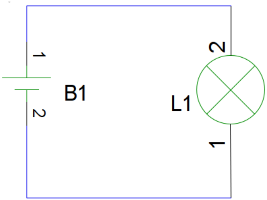
1. Généralités et régime continu
2. Dipôles passifs
3. Régime variable
4. Puissance en régime variable

Introduction

- Le courant électrique est du à un déplacement de porteurs de charges électriques dans la matière : les électrons.

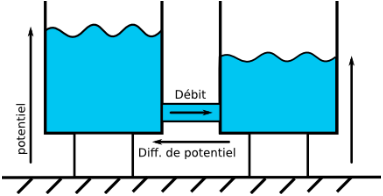


- Ce déplacement se fait au sein d'un **circuit électrique**, composé de
  - récepteurs,
  - générateurs,
  - conducteurs électriques.



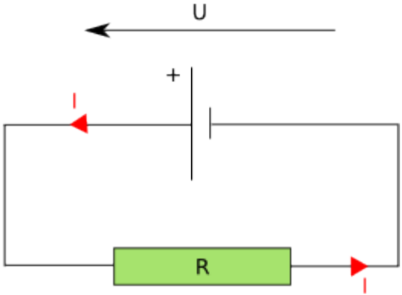
Grandeurs élémentaires

- Le potentiel électrique correspond à la quantité de charges présentes en un point du circuit.
- La **tension** électrique correspond à une une différence de potentiel entre deux points, et se mesure en Volts (V).
  En l'absence de tension, il ne **peut pas** y avoir de courant.
- Par convention, le courant électrique circule du point de plus haut potentiel (+) vers le point ayant le potentiel le plus bas (-).
- Le courant électrique correspond au débit des charges (Qté d'électrons/s.), on parle d'**intensité** du courant électrique. Il se mesure en Ampères (A).

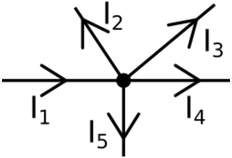


Générateurs et récepteurs

- Générateur : le courant est dans le même sens que la tension.
- Récepteur : courant et tension sont de sens opposé.
- Pour une source de tension parfaite, la tension du circuit est imposée par la source, tandis que le courant est déterminé par les caractéristiques du récepteur.



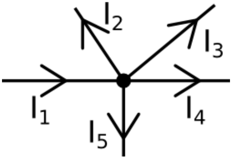
- Loi des nœuds : la somme des courants qui arrivent à un noeuds est égale à la somme des courants qui en repartent.
- Ou : la somme algébrique des courants qui passent par un nœud est nulle.



$$I_1 - (I_2 + I_3 + I_4 + I_5) = 0$$
$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5$$

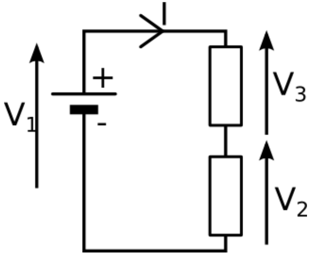
Lois de Kirchhoff

- Loi des nœuds : la somme des courants qui arrivent à un noeuds est égale à la somme des courants qui en repartent.
- Ou : la somme algébrique des courants qui passent par un nœud est nulle.



$$I_1 - (I_2 + I_3 + I_4 + I_5) = 0$$
$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5$$

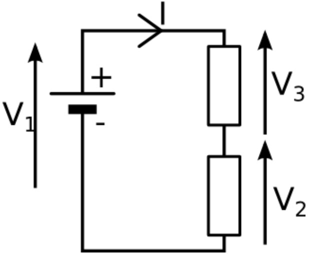
- Loi des mailles : dans un circuit fermé, la somme algébrique des tensions est nulle.



$$V_2 + V_3 = V_1$$
$$V_2 + V_3 - V_1 = 0$$

Application : association de dipôles

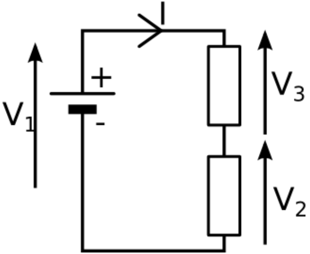
- En série :
  - l'intensité du courant est la même dans tous les dipôles,
  - la tension se partage entre les dipôles.



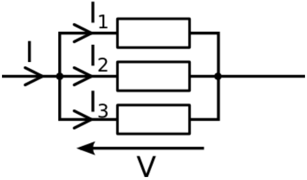
$$V_1 = V_2 + V_3$$

Application : association de dipôles

- En série :
  - l'intensité du courant est la même dans tous les dipôles,
  - la tension se partage entre les dipôles.
- En parallèle :
  - le courant se partage entre les dipôles,
  - la tension au bornes des dipôles est la même.



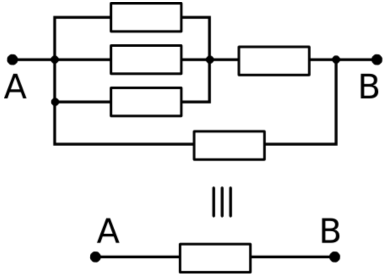
$$V_1 = V_2 + V_3$$



$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Association quelconque de dipôles

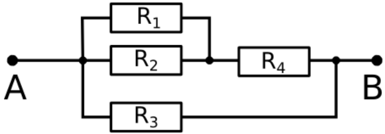
- Toute association de dipôles peut être représentée par un dipôle unique.



- Pour les résistances, on a
  - En série : $R = R_1 + R_2 + \ldots$
  - En parallèle : $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \ldots$

Association de résistances : exemple

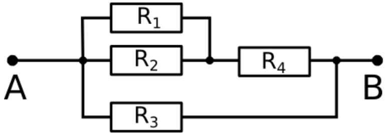
- Soit le schéma suivant :



avec : R1=100Ω, R2=50Ω, R3=100Ω, R4=67Ω

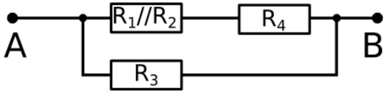
Association de résistances : exemple

- Soit le schéma suivant :



avec : R1=100Ω, R2=50Ω, R3=100Ω, R4=67Ω

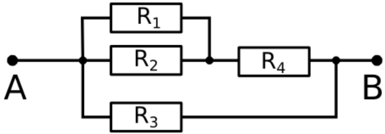
- On calcule d'abord R1//R2 : 1/Req=1/100+1/50



⇒ Req=100/3=________________ Ω

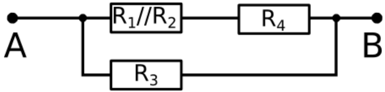
Association de résistances : exemple

- Soit le schéma suivant :



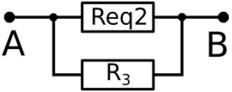
avec : R1=100Ω, R2=50Ω, R3=100Ω, R4=67Ω

- On calcule d'abord R1//R2 : 1/Req=1/100+1/50



$\Rightarrow$ Req=100/3=________________ Ω

- Puis, on calcule Req2=Req+R4=________________



- Enfin, il ne reste qu'à faire l'association en parallèle Req2//R3 :

R = ____________________

Puissance

- Le courant électrique peut générer de la puissance, exprimée en Watt (W).
- Dans le cas du continu, la puissance dissipée dans un dipôle s'exprime par :

$$P = U \cdot I$$

- Dans une résistance pure, on aura :

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \text{ou} \quad P = R \cdot I^2$$

Puissance

- Le courant électrique peut générer de la puissance, exprimée en Watt (W).
- Dans le cas du continu, la puissance dissipée dans un dipôle s'exprime par :

$$P = U \cdot I$$

- Dans une résistance pure, on aura :

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \text{ou} \quad P = R \cdot I^2$$

Exemple

Un dipôle dissipant une puissance de 1000 W connecté sur une source de 50V va consommer un courant $I = \frac{1000}{50} = \underline{\hspace{5cm}}$ A.

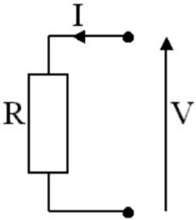
Sommaire

1. Généralités et régime continu
2. Dipôles passifs
3. Régime variable
4. Puissance en régime variable

Résistance et loi d'Ohm

- Une résistance électrique va limiter le courant électrique qui la traverse, et va transformer une partie du courant en chaleur par **effet Joule**.
- Elle est caractérisée par sa valeur R en **Ohms** (Ω).
- Le courant I, la tension U et résistance R sont liées par la loi d'Ohm :

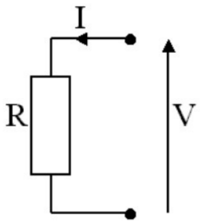
$$U = R \cdot I$$



Résistance et loi d'Ohm

- Une résistance électrique va limiter le courant électrique qui la traverse, et va transformer une partie du courant en chaleur par **effet Joule**.
- Elle est caractérisée par sa valeur R en **Ohms** (Ω).
- Le courant I, la tension U et résistance R sont liées par la loi d'Ohm :

$$U = R \cdot I$$



- Une résistance est aussi caractérisée par sa **puissance maximale** qu'elle pourra dissiper, sous peine de destruction thermique.

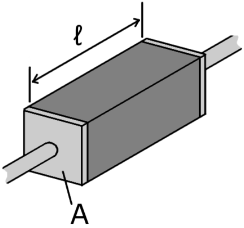
Résistivité

- Tout matériau présente une certaine "capacité" à permettre la circulation d'un courant électrique.
- Ceci est caractérisé par sa **résistivité** ρ ("rho"), exprimée en $\Omega \cdot m$.
  Résistivité de quelques métaux à 20 ° C, en $n\Omega \cdot m$ $(10^{-9}\Omega \cdot m)$:

Cuivre	Aluminium	Argent	Fer
17,2	28,2	16,3	99,8

- La résistance électrique d'un élement de longueur l et de section A est donnée par :

$$R = \rho \frac{l}{A}$$



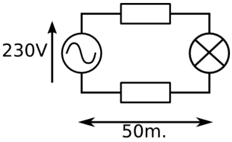
Exemple de calcul

- Soit un fil de fer de diamètre 1mm. Calculer sa résistance pour une longueur de 1m.
- Solution : section : $A = \pi \cdot r^2 = \pi . \left(0,5.10^{-3}\right)^2 = 785n\,m^2$
- $R_f = \rho_{Fe}\,\frac{1}{A} = 99,8n\,\frac{1}{785n} = \frac{99,8}{785} = 0,127\,\Omega/m$

Exemple de calcul

- Soit un fil de fer de diamètre 1mm. Calculer sa résistance pour une longueur de 1m.
- Solution : section : $A = \pi \cdot r^2 = \pi . \left(0,5.10^{-3}\right)^2 = 785n\, m^2$
- $R_f = \rho_{Fe} \frac{1}{A} = 99,8n \frac{1}{785n} = \frac{99,8}{785} = 0,127\, \Omega/m$

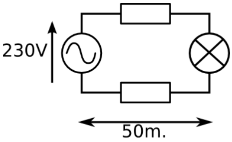
- On utilise ce fil (dédoublé) pour alimenter une lampe de 200W située à 50m d'une prise EDF. Calculer la perte de puissance en ligne.



Exemple de calcul

- Soit un fil de fer de diamètre 1mm. Calculer sa résistance pour une longueur de 1m.
- Solution : section : $A = \pi \cdot r^2 = \pi.\left(0,5.10^{-3}\right)^2 = 785n\,m^2$
- $R_f = \rho_{Fe}\,\frac{1}{A} = 99,8n\,\frac{1}{785n} = \frac{99,8}{785} = 0,127\,\Omega/m$

- On utilise ce fil (dédoublé) pour alimenter une lampe de 200W située à 50m d'une prise EDF. Calculer la perte de puissance en ligne.

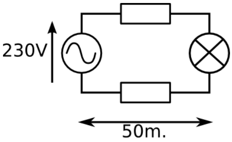


- La lampe a une résistance $R_l = 230^2/200W = 264\,\Omega$

Exemple de calcul

- Soit un fil de fer de diamètre 1mm. Calculer sa résistance pour une longueur de 1m.
- Solution : section : $A = \pi \cdot r^2 = \pi . \left(0, 5.10^{-3}\right)^2 = 785n\, m^2$
- $R_f = \rho_{Fe}\, \frac{1}{A} = 99, 8n\, \frac{1}{785n} = \frac{99,8}{785} = 0, 127\, \Omega/m$

- On utilise ce fil (dédoublé) pour alimenter une lampe de 200W située à 50m d'une prise EDF. Calculer la perte de puissance en ligne.

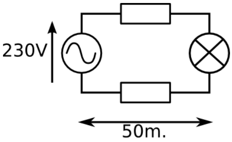


- La lampe a une résistance $R_l = 230^2/200W = 264\ \Omega$
- Le fil a une résistance R_f = 100m x 0,127 $\simeq$ 13 Ω

Exemple de calcul

- Soit un fil de fer de diamètre 1mm. Calculer sa résistance pour une longueur de 1m.
- Solution : section : A $= \pi \cdot r^2 = \pi.\left(0,5.10^{-3}\right)^2 = 785n\,m^2$
- $R_f = \rho_{Fe}\,\frac{1}{A} = 99,8n\,\frac{1}{785n} = \frac{99{,}8}{785} = 0,127\,\Omega/m$

- On utilise ce fil (dédoublé) pour alimenter une lampe de 200W située à 50m d'une prise EDF. Calculer la perte de puissance en ligne.

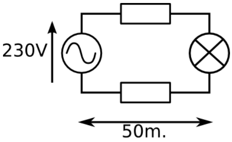


- La lampe a une résistance $R_l = 230^2/200W = 264\ \Omega$
- Le fil a une résistance $R_f =$ 100m x 0,127 $\simeq$ 13 Ω
- Courant : I$= 230V/(R_f + R_l) =$ 230 / (264 + 13) = 0,83 A

Exemple de calcul

- Soit un fil de fer de diamètre 1mm. Calculer sa résistance pour une longueur de 1m.
- Solution : section : A $= \pi \cdot r^2 = \pi . \left(0,5.10^{-3}\right)^2 = 785n\, m^2$
- $R_f = \rho_{Fe}\, \frac{1}{A} = 99,8n\, \frac{1}{785n} = \frac{99,8}{785} = 0,127\, \Omega/m$

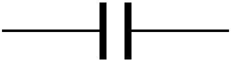
- On utilise ce fil (dédoublé) pour alimenter une lampe de 200W située à 50m d'une prise EDF. Calculer la perte de puissance en ligne.

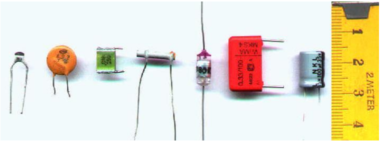


- La lampe a une résistance $R_l = 230^2/200W = 264\ \Omega$
- Le fil a une résistance $R_f =$ 100m x 0,127 $\simeq 13\ \Omega$
- Courant : I$= 230V/(R_f + R_l) = 230$ / (264 + 13) = 0,83 A
- Puissance dans la lampe sera $P_l = R_l.I^2 = 264 \times 0,83^2 = 182$ W.
- Puissance perdue sera $P_{\text{pertes}} = R_f.I^2 = 13\ \times 0,83^2 = 8,96W$.

Condensateur

- Constitué de 2 armatures métalliques, séparées par un isolant. Les électrons vont s'accumuler sur les armatures : on parle de **charge** du condensateur.
- Caractérisé par sa **capacité** C, exprimée en Farads (F).



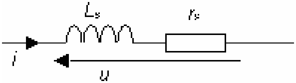


- En régime continu, et une fois le régime transitoire terminé (le condensateur chargé), un condensateur est équivalent à un circuit ouvert (**aucune** circulation de courant).
- En régime variable, l'intensité est proportionnelle à la dérivée de la tension :

$$i = C\frac{du}{dt} \quad \text{ou} \quad i(t) = C \cdot u'(t)$$

UNIVERSITÉ DE ROUEN

- Constitué d'enroulements de fils (spires), soit autour de l'air ("bobine à air"), soit autour d'un noyau ferromagnétique.
- Caractérisé par son inductance L, en Henry (H).
- En régime continu, une bobine parfaite est équivalente à un fil.
- Mais une bobine réelle présentera toujours une **résistance série** non nulle.

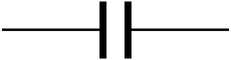


- En régime variable, la tension est proportionnelle à la dérivée de l'intensité

$$u = L\frac{di}{dt} \quad \text{ou} \quad u(t) = L \cdot i'(t)$$

Valeurs limites

- Un condensateur est limité par sa **tension de service**, au dela de laquelle il risque d'y avoir destruction par claquage.



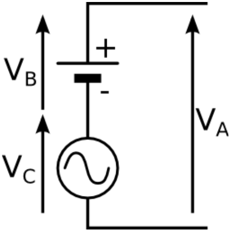
- Une bobine est limitée par son **courant maxi**, au dela duquel il risque d'y avoir destruction thermique par effet Joule.

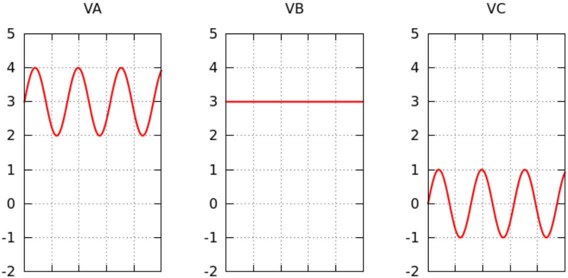
Sommaire

1. Généralités et régime continu
2. Dipôles passifs
3. Régime variable
4. Puissance en régime variable

Courant alternatif et continu

- Toutes les grandeurs électriques peuvent être continues ou variables.
- La valeur moyenne correspond à la composante continue d'une source : toute source de tension variable pourra être modélisée par une source alternative en série avec une source continue.
- Principe de **superposition** : toute la puissance fournie sera la **somme**
  - de la puissance fournie par la source variable
  - et de la puissance fournie par la source continue.





$VA = VB + VC$

Valeur efficace

- La **valeur efficace** d'une tension alternative périodique $f(t)$ correspond à la valeur qui donnerait la même dissipation de puissance si le signal était continu.
  Elle est définie par :

$$V_{eff}^2 = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{t_0+T} [f(t)]^2 \cdot dt \qquad \text{avec } t_0 \text{ quelconque.}$$

- Pour un signal sinusoidal d'amplitude A, on a $V_{eff} = \frac{A}{\sqrt{2}}$
- Pour un signal rectangulaire alternatif d'amplitude A (valeur crête-crête 2xA), on a $V_{eff} = A$

Valeur efficace

- La **valeur efficace** d'une tension alternative périodique $f(t)$ correspond à la valeur qui donnerait la même dissipation de puissance si le signal était continu.
  Elle est définie par :

$$V_{eff}^2 = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{t_0+T} [f(t)]^2 \cdot dt \qquad \text{avec } t_0 \text{ quelconque.}$$

- Pour un signal sinusoidal d'amplitude A, on a $V_{eff} = \frac{A}{\sqrt{2}}$
- Pour un signal rectangulaire alternatif d'amplitude A (valeur crête-crête 2xA), on a $V_{eff} = A$

Exemple

EDF fournit aux particuliers une tension sinusoidale (f=50Hz) d'amplitude 325 V et de valeur efficace 230 V ($325/230 = 1.414 = \sqrt{2}$)

Loi d'Ohm en régime variable

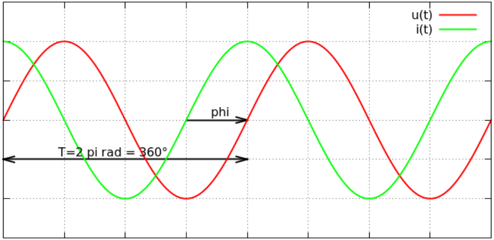
- En régime variable, on parle d'**impédance** Z en Ω à la place de résistance.

$$U = Z \cdot I$$

- Sauf pour une résistance pure ($Z = R$), l'impédance est fonction de la fréquence.
- On utilise la notion de **pulsation** ω en rad./s : $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, avec f la fréquence.
  - Condensateur : $Z_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$
  - Bobine :$Z_L = L\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$

Déphasage

- En alternatif, certains dipôles induisent un **déphasage** entre le courant et la tension appliquée.
- Ce déphasage s'exprime en unités d'angles (degrés ou radians).



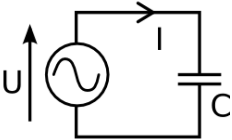
- En alternatif, l'expression de la puissance est fonction de ce déphasage ϕ :

$$P = U \cdot I \cdot \cos \phi$$

Avec U et I les valeurs efficaces.

Déphasage : condensateurs et inductances

- Inductances et condensateurs induisent un déphasage de 90˚ ($\pi/4$) entre le courant et la tension appliquée.
  - Inductance : courant en retard de 90˚ sur la tension.
  - Condensateur : tension en retard de 90˚ sur le courant.
- Conséquence : une source sinusoidale débitant sur un condensateur ou une inductance **ne fournit aucune puissance** : ($\cos(90^\circ) = 0$), bien que du courant soit consommé par le récepteur.



- On parle alors de **puissance réactive** Q, qui s'exprime en VAR (Volt-Ampères Réactif).

Sommaire

1. Généralités et régime continu
2. Dipôles passifs
3. Régime variable
4. Puissance en régime variable

Puissance en régime variable

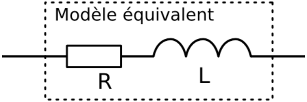
- Pour des dipôles complexes, il faut distinguer différentes puissances :
  - Puissance **active** : c'est celle qui génère un travail, au sens physique : $P = U \cdot I \cdot \cos\phi$
  - Puissance **réactive**, donnée par $Q = U \cdot I \cdot \sin\phi$
  - Puissance **apparente** S : correspond au produit des valeurs efficaces de U et I et s'exprime en VA (Volt-Ampère) ($S = U \cdot I$). Ce produit est apparemment une puissance mais ne fournit pas nécessairement un travail, d'où son nom.
    On peut la déduire des deux autres par l'expression $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Puissance en régime variable

- Pour des dipôles complexes, il faut distinguer différentes puissances :
  - Puissance **active** : c'est celle qui génère un travail, au sens physique : $P = U \cdot I \cdot \cos\phi$
  - Puissance **réactive**, donnée par $Q = U \cdot I \cdot \sin\phi$
  - Puissance **apparente** S : correspond au produit des valeurs efficaces de U et I et s'exprime en VA (Volt-Ampère) ($S = U \cdot I$). Ce produit est apparemment une puissance mais ne fournit pas nécessairement un travail, d'où son nom.
    On peut la déduire des deux autres par l'expression $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
- Les appareils électriques (de fortes puissance) indiquent le **facteur de puissance**, qui vaut $\lambda = \frac{P}{S}$
  En sinusoidal : $\lambda = \cos\phi$

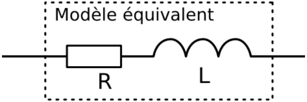
Importance du facteur de puissance

- Soit un installation d'éclairage composée de lampes ayant un $\cos\phi = 0.5$ (circuit **inductif**), et fournissant 10 kW sous 230 V.



Importance du facteur de puissance

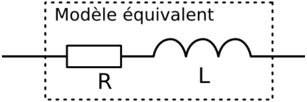
- Soit un installation d'éclairage composée de lampes ayant un $\cos\phi = 0.5$ (circuit **inductif**), et fournissant 10 kW sous 230 V.



- Si la charge était purement resistive, on aurait $I = 10000/230 = 43,4A$

Importance du facteur de puissance

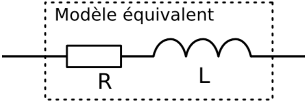
- Soit un installation d'éclairage composée de lampes ayant un $\cos\phi = 0.5$ (circuit **inductif**), et fournissant 10 kW sous 230 V.



- Si la charge était purement resistive, on aurait $I = 10000/230 = 43,4A$
- Ici, le courant vaudra le double ! : $I = \frac{1000}{230 \cdot 0,5} = 87,8A$
  - On doit dimensionner l'installation (câbles, protections, ...) pour un courant qui ne produit aucun travail !
  - Ce courant inutile produit des pertes en lignes (résistance des câbles).

Importance du facteur de puissance

- Soit un installation d'éclairage composée de lampes ayant un $\cos\phi = 0.5$ (circuit **inductif**), et fournissant 10 kW sous 230 V.

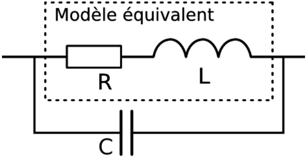


- Si la charge était purement resistive, on aurait $I = 10000/230 = 43,4A$
- Ici, le courant vaudra le double ! : $I = \frac{1000}{230 \cdot 0,5} = 87,8A$
  - On doit dimensionner l'installation (câbles, protections, ...) pour un courant qui ne produit aucun travail !
  - Ce courant inutile produit des pertes en lignes (résistance des câbles).
- On peut revenir à une situation correcte en effectuant une **compensation** pour corriger le facteur de puissance.

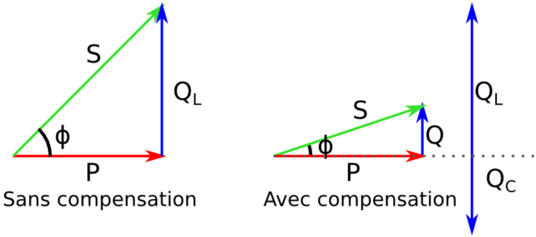
UNIVERSITÉ DE ROUEN

Correction du facteur de puissance

- Bobines et condensateurs vont amener un déphasage opposé en signe.
- On va compenser la puissance réactive consommée par les bobines par de la puissance réactive absorbée par des condensateurs.



- Triangle des puissances :



Correction du facteur de puissance : exemple

- Exemple : on souhaite ramener le $\cos\phi$ à une valeur de 0,9. Quelle valeur de C faut-il ?

Correction du facteur de puissance : exemple

- Exemple : on souhaite ramener le $\cos\phi$ à une valeur de 0,9. Quelle valeur de C faut-il ?
- Situation **sans** correction ($\cos\phi = 0,5 \Rightarrow \phi = 60°$, $\sin\phi = 0,866$)
  1. Puissance réactive consommée (sans correction) :
     $Q_L = U.I.\sin\phi =$ ____________________
- Situation **avec** correction ($\cos\phi_2 = 0,9 \Rightarrow \phi_2 = 25,8°$, $\sin\phi_2 = 0,436$)
  1. La puissance active reste constante, on en déduit la valeur du courant absorbé :
     $I = \frac{P}{U \cdot \cos\phi_2} =$ ____________________
  2. Avec U et I on déduit la nouvelle valeur de Q :
     $Q = U.I.\sin\phi_2 =$ ____________________
  3. Il faut donc que le condensateur absorbe une puissance réactive
     $Q_C = Q_L - Q =$ ____________________
  4. $Q_C = U \cdot I_C$ et $I_C = U/Z_C$, d'où $Q_C = U^2/Z_C$
     Dans un condensateur : $Z_C = \frac{1}{C\,\omega}$, d'où : $Q_C = U^2 C\,\omega$
     On en déduit : $C = \frac{Q_C}{U^2\,\omega} =$ ____________________ F