



## IV. Utilisation des propriétés EM

Document préparé par le Belgian BioElectroMagnetics Group (BBEMG)

### Remarque :

Toutes les informations de cette page sont disponibles en version animée (en Flash) à l'adresse suivante:  
<http://www.bbemg.be/fr/index-cem/electricite-champs/usage-proprietes-em.html>

### Introduction

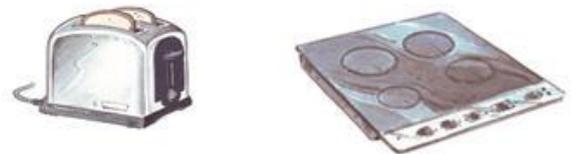
Dans ce module, nous tâcherons de comprendre le fonctionnement d'appareils électriques d'usage courant, en particulier, les appareils chauffants, les différents types d'ampoules, les moteurs, l'ordinateur, l'imprimante laser et la recharge d'une brosse à dent électrique.

A partir des exemples décrits, nous aurons un aperçu général du fonctionnement d'appareils qui transforment l'énergie électrique en énergie thermique et/ou mécanique ou qui utilisent les propriétés de l'électrostatique et de l'électromagnétisme.

### Appareils chauffants

Nous avons déjà parlé de l'effet joule en décrivant le principe de fonctionnement de l'ampoule à incandescence. Dans le cas de ce type de lampe, l'effet joule est un sous-produit du fonctionnement, la fonction première étant de nous éclairer !

Il n'en est pas de même pour les résistances chauffantes qui équipent les plaques électriques de cuisson, grille-pains, fours, sèche-cheveux, couvertures chauffantes... Dans ces appareils, l'objectif premier est bien la transformation de l'énergie électrique en énergie thermique.



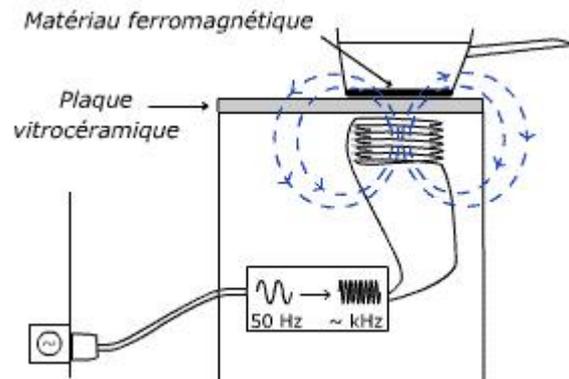
Pour atteindre cet objectif, l'élément chauffant (la résistance) est souvent constitué de nichrome : il s'agit d'un alliage de chrome et de nickel. Il présente l'avantage d'avoir une résistivité élevée (près de 60 fois supérieure à celle du cuivre), tout en supportant des températures importantes sans se dénaturer.

La puissance électrique d'un grille-pain avoisine les 500 W ; celle d'une plaque de cuisson les 2000 W. Ces appareils étant branchés sur le réseau électrique 230 V, il y circule respectivement des courants de 2,2 et 8,7 A.

Le principe de fonctionnement des plaques de cuisson tel que ci-dessus ne doit pas être confondu avec celui des plaques à induction, chauffant selon le principe des courants induits.

### Fonctionnement des plaques à induction

La particularité d'une plaque à induction est qu'elle ne chauffe que les matériaux ferromagnétiques (fonte, fer) généralement insérés à la base des casseroles ad hoc.



Son fonctionnement est basé sur deux mécanismes :

- **l'induction proprement dite** : sous la plaque est disposée une bobine reliée à la source de courant alternatif haute fréquence. La variation du courant dans la bobine crée aux alentours de cette dernière un champ magnétique variable, ce dernier crée à son tour un courant dans le matériau ferromagnétique.
- **l'effet Joule** : nous avons vu que lorsqu'un courant passe dans une résistance, il chauffe cette résistance. Elle "résiste" au passage du courant. De même, le courant qui se crée dans un morceau de métal par induction y génère des pertes par effet Joule et donc un échauffement. Donc, les plaques électriques à induction chauffent directement le métal qui constitue la casserole, qui transfère alors sa chaleur aux aliments. En fonctionnement, la plaque de cuisson restera donc relativement froide étant donné que contrairement aux plaques de cuisson classiques, elle n'est pas directement chauffée.

### Ampoules

Les ampoules à incandescence fonctionnent sur le principe de l'effet joule, tout comme les lampes halogènes. Il n'en est pas de même pour les tubes fluorescents, les ampoules fluo-compactes (ou à économie d'énergie) ou les LED. Voyons cela de plus près.

## 1. Fonctionnement d'une ampoule halogène

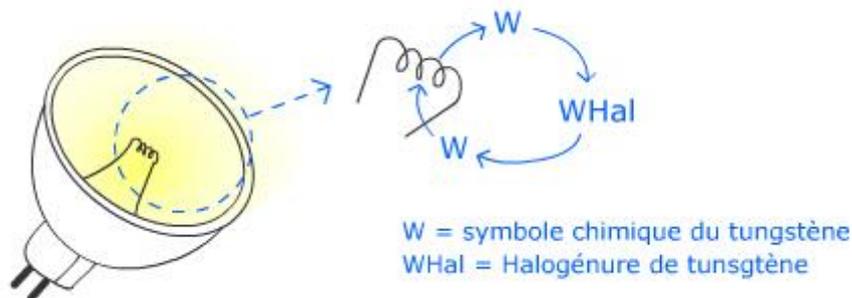


Les ampoules halogènes sont des ampoules à incandescence : la lumière est produite par l'échauffement d'un filament de tungstène. Ce qui les différencie des ampoules classiques, c'est la présence d'un gaz halogène dans le bulbe de l'ampoule. Grâce à ce gaz, le filament de tungstène se détériore moins facilement sous l'effet de la chaleur. Le filament peut ainsi fonctionner à plus haute température, tout en ayant une durée de vie plus longue.

Dans les ampoules à incandescence, le filament se détériore sous l'effet de l'élévation de température : il perd des atomes de tungstène.

Dans une ampoule halogène, les atomes de tungstène forment avec le gaz halogène présent dans le bulbe de l'ampoule (iode ou brome) un composé appelé halogénure de tungstène. Ce composé limite le dépôt du tungstène sur les parois de l'ampoule (ce qui se passe dans une ampoule classique).

L'halogénure de tungstène circule dans le bulbe par convection : en se rapprochant des points chauds du filament, le tungstène se sépare du composé et se redépote sur le filament, empêchant ainsi sa détérioration trop rapide.



Grâce à cette astuce, le filament peut fonctionner à plus haute température (attention au risque de brûlure en touchant l'ampoule en fonctionnement!), tout en conservant une longue durée de vie.

En fonctionnant à plus haute température, la lumière émise se rapproche de celle du soleil, apportant ainsi un éclairage plus naturel qu'une ampoule classique.

Il existe différents modèles d'ampoules halogènes :

- fonctionnement en 230 V ou à des tensions plus basses (par exemple en 12 V, après passage dans un transformateur),
- ampoule allongée ou sous la forme d'un petit "spot" (comme dans l'illustration ci-dessus).

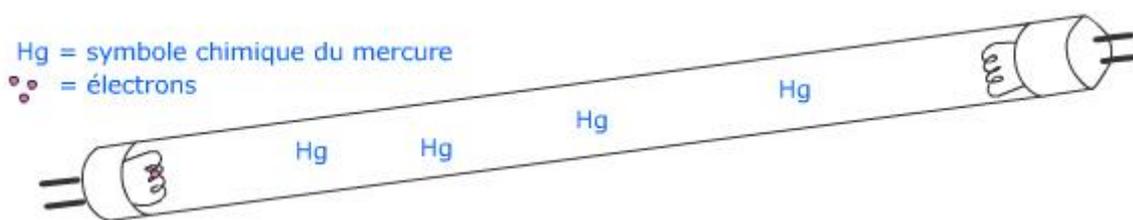
## 2. Fonctionnement d'un tube fluorescent



Dans un tube fluorescent, la lumière est produite en 2 étapes : (1) le passage du courant électrique entraîne une excitation des atomes de gaz contenu dans le tube, ce qui génère un rayonnement principalement ultraviolet, (2) ce rayonnement est alors absorbé par la matière fluorescente qui recouvre la face interne du tube et est transformé en lumière. La seconde ampoule illustrée ci-contre est une lampe fluo-compacte : il s'agit d'un tube fluorescent replié sur lui-même.

### Deux étapes:

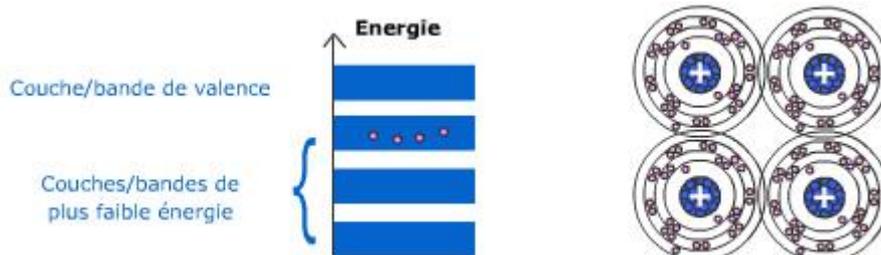
- Excitation des atomes de gaz contenu dans le tube et génération d'un rayonnement UV



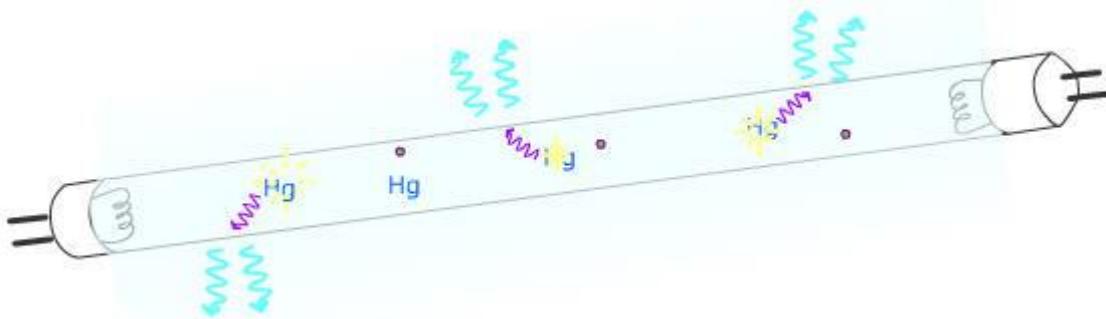
Les tubes fluorescents renferment un mélange d'argon et de vapeur de mercure.

Lorsque l'interrupteur est fermé (lampe allumée), la différence de potentiel entre les deux extrémités crée une force qui entraîne les électrons d'un côté à l'autre du tube. Pendant leur parcours dans le tube, les électrons entrent en collision avec les atomes de mercure.

Lors de la collision, les électrons cèdent de l'énergie aux atomes de mercure. Les atomes de mercure réémettent l'énergie acquise sous la forme d'un rayonnement principalement ultraviolet, invisible.



- b. Absorption du rayonnement UV par la matière fluorescente qui recouvre la face interne du tube et transformation en lumière



Le rayonnement ultraviolet émis par les électrons du mercure est absorbé par la matière fluorescente qui recouvre la face interne du tube. Les électrons de cette matière fluorescente sont, à leur tour, excités : ils passent de leur état fondamental à un état de plus haute. Après l'excitation, ils reviennent à leur état fondamental en émettant de la lumière visible... la lumière qui nous éclaire !

La couleur de la lumière produite provient de la composition de la matière fluorescente. Ici, nous avons une lumière blanche légèrement "bleutée".

**Remarque :** Les tubes fluorescents sont souvent appelés erronément "tubes néon". Un tube néon est en fait un tube contenant du gaz néon et produisant une couleur rouge.

### 3. Fonctionnement d'une LED



Une LED (Light Emitting Diode), aussi appelée DEL en français (diode électroluminescente) est, comme son nom l'indique, composée d'une diode particulière qui émet de la lumière lorsqu'elle est traversée par un courant électrique. Les spots illustrés ci-contre sont composés de plusieurs LED. Il n'y a pas de filament dans ce type de lampes : les LED exploitent les propriétés des matériaux semi-conducteurs (voir [Notions d'électricité](#)). Il s'agit d'un mode d'éclairage en plein développement qui pourrait, dans un avenir proche, supplanter tous les autres modes d'éclairage.

Ces lampes sont composées de matériaux semi-conducteurs. Lorsqu'un courant traverse ces matériaux, des électrons sont libérés et émettent de la lumière.

Le matériau semi-conducteur transforme l'énergie électrique en un rayonnement lumineux monochromatique. Ce rayonnement monochromatique est alors absorbé par le matériau phosphorescent placé à la surface de la LED (selon le même principe que dans un tube fluorescent) et réémis sur un spectre plus large, correspondant alors à une lumière blanche.

Les LEDs sont particulièrement résistantes aux chocs et quasi inusables. A l'heure actuelle, leur principal inconvénient réside dans la température de la couleur émise (blanc dit "plus froid" que les ampoules

classiques ou halogènes).

Remarque :

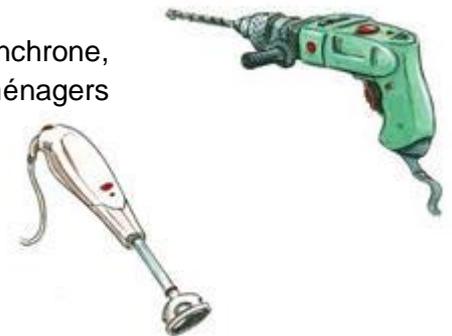
La valeur de la puissance électrique des ampoules (en watt, W) n'est pas directement liée à la quantité de lumière émise : il faut tenir compte de leur efficacité lumineuse (en lumen/watt, lpW).

Plus d'informations en annexe.

## Appareils à moteur

Dans les appareils à moteurs, l'énergie électrique est principalement transformée en énergie mécanique. Comment l'électricité permet-elle de faire tourner un moteur ?

Il existe différents types de moteurs : universel, synchrone, asynchrone, brushless... Dans les petits appareils portatifs de bricolage ou électroménagers tels que foreuse, scie sauteuse ou mixer, on rencontre principalement le moteur universel. C'est de lui que nous parlons ici.



Prenons le moteur d'une scie sauteuse :



(Voir l'animation Flash via le lien <http://www.bbemg.be/fr/index-cem/electricite-champs/usage-proprietes-em.html>)

La valeur de la puissance électrique (en W) d'un appareil à moteur permet d'avoir une première idée de ses capacités réelles. La scie sauteuse illustrée a une puissance de 500 W (cf. annexe pour plus d'informations).

Pour une foreuse par exemple, il s'agit également d'être attentif au couple, c'est à dire à sa force de rotation. La fonction de couple ajustable permet d'adapter la puissance déployée au travail à effectuer.

## Ordinateur

Nous sommes entourés d'appareils raccordés sur le réseau alternatif à 50 Hz et 230 V (en Europe) mais fonctionnant en continu (souvent 12 V maximum). C'est le cas des ordinateurs, des téléviseurs et plus généralement des appareils nécessitant un circuit électronique. Pour que ces appareils fonctionnent, ils possèdent à l'entrée de leur circuit une alimentation qui transforme la tension alternative en continue.

Il existe différentes techniques pour faire cette transformation : sans entrer dans les détails, mentionnons simplement ici les alimentations par ponts redresseurs (mais non utilisées au niveau informatique car leur rendement est très faible) et les alimentations à découpage (utilisées au niveau des ordinateurs en raison de leur bon rendement).



La consommation électrique d'un ordinateur est la somme des consommations de ses composants (le microprocesseur, la carte graphique, les lecteurs de disques, les cartes Ethernet, audio...) et des périphériques (l'écran, le modem, l'imprimante, les haut-parleurs, la webcam...).

La consommation des uns et des autres dépend de l'usage que l'on fait de l'ordinateur et de la proportion de temps en utilisation "légère" (comme par exemple lorsqu'on fait du traitement de texte, qu'on écoute de la musique ou qu'on navigue sur internet), en utilisation "importante" (comme par exemple quand on joue à des jeux 3D ou qu'on développe des applications multimédias) et en veille.

Pour un ordinateur (uniquement la "tour", sans l'écran), on trouve des valeurs avoisinant les 200 à 250W. En mode veille, et même en veille prolongée, l'ordinateur consomme encore quelques watts !

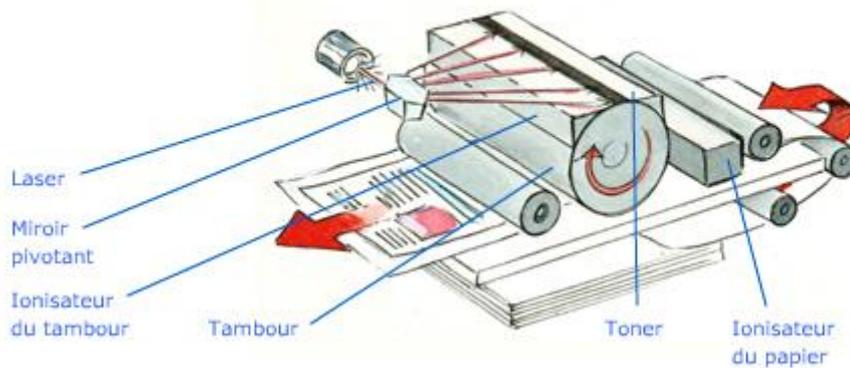
Quant aux écrans, les modèles à cristaux liquides (écrans plats) sont beaucoup moins gourmands que les écrans cathodiques. La consommation variant sensiblement selon le modèle, la taille, la résolution, la luminosité ... nous conseillons aux lecteurs intéressés de consulter la documentation de leurs écrans.

## Imprimante laser

L'imprimante laser reproduit à l'aide de points l'image que lui envoie l'ordinateur. Grâce au laser, les points sont plus petits que ceux des imprimantes à jets d'encre, ce qui améliore la définition de l'impression.

Pour fonctionner de manière aussi précise, l'imprimante laser utilise les propriétés de l'électricité statique.

Voici les 6 étapes d'impression:



(Voir l'animation Flash via le lien <http://www.bbemg.be/fr/index-cem/electricite-champs/usage-proprietes-em.html>)

**Etape 1 :** L'ionisateur du tambour charge le tambour positivement. Le tambour est composé d'un cylindre métallique, recouvert d'une couche en matériau semi-conducteur. Dans cette 1<sup>e</sup> étape, cette couche est isolante : les charges positives résultant de l'ionisation du tambour restent en place.

**Etape 2 :** Le laser retranscrit sur le tambour les informations à imprimer (sous forme de points). Les zones éclairées se chargent négativement. Aux endroits éclairés par le laser, le matériau semi-conducteur devient conducteur : il laisse circuler les charges négatives du cylindre métallique. Les zones éclairées se chargent donc négativement. Le miroir permet d'orienter le faisceau laser.

**Etape 3 :** Le toner (mélange d'encre en poudre et de plastique), de charge positive, se fixe sur les zones préalablement éclairées par le laser.

**Etape 4 :** L'ionisateur du papier charge le papier négativement. Le papier passe alors sous le tambour. Ce dernier continuant à tourner, transfère l'encre (chargée positivement) sur le papier (chargé négativement).

**Etape 5 :** Un fil chauffant fixe l'encre sur le papier (en faisant fondre le plastique).

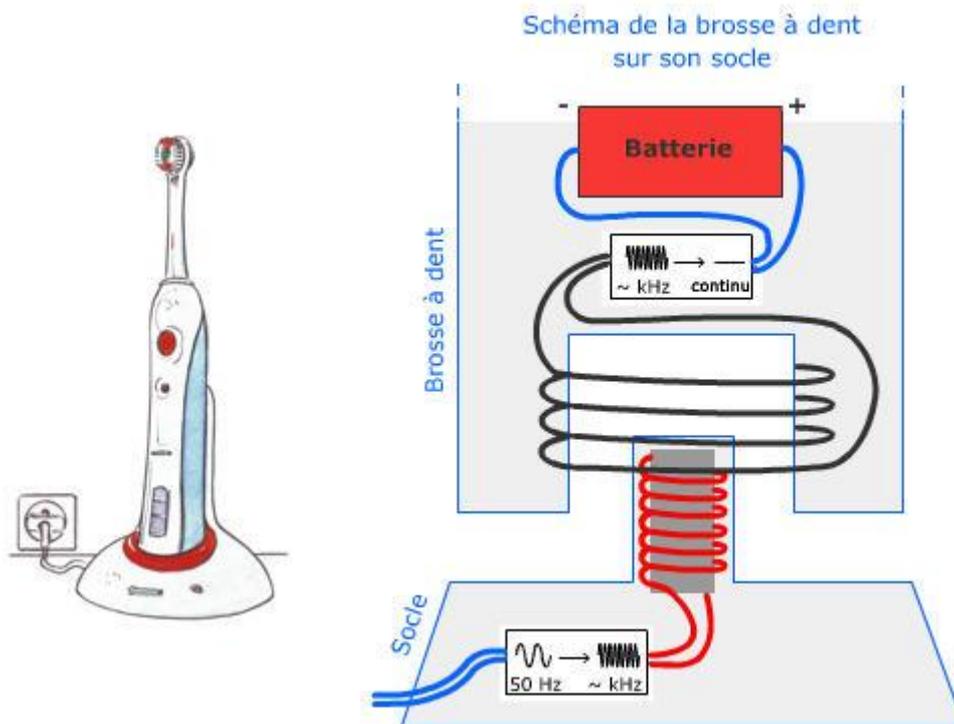
**Etape 6 :** Le tambour est déchargé. Les résidus d'encre sont éliminés. Tout est fin prêt pour la suite : le cycle recommence!

La consommation électrique des imprimantes est très variable d'un modèle à l'autre : on retrouve des valeurs oscillant entre 250 et 1500 W ! En mode veille, la consommation électrique se situe aux alentours des 50 W.

## Recharge sans fil

Nous terminerons notre voyage au pays des appareils électriques par la recharge sans fil.

Prenons par exemple une brosse à dent électrique : vous la déposez sur son socle et elle se recharge, alors qu'il n'existe aucun contact physique (pas de contact entre des éléments conducteurs). Magique ? Et non ! L'explication tient à la compréhension des courants induits par les champs magnétiques. Voyons cela en image :



(Voir l'animation Flash via le lien <http://www.bbemg.be/fr/index-cem/electricite-champs/usage-proprietes-em.html>)

Une puissance de 2 W est délivrée au niveau du socle pour la recharge de la batterie de type Ni-MH.

### Remarque

Cette technologie présente l'inconvénient d'avoir un mauvais rendement : beaucoup d'énergie est perdue dans le processus ! Actuellement, elle est donc réservée à des applications de faibles puissances.

## Quiz

Pour accéder au Quiz, suivre le lien suivant: <http://www.bbemg.be/fr/index-cem/electricite-champs/usage-proprietes-em.html>

## Annexes

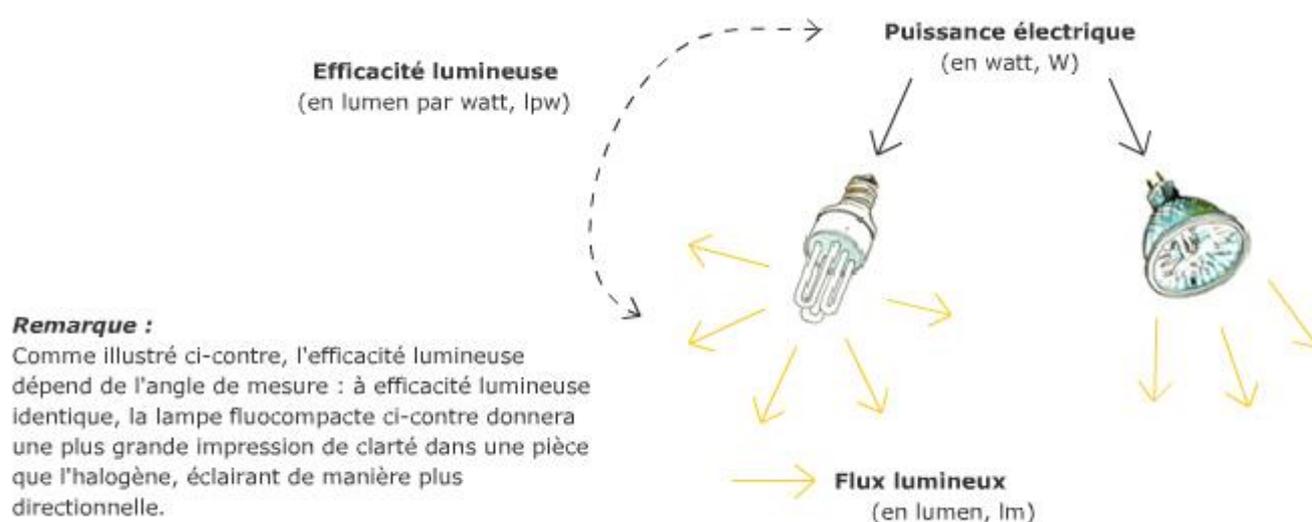
### 1. Signification de l'efficacité lumineuse

Si vous avez déjà acheté des lampes fluocompactes ou des LED, vous avez certainement déjà été confronté à la disparité des unités écrites sur les emballages.

Pour les ampoules à incandescence, nous avons l'habitude de parler en watt : nous reconnaissons une ampoule de 25 W, de 60 W ou de 100 W. Inutile par contre de chercher des valeurs similaires parmi les lampes fluocompactes ou les LED : les fabricants de ces lampes annoncent des valeurs avoisinant respectivement les 25 et 15 W au maximum en utilisation domestique !

La puissance électrique est très différente selon le type d'ampoules. C'est pourquoi, il est conseillé de tenir compte de l'efficacité lumineuse (en lumen/watt , lm/W).

Essayons d'y voir plus clair dans les différentes unités de l'éclairage :



Il existe encore bien d'autres unités permettant de quantifier l'éclairage (\*). D'autre part, les ampoules diffèrent également selon la température de la lumière qu'elles émettent. La température de couleur (en kelvin, K) caractérise la couleur apparente de la lumière émise par une source :

- Blanc « couleur chaude » (jaune -orange) : < 3500 °K
- Blanc « couleur intermédiaire » : entre 3500 et 5000 °K
- Blanc « couleur froide » (bleuté) : > 5000 °K

(\*) La **candela** (en cd) est l'unité d'intensité lumineuse :

1 cd = intensité lumineuse dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique d'une fréquence de 540.1012 Hz (ou 555 nm de longueur d'onde, c'est-à-dire une couleur verte) avec une puissance de 1/683 watt par stéradian (forme conique).

La **candela par mètre carré** (en cd/m<sup>2</sup>) est l'unité de mesure de luminance lumineuse :

1 cd/m<sup>2</sup> = luminance d'une source de 1 m<sup>2</sup> de surface dont l'intensité lumineuse est de 1 cd.

Le **lumen** (lm) est l'unité de flux lumineux :

1 lm = flux émis par une source d'une intensité de 1 cd, contenu dans un angle de 1 stéradian.

Le flux lumineux tient compte de la courbe de sensibilité de l'œil humain ; pour une même énergie lumineuse, notre œil perçoit plus clairement le vert que les autres couleurs.

Le **lux** (lx) est l'unité d'éclairement :

1 lx = 1 lumen/m<sup>2</sup>.

C'est la quantité de lumière reçue sur une surface de un mètre carré. Il se mesure à l'aide d'un luxmètre.

## 2. Puissance d'un appareil à moteur

Dans les [Notions d'électricité](#), nous avons vu que, pour calculer la valeur de la puissance d'un moteur en alternatif, il fallait tenir compte du déphasage entre la tension et le courant. La formule est :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

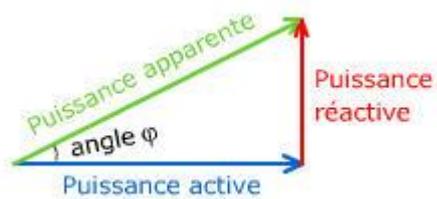
Puissance (en watt, W) ← **P** = **V** . **I** . **cos φ**

↑ Intensité du courant (en ampère, A)  
 ↓ Tension (en volt, V)      ↓ Facteur de déphasage (valeur entre -1 et 1)

Le facteur de déphasage est lié notamment à la présence des phénomènes magnétiques dans les bobinages des moteurs.

La puissance électrique d'un moteur (en W) est en fait sa puissance active, c'est à dire la puissance qui lui permet de faire son travail mécanique. Toutefois, si on mesure réellement la tension efficace et le courant efficace dans un moteur, on obtiendra une valeur de puissance plus élevée : c'est la puissance apparente (en V A). La "différence" entre la puissance active et la puissance apparente est la puissance réactive.

La relation entre les trois puissances est schématisée comme suit :



Il s'agit de limiter au maximum la puissance réactive, afin de réduire la quantité de courant nécessaire pour la même quantité de travail.