

Chapitre E1 – Circuits électriques

Plan du cours

- I Description d'un circuit électrique**
- II Grandeurs électriques**
 - II.1 Charge et courant électrique
 - II.2 Potentiel électrique et tension
 - II.3 Puissance et énergie
- III Dipôles électriques**
 - III.1 Conducteur ohmique : comportement résistif
 - III.2 Condensateur idéal : comportement capacitif
 - III.3 Bobine idéale : comportement inductif
 - III.4 Générateurs

Ce qu'il faut savoir et savoir faire

- Relier l'intensité d'un courant électrique au débit de charges.
- Utiliser la loi des nœuds et la loi des mailles.
- Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur.
- Citer les ordres de grandeur d'intensités, de tensions et de puissances dans différents domaines d'application.
- Modéliser une source en utilisant la représentation de Thévenin.
- Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance.
- Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente.
- Exploiter des ponts diviseurs de tension ou de courant.
- Établir l'expression de l'énergie stockée dans un condensateur.
- Exploiter l'expression fournie de la capacité d'un condensateur en fonction de ses caractéristiques.
- Établir l'expression de l'énergie stockée dans une bobine.

Questions de cours

- Donner les ordres de grandeur typiques de tensions, courants et puissances dans différents domaines d'application.
- Citer les lois de comportement d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine accompagnées du schéma indiquant le choix des conventions.
- Établir l'expression de la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance et/ou l'énergie stockée dans un condensateur ou une bobine.
- Donner le modèle de Thévenin d'un générateur réel et établir sa loi de comportement.
- Énoncer et démontrer les expressions des résistances équivalentes aux associations série et/ou parallèle.
- Énoncer et démontrer la relation des ponts diviseurs de tension et/ou de courant.

Documents

Document 1 – Ordres de grandeurs

Application	Courant	Tension	Puissance
Activité neuronale	$\sim 1 \mu\text{A}$	$\sim 0,1 \text{ V}$	
Électronique du signal	$\sim 1 \text{ mA}$	$\sim 0,1 \text{ V}$	
Port USB	$\sim 1 \text{ A}$	5 V	
Électroménager	$\sim 1 \text{ A à } 10 \text{ A}$	230 V	
Industrie	$\sim 100 \text{ A}$	400 V	
TGV	$\sim 1 \text{ kA}$	10 kV	
Éclair d'orage	$\sim 50 \text{ kA}$	$\sim 1 \text{ GV}$	

Document 2 – Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS) hors programme

Les lois de l'électrocinétique sont valables en régime permanent, mais aussi en régime variable sous réserve que l'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS) soit vérifiée. Elle consiste à négliger le temps de propagation τ d'un signal électrique devant son temps caractéristique de variation T .

Pour un circuit de taille caractéristique l , le temps de propagation τ est de l'ordre de l/c . L'ARQS est vérifiée si

$$T \gg \frac{l}{c}, \quad \text{c'est-à-dire} \quad \nu \ll \frac{c}{l}, \quad \text{ou encore} \quad \lambda \gg l,$$

où ν et λ sont les fréquence et longueur d'onde caractéristiques du signal.

Document 3 – Capacité d'un condensateur

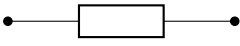
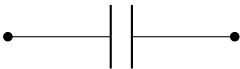
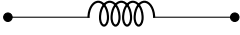





La capacité d'un condensateur dépend de sa géométrie et du matériau isolant utilisé. Pour un condensateur plan :

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{s}{d},$$

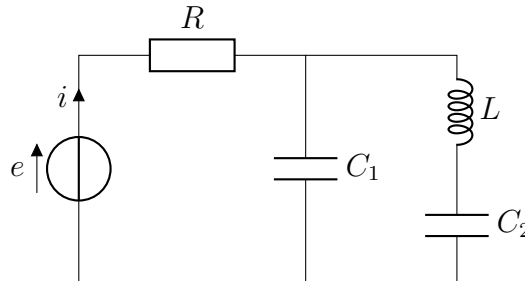
où s est la surface de chacune des armatures du condensateur, d la distance entre les deux armatures, ε_r la permittivité relative du matériau isolant et $\varepsilon_0 \approx 8,85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$ la permittivité du vide.

Document 4 – Récapitulatifs des dipôles modèles

Dipôle	Paramètres	Convention	Loi de comportement
Résistance			
Condensateur			
Bobine			
Générateur de Thévenin			
Interrupteur ouvert			
Interrupteur fermé			

1 Description d'un circuit

Pour illustrer les définitions qui suivent, on prend l'exemple d'un oscillateur à quartz dont un modèle simplifié est représenté ci-dessous.



Définition

Un **dipôle** est un composant électrique connecté au circuit par deux bornes.

Exemple : le circuit comprend cinq dipôles : une résistance R , deux condensateurs C_1 et C_2 , une bobine L et un générateur.

Définition

Une **branche** est un ensemble de dipôles montés bout à bout. Les dipôles d'une même branches sont en **série**.



Exemple : le condensateur C_2 et la bobine L appartiennent à la même branche et ils sont en série, C_1 est seul dans sa branche.

Définition

Une **maille** est un ensemble de branches formant une boucle fermée.

Exemple : on peut former trois mailles dans le circuit.

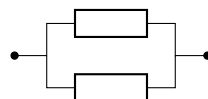
Définition

Un **nœud** est un point de jonction entre plusieurs dipôles.

Exemple : R , C_1 et L ont tous trois une borne reliée au même nœud.

Définition

Deux dipôles dont les bornes sont connectées aux mêmes nœuds sont en **dérivation**, ou encore en **parallèle**.



2 Grandeurs électriques

2.1 Charge et courant électrique

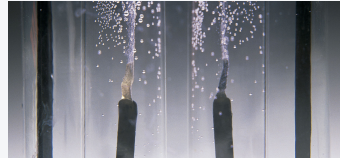
À l'échelle microscopique, le courant électrique est lié au mouvement des **porteurs de charge électriques** (électrons, ions, etc.).

Application 1 – Porteurs de charges

Identifier les porteurs de charge responsables des courants électriques dans les situations illustrées ci-dessous.



Ligne haute tension

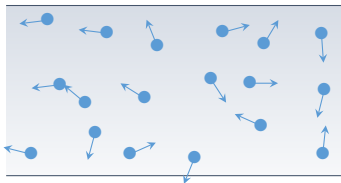


Électrolyse de la saumure

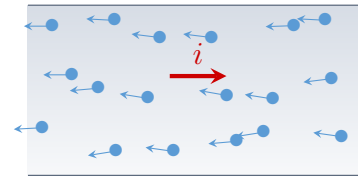


Éclair d'orage

Mouvement microscopique des électrons dans un métal



Mouvement désordonné $i = 0$.



Mouvement ordonné $i \neq 0$.

Les électrons d'un métal ont un mouvement aléatoire lié à l'agitation thermique : c'est le mouvement brownien. Dans certains cas, un mouvement collectif ordonné s'ajoute à ce mouvement désordonné : on parle de **courant de charge** ou de **courant électrique**. Par convention, le sens du courant est celui du déplacement des charges positives.

Intensité du courant électrique

L'**intensité** du courant notée I correspond au **débit de charges** à travers la section du conducteur. Dans le cas où I est **constante**, elle est définie comme

$$I = \frac{\delta q}{\delta t}$$

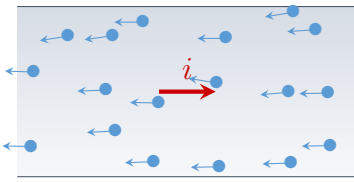
où δq est la charge électrique traversant la section pendant une durée δt , comptée positivement pour des charges positives allant dans le sens du courant choisi. δq est exprimée en coulombs (C), δt en secondes et I en ampères.

Définition

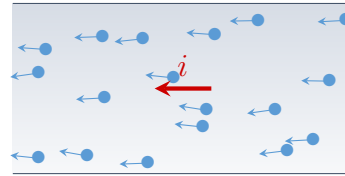
De manière générale, on définit l'intensité du courant par

$$i = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{\delta q}{\delta t} = \frac{dq}{dt}$$

Le courant est un phénomène physique dont le sens dépend des conditions expérimentales, tandis que l'**intensité** du courant est une grandeur **algébrique** dont le signe dépend du sens du courant et de la **convention arbitrairement choisie**.



Les électrons vont vers la gauche : le sens du courant électrique est vers la droite. On **choisit** d'orienter i vers la droite, donc $i > 0$.



Les électrons vont vers la gauche : le sens du courant électrique est vers la droite. On **choisit** d'orienter i vers la gauche, donc $i < 0$.

Exemple : cf. Doc. 1 pour quelques ordres de grandeur

- seuil de perception par le corps : 0,5 mA ;
- seuil létal : 40 mA pendant 7s, 260 mA pendant 0,2s ou 500 mA pendant 10 ms.

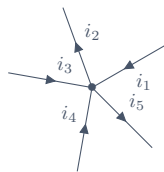
Première loi de Kirchhoff : lois des nœuds

Au niveau d'un nœud, la somme des intensités des courants entrants est égale à la somme des intensités des courants sortants :

$$\sum_{\text{entrants}} i_j = \sum_{\text{sortants}} i_k \Leftrightarrow \sum \epsilon_k i_k = 0,$$

où $\epsilon_k = +1$ pour les courants entrants et -1 pour les courants sortants.

Exemple :



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

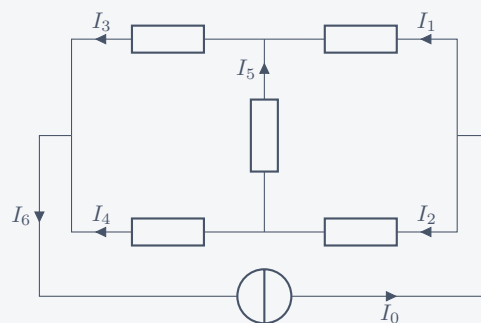
$$i_1 - i_2 + i_3 - i_4 + i_5 = 0$$

Application 2 – Loi des nœuds

À l'aide d'un ampèremètre, on mesure l'intensité du courant en quelques points du circuit représenté ci-contre. On relève $I_0 = 4$ A, $I_1 = 1$ A et $I_4 = 2$ A.

1. Déterminer les intensités I_2 , I_3 et I_5 .
2. Calculer le nombre d'électrons qui traversent le générateur chaque seconde.

Donnée : $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C.

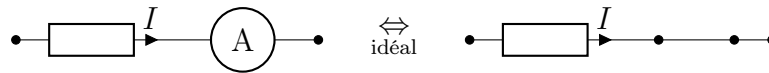


Propriété 1

Dans une branche, l'intensité est la même en tout point. Ainsi l'intensité du courant électrique qui traverse deux dipôles en série est la même.

Mesure d'intensité

On mesure l'intensité d'un courant à l'aide d'un **ampèremètre** placé en **série** dans la branche étudiée. Un ampèremètre idéal est **équivalent à un fil** de résistance nulle. En pratique, les ampèremètres réels possèdent une résistance interne très faible, de l'ordre de quelques dixièmes d'ohm.



2.2 Potentiel électrique et tension

Un excès de charges électriques mène à un courant électrique. Pour quantifier cet excès de charge, on définit la notion de **potentiel électrique**, noté V et exprimé en volts.

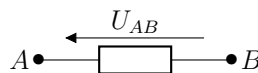
Expérience 1 : Électrostatique au palais de la découverte

Un humain porté à quelques centaines de milliers de volts : <https://www.dailymotion.com/video/x8k9ee>. C'est bien la différence de potentiel qui crée un courant : être à un potentiel électrique élevé n'est pas dangereux en soit (ça ne veut rien dire en fait).

Définition

La **tension électrique** U_{AB} entre deux points A et B de potentiels électriques respectifs V_A et V_B est définie comme la **différence de potentiel** entre ces deux points :

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

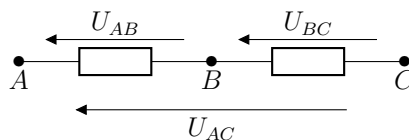


Exemple : cf. Doc. 1 pour quelques ordres de grandeur.

Propriété 2 (à démontrer)

Pour deux dipôles reliés à un même nœud, comme dans la branche ci-dessous, on a

$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}.$$



On appelle cette relation la **loi d'additivité des tensions**.

Propriété 3

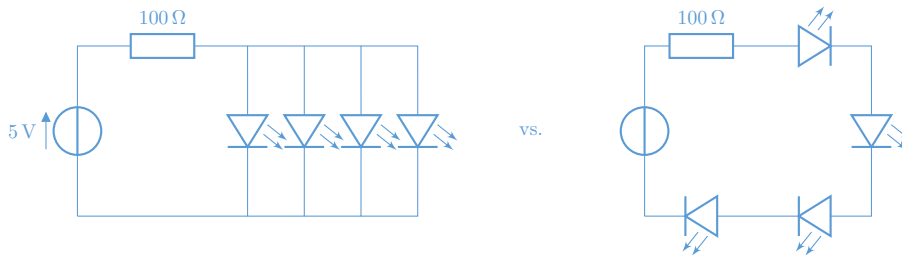
Deux nœuds reliés par un fil idéal, c'est-à-dire un fil de résistance nulle, ont le même potentiel électrique.

Rq : On peut ajouter aux potentiels électriques de tous les nœuds d'un circuit un potentiel arbitraire V_0 sans changer les tensions aux bornes des dipôles. Le potentiel est toujours défini par rapport à une référence. En pratique, on choisit arbitrairement d'annuler le potentiel en un point du circuit. Cette référence de potentiel correspond à la **masse du circuit**, représentée par le symbole \perp .

Expérience 2 : LED en série ou en dérivation

- Arduino ;
- breadboard ;
- LED rouges et vertes × 4
- câble USB ;
- $R = 100 \Omega$;

Réaliser et comparer les deux circuits représentés ci-dessous en ajoutant une LED après l'autre. Comment expliquer les différences constatées, sachant que les LED ont une tension de seuil $V_{\text{seuil}} = 1,6 \text{ V}$ à $2,0 \text{ V}$.



Après avoir défini arbitrairement l'orientation d'une maille, on peut utiliser la **loi des mailles**. Cette loi se démontre facilement en faisant intervenir les potentiels des nœuds de la maille.

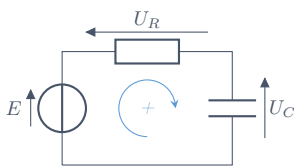
Deuxième loi de Kirchhoff : loi des mailles

Dans une maille, la somme algébrique des tensions est nulle :

$$\sum_k \epsilon_k U_k = 0,$$

où $\epsilon_k = +1$ si la tension est orientée dans le sens de la maille, $\epsilon_k = -1$ sinon.

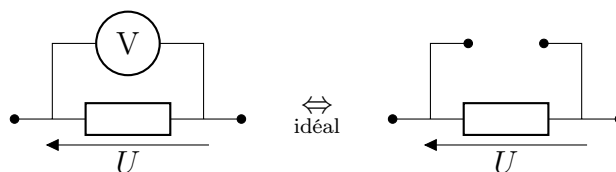
Exemple :



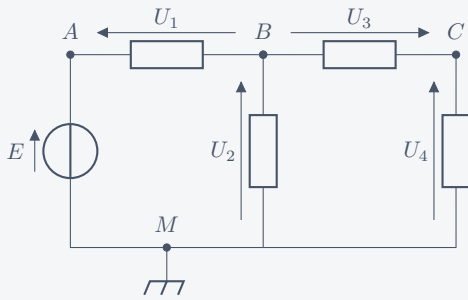
$$E - U_R - U_C = 0.$$

Mesure de tension

On mesure une tension à l'aide d'un **voltmètre** placé en **dérivation** aux bornes du dipôle étudié. Un voltmètre idéal est équivalent à un interrupteur ouvert de résistance infinie. En pratique les voltmètres réels ont une résistance d'entrée très élevée, de l'ordre de plusieurs megaohms, voire plusieurs centaines de megaohms.



Application 3 – Loi des mailles



À l'aide d'un voltmètre, on mesure les tensions : $E = 5 \text{ V}$, $U_1 = 3 \text{ V}$ et $U_4 = 1 \text{ V}$.

1. Déterminer les tensions U_2 et U_3 .
2. Déterminer les potentiels aux nœuds A et C.
3. Simplifier la représentation du schéma ci-contre.

2.3 Puissance et énergie

L'**énergie** est une grandeur qui se conserve toujours : elle ne peut être créée ni disparaître. Pour faire varier l'énergie \mathcal{E} d'un système, on peut lui en fournir ou il peut en céder. La **puissance** \mathcal{P} correspond à la quantité d'énergie échangée par unité de temps :

$$\mathcal{P} = \frac{d\mathcal{E}}{dt}.$$

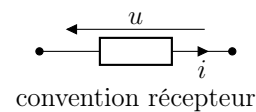
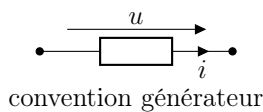
Définition

La puissance électrique \mathcal{P} permet de quantifier les échanges énergétiques entre un dipôle et le reste du circuit. Elle est définie par :

$$\mathcal{P} = ui,$$

où u est la tension aux bornes du dipôle et i l'intensité du courant qui le traverse. Son interprétation dépend de la convention choisie :

- en **convention générateur** (u et i dans le même sens), \mathcal{P} est la puissance **fournie** par le dipôle au reste du circuit ;
- en **convention récepteur** (u et i de sens opposés), \mathcal{P} est la puissance **reçue** par le dipôle au reste du circuit.



Exemple : cf. Doc. 1 pour quelques ordres de grandeur et

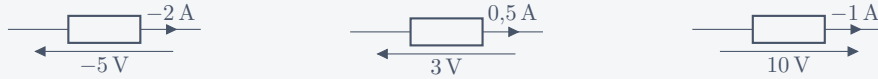
- puissance électrique totale produite en France : 135 GW ;
- puissance électrique fournie par un réacteur nucléaire : 1 GW ;
- puissance électrique consommée par un foyer français moyen : 500 W ;
- puissance électrique consommée par un ordinateur : 100 W ;
- puissance électrique consommée par une lampe LED : 10 W.

On peut comparer ces puissances électriques à la puissance musculaire qu'un humain est capable de délivrer ($\sim 100 \text{ W}$) ou encore à la puissance du rayonnement solaire reçu en moyenne sur une surface de 1 m^2 ($1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$), etc.

Rq : La convention choisie ne préjuge en rien de la nature du dipôle étudié.

Application 4 – Signe des échanges énergétiques

1. En fonctionnement normal, indiquer le signe de la puissance électrique : reçue par une lampe ; fournie par un radiateur ; reçue par une centrale nucléaire ; fournie par une batterie de smartphone.
2. Indiquer si les dipôles suivants se comportent comme des générateurs ($\mathcal{P}_{\text{fournie}} > 0$) ou comme des récepteurs ($\mathcal{P}_{\text{reçue}} > 0$) :



3. Calculer l'énergie électrique consommée par un radiateur de 1 kW pendant une heure.

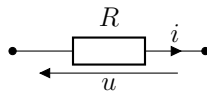
3 Dipôles électriques

La tension aux bornes de chacun des dipôles courants (résistance, condensateur et bobine) et l'intensité du courant qui les traverse vérifient une relation appelée **loi de comportement**. Cette loi doit **impérativement** être accompagnée d'un schéma et/ou d'une indication pour préciser la convention choisie !

3.1 Conducteur ohmique : comportement résistif

Les résistances (ou plutôt les résistors) sont réalisées avec des mauvais conducteurs électriques (céramiques ou des fils d'alliages métalliques de section modeste) : elles résistent au passage du courant électrique.

Définition

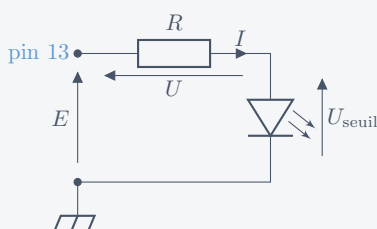


On appelle **conducteur ohmique** tout dipôle qui vérifie la **loi d'Ohm**. Avec R la **résistance** du dipôle exprimées en ohms (Ω) et en **convention récepteur**, on a :

$$u = Ri.$$

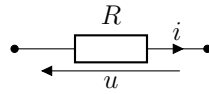
Application 5 – Limitation de courant

On souhaite allumer une LED rouge ($U_{\text{seuil}} = 2,0\text{ V}$, $I_{\text{max}} = 20\text{ mA}$) avec la sortie 13 d'une carte Arduino, capable de fournir une tension $E = 5,0\text{ V}$. Pour protéger la carte et limiter le courant traversant la LED, on la branche en série avec une résistance de valeur R .



1. Déterminer la valeur R à choisir.
2. Calculer la puissance électrique reçue par la LED. Comment est-elle dissipée ?
3. Exprimer et calculer la puissance électrique reçue par la résistance en fonction de R et U , puis en fonction de R et I . Comment est-elle dissipée ?

Propriété 4



Toute la puissance électrique \mathcal{P}_J reçue par une résistance est dissipée par **effet Joule** sous forme d'énergie thermique. On a

$$\mathcal{P}_J = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R}.$$

3.1.1 Associations de résistances

Propriété 5 (à démontrer)

Deux résistances R_1 et R_2 **en série** sont équivalentes à une unique résistance $R_{\text{éq}}$, avec

$$R_{\text{éq}} = R_1 + R_2.$$

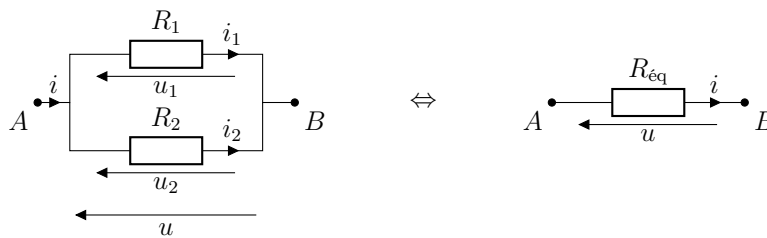


Démo : loi d'additivité des tensions puis lois d'Ohm.

Propriété 6

Deux résistances R_1 et R_2 **en parallèle** sont équivalentes à une unique résistance $R_{\text{éq}}$, avec

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



Démo : loi des nœuds puis lois d'Ohm.

Application 6 – Association de résistances

On ne dispose que de trois résistances : $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$ et $R_3 = 300 \Omega$. Comment obtenir la valeur nécessaire au circuit de l'application 5 ?

Rq : Pour n résistances en série (resp. en parallèle), on a

$$R_{\text{éq}} = \sum_{i=1}^n R_i \quad \left(\text{resp.} \quad \frac{1}{R_{\text{éq}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \right).$$

Ponts diviseurs

Application 7 – Tension et intensité dans un circuit à deux résistances

On considère un circuit composées de deux résistances R_1 et R_2 en série, alimentées par un générateur idéal de tension. On note E , U_1 et U_2 les tensions aux bornes du générateur, de la résistance R_1 et de la résistance R_2 respectivement, et I l'intensité du courant qui traverse le générateur.

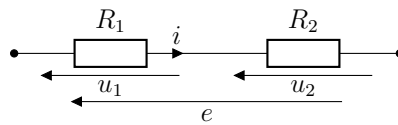
1. Faire un schéma en indiquant toutes les grandeurs électriques et en adoptant les conventions les plus raisonnables pour chaque dipôle.
2. Exprimer l'intensité I en fonction de E , R_1 et R_2 .
3. En déduire les tensions U_1 et U_2 aux bornes de chaque résistance en fonction des mêmes paramètres.

On modifie le montage précédent : les deux résistances sont maintenant montées en parallèles aux bornes du générateur.

4. Exprimer les intensités I_1 et I_2 des courants qui traversent les deux résistances en fonction de I , R_1 et R_2 .

Cette application peut être résolue plus rapidement encore en reconnaissant dans les circuits étudiés des **ponts diviseurs**.

Propriété 7 (à démontrer)

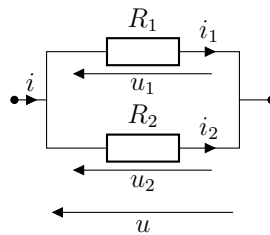


Un **pont diviseur de tension** est formé par l'association de **deux résistances en série**. On a alors

$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}e \quad \text{et} \quad u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}e.$$

Démo : association de résistances pour exprimer i en fonction de e , R_1 et R_2 , puis lois d'Ohm.

Propriété 8 (à démontrer)



Un **pont diviseur de courant** est formé par l'association de **deux résistances en parallèle**. On a alors

$$i_1 = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}i = \frac{R_2}{R_1 + R_2}i \quad \text{et} \quad i_2 = \frac{\frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}i = \frac{R_1}{R_1 + R_2}i.$$

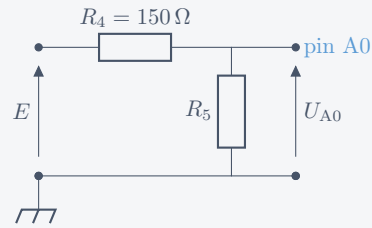
Démo : association de résistances pour exprimer u en fonction de i , R_1 et R_2 puis lois d'Ohm.

Application 8 – Ponts diviseurs

Les cartes Arduino possèdent quelques entrées analogiques ayant une résistance d'entrée très élevée, de l'ordre de $100\text{ M}\Omega$. Avec l'une de ces cartes, on souhaite mesurer la tension E aux bornes d'un générateur dont la tension de sortie peut monter jusqu'à 15 V . Comme les autres, l'entrée analogique A0 de l'Arduino ne peut mesurer des tensions que si elles sont comprises entre 0 et 5 V .

Par ailleurs, les résistances couramment utilisées en électronique sont dites « quart de watt » car la puissance qu'elles reçoivent ne doit pas dépasser $0,25\text{ W}$, sous peine de les endommager de manière irréversible.

1. Exprimer, puis calculer la valeur de la résistance R_5 à utiliser pour pouvoir mesurer toutes les valeurs de E tout en exploitant toute la plage de mesure de l'Arduino.
2. Exprimer et calculer la puissance maximale reçue par la résistance R_5 . Commenter.
3. On remplace R_5 par une association de deux résistances de valeur $2R_5$ en parallèle. Exprimer et calculer la puissance maximale reçue par chacune de ces résistances. Commenter.
4. Interpréter en utilisant un pont diviseur de courant.
5. EDF utilise des transformateurs pour abaisser la tension des lignes à haute tension (63 kV) avant leur acheminement vers le réseau domestique (230 V). Pourquoi n'utilise-t-on pas des ponts diviseurs ?



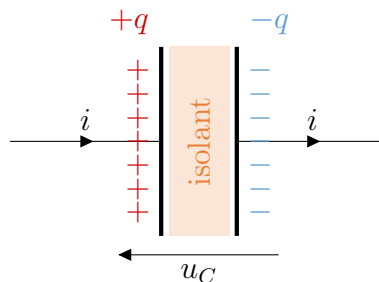
Expérience 3 : Arduino pour les application 5, 6 et 8

- carte Arduino ;
- jumpers ;
- fils banane ;
- câble USB ;
- résistances variées ;
- pincettes crocodiles.
- LED rouges et vertes ;
- générateur réglable ;

Illustrer les applications 5, 6 et 8 à l'aide d'une carte Arduino.

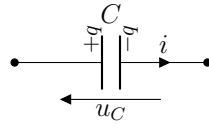
En TP on utilisera des résistances dont la valeur varie entre quelques dizaines d'ohms et quelques $\text{M}\Omega$.

3.2 Condensateur idéal : comportement capacitif



Un condensateur est un dipôle formé de deux armatures métalliques séparées par un isolant électrique. En présence d'un courant électrique, les armatures du condensateur accumulent une charge q ($+q$ pour l'une et $-q$ pour l'autre), qui donnent naissance à une différence de potentiel.

Définition

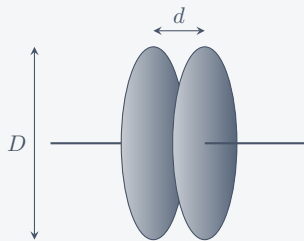


La **charge électrique** q du condensateur est liée à sa **capacité électrique** C , exprimée en farad (F), par la relation :

$$q = Cu_C.$$

Rq : Le farad est une unité forte : 1 F correspond à une très grande capacité. En TP, on utilisera des condensateurs dont la capacité va de 1 pF à quelques mF.

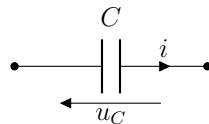
Application 9 – Capacité d'un condensateur



On s'intéresse au condensateur plan représenté ci-contre, formé de deux disques métalliques de diamètre $D = 30,0$ cm, séparés par une distance $d = 1,00$ cm. Le condensateur est dans l'air ($\epsilon_{r,\text{air}} \approx 1,00$).

En utilisant, la formule du Doc. 3, exprimer la capacité de ce condensateur en fonction de D , d et ϵ_0 . Faire l'application numérique.

Définition



En **convention récepteur**, l'intensité du courant qui « traverse » le condensateur est liée à la tension à ses bornes

$$i(t) = C \frac{du_C}{dt}.$$

Un condensateur tend à s'opposer aux variations de tensions. En régime stationnaire, le condensateur se comporte comme un **interrupteur ouvert**. Il permet notamment de stocker de l'énergie électrique pour délivrer rapidement des forts courants.

Énergie stockée dans un condensateur

Propriété 9 (à démontrer)

L'énergie emmagasinée par un condensateur chargé sous une tension u_C est

$$\mathcal{E}_C(t) = \frac{1}{2}Cu_C^2(t).$$

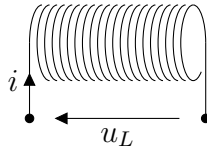
Dans un condensateur, l'énergie est stockée sous forme **électrique**.

Démo : exprimer la puissance reçue par un condensateur et utiliser la loi de comportement pour faire apparaître une dérivée connue.

Expérience 4 : Super-condensateur

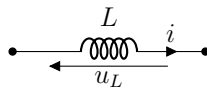
<https://youtu.be/gY5OaeG4Ymw>

3.3 Bobine idéale : comportement inductif



Une bobine est un dipôle constitué d'un bobinage de fil enroulé autour d'un axe (souvent autour d'un matériau ferromagnétique). Son principe de fonctionnement sera détaillé dans les Chap. I1 et I2.

Définition



Une bobine est caractérisée par son **inductance** L (ou auto-inductance) exprimée en henry (H). En **convention récepteur**, l'intensité du courant qui traverse une bobine d'inductance L est liée à la tension à ses bornes :

$$u_L(t) = L \frac{di}{dt},$$

L'inductance des bobines utilisées en TP varie entre quelques μH et 1 H.

Expérience 5 : Étincelles de rupture

- générateur DC ;
- fils et pinces crocodile ;
- lime ;
- bobine.

L'ouverture brutale d'un circuit inductif peut engendrer des surtensions spectaculaires...

Une bobine tend à s'opposer aux variations de courant. En régime stationnaire, la bobine se comporte comme un **fil**. Elle peut stocker de l'énergie pour créer brièvement de fortes tensions.

Énergie stockée dans une bobine

Propriété 10 (à démontrer)

L'énergie emmagasinée par une bobine parcourue par un courant d'intensité i est

$$\mathcal{E}_L(t) = \frac{1}{2} Li^2(t).$$

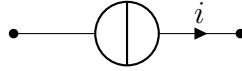
Dans une bobine, l'énergie est stockée sous forme **magnétique**.

Démo : exprimer la puissance reçue par une bobine et utiliser la loi de comportement pour faire apparaître une dérivée connue.

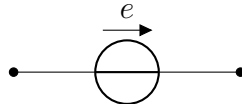
3.4 Générateurs

Il existe deux types de générateurs :

- des **sources de courant**, qui délivrent un courant choisi par l'utilisateur :



- des **sources de tension**, qui imposent une tension choisie par l'utilisateur :



Source idéale de tension

Une **source idéale de tension** impose une tension constante quel que soit le circuit qu'elle alimente, et donc quelle que soit l'intensité du courant qu'elle fournit. Ce modèle simple ne permet cependant pas d'expliquer le fonctionnement des sources réelles.

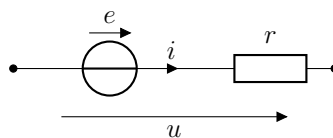
Expérience 6 : Chute de tension aux bornes d'un GBF

- GBF ;
- fils ;
- oscilloscope ;
- boîte à décade de résistance.

Que peut-on dire de la tension aux bornes du générateur lorsqu'on diminue la résistance de charge ?

Définition

On peut modéliser une source de tension réelle avec le **modèle de Thévenin**, comme l'association d'une source idéale de tension de force électromotrice (f.é.m.) e en série avec une résistance r :



En convention générateur, la tension aux bornes du générateur réel est alors

$$u = e - ri.$$

La f.é.m. est aussi appelée **tension à vide** et on parle de **résistance de sortie**, ou de **résistance interne** pour désigner r .

La résistance de sortie d'un générateur de tension continue est inférieure à 1Ω , tandis que celle d'un générateur de tension alternatif (GBF : générateur basse fréquence) est de 50Ω .