

ALIMENTER EN ÉNERGIE

Comme cela a été présenté dans l'analyse fonctionnelle, et dans le 1^{er} chapitre, un produit n'existe que pour répondre à un besoin, une certaine attente exprimée en termes de fonctions de service, ici une **action à réaliser** :

La communication d'énergie que cela nécessite et la chaîne d'énergie dans son ensemble constituent pour le concepteur un aspect essentiel du produit.

Une majorité de produits fonctionnent à partir d'**énergie électrique**, très largement diffusée, certains systèmes utilisent l'**énergie hydraulique** (ou l'**énergie pneumatique**) et l'**énergie mécanique** sont les **quatre énergies d'alimentation** considérées dans ce chapitre.

Compétences visées :

- ♦ **Identifier** les grandeurs d'entrées et de sorties d'un préactionneur.
- ♦ **Décrire** les grandeurs physiques d'entrée et de sortie d'un actionneur et le principe de conversion de l'énergie.
- ♦ **Identifier** par observation ou par la mesure les paramètres d'entrée et de sortie et **décrire** dans les cas simples le principe physique impliqué dans le comportement du mécanisme.
- ♦ Sur le système réel ou sur le simulateur, **effectuer** le câblage hors énergie et **vérifier** le fonctionnement de tout ou partie d'un circuit de puissance et/ou de commande pneumatique (hydraulique), mécanique ou électrique basse tension.

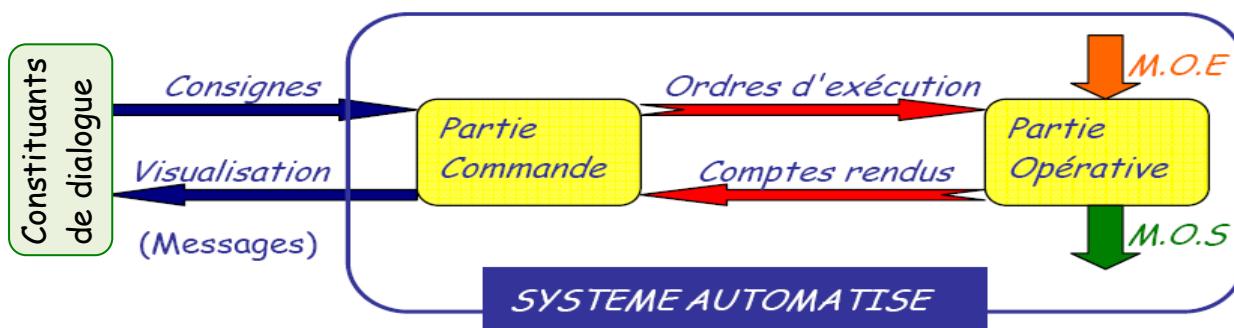
CHAÎNE FONCTIONNELLE (Rappel)

STRUCTURE D'UN SYSTÈME AUTOMATISÉ :

Tout système automatisé se compose d'une :

↳ **Partie Opérative** : agit sur la matière d'œuvre, sur ordre de la **Partie Commande (PC)**, afin de lui procurer la valeur ajoutée.

↳ **Partie Commande** : coordonne les actions de la partie opérative. Elle donne les ordres en fonction des consignes de l'opérateur et des comptes-rendus d'exécution transmis depuis la **Partie Opérative (PO)**.



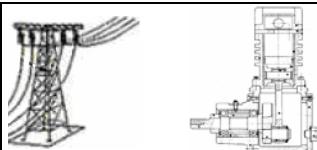
Remarque :

La **Partie Commande (PC)** et la **Partie Opérative (PO)** sont en relation de manière bidirectionnelle.

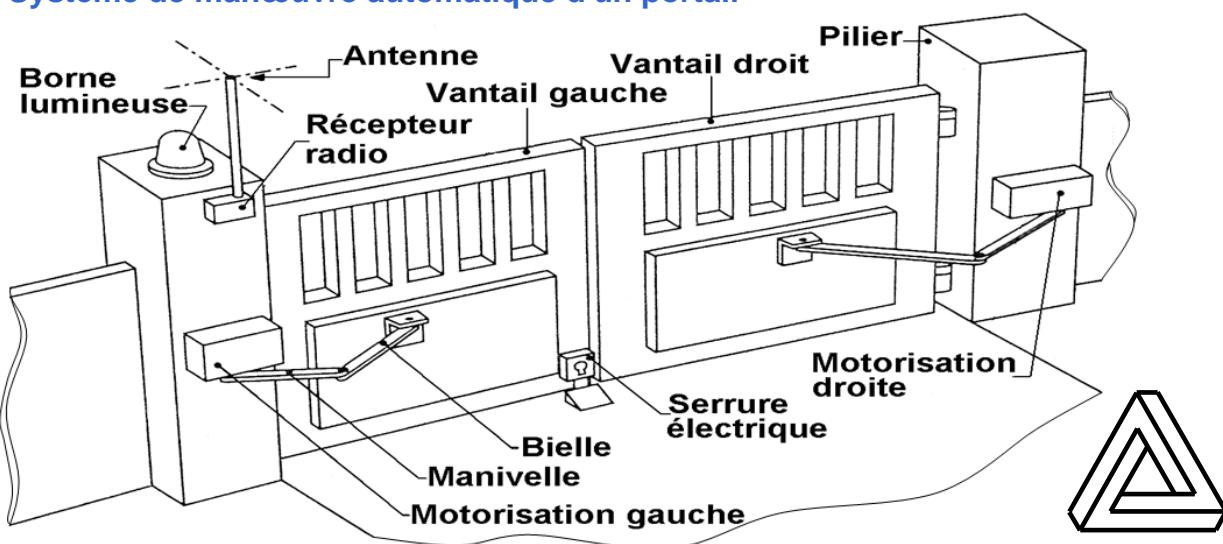
♦ Une relation de la **PC** vers la **PO** est appelée **chaîne d'action**. (Voir l'exemple ci-dessous)
Elle permet de réaliser l'action sur la matière d'œuvre à partir de l'ordre émis par la **PC**.

♦ Une relation de la **PO** vers la **PC** est appelée **chaîne d'acquisition**. (Voir l'exemple ci-dessous)
Elle permet de prélever des informations sur la **PO** et de les transmettre à la **PC**.



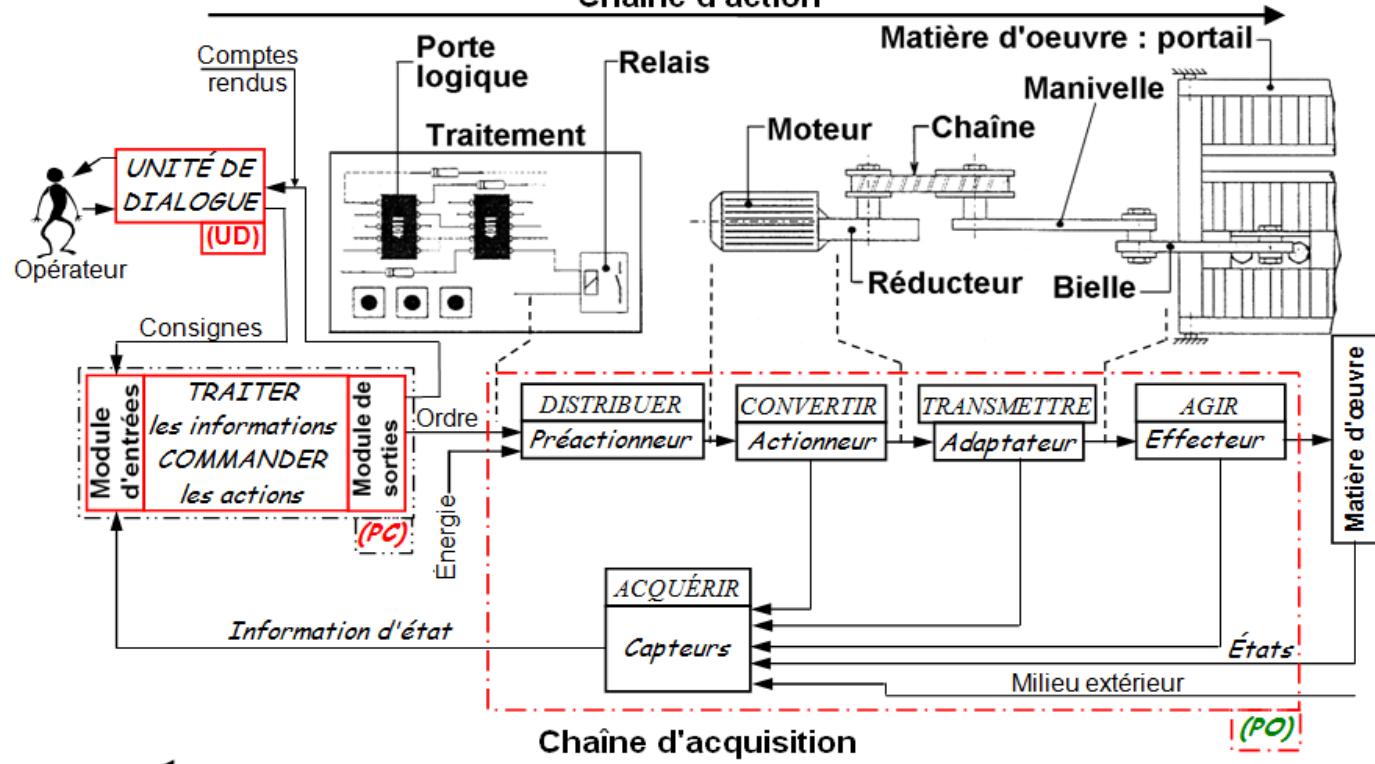


Exemple : Système de manœuvre automatique d'un portail



Chaîne d'action et d'acquisition de système de manœuvre automatique d'un portail.

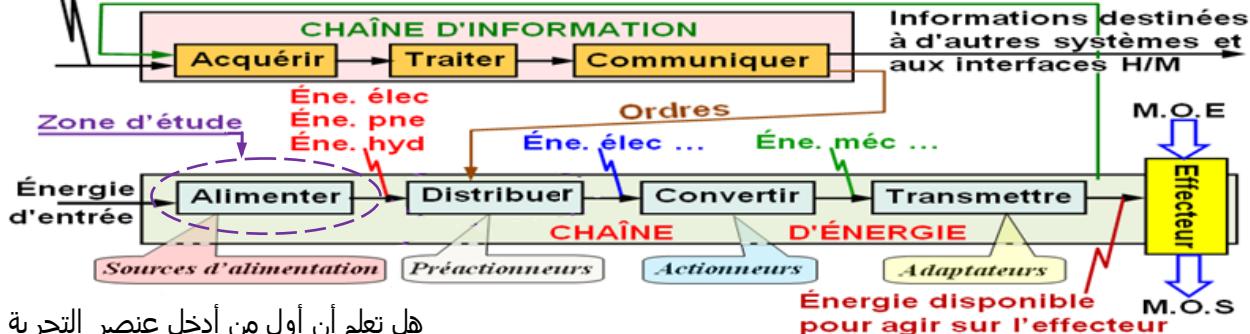
Chaîne d'action



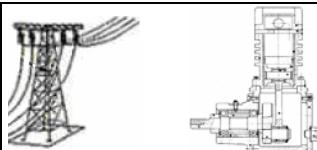
A- SITUATION DE LA FONCTION GÉNÉRIQUE ALIMENTER EN ÉNERGIE :

Informations issues d'autres systèmes et d'interfaces H/M

Grandeurs physiques à acquérir

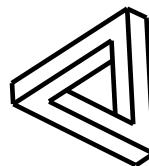


هل تعلم أن أول من أدخل عنصر التجربة
والمعلم في الدراسة هو حابر بن حيان؟



B- DÉFINITION DE LA FONCTION GÉNÉRIQUE ALIMENTER EN ÉNERGIE :

Alimenter c'est fournir au système l'énergie électrique, pneumatique, hydraulique ou mécanique dont il a besoin pour fonctionner. L'origine de cette énergie peut provenir d'une alimentation réseau ou locale. Pour réaliser ce but, cette fonction générique " alimenter " est toujours associée aux fonctions génériques distribuer et convertir.



C- TYPES D'ALIMENTATION :

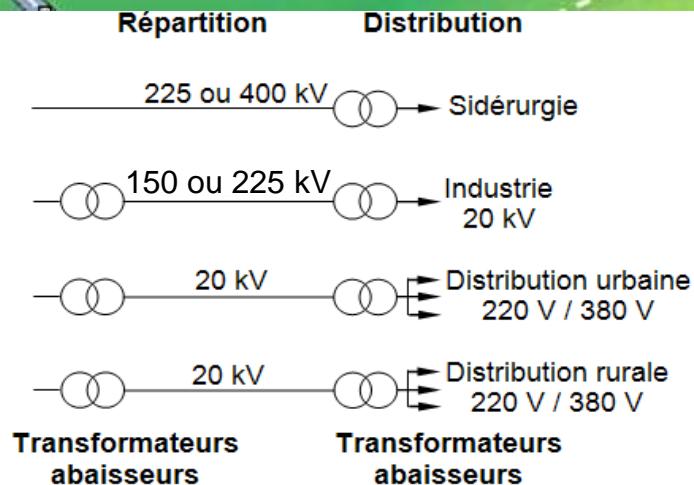
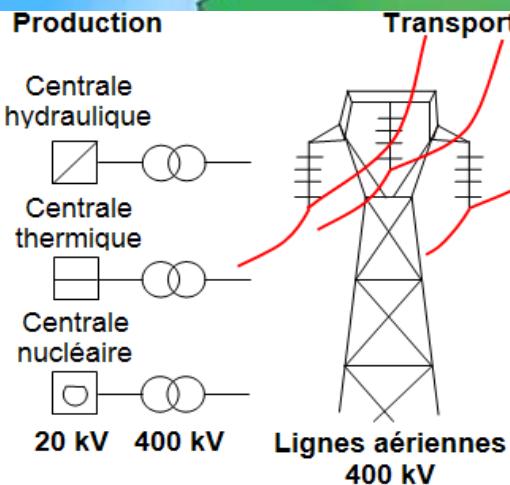
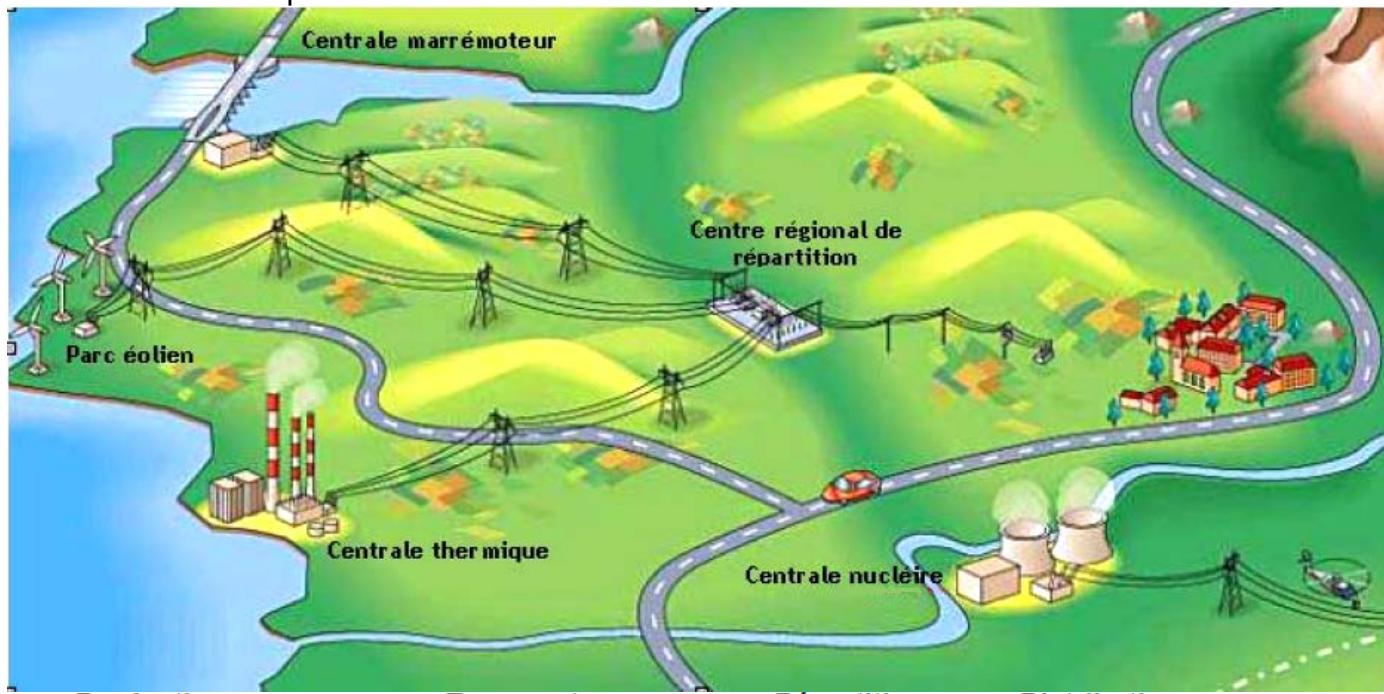
C.1- ALIMENTATION ÉLECTRIQUE :

C.11- Alimentation réseaux :

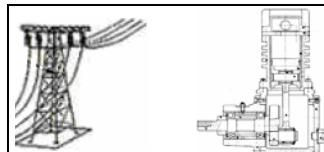
À partir d'un point de connexion (exemple prise 220 V). L'énergie produite par les réseaux est donc consommée en même temps. Cette alimentation d'énergie s'effectue en 3 phases : produire, transporter et distribuer l'énergie.

Aspect technologique de l'énergie électrique :

Le système électrique comprend des sites de production (thermiques, hydrauliques, éoliennes, centrales nucléaires, solaire, etc.), et des lieux de consommation (communes, entreprises, etc.), reliés par le réseau électrique (transport et distribution). Ce dernier a pour rôle d'acheminer l'énergie vers les lieux de consommation, avec des étapes d'élévation et de baisse du niveau de tension dans des postes de transformation.



هل تعلم أن Joseph John Thomson هو مكتشف الإلكترون سنة 1897؟



La tension à la sortie des grandes centrales est portée à 400 000 volts afin d'éviter trop de pertes dues à l'échauffement des fils conducteurs "Effet Joule". Ensuite, la tension est progressivement réduite au plus près de la consommation, pour arriver aux différents niveaux de tension auxquels sont raccordés les consommateurs (400 000 volts, 225 000 volts, 90 000 volts, 63 000 volts, 20 000 volts, 400 volts, 220 volts suivant leurs besoins en puissance). Ces cités (centrales) de sources d'énergie différente sont toutes besoin d'une **machine tournante** afin de produire l'électricité (une turbine - ou une hélice - mise en rotation par un débit d'eau, de vent ou de vapeur entraîne un alternateur qui produit l'électricité).

L'**ONE** (Office National d'Électricité) assure cette fourniture par l'exploitation directe d'unités de production ainsi que par les ouvrages qu'il a confiés à des opérateurs privés.

En termes de production le réseau national a pour mission :

- ◆ D'assurer une gestion optimale du parc de production ;
- ◆ De veiller à la satisfaction de la demande en énergie électrique exprimée par le Dispatching National, et ceci dans les meilleures conditions de sécurité, de rendement, de disponibilité et de coût. Le parc national de production est composé de moyens de production thermique, hydraulique et éolienne.

À fin 2014, la puissance totale installée du parc de production électrique de l'Office s'élève à 7 994 MW, contre 7 342,2 MW en 2013. 32% de la puissance installée est de source renouvelable.

Source : Site Web officiel de l'**ONE**.

Centrales	Puissance installée en MW*
Usines hydrauliques	1306
STEP **	464
Centrales thermiques vapeur	3145
Charbon	2545
Fioul	600
Centrales turbines à gaz	1230
Cycle combinés	850
Thermique Diesel	202
Total Thermique	5427
Éolien ***	797
Total ONE	7994

(*) 1 Mégawatt = 10^6 Watt ;

(**) **Production STEP** : Station de Transfert d'Énergie par Pompage (fonctionne en circuit fermé et ne consomme pratiquement pas d'eau). La production de la STEP durant l'année 2014 a été de 395,454 GWh contre 205,381 GWh en 2013.

(***) **Production éolienne** : Durant l'année 2014, la production éolienne a atteint 1 923,764 GWh y compris l'énergie éolienne via réseau client contre 1356,1 GWh en 2013.

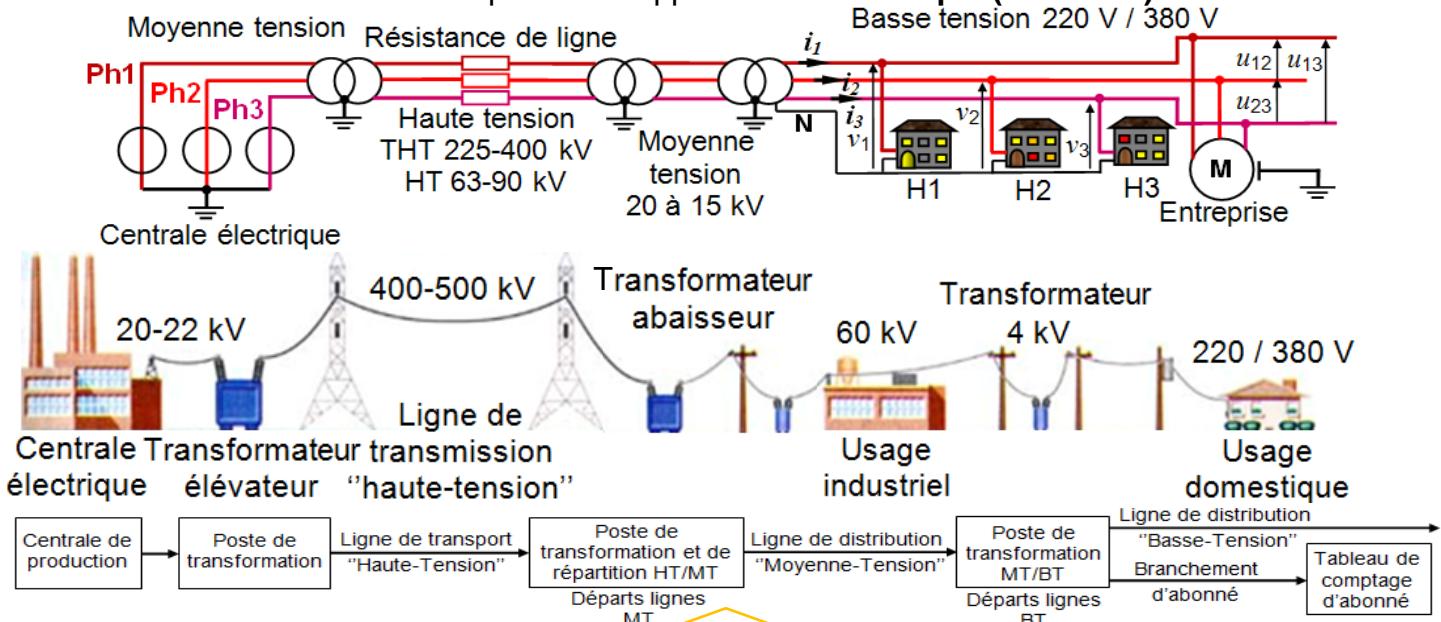
● Le mode de transport de l'énergie électrique :

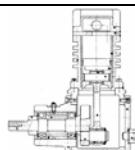
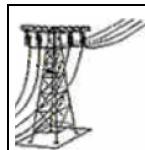
Pour des besoins industriels, on transporte l'énergie électrique sous forme **triphasée**.

Dans ce cas nous avons 4 conducteurs (en général) : - 3 conducteurs de **phase** (Ph1, Ph2, Ph3) ;
- 1 conducteur appelé **neutre** (N).

La tension entre conducteurs de phase est appelée **tension composée** ($U = 380$ V).

La tension entre le neutre et une phase est appelée **tension simple** ($V = 220$ V).

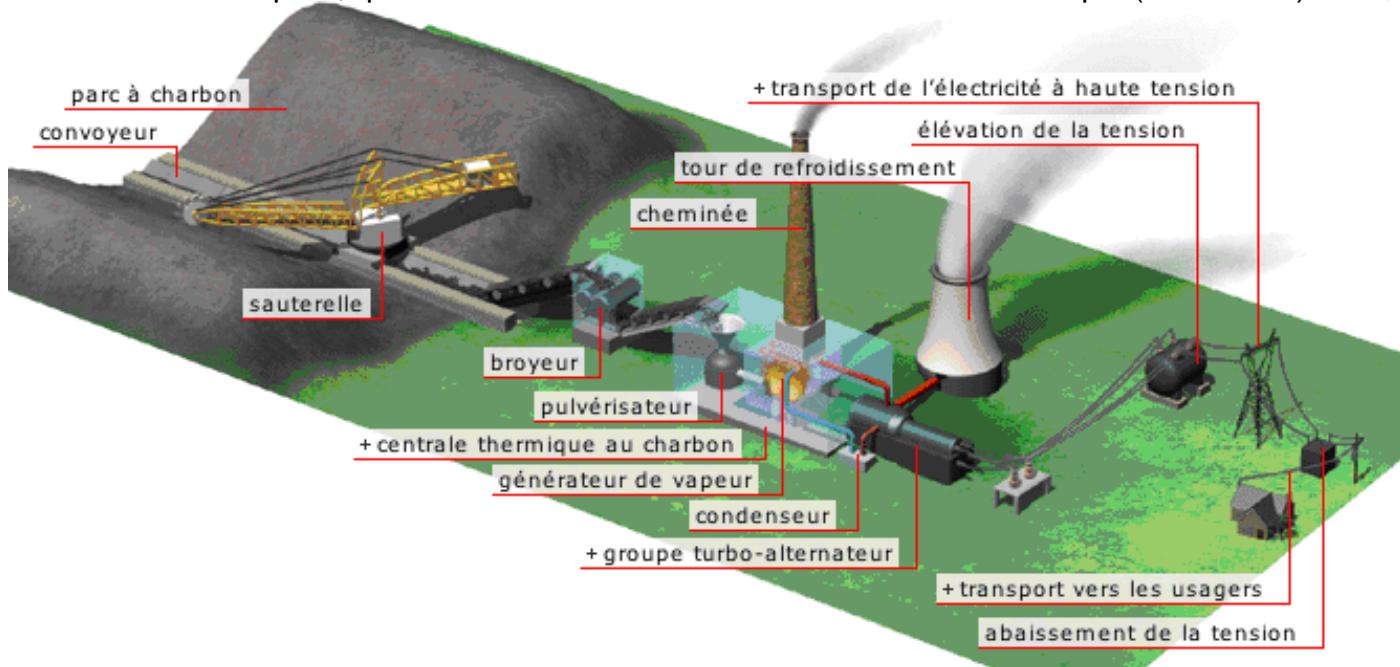




Quelques exemples de production d'électricité

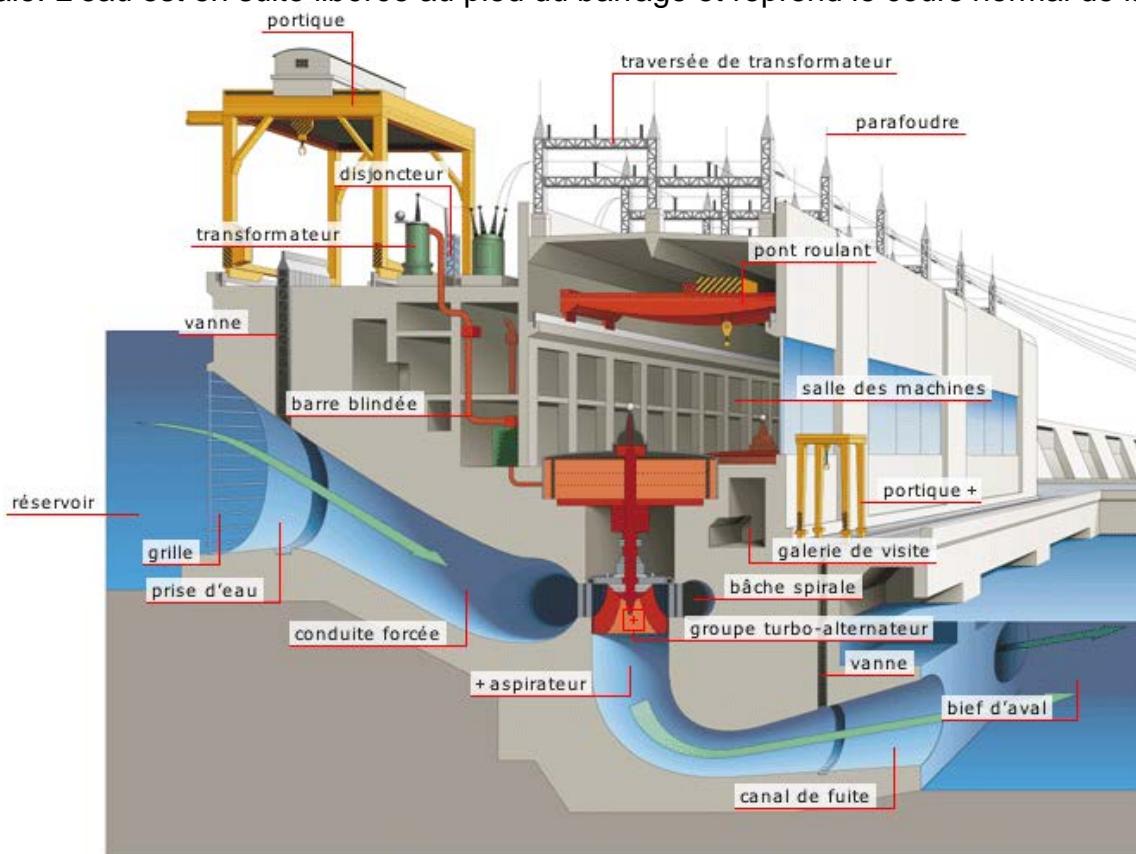
↳ Production d'électricité par énergie thermique

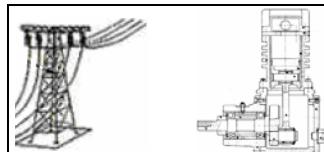
L'énergie libérée par la combustion des matériaux (fossiles charbon, lignite, gaz naturel) est transformée en chaleur. Cette chaleur est transformée en énergie mécanique par l'intermédiaire d'une turbine à vapeur, qui sert à entraîner en rotation une machine électrique (alternateur).



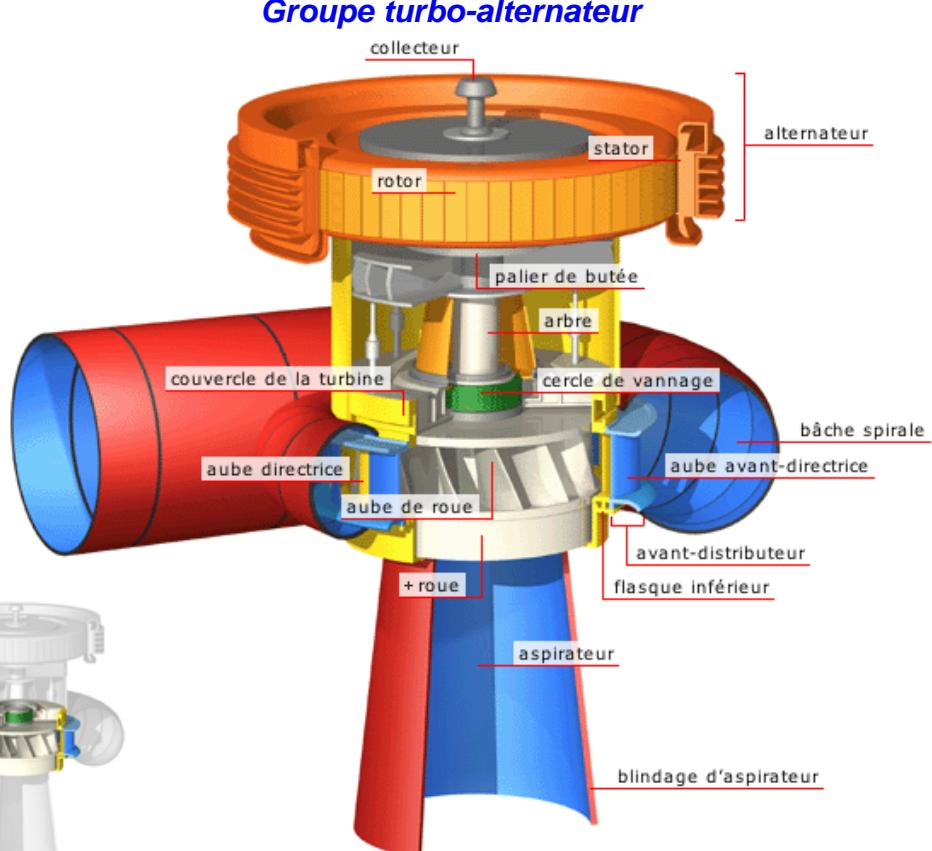
Coupe d'une centrale hydraulique

Pour produire de l'électricité, les vannes du barrage sont ouvertes, l'eau passe alors dans une conduite forcée dans le barrage, sa vitesse augmente. A la sortie de cette conduite, l'eau fait tourner une turbine qui entraîne elle-même un alternateur qui produit une tension alternative sinusoïdale. L'eau est en suite libérée au pied du barrage et reprend le cours normal de la rivière.

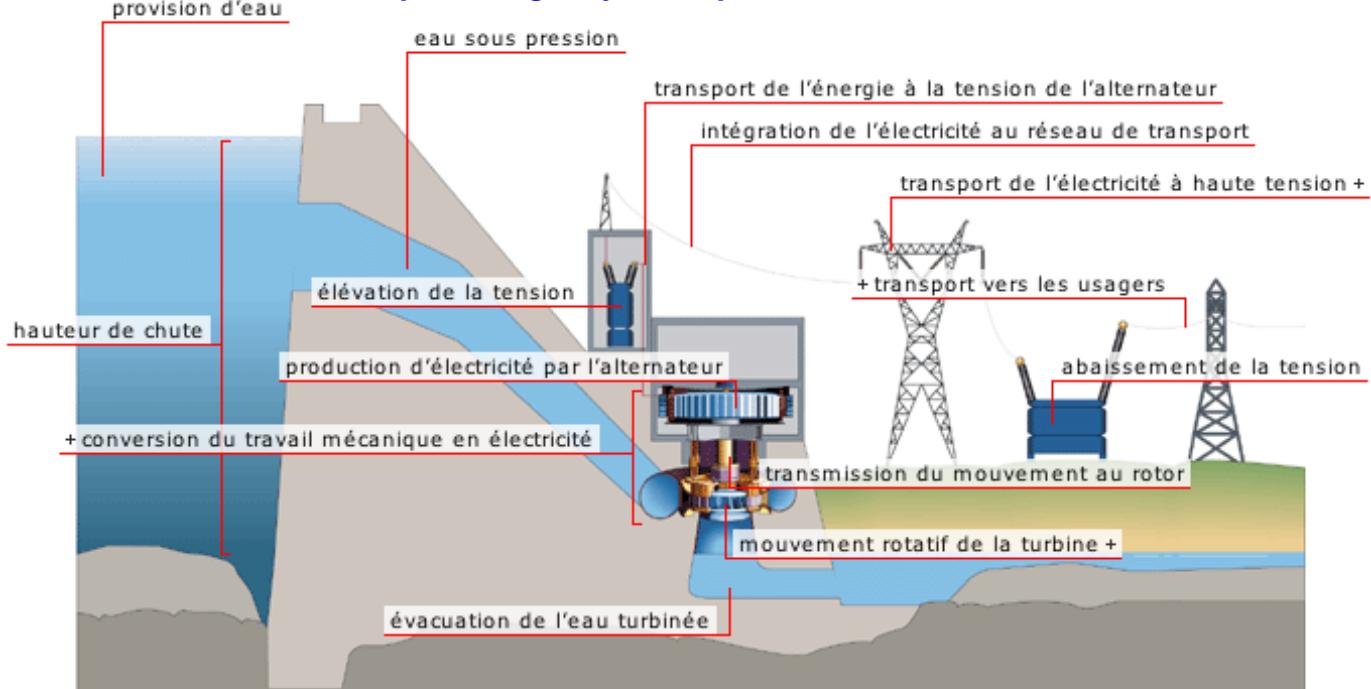


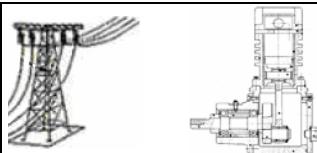


TURBINE A EAU



Production d'électricité par énergie hydraulique



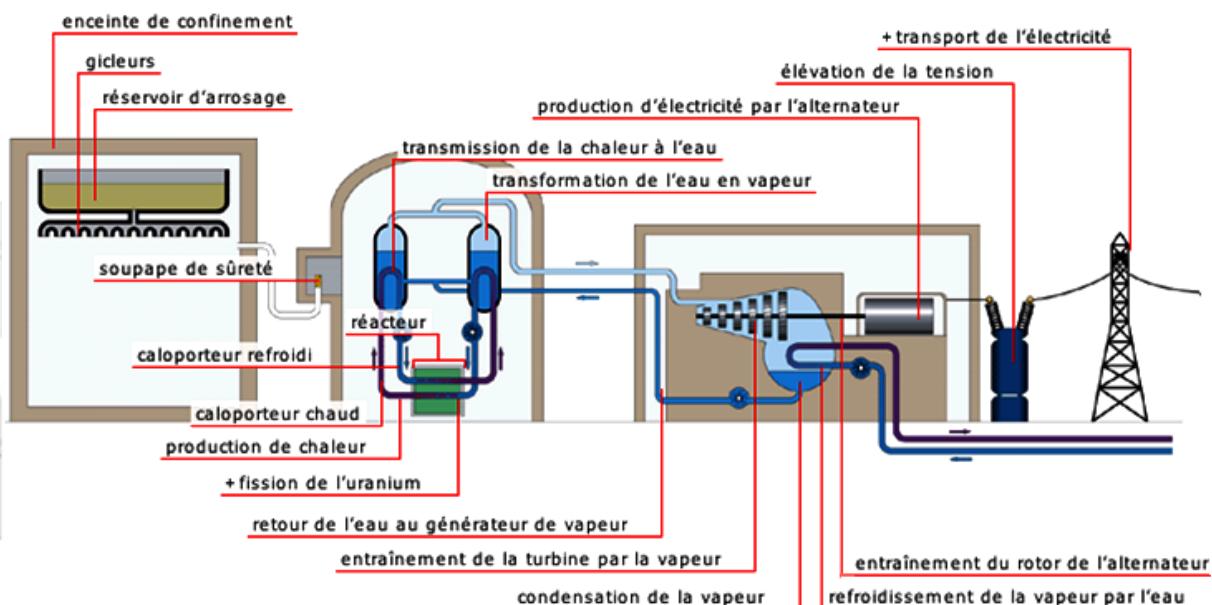
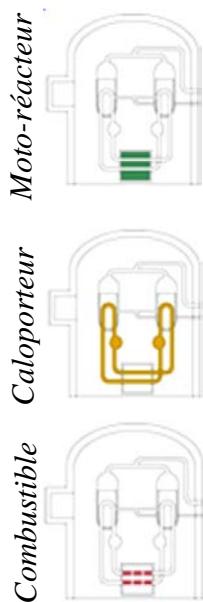


Production d'électricité par énergie nucléaire

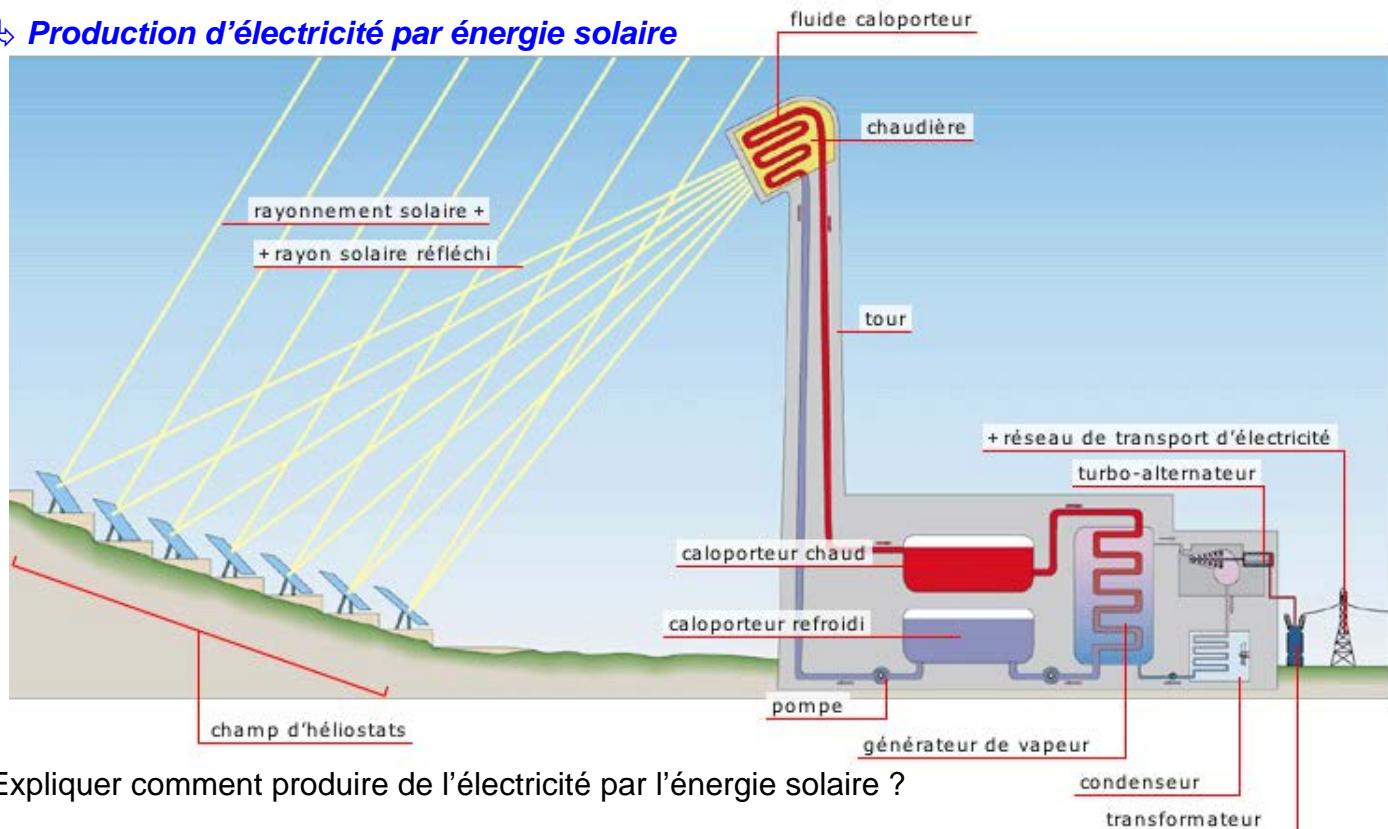
La centrale nucléaire est une centrale électrique thermique. A l'intérieur d'une enceinte de protection contre la radioactivité, le réacteur nucléaire (fission de l'uranium) dégage l'énergie thermique qui chauffe de l'eau.

La chaleur échangée dans le circuit permet de produire de la vapeur qui passe dans une turbine reliée à un alternateur. Le circuit de refroidissement évacue la chaleur excédentaire vers le dispositif de refroidissement.

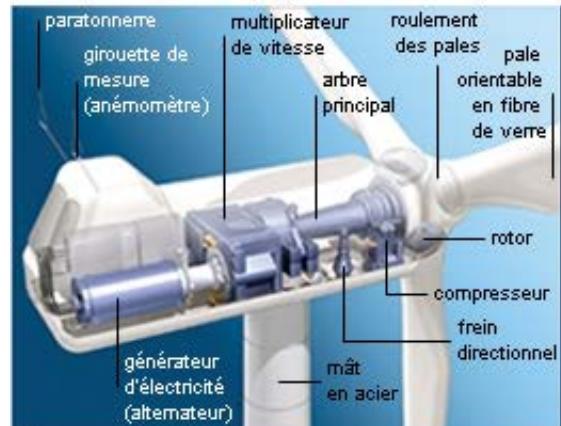
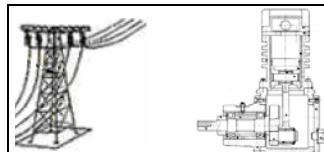
TURBINE A VAPEUR



Production d'électricité par énergie solaire



Expliquer comment produire de l'électricité par l'énergie solaire ?



détail de la nacelle d'une éolienne

Coupe de la nacelle



champ d'éoliennes

↳ Production d'électricité par énergie éolienne

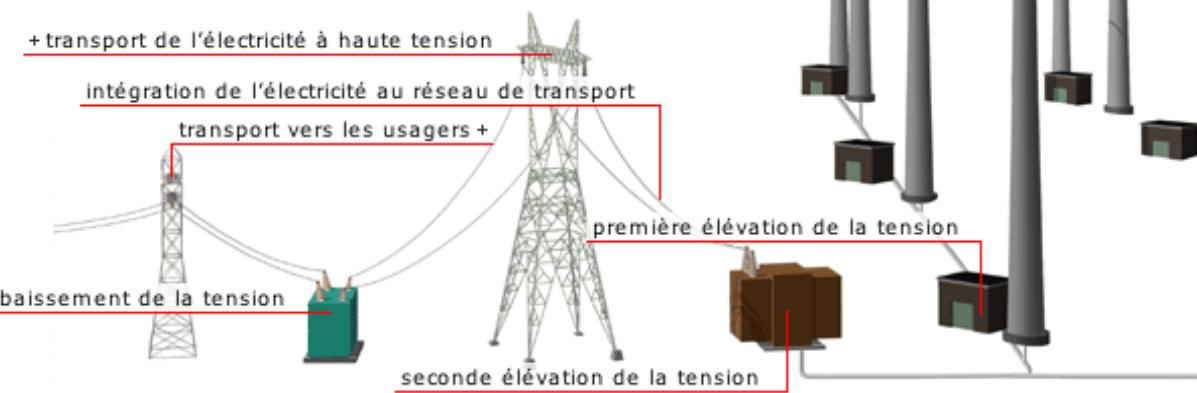
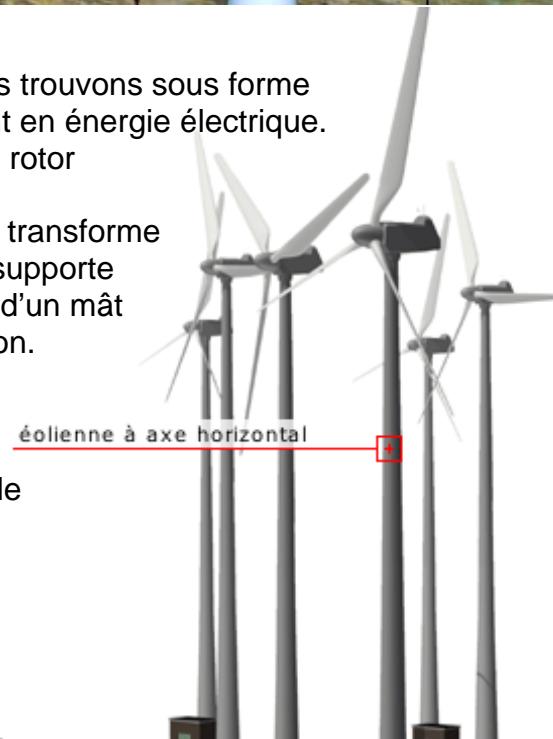
Aujourd'hui, les éoliennes ou aérogénérateurs, que nous trouvons sous forme d'un ensemble pales-rotor, transforment l'énergie du vent en énergie électrique.

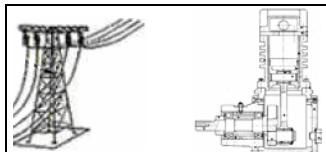
Les pales captent le vent et transfèrent sa puissance au rotor de la génératrice.

Celle-ci qui est en fait un moteur fonctionnant en inverse transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. Une nacelle supporte l'ensemble des éléments, celle-ci est placée au sommet d'un mât et s'oriente face au vent grâce à son système d'orientation.

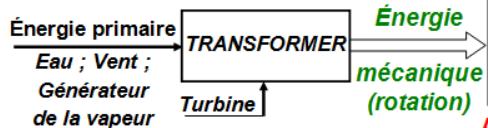
La puissance électrique maximale d'une éolienne moderne se situe normalement entre 600 et 3000 kW.

Chaque pale d'une éolienne de 1000 kW mesure environ 27 m de long, et sa conception ressemble beaucoup à celle des ailes d'un avion.

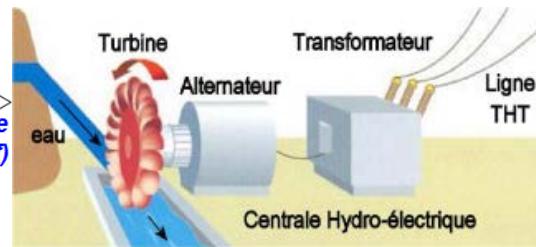




● Fonction d'un alternateur :



CONVERTIR
L'ÉNERGIE MÉCANIQUE
EN
ÉNERGIE ÉLECTRIQUE
(alternatif)



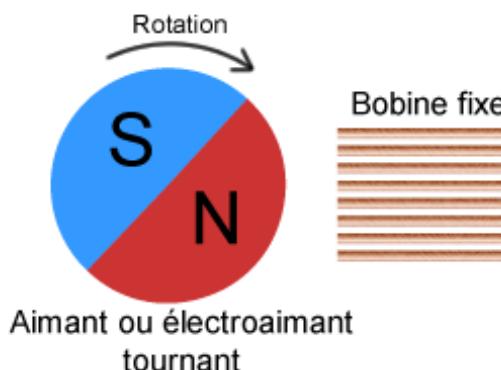
Exemple de centrale électrique

Principe de production :

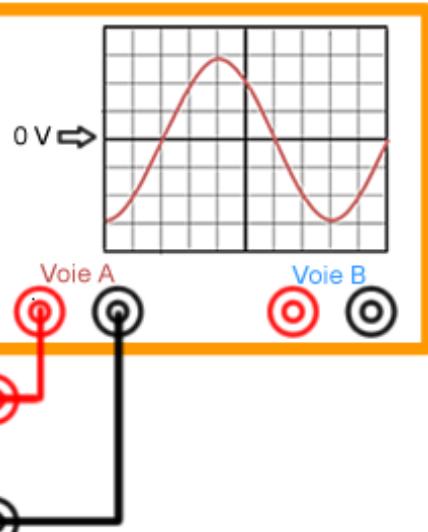
Expérience n°1 :

Un aimant ou un électroaimant tourne à fréquence constante devant une bobine fixe. La tension induite aux bornes de la bobine est alternative sinusoïdale.

On a fabriqué un générateur de tension alternative.

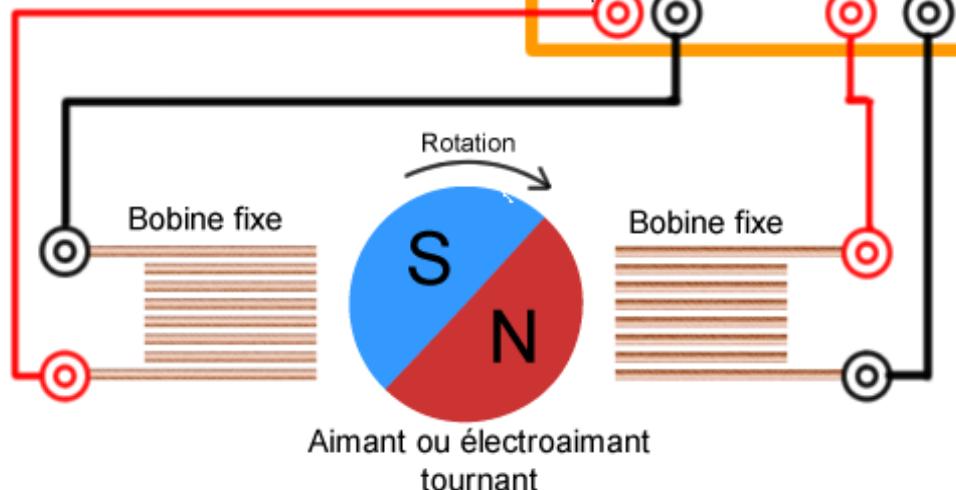


Oscilloscope numérique

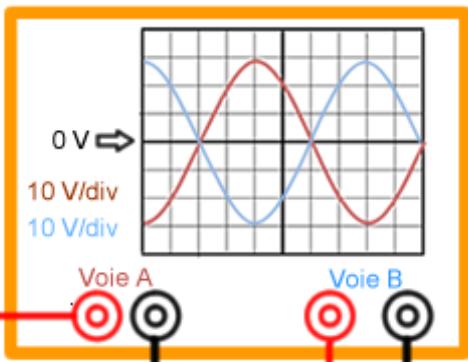


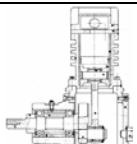
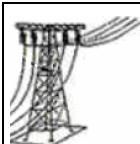
Expérience n°2 :

Un aimant ou un électroaimant tourne à fréquence constante devant deux bobines fixes diamétralement opposées. La tension induite aux bornes de chaque bobine est alternative sinusoïdale et déphasé de $\pi/2$ l'une par rapport à l'autre.



Oscilloscope numérique

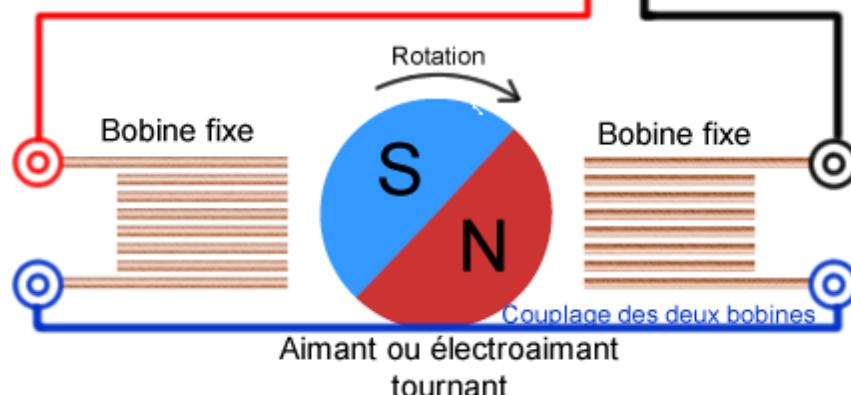
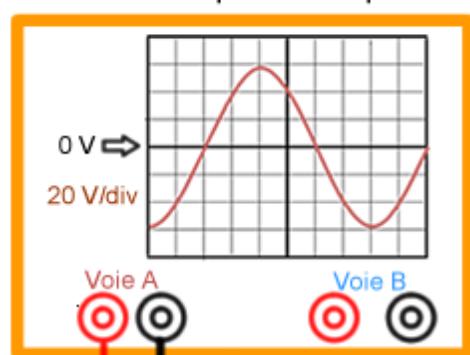




Expérience n°3 :

Un aimant ou un électroaimant tourne à fréquence constante devant deux bobines fixes diamétralement opposées. La tension induite aux bornes des deux bobines couplées est alternative sinusoïdale et double par rapport à la tension aux bornes d'une seule bobine. On a fabriqué un générateur de tension alternatif monophasé (alternateur monophasé).

Oscilloscope numérique

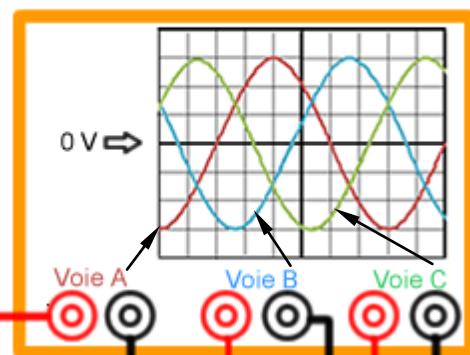


Alternateur triphasé :

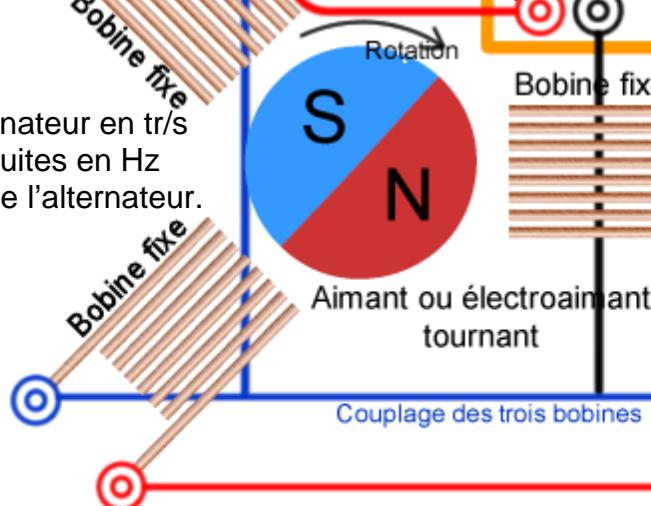
La rotation d'un aimant ou un électroaimant à vitesse constante N_s devant 3 bobines fixes disposées à 120° l'une de l'autre crée 3 tensions alternatives déphasées de 120° l'une de l'autre de fréquence f tel que :

$$\boxed{N_s = \frac{f}{p}}$$

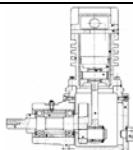
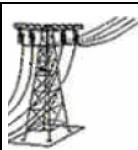
Oscilloscope numérique



N_s : vitesse de rotation de l'alternateur en tr/s
 f : fréquence des tensions produites en Hz
 p : nombre de paires de pôles de l'alternateur.



Remarque : Chaque bobine possède 2 bornes. Aux total, il y a 6 bornes, toutefois, il est possible de réduire ce nombre de bornes par couplage des 3 bobines : il y a alors 3 phases (Figure ci-dessus) ; ce qui donne le nom d'alternateur triphasé.

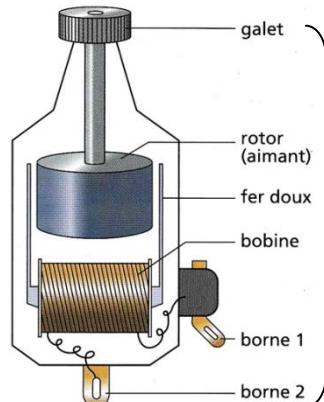


À l'échelle réduite en trouve la dynamo.

● Fonction d'un Dynamo :

Lorsque le galet tourne, il entraîne le et une tension variable apparaît aux bornes de la

Conclusion : Pour obtenir une tension variable, on déplace un aimant devant une bobine fixe ou on déplace une bobine au voisinage d'un aimant fixe.



Résumé :

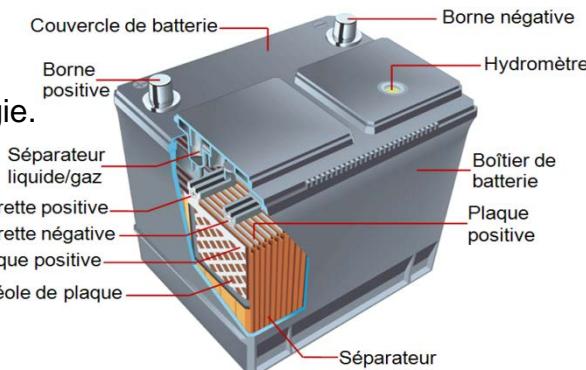
- 1- L'élément commun à toutes les centrales électriques est C'est lui qui l'énergie électrique.
- 2- Toutes les centrales, sauf l'éolienne, possède une qui entraîne l'alternateur en
- 3- Dans une éolienne, ce sont qui actionnent l'alternateur.
- 4- Description d'une centrale thermique : un brûle dans une chaudière en dégageant de la chaleur ce qui transforme l'eau de la chaudière en vapeur. La vapeur fait tourner une qui entraîne Il produit le courant électrique qui est transporté dans les lignes. La vapeur est dans un circuit de refroidissement.

C.12- Alimentation autonome :

1- Piles et Accumulateurs :

Le système comprend une fonction stockage d'énergie.

- ♦ L'énergie électrique est produite par effet chimique:
- ♦ Un accumulateur est rechargeable contrairement à une pile



2- Panneaux solaires:

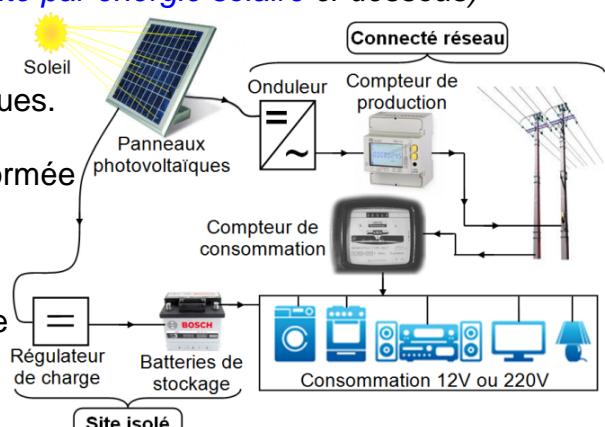
L'énergie solaire est, en réalité, produite par deux types de panneaux.

2.1 Panneaux solaires thermiques :

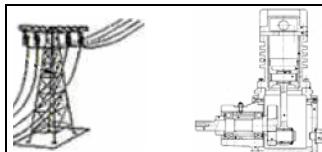
Ils convertissent le rayonnement solaire en chaleur nécessaire à évaporer l'eau qui entraînera la turbine d'un alternateur. (Voir *Production d'électricité par énergie solaire ci-dessous*)

2.2 Panneaux solaires photovoltaïques :

- L'énergie solaire a connu un développement spectaculaire avec l'apparition des cellules photovoltaïques. (Découvert par le physicien **Becquerel** en 1839)
- L'énergie solaire peut être directement captée et transformée en électricité grâce à des panneaux solaires : ensemble des cellules photovoltaïques à base de silicium installés sur les façades ou les toits des bâtiments.
- La cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, par absorption de lumière, va libérer des charges électriques négatives et positives, c'est un générateur électrique, il produit environ 0,5 V et 0,2 kWh/m².



Ces générateurs transforment directement l'énergie solaire en électricité (courant continu). Des onduleurs convertissent le courant continu en courant alternatif 50 Hz et 220 V, avant le raccordement au réseau ONE ou personnel.



Quelles différences entre courant alternatif et courant continu ?

Quelles sont leurs caractéristiques et leurs applications ?

Le **Courant Continu (CC)** ou **DC** pour **Direct Current** est un courant électrique dans lequel les électrons (de charge électrique $q = -e \approx -1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb) circulent continuellement dans la même direction, c'est-à-dire du pôle négatif vers le pôle positif. Sa vitesse de déplacement est de plusieurs mètres par heure et sa propagation se fait à la vitesse de la lumière.

Le **Courant Alternatif (CA)** ou **AC** pour **Alternative Current** est l'autre type de courant électrique. Les électrons circulent de manière alternative dans les deux sens du circuit. En fait, c'est la rotation d'un alternateur qui génère un mouvement de va et vient des électrons.

Dans ce cas, le déplacement des électrons se limite à quelques millièmes de millimètre.

Le courant alternatif est mesuré par sa fréquence (en hertz). Au Maroc, la fréquence est de 50Hz, le courant effectue donc 50 allers-retours par seconde.

Dans la majorité des cas, le **transport de l'électricité** se fait avec du courant alternatif. En effet, l'intensité de celui-ci étant limitée, la déperdition de chaleur et d'énergie (effet Joule) est moins importante qu'en courant continu.

Sur de très longues distances ou dans des cas de câbles enterrés ou sous-marins, le courant continu est privilégié. En effet, pour transporter de l'électricité en **CC**, il suffit de deux câbles, alors que trois câbles sont nécessaires pour effectuer le transport en **CA**.

C.13- Grandeur physique de l'énergie électrique :

1.1- Capacité (en Coulomb ou Ah) :

La capacité est à la charge maximale pouvant être fournie par l'accumulateur, ou la pile.

Ou (Quantité d'électricité débitée par le courant pendant une durée)

$$Q = I \cdot t$$

Coulomb Q A s
Ah I t h



L'énergie massique d'une pile se situe entre 100 et 300 Wh/kg ;

L'énergie volumique peut être évaluée de 0,25 à 1,5 Wh/cm³.

Exemple :

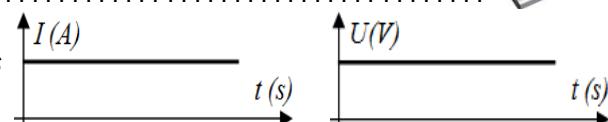
L'iPhone 6 embarque une batterie de 1810 mAh fonctionnant en 3,82 V (soit 6,91 Wh), l'iPhone 5s dispose quant à lui d'un accumulateur de 1560 mAh (soit 5,95 Wh).

Retrouver la quantité d'énergie stockée dans les batteries d'un téléphone portable, en considérant une autonomie moyenne de trois heures et une puissance absorbée moyenne de 3 watts.



2.1- Courant Continu :

En régime continu, les **courants** et les **tensions** sont constants dans le temps.



• Dipôle passif ; dipôle actif :

Un dipôle passif est un dipôle qui consomme de l'énergie électrique et qui transforme toute cette énergie en chaleur. (Exemple : résistance, ampoule ...)

Autrement, on parle de dipôle actif. (Exemple : pile, moteur électrique à courant continu ...)

a- Dipôles passifs :

Un dipôle passif est un dipôle récepteur de puissance.

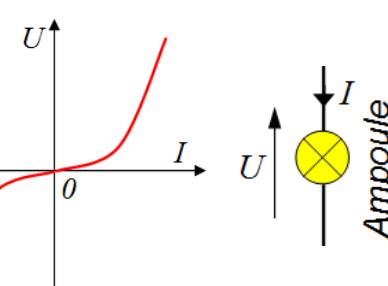
La caractéristique $U = f(I)$ passe par l'origine : $U = 0 \text{ V}$; $I = 0 \text{ A}$

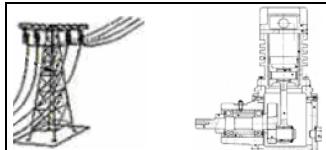
a.1- Dipôle passif non linéaire :

La caractéristique $U = f(I)$ n'est pas une droite.

☞ Dipôle passif non linéaire symétrique

La courbe $U = f(I)$ est symétrique par rapport à l'origine :

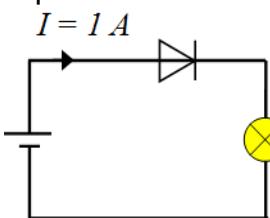




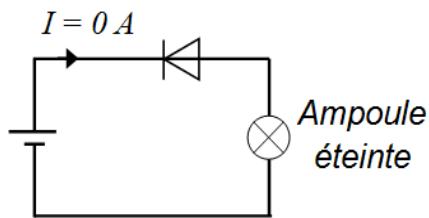
- ☞ Dipôle passif non linéaire non symétrique
La courbe $U = f(I)$ n'est pas symétrique par rapport à l'origine.

Remarque :

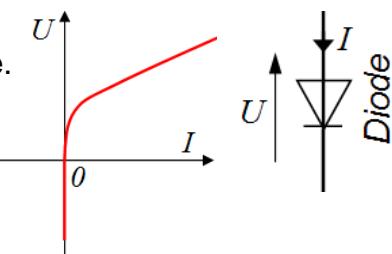
Le comportement d'un dipôle non linéaire non symétrique dépend de son sens de branchement :



Ampoule allumée



Ampoule éteinte



a.2- Dipôle passif linéaire :

$U = f(I)$ est une droite qui passe par l'origine :

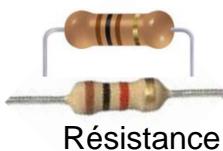
Une droite est caractérisée par sa pente.

On retrouve la résistance (**Loi d'Ohm**) :

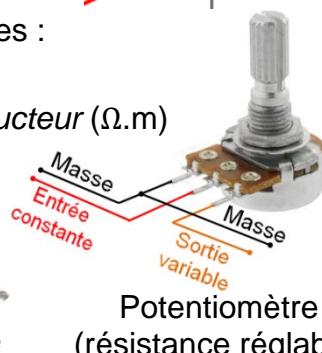
Les dipôles passifs linéaires sont donc les **résistances** et les **conducteurs** ohmiques :

$$R = \frac{\rho \cdot \ell}{S}$$

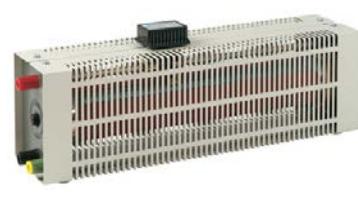
R : Résistance (Ω)
 ρ : Résistivité électrique du conducteur ($\Omega \cdot \text{m}$)
 ℓ : Longueur (m)
 S : Section (m^2)



Résistance



Potentiomètre (résistance réglable)



Rhéostat (résistance de puissance réglable)

Remarque :

$G = \frac{1}{R}$: Conductance c'est l'inverse de la résistance :
 Unité : (Ω^{-1}) ou Siemens (S).

a.3- Intensité du *courant continu :

Le courant électrique s'exprime en Ampères (A)

$$I = \frac{Q}{t}$$

Coulomb
Ah
s
h

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

a.4- Tension électrique :

La tension électrique s'exprime en Volts (V)

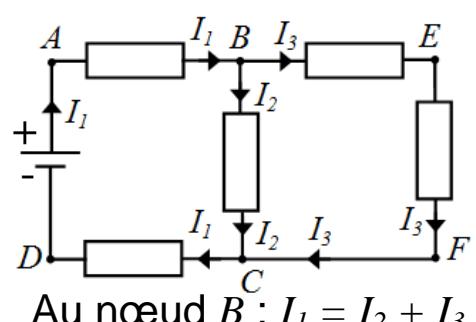
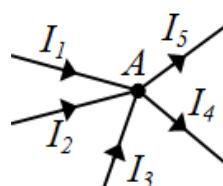
a.5- Loi des nœuds (KIRCHHOFF) :

On considère le nœud A ci-contre :

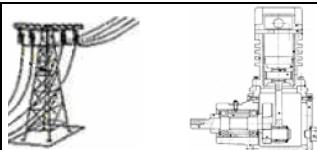
La quantité de charge amenée par les courants **entrants** (+) est égale à celle retirée par les courants **sortants** (-) :

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

La somme algébrique des courants dans un nœud est nulle.

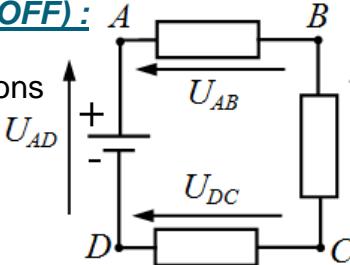


* 50 mA est l'ordre de grandeur du courant mortel pour l'homme.



a.6- Loi des mailles (KIRCHHOFF) :

La somme algébrique des tensions dans une maille est nulle.



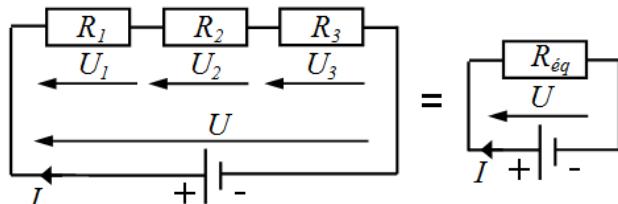
Maille ABCDA :

$$U_{AD} - U_{AB} - U_{BC} + U_{DC} = 0$$

Branche AC :

$$U_{AC} - U_{AD} - U_{DC} = 0$$

a.7- Association des résistances en séries :

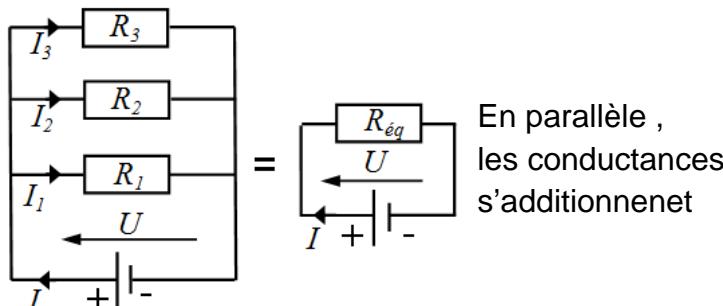


La loi des branches donne : $U = U_1 + U_2 + U_3$
La loi d'Ohm donne : $U_1 = R_1 \cdot I$; $U_2 = R_2 \cdot I$; $U_3 = R_3 \cdot I$
Il vient : $U = (R_1 + R_2 + R_3) \cdot I = R_{eq} \cdot I$

Alors en série, les résistances s'additionnent

$$R_{eq} = \sum_{i=0}^n R_i$$

a.8- Association des résistances en parallèles :



En parallèle, les conductances s'additionnent

$$G_{eq} = \sum_{i=0}^n G_i \text{ ou } \frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=0}^n \frac{1}{R_i}$$

a.9- Diviseur de tension :

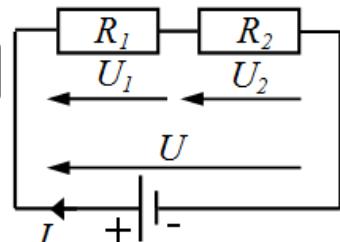
La loi des mailles donne : $U = U_1 + U_2 = (R_1 + R_2) \cdot I$

Alors : $U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ et $U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

La loi d'Ohm donne :

$$U_1 = R_1 \cdot I \text{ et } U_2 = R_2 \cdot I$$

En générale : $U_i = U \cdot \frac{R_i}{\sum_{i=0}^n R_i}$



Remarque :

On ne peut appliquer la formule du diviseur de tension que si R_1 et R_2 sont parcourus par la même intensité I .

a.10- Diviseur de tension :

La loi des nœuds donne :

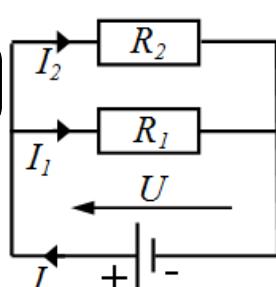
$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}$$

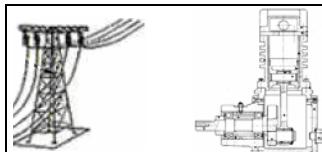
Alors : $I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ et $I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

La loi d'Ohm donne :

$$U = R_1 \cdot I_1 \text{ et } U = R_2 \cdot I_2$$

En générale : $I_i = I \cdot \frac{G_i}{\sum_{i=0}^n G_i}$





b- Dipôles actifs :

La caractéristique $U = f(I)$ ne passe pas par l'origine.

Un dipôle actif n'est pas symétrique et il faut distinguer ses deux bornes : il y a une polarité.

Exemples : - pile, photopile, dynamo (dipôles générateurs)

- batterie en phase de recharge, moteur à courant continu (dipôles récepteurs).

b.1- Dipôle actif non linéaire :

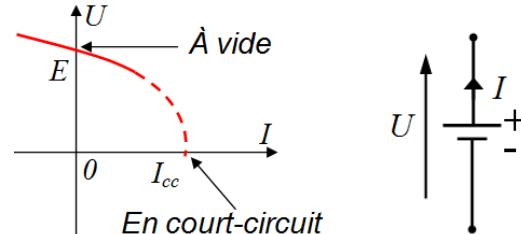
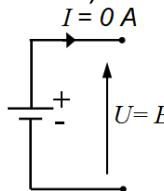
La caractéristique $U = f(I)$ n'est pas une droite.

(Exemple : pile)



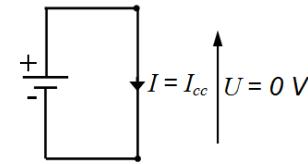
A vide ($I = 0 \text{ A}$) : $U = E \neq 0 \text{ V}$

E est appelée
tension à vide
ou **fem**
(force électromotrice)



En court-circuit ($U = 0 \text{ V}$) : $I = I_{cc}$

I_{cc} est le **courant de court-circuit**



b.2- Dipôle actif linéaire :

La caractéristique $U = f(I)$ est une droite qui ne passe pas par l'origine.

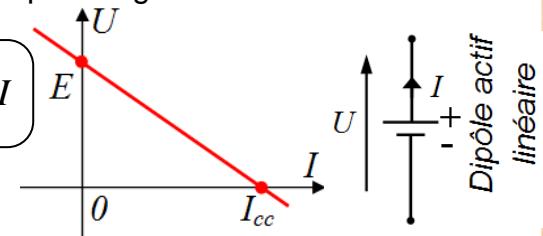
En convention générateur :

☞ Résistance "interne"

L'équation de la droite est : $U = E - \frac{E}{I_{cc}} \cdot I = E - R \cdot I$

Avec $R = \frac{E}{I_{cc}}$ la résistance interne.

Autre écriture $I = I_{cc} - \frac{I_{cc}}{E} \cdot U = I_{cc} - \frac{U}{R}$

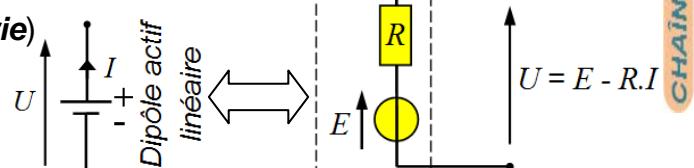


Dipôle actif linéaire

CHAÎNE D'ÉNERGIE : FONCTION GÉNÉRIQUE ALIMENTER EN ÉNERGIE

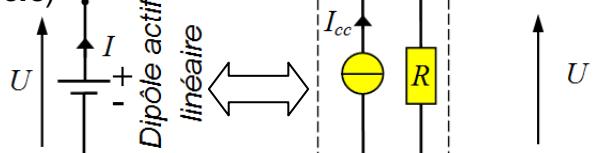
☞ Modèle équivalent de **Thévenin** (modèle **série**)

Un dipôle actif linéaire peut être modélisé par une source de tension continue parfaite E en série avec une résistance interne R :



☞ Modèle équivalent de **Norton** (modèle **parallèle**)

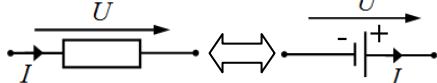
Un dipôle actif linéaire peut être modélisé par une source de courant continu parfaite I_{cc} en parallèle avec une résistance interne R :



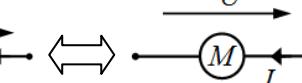
Le passage d'un modèle à l'autre se fait par les relations : $E = R \cdot I_{cc}$ ou $I_{cc} = E / R$

b.3- Convention des dipôles :

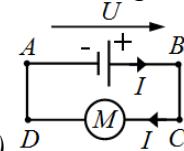
Générateur : $U \cdot I > 0$



Récepteur : $U \cdot I < 0$



Montage



c- Énergie et puissance :

$$\mathcal{P} = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R} = \frac{W}{t}$$

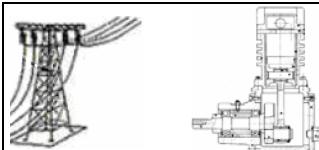
\mathcal{P} : Puissance fournie par le générateur en (W)

U : Tension efficace (V)

W : Énergie fournie en (J) ou (Wh)

d- Rendement :

$$\eta = \frac{W_u}{W_a} = \frac{\mathcal{P}_u}{\mathcal{P}_a} \leq 1$$



Exercices de mise à niveau

EX1-

1.1- Dans le montage 1 ci-contre l'ampèremètre mesure $I_1 = 120 \text{ mA}$.

Calculer la résistance R de chaque conducteur ohmique sachant qu'ils sont identiques.

1.2- Dans le montage 2 ci-contre, on utilise un rhéostat qui porte l'indication 100Ω .

On manœuvre le curseur du rhéostat pour que l'intensité du courant lue par l'ampèremètre soit minimale ; on lit la valeur $I_1 = 120 \text{ mA}$.

1.2.1- **Quelle est** la valeur de la résistance du rhéostat qui est traversé par un courant d'intensité I_1 ? **Quelle est** alors la position du curseur C ?

1.2.2- Si on déplace le curseur C, cette valeur de résistance **va-t-elle** diminuer, augmenter ou rester constante ?

1.2.3- **Quel** risque présente le montage si le curseur C est déplacé jusqu'en A ?

1.3- On a déplacé le curseur. L'ampèremètre indique alors $I_2 = 200 \text{ mA}$.

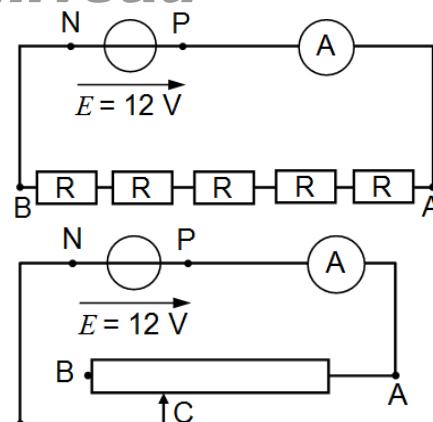
Quelle est la valeur de la résistance du rhéostat qui est traversé par I_2 ?

1.4- Soit le Montage 3 ci-dessous :

1.4.1- **A quel** point C situé entre A et B faut-il relier le point N pour que l'intensité affichée par l'ampèremètre soit $I_2 = 200 \text{ mA}$?

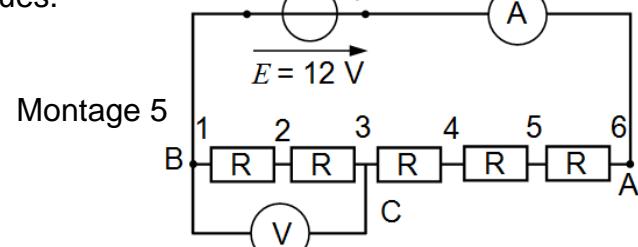
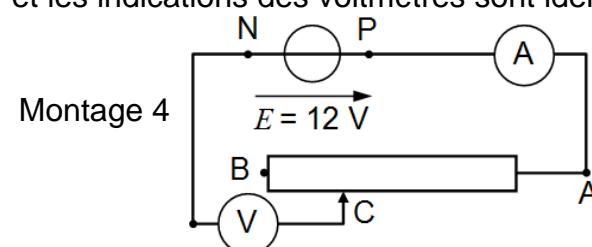
Représenter alors le fil de la liaison NC sur le montage 3.

1.4.2- Certains éléments du montage **pourraient-ils** ne pas figurer sur le schéma ? **Pour quelle** raison ? **Les rayer** sur le schéma.



EX2-

2.1- Pour les deux montages 4 et 5 ci-dessous, les indications des ampèremètres et les indications des voltmètres sont identiques.



2.1.1- **Comment** s'appelle le montage 4 ?

2.1.2- **Quelle est** la valeur, notée R_B , de la résistance de la partie du rhéostat comprise entre B et C ? **En déduire** la valeur, notée R_A , de la résistance de la portion du rhéostat placée entre C et A.

2.1.3- **Quelle est** la valeur numérique commune affichée sur les deux ampèremètres ?

2.1.4- **Quelle est** la valeur numérique commune affichée sur les deux voltmètres ?

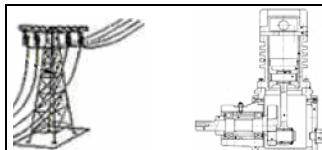
2.2- Sur le montage 5, il existe six positions possibles du point C numérotées de C_1 , à côté de B, à C_6 à côté de A.

Compléter le tableau :

2.3- Dégager brièvement l'utilité des montages 4 et 5.

Quelle différence y trouverait l'utilisateur ?

Position de C	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
Tension lue par le voltmètre						



EX3-

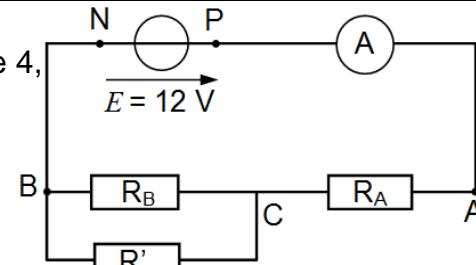
Sans modifier la position du curseur par rapport au montage 4, on réalise maintenant le montage 6. Pour plus de clarté on a représenté les deux parties du potentiomètre comme deux résistances séparées.

Les valeurs de R_A et de R_B sont donc les mêmes qu'à la question 2.1.4 et on connaît $R' = 47 \Omega$.

3.1- Calculer la résistance équivalente à la portion AB du circuit.

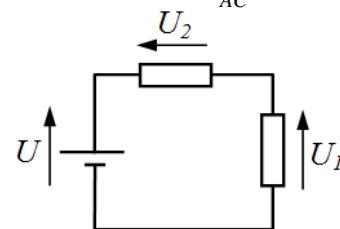
3.2- Calculer l'intensité I_3 du courant débité par le générateur puis la tension U_{AC} .

3.3- Comparer U_{CB} à la valeur trouvée pour le montage n°5.



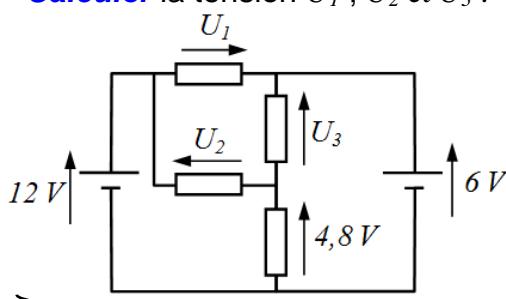
EX4- Loi des mailles :

On donne $U = 10 \text{ V}$ et $U_1 = 6 \text{ V}$. **Calculer** la tension U_2 :

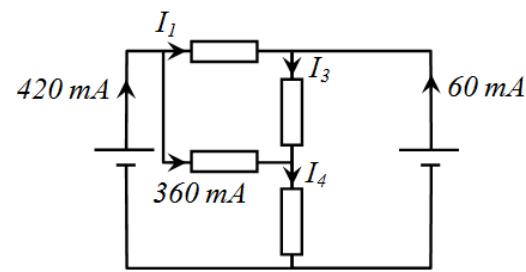


EX5- Loi des mailles – Loi des nœuds :

Calculer la tension U_1 ; U_2 et U_3 :



Calculer l'intensité I_1 ; I_4 et I_3 :



Que vaut la puissance électrique consommée par l'ensemble des quatre résistances ?

EX6- La fonction $U = f(I)$ d'une batterie est donnée par la courbe ci-dessous :

6.1- Calculer la tension U aux bornes de la batterie lorsqu'elle débite un courant de 4 A ?

6.2- Calculer la tension U aux bornes de la batterie lorsqu'elle **consomme** un courant de 500 mA ?

6.3- Quand $U = 10 \text{ V}$, **quelle est** la puissance électrique fournie par la batterie ?

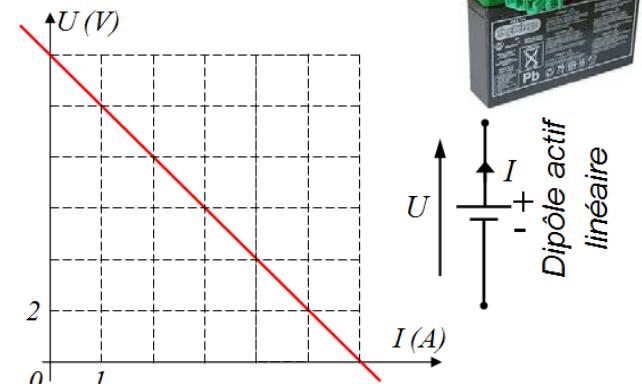
6.4- Quelle puissance maximale peut fournir la batterie ?

6.5- Quelle est la relation entre U , la f.e.m. E , la résistance interne R et I ?

6.6- Quelle est la résistance interne R de la batterie ?

6.7- On branche une résistance de 10Ω aux bornes de la batterie. **Calculer** le courant ?

6.8- E désigne la f.e.m. Quand la batterie est en phase de recharge. **Comparer** U et E ; I et 0

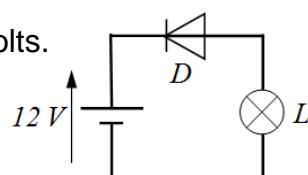


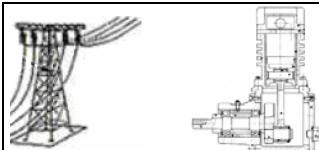
EX6- On dispose d'une résistance de 1Ω pouvant consommer une puissance maximale de $4W$.

Quelle tension maximale peut-on appliquer à cette résistance ?

EX7- Dans ce circuit : D est une diode. L est une ampoule à filament 12 volts.

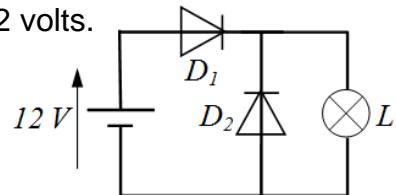
Quelle est l'état de la diode et de l'ampoule ?





EX8- Dans ce circuit : D est une diode. L est une ampoule à filament 12 volts.

Quelle est l'état des diodes et de l'ampoule ?



EX9- 9.1- Déterminer le Modèle équivalent de **Thévenin** (modèle **série**) ;

le Modèle équivalent de **Norton** (modèle **parallèle**)

et la caractéristique $U = f(I)$ du dipôle suivant :

9.2- Calculer U ; si $I = +1$ A.

EX10- Considérons l'association ci-contre :

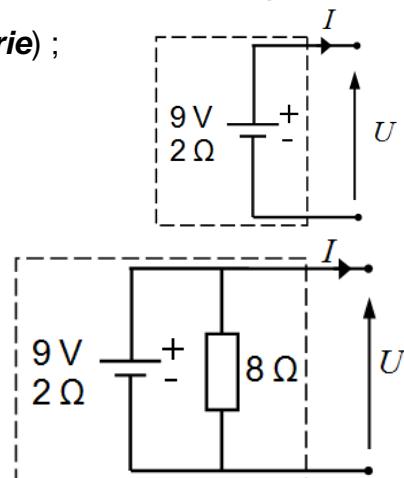
- d'une pile (fem 9 V, résistance interne 2 Ω)
- et d'une résistance (8 Ω) :

Pour connaître le comportement de l'association, il suffit de **déterminer** la caractéristique $U = f(I)$; pour cela appliquer :

le Modèle équivalent de **Thévenin** (modèle **série**) ;

le Modèle équivalent de **Norton** (modèle **parallèle**)

faire un schéma du dipôle équivalent pour chaque cas.



Ex11- Véhicule solaire :

Le véhicule solaire Solelhada a participé au "World solar challenge 2001" qui rassemble régulièrement des concurrents de tout pays pour une course de 3000 km à travers l'Australie. Les données approximatives de sa chaîne d'énergie sont les suivants :

Alimentation : panneau solaire de 8 m², efficacité de 17%, associé à une batterie de 12 accumulateurs en série,

EZ@HR@OUT



Distribution : Interface électronique,

Conversion : "moteur roue" à courant continu,

Transmission : mécanisme de transmission à aimant permanent.

Puissance nominale 1500 W, couple nominal 20 N.m

11.a- Dans les meilleures conditions d'ensoleillement, le flux énergétique reçu au sol étant limité à 1 kW/m², **Vérifier** dans ce cas que la puissance théorique maximale délivrée par le panneau solaire du véhicule s'approche de la puissance nominale du moteur.

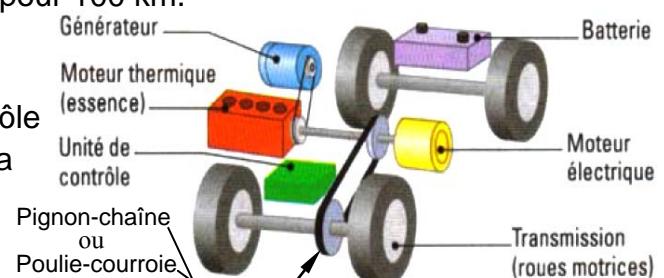
11.b- Lors de cette épreuve, le véhicule a parcouru les 3000 km reliant Darwin à Adélaïde à la vitesse moyenne de 60 km/h. Durant le trajet, la puissance moyenne du véhicule a atteint 920 W.

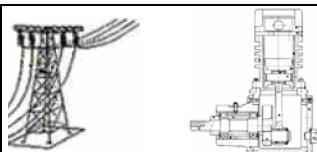
Déterminer dans ces conditions la quantité d'énergie dépensée pour la course.

11.c- La combustion d'un litre d'essence fournissant 35 MJ, **déterminer** le nombre de litres d'essence équivalent à la quantité d'énergie dépensée pour la course.

11.d- En déduire la consommation équivalente pour 100 km.

Ex12- En phase de démarrage, la voiture à système hybride puise exclusivement son énergie dans la batterie. En ajustant la tension, l'unité de contrôle fait le lien vers le moteur électrique qui entraîne la voiture grâce à la transmission. **Retrouver** les constituants des quatre maillons de la chaîne d'énergie du système hybride.





2.2- Régime sinusoïdal :

Repère et relation simplificatrices

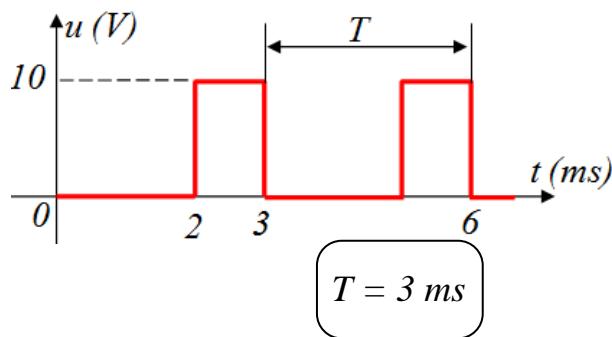
Période	Fréquence	Pulsation
T (s)	f (Hz)	ω (rad/s)
Valeur moyenne	Valeur efficace	Valeur maximale
$\langle u \rangle$ ou $\langle v \rangle$ ou v_{moy} (V) $\langle i \rangle$ ou i_{moy} (A)	U ou U_{eff} (V) I ou I_{eff} (A)	\hat{U} ou U_{maxi} (V) \hat{I} ou I_{maxi} (A)
Fonction $f(x)$	Dérivée de $f(x) = (f(x))' = \frac{d(f(x))}{dx}$	Primitive de $f(x) = \int f(x)$
$\sin(x)$	$\cos(x)$	$-\cos(x)$
$\cos(x)$	$-\sin(x)$	$\sin(x)$
$\tan(x)$	$\frac{1}{\cos^2(x)} = 1 + \tan^2(x)$	$-\ln \cos(x) $
$\sin(a \cdot x)$	$a \cdot \cos(a \cdot x)$	$-\frac{1}{a} \cos(a \cdot x)$
$\cos(a \cdot x)$	$-a \cdot \sin(a \cdot x)$	$\frac{1}{a} \sin(a \cdot x)$
$\sin^2(x) = \frac{1 - \cos(2x)}{2}$	$\cos^2(x) = \frac{1 + \cos(2x)}{2}$	

2.2.1- Introduction : les grandeurs périodiques :

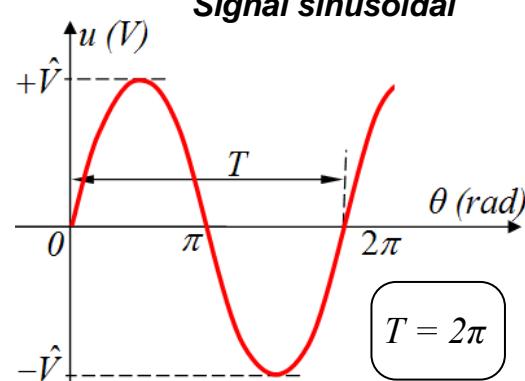
a- Période "T" :

Un signal périodique est caractérisé par sa période T :

Signal rectangulaire ou carré



Signal sinusoïdal



b- Fréquence "f" :

La fréquence f (Hertz = s^{-1}) correspond au nombre de périodes par unité de temps : $f = \frac{1}{T}$

c- Pulsation "omega" :

La pulsation est définie par : $\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T} = \frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta} = \theta'$ (en radians par seconde)

d- Valeur moyenne " $\langle u \rangle$ " :

La valeur moyenne d'une tension ou d'un courant se calcule sur une période T en suivant les deux relations générales suivant la variable choisie : t ou θ .

$$\langle u \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \dots$$

$$\langle u \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u(\theta) d\theta$$

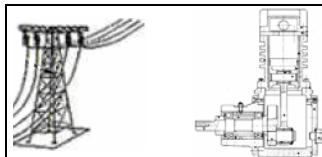
La valeur moyenne d'une grandeur dépendante du temps (ou θ), périodique, de période T

est donnée par la relation particulière suivante :

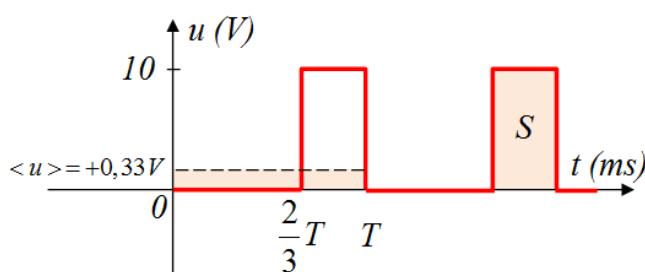
Avec : - $\langle u \rangle$ la valeur moyenne dans le temps de la tension $u(t)$;

$$\langle u \rangle = \frac{S}{T}$$

- S est la surface comprise entre la courbe $u(t)$ et l'axe des temps pendant la durée de la période T .



Signal rectangulaire ou carré



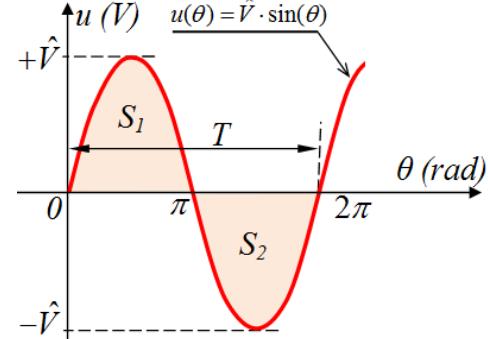
$$\langle u \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

$$\langle u \rangle = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{2}{3}T} 0 dt + \frac{1}{T} \int_{\frac{2}{3}T}^T 10 \cdot dt$$

$$\langle u \rangle = 0 + \frac{10}{T} \left(T - \frac{2}{3}T \right) = +\frac{10}{3} = +0,33V$$

$$\text{Ou } \langle u \rangle = \frac{S}{T} = \frac{10}{T} \left(T - \frac{2}{3}T \right) = +\frac{10}{3} = +0,33V$$

Signal sinusoïdal



$$\langle u \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \hat{V} \sin(\theta) d\theta$$

$$\langle u \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \hat{V} \sin(\theta) d\theta - \frac{1}{2\pi} \int_{\pi}^{2\pi} \hat{V} \sin(\theta) d\theta$$

$$\langle u \rangle = -\frac{1}{2\pi} \hat{V} [\cos(\theta)]_0^{\pi} + \frac{1}{2\pi} \hat{V} [\cos(\theta)]_{\pi}^{2\pi} = 0$$

$$\text{Ou } \langle u \rangle = \frac{S_1 - S_2}{2\pi} = 0 \quad (\text{car } S_1 = S_2)$$

Remarque :

La composante **sinusoïdal alternative** a une valeur moyenne nulle : $\langle u \rangle = 0$

e- Valeur efficace " U_{eff} ":

Idem pour la valeur efficace qui s'exprimera à l'aide des deux **relations générales** :

$$U_{eff} = \sqrt{\langle u^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

$$U_{eff} = \sqrt{\langle u^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u^2(\theta) d\theta}$$

La valeur efficace d'une grandeur dépendante du temps (ou θ), périodique, de période T

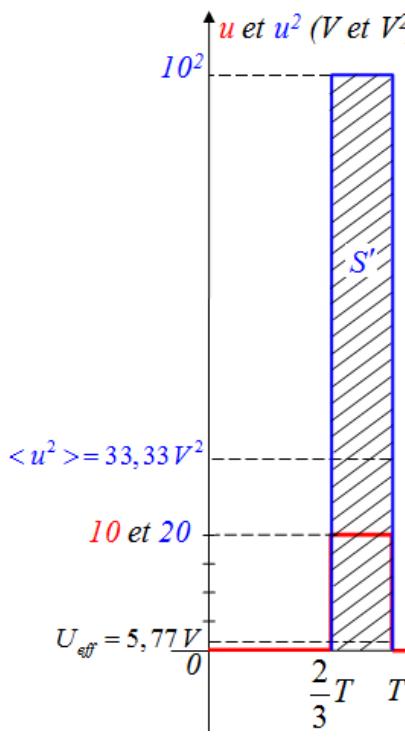
est donnée par la **relation particulière** suivante :

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{S}{T}}$$

$$U_{eff} = \frac{\hat{V}}{\sqrt{2}}$$

☞ Signal rectangulaire ou carré

u et u^2 (V et V^2)

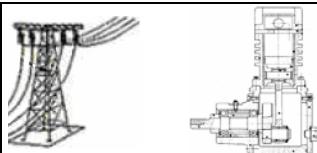


$$U_{eff} = \sqrt{\langle u^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

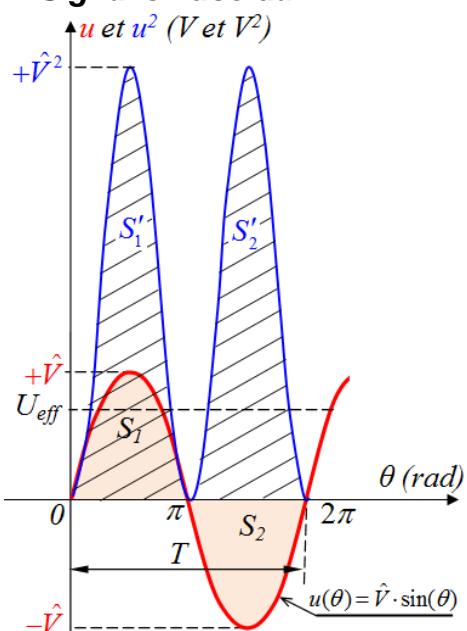
$$U_{eff} = \sqrt{\langle u^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{\frac{2}{3}T} 0 dt + \frac{1}{T} \int_{\frac{2}{3}T}^T 10^2 \cdot dt}$$

$$U_{eff} = \sqrt{\langle u^2 \rangle} = \sqrt{0 + \frac{10^2}{T} \left(T - \frac{2}{3}T \right)} = \sqrt{+\frac{100}{3}} = 5,77V$$

$$\text{Ou } U_{eff} = \sqrt{\frac{S'}{T}} = \sqrt{\frac{10^2 \cdot T \left(1 - \frac{2}{3} \right)}{T}} = \sqrt{\frac{100}{3}} = 5,77V$$



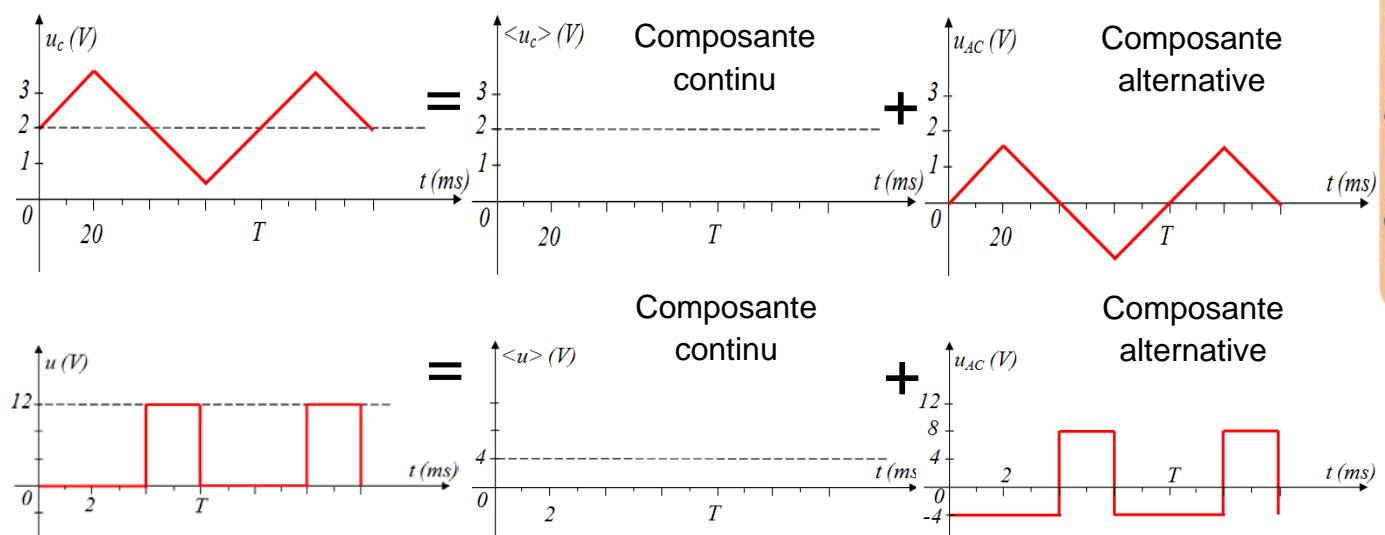
Signal sinusoïdal



$$\begin{aligned}
 U_{\text{eff}} &= \sqrt{\langle u^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u^2(\theta) d\theta} \\
 U_{\text{eff}} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u^2(\theta) d\theta} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} u^2(\theta) d\theta} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} (\hat{V} \sin(\theta))^2 d\theta} = \sqrt{\frac{\hat{V}^2}{\pi} \int_0^{\pi} \sin^2(\theta) d\theta} \\
 &= \sqrt{\frac{\hat{V}^2}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{1-\cos(2\theta)}{2} d\theta} = \sqrt{\frac{\hat{V}^2}{2\pi} \int_0^{\pi} (1-\cos(2\theta)) d\theta} \\
 &= \sqrt{\frac{\hat{V}^2}{2\pi} \left[\theta - \frac{\sin(2\theta)}{2} \right]_0^{\pi}} = \sqrt{\frac{\hat{V}^2}{2\pi} \pi} = \sqrt{\frac{\hat{V}^2}{2}} = \frac{\hat{V}}{\sqrt{2}}
 \end{aligned}$$

$$\text{Ou } U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{S'_1 + S'_2}{T}} = \sqrt{\frac{2S'_1}{T}}$$

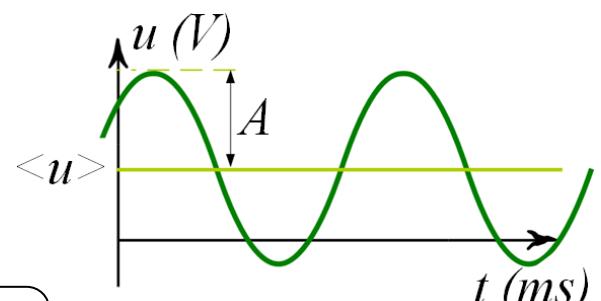
A chaque instant t , $u(t)$ est la somme de sa valeur moyenne $\langle u \rangle$ et de sa composante alternative $u_{AC}(t)$: $u(t) = \langle u \rangle + u_{AC}(t)$.



Remarque :

Pour une grandeur sinusoïdale quelconque :

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\langle u^2 \rangle + \left(\frac{A}{\sqrt{2}} \right)^2}$$

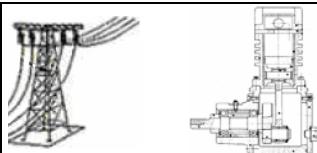


Valeur efficace d'un courant électrique :

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\langle i^2 \rangle}$$

Pour un courant sinusoïdal alternatif :

$$I_{\text{eff}} = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}}$$



Soit une résistance parcourue par un courant continu :

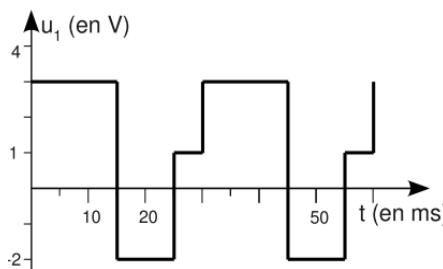
La résistance consomme une puissance électrique : $\mathcal{P} = RI^2 = U^2/R$ (loi de Joule)

Soit la même résistance parcourue par un courant périodique $i(t)$ de valeur efficace I_{eff} :

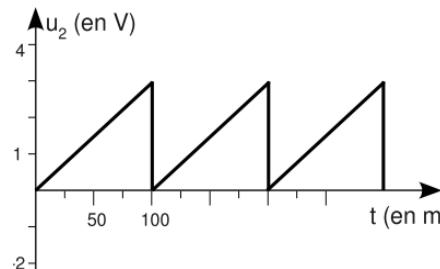
La puissance moyenne consommée est : $\mathcal{P} = \langle R i^2 \rangle = R \langle i^2 \rangle = R I_{eff}^2 = U_{eff}^2/R$

Pour avoir les mêmes effets thermiques, il faut que I_{eff} soit égal à la valeur du courant en régime continu I (idem pour les tensions) :

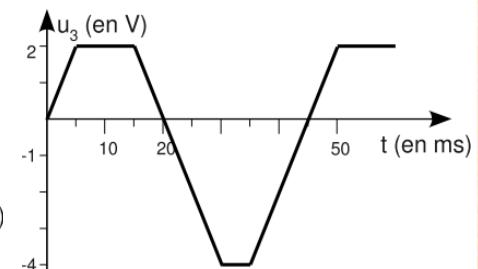
EX1- Calculer la valeur moyenne des grandeurs représentées ci-dessous.



Réponse $\langle U_1 \rangle = 1V$



$\langle U_2 \rangle = 1,5V$



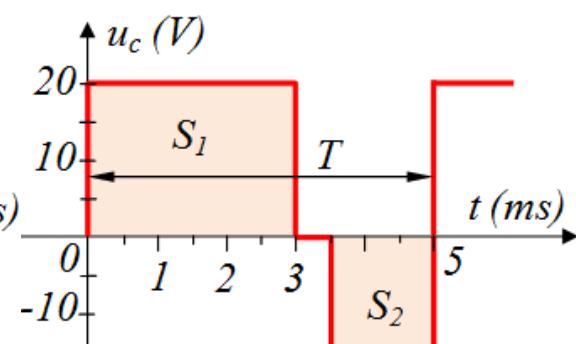
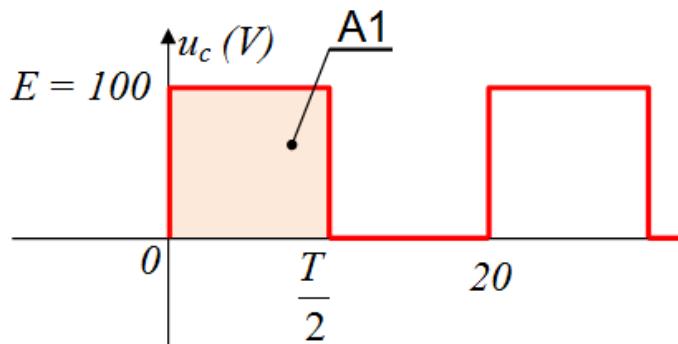
$\langle U_3 \rangle = -0,67V$

EX2-

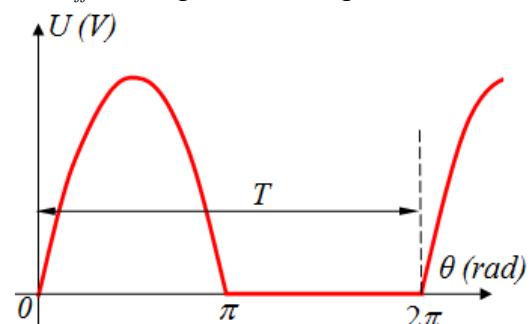
a- Calculer la valeur moyenne $\langle u_c \rangle$ de ce signal qui est égale à l'aire A1 de la figure gauche ci-dessous puis représenter la, sur cette figure.

b- Calculer la valeur moyenne $\langle u_c \rangle$ de ce signal qui est égale à l'aire S1 et S2 de la figure droite ci-dessous puis représenter la, sur cette figure.

c- Calculer la valeur efficace $U_{c,eff}$ de la tension $u_c(t)$ des deux figures.



EX3- Calculer la valeur moyenne $\langle U \rangle$ et la valeur efficace U_{eff} du signal de la figure ci-dessous



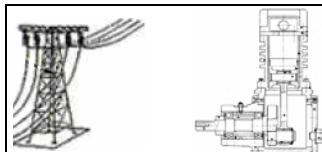
e- Puissance électrique “ \mathcal{P} ”:

$\mathcal{P}(t) = u(t) \times i(t)$ est la puissance électrique consommée à l'instant t (ou puissance instantanée).

En régime périodique, ce n'est pas $\mathcal{P}(t)$ qu'il est intéressant de connaître mais la puissance moyenne dans le temps :

$$\mathcal{P} = \langle \mathcal{P}(t) \rangle = \langle u(t) \cdot i(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt$$

Attention : en général, $\langle u(t) \cdot i(t) \rangle \neq \langle u(t) \rangle \cdot \langle i(t) \rangle$



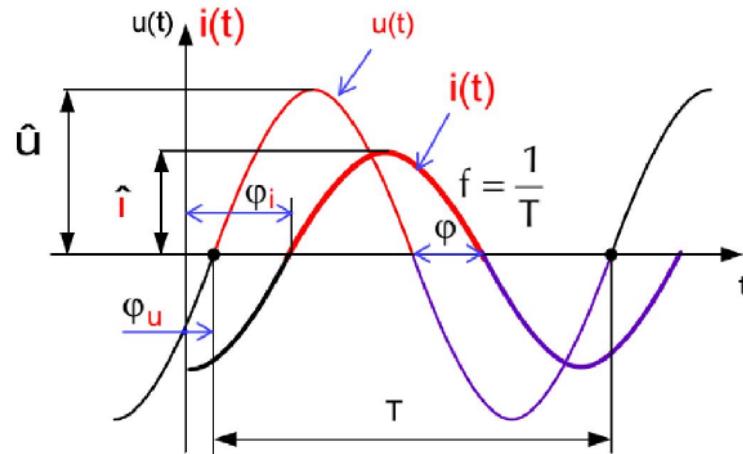
2.2- Courant alternatif monophasé :

2.2.1- Valeurs instantanées :

$$u(t) = \hat{U} \sin(\omega t + \varphi_u)$$

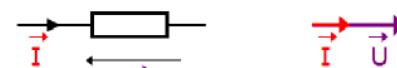
$$i(t) = \hat{I} \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$\varphi = \varphi_i - \varphi_u$$

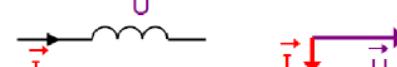


2.2.2- Déphasage courant-tension selon la charge :

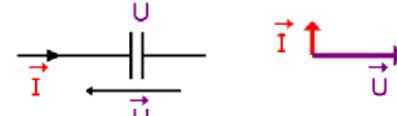
Résistance "R" $\varphi = 0$



Bobine "L" $\varphi = \pi/2$



Condensateur "C" $\varphi = -\pi/2$



2.2.3- Puissance active :

La **puissance active** (ou **puissance réelle**) correspond à la puissance moyenne consommée sur une période. Elle est notée \mathcal{P} et est exprimée en watt (W).

Pour un courant $i(t)$ et une tension $u(t)$ de période T , son expression est :

$$\mathcal{P} = \langle \mathcal{P}(t) \rangle = \langle u(t) \cdot i(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt$$

Pour une tension sinusoïdale de valeur efficace U et un courant sinusoïdal de valeur efficace I déphasé de φ par rapport à la tension, cette expression devient :

$$\mathcal{P} = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi = \frac{\hat{U} \cdot \hat{I}}{2} = \frac{U_{\text{max}} \cdot I_{\text{max}}}{2} \cdot \cos \varphi$$

$\cos \varphi$ correspond alors au facteur de puissance.

C'est la seule puissance à avoir un sens physique direct : par exemple dans le cas d'une résistance la puissance active est également la puissance thermique dissipée.

Il n'y a pas de déphasage dans une résistance, donc $\varphi = 0$ et $\cos \varphi = 1$

2.2.4- Puissance réactive :

En régime sinusoïdal, la **puissance réactive** est la partie imaginaire de la puissance apparente complexe. Elle se note Q , est exprimée en voltampère réactif (VAR, VAr ou var) et on a :

$$Q = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sin \varphi$$

Les dipôles ayant une impédance dont la valeur est un nombre imaginaire

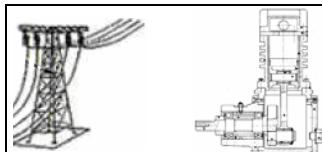
pur (capacité ou inductance) ont une puissance active nulle et une puissance réactive égale en valeur absolue à leur puissance apparente.

2.2.5- Puissance apparente :

La **puissance apparente** reçue en régime alternatif est le produit de la valeur efficace de la tension électrique aux bornes du dipôle par la valeur efficace du courant électrique traversant ce dipôle.

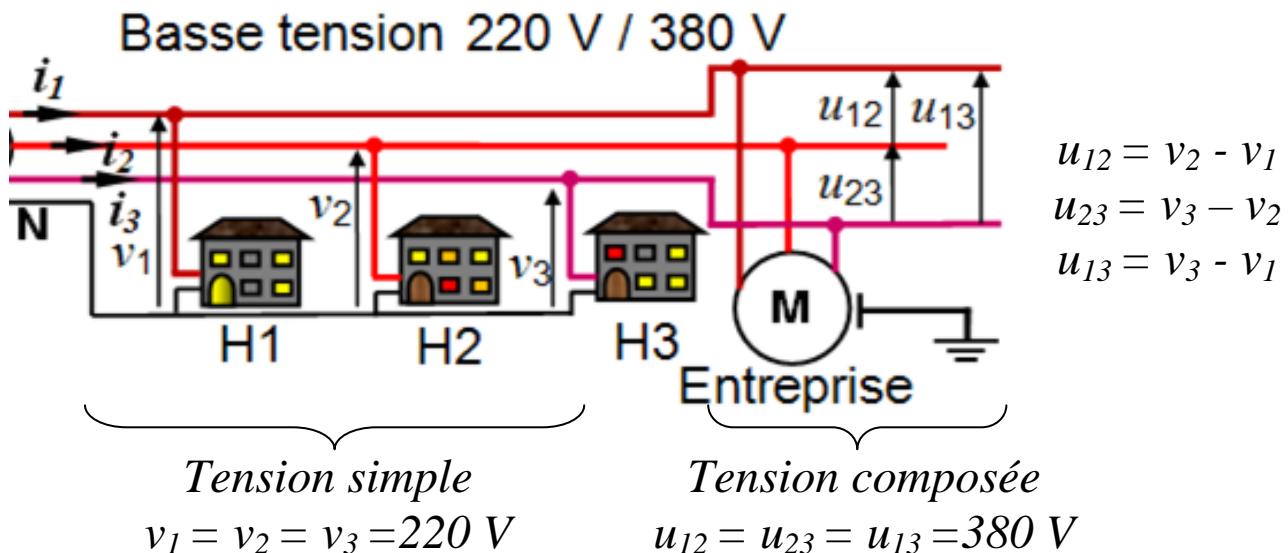
La puissance apparente se note S et est exprimée en volt-ampère (VA).

$$S = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$



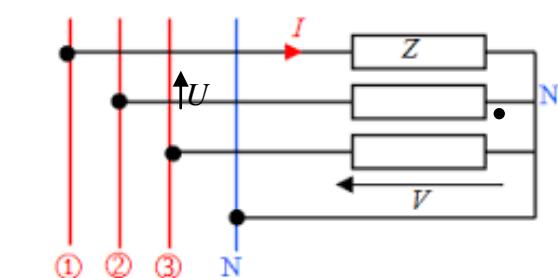
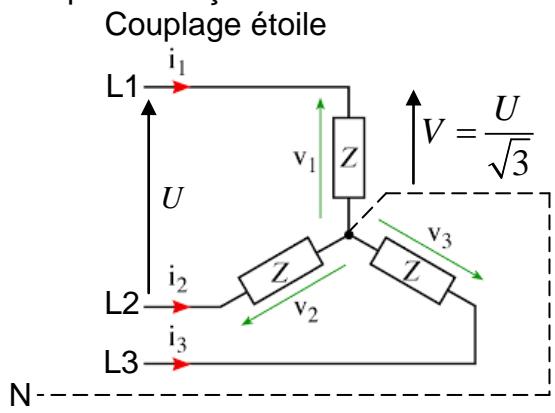
2.2- Courant alternative triphasé :

L'énergie électrique est produite, transportée et consommée sous forme de systèmes triphasés. Un système triphasé est dit équilibré si les valeurs efficaces des 3 courants sont égales.

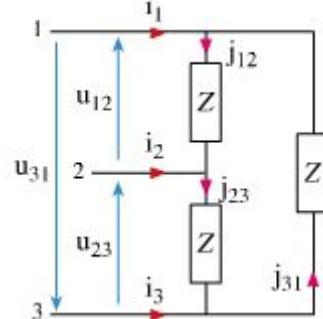
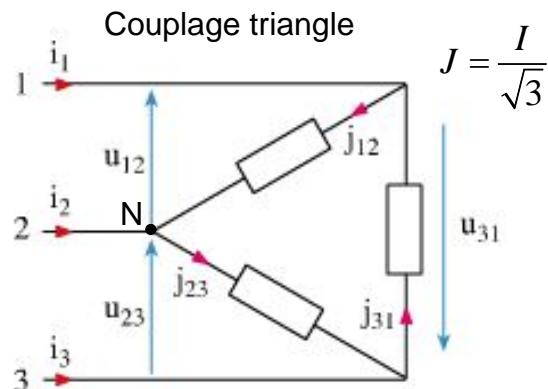


2.3- Courant alternative triphasé :

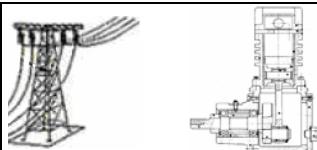
Un récepteur triphasé est constitué par trois récepteurs monophasés identiques peuvent être couplés de façons suivantes



Chaque récepteur est soumis à la tension simple du réseau soit $V = 220 \text{ V}$



Chaque récepteur est soumis à la tension composée du réseau soit $U = 380 \text{ V}$

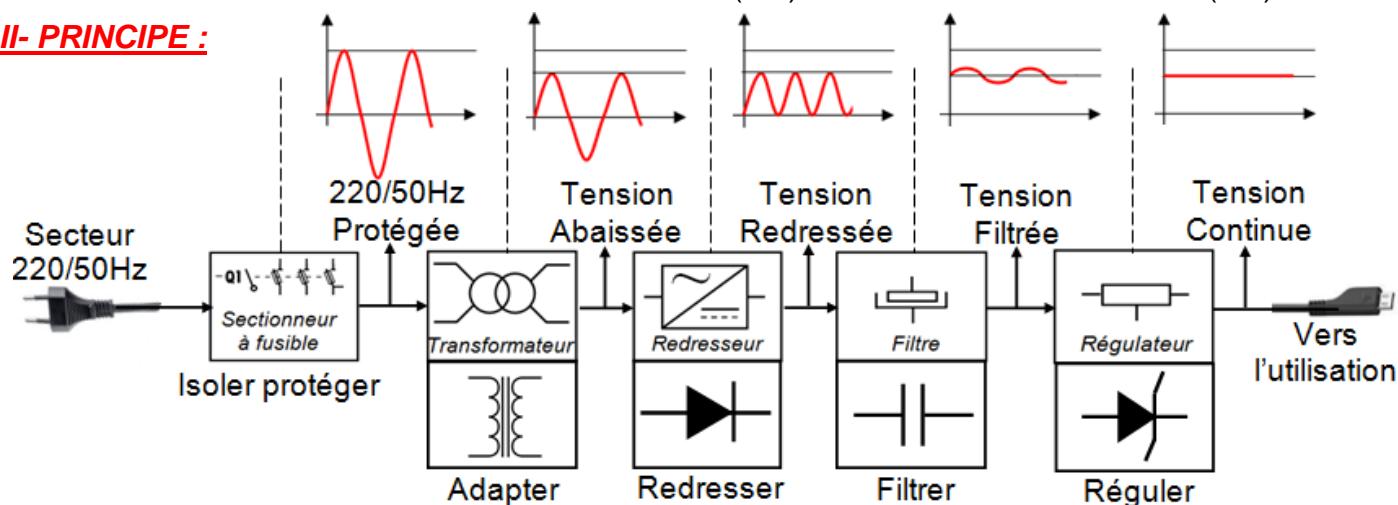


Convertir une tension AC (CA) en une tension DC (CC)

I- INTÉRÊT :

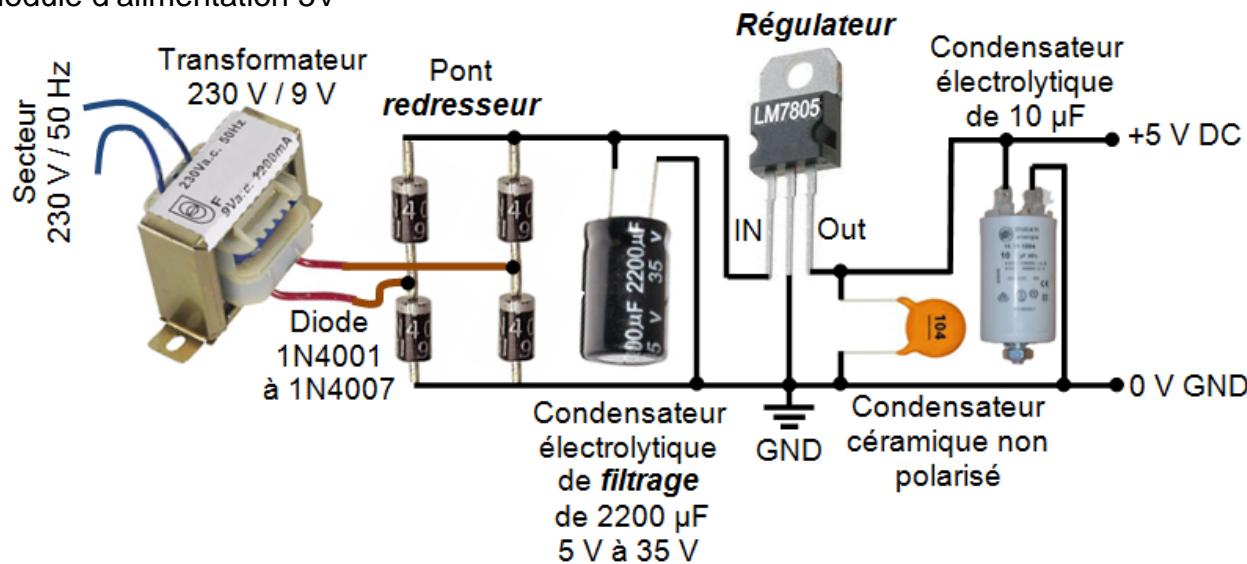
Certain produit (Moteur ; Téléphone portable...) fonctionnent en courant continu d'où l'intérêt de convertir la tension du réseau **Courant Alternatif (CA)** en tension **Courant Continu (CC)**

II- PRINCIPE :

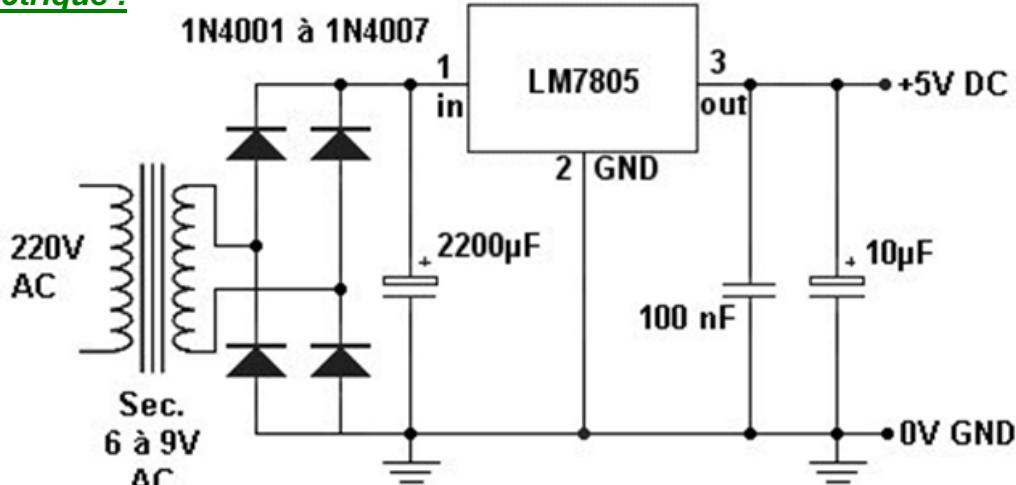


2.1- Exemple de réalisation :

Module d'alimentation 5V



2.2- Schéma électrique :



$$1 \mu F = 10^{-6} F$$

$$1 nF = 10^{-9} F$$

$$1 pF = 10^{-12} F$$