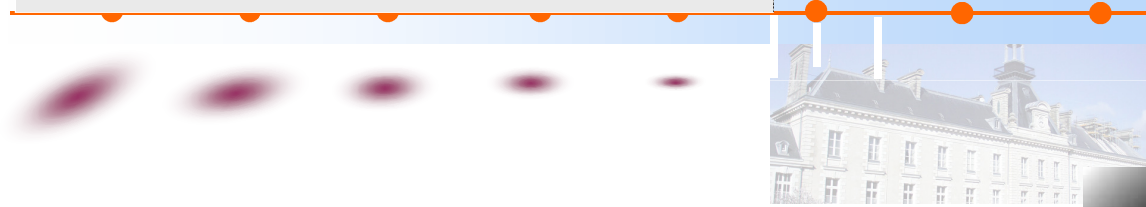
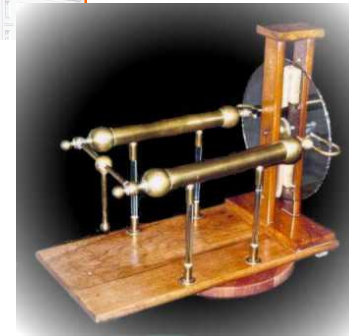


PCSI 1 (O.Granier)

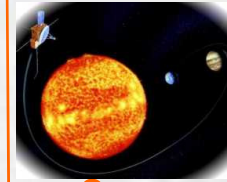
Lycée
Clemenceau



**Lois fondamentales de
l'électrocinétique**



Exemple du courant continu



I - Définitions sur les circuits électriques :

1 - Réseaux et dipôles :

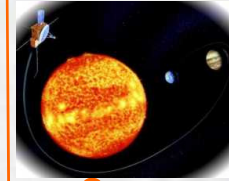
Un **réseau** est un circuit électrique complexe, formé de fils conducteurs et de composants reliés à l'extérieur par 2 bornes (des **dipôles**).

Des dipôles peuvent être placés en **série** :



Ou en **parallèle** (en **dérivation**):





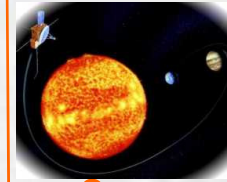
2 - Maille, branche et nœud :

(Dessin au tableau)

Nœud : un nœud du réseau est un point d'inter-connexion relié à au moins trois dipôles.

Branche : une branche est une portion de circuit comprise entre deux nœuds. Elle peut comprendre un ou plusieurs dipôles placés en série.

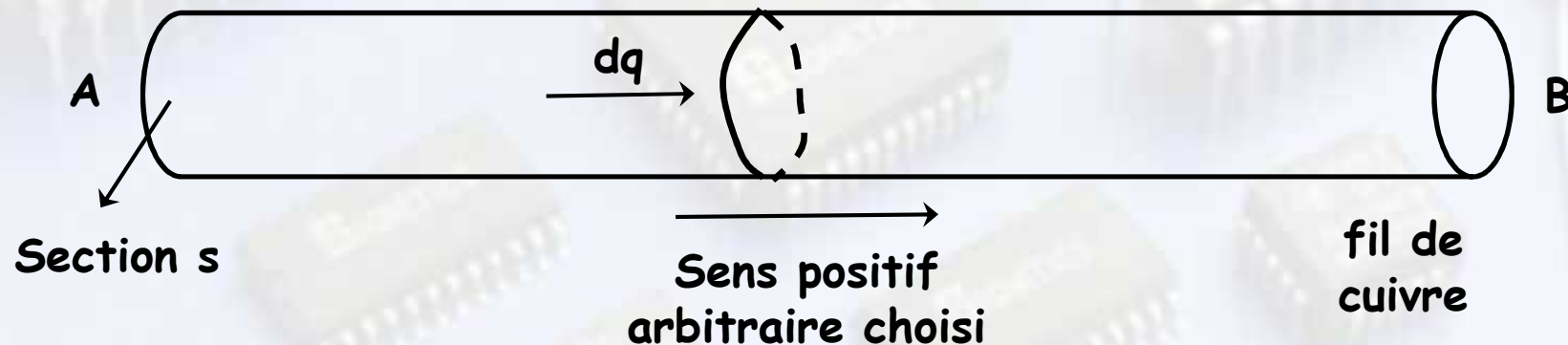
Maille : une maille est un ensemble de branches, formant une boucle fermée, qui ne passe qu'une fois par un nœud donné.



3 - Nature du courant électrique (dans les métaux) :

Le courant électrique est dû à un mouvement d'ensemble des électrons de conduction (voir polycopié et exercice n°1).

Intensité d'un courant électrique (dans un métal):



On note dq la quantité de charges électriques qui circulent dans le sens positif choisi pendant l'intervalle de temps dt à travers la section transverse s du conducteur.

L'intensité i du courant électrique est alors :

$$i = \frac{dq}{dt}$$



Notions sur les phénomènes de conduction

Sens conventionnel du courant électrique

L'effet thermique (échauffement des conducteurs), l'effet chimique (électrolyse) et l'effet magnétique (création d'un champ magnétique), seuls effets connus au XIX^e siècle, ne permettaient pas de déterminer le type des porteurs de charges dans les milieux conducteurs métalliques. Dans l'ignorance du signe de leurs charges, un *sens conventionnel* a été attribué au courant électrique : celui du *déplacement des porteurs de charges positives*.

Le sens conventionnel du courant est celui des porteurs de charges positives.

Ultérieurement, la découverte de l'effet HALL en 1879 (*cf.* Mécanique II) permettra d'identifier le type des porteurs de charges dans les métaux.

Conduction dans les solides

Les conducteurs solides sont les plus usuels. Nous distinguerons les métaux et les semi-conducteurs.

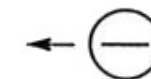
Les métaux

Dans la plupart des métaux, chaque atome métallique libère un ou deux électrons qui acquièrent la propriété de pouvoir se déplacer librement dans tout le volume du métal. Les **électrons libres** sont les porteurs de charge dans ces conducteurs métalliques. Les autres électrons restent liés à l'édifice cristallin du métal. Ainsi, dans le cuivre ou dans l'or, un seul électron par atome, en moyenne, participe à la conduction (*doc. 1*).

sens du champ électrique \vec{E}



sens de déplacement des électrons



sens conventionnel du courant

Doc. 1. *Sens conventionnel du courant dans les métaux dont les porteurs sont des électrons libres.*

Les semi-conducteurs

Leur conduction est due à deux types de porteurs :

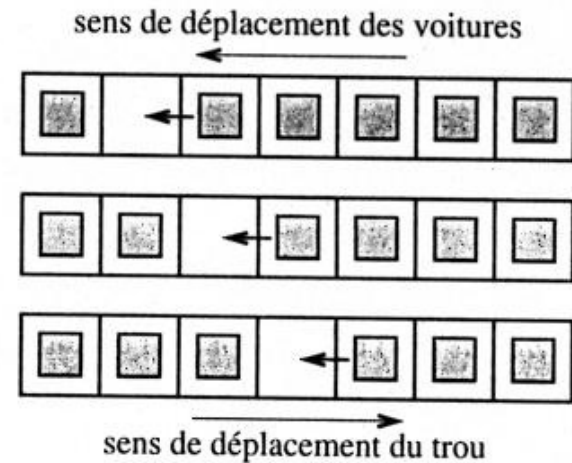
- les **électrons libres**, porteurs de charge négative ;
- les **trous**, porteurs de charge positive.

Ces derniers correspondent à un manque local d'électrons autour de certains atomes de semi-conducteur qui ont fourni des électrons libres et dont la charge nucléaire positive n'est plus compensée. Un trou peut être comblé par un électron d'un atome voisin. Cet électron n'est pas un électron libre. Il ne participe qu'indirectement à la conduction électrique.

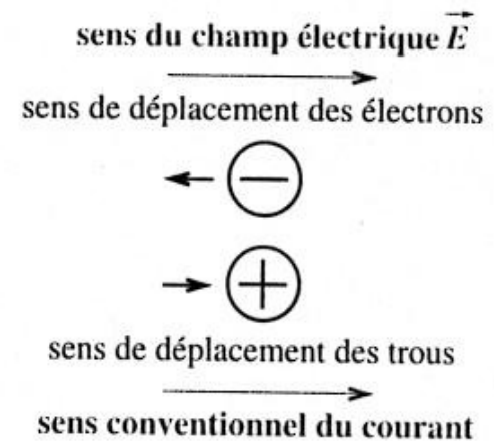
Lorsque cela se réalise, le trou se déplace de l'atome accepteur vers l'atome donneur, c'est-à-dire en sens inverse de l'électron qui a provoqué le déplacement du trou. Ce mécanisme peut se répéter permettant la migration du trou dans le semi-conducteur. Les trous se comportent donc comme de véritables porteurs de charge positive.

Une image de la conduction par trous est fournie par le déplacement d'une place libre dans une file de voitures identiques. Lorsqu'une voiture avance pour occuper la place vide qui se trouve devant elle, elle en crée une, derrière elle (*doc. 2*). Cette nouvelle place libre peut être occupée par la voiture suivante. Si le mécanisme est réitéré, la place libre se déplace tout le long de la file de voitures, dans le sens inverse de ces dernières qui n'ont avancé chacune que d'une place.

Placés dans un champ électrique \vec{E} , les électrons libres sont entraînés dans le sens opposé au champ électrique, alors que les trous sont entraînés dans le sens du champ (*doc. 3*).



Doc. 2. Principe de la conduction par trous.



Doc. 3. Sens de déplacement des deux types de porteurs dans un semi-conducteur.

Conduction dans les liquides

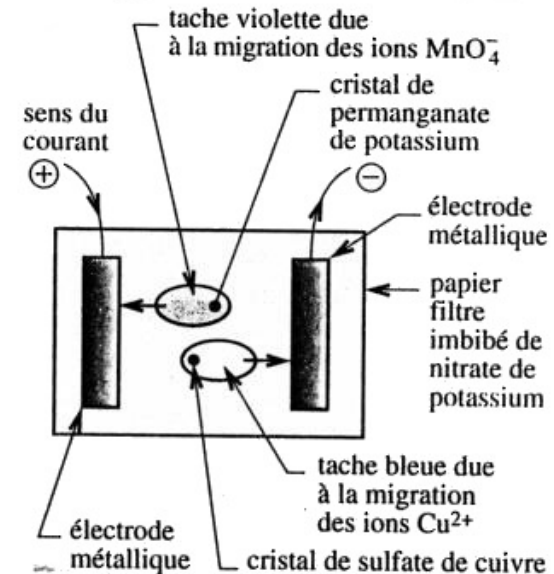
Par absence de porteurs, de nombreux liquides, les hydrocarbures par exemple, ne sont pas conducteurs du courant électrique. Ceux qui conduisent le courant sont appelés **électrolytes**. Ils contiennent des ions dont la migration assure la conduction électrique (*doc. 4*).

Les ions positifs, ou **cations**, sont entraînés dans le sens du champ électrique \vec{E} par la force $F = qE$ de même sens que le champ, alors que les ions négatifs, ou **anions**, sont entraînés par une force de sens opposé (*doc. 5*).

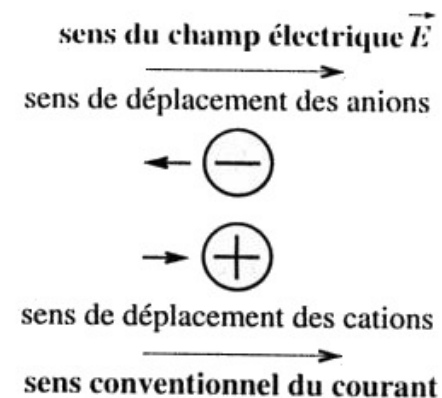
Conduction dans les gaz

Les gaz ne sont pas conducteurs dans les conditions usuelles.

Lorsqu'ils sont portés à très haute température ou soumis à des champs électriques très intenses, ils s'ionisent sous forme de cations et d'électrons, et deviennent alors conducteurs. C'est ce qui se produit dans les lampes à vapeur de sodium ou de mercure utilisées pour l'éclairage.



Doc. 4. Mise en évidence du déplacement des ions positifs dans le sens conventionnel du courant et des ions négatifs en sens contraire dans un électrolyte.



Doc. 5. Sens du déplacement des porteurs dans un électrolyte.

Vocabulaire de l'électrocinétique

Fil de connexion

Un fil de connexion est un fil conducteur dont la faible résistance est négligeable devant les autres résistances du montage. En utilisation normale, aux bornes d'un fil de connexion, la d.d.p. est négligeable devant les autres d.d.p. qui se manifestent dans le montage.

Masse

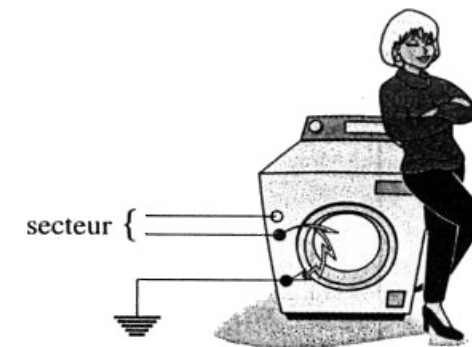
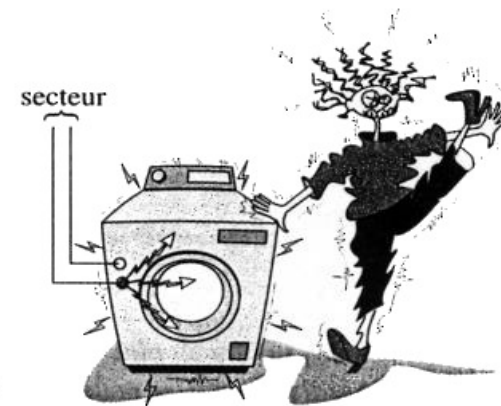
Masse signal et masse carcasse

Les électroniciens distinguent en général la **masse signal** de la **masse carcasse**.

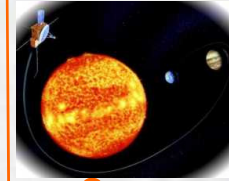
- La masse signal symbolisée par /// est une référence des potentiels pour un circuit donné. Ce potentiel n'est pas nécessairement constant dans le temps.
- La masse carcasse symbolisée par ⏏ est reliée à la **terre** : son potentiel est constant et sa valeur est souvent conventionnellement fixée à zéro. Cette distinction est importante lors de la réalisation de montages électriques.

Remarque :

La masse carcasse d'un appareil à boîtier externe métallique, doit être au même potentiel que le sol pour des raisons de sécurité. Cela est obtenu en reliant cette masse à la terre par un fil conducteur, de couleur normalisée vert et jaune, appelé fil de terre (doc. 11).



Doc. 11. Une masse carcasse est un des éléments qui permettent d'éviter l'électrocution.



Si $i > 0$: le courant va réellement de A vers B (et les électrons de B vers A).

Si $i < 0$: le courant va réellement de B vers A (et les électrons de A vers B, car $dq < 0$).

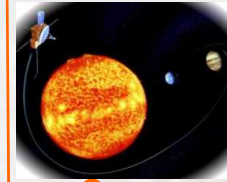
Si $i = \text{cste} = I$, on parle de **régime continu** (indépendant du temps).

A un instant donné, l'intensité d'un courant variable est la même tout le long d'un circuit sans dérivation : c'est **l'approximation des régimes quasi-stationnaires** (on néglige le temps de propagation du signal électrique).



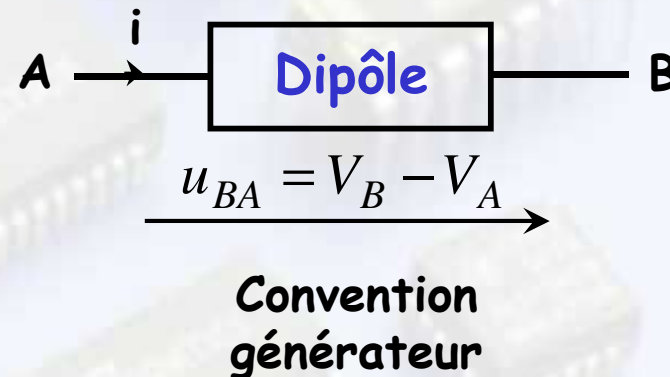
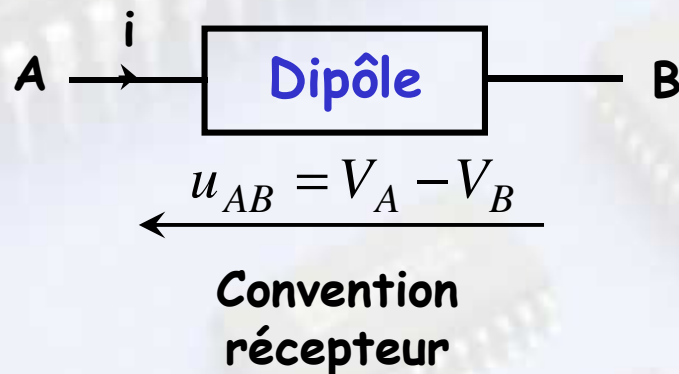
Application : exercice n°1





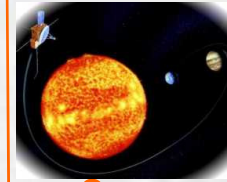
II - Conventions de signe, caractéristiques de dipôles :

1 - Conventions générateur et récepteur :

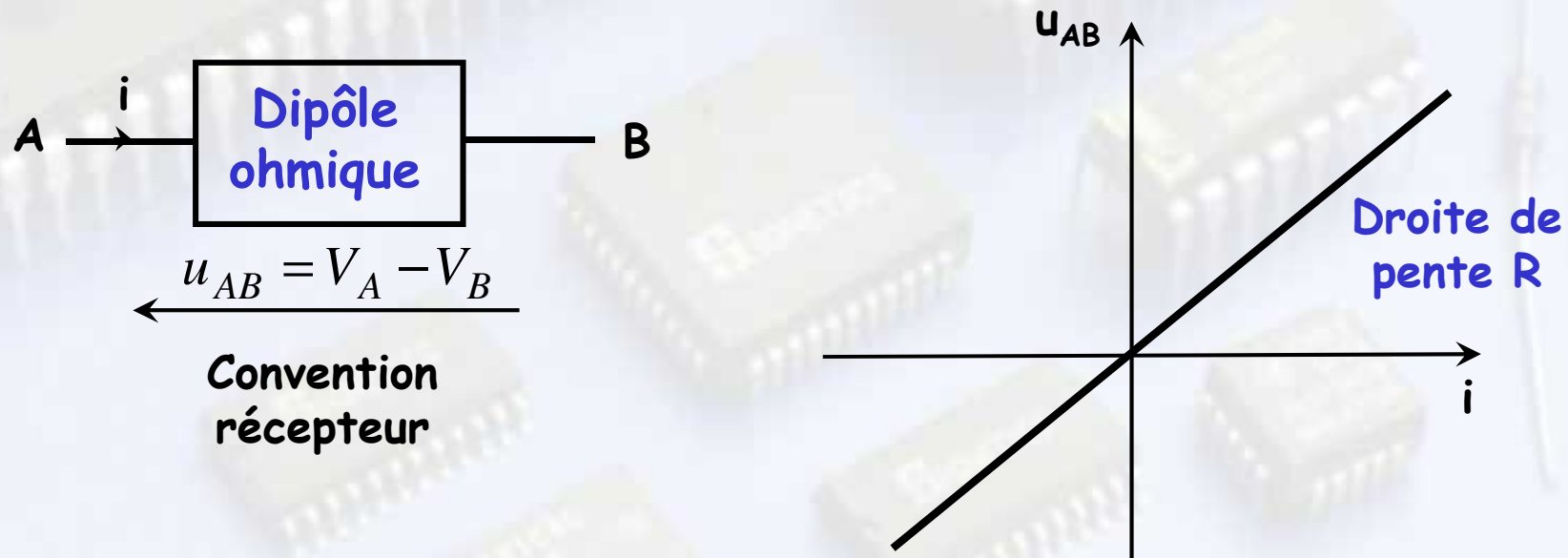


*** Le choix arbitraire des conventions n'indique pas pour autant le type de fonctionnement réel (générateur ou récepteur) du dipôle.

*** Si deux dipôles sont reliés entre eux, les conventions sont nécessairement récepteur pour l'un et générateur pour l'autre.



2 - Caractéristiques de conducteurs ohmiques, loi d'Ohm :



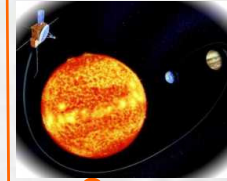
$$u_{AB} = Ri$$

R est la **résistance** du conducteur (exprimée en ohm, Ω)

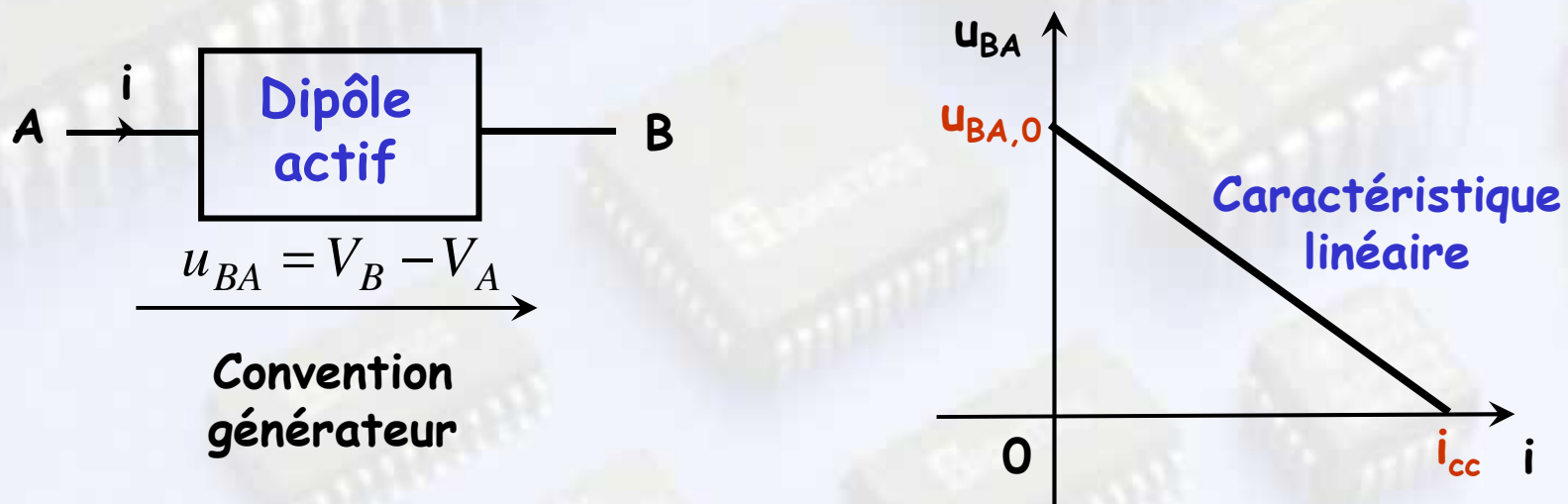
$$i = Gu_{AB}$$

G = 1/R est la **conductance** du conducteur (exprimée en siemens, S)



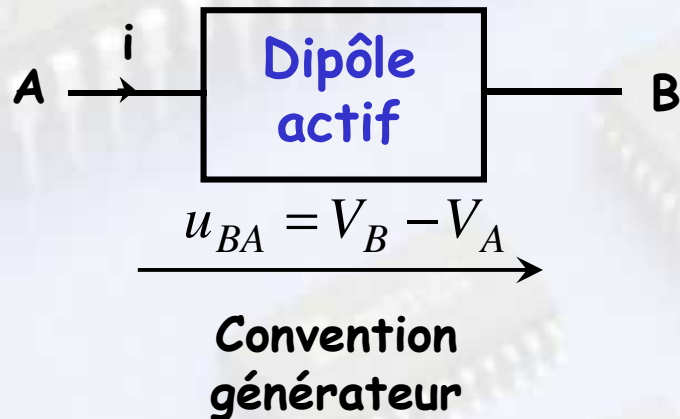
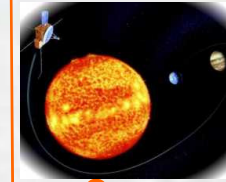


3 - Caractéristiques de générateurs (dipôles actifs linéaires) :



L'équation de la caractéristique du dipôle actif linéaire est :

$$u_{BA} = u_{BA,0} - \frac{u_{BA,0}}{i_{cc}} i$$



$u_{BA,0}$: tension à vide ($i = 0$), mesurée avec un voltmètre.

i_{cc} : intensité de court-circuit ($u_{BA}=0$), mesurée avec un ampèremètre.

On note :

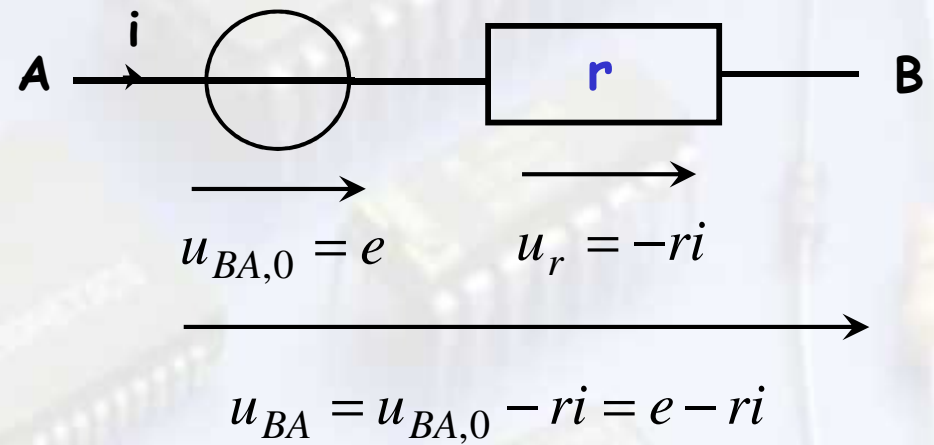
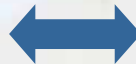
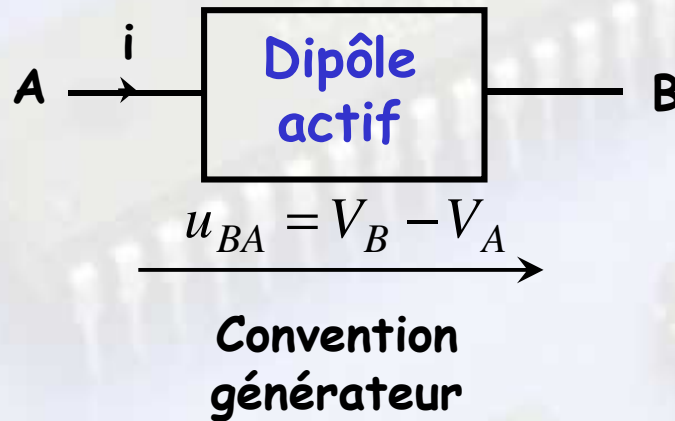
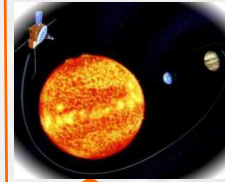
$$r = \frac{u_{BA,0}}{i_{cc}}$$

Alors :

$$u_{BA} = u_{BA,0} - ri$$

Le dipôle actif linéaire est ainsi équivalent aux deux éléments suivants :

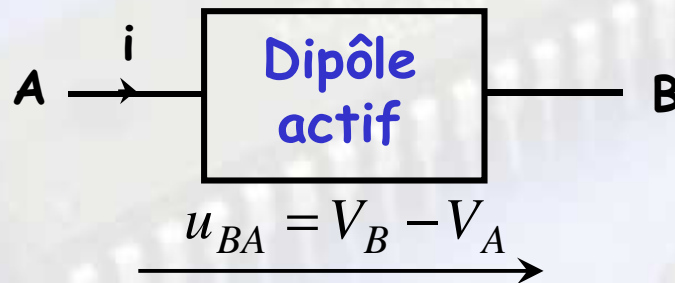




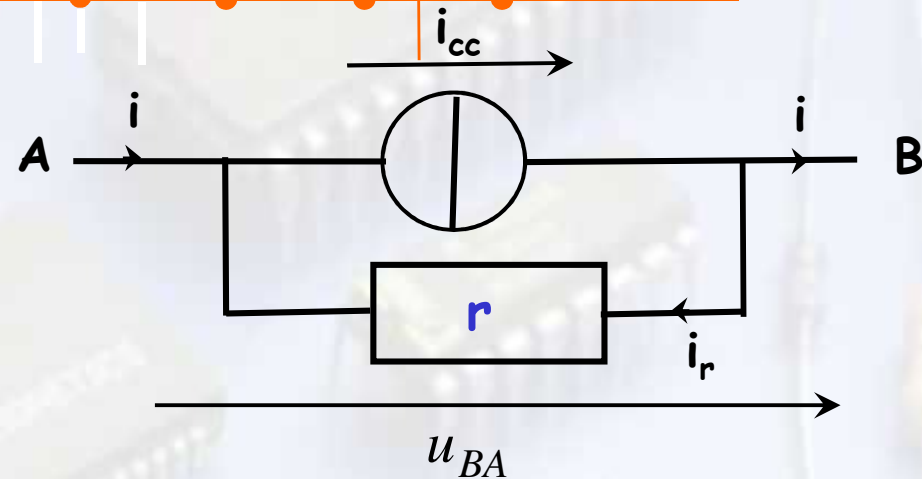
- Un générateur idéal de tension de fém notée e (égale à la tension à vide aux bornes du dipôle) en série avec
- Un conducteur ohmique de résistance r (résistance interne du dipôle actif).

Cette modélisation du dipôle actif est appelée

« modélisation de Thévenin ».



Convention
générateur



$$i = i_{cc} - i_r = i_{cc} - \frac{1}{r} u_{BA} \quad ; \quad u_{BA} = r i_{cc} - r i \quad ; \quad e = r i_{cc}$$

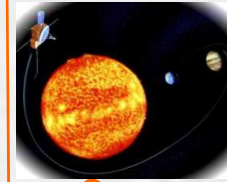
Un générateur idéal de courant de courant électromoteur i_{cc} (égal au courant de court-circuit du dipôle actif) en parallèle avec

- Un conducteur ohmique de résistance r (résistance interne du dipôle actif).

Cette modélisation du dipôle actif est appelée

« modélisation de Norton ».





4 - Associations de dipôles :

- Associations de conducteurs ohmiques :

En série :

Les résistances s'ajoutent :

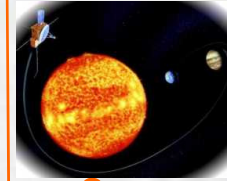
$$R_{\text{éq}} = R_1 + R_2$$

En parallèle (en dérivation) :

Les conductances s'ajoutent :

$$G_{\text{éq}} = G_1 + G_2$$

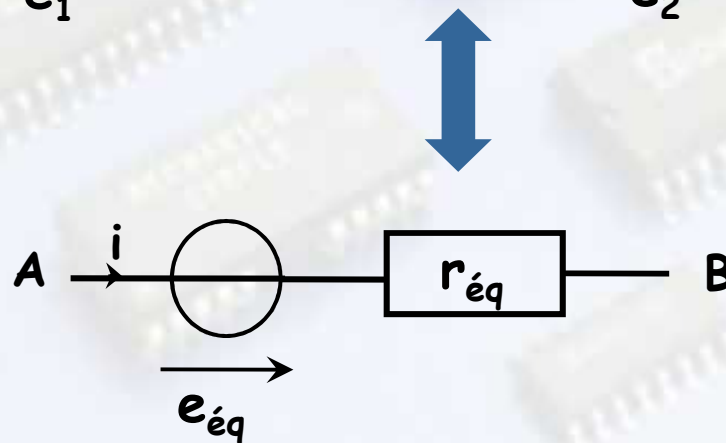
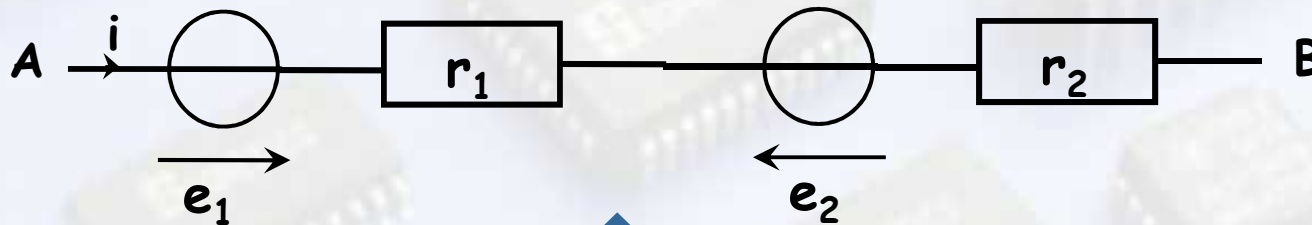
$$\frac{1}{R_{\text{éq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{soit} \quad R_{\text{éq}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



- Associations de dipôles actifs linéaires :

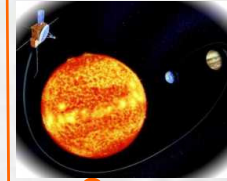
En série (choix du modèle de Thévenin) :

Les fém s'ajoutent (algébriquement) et les résistances internes s'additionnent.



$$\left\{ \begin{array}{l} e_{\text{eq}} = e_1 - e_2 \\ r_{\text{eq}} = r_1 + r_2 \end{array} \right.$$

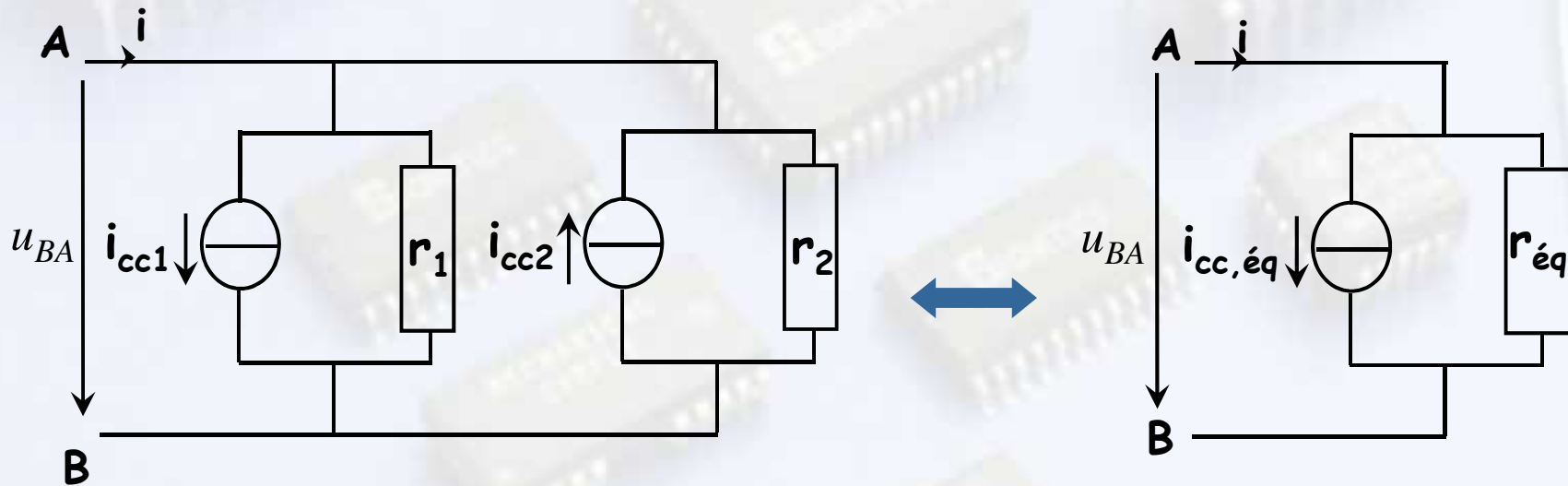




- Associations de dipôles actifs linéaires :

En parallèle (choix du modèle de Norton) :

Les courants électromoteurs s'ajoutent (algébriquement) et les conductances s'additionnent.

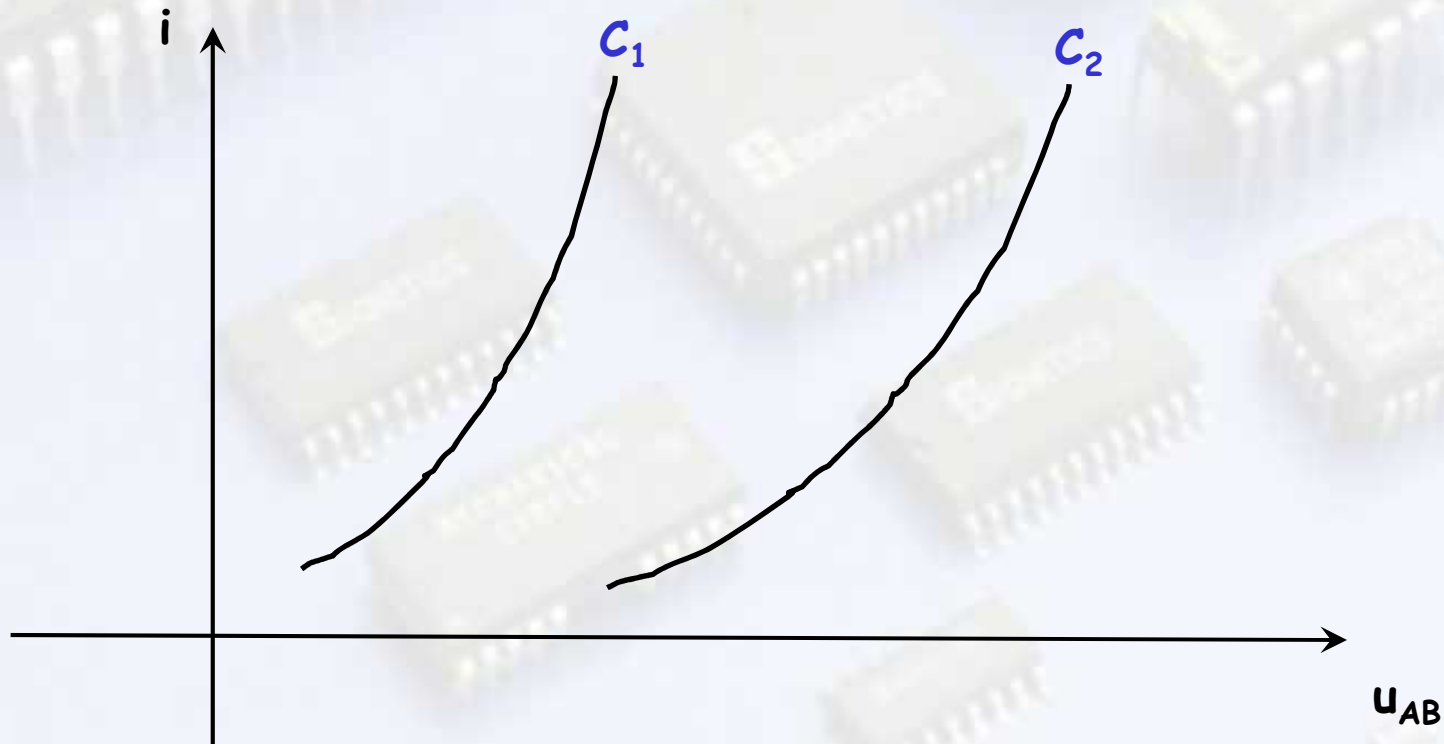


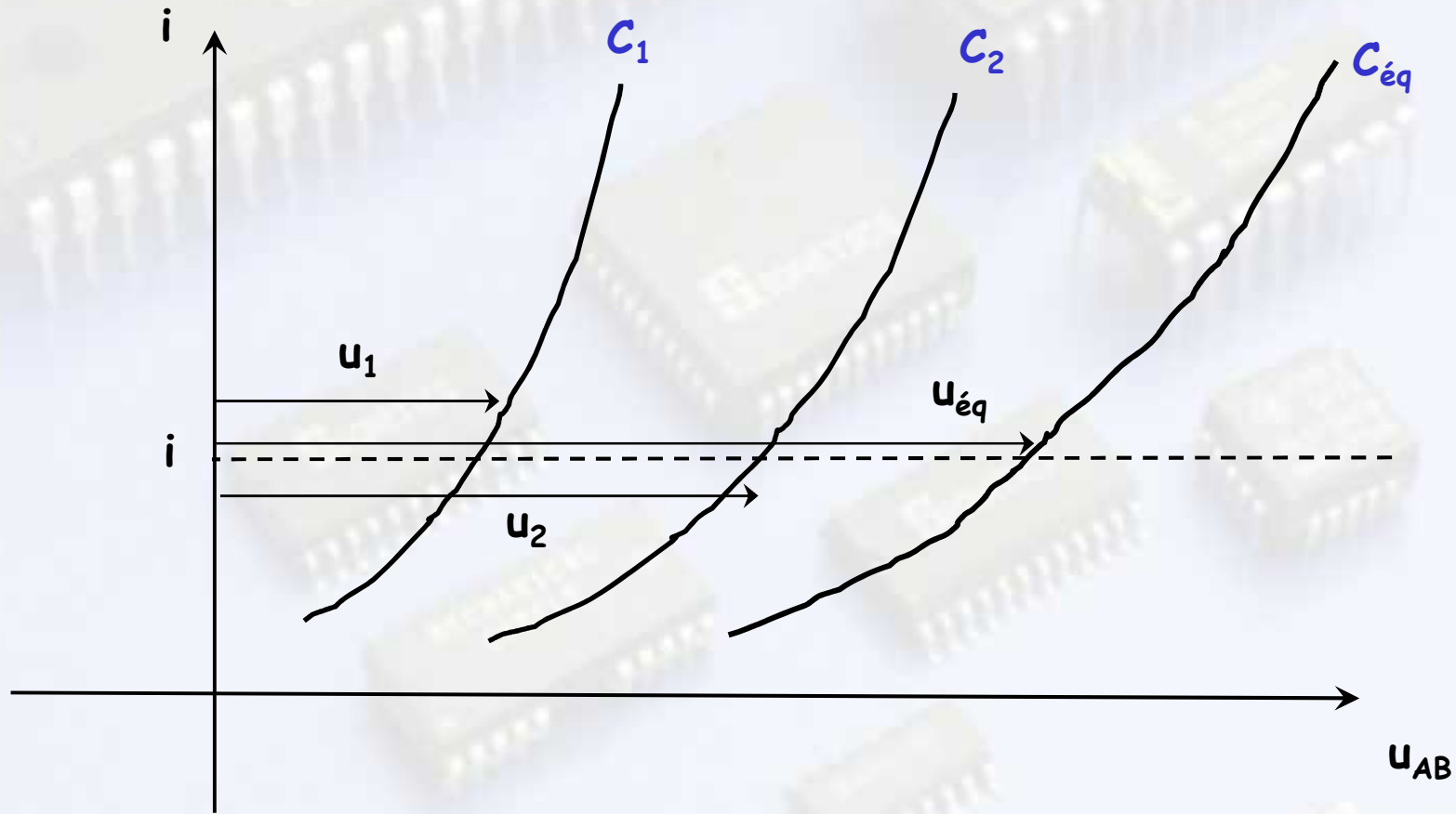
$$i_{cc,eq} = i_{cc,1} - i_{cc,2} \quad ; \quad \frac{1}{r_{eq}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

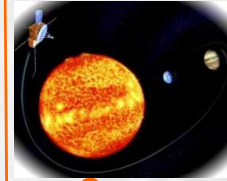


- Associations de dipôles quelconques : (méthode graphique)

En série : comment en déduire $C_{\text{éq}}$?

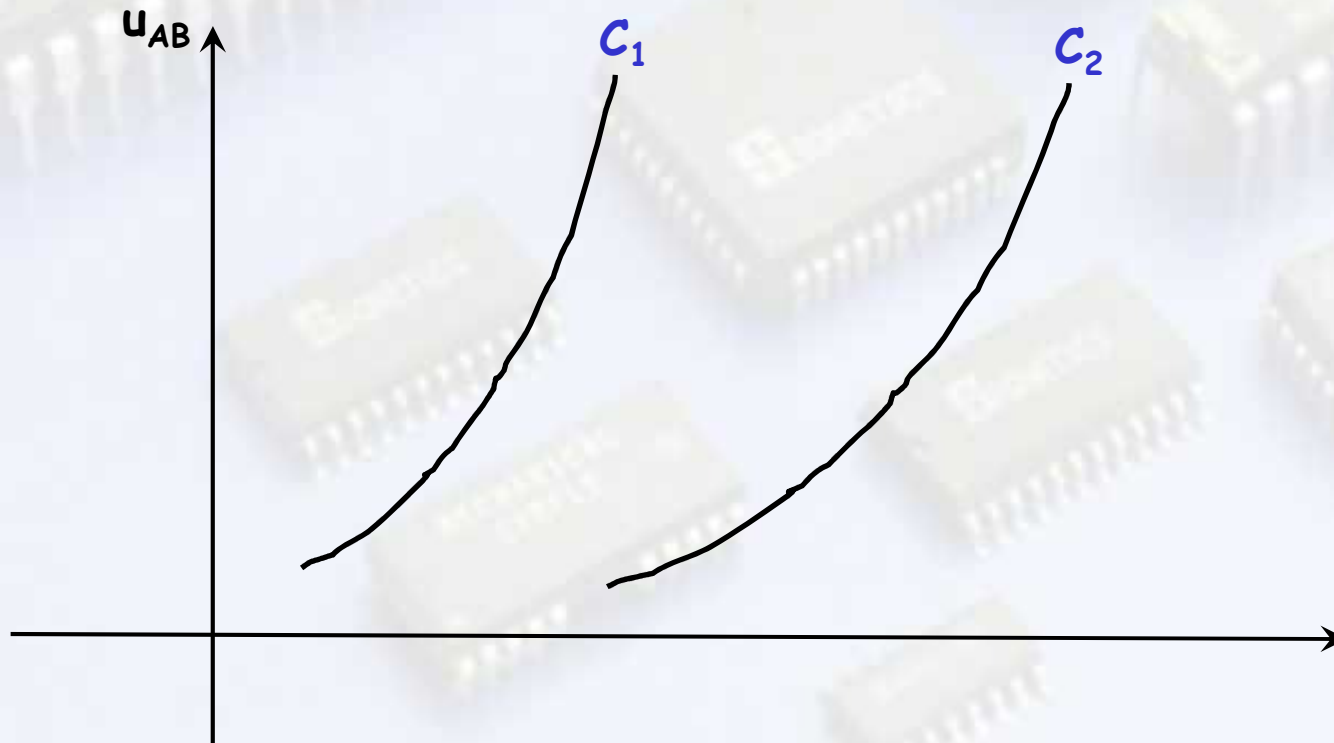


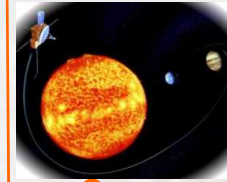




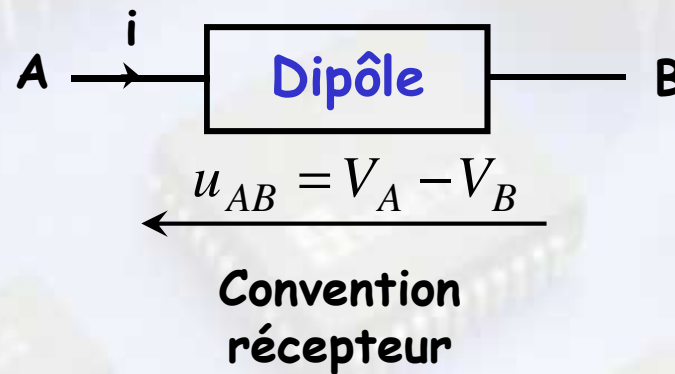
- Associations de dipôles quelconques : (méthode graphique)

En parallèle :





5 - Puissance électrique, effet Joule :



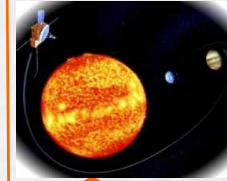
La **puissance électrique** reçue par le dipôle est (en convention récepteur) :

$$p = u_{AB}i$$

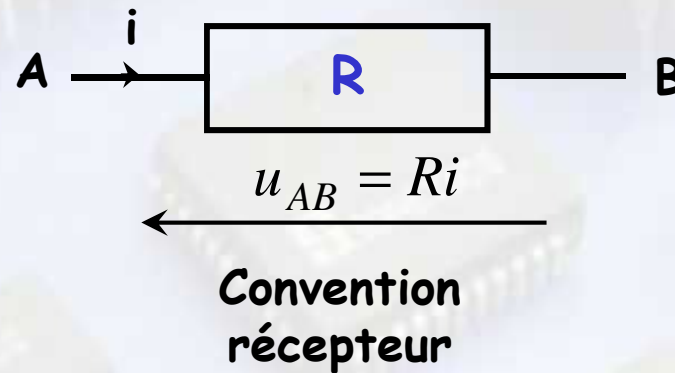
L'**énergie reçue** pendant l'intervalle de temps dt est alors :

$$p = \frac{\delta W}{dt} \quad \text{soit} \quad \delta W = p dt = u_{AB}i dt$$



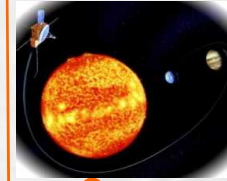


Effet Joule : (conducteur ohmique)



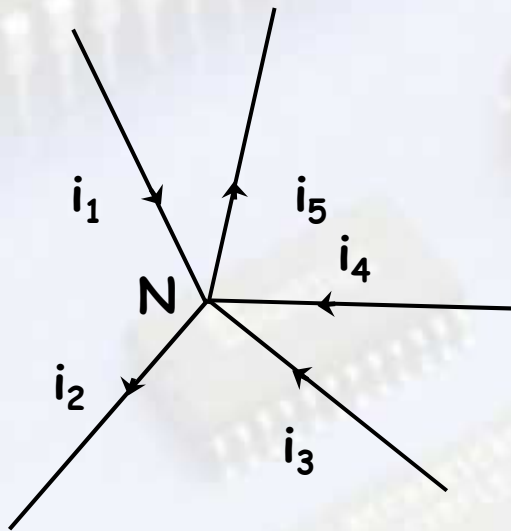
$$P = u_{AB}i = Ri^2$$

La puissance électrique reçue par le conducteur est ensuite dissipée sous forme de chaleur vers l'extérieur (principe des radiateurs électriques).



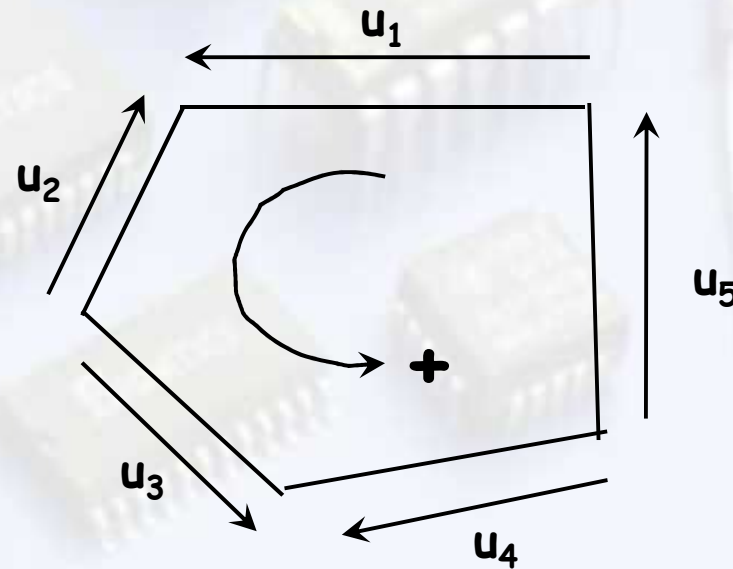
III - Lois fondamentales de l'électrocinétique :

1 - Lois des nœuds et des mailles (lois de Kirchhoff) :



Loi des nœuds

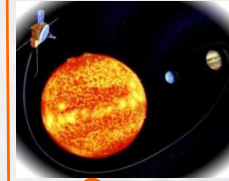
$$i_1 + i_3 + i_4 = i_2 + i_5$$



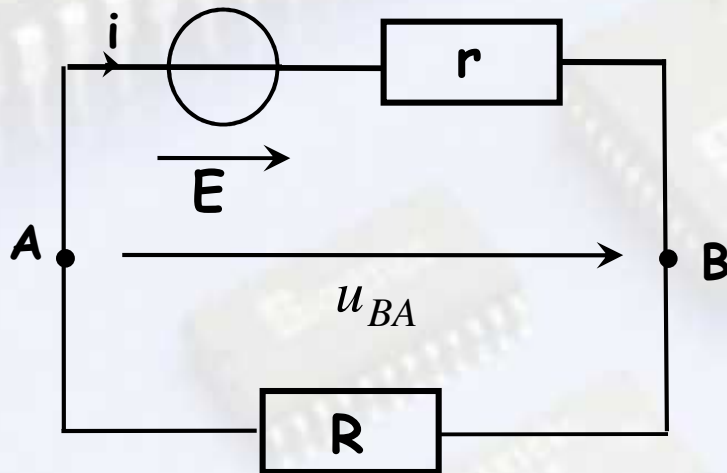
Loi des mailles

$$u_1 - u_2 + u_3 - u_4 + u_5 = 0$$



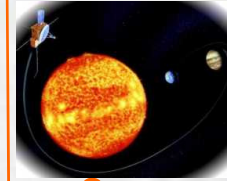


2 - Loi de Pouillet :

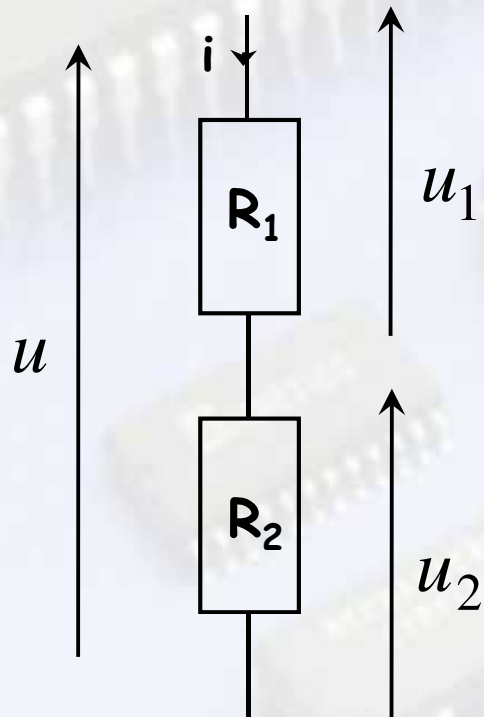


$$u_{BA} = E - ri = Ri$$

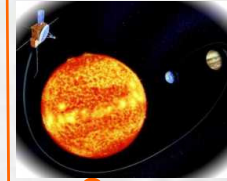
$$i = \frac{E}{r + R}$$



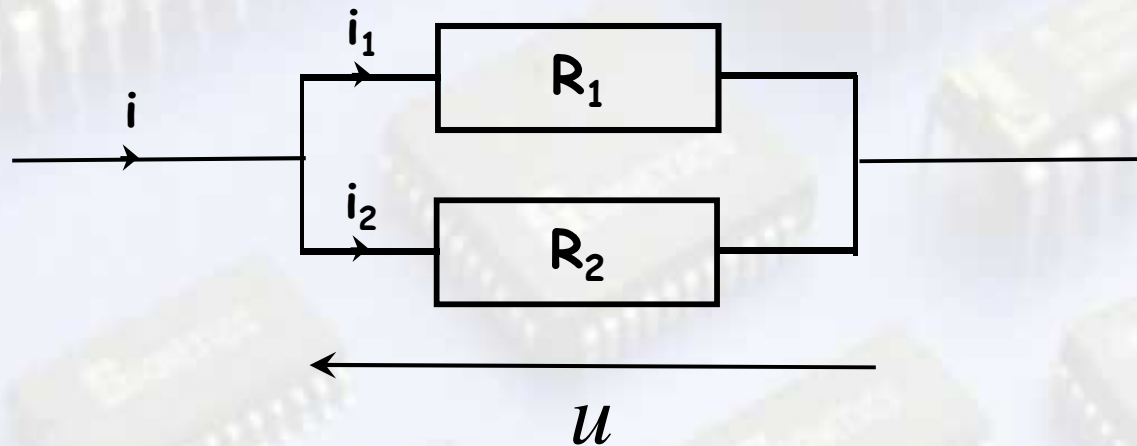
3 - Diviseur de tension :



$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u$$
$$u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u$$



4 - Diviseur de courant :

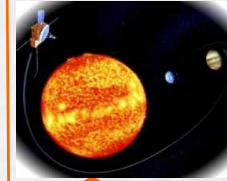


$$i_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} i \quad ; \quad i_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} i$$

$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i \quad ; \quad i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i$$

Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique



5 - Utilisation des représentations de Thévenin ou de Norton :
Exercices n°8, 9 et 10.

