



Thème I. Ondes et signaux (Électricité)

Chapitre n°3 Signaux électriques dans l'ARQS



À gauche :

André-Marie Ampère introduit en 1820 la notion de courant électrique et lui attribue une direction et un sens.

À droite :

Lignes hautes tensions qui transportent l'électricité de la centrale électrique de production aux villes.



Pré-requis

- 2nde : Thème Ondes et signaux
 - Loi des mailles et loi des nœuds.
 - Caractéristique tension-courant d'un dipôle et point de fonctionnement.
 - Loi d'Ohm.
- 1^{re} : Thème L'énergie : conversions et transferts
 - Charge électrique, lien entre intensité d'un courant et débit de charge.
 - Modèle d'une source réelle de tension continue comme association en série d'une source idéale de tension continue et d'une résistance.
 - Effet Joule.
 - Puissance et énergie. Bilan de puissance dans un circuit.
- Terminale : Thème Ondes et signaux
 - Intensité d'un courant électrique en régime variable.
 - Modèle du condensateur. Relation entre charge, tension et capacité d'un condensateur.

Objectifs du chapitre

Nous introduisons dans ce chapitre les notions et loi fondamentales de l'étude des circuits électriques dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires. Ces concepts fondamentaux seront réinvestis dans les chapitres suivants concernant des circuits plus proches de ceux rencontrés en pratique

- Rappeler les notions vues au lycée.
- Modéliser une bobine et en donner sa relation courant-tension.
- Étudier l'aspect énergétique du condensateur et de la bobine.
- Établir et utiliser les relations d'associations pour des résistances en série ou en parallèle.

Plan du cours

I Circuits électriques et grandeurs électriques	4	III.3 Fil et interrupteur	11
I.1 Électrocinétique	4	III.4 Conducteur ohmique	12
I.2 Vocabulaire	4	III.4.a) Loi d'Ohm	12
I.3 Courant électrique	5	III.4.b) Effet Joule	12
I.3.a) Charge électrique	5	III.5 Condensateur	13
I.3.b) Courant électrique	5	III.5.a) Caractéristique	13
I.3.c) Intensité du courant électrique	5	III.5.b) Condensateur en régime permanent	13
I.3.d) Mesure de l'intensité	6	III.5.c) Énergie emmagasinée dans un condensateur	14
I.4 Tension électrique	7	III.6 Bobine	15
I.4.a) Potentiel électrique	7	III.6.a) Caractéristique	15
I.4.b) Tension électrique	7	III.6.b) Bobine en régime permanent	15
I.4.c) Mesure de la tension	7	III.6.c) Énergie stockée dans une bobine	15
I.5 ARQS	8	III.6.d) Bobine réelle	16
II Lois fondamentales	9	III.7 Générateurs	16
II.1 Loi des nœuds	9	III.7.a) Source idéale de tension	16
II.2 Loi des mailles	10	III.7.b) Source réelle de tension	16
III Dipôles électriques linéaires fondamentaux	10	III.7.c) Source idéale de courant	16
III.1 Dipôles	10	IV Outils d'étude d'un circuit électrique	17
III.2 Conventions et puissance	11	IV.1 Association série de deux résistances	17
		IV.2 Association parallèle de deux résistances	18
		IV.3 Étude d'un circuit électrique	19

Ai-je bien appris mon cours ?

- 1 – 😊 – 😞 – Donner la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence.
- 2 – 😊 – 😞 – Définir l'intensité du courant électrique.
- 3 – 😊 – 😞 – Exprimer et utiliser la loi des nœuds et la loi des mailles.
- 4 – 😊 – 😞 – Définir la convention récepteur ou générateur.
- 5 – 😊 – 😞 – Donner les relations entre l'intensité et la tension pour les résistance, condensateur, bobine et générateurs.
- 6 – 😊 – 😞 – Donner les unités de l'intensité, la tension, la puissance, l'énergie, la résistance, la capacité du condensateur, l'inductance d'une bobine.
- 7 – 😊 – 😞 – Donner le modèle de Thévenin d'une source de tension.
- 8 – 😊 – 😞 – Citer les ordres de grandeur de tensions, intensités, résistances, condensateurs et bobines.
- 9 – 😊 – 😞 – Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente.
- 10 – 😊 – 😞 – Établir et donner les relations des diviseurs de tension et de courant.
- 11 – 😊 – 😞 – Donner l'expression de la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance.
- 12 – 😊 – 😞 – Donner l'expression l'énergie stockée dans un condensateur ou une bobine.

Programme officiel

Notions et contenus	Capacités exigibles
1.2. Signaux électriques dans l'ARQS	
Charge électrique, intensité du courant. Potentiel, référence de potentiel, tension. Puissance.	Justifier que l'utilisation de grandeurs électriques continues est compatible avec la quantification de la charge électrique. Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge. Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence. Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge. Utiliser la loi des mailles. Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur. Citer les ordres de grandeur des intensités et des tensions dans différents domaines d'application.
Dipôles : résistances, condensateurs, bobines, sources décrites par un modèle linéaire.	Utiliser les relations entre l'intensité et la tension. Citer des ordres de grandeurs des composants R, L, C. Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance. Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou une bobine. Modéliser une source en utilisant la représentation de Thévenin.
Association de deux résistances.	Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente. Établir et exploiter les relations des diviseurs de tension ou de courant.
Résistance de sortie, résistance d'entrée.	[TP] Évaluer une résistance d'entrée ou de sortie à l'aide d'une notice ou d'un appareil afin d'appréhender les conséquences de leurs valeurs sur le fonctionnement d'un circuit. [TP] Étudier l'influence des résistances d'entrée ou de sortie sur le signal délivré par un GBF, sur la mesure effectuée par un oscilloscope ou un multimètre.
Caractéristique d'un dipôle. Point de fonctionnement.	[TP] Étudier la caractéristique d'un dipôle pouvant être non-linéaire et mettre en œuvre un capteur dans un dispositif expérimental.

I Circuits électriques et grandeurs électriques

I.1 Électrocinétique

📖 Définition : Électrocinétique

L'électrocinétique constitue l'étude des systèmes matériels dans lesquels des charges électriques sont en mouvement.

- On distinguera l'électrocinétique de l'électrostatique (cf 2^e année) qui concerne l'étude des champs électriques ne dépendant pas du temps dont les effets sont visibles dans le tonnerre ou l'interaction entre ses cheveux et un pull en laine.
- Au sein de l'électrocinétique, on distinguera deux sous-catégories dont les applications sont particulièrement importantes :
 - l'électrotechnique qui s'intéresse au transport de la puissance électrique (alimentation d'un TGV, générateur dans une centrale électrique...)
 - l'électronique qui s'intéresse au transport de l'information par des signaux électriques (ordinateur, smartphone...)

📖 Définitions

Régime permanent (ou stationnaire ou continu) : les grandeurs électriques (intensité, tension, potentiel) du circuit sont indépendantes du temps. Les grandeurs électriques sont alors notées avec une lettre majuscule : I, U .

Régime variable : les grandeurs électriques (intensité, tension, potentiel) du circuit dépendent du temps. Les grandeurs électriques sont alors notées avec une lettre minuscule : $i(t), u(t)$.

I.2 Vocabulaire

📖 Définitions

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

Nœud : borne commune à plus de deux dipôles.

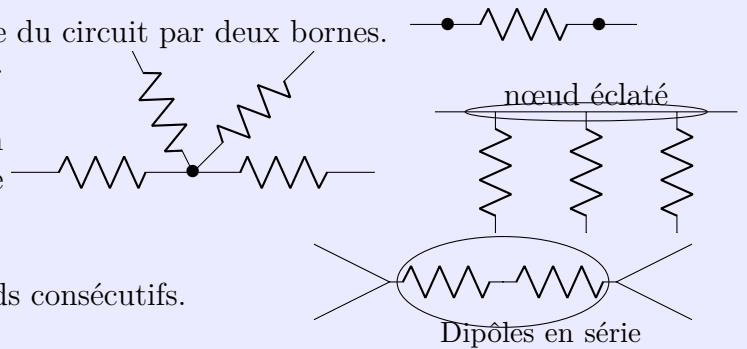
Un nœud éclaté est une représentation d'un nœud pour rendre le schéma électrique plus lisible.

Branche : portion d'un circuit entre deux nœuds consécutifs.

Maille : parcours fermé, constitué de branches successives, qui ne passe qu'une seule fois par les nœuds rencontrés.

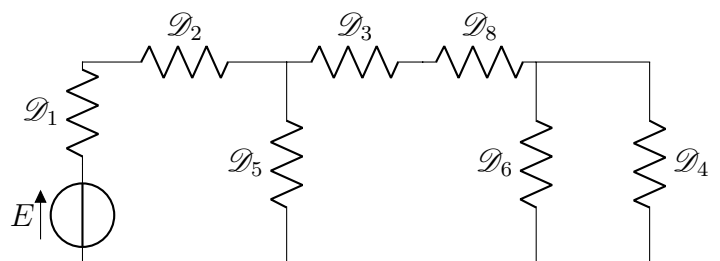
Dipôles en série : ils appartiennent à une même branche, ils ne sont séparés par aucun nœud.

Dipôles en parallèle (ou en dérivation) : les dipôles sont connectés aux deux mêmes nœuds.



Exercice de cours A

- Q1. Quels sont les dipôles en série ?
Q2. Quels sont les dipôles en parallèle ?



I.3 Courant électrique

I.3.a) Charge électrique

Capacité exigible : Savoir que la charge électrique est quantifiée.

Définition : Charge électrique

La **charge électrique**, notée q , est une propriété intrinsèque d'une particule ou d'un ensemble de particules qui caractérise sa propriété à en attirer une autre par l'intermédiaire des forces électriques.
L'unité de la charge électrique est le **coulomb**, noté **C**.

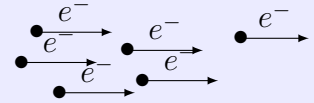
À retenir : Propriétés de la charge électrique

- La charge électrique est une **grandeur algébrique** (positive ou négative).
- La charge électrique est **quantifiée** : les charges q observées sont toujours des multiples entiers de la charge élémentaire $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, soit $q = k \times e$ avec $k \in \mathbb{Z}$
- La charge électrique **se conserve**, c'est-à-dire elle ne peut être ni créée ni détruite mais peut être échangée.
- Dans l'ARQS, la charge ne peut s'accumuler en aucun point du circuit.

I.3.b) Courant électrique

Définition : Courant électrique

Un **courant électrique** est un déplacement d'ensemble de particules chargées sous l'action de forces électromagnétiques.



Remarques 1. : Au niveau microscopique, les particules chargées sont animées en permanence d'un mouvement aléatoire sous l'effet de l'agitation thermique. Cependant la moyenne temporelle de ce mouvement est nulle ce qui ne donne pas lieu à un courant électrique

Dans un fil électrique, ce sont les électrons libres qui se déplacent, dans une solution électrolytique il y a déplacement des anions et des cations.

Le sens conventionnel du courant électrique est celui des charges positives.

I.3.c) Intensité du courant électrique

Capacité exigible : Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charges.

Définition : Intensité du courant électrique

L'**intensité du courant électrique**, notée i , est une mesure algébrique (positive ou négative) du débit de charges électriques à travers une surface S , dans un sens choisi, indiqué par une flèche.

On définit l'intensité du courant électrique par $i = \frac{dq}{dt}$, avec dq la quantité de charges qui traverse la surface S , dans le sens choisi, durant dt .

Elle s'exprime en **ampère** de symbole **A**.

Attention : Courant \neq Intensité

Ne pas confondre le **courant électrique** qui est le mouvement d'ensemble de particules chargées et la grandeur physique qui sert à le décrire : l'**intensité** du courant électrique.

⚠ Attention : Algébrisation de l'intensité

L'intensité du courant est une **grandeur algébrique** dont le **signe dépend du sens du mouvement des particules chargées et de l'orientation choisie du circuit.**

Quand on commence l'étude d'un circuit, le sens réel de circulation du courant dans les fils n'est pas connu a priori. On choisit **arbitrairement un sens pour l'intensité**, que l'on **indique par une flèche sur le schéma** :

$$\begin{array}{c} \longrightarrow i \\ \longleftarrow i' = -i \end{array} \Leftrightarrow$$

- Si $i > 0$, alors les charges positives se déplacent dans le sens d'orientation du fil ;
- Si $i < 0$, alors les charges positives se déplacent dans le sens opposé au sens d'orientation du fil.

Exercice de cours B Débit de charges

- Q1. Calculer l'intensité du courant électrique créé par un flux constant de $1,0 \cdot 10^{20}$ électrons par seconde dans un circuit. On rappelle la valeur de la charge élémentaire $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C.
- Q2. Combien d'électrons traversent un fil parcouru par un courant d'intensité constante $I = 1,0$ A pendant 1,0 minute ?

1.3.d) Mesure de l'intensité

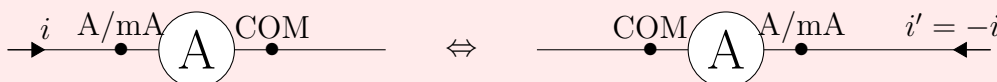
Capacité exigible : Citer les ordres de grandeur des intensités dans différents domaines d'application.

♥ À connaître : Ordres de grandeur

circuits électriques habituels téléphones portables, ordinateurs	\approx mA	TGV, usines, lignes hautes tension	500 à 1000 A
courants domestiques (four, chauffage, chauffe-eau)	qq A	éclairs d'orages	10^4 A (durée très brève)

♥ À retenir

L'intensité du courant électrique se mesure avec un **ampèremètre** que l'on branche en série avec le dipôle à travers lequel on souhaite mesurer l'intensité du courant.



L'ampèremètre mesure l'intensité du courant qui entre par la borne A/mA.

Dans la situation présentée, si i mesurée est positive, alors i' est négative et de valeur opposée à celle de i .

I.4 Tension électrique

I.4.a) Potentiel électrique

Définition : Potentiel électrique

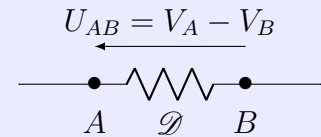
On admet l'existence d'une grandeur appelée **potentiel électrique** définie en tout point de l'espace. Elle est couramment notée V et s'exprime en volt (V).

I.4.b) Tension électrique

Définition : Tension électrique

La **tension électrique** U_{AB} entre deux points A et B d'un circuit est égale à la différence de potentiel entre ces deux points : $U_{AB} = V_A - V_B$, avec V_A le potentiel au point A et V_B le potentiel au point B . L'unité de la tension et du potentiel est le **volt**, de symbole **V**.

La tension U_{AB} est représentée, sur un schéma électrique, par une flèche allant de B vers A .



Attention

- Le fait de représenter la tension avec une flèche ne signifie par qu'il s'agit d'un vecteur.
- Le sens de la flèche est capital. si la flèche pointe vers le point A , alors $U_{AB} = V_A - V_B$, si la flèche pointe vers le point B , alors $U_{BA} = V_B - V_A$.
- Le choix de la convention du sens de la tension ne présume pas du signe de sa valeur réelle.

REMARQUES

La grandeur physique mesurable qui traduit le mouvement des charges est bien cette différence de potentiel. Pour avoir accès au potentiel électrique en un point donné, on doit mesurer la tension avec un certain potentiel de référence. Ce potentiel de référence est généralement noté la masse. Le potentiel de ces points est fixé à 0 V.



Masse

Terre

La Terre est un fil profondément enfoui. La masse est généralement relié au fil de Terre. Si ce n'est pas le cas, elle est reliée à une armature métallique d'un des appareils. On verra l'importance des problèmes de masse lors des différents TP d'électronique.

I.4.c) Mesure de la tension

Capacité exigible : Citer les ordres de grandeur des tensions dans différents domaines d'application.

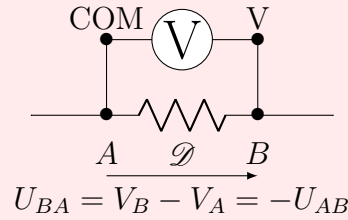
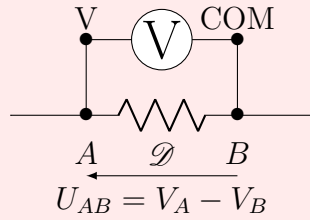
À connaître : Ordres de grandeur

Coups de foudre (moyens à forts)	100 à 600 MV	Distributeur basse tension d'EDF	220 V et 380 V
Ligne de transport d'énergie électrique	20 à 400 kV	Batterie d'accumulateurs Pile électrochimique	12 V 1 à 9 V

<https://www.rte-france.com/wiki-energie/transport-electricite-comment-ca-fonctionne>

♥ À retenir : Mesure de la tension

Une tension électrique se mesure à l'aide d'un **voltmètre** que l'on branche en dérivation (en parallèle) du dipôle dont on mesure la tension à ses bornes.



La tension mesurée à l'aide du voltmètre est la tension dont la pointe de la flèche est au niveau de la borne V et le bout de la flèche au niveau de la borne COM.

⚠ Attention : Vocabulaire !

- On dit : Tension AUX BORNES DE (d'un dipôle, d'un générateur, d'une résistance ...)
- On dit : Intensité du courant À TRAVERS DE (d'un dipôle, d'un générateur, d'une résistance ...)

I.5 Approximation des Régimes quasi-stationnaires

Capacité exigible : Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence.

L'onde électrique ($u(x, t)$, $i(x, t)$) ne se propage pas instantanément mais à une vitesse proche de celle de la lumière dans le vide $c = 3.10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (comme toute onde électromagnétique).

⚠ Attention

Dans un conducteur métallique, les électrons ne se déplacent pas à la vitesse de propagation de l'onde électromagnétique mais à une vitesse 100 à 1000 fois inférieure.

Une situation analogue consiste à considérer des voitures démarrant à un feu rouge, la vitesse de propagation de la mise en mouvement des voitures est alors différente de la vitesse des voitures lorsqu'elles roulent (la vitesse de mise en mouvement dépend du temps de réaction des automobilistes).

📖 Définition : Approximation des Régimes quasi-stationnaires

L'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS) consiste à considérer que dans un circuit électrique, le temps de propagation du signal est négligeable (c'est-à-dire très faible) devant le temps de variation caractéristique de ce signal.

Tout se passe dans le circuit comme si les effets de variations du champ électrique en un point étaient ressentis instantanément en tout point du circuit. Pour un circuit de taille L , le signal électrique met donc un temps $\Delta t = \frac{L}{c}$ pour se propager d'un bout à l'autre du circuit. Si on considère un signal périodique, son temps caractéristique de variation est sa période. On pourra alors écrire la condition pour se trouver dans l'ARQS :

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

Exercice de cours C ARQS

- Q1. Rappeler la fréquence de la tension électrique délivrée par EDF.
- Q2. Pour une ligne électrique de 3000 km, peut-on se placer dans l'ARQS ?
- Q3. Même question pour une installation domestique.
- Q4. Jusqu'à quelle fréquence le signal électrique dans une puce électronique pourra-t-il être considéré comme quasi-stationnaire ?

♥ À retenir : Approximation des Régimes Quasi-Stationnaires

Un circuit de taille caractéristique L alimenté par un signal de fréquence f peut être étudié dans le cadre de l'ARQS ssi :

$$L \ll \frac{c}{f} \Leftrightarrow Lf \ll c$$

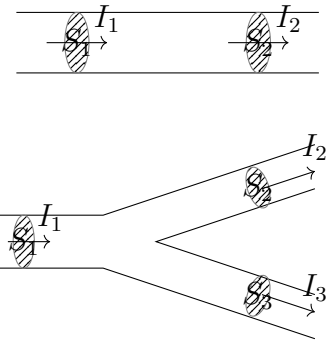
II Lois fondamentales

II.1 Loi des nœuds

Capacité exigible : Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge.

En régime permanent :

- Dans une branche donnée, entre deux section S_1 et S_2 du conducteur, la charge reste constante en régime permanent. La charge Q_1 entrant à travers la section S_1 est égale à la charge sortant Q_2 à travers la section S_2 . Alors $\frac{Q_1}{\Delta t} = \frac{Q_2}{\Delta t}$, soit $I_1 = I_2$.
- Au niveau d'un nœud, la charge située entre les sections S_1 , S_2 et S_3 est constante. La charge Q_1 entrant à travers la section S_1 est égale à la charge sortant Q_2 à travers la section S_2 plus la charge sortant Q_3 à travers la section S_3 . Alors $\frac{Q_1}{\Delta t} = \frac{Q_2}{\Delta t} + \frac{Q_3}{\Delta t}$, soit $I_1 = I_2 + I_3$.



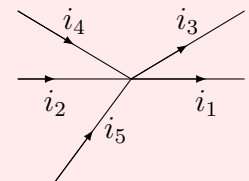
La loi des nœuds traduit la conservation de la charge.

♥ À connaître : Loi des nœuds

La somme algébrique des intensités des courants électriques arrivant **en un nœud** est nulle :

$$\sum \varepsilon_k i_k = 0 \Leftrightarrow \sum_{\text{entrant}} i = \sum_{\text{sortant}} i$$

- $\varepsilon_k = +1$ si la flèche du courant i_k est dirigée vers le nœud ;
- $\varepsilon_k = -1$ si la flèche du courant i_k part du nœud



⚠ Attention


La valeur de ε_k (± 1) n'est pas liée au signe de l'intensité i_k mais uniquement au sens de la flèche par rapport au nœud.

💡 Méthode : Application de la loi des nœuds

1. Sur le schéma du circuit, placer une intensité dans chaque branche reliée au nœud étudié et les nommer (i_1, i_2, \dots).
2. Appliquer la loi des nœuds en mettant :
 - un « + » devant les noms des intensités des courant arrivant au nœud ;
 - un « - » devant les noms des intensités des courant partant du nœud.

Exercice de cours D

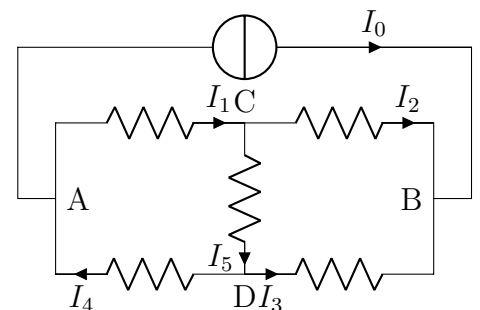
On considère le circuit ci-contre constitué de dipôles inconnus.

Le symbole  est celui d'un générateur idéal de courant, qui délivre un courant d'intensité I_0 .

On donne $I_0 = 4,0 \text{ A}$; $I_1 = 1,0 \text{ A}$ et $I_3 = 2,0 \text{ A}$.

Q1. Écrire la loi des nœuds en chacun des nœuds du circuit.

Q2. En déduire la valeur de tous les courants inconnus.



II.2 Loi des mailles

Capacité exigible : Utiliser la loi des mailles

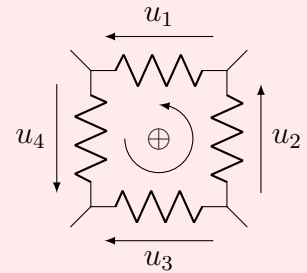
♥ À retenir : La loi des mailles

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

$$\sum \varepsilon_k u_k = 0$$

$\varepsilon_k = +1$ si la tension u_k est orientée dans le sens de parcours de la maille

$\varepsilon_k = -1$ si la tension u_k est orientée dans le sens opposé à celui de parcours de la maille



⚠ Attention

La valeur de ε_k (± 1) n'est pas liée au signe de la tension u_k mais uniquement au sens de la flèche par rapport au sens de parcours de la maille.

💡 Méthode : Application de la loi des mailles

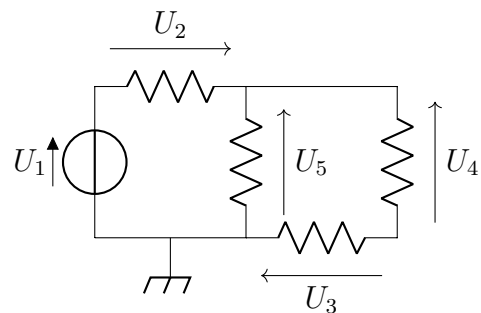
1. Sur le schéma du circuit, mettre une flèche orientée aux bornes de TOUS les dipôles présents et nommer les tensions.
2. Orienter la maille dans un sens positif choisi et l'indiquer sur la maille étudiée.
3. Appliquer la loi des mailles en mettant :
 - un « + » devant les noms des tensions situées dans le sens positif choisi ;
 - un « - » devant les noms des tensions situées dans le sens opposé au sens positif choisi.

Exercice de cours E

On donne $U_1 = 2,0 \text{ V}$; $U_2 = -3,0 \text{ V}$; $U_3 = -5,0 \text{ V}$

Q1. Écrire deux lois des mailles indépendantes.

Q2. Déterminer les tensions inconnues.



III Dipôles électriques linéaires fondamentaux

III.1 Dipôles

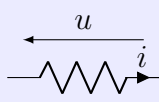
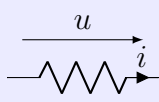
📖 Définitions

- On appelle **caractéristique** d'un dipôle la courbe représentant les variations de l'intensité le traversant en fonction de la tension à ses bornes.
Tout point sur cette courbe correspond à un couplon (I, U) possible pour ce dipôle.
- Un dipôle sera dit **actif** lorsque sa caractéristique ne passe pas par l'origine.
- Un dipôle sera dit **passif** si sa caractéristique passe par l'origine.
- Un dipôle sera dit **linéaire** si sa caractéristique est une droite ou si la relation qui lie l'intensité et la tension est une équation différentielle linéaire à coefficients constants (cf cours de maths et chapitre suivant).

III.2 Conventions et puissance

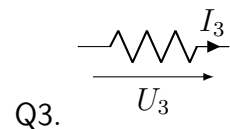
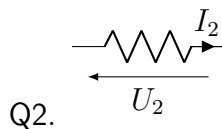
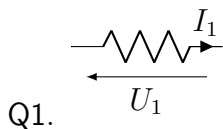
Capacité exigible : Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur.

📖 Définitions : Conventions d'étude

Convention récepteur	Convention générateur
 <p>La flèche de i et la flèche de u sont en sens opposé.</p>	 <p>La flèche de i et la flèche de u sont de même sens.</p>
$\mathcal{P}_r = u \times i$ <p>est la puissance algébriquement reçue par le dipôle.</p>	$\mathcal{P}_c = u \times i$ <p>est la puissance algébriquement cédée par le dipôle.</p>
<p>\mathcal{P}_r est algébrique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si $\mathcal{P}_r > 0$, le dipôle reçoit effectivement de la puissance ; • Si $\mathcal{P}_r < 0$, le dipôle cède effectivement de la puissance, il cède la puissance $-\mathcal{P}_r$. 	<p>\mathcal{P}_c est algébrique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si $\mathcal{P}_c > 0$, le dipôle cède effectivement de la puissance ; • Si $\mathcal{P}_c < 0$, le dipôle reçoit effectivement de la puissance, il reçoit la puissance $-\mathcal{P}_c$.

Le choix de la convention pour chacun des dipôles d'un circuit électrique est un choix arbitraire qui doit être fait dès le début de l'exercice et conservé tout au long de l'exercice.

Exercice de cours F Dans les trois cas suivants, déterminer la puissance reçue ou fournie par les dipôles et commenter le signe. On a $I_1 = 5,0 \text{ mA}$; $I_2 = -1,0 \text{ A}$; $I_3 = 1,0 \text{ mA}$; $U_1 = 5,0 \text{ V}$; $U_2 = 7,0 \text{ V}$; $U_3 = 10 \text{ V}$.



Une **énergie** s'exprime en **joule (J)**, et une **puissance** s'exprime en **watt (W)**, soit des $1 \text{ W} = 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$.

■ En convention récepteur : l'énergie reçue par le dipôle entre les instants t_1 et t_2 (avec $\Delta t = t_2 - t_1$) est :


- Si $\mathcal{P}_r = \text{cste}$, alors : $\mathcal{E}_r = \mathcal{P}_r \times \Delta t$
- Cas général (\mathcal{P}_r dépend du temps) : $\mathcal{E}_r = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{P}_r(t) dt$

■ En convention générateur : l'énergie cédée par le dipôle entre les instants t_1 et t_2 (avec $\Delta t = t_2 - t_1$) est :

- Si $\mathcal{P}_c = \text{cste}$, alors : $\mathcal{E}_c = \mathcal{P}_c \times \Delta t$
- Cas général (\mathcal{P}_c dépend du temps) : $\mathcal{E}_c = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{P}_c(t) dt$

III.3 Fil et interrupteur

♥ À connaître : Fil et interrupteur

- La **tension** électrique aux bornes d'un **fil parfait** (de résistance nulle) ou d'un interrupteur fermé est **nulle**.
- L'**intensité** du courant électrique à travers un **interrupteur ouvert** (symbole : ) est nulle.

Attention

	interrupteur ouvert	fil
Tension aux bornes d'un ...	QUELCONQUE	NULLE
Intensité à travers d'un ...	NULLE	QUELCONQUE

III.4 Conducteur ohmique

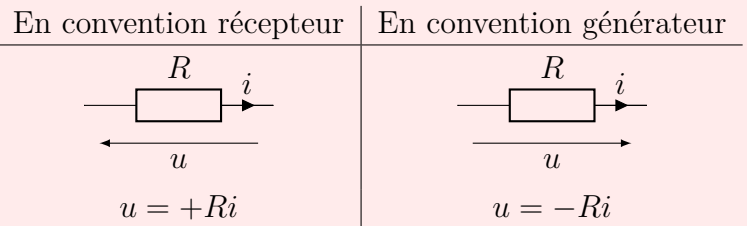
III.4.a) Loi d'Ohm

Capacité exigible : Utiliser la relation entre la tension et l'intensité. Citer des ordres de grandeur.

À connaître : Loi d'Ohm

Un **conducteur ohmique** est un dipôle qui vérifie la **loi d'Ohm**, avec R la résistance en ohm (Ω).

On définit la **conductance** par $G = \frac{1}{R}$, qui s'exprime en siemens (S).



À connaître : Ordre de grandeur

résistance voltmètre ou oscilloscope	qq $M\Omega$	résistance ampèremètre	qq Ω
résistance électronique	1 à 10 $M\Omega$	résistance fer à repasser	environ 40 Ω

REMARQUES

- La résistance est une propriété qui ne dépend pas du courant électrique traversant le conducteur ohmique ou de la tension aux bornes de ce dernier. En revanche, elle dépend de la nature du matériau, de sa géométrie, de sa température, de la fréquence, ...
- On peut montrer que pour un conducteur cylindrique homogène, la résistance est proportionnelle à la longueur du conducteur ℓ et inversement proportionnelle à sa section S : $R = \rho \times \frac{\ell}{S}$
 ρ est la résistivité, en $\Omega \cdot m$, qui est l'inverse de la conductivité σ , en $S \cdot m^{-1}$ (cf chimie). Le cuivre, qui constitue les câbles électriques, est un des meilleurs conducteurs et est de résistivité $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$

III.4.b) Effet Joule

Capacité exigible : Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance.

Raisonnement à savoir faire : Puissance dissipée par effet Joule

Les résistances sont souvent étudiées en convention récepteur. On note u la tension aux bornes de la résistance, i l'intensité du courant à travers.

- Q1. Exprimer la puissance instantanée reçue par la résistance en fonction de R et de i , puis de R et de u .
- Q2. Quel est le signe de cette puissance ? La résistance reçoit-elle ou cède-t-elle réellement de la puissance au reste du circuit ?

En quoi est transformée la puissance reçue ? Dans quelles applications de la vie courante utilise-t-on ce phénomène ? Dans quelles applications ce phénomène est-il néfaste ?

- Q3. Exprimer l'énergie reçue par une résistance R , traversée par un courant I permanent (c'est-à-dire indépendant du temps) pendant une durée Δt . Comment généraliser cette expression au cas où l'intensité du courant dépend du temps ?

♥ **À connaître : Puissance dissipée par effet Joule**

La puissance dissipée par effet Joule dans une résistance R traversée par un courant d'intensité i et dont la tension à ses bornes s'écrit :

$$\mathcal{P}_{\text{Joule}} = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$$

III.5 Condensateur

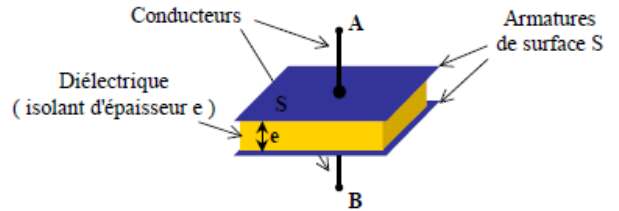
III.5.a) Caractéristique

Capacité exigible : Utiliser la relation entre la tension et l'intensité. Citer des ordres de grandeur.

Un condensateur est un composant constitué de deux armatures métalliques, pouvant être chargées, séparées par un isolant électrique.

Les deux armatures portent des charges opposées.

Ils sont présents dans presque tous les circuits électriques en régime variable (ordinateur, tél. portable).



♥ **À connaître : Relation tension/courant du condensateur**

Un **condensateur** est caractérisé par sa **capacité** C qui est un scalaire positif s'exprimant en **farad (F)**. L'armature du condensateur situé à la pointe de la flèche de la tension u porte la charge : $q = Cu$.

En convention récepteur	En convention générateur
$i = C \frac{du}{dt}$	$i = -C \frac{du}{dt}$

♥ **À connaître : Ordre de grandeur**

électronique	10^{-12} F à 10^{-6} F	électrotechnique	10^{-6} F à 1 F	en TP	1 nF à 1 μ F
--------------	----------------------------	------------------	-------------------	-------	------------------

III.5.b) Condensateur en régime permanent

♥ **À connaître : Condensateur en régime permanent**

En régime permanent, u ne dépend pas du temps, donc $i = C \frac{du}{dt} = 0$.

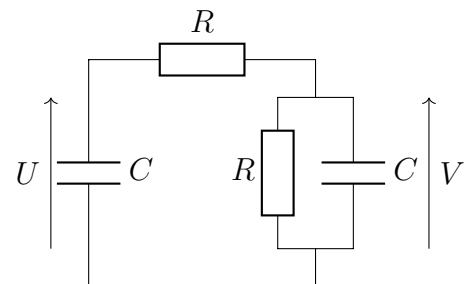
En régime permanent, le condensateur est équivalent à un interrupteur ouvert.

Exercice de cours G

On considère le circuit ci-contre.

Q1. Représenter le circuit équivalent en régime continu.

Q2. En déduire rigoureusement les valeurs des tensions U et V .



III.5.c) Énergie emmagasinée dans un condensateur

Capacité exigible : Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur.

Raisonement à savoir faire : Énergie stockée dans un condensateur

On considère un condensateur étudié en convention récepteur.

Q1. Exprimer la puissance reçue par un condensateur.

Puis en utilisant la méthode ci-dessous, l'écrire sous la forme de la dérivée temporelle de l'énergie stockée dans le condensateur dont on en donnera l'expression.

Q2. On suppose qu'à $t = 0$, le condensateur est déchargé. Quelle est l'expression de l'énergie stockée dans le condensateur à un instant t quelconque ?

Q3. Sachant que l'énergie est une fonction continue (au sens mathématique du terme), quelle grandeur électrique du condensateur est également une fonction continue du temps ?

Méthode

Il est souvent très utile de mettre le produit entre une fonction et sa dérivée première, $f'(x) \times f(x)$, sous

la forme de la dérivée d'une fonction :

$$f'(x) \times f(x) = \frac{1}{2} \frac{d(f(x))^2}{dx}$$

En effet : $\frac{d(f(x))^2}{dx} = 2f'(x)f(x)$.

À connaître : Énergie stockée dans un condensateur

■ La puissance reçue par un condensateur en convention récepteur s'écrit

$$\mathcal{P}_C = u_C \times i = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} C u^2 \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{q^2}{2C} \right)$$

■ L'énergie électrique stockée dans un condensateur de capacité C et soumis à une tension u s'écrit :

$$\mathcal{E}_{\text{condensateur}} = \frac{1}{2} C u^2$$

À connaître : continuité de la tension aux bornes du condensateur

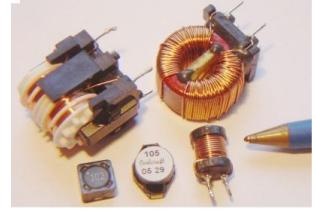
L'énergie étant une fonction nécessairement continue,, la tension aux bornes du condensateur ne peut pas subir de discontinuité, c'est une fonction continue du temps (au sens mathématique du terme).

III.6 Bobine

III.6.a) Caractéristique

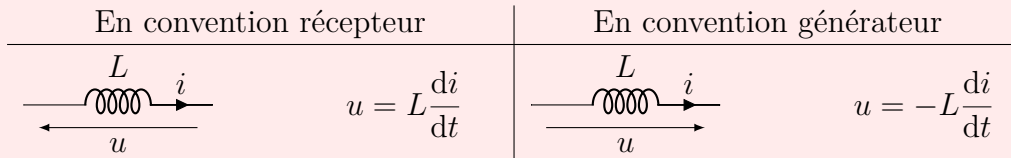
Capacité exigible : Utiliser la relation entre la tension et l'intensité. Citer des ordres de grandeur.

Une bobine est un enroulement de fils conducteurs en cuivre entourés d'une gaine isolante. Elle se présente de différentes formes ou tailles.



♥ À connaître : Relation tension/courant de la bobine

Une bobine **idéale** est caractérisée par son inductance L , scalaire positif s'exprimant en Henry (H).



♥ À connaître : Ordre de grandeur

1 m de câble TV	10^{-7} H	Haut-parleur	10^{-3} H	En T.P.	de 1 μ H à 100 mH
-----------------	-------------	--------------	-------------	---------	-----------------------

III.6.b) Bobine en régime permanent

♥ À connaître : Bobine idéale en régime permanent

En régime permanent i ne dépend pas du temps, donc $u = L \frac{di}{dt} = 0$.

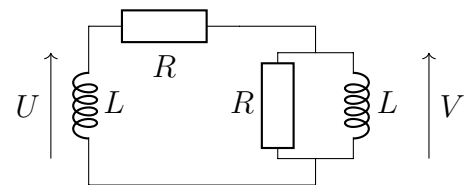
En régime permanent, la bobine idéale est équivalente à un fil conducteur (ou à un interrupteur fermé).

Exercice de cours H

On considère le circuit ci-contre.

Q1. Représenter le circuit équivalent en régime continu.

Q2. En déduire rigoureusement les valeurs des tensions U et V .



III.6.c) Énergie stockée dans une bobine

Capacité exigible : Exprimer l'énergie stockée dans une bobine.

🔪 Raisonnement à savoir faire : Énergie stockée dans une bobine

On considère une bobine idéale étudiée en convention récepteur.

Q1. Exprimer la puissance reçue par une bobine idéale. Puis l'écrire sous la forme de la dérivée temporelle de l'énergie stockée par la bobine dont on en donnera l'expression.

Q2. Sachant que l'énergie est une fonction continue du temps (au sens mathématique du terme), quelle grandeur électrique de la bobine idéale est également une fonction continue du temps ?

♥ À retenir : Énergie stockée dans une bobine idéale

- La puissance reçue par une bobine idéale en convention récepteur s'écrit $\mathcal{P}_L = u \times i = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} Li^2 \right)$
- L'énergie magnétique stockée dans une bobine idéale d'inductance L et traversée par un courant d'intensité i s'écrit :

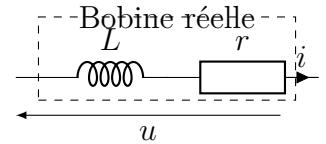
$$\mathcal{E}_{\text{bobine}} = \frac{1}{2} Li^2$$

♥ À connaître : continuité de l'intensité à travers une bobine

L'énergie étant une fonction nécessairement continue, l'intensité du courant à travers une bobine ne peut pas subir de discontinuité, c'est une fonction continue du temps (au sens mathématique du terme).

III.6.d) Bobine réelle

Une bobine est constituée d'une très grande longueur de fil conducteur, dont la résistance n'est souvent pas négligeable par rapport aux autres résistances du circuit. On modélise une **bobine réelle** par l'association série d'une bobine idéale d'inductance L et d'une résistance r .



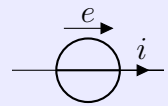
Exercice de cours I Établir la relation courant/tension d'une bobine réelle.

III.7 Générateurs

III.7.a) Source idéale de tension

📖 Définition : Source idéale de tension

Une **source idéale de tension** impose à ses bornes une tension e appelée **force électromotrice** indépendante du courant qui la traverse.
 e étant une tension, elle s'exprime en Volt (V).



III.7.b) Source réelle de tension

Capacité exigible : Modéliser une source non idéale en utilisant la représentation de Thévenin.

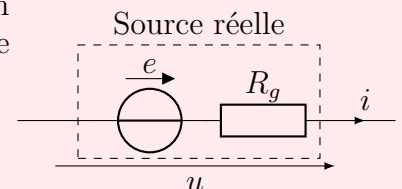
En pratique lorsqu'on relève la caractéristique courant-tension d'une source réelle de tension, on constate que la tension délivrée diminue lorsque l'intensité du courant débitée augmente.

♥ À retenir : Modèle de Thévenin d'une source non idéale de tension

Une source réelle de tension est modélisée par l'association série d'un générateur idéal de force électromotrice e (ou tension à vide) et d'une résistance R_g .

Relation courant/tension :

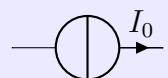
$$u = e - R_g \times i$$



III.7.c) Source idéale de courant

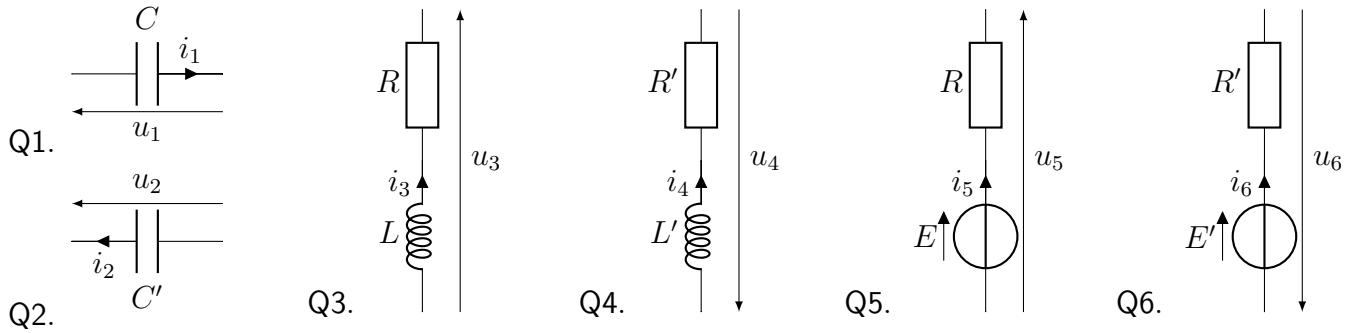
📖 Définition : Source idéale de courant

Une **source idéale de courant** délivre un courant d'intensité I_0 , appelée force contre électromotrice, indépendante de la tension à ses bornes.
 I_0 étant une intensité, elle s'exprime en ampère (A).



Exercice de cours J Conventions

Pour chacun des dipôles ci-dessous, préciser si le courant le traversant et la tension à ses bornes sont orientés en convention générateur et récepteur, puis donner la loi de comportement entre la tension et l'intensité, impliquant éventuellement leurs dérivées.



IV Outils d'étude d'un circuit électrique

IV.1 Association série de deux résistances

Capacité exigible : Remplacer une association série de deux résistances par une résistance équivalente.

🔧 Démonstration à connaître : Établir la résistance équivalente à une association série

On considère deux résistances R_1 et R_2 en série. On note u_1 la tension aux bornes de R_1 et u_2 la tension aux bornes de R_2 . La tension aux bornes de l'ensemble est notée u , et l'intensité du courant à travers les deux résistances est notée i . On se place en convention récepteur.

- Q1. Établir la relation entre u et i en faisant intervenir R_1 et R_2 uniquement.
Q2. En déduire que l'association des deux résistances R_1 et R_2 en série est équivalente à une unique résistance R_S dont on donnera l'expression.

🔧 Démonstration à connaître : Établir la relation du pont diviseur de tension

On reprend la situation précédente. On cherche à exprimer la tension aux bornes d'une des résistances (u_1 , u_2) en série en fonction de la tension aux bornes de l'ensemble (u) et des deux résistances.

- Q1. Exprimer u_1 en fonction de i et de la résistance R_1 .
Exprimer u en fonction de i et des deux résistances.
Q2. En déduire l'expression de u_1 en fonction de u et des résistances. Que dire de u_2 en fonction de u ?

💡 Méthode : utiliser la relation du pont diviseur de tension

1. Reconnaître un pont diviseur de tension : deux résistances en série et on souhaite déterminer la tension aux bornes de l'une d'elle.
2. Nommer la tension aux bornes de la résistance que l'on souhaite déterminer et la tension aux bornes de l'ensemble des deux résistances.
3. Écrire la relation du pont diviseur de tension, en faisant attention aux sens des deux tensions et donc au signe.

Exercice de cours K Pour chaque circuit ci-dessous, donner la tension u en fonction de e .



IV.2 Association parallèle de deux résistances

Capacité exigible : Remplacer une association parallèle de deux résistances par une résistance équivalente.

🔧 Démonstration à connaître : Établir la résistance équivalente à une association parallèle

On considère deux résistances R_1 et R_2 en parallèle. On note i_1 l'intensité du courant à travers R_1 et i_2 l'intensité du courant à travers R_2 . La tension aux bornes de l'association parallèle est notée u , et l'intensité du courant qui arrive en entrée de l'association parallèle est notée i . Tous les composants sont en convention récepteur.

Q1. En utilisant une loi des nœuds, établir l'expression de i en fonction de u .

Q2. Montrer que cette expression peut s'écrire sous la forme $i = \frac{u}{R_{\parallel}}$, où on exprimera $\frac{1}{R_{\parallel}}$ en fonction de R_1 et R_2 .

🔧 Démonstration à connaître : Établir la relation du pont diviseur de courant

On reprend la situation précédente. On cherche à exprimer l'intensité du courant à travers une des deux résistances en parallèle en fonction de l'intensité qui arrive sur l'association.

Q1. Exprimer i_1 en fonction de u et de R_1 . Exprimer i en fonction de u et des deux résistances.

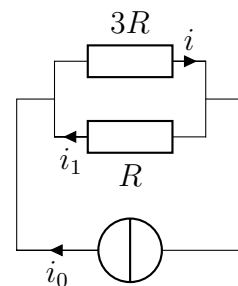
Q2. En déduire l'expression de i_1 en fonction de i et des résistances. Que dire de i_2 en fonction de i ?
On obtient la **relation du pont diviseur de courant**.

💡 Méthode : utiliser la relation du pont diviseur de courant

1. Reconnaître un pont diviseur de courant : deux résistances en parallèle et on souhaite déterminer l'intensité à travers de l'une d'elle.
2. Nommer l'intensité à travers la résistance que l'on souhaite déterminer et l'intensité qui arrive sur l'association des deux résistances en parallèle.
3. Écrire la relation du pont diviseur de courant, en faisant attention aux sens des deux intensités et donc au signe.

Exercice de cours L

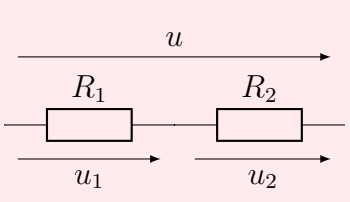
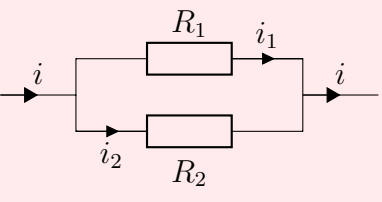
Exprimer les intensités i et i_1 en fonction de i_0 sans faire de calculs.



⚠️ Attention – Erreurs à ne pas commettre

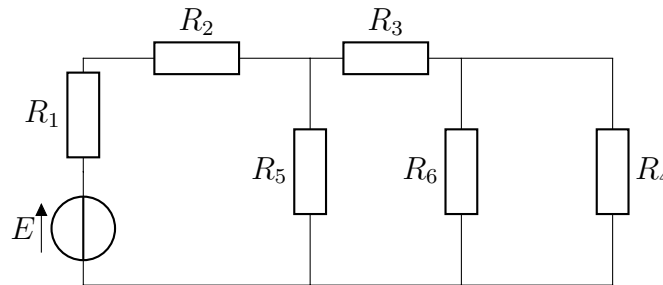
- Avant d'utiliser les formules d'association et de ponts diviseurs, il faut bien s'assurer que les résistances sont bien en série ou en parallèle.
- Lors de l'utilisation des relations des ponts diviseurs, faire attention aux sens des tensions ou des courants.

♥ À retenir

	Série	Dérivation
Schéma		
Expression de $R_{\text{éq}}$	$R_{\text{éq}} = R_1 + R_2$	$\frac{1}{R_{\text{éq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Leftrightarrow R_{\text{éq}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
Pont diviseur	de tension : $u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u$	de courant : $i_1 = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} i$

Apprenez les schémas (avec les tensions et les intensités) avec les formules.

Exercice de cours M



- Q1. Les résistances R_1 et R_2 sont en série parallèle aucun des deux
- Q2. Les résistances R_2 et R_5 sont en série parallèle aucun des deux
- Q3. Les résistances R_2 et R_3 sont en série parallèle aucun des deux
- Q4. Les résistances R_4 et R_6 sont en série parallèle aucun des deux
- Q5. Les résistances R_5 et R_6 sont en série parallèle aucun des deux
- Q6. Déterminer les résistances équivalentes possibles.

IV.3 Étude d'un circuit électrique

💡 Méthode d'étude d'un circuit électrique

1. Représenter un schéma grand et propre du circuit.
2. Si besoin et sans faire disparaître une tension ou une intensité recherchée, associer les résistances.
3. Placer sur le schéma toutes les intensités et tensions nécessaires (ne pas en ajouter inutilement) en les nommant.
4. Lister le nombre d'inconnues présentes : cela donne le nombre d'équations indépendantes à déterminer (ces équations viennent des relations intensités/tensions et des lois des mailles et des nœuds).
5. Écrire les relations entre les intensités et les tensions pour chaque dipôle présent. Faire très attention aux conventions.
6. Appliquer la loi des nœuds et la loi des mailles autant de fois que nécessaire.
7. En présence de résistances, utiliser les relations du pont diviseur de tension et du pont diviseur de courant.
8. Conclure sur la question posée.