

ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

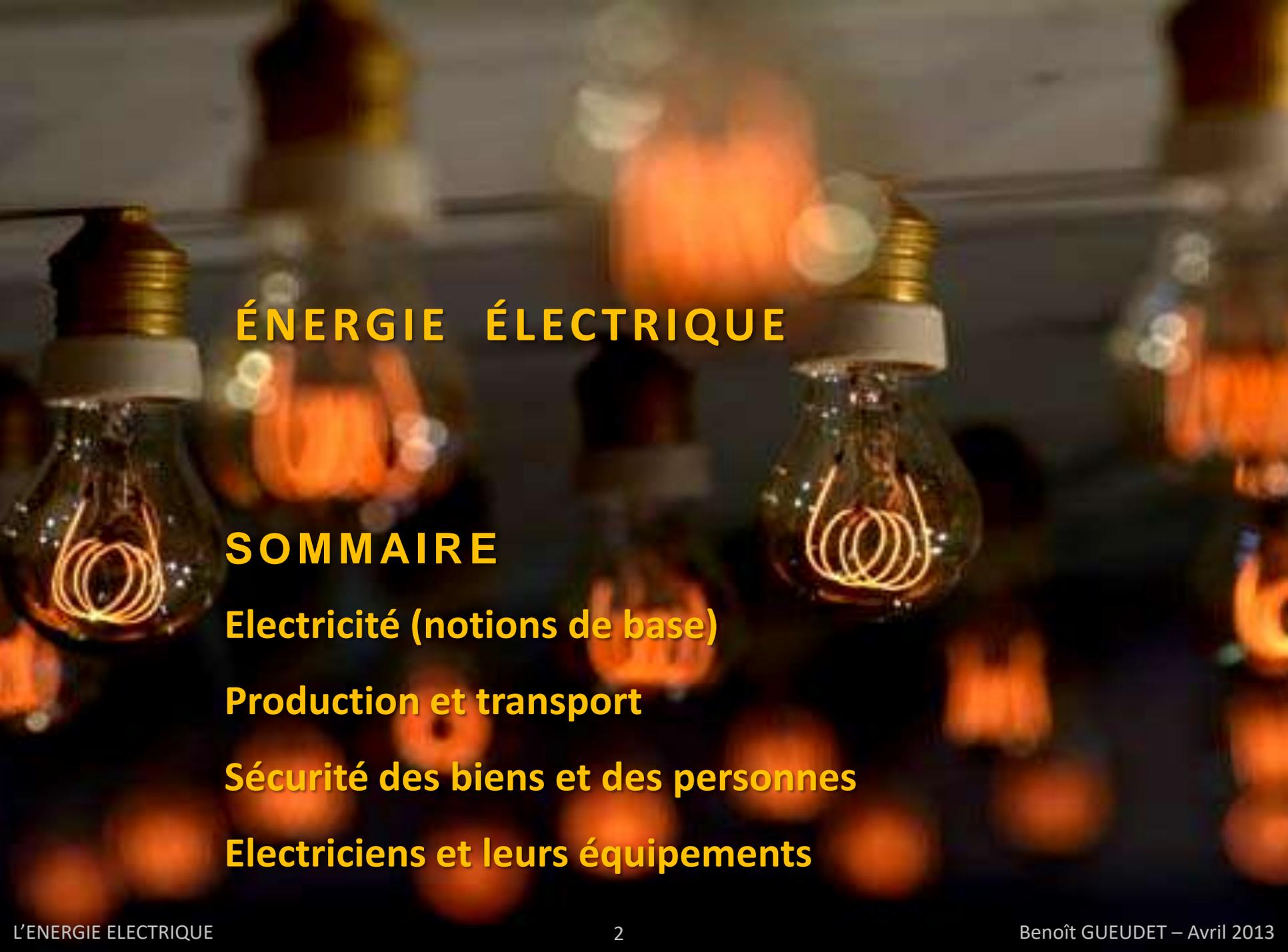
*Ne rien livrer au hasard, c'est
économiser du travail.*

Antoine Albalat



EXTRAITS DU COURS

« LA PRISE DE VUES CINÉMATOGRAPHIQUE ET VIDEO MONOCAMERA »



ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

SOMMAIRE

Electricité (notions de base)

Production et transport

Sécurité des biens et des personnes

Electriciens et leurs équipements

Electricité (notions de base)

L'électricité est un phénomène énergétique associé à la mobilité ou au repos de particules chargées positivement ou négativement.

La matière est constituée **d'atomes**.

Chaque atome est composé :

- **d'un noyau central** qui est un assemblage de protons et de neutrons ;
Les protons portent des **charges positives** et les neutrons ne portent pas de charges et sont donc neutres (d'où leur nom) ;
- d'un ensemble **d'électrons** qui tournent très vite autour de ce noyau ;
Les électrons portent des **charges négatives**.

En temps normal, un atome comprend autant d'électrons que de protons, donc **autant de charges positives que de charges négatives**.
Ces charges s'équilibrent, ce qui rend l'atome électriquement neutre.

Electricité (notions de base)

Mais il suffit qu'un électron s'ajoute à ceux de cet atome (par frottement avec un autre atome par exemple) pour que l'équilibre soit rompu et que l'atome devienne négatif. De la même manière, il suffit qu'un électron soit enlevé à cet atome pour l'atome devienne positif.

L'électricité **résulte du déplacement de ces électrons.**

Définition :

Le courant électrique est un déplacement d'électrons qui sont des charges électriques négatives.

Electricité (notions de base)

L'électrisation

Observations :

Vous avez tous observé, un jour, en vous peignant, que vos cheveux étaient attirés par le peigne. Le même phénomène d'attraction apparaît lorsque vous déballez un article enveloppé de cellophane. **Le peigne, la feuille de cellophane se sont électrisés.**

Ces phénomènes sont connus depuis l'Antiquité. Vingt-six siècles avant J.C. (Joliot-Curie), Thalès de Milet s'amusa à frotter de l'ambre jaune avec une peau de chat.

L'électrisation par frottement

Si l'on frotte une baguette (verre, ébonite, matière plastique...) contre un chiffon quelconque (tissu de laine, drap, peau de chat) on observe que la baguette est capable d'attirer de menus objets (cheveux, duvet, confettis)

C'est le **frottement** qui a provoqué l'électrisation.

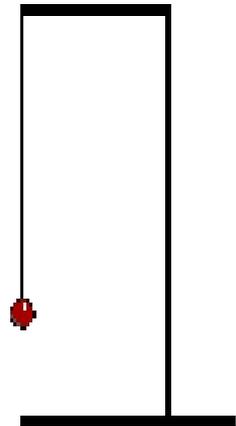
Electricité (notions de base)

L'électrisation par contact

Un pendule électrostatique est constitué d'une boule légère (moelle de sureau, polystyrène expansé...) recouverte d'une couche conductrice (feuille d'aluminium, graphite) suspendue à une potence par un fil.

Lorsqu'on approche une baguette électrisée du pendule, la boule est attirée par la baguette. Après contact avec la baguette, la boule est repoussée.

La boule est repoussée parce qu'elle s'est électrisée **par contact** avec la baguette

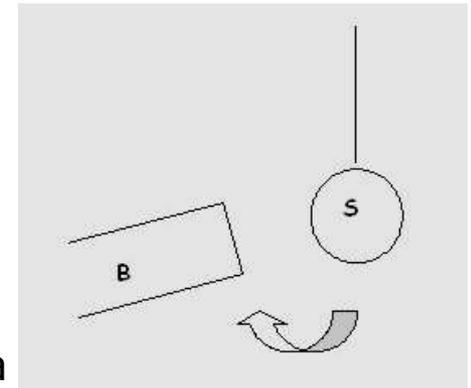


Electricité (notions de base)

L'électrisation par contact

Pourquoi un corps métallique non électrisé est-il attiré par un corps électrisé ?

C'est l'expérience classique réalisée à l'aide d'un pendule électrostatique. A un fil isolant est suspendue une boule conductrice très légère, faite par exemple d'une sphère S de polystyrène expansé dont on a métallisé la surface. Lorsqu'on approche une baguette électrisée B, la sphère est attirée, quel que soit le signe de la charge portée par la baguette.



Expliquez cette attraction, en utilisant les notions suivantes :

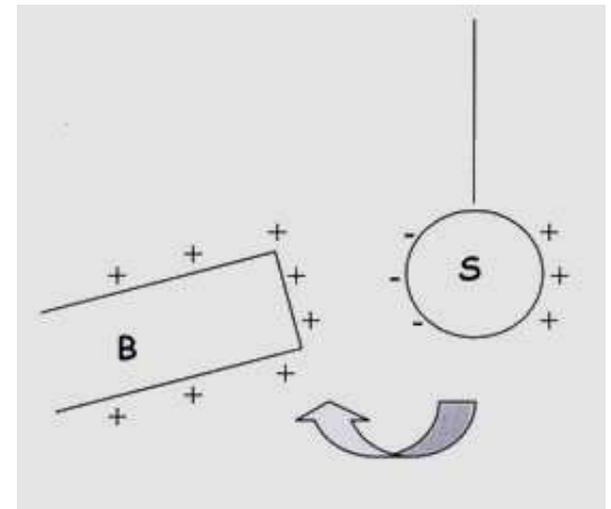
- Dans un métal, il existe des électrons, dits "électrons libres", qui peuvent circuler librement à l'intérieur de ce métal
- Des charges électriques de même signe se repoussent et des charges de signe contraire s'attirent
- Ces forces d'attraction ou de répulsion sont d'autant plus intenses que les charges sont plus proches.

Electricité (notions de base)

L'électrisation par contact

Choisissons le cas où la baguette B est chargée positivement. La sphère S est suspendue à un fil isolant, donc si elle est initialement neutre elle le reste tant qu'elle n'est pas en contact avec la baguette. Mais la *distribution* des charges électriques dans S est influencée par B : les électrons libres du métal sont attirés vers B et une charge négative apparaît donc du côté de S le plus proche de B.

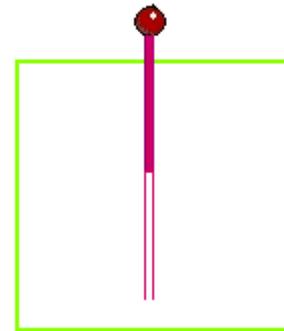
Du côté opposé à B, il se produit un déficit d'électrons, et il apparaît donc une charge positive de même grandeur. On peut comprendre alors que la force attractive entre B et la région négative de S l'emporte sur la force répulsive subie par la région positive, qui est plus éloignée.



Electricité (notions de base)

L'électrisation par influence

Un électroscope à feuilles est constitué d'une tige métallique supportant deux feuilles étroites et très fines d'or ou d'aluminium. L'ensemble est placé dans une enceinte transparente et isolante (verre). Lorsqu'on approche une baguette électrisée de l'électroscope (sans le toucher), les feuilles de l'électroscope s'écartent. Si on éloigne la baguette, les feuilles retombent.



Les feuilles se repoussent parce qu'elles sont électrisées sous **l'influence** de la baguette.

Electricité (notions de base)

Charges électriques

On dit que les corps sont électrisés à cause de la présence de **charges électriques** extrêmement petites.

Si on électrise un pendule électrostatique par contact avec une baguette chargée, et que l'on approche successivement d'autres baguettes électrisées, on s'aperçoit que la boule du pendule est soit attirée, soit repoussée par les diverses baguettes.

Il existe deux sortes de charges électriques: les charges positives et les charges négatives.

**Deux corps portant des charges de même signe se repoussent ,
Deux corps portant des charges de signes contraires s'attirent.**

Electricité (notions de base)

Charges électriques

Unité de charge électrique:

L'unité de charge électrique est le **coulomb (symbole: C)**
[son multiple est l'AMPÈRE-HEURE (Ah)]

Un électron a une charge négative **$-e = -1,6 \times 10^{-19}$ coulombs**

Il faut donc **$6,24 \times 10^{18}$ électrons** pour obtenir une charge de **-1 C**

Electricité (notions de base)

Conducteurs et isolants

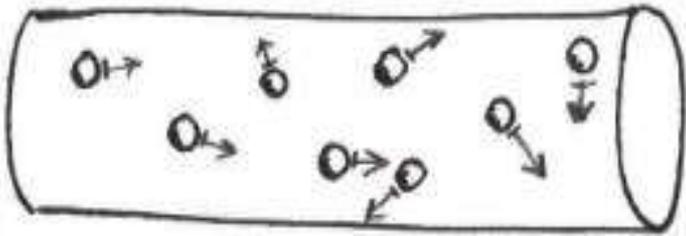
Un **conducteur** est un corps dans lequel **les charges électriques peuvent se déplacer** (exemple: les métaux)

Un matériau dans lequel les électrons ne sont pas trop attachés à leurs atomes est appelé matériau **conducteur**.

Un matériau conducteur laisse donc passer facilement le courant électrique, puisqu'il permet à ses électrons de bouger comme ils veulent. Les meilleurs conducteurs sont les métaux, on les utilise pour canaliser l'électricité dans des fils. L'eau normale est aussi un bon conducteur de l'électricité : elle contient pas mal d'ions, qui sont des porteurs de charge comme les électrons. Comme nous sommes pour une grande partie constitués d'eau, nous ne sommes pas de mauvais conducteurs

Electricité (notions de base)

Conducteurs et isolants



Voici un fil électrique conduisant le courant. C'est comme un tuyau dans lequel les électrons circulent. En fait, ils vont un peu dans tous les sens, comme le montrent les petites flèches qui donnent leur direction de déplacement. Mais il y a toujours un mouvement d'ensemble, ici vers la droite, et c'est ça, le courant électrique. C'est comme une foule de gens : même si certains vont à contre-courant, ou sur le côté il y a un déplacement d'ensemble de la foule dans une direction donnée. Dans un fil électrique, c'est la force électrique qui pousse les électrons dans un certain sens.

Electricité (notions de base)

Conducteurs et isolants

Un **isolant** est un corps dans lequel **les charges électriques ne peuvent pas circuler** (exemple: verre, matière plastique)

Un **isolant** est un matériau dans lequel les électrons sont bien attachés aux atomes. Le courant ne peut donc pas passer dans un isolant. L'air, le plastique, par exemple sont de bons isolants.

Il ne faut pas confondre **isolant** qui désigne la propriété d'un matériau de ne pas conduire l'électricité ou qui caractérise ce même matériau et **isolateur** qui désigne le composant fait de matériau isolant.



Electricité (notions de base)

Décharges électriques

Lorsque deux corps, fortement chargés de signes contraires, sont séparés par un isolant (gaz), une décharge peut se produire entre les deux corps:

On observe une étincelle due au passage des charges électriques à travers l'isolant.



Electricité (notions de base)

Effets de l'électricité

EFFET JOULE

Les appareils de chauffage

Le passage du courant dans les conducteurs provoquant un dégagement de chaleur (effet Joule) il est facile d'obtenir des appareils de chauffage. Le dégagement de chaleur est proportionnel à la résistance du conducteur. On utilise donc dans ces appareils des fils beaucoup plus résistants que les fils de liaison pour que le dégagement de chaleur soit localisé dans l'appareil (fer à repasser, radiateur) et soit négligeable dans les fils de liaison pourtant traversés par le même courant. L'alliage couramment utilisé pour les "résistances chauffantes" est le **Nichrome** constitué de nickel et de chrome avec un peu de fer et de manganèse. Il est environ 60 fois plus résistif que le cuivre.

Les fils résistants peuvent être nus (par exemple dans les convecteurs) ou introduits dans des tubes de cuivre et isolés par de la poudre de magnésie. Le fil est souvent en forme d'hélice pour obtenir une longueur plus grande sous un faible encombrement.

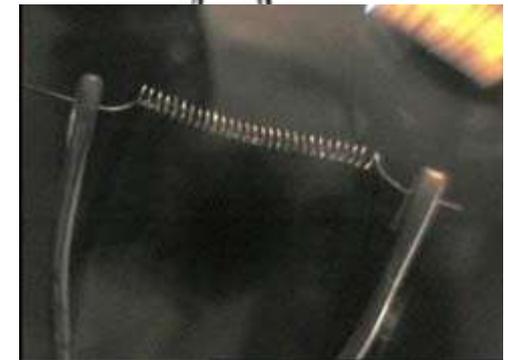
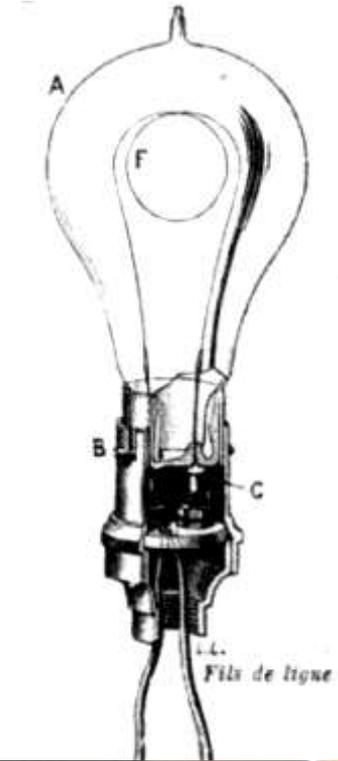
Electricité (notions de base)

Effets de l'électricité EFFET JOULE

L'éclairage électrique à incandescence

En 1879 **Thomas Edison** (1847-1931) invente la lampe électrique. Elle est constituée d'un filament en fibre de bambou carbonisé entouré d'une ampoule de verre vidée d'air pour éviter la combustion. La température du filament ne dépasse pas 1700°C. L'éclairage est jaune et faible.

En 1906 apparaît le filament en tungstène qui permet d'atteindre 2500°C. Pour éviter la sublimation du métal (évaporation) on introduit en 1913 de l'azote dans l'ampoule. Puis on le remplacera par l'argon et en 1935 par le krypton.



Electricité (notions de base)

Effets de l'électricité **EFFET MAGNETIQUE**

L'électro-aimant

Lorsque le courant passe dans un fil, une boussole placée à proximité dévie. Le fil provoque un effet semblable à celui d'un aimant: l'effet magnétique.

Pour augmenter cet effet, on peut augmenter l'intensité du courant, mais on peut également placer côte à côte plusieurs fils parcouru dans le même sens par le courant. Cela revient à constituer une bobine.

Une bobine longue est appelée solénoïde. Elle se comporte comme un barreau aimanté lorsque le courant passe. Si on place à l'intérieur un noyau en fer doux (fer pur) l'effet est renforcé. On obtient un électro-aimant.

Remarque: L'acier ne convient pas pour faire un noyau d'électro-aimant car il reste aimanté après que le courant a cessé.

Ces électro-aimants sont utilisés dans les sonneries, les gâches électriques, le tri magnétique des matériaux... en un mot chaque fois que l'on désire transformer l'énergie électrique en énergie mécanique.

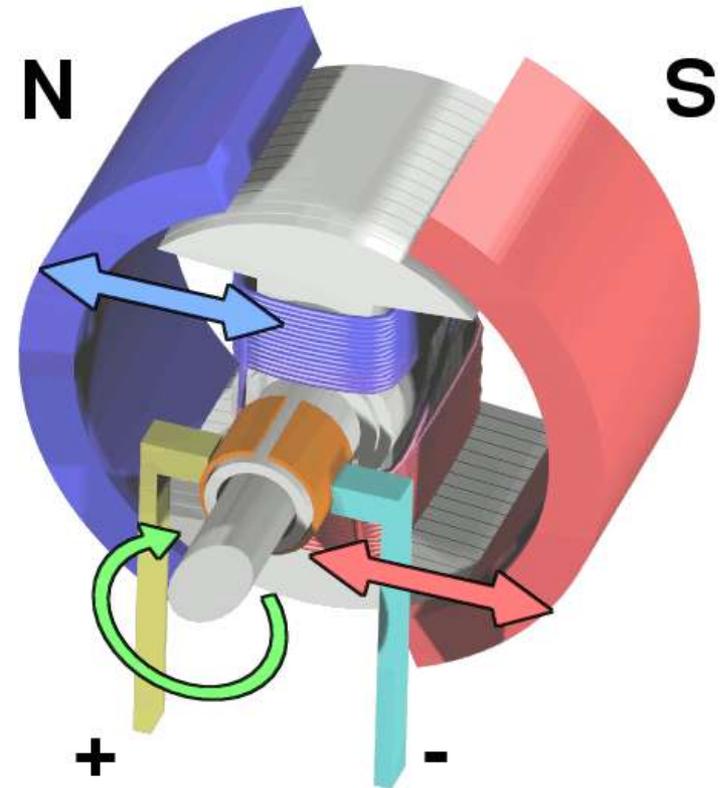
Electricité (notions de base)

Effets de l'électricité EFFET MAGNETIQUE

Les moteurs électriques

Il existe un grand nombre de sortes de moteurs électriques. Ils contiennent tous soit des aimants soit des électro-aimants

Le principe d'un moteur est simple: on fait passer un courant dans un électro-aimant capable de tourner (rotor). Il est attiré par un aimant (ou un autre électro-aimant), il pivote, il s'approche du pôle attractif et reste figé à moins qu'à cet instant précis le courant s'inverse dans la bobine. Le rotor peut alors poursuivre sa rotation vers une nouvelle attraction et le phénomène peut se reproduire.



Electricité (notions de base)

Effets de l'électricité

EFFET CHIMIQUE

L'électrolyse

Si le courant circule dans une solution, ce n'est pas grâce à la présence d'électrons libres (ils n'existent que dans les métaux). Le courant est dû au mouvement de particules chargées appelées "**ions**". Il s'agit d'atomes ou de groupements d'atomes chargés soit à cause d'un excès d'électrons (**ions négatifs ou anions**) soit par un manque d'électrons (**ions positifs ou cations**).

Au contact des électrodes, les ions se déchargent:

A l'anode (électrode d'entrée): les ions négatifs (anions) cèdent leur électrons excédentaires qui passent ensuite dans le circuit.

Parfois l'**anode est rongée**: ce sont les atomes de l'anode qui cèdent des électrons au circuit. On peut aussi avoir un dégagement d'oxygène ou une oxydation de l'anode.

A la cathode (électrode de sortie): les ions positifs (cations) prennent au circuit les électrons qui leur manquent. On observe la formation d'un **dépôt (métal)**; ou alors l'eau se décompose et on obtient un dégagement d'**hydrogène**.

Electricité (notions de base)

Nature du courant

La pile et sa force électromotrice:

Entre les deux bornes d'une pile existe continuellement une différence de densité des électrons libres: La borne négative possède une concentration d'électrons plus forte que la normale tandis que la borne positive est déficitaire en électrons.

Si un circuit électrique est relié à la pile, les électrons libres du circuit sont **attirés par la borne positive**, **repoussés par la borne négative** de la pile. Ils circulent de la borne moins vers la borne plus à l'extérieur du générateur.



Electricité (notions de base)

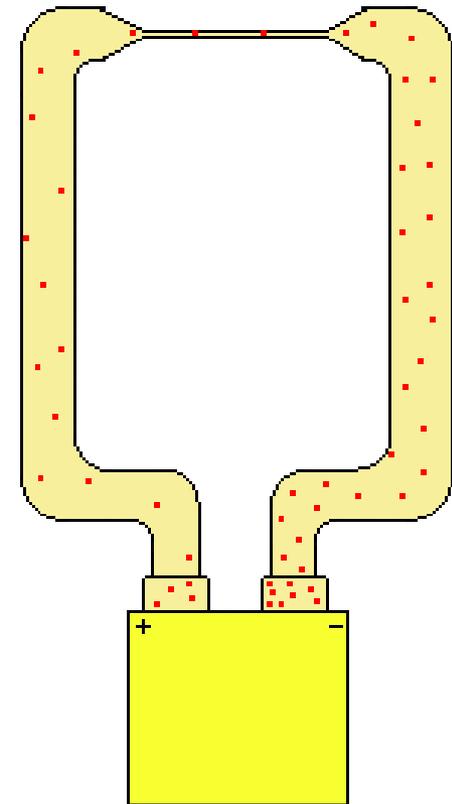
Nature du courant

La pile et sa force électromotrice:

La différence de potentiel (ou tension électrique) qui existe ainsi entre les bornes de la pile est encore appelée **force électromotrice** car elle est capable de mettre en mouvement les électrons libres du circuit.

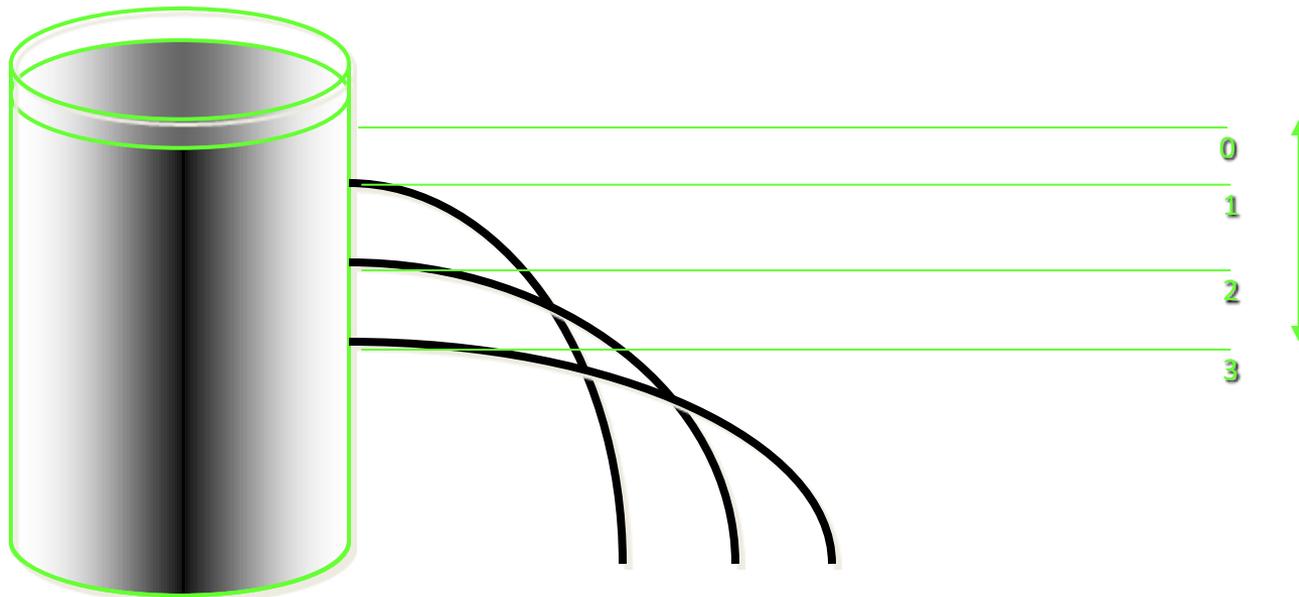
Dans le schéma ci-contre, les points rouges symbolisent les électrons libres se déplaçant dans les fils. Le "tuyau" plus fin représente le filament de la lampe.

Les électrons se déplacent très lentement dans les fils de connexion (souvent quelques fractions de millimètre par seconde) . La vitesse est plus grande dans le filament, ce qui provoque son échauffement.



Electricité (notions de base)

Dans un fil électrique dans lequel le courant circule, on a donc un grand nombre d'électrons qui parcourent le fil. Les électrons qui parcourent un fil font penser à de l'eau dans un tuyau. En fait, le parallèle avec l'eau est intéressant à explorer : L'eau avance dans les tuyaux grâce à la pression. Plus la pression est importante, plus l'eau essaye de s'échapper. Quand il n'y a plus de pression, l'eau n'a plus tendance à sortir. La première quantité importante pour comprendre comment l'eau avance dans les tuyaux, c'est donc la pression.



Electricité (notions de base)

Tension ou *différence de potentiel*

Avec l'électricité, c'est exactement la même chose !

C'est ce qu'on appelle **la tension** qui fait avancer les électrons, et donc joue le même rôle que la pression. Cela donne avec quelle force la force électrique pousse les électrons dans le fil. On mesure la tension en Volts (V). Une pile pousse les électrons avec une force de 1,5 V, alors que le courant dans les prises a une tension de 220 V. Dans les fils hautes tension, la tension peut atteindre plusieurs milliers de volts.

La tension en électricité est similaire à une différence de pression ou d'altitude en mécanique.

U en Volts V

La circulation du courant entre deux points d'un circuit est due à une différence de potentiel, ou tension, entre ces deux points.

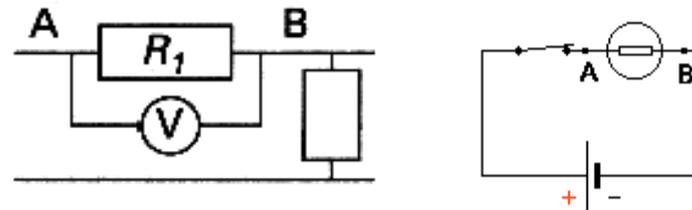
Le VOLT est l'unité de différence de potentiel (d.d.p.) ou de tension.

Electrocinétique

Tension ou *différence de potentiel*

- Volts
 - V
- Millivolts
 - mV
 - $1 \text{ mV} = 0,001 \text{ V} = 10^{-3} \text{ V}$
- Kilovolts
 - kV
 - $1 \text{ kV} = 1\,000 \text{ V} = 10^3 \text{ V}$

Mesure de la tension :



Une tension se mesure avec un **voltmètre** toujours placé en **dérivation** sur le circuit.



Symbole du voltmètre

Electrocinétique

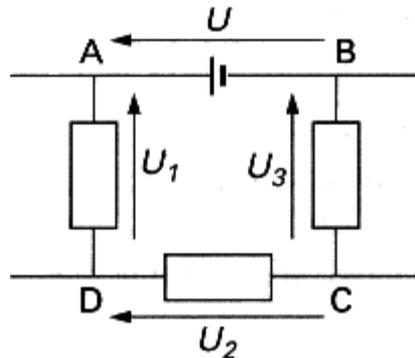
Tension ou *différence de potentiel*

Loi des mailles

Tout circuit fermé est appelé **maille**

Loi de Kirchhoff pour les mailles :

Dans une maille la somme des tensions est nulle.



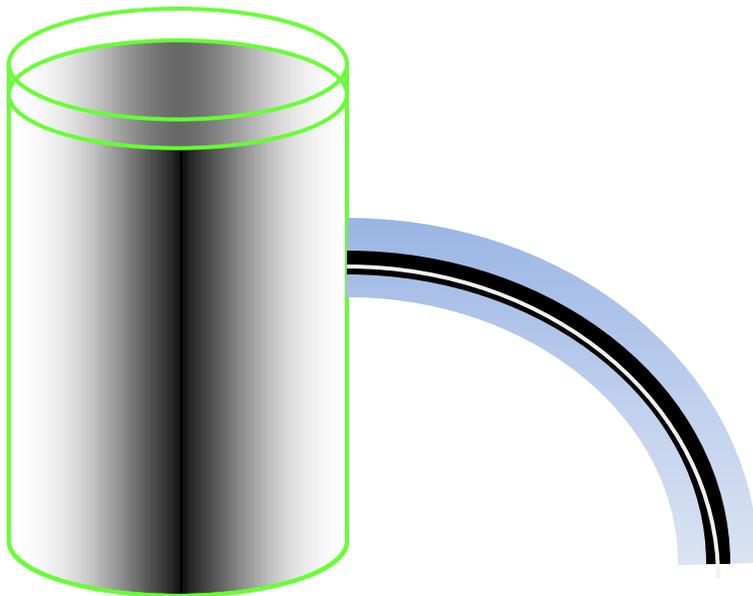
Le sens horaire est défini comme positif,

dans la maille ABCD, on a $(-U) + U_1 + U_2 + (-U_3) = 0$

Electricité (notions de base)

Intensité ou *débit*

Le débit, c'est la quantité d'eau que le tuyau convoie. Ca n'est pas parce que la pression est importante que le débit l'est. Dans un tuyau fermé, la pression est grande, mais aucune eau ne s'échappe, le débit est donc nul.



Et ce qui correspond au débit de l'eau pour les électrons, c'est ce qu'on appelle l'**intensité**. Plus les électrons sont nombreux à passer dans le fil, plus on dit que l'intensité est forte. L'intensité se mesure en Ampères (A). Quand les électrons ne peuvent pas passer, parce qu'il n'y a pas de matériau conducteur, l'intensité est nulle.

Electricité (notions de base)

Intensité ou *débit*

*L'intensité est similaire à un débit en hydraulique.
C'est une quantité d'électricité (coulombs) par seconde.*

I en ampères A

L'intensité I du courant est le quotient de la quantité d'électricité Q par la durée t du passage du courant.

L'unité d'intensité est l'AMPÈRE (A).

- Ampères
 - A
- Milli ampères
 - mA
 - $1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A} = 10^{-3} \text{ A}$
- Kilo ampères
 - kA
 - $1 \text{ kA} = 1\,000 \text{ A} = 10^3 \text{ A}$

Mesure du courant :



L'intensité se mesure à l'aide d'un ampèremètre toujours placé en série dans le circuit.

Electricité (notions de base)

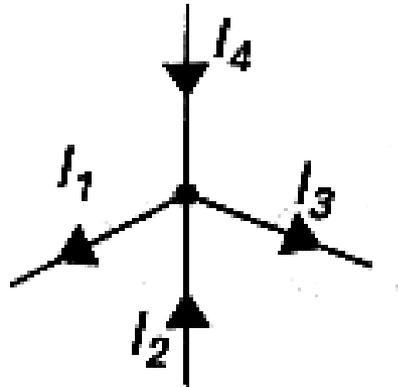
Intensité ou *débit*

Le terme nœud désigne le point du circuit sur lequel aboutissent plusieurs conducteurs.

Loi de Kirchhoff pour les nœuds :

La somme des courants arrivant à un nœud est égale à la somme des courants qui en repartent.

$$I_2 + I_4 = I_1 + I_3$$



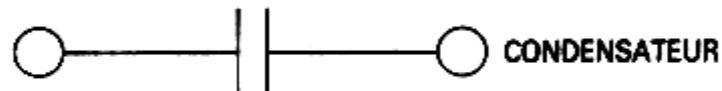
Electricité (notions de base)

Dipôle

Un dipôle est une portion de circuit comprise entre deux pôles ou bornes.

La relation entre la tension U appliquée à ses bornes et le courant I qui le traverse caractérise le dipôle

- si $U = 0$ lorsque $I = 0$ le dipôle est dit **passif**
- dans le cas contraire il est dit **actif**.



Exemples de dipôles

Electricité (notions de base)

Notion de puissance

Une chose importante finalement : la puissance fournie, qu'on mesure en général en **Watt**, **c'est le produit de la tension par l'intensité**. Comme on fonctionne en général en 220V, on peut en déduire le courant qui circule dans un appareil en divisant la puissance par 220 V. Le résultat est obtenu en Ampère.

$$P = U \cdot I$$

- P en watts
- U en Volts
- I en Ampères

Puissance = Travail par unité de temps

Electricité (notions de base)

Notion de puissance

P en watts

- **Watts**

- W

- **Milli watts**

- mW

- $1 \text{ mW} = 0,001 \text{ W} = 10^{-3} \text{ W}$

- **Kilowatts**

- kW

- $1 \text{ kW} = 1\,000 \text{ W} = 10^3 \text{ W}$

- **Mégawatts**

- MW

- $1 \text{ MW} = 1\,000\,000 \text{ W} = 10^6 \text{ W}$

- **Giga watts**

- GW

- $1 \text{ GW} = 1\,000\,000\,000 \text{ W} = 10^9 \text{ W}$

- **Tera watts**

- TW

- $1 \text{ TW} = 1\,000\,000\,000\,000 \text{ W} = 10^{12} \text{ W}$

Electricité (notions de base)

Notion de puissance



P en watts

La puissance se mesure à l'aide d'un **wattmètre**, cet appareil de mesure comporte deux circuits

- l'un à brancher en série pour mesurer le courant
- l'autre à brancher en dérivation pour mesurer la tension.

A savoir : le kWh est aussi utilisé pour d'autres formes d'énergie que l'électricité. Par exemple, un litre de mazout représente 10 kWh, un kilo de bois : 4 kWh.

- Calcul d'une intensité :
- Soit un projecteur de 2 Kw branché sous 220 V
- Calculez I en Ampères
- $P = U.I$
- Donc $I = P / U$
- I en ampères, P en watts et U en volts
- Donc $I = 2000 / 220$
- $I = 9 A$

Electricité (notions de base)

Notion de travail

L'énergie absorbée par un circuit est égale au produit de la puissance consommée par le temps de fonctionnement. L'unité d'énergie est le **JOULE (J)**.

$$W = P \cdot t$$

W en joules

- W en joules
- P en watts
- T en secondes

Travail = Energie

Electricité (notions de base)

Notion de travail

W en joules

- Joules
 - $1\text{ J} = 1\text{ W}\cdot\text{s}$
- Le watt-heure : $1\text{ Wh} = (60 \times 60) \text{ 3 600 J}$
- Kilowatts-heure (*Le kW-h n'est pas une unité du système MKSA !*)
 - kW.h
 - $1\text{ kW}\cdot\text{h} = 3,6 \times 10^6\text{ J}$

Systeme MKSA (Mètre Kilogramme Seconde Ampère) : *Systeme de mesure dont les unités fondamentales sont le mètre, le kilogramme, la seconde et l'ampère.*

Electricité (notions de base)

Notion de rendement

Tout récepteur électrique ou machine absorbe de l'énergie électrique et la restitue sous d'autres formes : mécanique, lumineuse, calorifique...

Lors de cette transformation l'énergie est entièrement conservée en quantité.

Le rendement d'un récepteur est égal

- au rapport entre la quantité d'énergie utile qu'il produit et la quantité d'énergie qu'il absorbe
- ou au rapport entre la puissance utile et la puissance absorbée.

Nota : Le rendement est un nombre sans unité, inférieur ou au plus égal à 1.

énergie absorbée = énergie utile + pertes

$$W_a = W_u + \text{chaleur}$$

Dans la plupart des cas l'énergie dissipée sous forme de chaleur constitue les pertes.

$$\begin{aligned}\eta &= W_u / W_a \\ &= P_u / P_a\end{aligned}$$

Avec :

η (Êta) rendement

W_u énergie utile

W_a énergie absorbée

P_u puissance utile

P_a puissance absorbée

Electricité (notions de base)

Les applications de l'électrocinétique sont omniprésentes dans le monde actuel.

On distingue deux domaines : le **domaine des courants faibles**, ne dépassant pas des intensités de l'ordre de l'ampère, c'est celui de l'électronique de faible puissance (ordinateur, téléphonie, circuits de commande, microprocesseurs) **et le domaine des courants forts** (des dizaines ou des centaines d'ampères) qui est celui des applications domestiques, de l'électronique de puissance et de l'électrotechnique (moteurs, alternateurs).

Les ordres de grandeur des conductivités sont
pour les métaux : $\sigma = 10^6 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$,
pour les isolants : $\sigma = 10^{-6} \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$,
et pour les semi-conducteurs : $10^6 > \sigma > 10^{-4} \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$.
(σ *sigma*)

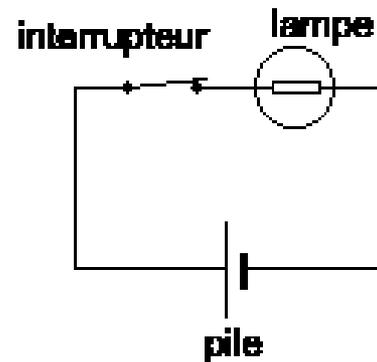
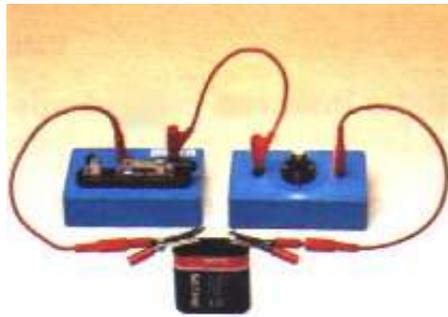


Electricité (notions de base)

Circuit électrique

Un **circuit électrique** est un ensemble simple ou complexe de conducteurs et de composants électriques ou électroniques parcouru par un courant électrique.

Un circuit est constitué d'un **générateur** qui est la source de courant (pile, accumulateur, dynamo...) et d'un ou plusieurs **récepteurs** (lampe, fer à repasser, radiateur, machine à laver...). Les **bornes** de ces appareils sont reliées entre elles par des **conducteurs** (fils de cuivre, lames de laiton...) pour constituer un circuit **fermé** c'est-à-dire ininterrompu.



Electricité (notions de base)

Vitesse de l'électricité

Il faut distinguer deux phénomènes :

- la vitesse des charges,
- la vitesse de l'information.

Vitesse de déplacement des charges

Les charges, se déplacent beaucoup plus lentement, environ 60 cm par heure dans un fil de cuivre. Ainsi, lorsqu'on allume la lumière, ce n'est pas un flot d'électrons sortant du générateur qui suit le fil, passe par l'interrupteur, par l'ampoule et finit par retourner au générateur. En fait, le courant domestique étant alternatif, les électrons font des allers-retours 50 ou 60 fois par seconde (ils ne bougent quasiment pas).

Ce qui se déplace à une vitesse très proche de celle de la lumière, c'est l'onde de différence de potentiel qui met les électrons en mouvement.

Si l'on a l'impression d'instantanéité, par exemple entre l'instant où nous manœuvrons un interrupteur et l'instant où la lumière jaillit d'une ampoule électrique, c'est parce que le fil électrique est plein d'électrons. En appuyant sur l'interrupteur, un champ électrique s'établit dans tout le circuit à une vitesse proche de la lumière dans le vide et c'est ce champ qui met les électrons en mouvement partout dans le fil. Tous les électrons "démarrèrent" partout dans le fil en un temps très bref.

Electricité (notions de base)

Vitesse de l'électricité

Vitesse de l'information

Pour le courant électrique, la vitesse de l'information est la vitesse de la lumière dans le milieu, soit environ 226 000 km/s dans l'eau (courant électrique dans une solution saline) et 273 000 km/s dans le cuivre (courant électrique dans un fil).

Lorsqu'on ferme l'interrupteur, on crée un champ électrique. Cette variation de champ électrique se propage à l'appareil alimenté. Ainsi, dans le cas d'une ampoule reliée à un interrupteur par un fil de cuivre de 10 m, l'ampoule s'allume quatre centièmes de milliardième de seconde après la fermeture de l'interrupteur.

Pour mieux comprendre, pensez à ce qui se passe avec l'eau : le château d'eau fait qu'il y a une certaine pression dans les tuyaux, bien avant que l'eau du château d'eau soit arrivée jusqu'à vous. La vitesse à laquelle l'eau avance dans les tuyaux n'est pas la vitesse à laquelle la pression se transmet . Avec l'électricité c'est pareil : quand on ferme un interrupteur on met le circuit sous pression (pardon sous tension), et cette modification de la tension se propage à peu près à la vitesse de la lumière ! Mais les électrons, eux, n'avancent que très lentement...

Electricité (notions de base)

Le court-circuit

Un **court-circuit** (appelé familièrement « court-jus ») est la mise en connexion volontaire ou accidentelle de deux points (ou plus) d'un circuit électrique entre lesquels existe une différence de potentiel, par un conducteur de faible résistance. Il donne naissance à un courant de court-circuit.

Les électrotechniciens utilisent fréquemment le mot **défaut** comme synonyme de court-circuit, car c'est un défaut de l'isolement électrique qui provoque l'apparition d'un arc électrique. On parle aussi de claquage diélectrique de l'air, ou d'un matériau isolant.



Si un court-circuit se produit sur une ligne non protégée par un disjoncteur, ou bien s'il est éliminé trop lentement, il peut y avoir des conséquences telles que départ de feu, ou électrocution, destruction des matériels électriques et téléphoniques. Il est donc indispensable de se prémunir contre de tels incidents.

Electricité (notions de base)

Le courant continu

Un courant est dit **continu** lorsqu'il **s'écoule continuellement dans une seule direction**.

Le sens du courant électrique est par défaut le sens conventionnel du courant : du pôle + vers le pôle -.

En réalité, les électrons circulent de la borne négative vers la borne positive.

Le courant continu est produit par **l'activité chimique d'une batterie** ou d'une pile dans un circuit électrique fermé.

Electricité (notions de base)

Le courant continu

C'est le cas par exemple dans **une lampe électrique**.

Le circuit de la lampe relie un interrupteur, un générateur (pile) et une ampoule.

1/ La fermeture du circuit

Grâce à l'interrupteur, le **circuit se ferme**.

2/ La production d'électrons

À l'intérieur de la pile, il se produit **une réaction chimique qui libère des électrons**.

Ces électrons se mettent en mouvement et sortent de la borne négative de la pile et se propagent grâce à la tige métallique qui sert de conducteur.

3/ L'échauffement des filaments de l'ampoule

Lorsque les électrons passent dans le filament de l'ampoule, celui-ci s'échauffe jusqu'à produire de la lumière.

Les électrons reviennent ensuite dans la pile par sa borne positive.

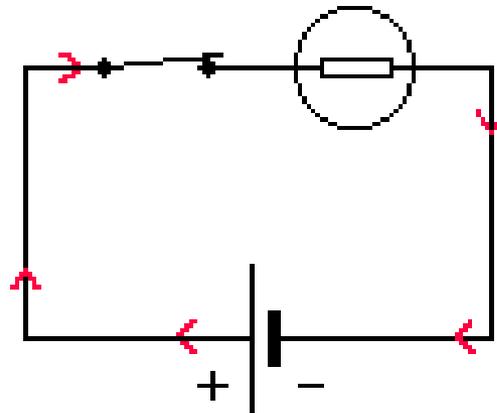
Electricité (notions de base)

Le courant continu

Sens conventionnel du courant

Les effets magnétiques et chimiques s'inversent lorsqu'on permute les bornes du générateur.

Les savants qui ignoraient la réalité de l'électron ont donc été amené à choisir arbitrairement un sens au courant. Il ont choisi celui qui part **de la borne positive vers la borne négative**, c'est-à-dire **l'inverse du sens de déplacement des électrons**.



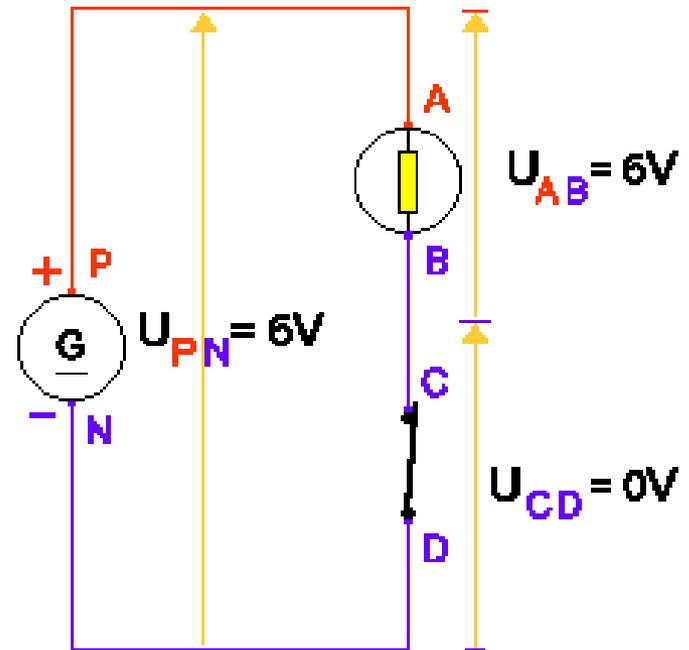
Electricité (notions de base)

Le courant continu

Cas d'un interrupteur:

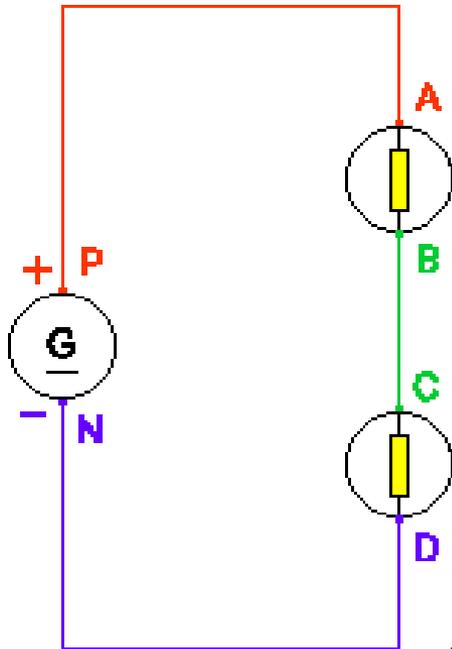
La tension aux bornes d'un **interrupteur fermé** est **négligeable** comme la tension aux bornes d'un fil.

La tension aux bornes d'un **interrupteur ouvert** est égale à la **tension aux bornes du générateur** (circuit simple) ou à la tension aux bornes de la branche dans laquelle il est placé.



Electricité (notions de base)

Le courant continu, dipôle court-circuité



Un dipôle court-circuité cesse de fonctionner car la tension à ses bornes devient négligeable et que le courant qui le traverse est également négligeable.

L'intensité augmente dans le circuit car la résistance électrique du court-circuit est beaucoup plus faible que celle du dipôle court-circuité.

Electricité (notions de base)

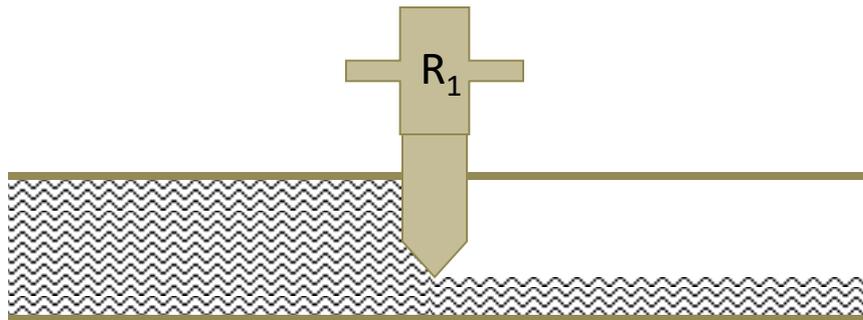
Le courant continu

Résistance électrique, lois d'Ohm et de Joule

La résistance électrique R est l'opposition faite au passage du courant électrique I dans un circuit électrique fermé et soumis à une tension électrique continue U .

Il y a un rapport entre l'intensité I et la tension électrique U :
opposition faite au passage du courant $R = \text{tension } U / \text{courant } I$

$$R = U/I \quad \text{unité } [\Omega]$$



Electricité (notions de base)

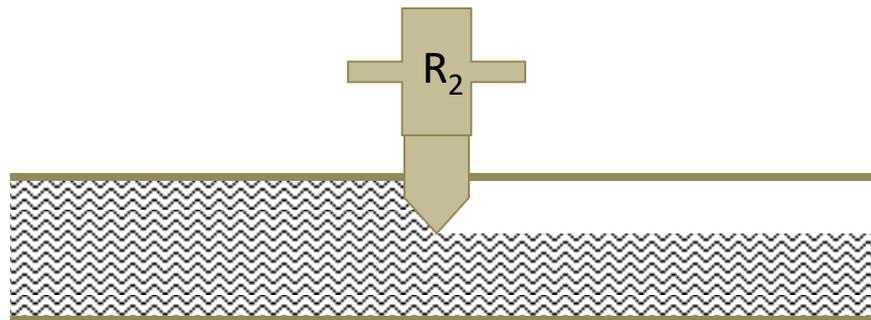
Le courant continu

Résistance électrique, lois d'Ohm et de Joule

Expression de la loi d'Ohm : $U = RI$ Symbole graphique : 

U en volts, I en Ampères, R en Ohms,

La tension U aux bornes de la résistance R est proportionnelle à l'intensité I qui la traverse.



Electricité (notions de base)

Le courant continu

La conductance G

La conductance G est la facilité qu'a un circuit électrique de laisser passer le courant I lorsqu'une tension continue U est appliquée (inverse de la résistance).

La conductance s'exprime dans le système international en Siemens (symbole : **S**).

La relation mathématique est la suivante : **$G = 1/R$**

La loi d'Ohm peut aussi s'écrire sous la forme $I = GU$, nous constatons que la conductance est proportionnelle au courant électrique I.

Electricité (notions de base)

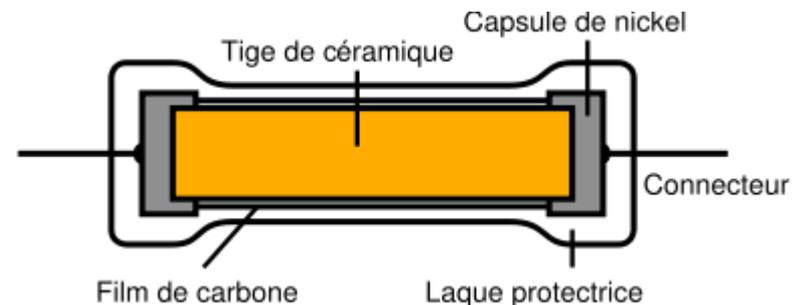
Résistance électrique, technologie

Des résistances sont réalisées de manière à approcher de façon très satisfaisante la loi d'Ohm dans une large plage d'utilisation.

Les résistances de *faible puissance* en dessous de 1 Watt sont généralement des résistances à couche de carbone sur un support de céramique.

Pour les *puissances supérieures*, la technique du fil résistant enroulé sur un corps en céramique est souvent utilisée.

Pour les *très fortes* puissances, on peut utiliser une technologie dite des « résistances liquides » consistant à faire passer le courant à travers une solution aqueuse contenant des ions cuivre.

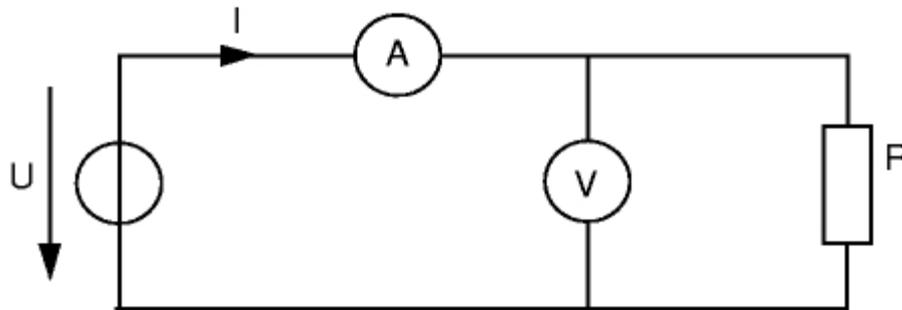


Electricité (notions de base)

Le courant continu

Résistance électrique, lois d'Ohm et de Joule

Exemple : Une lampe est alimentée par une tension de 48 V.
Dessinez le schéma du circuit avec les appareils de mesures

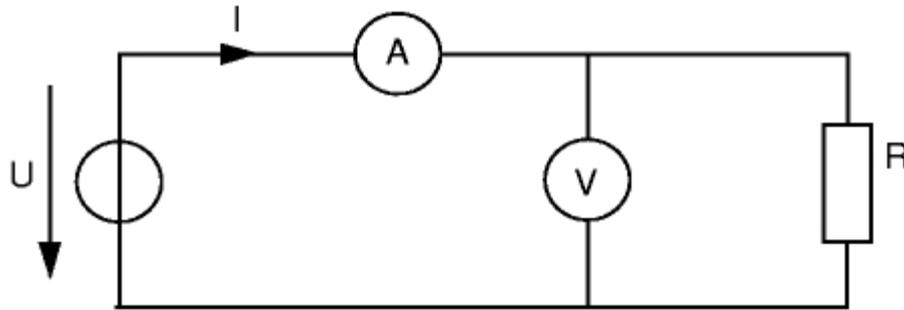


Calculez la résistance électrique R de la lampe.

Electricité (notions de base)

Le courant continu

Résistance électrique, lois d'Ohm et de Joule



données : $U = 48 \text{ V}$
 $I = 24 \text{ mA}$

inconnue : $R = ?$

Application numérique : $R = U/I = 48 / 24 \times 10^{-3} = 2000 \Omega = 2 \text{ k}\Omega$

La résistance a une valeur de 2000Ω .

Il est plus aisé d'écrire sa valeur en utilisant la notation scientifique : $2 \text{ k}\Omega$.

Electricité (notions de base)

Le courant continu

Résistance électrique, lois d'Ohm et de Joule

L'effet Joule est le dégagement de chaleur dû à tout conducteur parcouru par un courant.

Cette énergie électrique W est égale à : **$W = R I^2 t$**

Avec : W en Joules, R en ohms, I en ampères, t en secondes.

Puissance thermique dissipée

La puissance thermique dissipée par le dipôle correspond à la puissance électrique, P absorbée. **$P = UI = RI^2 = U^2/R$**

Avec : P en watts, U en volts, I en ampères, R en ohms.

Intérêt des lampes à incandescence 110 volts et basse tension ?

À puissance égale, le filament est plus gros donc durée de vie plus longue.

Electricité (notions de base)

Le courant continu

Mesure de la résistance R

Dans la pratique, il existe un appareil de mesure appelé ohmmètre .



Cet appareil possède une pile (source de tension U continue) et un ampèremètre, dont l'échelle est graduée en ohm. Sa manipulation demande une attention particulière.

Il ne faut pas appliquer la tension électrique du réseau aux bornes de l'Ohmmètre.

Pour calibrer l'Ohmmètre sur le zéro, vous fermez le circuit en joignant les bornes de l'ohmmètre. La résistance est quasi-nulle, I est grand. Il est nécessaire de le faire à chaque changement d'échelle.

Application :

Un ohmmètre fournit une tension de 1.5 V sur ses bornes. Lorsque l'on effectue une mesure de résistance, il circule un courant de 3.8 mA.

Quelle est la valeur de la résistance mesurée ?

Données : $U = 1.5 \text{ V}$ $I = 3.8 \text{ mA}$ inconnue : $R = ?$

Application numérique : $R = U/I = 1,5/3,8 \times 10^{-3} = 394,73 \text{ } \Omega$

Electricité (notions de base)

Le courant continu

Propriété de la résistance R

La résistance électrique R, définie précédemment, est dépendante de 3 paramètres.

- Le premier paramètre est la nature du matériau, c'est-à-dire sa résistivité (ρ) [Ωm].
- Le deuxième paramètre est la longueur l du matériau.
- Le troisième paramètre est la section S du matériau.

Un conducteur filiforme a une section droite constante.

La résistance de ce conducteur homogène est

- proportionnelle à sa longueur l,
- inversement proportionnelle à sa section S,
- fonction de la nature du matériau qui le *constitue* caractérisé par un coefficient ρ appelé *résistivité*.

$$R = \rho l / S$$

Avec **R** en Ohms, **ρ** en Ohms-mètre, l en mètres, **S** en m^2

Nota : La résistance des conducteurs métalliques augmente avec la température

Electricité (notions de base)

Le courant continu

Propriété de la résistance R

Exemples pratiques :

Un fil de cuivre (conducteur) a une résistivité plus faible qu'un fil de verre qui est un isolant.

MATIERE	RESISTIVITE [$\Omega.m$]
cuivre	$1.75 \cdot 10^{-8}$
aluminium	$2.9 \cdot 10^{-8}$
verre	∞

$$R = \rho l / S$$

Si nous doublons la longueur l , la résistance électrique R du fil doublera aussi.

Plus le diamètre d du conducteur électrique est grand, plus la section S est grande et plus la résistance électrique R est petite. Plus notre conducteur va laisser passer les électrons de conduction.

Electricité (notions de base)

Le courant continu

Propriété de la résistance R

Exemple de calcul :

Une bobine de fil de cuivre mesure 100 m. Sachant que le diamètre d du fil mesure 1.38 mm, calculer la résistance de cette bobine au point de vue électrique.

Données : $l = 100 \text{ m}$

$d = 1.38 \text{ mm} \Rightarrow 1.38 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

$\rho_{\text{Cu}} = 1.75 \cdot 10^{-6} [\Omega\text{m}]$ Inconnue : $R = ?$

$$\text{Relations } R = (\rho_{\text{Cu}} \times l) / S \quad S = \pi \times d^2 / 4$$

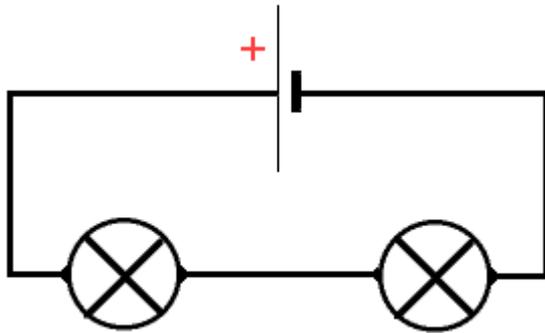
$$\text{Application numérique : } S = \pi \times d^2 / 4 = \pi (1,38 \times 10^{-3})^2 / 4 = 1,50 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$R = (\rho_{\text{Cu}} \times l) / S = 1,75 \times 10^{-8} \times 100 / 1,50 \times 10^{-6} = 1,17 \Omega$$

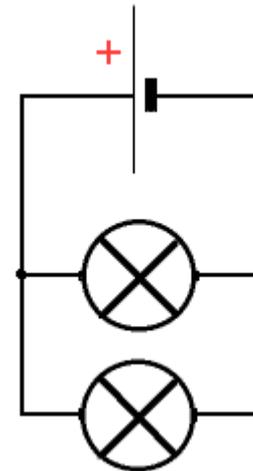
Electricité (notions de base)

Le courant continu

Groupement d'appareils, montage en série ou dérivation



Le courant passe dans la **première lampe ET** dans **l'autre**. Il n'existe qu'un seul circuit possible pour le courant.



Le courant passe dans la **première lampe OU** dans **la deuxième lampe**. Le courant se partage en arrivant au carrefour (**nœud**).

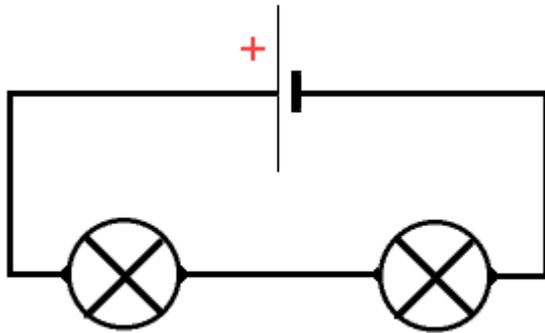
Une **branche** est une portion de circuit entre deux nœuds.

La **branche principale** est celle du générateur. Les deux dipôles fonctionnent indépendamment l'un de l'autre.

Electricité (notions de base)

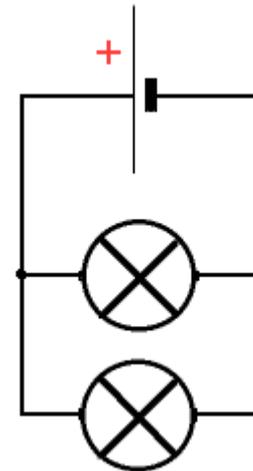
Le courant continu

Groupement d'appareils, montage en série ou dérivation



L'intensité du courant à la **même valeur** en tous les points d'un circuit série.

Deux dipôles en série sont traversés par un même courant.



Dans un circuit en dérivation, l'intensité du courant dans la **branche principale** est égal à la **somme des intensités des courants** dans les branches dérivées.

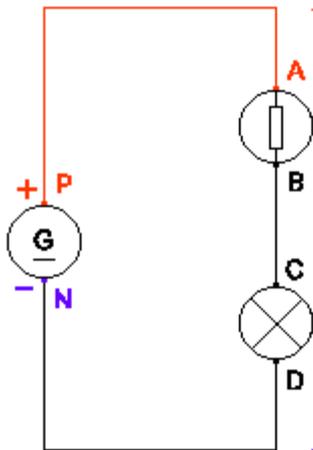
La somme des intensités des courants qui arrivent à un nœud est égal à la somme des intensités des courants qui en partent.

Electricité (notions de base)

Le courant continu

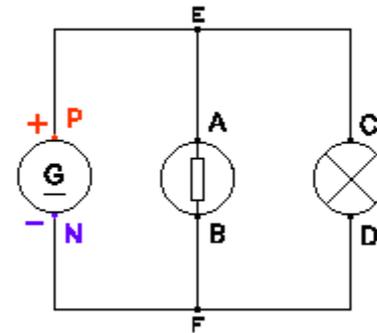
Groupement d'appareils, montage en série ou dérivation

Additivité des tensions dans un circuit série



$$U_{PN} = U_{AD} = U_{AB} + U_{CD}$$

Egalité des tensions dans un circuit en dérivation.



$$U_{PN} = U_{EF} = U_{AB} = U_{CD}$$

Electricité (notions de base)

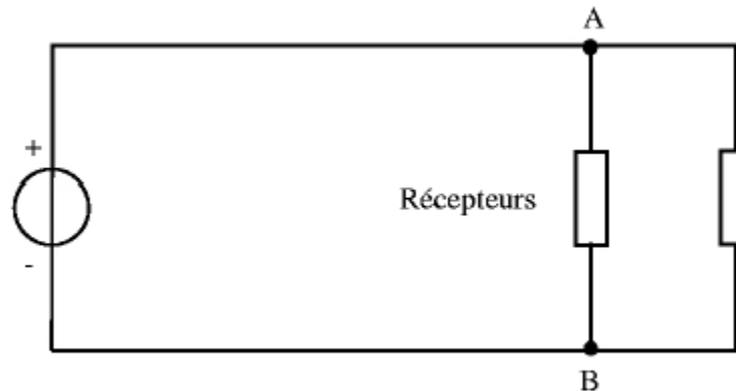
Le courant continu

Groupement de résistances, couplage parallèle

Le couplage parallèle est une association de récepteurs soumis à la même tension électrique U .

En pratique, toutes les prises électriques domestiques possèdent une tension électrique U de 230 V.

Le schéma électrique d'une installation électrique comprenant, par exemple, une lampe de chevet, un spot lumineux bleu, se dessine ainsi :



Electricité (notions de base)

Le courant continu

Groupement de résistances, couplage parallèle

Application de la loi de Kirchhoff des nœuds

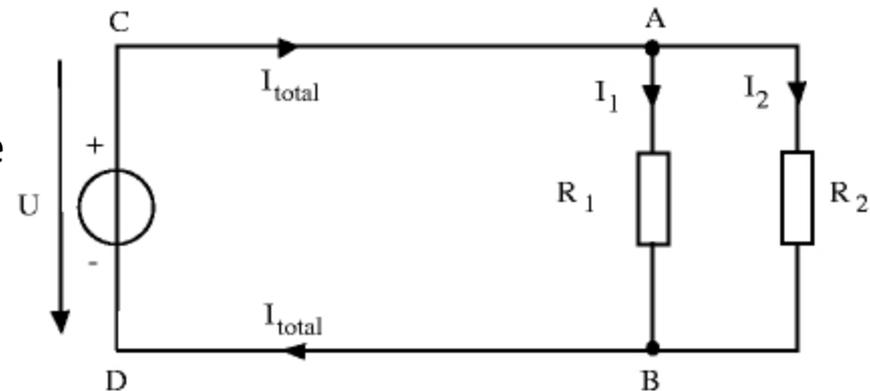
Le schéma possède 2 nœuds appelés A et B.

Au nœud A, le courant électrique I se partage dans les conducteurs électriques formant les branches.

Au nœud B, les courants de branches I_1 et I_2 se regroupent.

L'application de la loi de Kirchhoff des nœuds se traduit par $I_{\text{total}} = I_1 + I_2$

Le courant électrique total I_{total} représente la somme algébrique des courants partiels au nœud A.



Electricité (notions de base)

Le courant continu

Groupement de résistances, couplage parallèle

Application de la loi de Kirchhoff des nœuds

Exemple d'application numérique:

Une lampe possède une résistance R de 800Ω .

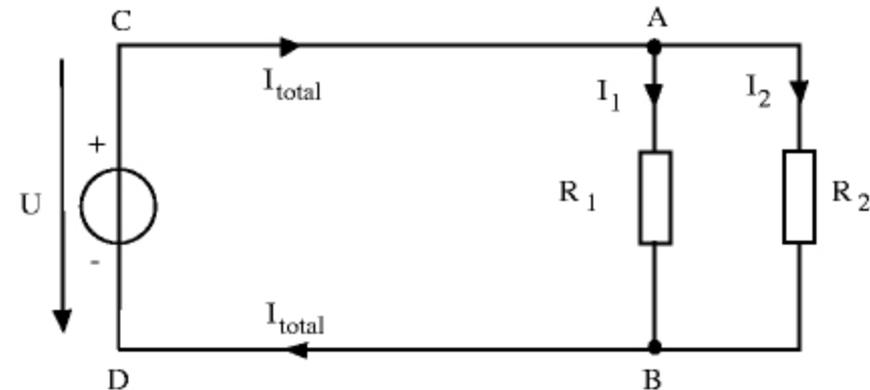
La tension électrique U doit être de 230 V .

Un spot lumineux bleu possède une résistance R de 32Ω . La tension électrique U est de 230 V .

Calculer le courant électrique I circulant dans les conducteurs reliant la prise électrique (source de tension U) aux récepteurs.

Données: $R_1 = 800 \Omega$ $R_2 = 32 \Omega$ $U = 230 \text{ V}$

Inconnue: $I = ?$



Relations: $U_{total} = \Sigma U_{partielles}$ $I_{total} = \Sigma I_{partielles}$

Electricité (notions de base)

Le courant continu

Groupement de résistances, couplage parallèle

Application de la loi de Kirchhoff des nœuds

En premier, il faut placer des points de repères pour faciliter la résolution du problème. (nœuds, courant électrique I , tension électrique U)

Nous devons rechercher d'abord les courants I_1 et I_2 $I_{\text{total}} = \Sigma I_{\text{partielles}}$

tension électrique U_{totale} de la prise = 230 V

tension électrique $U_{\text{partielle}}$ appliquée aux récepteurs = 230V

$$U_{\text{totale}} = U_{CD} = 230 \text{ V} \quad U_{\text{partielle}} = U_{AB} = 230 \text{ V}$$

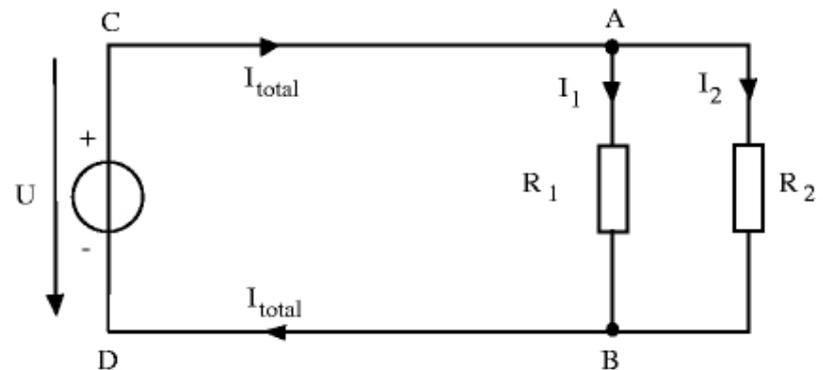
$$U_{CD} = U_{AB} = 230 \text{ V}$$

$$I_1 = U_{AB} / R_1 = 230 / 800 = 0,2875 \text{ A}$$

$$I_2 = U_{AB} / R_2 = 230 / 32 = 7,1875 \text{ A}$$

Somme des courants au nœud A :

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 = 0,2875 + 7,1875 = 7,475 \text{ A}$$



Cette méthode de calcul permet de dimensionner les fusibles ou disjoncteurs protégeant les récepteurs électriques, ainsi que la dimension des conducteurs.

Electricité (notions de base)

Le courant continu

Groupement de résistances, couplage parallèle

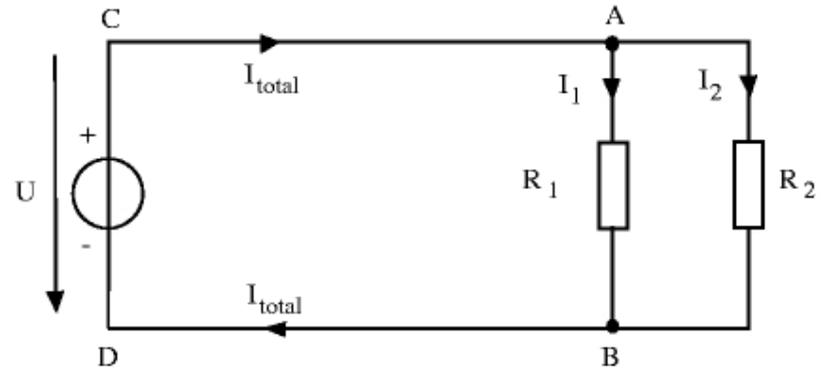
Résistance équivalente R_{eq} d'un montage parallèle

Le dipôle équivalent au groupement dérivation est égal à une résistance dont la valeur de son inverse est la somme des inverses des résistances du groupement.

Résistance équivalente,

$$1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 = G_1 + G_2$$

$$R_{eq} = 1/(1/R_1 + 1/R_2)$$



Application numérique de l'exemple précédent :

$$R_{eq} = 1/(1/R_1 + 1/R_2) = 1/(1/800 + 1/32) = 30,77 \Omega$$

Electricité (notions de base)

Le courant continu

Groupement de résistances, couplage série

En pratique, les couplages série sont utilisés dans les installations de cuisinières électriques ou autres appareils calorifiques tels que radiateurs, chauffe-eau, chaudières.

L'avantage de ce couplage série réside par le fait qu'il est possible de modifier la grandeur du courant électrique I en fonction des différentes positions des interrupteurs.



Le courant électrique I est constant dans un circuit série.

Electricité (notions de base)

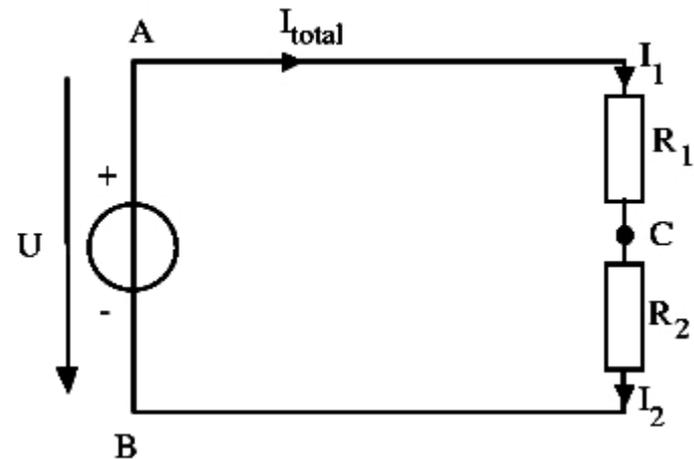
Le courant continu

Groupement de résistances, couplage série

Le schéma possède 2 résistances R parcourues par un courant électrique I.

Sachant qu'une résistance R parcourue par un courant électrique I est l'application de la loi d'Ohm, nous pouvons en déduire que chaque résistance R possédera une tension électrique U en rapport aux grandeurs électriques R et I.

Loi d'Ohm: $U = R \cdot I$



L'application de la loi de Kirchhoff des mailles se traduit par :

$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB}$$

Electricité (notions de base)

Le courant continu

Groupement de résistances, couplage série

Résistance équivalente R_{eq} d'un montage série

Le dipôle équivalent au groupement série est égal à une résistance dont la valeur est la somme des résistances du groupement.

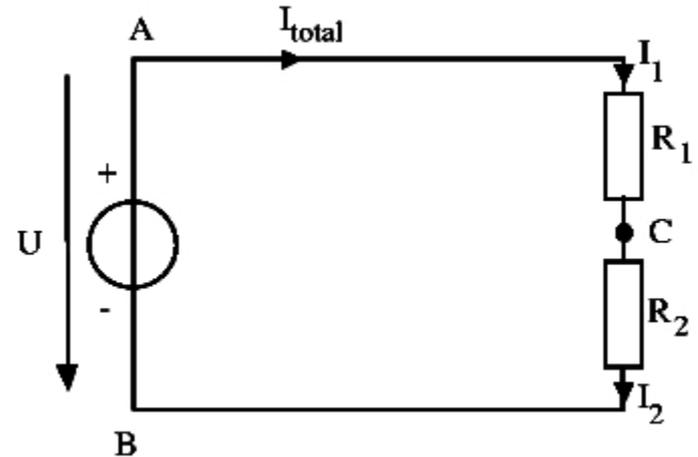
$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB} \quad U_{AB} = (R_1 \cdot I) + (R_2 \cdot I)$$

Comme le courant électrique I est constant, nous allons exprimer cette relation en mettant le terme I en évidence.

$$U_{AB} = (R_1 + R_2) \cdot I$$

Le terme U_{AB} / I est égal à la résistance équivalente du montage car I est le courant électrique I_{TOTAL} .

Nous pouvons donc écrire que, dans un montage série : $R_{eq} = R_1 + R_2$



Electricité (notions de base)

Le courant continu

Groupement de résistances, couplage série

Résistance équivalente R_{eq} d'un montage mixte

Le courant I_{total} passe au point C, puis traverse la résistance de ligne aller R_{CA} pour rejoindre le nœud A. Ce courant total I_{total} traversera d'autres éléments du circuit.

C'est donc un couplage de type série.

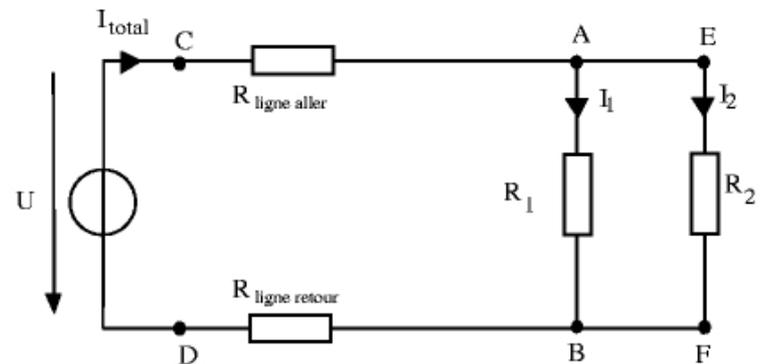
Au nœud A, le courant I possède 2 chemins, à travers les résistances R_{AB} et R_{EF} pour aboutir au nœud B.

C'est donc un couplage de type PARALLELE.

Au nœud B, les courants partiels I_1 et I_2 se rejoignent.

Le courant total I_{total} traverse alors la résistance de ligne retour R_{BD} pour aboutir au point D. Nous constatons que nous sommes en présence d'un couplage série.

Cette suite de couplage implique que nous sommes en présence d'un COUPLAGE MIXTE.



Electricité (notions de base)

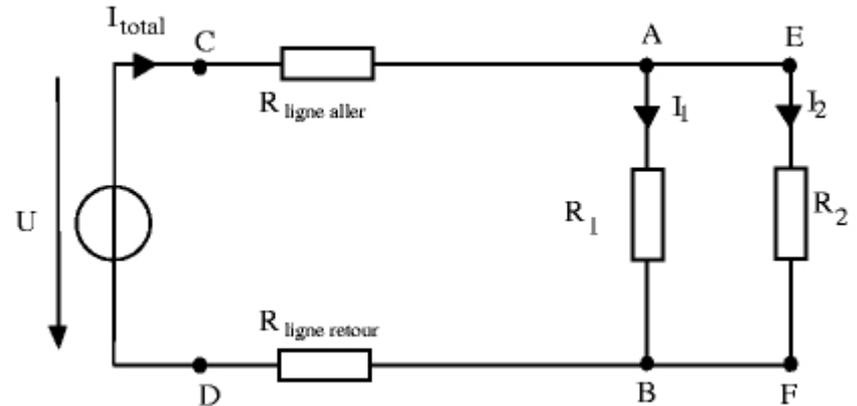
Le courant continu

Groupement de résistances, couplage série

Résistance équivalente R_{eq} d'un montage mixte

Nous allons simplifier notre schéma en remplaçant les 2 résistances en parallèle par une seule résistance équivalente R_{AB} .

$$1/R_{eqAB} = 1/R_1 + 1/R_2$$



Ensuite nous calculons la résistance équivalente R_{eq} de l'ensemble :

$$R_{eq} = R_{CA} + R_{eqAB} + R_{BD}$$

Electricité (notions de base)

Régime variable

Quand les grandeurs courants et tensions varient avec le temps le régime est dit **variable**.

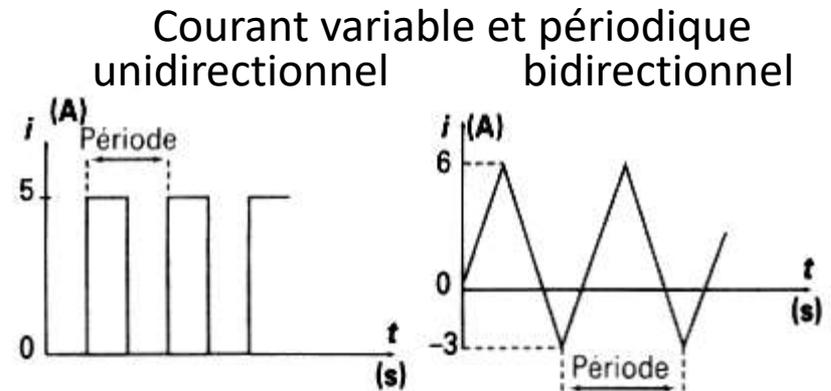
Selon leur sens de variation on distingue

- les **courants unidirectionnels** qui circulent toujours dans le même sens
- les **courants bidirectionnels** qui ne circulent pas toujours dans le même sens.

Période-fréquence

La période d'un courant périodique est l'intervalle de temps constant T qui sépare deux instants consécutifs où le courant se reproduit identiquement à lui-même. La fréquence est l'inverse de la période.

La **période** dont le symbole est T s'exprime en **secondes** (s) ; la **fréquence** correspond au nombre de **périodes par secondes**, son symbole est f .

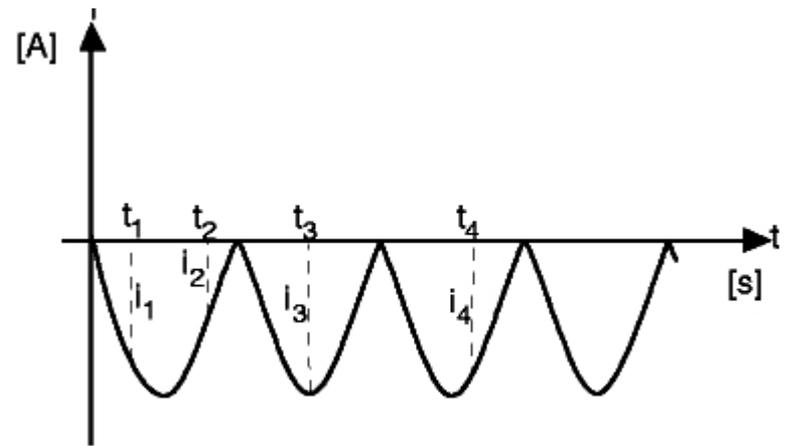
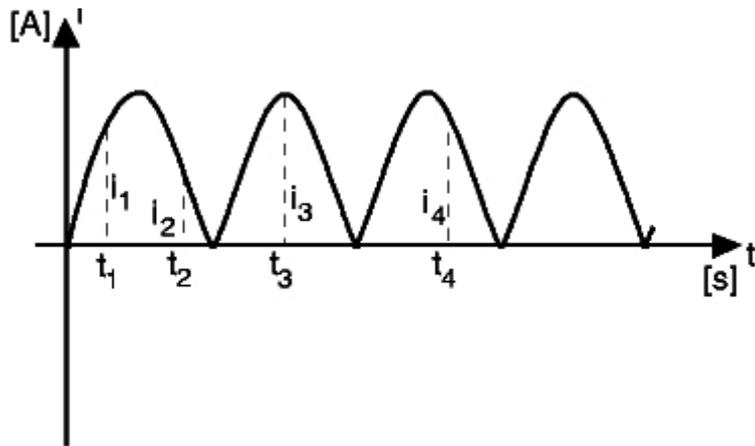


$$f=1/T$$

Electricité (notions de base)

Régime variable, formes de courants

Courants pulsés



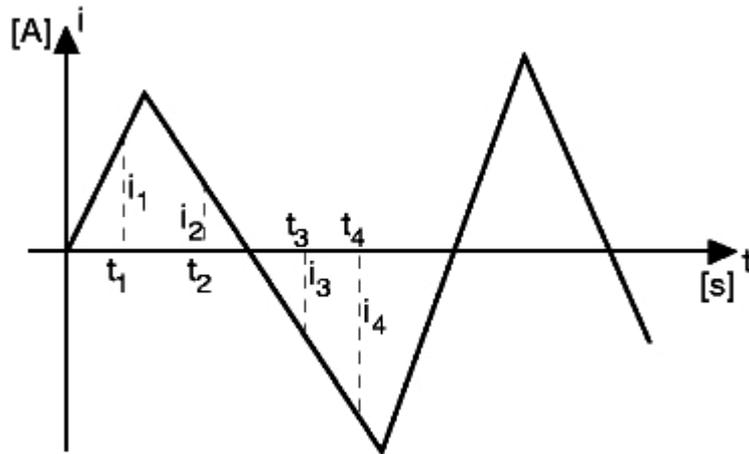
Seule la valeur instantanée du courant change.
Son sens est toujours le même

$$i_1 \neq i_2 \neq i_3 \neq i_4$$

Electricité (notions de base)

Régime variable, formes de courants

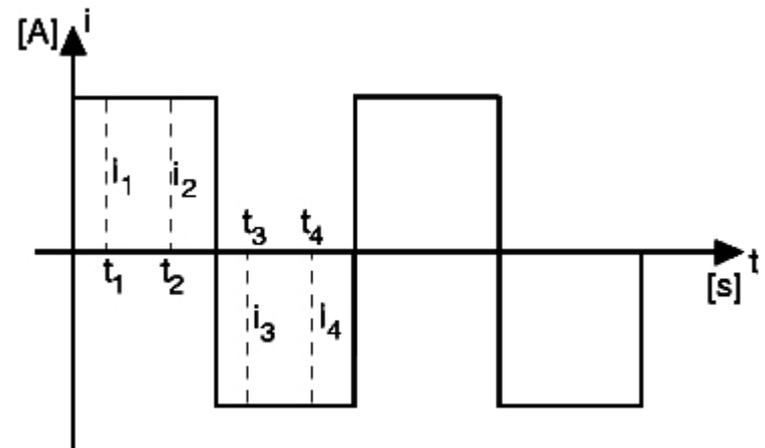
Courant alternatif triangulaire



La valeur et le sens du courant instantané changent.

$$i_1 \neq i_2 \neq i_3 \neq i_4$$

Courant alternatif carré



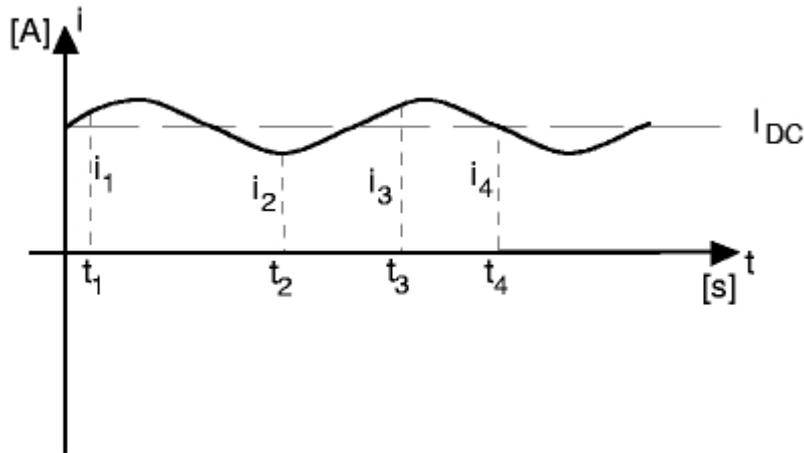
Seul le sens du courant instantané change mais pas sa valeur.

$$i_1 = i_2 \text{ et } i_3 = i_4 \text{ mais } i_2 \neq i_4$$

Electricité (notions de base)

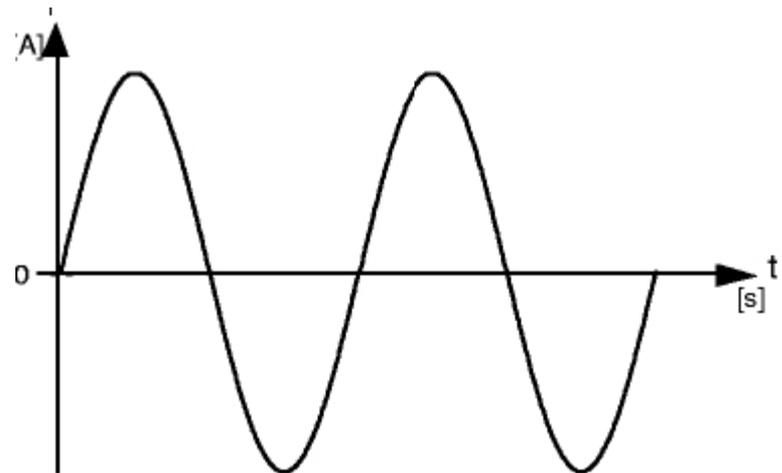
Régime variable, formes de courants

Courant ondulé



La valeur instantanée du courant change mais n'atteint plus la valeur 0. I_{DC} en pointillé correspond à la valeur moyenne des i

Courant alternatif sinusoïdal



La valeur instantanée du courant change périodiquement de sens et de valeur

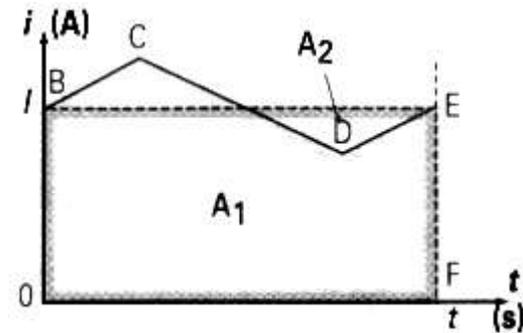
Electricité (notions de base)

Régime variable, valeurs caractéristiques

Valeurs maximale et moyenne

Les grandeurs **tension u** et **intensité i** d'un courant variable changent de valeur à chaque instant. Elles se caractérisera par :

- des valeurs **maximales** notées \hat{U}, \hat{I} ; qui correspondent à **la valeur de crête** de la grandeur.
- des valeurs **moyennes** notées \bar{U}, \bar{I} . C'est la valeur d'un courant continu qui transporterait, pendant le même temps, la même quantité d'électricité ;

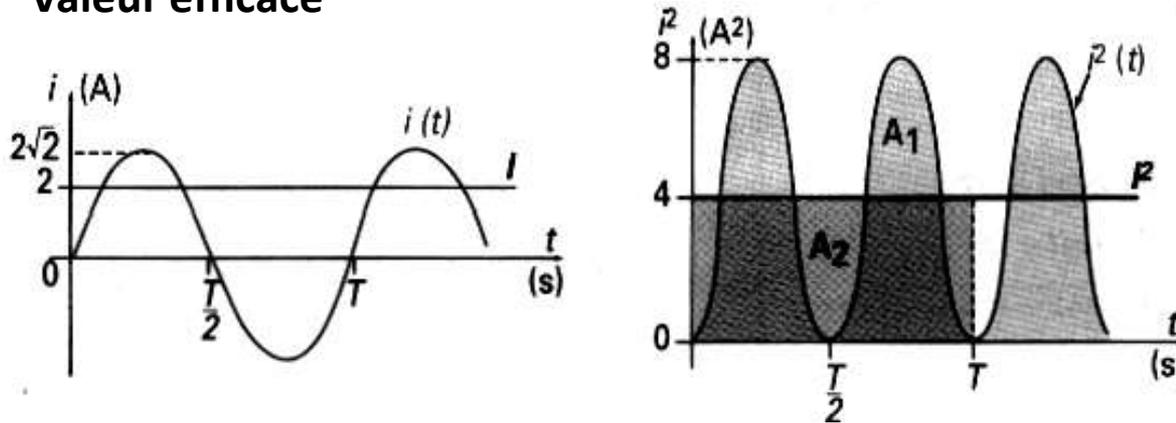


A_1 est l'aire de la surface OBCDEF
 A_2 est l'aire du rectangle OBEF
Si $A_1 = A_2$ alors I est la valeur moyenne de $i(t)$.

Electricité (notions de base)

Régime variable, valeurs caractéristiques

Valeur efficace



Pendant une période T , le courant continu I produit le même dégagement de chaleur (aire A_2) que le courant variable $i(t)$.

Les valeurs **efficaces** sont notées **U** , **I** . *La valeur efficace d'un courant variable est égale à l'intensité d'un courant continu qui produirait, dans la même résistance le même dégagement de chaleur.*

Electricité (notions de base)

Rappels en trigonométrie

Radian

Définition :

Un radian équivaut à l'angle qui, ayant son sommet au centre d'un cercle, intercepte sur la circonférence de ce cercle un arc d'une longueur égale à celle du rayon du cercle.

Le cercle trigonométrique est sans unité et son rayon vaut 1 .

L'angle dessiné représente 1 radian. Circonférence $c = 2 \cdot \pi \cdot r = \pi \cdot d$

Dans le cercle trigonométrique le rayon vaut 1 : $r=1$ donc $c= 2 \cdot \pi$

donc : $360^\circ = 2 \cdot \pi \text{ rad}$; $\pi \text{ rad} = 180^\circ$

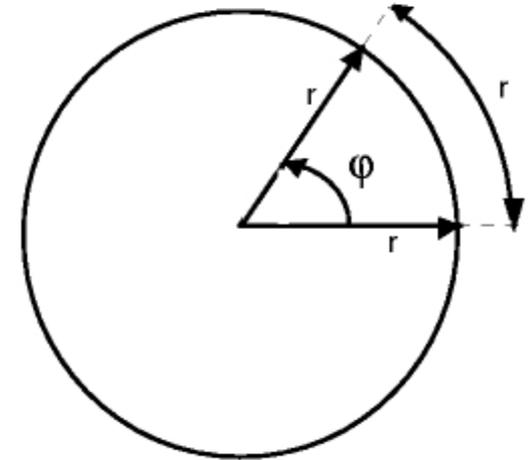
Pour déterminer la correspondance d'un radian en degrés, il faut effectuer le développement suivant :

$$360 = 2 \pi \qquad 1 \text{ radian} = 360 / 2\pi = 180 / \pi \qquad 1 \text{ rad} = 57.2^\circ$$

Pour les conversions, nous utiliserons :

conversion de degrés en radians $x[\text{rad}] = \pi / 180 \times n^\circ$ (x représente la valeur recherchée)

conversion de radians en degrés $x^\circ = 180 / \pi \times n[\text{rad}]$ (n représente le nombre connu)

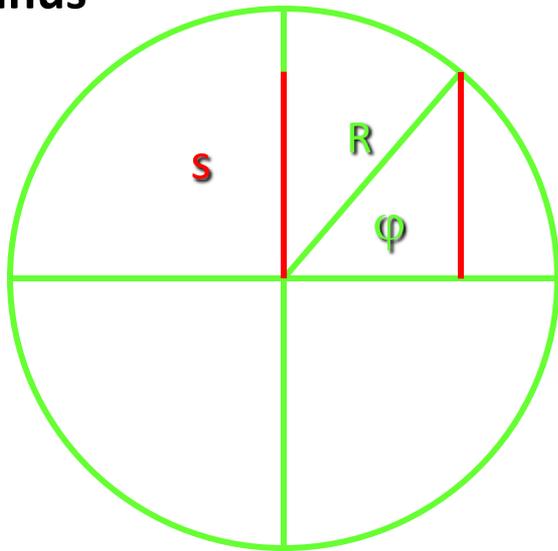


Electricité (notions de base)

Rappels en trigonométrie

Le module représente l'amplitude du rayon vecteur du cercle et l'argument la phase ou l'angle qui le sépare de l'axe des x.

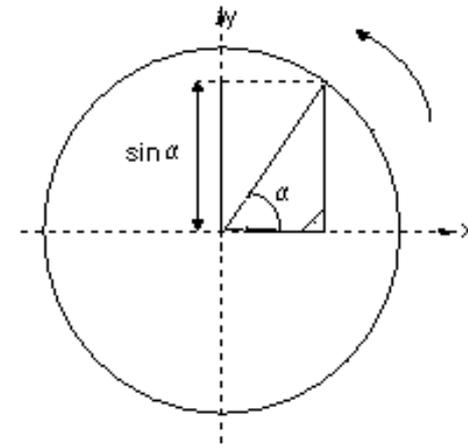
Sinus



$$\text{sinus}(\varphi) = s / R$$

$$\text{sinus}(\varphi) = s$$

$$\text{arc sinus}(s) = \varphi$$

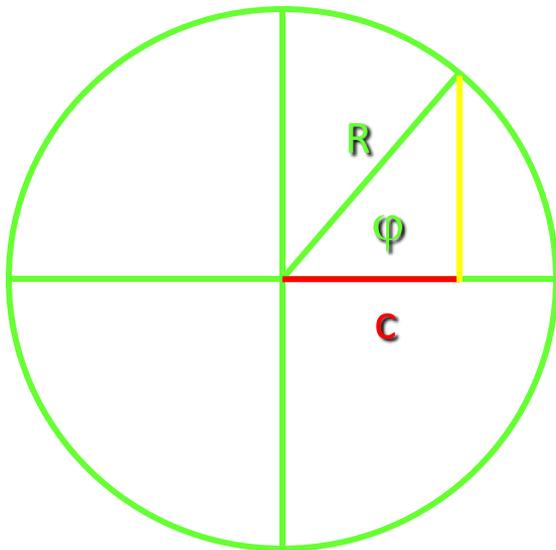


La fonction sinus symbolisée par sin est la projection sur l'axe y du cercle trigonométrique du module et de son argument.

Electricité (notions de base)

Rappels en trigonométrie

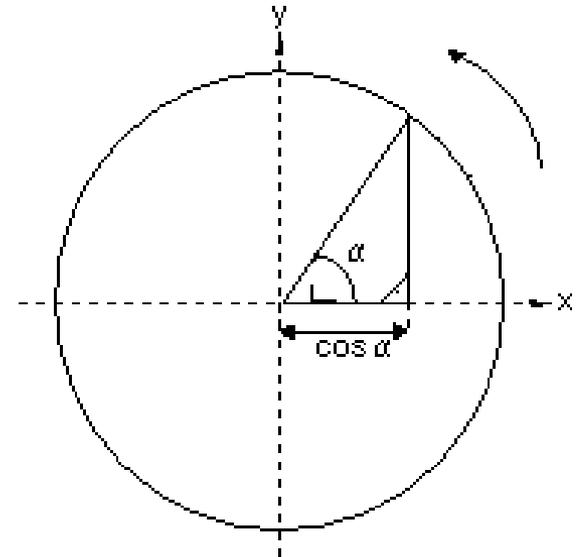
Cosinus



$$\text{cosinus}(\varphi) = c / R$$

$$\text{cosinus}(\varphi) = c$$

$$\text{arc cosinus}(c) = \varphi$$

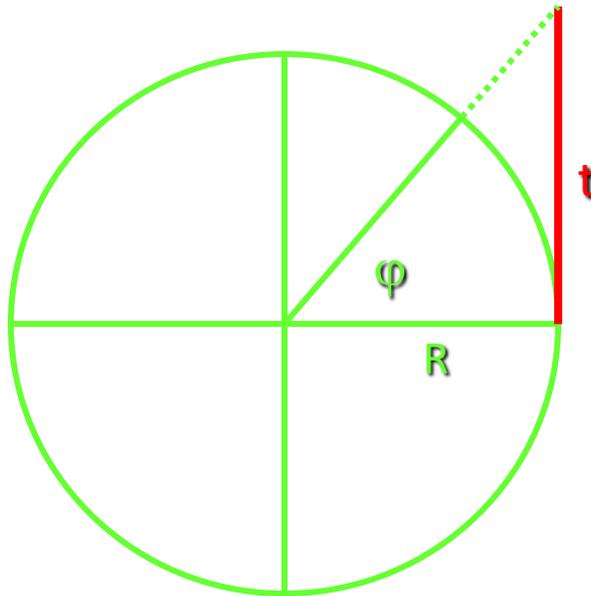


La fonction cosinus, symbolisée par cos, est la projection sur l'axe x du cercle trigonométrique du module et de son argument.

Electricité (notions de base)

Rappels en trigonométrie

Tangente



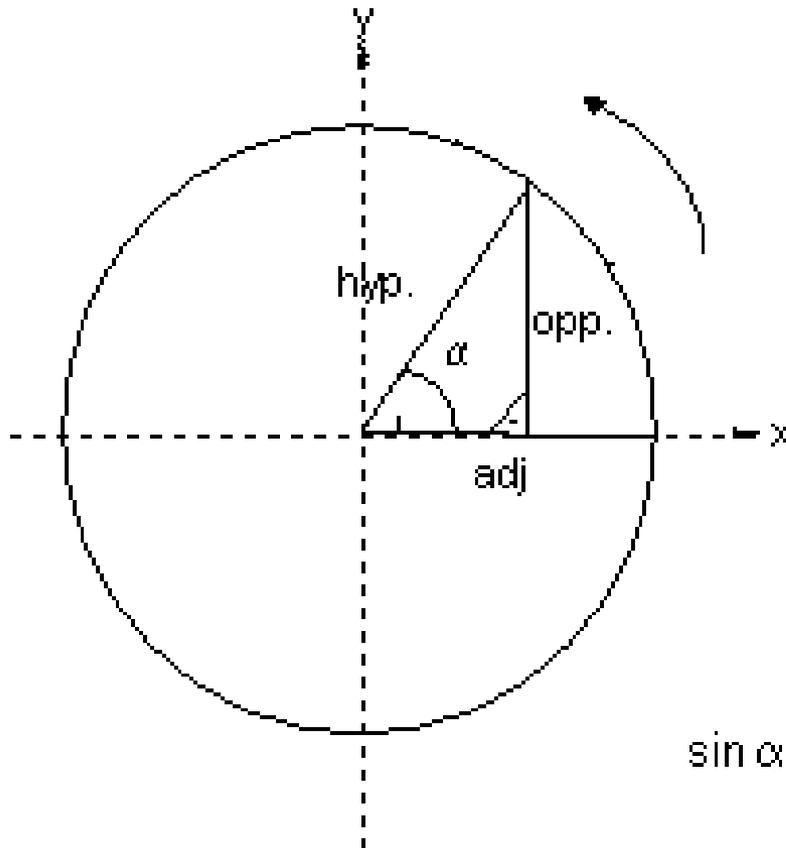
$$\text{tangente}(\varphi) = t / R$$

$$\text{tangente}(\varphi) = t$$

Electricité (notions de base)

Rappels en trigonométrie

Relations trigonométrique



- opp.** → côté opposé à l'angle α
- adj.** → côté adjacent à l'angle α
formant un angle droit avec
le côté opposé
- hyp.** → module
- α** → angle ou argument

$$\sin \alpha = \frac{\text{opp}}{\text{hyp}} \quad \cos \alpha = \frac{\text{adj}}{\text{hyp}} \quad \text{tg } \alpha = \frac{\text{opp}}{\text{adj}}$$

Electricité (notions de base)

Rappels en trigonométrie

Relations trigonométrique

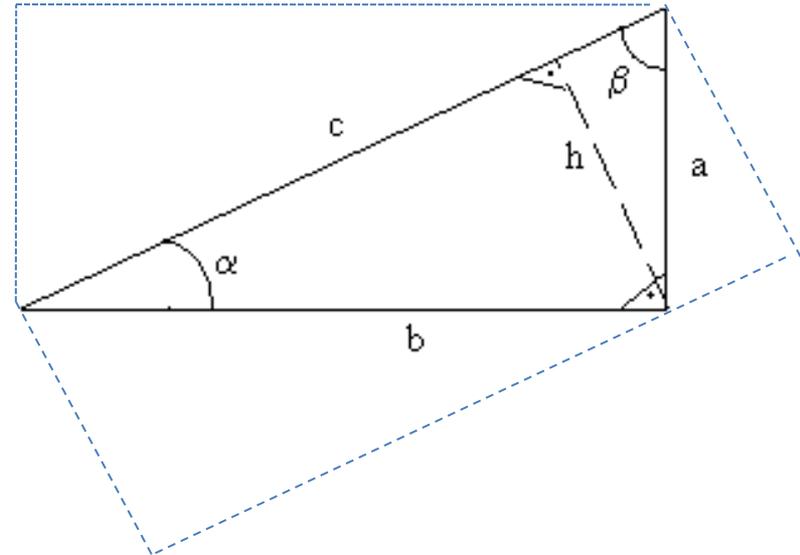
Dimensions d'un triangle rectangle :

a → côté opposé à l'angle α

b → côté adjacent à l'angle α

c → hypoténuse

h → hauteur



la somme des angles est toujours égale à 180°

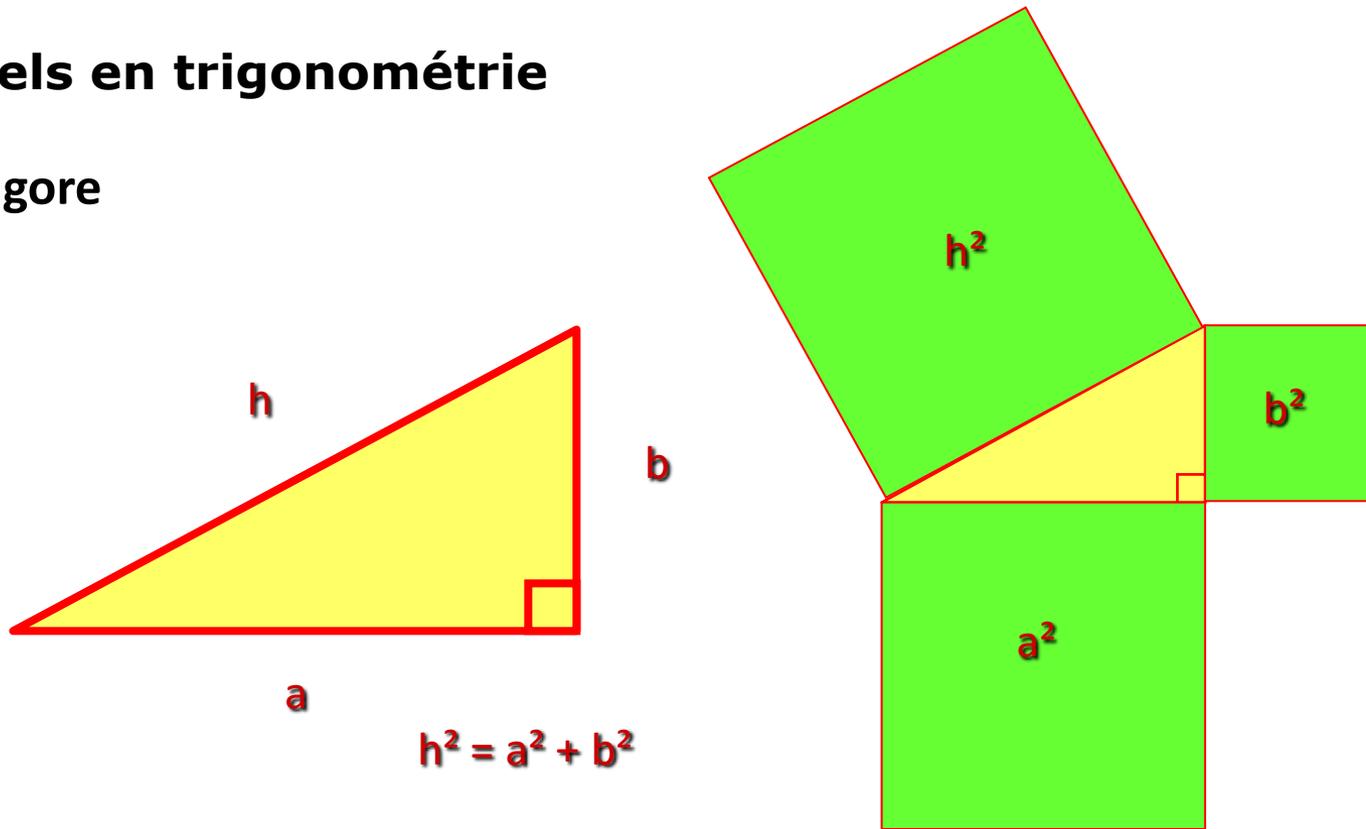
Aire du triangle rectangle : $S = (a \times b)/2 = (h \times c) / 2$

Hauteur : $h = (S \times 2) / c$

Electricité (notions de base)

Rappels en trigonométrie

Pythagore

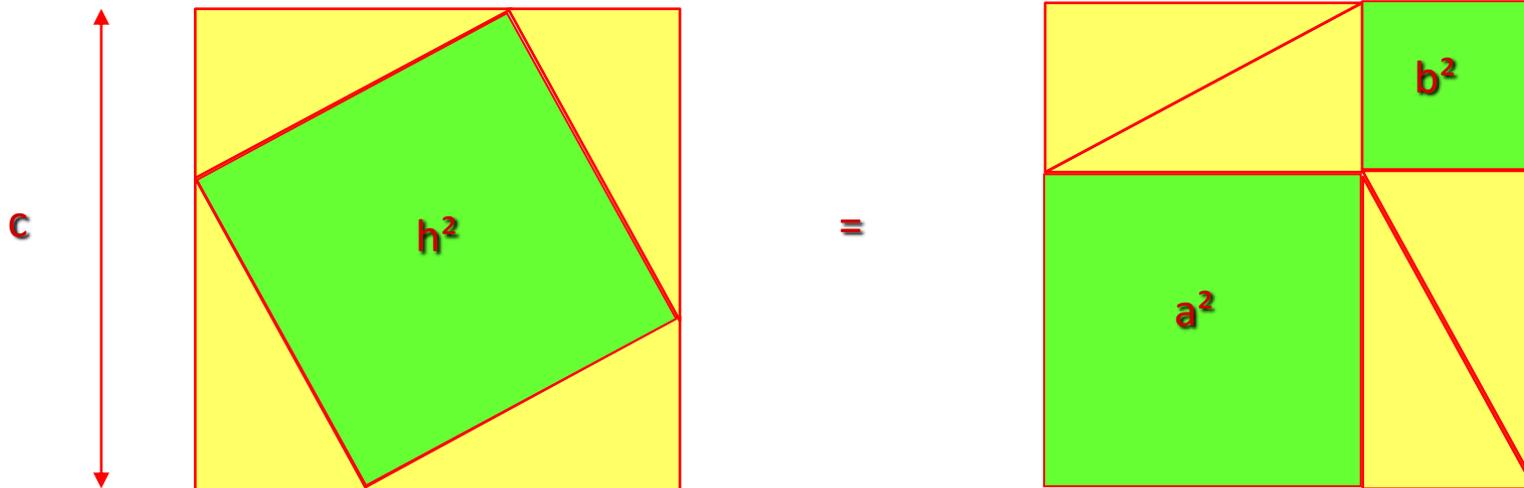


Pythagore (*philosophe et mathématicien grec 500 av. J.-C.*) a démontré que l'hypoténuse d'un triangle rectangle, élevée au carré, est égale à la somme des côtés élevés au carré.

Electricité (notions de base)

Rappels en trigonométrie

Pythagore

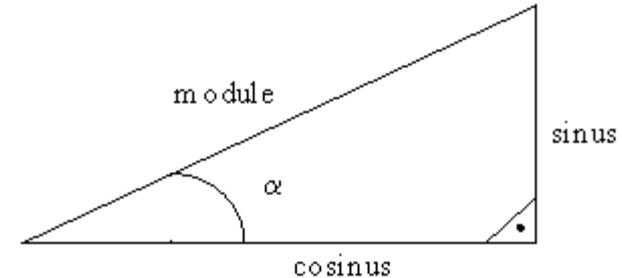
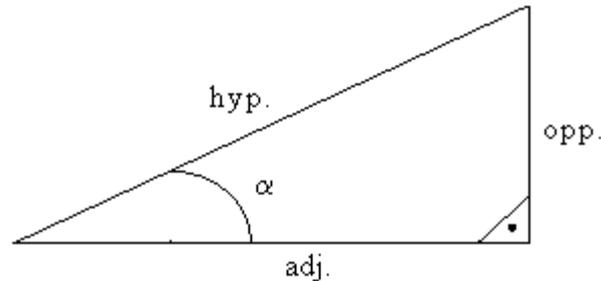


$$c^2 - h^2 = c^2 - (a^2 + b^2)$$

Electricité (notions de base)

Rappels en trigonométrie

Relations trigonométrique



$$\text{hypothénuse}^2 = \text{côté opposé}^2 + \text{côté adjacent}^2$$

$$\text{module}^2 = (\text{module} \times \sin a)^2 + (\text{module} \times \cos a)^2$$

Nous pouvons simplifier cette formule en divisant chaque côté de l'égalité par la valeur " module² " :

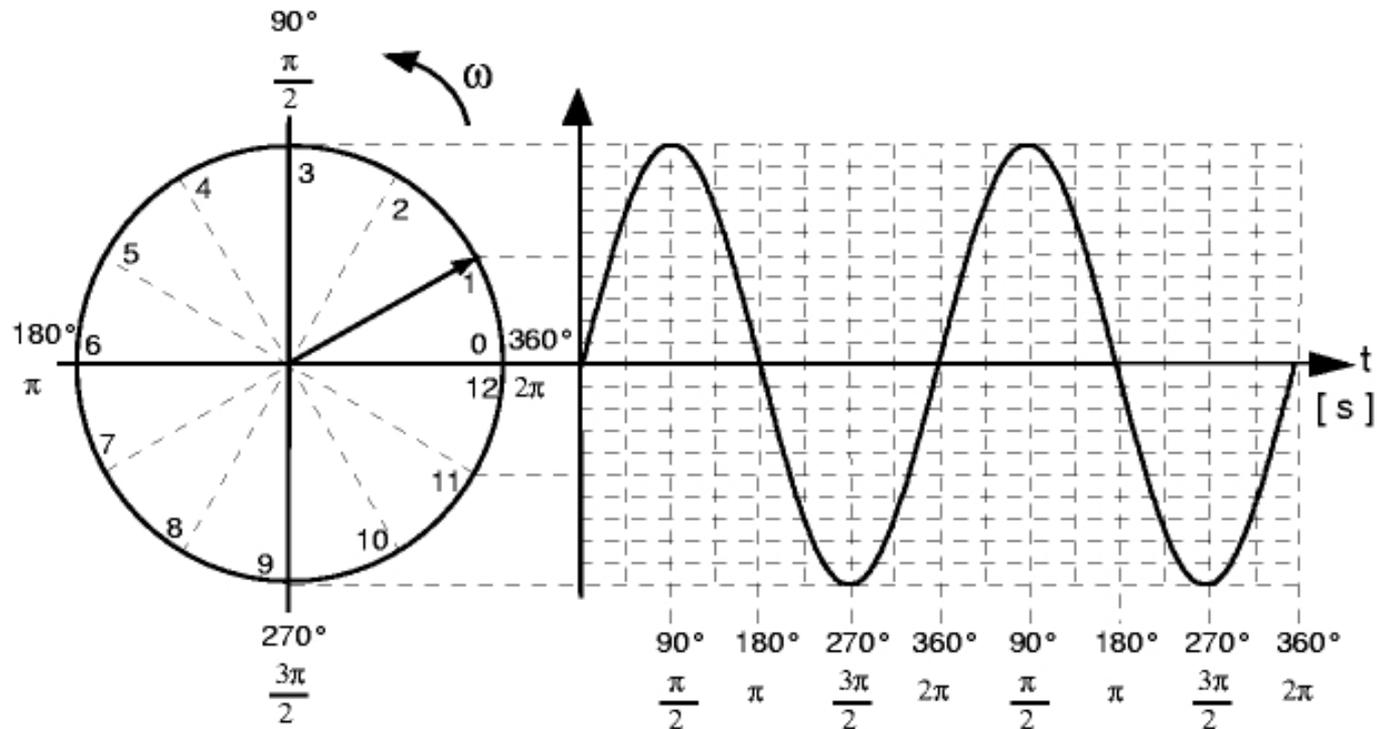
$$\frac{\text{module}^2}{\text{module}^2} = \frac{(\text{module} \cdot \sin \alpha)^2 + (\text{module} \cdot \cos \alpha)^2}{\text{module}^2}$$

$$\text{ce qui implique : } \mathbf{1 = \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Electricité (notions de base)

Rappels en trigonométrie

Représentation temporelle de la rotation du rayon vecteur



Remarque : l'axe horizontal représente l'angle du vecteur tournant, à un moment donné, défini soit en degré, soit en radian.

Electricité (notions de base)

Rappels en trigonométrie

Vitesse angulaire ou pulsation ω (oméga)

La vitesse angulaire, appelée également pulsation, définit le nombre de radians effectués par seconde par le rayon vecteur tournant à l'intérieur du cercle.

formule générale de la vitesse : $V = D / t$ V vitesse ; D distance ; t temps

Dans l'application au cercle trigonométrique : la distance D est remplacée par la circonférence du cercle $2\pi r$ et comme le rayon vaut 1, $c = 2\pi$, le temps t est remplacé par la période T , la vitesse V est remplacée par la vitesse angulaire ω . (ω oméga)

Nous arrivons au développement suivant

$\omega = 2\pi / T$ et comme $T = 1/f$ nous obtenons $\omega = 2\pi / (1/f) = 2\pi f$

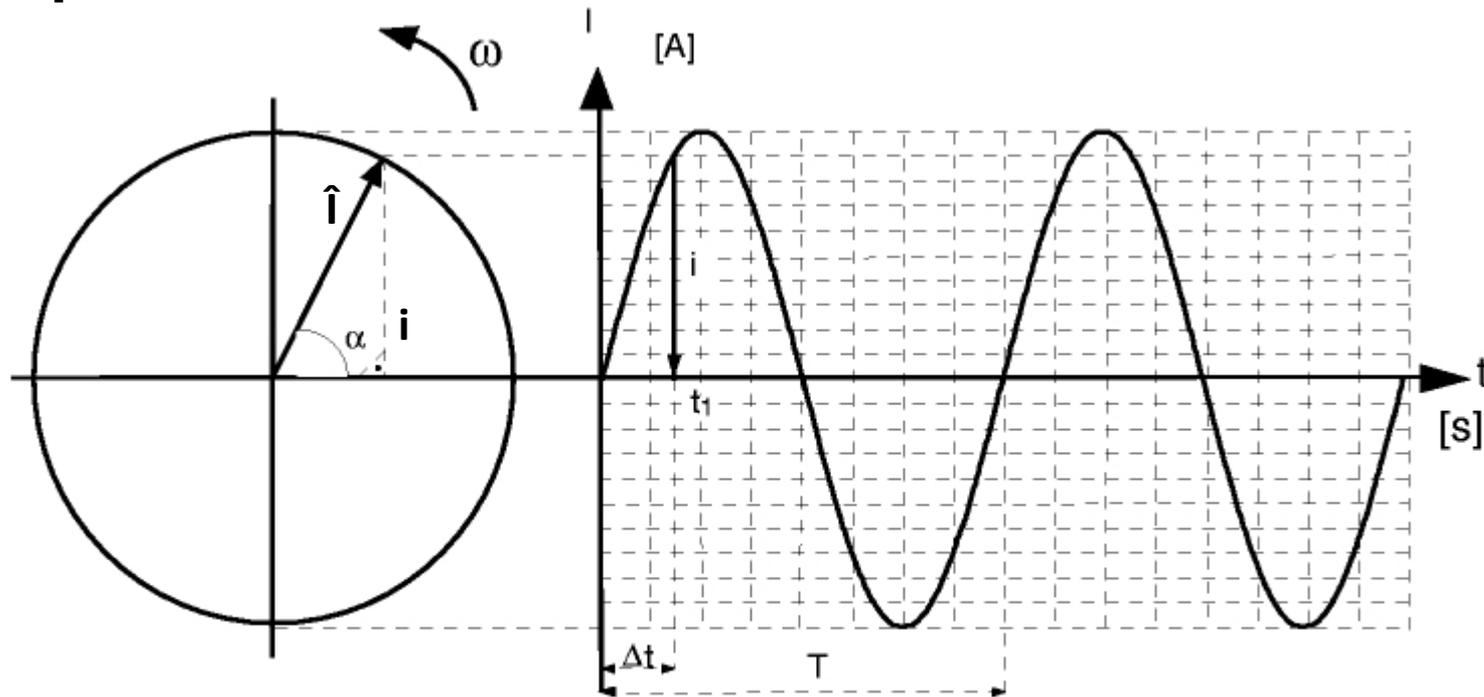
$$\omega = 2\pi f$$

Vitesse angulaire ω exprimée en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ (radians par seconde), la fréquence f est exprimée en Hertz.

En France la pulsation a pour valeur $2 \times 3,14 \times 50 = 314 \text{ rad/s}$

Electricité (notions de base)

Valeur instantanée d'un courant sinusoïdal Représentation de Fresnel



$i = \sin$ de l'angle

en appliquant les relations de trigonométrie nous pouvons dire :

$$\sin \alpha = i / \hat{I} \quad i = \hat{I} \sin \alpha \quad \text{formule (1)}$$

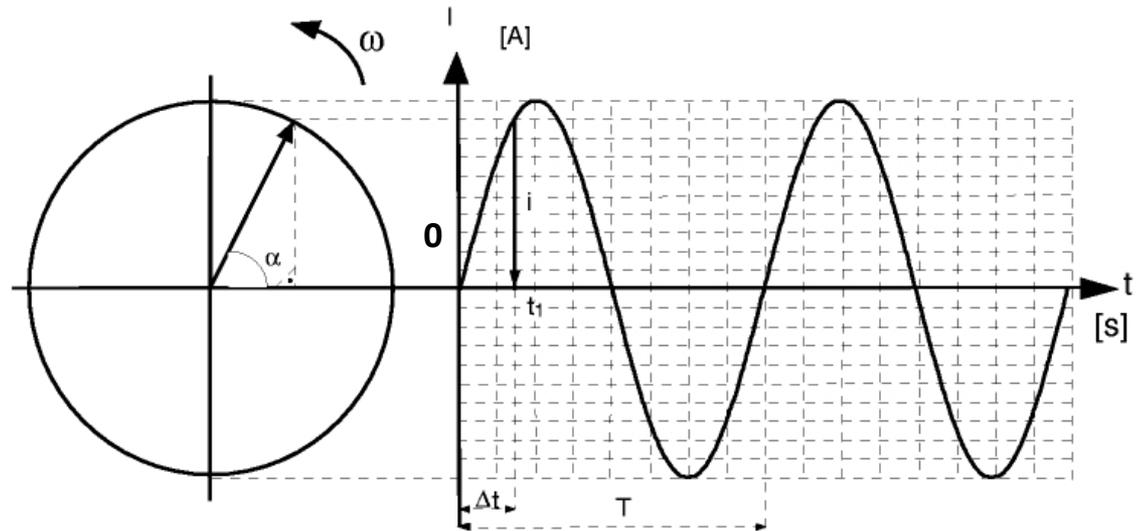
Electricité (notions de base)

Valeur instantanée d'un courant sinusoïdal Représentation de Fresnel

Le vecteur tourne à la vitesse constante ω . (*oméga*)

Le temps nécessaire pour parcourir 2π rad est une période T .

Il est donc possible de poser un rapport permettant de calculer l'angle parcouru durant une différence de temps Δt séparant l'origine 0 du temps t_1 .



$$i = \sin \text{ de l'angle}$$

$$2\pi/T = \alpha/t \quad \alpha = 2\pi \times t / T \quad \text{or nous savons que } 2\pi/T = \omega \quad \text{donc}$$

$$\alpha = \omega t$$

formule (2)

Electricité (notions de base)

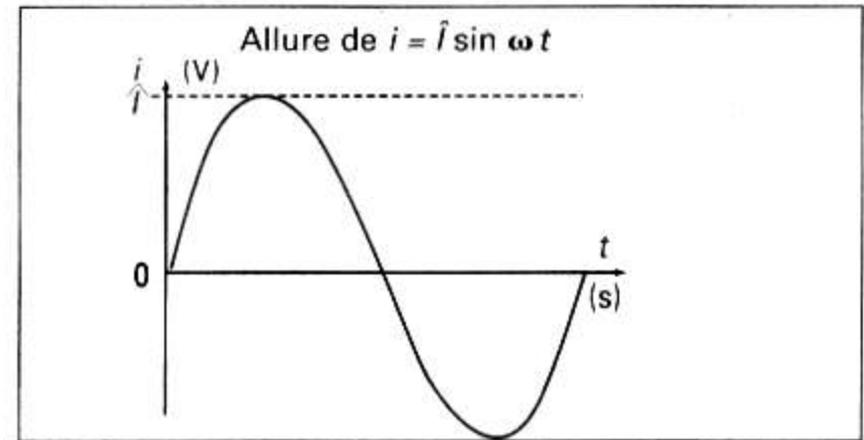
Valeur instantanée d'un courant sinusoïdal Représentation de Fresnel

Plaçons la formule (2) dans la formule (1) :
La valeur instantanée d'une grandeur variable est égale à la valeur qu'elle prend à un instant donné.

Son expression mathématique, pour un courant alternatif sinusoïdal, est de la forme : $i = \hat{i} \sin \omega t$

Avec

\hat{i} valeur maximale de l'intensité en ampères
 ω pulsation en radians par secondes
 ωt phase de la tension à l'instant t.



Electricité (notions de base)

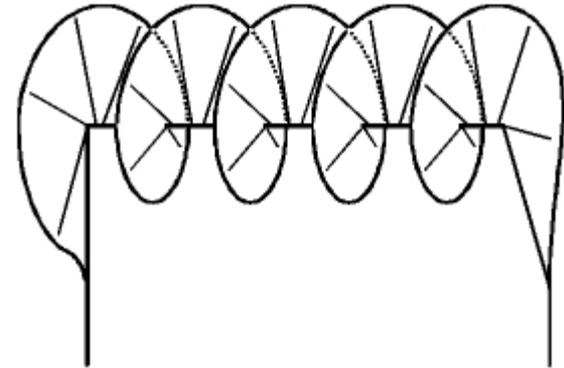
Valeur instantanée d'un courant sinusoïdal Représentation de Fresnel

Remarques :

Le rayon vecteur peut tourner plusieurs fois autour de son axe avec le facteur $k \cdot 2\pi$.

Nous savons que $2\pi = 360^\circ$, ce qui implique que $k \cdot 2\pi = k \cdot 360^\circ$.

Le facteur k représente le nombre (entier) de tours effectué par le rayon vecteur dans le cercle.



Exemple :

$$\alpha = \pi + 2k\pi$$

$$180^\circ + (1 \cdot 360) = 540^\circ$$

$$180^\circ + (2 \cdot 360) = 900^\circ$$

avec $k = 1$

avec $k = 2$

Electricité (notions de base)

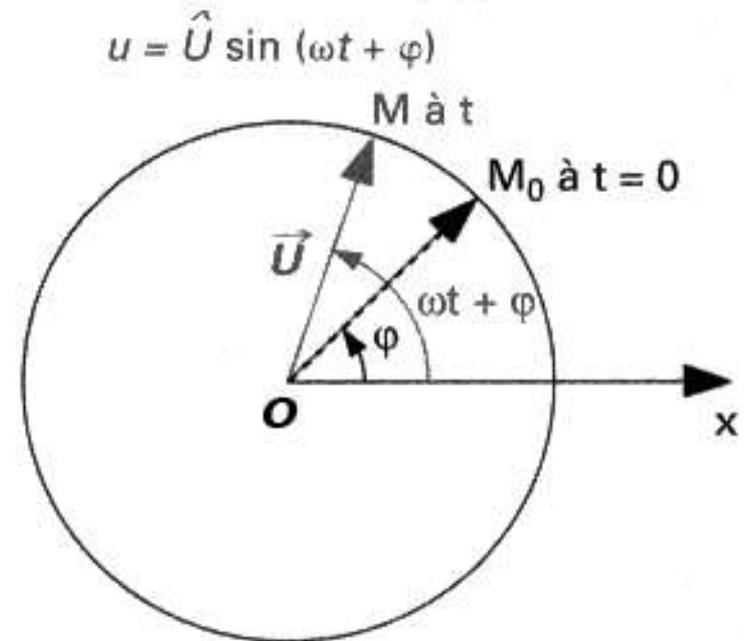
Valeur instantanée d'un courant sinusoïdal Représentation de Fresnel

À toute grandeur sinusoïdale est associé un vecteur \vec{OM} tournant à la pulsation ω :
L'angle que fait ce vecteur avec la direction Ox prise comme origine est égal à la phase à l'instant t ; la phase à l'instant $t = 0$ est notée φ .

Soit : $(\vec{Ox}, \vec{OM}) = \omega t + \varphi$

Le vecteur \vec{OM} est le vecteur de Fresnel associé

- à la tension $u = \hat{U} \sin(\omega t + \varphi)$
- ou à l'intensité $i = \hat{I} \sin(\omega t + \varphi)$.



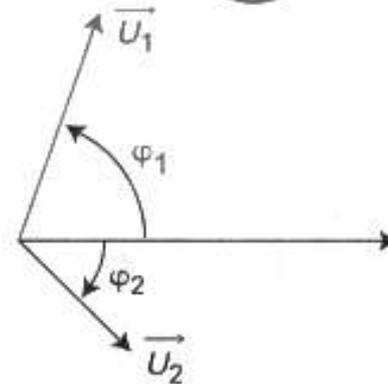
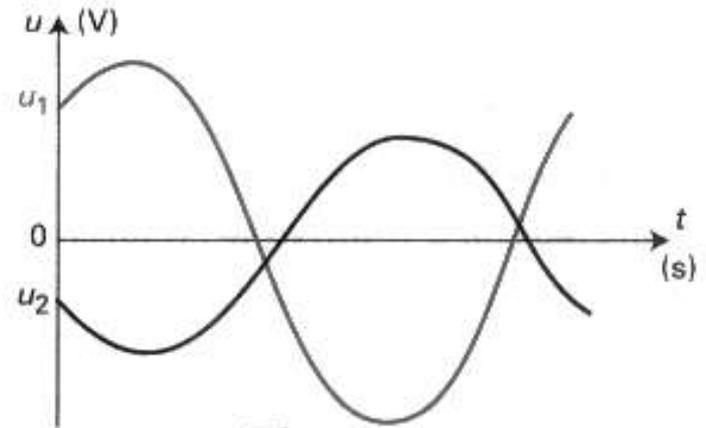
Electricité (notions de base)

Valeur instantanée d'un courant sinusoïdal Représentation de Fresnel de deux grandeurs sinusoïdales

Le déphasage est l'angle que font entre eux deux vecteurs de Fresnel représentatifs de deux grandeurs de même fréquence.

Le déphasage est égal à la différence des phases à l'instant origine : $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$

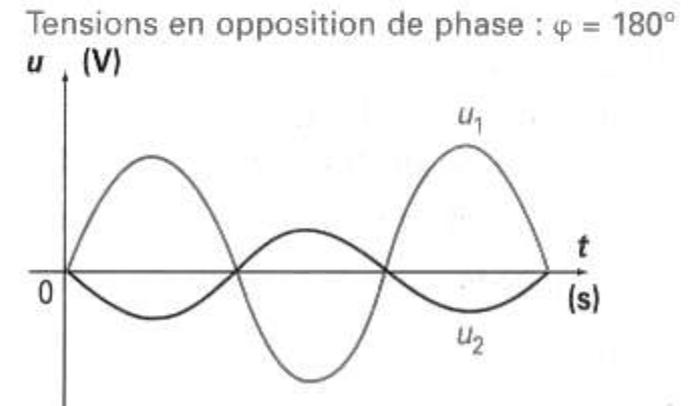
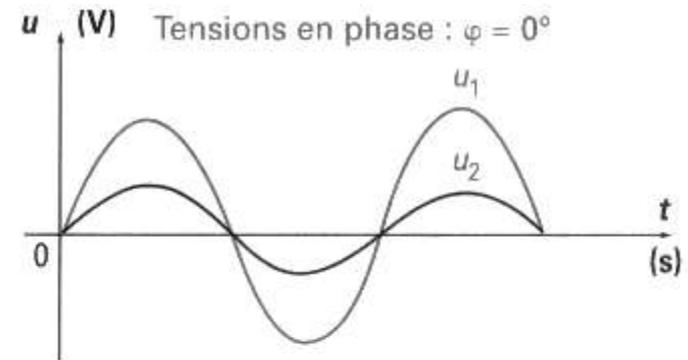
$$u_1 = \hat{U}_1 \sin(\omega t + \varphi_1) \text{ et } u_2 = \hat{U}_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$$



Electricité (notions de base)

Valeur instantanée d'un courant sinusoïdal Représentation de Fresnel, déphasage

- Lorsque le déphasage est nul, les tensions u_1 et u_2 sont en phase.
- Lorsque le déphasage est de Π radians ou 180° les tensions u_1 et u_2 sont en opposition de phase.



Electricité (notions de base)

Production d'une tension alternative sinusoïdale

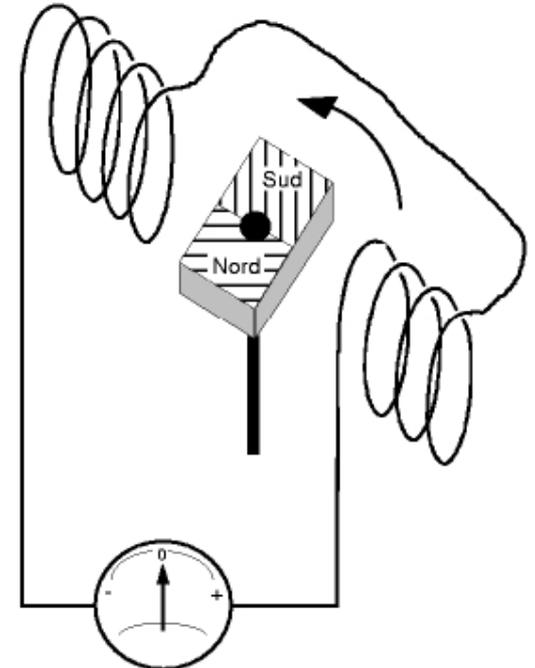
Pour produire l'énergie suffisante pour allumer une lampe ou faire tourner un moteur, il faut utiliser **un générateur qui fait appel aux lois du magnétisme.**

En effet, lorsqu'une inductance est soumise à un champ magnétique extérieur variable, elle produit une tension induite U_1 à ses bornes. La valeur de cette tension U_1 dépend des caractéristiques de l'inductance (nombre de spires, perméabilité du noyau) et de celles du champ magnétique.

Deux bobines sont branchées en série et raccordées à un voltmètre.

Lorsque l'aimant placé au centre des bobines se met à tourner, une tension induite U_1 apparaît aux bornes des bobines.

Cette tension est alternative car les deux bobines sont alternativement soumises au champ magnétique du pôle Nord et du pôle sud de l'aimant. Les variations des lignes de forces de sens opposés produisent des tensions induites de sens opposés.



Electricité (notions de base)

Production d'une tension alternative sinusoïdale

Expérience :

On déplace de diverses manières un aimant droit au voisinage d'une bobine reliée à un ampèremètre à cadran et à zéro central.

Si l'aimant est immobile par rapport à la bobine, l'aiguille de l'ampèremètre ne bouge pas.

Si l'on approche l'aimant de la bobine, l'aiguille de l'ampèremètre dévie donc un courant apparaît dans la bobine.

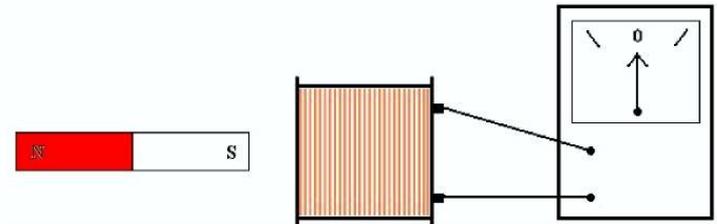
Si l'on éloigne l'aimant de la bobine, l'aiguille de l'ampèremètre dévie dans l'autre sens donc le courant circulant dans la bobine change de sens.

Plus le déplacement est effectué de manière rapide, plus la déviation de l'aiguille est grande donc plus le courant circulant dans la bobine est intense.

Si l'aimant effectue un mouvement de va-et-vient, il circule un courant alternatif dans la bobine.

Conclusion :

Le déplacement d'un aimant au voisinage d'une bobine fait apparaître un courant électrique qui circule dans celle-ci : c'est le phénomène d'induction électromagnétique.

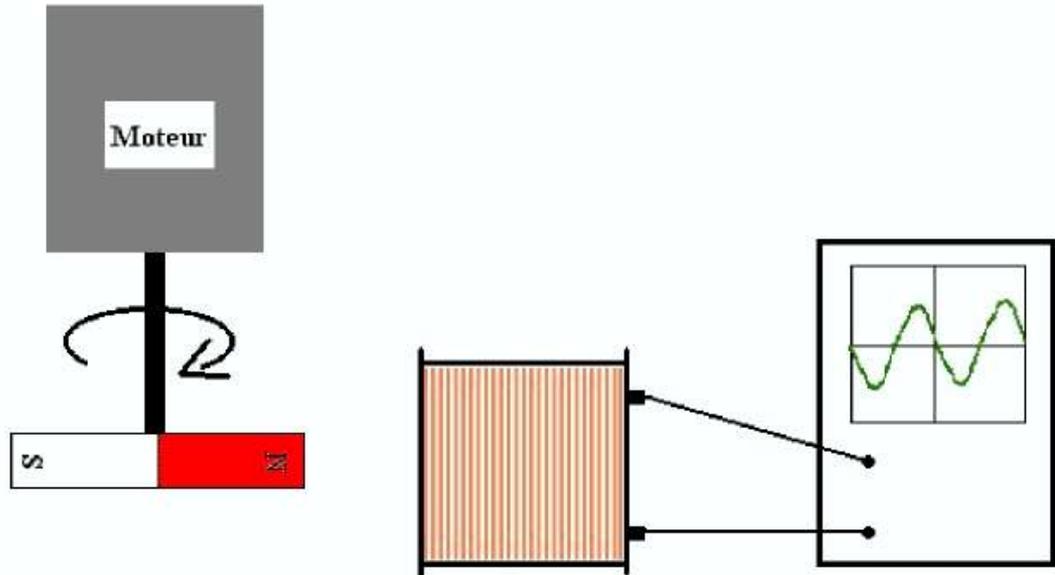


Electricité (notions de base)

Production d'une tension alternative sinusoïdale

Expérience :

A l'aide d'un moteur on fait tourner un aimant droit devant une bobine. On visualise la tension électrique aux bornes de la bobine grâce à un oscilloscope. Quand l'aimant tourne, il apparaît une tension alternative aux bornes de la bobine.



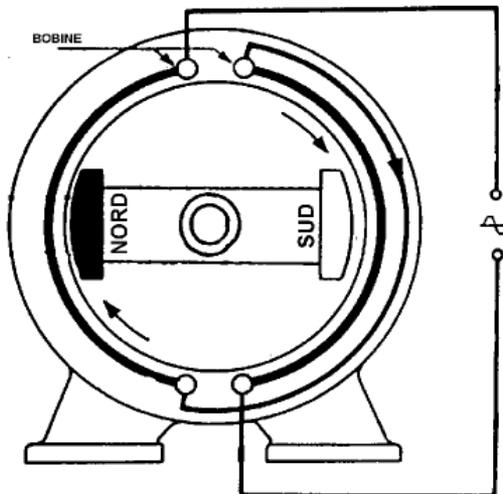
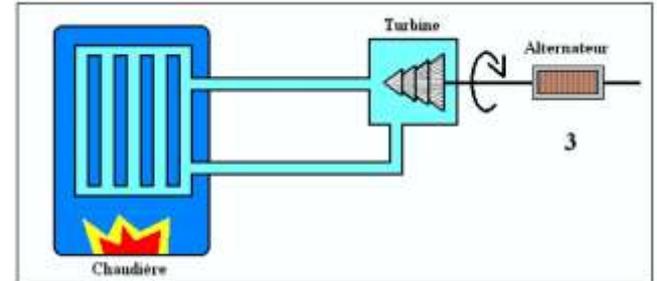
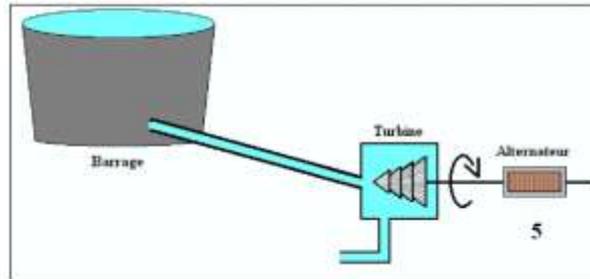
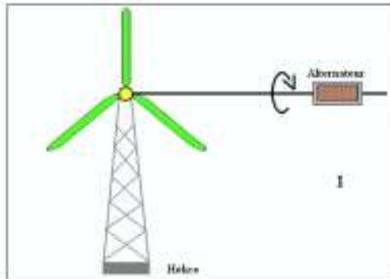
Conclusion :

Un alternateur est un convertisseur d'énergie mécanique en énergie électrique.

Electricité (notions de base)

Le courant alternatif

Le courant alternatif est produit par **la rotation d'un alternateur** (générateur de taille importante). C'est le cas par exemple dans **les centrales électriques**. L'électricité est produite grâce à une turbine et un alternateur.



Un aimant permanent appelé ROTOR tourne au centre d'une carcasse. Dans cette carcasse est logée une bobine appelée STATOR

Par le passage de l'aimant près de la bobine, une tension de forme sinusoïdale est produite.

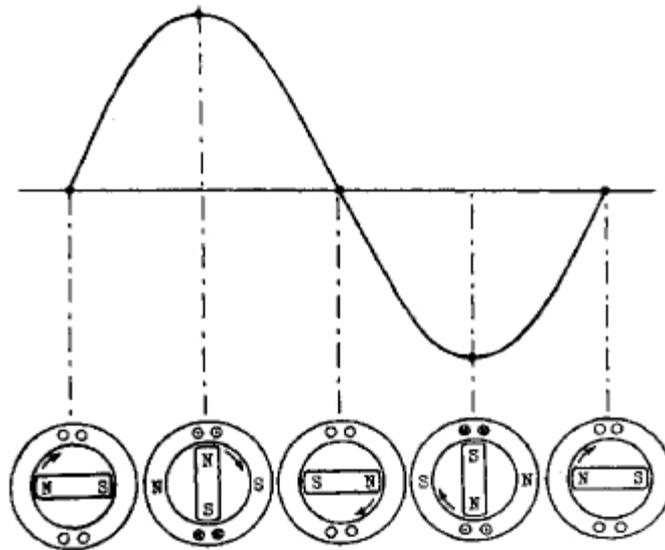
Dans les centrales, l'aimant est remplacé par un électroaimant pour obtenir une puissance supérieure.

Electricité (notions de base)

Le courant alternatif

Fonctionnement électrique :

Cette représentation montre la forme de tension présente aux bornes de la bobine en fonction de la position du rotor.



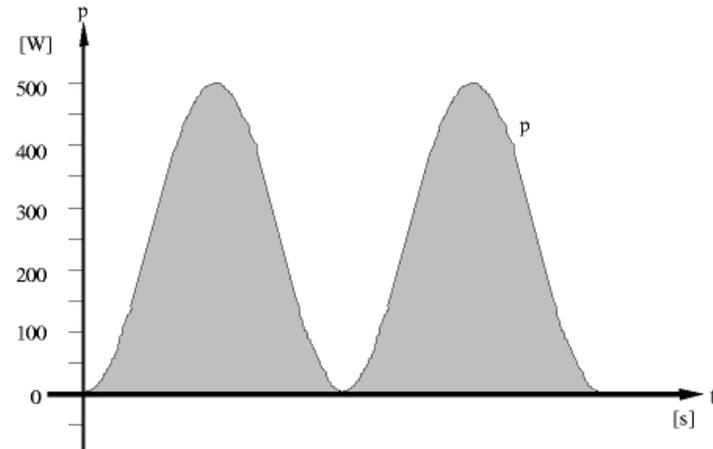
Un courant est dit **alternatif** lorsqu'il **circule alternativement dans une direction puis dans l'autre** à intervalles réguliers appelés cycles.

Electricité (notions de base)

Le courant alternatif, valeur efficace

Définition : La valeur efficace caractérise un courant non continu qui produit le même travail qu'un courant continu, dans la même charge et durant le même intervalle de temps. La valeur efficace de ce courant sera alors la même que celle du courant continu.

La puissance instantanée p est le produit Rx_i^2 . Puisque le courant est élevé au carré, la puissance est toujours positive, même lorsque le courant instantané est négatif.



L'aire représente le produit de la puissance P par le temps t ce qui correspond au travail W .

Electricité (notions de base)

Le courant alternatif, valeur efficace

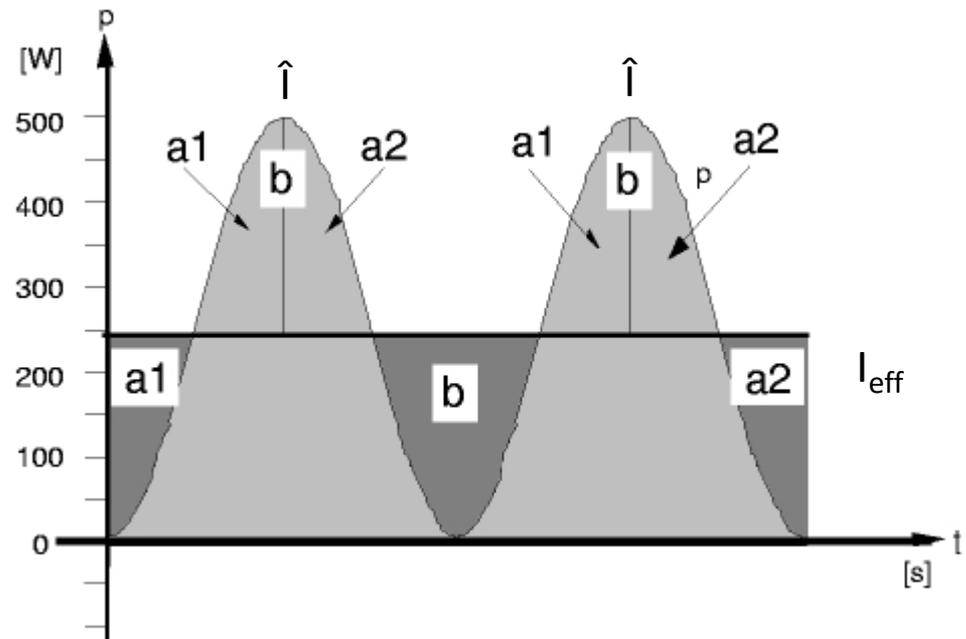
Pour comparer le travail en continu au travail en alternatif, nous allons découper l'aire du travail alternatif de la manière suivante : l'aire résultante est la même en AC et en DC.

Si nous ne tenons compte que des surfaces de nos diagrammes, la surface totale manquante correspond à $(a1 + b + a2)$, elle est comblée par les deux surfaces (b) .

Nous pouvons écrire ;

$$P = R \times I_{\text{eff}}^2 \quad \text{et} \quad P = R \times (\hat{I}^2/2)$$

$$I_{\text{eff}}^2 = \hat{I}^2/2 \quad I_{\text{eff}} = \hat{I}/\sqrt{2}$$



Nous obtenons les relations suivantes :

$$I_{\text{eff}} = \hat{I}/\sqrt{2} \quad \text{et} \quad \hat{I} = I_{\text{eff}} \sqrt{2}$$

Les relations pour la tension sont identiques à celles du courant :

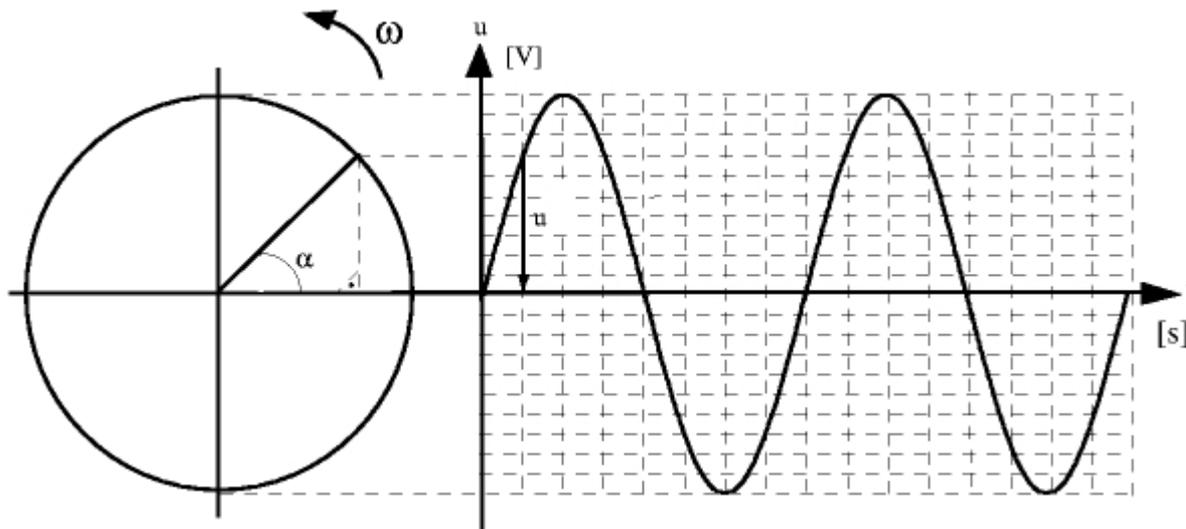
$$U_{\text{eff}} = \hat{U}/\sqrt{2} \quad \text{et} \quad \hat{U} = U_{\text{eff}} \sqrt{2}$$

Electricité (notions de base)

Le courant alternatif, valeur efficace

A quel angle en degrés correspond le rapport entre la valeur de crête et la valeur efficace d'un courant ?

$$\sin \alpha = u / \hat{U} = (1/\sqrt{2})/1 = \sqrt{2} = 0,707 \quad \alpha = 45^\circ$$



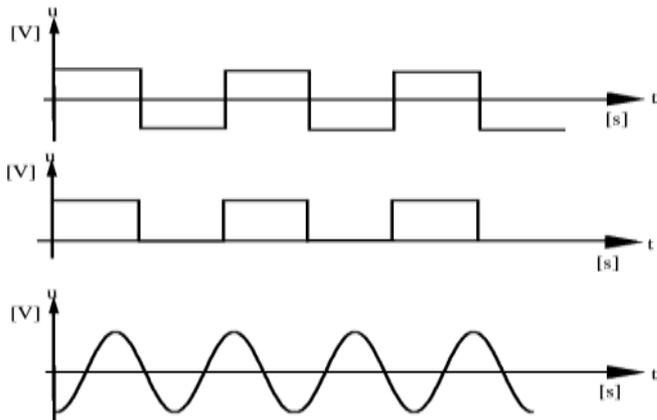
Si nous reprenons la représentation avec le cercle trigonométrique, nous constatons que la tension efficace correspond à la valeur instantanée de la tension à un angle de 45° .

Electricité (notions de base)

Le courant alternatif, valeur moyenne

La grandeur sinusoïdale étant alternative, sa valeur moyenne est nulle.

Tableau récapitulatif de la tension moyenne d'une période

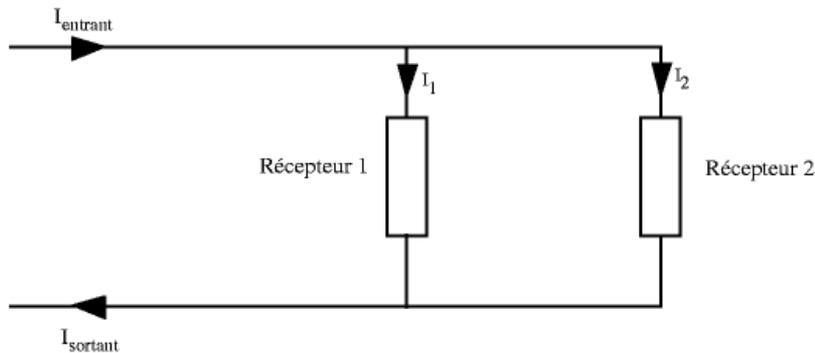


Signal	U_{moy}	U_{eff}
Carré symétrique	0	U_{max}
Carré positif	$U_{\text{max}} / 2$	$U_{\text{max}} / 2$
Alternatif sinusoïdal	0	$U_{\text{max}} / \sqrt{2}$

Electricité (notions de base)

Le courant alternatif, relation de phase entre signaux de même fréquence

Dans un circuit alimenté en courant alternatif, il est possible que le courant et la tension ne soient pas en phase. On peut également trouver des circuits dans lesquels convergent plusieurs courants ou plusieurs tensions différentes et déphasées. Dans ces cas, on parle de tensions ou de courants déphasés.



Le courant entrant I_e est égal au courant sortant I_s .

$$I_e = I_1 + I_2$$

Suivant les caractéristiques des deux récepteurs, les courants I_1 et I_2 peuvent ne pas être en phase.

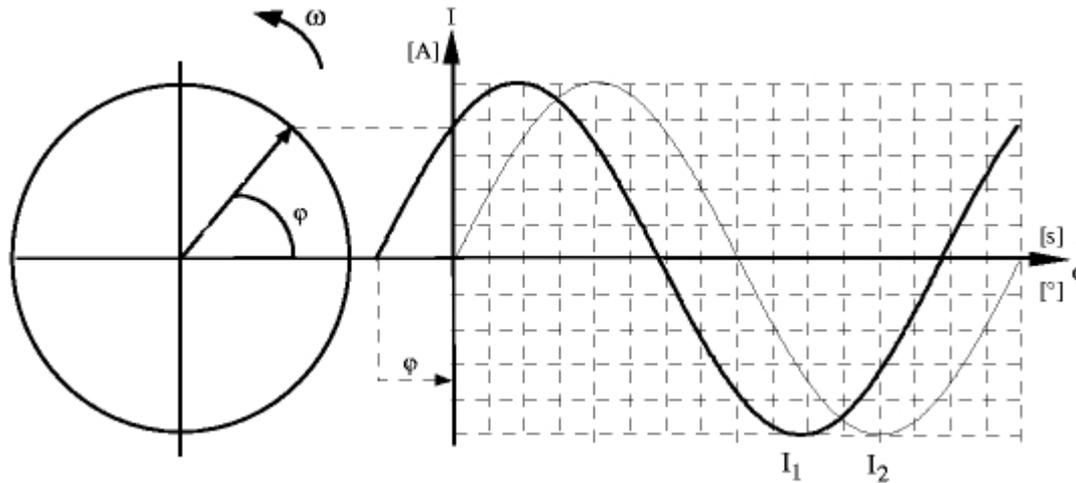
$$\begin{aligned}\vec{I}_e &= \vec{I}_1 + \vec{I}_2 \\ I_e &\neq I_1 + I_2\end{aligned}$$

somme vectorielle
somme mathématique

Electricité (notions de base)

Le courant alternatif, relation de phase entre signaux de même fréquence

Avance de phase :



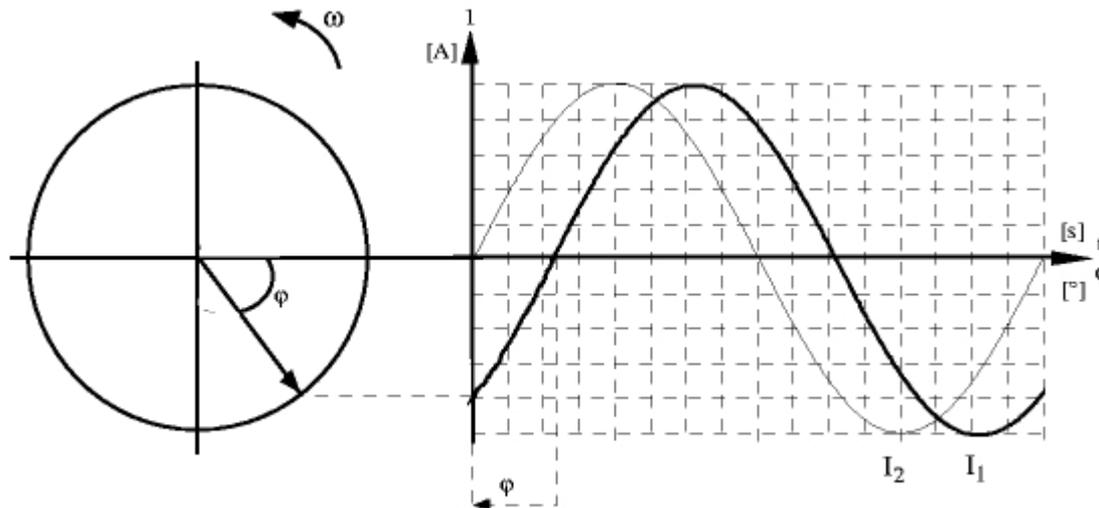
Dans ce cas, le courant I_1 (trait gras) est en avance de phase par rapport au courant I_2 (trait fin). L'angle φ détermine l'avance de phase et il est positif.

$$i = \hat{I} \cdot \sin (\omega t + \varphi)$$

Electricité (notions de base)

Le courant alternatif, relation de phase entre signaux de même fréquence

Retard de phase :



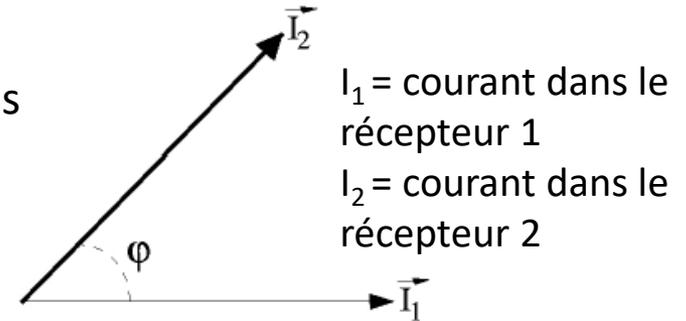
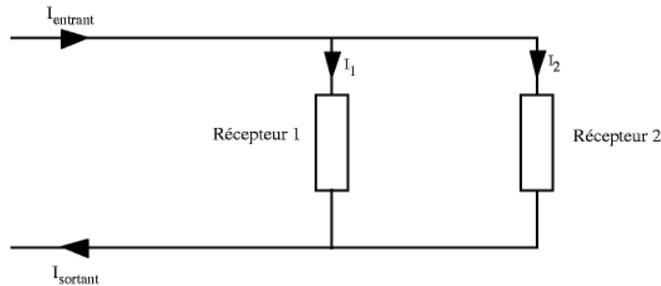
Dans ce cas, le courant I_1 (trait gras) est en retard de phase par rapport au courant I_2 (trait fin). L'angle φ détermine l'avance de phase et il est négatif.

$$i = \hat{I} \cdot \sin (\omega t - \varphi)$$

Electricité (notions de base)

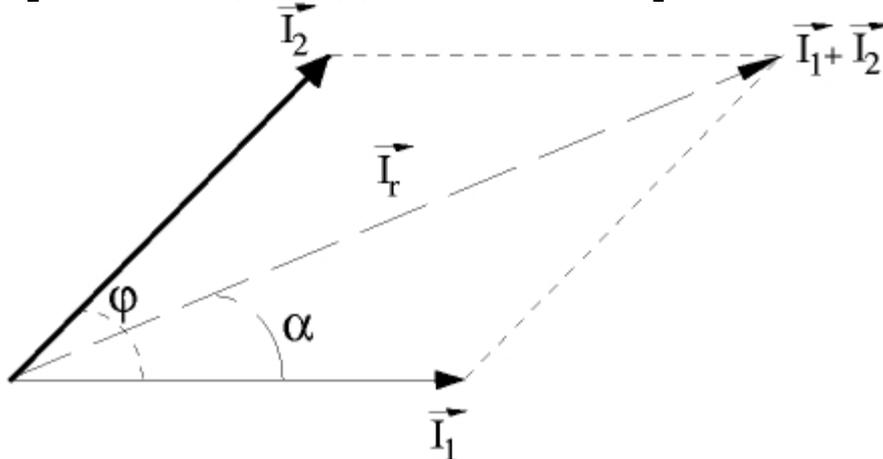
Le courant alternatif, représentation vectorielle

Reprenons le circuit composé de deux récepteurs dans lesquels circulent des courants déphasés I_1 et I_2 .

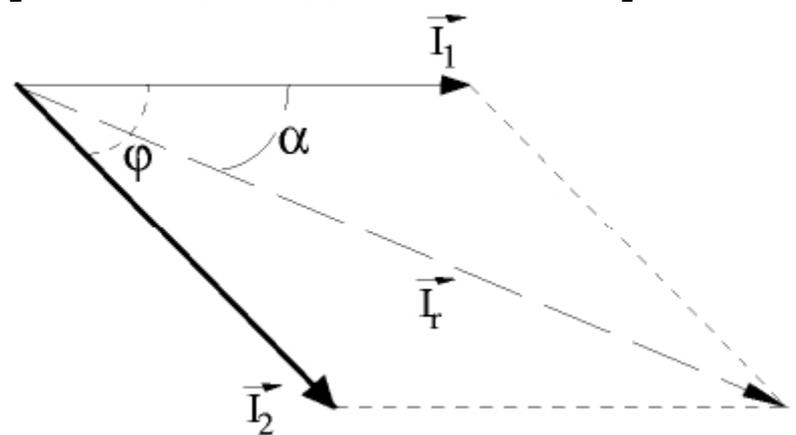


Le courant I_2 est en avance sur I_1 .
L'angle φ détermine le déphasage.

I_2 en avance par rapport au courant I_1



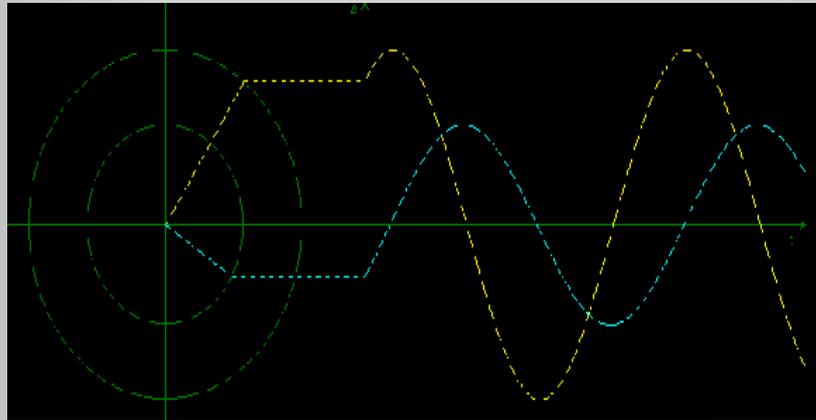
I_2 en retard par rapport au courant I_1



φ déphasage entre I_1 et I_2 , α déphasage entre I_r et l'axe d'origine

Electricité (notions de base)

Modélisation courants alternatifs en phase



Animation conçue et écrite par Jacques Gaudin (INA)

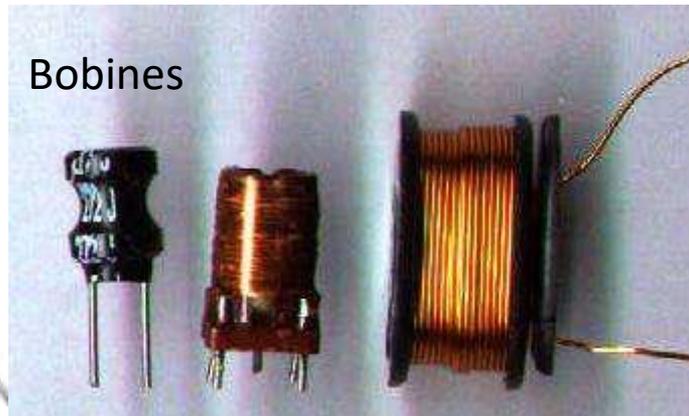
Electricité (notions de base)

Circuits résistifs et réactifs

Différents éléments composent les circuits électriques, en régime continu comme en régime alternatif. Nous trouvons principalement **des résistances, des capacités (condensateurs) et des inductances (bobines)**.



Résistances



Bobines



Condensateurs

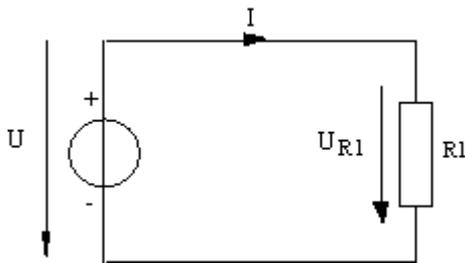
Ces trois genres d'éléments ne se comportent pas de la même façon en régime continu ou en régime alternatif.

Electricité (notions de base)

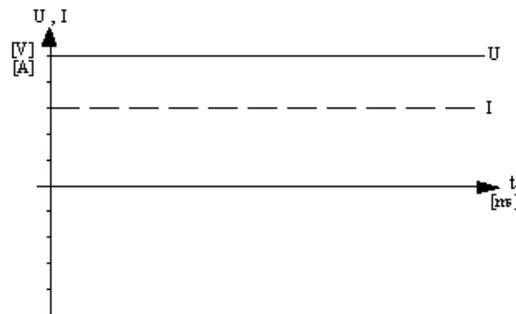
Circuits résistifs et réactifs

Comportement d'une résistance pure

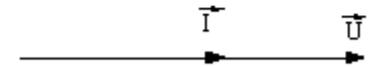
Courant continu



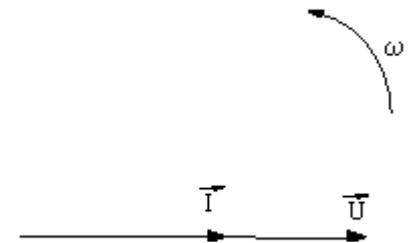
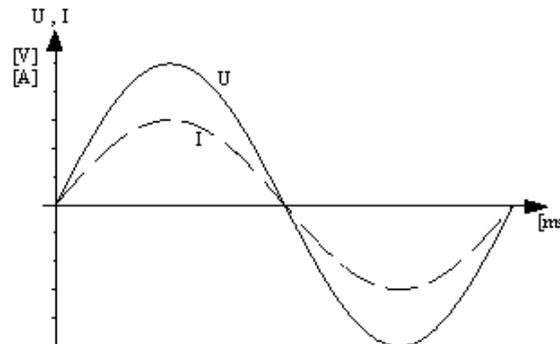
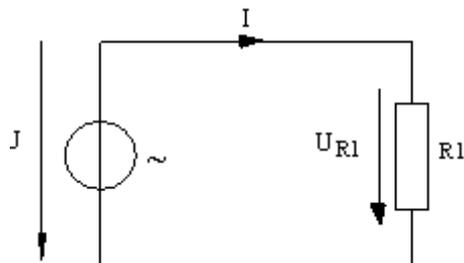
Représentation temporelle



Représentation vectorielle



Courant alternatif sinusoïdal



- ✓ *Il n'y a pas de différence de comportement entre le circuit alimenté par la source continue et celui alimenté par la source alternative.*
- ✓ *Une résistance idéale ne provoque aucun déphasage entre le courant et la tension.*

Electricité (notions de base)

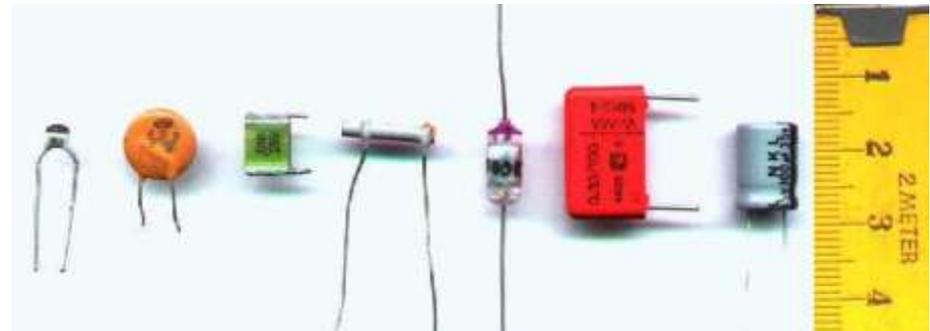
Condensateur

Comme la résistance, le condensateur est un composant passif.

Définition :

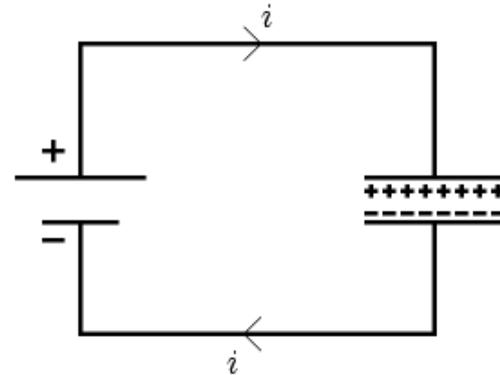
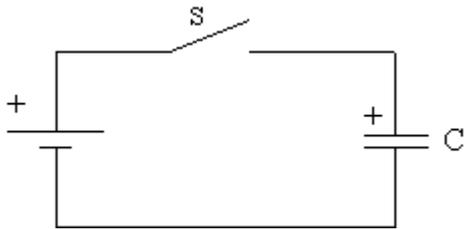
un condensateur est un composant constitué par 2 conducteurs parallèles, appelés armatures séparés sur toute l'étendue de leur surface par un milieu isolant de faible épaisseur , exprimé par sa rigidité diélectrique ϵ_r (epsilon) ou **permittivité relative**.

Symbole :



Electricité (notions de base)

Condensateur



Principe :

A la fermeture de S, la tension aux bornes du générateur se transmet aux deux armatures. Pour obtenir le déséquilibre électronique sur les armatures, des charges doivent se déplacer, un courant I circule pendant la charge du condensateur.

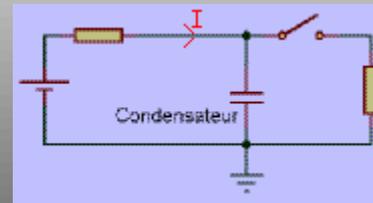
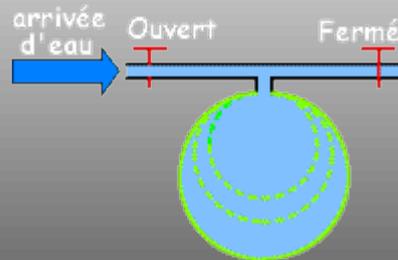
Le diélectrique n'ayant, par définition, pas d'électrons libres, ceux qui composent le courant I sont soustraits à l'une des armatures du condensateur et viennent s'accumuler sur l'autre. L'une des armatures devient positive et l'autre négative.

Electricité (notions de base)

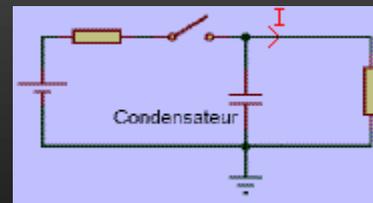
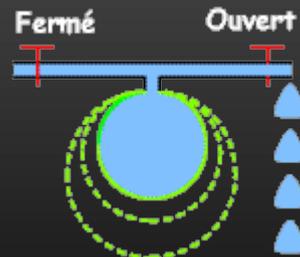
Condensateur

Reprenons la comparaison entre tension et pression, débit d'eau et courant électrique. On peut alors matérialiser le condensateur comme un ballon :

1 - De la même manière que l'eau remplit le ballon, le courant électrique charge le condensateur.

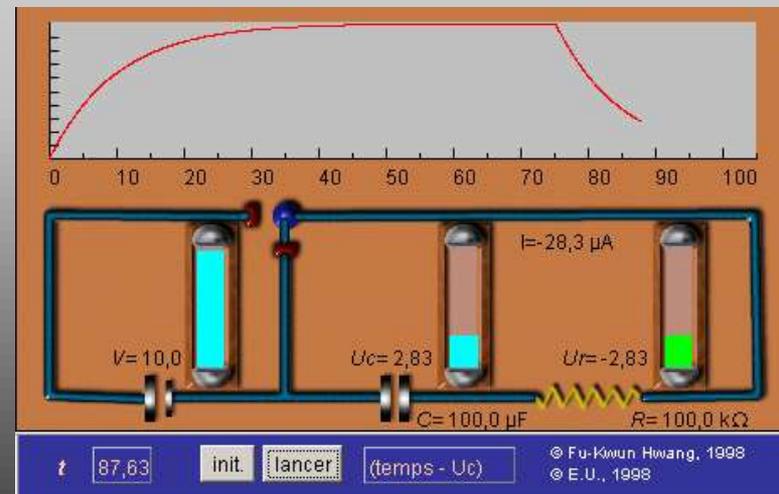
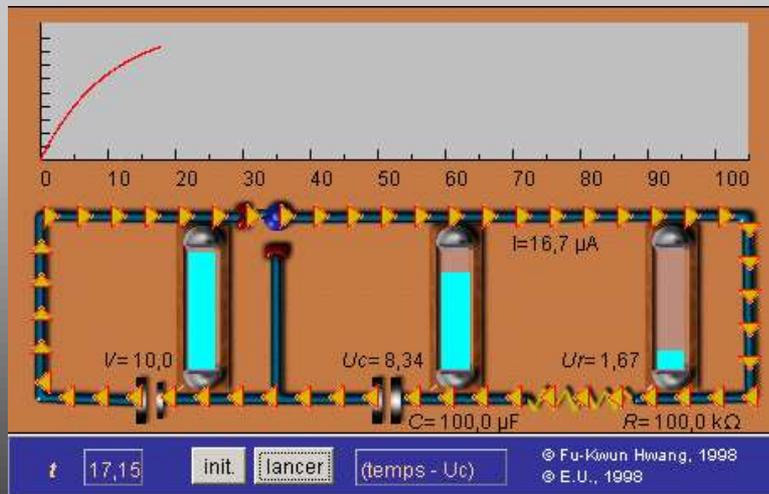


2 - Le ballon se vide jusqu'à ce que la pression de l'eau qu'il contient soit nulle. De la même manière, le condensateur se décharge dans la résistance jusqu'à ce que la tension à ses bornes soit nulle.



Electricité (notions de base)

Condensateur



Animation charge, décharge

Electricité (notions de base)

Condensateur

Un **condensateur** est un composant électronique ou électrique dont l'intérêt de base est de pouvoir recevoir et rendre une charge électrique, dont la valeur est proportionnelle à la tension. Il se caractérise par sa capacité électrique. Son

comportement électrique idéal est donc : $I = C \frac{dU}{dt}$
où :

- I est le courant qui traverse le composant ;
- U est la tension aux bornes du composant ;
- C est la capacité électrique du condensateur.
- $\frac{dU}{dt}$ est la variation de tension avec le temps.

Les signes sont tels que la tension augmente dans le terminal par lequel entre le courant. Il est utilisé principalement pour :

- stabiliser une alimentation électrique (il se décharge lors des chutes de tension et se charge lors des pics de tension) ;
- traiter des signaux périodiques ;
- stocker de l'énergie, auquel cas on parle de supercondensateur.

Electricité (notions de base)

Supercondensateur

Un **supercondensateur** est un condensateur de technologie particulière permettant d'obtenir une densité de puissance et une densité d'énergie intermédiaire entre les batteries et les condensateurs électrolytiques classiques.



Ces composants permettent donc de stocker une quantité d'énergie intermédiaire entre ces deux modes de stockage, et de la restituer plus rapidement qu'une batterie.

Electricité (notions de base)

Condensateur, différents paramètres

La capacité : Elle représente la "force" du condensateur. Plus la capacité sera grande, plus le condensateur pourra s'opposer aux variations de tension à ses bornes.

L'unité de mesure de la capacité est le Farad, noté F. Dans la pratique, les valeurs des condensateurs sont plutôt comprises entre $1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$, et 0.1F

La tension : elle s'exprime en volts continus. Elle correspond à la tension nominale, c'est à dire la tension que peut supporter le condensateur en permanence à ses bornes. Attention, si vous mettez plus en permanence, le condensateur peut exploser, et ca peut être dangereux

Courant de fuite : un condensateur chargé, laissé longtemps déconnecté finit par être déchargé.

Résistance série: le condensateur n'est pas parfait, c'est à dire qu'il n'est pas capable de fournir ou de recevoir un courant infini. En effet, tout se passe comme s'il y avait une résistance de très faible valeur en série avec le condensateur. Par exemple pour le condensateur de $4700\mu\text{F}$ 63V, la résistance série est de l'ordre de 0.04 Ohm

Electricité (notions de base)

Condensateur, tension de claquage

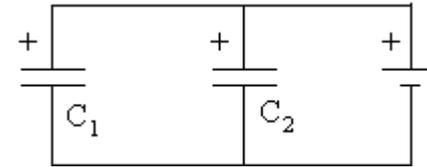
Lorsque la tension U entre les armatures augmente, le champ électrique dans l'isolant augmente ainsi que la force à laquelle sont soumis les électrons. Lorsque cette force est supérieure, elle provoque la ionisation de certains atomes. Les électrons libérés, soumis au champ électrique, sont accélérés et peuvent, en percutant d'autres atomes, provoquer leur ionisation et ainsi de suite.

Ce phénomène d'avalanche est appelé: **courant I de claquage du condensateur**. L'isolant devient conducteur et le condensateur se décharge. Il y a désamorçage lorsque la tension descend au-dessous d'un certain seuil.

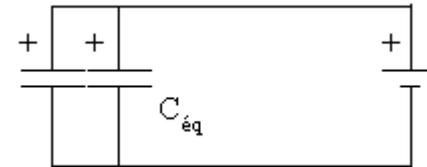
Electricité (notions de base)

Couplages de condensateurs, couplage en parallèle

Le couplage parallèle de condensateurs a comme influence de changer la capacité équivalente $C_{\text{éq}}$ vue par le générateur.



Cette capacité équivalente $C_{\text{éq}}$ est constituée d'un condensateur possédant de nouvelles dimensions.



Nous constatons que si l'aire des armatures augmente, la capacité C va augmenter aussi, les autres paramètres ne se modifiant pas.

Nous pouvons donc déduire que la capacité équivalente $C_{\text{éq}}$ d'un montage de condensateurs, en parallèle, est égale à la somme des capacités des condensateurs. $C_{\text{éq}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$ ou en notation algébrique :

$$C_{\text{éq}} = \sum_{i=1}^n C_i$$

Exemple :

On branche en parallèle des condensateurs de 22, 33 et 47pF.
La capacité équivalente est égale à 102pF

Electricité (notions de base)

Couplages de condensateurs, couplage en série

Le couplage parallèle de condensateurs a comme influence de changer la capacité équivalente $C_{\text{éq}}$ vue par le générateur.

Cette capacité équivalente $C_{\text{éq}}$ est constituée d'un condensateur possédant de nouvelles dimensions. Si la distance d entre les armatures augmente, la capacité C va diminuer, les autres paramètres ne se modifiant pas.

Pour des couplages série à plusieurs éléments:

$$C_{\text{éq}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

$$C_{\text{éq}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}}$$

Le plus simple est de faire la somme des inverses de chacune des capacités et de calculer l'inverse de cette somme.

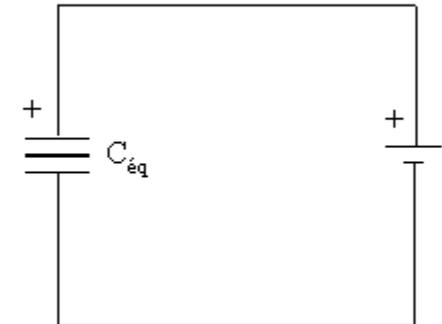
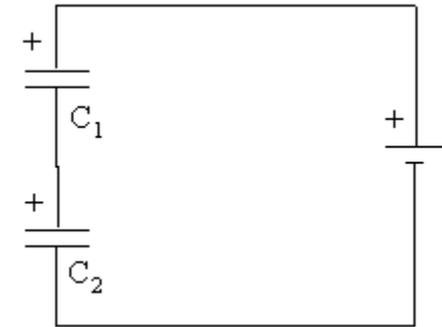
Exemple 1 :

$C_a = 10 \text{ pF}$ et $1/C_a = 0,1$ $C_b = 5 \text{ pF}$ et $1/C_b = 0,2$ $C_c = 5 \text{ pF}$ et $1/C_c = 0,2$

L'inverse de la capacité C est $0,1 + 0,2 + 0,2 = 0,5$ Donc $C = 1/0,5 = 2 \text{ pF}$

Exemple 2 :

10 condensateurs de 220 pF sont branchés en série. La capacité équivalente à ce circuit est $220/10 = 22 \text{ pF}$



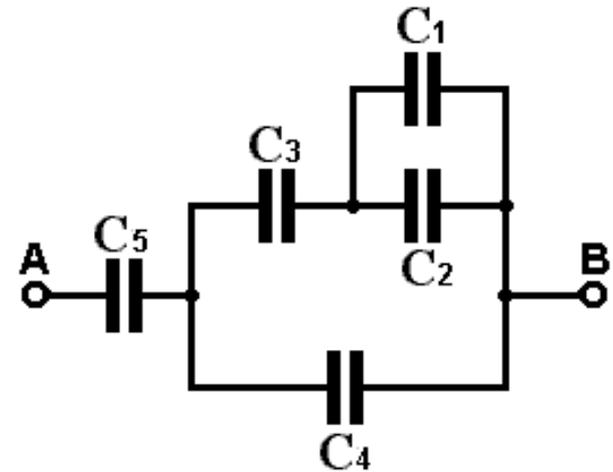
Electricité (notions de base)

Couplages de condensateurs, schémas plus complexes

Pour calculer la capacité équivalente au schéma ci-contre il n'existe pas de formule simple.

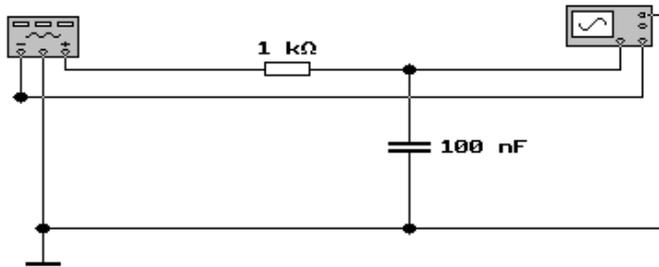
Un problème aussi complexe peut se résoudre simplement en calculant les capacités équivalentes de chacune des branches du circuit :

- capacité C_{12} équivalente aux deux condensateurs C_1 et C_2 en parallèle.
- puis C_{312} capacité équivalente à ce condensateur (fictif) C_{12} en série avec C_3 .
- puis capacité C_{4321} équivalente au condensateur C_4 en parallèle avec C_{312}
- enfin capacité équivalente C_{54321} au condensateur C_5 en série avec le condensateur (fictif) C_{4321}

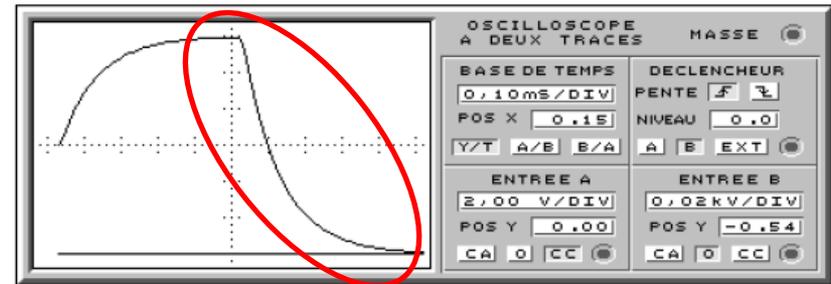


Electricité (notions de base)

Courbe de charge d'un condensateur



Nous avons placé un appareil de mesure (oscilloscope) aux bornes du condensateur pour mesurer la tension U_C



Nous remarquons que le condensateur C se charge et se décharge de façon non linéaire.

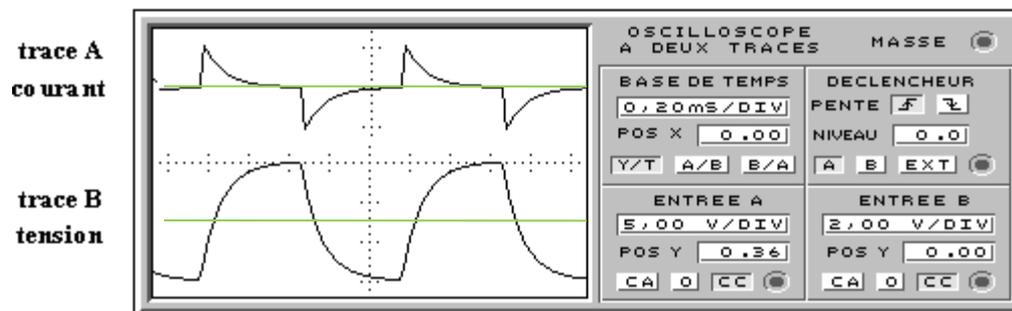
Electricité (notions de base)

Courbe de charge d'un condensateur

Nous avons placé un appareil de mesure (oscilloscope) aux bornes de la résistance R pour mesurer la tension U_R . Nous pouvons en déduire par la loi d'ohm que cette courbe représente la courbe du courant I dans le circuit. Relation : $U = R \times I$

$$I_{\text{charge}} = U_R / R$$

Cette dernière relation nous permet de calculer le courant de charge dans le condensateur, puisque les deux éléments sont montés en série, le courant dans la résistance est identique au courant dans le condensateur.



L'oscilloscope ci-contre nous montre la forme du courant et de la tension sur un condensateur lors de charges et décharges successives en tension continue.

Electricité (notions de base)

Fonctionnement d'un condensateur en courant continu

A l'enclenchement, le condensateur est déchargé et il se comporte comme un réservoir vide. Dans ce cas, il faut d'abord faire circuler un courant avant qu'une tension n'apparaisse aux bornes des armatures. Au fur et à mesure de la charge du condensateur, le courant de charge diminue. A la fin de la charge, il n'y aura plus de courant, mais une tension maximum sur les armatures du condensateur.

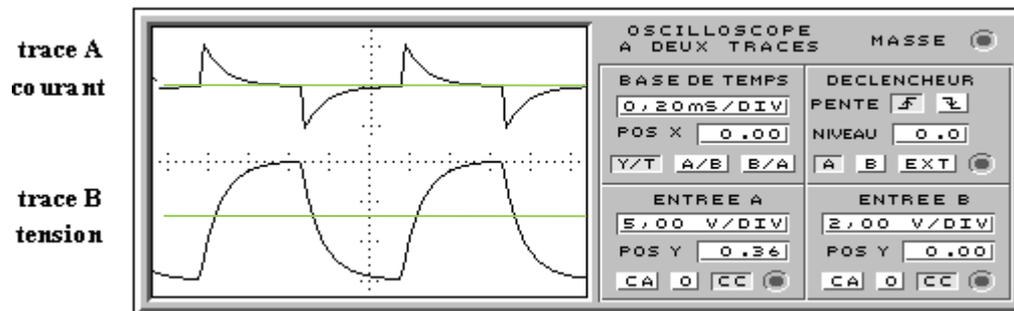
Ce phénomène explique la raison pour laquelle le condensateur ne conduit pas lorsqu'il est raccordé sur une source de tension continue.

Pour que le cycle de charge se reproduise, il faut que le condensateur se décharge.

Electricité (notions de base)

Fonctionnement d'un condensateur en courant alternatif

Raccordé à une source de tension alternative, le condensateur répétera les cycles de charges / décharges et un courant s'installera en permanence dans le circuit, mais aucun courant ne traverse le condensateur puisque ses armatures sont séparées par un isolant (diélectrique). Il est clair que le courant dans le condensateur va dépendre de la capacité du condensateur et de la fréquence du générateur (rapidité du cycle de charge/décharge) et de la tension du générateur.



Nous constatons que le courant atteint rapidement une valeur maximum, alors que la tension arrive en retard par rapport au courant.

Electricité (notions de base)

Comportement du condensateur à partir d'un courant pulsé

Stabilisation de la tension d'un courant pulsé :



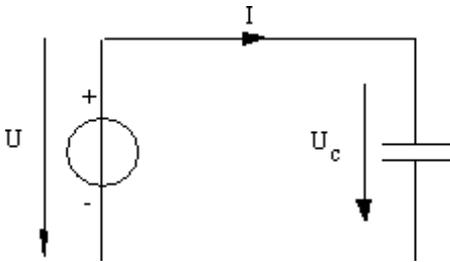
Le condensateur va stabiliser la tension; les légères variations de tension que l'on observe sont dues à la charge à la décharge du condensateur.

Plus la valeur du condensateur est importante, moins ces variations seront visibles, mais un gros condensateur prend de la place et coûte cher.

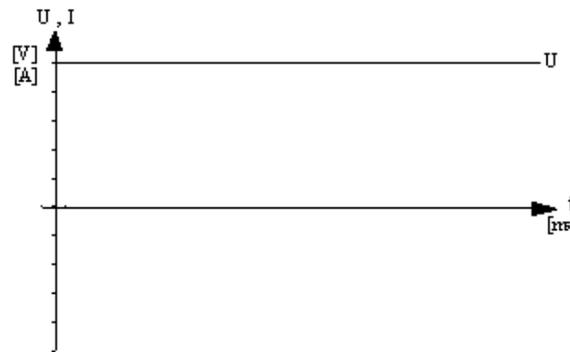
Electricité (notions de base)

Comportement du condensateur (capacité pure)

Courant continu



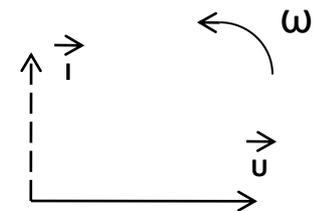
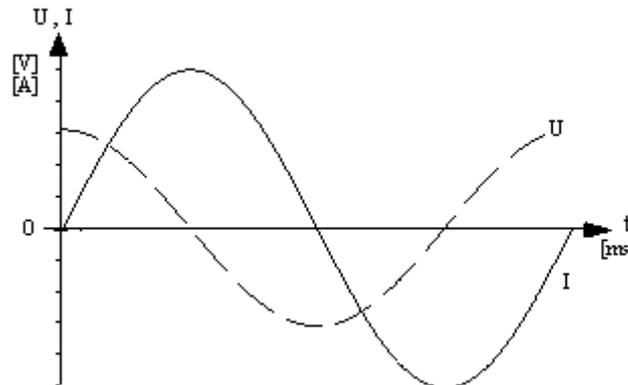
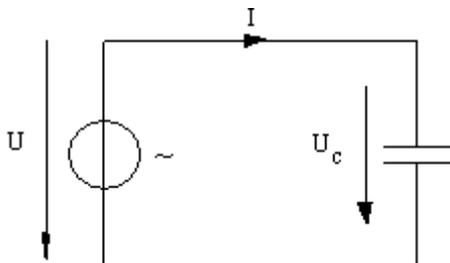
Représentation temporelle



Représentation vectorielle



Courant alternatif sinusoïdal

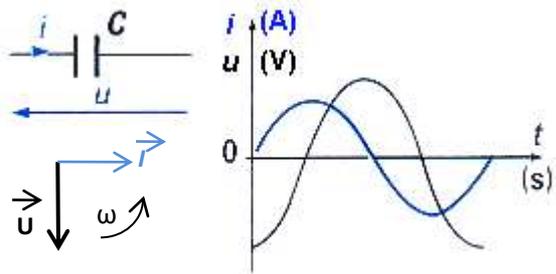


La caractéristique du condensateur est d'avoir un comportement différent en régime continu et en régime alternatif.

Electricité (notions de base)

Comportement du condensateur (capacité pure)

- Il y a une importante différence de comportement entre le circuit alimenté par une source continue et celui alimenté par une source alternative.
- Avec la source continue, il n'y a pas de courant. Le condensateur étant composé d'armatures séparées par un isolant, les électrons ne peuvent pas circuler.
- Avec la source alternative il y a un courant qui représente un échange de charges entre les armatures.
- Le courant est en avance de 90° par rapport à la tension.
- La valeur du courant dépend de la capacité du condensateur, ainsi que de la fréquence et de la tension du générateur.



La tension u aux bornes d'une capacité pure est en retard de 90° sur le courant qui la traverse

$$Z=1/C\omega; \varphi=90^\circ \text{ ou } \Pi/2 \quad u=(1/C\omega) \times i$$

Note: Le produit $1/C\omega$, appelé réactance de capacité, s'exprime en ohms.

Electricité (notions de base)

Bobine, self, solénoïde, ou auto-inductance

Une **bobine, self, solénoïde, ou auto-inductance** est un composant courant en électrotechnique et électronique. une bobine est constituée d'un bobinage ou enroulement d'un fil conducteur éventuellement autour d'un noyau en matériau ferromagnétique.



Une bobine peut être employée pour diverses fonctions, entre autre :

- Contrôler la croissance des courants dans les dispositifs d'électronique de puissance ;
- Les ballasts magnétiques pour l'éclairage par lampes à décharges (lampes fluorescentes, lampes aux halogénures métalliques, etc.) utilisent des bobines.
- Les bobines peuvent servir d'interrupteur commandé dans le cadre de la régulation magnétique.

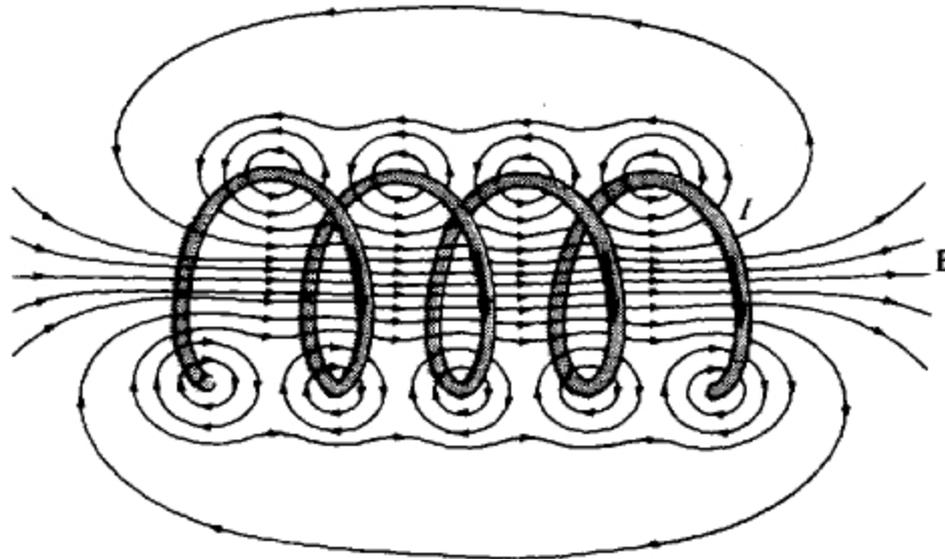
Electricité (notions de base)

Bobine, self, solénoïde, ou auto-inductance

La bobine est un composant passif.

Principe :

Une bobine de grande longueur et comportant un grand nombre de spires circulaires jointives est appelée un solénoïde. Lorsqu'un courant électrique traverse cette bobine, une induction B est produite. Le champ magnétique à l'intérieur du solénoïde est presque uniforme, ce qui représente un avantage.



Electricité (notions de base)

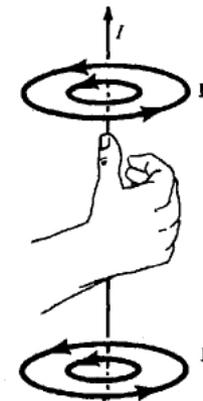
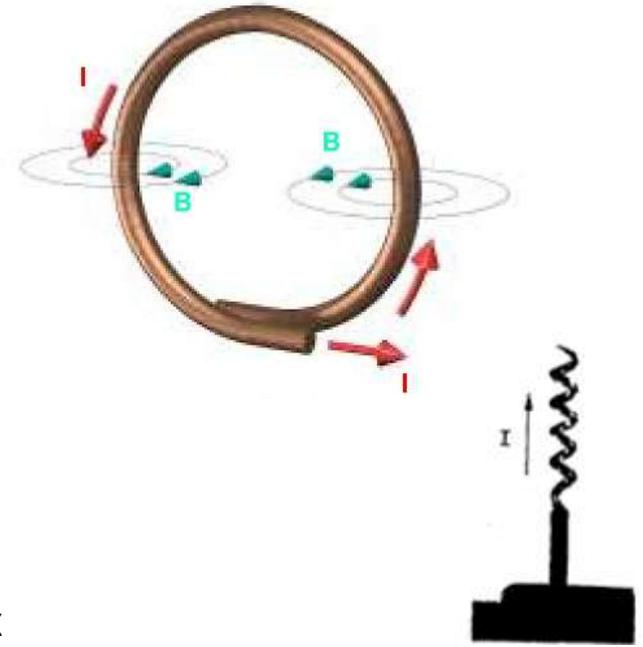
Bobine, self, solénoïde, ou auto-inductance

Principe :

Considérons une spire. Quand cette spire est parcourue par un courant d'intensité I , elle se trouve baignée par son propre champ magnétique.

On peut donc définir un flux à travers la surface de la spire, produit par la spire elle-même. Ce flux est le flux d'induction propre ou flux d'auto-induction car la bobine sert à la fois d'inducteur et d'induit. On peut également dire flux de self-induction.

Ce flux dépend de l'intensité du courant, de la forme du circuit et de la nature du milieu dans lequel il est placé.



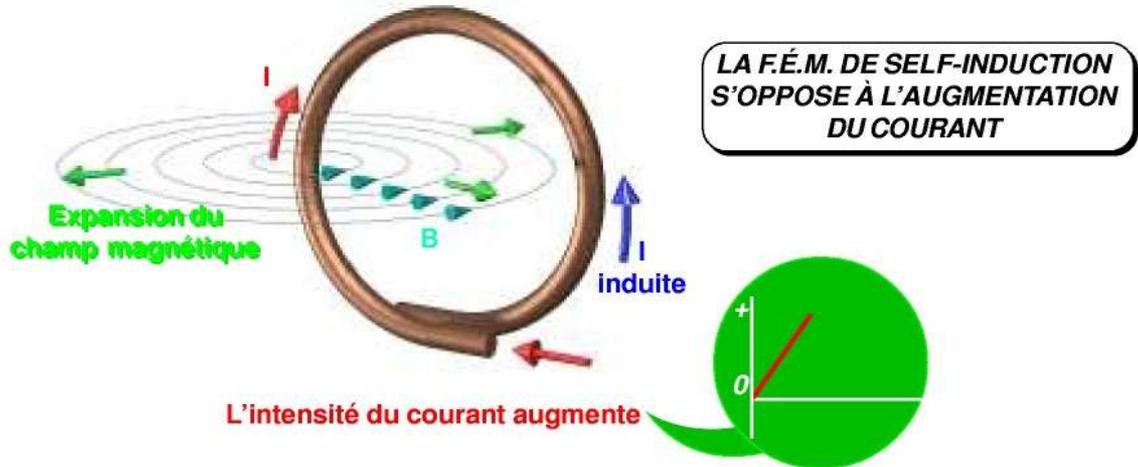
Avec la main droite, le pouce indique le sens du courant et les doigts le sens des lignes de force.

Electricité (notions de base)

Bobine, self, solénoïde, ou auto-inductance

Inductance dans un circuit, flux d'auto-induction :

Sans courant, aucun champ magnétique ne peut exister autour des fils conducteurs de la spire. Le courant prend naissance au moment où l'on ferme le circuit, et monte par la suite jusqu'à une valeur maximum.



Les lignes d'induction forment un champ autour des fils conducteurs de la spire. Lorsque le courant augmente, les lignes de force continuent à s'étendre et deviennent de plus en plus nombreuses. Chaque fois qu'un champ magnétique coupe un conducteur, il induit dans celle-ci une certaine f.é.m. (loi du flux coupé).

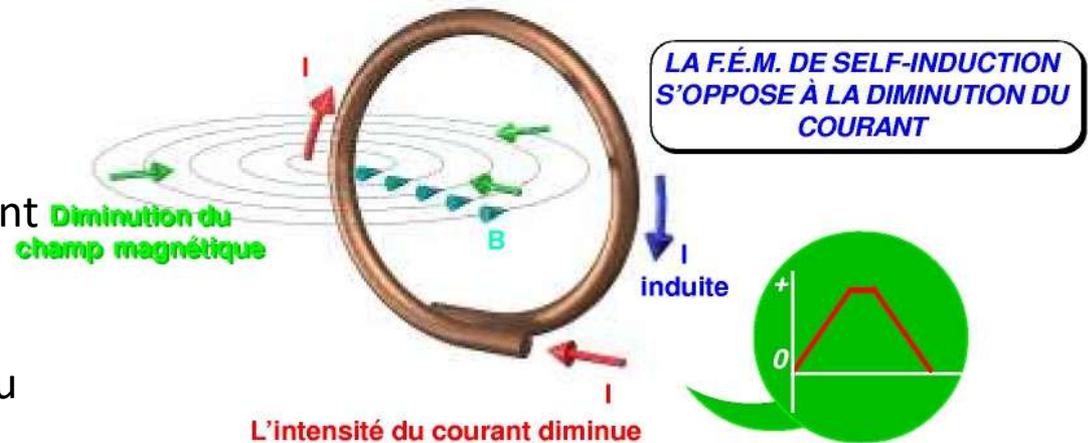
Electricité (notions de base)

Bobine, self, solénoïde, ou auto-inductance

Principe :

Mais au moment où le courant diminue, le champ magnétique diminuera lui aussi, et, en se contractant, les lignes de force vont couper les conducteurs dans le sens inverse de celui causé, auparavant, par l'augmentation du courant.

Puisque le sens de la variation du courant est inversé, le champ magnétique, en diminuant, engendre une f.é.m. de self-induction inverse de celle qui avait été provoquée par l'expansion du champ.



La f.é.m. de self-induction ainsi engendrée va alors augmenter la tension du circuit pour éviter une diminution de courant. Elle cesse d'exister dès que le courant ne change plus.

Ainsi, l'inductance (l'effet de la f.é.m. de self-induction) s'oppose à tout changement du courant, qu'il s'agisse d'une augmentation ou d'une diminution.

Electricité (notions de base)

Bobine, self, solénoïde, ou auto-inductance

Définition de l'inductance :

L'**inductance** d'un circuit est la propriété qui lui permet d'engendrer une f.e.m. de self-induction qui **s'oppose aux variations du courant**.

Elle est symbolisée par la lettre **L** et est exprimée en **Henry** dont le symbole est **H**.

Avec :

L : inductance d'une bobine en Henry (H)

μ_0 (μ) : perméabilité de l'air

n : nombre de spire de la bobine

S : section de la bobine (m^2)

l : longueur de la bobine (m)

$$L = (\mu_0 \times N^2 \times S) / l$$

Plus grand sera le nombre de spires, plus grande sera la f.e.m. de self-induction. La forme de la bobine (nombre de spires, espace entre les spires, longueur de la bobine, type et nombre de couches d'enroulement) intervient dans le calcul de l'inductance.

Electricité (notions de base)

Bobine, self, solénoïde, ou auto-inductance

Valeur de la force électromotrice induite de self-induction

$$u = - \Delta i / \Delta t \times N \times L$$

- L est l'inductance propre du circuit ou composant (H).
- u est la tension aux bornes du circuit, f.e.m. de self induction (V).
- $\Delta i / \Delta t$ est la variation du courant qui traverse le circuit avec le temps (mesurée en ampères/seconde).
- Δt est la durée de la variation de l'intensité (s)
- u et i sont des valeurs instantanées.

Nous remarquons que :

- *Lorsque le courant est constant, $\Delta i / \Delta t$ est nul et par conséquent la tension u auto-induite est nulle aussi.*
- *Le signe (-) indique que la tension auto-induite aux bornes de l'inductance s'oppose aux variations du courant qui la traverse.*
- *Quand on applique une tension constante à une inductance, le courant qui rentre par l'extrémité positive augmente avec le temps.*

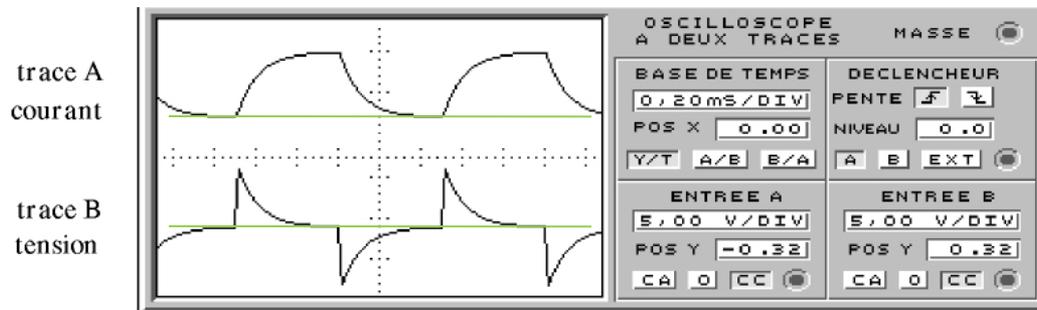
Electricité (notions de base)

Fonctionnement d'une bobine en courant alternatif

Lors du raccordement d'une inductance dans un circuit alternatif, le courant est en retard de 90° par rapport à la tension.

A chaque changement de polarité aux bornes de la bobine, le même phénomène de self induction se reproduit et le courant est constamment en retard par rapport à la tension.

L'oscilloscope ci-dessous nous montre la forme du courant et de la tension sur une inductance.



Electricité (notions de base)

Bobine, self, solénoïde, ou auto-inductance

Remarque : on ne peut stocker que de l'énergie. Le terme *puissance emmagasinée* est donc un abus de langage qui correspond en réalité à la puissance que l'on fournit à l'inductance et qui vient augmenter l'énergie emmagasinée dans cette dernière.

La puissance instantanée fournie à une inductance est liée à la variation du carré de l'intensité qui la traverse : si celui-ci augmente, l'inductance emmagasine de l'énergie. Elle en restitue dans le cas contraire.

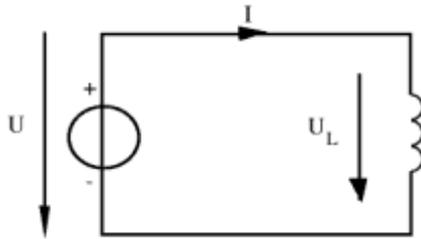
Il est difficile de faire varier rapidement le courant qui circule dans une bobine et ceci d'autant plus que la valeur de son **inductance** sera grande. Cette propriété est souvent utilisée pour supprimer de petites variations de courant non désirées.

L'effet de l'inductance face aux variations du courant est analogue en mécanique à l'effet de la masse face aux variations de la vitesse : quand on veut augmenter la vitesse il faut fournir de l'énergie cinétique et ceci d'autant plus que la masse est grande. Quand on veut freiner, il faut récupérer cette énergie. *Débrancher une bobine parcourue par un courant, c'est un peu arrêter une voiture en l'envoyant contre un mur.*

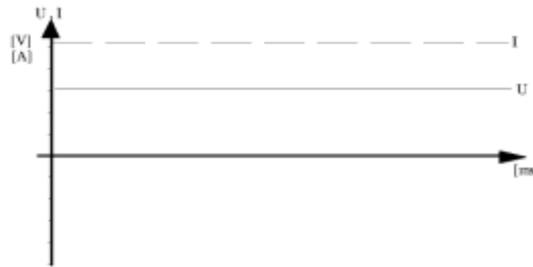
Electricité (notions de base)

Comportement d'une bobine (inductance pure)

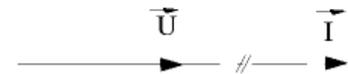
Courant continu



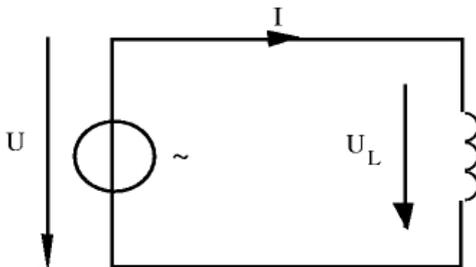
Représentation temporelle



Représentation vectorielle



Courant alternatif sinusoïdal

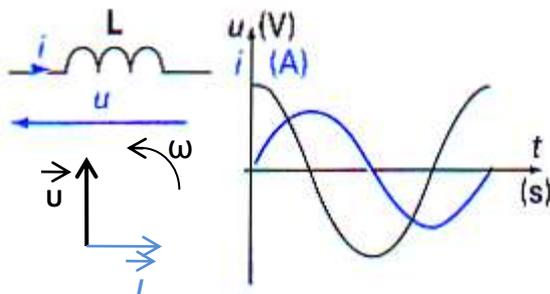


La caractéristique de la bobine est d'avoir un comportement différent en régime continu et en régime alternatif.

Electricité (notions de base)

Comportement d'une bobine (inductance pure)

- Il y a une importante différence de comportement entre le circuit alimenté par une source continue et celui alimenté par une source alternative.
- Avec la source continue, le courant est limité par la résistance du fil qui compose la bobine. Le courant est généralement très grand car la résistance du fil est petite.
- La loi de Lenz définit que la variation de la tension induite est toujours opposée à la variation de la tension qui l'a créée. Ce qui explique que le courant est en retard de 90° par rapport à la tension.
- La valeur du courant dépend de l'inductance de la bobine, de la résistance de son fil, de la fréquence et de la tension du générateur.



Une inductance pure ne présente, en théorie, aucune résistance. La tension u à ses bornes est en avance de 90° sur le courant i qui la traverse.

$$Z=L\omega; \varphi=90^\circ \text{ ou } \pi/2 \quad U=Z \times i$$

Note: Le produit $L\omega$, appelé réactance d'induction, s'exprime en ohms.

Electricité (notions de base)

Différences entre condensateurs et bobines :

Un condensateur aura pour effet de s'opposer aux variations de tension du courant, une bobine aura pour effet de s'opposer aux variations d'intensité du courant.

Le condensateur a besoin d'un courant (qui pourtant ne traverse jamais le diélectrique, isolant) pour se **charger**, mais sa charge se matérialise sous la forme d'une tension, statique, qui reste présente, même si l'on cesse le courant de charge. Ce condensateur chargé, est un générateur potentiel, capable de fournir du courant, si nécessaire, quand une résistance va se présenter à ses bornes.

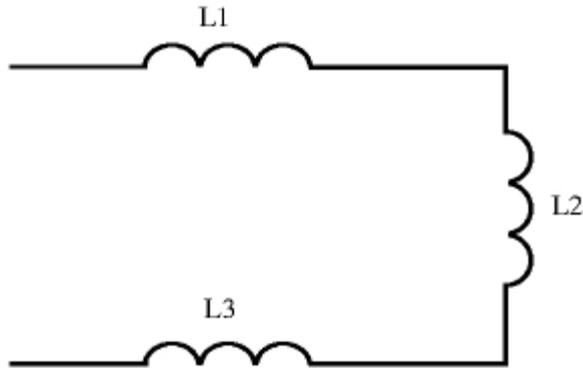
Pour la bobine, c'est tout le **contraire**, avec tous les contraires possibles. Tout ce qui est statique devient dynamique ... **La bobine s'oppose à la variation du courant au travers d'elle**. Et, une fois un courant établi, s'oppose à son annulation, en modifiant la tension à ses bornes. L'énergie qui est emmagasinée dans la bobine, l'est sous forme d'un **courant**, qui ne peut se maintenir que sur un circuit fermé.

La bobine a finalement un fonctionnement très analogue à celui d'un condensateur. Elle ne se charge pas en tension, mais en courant.

Electricité (notions de base)

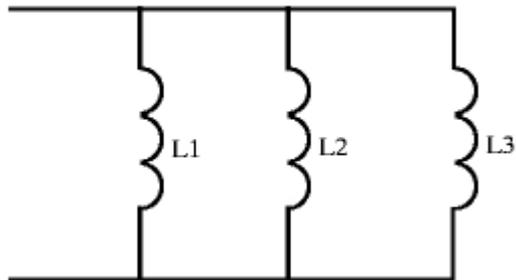
Couplages de bobines

Couplage en série



$$L_{\text{éq}} = L_1 + L_2 + L_3$$

Couplage en parallèle



$$L_{\text{éq}} = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}}$$

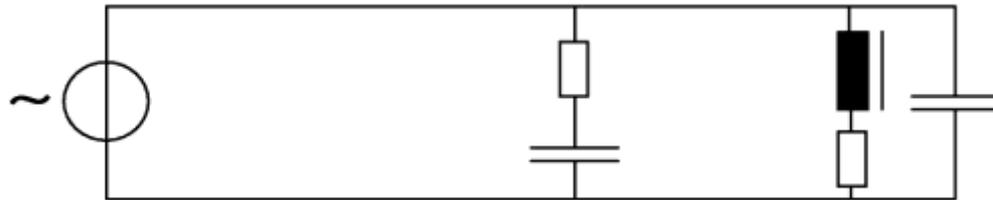
Ces calculs ne sont valables que sous l'hypothèse qu'il n'y a pas d'influence magnétique entre les bobines

Electricité (notions de base)

Groupement de dipôles RLC en courant alternatif

Circuit électrique

Lorsqu'un circuit électrique est alimenté par un régime alternatif sinusoïdal, les récepteurs peuvent être de n'importe quel type. Tous les récepteurs peuvent représenter un couplage mixte, composé de résistances R et/ou de condensateurs C et/ou d'inductances L .



La source d'alimentation ne voit en définitive qu'un seul récepteur appelé :

impédance

dont la particularité est de tenir compte du déphasage entre la tension u et le courant i .



Electricité (notions de base)

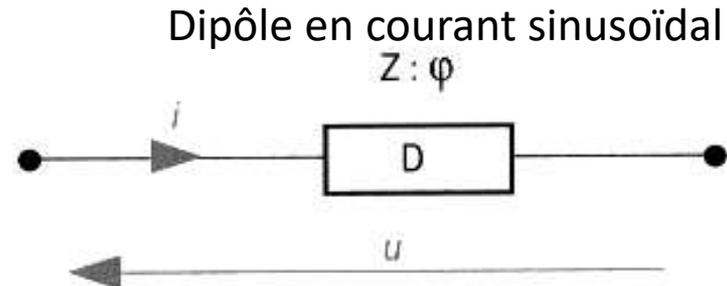
Groupement de dipôles RLC en courant alternatif

Le courant alternatif, impédance

L'impédance Z d'un dipôle parcouru par un **courant alternatif sinusoïdal** est égale au quotient de la valeur efficace U de la tension à ses bornes par l'intensité efficace I qui le parcourt.

$$Z = U/I$$

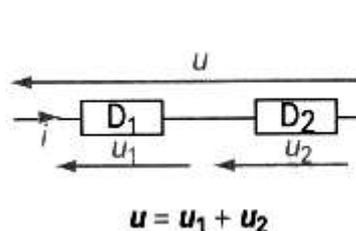
Avec : Z en ohms, U en volts, I en ampères.



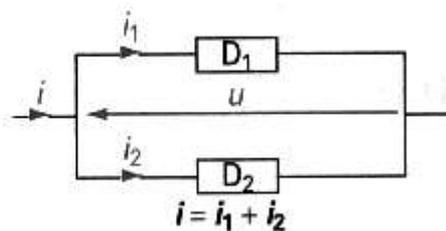
Cette impédance Z est une valeur imaginaire. Il n'existe pas d'appareil appelé IMPEDANCEMETRE capable de mesurer n'importe quelle impédance.

Seuls un voltmètre, un ampèremètre, un $\cos \varphi$ -mètre et la relation mathématique permettent de la calculer.

Loi des mailles



Loi des nœuds



La loi des mailles s'applique aux dipôles en série.

La loi des nœuds s'applique aux dipôles en dérivation.

Electricité (notions de base)

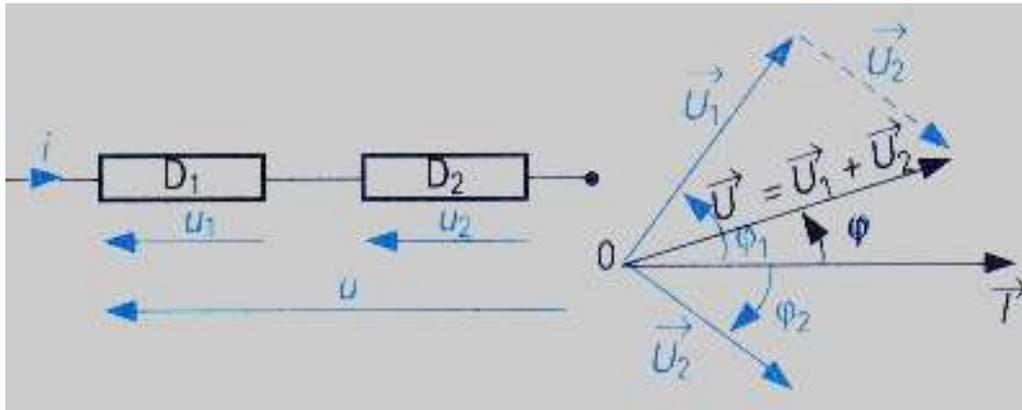
Groupement de dipôles en série en courant alternatif

Dans un groupement série **les dipôles sont parcourus par le même courant i** et la tension u appliquée au groupement est égale à la somme des tensions partielles.

$$u = u_1 + u_2 \quad \text{ou} \quad \vec{U} = \vec{U}_1 + \vec{U}_2$$

\vec{I} est commun à tous les éléments, il nous sert de référence pour le diagramme.

Diagramme de Fresnel :



- La position des vecteurs est déterminée par le déphasage entre les tensions.
- La longueur des vecteurs correspond à la valeur des tensions présente sur les éléments.
- Les déphasages entre les tensions apparaissent plus clairement sur le diagramme.

L'addition arithmétique des tensions partielles donne une valeur plus grande que celle de la tension totale aux bornes du circuit.

Electricité (notions de base)

Résistance et inductance pure circuit RL

La tension u aux bornes du groupement est égale à $u = u_R + u_L$

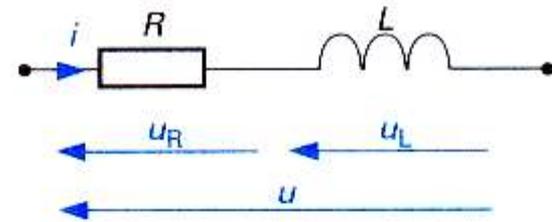
Soit sur le plan vectoriel à $\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L$
Ces trois vecteurs mis bout à bout forment le triangle des **tensions**, dans lequel

$$U^2 = U_R^2 + U_L^2$$

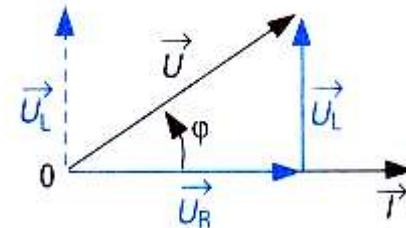
Comme $U_R = RI$ et $U_L = Z_L I = L\omega I$,
alors $U^2 = (RI)^2 + (L\omega I)^2$

D'où l'on tire

$$Z = U/I = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$$
$$\tan \varphi = U_L/U_R = L\omega/R$$



Triangle des tensions



Triangle des impédances

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$$
$$\tan \varphi = \frac{L\omega}{R}$$

Electricité (notions de base)

Résistance et capacité pure circuit RC

La tension u aux bornes du groupement est égale à $u = u_R + u_C$

Soit sur le plan vectoriel à $\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_C$
Ces trois vecteurs mis bout à bout forment le triangle des **tensions**, dans lequel

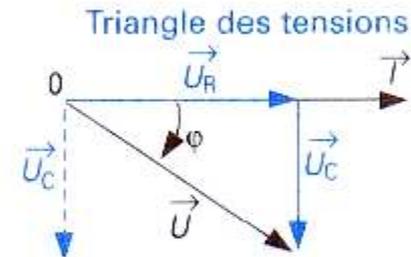
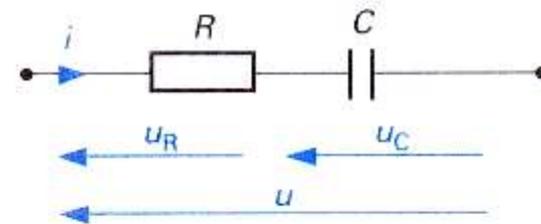
$$U^2 = U_R^2 + U_C^2$$

Comme $U_R = RI$ et $U_C = Z_C I = I/C\omega$,
alors $U^2 = (RI)^2 + (I/C\omega)^2$

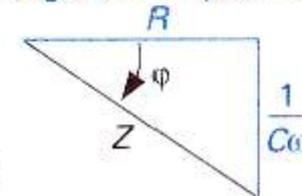
D'où l'on tire

$$Z = U/I = \sqrt{R^2 + (1/C\omega)^2}$$

$$\tan \varphi = -U_C/U_R = -(I/C\omega)/(RI) = -1/RC\omega$$



Triangle des tensions



$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

$$\tan \varphi = -\frac{1}{RC\omega}$$

Electricité (notions de base)

Résistance, induction et capacité pure circuit RLC

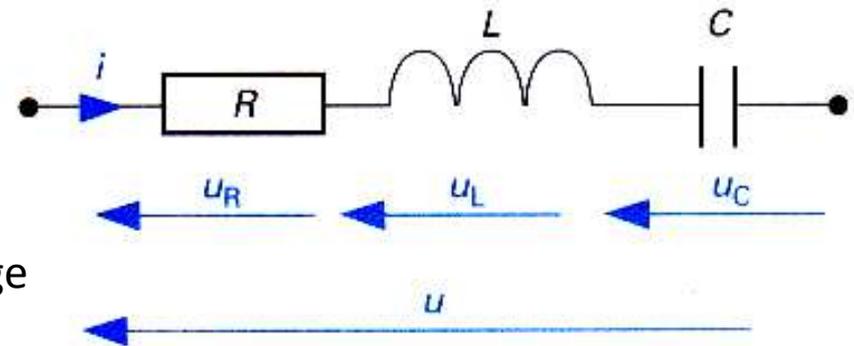
Quand une bobine d'inductance L , et de résistance R est placée en série avec un condensateur parfait de capacité C , la tension u aux bornes du groupement a pour expressions :

algébrique

$$u = u_R + u_L + u_C$$

vectorielle

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$$



L'impédance totale du circuit et le déphasage ont pour valeur :

$$Z = U/I = \sqrt{R^2 + (L\omega - 1/C\omega)^2}$$

$$\tan \varphi = (U_L - U_C)/U_R = (L\omega - 1/C\omega)/R$$

Electricité (notions de base)

Résistance, induction et capacité pure circuit RLC

3 types de récepteurs

Résistance

$$u = R.i$$

Inductance

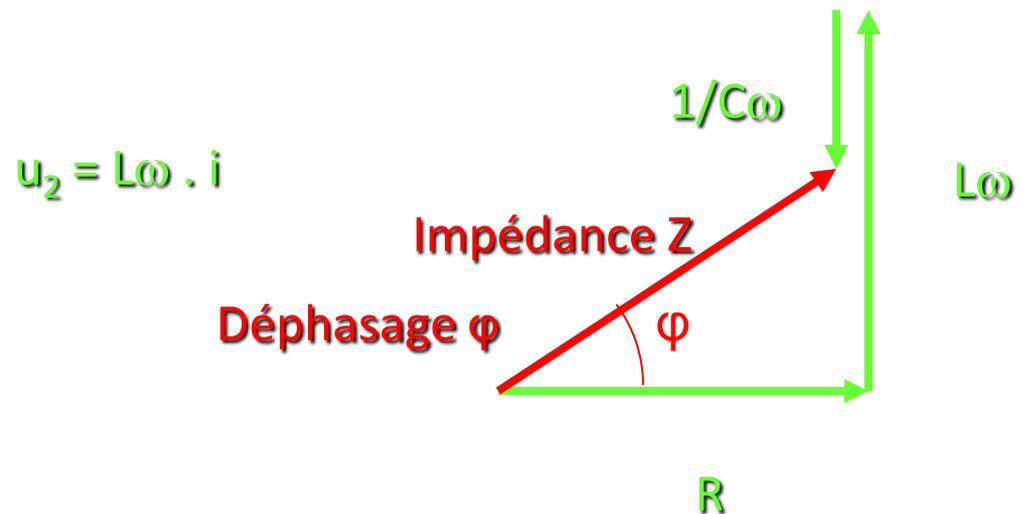
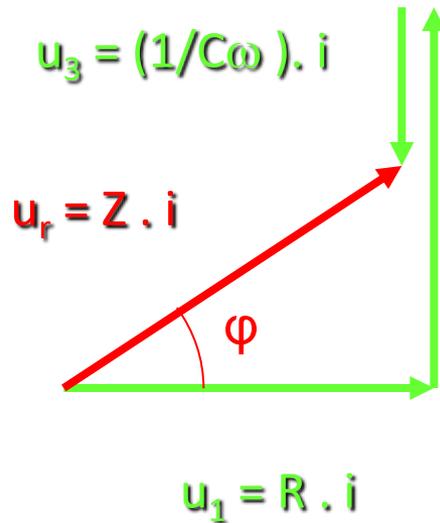
$$u = L\omega . i$$

Capacité

$$u = 1/C\omega . i$$

Diagramme de Fresnel

Additions vectorielles

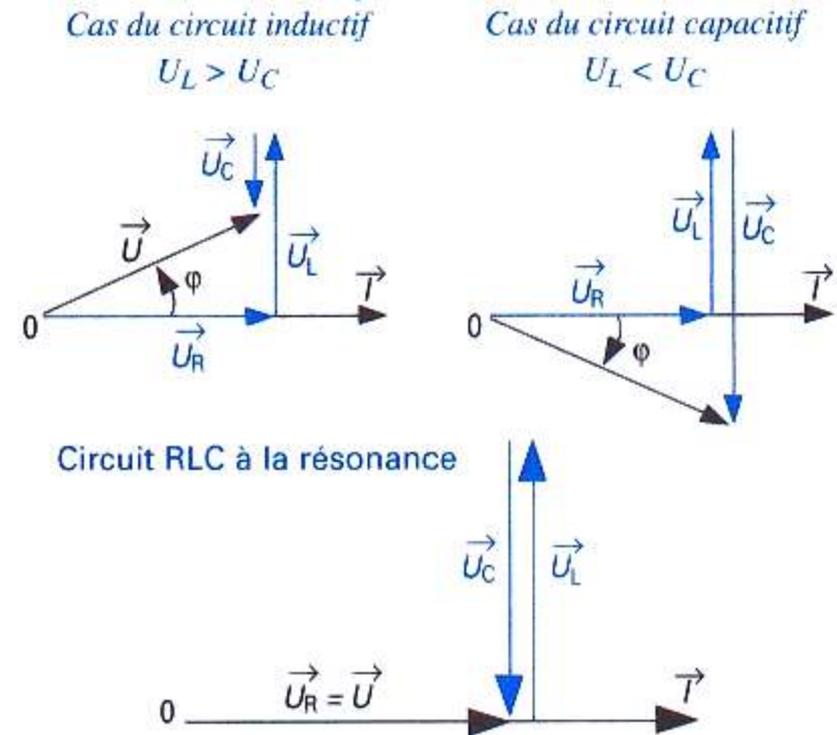


Electricité (notions de base)

Résistance, induction et capacité pure circuit RLC

Selon les valeurs de L , C et ω , trois cas sont considérés

- $U_L > U_C$ ce qui entraîne $L\omega > 1/C\omega$
La tension u est en avance sur le courant i ,
le circuit est **INDUCTIF**.
- $U_L < U_C$ ce qui entraîne $L\omega < 1/C\omega$
La tension u est en retard sur le courant i ,
le circuit est **CAPACITIF**.
- $U_L = U_C$ ce qui entraîne $L\omega = 1/C\omega$
La tension u est en phase avec le courant i ,
le circuit est équivalent à une **RÉSISTANCE PURE** de valeur R .
Le circuit RLC est dit à la **RÉSONANCE** et la condition de résonance a pour expression :
$$LC\omega^2 = 1$$



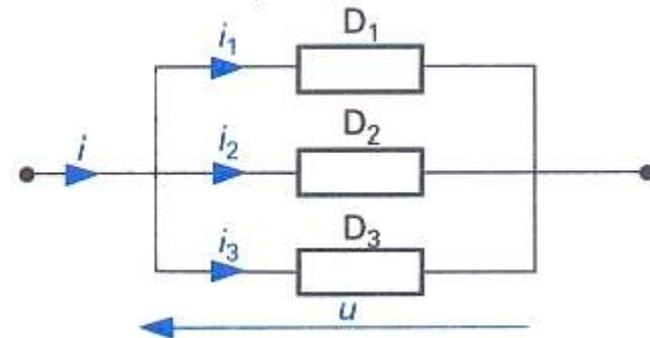
Electricité (notions de base)

Groupement de dipôles en dérivation en courant alternatif

Dans un groupement en dérivation les dipôles ont tous la même tension u à leurs bornes.

L'intensité du courant traversant le groupement est égale à la somme des intensités dans chaque dipôle.

$$i = i_1 + i_2 + i_3 \quad \vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3$$



Pour déterminer la conductance totale d'un circuit parallèle, nous additionnons les conductances de chacune des branches. La résistance équivalente du circuit sera égale à l'inverse de la conductance totale. Cette méthode simplifie les calculs et nous pouvons l'appliquer aux circuits RC, RL et RLC parallèle.

Admittance Y : facilité qu'a un circuit composé d'éléments résistifs et réactifs à laisser passer le courant lorsqu'une tension alternative lui est appliquée, en tenant compte du déphasage entre U et I . $Y = 1 / Z$ (en Siemens)

Electricité (notions de base)

Condensateur et inductance dans un circuit LC parallèle

\vec{U} est commun à tous les éléments, il nous sert de référence pour le diagramme.

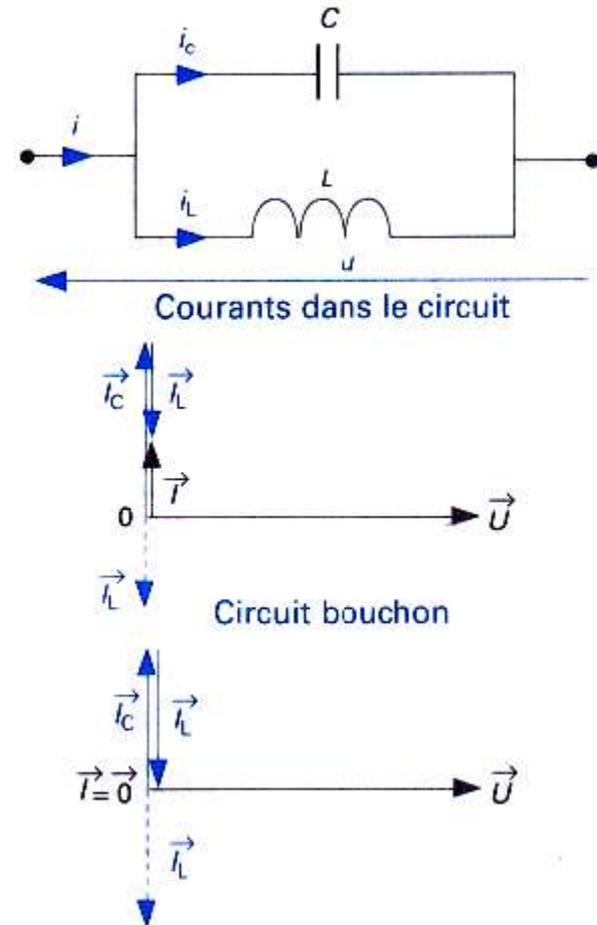
La loi des courants a pour expression : $i = i_C + i_L$

Le courant i_C est en avance de 90° sur la tension u et le courant i_L est en retard de 90° sur u .

Leurs vecteurs représentatifs, $\vec{I}_C + \vec{I}_L$ sont colinéaires, de sens opposés.

Le courant total I est égal à $I = |\vec{I}_C + \vec{I}_L|$

Lorsque $I_C = I_L$, le courant traversant est nul, quelle que soit la tension à ses bornes. Le circuit est alors équivalent à un interrupteur ouvert, il est appelé circuit bouchon.



Electricité (notions de base)

Puissance consommée par les dipôles élémentaires

Résistance pure :

Dans une résistance pure, tension u et courant i sont en phase.
Le facteur de puissance est égal à 1.

$$\cos \varphi = 1 \quad \sin \varphi = 0 \quad \text{Puissance active : } P = S = UI = R I^2 = U^2/R$$

Inductance pure :

Dans une inductance pure la tension u est en avance de 90° sur le courant i .
Le facteur de puissance est nul.

$$\cos \varphi = 0 \quad \sin \varphi = 1 \quad \text{Puissance réactive : } Q = S = UI = L\omega I^2 = U^2/L\omega$$

Capacité pure :

Dans une capacité pure la tension u est en avance de 90° sur le courant i .
Le facteur de puissance est nul.

$$\cos \varphi = 0 \quad \sin \varphi = 1 \quad \text{Puissance réactive : } Q = S = -UI = -U^2C\omega = I^2/C\omega$$

Electricité (notions de base)

Courant alternatif sinusoïdal

- ✓ Z *impédance en Ohms* ➤ $P = U \cdot I \cos \varphi$ *puissance active*
- ✓ R *résistance en Ohms* ➤ $U = Z \cdot I$
- ✓ $L\omega - 1/c\omega$ *réactance en Ohms* ➤ $Z = \sqrt{[R^2 + (L\omega - 1/c\omega)^2]}$ théorème de Pythagore
- ✓ $\omega = 2 \pi f$ *pulsation*

Nature de l'énergie :

Certains récepteurs électriques (moteur, transformateur, luminaires fluorescents...) alimentés en courant alternatif mettent en jeu deux formes d'énergie :

- ✓ **l'énergie active** qui correspond à la **puissance active P** mesurée en **kW**, et qui se transforme intégralement en énergie mécanique, thermique, lumineuse...
- ✓ **l'énergie réactive** qui correspond à la **puissance réactive Q** mesurée en **kvar** et qui sert à la magnétisation des circuits magnétiques des machines électriques (empilage de tôles des appareils électriques : transformateurs, machines tournantes...)

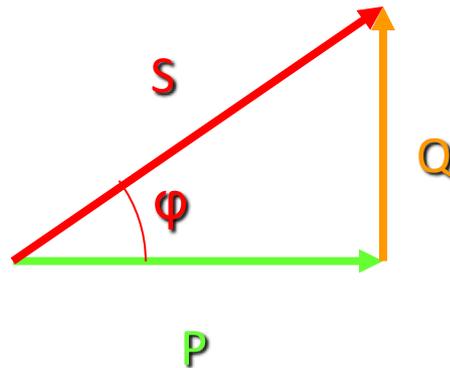
Le réseau de distribution fournit l'énergie apparente qui correspond à la puissance apparente (ou puissance appelée) S, mesurée en kVA.

Electricité (notions de base)

Puissances en système monophasé

- $P = U \cdot I \cos \varphi$ *puissance active en W (watts)*
elle est égale à la valeur moyenne de la puissance instantanée
- $S = U \cdot I$ *puissance apparente en VA (Volt-Ampère)*
- $Q = U \cdot I \sin \varphi$ *puissance réactive en VAR (Volt-Ampère-réactif)*

- $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
- $\cos \varphi = P / S$

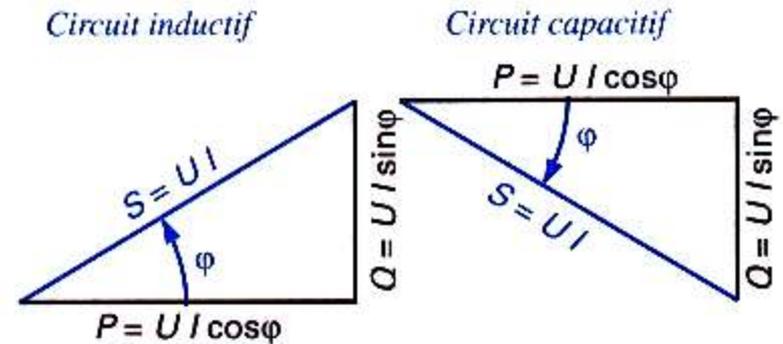


Electricité (notions de base)

Puissance en système monophasé

Triangle des puissances

Les trois côtés de ce triangle, désigné triangle des puissances, sont respectivement égaux aux puissances active (P), réactive (Q) et apparente (S).



$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$\cos\phi = P / S$$

$$\tan\phi = Q / P$$

Electricité (notions de base)

Puissance en système monophasé

Théorème de Boucherot

Ce théorème fondamental énonce la conservation des puissances actives et réactives.

- La puissance active reçue par une association de dipôles est égale à la somme arithmétique des puissances actives reçues par chaque dipôle.
- La puissance réactive reçue par une association de dipôles est égale à la somme algébrique des puissances réactives reçues par chaque dipôle.
- Les puissances apparentes ne se conservant pas, ne peuvent être additionnées.

Electricité (notions de base)

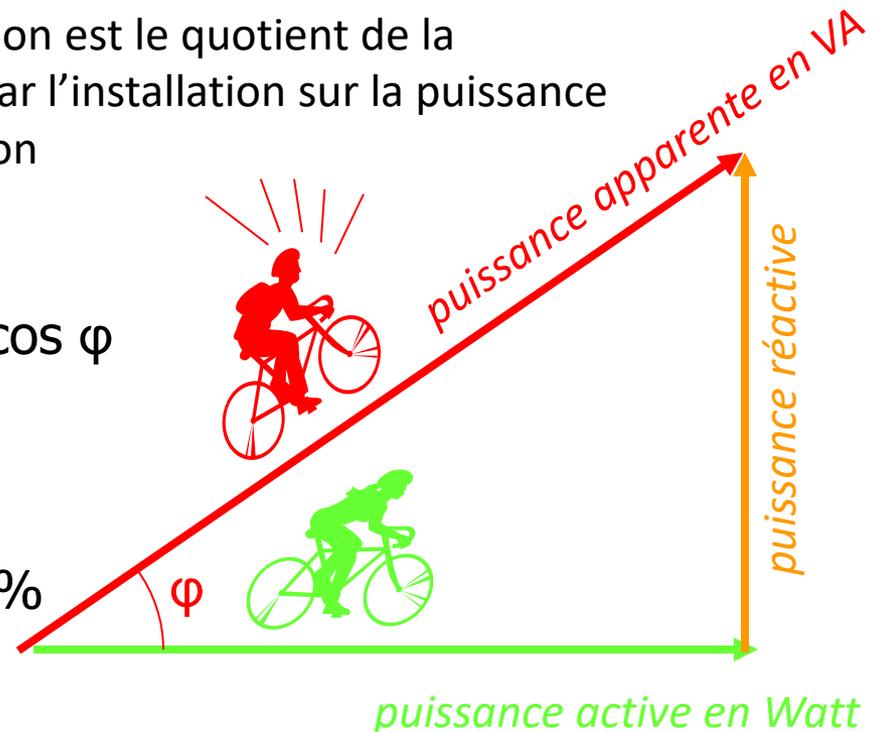
Facteur de puissance

Le $\cos \varphi$ c'est quoi ?

Le facteur de puissance de l'installation est le quotient de la puissance active (kW) consommée par l'installation sur la puissance apparente (kVA) fournie à l'installation

- Puissance active $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$
- $\cos \varphi = 0,8$
- $I' = I / 0,8 = I \cdot 1,25$

- Puissance consommée x 25 %



Electricité (notions de base)

Facteur de puissance

Globalement, le facteur de puissance est défini par le rapport entre la puissance active P (en watts) et la puissance apparente S (en voltampères).

Il varie entre 0 et 1 et n'a pas d'unité :

$$\text{Facteur de puissance} = \cos \varphi = P(\text{kW}) / S (\text{kVA})$$

$$P = \text{Puissance active en kW}$$

$$S = \text{Puissance apparente en kVA}$$

$$FP = \frac{\text{Puissance active}}{\text{Puissance apparente}}$$

La puissance active P est la puissance utile : c'est celle qui produit un travail utile suivant la fonction de l'appareil électrique. Elle se calcule en faisant $U \cdot I \cdot \cos \varphi$ en régime sinusoïdal, U étant la tension, I étant le courant (tous les 2 en valeurs efficaces) et φ est le déphasage entre tension et courant.

C'est celle que l'on consomme réellement, ce qu'un wattmètre mesure en watts et c'est ce qu'on paye en tant que particulier grâce au compteur.

La puissance apparente S est celle qui est appelée par l'appareil sur le réseau. Elle se calcule en faisant $U \cdot I$ en valeurs efficaces et s'exprime en Voltampères (VA), attention ce ne sont pas des watts ! Comme son nom le laisse supposer, elle n'est qu'apparente car c'est ce que semble consommer l'appareil vu de l'extérieur.

Electricité (notions de base)

Amélioration du facteur de puissance

Un facteur de puissance proche de 1 indique une faible consommation d'énergie réactive et optimise le fonctionnement d'une installation.

Compenser une installation consiste à installer une source d'énergie réactive de compensation qui permet d'améliorer le facteur de puissance de l'installation.

Pour un particulier, avoir un facteur de puissance proche de 1, ou non, ne changera pas sa facture puisqu'il ne paye pas la puissance réactive.

Les industriels, qui utilisent des machines avec de gros moteurs développant beaucoup de puissance réactive, sont obligés de relever leur facteur de puissance global. Ils peuvent le faire grâce à des batteries de condensateurs montés sur l'arrivée du courant pour tenter de neutraliser le déphasage généré par les machines de production.

Il faut faire attention car il y a souvent confusion entre ce que l'on appelle le $\cos \varphi$ et le facteur de puissance, ça n'est pas la même chose. Le seul cas très exceptionnel où $FP = \cos \varphi$, c'est quand la tension et le courant tirés du réseau sont purement sinusoïdaux, autrement dit jamais (il y a toujours déformation, même minime).

Electricité (notions de base)

Amélioration du facteur de puissance

Cette énergie réactive de compensation est produite en installant un condensateur ou une batterie de condensateurs.

Exemple :

Soit un moteur qui, en régime normal, absorbe une puissance de 125 kW avec un $\cos \varphi = 0,75$, soit $\text{tg } \varphi = 0,88$.

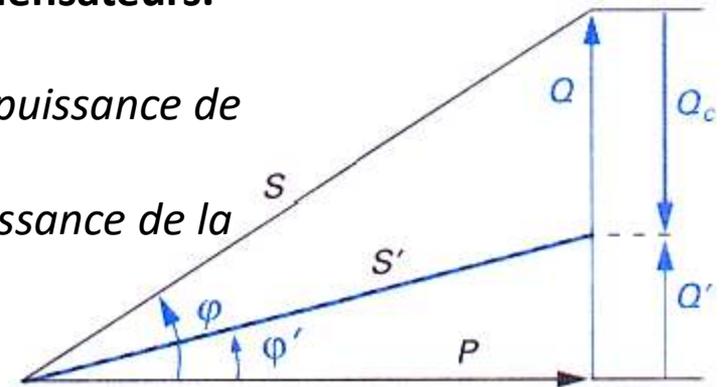
Pour passer à un $\cos \varphi = 0,93$ soit $\text{tg } \varphi = 0,40$, la puissance de la batterie de condensateurs à installer est

$$Q_C = 125 (0,88 - 0,40) = 60 \text{ kvar}$$

Avantages technico-économiques

L'amélioration du facteur de puissance permet :

- une **diminution de la section des câbles**,
- une **diminution des pertes en ligne**,
- une **réduction de la chute de tension**,
- une **augmentation de la puissance disponible**.



Avant compensation

- Puissance réactive **Q** et $\cos \varphi$

Après compensation

- Puissance réactive **Q'** et $\cos \varphi'$

Q_C est la puissance réactive de compensation

$$Q_C = P (\text{tg } \varphi - \text{tg } (\varphi')).$$

Electricité (notions de base)

Amélioration du facteur de puissance

Par exemple, le fournisseur d'électricité (EDF) impose à ses clients d'avoir un facteur de puissance minimum car s'il est trop faible, le courant appelé est bien plus grand que nécessaire et on diminue la capacité de ses installations électriques. En effet, ses transformateurs sont définis pour une puissance apparente en VA, pas pour une puissance active en watts !

S'ils autorisaient les petits facteurs de puissance, EDF devrait sur-dimensionner tout son réseau, ce qui est bien sûr hors de question pour des raisons évidentes de coût. Sans parler que les pertes augmenteraient aussi, et elles sont déjà assez élevées comme ça...



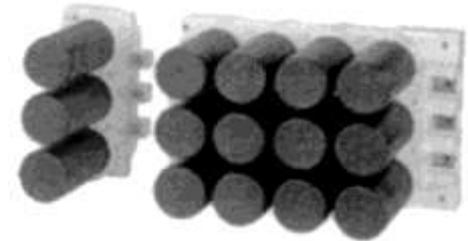
Electricité (notions de base)

Techniques de compensation, moyens

Une compensation peut se faire en basse tension, ou en haute tension.

En basse tension la compensation est réalisée avec deux familles de produits :

- les **condensateurs fixes**,
- les **équipements à régulation automatique ou batteries automatiques** qui permettent d'ajuster en permanence la compensation aux besoins de l'installation.



Assemblage de condensateurs fixes
Capacité totale = Capacité d'un élément x N éléments

Electricité (notions de base)

Amélioration du facteur de puissance, mode de compensation

La compensation peut-être :

Globale

La batterie est raccordée en **tête d'installation** et assure une compensation pour l'ensemble de l'installation et reste en service de façon permanente.

Cette compensation convient lorsque la **charge est stable et continue.**

Partielle

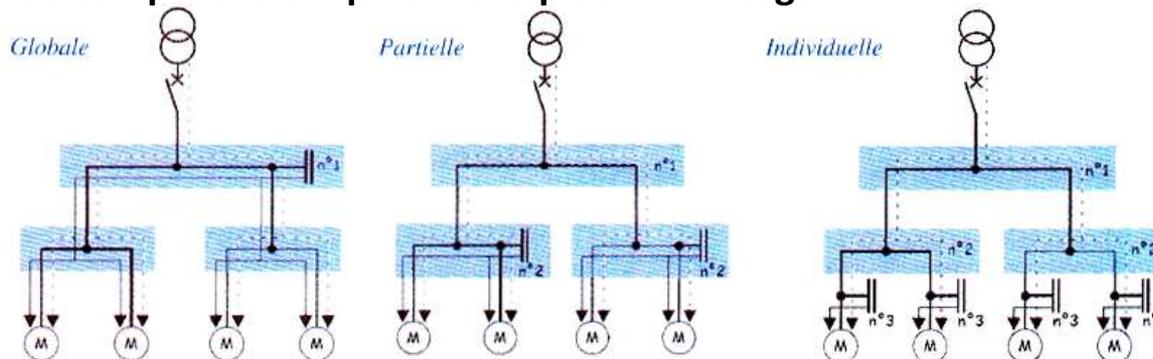
La batterie est raccordée au **tableau de distribution** et fournit l'énergie réactive **par atelier ou par groupe de récepteurs.**

Ce mode de compensation est conseillé lorsque l'installation **comporte des ateliers dont les régimes de charge sont différents.**

Individuelle

La batterie est raccordée **directement aux bornes de chaque récepteur de type inductif** (notamment moteurs). Cette compensation individuelle est à envisager lorsque la **puissance de certains récepteurs est importante par rapport à la puissance souscrite.**

C'est le type de compensation qui offre le plus d'avantages.



Electricité (notions de base)

Amélioration du facteur de puissance

Voici les différences avec les 4 cas possibles :



Cas 1 : Courant et tension en phase et sinusoïdaux
 $PF = \cos \phi$ et $PF = 1$



Cas 2 : Courant et tension sinusoïdaux mais déphasés
 $PF = \cos \phi$ et $PF < 1$



Cas 3 : Courant et tension en phase mais courant non sinusoïdal
 $PF = \cos \phi$ et $PF < 1$

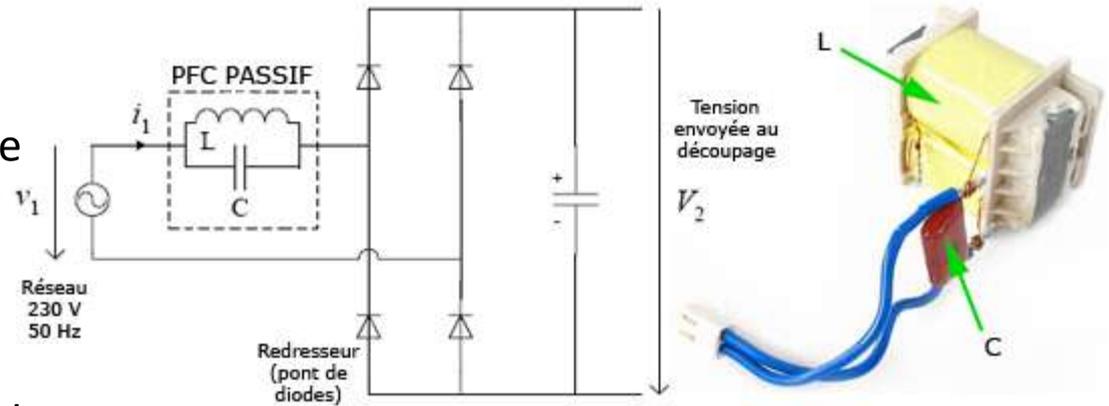
Cas 4 (réel) : Courant et tension déphasés et courant non sinusoïdal $PF < 1$

- **cas 1 :** c'est celui vers lequel on veut tendre avec un PFC. C'est celui qu'on obtient si l'on branche une résistance pure sur le réseau, elle n'engendre aucune déformation ni déphasage (avance ou retard du courant sur la tension).
- **cas 2 :** c'est celui obtenu quand la charge est purement inductive, elle ne déforme pas le courant, mais elle le retarde de 90° . Dans le cas d'une charge purement capacitive, le courant sera aussi non déformé, mais en avance sur la tension cette fois de 90° .
- **cas 3 :** c'est un cas rare où le courant est très déformé, mais il reste en phase avec la tension. On a donc $\cos \phi = 1$ car les 2 fondamentaux sont en phase, mais FP est inférieur à 1 à cause de la déformation du courant.
- **cas 4 :** c'est le mélange des cas 2 et 3 (non représenté). Le courant est à la fois déformé et déphasé, dans un sens ou dans l'autre, par rapport à la tension. C'est ce qu'on obtient avec une alimentation sans PFC et plus globalement avec un système réel (non linéaire).

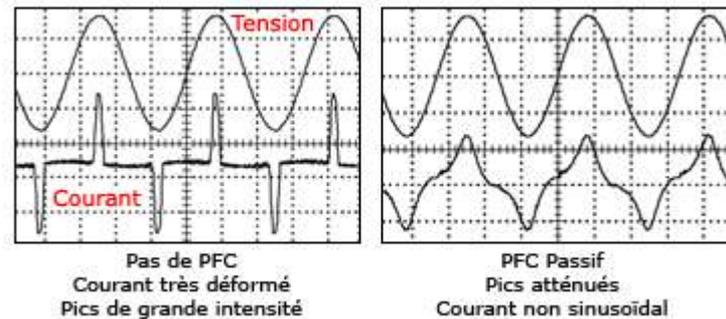
Electricité (notions de base)

Amélioration du facteur de puissance

C'est la solution la plus simple et la moins chère d'entre toutes, mais également la moins performante. Le module se place juste à l'entrée de la manière suivante :



On atténue la raideur des fronts de montée du courant grâce à l'inductance en stockant un peu d'énergie puis en la redistribuant. On peut espérer obtenir un facteur de puissance entre 0.6 et 0.8 suivant la charge :



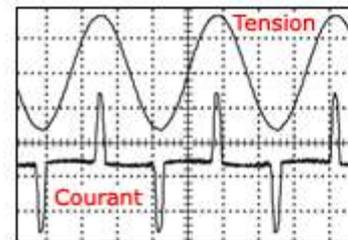
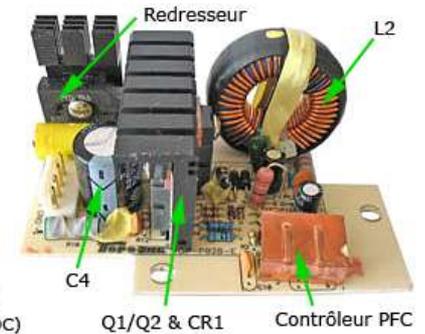
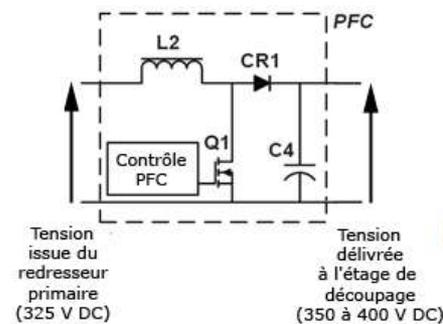
Néanmoins, un PFC passif c'est mieux que rien, mais ça ne vaudra jamais un module actif qui se charge des corrections d'une manière beaucoup plus pointue.

Electricité (notions de base)

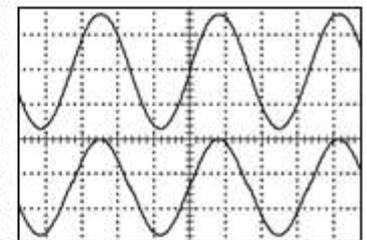
Amélioration du facteur de puissance

Un PFC actif est un petit module intercalé à l'entrée de l'alimentation et géré par un contrôleur intégré qui analyse et corrige en temps réel l'allure du courant par rapport à la tension. Il en déduit les erreurs de forme par comparaison avec la sinusoïde redressée de la tension et il les corrige en contrôlant le flot d'énergie grâce à un découpage haute fréquence et un stockage d'énergie dans une inductance. Son rôle est d'obtenir un courant non déphasé et le plus sinusoïdal possible en entrée de l'alimentation.

PFC (Power Factor Correction)



Pas de PFC
Courant très déformé
Pics de grande intensité



PFC actif
Courant sinusoïdal
Plus de déformations

Electricité (notions de base)

Correction du facteur de puissance

Finalement, ce PFC actif agit comme si l'alimentation était une résistance pure vue de l'extérieur, c'est à dire que le courant est en phase avec la tension et il est sinusoïdal sans déformations. L'efficacité du transport énergétique est alors maximale.

Les avantages d'un PFC actif sont nombreux. Sa mise en place évite la surcharge des installations électriques et permet de faire des économies d'électricité pour ceux qui doivent payer la puissance réactive.

Néanmoins, il possède aussi **quelques inconvénients.**

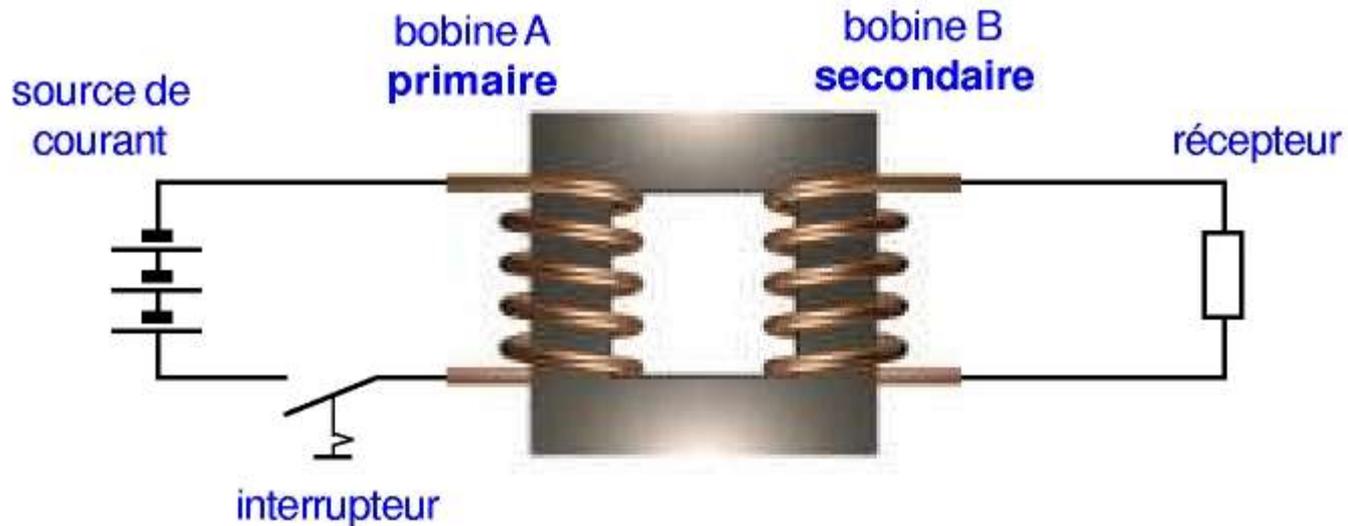
Un module PFC actif seul a un rendement électrique d'environ 94 %, alors qu'un PFC passif est à environ 97 %. L'ajout d'un module actif tend donc à réduire le rendement d'une alimentation de 1 à 5 % suivant la charge qu'on lui demande.

En augmentant le nombre de composants, on augmente aussi statistiquement le nombre de pannes. On augmente enfin le coût et la complexité, même si les contrôleurs sont de plus en plus souples à utiliser.

Electricité (notions de base)

Induction mutuelle

Le terme " induction mutuelle " désigne la façon dont l'énergie d'un circuit est partagée entre celui-ci et un autre. Cela signifie que de l'énergie se transmet d'un circuit à l'autre sans, pour autant, qu'il n'y ait de contact électrique entre les deux. Dans le schéma, *la bobine A constitue le circuit **primaire** qui reçoit l'énergie directement de la source de courant (à condition que l'interrupteur soit fermé).*



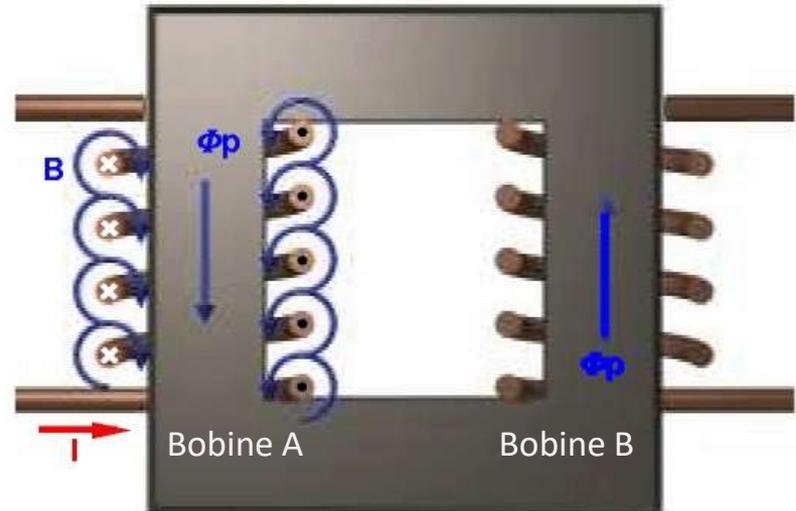
La ***bobine B, secondaire***, reçoit l'énergie venant du primaire et la transmet au récepteur.

Electricité (notions de base)

Induction mutuelle, principe de fonctionnement

Lorsqu'on ferme l'interrupteur, un courant s'établit dans la bobine A. Si on applique la règle de la flèche, on peut déterminer le sens du courant dans chaque conducteur de cette bobine.

Ce courant crée une induction (et un flux d'induction), dont le sens peut être trouvé par la règle du tire bouchon, se propageant dans tout le circuit magnétique jusqu'à la bobine B.



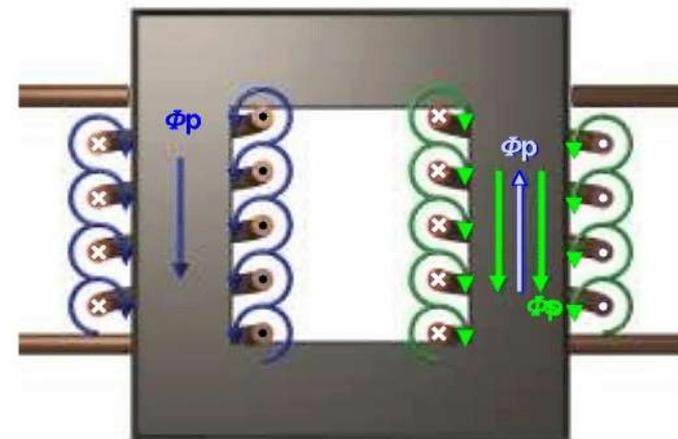
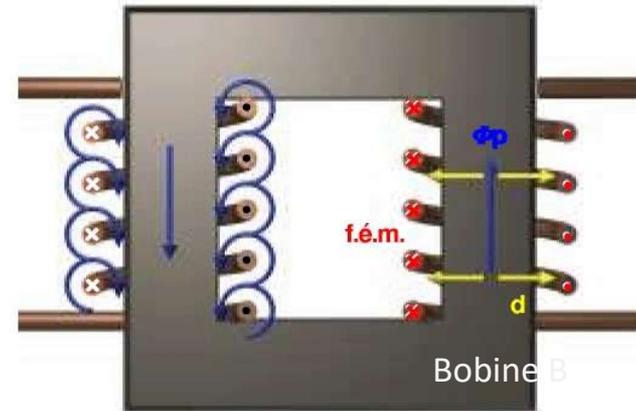
Electricité (notions de base)

Induction mutuelle, principe de fonctionnement

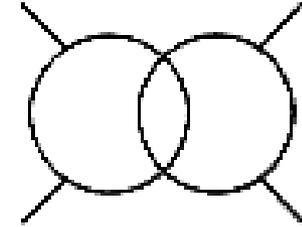
Le flux produit par la bobine primaire est variable, il augmente car le courant augmente aussi à la fermeture de l'interrupteur.

Cette variation de flux produit induit une force électromotrice dans la bobine B.

Si l'on ferme le circuit de la bobine secondaire sur un récepteur, il y circule un courant induit produisant son propre flux. Le sens de la f.é.m. induite est tel que ce flux produit (Φ_s) est de sens contraire au flux de la bobine primaire (Φ_p).

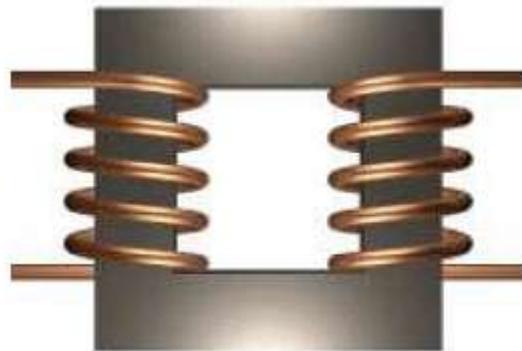


Electricité (notions de base)



Principe de fonctionnement d'un transformateur

Le principe de l'induction est à la base du principe de fonctionnement du transformateur. En effet, remplaçons la source de courant continu par une source de courant alternatif. La variation de courant étant incessante, la bobine B est le siège d'une f.é.m. incessante. L'action qui provoque cette génération de courant est appelée "transformation".



bobine primaire

bobine secondaire

Un transformateur simple se compose de deux bobines électriquement isolées l'une de l'autre. Celle des bobines à laquelle on applique le courant alternatif s'appelle "primaire". Elle produit un champ magnétique qui coupe les spires de l'autre bobine appelée "secondaire", dans laquelle elle induit une tension.

Les deux bobines ne sont pas directement reliées entre elles, mais elles sont magnétiquement couplées. Le transformateur va donc transmettre de l'énergie électrique d'une bobine à une autre au moyen d'un champ magnétique alternatif.

L'enroulement primaire, alimenté par le secteur est récepteur.

L'enroulement secondaire qui fournit une tension au circuit d'utilisation est générateur.

Electricité (notions de base)

Fonctionnement à vide d'un transformateur

Lorsqu'aucune charge n'est connectée à son secondaire, le transformateur est dit en fonctionnement à vide.

Supposons que toutes les lignes de force partant du primaire coupent toutes les spires du secondaire. La tension induite au secondaire va alors dépendre du rapport entre le nombre de spires de la bobine secondaire et le nombre de spires de la bobine primaire.

Par exemple, si la bobine secondaire compte 100 spires alors que la bobine primaire en possède 1000, la tension induite dans la bobine secondaire sera dix fois plus petite que la tension appliquée à la bobine primaire. $1000/100 = 10$

Par contre, en supposant que toute l'énergie absorbée par la bobine primaire soit transmise à la bobine secondaire, on peut en déduire que le rapport des intensités sera inversé. Dans le cas du transformateur décrit ci-dessus l'intensité parcourant la bobine secondaire sera dix fois plus grande.

On peut en déduire la formule du rapport de transformation :

$$m_0 = N_s/N_p = U_s/U_p = I_p/I_s \quad (m_0 \text{ rapport de transformation à vide})$$

Electricité (notions de base)

Fonctionnement d'un transformateur en charge

Le rapport de **transformation en charge**, m , est **légèrement inférieur** au rapport de **transformation à vide**, m_0 , compte tenu des **fuites magnétiques** entre le primaire et le secondaire et des **chutes de tensions ohmiques** dans les enroulements.

Puissance absorbée

La puissance absorbée d'un transformateur s'exprime en fonction de sa puissance apparente.

$$S_1 = U_1 \times I_1 \text{ avec}$$

S_1 puissance apparente en voltampères,

U_1 tension primaire en volts,

I_1 courant primaire en ampères.

Bobine B

Rendement

Le rendement η (Êta) est le rapport de la puissance utile P_2 fournie au secondaire à la puissance P_1 absorbée, par le primaire.

$$\eta = P_2 / P_1$$

Nota : Le rendement du transformateur est excellent, très proche de l'unité.

Electricité (notions de base)

Types de transformateurs

- On parlera de **transformateurs "élevateurs"** lorsque la tension secondaire est plus élevée que la tension primaire. Dans ce cas, le *rapport de transformation sera supérieur à 1*. On utilisera principalement ce genre de transformateur afin d'élever la tension lors du transport de l'énergie électrique afin de diminuer les pertes en lignes.
- A l'inverse **les transformateurs "abaisseurs"** sont ceux dont la tension secondaire est moins élevée que la tension primaire. Dans ce cas, le *rapport de transformation sera inférieur à 1*. La plupart des appareils électriques ou électroniques fonctionnant en très basse tension et alimenté par le secteur sont munis de ce genre de transformateurs.
- Les bobines d'un transformateur étant électriquement isolées l'une de l'autre, on peut utiliser cette propriété lorsqu'on souhaite avoir une alimentation électrique de sécurité. La tension primaire et la tension secondaire étant égales, le *rapport de transformation est égale à 1*. On parle alors de **transformateurs d'isolement**.

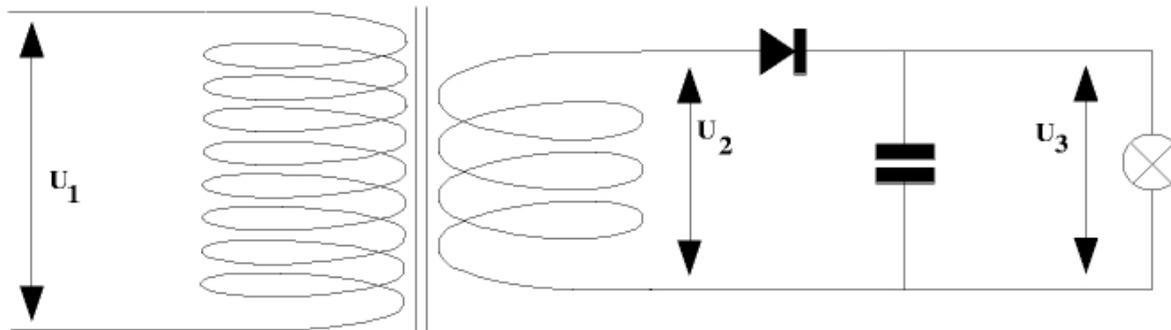
Electricité (notions de base)

Redressement du courant alternatif

Le principe :

Pour obtenir du courant continu à partir de courant alternatif, on utilise :

- un transformateur qui abaisse la tension,
- une ou plusieurs diodes qui ne laisse(nt) passer le courant que dans un seul sens,
- un condensateur, qui agit comme une réserve de courant électrique et qui lisse la tension (on dit qu'il la filtre).

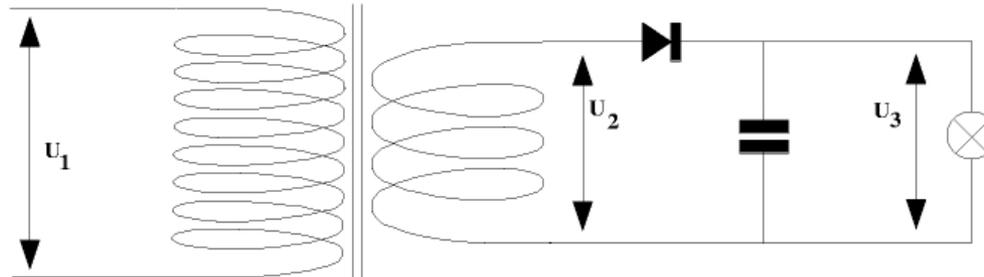


On obtient un courant redressé et filtré qui s'approche beaucoup du courant continu.

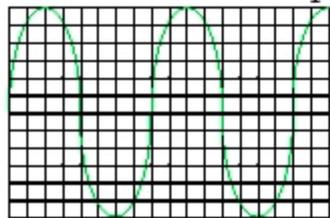
Electricité (notions de base)

Redressement du courant alternatif

Redressement mono-alternance (une seule diode) :

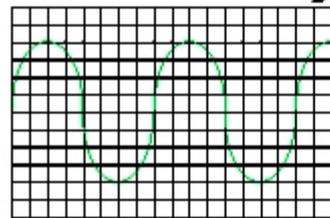


La tension au primaire du transformateur. U_1 .



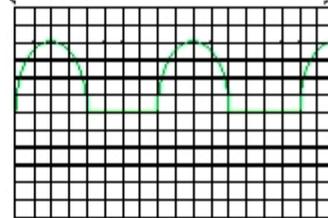
Tension **alternative** **sinusoïdale**.

La tension au secondaire du transformateur. U_2 .



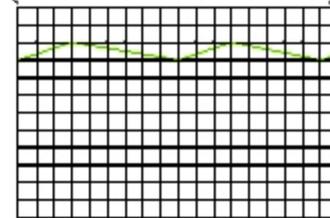
Tension **alternative** **sinusoïdale**.

La tension après la diode (sans condensateur).



Tension **redressée**.

La tension aux bornes de la lampe. U_3 (avec condensateur).



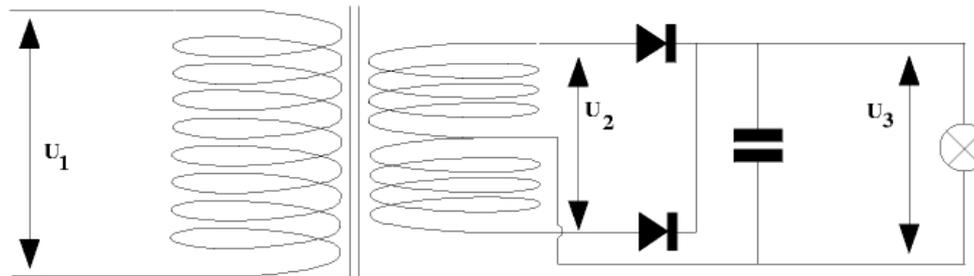
Tension **redressée** et **filtrée**.

Ce montage est peu utilisé en électronique, car la tension obtenue varie fortement si le courant demandé est important (ronronnement parasite).

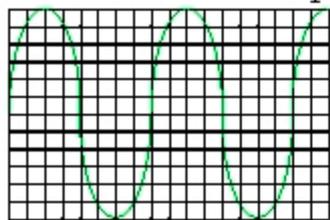
Electricité (notions de base)

Redressement du courant alternatif

Redressement bi-alternance (avec deux diodes) :

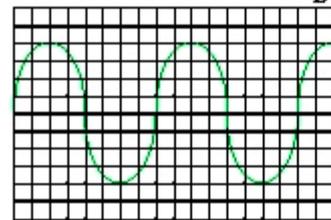


La tension au primaire du transformateur. U_1 .



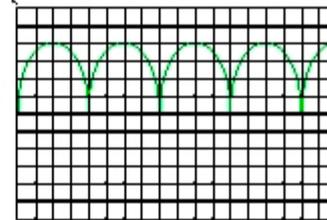
Tension **alternative** **sinusoïdale**.

La tension au secondaire du transformateur. U_2 .



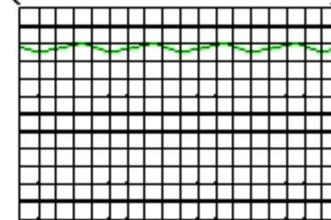
Tension **alternative** **sinusoïdale**.

La tension après les diodes (sans condensateur).



Tension **redressée**.

La tension aux bornes de la lampe. U_3 (avec condensateur).



Tension **redressée et filtrée**.

La tension obtenue est beaucoup plus régulière. Mais le transformateur doit posséder un secondaire double, à point central.

Production et distribution

Le courant alternatif triphasé

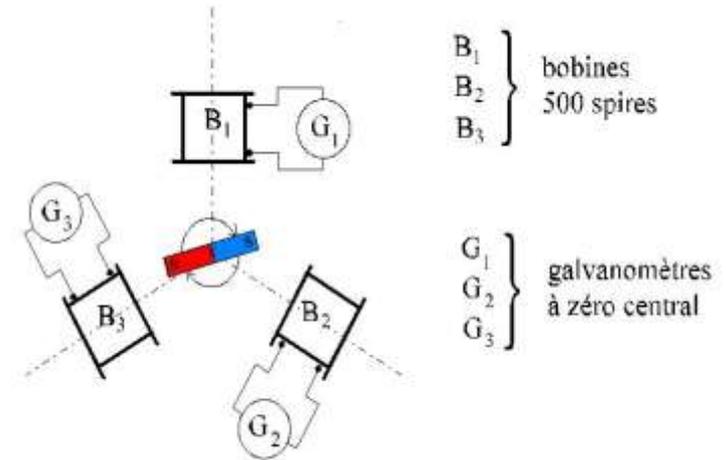
Toute l'électricité industrielle (à plus de 99%) est produite sous forme de triphasé alternatif parce que :

- les alternateurs ont un excellent rendement (>98%)
- le transport de l'énergie électrique peut se faire à moindre coût
- le triphasé est plus facilement redressé que le monophasé (pour l'alimentation en courant continu d'appareils transistorisés ou de moteurs à courant continu)
- le triphasé permet la création de champs magnétiques tournants à la base des moteurs asynchrone et synchrone (réciproque de l'alternateur)

Production et distribution

Le courant alternatif triphasé, principe de l'alternateur triphasé

On dispose trois bobines sans fer sur une table de telle façon que leurs axes présentent 2 à 2 un angle de 120° . Chacune de ces bobines est connectée à un galvanomètre à zéro central. Au point de rencontre des axes des bobines, on dispose un aimant droit, fixé à une longue tige engagée dans le mandrin d'une chignole.

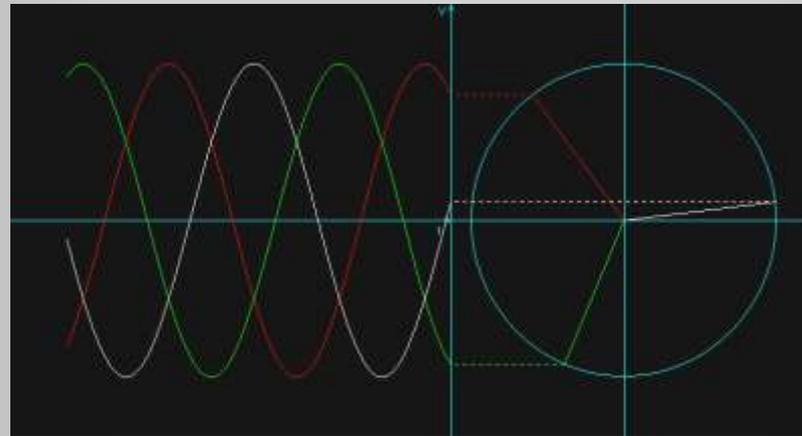


En faisant tourner lentement l'aimant, chaque bobine devient le siège d'une force électromotrice induite alternative. Cette constatation a déjà été faite en monophasé, mais on peut remarquer deux faits nouveaux:

- le même aimant est utilisé simultanément par trois générateurs,
- les tensions fournies par les trois bobines ont leurs maximums décalés dans le temps. Ce décalage s'expliquant très bien par la disposition géométrique des axes des bobines, on en conclut facilement que les trois sinusoïdes sont déphasées de $2\pi/3$.

Production et distribution

Modélisation tensions simples triphasées



Animation conçue et écrite par Jacques Gaudin (INA)

Le courant alternatif triphasé est généré par des champs tournants parcourant trois enroulements convenablement disposés.

Production et distribution

Le courant alternatif

1/ La rotation de la turbine

Une énergie en mouvement (eau) ou sous pression (vapeur d'eau) **fait tourner une turbine.**

2/ La rotation du rotor de l'alternateur

La turbine fait tourner l'axe sur lequel est fixé le rotor de l'alternateur, composé d'une série d'électroaimants.

3/ La production d'électricité

L'interaction entre les électroaimants mobiles du rotor et les bobines de fils de cuivre fixes qui composent le **stator** de l'alternateur produit un courant électrique.

4/ La consommation d'électricité

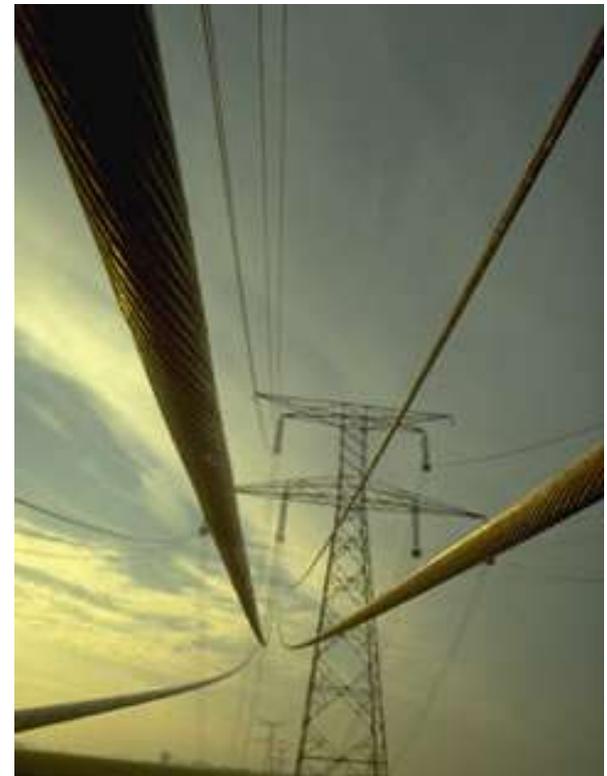
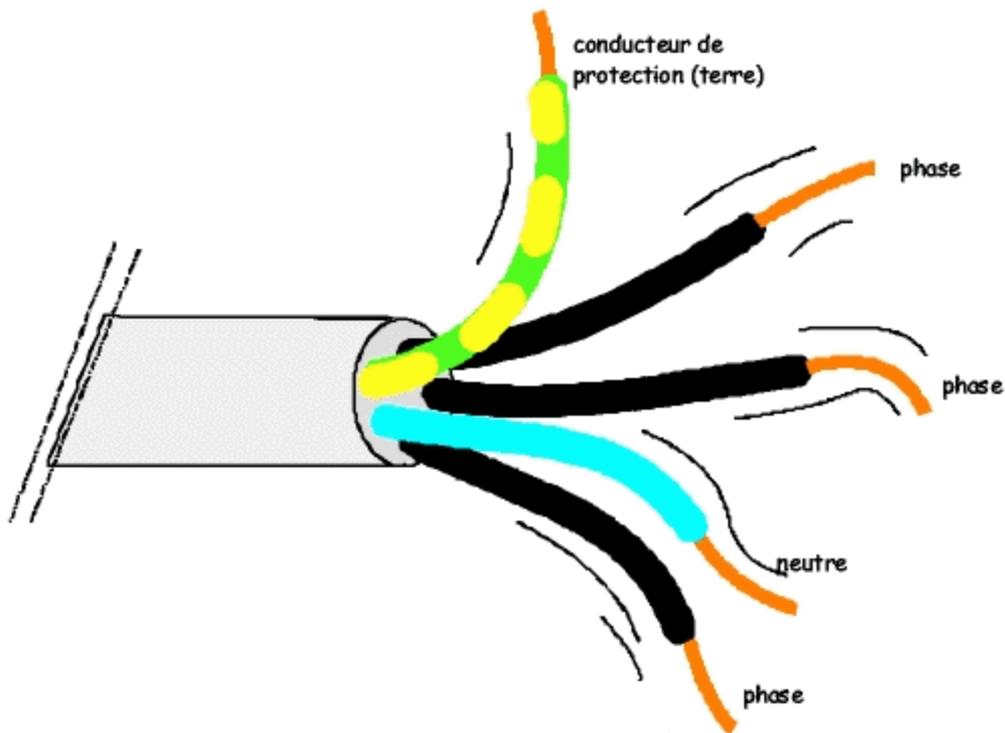
L'électricité est consommée au moment même où elle est produite car **elle ne se stocke pas.**

Production et distribution

Le courant alternatif triphasé, définition

Trois tensions sinusoïdale de même fréquence, de même tension efficace, forment un système triphasé équilibré si elles sont déphasées les unes par rapport aux autres de 120° .

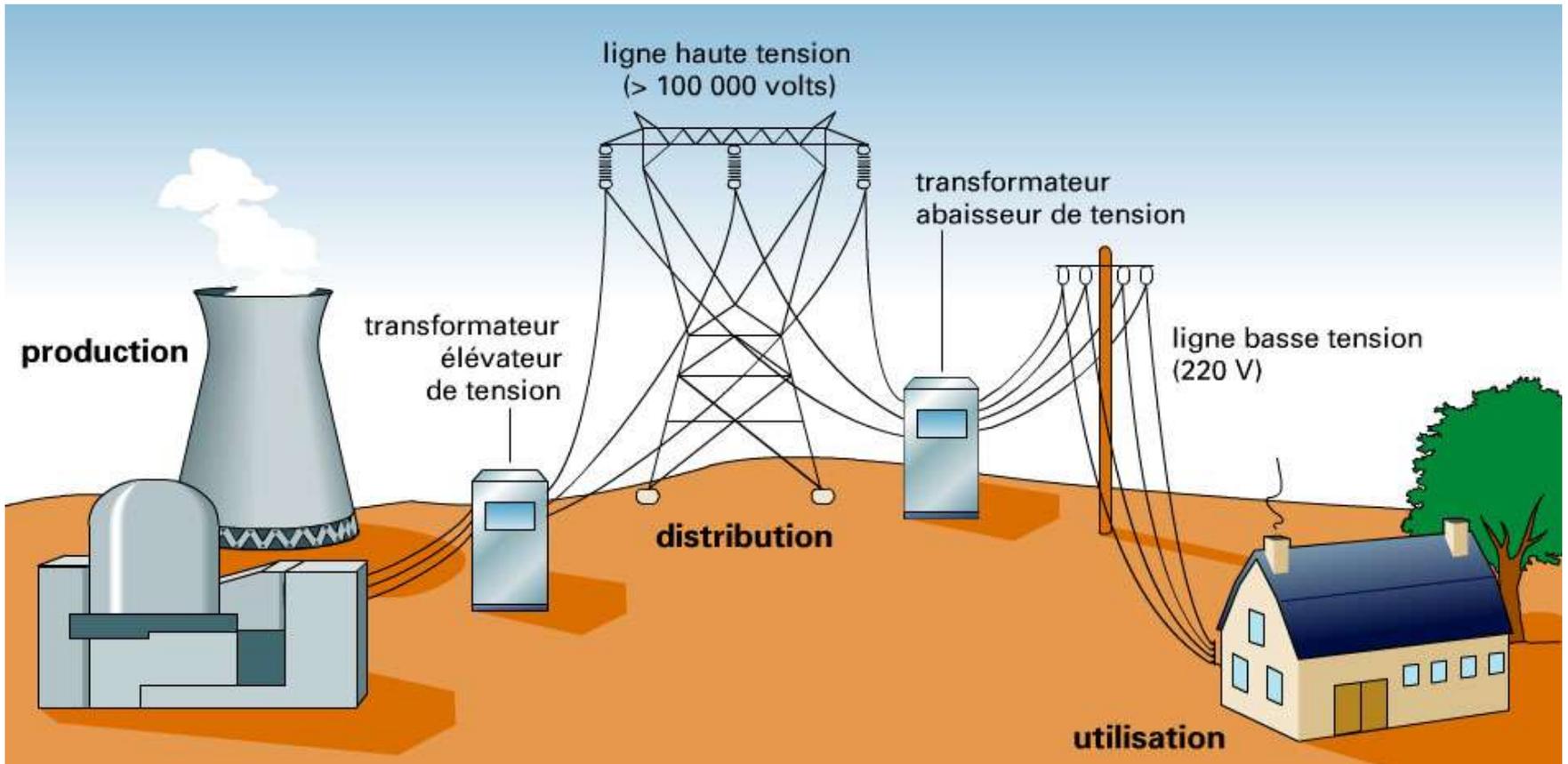
Le réseau triphasé est composé de 3 phases (fils) et parfois d'un neutre N.



Production et distribution

Le courant alternatif triphasé, distribution

Les lignes de distribution électriques sont généralement constituées de quatre conducteurs 3 phases et le neutre. Le neutre (fabriqué au niveau du transformateur BT) est généralement relié à la terre par les réseaux de distribution pour des raisons de sécurité et de commodités.



Production et distribution

Le courant alternatif triphasé, distribution

Le transport d'électricité génère des pertes dues à l'effet Joule, qui dépendent de l'intensité I , de la tension U et de la résistance R de la ligne.

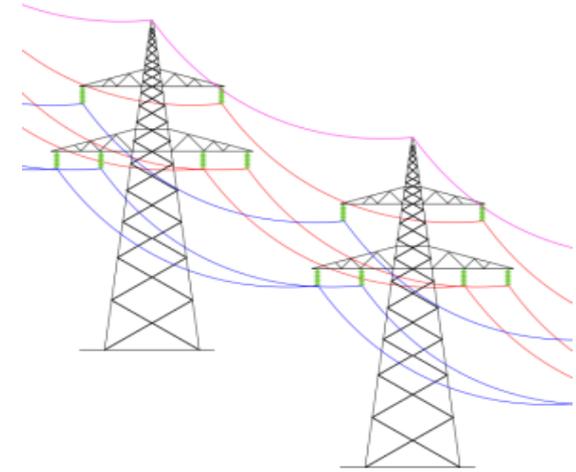
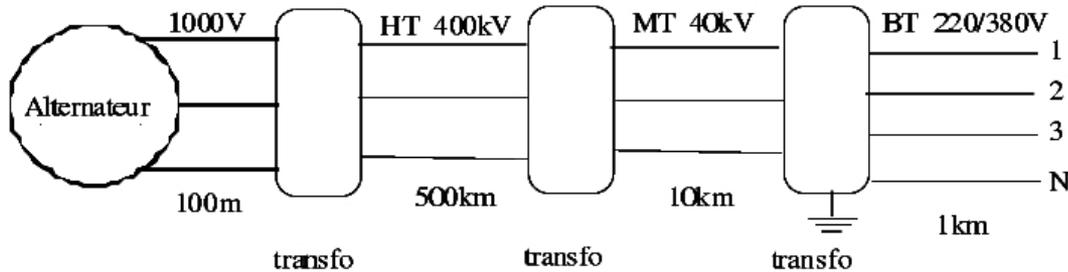
Pour du courant triphasé on obtient :
$$P_{\text{pertes Joule}} = RI^2 = R \frac{P_{\text{électrique}}^2}{3U^2}$$

Pour une même puissance électrique transmise par la ligne, les pertes par effet Joule diminuent donc comme le carré de la tension : elles sont divisées par quatre quand la tension double, et par un million lorsque que la tension est multipliée par mille. Ainsi un mètre de câble à 400 V provoque autant de pertes que 1000 km du même câble à 400 kV.



Production et distribution

Le courant alternatif triphasé, distribution



Le triphasé coûte moins cher au transport : 3 fils suffisent pour transporter la puissance $P = 3 U I \cos\phi$ (voir plus loin dans le cours), alors qu'il en faut 2 en monophasé pour transporter $P = U I \cos\phi$ d'où une économie appréciable sur le cuivre.

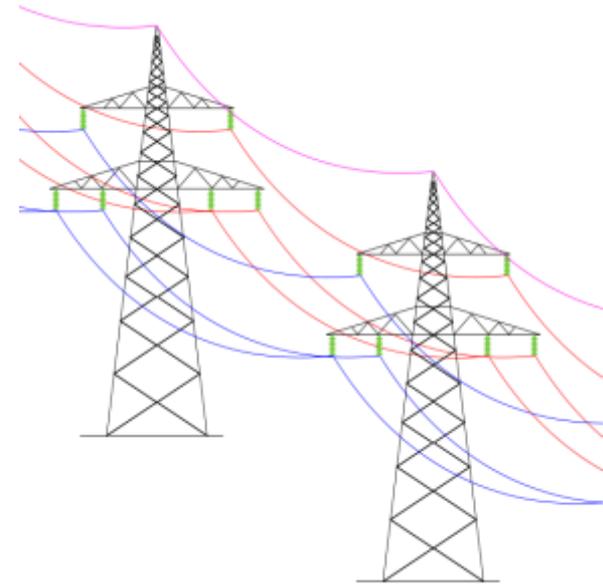
Enfin, en alternatif, grâce aux transformateurs, on peut modifier la présentation de la puissance électrique : monter U pour abaisser I . Les pertes Joule varient comme $I^2 \approx (P/U)^2$, on élève au maximum la tension pour le transport à longue distance. *La tension est cependant limitée par la tenue des isolants.* La BT (basse tension) à la distribution est imposée pour la sécurité des personnes.

Production et distribution

Le courant alternatif triphasé, distribution

Les lignes électriques assurent la fonction "transport de l'énergie" sur les longues distances. Elles sont constituées de 3 phases. L'ensemble de ces 3 phases électriques constitue un terne.

Un pylône électrique peut supporter plusieurs ternes : en France jamais plus de 2. Les pylônes sont tous soigneusement reliés à la terre par un réseau de terre efficace. Les pylônes supportent les conducteurs par des isolateurs en verre ou en porcelaine qui résistent aux tensions élevées des lignes électriques. Généralement la longueur d'un isolateur dépend directement de la tension de la ligne électrique qu'il supporte. Un câble de garde, constitué d'un seul conducteur, surplombe parfois les lignes électriques. Il est attaché directement au pylône, et ne transporte aucune énergie : il est relié au réseau de terre et son but est d'attirer la foudre afin qu'elle ne frappe pas les 3 phases de la ligne, évitant ainsi les "creux de tension" perturbant les clients. Au centre du câble de garde on place parfois un câble fibre optique qui sert à la communication de l'exploitant.



Le câble violet est le câble de garde. Ces pylônes supportent 2 ternes : le rouge et le bleu. Chaque terne est constitué de 3 phases. Chaque phase est supporté par un isolateur.

Production et distribution

Le courant alternatif triphasé, distribution



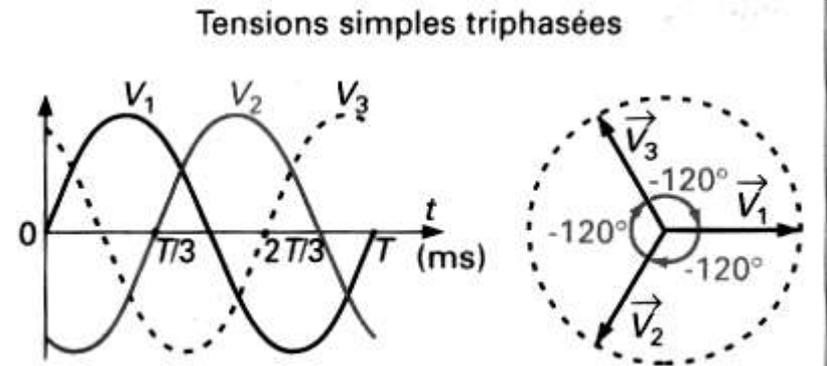
Les coûts de construction d'une ligne à 400 kV, 20 kV ou 220 V sont cependant très différents. Il faut donc trouver un optimum technico-économique entre les différents niveaux de tension, au vu du gain espéré (relatif à la diminution des pertes par effet Joule).

On arrive ainsi à une structure multicouche des réseaux électriques, avec les réseaux transportant de grandes quantités d'énergie exploités à des tensions de plusieurs centaines de kilovolts, et la tension diminuant au fur et à mesure que les puissances transportées décroissent.

Propriétés du courant alternatif triphasé

Tensions simples

Les tensions entre le neutre et chacun des fils de phase sont dites tensions simples et sont notées v_1 , v_2 , v_3 .

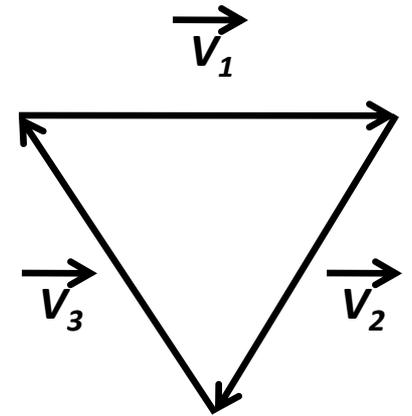


Tout système de tensions triphasées est dit **équilibré** si les trois tensions sont :

- de **même fréquence**,
- de **même valeur efficace** notée V .
- **déphasées de 120° ($2\pi/3$)** les unes par rapport aux autres.

Les tensions simples sont **sinusoïdales**, à chaque instant leur **somme est nulle**

$$\vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 = 0$$

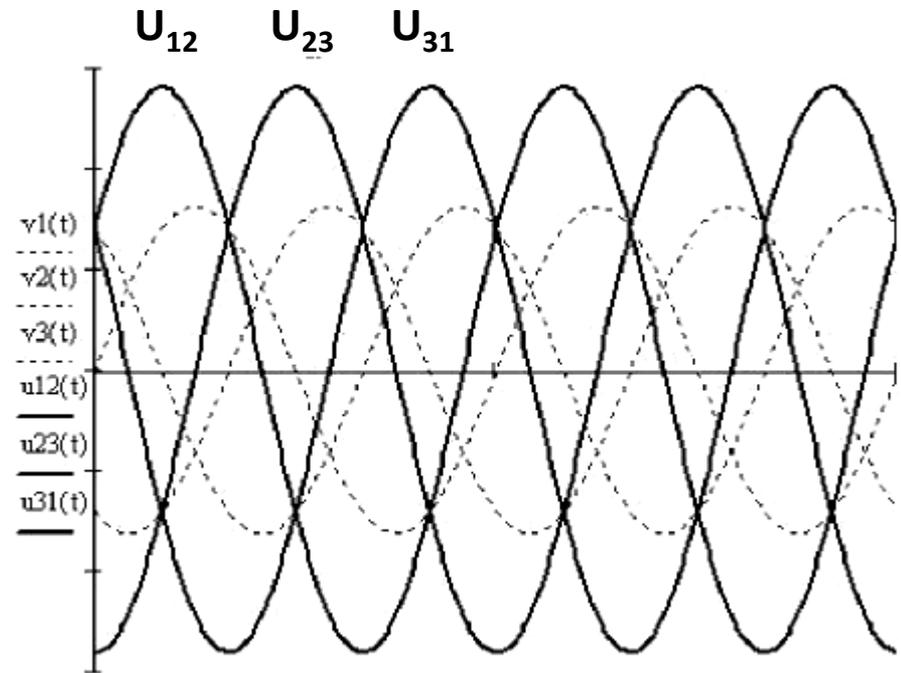


Propriétés du courant alternatif triphasé

Tensions composées

Les tensions composées sont **les différences de potentiel entre deux phases**. Elles sont notées U_{12} , U_{23} , U_{31} . Les tensions composées, comme les tensions simples sont sinusoïdales:

- de **même fréquence**,
- de **même valeur efficace** notée U .
- **déphasées de 120°** les unes par rapport aux autres.



En régime équilibré :

$$\vec{U}_{12} + \vec{U}_{23} + \vec{U}_{31} = 0$$

$$\begin{aligned}\vec{U}_{12} &= \vec{V}_1 - \vec{V}_2 \\ \vec{U}_{23} &= \vec{V}_2 - \vec{V}_3 \\ \vec{U}_{31} &= \vec{V}_3 - \vec{V}_1\end{aligned}$$

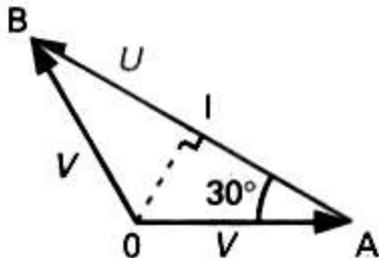
Propriétés du courant alternatif triphasé

Relation entre tension simple et composée

La tension composée est égale à $\sqrt{3}$ fois la tension simple.

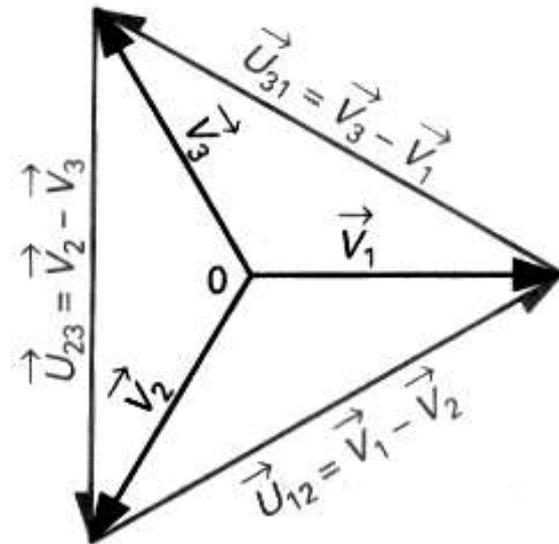
$$U = V \times \sqrt{3}$$

Relation entre tensions simple et composée



$$\cos(30^\circ) \frac{OA}{OB} = \frac{V}{U} \Rightarrow U = V \times \frac{2}{\sqrt{3}}$$

Tensions simples et tensions composées



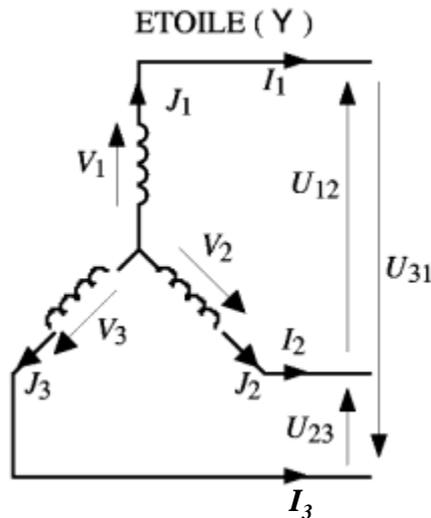
Propriétés du courant alternatif triphasé

Nature des récepteurs

Une ligne de distribution triphasée peut alimenter deux types de récepteurs.

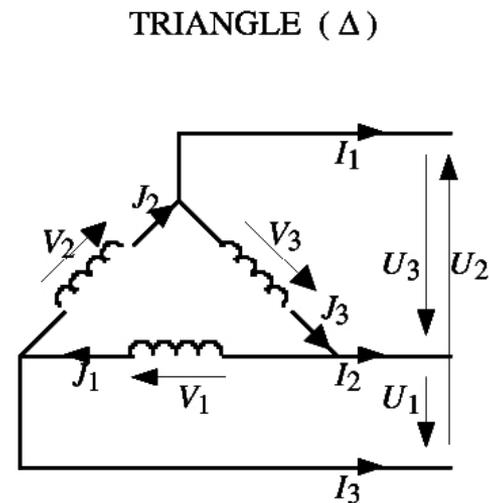
Ces récepteurs peuvent être :

- **monophasés** et être branchés soit entre **phase et neutre**, soit entre **deux phases**,
- **triphasés** et être alimentés soit par une **tension simple (montage étoile)**, soit par une **tension composée (montage triangle)**.



$$U = V \sqrt{3}$$

$$I = J$$



$$U = V$$

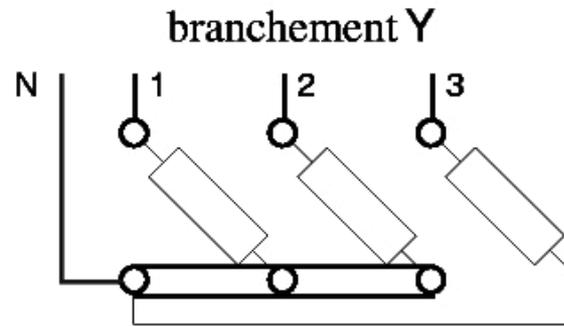
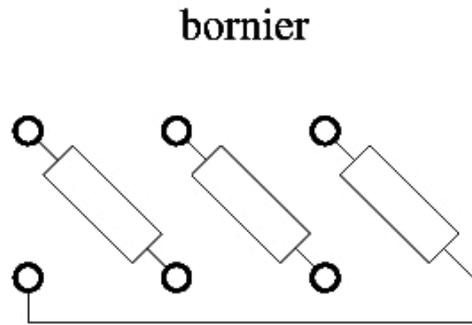
$$I = J \sqrt{3}$$

*J courant dans les branches
V tension aux bornes des branches*

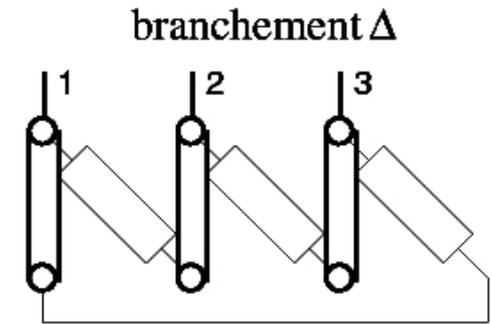
Propriétés du courant alternatif triphasé

Nature des récepteurs

Branchement des appareils triphasés



$$V = U / \sqrt{3}$$



$$V = U$$

Exemple :

Soit un jeu de tensions triphasées 230 V et $230\sqrt{3} = 400$ V.

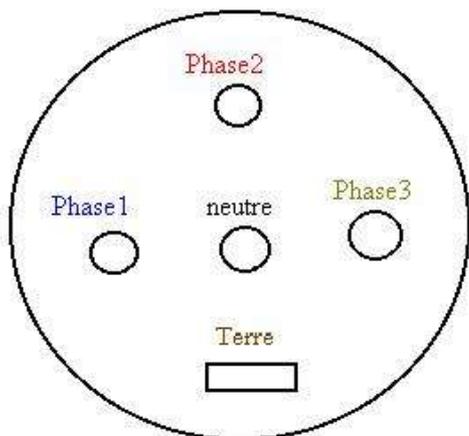
Soit un appareil triphasé marqué 230 V / 400 V . Cela signifie que chacun de ses enroulements ne peut supporter que 230 V.

Donc, avec un réseau 230 / 400 V il faudra le brancher en Y.

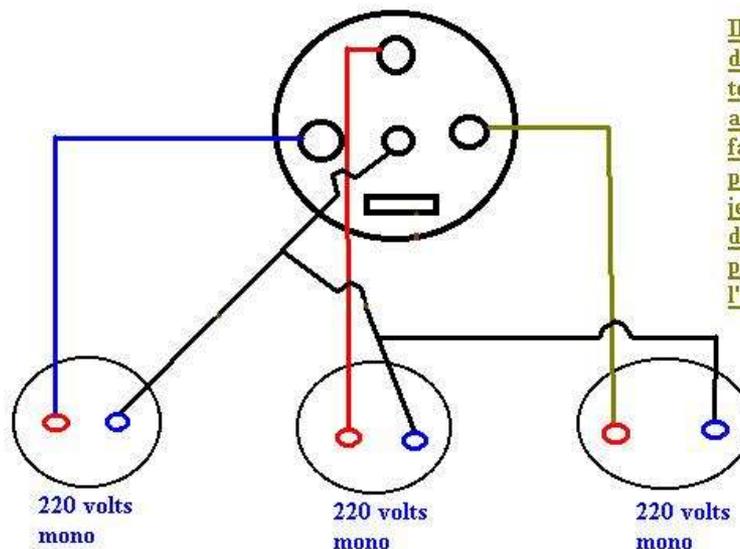
Propriétés du courant alternatif triphasé

Branchement d'une prise tri 220/400 V en étoile

Une prise tri-phasé



Branchement de 3 prises 220 volts à partir d'une prise tri-phasé



Il est possible d'utiliser en même temps les 4 prises ainsi branché, il faut rajouter la prise de terre que je n'est pas dessiné pour ne pas alourdir l'image.

Propriétés du courant alternatif triphasé

Branchement d'une prise tri 220/400 V en étoile

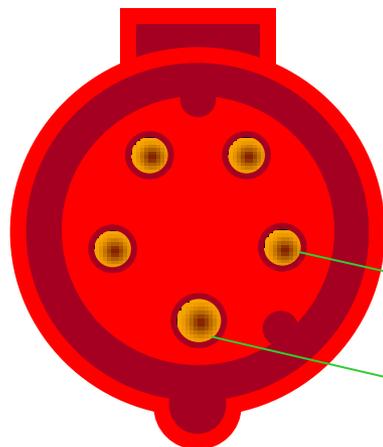
P17 Legrand (rouge = triphasé)



P17 16A 5 points



P17 63A 5 points



Couleur des fils



Terre



Neutre



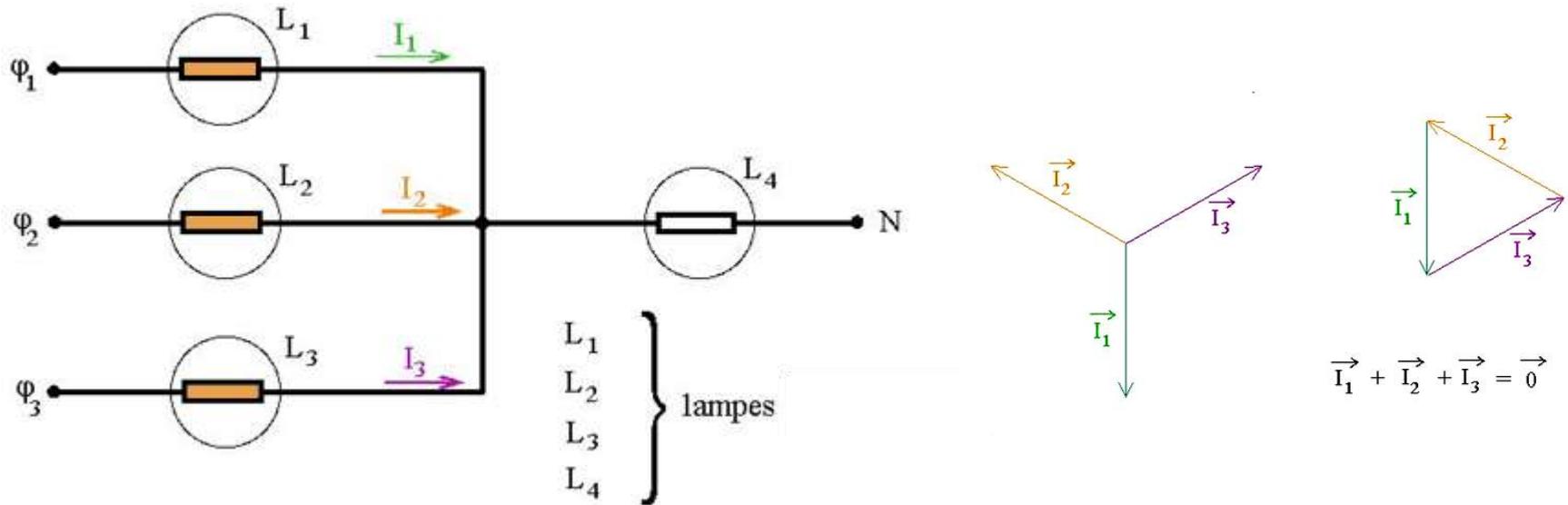
Phase

Neutre

Terre

Propriétés du courant alternatif triphasé

Intensité dans les fils de neutre (couplage étoile)



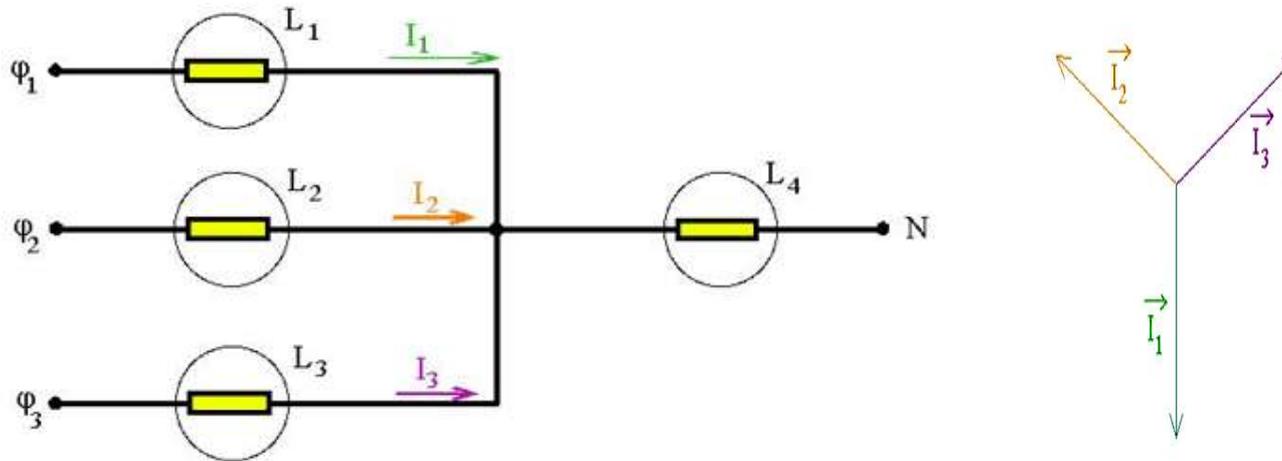
Premier cas : circuit équilibré

Les trois branches du circuit reliées à une phase sont alimentées par la même tension, et contiennent des résistances identiques. Elles sont donc parcourues par la même intensité: $I_1 = I_2 = I_3$

La quatrième branche, reliée au neutre, est parcourue par la somme de ces trois intensités. Or l'expérience montre que chacune des trois lampes reliées à une phase brille, alors que la lampe reliée au neutre est éteinte.

Propriétés du courant alternatif triphasé

Intensité dans les fils de neutre (couplage étoile)



Second cas : circuit déséquilibré

On remplace l'une des trois lampes reliée à une phase (par exemple L_1) par une lampe de caractéristiques très différentes. La lampe L_1 s'éclaire, mais différemment de L_2 et L_3 , alors que la lampe L_4 connectée au neutre, auparavant éteinte, s'allume légèrement.

Explication: La somme vectorielle n'est plus nulle.

Propriétés du courant alternatif triphasé

Equilibrer les phases :

Les avantages du triphasé dans l'installation électrique d'un studio de prise de vues :

- ampérage nettement plus faibles (moins d'échauffement, moins de risque de faux contact, différentiels plus fiables).
- section des câbles plus petites (montage dans le coffret plus facile, meilleure serrage des connexions, moins de contraintes mécaniques sur les disjoncteurs).

Au rayons des inconvénients, il n'y en a qu'un : il faut veiller à équilibrer les circuits. Mais cela ne pose pas le moindre problème à un électricien compétent et sérieux. En cas de déséquilibre un courant circule dans le conducteur de neutre.

Dans le réseau de distribution, le monophasé 220V est en fait l'une des 3 phases de ce que l'EDF appelle le "triphasé déséquilibré", les deux autres phases vont dans un autre quartier et la plupart du temps la consommation pas exactement la même que celle du voisin, d'où le déséquilibre, et l'indispensabilité du neutre.

Propriétés du courant alternatif triphasé

Puissance en système triphasé

Quel que soit le couplage, étoile ou triangle, d'un récepteur triphasé chacun de ses dipôles constitutifs consomme

- une **puissance active** P_1, P_2, P_3 ,
- une **puissance réactive** Q_1, Q_2, Q_3 .

La puissance active totale est égale à la somme des puissances actives partielles, soit

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

La puissance réactive totale est égale à la somme des puissances réactives partielles, soit

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Propriétés du courant alternatif triphasé

Puissance en système triphasé

Quel que soit le couplage, étoile ou triangle, d'un récepteur triphasé chacun de ses dipôles constitutifs consomme

- une **puissance active** P_1, P_2, P_3 ,
- une **puissance réactive** Q_1, Q_2, Q_3 .

La puissance active totale est égale à la somme des puissances actives partielles, soit $P = P_1 + P_2 + P_3$

La puissance réactive totale est égale à la somme des puissances réactives partielles, soit $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

*Remarques : Dans le cas d'un récepteur symétrique les dipôles qui le constituent absorbent les mêmes puissances, soit: $P_1 + P_2 + P_3$ $Q_1 + Q_2 + Q_3$
Comme dans le système monophasé, la puissance apparente et le facteur de puissance ont respectivement pour expression :*

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Propriétés du courant alternatif triphasé

Expression des puissances

Récepteur couplé en étoile :

La **puissance active totale** absorbée par un récepteur couplé en étoile a pour valeur : $P = 3 VI \cos \varphi = \sqrt{3} UI \cos \varphi$

La **puissance réactive totale** absorbée par un récepteur couplé en étoile a pour valeur : $Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi$

La **puissance apparente totale** absorbée par un récepteur couplé en étoile a pour valeur : $S = \sqrt{3} UI$

Récepteur couplé en triangle :

La **puissance active totale** absorbée par un récepteur couplé en triangle a pour valeur : $P = 3 VI \cos \varphi = \sqrt{3} UI \cos \varphi$

La **puissance réactive totale** absorbée par un récepteur couplé en triangle a pour valeur : $Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi$

La **puissance apparente totale** absorbée par un récepteur couplé en triangle a pour valeur : $S = \sqrt{3} UI$

Quel que soit le couplage du récepteur triphasé, les puissances qu'il absorbe lorsqu'il est symétrique sont égales à :

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi \quad Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi \quad : \quad S = \sqrt{3} UI$$

Propriétés du courant alternatif triphasé

Couplages

Il s'agit dans les deux cas de montages équilibrés, *les trois récepteurs étant identiques*.

On observe que les lampes brillent beaucoup plus fort dans le cas du montage triangle. En effet, elles sont alors soumises à la tension entre phases.

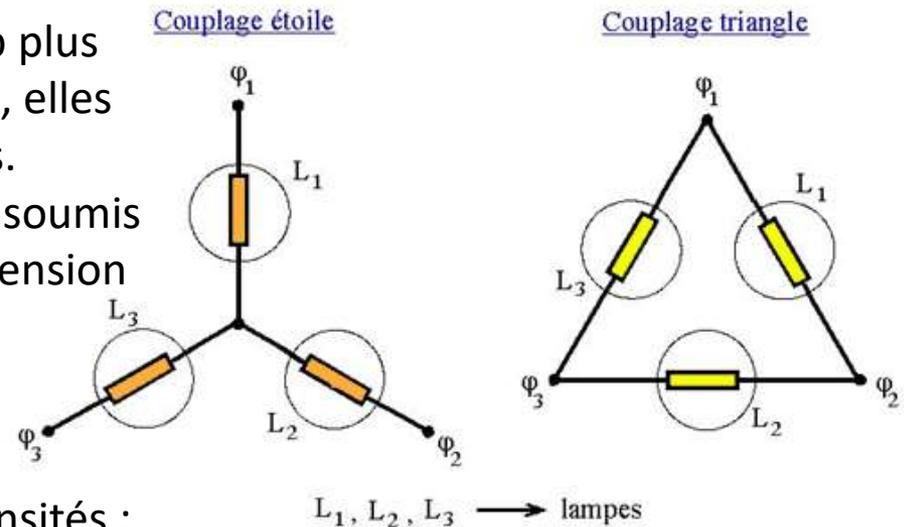
C'est à dire, si U_e est la tension à laquelle est soumis un récepteur monté en étoile, et si U_t est la tension à laquelle est soumis un récepteur monté en triangle :

$$U_t = U_e \sqrt{3}$$

De même, d'après la loi d'Ohm, pour les intensités :

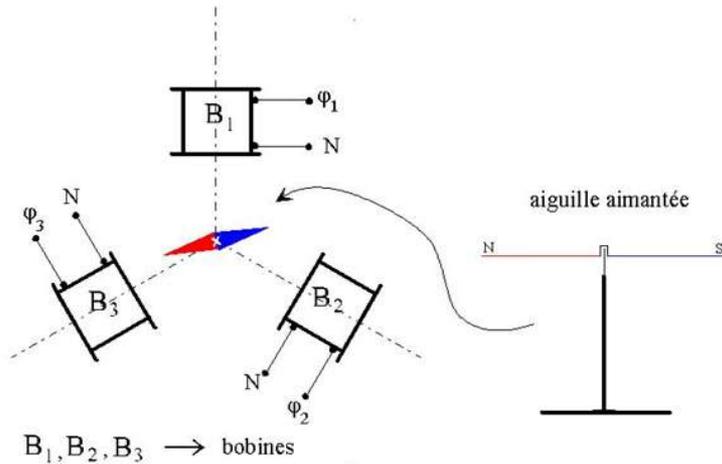
$$I_t = I_e \sqrt{3}$$

Il en résulte pour les puissances : $P_t = 3 P_e$



Propriétés du courant alternatif triphasé

Champ tournant, moteur synchrone



On dispose trois bobines sans fer sur une table de telle façon que leurs axes présentent 2 à 2 un angle de 120° . Au point de rencontre des axes des bobines, on dispose une aiguille aimantée, montée sur un pivot. Chaque bobine est connectée à une phase différente par l'une de ses bornes, l'autre borne de la bobine étant reliée au neutre.

Avant la mise en marche du générateur, l'aiguille aimantée est au repos, et indique le nord magnétique.

Quand on met en marche le générateur, l'aiguille aimantée se met à tourner, indiquant que le champ magnétique auquel elle est soumise est un champ tournant.

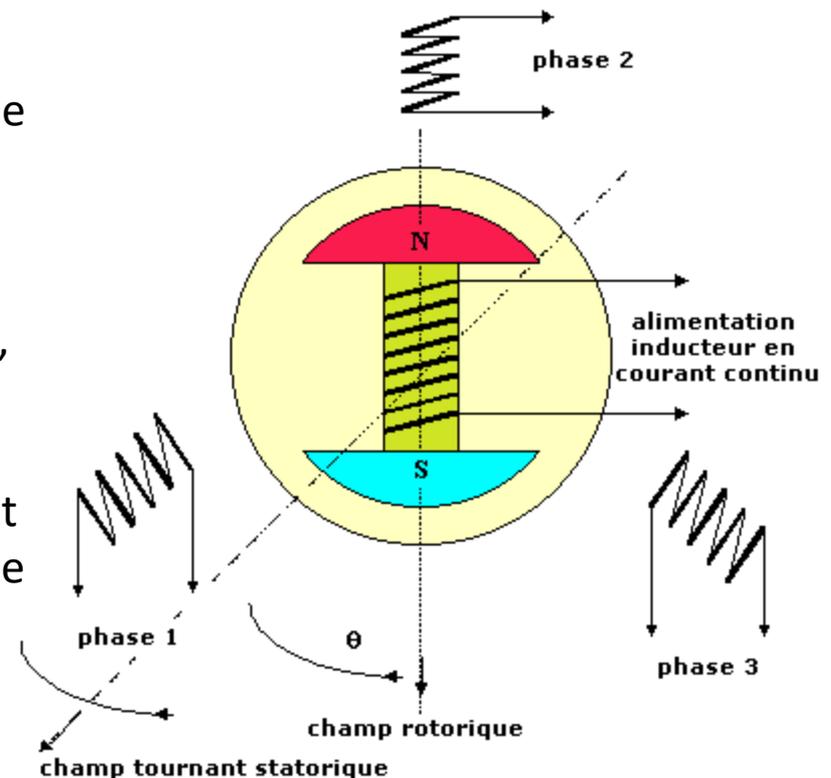
Propriétés du courant alternatif triphasé

Champ tournant, moteur synchrone

Principe du moteur synchrone

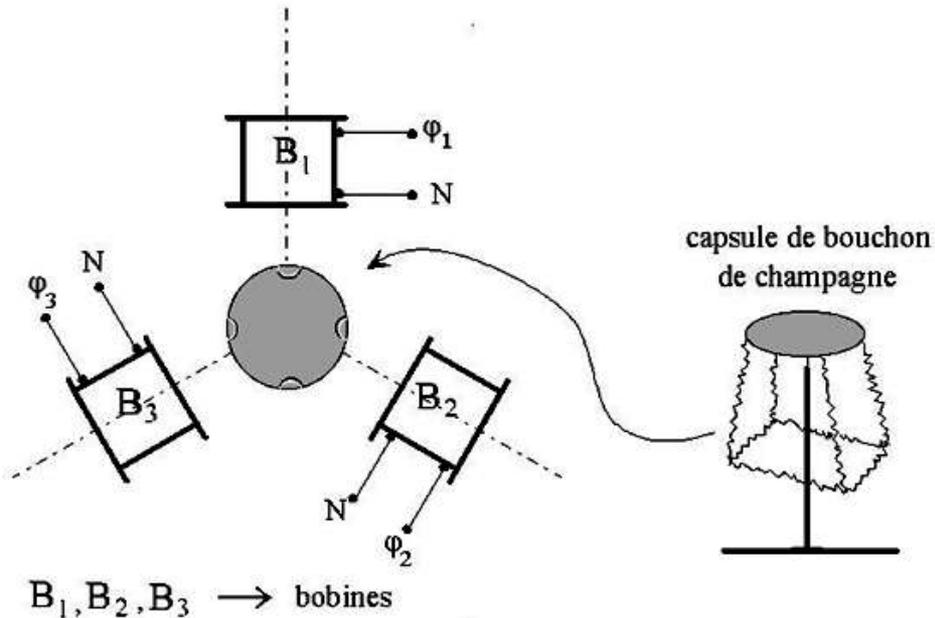
L'ensemble du matériel utilisé dans cette expérience (trois bobines plus une aiguille aimantée sur pivot) constitue un moteur synchrone. Un tel moteur comprend en effet: une partie fixe appelée stator comportant trois enroulements disposés à 120° l'un de l'autre, une partie mobile appelée rotor constituée d'un aimant (ou d'un électro-aimant).

En réduisant simultanément et progressivement l'alimentation des 3 phases de notre « moteur », on constate que la vitesse de rotation ne varie pas, elle est imposée par la fréquence du générateur. D'où le nom de *moteur synchrone*, et l'utilité d'un tel moteur lorsqu'une vitesse précise est nécessaire.



Propriétés du courant alternatif triphasé

Champ tournant, moteur asynchrone

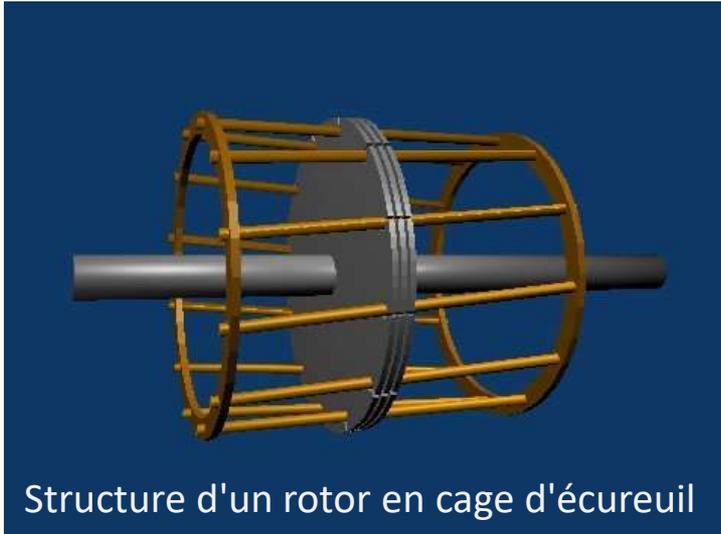


Dans le montage précédent, on remplace l'aiguille aimantée par la fixation métallique (le muselet) d'un bouchon de champagne.

Quand on alimente les bobines, la capsule se met alors en mouvement. En effet, les conducteurs verticaux de la capsule sont soumis à un champ variable, donc sont le siège d'une f.e.m. induite. Il en résulte un courant induit qui, étant placé dans un champ magnétique, produit une force de Laplace qui met le système en mouvement. *(Ces courants sont responsables de l'apparition d'un couple qui tend à mettre le rotor en mouvement afin de s'opposer à la variation de flux)*

Propriétés du courant alternatif triphasé

Champ tournant, moteur asynchrone



Structure d'un rotor en cage d'écureuil

Ce type de moteur comprend donc:

- une partie fixe appelée stator comportant trois enroulements disposés à 120° l'un de l'autre,
- une partie mobile appelée rotor constituée d'un ensemble de conducteurs parallèles formant les génératrices d'un cylindre, et connectés entre eux (ce type de rotor est appelé « rotor à cage d'écureuil »).

En réduisant simultanément et progressivement l'alimentation des trois phases de ce nouveau « moteur », on constate que la vitesse de rotation diminue progressivement. Il y a donc « glissement » entre la vitesse du champ tournant et celle du rotor. D'où le nom de moteur asynchrone.

La machine est dite *asynchrone* car elle est dans l'impossibilité, d'atteindre la même vitesse que le champ statorique. En effet, dans ce cas, il n'y aurait pas de variation de champ magnétique ; les courants s'annuleraient, de même que le couple qu'ils produisent, et la machine ne serait plus entraînée. La différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique est appelée *vitesse de glissement*.

Propriétés du courant alternatif triphasé

Transformateur triphasés

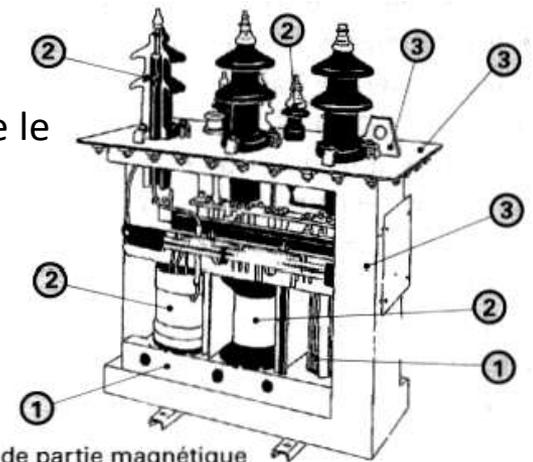
Principe et structure

Un transformateur triphasé peut résulter :

- soit de **l'association de trois transformateurs monophasés identiques.**
- soit en bobinant les enroulements sur **trois colonnes d'un circuit magnétique commun.**

Un transformateur comprend trois parties :

- ❖ **le circuit magnétique dont le rôle consiste à**
 - canaliser le flux électromagnétique variable avec le minimum de pertes,
 - supporter les enroulements primaire et secondaire du circuit électrique,
- ❖ **la partie électrique chargée de**
 - créer dans l'enroulement primaire alimenté par le réseau d'énergie le flux magnétique,
 - produire dans l'enroulement secondaire la tension destinée à l'utilisation,
- ❖ **la partie mécanique destinée**
 - à supporter les barres de couplage et l'ensemble des constituants,
 - protéger les parties actives de tout contact,
 - assurer la fonction de refroidissement.



- ① Élément de partie magnétique
- ② Élément de partie électrique
- ③ Élément de partie mécanique

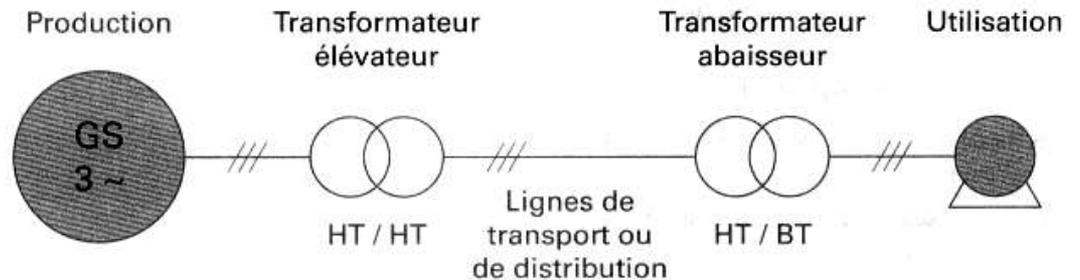
Propriétés du courant alternatif triphasé

Rôle des transformateurs de distribution HT/BT

Afin de transporter l'énergie électrique avec le moins de pertes par effet Joule possible dans les lignes de transport et de distribution, il est nécessaire de modifier, et de changer les tensions alternatives, de les élever ou de les abaisser avec des transformateurs.

Les transformateurs de distribution permettent

- d'adapter la tension de l'énergie électrique livrée aux besoins des utilisateurs,
- d'obtenir les meilleures conditions économiques de transport de cette énergie entre la centrale de production et le point d'utilisation.



Exemple

Pour une puissance de 100 MVA triphasée, transportée sous une tension de 20 kV, l'intensité en ligne est $I = P/U = 100 \cdot 10^6 / 20 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{3} = \mathbf{2886A}$

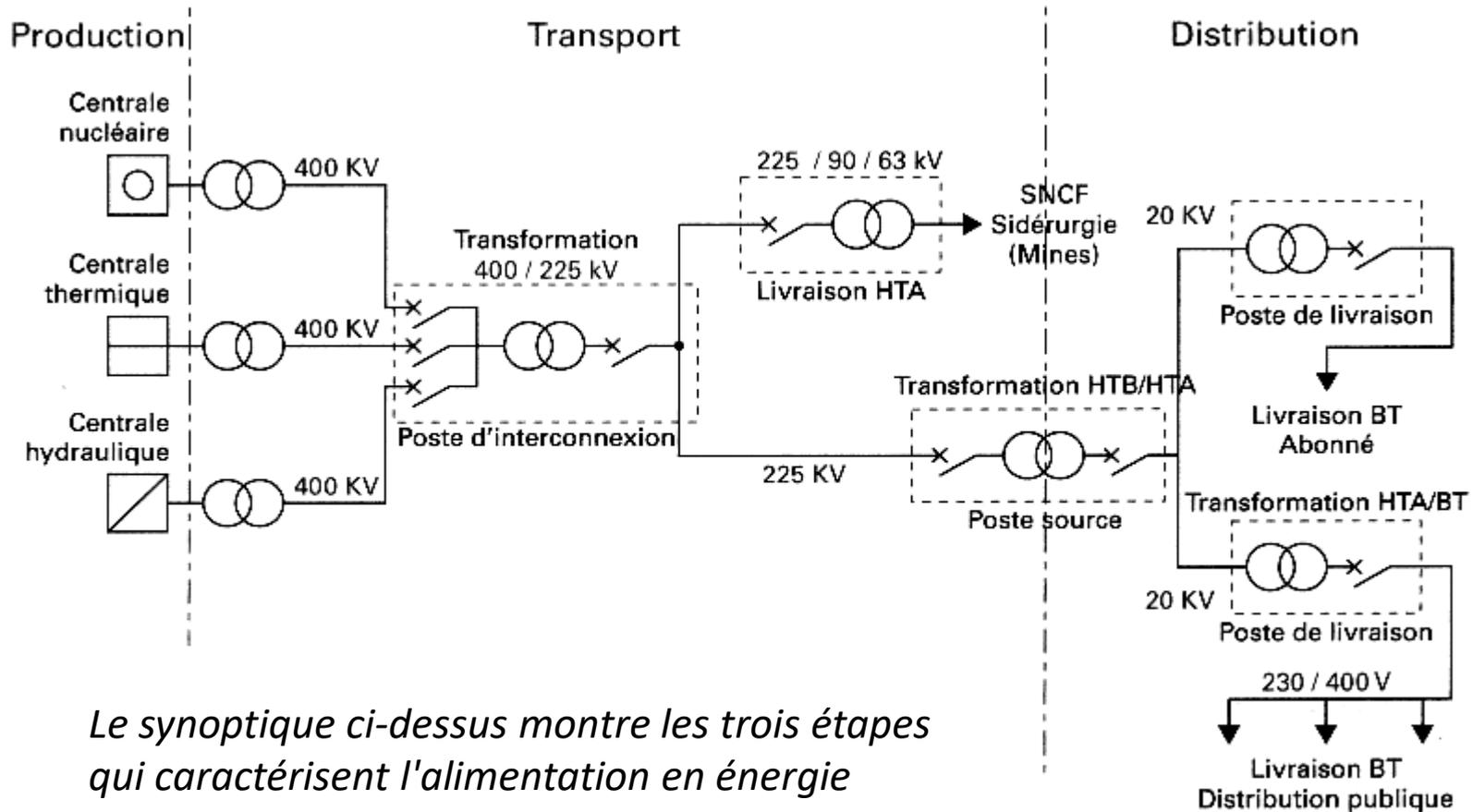
Cette même puissance transportée sous 220 kV, après un transformateur élévateur 20k V/220 kV, entraîne une intensité en ligne de

$$I = P/U = 100 \cdot 10^6 / 220 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{3} = \mathbf{262A}$$

Cette réduction de l'intensité en ligne : **permet de diminuer la section des conducteurs et entraîne une diminution très importante des pertes en ligne par effet Joule.**

Propriétés du courant alternatif triphasé

Rôle des transformateurs de distribution HT/BT



Le synoptique ci-dessus montre les trois étapes qui caractérisent l'alimentation en énergie électrique et les différentes tensions utilisées en France (400 kV, 225 kV, 20 kV, 230/400 V).

Réseau de distribution HT/BT

Réflexion

Pourquoi transporter de l'alternatif plutôt que du continu ?

En transportant du courant sur une grande distance (plusieurs centaines de kilomètres), on n'échappe pas aux déperditions calorifiques dues à l'intensité transportée. On a donc cherché à réduire l'INTENSITE transportée en AUGMENTANT la tension.

Pour cela il faut des transformateurs, or **en courant continu les transformateurs sont inopérants**. Que pourrions-nous faire d'un courant continu THT de 250 000 volts si nous sommes dans l'impossibilité d'en abaisser la tension à 220 ou 110 volts ?

Si l'on inclut des résistances pour abaisser la tension à 220 volts, cela revient à gaspiller 249 780 volts en calories. Pas rentable et très gaspilleur.

En alternatif grâce aux transformateurs : le 400 000 volts permet de traverser un pays, le 60 000 volts quelques départements, le 20 000 volts une partie de département, le 220 volts quelques km tout au plus (moins de 3).

Si l'on transporte 1MW pour alimenter un village on aura ($P=U.I$) :

1 000 000W / 230V = près de 4 500A à transporter (imaginez la taille des câbles).

Alors qu'en HT (20kV par exemple) 50A suffisent...

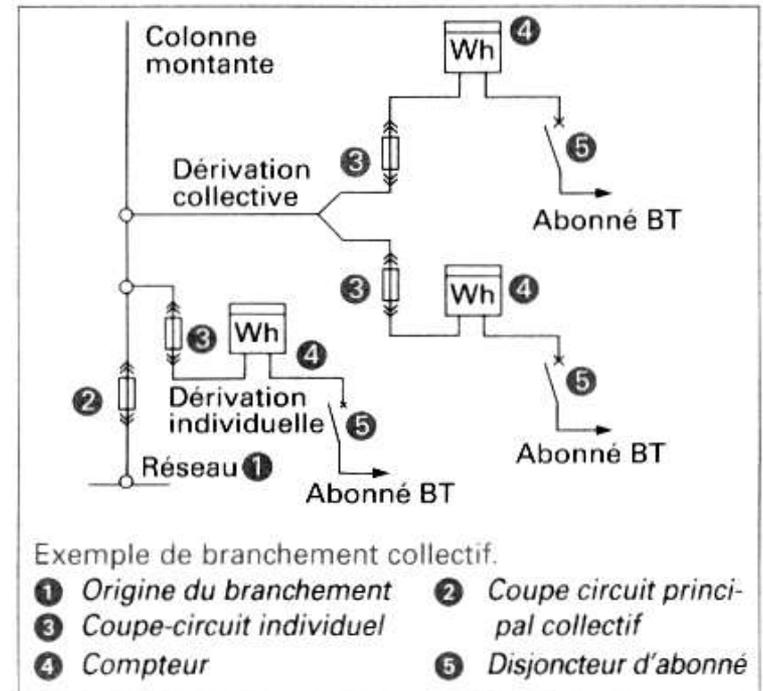
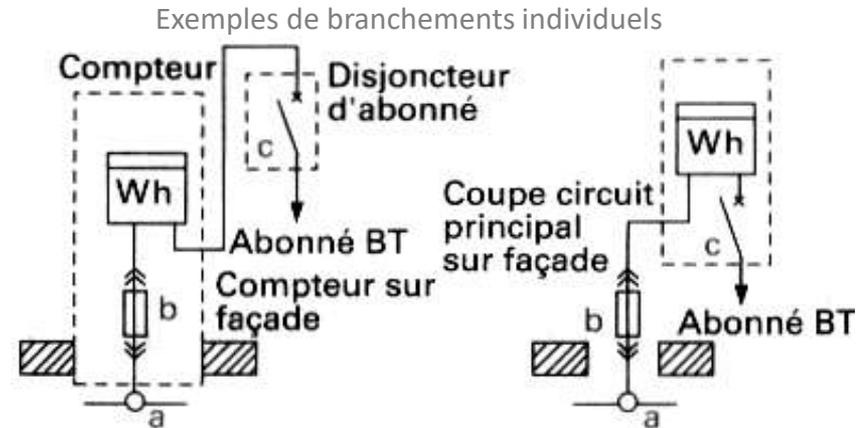
Vous pouvez consulter le site : https://electrotoile.eu/reseau_triphas.php?utm_content=cmp-true

Installation de branchement sur un réseau de distribution publique BT

Un branchement, individuel ou collectif, est un ensemble de canalisations qui a pour objet d'amener le courant du réseau à l'intérieur des propriétés desservies.

Il comprend :

- une liaison avec le réseau (point a),
- une canalisation de branchement du réseau au coupe-circuit (liaison a-b),
- une dérivation individuelle du coupe-circuit au disjoncteur (liaison b-c).



Alimentation électrique de la maison individuelle

Panneau et coffret de comptage

Le panneau de comptage doit, dans la mesure du possible, être placé à l'extérieur dans un coffret ou tout autre dispositif spécialement affecté à cet usage et être accessible aux agents EDF pour l'identification du compteur et le relevé des index.

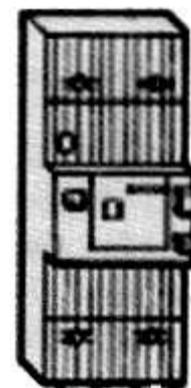
Disjoncteur de branchement

Cet appareil de commande et de protection doit être placé à l'intérieur du local privatif.

Il doit être équipé avec un **dispositif différentiel de protection de courant assigné 500 mA de type S** (sélectif – voir plus loin dans le cour) qui permet d'assurer la **sélectivité** avec les **dispositifs différentiels haute sensibilité ≤ 30 mA** installés sur les circuits terminaux dans le cadre de la norme en vigueur.

Différents modèles de disjoncteurs de branchement sont installés :

Bipolaires	Tétrapolaires
Intensités nominales	
45 A réglable 15-30 ou 45 A	30 A réglable 10-15-20-25 ou 30 A
60 A réglable 30-45 ou 60 A	60 A réglable 30-40-50 ou 60 A
90 A réglable 60-75 ou 90 A	



Sécurité ,deux équipements indissociables :

les dispositifs de protection à courant résiduel et la prise de terre assurent la sécurité des personnes contre les risques d'origine électrique.

Equipements des studios

Electronique de puissance

Par électronique de puissance, on désigne la branche de l'électronique industrielle plus particulièrement concernée par l'utilisation de composants faisant intervenir des courants et donc de la puissance importante.

L'électronique de puissance est une électronique de commutation de courants forts. Elle met en œuvre des composants capables **d'établir ou d'interrompre statiquement** une connexion entre deux points d'un montage assurant un **transfert d'énergie**. Ces **composants statiques** comparables à un contact dynamique doivent présenter les caractéristiques ci-après :

- à l'état **passant**, la résistance électrique offerte par la connexion doit être la **plus faible possible**.
- à l'état **bloqué**, ou état non passant, **la résistance électrique** doit être au plus **proche de l'infini**.

Tout passage d'un état vers l'autre doit s'effectuer dans un temps aussi bref que possible.

Composants pour commutation de puissance :

- La diode
- Le thyristor
- Le triac

Equipements des studios

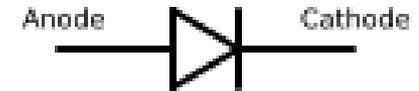
Electronique de puissance

LA DIODE

Les diodes sont un des dipôles de base de l'électronique de puissance.

Elles peuvent être utilisées en courant alternatif pour diminuer la puissance fournie par l'alimentation à un récepteur : en supprimant l'une des alternances, elles permettent de diviser par deux la puissance transmise à la charge pour un coût très modique.

Cette technique est utilisée pour obtenir deux puissances de chauffe dans les sèche-cheveux, une diode, placée en série avec la résistance de chauffage, est mise en court-circuit par un interrupteur pour obtenir la puissance de chauffe maximale.



Equipements des studios

Electronique de puissance

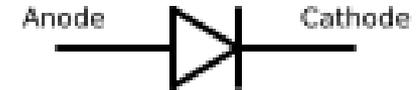
LA DIODE

Les diodes sont fabriquées à partir de semi-conducteurs, son principe physique de fonctionnement est utilisé dans de nombreux composants actifs en électronique.

Une diode est créée en accolant un substrat riche en électrons libres (semi-conducteur type N, métal) à un substrat déficitaire en électrons (semi-conducteur type P, trous majoritaires).

Une diode est la jonction de deux semi-conducteurs : l'un dopé "P" l'autre dopé "N« (voir document « introduction aux jonctions PN »)

Les premières diodes de puissance au silicium apparaissent en 1956 et les thyristors en 1961.



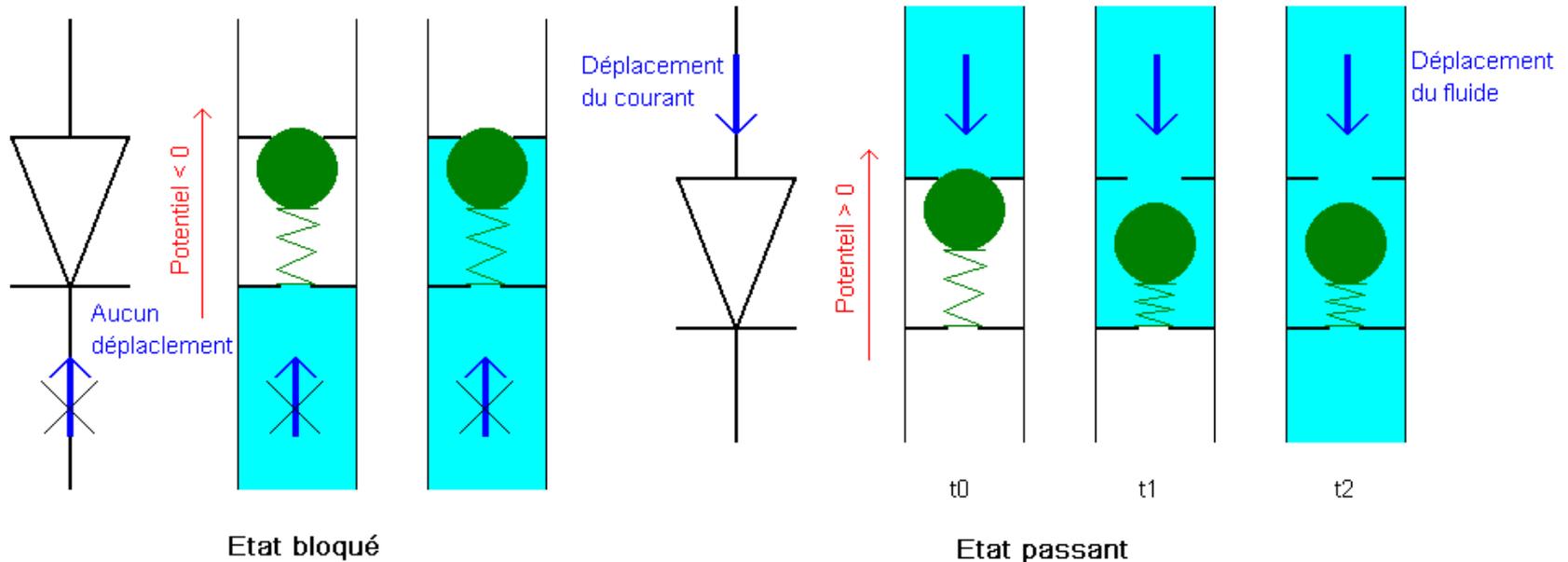
Equipements des studios

Electronique de puissance

LA DIODE



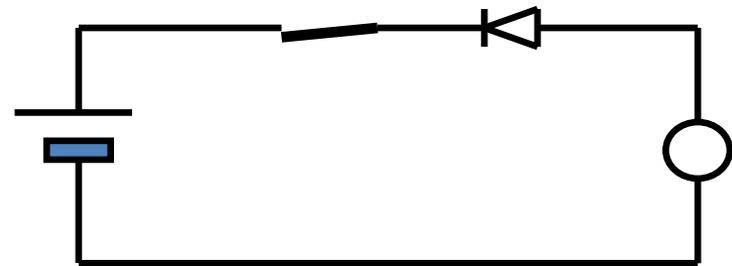
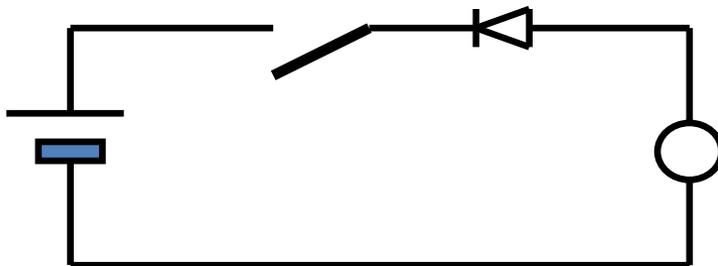
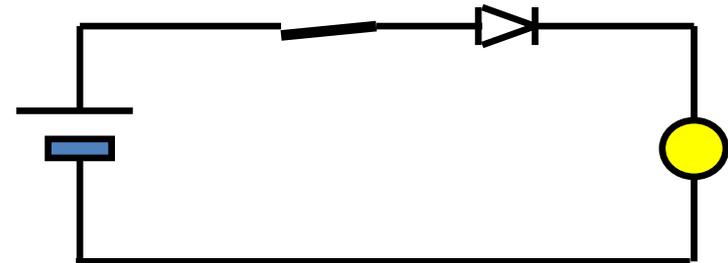
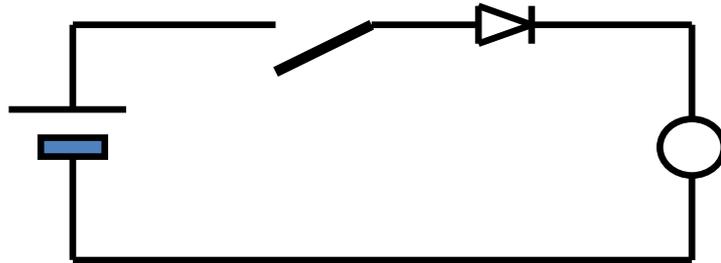
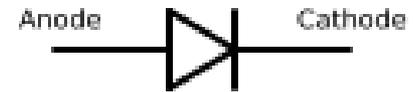
Elle est équivalente à un clapet dans une installation hydraulique. La diode, à la manière d'un clapet, ne permet le passage du courant que dans un sens. C'est un dipôle polarisé, l'anode et la cathode sont donc repérées sur le composant



Equipements des studios

Electronique de puissance

LA DIODE



Equipements des studios

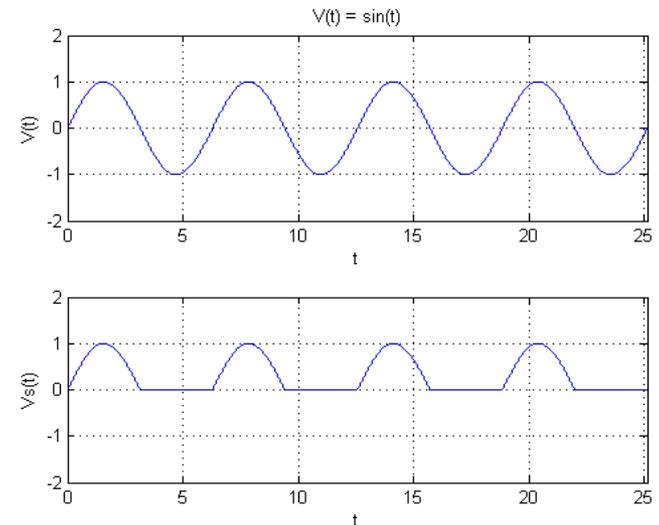
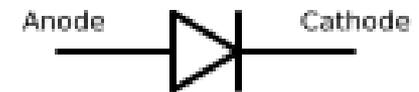
Electronique de puissance

LA DIODE

Les diodes sont fréquemment utilisées dans le domaine de redressement de courant alternatif :

Redressement simple alternance : une seule diode est nécessaire.

Le principe des redresseurs simple alternance non commandés est basée sur les propriétés des diodes. En effet, la diode se bloquant lorsque la tension à ses bornes est négative, elle supprime les alternances négatives du signal d'entrée. Pendant les alternances positives, elle se comporte comme un court-circuit et n'altère donc pas le signal d'entrée. La diode joue ainsi le rôle de filtre qui laisse passer les tensions positives et coupe les tensions négatives.

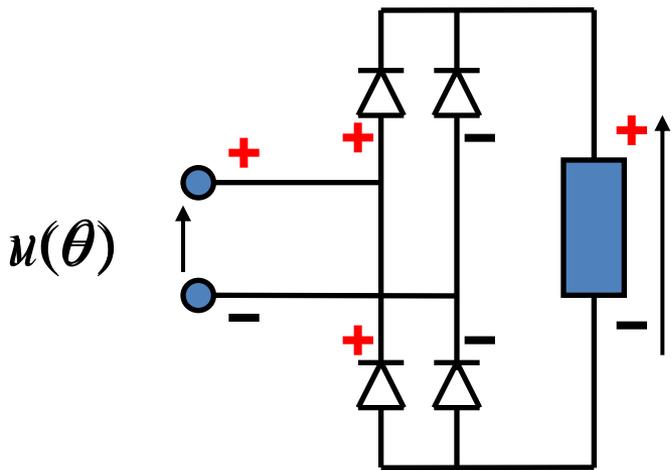


Equipements des studios

Electronique de puissance

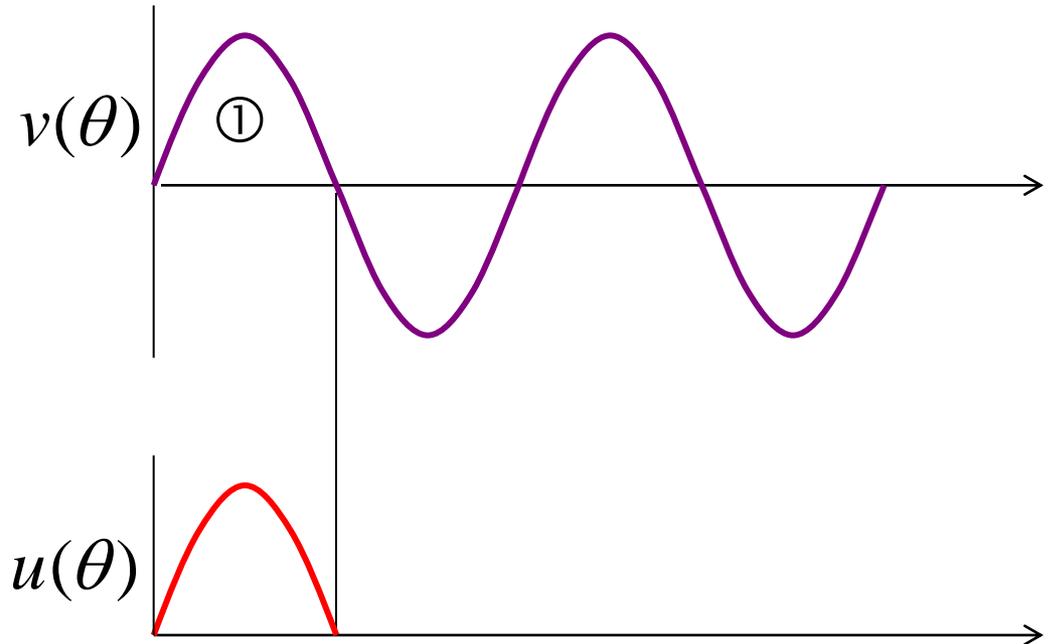
LA DIODE

Redressement double alternance : on utilise pour cela un pont de diodes dit pont de Graëtz.



① $v(\theta) > 0$

$\rightarrow u(\theta) = v(\theta)$

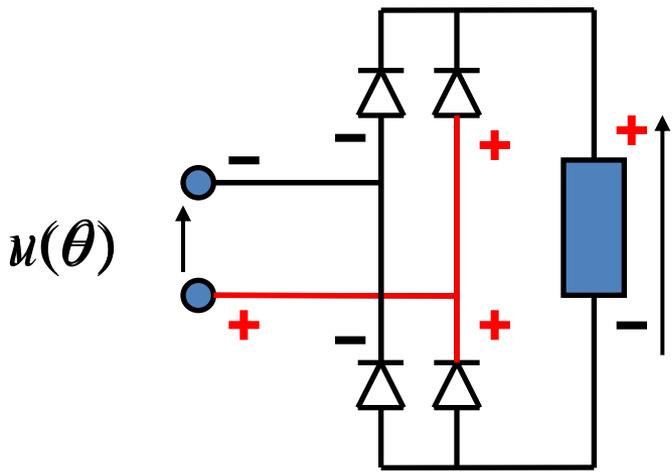


Equipements des studios

Electronique de puissance

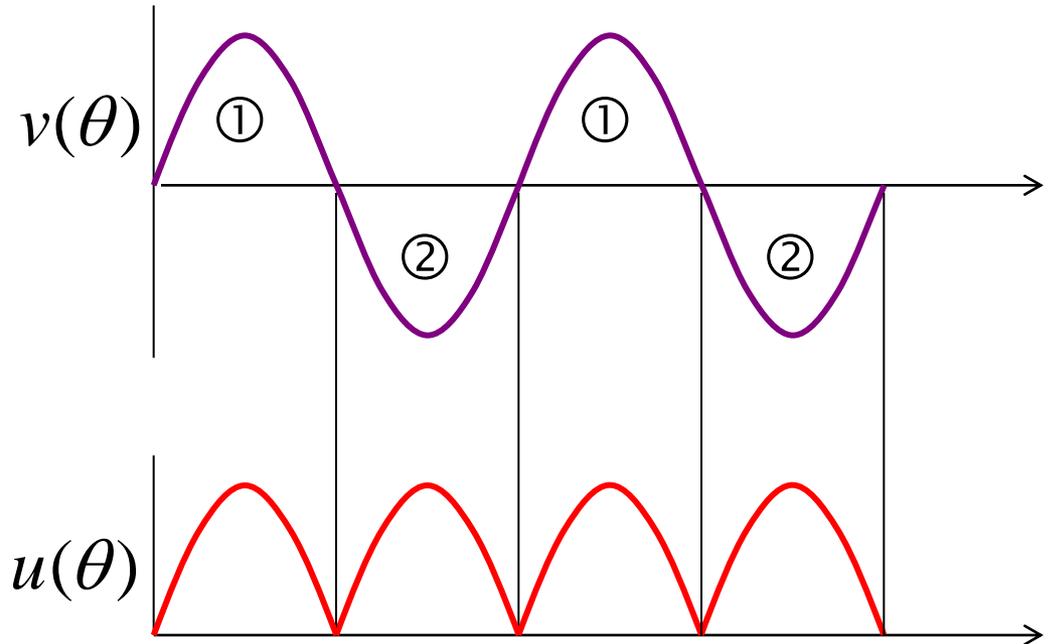
LA DIODE

Redressement double alternance : on utilise pour cela un pont de diodes dit pont de Graëtz.



② $v(\theta) < 0$

$\rightarrow u(\theta) = -v(\theta)$

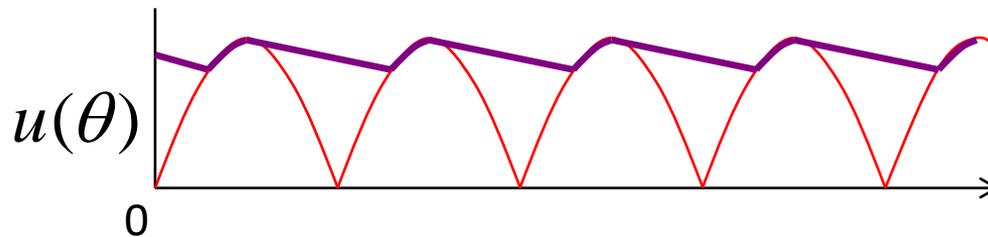
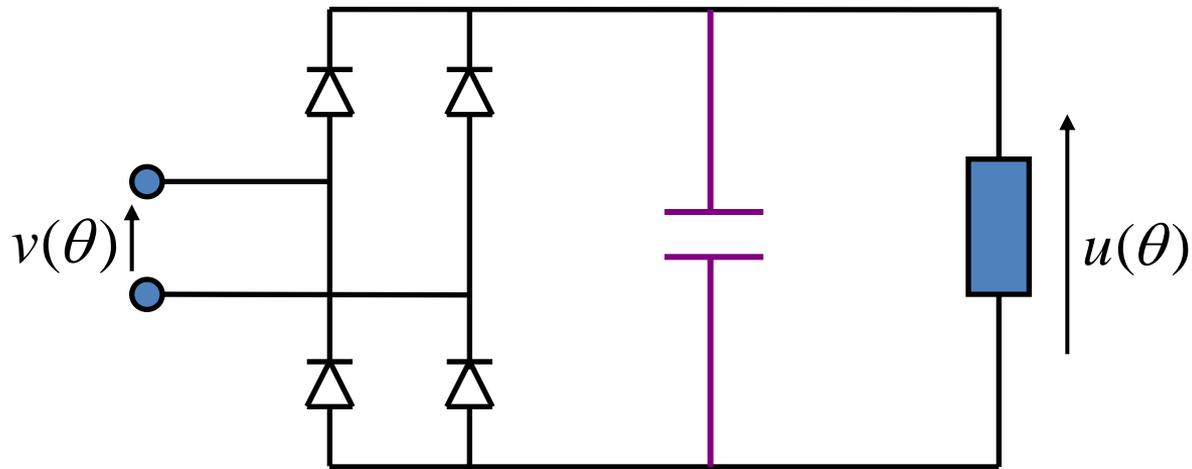


Equipements des studios

Electronique de puissance

LA DIODE

Principe du filtrage :



Equipements des studios

Electronique de puissance

LE THYRISTOR

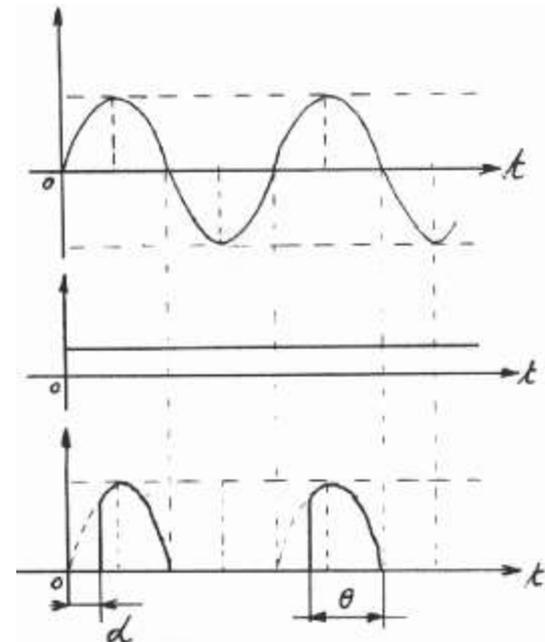
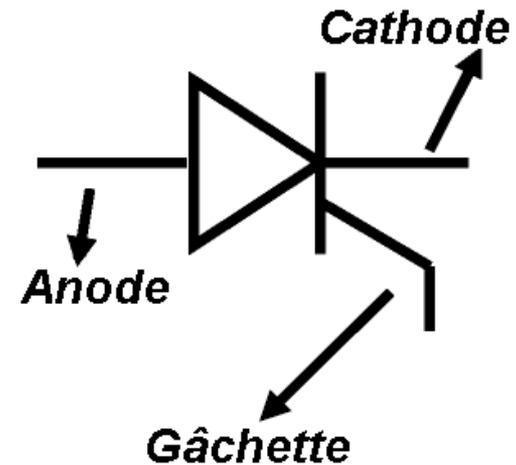
Le thyristor permet de commander de grands courants sur base d'un petit signal de commande (gâchette).

Le thyristor est un composant capable de régler la durée de conduction d'un circuit.

Il est capable, comme la diode, de redresser des courants alternatifs mais il permet en plus le réglage de la durée de conduction.

Pour une tension de gâchette donnée, le thyristor s'amorcera lorsque la tension anode-cathode atteindra un certain seuil.

A la disparition du courant de gâchette, **le thyristor reste passant. Polarise en inverse, le thyristor ne conduit pas.**



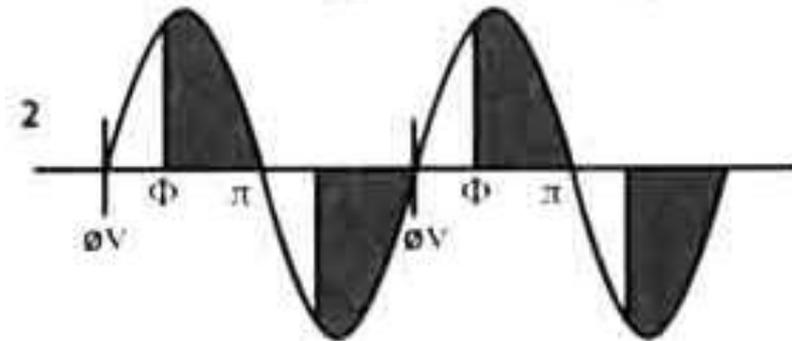
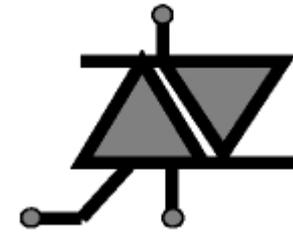
Equipements des studios

Electronique de puissance

LE TRIAC (TRIode for Alternating Current)

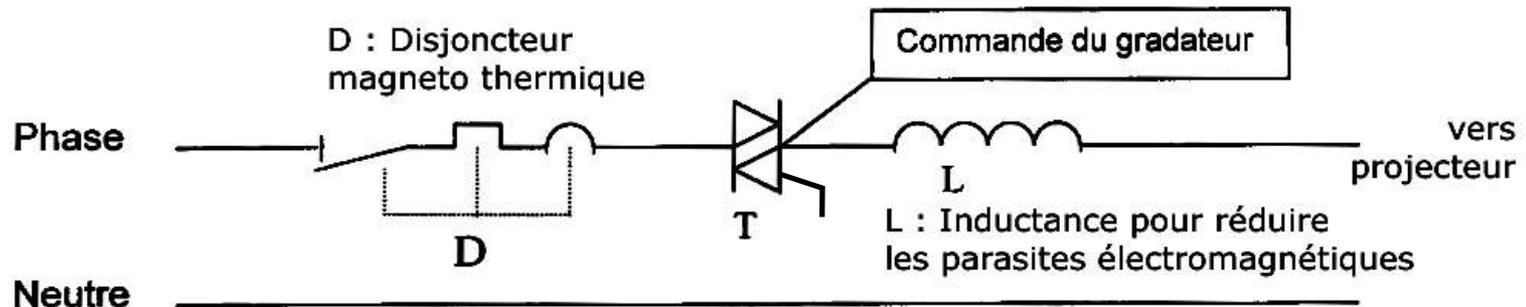
Un triac est analogue à 2 thyristors tête-bêche mais dont la gâchette est commune.

L'amorçage du triac peut se faire aussi bien pendant l'alternance positive que pendant l'alternance négative et ce, par des tensions de gâchette positives ou négatives.



GRADATEUR

On utilise les triacs dans les gradateurs. Le gradateur fournit à un récepteur un courant alternatif de même fréquence mais de valeur efficace réglable.



Sécurité des biens et des personnes

Dangers du courant électrique

Nul professionnel de l'électricité ne doit ignorer ou minimiser les dangers du courant électrique.

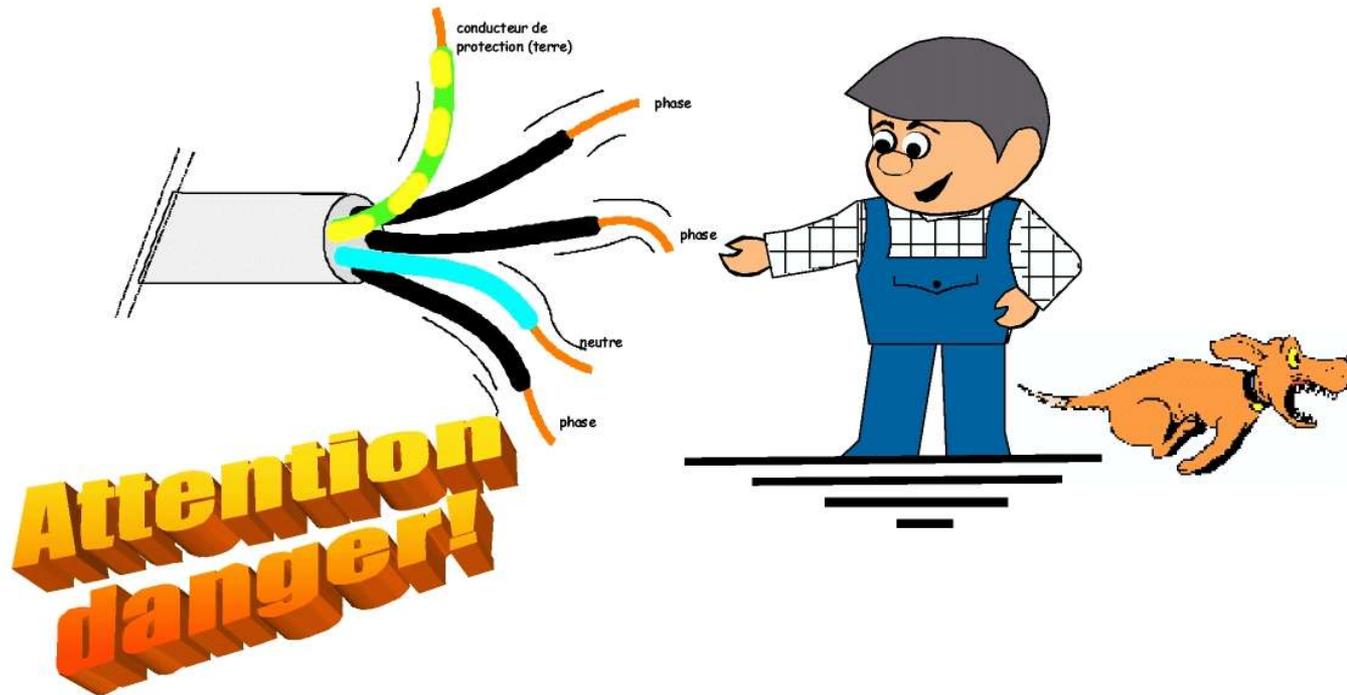




Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

La sécurité : c'est pouvoir utiliser une installation électrique sans risque, ni pour l'installation, ni pour les personnes.



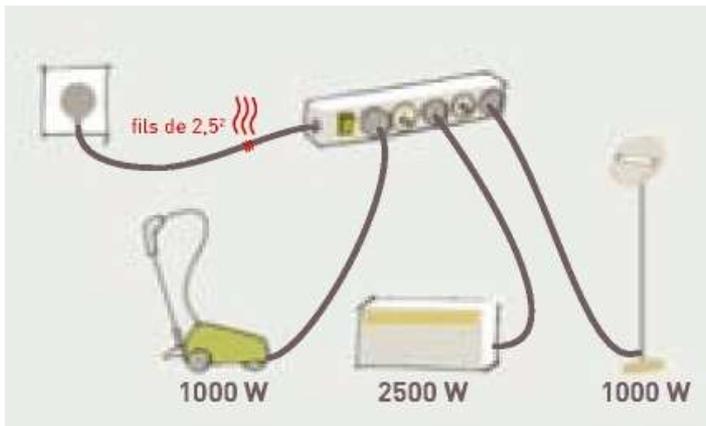
Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Si le courant qui circule dans les circuits ou les appareils dépasse la valeur nominale fixée, il y aura **SURINTENSITÉ**.

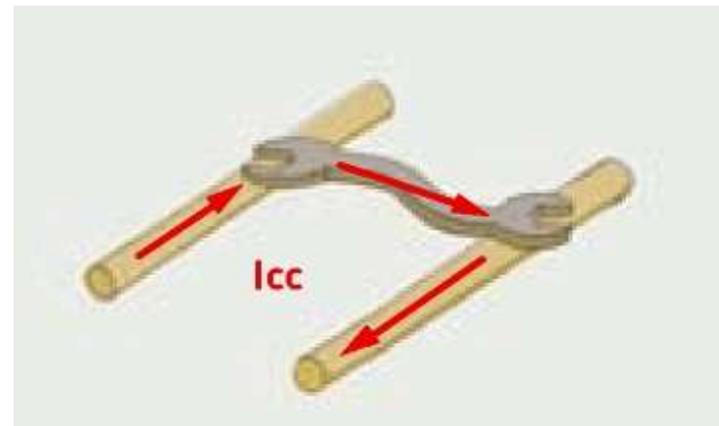
Surcharge

On dit qu'il y a surcharge, lorsque trop d'appareils sont branchés sur un même circuit. Il y a alors échauffement des conducteurs et des appareils de commande, d'où risque d'incendie.



Court-circuit

Le court-circuit se produit lorsque deux points soumis à des potentiels différents sont mis en contact. Le courant pourra alors atteindre quelques milliers d'ampères, d'où destruction très rapide des conducteurs et risque d'incendie.





Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

LES CONDUCTEURS EN TRIPHASE :

Un câble de distribution triphasé du domaine de la basse tension, comprend de 3 à 5 conducteurs. Trois conducteurs sont utilisés comme conducteurs de **PHASES**, le quatrième et / ou le cinquième sont utilisés comme conducteur de NEUTRE et comme conducteur de PROTECTION.

Seul le conducteur de protection ne transporte pas normalement l'énergie électrique ; c'est le seul conducteur à ne pas être considéré comme conducteur actif.

Pour un réseau normalement équilibré et sans défaut :

- En BTA, la différence de potentiel entre 2 phases est généralement $U = 400 \text{ V}$
- En BTA, la différence de potentiel entre 1 phase et la neutre est alors $V = 230 \text{ V}$
- En BTA, la différence de potentiel entre 1 phase et le conducteur de protection ou la terre est aussi 230 V .

La différence de potentiel entre le neutre et la terre n'est pas obligatoirement de 0 V , cette tension peut être dangereuse.

Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Contact direct

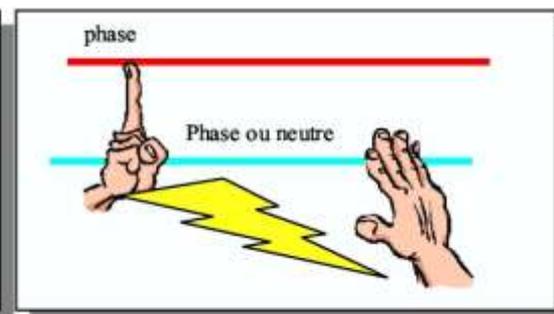
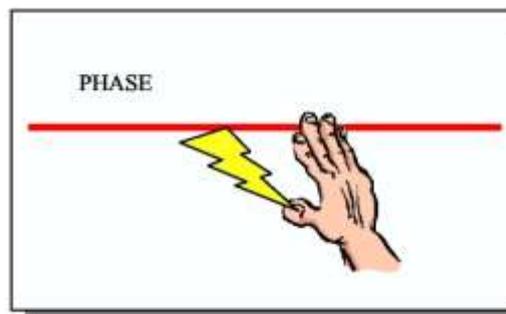
- 2 conducteurs actifs
- 1 conducteur actif et la terre

C'est le contact physique d'une personne avec un *(ou plusieurs) conducteur actif nu sous tension.*

Le contact direct s'établit lorsque le corps est soumis à une différence de potentiel:

- Entre deux phases ;
- Entre une phase et la terre ou une masse métallique ;
- Entre le neutre et la terre ou une masse métallique.

Le point de contact, l'état de la peau, le trajet du courant électrique sont autant de facteurs pouvant aggraver l'effet du choc électrique.



TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Réflexion :

Phase et courant alternatif

*Pourquoi le courant arrive par la phase, et non 1 fois sur 2 par le neutre ?
En effet, la propriété du courant alternatif est justement de changer de sens !*

Il n'y a aucune raison de dire que le courant sort de la phase plutôt que du neutre surtout pour un courant alternatif.

Dans la grande majorité des réseaux de distribution, le neutre est mis à la terre à la cabine de distribution. Par ce fait, le potentiel de neutre est très proche de celui de la terre, alors que ce n'est pas le cas du potentiel de phase.

Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

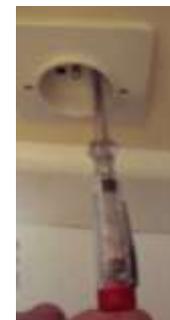
Réflexion :

Phase et courant alternatif

*On introduit un tournevis testeur dans la phase : il s'allume,
dans le neutre : il reste éteint.*

Le tournevis testeur a une grande résistance en série et limite fortement le courant qui le traverse. Si on pousse le tournevis testeur dans la borne de phase, un léger courant passe à travers le tournevis, puis à travers le corps de celui qui tient le tournevis et retourne à la terre via les pieds de celui qui tient le tournevis. Ce courant est possible puisque la phase et la terre ne sont pas au même potentiel et ce courant est suffisant pour allumer le témoin du tournevis (mais ce courant est suffisamment faible pour être sans danger pour celui qui tient le tournevis).

Mais si on pousse le tournevis dans une borne de neutre, comme le neutre est à un potentiel proche de la terre, il ne passe aucun courant dans le tournevis et le témoin reste éteint.





Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

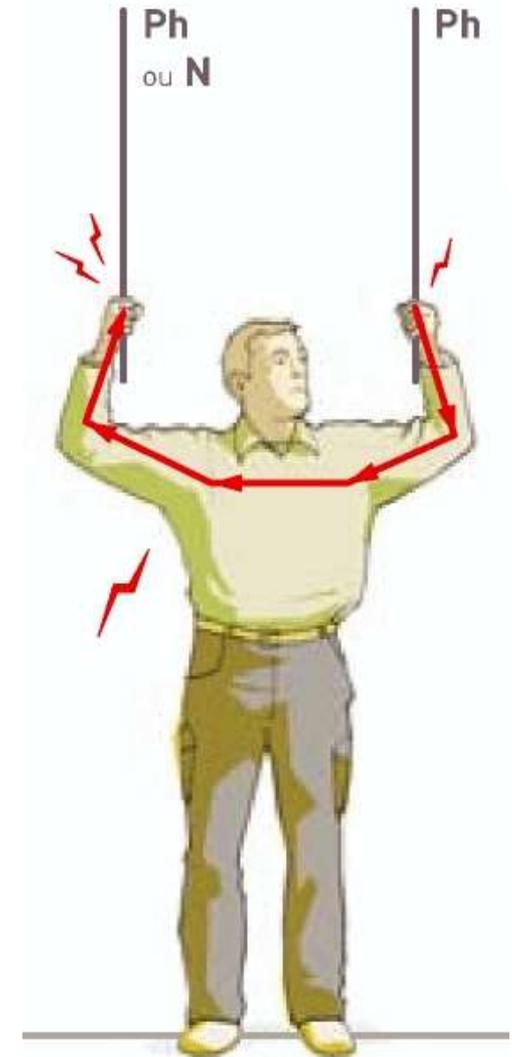
Contact direct, 1^{er} cas

C'est le contact d'une personne avec une partie active d'un équipement ou d'une installation habituellement sous tension.

Ce cas, bien qu'étant peu fréquent, est le plus défavorable. La personne étant supposée isolée du sol, (chaussures ou sol isolant) le courant va circuler directement par la cage thoracique via le système respiratoire et cardiaque.

Protection contre ce type de risque

La protection ne peut s'effectuer que préventivement par la mise en place de dispositifs mécaniques tels que coffrets fermés, câbles bien isolés, prises à éclipse (désormais obligatoires), d'où l'importance d'une installation réalisée dans les règles.

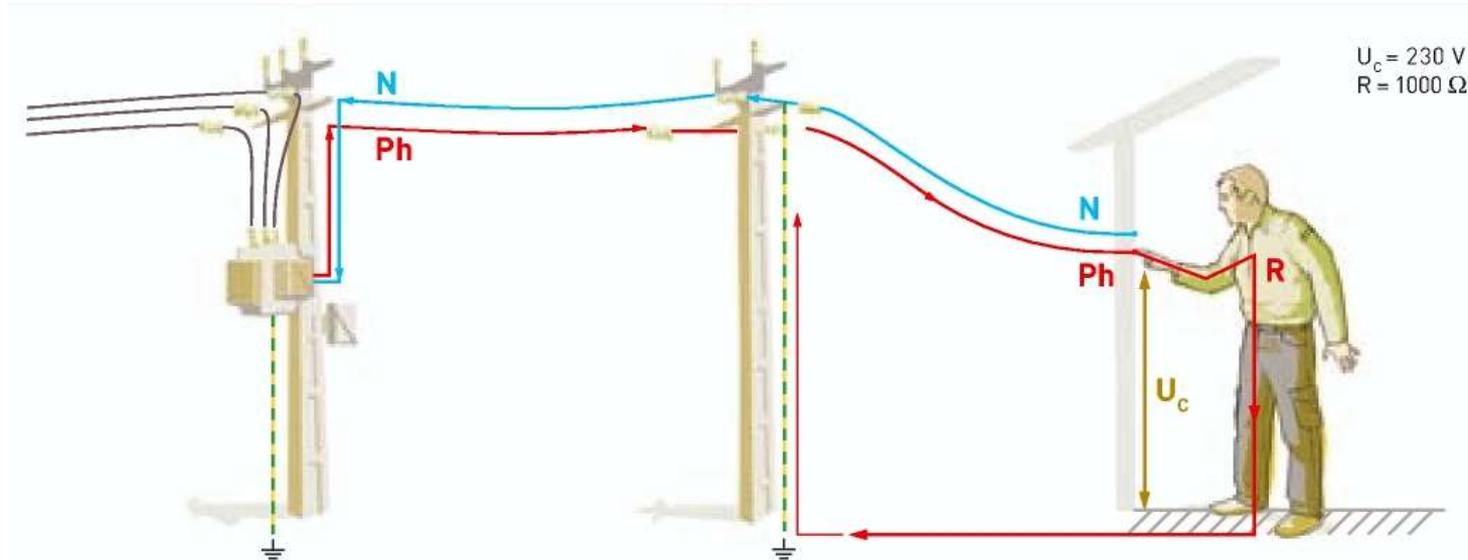




Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Contact direct, 2^e cas



Les réseaux de distribution publics ont le neutre raccordé à la terre. Cette mise à la terre du neutre est réalisée au niveau du transformateur de distribution et à divers endroits du réseau de distribution.

De ce fait, une personne qui rentrera en contact direct avec une phase du réseau se verra soumise à la tension de celui-ci.

En supposant le contact pieds/sol de résistance nulle la personne sera traversée par un courant d'environ 200 mA. Les risques seront donc les mêmes que dans le premier cas de contact direct.

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Réflexion :

EDF relie le neutre à la terre au niveau des transformateurs

Si le neutre et la terre sont reliés au niveau du transfo EDF, pour être au même potentiel **pourquoi y a-t-il 2 conducteurs distincts pour le neutre et la terre ?**

Voici 2 arguments :

1. Le neutre et la terre ont une fonction différente :
 - **le neutre peut être amené à conduire un courant important**, le fil de neutre n'est donc pas partout exactement au même potentiel,
 - **le fil de terre ne transporte pas de courant permanent**, on cherche à ce qu'il soit partout au potentiel du sol.
2. **Le disjoncteur coupe le fil de neutre mais jamais celui de la terre**

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Réflexion :

Liaison du neutre à la terre

Si le neutre n'était pas connecté à la terre (ni côté distribution ni côté utilisateur) alors le courant ne circulerait pas vers cette terre. **Il n'y aurait donc aucun danger à toucher un (et un seul) des conducteurs.** En milieu industriel, ce schéma est utilisé mais implique des contrôles spécifiques.

Par contre, on ne détecterait plus un éventuel défaut d'isolation (quand un fil est dénudé et touche une carcasse par exemple). Un tel système deviendrait trop dangereux (en cas de défaut, il pourrait suffire de toucher deux appareils différents pour être blessé). C'est pourquoi pour les particuliers on met en place cette liaison du neutre à la terre. Le courant des phases circule ainsi vers la terre dès qu'il peut.

Il devient, certes, dangereux de toucher une phase mais le **disjoncteur différentiel** peut détecter immédiatement le moindre défaut (il détecte que du courant s'est échappé du circuit normal). L'alimentation est alors immédiatement coupée, soit avant qu'un utilisateur ne touche le défaut (grâce à la **prise de terre**) soit dès qu'un utilisateur commence à recevoir du courant.



Sécurité des biens et des personnes

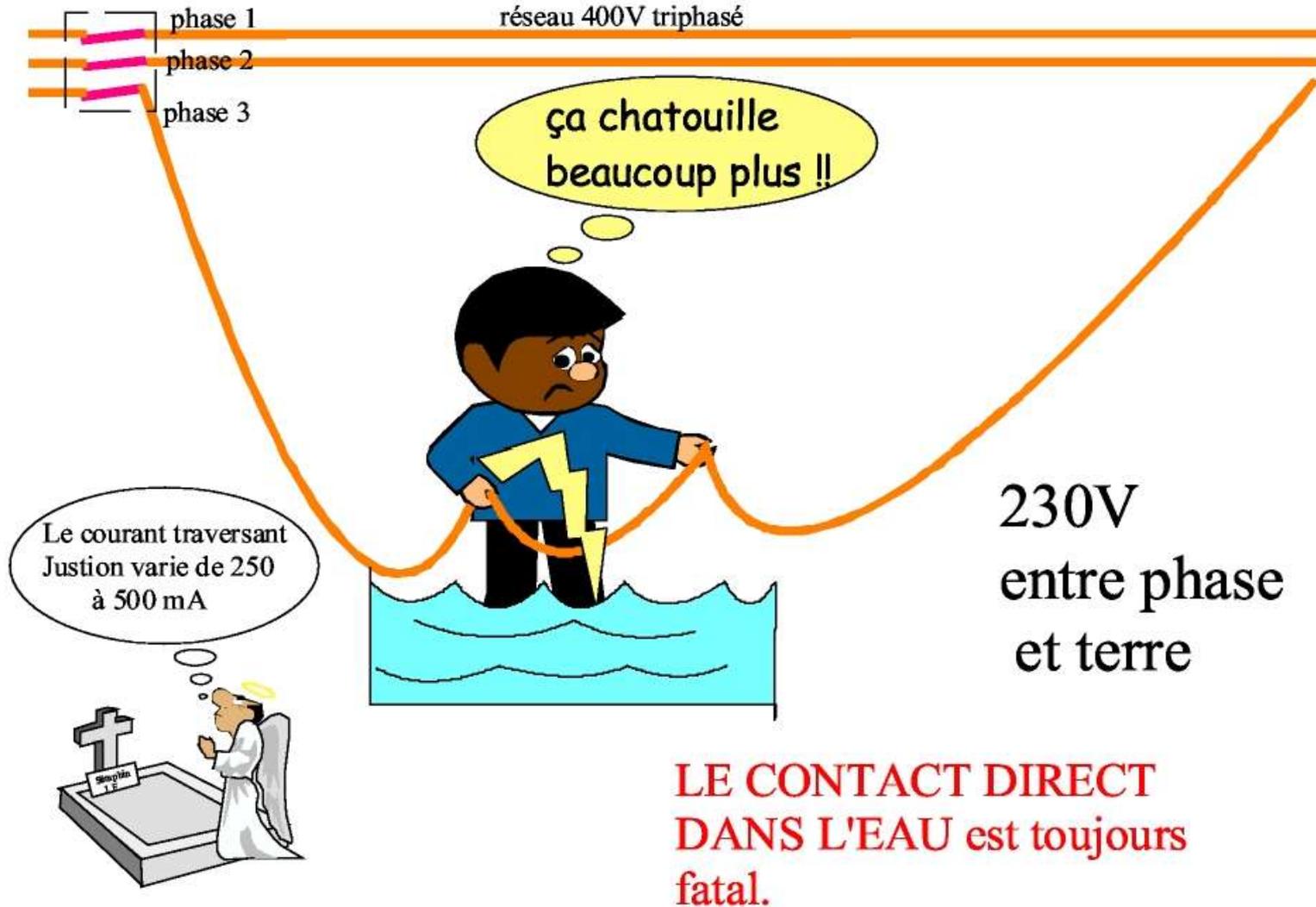
TECHNOLOGIE et PRÉVENTION





Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION





Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Les solutions pour se protéger des surintensité



Protection par
cartouche fusibles
et porte-fusible



Protection par
disjoncteur
magnéto-thermique

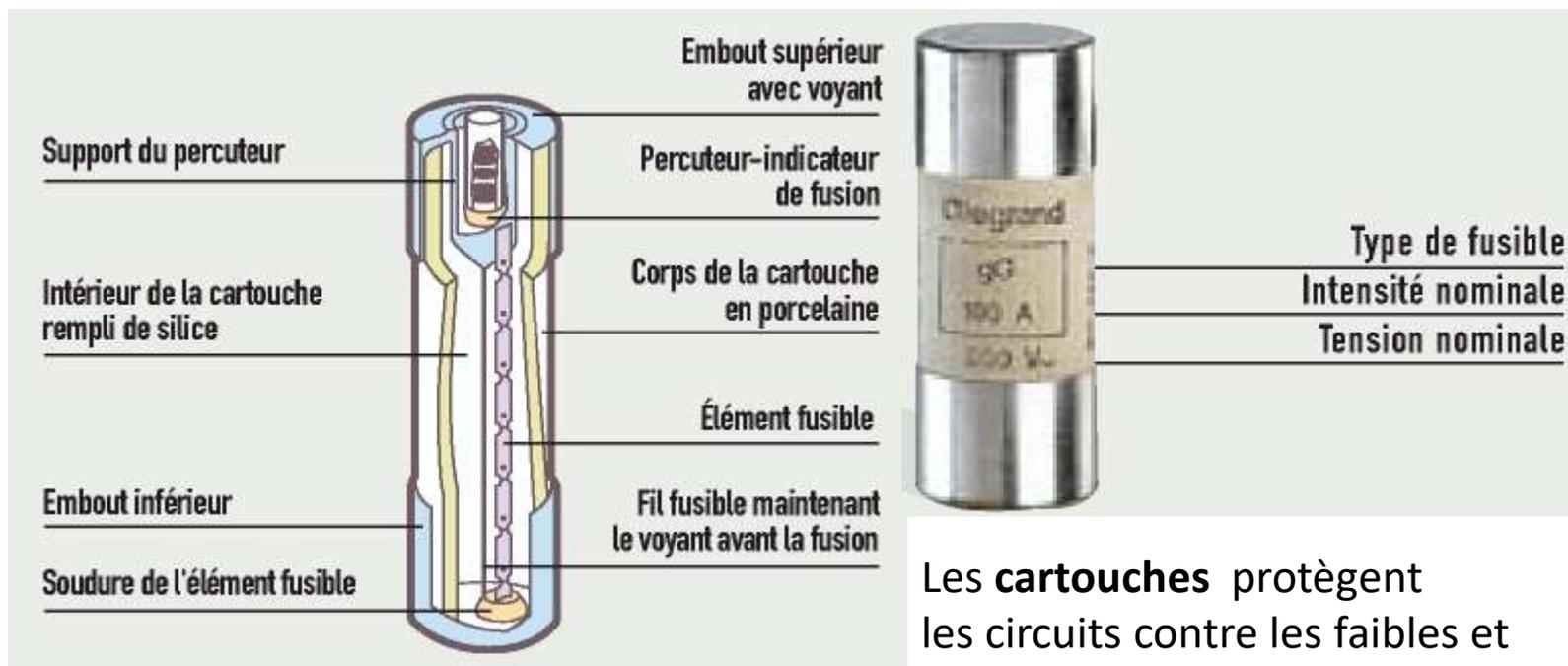


Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Les solutions pour se protéger des surintensité

Les cartouches fusibles



Les **cartouches** protègent les circuits contre les faibles et fortes surcharges et, bien sûr, contre les courts-circuits.

Sécurité des biens et des personnes

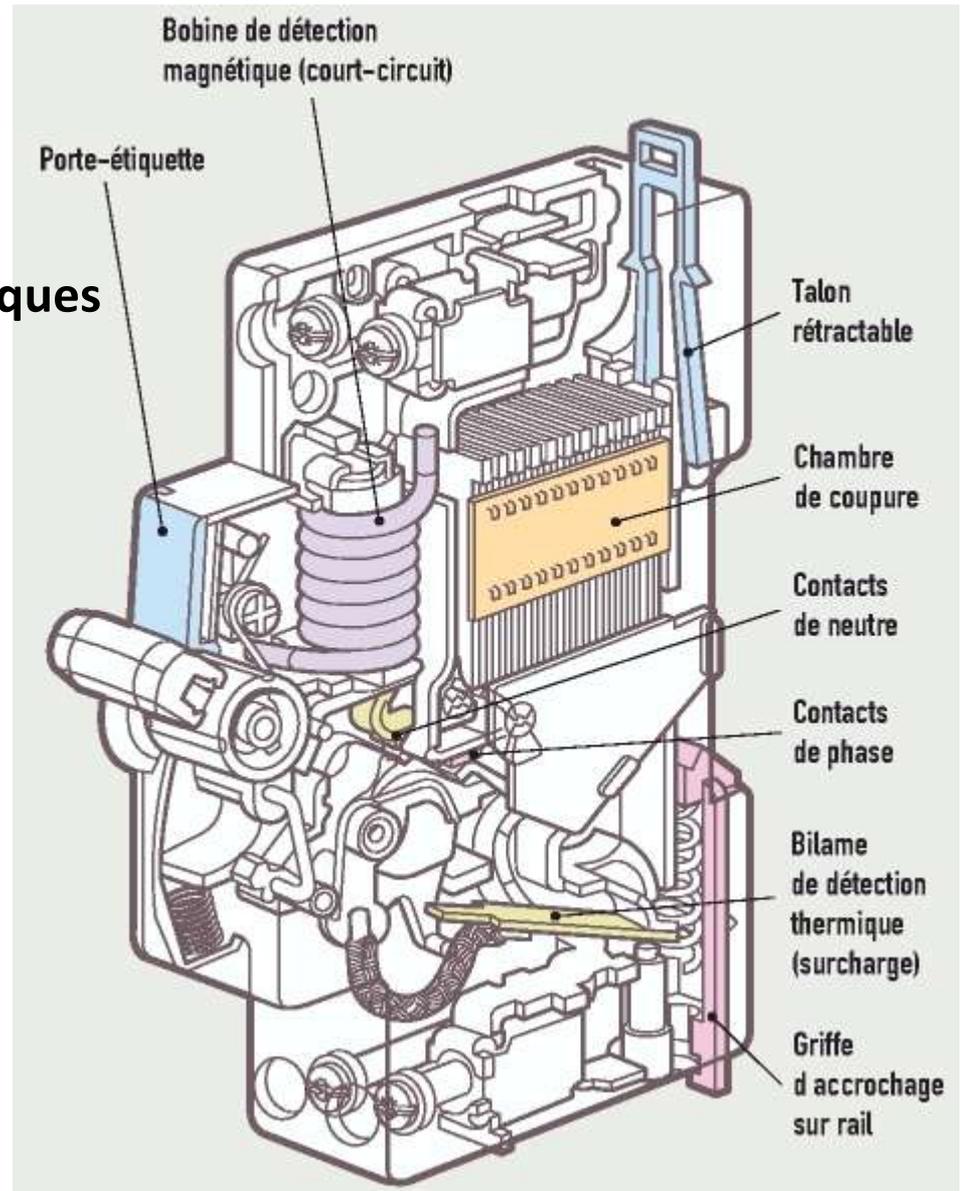
TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Les solutions pour se protéger des surintensité : Les disjoncteurs magnéto-thermiques

Les disjoncteurs modulaires magnéto-thermiques possèdent une détection contre :

- les surcharges, détection thermique,
- les courts-circuits, détection magnétique.

*Un **disjoncteur** est un organe électromécanique, voire électronique, de protection, dont la fonction est d'interrompre le courant électrique en cas d'incident sur un circuit électrique.*



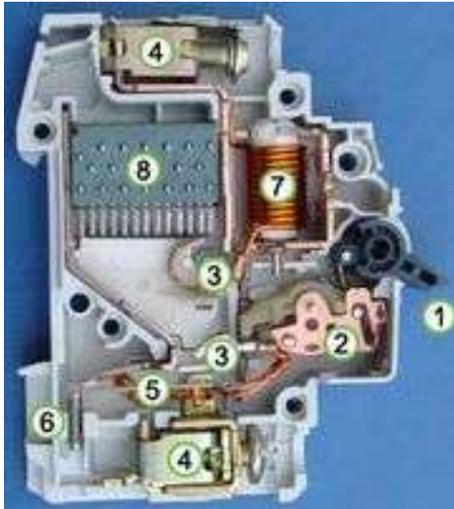


Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Les disjoncteurs magnéto-thermiques

Le disjoncteur est capable d'interrompre un courant de surcharge ou un courant de court-circuit dans une installation. Suivant sa conception, il peut surveiller un ou plusieurs paramètres d'une ligne électrique. Sa principale caractéristique par rapport au fusible est qu'il est réarmable (il est prévu pour ne subir aucune avarie lors de son fonctionnement).



Un court-circuit produit une brusque augmentation de courant. Cela se produit lorsque deux éléments ayant des potentiels différents entrent en contact direct. La forte variation d'intensité passe au travers des spires d'une bobine (7 sur le schéma). Elle produit, selon les règles de l'électromagnétisme, une forte variation du champ magnétique. Le champ ainsi créé déclenche le déplacement d'un noyau de fer doux qui va mécaniquement ouvrir le circuit et ainsi supprimer le défaut.

Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Les solutions pour se protéger des surintensité

Les disjoncteurs magnéto-thermiques

Courbe de fonctionnement d'un disjoncteur

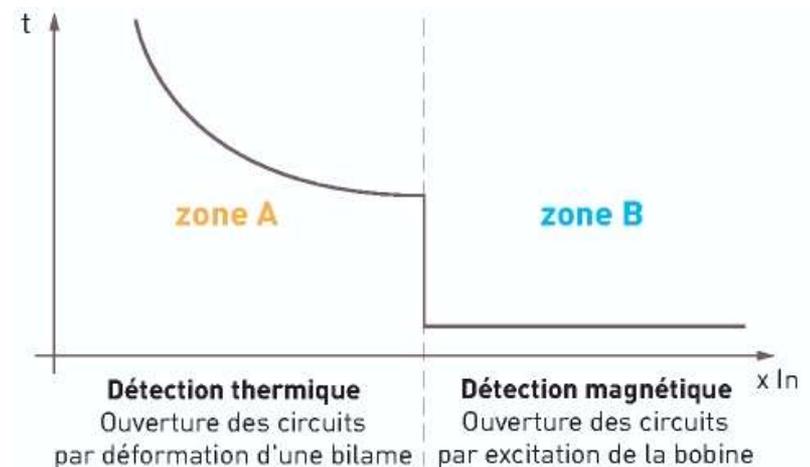
Elle définit la zone de déclenchement du magnétique par rapport au thermique. Elle est caractérisée par une zone de détection thermique et une zone de détection magnétique.

En effet, deux types de défauts font réagir un disjoncteur :

Cas de surcharge zone A ou d'échauffement, une bilame s'infléchit et provoque l'ouverture du disjoncteur. Le temps de réaction du disjoncteur est inversement proportionnel au courant qui le traverse.

En cas de faible surcharge, la bilame s'échauffe lentement, d'où un temps de réaction long. En cas de forte surcharge, la bilame s'échauffe rapidement, d'où réaction rapide.

Cas de court-circuit zone B, un dispositif électromagnétique ouvre le disjoncteur en un temps très court, de l'ordre de quelques millièmes de secondes. La courbe de fonctionnement du disjoncteur est située dans une zone définie par la norme.





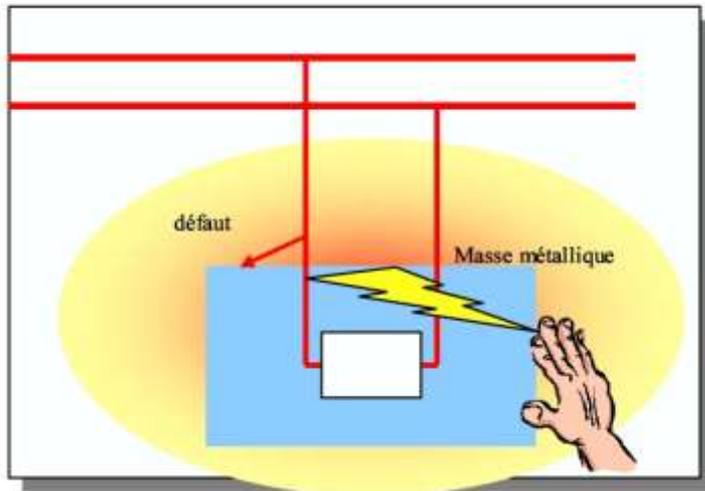
Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Contact indirect

Masse métallique (armature du projecteur) sous tension et la terre

C'est le contact physique d'une personne avec une masse métallique portée accidentellement à un potentiel dangereux.



Le contact indirect est particulièrement sournois, car rien ne laisse prévoir la présence de tension sur une partie métallique normalement hors tension.

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Réflexion :

Pourquoi relier la masse des appareils (ou des projecteurs) à la terre ?

Que se passerait-il si le fil de phase venait à toucher la masse de l'appareil ?

La mise à la terre des masses des appareils électriques est un des éléments de sécurité des personnes.

les 2 autres éléments étant :

- L'existence d'une bonne prise de terre assurant une faible différence de potentiel entre l'utilisateur et la masse de l'appareil.
La méthode rapide consiste à dériver un courant vers la terre et vérifier si le différentiel saute. Avec une ampoule de 60 watts entre phase (220 V) et borne de terre et avec un différentiel de 300 mA, ça doit sauter si la terre est bonne (6 Watts si différentiel de 30 mA).
- La présence d'un disjoncteur différentiel interdisant une perte du courant qui passerait par le corps de l'utilisateur.



Sécurité des biens et des personnes TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

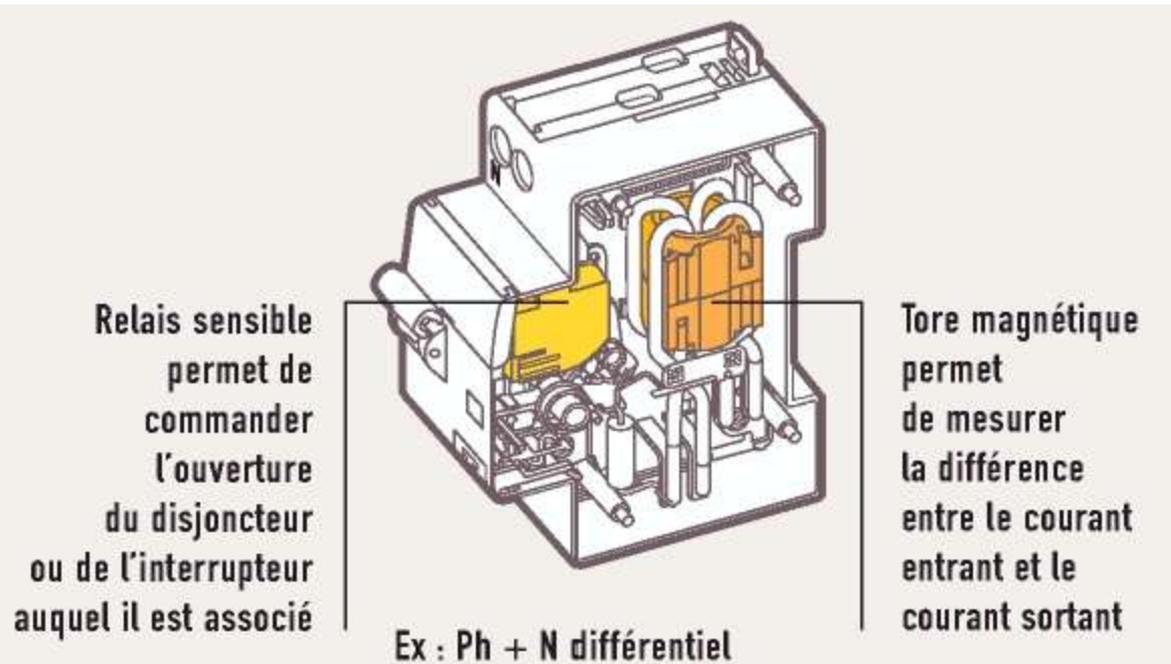
Les solutions pour se protéger du courant de défaut Principe de fonctionnement du dispositif différentiel

Pour fonctionner, le différentiel est principalement constitué de deux composants indispensables :

- un tore magnétique
- un relais sensible

Ce dispositif mesure en permanence la différence entre la valeur du courant entrant et la valeur du courant sortant.

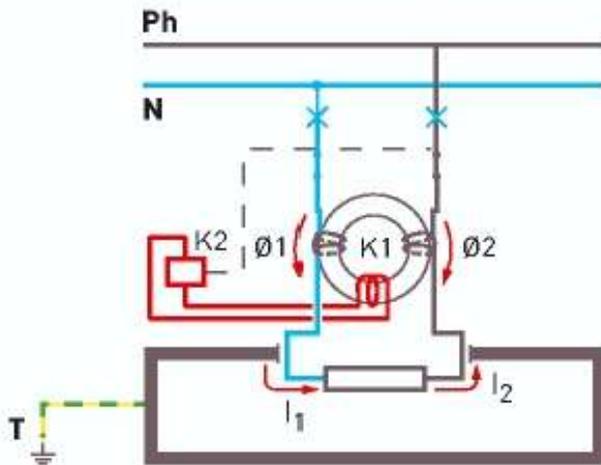
Le tore magnétique fonctionne comme un transformateur. Le primaire mesure les courants entrants et sortants du circuit à surveiller, le secondaire alimente le relais sensible.





Sécurité des biens et des personnes TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Les solutions pour se protéger du courant de défaut Principe de fonctionnement du dispositif différentiel



La valeur du courant entrant (phase) est égale à celle du courant entrant sortant (neutre).

En l'absence de courant différentiel aucun flux magnétique n'est créé dans le tore K1. La bobine K2 du relais sensible n'est pas excitée. Les contacts restent fermés. L'équipement fonctionne normalement.

If = 0 donc :

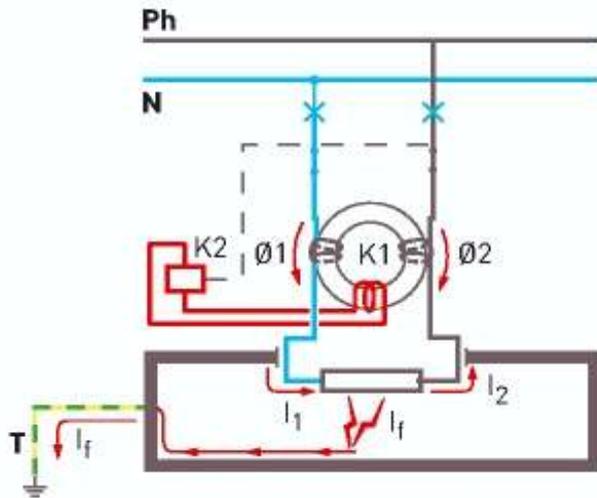
$$I_1 = I_2$$

$$\Phi_1 = \Phi_2$$



Sécurité des biens et des personnes TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Les solutions pour se protéger du courant de défaut Principe de fonctionnement du dispositif différentiel



La valeur du courant entrant (phase) est différente de la valeur du courant sortant (neutre). Le courant différentiel provoque un flux magnétique dans le tore K1, lequel génère un courant qui va agir sur le relais sensible K2, et faire déclencher la mécanique du dispositif différentiel.

$I_f \neq 0$ donc :

$$I_1 > I_2$$

$$\Phi_1 > \Phi_2$$



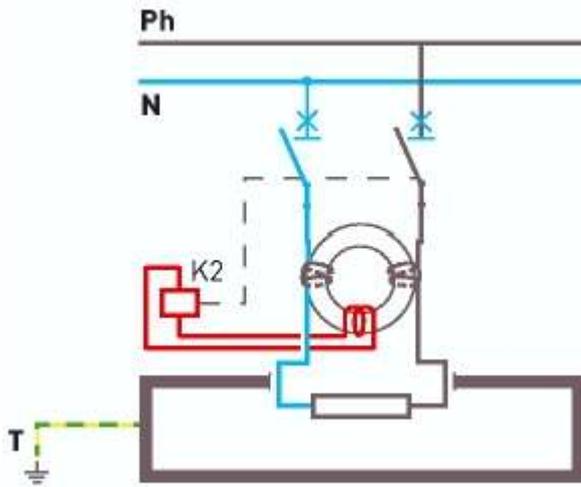
Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Les solutions pour se protéger du courant de défaut

Principe de fonctionnement du dispositif différentiel

Les contacts s'ouvrent, l'équipement est mis automatiquement hors tension.



Qu'appelle-t-on sensibilité d'un dispositif différentiel ?

On appelle sensibilité d'un dispositif différentiel la valeur du courant de défaut dit "courant résiduel de défaut" pour lequel le dispositif s'ouvrira obligatoirement. *30 mA ou 300 mA ou 500 mA sont des valeurs normalisées. La règle veut qu'un différentiel fonctionne et déclenche l'ouverture du disjoncteur lorsque la valeur du courant de défaut est comprise entre la moitié de la grandeur et la grandeur prévue pour déclencher.*

Exemple: si vous avez un disjoncteur différentiel de 30 mA sur le départ des prises de courant, il déclenchera si un défaut apparaît avec une valeur comprise entre 15 et 30 mA

En combien de temps un différentiel déclenche-t-il ?

Lorsqu'il détecte un défaut, un différentiel normal ouvre le circuit dans un temps généralement inférieur à 50 ms.



Sécurité des biens et des personnes TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Les solutions pour se protéger du courant de défaut Principe de fonctionnement du dispositif différentiel

Qu'est-ce qu'un interrupteur différentiel ?

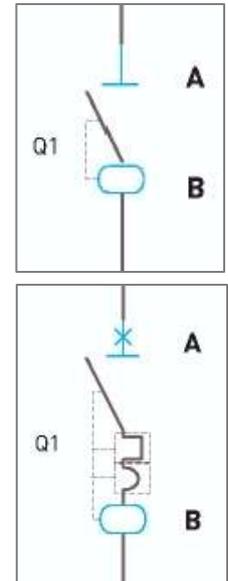
C'est un appareil ayant **deux fonctions indépendantes** regroupées dans un même boîtier :

- une fonction interrupteur,
- une fonction différentielle B utilisant l'interrupteur comme organe de coupure automatique.

Qu'est-ce qu'un disjoncteur différentiel ?

C'est un appareil ayant **deux fonctions dépendantes** regroupées dans un même boîtier :

- une fonction disjoncteur,
- une fonction différentielle B utilisant les contacts du disjoncteur comme organe de coupure automatique.



Pourquoi choisir un disjoncteur ou un interrupteur différentiel ?

L'interrupteur différentiel s'utilise lorsqu'il n'y a pas besoin d'assurer la protection surcharge et court-circuit, ces protections étant déjà assurées en amont ou en aval par fusible et/ou disjoncteur. Lorsque ces protections ne sont pas assurées, le disjoncteur différentiel s'impose.



Sécurité des biens et des personnes

TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Les solutions pour se protéger du courant de défaut

Principe de fonctionnement du dispositif différentiel

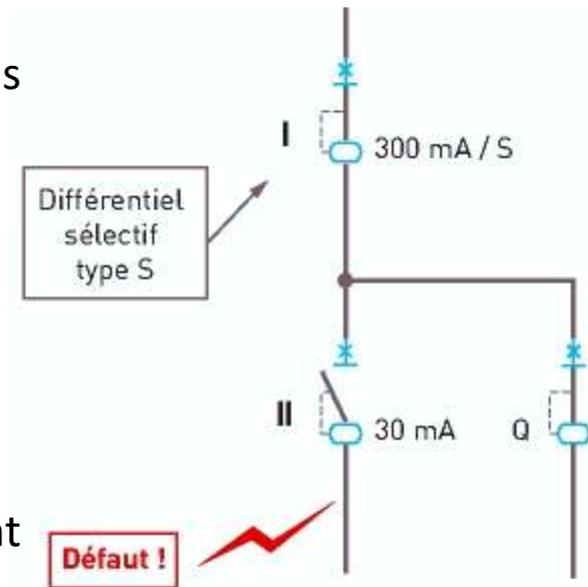
Peut-on réaliser une sélectivité entre deux différentiels ?

Un différentiel ayant généralement un temps de déclenchement quasiment constant pour tout défaut supérieur à sa sensibilité, il n'est pas possible d'obtenir une sélectivité entre deux appareils même s'ils sont de sensibilités différentes.

Si par un artifice interne, la détection du différentiel n°I est légèrement retardée (≥ 50 ms en général : **différentiel retardé ou de type S**).

Dans ce cas, qu'elle que soit la valeur du défaut, seul l'appareil n°II s'ouvrira car :

- la sensibilité amont (300 mA) est trois fois supérieure à la sensibilité aval (30 mA),
- le temps de déclenchement amont (environ 80 ms, selon la valeur du courant de défaut) est très supérieur au temps de déclenchement aval (instantané : environ 20 ms).

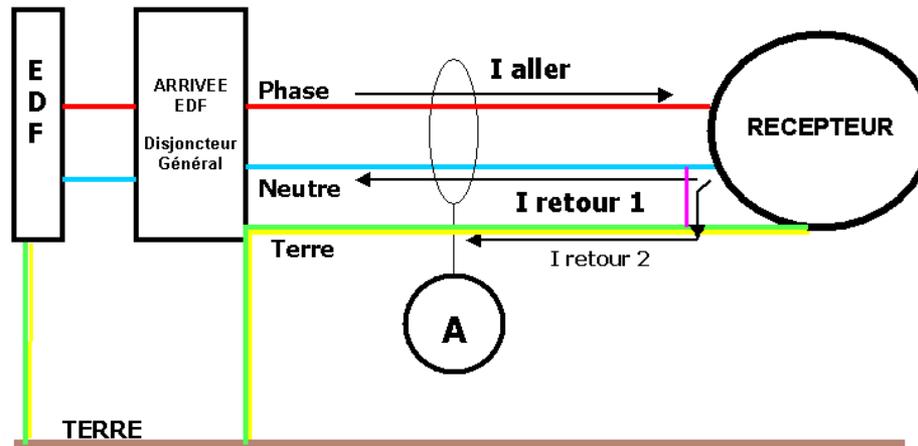




Sécurité des biens et des personnes TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Les solutions pour se protéger du courant de défaut

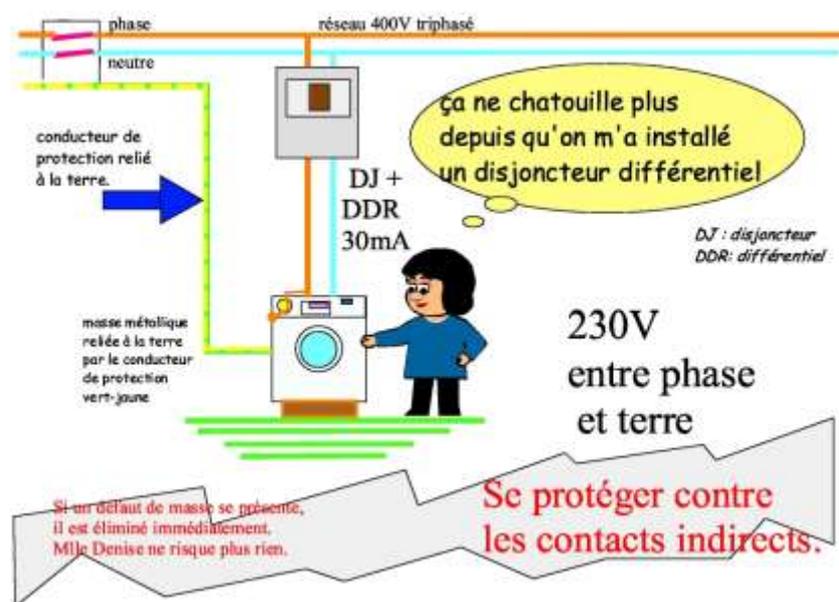
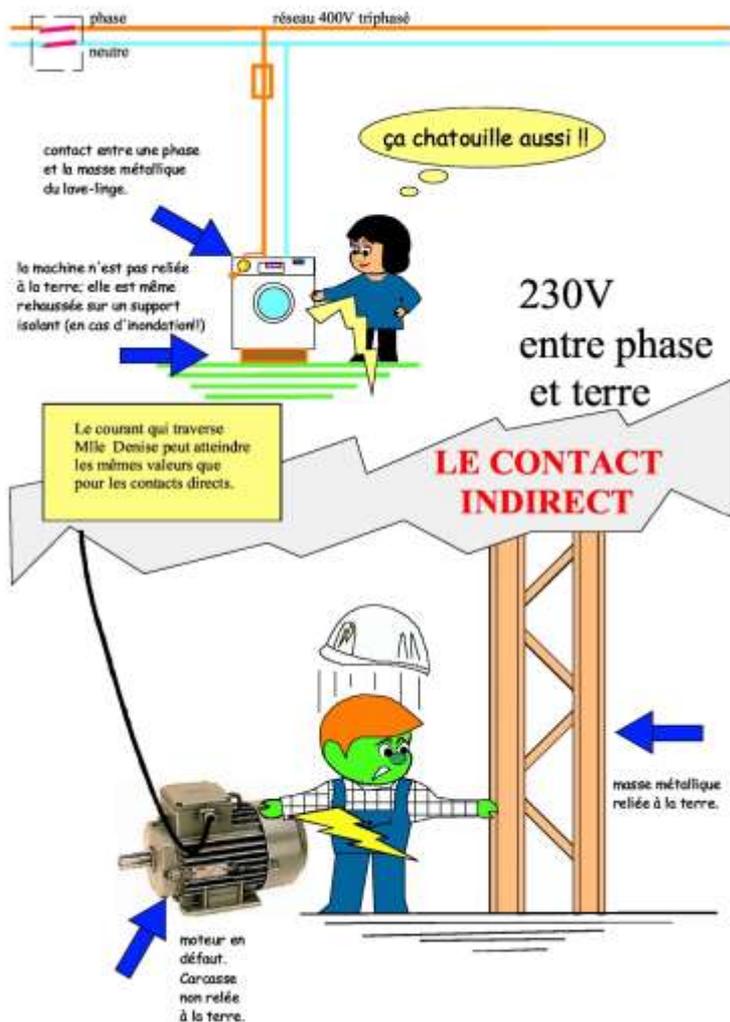
Maintenant, que se passe t-il si on relie le neutre et la terre ?



Nous avons un courant I aller qui passe par la phase, alimente le récepteur, et retourne vers l'arrivée générale à travers le conducteur Neutre (I retour 1) ET à travers le conducteur Terre (I retour 2). Le courant I aller est donc égal au courant I retour 1 + I retour 2. Le courant I retour 1 n'étant pas égal au courant I aller, il y a une différence détectée par notre système différentiel (tore et ampèremètre). Si cette valeur est supérieure au seuil de déclenchement du différentiel, il y a déclenchement, donc ouverture du disjoncteur.



Sécurité des biens et des personnes TECHNOLOGIE et PRÉVENTION



La protection contre le contact indirect est assurée par l'ouverture automatique de l'appareil de protection placé en amont du défaut de masse.

Cette ouverture automatique est assurée par le **Dispositif Différentiel à Courant Résiduel (DDR)** associé au disjoncteur :

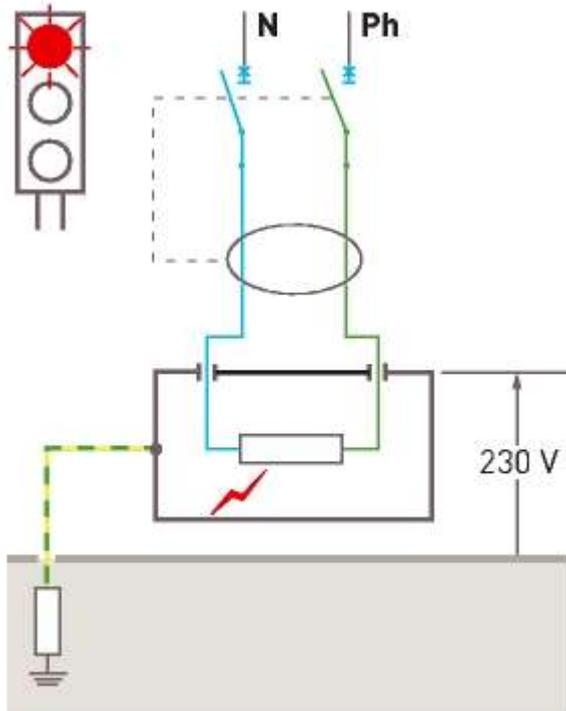
- Mise à la terre des masses métalliques ;
- Contrôle permanent des courants de fuites dans les masses métalliques.



Sécurité des biens et des personnes TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Le différentiel c'est bien mais...

SANS TERRE ou TERRE DÉCONNECTÉE



Le différentiel ne détectera pas de différence entre le courant entrant et le courant sortant de l'installation. La masse métallique sera portée au potentiel de 230 V.

Si une personne touche à la carcasse, cette personne sera soumise à une tension de 230 V... !

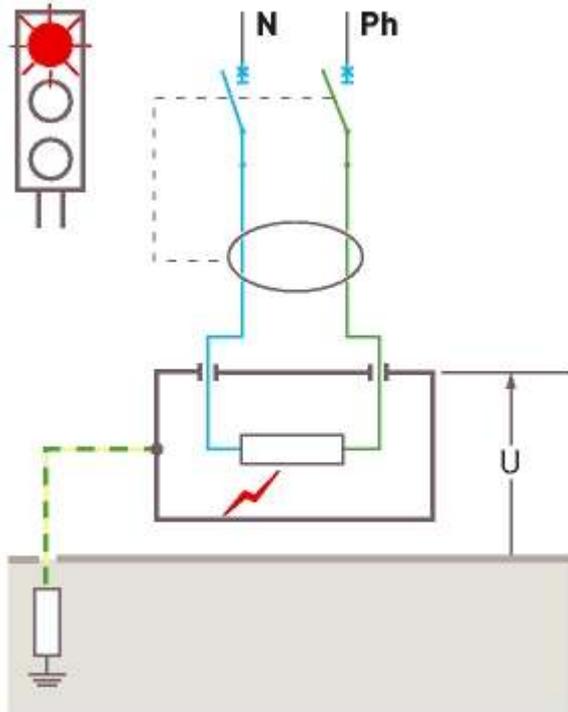
Dans ce cas, le différentiel 300 mA ne sert à rien. Seul le différentiel 30 mA peut sauver l'utilisateur, mais n'empêchera pas le choc électrique.



Sécurité des biens et des personnes TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Le différentiel c'est bien mais...

MAUVAISE TERRE



La résistance de terre étant trop élevée, le courant de fuite sera inférieur au courant de déclenchement du différentiel, 300 ou 500 mA.

Le différentiel ne déclenche pas et ne sert donc à rien. La masse sera portée à un potentiel dangereux.

Cette mauvaise terre peut aussi être due à un desserrage ou mauvais serrage des cosses de terre. Dans ce cas, seul un différentiel 30 mA peut empêcher le choc électrique.

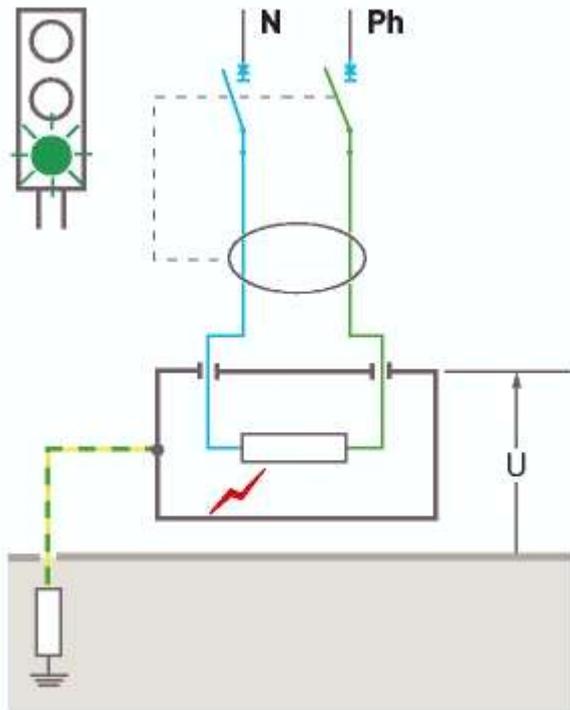
IMPORTANT - Chaque fois que les prises de terre sont mauvaises ou aléatoires, utiliser de préférence des différentiels 30 mA au lieu de 300 mA pour la protection contre les contacts indirects.



Sécurité des biens et des personnes TECHNOLOGIE et PRÉVENTION

Le différentiel c'est bien mais...

TERRE ADAPTÉE



Le courant de défaut étant supérieur au calibre du différentiel, celui-ci ouvrira ses contacts et mettra ainsi l'installation hors tension. La protection remplira donc son rôle avant qu'une personne entre en contact avec la masse métallique.

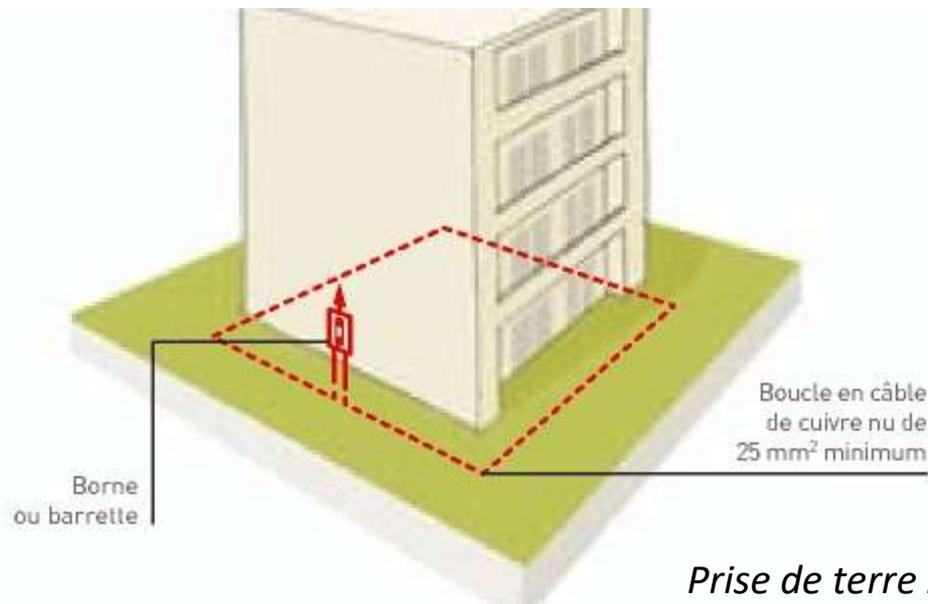
NOTA - Si vous constatez qu'une protection différentielle est déclenchée, il ne faut surtout pas chercher à tout prix à remettre l'équipement sous tension. Il faudra détecter et éliminer le défaut en premier lieu.

Sécurité des personnes

Comment est réalisée une prise de terre ?

La résistance d'une prise de terre dépend :

- de la nature (plus ou moins conductrice) du sol, du taux d'humidité et de la température. Une prise de terre réalisée dans un sol argileux et humide sera de plus faible valeur ohmique que celle placée dans un sol sablonneux et sec
- de ses dimensions et de sa forme. Une prise de terre réalisée en boucle à fond de fouille (câble ceinturant les fondations d'un bâtiment) aura une meilleure valeur qu'un simple piquet enfoncé dans le sol.



Prise de terre réalisée à fond de fouille

Sécurité des personnes

Quels sont les éléments à relier à la terre ?

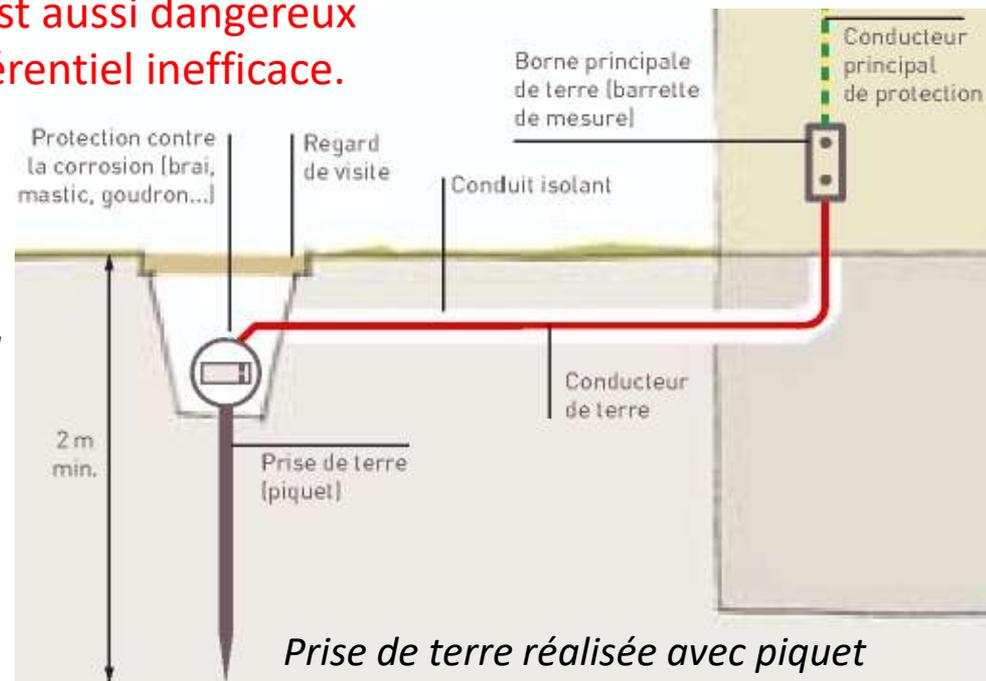
Doivent être reliés à la terre :

- les structures métalliques des bâtiments : huisseries, charpentes métalliques, conduites d'eau métalliques, etc...
- les éléments métalliques des salles d'eau, des piscines et en règle générale les éléments métalliques de tous les équipements situés à l'extérieur ou directement en contact avec un liquide conducteur.

Ne pas raccorder ces masses à la terre est aussi dangereux que l'absence de terre. Cela rend le différentiel inefficace.

REMARQUE

Il est interdit d'utiliser comme prise de terre des canalisations de gaz, de vidanges, de chauffage central et d'eau (qui pourraient être interrompue lors des travaux de remplacement de ces canalisations par PVC par exemple). Mais il est important de mettre ces canalisations métalliques à la terre.



Sécurité des personnes

Valeurs limites de la résistance terre

Pour calculer la résistance maxi que devra avoir une prise de terre pour assurer la sécurité, il faudra fixer deux éléments :

- la tension limite (U_L) admissible sur la masse en défaut :
- la valeur du courant de fuite qui circulera en cas de défaut à la terre.

Ex : $U_L = 50$ Volts

Cette valeur sera limitée par la sensibilité du dispositif différentiel :

Ex : $I_{\Delta} = 500$ mA

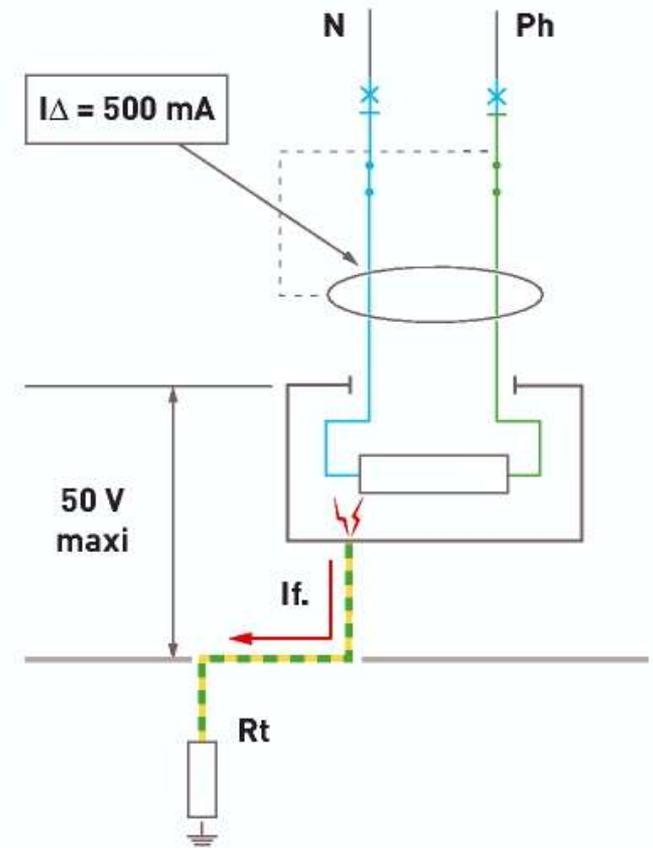
on aura : $R_t = U_L / I_{\Delta} = 50 / 0,5 = 100$ ohms

I_{Δ} : Sensibilité du différentiel

R_t : Résistance de la prise de terre

REMARQUE

Pour que le dispositif différentiel remplisse sa fonction, il faudra donc que la résistance de terre R_t soit inférieure à 100 ohms.



Absence de terre

Réflexion :

Si l'installation est ancienne et ne comporte pas de terre, le courant de défaut, ne pouvant trouver un chemin vers le transformateur à travers la terre, attendra qu'une personne touche la masse, et à travers son corps, le courant ira rejoindre le transformateur.

En fonction de sa valeur, la personne peut ressentir quelques picotements, ou s'électriser.

C'est à ce moment que le différentiel pourra rencontrer toutes les conditions nécessaires pour déclencher le disjoncteur, mais parfois un peu tard. D'où la nécessité d'avoir une installation correctement effectuée.

Dans le cas de terre inexistante ou de valeur très élevée, **il est indispensable de mettre en place un disjoncteur différentiel haute sensibilité (30 mA) ou très haute sensibilité (10 mA)** sur les parties d'installation dangereuses (salle d'eau, ateliers vétustes, chaufferie, etc...).

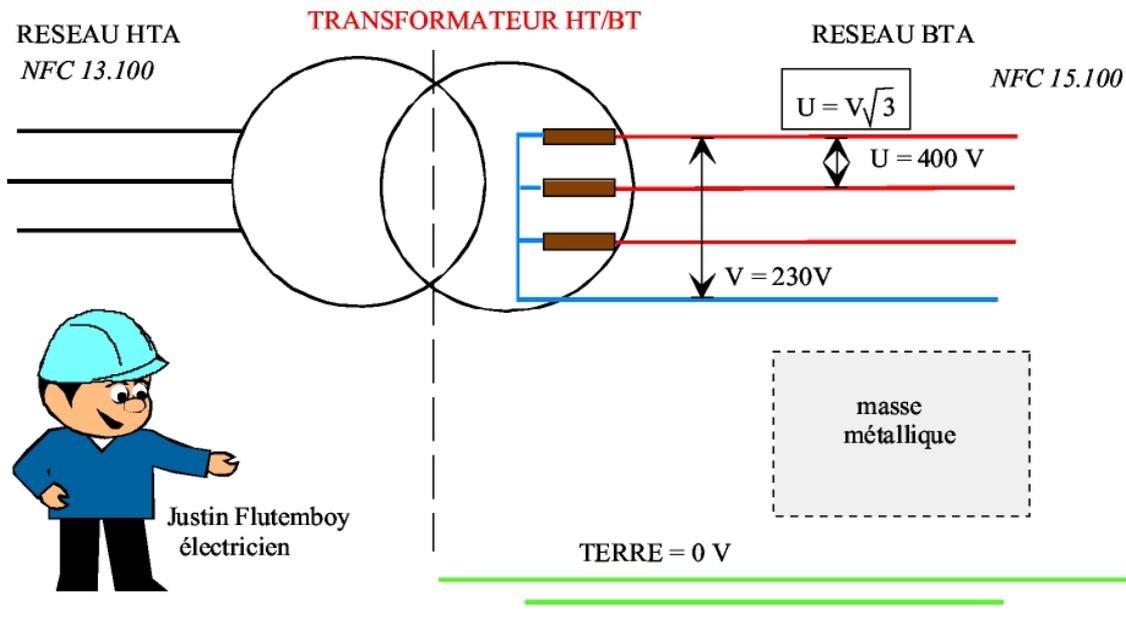
Sécurité des personnes

SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE (SLT)

Le schéma de principe représente les enroulements secondaires du transformateur de distribution (ici couplage ETOILE). Dans ce schéma, aucun courant ne circule du transformateur vers la terre.

SLT : PRINCIPLE

OBJETCIF: DEFINIR LES POTENTIELS DES CONDUCTEURS ACTIFS ET DES MASSES METALLIQUES PAR RAPPORT A LA TERRE



Justin Flutemboy
électricien



Sécurité des personnes

SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE (SLT)

Les fuites et les impédances entre conducteurs actifs et terre ne permettent pas le maintien d'un réseau isolé totalement isolé de la terre.

C'est pourquoi la NFC15.100 définit le "REGIME DE NEUTRE" du transformateur de distribution en établissant des SCHEMAS DE LIAISON A LA TERRE.

La terre devient alors le potentiel de référence.

En BT les Schémas de Liaison à la Terre sont :

Le schéma **TT (Terre-Terre)**

Le schéma **TN (Terre-Neutre)**

Le schéma **IT** (I pour isolé (ou *impédant*) par rapport à la terre.)

Sécurité des personnes

SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE (SLT)

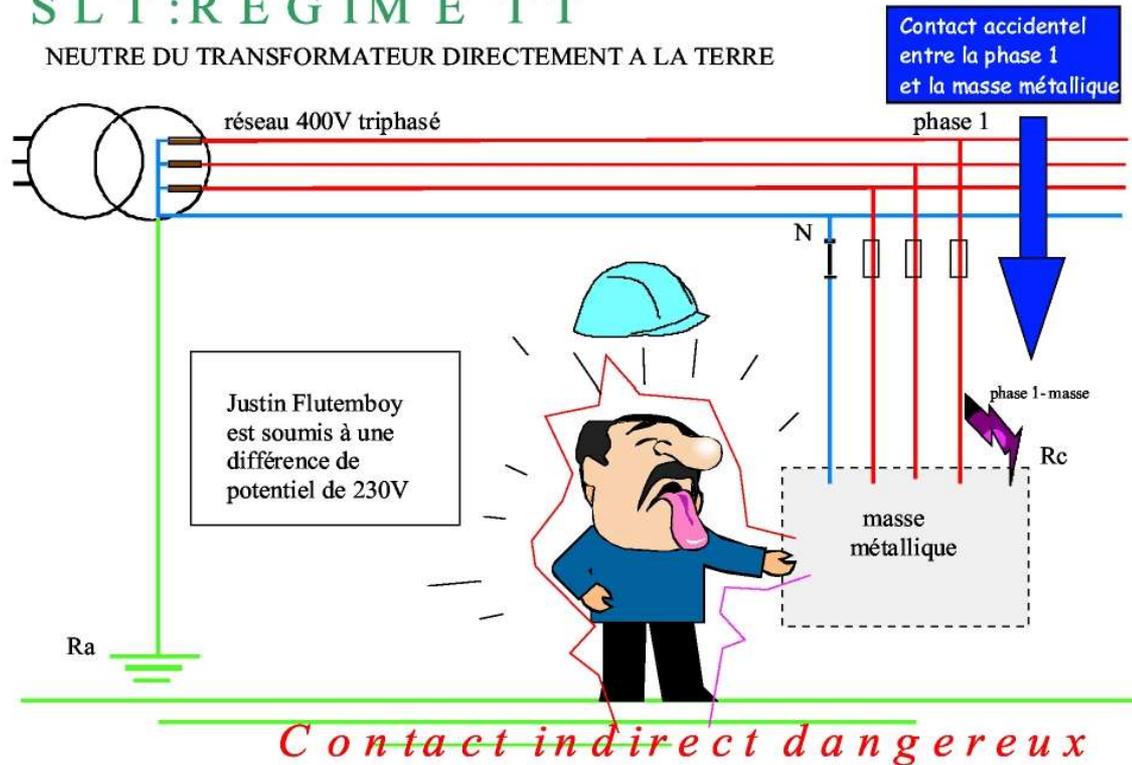
Hypothèse 1

- Le point ETOILE du secondaire du transformateur *de distribution BT* est relié *directement à la terre*.
- Les masses métalliques ne sont pas reliées à la terre.

Dans ce cas un contact accidentel d'une phase et de la masse métallique porte cette dernière à un potentiel dangereux pouvant atteindre 230 V (contact indirect).

SLT:REGIME TT

NEUTRE DU TRANSFORMATEUR DIRECTEMENT A LA TERRE



Sécurité des personnes

SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE (SLT)

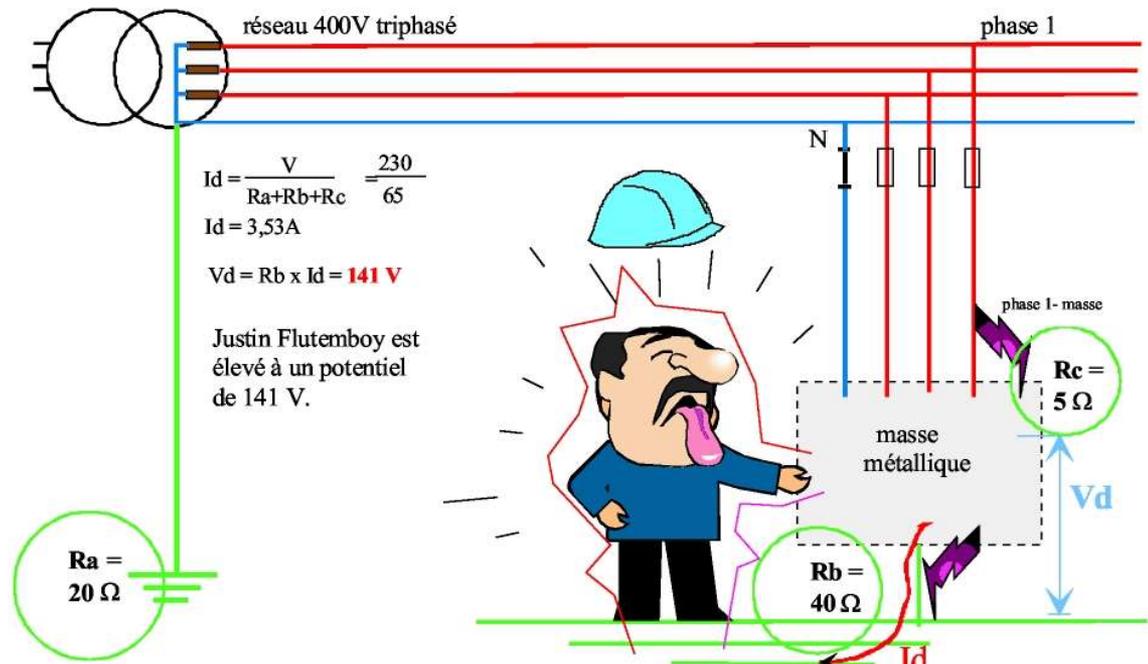
Hypothèse 2

- Le point ETOILE du secondaire du transformateur de distribution BT est relié directement à la terre.
- Les masses métalliques sont reliées à la terre.

Dans ce cas, pour les valeurs de résistances proposées, la masse métallique est portée à un potentiel V_d de 141 V toujours dangereux.

SLT : REGIME TT

NEUTRE DU TRANSFORMATEUR RELIE DIRECTEMENT A LA TERRE
MASSES METALLIQUES RELIEES A LA TERRE PAR PRISES DISTINCTES



Sécurité des personnes

SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE (SLT)

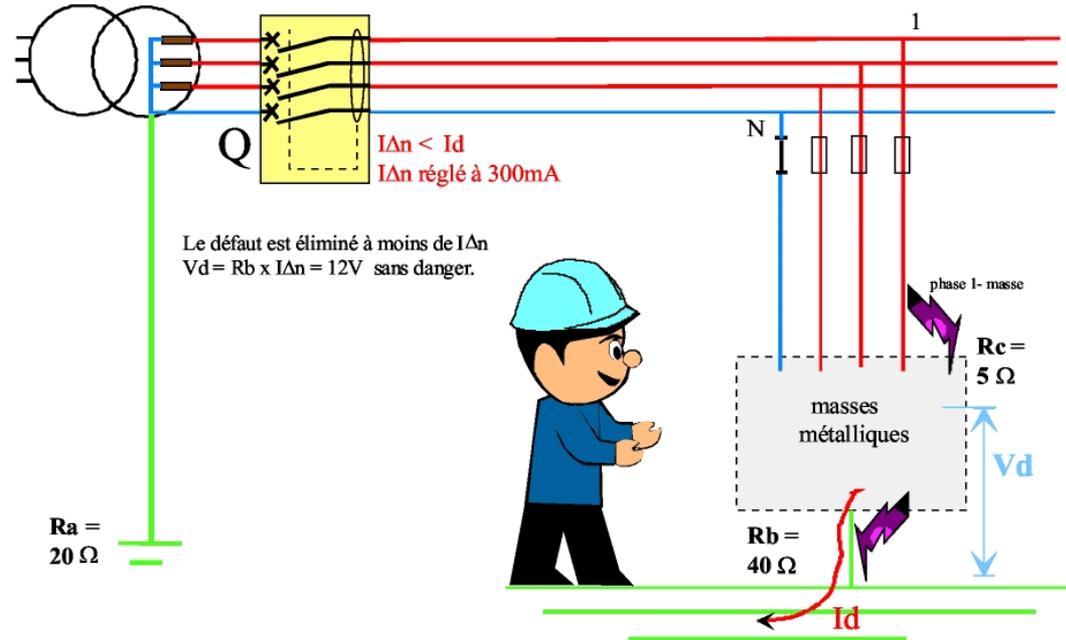
Hypothèse 3

- Le point ETOILE du secondaire du transformateur *de distribution BT est relié directement à la terre.*
- Les masses métalliques sont reliées à la terre.
- Un disjoncteur différentiel dont le DDR est réglé à $I\Delta N < I_d$, et placé en tête de la distribution.

Dans ce cas, le courant de défaut est détecté par le DDR. Ce dernier ouvre le disjoncteur et assure la protection contre les contacts indirects.

SLT: REGIME TT

MISE EN PLACE D'UN DISPOSITIF DIFFERENTIEL A COURANT RESIDUEL
réseau 400V triphasé





Sécurité des personnes

SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE (SLT)

GENERALISATION

En schéma TT :

- Le point ETOILE du secondaire du transformateur de distribution BT est relié directement à la terre.
- Les masses métalliques sont reliées à des prises de terre distinctes de celle du transformateur de distribution.
- Un ou plusieurs DDR placés dans les circuits protègent l'installation contre les contacts indirects.
- Les masses métalliques ne peuvent être portées à une tension limite U_L supérieure à :
 - *50 V pour des locaux normalement secs ;*
 - *25 V pour des locaux humides ou mouillés.*
- Dans la pratique, la réglementation impose des DDR de sensibilité 30 mA dans des secteurs sensibles, notamment ceux recevant du public (*exemple: prises de courant de moins de 32 A*).

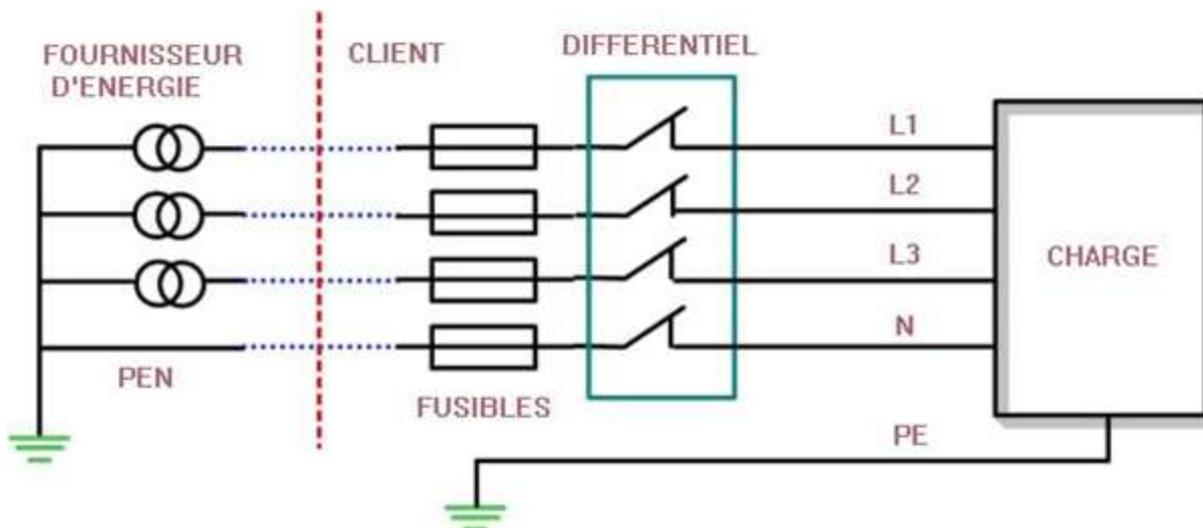
Sécurité des personnes

SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE (SLT)

Régimes de **Neutre TT**

Neutre	Masse
T	T

PE (protection équipotentiel)



Le schéma TT est le plus répandu en France comme dans la plupart des pays de la communauté européenne. C'est le régime utilisé pour la distribution publique du réseau EDF basse tension 230/400 V, il est fiable, simple, peu onéreux et n'implique aucune maintenance particulière.

Son seul inconvénient est celui de la coupure de l'énergie électrique dès l'apparition d'un défaut de masse. Cependant la sélectivité des protections différentielles limite cet inconvénient à la seule dérivation en défaut protégée par un DDR.

Nous ne travaillerons qu'en régime TT

Sécurité des personnes

SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE (SLT)

Régimes de Neutre TN

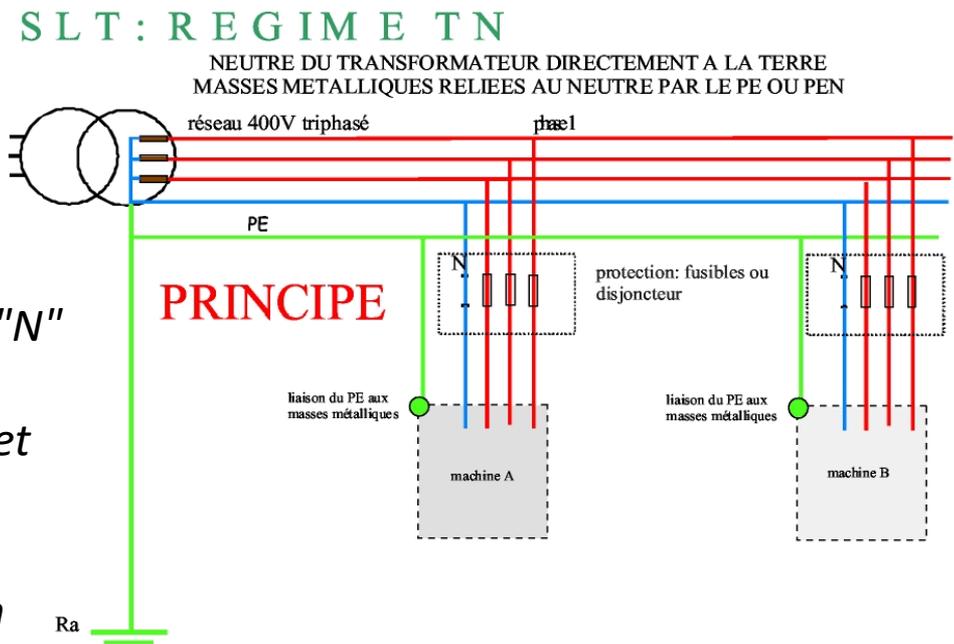
- Le point ETOILE du secondaire du transformateur de distribution BT est relié directement à la terre.
- Les masses métalliques sont reliées à un conducteur PE (ou PEN).

PE (protection équipotentiel)

PEN le conducteur de protection

équipotentiel "PE" et conducteur neutre "N" est confondu ce qui nous donne un conducteur "PEN" (économie d'un câble et d'un pôle des protection surintensité).

Ce conducteur "PEN" est en priorité un conducteur de protection avant d'être un conducteur neutre, il ne doit pas être coupé afin d'assurer la protection des personnes.

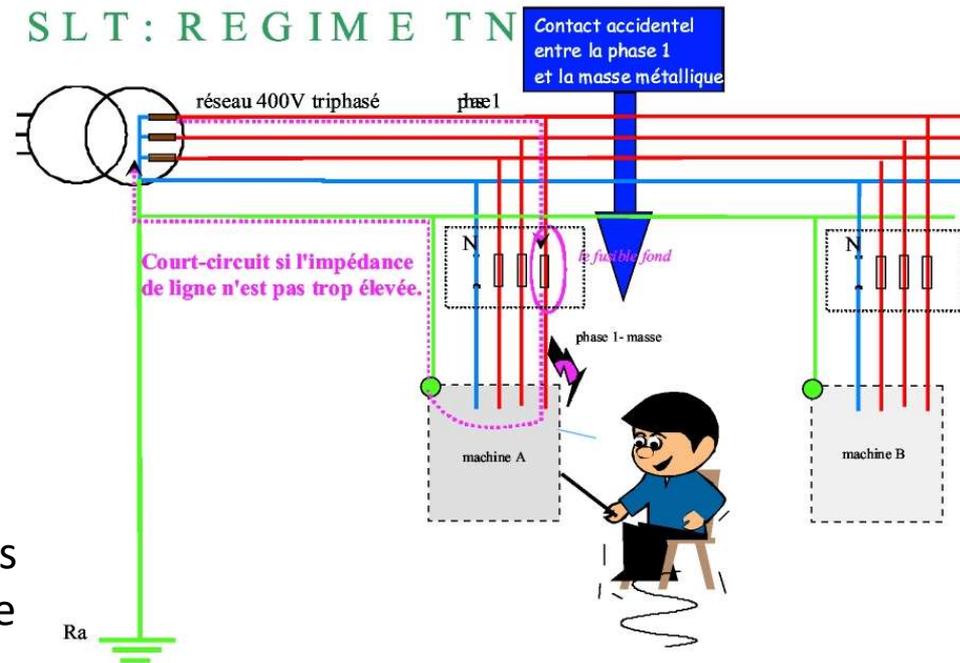


Sécurité des personnes

SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE (SLT)

Régimes de **Neutre TN**

- Dans ce cas, un courant de défaut aux masses métalliques se traduit par un courant important (court-circuit), éliminé instantanément par les protections classiques (disjoncteur, fusible).
- Cependant la NFC15100 impose des contraintes d'application limitatives liées aux impédances maximales admissibles dans la boucle de défaut.
- En effet si l'impédance devient trop importante, le courant de défaut n'est plus perçu comme un court-circuit. Il en résulte des potentiels dangereux sur les masses métalliques et/ou un risque d'incendie de l'installation électrique.

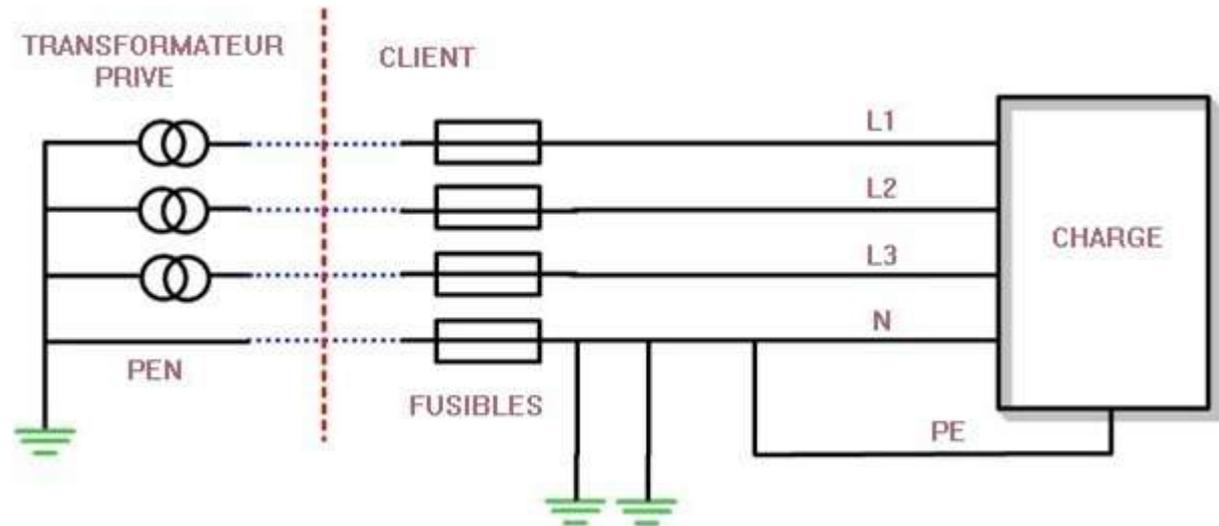


Sécurité des personnes

SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE (SLT)

Régimes de **Neutre TN**

Neutre	Masse
T	N



Ce type de liaison remplace celui du schéma TT lorsqu'il est impossible ou difficile de relier les masses métalliques directement à la terre (convoyeur, téléphérique...) ou lorsque l'environnement est soumis à de fortes perturbations électriques (four électrique, émetteur hertzien de puissance..)

Nous ne travaillerons qu'en régime TT



Sécurité des personnes

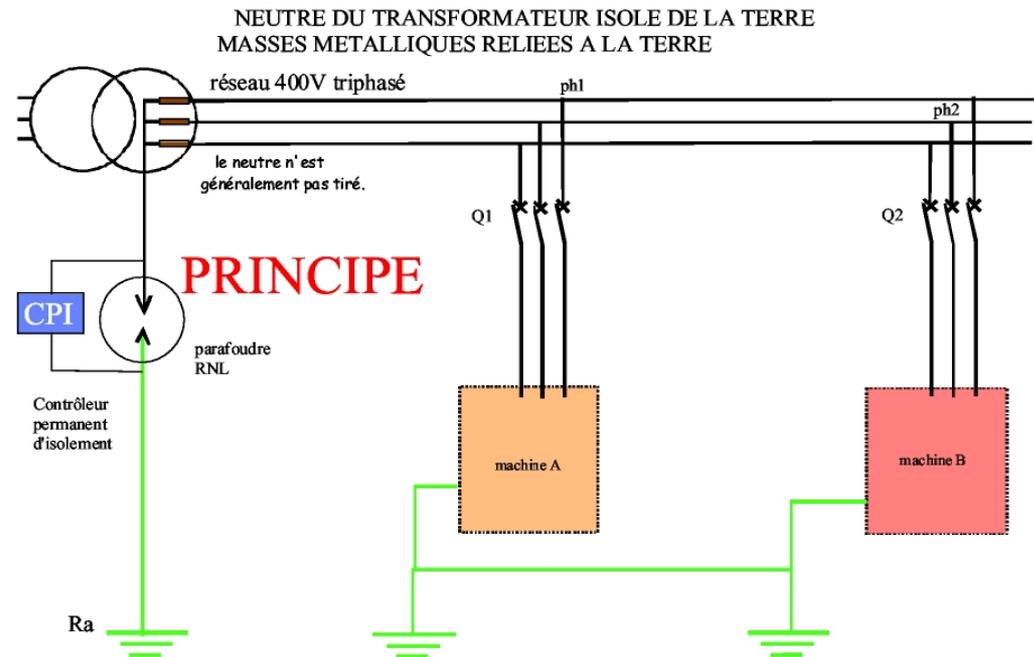
SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE (SLT)

Régimes de **Neutre IT**

(I pour isolé (ou *impédant*) par rapport à la terre.)

- Le point ETOILE du secondaire du transformateur de distribution BT est isolé de la terre. La liaison par rapport à la terre existe à travers un CPI (contrôleur permanent d'isolement) ; un parafoudre protège l'installation contre de fortes surtensions d'origine atmosphérique.
- Les masses métalliques sont reliées à des prises de terre distinctes.

SLT : REGIME IT



Sécurité des personnes

SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE (SLT)

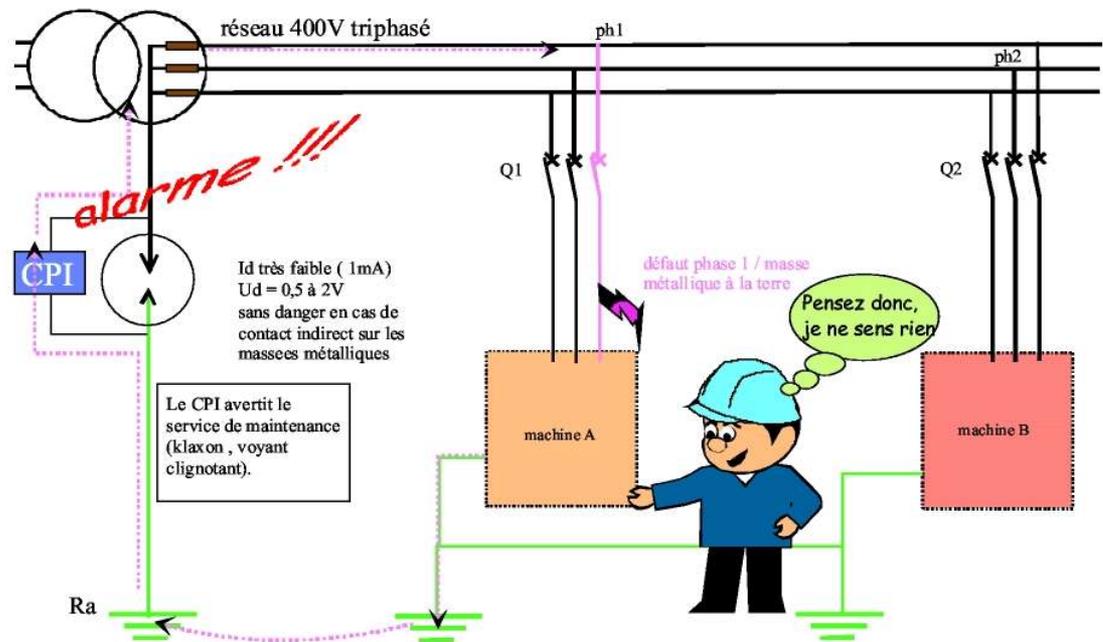
Régimes de **Neutre IT**

(I pour isolé (ou *impédant*) par rapport à la terre.)

SLT : REGIME IT

Avertissement au 1er défaut

Dans ce cas, un courant de défaut aux masses métalliques ne perturbe en rien le fonctionnement de l'installation. La masse métallique est portée à un potentiel n'excédant pas 2 V. Le CPI détecte un faible courant de circulation dans la boucle en défaut et enclenche une alarme.

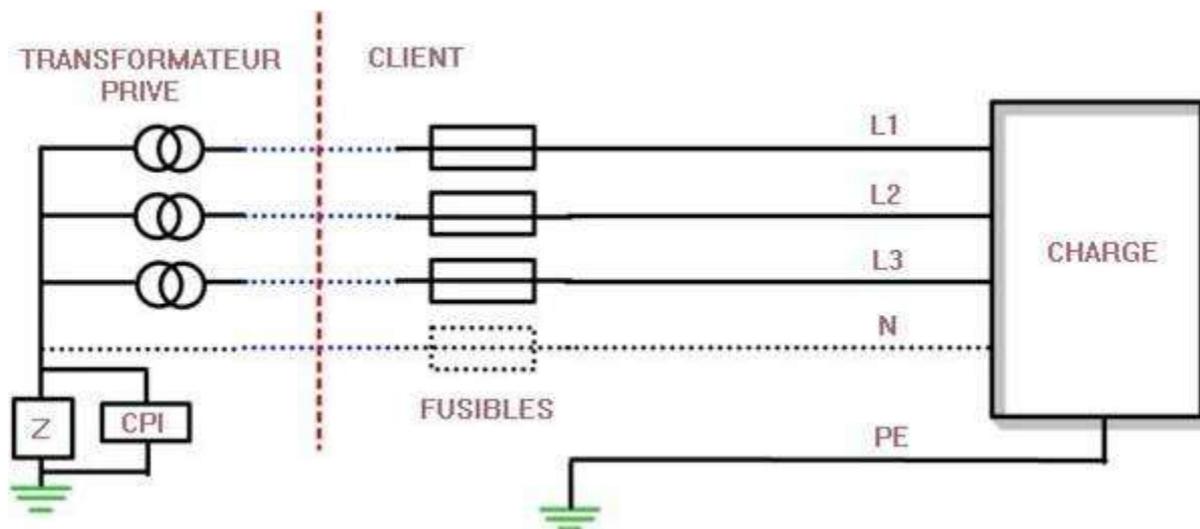


Sécurité des personnes

SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE (SLT)

Régimes de **Neutre IT**

Neutre	Masse
I	T



Un tel dispositif est intéressant lorsque la continuité de service doit être assurée (industrie) ou pour des applications particulières inadaptées aux autres régimes (hôpitaux). Il est coûteux en matériel et nécessite un service d'intervention dès le «PREMIER DEFAUT ».

Nous ne travaillerons qu'en régime TT

Sécurité des personnes

Protection des personnes intervenantes

Le sectionnement

C'est la séparation (ou isolation) entre l'amont d'une ligne et le reste de l'installation situé en aval.

Cette fonction dont la finalité est d'assurer la sécurité des personnes intervenant sur l'installation, est obtenue par des dispositifs permettant d'en garantir la réalisation.

“il doit être placé à l'origine de toute installation un dispositif de commande et un dispositif de sectionnement coupant tous les conducteurs actifs de l'ensemble de l'installation”.

Il est assuré par une distance minimum de séparation des contacts à l'état d'ouverture.

Il existe deux types de sectionnement :

4 mm pour la tension 230/400 V,

8 mm pour la tension 400/690 V,

11 mm pour la tension 2000 V.



Dispositif de sectionnement



Sécurité des personnes

Protection des personnes intervenantes

La coupure d'urgence

C'est une action destinée à supprimer aussi rapidement que possible les dangers qui peuvent survenir de façon imprévue.

Les dispositifs de coupure d'urgence peuvent être :

- soit à commande manuelle directe
- soit à commande électrique.



Ces dispositifs doivent être identifiés.



Dangers du courant électrique

- Electrocutation :
Décès par suite de l'exposition à un courant électrique
- Electrisation
- Paralysie (collage)
- Détresse respiratoire et arrêt cardiaque
- Brûlures
- Perte des yeux par arc électrique
- Inhalation de gaz toxiques !
- Incendie, explosion
- Chutes (liées au choc électrique, échelles, plateforme etc.)
- Etat de choc (effet électrolytique du courant) **retard !**

Sécurité des biens et des personnes

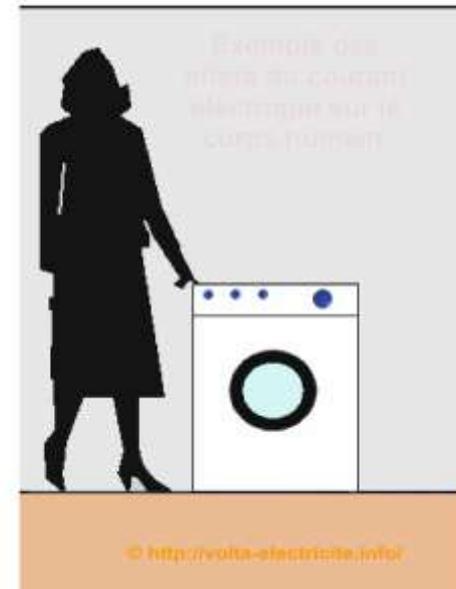


Dangers du courant électrique

Seuils de danger

$$U > 50 \text{ Volts}$$

$$I > 30 \text{ mA}$$



I	Effets	Risques
0.5 mA	Seuil de perception	aucun
0.5 .. 10 mA	Picotements, crispation	Electrisation
25 .. 50 mA	Tétanie, Paralysie respiratoire	Chutes, asphyxie
75 mA	Arrêt cardiaque (fibrillation)	Electrocution
1 A	Mort instantanée	Décès



Dangers du courant électrique

L'INFLUENCE DU COURANT DANS LE CORPS HUMAIN

Effets du passage du courant alternatif dans le corps humain Le courant (*en mA*)

La perception des effets dans le corps (valeurs approximatives, variant selon la personne)

Seuil de perception suivant l'état de la peau :

8 mA	Choc au toucher, réaction brutale
10 mA	Choc électrique + Contraction des muscles des membres – crispation durable
20 mA	Choc électrique + Début de téτανisation de la cage thoracique
30 mA	Choc électrique + Téτανisation du thorax
40 mA	Choc + Téτανisation + Fibrillation ventriculaire : survie limitée à 3 minutes par arrêt ventriculaire.
70 à 100 mA	idem + brûlures
1000 mA	Arrêt cardiaque immédiat – brûlures profondes – décomposition chimique du sang (phénomène irréversible = mort certaine).
> 1000 mA	Centres nerveux détruits – décomposition chimique interne.



Dangers du courant électrique

LE COURANT ELECTRIQUE EST DANGEREUX :

C'est la **Quantité d'Electricité qui conditionne l'effet produit par le courant électrique dans le corps humain.**

2 paramètres importants :

** le courant*

** le temps*

La quantité d'électricité est définie comme étant le produit de l'intensité du courant en ampères, par le temps de passage de ce courant exprimé en secondes ou en heures.

$$Q = I \times t$$

I intensité du courant en ampères

t temps en secondes ou en heures

Q en coulomb ou en ampères-heures



Dangers du courant électrique

L'INFLUENCE DU COURANT DANS LE CORPS HUMAIN

L'influence du temps:

Avec 30 mA pendant 5 s, il reste une possibilité sur deux de s'en tirer !

Mais avec 300 mA pendant 0,5 s, il reste **aussi une possibilité sur deux d'en s'en tirer !!!**

L'état de la résistance du corps humain:

Elle varie fortement en fonction de différents paramètres:

- La fatigue, la santé, l'âge de la personne ;

- L'état hygrométrique de la peau aux points de contact ;

- La qualité de la peau ;

- La surface de contact ;

- La tension appliquée entre points de contacts.

Sécurité des biens et des personnes



Dangers du courant électrique

Durée d'exposition et intensité

– Zone 1

- Courant inférieur au seuil de perception, pas de risque

– Zone 2

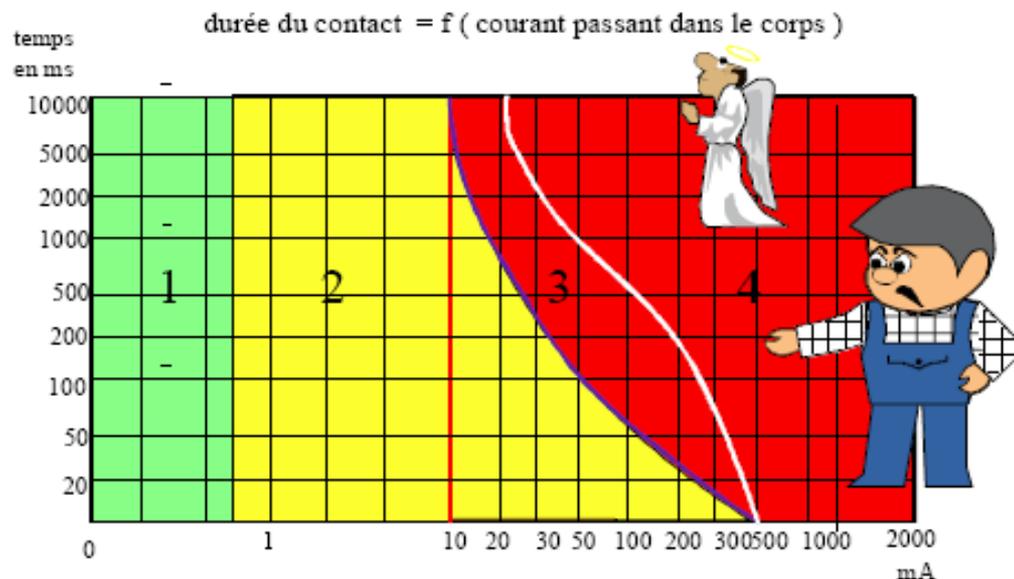
- Effet ressenti sans conséquence physiologique dangereuse

– Zone 3

- Réactions incontrôlées
- Forte probabilité de contractions musculaires
- Difficultés respiratoires

– Zone 4

- Effets physiologiques importants, risque de fibrillation ventriculaire et brûlures graves



Sécurité des biens et des personnes



Dangers du courant électrique

Equipements de protection individuel (EPI)

- Chaussures isolantes montantes !
- Veste à manches longues
- Gants
- Lunettes ou casque à visière



LOCAL RESERVÉ AUX ÉLECTRICIENS

LRE : Local Réservé aux Electriciens

Tout local ouvert ou fermé dans lequel peuvent se trouver des pièces nues sous tension (boîtier – coffret – armoire – châssis – haut de poteau des lignes aériennes ...).

Les Locaux Réservés aux Electriciens (LRE) sont des enceintes normalement maintenues fermées dont l'accès n'est possible qu'aux personnes habilitées et désignées **ou autorisées et surveillées**. Ils contiennent les Ouvrages Electriques (installations et équipements) permettant l'accès éventuel à des pièces nues sous tension dans les domaines de la basse tension ou de la haute tension. *Une Instruction Permanente de Sécurité (IPS) notifie les consignes à respecter à l'intérieur du LRE.*

La notion de LRE s'applique également aux lignes aériennes.

En zone de voisinage la personne doit porter un équipement de Protection Individuelle (EPI)



LES DOMAINES DE TENSION

TBT : Très basse tension

BT : Basse tension (divisée en domaines A et B)

HT : Haute tension (divisée en domaines A et B)

Domaines de tension	Courant alternatif	Courant continu
TBT	$U \leq 50 \text{ V}$	$U \leq 120 \text{ V}$
BTA	$50 < U \leq 500 \text{ V}$	$120 < U \leq 750 \text{ V}$
BTB	$500 < U \leq 1000 \text{ V}$	$750 < U \leq 1500 \text{ V}$
HTA	$1000 < U \leq 50 \text{ kV}$	$1500 < U \leq 75 \text{ kV}$
HTB	$U > 50 \text{ kV}$	$U > 75 \text{ kV}$



DÉFINITION FONDAMENTALES

DE LA NORME UTE C18.510

MASSES METALLIQUES :

Eléments conducteurs accessibles, sans potentiel défini, pouvant en cas de défaut, être porté à un potentiel différent de celui de la terre.

CONDUCTEUR ACTIF :

« Conducteur normalement affecté à la transmission de l'énergie électrique, tel que les conducteurs de phase et le conducteur de neutre en courant alternatif,...; toutefois le conducteur PEN n'est pas considéré comme conducteur actif ».

Le conducteur commun au neutre et à la terre est appelé PEN (Protection Equipotentielle Neutre).

OUVRAGE ELECTRIQUE :

« ..on appelle ouvrages électriques les ouvrages comprenant l'ensemble des matériels, des appareillages, des canalisations, assurant la production, la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique ».



DÉFINITION FONDAMENTALES

DE LA NORME UTE C18.510

TRAVAUX :

« Toute opération dont le but est de réaliser, de modifier, d'entretenir ou de réparer un ouvrage électrique. Les travaux font l'objet d'une étude programmée et d'opérations préparées à l'avance ».

INTERVENTIONS :

« Opérations, de courte durée et n'intéressant qu'une faible étendue de l'ouvrage, réalisées sur un équipement. Les interventions font l'objet d'une analyse sur place. La notion d'intervention est limitée aux domaines de la TBT et de la BT ».

Intervention de dépannage:

Remédier rapidement à un défaut susceptible de nuire...

Intervention de connexion avec présence de tension

Connexion et déconnexion des conducteurs sur des circuits maintenus sous tension.

Intervention de remplacement

Remplacement d'appareillage (fusible, lampes..) pouvant être effectué avec présence de tension, sans risque particulier notamment d'explosion et de contact direct.



DÉFINITION FONDAMENTALES DE LA NORME UTE C18.510

INSTALLATION ELECTRIQUE :

« ..Le terme installation regroupe l'ensemble des matériels électriques qui transforment et distribuent au moyen de canalisations fixes l'énergie électrique d'une façon globale et permanente.. »

EQUIPEMENT ELECTRIQUE :

« ..Canalisations et appareillage des moteurs et autres appareils utilisant l'énergie électrique ».

Que peut-on faire ?

sur
équipement installation

TRAVAUX		
INTERVENTIONS		

 **autorisé**





DÉFINITION FONDAMENTALES

DE LA NORME UTE C18.510

MANŒUVRES :

« Opérations conduisant à un changement de la configuration électrique d'un réseau, d'une installation, ou de l'alimentation électrique d'un équipement. Ces opérations sont effectuées au moyen d'appareils spécialement prévus à cet effet (interrupteur, disjoncteur, sectionneur..) »

Manœuvres d'exploitation:

Modification de l'état électrique d'un réseau...

Mise en marche, réglage, ou arrêt d'équipement...

Connexion, déconnexion d'équipements amovibles prévus pour être connectés ou déconnectés.

Manœuvres d'urgence:

Imposées par les circonstances pour la sauvegarde des personnes et des biens.

Manœuvres de consignation:

Opérations coordonnées effectuées pour réaliser la consignation (ou la déconsignation) d'un réseau, d'une installation ou d'un équipement.

Les manœuvres de consignation peuvent être exécutées localement ou à distance.



L'HABILITATION ÉLECTRIQUE

DEFINITION :

C'est la reconnaissance par son employeur, de la capacité d'une personne à accomplir en sécurité les tâches fixées.

La délivrance d'une habilitation par l'employeur ne dégage pas pour autant nécessairement la responsabilité de ce dernier.



Sont concernés, tous les travailleurs exposés directement ou indirectement aux risques électriques.



Sécurité des personnes

L'HABILITATION ÉLECTRIQUE

Les degrés de l'habilitation électrique

Une lettre	
B	Pour pouvoir travailler ou intervenir dans le domaine de la basse tension ; moins de 1000 V en alternatif
H	Pour pouvoir travailler dans le domaine de la haute tension ; plus de 1000 V en alternatif

Un chiffre	
0	Pour les non-électriciens travaillant dans une zone à risque électrique, ou dans un local réservé aux électriciens.
1	Pour les électriciens exécutants effectuant des travaux d'ordre électrique.
2	Pour les chargés de travaux d'ordre électrique.

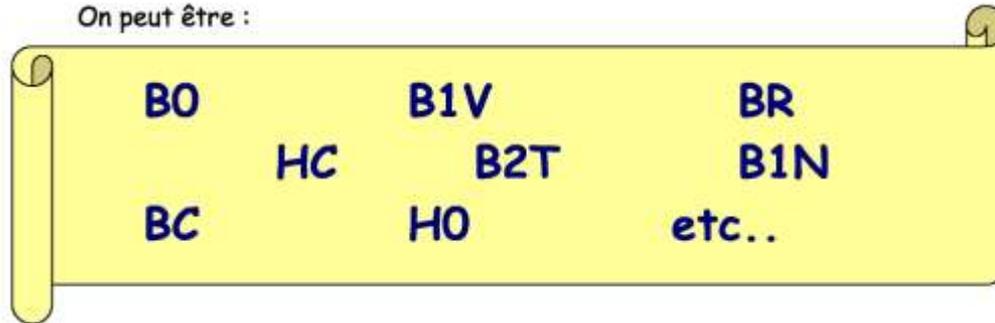
Un indice spécifique	
T	Cette personne peut effectuer des travaux sous tension.
N	Cette personne peut effectuer des travaux de nettoyage sous tension.
V	Cette personne peut effectuer des travaux en zone de voisinage de pièces nues sous tension.
C	Cette personne est chargée de consignation.
R	Cette personne est chargée d'intervention.

Sécurité des personnes



L'HABILITATION ÉLECTRIQUE

On peut être :



Pour les travaux sous tension, la validité du titre est limitée à 1 an.

Durée de l'habilitation :

- Mutation avec changement de dépendance hiérarchique
- Changement de fonction
- Interruption de la pratique pendant une longue durée
- Restriction médicale
- Non-respect des règles de sécurité
- Modification importante des ouvrages électriques
- Evolution des méthodes de travail

Sécurité des personnes



L'HABILITATION ÉLECTRIQUE

Le titre

TITRE D'HABILITATION N° 4

Nom de la personne habilitée
Fonction principale

Employeur – Société
Service

Nom : DURAND Prénom : Paul Fonction : Electricien		Employeur : Forges du Nord à Loos Affectation : Service électrique		
Personnel	Symbole d'habilitation	Champ d'application		
		Domaine de tension	Ouvrages concernés	Indications supplémentaires
Non électricien habilité				
Exécutant électricien	H1 B1	5 kV BT	toute l'usine de Loos	Autorisé à effectuer des travaux au voisinage de la BT et des installations 5 kV
Chargé de travaux ou d'interventions	B2	BTA	Fonderie de l'usine de Loos	Autorisé à effectuer des travaux au voisinage de la BT et des installations 5 kV
Chargé de consignation	BC	BTA	Fonderie de l'usine de Loos	
Habilités spéciales :				
Le Titulaire Signature : DURAND		Pour l'Employeur Nom et prénom : DUPONT Louis Fonction : Chef du service Entretien Signature : DUPONT		Date : 30 janvier 1998 Validité : Fixée par l'employeur

Ensemble des degrés d'habilitation

Champs d'application :

- domaines de tension
- secteurs d'activité
- limitations du champ d'application etc..



L'HABILITATION ÉLECTRIQUE

L'Employeur ou Chef d'Etablissement

Personne, qui directement ou indirectement par délégation, assume la responsabilité légale dans le cadre du code du travail.



Le Chargé d'Exploitation

Personne désignée par l'Employeur et qui a reçu délégation de celui-ci, en vue d'assurer l'exploitation d'un ouvrage électrique, notamment pendant l'exécution de travaux et d'interventions sur cet ouvrage.

Le Chargé de Consignation (HC ou BC)

Personne désignée par l'Employeur ou par le Chargé d'Exploitation pour effectuer tout ou partie de la consignation électrique d'un ouvrage, et qui est chargée de prendre les mesures de sécurité correspondantes.





L'HABILITATION ÉLECTRIQUE

Le Chargé de Travaux (B2 ou H2)



Personne désignée par son employeur pour assurer la direction effective des travaux, et qui est chargée de prendre les mesures de sécurité nécessaires et de veiller à leur application. *Cette personne peut travailler seule ou participer aux travaux qu'elle dirige.*

L'Exécutant

(électricien B1 ou H1 - non électricien B0 ou H0)

Personne désignée par son employeur pour effectuer des interventions ou des manœuvres, en exécution d'un ordre verbal ou écrit, à caractère temporaire ou permanent. Ces opérations peuvent être d'ordre électrique, et l'exécutant doit posséder la qualification d'électricien correspondant au travail à effectuer. L'exécutant ne peut pas travailler seul.



Sécurité des personnes



L'HABILITATION ÉLECTRIQUE

Le Chargé d'Intervention (BR)

Personne désignée par son employeur pour assurer les interventions, qui est chargée de prendre les mesures de sécurité nécessaires et de veiller à leur application. *Cette personne travaille seule ou en équipe dans le cadre d'interventions de dépannage.*

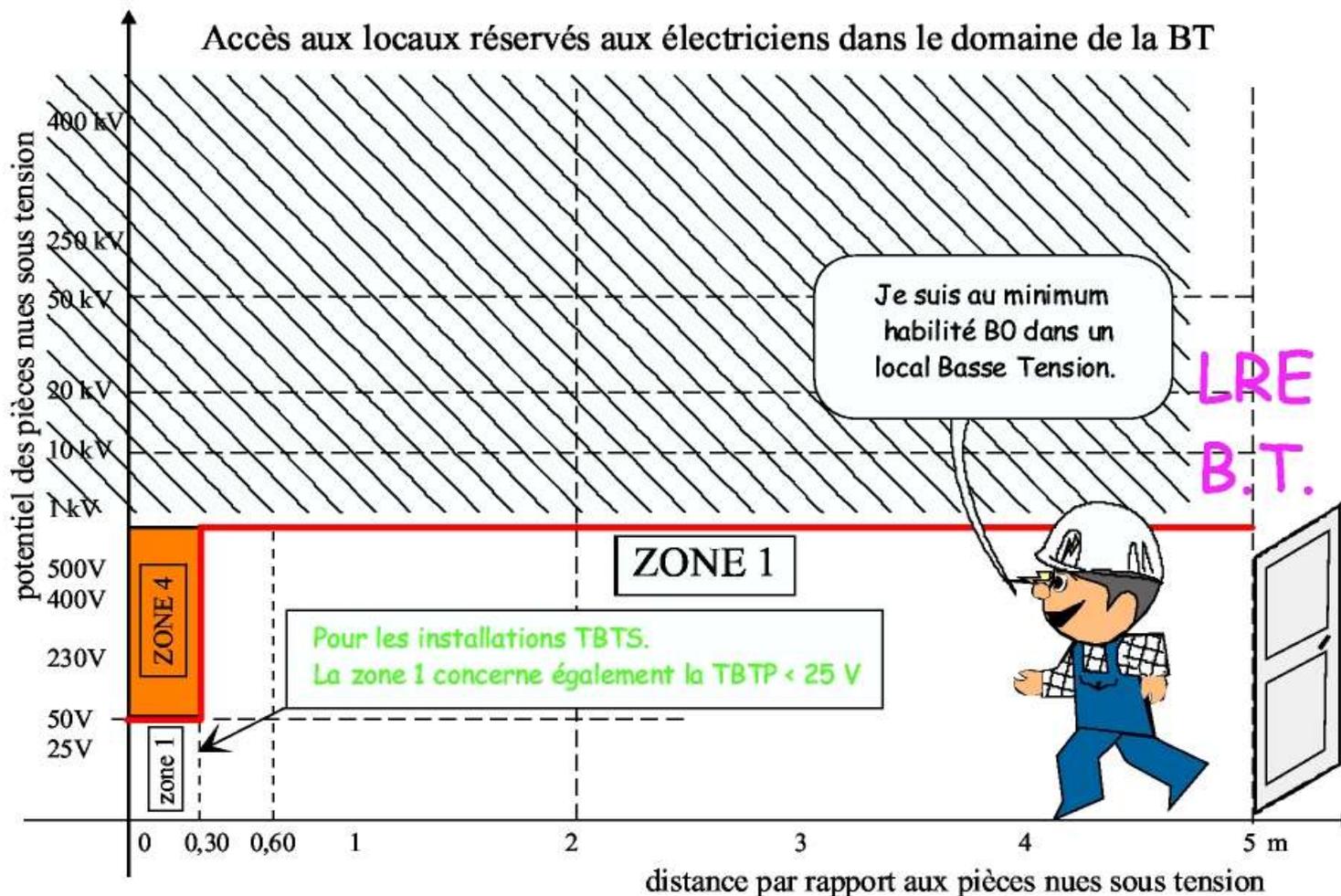


Le Surveillant de Sécurité Electrique (personne habilité)

Personne possédant une connaissance approfondie en matière de sécurité électrique, et désignée par son employeur pour veiller à la sécurité des personnes effectuant des opérations sur un ouvrage électrique ou à son voisinage.

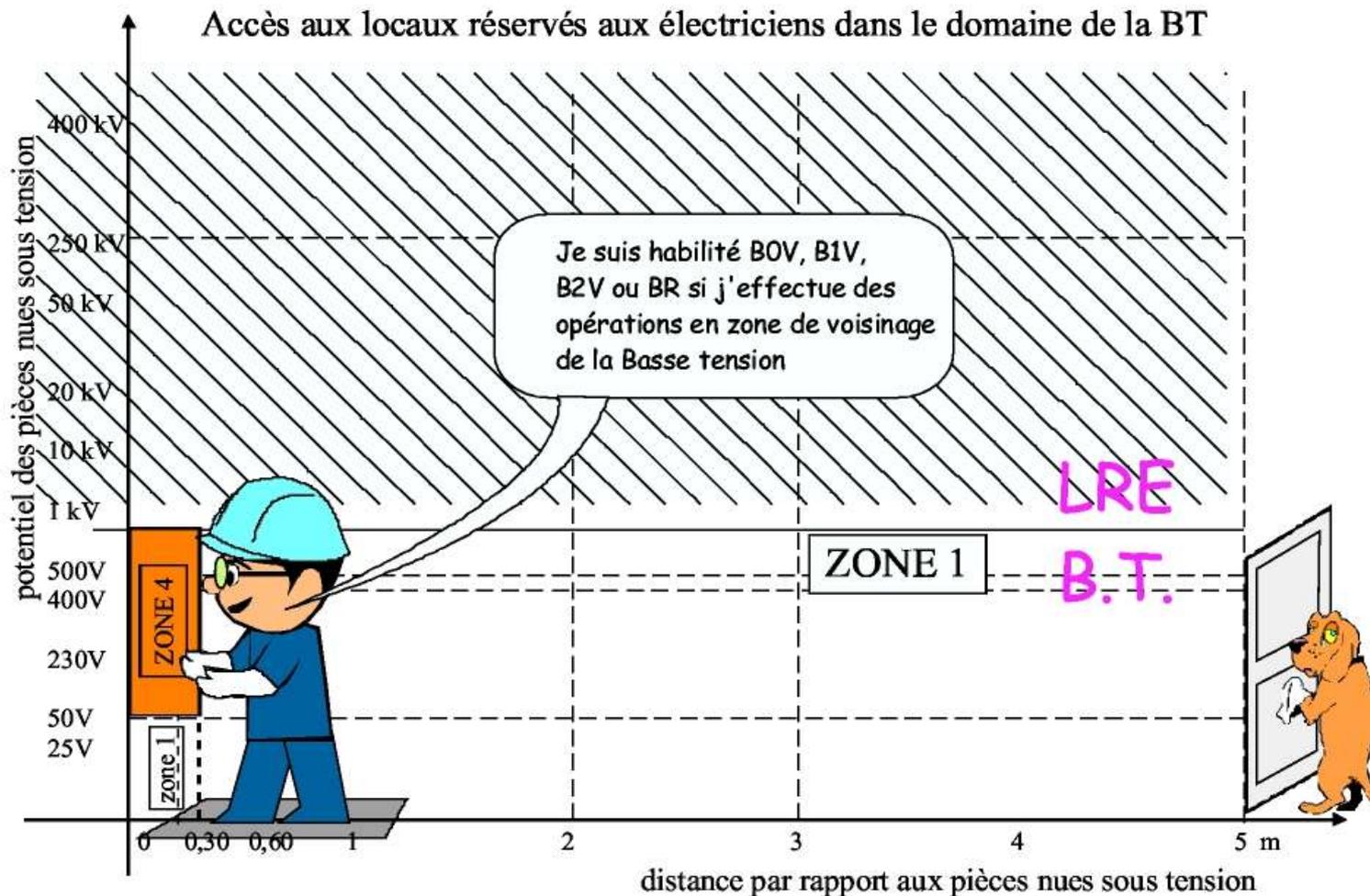
Sécurité des personnes

PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES



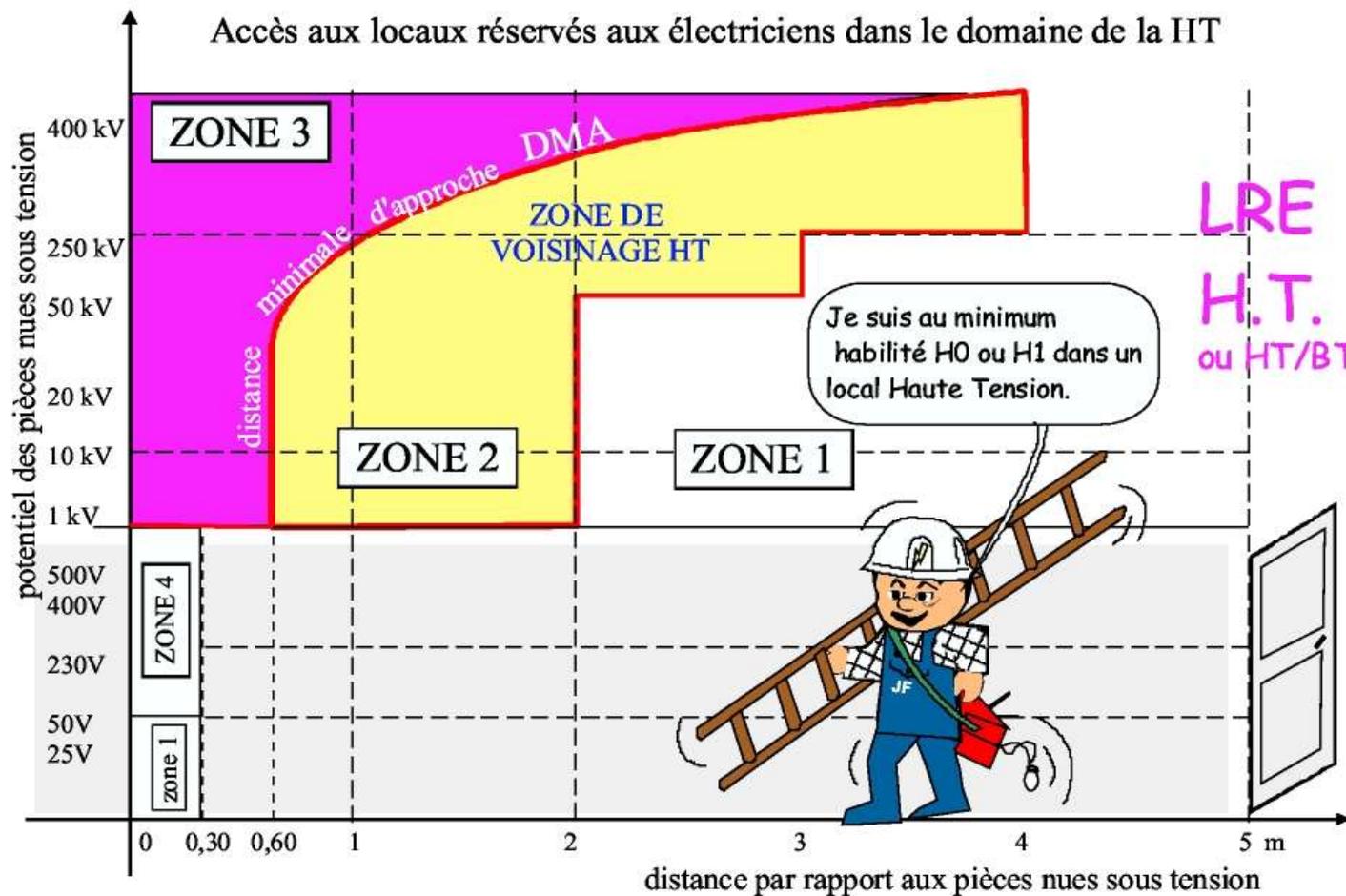
Sécurité des personnes

PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES



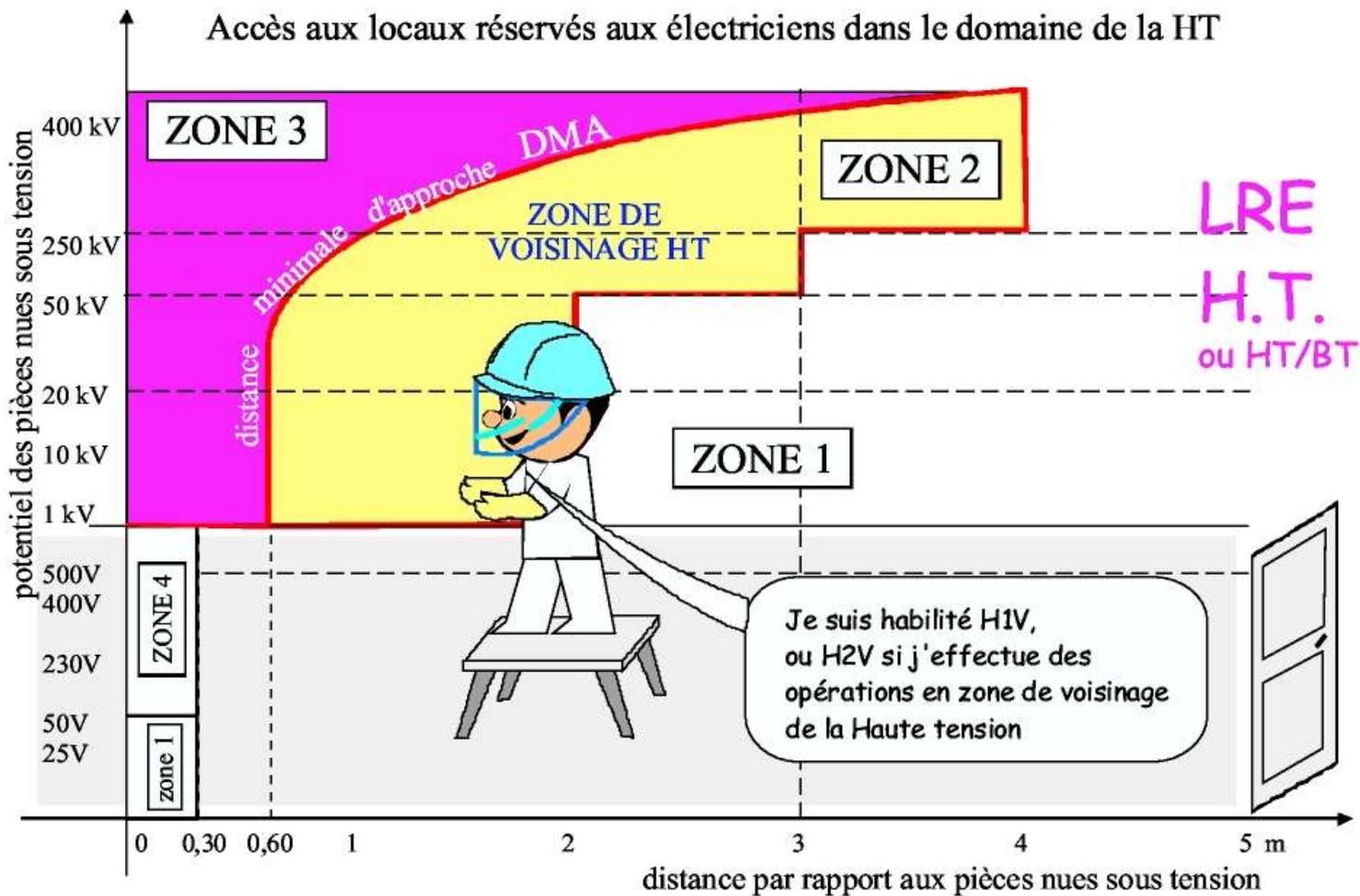
Sécurité des personnes

PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES



Sécurité des personnes

PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES





Sécurité des personnes

PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

DISTANCE MINIMALE D'APPROCHE (DMA) :

En **haute tension** le risque d'amorçage de l'arc électrique augmente avec la tension.

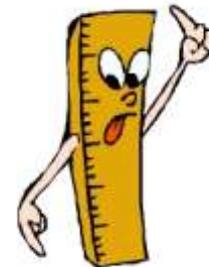
La distance minimale d'approche DMA est une grandeur établie à partir de :

- La distance de garde permettant à l'opérateur de rester concentré sur son travail sans trop se soucier de la distance par rapport aux pièces nues sous tension. Cette distance est respectée en BT comme en HT.

Elle est de 0,3 m en BT et 0,5 m en HT.

- La distance de tension correspond à la distance minimale à assurer sans risque d'arc. Elle s'applique en HT. Elle est estimée à $0,005 \times U$.
U en kV, soit 5 mm pour 1000 V dans l'air en absence de protection.

La DMA est la somme des 2 distances ci-dessus.



Sécurité des personnes

PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES



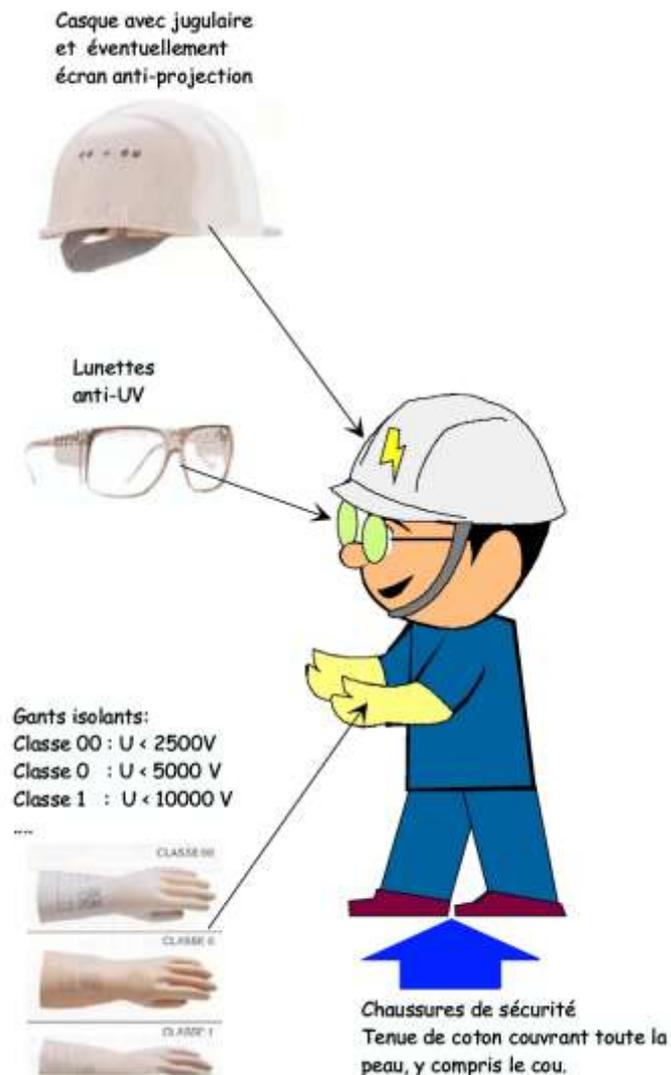
ZONE	TITRE	LIEU-DOMAIN	EPI (*)
ZONE 1 - BT	B0, B1, B2	Intérieur du local à plus de 30 cm des pièces nues sous tension (BT)	Casque
ZONE 1 - TBT	Pas d'habilitation si TBTS ou TBTP < 25V	Intérieur du local à moins de 30 cm des pièces nues sous tension	
ZONE 4	B0V, B1V, B2V B1T, B1N, B2T	ZONE DE VOISINAGE DE LA BT A moins de 30 cm des pièces nue sous tension	Casque, Gants isolants, lunettes anti-UV
ZONE 1 - HT	H0, H1, H2	Intérieur du local au-delà des zones de voisinage HT	Casque
ZONE 2	H0V, H1V, H2V	ZONE DE VOISINAGE DE LA HT	Casque, Gants isolants, lunettes anti-UV
ZONE 3	H1T, H1N, H2T	Entre la DMA et les pièces nues sous tension (HT)	Equipements spéciaux

Sécurité des personnes

EPI : équipement de protection individuelle

Le Chargé d'Exploitation ou le Chargé de Travaux veillent à l'état des équipements et de l'outillage.
Ils remettent aux Exécutants un EPI en bon état.

Par ailleurs, l'exécutant, qui veille à sa propre sécurité ne se dégage pas pour autant de ses responsabilités.



Sécurité des personnes



EPI : équipement de protection individuelle

LE CASQUE :

Souvent obligatoire au sein d'une entreprise industrielle ou d'un chantier.

Protection contre les chocs mécaniques, mais également contre les chocs électriques lors de travaux ou d'interventions dans une armoire électrique (jeux de barres..), dans une enceinte conductrice exiguë (défaut masses métalliques), sur une ligne aérienne BT.



Sécurité des personnes



EPI : équipement de protection individuelle

LES GANTS ISOLANTS :

Adaptés à la tension, en bon état, jamais réparés, contrôlés avant chaque utilisation. Obligatoires pour tout travail ou intervention en zone de voisinage. Les gants sont de bonne taille et recouvrent correctement les avant-bras.

Les gants isolants doivent être vérifiés fréquemment, et, avant tout emploi, on doit s'assurer qu'ils sont en bon état et ne présentent ni traces de fissure, ni déchirures, ni trous même très petits. Tout gant présentant un défaut doit être retiré du service. Les gants isolants doivent être conservés dans des boîtes ou sachets de protection et ne pas être en contact avec des objets tranchants ou pointus, ni près d'une source de chaleur.





Sécurité des personnes

EPI : équipement de protection individuelle

LES LUNETTES ANTI-UV :

Contre l'effet de l'arc électrique sur les yeux, les projections de matière en fusion lors d'un court-circuit.

Obligatoires pour tout travail ou intervention en zone de voisinage.

Dans des zones à haut risque (fort courant de court-circuit), les lunettes sont remplacées par une visière anti-projection. Cette dernière peut quelquefois faire office d'écran anti-UV.





Sécurité des personnes

EPI : équipement de protection individuelle

L'HABILLEMENT :

L'opérateur doit porter une tenue adaptée aux arcs électriques et projections de matière en fusion.

L'habillement recouvre tout le corps (col fermé, manches longues, ensemble boutonné).

LES CHAUSSURES :

Même en matière isolante les chaussures dites de sécurité ne peuvent être considérées comme efficaces contre le choc électrique via la terre (perforation sournoise par objet métallique pointu..)

Sécurité des personnes

Les protections collectives et l'outillage

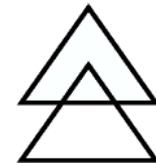
LES OUTILS :

Matériel à isolation renforcée, afin d'éviter la mise en contact accidentelle de pièces portées à des potentiels différents ; il est marqué de 2 triangles croisés.

Ce matériel est adapté aux travaux ou interventions en zone de voisinage BT.



Symbole outillage





Sécurité des personnes

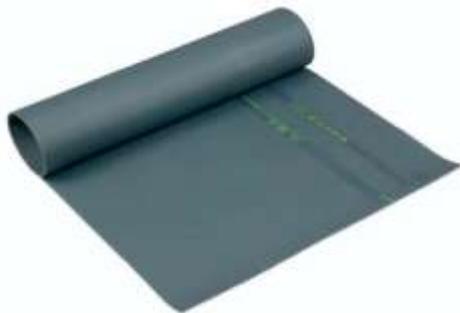
Les protections collectives et l'outillage

...aménagement de l'emplacement de travail : s'isoler des éléments conducteurs (sol, charpente...) au moyen de matériel approprié (écran, tabouret, tapis, échelle, établi isolant ou isolé...) lorsque les risques de contacts fortuits existent.

LES TAPIS ISOLANTS ET TABOURETS :

Les tabourets utilisés en BT ou en HT sont adaptés aux domaines de tension. En cas d'intervention au voisinage de la BT, placer un tapis isolant pour protéger l'opérateur d'un éventuel contact «corps - terre ».

“Les tapis doivent être adaptés à la tension nominale des ouvrages où ils sont utilisés. Ils permettent d'isoler l'opérateur du sol. Il faut se placer bien au centre du tapis et éviter tout contact avec des masses métalliques.”



Sécurité des personnes



Les protections collectives et l'outillage

LES ECRANS :

Obstacle de non-franchissement en :

- Matériau isolant ou isolé

- Matériau conducteur mis à la terre

Utilisation de nappe isolante ou d'écran isolant rigide lors d'une intervention afin d'isoler l'opérateur des pièces nues sous tension (exemple : opération en hauteur sur conducteurs nus).

Sur certains coffrets de distribution le retrait des écrans place l'opérateur en zone de voisinage. Il est alors conseillé de ne retirer que les écrans nécessaires à l'opération.



Sécurité des personnes

Les protections collectives et l'outillage

LES ECHELLES :

Isolantes lorsque l'opérateur rentre en zone de voisinage.

échelle en bois : - échelle simple, échelle double : 100 kg –

échelle à coulisse : 120 kg, autres échelles normalisées : 150 kg.

Réparation interdite. Les échelles en bois nécessite un entretien à l'huile de lin.

Si un échafaudage peut être mis en place, le travail sur l'échelle est alors interdit ; l'échelle ne sert qu'à monter ou descendre (et les mains libres).

Sécurité des personnes

Les protections collectives et l'outillage

LES ECHAFAUDAGES ROULANTS :

Hauteur jusqu'à 8 m d'une charge de plus de 250 kg.

Accès par l'intérieur par plateaux et trappes ou par l'extérieur pour une hauteur inférieure à 2,50 m.



Sécurité des personnes

Les protections collectives et l'outillage

LE MATERIEL VAT : VERIFICATEUR D'ABSENCE DE TENSION

“Les appareils de mesurage ne doivent pas être utilisés à cet usage, pas plus que les vérificateurs d'absence de tension (détecteurs V.A.T) ne peuvent être considérés comme des appareils de mesurage.

Les vérificateurs d'absence de tension (détecteurs V.A.T) sont utilisés notamment au cours des opérations de consignation, préalablement à la mise à la terre et en court circuit, pour vérifier l'absence de tension de service. Ils peuvent être du type lumineux ou du type sonore, mais dans tous les cas ils doivent être adaptés à la tension des installations sur lesquelles ils sont utilisés.

Immédiatement avant et après chaque opération, il est indispensable de vérifier son bon fonctionnement. Lors de l'utilisation de ces appareils en B.T., l'emploi de gants isolants est obligatoire lorsque l'opérateur opère à proximité de pièces nues présentant des risques notables de contact direct en cas de faux mouvement. *L'utilisation d'une lampe montée sur douille à bouts de fils est formellement interdite.*”





Sécurité des personnes

Les protections collectives et l'outillage

LE TOURNEVIS TESTEUR



L'électricien dispose d'un **tournevis testeur**, qui inclut une lampe témoin lui permettant de détecter la présence de tension entre 100 et 500 Volts sur un point de circuit d'une installation. La résistance dans le tournevis vaut environ $670\,000\ \Omega$, au contact de la phase, un courant très faible traverse alors la lampe et passe dans le sol en circulant dans le corps.



Sécurité des personnes

Les protections collectives et l'outillage

LE BALISAGE ET LA SIGNALÉTIQUE :

Indiquer la de manière claire et sans ambiguïté :

Balisage de la zone de travail devenant une « zone infranchissable à toute personne non autorisée » : obstacle mobile – chaîne en plastique – bande de chantier – filets - barrières....

Signalétique de travail : Ecris de travail informant du danger et de l'interdiction de pénétrer dans la zone de travail

Signalétique de consignation : Macaron ou pancarte indiquant la condamnation d'un appareil de séparation : nom – date – heures ...

IPS : INSTRUCTION PERMANENTE DE SECURITE :

Document permanent établi par l'Employeur fixant pour les opérations habituelles les modalités et procédures de sécurité telles que :

Conditions d'exécution ; Conditions relatives au personnel ;

Conditions relatives à l'outillage ; Précautions à observer.



Sécurité des personnes

Les manœuvres

MANŒUVRE D'URGENCE :

Imposée par les circonstances pour la sauvegarde des personnes. La manœuvre d'urgence ne nécessite ni habilitation ni autorisation.

MANŒUVRE D'EXPLOITATION :

Modification de l'état électrique d'un réseau ou d'une installation électrique dans le cadre du fonctionnement normal.

Marche – arrêt – réarmement de protection – connexion / déconnexion de matériel amovible sans risque.

Les manœuvres d'exploitation peuvent se faire localement ou à distance par des personnes qualifiées ayant reçues une consigne, habilitées ou non habilitées selon l'appareillage à manœuvrer.

MANŒUVRE DE CONSIGNATION :

Opération effectuée pour la CONSIGNATION, la DECONSIGNATION, la REQUISITION d'un réseau, d'une installation ou d'un équipement électrique.



Sécurité des personnes



Les manœuvres de consignation

1 - SEPARER

La séparation doit être effectuée au moyen d'organes prévus à cet effet, sur tous les conducteurs actifs, y compris le neutre

La séparation doit être certaine.

En BTA utiliser les appareils de séparation définis dans la NFC15.100

RESEAU



OUVRAGE SEPRE



SEPARATIONS VALABLES: dépose de pont -
enlèvement de fusibles - retrait de prise de courant.



Sécurité des personnes



Les manœuvres de consignation

2 - CONDAMNER

Condamnation en position d'ouverture.
Interdire la manoeuvre de l'organe de séparation

Immobilisation de l'organe par blocage mécanique ou dispositif offrant les mêmes garanties.

Pose d'une pancarte ou autre moyen d'affichage signalant l'appareil condamné.



Sécurité des personnes



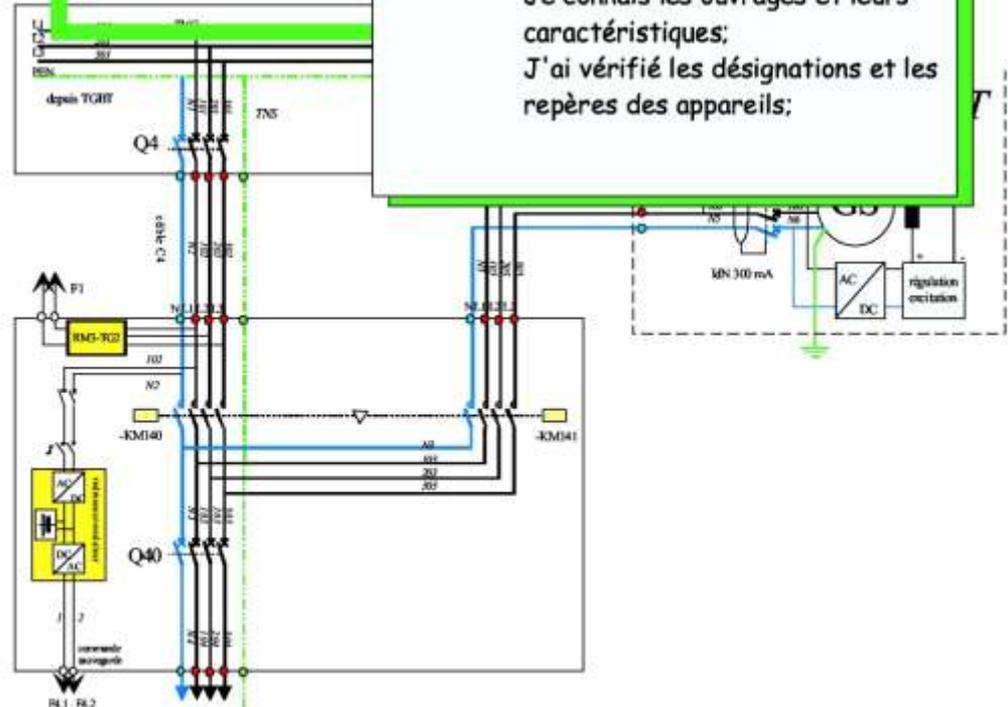
Les manœuvres de consignation

3 - IDENTIFIER

Etre certain que les travaux se feront sur l'ouvrage séparé dont les organes de séparation sont condamnés en position d'ouverture.



En tant que chargé de consignation:
Je possède la connaissance des lieux du chantier;
J'ai consulté les schémas des départs;
Je connais les ouvrages et leurs caractéristiques;
J'ai vérifié les désignations et les repères des appareils;



Sécurité des personnes

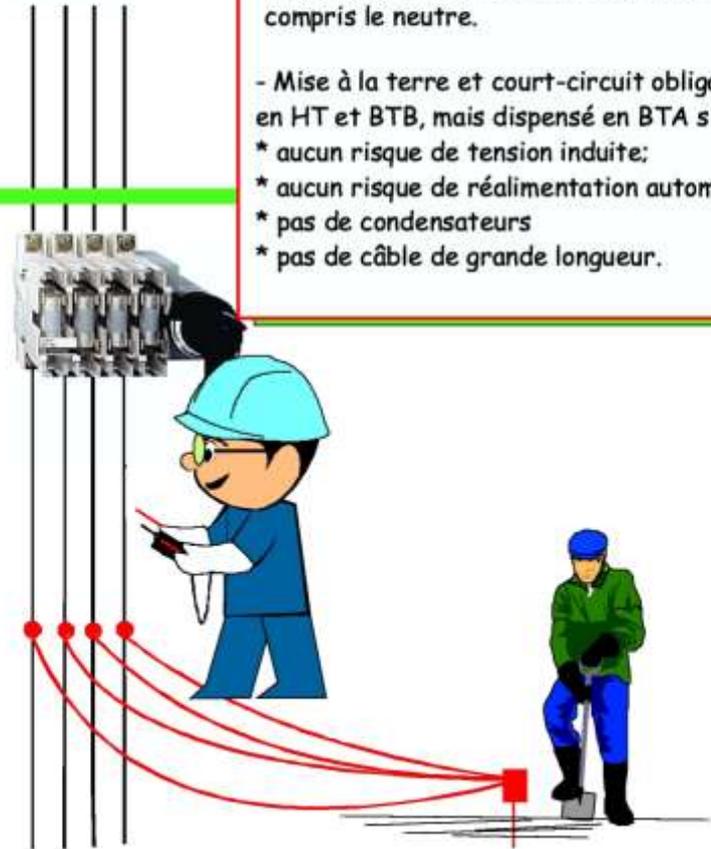


Les manœuvres de consignation

4 - VERIFIER & RELIER

Vérification d'absence de tension (VAT)
et
Mise à la terre et en court-circuit des conducteurs actifs (MALT-CC)

- VAT aussi près que possible du lieu de travail, sur tous les conducteurs actifs, y compris le neutre.
- Mise à la terre et court-circuit obligatoire en HT et BTB, mais dispensé en BTA s'il n'y a:
 - * aucun risque de tension induite;
 - * aucun risque de réalimentation automatique;
 - * pas de condensateurs
 - * pas de câble de grande longueur.





Sécurité des personnes

Règles impératives pour toute intervention sur ouvrage électrique basse tension

Règle n°1, s'équiper





Sécurité des personnes

Règles impératives pour toute intervention sur ouvrage électrique basse tension

Règle n°2, séparer l'ouvrage des sources de tension





Sécurité des personnes

Règles impératives pour toute intervention sur ouvrage électrique basse tension

Règle n°3, condamner les organes de séparation en position ouverte

Après avoir séparé l'ouvrage de la source de tension il est impératif de le condamner et de signaler cette condamnation.



**LIMITE DE LA ZONE DE TRAVAIL
NE PAS FRANCHIR**





Sécurité des personnes

Règles impératives pour toute intervention sur ouvrage électrique basse tension

Règle n°4, vérifier l'absence de tension sur chacun des conducteurs (VAT)





Sécurité des personnes

Règles impératives pour toute intervention sur ouvrage électrique basse tension

Règle n°5, mettre à la terre et en court-circuit



TRESSE DE MISE EN COURT-CIRCUIT ET A LA TERRE DES CONDUCTEURS ACTIFS : MALT - CC



Sécurité des personnes

Règles impératives pour toute intervention sur ouvrage électrique basse tension

Règle n°6, délimiter et signaler la zone de travail et se protéger contre les pièces voisines restées sous tension.



Sécurité des personnes

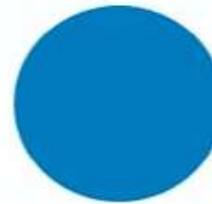
Règles normatives en signalisation



Avertissement de danger



Interdiction



Obligation



Balisage permanent



Balisage provisoire ou préservant un danger particulier



Danger électrique



Danger en général

Sécurité des personnes

Intervention de dépannage en basse-tension :

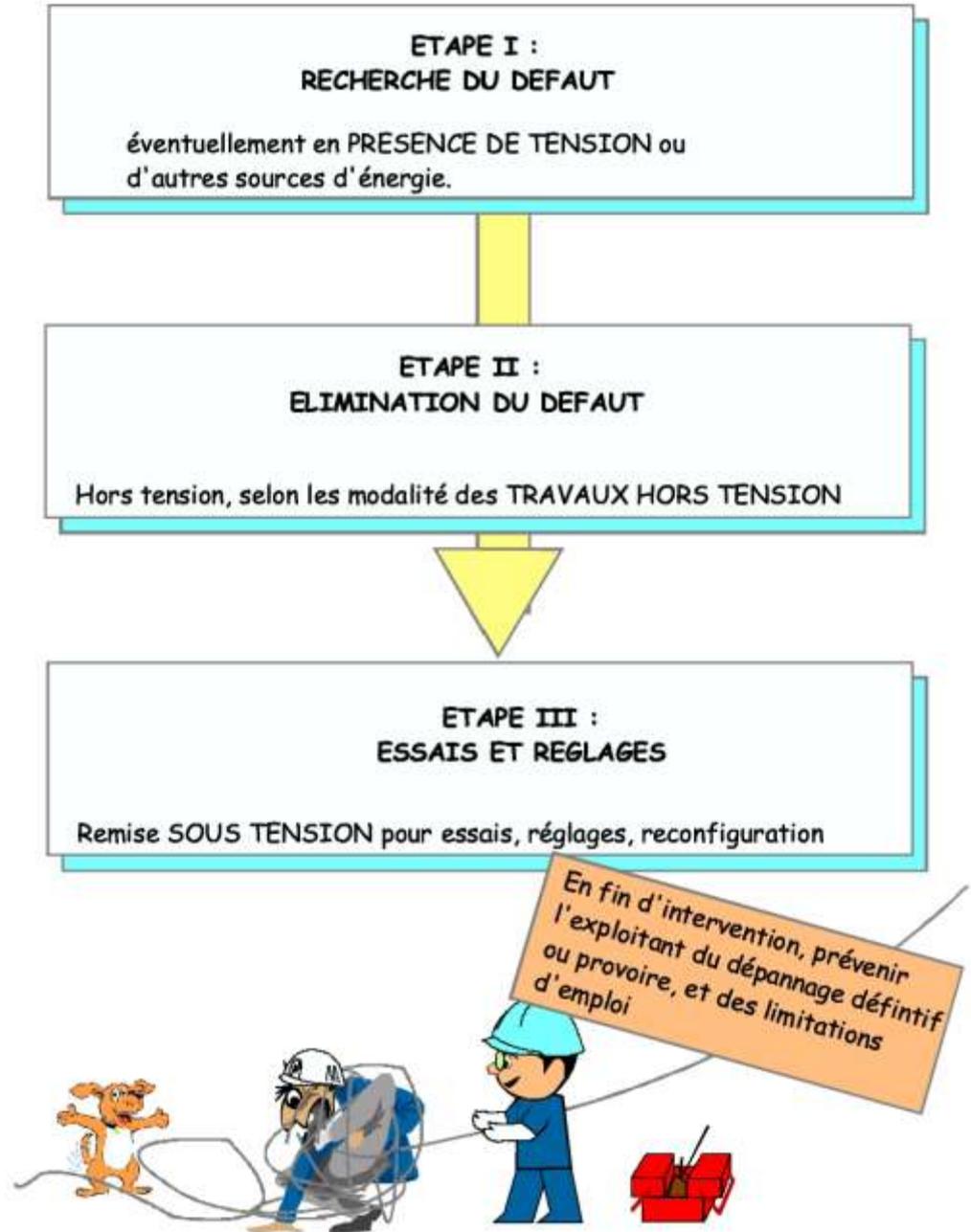
Opération nécessaire afin de remédier rapidement à un dysfonctionnement ou un défaut pouvant nuire à la sécurité des personnes et des matériels.



Sécurité des personnes



Procédure d'intervention de dépannage





Sécurité des personnes

Intervention de remplacement

En principe, les interventions de remplacement se font hors tension, par une personne habilitée, même en TBT s'il y a risque d'explosion.

En BTA et BTB, le remplacement d'un fusible se fait généralement hors tension après avoir éliminé la cause de sa destruction. Sous tension, le fusible ne peut être remplacé que si le support du fusible a été conçu à cet effet.

Certains types de remplacements ne présentant aucun risque de voisinage de tension BT, de court-circuit, d'explosion avec projection de matière, peuvent être accordés à une personne désignée et non habilitée.

Remplacement de lampe ou de fusibles, avec présence de tension, sans risque électrique particulier.



Sécurité des personnes

MESURAGE ET ESSAIS

Lorsque le mesurage a lieu hors d'un laboratoire, *ce dernier faisant l'objet de prescriptions particulières* :

Le personnel est habilité minimum B1 pour des mesurages avec voltmètres et pinces ampèremétriques.

Le personnel est habilité BR pour des relevés à l'oscilloscope

Nécessité du port de l'EPI et de l'utilisation de tapis ou tabouret isolant.

Les appareils de mesures, en bon état et protégés, sont à adapter aux grandeurs à mesurer.

Un mesurage nécessitant l'ouverture en charge d'un circuit relève des interventions de connexion.

Sécurité des personnes

LES TRAVAUX HORS TENSION

TRAVAUX D'ORDRE NON-ELECTRIQUE HORS TENSION et HORS VOISINAGE

Travaux effectués dans un Local Réservé aux Electriciens du domaine de la Basse Tension. L'installation électrique ou l'équipement électrique considéré a été **consigné pour travaux** ; aucune pièce nue sous tension n'est alors accessible.



Les travaux sont d'ordre mécanique, de nettoyage ou de peinture, de maçonnerie, de menuiserie, etc. Ils sont effectués par des professionnels de ces corps de métier, HABILITES B0.

Sécurité des personnes

LES TRAVAUX HORS TENSION



TRAVAUX D'ORDRE ELECTRIQUE HORS TENSION et HORS VOISINAGE

Travaux effectués dans un Local Réservé aux Electriciens du domaine de la Basse Tension.

L'installation électrique ou l'équipement électrique considéré a été **consigné pour travaux** ; aucune pièce nue sous tension n'est alors accessible.

Les travaux d'ordre électrique comprennent la pose de câbles et de canalisations électriques, l'assemblage et le montage de matériels électriques en coffrets, armoires, boîtiers,..., le câblage des équipements, les connexions aux ouvrages électriques.

Les personnes habilitées aux travaux d'ordre électrique sont HABILITEES B1 ou B2.



Sécurité des personnes

LES TRAVAUX HORS TENSION

TRAVAUX AU VOISINAGE DE LA BASSE TENSION

Travaux effectués dans un Local Réservé aux Electriciens du domaine de la Basse Tension. L'installation électrique ou l'équipement électrique considéré a été **consigné pour travaux.**

Par nécessité, ce type de travail laisse des pièces nues sous tension directement accessibles (jeu de barres, bornes de puissance,...).

Les personnes habilitées aux travaux d'ordre électrique en zone de voisinage de la basse tension sont HABILITEES B1V ou B2V.

A cartoon illustration of a worker wearing a white hard hat and blue overalls, holding a yellow lightning bolt in his right hand.

Sécurité des personnes

LES TRAVAUX HORS TENSION

TRAVAUX EXTERIEURS ET CONDITIONS ATMOSPHERIQUE

N'entreprendre aucun travail sur un ouvrage électrique extérieur en cas de très mauvaises conditions atmosphériques (forte pluie, brouillard épais, vent violent), surtout en cas d'orage. Eventuellement terminer l'opération en cours pour raison de sécurité.

Pour les ouvrages situés à l'intérieur des bâtiments, le travail hors tension peut être entrepris et achevé quelles que soient les conditions atmosphériques, sauf en cas d'orage. En cas d'orage, lorsque l'ouvrage est alimenté exclusivement par un câble souterrain, le travail peut être effectué.





Sécurité des personnes

LES TRAVAUX SOUS TENSION

Les **Travaux Sous Tension** ne font pas partie de cette formation.
Les informations ci-dessous sont fournies à titre indicatif.

TRAVAUX SOUS TENSION AUTORISES :

Les travaux sous tension sont autorisés :

- Sur les réseaux de distribution publique ;
- Sur des ouvrages où la mise hors tension est impossible ou dangereuse

HABILITATION AUX TRAVAUX SOUS TENSION :

Les personnes habilitées aux travaux sous tension possèdent l'indice T :

B1T ou B2T pour les électriciens

BxN pour les personnes chargés du nettoyage sous tension

Conditions spéciales :

Habilitation valable une année civile au maximum.

Visite médicale d'aptitude aux TST.

Formation assurée par un Etablissement Agréé TST.

Sécurité des personnes

LES TRAVAUX SOUS TENSION



Réflexion :

Pourquoi les oiseaux ne s'électrocutent-ils pas ?

La différence de potentiel entre les deux pattes est quasiment nulle du fait de la présence du câble. Si l'oiseau a les deux pattes sur le même fil, alors le courant a le choix entre passer par l'oiseau ou passer par le fil. Comme la résistance du fil est beaucoup plus faible, il passe par le fil.

On remarquera que les oiseaux ne se posent pas sur les fils de très haute tension (300 000 volts) parce qu'il existe une différence de potentiel avec le sol. Cela provoque des mini-étincelles qu'on entend par temps humide. A ce moment, il peut apparaître une tension entre les pattes et la tête de l'oiseau, ce qui lui est désagréable.

Electriciens et leurs équipements

Différents types de multimètres



Le multimètre ou contrôleur universel est l'appareil de mesure le plus couramment utilisé.

Ce mesureur assure :

- **les fonctions de base telles que :**
 - mesure de tension et de courant en continu et alternatif
- **et généralement les fonctions de type**
 - test de continuité (ohmmètre), test de diodes, mesure de fréquence, capacité, inductance, température...

Ce mesureur peut être de deux types :

- **Analogique** (à aiguille)
- **Numérique** (le plus couramment utilisé aujourd'hui).

Electriciens et leurs équipements

Caractéristiques d'un multimètre numérique

Les possibilités de mesure sur les fonctions de base

- ✓ **étendue des mesures** en tension et en courant ;
- ✓ **résolution** (plus petite grandeur que le mesureur est capable d'afficher).
- ✓ **précision** (plage d'incertitude de la valeur indiquée par l'afficheur numérique).
- ✓ **valeur efficace d'un courant ou d'une tension** selon le type de multimètre :
 - RMS : ils calculent la valeur efficace d'un signal sinusoïdal.
 - TRMS : ils calculent la valeur efficace d'un signal alternatif de forme quelconque.

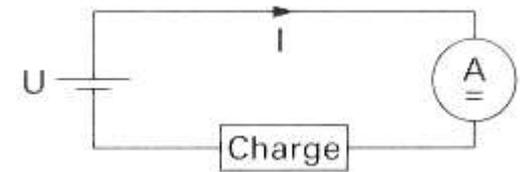


Electriciens et leurs équipements

Utilisation d'un multimètre

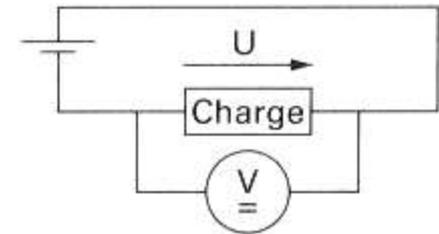
- **Mesure d'intensité**

Pour mesurer l'intensité d'un courant dans un circuit le multimètre, utilisé dans sa fonction ampèremètre, se branche en série dans le circuit.



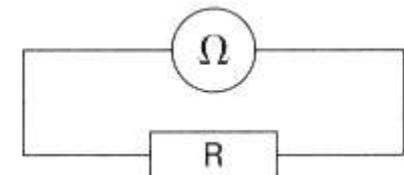
- **Mesure de tension**

Pour mesurer la tension aux bornes d'un circuit, le multimètre utilisé dans sa fonction voltmètre, se branche en parallèle ou en dérivation dans le circuit.



- **Mesure de résistance**

Pour mesurer avec un multimètre, utilisé dans sa fonction ohmmètre, la résistance d'un composant, ce dernier est branché directement aux bornes de l'appareil (mesure hors tension).



Electriciens et leurs équipements

Pinces ampèremétriques : sondes de courant

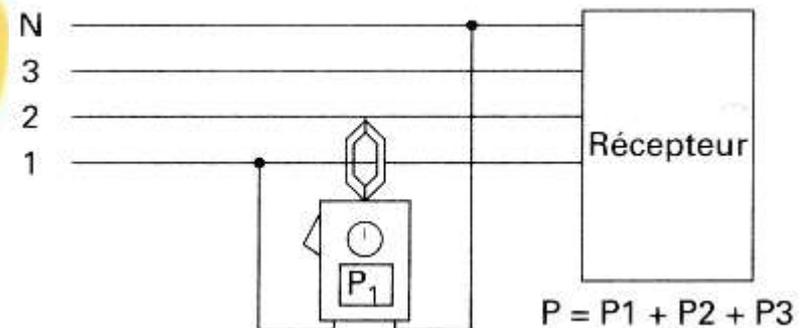
Une **pince ampèremétrique** permet, en se plaçant autour du conducteur, la **mesure de l'intensité du courant qui circule dans le conducteur sans couper le circuit.**



Pinces wattmétriques :

La **pince wattmétrique** permet le contrôle rapide et complet d'un réseau monophasé ou triphasé en mesurant

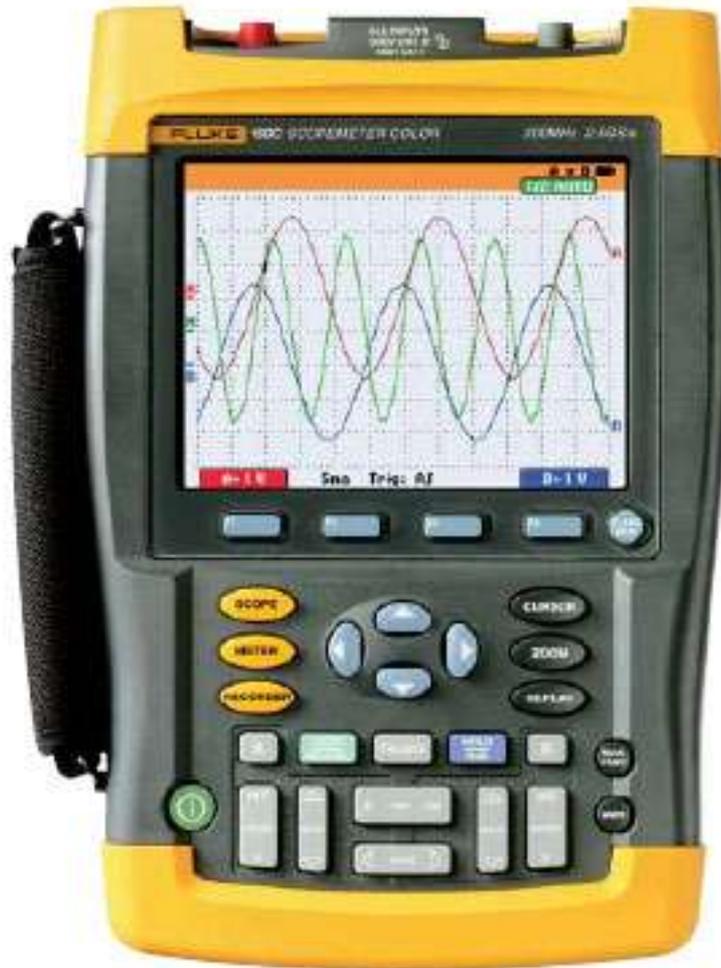
- la puissance absorbée,
- le facteur de puissance.
- l'intensité et la tension ;
- et éventuellement la fréquence.



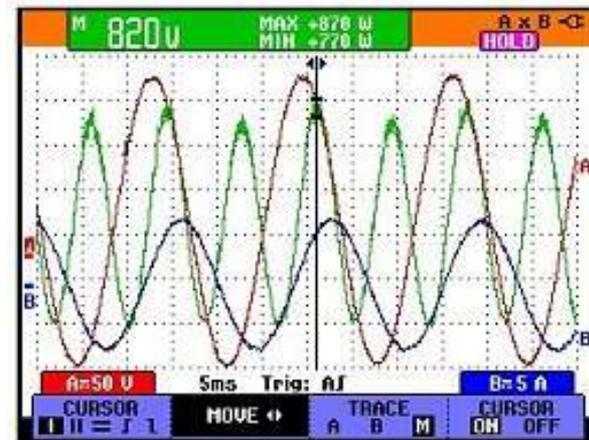
Mesure de puissance active sur un récepteur triphasé déséquilibré

Electriciens et leurs équipements

Oscilloscope portable



L'oscilloscope, appareil de mesure et d'observation, permet la visualisation d'un signal sur un écran pour mettre en évidence les paramètres nécessaires à son interprétation : forme d'onde, valeur crête, fréquence, degré de distorsion...



Electriciens et leurs équipements

Contrôle des installations

La vérification d'une installation doit comporter les tests suivants

- continuité des conducteurs de protection,
- résistance d'isolement,
- protection par séparation des circuits,
- résistance des murs et planchers.
- déconnexion automatique du secteur
- mesure de la résistance de terre,
- mesure de l'impédance des boucles de défaut , test des différentiels,
- test de polarité et ordre des phases.



Testeur d'installation électrique

Electriciens et leurs équipements

Contrôle des installations



Testeur d'installation électrique

Continuité

Les tests de continuité des conducteurs de protection sont réalisés avec un appareil (ohmmètre) capable de générer une tension à vide dans la gamme de 4 à 24 volts (DC ou AC) avec une intensité minimale de 0,2 A. Le test de continuité consiste à mesurer la résistance des conducteurs de protection, ce qui nécessite de valider la continuité de tous les conducteurs de protection de l'installation, puis de tester les conducteurs principaux et secondaires d'équipotentialité. La résistance doit être inférieure à 2 Ω .

Electriciens et leurs équipements

Contrôle des installations



Testeur d'installation électrique

Résistance de l'isolement d'une installation électrique

Les mesures sont réalisées avec un appareil (mégohmmètre) capable de générer une tension continue de test selon la tension nominale du circuit.

Tension nominale de l'installation	Tension de test continue	Résistance d'isolement minimum
< 50 V	250 V	$\geq 0,25 \text{ M}\Omega$
De 50 V à 500 V	500 V	$\geq 0,5 \text{ M}\Omega$

Cette mesure s'effectue entre conducteurs actifs, puis entre chaque conducteur et la terre (l'installation doit être déconnectée du secteur, et les récepteurs débranchés). Tous les fusibles doivent être en place et les disjoncteurs enclenchés.

Electriciens et leurs équipements

Contrôle des installations



Testeur d'installation électrique

Mesure de la résistance de terre

La mesure de résistance de terre consiste à injecter un courant à travers la prise de terre dont on souhaite contrôler la valeur. La méthode la plus couramment utilisée est celle qui utilise deux piquets espacés de 20 m environ.

Mesure d'impédance de boucle de défaut

Il est quelque fois difficile d'utiliser des piquets de terre. Dans ce type de cas, il est possible de faire une mesure de résistance de boucle sur un réseau sous tension. La mesure est effectuée en injectant un courant constant entre les deux conducteurs. La mesure permet le calcul de l'impédance (le la boucle et du courant de court-circuit. La résistance de terre réelle est généralement inférieure au résultat de la mesure obtenue.

Electriciens et leurs équipements

Contrôle des installations



Testeur d'installation électrique

Test des différentiels

Les différentiels détectent les flux de courant de fuite vers la terre. Le test de phase des différentiels consiste à déterminer leur temps (le déclenchement (en millisecondes) et leur courant de déclenchement en introduisant un courant (le défaut dans le circuit et à vérifier qu'ils sont conformes à la plage de déclenchement devant se situer en un temps inférieur à 300 ms.

Test de polarité

Certaines réglementations interdisant le branchement d'interrupteurs unipolaires sur le neutre, un test de polarité doit être effectué afin de vérifier que tous ces dispositifs sont connectés exclusivement sur la phase.



Les branchements

- Mise à la terre des structures métalliques
- Dispositifs de protection différentielle 30 mA
- Port d'équipements de protection individuel (EPI)
- Maintient des câbles et prises en état !
- Dimensionnement correct des conducteurs
- Toute prise de puissance est un décontacteur
le DECONTACTEUR est une prise à dispositif d'interruption incorporé.



Les branchements

Exemple très concret d'une fiche d'un appareil électrique qui a subi un amorçage entre un plot et la terre. L'appareil était raccordé sur un circuit protégé avec disjoncteur 16 A - 30mA, c'est le différentiel qui a déclenché.

En l'absence de cette protection sur une installation vétuste, il faudra attendre un court-circuit pour faire déclencher le disjoncteur de protection du circuit ou le différentiel du disjoncteur général.



Sécurité des personnes



Les branchements

- Mise à la terre des structures métalliques
- Dispositifs de protection différentielle 30 mA



Norme internationale CEI/ 60309-1 et à la norme européenne NF EN 60 309-1 des prises de courant industrielles.

Décret français N° 88-1056 du 14 novembre 1988 relatif à la protection des travailleurs.

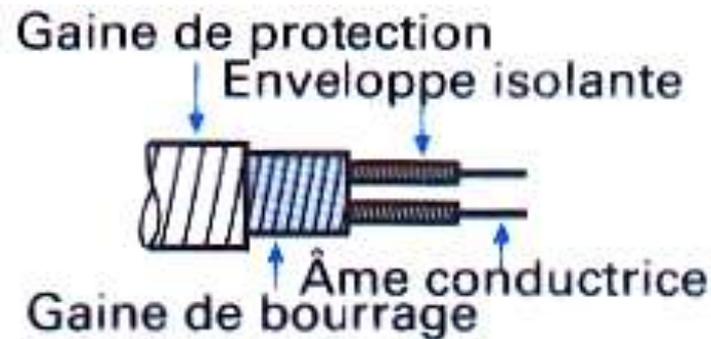


- *Armoire de distribution de chantier : 63 Ampères.*
- *Armoire de distribution de chantier : 125 Ampères.*
- *Sorties :*
 - *220 Volts monophasé 10/16 Ampères.*
 - *380 triphasé + neutre 16 et 32 Ampères.*
- *Protection différentielle 30 ma.*

Le travail des électriciens

Les branchements Conducteurs et câbles

Un **câble multiconducteurs** est un ensemble qui regroupe plusieurs conducteurs électriquement distincts et mécaniquement solidaires, généralement sous un ou des revêtements protecteurs gaine, tresse, armure...



Le travail des électriciens

Les branchements Conducteurs et câbles

■ Âme conductrice

Elle doit satisfaire aux conditions suivantes

- **bonne conductibilité** pour réduire les pertes lors du transport de l'énergie d'où le choix :
 - du cuivre : ρ (rhô) = $17,24 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km}$ à $20 \text{ }^\circ\text{C}$;
 - ou de l'aluminium : $\rho = 28,26 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km}$ à $20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- **résistance** mécanique suffisante pour éviter la rupture du conducteur sous les efforts au moment de la pose, des fixations, du serrage des connexions ;
- **bonne souplesse** pour : faciliter le passage des conducteurs dans les conduits, respecter le tracé de la canalisation, alimenter les appareils mobiles ;
- **bonne tenue à la corrosion** due aux agents atmosphériques et aux environnements chimiques
- **bonne fiabilité des raccordements** par une bonne résistance aux effets physico-chimiques des contacts.

Le travail des électriciens

Les branchements Conducteurs et câbles

Équivalence aluminium-cuivre

L'aluminium est autorisé à partir de la section de 2,5 mm².

Pour une même résistance électrique

$$\frac{\text{Section aluminium}}{\text{Section cuivre}} = \frac{\rho_{Al}}{\rho_{Cu}} = \frac{28}{17,24} = \mathbf{1,63}$$

Ce qui se traduit par le choix d'une section d'âme en aluminium immédiatement supérieure à celle d'un conducteur en cuivre, dans l'échelonnement normalisé de, section, des conducteurs (en mm²).

Section cuivre	1,5	2,5	4	6	10	16
Section aluminium	2,5	4	6	10	16	25

Le travail des électriciens

Les branchements Conducteurs et câbles

- Longueurs maximales admissibles en m
- Conducteurs en Cuivre

	Monophasé 230 V		Triphasé 230 V / 400 V	
Section en mm ²	60 A 12 kVA	90 A 18 kVA	30 A 18 kVA	60 A 36 kVA
10	26 m	interdit	51 m	26 m
16	41 m	27 m	82 m	41 m
25	64 m	43 m	128 m	64 m
35	89 m	60 m	179 m	89 m
50	128 m	85 m	256 m	128 m

Le travail des électriciens

Les branchements Conducteurs et câbles

■ Enveloppe isolante

Cette enveloppe doit assurer une bonne isolation de l'âme conductrice et présenter les caractéristiques :

- **générales de tout bon isolant**

- résistivité élevée.
- très bonne rigidité diélectrique.
- faibles pertes diélectriques.

*diélectrique adjectif et nom masculin
Se dit d'une substance qui ne conduit pas le courant électrique ; isolant.*

- **particulières à l'emploi des conducteurs et des câbles**

- bonne tenue au vieillissement.
- bonne résistance au froid, à la chaleur et au feu,
- insensibilité aux vibrations et aux chocs,
- bon comportement à l'attaque des agents chimiques.

- **Températures maximales admissibles en °C**

Emploi en condition constante normale	Nature de l'isolant			
	PVC	Polyéthylène réticulé (PRC)	Caoutchouc	Caoutchouc siliconé
	70	90	80	180

Le travail des électriciens

Les branchements

- P17 Legrand
 - Prises bleues > monophasé
 - Prises rouges > triphasé



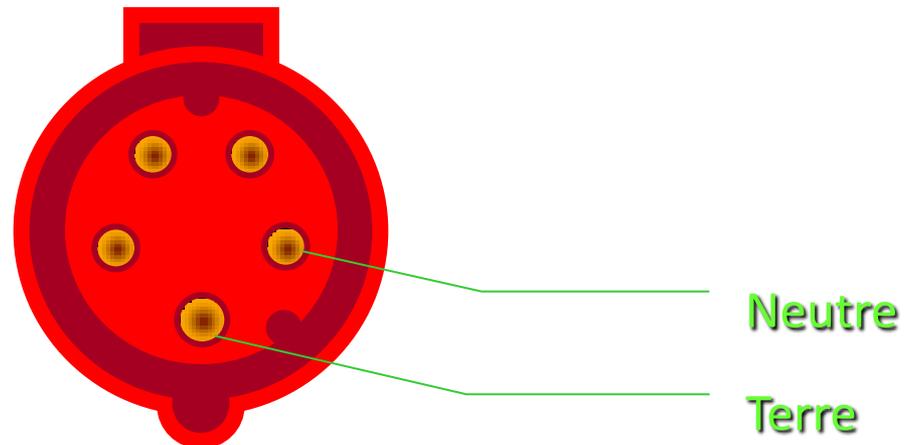
Le travail des électriciens

Les branchements

Couleurs des fils



Prise P 17 *montage étoile*



Le travail des électriciens

Les branchements

- En triphasé équilibrage des phases
- Séparer la lumière du son (*parasites*)
- Respecter les mises à la terre
- Respecter les sections de conducteur
- Respecter les disjoncteurs différentiels 30 mA

Le travail des électriciens

L 'installation

- Sécurité des éléments suspendus
 - Câbles de sécurité sur les projecteurs
 - Coefficient de sécurité de charge de 10 pour les câbles
 - Affichage du poids de chaque élément
 - Calcul et affichage de la charge maximale admissible par une structure

Le travail des électriciens

L 'installation

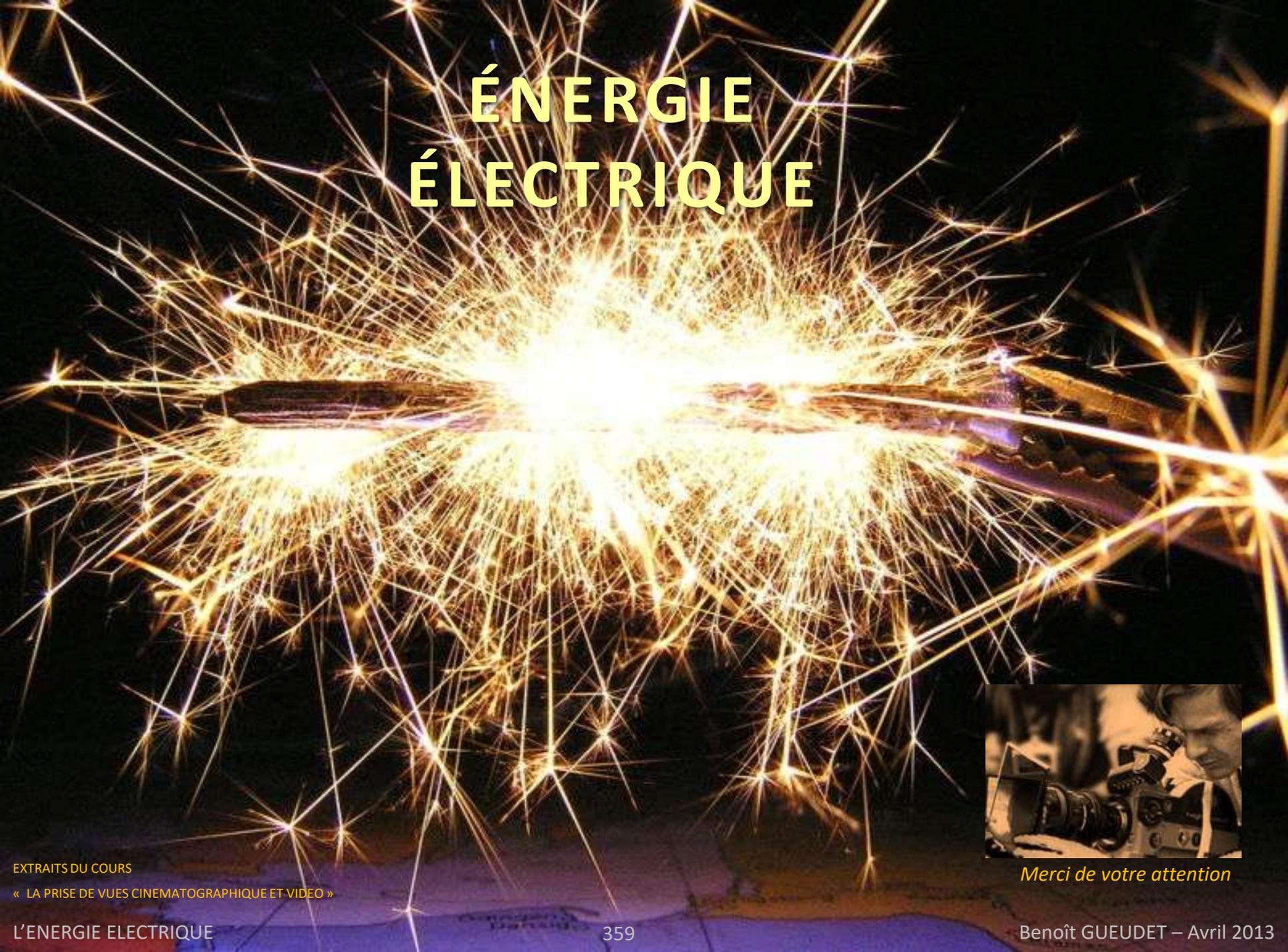
- Prévoir des espaces de rangement
- Clarifier les branchements et les repérer
- Repérer clairement les sources sur le pupitre et le plan d 'éclairage
- Respecter les normes de sécurité

Le travail des électriciens

La liste de matériel électrique

- Tenir compte de la puissance disponible
- Tenir compte du plan de travail
- Tenir compte des besoins externes
- Marge de sécurité

ÉNERGIE ÉLECTRIQUE



Merci de votre attention

EXTRAITS DU COURS

« LA PRISE DE VUES CINÉMATOGRAPHIQUE ET VIDÉO »

L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

359

Benoît GUEUDET – Avril 2013