

E1 – CIRCUITS ELECTRIQUES DANS L'ARQS

Programme ATS

12. Circuits électriques dans l'approximation quasi stationnaire	
Approximation quasi stationnaire	Le critère de validité de l'approche quasi stationnaire est énoncé sans démonstration.
Lois des nœuds, lois des mailles. Puissance électrique reçue ou fournie par un dipôle.	Utiliser les lois des nœuds et des mailles. Citer et utiliser les conventions récepteur et générateur. Citer des ordres de grandeur des intensités, des tensions et des puissances mises en jeu dans différents domaines d'applications.
Point de fonctionnement d'un circuit	Exploiter les caractéristiques courant-tension des dipôles pour déterminer le point de fonctionnement d'un circuit en régime indépendant du temps.
Dipôles linéaires Résistances, condensateurs, bobines. Associations de dipôles.	En régime dépendant du temps, énoncer la relation entre l'intensité du courant et la tension pour une résistance, un condensateur ou une bobine. Remplacer une association en série ou en parallèle de deux dipôles de même nature par un dipôle équivalent.
Modélisation d'une source d'énergie électrique réelle. Capacité électrique d'une pile.	Modéliser une source d'énergie électrique comme l'association d'une source de tension idéale et d'une résistance. Relier l'intensité du courant électrique débité par la pile à la capacité électrique de la pile et à la durée d'utilisation. Déterminer l'énergie stockée par une pile, connaissant sa capacité électrique et sa tension.
Électricité et électromagnétisme Mesurer une tension : - mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique. Mesurer un courant : - mesure directe à l'ampèremètre numérique ; - mesure indirecte à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée.	Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques : - identifier la perturbation induite par l'appareil de mesure sur le montage et prendre en compte ses limites (bande passante, résistance d'entrée) ; - définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête, etc.). Mettre en œuvre un montage électrique permettant d'apprécier l'énergie reçue par un composant.

I) INTRODUCTION

I)1) Définition de l'électricité

Electricité : Effet de la présence et du déplacement de particules chargées dans un matériau.

Expériences



➤ Machine de Wimshurst (1882)

2 disques isolants tournent en sens opposés.

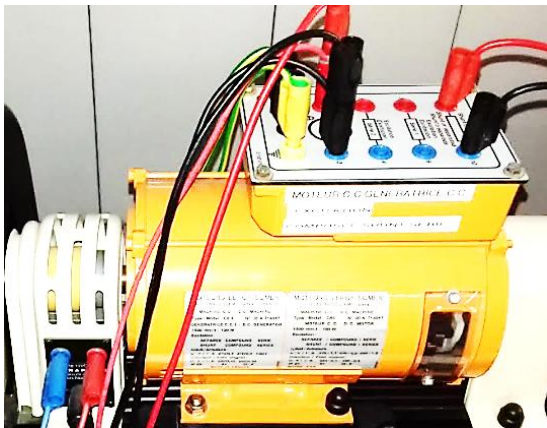
Rotations

⇒ Accumulation de charges positives sur armature du condensateur 1 et négatives sur armature du condensateur 2,

⇒ Apparition d'une **tension** ou **différence de potentiel** (quelques kilovolts, kV) entre les deux armatures, reliées aux deux éclateurs,

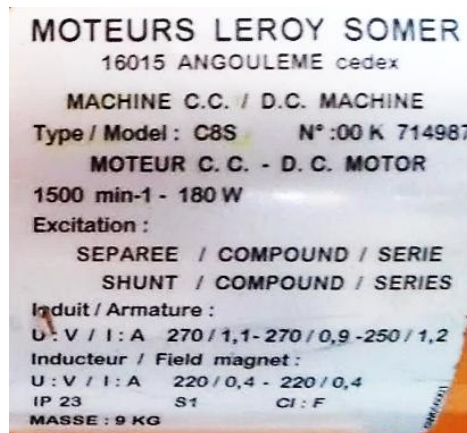
⇒ Apparition d'un arc électrique (**courant**) entre les deux éclateurs, dans certaines conditions.

➤ Machine à courant continu (MCC)



Montage

Schéma :



Plaque signalétique

Fonctionnement « à vide » :



Grandeurs électriques :

Tension : $U = 175 \text{ V}$

Intensité : $I = 0.26 \text{ A}$

Puissance électrique : $P_{\text{elec}} = U \cdot I = 46 \text{ W}$

Grandeurs mécaniques :

Puissance mécanique : $P_{\text{méca}} = C_{\text{méca}} \cdot \Omega \approx 0 \text{ W}$

Couple mécanique : $C_{\text{méca}} = 0 \text{ N.m}$

Vitesse de rotation : $n = 1095 \text{ tr/min}$

Fonctionnement « en charge » :



Grandeurs électriques :

Tension : $U = 170 \text{ V}$

Intensité : $I = 0.97 \text{ A}$

Puissance électrique : $P_{\text{elec}} = U \cdot I = 158 \text{ W}$

Grandeurs mécaniques :

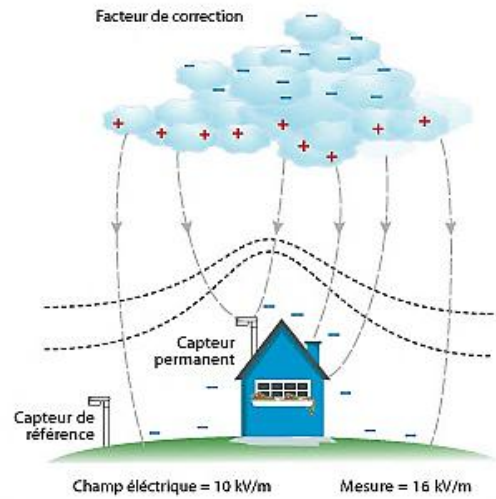
Puissance mécanique : $P_{\text{méca}} = C_{\text{méca}} \cdot \Omega = 102 \text{ W}$

Couple mécanique : $C_{\text{méca}} \approx 1 \text{ N.m}$

Vitesse de rotation : $n = 969 \text{ tr/min}$

Une **tension continue (V)** ET un **courant continu (A)** (fournis par une alimentation électrique) sont nécessaire pour produire de la **puissance électrique (W)**, qui est convertie en **puissance mécanique (W)** par la Machine à Courant Continu.

➤ Phénomènes naturels



Electricité industrielle



Première lampe électrique à incandescence.



Transformateur (Déri-Bláthy-Zipernovski, Budapest 1885.)

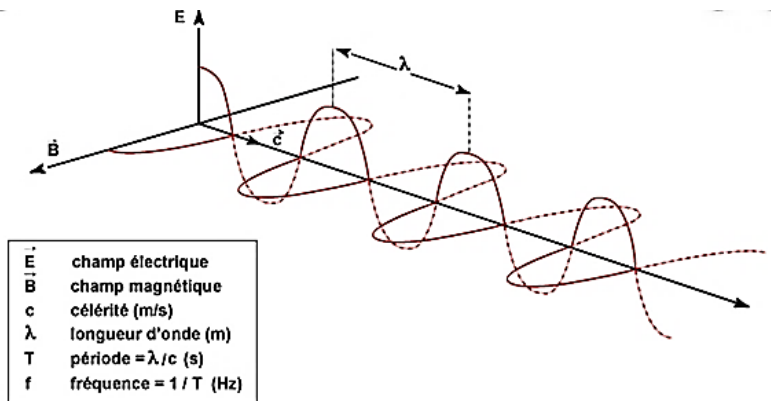


Composants de circuits électroniques.

I)2) Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS)

« L'électricité » ne se propage pas instantanément, mais à une vitesse de l'ordre de $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$, vitesse de la lumière, sous forme d'une **onde électromagnétique**.

Cependant, dans certains cas, on pourra considérer que les phénomènes électriques sont « quasi-instantanés ».



Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS) :

Pour un circuit électrique de dimension L , l'ARQS consiste à négliger la durée de propagation de l'onde $\Delta t = \frac{L}{c}$ devant la période T du signal électrique.

$$\Delta t = \frac{L}{c} \ll T$$

Avec $\lambda = cT$, la condition précédente s'exprime : $\Delta t = \frac{L}{c} \ll \frac{\lambda}{c}$, c'est à dire :

$$L \ll \lambda$$

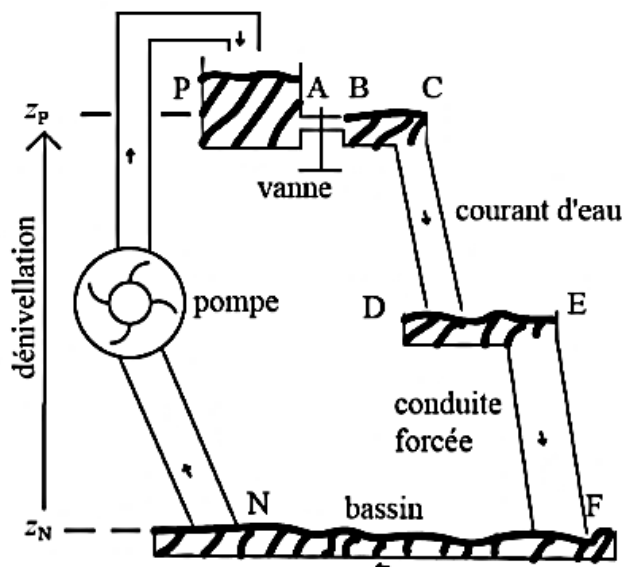
Exemples :

1. Rappeler la fréquence de la tension délivrée par EDF. Une ligne électrique de longueur $L = 300 \text{ km}$ peut-elle être étudiée avec l'hypothèse de l'ARQS ?
2. Même question pour une puce électronique $a = 1 \text{ cm}$, sachant que les signaux n'y dépassent pas une fréquence de 10 MHz.

II) TENSION ET INTENSITE

II)1) Définitions

Afin de différencier les grandeurs fondamentales de l'électricité que sont la **tension ou différence de potentiel** et l'**intensité**, on peut utiliser l'analogie entre un circuit électrique et un circuit hydraulique :

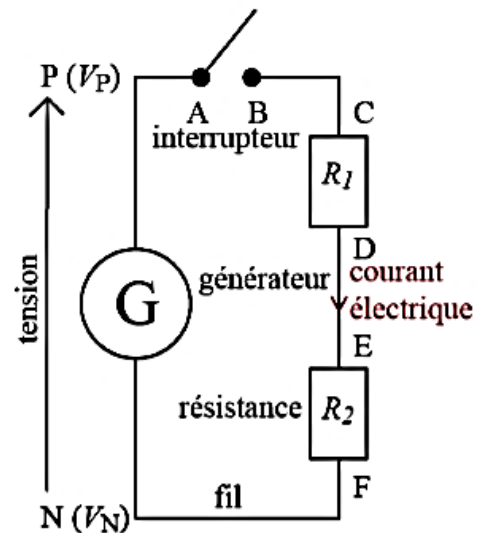


La pompe entretient une dénivellation (différence d'altitude) qui provoque un débit d'eau (courant d'eau).

Le débit d'eau est limité par les conduites forcées.

Le courant d'eau descend les altitudes à l'extérieur de la pompe.

Les molécules d'eau dans le bassin DE sont à la même altitude. Pas de dénivellation entre D et E.



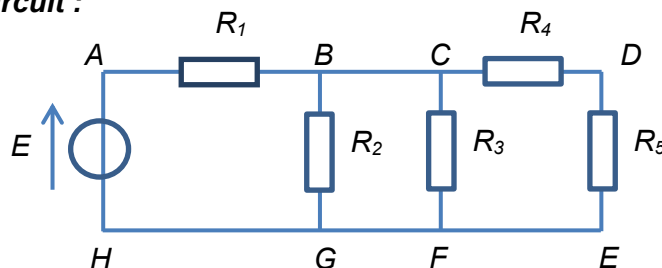
Le générateur entretient une tension (différence de potentiel) qui provoque un débit de charge (courant électrique).

Le débit de charge est limité par les résistances.

Le courant électrique descend les potentiels à l'extérieur du générateur.

Les charges dans le fil DE sont au même potentiel. Pas de tension électrique entre D et E.

Exemple de circuit :



Dipôle : Composant électrique connecté au reste du circuit par deux bornes.

Exemples : Générateur E (Dipôle AH), résistance (Dipôle AB = R_1 , Dipôle BG = R_2 , ...), lampe, pile, diode, ...

Branche : Ensemble de dipôles montés bout à bout. Deux dipôles appartenant à une même branche sont dits **montés en série**.

Exemples : E et R_1 sont en série ; R_4 et R_5 sont en série ; R_4 et R_3 ne sont pas en série.

Maille : Ensemble de branches formant une **boucle fermée**.

Exemples : ABGH est une maille, ABCFGH est une maille, CDEF est une maille.

Nœud : Point de jonction entre plusieurs dipôles. Exemples : B, C, G et F sont des nœuds.

Deux dipôles dont les bornes sont connectées aux deux mêmes nœuds sont dit **montés en parallèle ou dérivation**.

Exemples : R_2 et R_3 sont en parallèle. R_5 et R_3 ne sont pas en parallèle.

II)2) Intensité du courant électrique

La **charge électrique** est une propriété fondamentale des particules qui constituent la matière.

Il existe 2 types de charges électriques différentes, considérées par convention comme **positives** ou **négatives**.

La charge électrique est quantifiée : elle ne peut être que multiple de la **charge élémentaire**.

Charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Charge d'un électron : $-e$

Charge d'un proton : $+e$

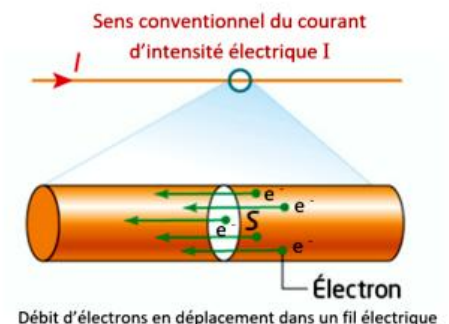
Principe de conservation de la charge : La charge électrique ne peut être ni créée ni détruite, elle ne peut être que transportée d'un point à un autre.

Courant électrique : Déplacement ordonné d'un ensemble de particules chargées, appelées porteurs de charges. Dans un métal, les porteurs de charges sont les électrons (libres) ; dans un liquide, ce sont les ions.

Convention : Le sens positif du courant est celui du déplacement des porteurs de charges positives.

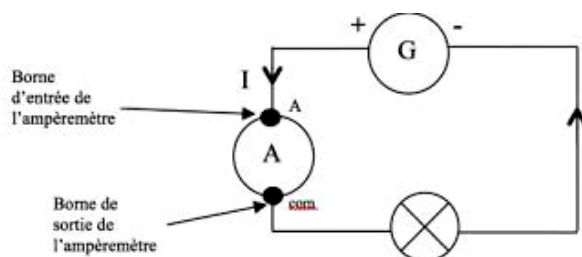
Conséquence : les électrons se déplacent dans le sens inverse du courant.

L'**intensité** est la grandeur électrique qui quantifie le **courant électrique** circulant dans un conducteur, ou encore le **débit de charges électriques**.



L'intensité est une **grandeur algébrique** (positive ou négative) qui dépend d'une orientation (conventionnelle) du fil dans laquelle on la mesure.

On mesure l'intensité d'un courant électrique à l'aide d'un **ampèremètre**, banché en série dans le circuit.



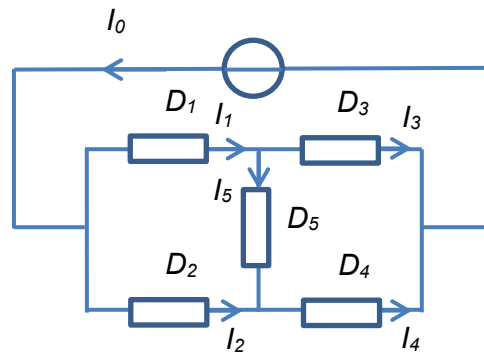
Signe de I : signe affiché par l'ampèremètre

Loi des nœuds (première loi de Kirchhoff)

Conséquence : L'intensité est la même tout le long d'une branche. **Deux dipôles en série sont**

La loi des nœuds est une conséquence du principe de conservation de la charge : la charge ne peut ni être créée ni disparaître, ni s'accumuler (en ARQS).

Exercice

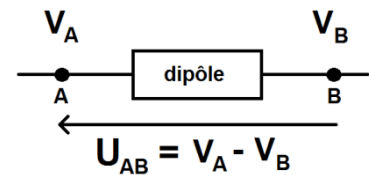


Dipôle :

1. Dans le circuit ci-dessus, représenter les appareils de mesure de I_0 , I_1 , I_4 .
2. Combien le circuit comporte-t-il de nœuds ? de branches ? de mailles ?
3. On mesure $I_0 = 4A$, $I_1 = 1A$, $I_4 = 2A$. Déterminer les intensités I_2 , I_3 , I_5 .
4. Calculer le nombre d'électrons traversant D_4 en une minute.

II)3) Tension ou différence de potentiel

Tension électrique U_{AB} entre 2 points A et B d'un circuit :



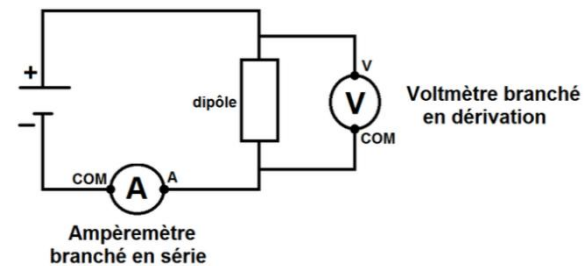
La tension est une **grandeur algébrique** : elle peut être positive ou négative.

Unité : Volt (V)

On ne peut pas mesurer un potentiel mais on peut mesurer une **différence de potentiel**. Si on mesure la tension ou différence de potentiel entre un point A et un autre point M **référence des potentiels** appelé **masse**, on obtient le potentiel du point A.

$$U_{AM} = V_A - V_M \text{ avec } V_M = 0 \Rightarrow U_{AM} = V_A$$

Appareil de mesure : Voltmètre branché en dérivation.



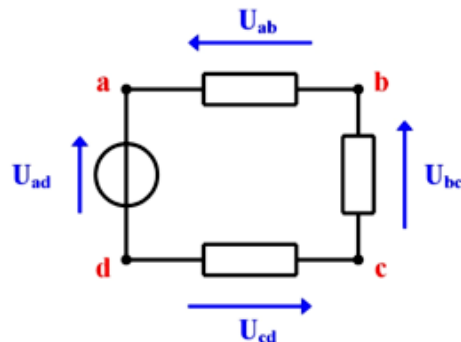
Loi des mailles (seconde loi de Kirchhoff) :

En tournant dans le sens trigonométrique :

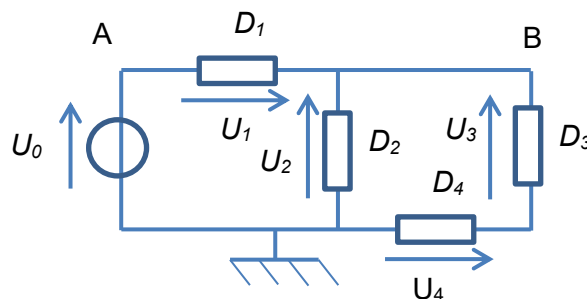
$$U_{ab} - U_{ad} + U_{cd} + U_{bc} = 0$$

En tournant dans le sens horaire :

$$U_{ad} - U_{ab} - U_{bc} - U_{cd} = 0$$



Exercice



1. Dans le circuit ci-dessus, représenter les appareils de mesure de U_0 , U_2 , U_3 .
2. Combien le circuit comporte-t-il de nœuds ? de branches ? de mailles ?
3. On mesure $U_0 = 5 \text{ V}$, $U_2 = 1 \text{ V}$, $U_3 = 3 \text{ V}$. Déterminer les tensions U_1 et U_4 .
4. Déterminer les potentiels des nœuds A et B.

II)4) Ordres de grandeur

Système	Tension (V)	Intensité (A)	Puissance (W)	Type
Foudre	10^8 V	10^5 A		Générateur
Ligne Haute Tension	400 kV		1 GW	
TGV	25 kV		1 MW	Récepteur
Moteur ZOE	400 V		40 kW	Récepteur
Lampe	230 V	0,1 A	20 W	Récepteur
Circuit électronique	100 mV	10 mA	mW	Récepteur
Seuil de danger	50 V	30 mA		

III) DIPOLES ELECTRIQUES

III)1) Comportement d'un dipôle électrique

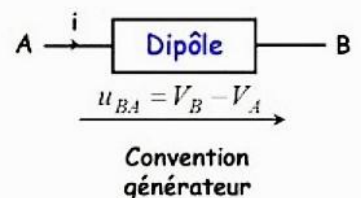
Parmi les dipôles électriques, on distingue les **dipôles symétriques** et les **dipôles polarisés**.

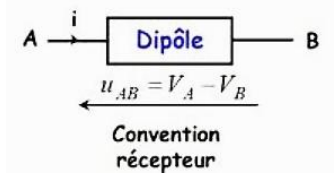
Dipôle symétrique : Les deux bornes du dipôle sont les mêmes et jouent le même rôle.

Dipôle polarisé : Les deux bornes du dipôle ne jouent pas le même rôle.

La tension et le courant étant 2 grandeurs algébriques, il est nécessaire de connaître leur signe par rapport à une **convention (arbitraire)**. 2 conventions sont possibles :

Convention générateur : Tension et courant sont dans le même sens :

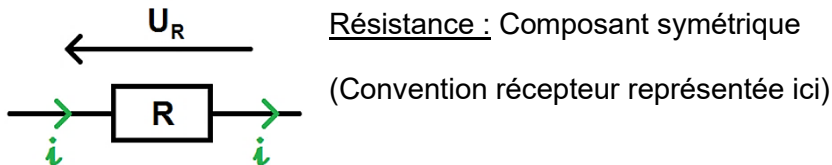




Convention récepteur : Tension et courant en sens inverse :

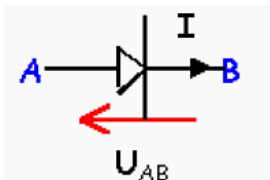
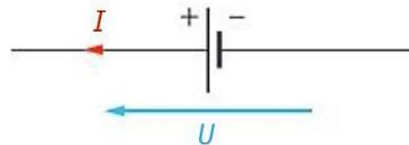
Attention : ce ne sont que des **conventions**, elles n'indiquent pas le **fonctionnement** (générateur ou récepteur) du dipôle.

Exemples de composants électriques :



Générateur : Composant polarisé

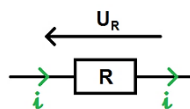
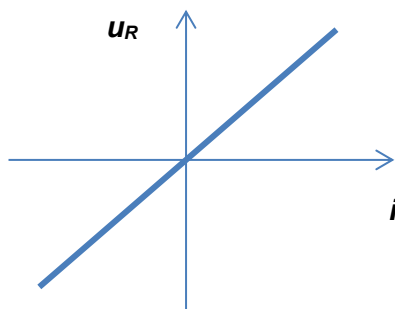
(Convention générateur représentée ici)



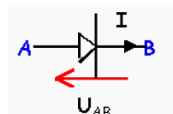
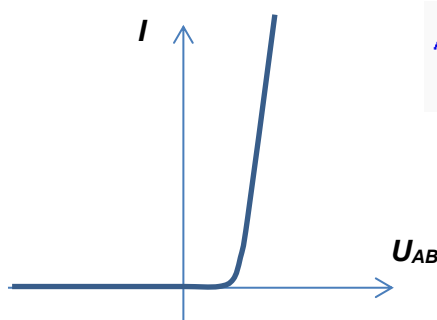
Diode : Composant polarisé

(Convention récepteur représentée ici)

On appelle **caractéristique** d'un dipôle la **représentation graphique** de I en fonction de U , ou U en fonction de I , du dipôle.



Modèle :



Modèle :

Pour $U_{AB} < 0$: $I = 0$

Pour $U_{AB} > 0$: $I = I_0 \cdot \exp [(k \cdot U_{AB}) - 1]$

III)2) Puissance et énergie électriques

Un **générateur**

Exemples : Alimentation stabilisée, panneau solaire, ...

Un **récepteur**

Exemples : Résistance, diode, ...

Certains dipôles peuvent se comporter comme des récepteurs à certains moments et comme des générateurs à d'autres.

Exemples : Batterie, bobine, condensateur, ...

Energie électrique $e(t)$ échangée (en joules, J) par un dipôle pendant une certaine durée = grandeur algébrique :

Pour un dipôle **fonctionnant en récepteur**,

Pour un dipôle **fonctionnant en générateur**,

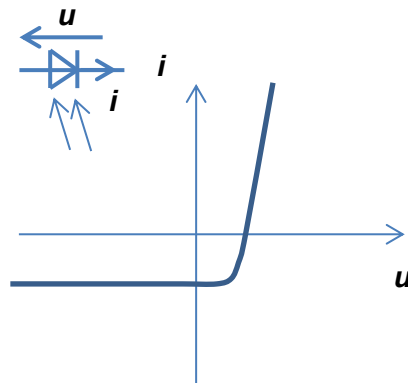
Puissance instantanée $p(t)$ échangée (en watts, W) par un dipôle = grandeur algébrique :

- Pour un dipôle **fonctionnant en récepteur**, $p(t) > 0$ en convention récepteur, $p(t) < 0$ en convention générateur,
- Pour un dipôle **fonctionnant en générateur**, $p(t) < 0$ en convention récepteur, $p(t) > 0$ en convention générateur.

Bilan :

- **Convention récepteur** : $p(t)$ traduit la puissance électrique reçue (par le circuit),
- **Convention générateur** : $p(t)$ traduit la puissance électrique fournie (au circuit),

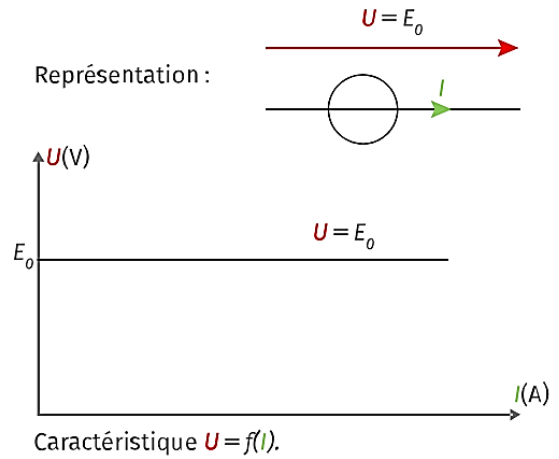
Exemple : sur la caractéristique d'une cellule photovoltaïque ci-dessous, indiquer les domaines de courant et de tension où le dipôle se comporte comme un générateur ou un récepteur.



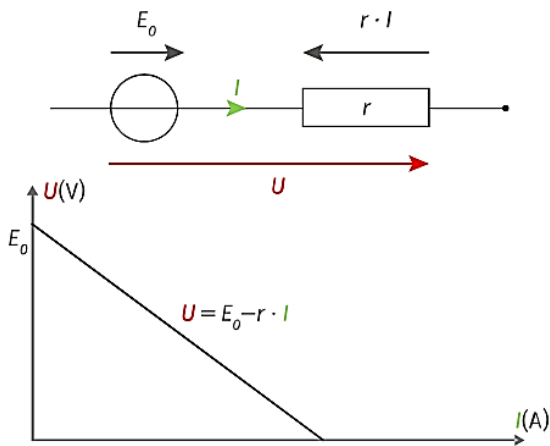
III)3) Générateurs électriques

Parmi les générateurs électriques, on retrouve les **sources de tension** et les **sources de courant** (hors-programme).

Source idéale de tension : générateur qui impose une tension fixe entre ses bornes, appelée **tension à vide** ou **force électromotrice (fem)**, notée E_0 , quelle que soit l'intensité I dans la branche.



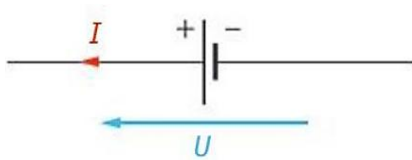
Représentation :



Source non idéale de tension = générateur réel

Modèle de Thévenin d'une source non idéale de tension : association série d'une source idéale de tension et d'une résistance.

Exemple de générateur électrique : la pile



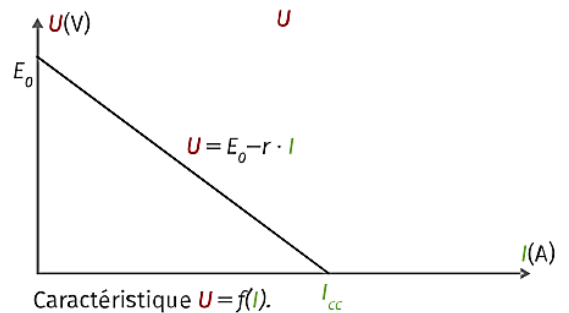
Modèle équivalent :

E_0 :

I_{CC} :

r :

C :



Energie stockée par la pile :

$E = E_0 \cdot I \cdot \Delta t \approx U \cdot I \cdot \Delta t$ (car r faible) avec : $i = \frac{\delta q}{\delta t}$ ou $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{C}{\Delta t}$ c'est-à-dire :

$$C = I \cdot \Delta t, \text{ on obtient : } E \approx C \cdot U$$

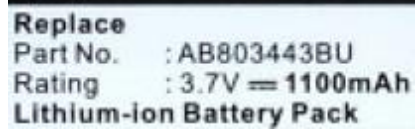
E : Energie stockée par la pile (joules (J) ou watt-heure (Wh))

U : tension de la pile (V), I : intensité débitée par la pile (A), Δt : durée d'utilisation (s ou h)

C : capacité de la pile (coulombs (C) ou ampère-heure (Ah))

⇒ Vérif homogénéités

Application : Batterie téléphone portable

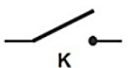
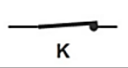


A rectangular label with a light blue background and black text. The text is as follows:
Replace
Part No. : AB803443BU
Rating : 3.7V = 1100mAh
Lithium-ion Battery Pack

1. Calculer l'énergie stockée dans la batterie de ce téléphone, en J et W.h.
2. Calculer la durée d'utilisation en supposant une consommation moyenne de 200 mW.

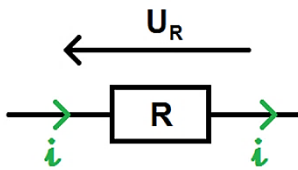
III)4) Récepteurs électriques

Interrupteur idéal

Interrupteur ouvert	
Interrupteur fermé	

Résistance ou résistor ou conducteur ohmique

Loi d'ohm : $u_R = R \cdot i$



u_R : tension instantanée en volts (V)

i : intensité instantanée du courant en ampères (A)

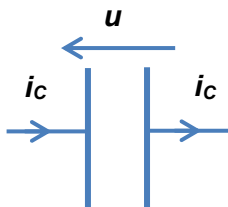
R : résistance en ohms (Ω)

$$p =$$

p : puissance instantanée en watts (W)

La puissance reçue par une résistance est toujours positive ou nulle : ce dipôle se comporte toujours en récepteur de puissance électrique. La puissance électrique est transformée en puissance thermique : c'est l'**effet joule**.

Condensateur



1 condensateur = 2 armatures séparées par un isolant.

La charge portée par chaque armature vaut $+/- q_C$.

Relation entre q_C et u :

avec C : **Capacité du condensateur (farads, F)**

Relation entre i_C intensité « traversant » le condensateur, et u tension aux bornes du condensateur :

Remarque : l'intensité ne traverse pas le condensateur ...

En **régime continu** ($u = \text{constante}$), on obtient : $i = 0$. **Le condensateur est équivalent**

Puissance et énergie reçues par le condensateur :

$$p_C = u \cdot i_C = C \cdot \frac{du}{dt} \cdot u = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} C u^2 \right)$$

$$e_C = \left(\frac{1}{2} C u^2\right) \text{ Energie stockée par le condensateur}$$

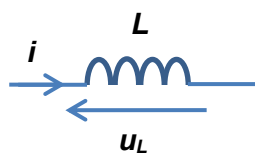
La puissance $p_C(t)$ reçue par le condensateur peut être positive ou négative.

$$\text{Si } p_C(t) > 0,$$

$$\text{Si } p_C(t) < 0,$$

Bobine

Bobine = circuit électrique enroulé autour d'un circuit magnétique. Bobines très utilisées en électrotechnique, notamment dans les transformateurs.



Bobine parfaite :

avec L : inductance de la bobine (henrys, H)

En **régime continu** ($i = \text{constante}$), on obtient : $u = 0$. **La bobine parfaite est équivalente**

Puissance et énergie reçues par la bobine parfaite :

$$p_L = u_L \cdot i = L \cdot \frac{di}{dt} \cdot i = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L i^2 \right)$$

$$e_L = \left(\frac{1}{2} L i^2 \right) \text{ Energie stockée par la bobine}$$

La puissance $p_L(t)$ reçue par la bobine parfaite peut être positive ou négative.

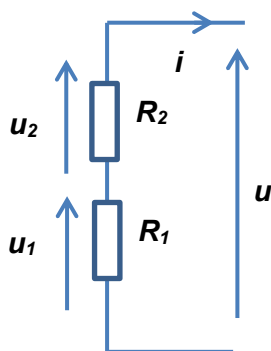
$$\text{Si } p_L(t) > 0,$$

$$\text{Si } p_L(t) < 0,$$

IV) ASSOCIATION DE DIPOLES

IV)1) Association de résistances

Association de résistances en série

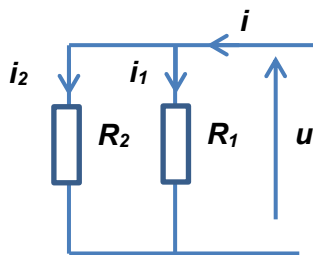


Deux résistances sont en série lorsque

Diviseur de tension :

Association de résistances en parallèle

Deux résistances sont en parallèle lorsque



Diviseur de courant :

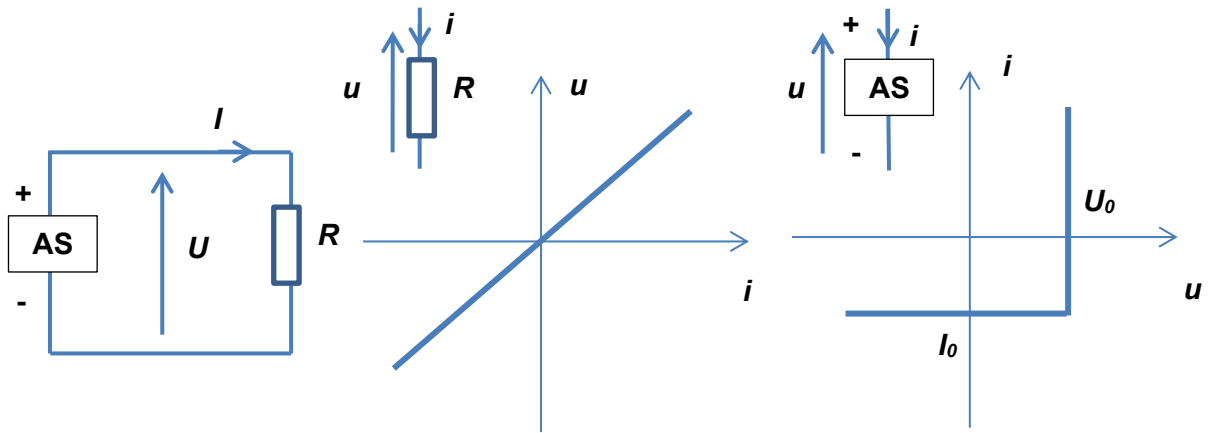
IV)2) Association d'un générateur et d'un récepteur

Lorsqu'on associe un générateur (ou ensemble de générateurs) à un récepteur (ou ensemble de récepteurs), le courant et la tension qui s'établissent constituent le **point de fonctionnement du circuit**.

Le point de fonctionnement de deux dipôles

Attention aux conventions et aux orientations !

- Déterminer graphiquement le point de fonctionnement du circuit ci-dessous, constitué d'une résistance R et d'une alimentation stabilisée AS.



Montage

Caractéristique de la résistance

Caractéristique de l'AS