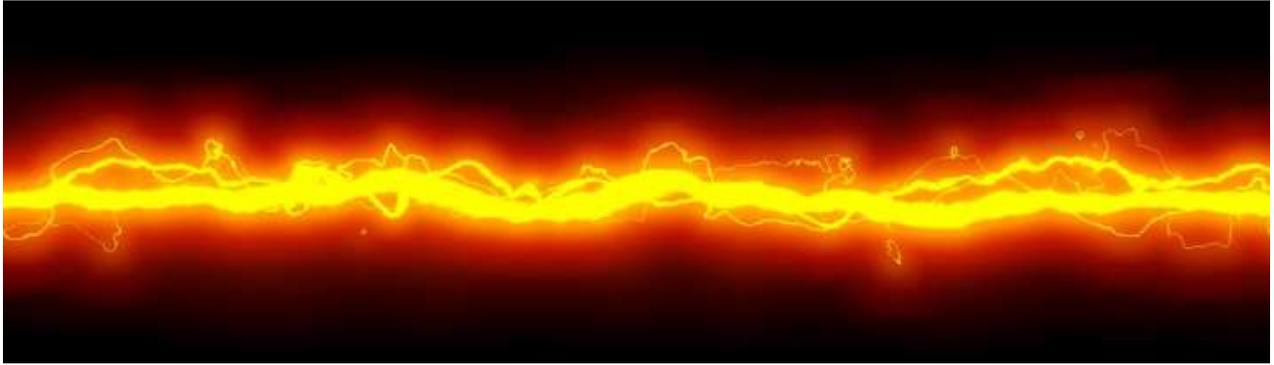


# GESTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE



## Baccalauréat STI2D-SIN

- 2.1 : Caractérisation des fonctions relatives à l'énergie : production, stockage, transformation, modulation

### Objectifs

A la fin de la séquence l'élève doit être capable de :

- citer les principales sources d'énergie électriques
- définir les grandeurs électriques principales de ces sources
- de décrire le modèle de ces sources
- de dimensionner une source simple

### Rappels

#### Le courant électrique

Il s'agit d'un mouvement de particules électriques (les électrons) déplacées sous l'action d'un champ électrique. Le courant électrique ne circule que dans des milieux conducteurs.

Son intensité est exprimée en AMPERES (A).

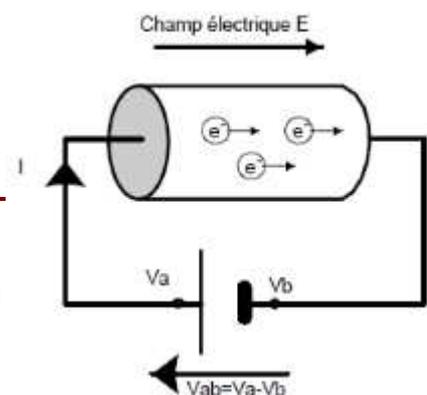
#### La tension électrique

Appelée aussi différence de potentiel, il s'agit d'une différence de charge électrique entre deux points ( $V_a$  et  $V_b$  sur la figure ci-contre). Son intensité est exprimée en VOLT (V).

Le parcours d'un courant dans un élément résistif (R) produit une différence de potentiel aux bornes de cet élément donc une tension.

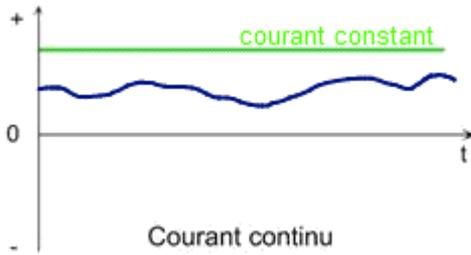
Cette propriété est modélisée par la loi d'ohms :

$$U = R \times I$$

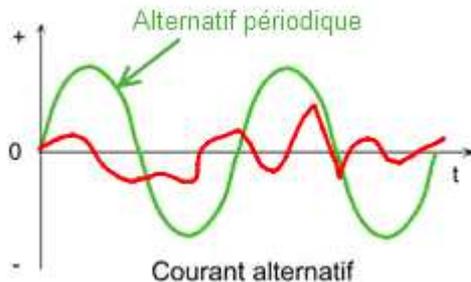


#### Nature du courant : continu / alternatif

Un **courant continu** est tel que les particules électriques ne changent jamais de sens. Si la valeur est toujours la même dans le temps on parle de **courant continu constant**.



Courant continu

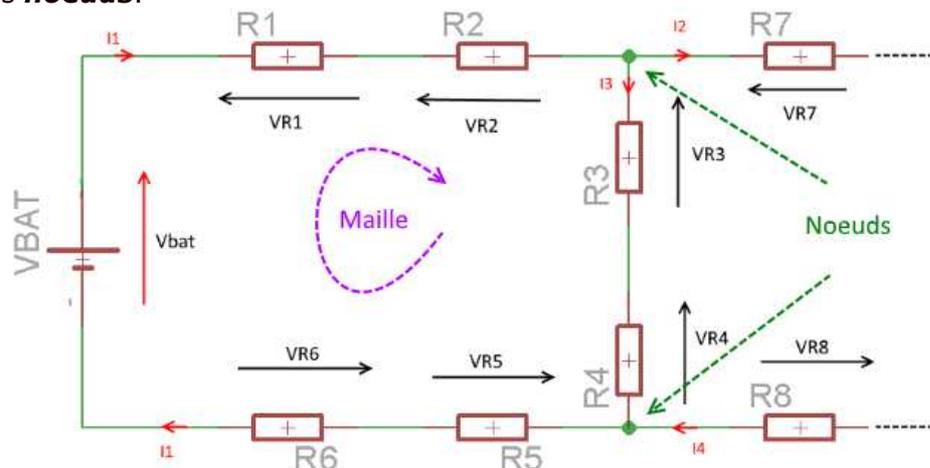


Courant alternatif

Un **courant alternatif** est tel que les particules changent de sens. Si le changement de sens se fait toujours de la même manière en fonction du temps, on dit que le courant est alternatif et périodique.

## Maille et noeuds

Une **maille** est un chemin électrique fermé passant par différents points d'un circuit appelés des **noeuds**.



## Lois de Kirschhoff

### Loi des noeuds

C'est la première loi de Kirschhof :

"La somme algébrique des intensités des courants qui entrent par un noeud est égale à la somme algébrique des intensités des courants qui en sortent"

Dans le schéma précédent  $I_1 + I_2 + I_3 = 0$  et  $I_1 + I_3 + I_4 = 0$

### Loi des mailles

La loi des mailles est la deuxième loi de Kirschhof :

"La somme des différences de potentiel d'une maille est nulle."

Dans l'exemple ci-dessus :

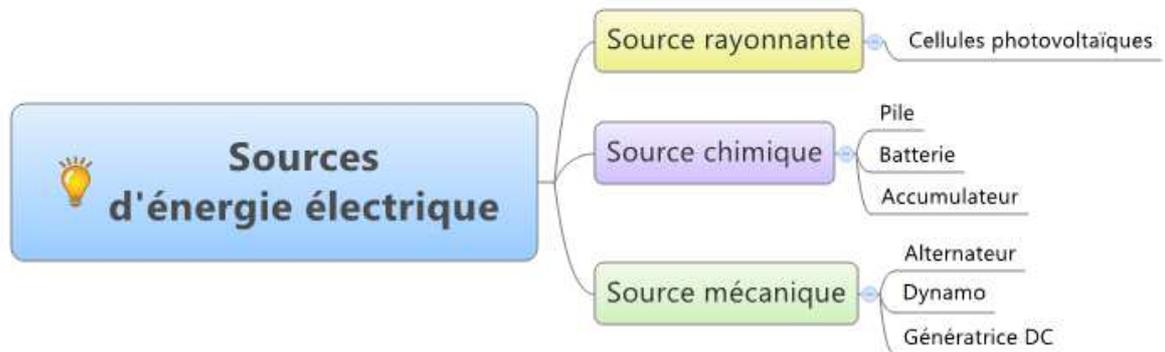
$$V_{\text{bat}} - V_{R1} - V_{R2} - V_{R3} - V_{R4} - V_{R5} - V_{R6} = 0$$

Soit  $V_{\text{bat}} = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} + V_{R4} + V_{R5} + V_{R6}$

VR3 et VR4 partagent une autre maille avec VR7 et VR8

## Les sources d'énergie électriques

L'électricité tire son énergie primaire de trois sources d'énergies différentes :



Le courant distribué sera continu (piles ou cellules photovoltaïques) ou alternatif (alternateur).

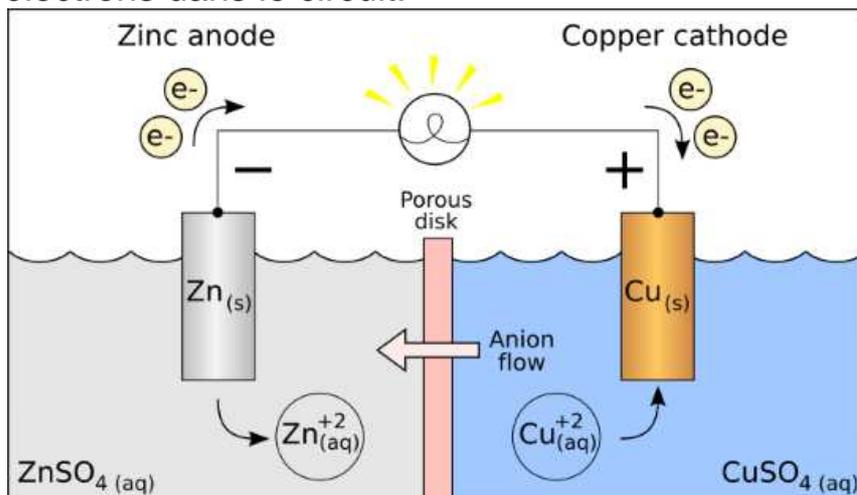
La source sera autonome (batteries ou cellules photo voltaïques) ou liée au réseau de distribution (produite grâce à de l'eau sous pression, un mouvement mécanique, etc...).

## Les piles électriques

### Principe

Les piles sont constituées d'une Anode (le zinc par exemple plongé dans une solution de sulfate de zinc  $ZnSO_4$ ) et d'une Cathode (le cuivre par exemple plongé dans une solution de sulfate de cuivre). Les deux composés sont reliés par un "pont salin" conducteur qui permet la circulation des charges électriques.

La réaction d'oxydation d'un atome de zinc entraîne la libération de deux électrons dans le circuit.



By Original uploader was Ohiostandard at en.wikipedia - Transferred from en.wikipedia; transferred to Commons by User:Burpelson AFB using CommonsHelper., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11236033>

Les électrons libérés se dirigent alors vers l'autre électrode de la pile (le pôle +) en créant un courant dans le circuit. Ce courant est conventionnellement positif du pôle + vers le pôle -, alors que les électrons se dirigent du pôle - vers le pôle + (car les électrons sont chargés négativement).

La tension aux bornes de la pile (c'est-à-dire la différence de potentiel entre ses électrodes) est  $u = E^+ - E^-$  approximativement 1,10V.

Ainsi, chaque élément unitaire d'une pile Zn-Cu possède une tension de 1,1V

### Association de piles

Pour obtenir une tension plus importante aux bornes d'une pile, il est nécessaire d'en mettre plusieurs **en série**; la loi des mailles s'applique.

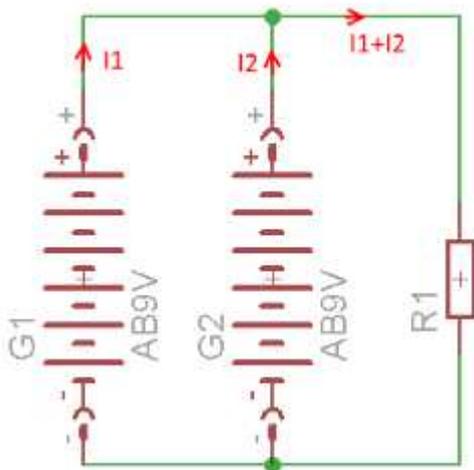
$$V_{\text{bat}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

Chaque cellule a accumulé une charge électrique  $Q$  exprimée en Coulomb ou en A.h (Ampère heure). Pour rappel la charge d'un électron est  $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$

$$1 \text{Ah} = 3600 \text{C}$$

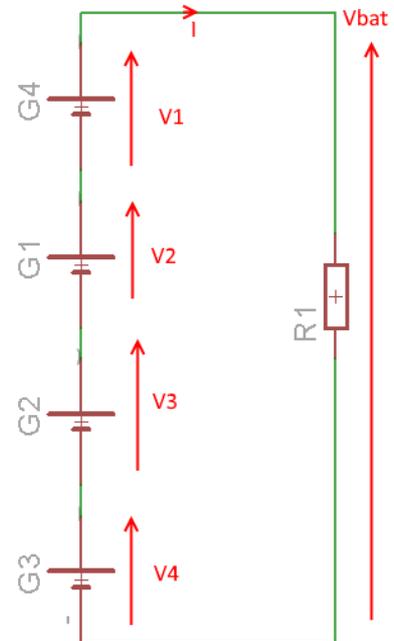
L'ampère heure est le produit du temps en heure par le courant débité :

$$Q = I \times t$$



Pour augmenter la capacité à fournir plus de courant, il faut donc augmenter la quantité de charge.

Pour cela une **association en série** est nécessaire; la loi des noeuds s'applique.



### Exemple d'application :

La batterie d'une voiture à une capacité de 50Ah. Elle se recharge en 10 heures.

- Quel est son courant de charge ?  
 $Q = I \times t$  donc  $I = Q/t$  soit  $I = 50/10 = 5 \text{A}$
- Quelle est sa charge en Coulomb ?  
 $50 \times 3600 = 180 \text{ kC}$

### Pile à combustible

Dans le cas de la pile à combustible la tension est générée grâce à l'oxydation d'un combustible réducteur (Hydrogène) couplée à la réduction d'un oxydant (Oxygène).

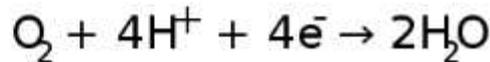
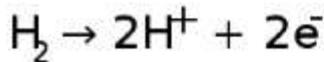
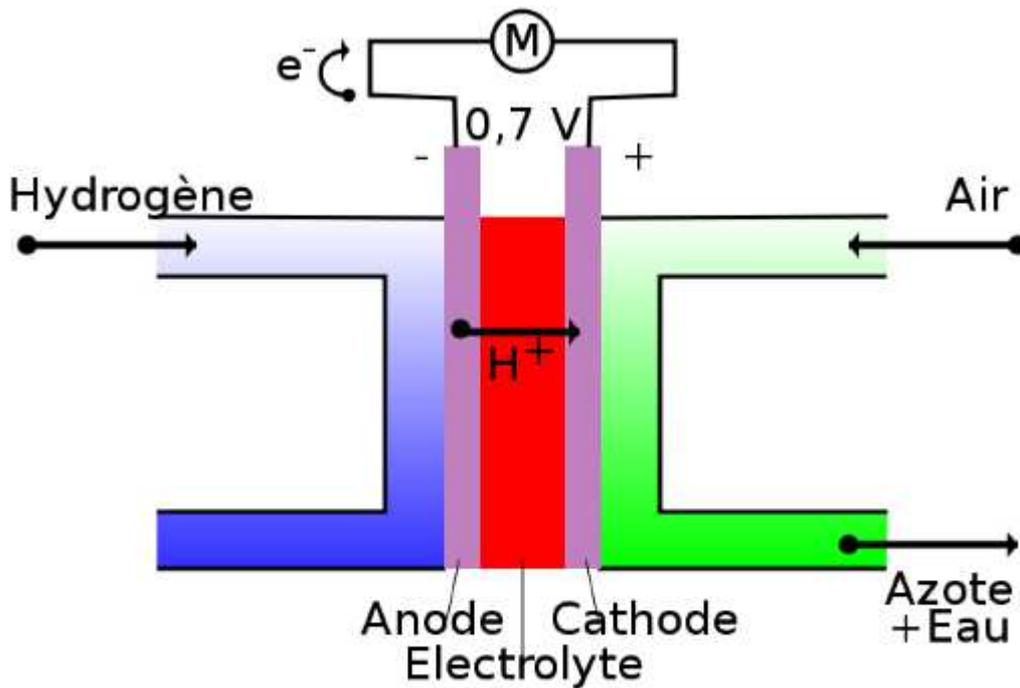


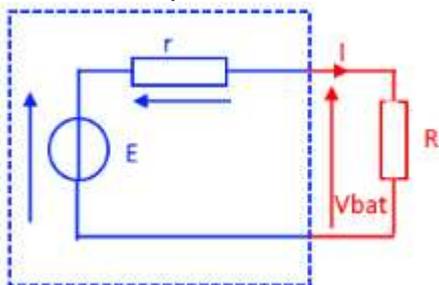
image de HandigeHarry <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3923704>

### Modèles équivalents

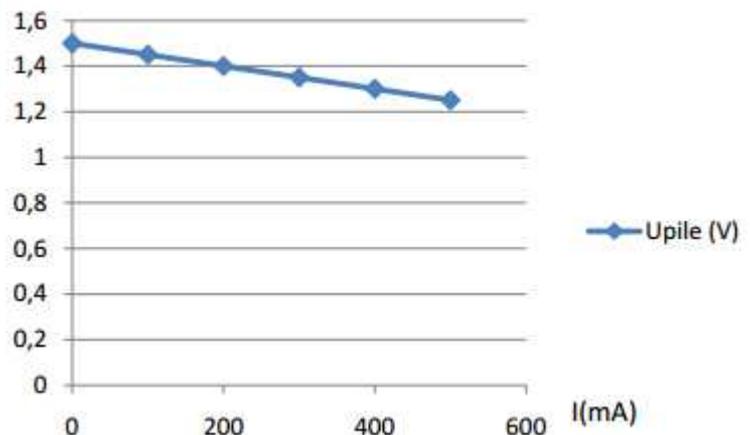
Lorsqu'on relève la tension de la pile en fonction du courant, on remarque que celle diminue presque linéairement.

Cela s'explique par le fait que la pile possède une résistance interne qui introduit une chute de tension lorsque le courant augmente.

- Le modèle équivalent est donc :



$$V_{\text{bat}} = E - r \times I$$

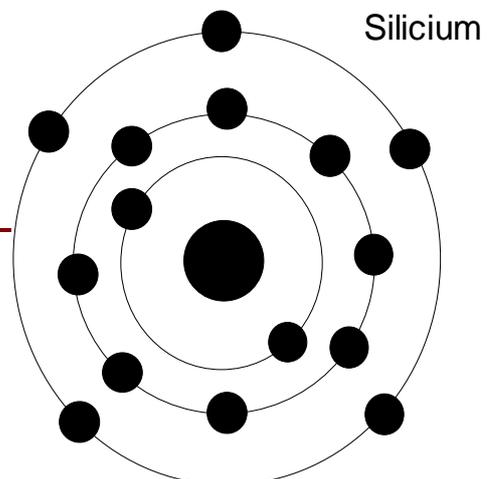


## Les cellules photovoltaïques

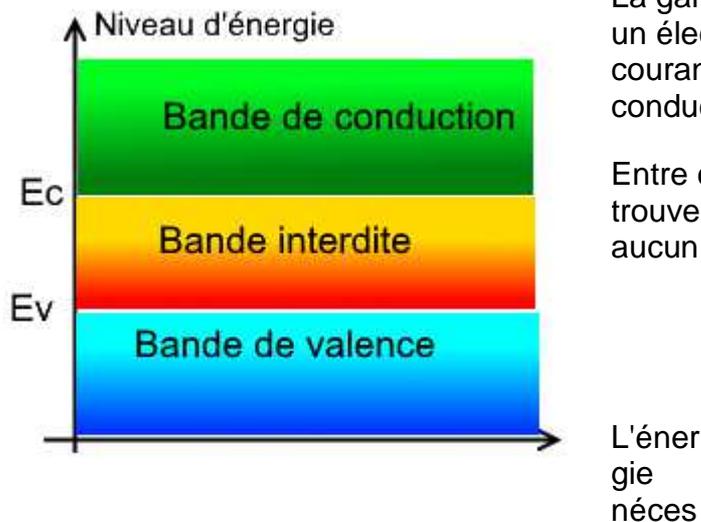
### Rappels

Un atome est constitué d'un noyau autour duquel gravite des électrons. Ceux qui gravitent sur la dernière couche (la plus éloignée du noyau) sont dits électrons de valence.

Si on communique à un électron de valence, une



énergie suffisante (électrique, calorifique...) il quittera l'atome et deviendra un porteur de charge électrique, contribuant à fournir un courant électrique.



La gamme d'énergie que peut occuper un électron capable de véhiculer un courant est appelé "Bande de conduction".

Entre ces deux bandes d'énergies, on trouve une bande interdite dans laquelle aucun électron ne demeure.

saire pour faire passer un électron de la bande de valence à la bande de conduction peut être communiquée par un photon d'énergie :

$$E = h \cdot \nu$$

où :

- $h$  est la constante de Planck :  $6,62 \times 10^{-34} \text{ Js}$
- $\nu$  (lettre grecque  $\nu$ ) la fréquence du photon en THz)

$\nu$  est aussi à lier à la longueur d'onde du photon

$$\nu = 3 \times 10^8 / \lambda$$

**Exercice d'application :**

Quelle est l'énergie produite par un photon de couleur rouge (800nm) ?

- $\nu = 300 \cdot 10^6 \text{ m.s}^{-1} / 800 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 375 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$
- $E = 6.62 \times 10^{-34} \times 375 \times 10^{12} = 248 \times 10^{-21} \text{ J}$

Quelle est l'énergie en eV sachant que :

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} ?$$

L'énergie est  $248 \times 10^{-21} / 1.6 \times 10^{-19} = 1,55 \text{ eV}$

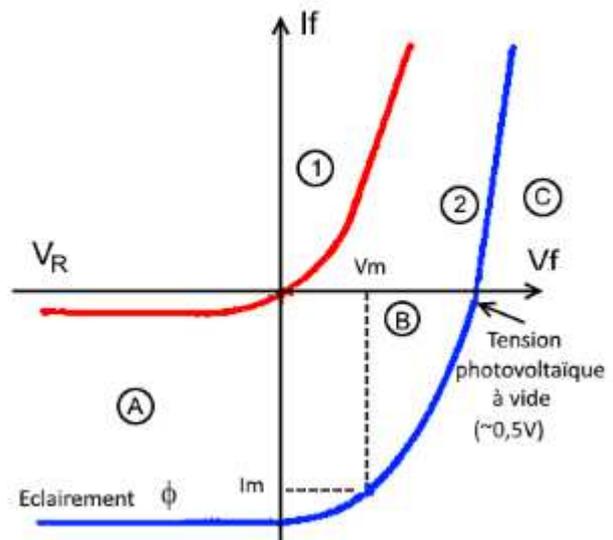
## La pile photovoltaïque

La pile photovoltaïque repose sur les principes vus précédemment. Il s'agit d'une jonction PN - comme une diode- exposée à la lumière.

Lorsqu'un photon "frappe" la jonction, une paire électron-trou se libère produisant un courant électrique.

La caractéristique de la cellule est donnée ci contre.

- La courbe 1 s'apparente à celle d'une diode pour laquelle le courant inverse est nul.
- Le cadran A correspond on cadran mis en œuvre dans un capteur optique : la photo diode.
- Dans le cadran B, lorsque l'intensité lumineuse augmente, le courant inverse augmente ainsi



que la tension de seuil (courbe 2). C'est ce mode de fonctionnement qui est utilisé dans les cellules photovoltaïques.

Pour obtenir une puissance restituée maximale, il convient de fixer le point de fonctionnement de sorte que  $V_m \times I_m$  soit au maximum.

## Modélisation

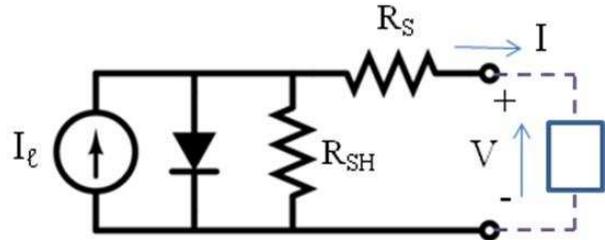
La cellule photovoltaïque se comporte comme une source de courant  $I_l$  associée à une diode et deux résistances internes série et parallèle.

Sources de l'image : National Instrument

$R_s$  est bien sûr très faible

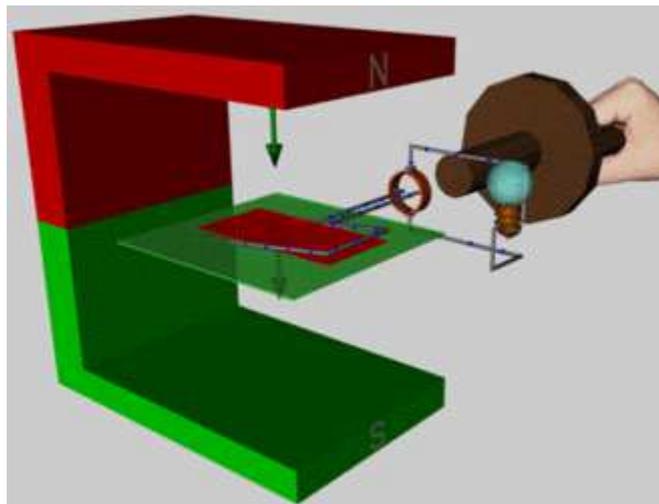
$R_{sh}$  est très élevé

Dans l'idéal ces deux résistances seraient inexistantes.



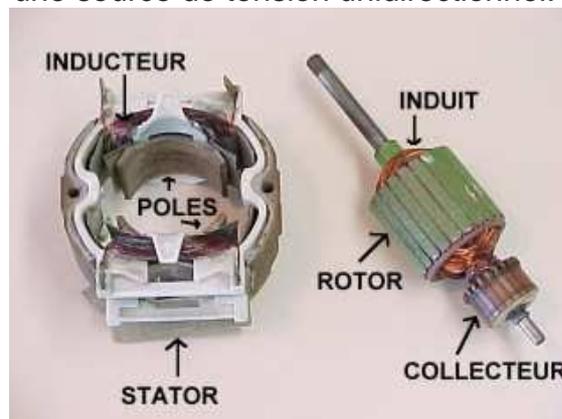
## Génératrice DC (Dynamo)

En faisant tourner une bobine dans le champ magnétique d'un aimant, on produit un courant électrique dans les fils de la bobine.



sources de l'image : Arthur Kronenberger - [www.physik3d.de](http://www.physik3d.de)

L'usage du collecteur relié aux bobinages et des balais qui, en frottant, assurent le contact électrique entre le collecteur (donc les bobines du rotor) et les bornes de sortie permet d'obtenir une source de tension unidirectionnel.

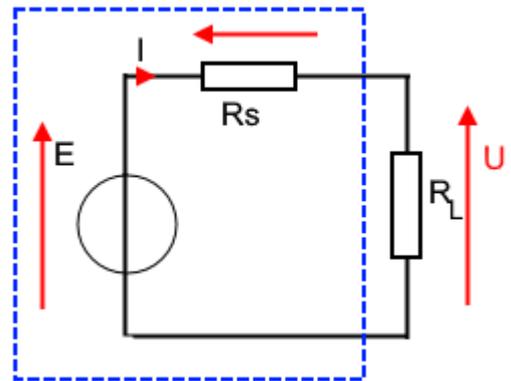


## Modélisation (charge résistive)

La dynamo se modélise de manière simple par :

- une force contre électromotrice  $E$
- une résistance série

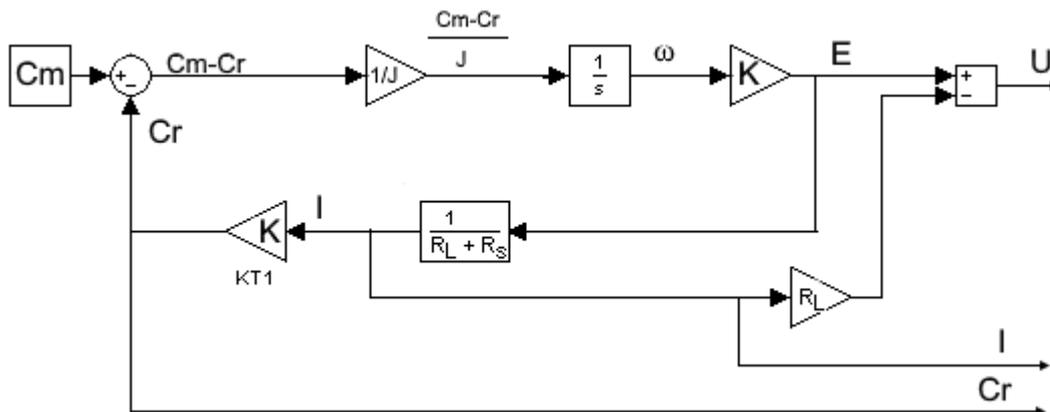
On en déduit que  $U = E + R.I$  en régime établi



Modélisation par schéma bloc

Avec

- $J$  : le moment d'inertie
- $R_s$  la résistance interne de la génératrice
- $K$  le coefficient de couple électromécanique
- $C_r$  le couple résistant
- $1/s$  correspond à une intégration



## Alternateur

L'alternateur a remplacé les dynamos dans les voitures en raison de ses meilleures performances (en matière de maintenance par exemple).

L'alternateur est en réalité un moteur asynchrone que l'on entraîne.

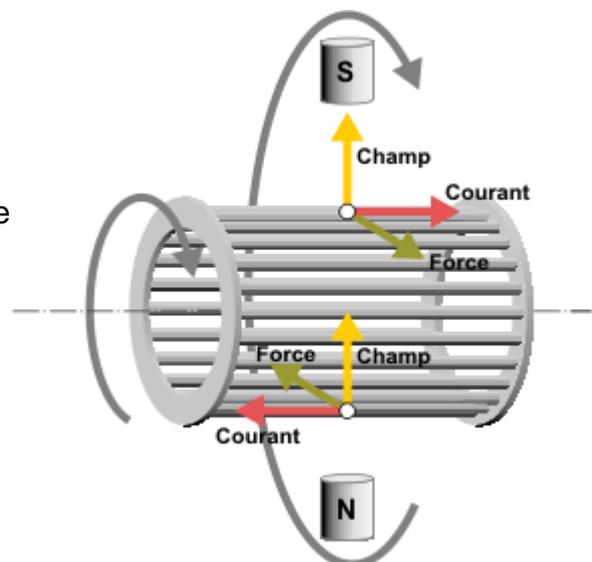
### Rappel sur le moteur asynchrone

Le moteur asynchrone est constitué :

- d'un stator produisant un champ magnétique tournant grâce à son alimentation en courant alternatif
- d'un rotor constitué d'un circuit électrique fermé appelé souvent "cage d'écureuil" et qui est le siège d'un courant de Foucault qui l'entraîne en rotation

La vitesse de rotation est légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme.

- Vitesse de synchronisme :  $n = f/p$ 
  - $n$  la vitesse en  $\text{tours.s}^{-1}$
  - $f$  la fréquence de la tension

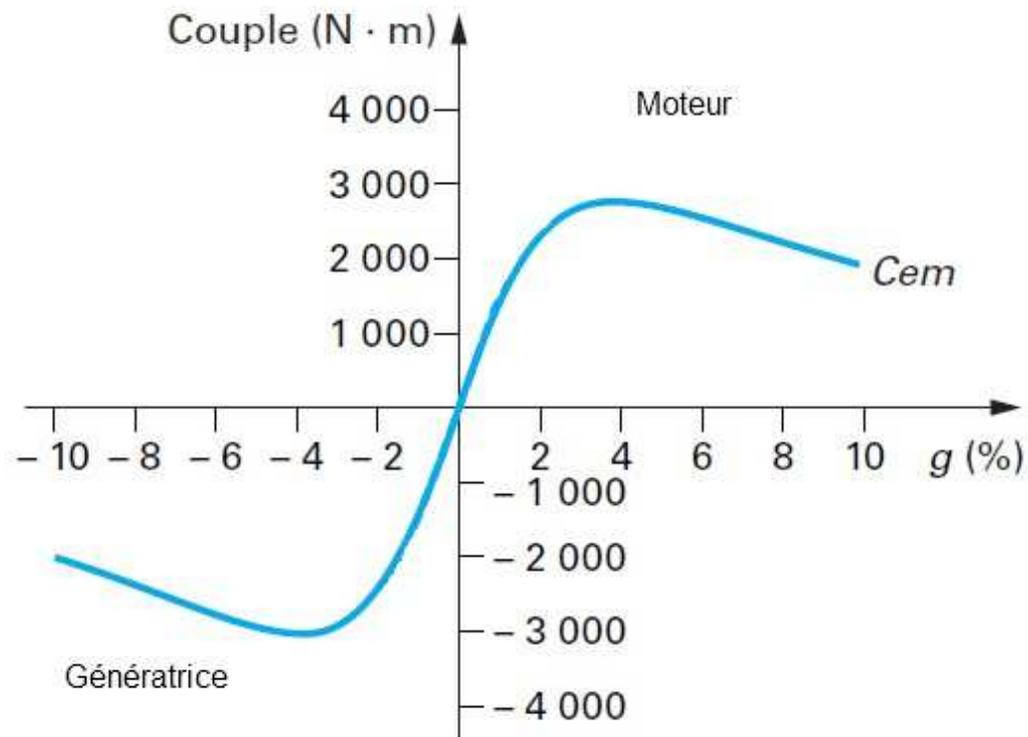


- d'alimentation en *Hertz*
  - $p$  le nombre de paires de pôles du circuit statorique
- $N = N_s (1 - g)$  ou  $g = (N_s - N) / N_s$ 
  - $N$  la vitesse en *tours.min<sup>-1</sup>*
  - $N_s$  la vitesse de synchronisme en *tours.min<sup>-1</sup>*
  - $g$  le glissement sans unité

## L'alternateur

Lorsque la machine est entraînée en rotation et que cette vitesse d'entraînement dépasse la vitesse de synchronisme, elle devient génératrice de courant. On dit alors qu'elle fonctionne en alternateur.

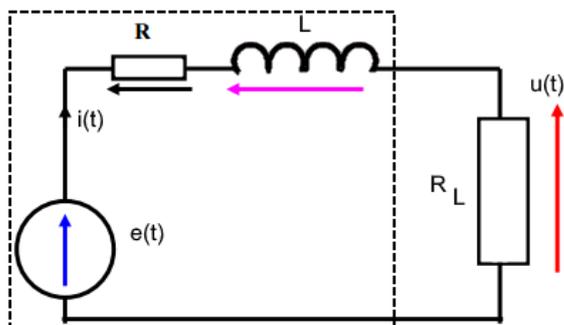
Toutes les centrales électriques produisent leur énergie avec des alternateurs.



L'alternateur peut-être monophasé ou triphasé voire hexaphasé.

Pour de grosses puissances de production, les alternateurs nécessitent des circuits d'excitation de l'inducteur.

## Modélisation



On en déduit que  $u(t) = e(t) - R \cdot i(t) - L \frac{di}{dt}$

# Moduler l'énergie électrique

## Besoin

Il est fréquent que l'on ait besoin de moduler l'énergie électrique par exemple pour varier une intensité lumineuse, pour varier la vitesse d'un moteur, etc....

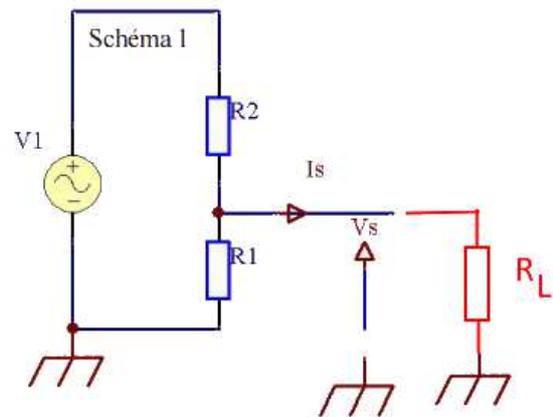
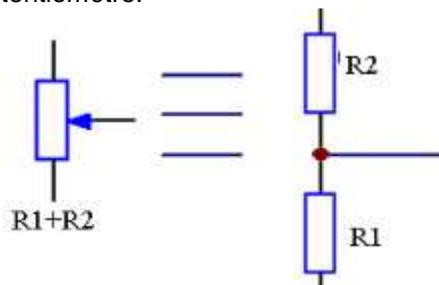
Deux grands principes existent.

- Par diviseur de tension
- Par modulation de largeur d'impulsion

## Modulation d'énergie par diviseur de tension

La variation de tension la plus facile à obtenir repose sur un pont diviseur de tension.

Dans le schéma ci-contre, R1 et R2 correspondent à un potentiomètre dont la valeur totale est R1+R2 et le point commun de connexion est le curseur du potentiomètre.



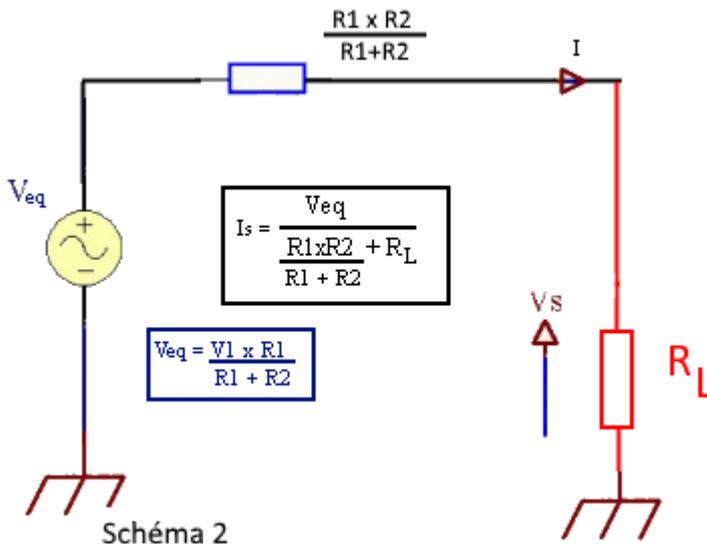
Si  $R_L$  est débranchée

Si  $R_L$  est débranché ou à une valeur infinie,  $I_s=0A$  et dans ce cas :

$$V_s = V_1 \times R_1 / (R_1 + R_2)$$

$R_L$  branché

Si  $R_L$  est branché, le courant  $I_s$  n'est plus nul et le schéma équivalent se présente comme suit :



Dans ces conditions, le courant  $I$  de sortie, non nul, traverse la résistance équivalente de valeur  $R_1.R_2/(R_1+R_2)$  et **provoque des pertes par échauffement**

Un gaspillage énergétique qu'il faut éviter si on est soucieux de l'environnement.

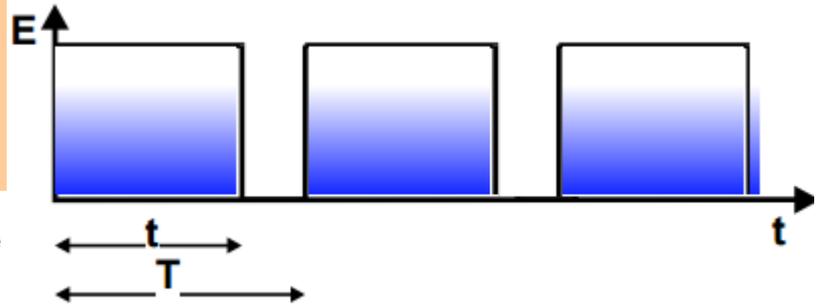
## Modulation par largeur d'impulsion

Cette solution consiste à ne laisser passer la tension maximale que de temps en temps. La moyenne de la tension est donc plus faible que la tension maximale.

Cette moyenne est :

$$V_{\text{moy}} = (E \times t) / T = E \times \alpha$$

$\alpha$  est appelé le rapport cyclique (Duty Cycle en anglais) et  $0 \leq \alpha \leq 1$



Cette modulation est appelée **MLI** (Modulation par Largeur d'Impulsion) ou en anglais **PWM** (Pulse Width Modulation).

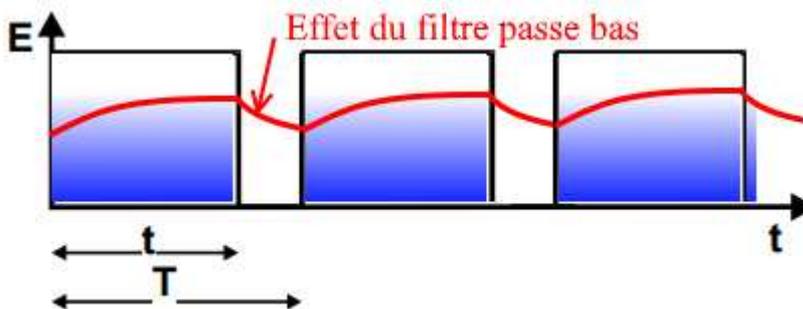
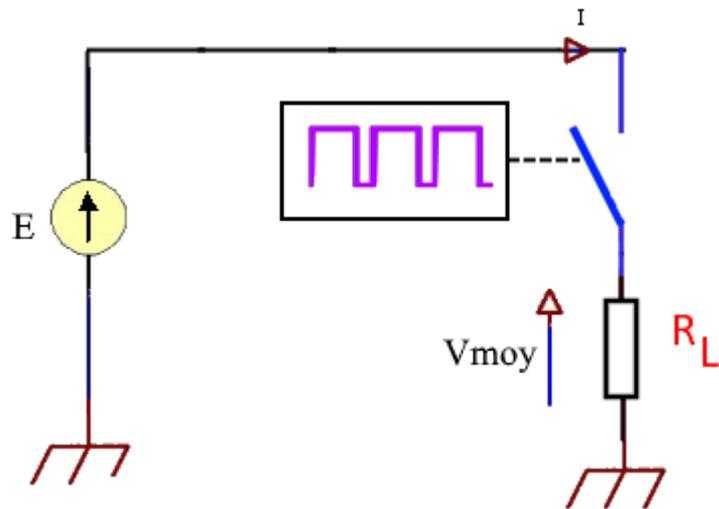
La solution constructive repose sur un transistor commandé en commutation par un signal rectangulaire :

Lorsque l'interrupteur (le transistor) est ouvert  $I=0$  et donc la puissance dissipée est nulle.

S'il est fermé, la tension à ses bornes est nul (ou presque) et la puissance est également nulle.

Il n'y a donc presque pas de pertes par effet Joule.

La fréquence du signal impulsionnel doit être assez élevée pour ne pas perturber le fonctionnement de la charge. On peut également introduire un filtre à base de condensateur pour atténuer les variations aux bornes de  $R_L$ .



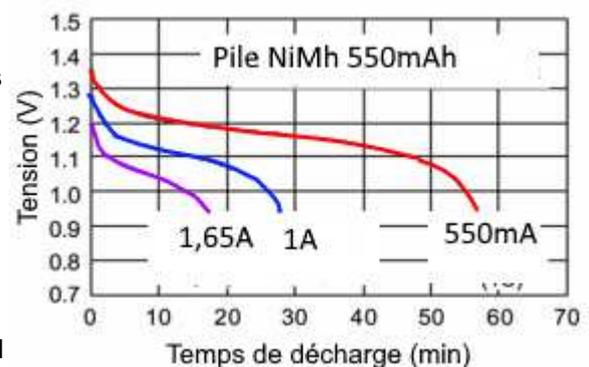
## Réguler la tension

### Besoin

Beaucoup de sources d'énergie ne sont pas en mesure de maintenir un niveau de tension constant en fonction du temps ou de la charge. Des piles par exemple se vident de leurs charges électriques dans le temps et leur tension baisse.

Parallèlement à cela les structures électroniques ont besoin d'être alimentées avec des tensions constantes.

Il est donc nécessaire de prévoir des structures de



régulation.

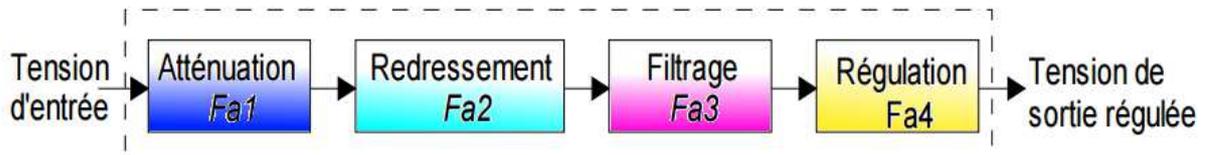
Deux grands principes :

- régulation linéaire
- régulation à découpage

## Régulation linéaire

### Principe

Une alimentation linéaire se compose de plusieurs blocs fonctionnels :



Ils permettent de passer d'une basse tension provenant du réseau de distribution électrique à la très basse tension régulée.

### Atténuation

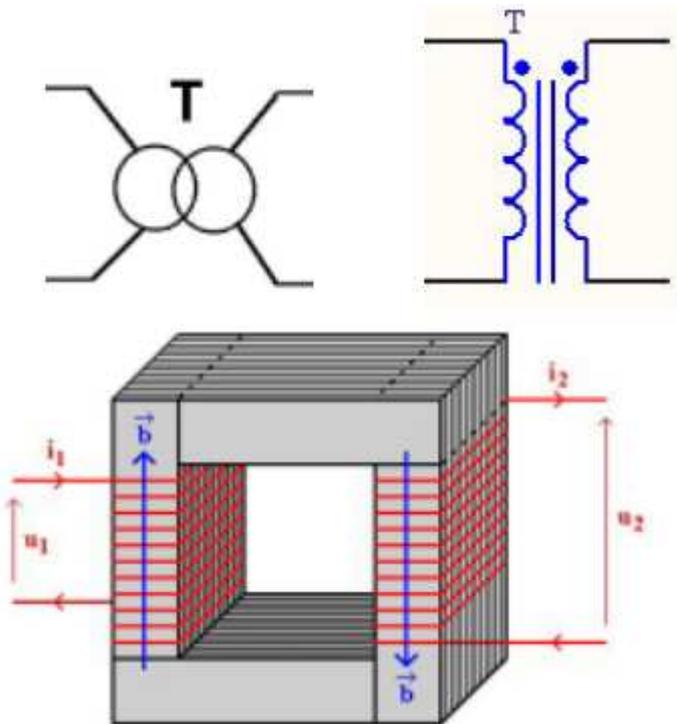
Elle permet de passer d'une tension élevée - le 230Vac par exemple - à la très basse tension.

Cette fonction est le plus souvent assurée par un transformateur qui ne peut fonctionner qu'en courant alternatif.

Le champ magnétique produit par les spires primaires ( $N_1$ ), est transformé par les spires secondaires ( $N_2$ ) en énergie électrique. Le rapport du nombre de spires détermine le rapport de transformation de la tension et du courant.

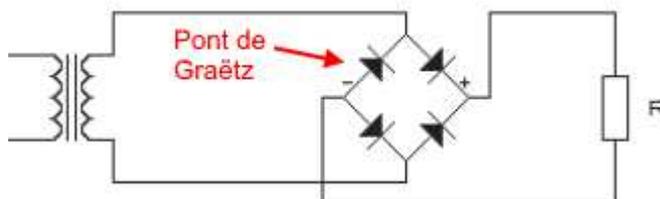
$$U_2/U_1 = I_1/I_2 = N_2/N_1$$

La puissance est  $P = U_2 \times I_2$

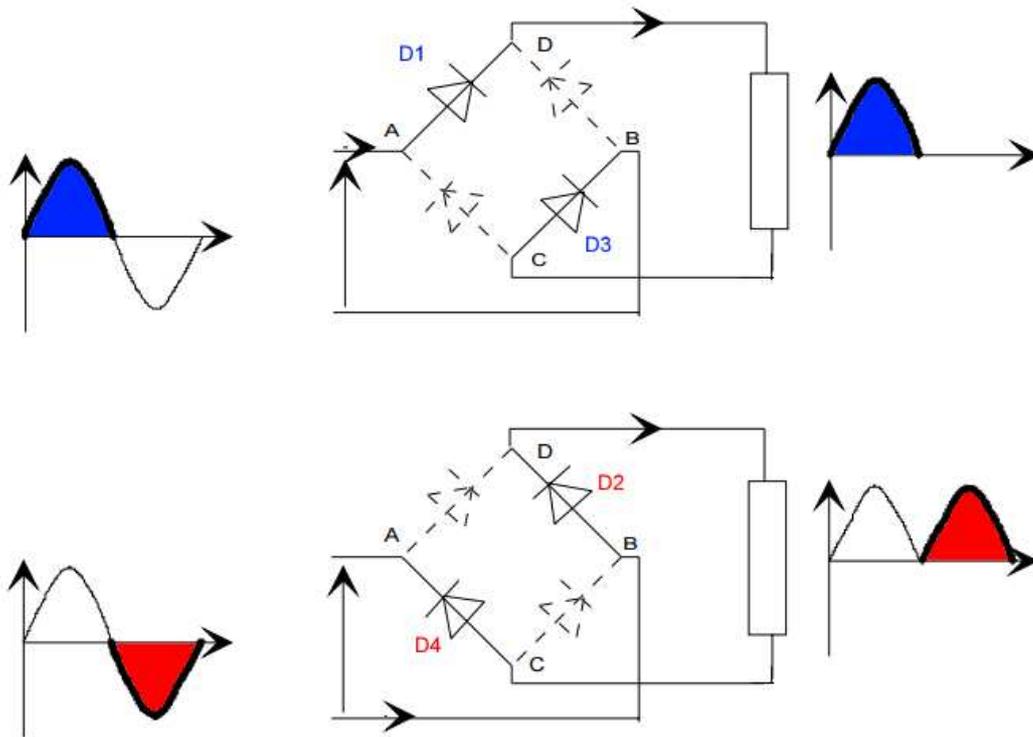


### Redressement

Le redressement consiste à transformer une tension alternative en tension continue. Elle est assurée par le pont de Graëtz :

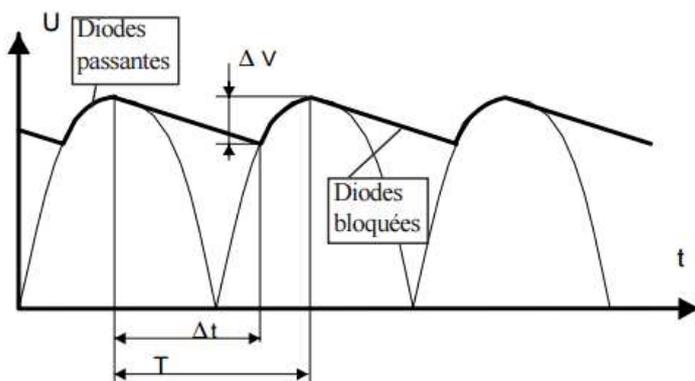
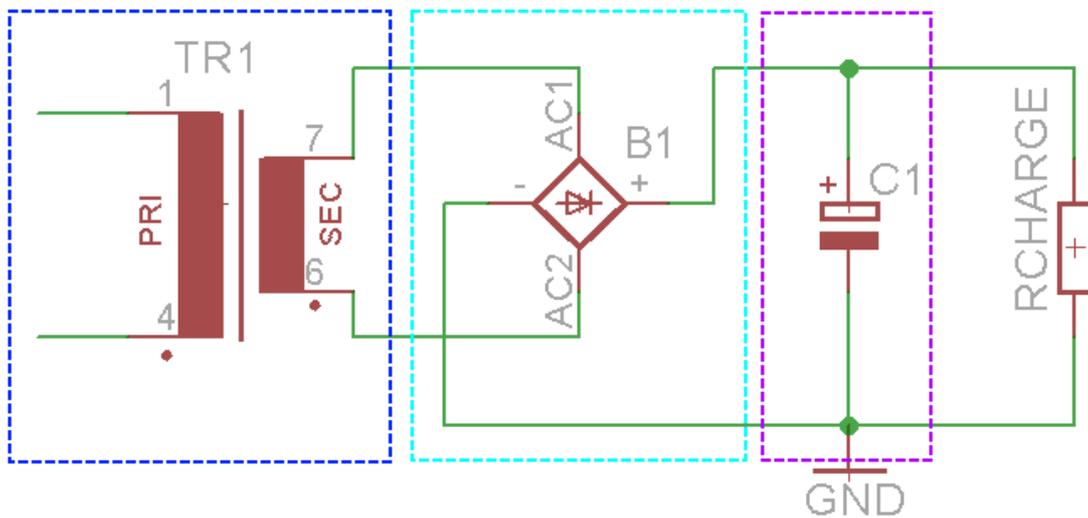


Constitué de 4 diodes, elles sont passantes deux à deux pour produire une tension positive aux bornes de la charge.



## Filtrage

Cette fonction a pour rôle d'atténuer les variations de tension. Elle repose sur un condensateur de forte capacité qui accumule l'énergie lorsque la tension est élevée et la restitue lorsqu'elle est faible.



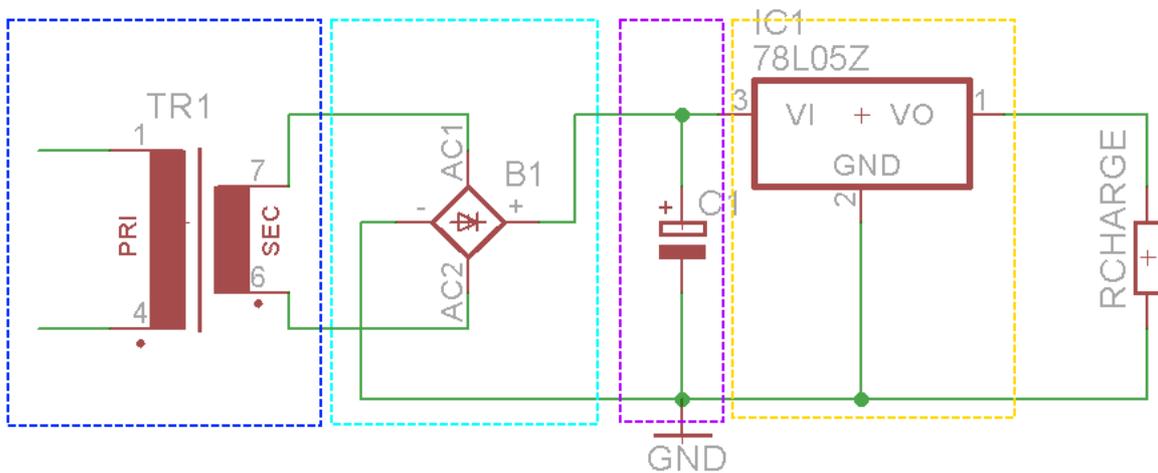
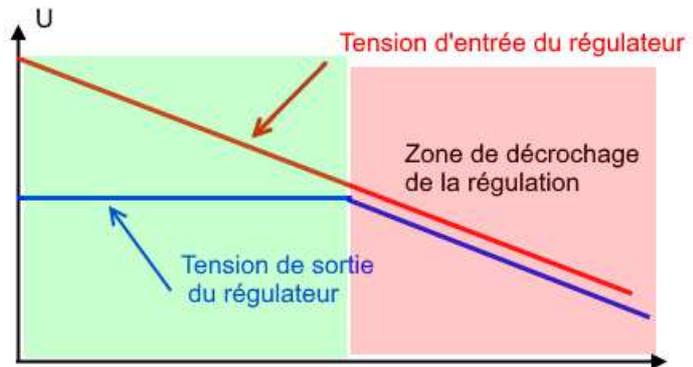
$\Delta V$  est la tension aux bornes du condensateur  
 $\Delta t$  est le temps de décharge (environ 8ms)  
 $I$  est le courant délivré à la charge.

Le calcul de C vient de  $Q = I_x t = C_x U$   
 $C = I_x \Delta t / \Delta U$

## Régulation

Le régulateur n'est pas une source de tension mais juste une structure qui maintient la tension de sortie (pour un régulateur de tension) lorsque la tension d'entrée varie. En deçà d'une certaine tension d'entrée, le régulateur ne peut plus remplir sa fonction.

Les régulateurs monolithiques sont les régulateurs les plus courants. Ils s'utilisent facilement presque sans composants externes et se définissent en fonction de leurs tension et courant de sortie.



## Conclusions

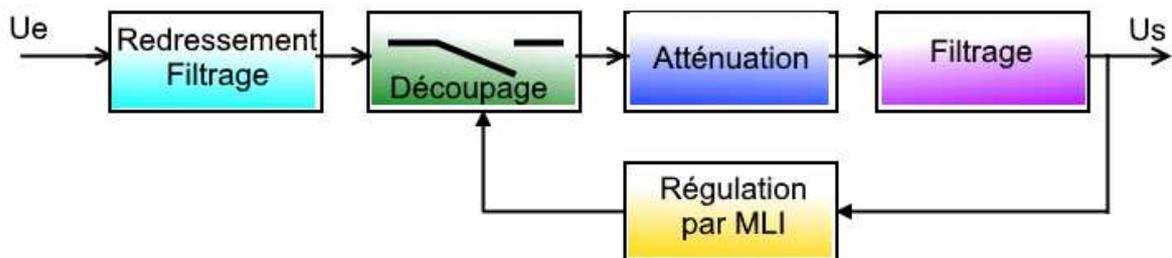
Ces alimentations sont peu coûteuses et faciles à mettre en oeuvre mais elle présente l'inconvénient d'avoir un mauvais rendement.

En effet si le courant de sortie est de 1A, la tension de sortie de 5V et la tension d'entrée de 9V, 9W seront dissipés en chaleur soit presque 50%.

Elles doivent être évitées pour distribuer de fortes puissances (ordinateurs par exemple).

## Alimentations à découpage

Elle reprend les différents principes vus précédemment et en particulier la modulation de largeur d'impulsion.



Le découpage par MLI, comme nous l'avons [vu précédemment](#), introduit peu de pertes ce qui donne un très bon rendement à ce type d'alimentation.