



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

- 2^{nde} : 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	3	III.3 Puissance électrique	10
I.1 Électrocinétique	3	III.4 Fil et interrupteur	11
I.2 Vocabulaire	3	III.5 Conducteur ohmique	11
I.3 Courant électrique	4	III.5.a) Loi d'Ohm	11
I.3.a) Charge électrique	4	III.5.b) Effet Joule	12
I.3.b) Courant électrique	4	III.6 Condensateur	12
I.3.c) Intensité du courant électrique	4	III.6.a) Caractéristique	12
I.3.d) Unicité de l'intensité dans une branche	5	III.6.b) Condensateur en régime permanent	13
I.3.e) Mesure de l'intensité	5	III.6.c) Énergie emmagasinée dans un condensateur	13
I.4 Tension électrique	6	III.7 Bobine	13
I.4.a) Potentiel électrique	6	III.7.a) Caractéristique	13
I.4.b) Tension électrique	6	III.7.b) Bobine en régime permanent	15
I.4.c) Mesure de la tension	6	III.7.c) Énergie stockée dans une bobine	15
I.5 ARQS	7	III.7.d) Bobine réelle	15
II Lois fondamentales	8	III.8 Générateurs	15
II.1 Loi des nœuds	8	III.8.a) Source idéale de tension	15
II.2 Loi des mailles	9	III.8.b) Source réelle de tension	16
III Dipôles électriques linéaires fondamentaux	10	III.8.c) Source idéale de courant	16
III.1 Dipôles	10	IV Outils d'étude d'un circuit électrique	17
III.2 Conventions	10	IV.1 Association série de deux résistances	17
		IV.2 Association parallèle de deux résistances	18
		IV.3 Étude d'un circuit électrique	20

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.



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.

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.

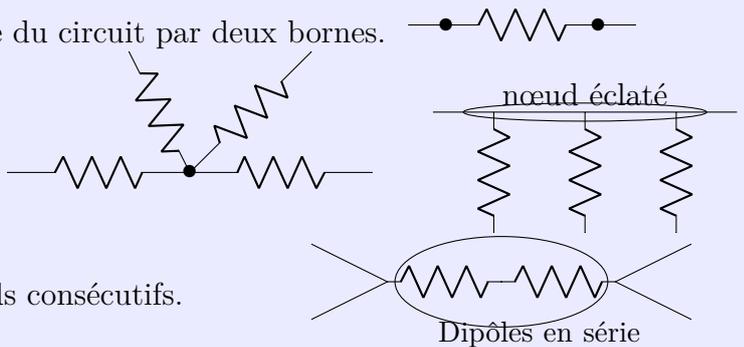
Un nœud éclaté est une représentation d'un nœud pour rendre le schéma électrique plus lisible.

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.

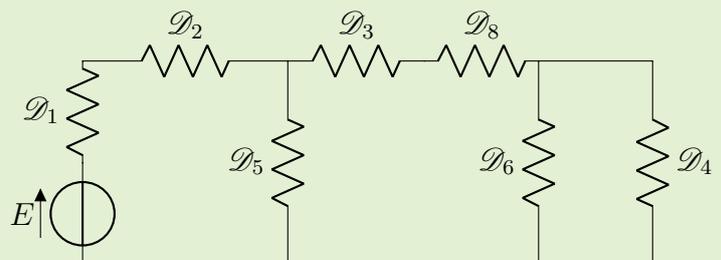
Dipôles en parallèle (ou en dérivation) : les dipôles sont connectés aux deux mêmes nœuds.



Activité n°1 – Série ou parallèle ?

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

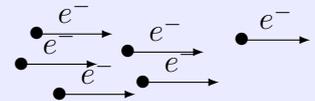
- La charge électrique est une **grandeur algébrique** (positive ou négative).
- La charge électrique est **quantifiée** : les charges q observées sont toujours des multiples entiers de la charge élémentaire $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, soit $q = k \times e$ avec $k \in \mathbb{Z}$
- La charge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

I.3.b) Courant électrique

Un conducteur est un matériau dans lequel il existe des particules chargées pouvant se déplacer sur des distances très supérieures à la distance entre atomes, appelées porteurs de charge libres. Un matériau dans lequel il n'en existe pas est un isolant.

Définition : Courant électrique

Un **courant électrique** est un déplacement d'ensemble ordonné des porteurs de charge libres.



REMARQUES

 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 :

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

- 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.

I.3.d) Unité de l'intensité dans une branche

♥ À retenir

Dans l'ARQS, tous les électrons d'un circuit se déplacent d'un bloc : quelle que soit la section considérée au sein d'une même branche, elle sera traversée par la même charge pendant la même durée.
L'intensité est la même tout au long d'une branche. Ainsi, deux dipôles montés en série sont parcourus par un courant de même intensité.

I.3.e) 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 16 ou 32 A	éclaircs d'orages	10^4 A (durée très brève)

♥ À retenir : branchement d'un ampèremètre

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).

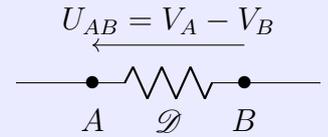
I.4.b) Tension électrique

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 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 reliée 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.

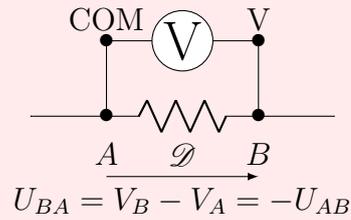
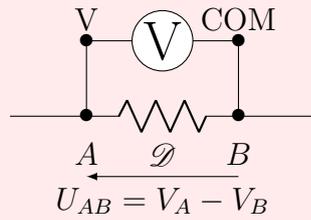
À connaître : Ordres de grandeur

Coups de foudre (moyens à forts)	100 à 600 MV	Tension dans les prises à domicile	220 V
Ligne de transport d'énergie électrique	20 à 400 kV	Batterie d'accumulateurs	12 V
		Pile électrochimique	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.

Dans un circuit électrique l'information est transmise par des ondes électromagnétiques se propageant à la vitesse de la lumière.

⚠ **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.
- Ce n'est pas parce qu'un électron part de l'interrupteur et arrive à la lampe que celle-ci s'allume !

📖 **Définition : Approximation des Régimes quasi-stationnaires**

L'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS) consiste à considérer que **dans un circuit électrique, l'information est transmise instantanément à tout point du circuit**, c'est-à-dire à **négliger la durée de propagation des ondes électromagnétiques** devant le temps de variation caractéristique de ce signal.

Qualitativement, tous les électrons du circuit réagissent alors « d'un seul bloc » aux variations des signaux électriques. Leur comportement s'apparente donc à celui d'un train qui démarre, où tous les wagons se mettent en mouvement en même temps, par opposition à une file de voiture au feu qui passe au vert, où la dernière voiture de la file se met en mouvement longtemps après la première en raison du temps de réaction des conducteurs. Notons que dans les deux cas ce temps de mise en mouvement n'a rien à voir avec la vitesse à laquelle se déplacent le train ou les voitures une fois leur vitesse de croisière atteinte, et n'a pas plus à voir avec la durée de la phase d'accélération nécessaire pour atteindre cette vitesse.

Pour un circuit de taille L , l'onde électrique met un temps $\Delta t \sim \dots\dots\dots$ pour se propager d'un bout à l'autre du circuit.

Si on considère un signal périodique, son temps caractéristique de variation est $\dots\dots\dots$

On pourra alors écrire la condition pour se trouver dans l'ARQS :

♥ 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 :

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

Activité n°2 – ARQS

Q1. Pour une ligne électrique de 3000 km, peut-on se placer dans l'ARQS ?

Q2. Jusqu'à quelle fréquence une puce électronique pourra être étudiée dans l'ARQS ?

II Lois fondamentales

II.1 Loi des nœuds

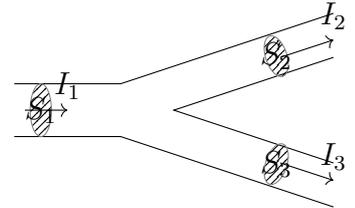
Capacité exigible : Relier la loi des nœuds au postulat de la conservation de la charge.

En régime permanent :

— Dans une branche donnée, entre deux sections 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.

Dans l'ARQS, la charge ne peut s'accumuler en aucun point du circuit. Par conséquent, les lois écrites ci-dessus restent valables dans le cadre de l'ARQS.

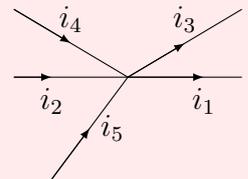
♥ À connaître : Loi des nœuds

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

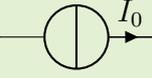
La valeur de ε_k (± 1) n'est pas liée au signe de l'intensité i_k mais uniquement au sens de la flèche par rapport au nœud.

💡 Méthode : Application de la loi des nœuds

- Sur le schéma du circuit, placer une intensité dans chaque branche reliée au nœud étudié et les nommer (i_1, i_2, \dots).
- 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.

Activité n°3 – Application de la loi des nœuds

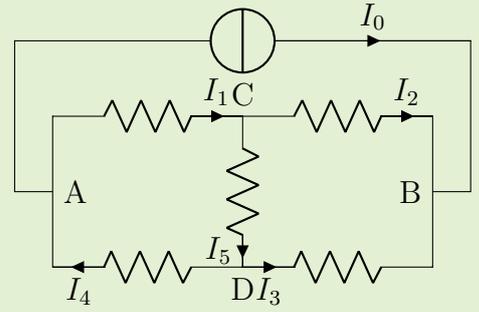
On considère le circuit ci-contre constitué de dipôles inconnus.

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

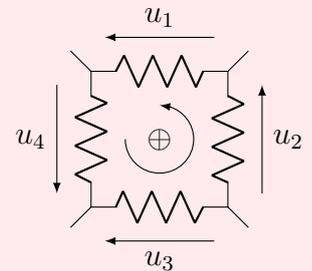
♥ À retenir : La loi des mailles

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

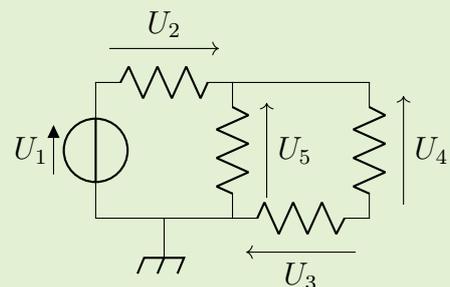
1. Sur le schéma du circuit, mettre une flèche orientée aux bornes de TOUS les dipôles présents et nommer les tensions.
2. Orienter la maille dans un sens positif choisi et l'indiquer sur la maille étudiée.
3. Appliquer la loi des mailles en mettant :
 - un « + » devant les noms des tensions situées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

Activité n°4 – Application de la loi des mailles

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

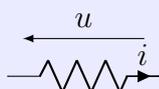
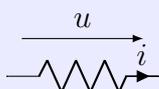
- On appelle **caractéristique** d'un dipôle la courbe représentant les variations de l'intensité le traversant en fonction de la tension à ses bornes.
Tout point sur cette courbe correspond à un couple (I, U) possible pour ce dipôle.
- Un dipôle sera dit **actif** lorsque sa caractéristique ne passe 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 chapitre suivant).

III.2 Conventions

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

Définitions : Conventions d'étude

La convention d'étude est un choix ARBITRAIRE, mais auquel il faut ensuite se tenir.

Convention récepteur	Convention générateur
	
La flèche de i et la flèche de u sont en sens opposé .	La flèche de i et la flèche de u sont de même sens .

III.3 Puissance électrique

Définition : Puissance électrique

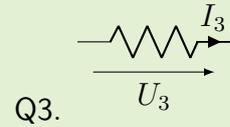
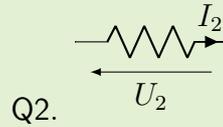
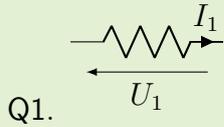
La puissance électrique est une grandeur algébrique toujours définie par le produit $u \times i$.
L'orientation du dipôle change le sens de l'interprétation :

Convention récepteur	Convention générateur
$\mathcal{P}_r = u \times i$	$\mathcal{P}_f = u \times i$
est la puissance <u>algébriquement</u> reçue par le dipôle .	est la puissance <u>algébriquement</u> fournie/cédée par le dipôle.
\mathcal{P}_r est algébrique : <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 fournit/cède effectivement de la puissance, il fournit/cède la puissance $-\mathcal{P}_r$. 	\mathcal{P}_f est algébrique : <ul style="list-style-type: none"> • Si $\mathcal{P}_f > 0$, le dipôle cède effectivement de la puissance ; • Si $\mathcal{P}_f < 0$, le dipôle reçoit effectivement de la puissance, il reçoit réellement la puissance $-\mathcal{P}_f$.

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.

Activité n°5 – Puissances

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 (resp. générateur), l'énergie reçue (resp. fournie) par le dipôle entre les instants t_1 et t_2 (avec $\Delta t = t_2 - t_1$) est

$$\mathcal{E} = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{P}(t) dt.$$

Si \mathcal{P} ne dépend pas du temps, alors $\mathcal{E} = \mathcal{P} \times \Delta t$.

III.4 Fil et interrupteur

À connaître : Fil et interrupteur

- La **tension** 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.5 Conducteur ohmique

III.5.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).

En convention récepteur	En convention générateur
$u = +Ri$	$u = -Ri$

À connaître : Ordre de grandeur

résistance voltmètre ou oscilloscope	qq $\text{M}\Omega$	résistance ampèremètre	qq Ω
résistance électronique	1 à 10 $\text{M}\Omega$	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 $\Omega \cdot \text{m}$, qui est l'inverse de la conductivité σ , en $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$ (cf chimie). Le cuivre, qui constitue les câbles électriques, est un des meilleurs conducteurs et est de résistivité $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

III.5.b) Effet Joule

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

📌 Démonstration à maîtriser n°6 – Puissance dissipée par effet Joule

On étudie un conducteur ohmique de résistance R en convention récepteur.

- 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 qui dépend du temps, pendant Δt . La simplifier en régime permanent.

♥ À connaître : Puissance dissipée par effet Joule

La puissance dissipée par effet Joule dans un conducteur ohmique de résistance R traversé par un courant d'intensité i et de tension u à ses bornes s'écrit :

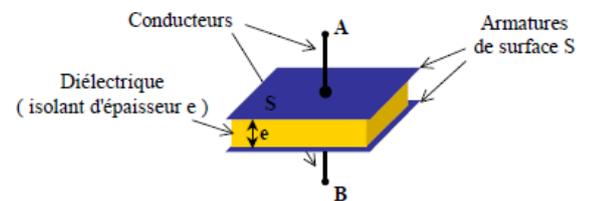
$$\mathcal{P}_{\text{Joule}} = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$$

III.6 Condensateur

III.6.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 , scalaire positif s'exprimant en **farad**^a (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
$i = C \frac{du}{dt}$	$i = -C \frac{du}{dt}$

^a. En l'honneur de Michael FARADAY (1791-1867) physicien et chimiste britannique.

♥ 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.6.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.

III.6.c) Énergie emmagasinée dans un condensateur

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

☞ Démonstration à maîtriser n°7 – 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. 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

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

■ 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.7 Bobine

III.7.a) Caractéristique

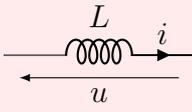
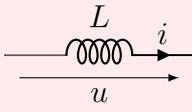
Capacité exigible : Utiliser la relation entre la tension et l'intensité. Citer des ordres de grandeur.

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)** ^a.

En convention récepteur	En convention générateur
	
$u = L \frac{di}{dt}$	$u = -L \frac{di}{dt}$

^a. En l'honneur de Joseph HENRY (1797-1898) physicien américain, qui découvrit l'induction électromagnétique.

♥ 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.7.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).

III.7.c) Énergie stockée dans une bobine

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

📄 Démonstration à maîtriser n°8 – 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 :

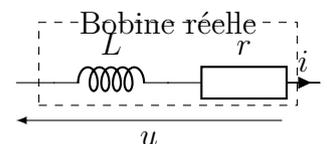
$$\mathcal{E}_{\text{bobine}} = \frac{1}{2} Li^2$$

♥ 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.7.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 .



$$u = L \frac{di}{dt} + ri$$

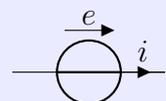
III.8 Générateurs

III.8.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).



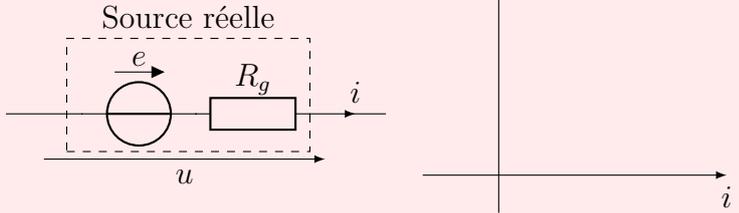
III.8.b) Source réelle de tension

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 .

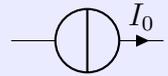


Relation courant/tension :

III.8.c) Source idéale de courant

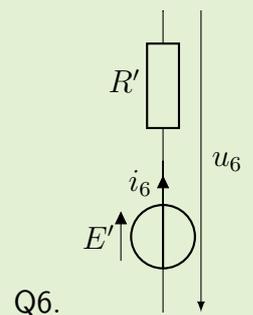
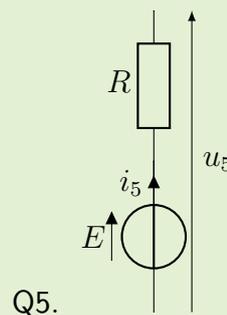
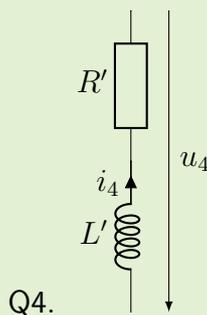
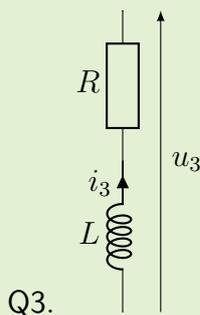
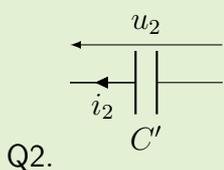
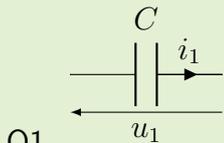
📖 **Définition** : Source idéale de courant

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).



🍃 **Activité n°9** – Lois courant/tension de différents dipôles

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 maîtriser n°10 – 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.

Capacité exigible : Établir et exploiter la relation du diviseur de tension.

🍃 Démonstration à maîtriser n°11 – 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.

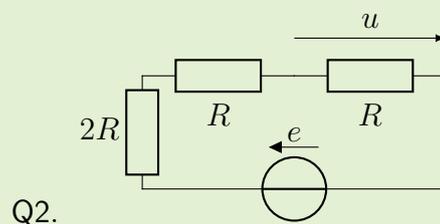
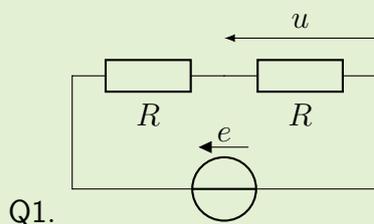
- Q1. Exprimer u_1 en fonction de i et de la résistance R_1 .
Exprimer u en fonction de i et des deux résistances.
Q2. En déduire l'expression de u_1 en fonction de u et des résistances. Que dire de u_2 en fonction de u ?

💡 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.

🍃 Activité n°12 – Applications de la relation du pont diviseur de tension

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 maîtriser n°13 – 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 .

Capacité exigible : Établir et exploiter la relation du diviseur de courant.

📖 Démonstration à maîtriser n°14 – 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.

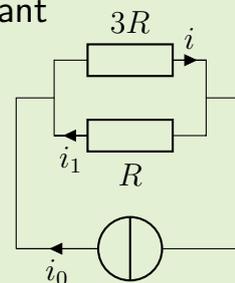
Q2. En déduire l'expression de i_1 en fonction de i et des résistances. Que dire de i_2 en fonction de i ?
On obtient la **relation du pont diviseur de courant**.

💡 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.

📖 Activité n°15 – Applications de la relation du pont diviseur de courant

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

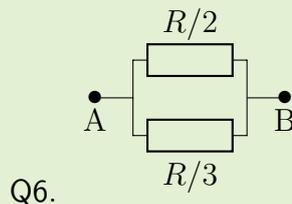
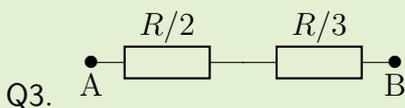
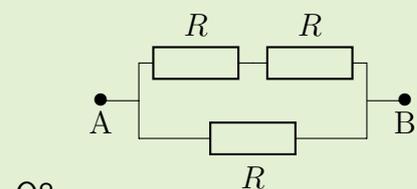
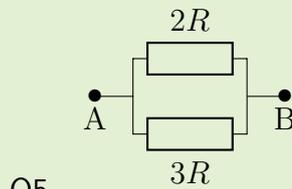
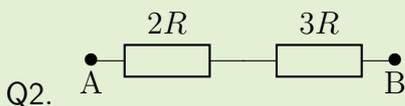
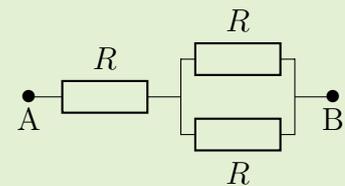
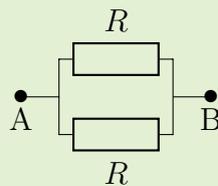
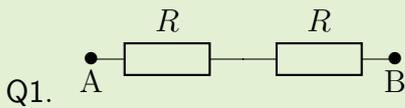
	Série	Dérivation
Schéma		
Expression de $R_{\text{éq}}$	$R_{\text{éq}} = R_1 + R_2$	$\frac{1}{R_{\text{éq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Leftrightarrow R_{\text{éq}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
Pont diviseur	de tension : $u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u$	de courant : $i_1 = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1}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

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

Activité n°16 – Associations de résistances

Déterminer la résistance équivalente R_{AB} , entre A et B, des associations suivantes. Tous les résultats devront être donnés sous la forme $R_{AB} = \alpha R$, où α est un nombre rationnel le plus simple possible.

Les calculs devront être effectués efficacement. Dans aucune étape, ne doit apparaître un R^2 (ou $R \times R$) : il est toujours possible de faire sans.



IV.3 Étude d'un circuit électrique

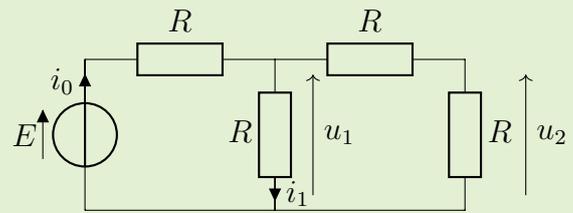
💡 Méthode d'étude d'un circuit électrique

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.

🍃 Activité n°17 – Étude d'un circuit

En utilisant uniquement les associations de résistances et les relations des ponts diviseurs :

- Q1. Établir l'expression de u_2 en fonction de u_1 , puis u_1 en fonction de E , et enfin u_2 en fonction de E .
- Q2. Déterminer l'intensité du courant i_1 en fonction de i_0 , puis i_0 en fonction de R et E .



🍃 Activité n°18 – Étude d'un autre circuit

Déterminer l'intensité I du courant indiqué.

