

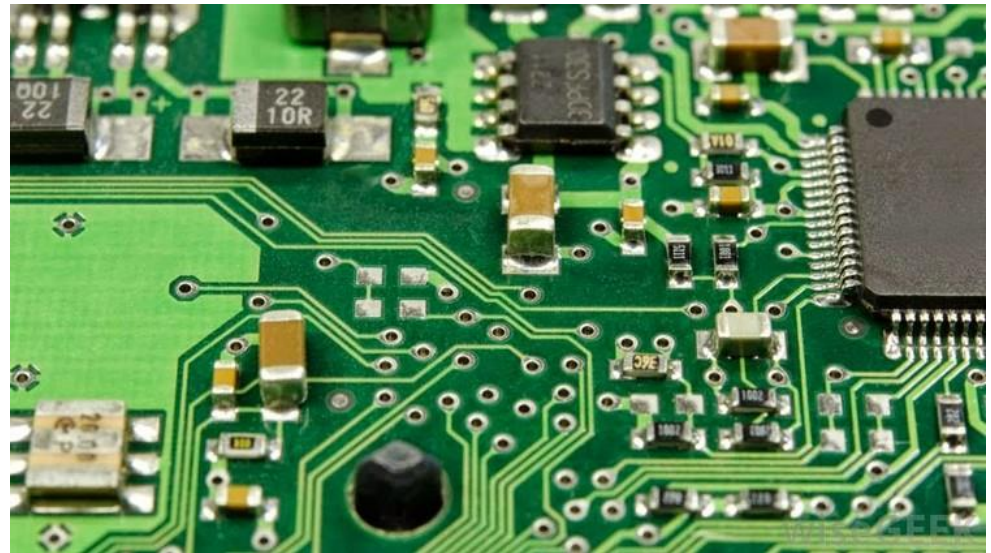


Éléments de Physique : Électromagnétisme

CHAPITRE 4 : CIRCUITS EN COURANT CONTINU

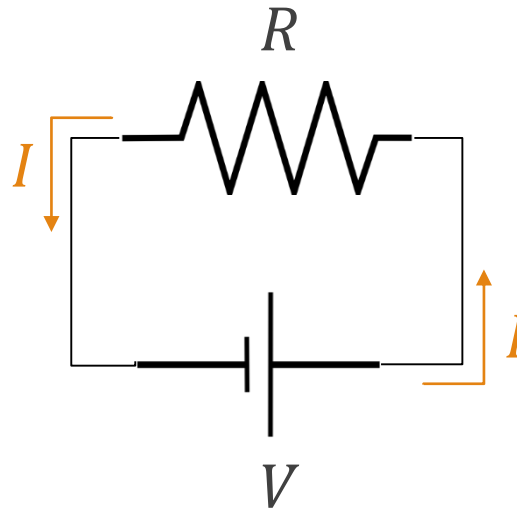
Table des matières

1. Association de résistances
2. Lois de Kirchhoff
3. Charge et décharge d'un condensateur
4. Mesures électriques et applications



Exemple simple

Circuit électrique le plus simple : une pile (fem) + une résistance



Dans quel sens le courant circule-t-il ?

Si la pile développe 5 V et que la résistance est de 100 Ohm, quel courant passe dans le circuit ?

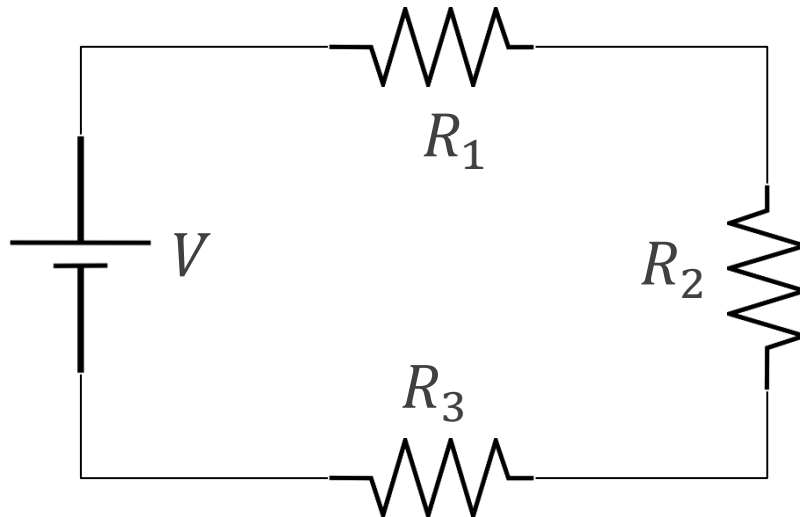
$$I = \frac{V}{R} = \frac{5}{100} = 0,05 \text{ A}$$

Résistances en série

Les résistances placées en série se somment. La résistance équivalente vaut :

$$R = \sum_i R_i$$

Analogie fluide : Le flux d'électrons est conservé et tous les électrons passent par toutes les résistances.



$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

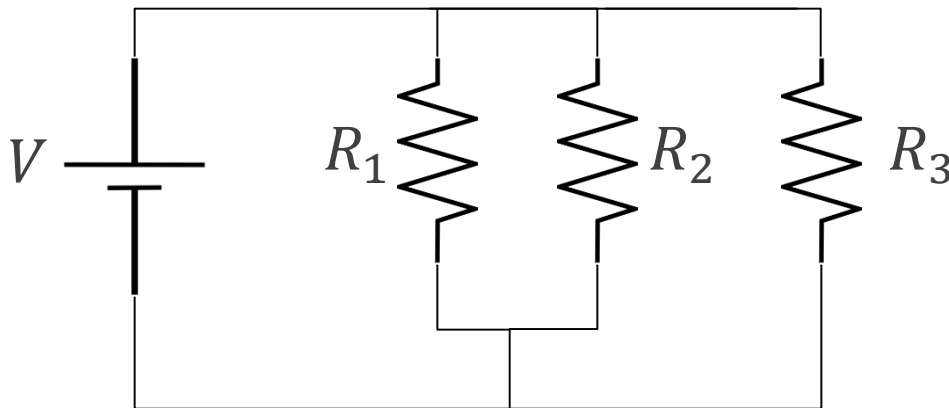
$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

Résistances en parallèle

Lorsque les résistances sont placées en parallèle, il faut sommer l'inverse des résistances. La résistance équivalente vaut :

$$\frac{1}{R} = \sum_i \frac{1}{R_i}$$

Analogie fluide : Le flux d'électrons est conservé, même s'il se divise. Plus la résistance d'un chemin est faible, plus les électrons ont tendance à le suivre.



$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Lois de Kirchhoff

Analyse générale d'un circuit en courant continu

1. La somme des différences de potentiel le long d'un circuit fermé est nulle (conservation de l'énergie) :

loi des mailles $\sum_i \Delta V_i = 0$ gain $\Delta V > 0$
chute $\Delta V < 0$

On peut choisir arbitrairement le sens de parcours de la maille.

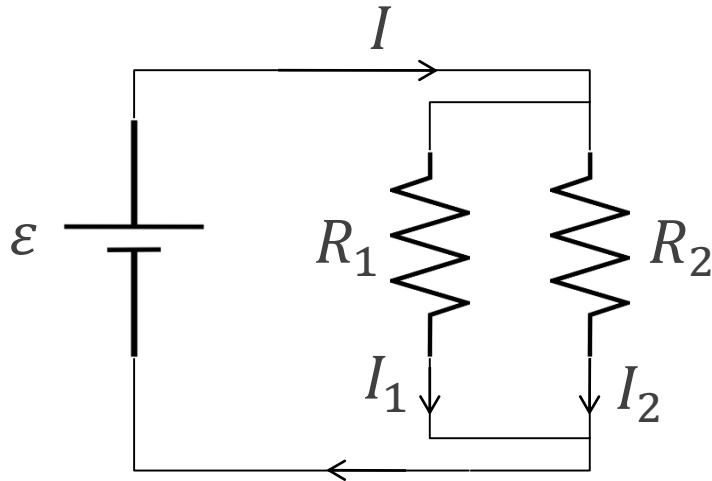
2. En tout point d'un circuit, la somme des courants est nulle (conservation de la charge) :

loi des nœuds $\sum_i I_i = 0$ I entrant > 0
 I sortant < 0

On peut choisir arbitrairement un sens pour le courant dans chaque branche. Lorsque le circuit est résolu, $I > 0$ dans la branche si le choix de départ est correct (sinon $I < 0$).

Exemple d'utilisation 1

Résoudre le circuit = trouver les valeurs du courant dans chaque branche.



➤ Loi des nœuds (2 possibilités) :

$$I - I_1 - I_2 = 0$$

$$I_1 + I_2 - I = 0$$

→ une équation

➤ Loi des mailles (3 possibilités) :

$$\varepsilon - R_2 I_2 = 0$$

$$\varepsilon - R_1 I_1 = 0$$

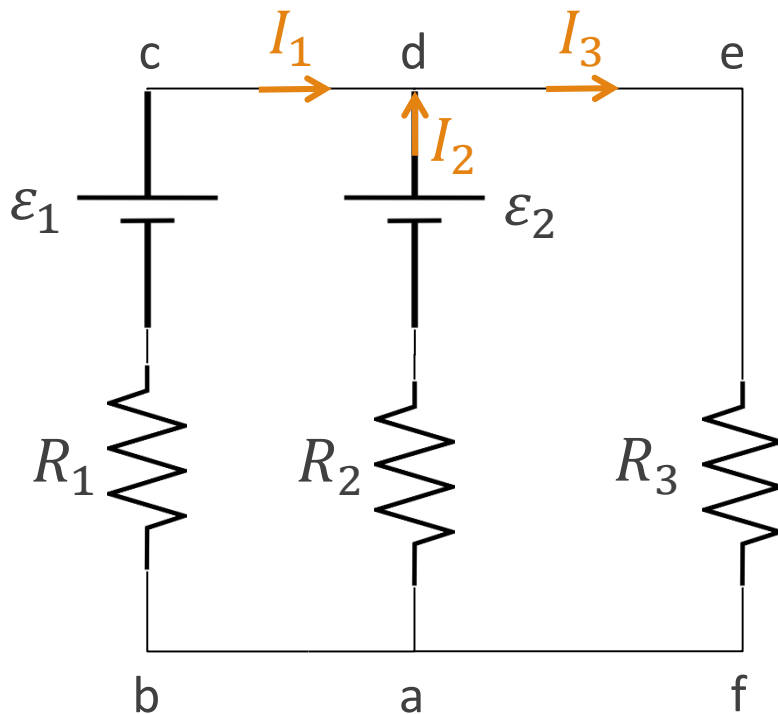
$$R_1 I_1 - R_2 I_2 = 0$$

→ 2 équations

Résoudre le circuit = résoudre un système de 3 équations à 3 inconnues.

Exemple d'utilisation 2

Les piles travaillent en partie l'une contre l'autre.



$$R_1 = 2 \, \Omega, R_2 = 12 \, \Omega, R_3 = 4 \, \Omega$$
$$\varepsilon_1 = 6 \, \text{V} \quad \varepsilon_2 = 8 \, \text{V}$$

➤ Loi des nœuds :

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

➤ Loi des mailles :

$$(cefb) \quad \varepsilon_1 - R_3 I_3 - R_1 I_1 = 0$$

$$(cdab) \quad \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + R_2 I_2 - R_1 I_1 = 0$$

➤ Système de 3 équations :

$$I_1 = 0,8 \, \text{A}$$

$$I_2 = 0,3 \, \text{A}$$

$$I_3 = 1,1 \, \text{A}$$

Puissance électrique

Lorsqu'un élément de circuit est soumis à une différence de potentiel ΔV , une quantité de charge Δq passe par l'élément en un temps Δt .

Modification de l'énergie potentielle de la charge :

$$\Delta U = \Delta qV = VI\Delta t = \text{travail fourni par l'élément} = P\Delta t$$

➤ **Puissance** associée au travail électrique :

$$P = VI$$

➤ Si on a affaire à une résistance simple, $V = RI$ et :

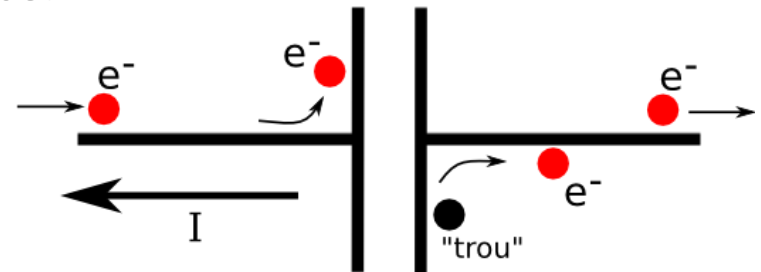
$$P_R = RI^2$$

La puissance est dissipée par **effet Joule** (sous forme de chaleur).

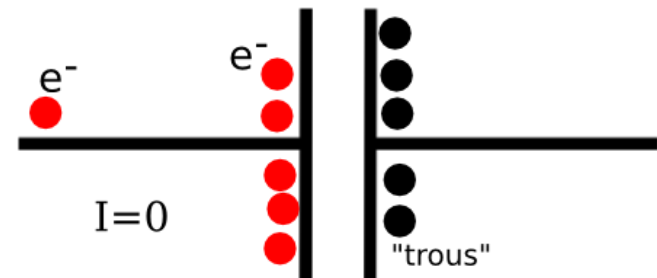
Comportement électrique du condensateur

On distingue deux cas limites lorsque ΔV est appliquée à un condensateur :

- Condensateur déchargé (on vient d'appliquer ΔV) : le courant peut passer comme dans un fil sans résistance.



- Condensateur chargé (ΔV est appliquée depuis longtemps) : le passage du courant est empêché.



Circuits RC

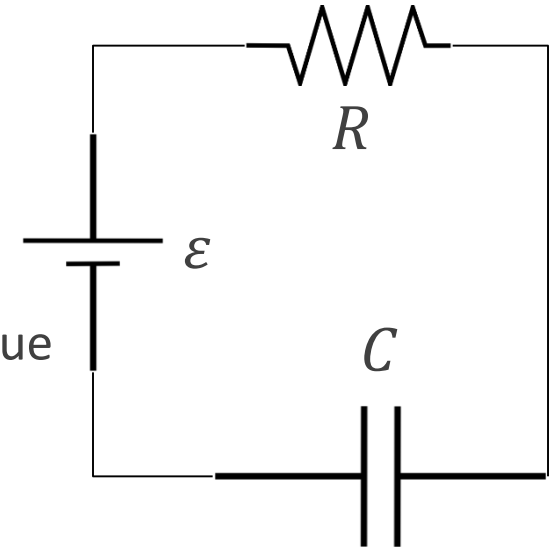
On associe une résistance et une capacité dans le même circuit.

Charge du condensateur

Initialement ($t = 0$) : $Q = 0$ et $\varepsilon = RI = V_R$

Régime final ($t = +\infty$) : $Q = CV_c = C\varepsilon$ et $I = 0$

Entre les deux (transitoire) : Q augmente et I diminue



Nouvelles fonctionnalités dynamiques :

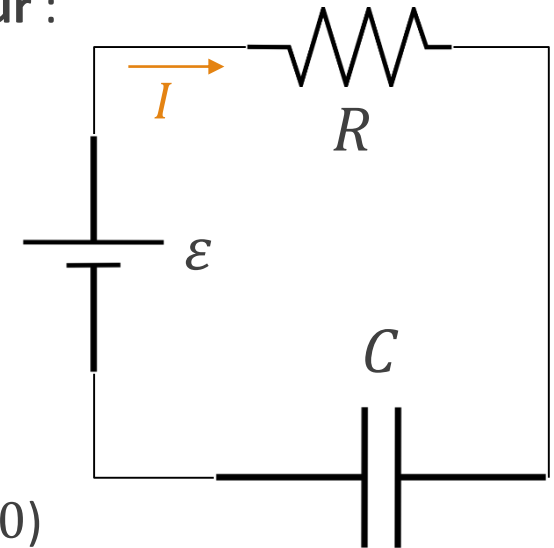
- La charge du condensateur est ralentie par la résistance (qui limite le courant).
- Plus C est grande, plus la charge finale sera importante.
- Temps caractéristique de charge : $\tau = RC$

Circuits RC

Equation à résoudre pour la **charge du condensateur** :

$$\varepsilon - RI - \frac{Q}{C} = 0 \quad (\text{Kirchhoff})$$

$$\Leftrightarrow RC \frac{dQ}{dt} = \varepsilon C - Q$$



Equation différentielle inhomogène du 1^{er} degré :

- Solution particulière : $Q = \varepsilon C = \text{constante}$ ($I = 0$)
- Solution générale du problème homogène (sans le terme εC) :

$$Q = A e^{-\frac{t}{RC}}$$

- Solution globale : $Q(t) = \varepsilon C + A e^{-\frac{t}{RC}} = \varepsilon C (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) = Q_{\max} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

$$I(t) = \frac{dQ}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

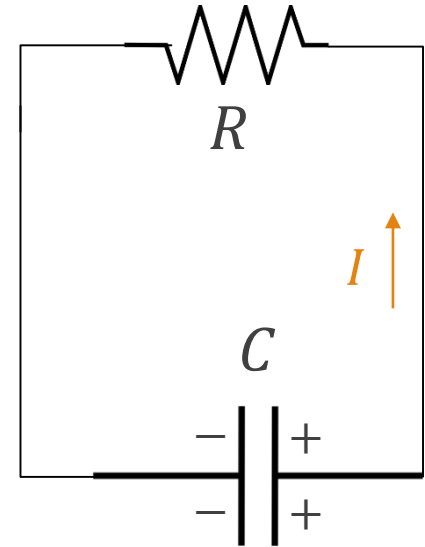
($A = -\varepsilon C$, car $Q = 0$ en $t = 0$)

Circuits RC

Décharge du condensateur

On enlève la source de tension, le condensateur porte initialement une charge Q_0 .

$$\frac{Q}{C} - RI = 0$$
$$\Leftrightarrow RC \frac{dQ}{dt} = -Q$$



Equation différentielle homogène du 1^{er} degré :

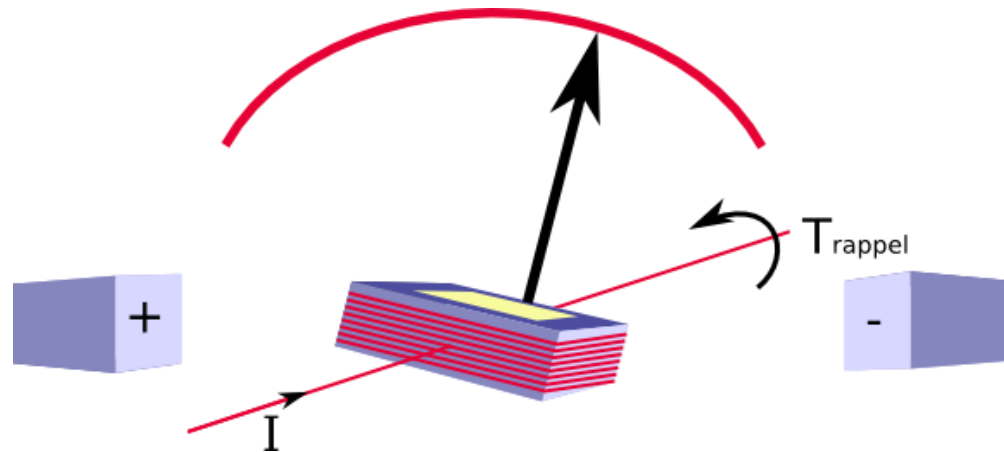
$$Q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (Q = Q_0 \text{ en } t = 0)$$

$$I(t) = \frac{dQ}{dt} = \frac{Q_0}{RC} e^{-\frac{t}{RC}} = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Galvanomètre

Un **galvanomètre** est un instrument qui est constitué d'un bobinage de grande résistance parcouru par un courant et d'un aimant.

Il permet de mesurer un courant : plus le courant est grand, plus l'aiguille est défléchie sur le cadran d'affichage.



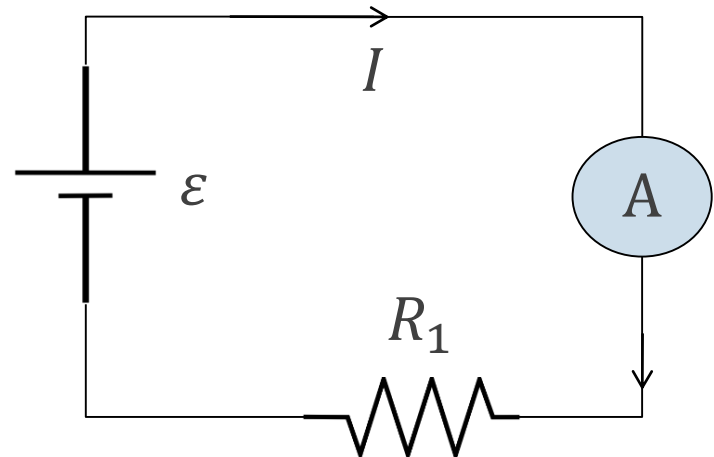
Valeurs typiques de courant : quelques mA

Ampèremètre

Un **ampèremètre** est un instrument mesurant le courant qui le traverse (idéalement sans modifier I).

Il se place **en série** dans le circuit.

- Il faut minimiser les pertes dans A, donc $R_A \ll R_1$.
- Résistance réelle du circuit : $R_1 + R_A$
- Courant : $\frac{\varepsilon}{R_1 + R_A}$ au lieu de $\frac{\varepsilon}{R_1}$
- Comment faire pour avoir R_A faible, alors que la résistance dans le cadran du galvanomètre est grande ?



En fait, A comporte une résistance faible R_s (shunt) placée en parallèle avec celle du cadran. Ainsi, la majeure partie du courant passe par R_s et on peut mesurer des courants élevés sans saturer le galvanomètre.

Voltmètre

Un **voltmètre** est un instrument mesurant la tension à ses bornes (idéalement sans modifier V).

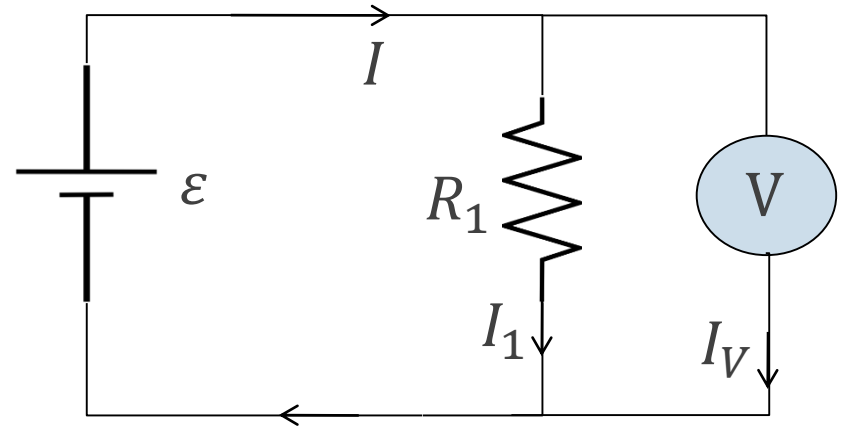
Il se place **en parallèle** dans le circuit.

➤ Il faut minimiser les pertes dans V , donc $I_V \ll I_1$ et $R_V \gg R_1$.

➤ Résistance réelle du circuit : $\frac{1}{1/R_1 + 1/R_V}$

➤ On déduit la tension à partir du courant I_V .

➤ Quelle devrait être la tension aux bornes de R_1 ?



$$\varepsilon = R_1 I$$

Électricité dans la vie courante

Le courant utilisé au quotidien est un **courant alternatif** (AC) : au lieu d'une tension constante, on distribue une tension sinusoïdale.

À la prise : 220V (50Hz) pour plusieurs raisons :

- Facilité de production (alternateurs, turbines, éoliennes) et pertes limitées lors du transport
- Sécurité : un contact ne dure pas plus de $1/50$ s, donc un spasme musculaire peut se relâcher.
- Utilisation immédiate en AC (radio, moteurs...)



Terre électrique

La **terre** est un bon conducteur électrique (quelques centaines d'ohms) et est utilisée comme **référence de potentiel (0 V)**.

- Il s'agit d'une référence universelle, car beaucoup d'objets se trouvent à ce potentiel (maisons, humains sans semelles isolantes...)
- Les circuits ont toujours une référence à la terre :
 - Éviter les fluctuations trop importantes (et donc par sécurité, pour éviter les décharges)
 - Référence commune à plusieurs circuits (permet les opérations logiques, évite les décharges...)



Terre électrique

Le paratonnerre

Mise à la terre d'un point en hauteur :

- augmente la probabilité que la foudre tombe à cet endroit, car le champ électrique et le potentiel y sont plus élevés que pour une structure arrondie (**effet de pointe**)
- canalise le courant de la foudre et l'amène vers la terre



Disjoncteurs

Les **disjoncteurs** offrent une protection supplémentaire dans les installations électriques, afin d'empêcher un courant trop grand de circuler dans les appareils (ou les personnes).

On ajoute à la source un fusible qui « saute » si la puissance demandée (donc le courant I , pour V donné) est trop élevée (typiquement 3500 W).

Anciennement : fils de plomb qui subliment lorsque le courant est trop intense (fusibles, usage unique).

Maintenant : actuateur magnéto-thermique (réutilisables).

