

Ondes et signaux – Chapitre 2 : Signaux électriques en régime stationnaire

I. Les bases de l'électrocinétique en régime stationnaire

1. Notion de dipôle et de circuit électrique
2. L'intensité du courant
3. Différence de potentiel : tension
4. Propriétés d'unicité et types d'associations
5. Lois de Kirchhoff : loi des nœuds
6. Lois de Kirchhoff : loi des mailles

II. Dipôles linéaires

1. Conventions d'orientation des grandeurs
2. Caractéristique d'un dipôle
3. Le conducteur ohmique (ou dipôle résistif), un exemple de dipôle passif
4. Modèle du court-circuit et coupe-circuit
5. La source idéale de tension, un exemple de dipôle actif
6. Sources réelles linéaires – Modèle de Thévenin

III. Aspect expérimental

1. Mesure d'une intensité
2. Mesure d'une tension
3. Notion de masse d'un circuit – Mise à la Terre
4. Risques électriques et ordres de grandeurs

IV. Outils utiles pour analyser un circuit

1. Simplification de circuit via des associations de conducteurs ohmiques
2. Une formule bien utile : le diviseur de tension

V. Aspects énergétique

1. Puissance reçue par un dipôle
2. Cas du conducteur ohmique (dipôle résistif) – Effet Joule
3. Cas du générateur idéal de tension
4. Bilan énergétique dans un circuit
5. Ordres de grandeur à retenir

Notions abordées au collège

Circuits électriques, dipôles en série, dipôles en dérivation, boucle, unicité de l'intensité dans un circuit série, Loi d'additivité des tensions, loi d'additivité des intensités, loi d'Ohm, Règles de sécurité, énergie et puissance électriques.

Extrait du programme de seconde

Notions	Capacités exigibles
Loi des nœuds. Loi des mailles. Caractéristique tension-courant d'un dipôle. Résistance et systèmes à comportement de type ohmique. Loi d'Ohm. Capteurs électriques.	Exploiter la loi des mailles et la loi des nœuds dans un circuit électrique comportant au plus deux mailles. Mesurer une tension et une intensité. Exploiter la caractéristique d'un dipôle électrique : point de fonctionnement, modélisation par une relation $U = f(I)$ ou $I = g(U)$. Utiliser la loi d'Ohm. Citer des exemples de capteurs présents dans les objets de la vie quotidienne.

Extrait du programme de spécialité de première

Notions	Capacités exigibles
Porteur de charge électrique. Lien entre intensité d'un courant continu et débit de charges. Modèle d'une source réelle de tension continue comme association en série d'une source idéale de tension continue et d'une résistance.	Relier intensité d'un courant continu et débit de charges. Expliquer quelques conséquences pratiques de la présence d'une résistance dans le modèle d'une source réelle de tension continue.
Puissance et énergie. Bilan de puissance dans un circuit. Effet Joule. Cas des dipôles ohmiques. Rendement d'un convertisseur.	Citer quelques ordres de grandeur de puissances fournies ou consommées par des dispositifs courants. Définir le rendement d'un convertisseur.

Extrait du programme de BCPST 1

Notions	Capacités exigibles
Grandeurs électriques Charge électrique, intensité du courant électrique. Régime variable et régime stationnaire. Potentiel électrique, référence de potentiel, tension électrique. Mise à la terre.	Relier l'intensité d'un courant électrique au débit de charges électriques. Utiliser la loi des nœuds et la loi des mailles. Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur.
Circuits en régime continu Source de tension. Dipôle résistif, résistance, loi d'Ohm. Associations de deux résistances. Pont diviseur de tension.	Citer les ordres de grandeur d'intensité et de tension électriques dans différents domaines d'application, et en particulier en lien avec la prévention du risque électrique. Modéliser une source de tension en utilisant la représentation de Thévenin. Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente.
Aspect énergétique Puissance et énergie électriques. Effet Joule.	Exploiter des ponts diviseurs de tension. Établir un bilan de puissance dans un circuit électrique

Ce qu'il faut retenir de ce chapitre

Savoirs	Savoir-faire
<p>Définition de l'intensité du courant et de la tension. Définition d'un nœud, conservation de l'intensité dans une branche, lois des nœuds. Unicité du potentiel dans un fil électrique, additivité des tensions, définition d'une maille, loi des mailles. Caractéristique d'un dipôle, conducteur ohmique, source (ou générateur) idéal(e) de tension. Représentations de Thévenin Association en série et en parallèle. Résistance équivalente. Diviseurs de tension. Énergie reçue par un dipôle, puissance reçue par un dipôle, loi de la puissance reçue, convention de signe pour la puissance reçue, notion de puissance fournie par un générateur, puissance perdue par effet joule pour un conducteur ohmique. Bilan énergétique Branchements des multimètres. Notion de masse d'un circuit. Mise à la Terre d'un appareil électrique Ordre de grandeurs des tensions, intensités et puissances en fonction des applications</p>	<p>Algébrisation des grandeurs, savoir manipuler les grandeurs algébriques Savoir associer schéma d'un dipôle, relation entre u et i, caractéristique courant-tension. Savoir utiliser les lois de Kirchhoff : écrire un système d'équations pour déterminer des grandeurs dans un circuit. Savoir modéliser une source réelle par un dipôle de Thévenin Savoir repérer les dipôles en série ou en parallèle Savoir trouver le dipôle équivalent à une association de résistance dans le but de simplifier un circuit. Savoir utiliser la formule du diviseur de tension pour simplifier des calculs Savoir effectuer un bilan énergétique dans un circuit.</p>

Ordres de grandeur à connaître

<p>Effets biologique du passage du courant alternatif de fréquence 50Hz (alimentation domestique) :</p> <p>Seuil de perception (suivant l'état de la peau) : 0,5 – 1 mA</p> <p>Perception douloureuse : 5 mA</p> <p>Réflexe mettant en action les muscles extenseurs ou tétanisation des muscles : 10 mA</p> <p>Tétanisation du diaphragme, arrêt respiratoire : 20 – 30 mA</p> <p>Fibrillation ventriculaire (pouvant aller jusqu'à l'arrêt cardiaque) : 40 – 75 mA</p> <p>Seuil d'électrocution : 100 mA</p>	<p>Ordres de grandeur d'intensité (intensité efficace pour les modes alternatifs) de fonctionnement</p> <p>LED : 20 mA</p> <p>Ampoule halogène : 0,5 A</p> <p>Ampoule à incandescence : 1 A</p> <p>Four électrique : 10 A</p> <p>Moteur d'une voiture électrique : 30 A</p> <p>Moteur de locomotive : 1 kA</p> <p>Ligne à THT : > 1 kA</p> <p>Foudre : de 10 kA à 100 kA</p>
<p>Ordres de grandeur pour les tensions (et quelques valeurs) :</p> <p>Piles du commerce : quelques V (piles classiques : 1,5 V, 4,5 V, 9 V)</p> <p>Batteries d'accumulateurs : 10 V (valeurs usuelles : 6 V, 12 V, 24 V)</p> <p>Batteries au lithium d'une voiture électrique : 500 V</p> <p>Réseau de distribution EDF : 230 V</p> <p>Ligne d'alimentation du TGV : 25 kV</p> <p>Ligne à (très) haute tension : de 50 kV à 500 kV</p> <p>Foudre : de 100 000 kV à 500 000 kV</p>	<p>Ordres de grandeur pour les puissances électriques :</p> <p>Calculatrice : 1 mW</p> <p>Lampe de poche : 1 W</p> <p>Electroménager : 1 kW</p> <p>Moteur TGV : 1 MW</p> <p>Centrale électrique (tout dépend du type de centrale) : de 1 GW à 10 GW</p>

Résistance du corps humain : 10 kΩ

Extraits de rapports de jury du concours AGRO-VETO

Les candidats qui pensent à utiliser les ponts diviseurs de tension trouvent bien plus rapidement la solution d'un problème que ceux qui souhaitent écrire des lois des nœuds et des mailles aux multiples inconnues (qui conduit souvent à de nombreuses erreurs de signes).

Attention aux phrases inappropriées : on ne parle pas de « la tension dans le conducteur ohmique » mais de « la tension aux bornes du conducteur ohmique ».



Cahier d'entraînement des prépas :

- fiche 3 : tous les exercices sauf le 3.16 et 3.18
- fiche 6 : exercices 6.1, 6.2, 6.7, 6.9, 6.10

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons à la partie « signal électrique » de la chaîne de transmission présentée dans le chapitre précédent. Les signaux électriques peuvent être de deux types : indépendant du temps (**régime stationnaire**) ou dépendant du temps (**régimes variables** : **régime transitoire**, **régime sinusoïdal ou quelconque**). Ici nous nous focaliserons sur les lois de l' « électrocinétique » en régime stationnaire, régime aussi appelé continu.

I. Les bases de l'électrocinétique

1. Notion de dipôle et de circuit électrique

a. Dipôle

Définitions :

Bornes : un composant électrique ne peut fonctionner que s'il est parcouru par un courant électrique : il doit donc pouvoir laisser entrer le courant et le laisser sortir. Les parties permettant de laisser entrer ou sortir le courant sont appelées « bornes ».

Dipôle : les composants simples appelés dipôles sont constituées de deux bornes, mais il en existe des plus complexes qui peuvent posséder plusieurs bornes d'entrée et plusieurs bornes de sortie (comme les transistors ou les amplificateurs opérationnels, hors programme).

Ces **bornes** permettent de réaliser des connexions entre composants électriques.

Remarque : chaque type de dipôle possède un symbole spécifique que l'on utilise pour schématiser les circuits électriques expérimentaux. On représente deux traits de part et d'autre du symbole du dipôle pour matérialiser ses bornes aux extrémités, que l'on nomme par des lettres.



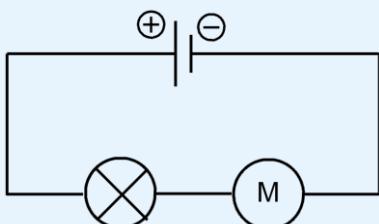
b. Circuit électrique

Les dipôles sont connectés entre eux via des fils de connexion permettant le passage du courant, de manière à former un circuit fermé. Les fils de connexion sont symbolisés par des traits.

Types de circuit :

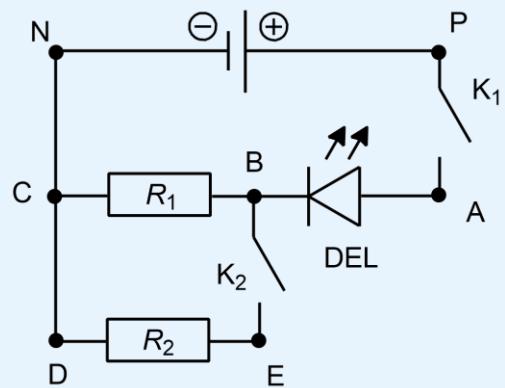
Circuit à une seule « boucle »

Exemple avec une pile, un moteur et une lampe



Circuit à plusieurs « boucles » : notion de nœuds

Exemple de schéma modélisant le circuit électrique d'une lampe frontale à plusieurs modes d'éclairage (les ampoules sont modélisées par des conducteurs ohmiques de résistance R_1 et R_2 , K_1 et K_2 représentant des interrupteurs, ici ouverts, la DEL est une diode électroluminescente)



Dans le cas des circuits à plusieurs « boucles », on définit des **nœuds** : points reliant au moins trois branches du circuit.

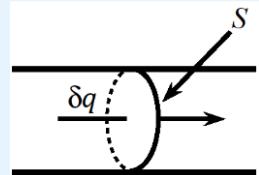
Dans l'exemple B et C sont des nœuds.

2. L'intensité du courant électrique

a. Définition

Définition :

L'intensité du courant électrique (notée i) à travers une surface S dans conducteur électrique est définie comme un flux (ou débit) de charge à travers cette surface : c'est le nombre de charge (en coulomb) traversant la surface par unité de temps :



Les notations utilisées seront explicitées lors de chapitres ultérieurs, elles sont utilisées lorsque l'on a besoin de définir des grandeurs instantanées : on travaille sur une durée infiniment petite notée dt (intervalle de temps élémentaire). Ainsi, δq correspond à la toute petite charge ayant traversée la surface S pendant cet intervalle de temps élémentaire.

Si l'intensité est constante on peut écrire la relation précédente sur un intervalle de temps fini noté Δt :



Exercice d'application 1

Avec q la charge ayant traversée la surface S pendant l'intervalle de temps Δt .

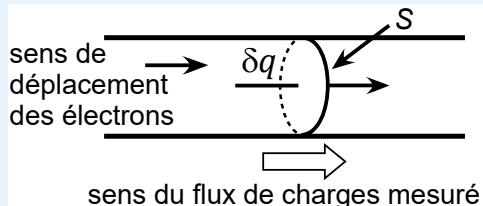
Remarque :

- Les charges en mouvement peuvent être des **électrons** se déplaçant dans un **conducteur électrique**, ou bien des ions dans une **solution ionique** (on parle dans ce cas de courant électrolytique).
- Les conducteurs électriques sont constitués de matériaux permettant d'avoir des électrons libres de se déplacer : ils ont un caractère métallique. Les fils de connexion par exemple sont constitués de fils de cuivre entouré d'une gaine isolante.

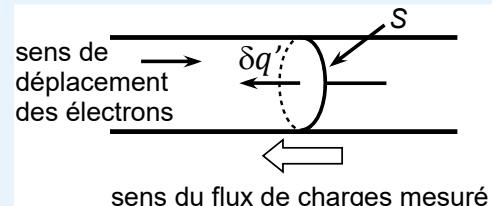
b. L'intensité électrique est une grandeur algébrique

L'intensité électrique est une grandeur algébrique : le flux peut être orienté dans le sens du déplacement des entités chargées ou dans le sens inverse. Elle pourra donc être positive ou négative, comme dans les exemples ci-dessous, dans le cas de la conduction d'électrons.

Premier cas : I orientée dans le sens du déplacement des électrons.



Deuxième cas : I' orientée dans le sens inverse au déplacement des électrons.



3. Différence de potentiel : tension

a. Cause de la mise en mouvement des électrons : le potentiel électrique

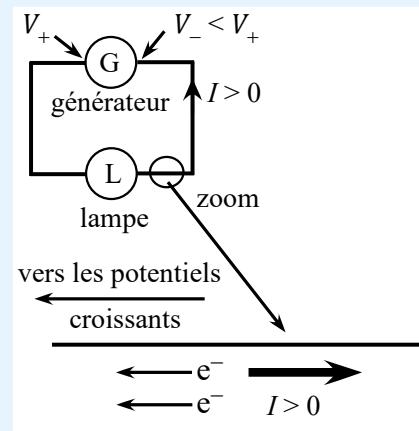
Rôle du potentiel électrique

En tout point de l'espace, on peut définir une grandeur, notée V , appelée potentiel électrique, en Volt (V).

Une charge q placée en un point M de potentiel $V(M)$ subit une force électrique et si elle est libre de son mouvement elle se déplace dans un sens qui dépend de son signe.

Ainsi :

Cas d'un circuit électrique pour lequel la différence de potentiel est imposée par un générateur :



Propriétés au sein d'un circuit électrique :

b. Définition de la tension aux bornes d'un dipôle

Définition :



U est une grandeur algébrique : tout comme l'intensité du courant la tension aux bornes d'un dipôle électrique est une grandeur algébrique (qui peut donc être positive ou négative).

4. Propriétés d'unicité et types d'associations**a. Unicité du potentiel dans un fil électrique**

On symbolise les composants électriques par un symbole qui leur est propre reliés entre eux au sein d'un circuit électrique par des traits. Ces traits symbolisent les fils électriques considérés comme **des conducteurs parfaits**.

Propriété :

b. Dipôle en dérivation (ou parallèle) : unicité de la tension

Définition :



**Exercice
d'application 2**

Propriété

c. Dipôle en série : unicité de l'intensité

Définition :

Propriété :

Démonstration (hors programme) :

Soit un système défini comme une portion quelconque de branche d'un circuit, on note :

- I_{entrant} , l'intensité entrant dans cette branche
- I_{sortant} , l'intensité sortant de cette branche
- $\delta q_{\text{entrant}}$, la petite quantité de charge entrant dans la branche pendant dt
- $\delta q_{\text{sortant}}$, la petite quantité de charge sortant de la branche pendant dt

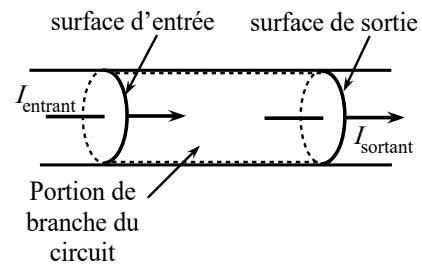
Si le régime est stationnaire, cela signifie que la quantité de charge à l'intérieur du système reste constante, ainsi :

$$\delta q_{\text{entrant}} = \delta q_{\text{sortant}}$$

En divisant l'égalité par l'intervalle élémentaire dt , on obtient :

$$I_{\text{entrant}} = I_{\text{sortant}}$$

Cette égalité étant valable quelle que soit la portion de branche de circuit choisie, on en déduit que l'intensité I traversant n'importe quelle section de la branche du circuit a toujours la même valeur.

**Remarque :**

En régime variable, on se placera dans l'approximation des régimes quasi stationnaires (ARQS) qui permet de continuer d'utiliser cette propriété. Cette approximation est légitime si la propagation du signal, entre l'entrée et la sortie de la branche considérée du circuit, est beaucoup plus rapide que la variation du signal en lui-même : dans ce cas on peut écrire $I_{\text{entrant}}(t) = I_{\text{sortant}}(t)$, même si à l'instant suivant $t + dt$ $I_{\text{entrant}}(t + dt) \neq I_{\text{entrant}}(t)$. En pratique cette approximation sera toujours valable.

5. Les lois de Kirchhoff : loi des nœuds

Loi des nœuds

En régime stationnaire, pour un nœud vers lequel n intensités convergent et p intensités divergent, on peut écrire la loi suivante :



Exercice d'application 3

Démonstration sur un exemple (hors programme) :

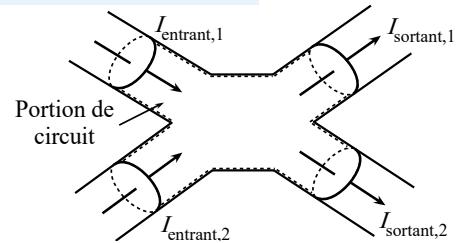
Soit un système défini comme une portion d'un circuit contenant un nœud tel que représenté ci-contre. Les intensités entrantes et sortantes sont indiquées sur le schéma.

Par un raisonnement similaire à la démonstration précédente on peut écrire que la quantité de charge entrant dans le système est égale à la quantité de charge sortante, en divisant par dt , on obtient : $I_{\text{entrant},1} + I_{\text{entrant},2} = I_{\text{sortant},1} + I_{\text{sortant},2}$

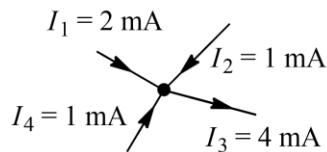


Attention : les intensités sont des grandeurs algébriques

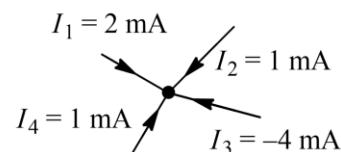
La qualification d'intensité entrante ou sortante est uniquement liée au choix d'orientation qui a été fait sur le circuit, elle est totalement indépendant du signe des intensités. Analysons le nœud suivant avec deux choix d'orientation différents.



choix 1 :



choix 2 :



Loi des nœuds pour le choix 1 :

Loi des nœuds pour le choix 2 :

6. Les lois de Kirchhoff : loi des mailles

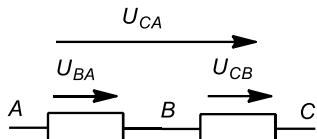
a. Additivité des tensions des dipôles en série

Propriété :



Exercice d'application 2

Exemple :



b. Maille et loi des mailles

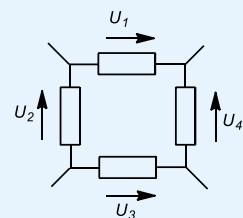
Définition :

On appelle maille d'un circuit une portion fermée qui passe une seule fois par un nœud donné.

Lois des mailles :

La loi des mailles est une loi qui fait intervenir des tensions, grandeurs algébriques, ainsi il faudra orienter la maille choisie.

Exemple :



Exercice d'application 3

II. Dipôles linéaires

1. Conventions d'orientation des grandeurs

Il existe deux conventions d'orientation de la tension aux bornes d'un dipôle et de l'intensité la traversant. L'une s'utilise plutôt pour les dipôles dits récepteurs, l'autre pour les dipôles dits générateurs, mais il est possible d'utiliser l'une ou l'autre quel que soit le dipôle étudié.

Convention récepteur

Convention générateur

2. Relation entre U et I et caractéristique d'un dipôle

a. Définition

Caractéristique courant-tension :

Chaque dipôle possède une relation entre la tension à ses bornes et l'intensité qui le traverse qui lui est propre.

On appelle « caractéristique courant-tension » d'un dipôle AB la courbe représentant les variations de la tension U à ses bornes en fonction de l'intensité I le traversant en (ou l'inverse). On n'oubliera pas d'indiquer la convention d'orientation choisie.

On peut aussi tracer la caractéristique tension-courant.

b. Dipôles linéaires

Un dipôle est dit linéaire lorsqu'il existe :

3. Le conducteur ohmique (ou dipôle résistif), un exemple de dipôle passif

Propriété :

Un dipôle passif n'est pas capable de provoquer le passage d'un courant s'il n'est pas soumis à une ddp : la caractéristique d'un dipôle passif passe par l'origine.

Les matériaux conducteurs du courant électrique, sont caractérisés par leur capacité à « résister » au transport des charges. Les dipôles purement résistifs vérifie une loi de proportionnalité entre U et I .

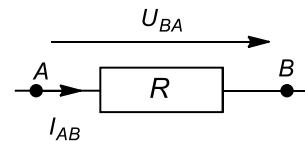
Dipôle	Symbole électrique	Relation	Caractéristique
Conducteur ohmique ou dipôle résistif			



En convention récepteur, la tension aux bornes du conducteur ohmique et l'intensité qui le traverse sont de même signe (R étant positive). On préfèrera donc cette convention

Cependant, on peut utiliser la loi d'Ohm en ayant choisi la convention générateur, dans ce cas là la tension et l'intensité sont de signes opposés :

$$U_{BA} = -RI_{AB}$$



Exercices d'application
4 et 5

4. Modèle du court-circuit et coupe-circuit

a. Modèle du fil conducteur idéal : court-circuit

On symbolise les composants électriques par un symbole qui leur est propre reliés entre eux au sein d'un circuit électrique par des traits. Ces traits symbolisent les fils électriques considérés comme **des conducteurs parfaits**, c'est-à-dire de **résistance nulle**, ainsi le potentiel électrique est constant sur toute la longueur du fil (car $V_B - V_C = R \times I_{BC} = 0$).

Dipôle	Symbolé électrique	Relation	Caractéristique
Court-circuit (fil conducteur) : modèle idéal			

b. Circuit ouvert : coupe-circuit

Quand un circuit est ouvert, les électrons ne sont pas libres de se déplacer : donc il n'y a pas de phénomène de transport possible : un coupe-circuit correspond à une **résistance infinie**.

Dipôle	Symbolé électrique	Relation	Caractéristique
Coupe-circuit (circuit ouvert)			

5. La source idéale de tension, un exemple de dipôle actif

a. Caractéristique d'une source ou dipôle actif

Définition :

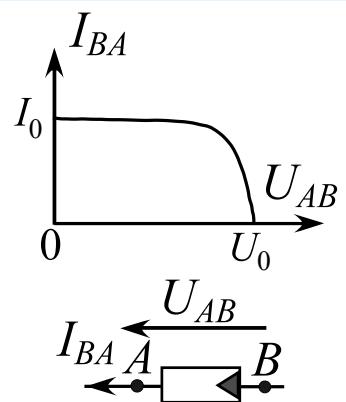
Une source (appelée aussi générateur ou dipôle actif) est capable de provoquer le passage d'un courant : la caractéristique d'un dipôle actif ne passe pas par l'origine. C'est un dipôle non symétrique (il faut donc réfléchir au sens des branchements lorsque l'on construit le circuit).

Convention : on préfère utiliser la convention générateur pour orienter la tension aux bornes d'une source et l'intensité qui la traverse car lors du fonctionnement d'un circuit ces deux grandeurs orientées de cette manière sont en général de même signe.

Exemple : la caractéristique courant-tension $I_{BA} = f(U_{AB})$ d'une photopile en convention générateur est représentée ci-contre.

Quand $I_{BA} = 0$, $U_{AB} \neq 0$ et $I_{BA} \neq 0$ pour $U_{AB} = 0$

- U_0 s'appelle la **tension en circuit ouvert** ou de tension **coupe-circuit**.
- I_0 s'appelle l'**intensité de court-circuit**.



b. Modèle de la source idéale de tension

Une source idéale n'existe pas mais est très utile pour modéliser les générateurs réels.

Dipôle	Schéma électrique	Relation	Caractéristique
Source ou générateur idéal(e) de tension			

Remarque : e est généralement orientée de manière à être positive mais ce n'est pas une obligation



- Même si la plupart des générateurs possèdent une sécurité, il ne faut pas relier les deux bornes d'un générateur idéal de tension par un fil (court-circuit), car le fil n'ayant aucune résistance, la valeur de l'intensité tend vers l'infini ce qui a pour conséquence de « griller » le générateur.
- La convention générateur permet d'avoir la tension et l'intensité de même signe.

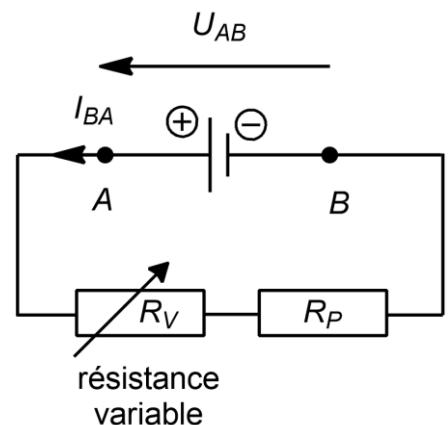
6. Source réelle linéaire – Modèle de Thévenin (après avoir traité le III.)

a. Etude expérimentale d'une source réelle : une pile

On souhaite obtenir la caractéristique expérimentale d'une pile afin de la comparer à celle d'une source idéale. Pour cela on met en place un circuit électrique dont le schéma est le suivant, avec R_V une résistance que l'on pourra faire varier et R_P une résistance de valeur fixe, $R_P = 10 \Omega$.

Quelques questions préliminaires :

Déterminer l'expression de l'intensité I_{BA} traversant la pile en fonction de sa tension U_{AB} et des résistances R_V et R_P .



Déduire de la question précédente le rôle de la résistance variable R_V dans la construction de la caractéristique tension-courant de la pile.

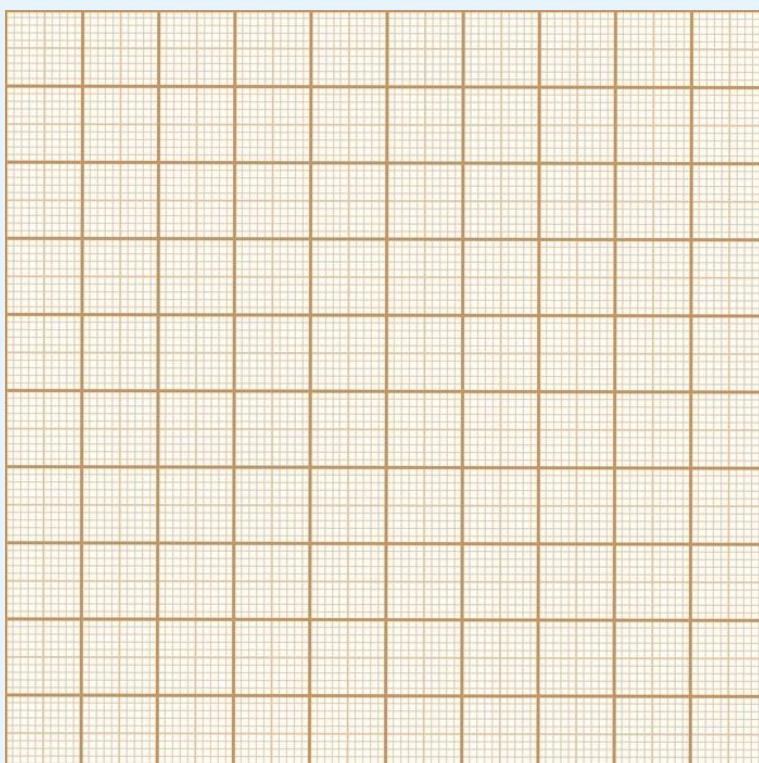
Même question quant au rôle de la résistance R_P .

Dispositif de mesure : Proposer les instruments de mesures permettant de mesurer U_{AB} et I_{BA} et représenter le schéma du circuit avec les branchements adéquats.

Résultat expérimental : Mettre en place le circuit précédent et faire varier la résistance R_V afin de remplir le tableau suivant.

R_V	∞	1000	500	400	300	250	200	150	100	50
U_{AB} (en V)										
I_{BA} (en mA)										

Exploitation : Tracer la caractéristique U_{AB} en fonction de I_{BA} et proposer une relation mathématique caractéristique de la tendance observée.



b. Modélisation de Thévenin

On peut modéliser un générateur réel à l'aide d'une source idéale de tension et d'un conducteur ohmique, c'est le modèle de Thévenin.

Remarque : les piles sont des sources linéaires de tension tant que l'intensité qui la traverse n'est pas trop élevée. En effet pour des intensités élevées la résistance interne augmente.



Exercice d'application 6

A retenir :

III. Aspect expérimental

1. Mesure d'une intensité

Mesure d'une intensité à l'aide d'un ampèremètre :

Exemple d'un circuit simple : résistance en série avec une pile

2. Mesure d'une tension

Branchements d'un voltmètre :

Exemple d'un circuit simple : résistance en série avec une pile

3. Notion de masse d'un circuit – Mise à la Terre

a. Notion de masse d'un circuit

Il n'existe pas d'appareil capable de mesurer un potentiel électrique, on ne peut mesurer qu'une différence de potentiel. Ainsi si l'on veut définir le potentiel en un point, il est nécessaire de fixer le potentiel en un point particulier à une valeur de référence nulle. Ce point est appelée **masse du circuit** et constitue la **référence de potentiel**.

b. Mise à la Terre

Pour des raisons de sécurité les appareils électriques brancher sur le secteur sont « mis à la Terre ». Cette mise à la Terre consiste à relier à une **prise de terre**, par un fil conducteur, les **masses métalliques** des appareils électriques qui risquent d'être mises accidentellement mise sous tension. La prise de terre est constituée d'une plaque en métal, bon conducteur et non corrodable en contact avec le sol, de potentiel fixe (par convention on pose ce potentiel comme référence, donc $V_{\text{Terre}} = 0 \text{ V}$).

Ainsi si la carcasse métallique extérieure d'un appareil est mise sous tension accidentellement et que l'utilisateur est en contact avec cette carcasse, le courant électrique, plutôt que de le traverser, ira directement à vers la Terre.

Notation :

masse


terre

4. Risques électriques et ordres de grandeurs

a. Quelques définitions

Définitions :

- Une personne est dite **électrisée** lorsqu'un **courant électrique** lui **traverse** le corps et provoque des **blessures** plus ou moins graves. On parle d'**électrocution** lorsque ce courant électrique provoque la **mort** de la personne.
- L'**électrisation** est :
 - **directe**, la personne **touche** une **pièce nue** (ou deux pièces nues) **habituellement** mise **sous tension** (contact avec un fil dénudé d'un câble d'alimentation d'un appareil branché sur le secteur).
 - **indirecte**, la personne **touche** une **partie métallique** mise **accidentellement sous tension** par suite d'un défaut d'isolation dans un appareil électrique (carcasse métallique d'un lave-linge).
- L'**électrisation** peut se réaliser entre :
 - **deux points de contact** avec des pièces nues sous tension de potentiel électrique différents (deux fils d'une prise de courant branchés sur le secteur).
 - **Un point de contact** avec une pièce nue sous tension et la **terre**.
- La **terre** en électricité représente le **sol** (masse terreuse), considéré comme conducteur électrique et dont le **potentiel électrique** est par convention égal à **zéro**.

b. Paramètres à prendre en compte concernant la gravité d'une électrisation

Propriété :

La **gravité** de l'**électrisation** dépend de la **valeur** de l'**intensité** de courant qui traverse la personne.

Cette **intensité** est **fonction** de la **tension** à laquelle est soumise cette personne, de la **durée** du contact, de l'**état** de sa **peau** (sèche ou humide) et du **mode** (continu ou alternatif).

Propriétés électriques du corps humain :

Pour modéliser le corps humain d'un point de vue électrique, on a recours à des dipôles résistifs et à des condensateurs (aspect capacitif, cf. chapitre 4).

Aspect résistif : plus la tension électrique à laquelle est soumise la personne est élevée, plus l'intensité traversant le corps est élevé ($I = U/R$) et plus les risques d'électrocution sont grands.

On retiendra un ordre de grandeur de $10 \text{ k}\Omega$ pour la résistance du corps humain (peau sèche, pour de faibles de tension, $< 100 \text{ V}$). Lorsque la peau est mouillée la résistance est environ deux fois plus faible.

Aspect capacitif :

En courant continu, les condensateurs jouent le rôle de coupe-circuit et limitent la circulation du courant : ainsi les risques sont plus faibles.

En courant alternatif, les condensateurs n'interviennent plus, la circulation du courant dans le corps humain est plus facile : les risques sont plus élevés.

Remarque : l'alimentation électrique do-mestique est de type alternatif

Tension de fréquence 50 Hz et de valeur efficace 230 V

La tension efficace est la valeur de la tension continue qui aurait les mêmes effets que la tension alternative sinusoïdale considérée : $U = U_{\text{max}}/\sqrt{2}$, avec U_{max} amplitude de la tension alternative.

c. Ordres de grandeur pour les intensités du courant électrique

Effets biologique du passage du courant alternatif de fréquence 50Hz (alimentation domestique) :

Seuil de perception (suivant l'état de la peau) : 0,5 – 1 mA

Perception douloureuse : 5 mA

Réflexe mettant en action les muscles extenseurs ou tétranisation des muscles : 10 mA

Tétranisation du diaphragme, arrêt respiratoire : 20 – 30 mA

Fibrillation ventriculaire (pouvant aller jusqu'à l'arrêt cardiaque) : 40 – 75 mA

Seuil d'électrocution : 100 mA

Ordres de grandeur d'intensité (intensité efficace dans le cas des modes alternatifs) de fonctionnement

LED : 20 mA

Ampoule halogène : 0,5 A

Ampoule à incandescence : 1 A

Four électrique : 10 A

Moteur d'une voiture électrique : 30 A

Moteur de locomotive : 1 kA

Ligne à THT : > 1 kA

Foudre : de 10 kA à 100 kA



En TP on ne manipulera des intensités que de l'ordre de grandeur de la dizaine de mA.

d. Ordres de grandeur pour les tensions

A titre indicatif, il existe **quatre domaines** de tension. Les **risques** et les **précautions** à prendre en matière d'intervention sur des ouvrages électriques ne sont pas les mêmes en fonction du **domaine** de tension et doivent donc être connus avant d'envisager toute action.

Domaine de tension	Mode alternatif (tension efficace)	Mode continu
Très basse tension (TBT)	$U \leq 50$ V (alimentation de l'éclairage halogène 12 V)	$U \leq 120$ V (piles 1,5 V etc., batterie classique au plomb 12 V, alimentation de l'éclairage LED 1,5 à 12 V)
Basse tension (BT)	$50 < U \leq 1\,000$ V (tension du secteur 230 V, Alimentation de grosses machines 400 V)	$120 < U \leq 1\,500$ V (batterie au lithium d'une voiture électrique 500 V, alimentation du réseau ferroviaire 1 500 V)
Haute tension (HT)	$1\,000 < U \leq 50\,000$ V (transport de l'électricité, alimentation du réseau ferroviaire 25 kV, alimentation d'un scanner 20 à 500 kV)	$1\,500 < U \leq 75\,000$ V (transport de l'électricité)
Très haute tension (THT)	$U > 50\,000$ V (transport de l'électricité)	$U > 75\,000$ V (transport de l'électricité)

Ordres de grandeur et valeurs de tension à retenir :

Piles du commerce : quelques V (piles classiques : 1,5 V, 4,5 V, 9 V)

Batteries d'accumulateurs : 10 V (valeurs usuelles : 6 V, 12 V, 24 V)

Batteries au lithium d'une voiture électrique : 500 V

Réseau de distribution EDF : 230 V

Ligne d'alimentation du TGV : 25 kV

Ligne à (très) haute tension : de 50 kV à 500 kV

Foudre : de 100 000 kV à 500 000 kV

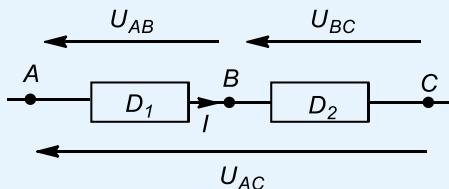
IV. Outils utiles pour analyser un circuit

1. Simplification de circuit via des associations de conducteurs ohmiques

a. Association en série

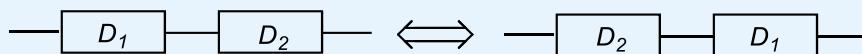
Rappel sur les associations en série de dipôles

Deux dipôles sont dits en série s'ils ont une borne de potentiel commun et que ce point n'est pas un nœud du circuit.



Propriétés :

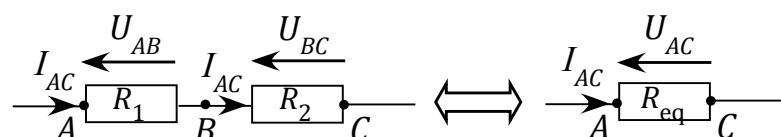
Remarque : deux dipôles en série peuvent être inversés dans la représentation d'un circuit



Résistance équivalente à n conducteur ohmique en série

L'association de n conducteurs ohmiques de résistance R_k en série est équivalente à un conducteur ohmique de résistance équivalente à la somme des résistances de l'association :

Démonstration : sur l'exemple de deux conducteurs ohmiques en série



Loi d'Ohm :

$$I_{AC} = \frac{V_A - V_B}{R_1} \quad \text{et} \quad I_{AC} = \frac{V_B - V_C}{R_2}$$

Par quoi remplacer l'association $\{R_1$ en série avec $R_2\}$?

$$\begin{aligned} V_A - V_C &= V_A - V_B + V_B - V_C \Leftrightarrow V_A - V_C = I_{AC}R_1 + I_{AC}R_2 \\ &\Leftrightarrow V_A - V_C = I_{AC} \times (R_1 + R_2) \Leftrightarrow I_{AC} = \frac{V_A - V_C}{R_1 + R_2} \end{aligned}$$

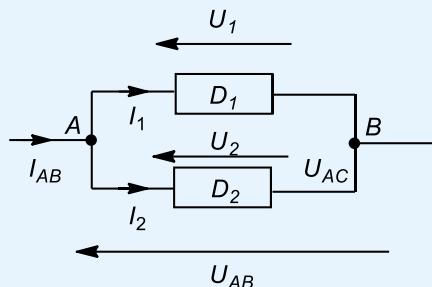
On obtient donc une loi d'Ohm pour le dipôle AC avec une résistance équivalente :

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

b. Association en dérivation

Rappel sur les associations en dérivation de dipôles

Deux dipôles sont dits en dérivation (ou en parallèles) s'ils ont leur deux bornes communes.



Propriétés :

Remarque : deux dipôles en parallèle peuvent être inversés dans la représentation d'un circuit

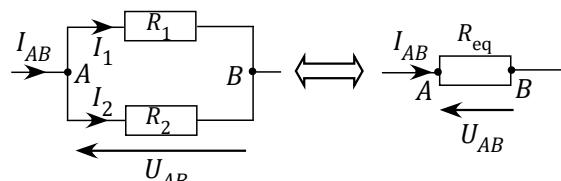


Résistance équivalente à n conducteur ohmique en dérivation

L'association de n conducteurs ohmiques de résistance R_k en dérivation est équivalente à un conducteur ohmique de résistance équivalente vérifiant la relation suivante :

Remarque : l'inverse de la résistance est appelée la conductance G , d'unité le Siemens (S), la formule précédente donne donc : $G_{\text{eq}} = \sum_{i=1}^k G_k$

Démonstration : sur l'exemple de deux conducteurs ohmiques en dérivation



Loi des nœuds $I_{AB} = I_1 + I_2$

Loi d'Ohm :

$$I_1 = \frac{V_A - V_B}{R_1} \quad \text{et} \quad I_2 = \frac{V_A - V_B}{R_2}$$

Par quoi remplacer l'association $\{R_1$ en dérivation avec $R_2\}$?

$$I_{AB} = I_1 + I_2 \Leftrightarrow I_{AB} = \frac{V_A - V_B}{R_1} + \frac{V_A - V_B}{R_2} \Leftrightarrow I_{AB} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \times (V_A - V_B)$$

On obtient donc une loi d'Ohm pour le dipôle AB avec une résistance équivalente :

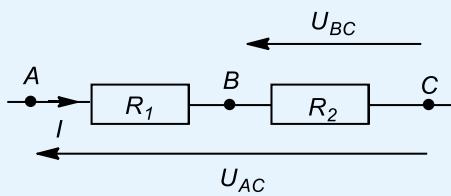
$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{soit} \quad R_{\text{eq}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



Exercices d'application 7 et 8

2. Une formule bien utile : le diviseur de tension

Lorsque des conducteurs ohmiques sont en série il est parfois utile de savoir déterminer la différence de potentiel aux bornes d'un des conducteurs en fonction de celle aux bornes de l'association.



On cherche U_{BC} connaissant U_{AC} :



Exercice d'application 9

Démonstration :

V. Aspects énergétique

La propagation d'un courant électrique peut servir comme vecteur de transmission d'un signal, mais aussi comme source d'énergie pour faire tourner un moteur, chauffer un radiateur, illuminer une lampe, etc. Cette dernière partie a pour but de quantifier ces transferts énergétiques.



Exercice d'entraînement 15

1. Puissance et énergie reçues par un dipôle

Les dipôles générateurs fournissent de l'énergie électrique, tandis que les dipôles récepteurs traversés par un courant électrique et soumis à une différence de potentiel reçoivent une énergie électrique. Selon le type de dipôle l'énergie reçue peut être transformée directement (cas du conducteur ohmique qui transforme l'énergie électrique en énergie thermique par effet Joule) ou stocker (cas d'un condensateur, cf. chapitre 4)

a. Grandeur algébrique

Puissance et énergie reçues par un dipôle : grandeur algébrique

Que le dipôle soit générateur ou récepteur, on définit de manière générale la puissance et l'énergie reçue (de manière algébrique) par un dipôle. Son signe indiquera si le dipôle est effectivement un récepteur ou un générateur.

b. Définition de la puissance

Définition

Si le régime n'est pas stationnaire, alors la puissance reçue est une fonction du temps et se définit sur un intervalle de temps élémentaire :

$P_{\text{rec}}(t)$: puissance reçue à l'instant t (puissance instantanée)

δE_{rec} : énergie électrique reçue pendant dt en J

dt : intervalle de temps élémentaire

Si le régime est stationnaire, la puissance reçue est constante et peut être définie sur un intervalle de temps fini

P_{rec} : puissance reçue

E_{rec} : énergie électrique reçue pendant Δt en J

Δt : intervalle de temps fini

Remarque : sur les factures de consommation électrique, l'énergie consommée n'est pas indiqué en joules mais en kW.h. Cette unité correspond à l'énergie produite en une heure pour une puissance d'un watt :

$$1 \text{ kW.h} = 1 \text{ W} \times 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ kW.h} = 3600 \text{ J} = 3,6 \text{ kJ}$$

c. Loi de la puissance électrique reçue

La puissance reçue, P_{rec} , par un dipôle **AB**, en convention récepteur s'exprime par la relation suivante :

La relation est aussi bien valable en régime stationnaire qu'en régime variable.

d. Calcul de l'énergie électrique reçue par un dipôle pendant $\Delta t = t_2 - t_1$ à partir de la puissance reçue

Énergie électrique reçue par un dipôle pendant $\Delta t = t_2 - t_1$:

L'énergie reçue pendant l'intervalle de temps Δt est la somme des énergies reçues pendant tous les intervalles dt qui composent Δt . Cela correspond à une somme continue d'une infinité de termes : mathématiquement l'opérateur associé est l'intégrale :

2. Cas du conducteur ohmique (dipôle résistif) – Effet Joule

Puissance reçue par un conducteur ohmique et effet Joule

En injectant la loi d'Ohm pour un conducteur ohmique de résistance R dans la loi de puissance électrique reçue, on obtient :

3. Cas de la source idéale de tension

Puissance reçue par une source idéale de tension et puissance fournie

Remarque : ce sont ces considérations énergétiques qui justifient l'utilisation habituelle de la convention générateur pour les générateurs.

4. Bilan énergétique dans un circuit

Propriétés :

- La puissance électrique reçue par une association de différents dipôles est la somme des puissances électriques reçues par chacun des dipôles. Ceci est valable quelle que soit le type d'association.
- La somme des puissances électriques $P_{\text{rec}, j}$ reçues par les différents dipôles d'un circuit est nulle :

En pratique nous travaillerons avec des circuits constitués d'un seul générateur donc nous écrirons :

5. Ordres de grandeurs à retenir

Calculatrice : 1 mW

Lampe de poche : 1 W

Lampe à incandescence : de 15 à 100 W

Puissance de sortie d'un panneau solaire photovoltaïque : 150 W

Ordinateur : 300 – 400 W

Electroménager : 1 kW (Bouilloire : de 1 à 2 kW, Machine à laver : 1,5 à 3 kW)

Compteurs électrique des logements : 9 kW

Flash d'appareil photo amateur : 12 kW (très forte énergie délivrée en un temps très court)

Éolienne : 500 kW

Moteur TGV : 1 MW

Centrale électrique (tout dépend du type de centrale) : de **1 GW** à 10 GW (les plus fortes puissances étant celle délivrées par les centrales nucléaires).