

Considérons un dispositif possédant une énergie potentielle, capable, si on crée l'environnement correct, de mettre en mouvement des électrons, qui pourront ainsi transmettre cette énergie électrique à un récepteur, la transformant en une autre énergie : chaleur, lumière, mouvement ...

L'environnement ainsi créé s'appelle un circuit électrique : ensemble composé d'un générateur électrique (fournisseur d'électrons), d'un récepteur électrique (consommateur d'électrons), de conducteurs électriques capables de laisser circuler des électrons (transporteur d'électrons).

Exemple de tels dispositifs :

générateurs d'électricité :	piles, accumulateurs, batteries (générateurs électro-chimiques) [Volta], cellules solaires (générateurs photo-voltaiques).
consommateurs d'électricité :	ampoules électriques [Edison], radiateurs, moteurs électriques ...
transmetteurs d'électricité :	pièces métalliques, tels que plaques, fils ... autorisant plus ou moins la circulation des électrons
isolant électrique :	matériau s'opposant franchement au passage des électrons, voir l'interdisant totalement (dans l'idéal).

Schéma d'un circuit électrique : la résistance électrique.

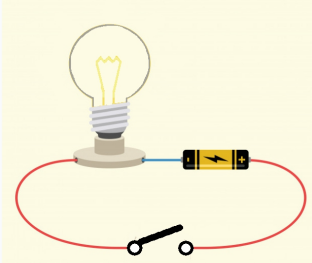
<p>Circuit Ouvert pas de passage d'électrons  l'ampoule n'éclaire pas</p>	
---	--

Fig 1

Ce circuit est composé d'un générateur (pile), d'une ampoule, de fils électriques (en bleu et rouge), auquel nous avons ajouté un interrupteur, élément permettant d'ouvrir le circuit (pas de circulation d'électrons, car la continuité métallique est interrompue), ou de le fermer (circulation d'électrons, d'où ampoule allumée, car transformation de l'énergie des électrons en énergie lumineuse).

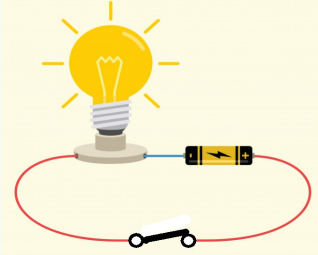
<p>Circuit Fermé circulation d'électrons  l'ampoule s'éclaire</p>	
---	--

Fig 2

Tentons une autre expérience : changeons le sens de la pile.

Si le circuit est ouvert, rien ne se passe, si le circuit est fermé, l'ampoule s'allume, mais rien ne change par rapport à la situation précédente. On en conclut que le sens de circulation des électrons n'affecte pas le fonctionnement de l'ampoule ou d'une résistance.

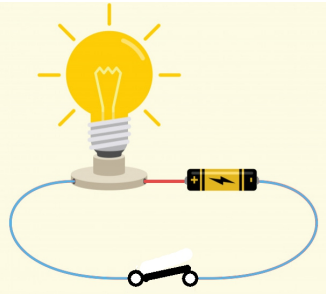
<p>Invertissons la polarité  pas de changement d'état de l'ampoule</p>	
--	--

Fig 3

Maintenant pourquoi l'ampoule s'éclaire-elle ?

Tout simplement parce-que le filament de l'ampoule offrant une résistance à la circulation des électrons, s'oppose donc au passage de ceux-ci, ce qui crée un échauffement du dit filament. Pour un passage d'électrons constant, plus le métal est résistant électriquement, plus l'échauffement sera important : c'est l'effet Joules.

On classe donc les ampoules électriques à filament dans la catégorie des **résistances électriques**.

*Une résistance a un fonctionnement strictement semblable à une ampoule, sauf qu'en général sa valeur ohmique étant bien supérieure à celle de l'ampoule, le phénomène est moins visible, on attend en général qu'un faible dégagement de chaleur ... à moins d'une erreur dans les calculs ...*

Dans ce simple circuit, on voit qu'il y a transfert d'énergie depuis le générateur vers le consommateur, par l'intermédiaire de la circulation des électrons dans un circuit électrique.

*Par sa constitution tout corps métallique est résistant, mais plus ou moins suivant la nature du métal utilisé.*

*Un corps métallique est un ensemble d'atomes, composés d'un noyau et de plusieurs électrons de charge électrique négative gravitant en orbite autour de ce noyau. Les électrons circulent sur leurs orbites à la vitesse de la lumière (ni plus vite, ni moins vite), et ne peuvent occuper que quelques couches orbitales bien précises, l'atome est ainsi en équilibre. Donc si on apporte de l'énergie à un atome, on augmente son énergie cinétique, et pour rester en équilibre les électrons des couches supérieures n'ont d'autre choix que d'augmenter le diamètre de leur orbite puis qu'ils ne peuvent augmenter leur vitesse. Alors suivant le type d'atome, et la quantité d'énergie reçue, soit l'électron est arraché à l'atome, et sera remplacé par l'électron d'un atome voisin, participant ainsi à la circulation des électrons le long des circuits électriques, soit il vont occuper une couche d'équilibre permise, et donc émettre un photon d'énergie correspondante à celle de l'énergie reçue, l'atome reste en équilibre. Qui dit émission de photon dit énergie rayonnée, soit sous forme de chaleur (infra-rouge), soit sous forme de lumière visible, plus ou moins blanche suivant l'énergie reçue (du rouge au blanc). (Physique Atomique, Mécanique Quantique).*

*A la température du 0° absolu, certains métaux n'offrent aucune résistance à la circulation des électrons : la supra-conductivité.*

*Le Cuivre entre dans la catégorie des métaux d'où il est facile d'arracher l'électron de la couche supérieure, et donc il conduit bien l'électricité, l'électron du Fer est plus difficile à extraire, il conduit moins bien l'électricité, il chauffe plus (et par la même occasion se dilate, par augmentation de l'orbite de ses électrons) utilisation comme radiateur électrique, malheureusement il fond (1538°C) avant d'atteindre la température nécessaire à l'émission de photons de rayonnement visible. Il faut utiliser le Tungstène (3422°C) pour fabriquer le filament des ampoules lumineuses.*

*Si nous diminuons la valeur de la tension, on s'aperçoit que l'ampoule éclaire toujours, mais avec une intensité lumineuse qui diminue, et aussi avec une lumière qui tire plus vers le rouge. C'est de cette façon que l'on détermine la température de couleur d'une lumière visible.*

De cette expérience on va définir quelques termes et lois fondamentales de l'électricité.

Le courant électrique (*Ampère*) est défini par la quantité d'électrons (*Coulon*) circulant dans un circuit électrique par unité de temps (*Seconde*).

La résistance (*Ohm notée Ω*) est définie par l'aptitude d'un matériau à s'opposer au passage d'un courant électrique. C'est une propriété physique de ce matériau. La conductance est l'inverse de la résistance : 1/R.

Les résistances en série s'ajoutent	$R_{\text{equiv}} = R1 + R2$	exemple : $270\Omega + 30\Omega = 300\Omega$
Les conductances en parallèle s'ajoutent aussi	$1/R_{\text{equiv}} = 1/R1 + 1/R2$	
on réduit au même dénominateur :	$1/R_{\text{equiv}} = R2 / R1 \times R2 + R1 / R1 \times R2$	
on effectue la somme :	$1/R_{\text{equiv}} = (R2 + R1) / R1 \times R2$	
et nous prenons l'inverse	$R_{\text{equiv}} = R1 \times R2 / (R1 + R2)$ ou $R1R2/(R1+R2)$	

Si les deux résistances sont égales,  $R_{\text{equiv}} = R / 2$  exemple :  $100\Omega / 100\Omega = 50\Omega$

On peut en déduire les grandes lois de l'électricité :

Dans un circuit électrique les électrons circulent toujours de la borne négative vers la borne positive (en effet les électrons sont porteurs d'une charge électrique négative et sont donc attirés par une borne positive), ils circulent donc le la **Cathode** (-) vers l'**Anode** (+). Par définition dans la pratique le courant circule de la borne positive vers la borne négative.

A un nœud du circuit, la somme des courants est nulle. Autrement dit à un point d'un circuit il rentre autant de courant qu'il en sort : il n'y a pas de rétention ou d'injection d'électrons.

La Loi d'Ohm établit que la tension (*Volt*) aux bornes d'une résistance électrique est égale à l'intensité du courant la traversant (*Ampère*) multiplié par la valeur de la résistance électrique (*Ohm*) de ce composant. Cette loi peut s'écrire algébriquement par l'équation :

$$U = R \times I$$

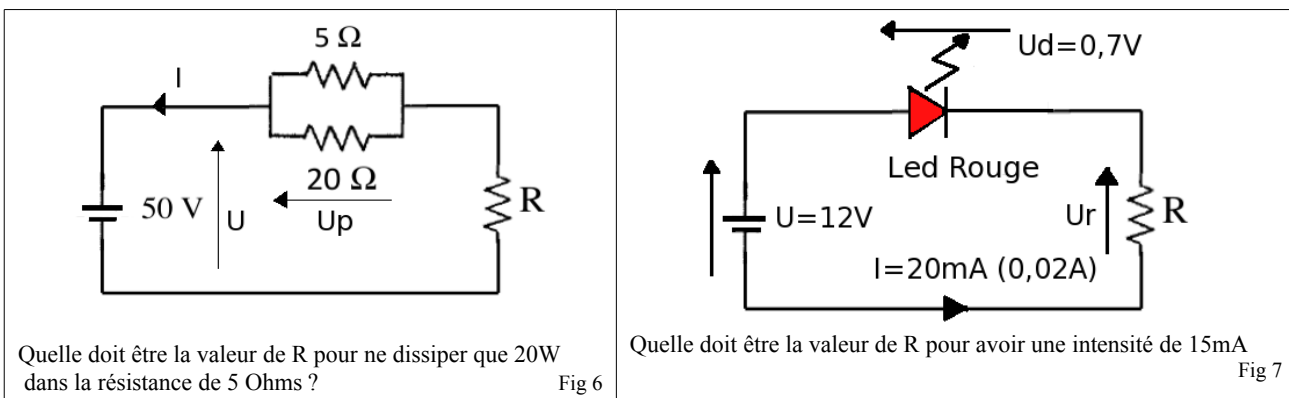
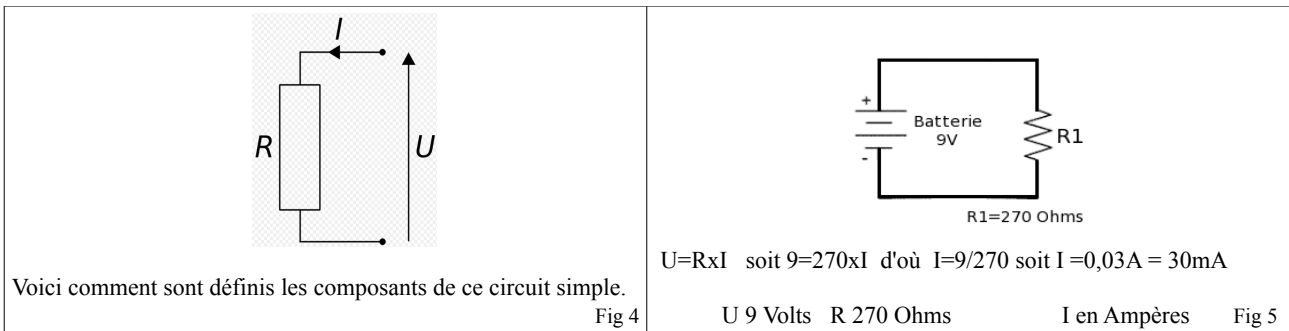
$$U=RI$$

où U est exprimé en volts, I en Ampères, R en Ohms  
sachant que les tensions et les courants peuvent s'ajouter ou se soustraire algébriquement..

La Puissance (*Watt*) dissipée dans une Résistance (*Ohm*) est égale à la Tension (*Volt*) aux bornes de la résistance multipliée par le Courant (*Ampère*) traversant cette résistance.

$$P = U \times I \quad \text{autre façon de l'exprimer} \quad P = UI = RI^2 = U^2/R$$

exemples d'utilisation de la loi d'Ohm :



Une résistance de 5Ω avec une résistance de 20Ω en parallèle est équivalente à une résistance de 4Ω.  
On peut écrire  $I=U/(4+R)$  et aussi  $Pp=Up^2/5=20$  d'où  $Up^2=100$  d'où  $Up=10$  et encore  $Up=Ix4$  d'où  $10=4x50/(4+R)$   $10(4+R) = 200$  donc  $4+R=20$  donc  $R=16\Omega$ .

Dans le second schéma, pour fonctionner correctement une Led doit être limitée en courant, car comme elle est passante dans le sens direct, s'il n'a pas de résistance de limitation, c'est le court-circuit, auquel la diode ne résistera pas. On limite le courant à 20mA, pour une chute de tension d'environ 1,4V (voir les data-sheets de la diode). D'où  $V=(R \times I) + 1,4$  donc  $12-1,4 = R \times 0,02$  soit  $580\Omega$ .

Il est d'usage courant d'utiliser les unités et leurs multiples et sous multiples : ce sont les puissances successives de 10  
Ohm, KiloOhm, Ampères, milliAmpères, Volts, milliVolts et KiloVolts soit  $10^0, 10^3, 10^0, 10^{-3}, 10^0, 10^{-3}, 10^3$   
attention ici, contrairement à l'informatique les Kilo valent 1000 et les Méga valent  $10^6$ .

## Les champs magnétiques et objets associés : aimants et bobines

D'autres constatations vont nous ouvrir de nouvelles portes et d'autres champs d'applications: l'électro magnétisme.

La circulation d'électrons dans un conducteur a-t-elle pour simple conséquence l'effet Joules ? En effet si nous avons la curiosité (hasard) de placer une aiguille aimantée près de notre circuit électrique, nous allons constater, en plus de l'allumage de l'ampoule une déviation de l'aiguille de la boussole, qui cessera lors de l'ouverture du circuit : le déplacement des électrons, qu'on appellera le courant électrique, fait dévier un aimant ... intéressant.

Nous ne rentrerons pas dans la théorie des champs magnétiques, Ampère, Maxwell et Tesla l'ont très bien fait pour nous, bornons nous à constater qu'à un déplacement d'électrons correspond un champ électrique induisant un champ magnétique et que lorsque deux champs magnétiques sont en présence, il s'exerce une force entre ces deux champs, attraction ou répulsion en fonction de l'intensité et du sens de ces deux champs. L'aiguille aimantée est aussi un champ magnétique. Que se passe-t-il lorsque deux champs magnétiques interagissent ? Soit les deux champs sont fixes, et on mesurera le champ vectoriel résultant (composantes des deux champs), soit l'un des champ peut bouger, alors une force attirera les deux champs de façon à aligner leurs lignes de champ. Cette force sera proportionnelle à l'intensité des deux champs, nulle quand les deux champs sont dans le même sens, maximale quand les champs sont opposés. Il faut noter que l'effet est réversible : si on a une variation du champ magnétique, on note une variation du courant induit par ce champs magnétique

*Qu'est ce qu'un aimant ? Tout objet comportant du Fer, notamment, matériaux ferromagnétique, se comporte comme un ensemble de petits grains aimantés mais orientés dans n'importe quel sens, l'ensemble est neutre du point de vue magnétique. Si on approche un champ magnétique, on constate que celui-ci attire l'objet, car les petits grains magnétiques vont avoir tendance à s'orienter dans le sens du champ magnétique, donc générer une force qui aura tendance à les attirer ou repulser, et si on augmente de façon considérable ce champ (champ coercitif), on constate que l'objet resta aimanté : on a créé un aimant dit permanent (rémanence). Si on chauffe cet aimant, on constate que l'aimantation disparaît, l'agitation moléculaire a détruit l'agencement magnétique. Pour obtenir de forts aimants permanents, on peut réduire le Fer (ou le Zirconium c'est plus efficace) en poudre, le mélanger à un liant (argile, résine ...), et à exposer l'ensemble entrain de sécher (cuisson, frittage) à un champ magnétique intense. On orientera toutes les particules magnétiques dans le même sens, et elles y resterons après solidification : on obtient un aimant.*

*On n'a pas pu, pendant longtemps, créer des moteurs à courant continu de taille raisonnable (à savoir intégrable dans une carrosserie de train miniature) car la maîtrise de la fabrication d'aimant remonte aux années 1930 alliage FeAlNiCo (Fer, Aluminium, Nickel, Cobalt), avec des aimants fragiles et encombrants, puis aux années 1945 avec les aimants en terres rares Neodyme, Bore, plus performants, puis enfin aux années 1960, avec le Samarium et le Cobalt, donnant des aimants permanents performants, et dont on maîtrise bien la métallurgie (la forme et la distribution des champs magnétiques comme nous le verrons). Ce que l'on a maîtrisé plus rapidement ce sont les moteurs fabriqués à partir de bobines, alternateurs, moteurs synchrones ... ce qui influencera énormément l'évolution de nos petits trains.*

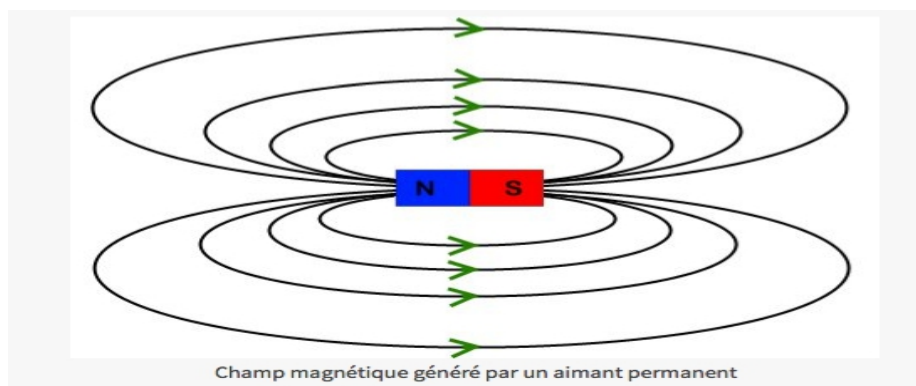
Représentation d'un aimant permanent : un pôle dit Nord, un pôle dit Sud

Fig 8



Le champ magnétique autour de l'aimant : les lignes de champ, lieux où l'aimantation est constante. On peut les visualiser facilement en semant de la poudre de fer sur une feuille de papier située sur l'aimant.

Fig 9



Une autre façon d'obtenir un champ magnétique est de créer un ensemble de spires enroulées autour d'un noyau en matériel ferro-magnétique (aimantable). Lorsqu'une spire est parcourue par un courant, il y a création d'un champ électrique induisant un champ magnétique que le noyau va canaliser : on a créé un électro-aimant. Si cette bobine est fixe, et qu'un objet métallique se trouve dans l'environnement, il sera attiré par l'électro-aimant : on crée ainsi un déplacement rectiligne. L'effet inverse existe dans les capteurs de déplacement (machines outils).

## Les machines tournantes : les moteurs, alternateurs et autres

Revenons à notre circuit électrique : si on associe un aimant permanent à un circuit parcouru par un courant que se passe-t-il ?

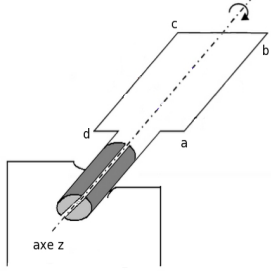
<p>Soit le un fil en cuivre F formant un plan abcd, pouvant tourner autour de son axe de rotation z. Les deux extrémités sont connectées à deux languette de cuivre isolées entre-elles (le collecteur) sur les quelles frottent deux contacts qui font ressort (les balais ou charbons). L'ensemble forme le Rotor, car ce sera la partie tournante du moteur</p>	
--	--

Fig 9

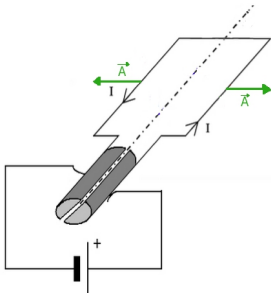
<p>Que se passe-t-il si nous connectons ce fil à un générateur électrique : un courant circule dans le fil, donc un champ électrique est généré des deux côtés, égaux, mais en sens opposés, puisque les courants circulent en sens opposés (champs A). Mais rien d'autre ne se passe.</p>	
--	--

Fig 10

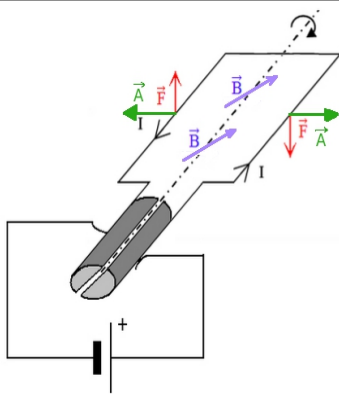
<p>Imaginons maintenant plonger cet ensemble dans un champ magnétique extérieur B. Que se passe-t-il sur la partie à droite, deux champs magnétiques se rencontrent, donc une force F se crée, idem pour la partie gauche, mais la force est dans l'autre sens, car B est le même mais A est opposé. Donc vu de l'axe z, l'ensemble abcd est soumis à deux forces contraires, comme le plan est libre de tourner, le plan va pivoter jusqu'à ce que les deux champs soient alignés, les forces F seront nulles. Par contre le collecteur a tourné, et si j'ai aligné la coupure des collecteurs avec le champ extérieur, l'inertie acquise par le plan abcd va dépasser un peu le point d'équilibre et alors les champs A vont s'inverser, car j'aurai inversé le sens du courant, donc c'est reparti pour un demi-tour, et ainsi de suite ... nous avons créé un moteur électrique à aimant permanent que l'on peut représenter sur le schéma suivant</p>	
--	---

Fig 11

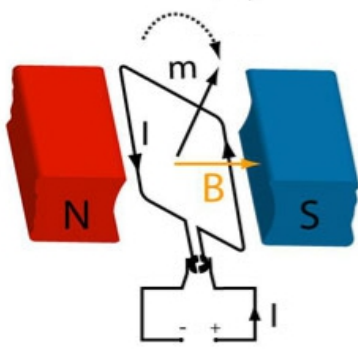
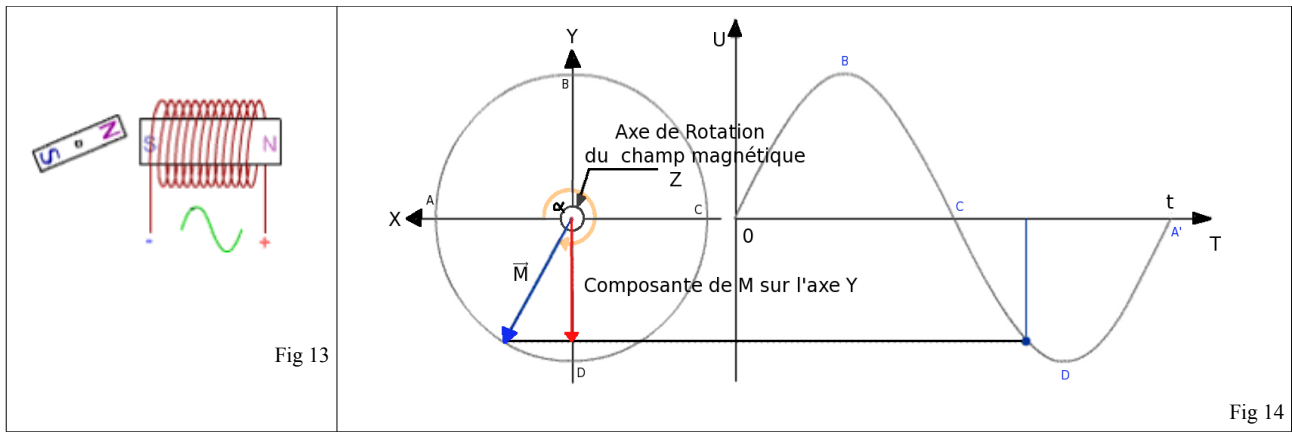
<p>L'aimant extérieur sera le Stator, car il reste fixe. Le Stator est aussi appelé Inducteur, le Rotor étant l'Induit. On remarque que si on inverse la polarité du générateur, le moteur tournera en sens inverse. Pour augmenter la puissance du moteur, au lieu de n'avoir qu'une seule spire dans le rotor, on va bobiner un ensemble de spires, on multiplie le champ créé par le nombre de spires, c'est une bobine. Pour avoir un moteur plus souple, on va s'arranger pour créer un champ toujours à peu près perpendiculaire au champ de l'inducteur, on multiplie les bobines, ainsi que les lamelles du collecteur.  Remarque qui peut poser problème : Que se passe-t-il si on déconnecte le générateur, qu'on ferme le circuit par une résistance, et qu'on fait tourner le rotor ? La spire coupe un champ magnétique, donc un courant est induit dans la boucle : le système est donc réversible, de moteur (consommateur d'énergie), on est devenu générateur (fournisseur d'énergie).  Mais quelle est la forme du courant ? Pour le comprendre reportons nous aux schémas suivants (fig 13 &amp; 14)</p>	
---	--

Fig 12

Lorsque la machine est à l'arrêt, il ne se passe rien. Lorsque l'aimant tourne alors la bobine voit un champ qui varie constamment la traverser, dû au mouvement de rotation du rotor, et crée ainsi un courant induit qui change lui aussi. Quelle est la forme du courant ?



Observons la rotation du champ magnétique, représenté par le vecteur tournant  $M$  (en bleu) autour de l'axe  $Z$  à une vitesse angulaire  $\omega$ . Ce que voit la bobine, c'est la composante sur l'axe  $Y$  du champ magnétique (vecteur en rouge), variant constamment en fonction du temps (angle de rotation  $\alpha$ ).

Si on observe à partir du point  $A$  (partie gauche de la figure 14), la valeur de cette composante sur l'axe  $Y$ , origine du temps, cette composante est nulle, puis croît jusqu'à un maximum  $B$ , puis décroît jusqu'à  $0$  en  $C$ , puis croît à nouveau, mais inversé jusqu'à  $D$ , pour décroître de nouveau jusqu'en  $A$ , lieu où nous nous retrouvons l'origine  $A$ .

Mathématiquement qu'a décrit cette composante ? Tout simplement la valeur du sinus de l'angle de rotation  $\alpha$  du vecteur  $M$ .

La bobine voit donc un champ magnétique variant continuellement la traverser, comme elle ne peut bouger, en réaction elle va donc induire un courant électrique. Si maintenant on observe le courant généré en fonction du temps (partie droite de la figure 14) il décrit aussi un sinusoïde qui débute en  $0$  ( $t=0$ ) au point  $A$ , puis croît jusqu'en  $B$ , le maximum, décroît et s'annule en  $C$ , continue de décroître jusqu'en  $D$ , le minimum, puis recroît jusqu'en  $A'$ . On a ainsi créé une machine génératrice d'énergie électrique appelée alternateur. Ce courant fourni est dit **alternatif** et a une forme **sinusoïdale**, noté AC (Alternative Current). Durant un tour de l'alternateur celui-ci crée une alternance de courant positive suivie d'une alternance négative, exactement symétrique. S'il n'y a pas de résistance de charge sur la bobine, on observe le même phénomène mais pour la tension (tension à vide de l'alternateur). La puissance du signal ne dépend que de la puissance de la source du mouvement moteur, aux pertes près, et donc à chaque instant on vérifie l'équation  $P=U \times I$ , donc à chaque instant relation linéaire directe entre courant et tension.

On appelle **période** la durée de ces deux alternances. La période est désignée par la lettre  $\omega$  et s'exprime en secondes.

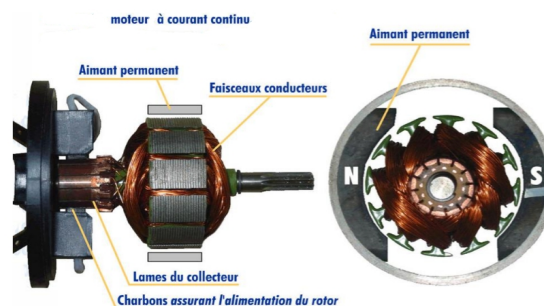
La **fréquence** est le nombre de périodes par seconde  $F=1/\omega$  elle s'exprime en Hertz (Hz). Donc la fréquence du courant est fonction de la vitesse de rotation de l'alternateur.

On appelle **amplitude** la valeur absolue (valeur sans le signe) de la tension entre le  $0$  de l'axe  $Y$  et le maximum sur cet axe. Attention dans un phénomène périodique le langage courant parle d'amplitude comme l'écart entre les valeurs extrêmes du phénomène qui ici sera désigné par valeur crête, soit  $2$  fois  $V_{max}$ . (exemple pour les marées, le marnage correspond à la valeur crête du phénomène).

La valeur efficace de ce courant est la valeur d'un courant continu ayant le même effet Joule dans une résistance, autrement dit c'est la valeur moyenne de deux sinusoïdes redressées, car l'effet Joules n'est pas signé : mathématiquement égale à  $V_{max} / 2^{1/2}$  ( $2^{1/2}$  racine de  $2$ ) ou encore  $V_{max} \times 2^{1/2} / 2$  soit environ  $V_{max} \times 0,7$ . Cette valeur est aussi appelée RMS (Root Mean Square). Attention, valable pour un signal sinusoïdal, dans le cas d'un signal triangulaire :  $V_{max} \times$  racine de  $3/3$ , ou d'un signal carré  $V_{max}$ .

Les alternateurs peuvent aussi fonctionner en moteurs, au lieu d'utiliser un aimant permanent comme rotor, on va comme dans le moteur à courant continu utiliser une bobine en forme d'anneaux (la cage d'écurie) et un collecteur, puis brancher la bobine du stator en série : couplage série. Si on alimente l'ensemble en courant alternatif, on obtient un moteur asynchrone. Dans le cas où on utilise une simple bobine comme rotor, on obtient un moteur synchrone, c'est à dire qu'il tourne à la même vitesse que le champ magnétique, ce qui peut être intéressant dans certains cas. La vitesse de rotation d'un moteur asynchrone est à peu près proportionnelle à la tension d'alimentation, ces moteurs malgré quelques inconvénients ont été les premiers à être fabriqués dans les années 1880.

Schéma d'un moteur électrique :



## Les transformateurs

Quittons momentanément les machines tournantes, et créons un nouvel ensemble :

Bobinons un ensemble de spires en cuivre, appelée primaire, autour d'un « noyau magnétique » la carcasse, qui est seulement un empilement de plaques de fer. Puis bobinons un second ensemble de spires, appelée secondaire, isolées électriquement de la première bobine. On crée ainsi un Transformateur

Que se passe-t-il si on alimente avec un courant alternatif la première bobine ? Cet ensemble de spires parcourues par un courant électrique variable va générer un champ électrique variable, donc un champ magnétique variable, qui sera transmis par les plaques de tôles, et donc chaque spire de la seconde bobine verra un champ magnétique variable la traverser, d'où un courant électrique variable induit dans cette bobine, car cette seconde bobine est fixe et ne peut se déplacer. Le courant induit aura la même forme d'onde que le courant primaire. Donc pas d'effet moteur, mais un courant et une tension de même forme d'onde que le courant au primaire à savoir alternatif.

Mais que valent ce courant et cette tension ?

Sans rien calculer, intuitivement, si le nombre de spires du secondaire est égal au nombre de spires du primaire, les mêmes causes créant les mêmes effets, on peut légitimement penser que les courants et tensions résultants seront les mêmes. Effectivement les calculs le montrent, à un petit détail près, que c'est exact

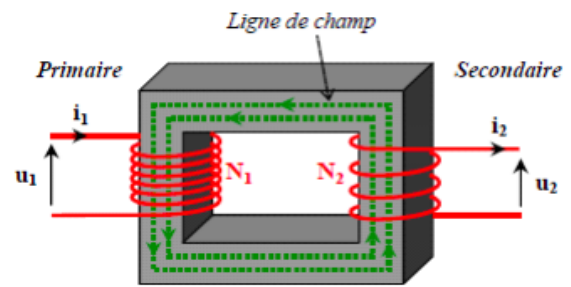
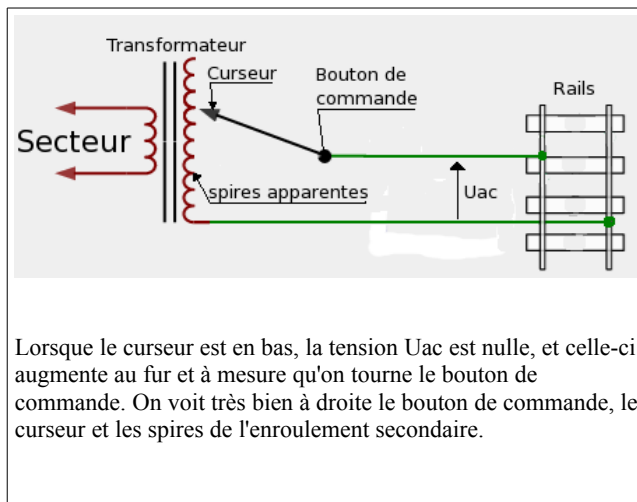


Fig 15

à vide, mais que si on charge la seconde bobine, le courant ne sera pas nul, et on va engendrer des pertes, par circulation des électrons dans le cuivre du bobinage (pertes cuivre), mais aussi le champ magnétique créé ne sera pas forcément capté intégralement par la seconde bobine (les pertes fer). Ces pertes pour une machine correctement dimensionnée seront d'environ 5% de la puissance transmise.

Donc retenons que  $V_P/V_S = N_b\text{Spires}_P/N_b\text{Spires}_S$ , la tension du secondaire est proportionnelle à la tension du primaire multipliée par le rapport du nombre de spires.

Un cas particulier le transformateur pour train électrique : les spires de secondaire sont bobinées sur le dessus de la carcasse, un curseur muni d'un bouton rotatif pouvant glisser sur ces spires légèrement mises à nu (on gratte le verni sur les spires). Ainsi lorsqu'on tourne le bouton du transformateur, la douille de sortie qui alimente les rails voit le nombre de spires augmenter, donc la tension augmenter, car on ne touche pas au primaire.



Pourquoi travailler en alternatif ? Pour plusieurs raisons dont l'immense avantage est qu'il est aisé de modifier la tension fournie par un générateur en courant alternatif, alors qu'en continu ce n'est pas facilement possible et, il qu'il est facile de transformer un courant alternatif en continu. En gros, c'est dû à la distribution de l'électricité par les fournisseurs d'énergie, en fait les pertes dans les fils électriques sont dues au passage du courant dans les fils, et non à la tension, donc plus la tension est élevée, plus le courant est faible, donc plus les pertes sont faibles. Soit  $R$  la résistance des fils du réseau, si pour une énergie transportée sous une tension de 230V la perte sera  $P_1 = R \times I_1^2$ , sous 230KV la perte sera  $P_2 = R \times I_2^2$ , comme  $I_2$  est 1000 fois plus petit que  $I_1$  pas besoin de faire le calcul.

*Une expérience facile : vous observez votre compteur électrique, celui-ci tourne en vous indiquant la quantité de courant consommée. Avec un voltmètre vous mesurez la tension aux bornes d'entrée du disjoncteur de tête, vous trouvez 230V (si vous ne vous êtes pas trompé de calibre), puis vous isolez le compteur en disjonctant ce disjoncteur de tête, donc vous isolez tous les appareils consommateurs de courant chez vous, les lumières s'éteignent, les radiateurs ne chauffent plus, il n'y a plus de musique ... , votre voltmètre vous indique toujours 230V, mais le compteur ne tourne plus. C'est bien la preuve que vous ne consommez plus, donc la consommation ne dépend pas de la tension, mais seulement du courant que vous absorbez. Comme vous avez toujours la relation  $P = U \times I$ , comme  $I$  est nul,  $P$  est nulle aussi.*

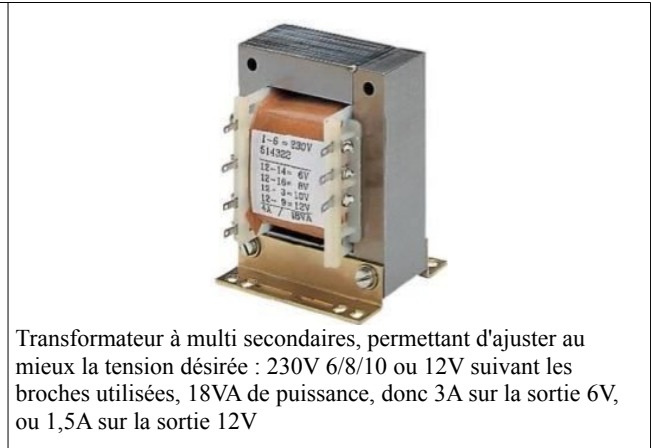
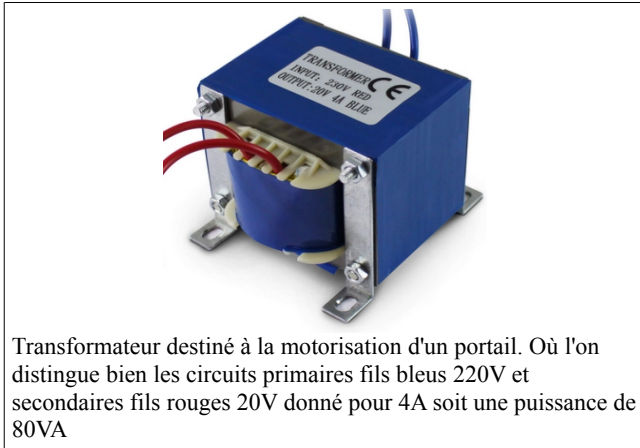
*Le fournisseur d'électricité va fabriquer son électricité avec un alternateur, relié à une turbine à vapeur dans une centrale nucléaire, ou à charbon, puis augmenter la tension aux alentours de 400.000V, la transporter sur le réseau Haute tension à longues distances, l'abaisser localement à environ 20.000V, puis la distribuer sous 230V à chaque particulier. Comment modifier simplement la valeur de ces tensions : avec un transformateur.*

*Si l'on considère qu'une tension électrique est dangereuse à partir de 24V en alternatif et 48 volts en continu, que dire de la tension du réseau 230V 50Hz, soit une tension  $V_{max} = 230 \times \text{racine de } 2 = 230 \times 1,4 = 322V$  soit crête 644V ... Toutes deux comportent en plus des risques de brûlures, une tension continue va provoquer une électrolyse du sang, une tension alternative, en plus va provoquer une tétanisation des muscles (cardiaques et respiratoires)... d'où dangers.*

D'autres raisons font que la distribution électrique se fait habituellement en courant alternatif :

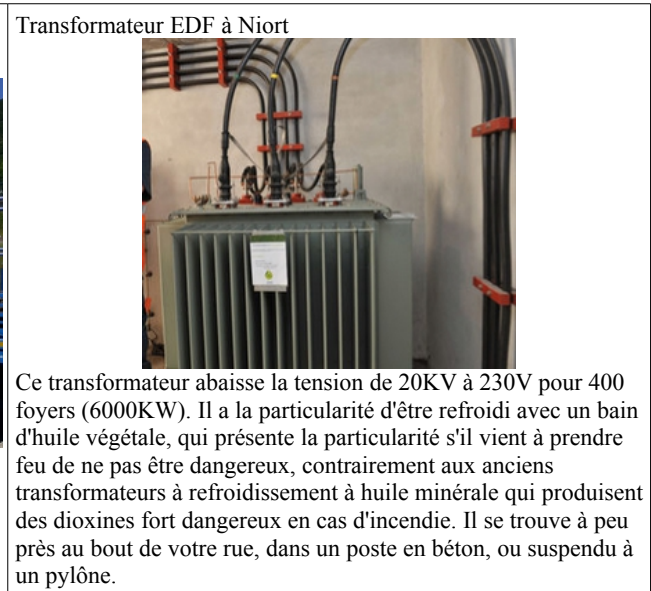
- Les alternateurs qui produisent le courant alternatif sont plus simples à réaliser et ont un meilleur rendement que les générateurs de courant continu (pas d'aimant permanent géant).
- La coupure d'un courant alternatif est plus facile à réaliser car le courant passe régulièrement par zéro alors qu'en courant continu un arc électrique a tendance à survenir lors d'une coupure (ionisation de l'environnement des contacts et donc difficulté à couper ou à commuter le courant).
- Le courant alternatif est aisément transformé en courant continu.
- Le courant continu polarise les pièces sous tension et celles-ci sont plus sensibles à la corrosion (électrolyse, voir les piles stockées longtemps sans servir)

Photos de transformateurs :



la puissance dans les transformateur, et en général dans les appareils électrotechniques est toujours donnée en VA (Volts x Ampères) et non en Watts, car dans ces appareils il peut (il y a même toujours) déphasage entre le courant et la tension, seule la relation  $VA = Watts$  n'est vérifiée qu'en courant continu (DC pour Direct Current). Pour les petites installation telle que celle-ci on assimile  $VA = Puissance = Watt$ .

La forme des transformateurs dépend bien sûr de leur usage, et donc de leur puissance

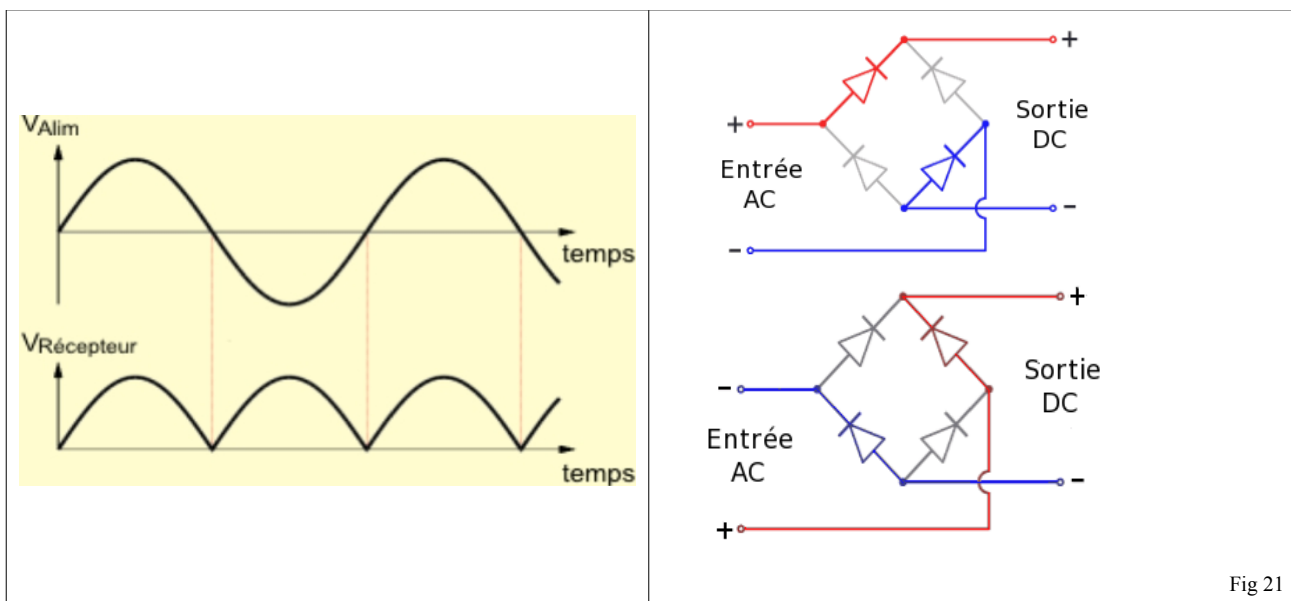
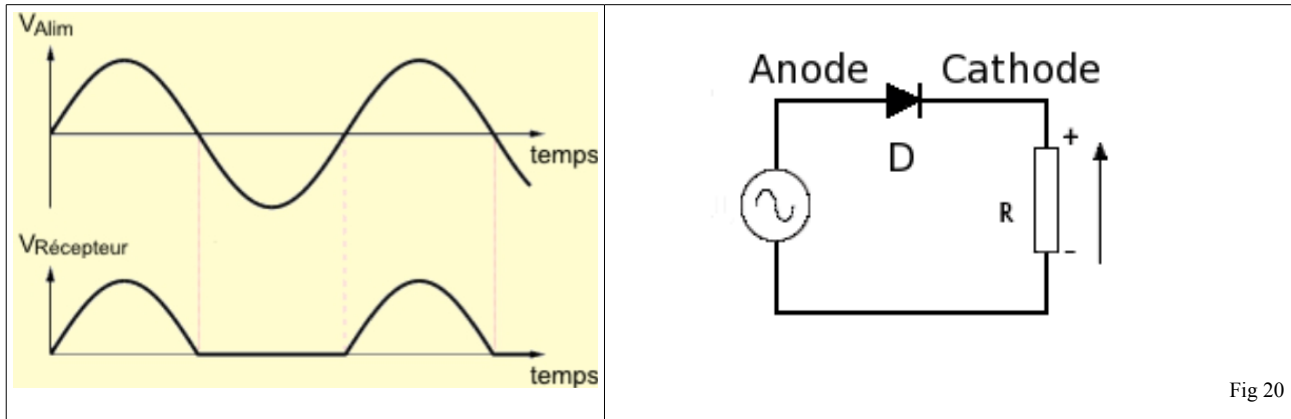




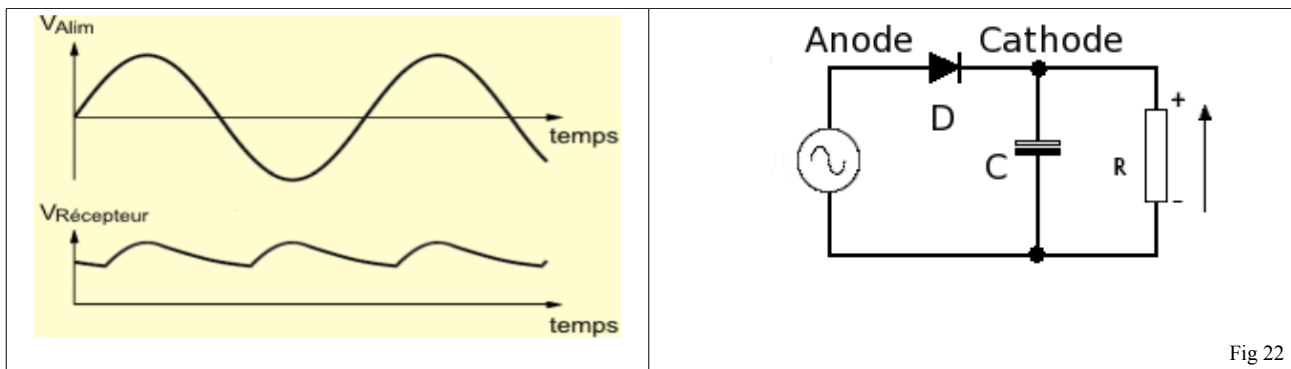
## Redressement, Filtrage

Comment passer facilement du courant alternatif au courant continu ?

Le redressement consiste à supprimer l'alternance négative d'une tension on parle de redressement simple alternance, ou mieux à ramener l'alternance négative vers l'alternance positive, on parle alors de double alternance. Par ces techniques on obtient une tension de ce style : c'est du courant redressé.



Bien me direz vous, mais la forme de l'onde n'est pas continue .... il faut ajouter un petit composant qui va permettre de lisser la tension, c'est le rôle du condensateur, qui va effectuer ce filtrage :



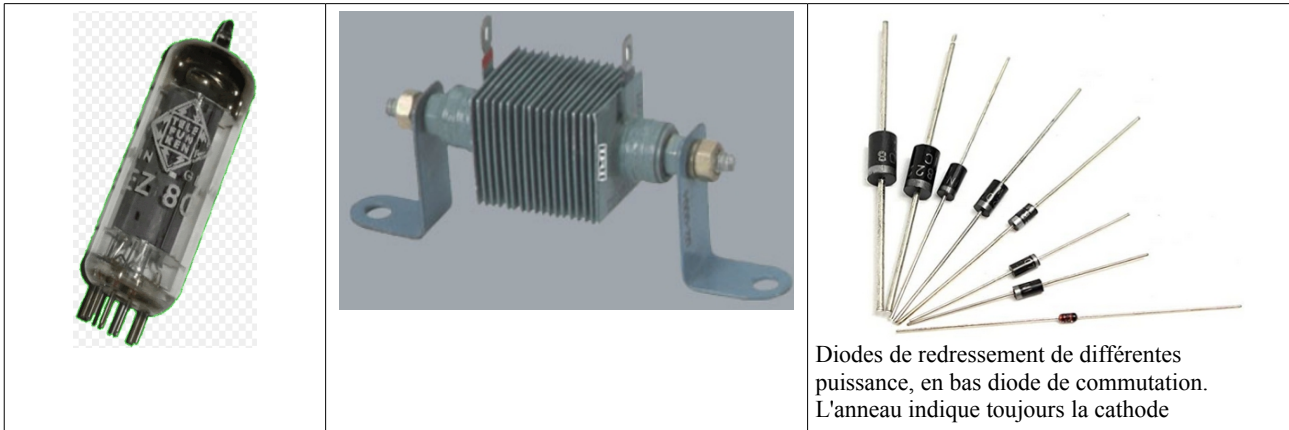
Comment tout ceci fonctionne ? Pour le redressement on va utiliser un composant simple : la diode (valve en anglais qui indique bien sa fonction). Une diode est un composant qui va laisser passer le courant que dans un sens, aussi est-elle munie de deux électrodes l'anode, qui va laisser entrer le courant électrique et la cathode qui va le laisser ressortir. Dans l'autre sens il ne passe pas de courant. C'est un composant polarisé représenté comme une flèche Fig 20.

Soit une alternance positive sur la figure 20, la diode étant passante, le courant passe croit puis décroît, pendant l'alternance négative, la diode se trouve bloquée, le courant ne passe pas. On recopie en sortie que l'alternance positive.

Dans le cas d'un redressement double alternance figure 21, nous utilisons 4 diodes (pont redresseur), lors de l'alternance positive deux diodes seront passantes, et les deux autres bloquées, en sortie on recopiera la forme de l'onde en entrée. Lors de l'alternance négative les diodes passantes deviennent bloquées, et les bloquées passantes, ainsi on aura toujours une alternance positive sur la sortie, on recopie l'entrée mais inversée.

Les diodes telles que nous les connaissons, semi-conducteur germanium ou silicium datent des années 1960, avant on utilisait l'effet Edison dans les tubes à vide (diode de détection en radio puis de redressement, inventée par Eccles en 1895) encombrantes, fragiles, peu puissantes (redresseurs à vapeur de mercure), puis les cellules au sélénium encombrants, car d'une tension inverse relativement

basse, quelques volts, qui se trouvaient sous la forme de plaques carrées montées en série.



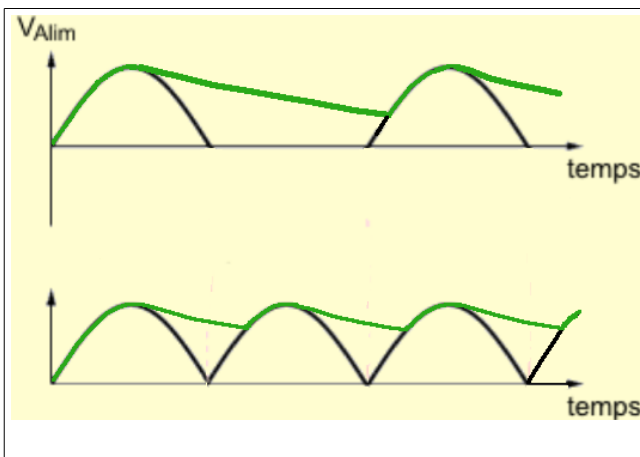
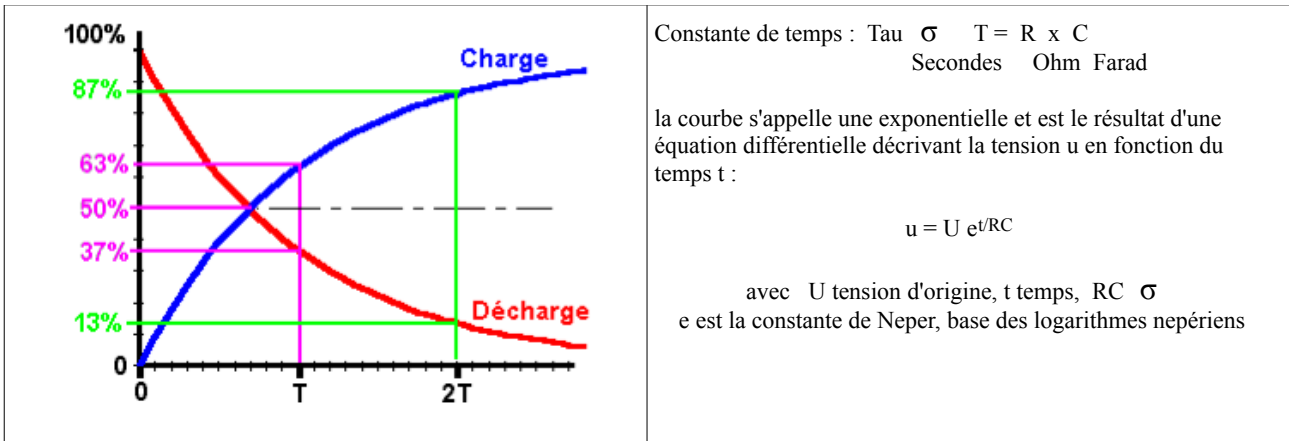
Le filtrage, pour obtenir une tension continue à partir d'un redressement double alternance (de préférence), est obtenu en ajoutant encore un petit composant : le condensateur. Ce composant est très simplement fabriqué avec deux plaques conductrices face à face, séparées par un matériau isolant (diélectrique). Un condensateur ne s'utilise pratiquement qu'en courant continu (les autres usages étant réservés aux techniques de la radio). Le principe est simple, lorsqu'on le connecte à un générateur d'électricité, la plaque négative se charge d'électrons, car la plaque positive les attirent. Si on déconnecte le condensateur, les électrons emmagasinés restent (théoriquement). On a donc fabriqué un engin susceptible d'emmagasiner de l'énergie, d'où son ancien nom de capacité. Il est bien évident que cette charge va disparaître, car l'isolant, aussi appelé diélectrique, n'est jamais un parfait isolant, et a une résistance non nulle, les électrons vont donc passer sur la plaque positive et annuler la charge. La capacité d'un condensateur est exprimée en Farads avec la relation suivante

$$Q = C \times U \quad Q \text{ quantité d'électricité exprimée en Coulombs, } C \text{ capacité en Farads, } U \text{ tension en Volts}$$

Il faut toujours éviter de charger directement un condensateur sur un générateur électrique, car au départ un condensateur non chargé se présente comme un court-circuit, qui peut-être fatal au générateur, surtout avec les supers-condensateurs apparus récemment. Une résistance en série permet de limiter le flux d'électrons. Mais faisons simple pour expliquer le filtrage.

La courbe de charge, ou décharge d'un condensateur à travers une résistance a la forme d'une exponentielle, début rapide, s'amointrissant avec le temps

et a cette forme

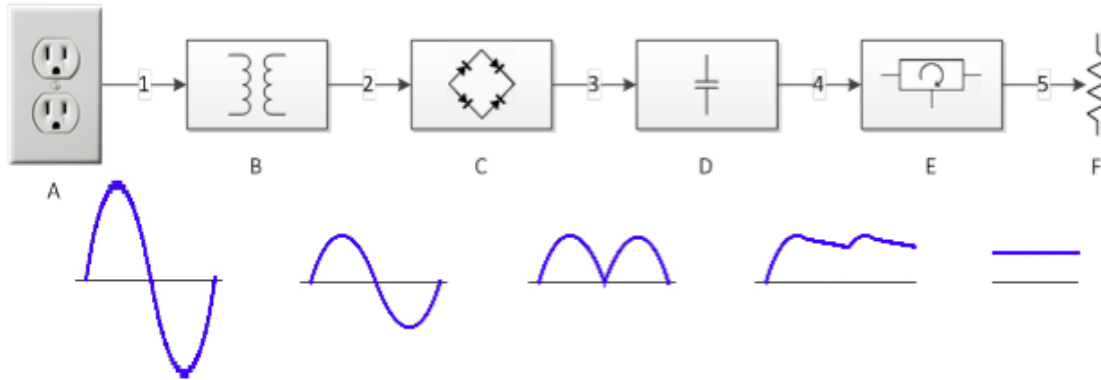


Donc lorsqu'on connecte la source, le condensateur  $C$  se charge à travers la diode  $D$ , il emmagasine des électrons, et comme la diode a une faible résistance interne, la tension  $U$  suit la courbe d'entrée. Arrivé au maximum, la tension d'entrée décroît, mais la tension  $U$  va décroître moins vite du fait que le condensateur a accumulé des électrons, donc il les restitue (les calculs sont complexes, donc la décharge dure un certain temps comme eut dit Fernand Raynaud). On trouve donc un courant plus ressemblant à du courant continu. Sur ce schéma on voit très bien que le système est plus efficace en double alternance les variations d'amplitude de la tension de sortie sont moindres. En fait à quoi ressemble le signal de sortie ? Cela dépend de la résistance  $R$ , si  $R$  est très grande, il n'y aura pas consommation de courant, donc le condensateur ne se déchargera pas, donc la tension de sortie sera continue. Si  $R$  est beaucoup plus faible, les variations seront plus importantes.

Quelles sont les caractéristiques d'un condensateur, à part sa valeur de capacité, de quelques picofarads, à quelques microfarads, proportionnelle à la surface des plaques en regard, et inversement proportionnelle à l'épaisseur du diélectrique, une autre valeur est très importante. Le condensateur étant constitué d'un diélectrique fin, la tension de service est très importante, si on la dépasse on risque le claquage, c'est à dire destruction du diélectrique à cause d'un champ électrostatique trop important. Les condensateurs de forte valeur de capacité sont de technologie électro-chimiques, et sont polarisés. Un fort condensateur branché à l'envers peut être extrêmement dangereux (explosion). Les super-condensateurs actuels peuvent atteindre 1,5F sous 2,3V, grâce à l'utilisation de solvants organiques (quelques nanomètres d'épaisseur) et au charbon fritté (surface de contact d'environ 1000m<sup>2</sup> pour 1 gramme de charbon). Ces condensateurs ont pour vocation à remplacer les batteries d'accumulateurs, car d'une durée de vie bien supérieure.

Donc en filtrage plus la valeur capacitive du condensateur est importante, meilleure sera la forme d'onde de la tension de sortie.

Schéma d'une alimentation idéale : prise secteur (A), transformateur (B), redresseur (C), filtre (D), régulateur (E) \*: la tension restera constante quelque soit le courant absorbé (dans les limites calculées)



\* nous rencontrerons le régulateur plus loin dans notre exposé

