TD7 : Bases de l'électrocinétique

CAPACITÉS TRAVAILLÉES :

▷ *Utiliser la loi des noeuds et celle des mailles* : TLB, ex, RP (tous).

▷ *Algébriser les grandeurs électriques, utiliser les conventions récepteur et générateur* : TLB2, ex5.

▷ *Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente* : TLB3, QCM.

▷ *Établir et exploiter les relations de diviseurs de tension ou de courant* : TLB4,9, ex2,7.

▷ *Modéliser une source en utilisant la représentation de Thévenin* : TLB5, ex7.

▷ *Utiliser la relation entre l'intensité et la tension* : TLB6,7,8,10, ex3,6, RP2.

▷ *Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance* : TLB7, ex3,5,6.

▷ *Citer des ordres de grandeur des intensités, des tensions, des puissances et des résistances dans différents domaines d'application* : TLB8, ex4.

▷ *Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence* : ex4.

▷ *Exprimer l'intensité du courant électrique en termes de débit de charge* : ex5, RP1.

1 Questions de cours

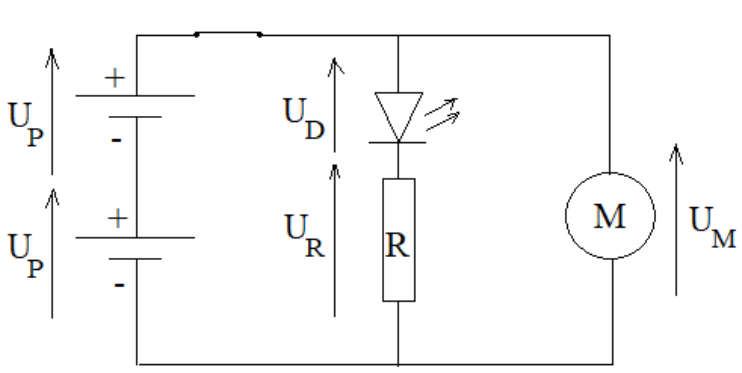
QC1 : Exemples de dipôles.
QC2 : Conventions générateur et récepteur.
QC3 : Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS).
QC4 : Loi des nœuds, loi des mailles.
QC5 : Association de deux résistances, résistance équivalente.
QC6 : Ponts diviseurs de tension et de courant.
QC7 : Ordres de grandeur de tensions, d'intensités et de puissances.

2 Tester les bases

TLB1 : un ventilateur de poche

Un ventilateur de poche fonctionne avec deux piles de tension $\mathrm{U_P} = 1,5\mathrm{V}$.

On peut le modéliser par le circuit électrique schématisé ci-dessous :





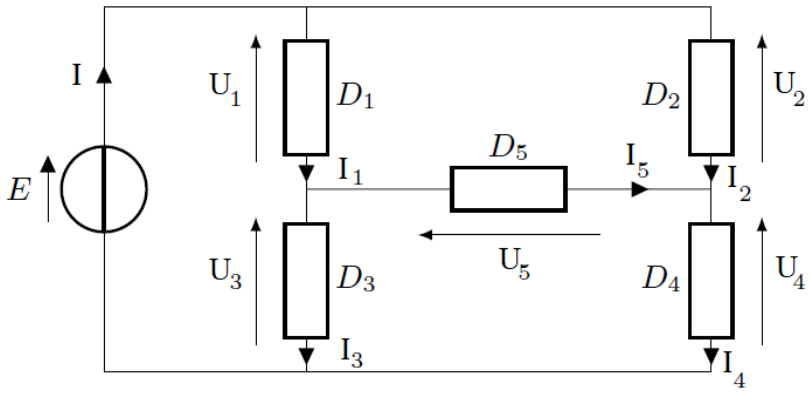
1. Mettre en correspondance les éléments du circuit modèle et ceux du ventilateur.

2. Représenter sur le schéma du circuit, que vous recopierez, l'appareil électrique qui permet de mesurer la tension $\mathrm{U_D}$. Représenter les bornes de cet appareil de mesure, sachant que la valeur mesurée vaut $\mathrm{U_D} = 1,2\mathrm{V}$.

3. Déterminer les valeurs de la tension $\mathrm{U_M}$ et de la tension $\mathrm{U_R}$.

TLB2 : loi des mailles et loi des nœuds

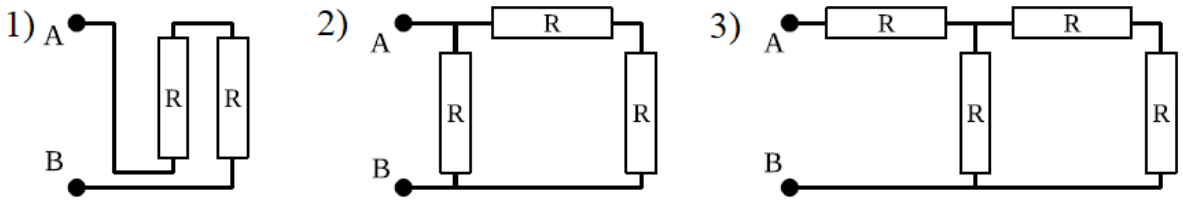
Dans ce montage : $E = 20,0V$; $I_1 = 3,0A$; $I_2 = 4,0A$; $I_5 = 1,0A$; $U_3 = 5,0V$ et $U_4 = 12,0V$.



1. Calculer les intensités des courants I, I_3 et I_4.
2. Déterminer les tensions U_1, U_2 et U_5.
3. Quelle est la puissance P_G fournie par le générateur ?
4. Comment se comporte le dipôle D_5 ?

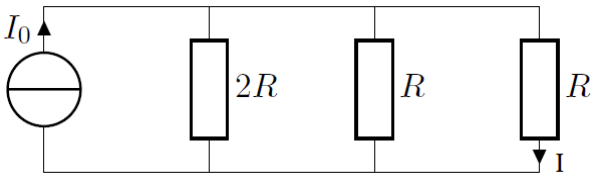
TLB3 : associations de résistances

Déterminer les résistances équivalentes aux dipôles AB suivants :

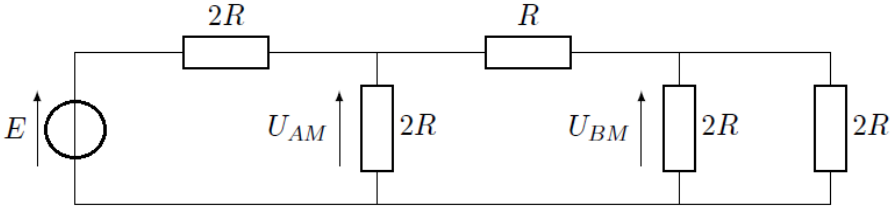


TLB4 : ponts diviseurs

1. Déterminer l'expression de I en fonction de I_0 dans le montage schématisé ci-dessous :



2. Dans cette configuration, l'objectif est de déterminer U_{BM} en fonction de E.

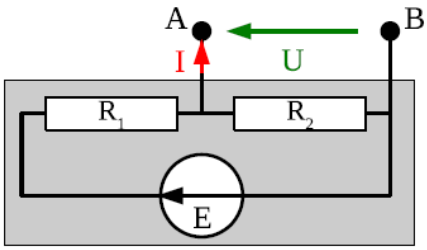


a. Déterminer U_{BM} en fonction de U_{AM}.

b. Déterminer U_{AM}, puis U_{BM}, en fonction de E.

TLB5 : modèle du générateur de Thévenin

On note $U = U_{AB}$, et I le courant sortant du dipôle par la borne A.



1. Exprimer U en fonction de I et des caractéristiques du circuit (E, R_1 et R_2).

2. En déduire que le dipôle AB est un générateur de tension et déterminer les caractéristiques du modèle de Thévenin équivalent.

TLB6 : caractéristique tension-courant d'une lampe

Une petite lampe est constituée d'une ampoule vissée sur un support à deux bornes.

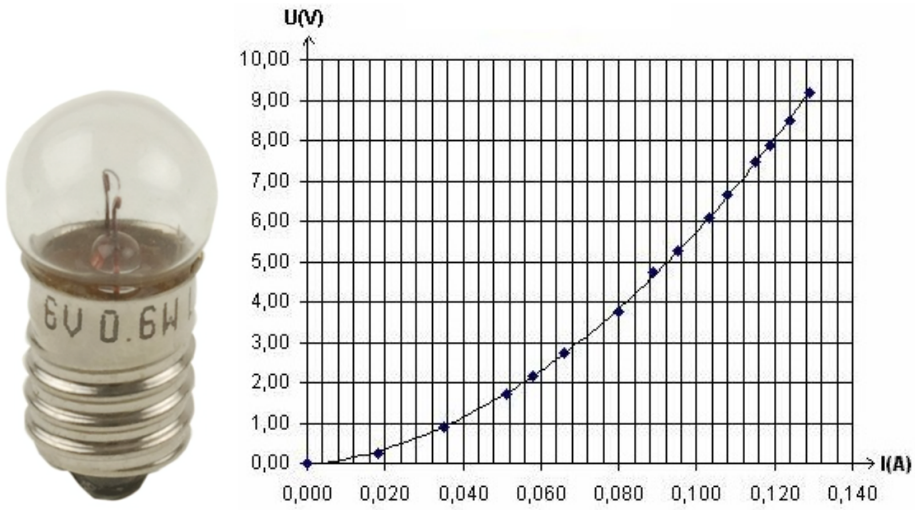


FIGURE 1 – Gauche : photographie de l'ampoule ; droite : caractéristique tension-courant de la lampe

1. Proposer un protocole expérimental permettant d'obtenir la caractéristique tension-courant de la lampe. Vous préciserez :

- la liste du matériel nécessaire ;
- le schéma du circuit électrique utilisé, comprenant les appareils de mesure ;
- une liste d'instructions à suivre ;
- la façon dont les mesures seront traitées pour répondre à la problématique (tableau de mesures, graphique, utilisation d'un langage de programmation, etc...).

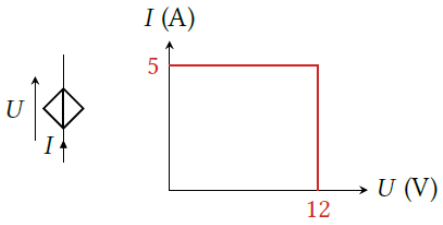
2. La tension U et la puissance P indiquées sur l'ampoule de la lampe sont les valeurs nominales. Ce sont celles pour lesquelles le fonctionnement de la lampe est optimal : meilleure luminosité, pas de risque de casse du composant. Déterminer la valeur de l'intensité nominale I de la lampe.

3. Au vu de la caractéristique tension-courant de la lampe, peut-on dire qu'il s'agit d'un dipôle ohmique ?

4. On alimente la lampe avec une alimentation stabilisée, qu'on peut modéliser par un générateur délivrant une tension $U_G = 6,0V$ indépendante de l'intensité. Représenter graphiquement la caractéristique tension-courant de cette alimentation stabilisée sur le même graphique que la caractéristique de la lampe puis déterminer le point de fonctionnement de l'association {alimentation stabilisée-lampe}. Commenter.

TLB7 : alimentation stabilisée

Une alimentation stabilisée est un « générateur amélioré » au sein duquel un dispositif de rétroaction permet de compenser l'effet de la résistance interne, ce qui est particulièrement utile pour des applications avec des faibles résistances. Son symbole et sa caractéristique courant-tension sont représentés ci-dessous.



1. L'alimentation stabilisée est utilisée pour alimenter une résistance $R = 1\ \Omega$. Calculer la puissance dissipée par effet Joule.
2. Même question pour $R = 10\ \Omega$.
3. Déterminer la valeur de résistance qui dissipe le maximum de puissance.

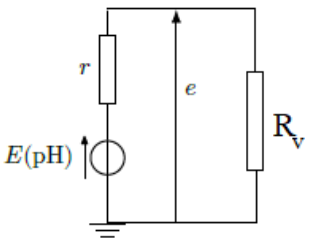
TLB8 : résistance interne d'un voltmètre et d'un ampèremètre

Les appareils de mesure doivent perturber le moins possible le circuit dans lequel ils sont placés. Par définition, un appareil de mesure idéal ne perturbe pas du tout le circuit dans lequel il est placé. Dans cet exercice, on modélise les appareils de mesure par leur résistance interne, qui vérifie la loi d'Ohm.

1. Représenter sur un schéma un voltmètre mesurant la tension U aux bornes d'un dipôle. Qu'entend-on par "perturber le moins possible le circuit", en terme de grandeur physique, dans le cas d'un voltmètre ? Justifier alors qu'un voltmètre idéal a une résistance interne infinie (en pratique, elle est de l'ordre du $M\Omega$).
2. Représenter sur un schéma un ampèremètre mesurant l'intensité du courant I qui traverse un dipôle. Qu'entend-on par "perturber le moins possible le circuit", en terme de grandeur physique, dans le cas d'un ampèremètre ? Justifier alors qu'un ampèremètre idéal a une résistance interne nulle (en pratique, elle est inférieure à 1Ω).

TLB9 : modélisation d'un pH-mètre (CCS 2021)

On modélise un pH-mètre par une association en série d'un générateur de tension idéale de force électromotrice E fonction du pH avec une résistance r.



On souhaite mesurer la tension e à l'aide d'un voltmètre de résistance interne $R_V = 1,0\ M\Omega$.

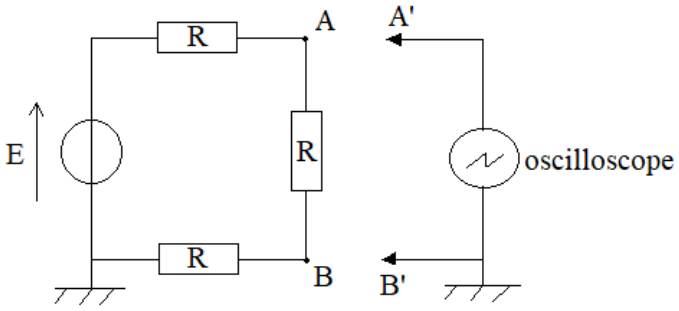
1. Exprimer la tension mesurée e en fonction de E, r et R_V. Calculer la valeur de e en prenant $r = 10\ M\Omega$ et $E = 0,20$ mV.

2. Quelle valeur minimale de résistance interne du voltmètre R'_V aurait-il fallu avoir pour commettre une erreur inférieure à 10% sur la mesure de E ?

TLB10 : un problème de masse

Une source de tension $E = 12V$ alimente trois résistances égales à R disposées en série.

1. Calculer la tension entre les bornes A et B représentées sur le schéma.



2. Pour mesurer cette tension, on utilise l'oscilloscope dessiné sur la même figure, borne A' reliée à la borne A et borne B' reliée à la borne B. Cet oscilloscope a une résistance interne très supérieure à la résistance R, pourtant la tension qu'il mesure n'est pas celle qui a été calculée. Expliquer pourquoi et donner la valeur de la tension mesurée.

TLB11 : une diode

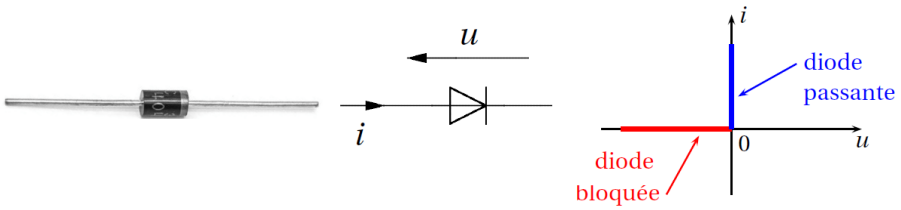


FIGURE 2 – De gauche à droite : photographie d'une diode, symbole d'une diode idéale et caractéristique courant-tension d'une diode idéale

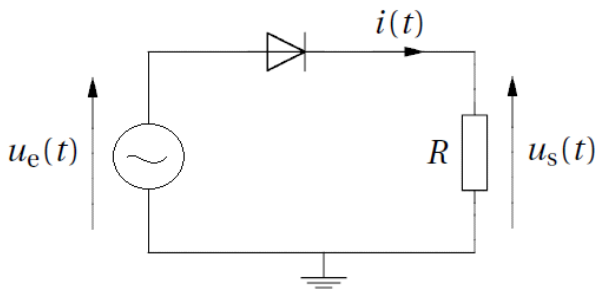
Une diode idéale peut se trouver dans deux états :

▷ diode bloquée : $i = 0$, $u \leq 0$ (état ouvert)

▷ diode passante : $u = 0$, $i \geq 0$ (état fermé).

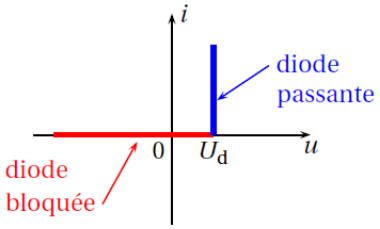
1. Déterminer le schéma électrique équivalent de la diode bloquée et de la diode passante.

On considère le circuit ci-dessous, où la tension d'entrée est $u_e(t) = E\sin(\omega t)$.



2. Représenter $u_s(t)$. On parle de « redressement simple alternance » : expliquer le terme.

On considère maintenant une diode idéale avec seuil, dont on donne la caractéristique. La tension seuil U_d dépend de la nature de la diode et vaut typiquement $\mathrm{U}_d = 0,7\ \mathrm{V}$ pour une diode au silicium et $\mathrm{U}_d = 0,3\ \mathrm{V}$ pour une diode au germanium.



3. Déterminer le schéma électrique équivalent de la diode bloquée et de la diode passante.

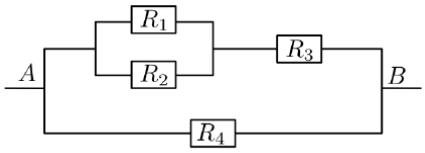
4. En reprenant le circuit donné précédemment, alimenté par la tension $u_e(t) = \mathrm{E}\sin(\omega t)$, représenter u_s si on utilise une diode au silicium dans les cas suivants :

▷ $\mathrm{E} = 2\ \mathrm{V}$;

▷ $\mathrm{E} = 0,5\ \mathrm{V}$.

3 QCM (IPhO)

1. On considère le circuit électrique ci-dessous.



Les valeurs retenues pour les résistances sont $\mathrm{R}_1 = 2\mathrm{k}\Omega$, $\mathrm{R}_2 = 200\Omega$, $\mathrm{R}_3 = 1\mathrm{k}\Omega$ et $\mathrm{R}_4 = 100\Omega$. Quelle est la résistance équivalente entre les nœuds A et B ?

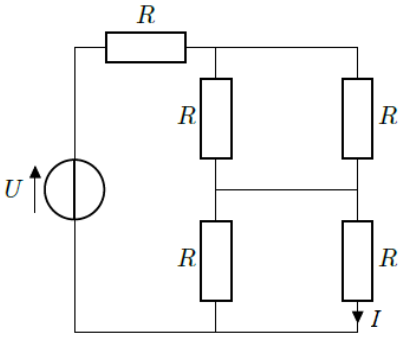
a) R_{AB} dépend de la tension entre les nœuds A et B.

b) $\mathrm{R}_{\mathrm{AB}} = 3300\Omega$.

c) $\mathrm{R}_{\mathrm{AB}} \simeq 788\Omega$.

d) $\mathrm{R}_{\mathrm{AB}} \simeq 92\Omega$.

2. Comment s'exprime I dans le circuit suivant en fonction de U et R ?

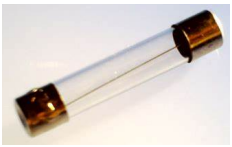


a) $\mathrm{I} = \frac{\mathrm{U}}{\mathrm{R}}$; b) $\mathrm{I} = \frac{3\mathrm{U}}{2\mathrm{R}}$; c) $\mathrm{I} = \frac{\mathrm{U}}{4\mathrm{R}}$; d) $\mathrm{I} = \frac{2\mathrm{U}}{3\mathrm{R}}$.

4 Exercices

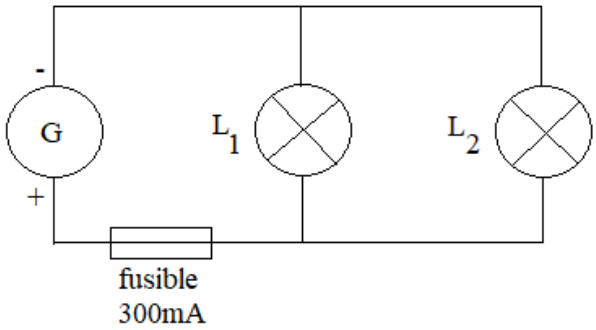
Exercice 1 : se protéger contre les surintensités

Un fusible est une petite tige de métal contenue dans un tube en verre dans lequel a été fait le vide. La tension à ses bornes est négligeable par rapport aux tensions des dipôles du circuit électrique dans lequel se trouve ce fusible. Lorsque l'intensité du courant qui passe dans la tige métallique dépasse la valeur indiquée sur le fusible (300mA, 1A, 32A, etc.), cette tige fond.



On dispose d'un générateur de tension de 6V, d'un fusible "de 300mA" et de trois lampes L_1 (6V ; 150mA), L_2 (6V ; 100mA) et L_3 (6V ; 200mA). Les valeurs indiquées sont les valeurs nominales, pour lesquelles le fonctionnement est optimal : la lampe brille au maximum et il n'y a aucun risque de destruction du composant.

Le schéma du montage étudié est donné ci-dessous :



1. Justifier que, dans ce circuit, les valeurs des tensions aux bornes de chacune des lampes correspondent à leur tension nominale.

On admettra par la suite que chaque lampe est parcourue par un courant dont l'intensité est égale à son intensité nominale.

2. Justifier que si on réalise le montage schématisé ci-dessus, le fusible ne fond pas. Proposer le schéma d'un circuit qui entraînerait la fonte du fusible, utilisant le matériel mentionné dans l'énoncé.

3. Indiquer par quel dipôle on pourrait modéliser le fusible lorsqu'il fonctionne normalement, et par quel dipôle on pourrait le modéliser une fois qu'il a fondu.

Exercice 2 : pont de Wheatstone

Un pont de Wheatstone est un montage électrique permettant de déterminer une résistance inconnue. Il permet de mesurer avec précision des faibles variations de résistances, notamment celle des thermistances ou photorésistances.

La résistance à déterminer est R_1. Les résistances R_3 et R_4 sont fixes et connues. R_2 est une résistance variable dont on connaît la valeur.

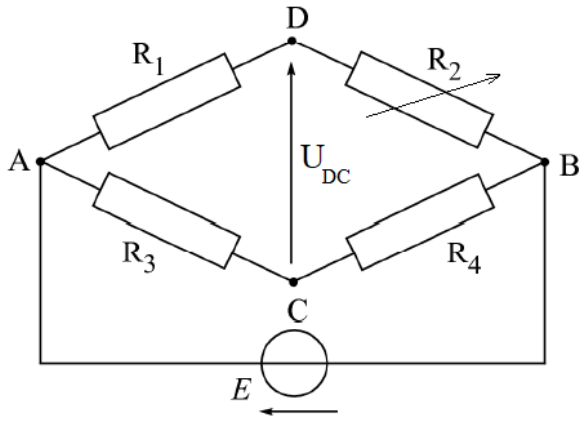


FIGURE 3 – Pont de Wheatstone

Le pont est dit équilibré lorsque la tension U_{DC} mesurée entre C et D est nulle.

1) Déterminer la tension U_{DC} en fonction de E et des résistances R_1, R_2, R_3 et R_4.

2) Comment mettre en évidence expérimentalement le fait que le pont est équilibré ?

3) À quelle condition sur les quatre résistances le pont est-il équilibré ? Déterminer alors R_1.

Données : $R_3 = 100\Omega$; $R_4 = 5{,}00$ kΩ ; $R_2 = 1827\Omega$; $E = 6{,}0$V.

Exercice 3 : adaptation d'impédance

Un générateur de force électromotrice E et de résistance interne r débite dans une résistance variable R.

1. Exprimer la puissance P_R reçue par la résistance R.

2. Exprimer la puissance P fournie par le générateur en fonction de E, r et R.

3. Il existe une valeur $R = R_{max}$ pour laquelle la puissance P_R est maximale : le générateur et la résistance sont "adaptés". Exprimer R_{max} en fonction de r.

4. Calculer alors le rendement défini par $\rho = P_R/P$. Commenter.

Exercice 4 : un fil de connexion

La résistance R en Ω d'un fil électrique modélisé par un cylindre de révolution homogène est une fonction de la longueur L du fil en m, de sa section S en m^2 et de la résistivité ρ du matériau conducteur avec lequel le fil a été fabriqué en Ω·m.

1. En vous appuyant sur des arguments physiques et/ou en procédant par **analyse dimensionnelle** (autrement dit, en raisonnant sur les unités), proposer une expression simple pour R en fonction de S, L et ρ.

2. En vous appuyant sur la formule de la question 1, proposer un ordre de grandeur pour la résistance R d'un fil de connexion en cuivre utilisé en travaux pratiques, sachant que la résistivité du cuivre vaut $\rho_{Cu} = 1{,}7 \times 10^{-8}\Omega$·m.

3. Proposer alors un ordre de grandeur pour la valeur de la tension U aux bornes de ce fil. Justifier alors que l'on néglige généralement les tensions aux bornes des fils de connexion dans les exercices d'électricité : c'est le modèle du fil idéal.

4. En travaux pratiques, les fils sont souvent parcourus par un signal électrique sinusoïdal.

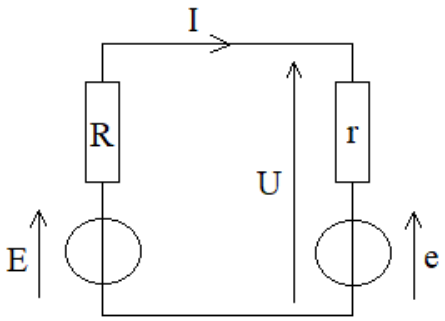
a) Indiquer la grandeur physique pertinente pour représenter ce signal $s(t)$.

b) Écrire la formule qui modélise mathématiquement un tel signal.

c) Déterminer l'ordre de grandeur de la fréquence f du signal au-delà de laquelle on ne peut pourrait plus se placer dans le cadre de l'approximation des régimes quasi-sinusoïdaux (ARQS) pour décrire ce signal.

Exercice 5 : charge d'une batterie d'accumulateurs

Pour recharger une batterie de voiture, modélisée par une force électromotrice $e = 12\text{V}$ en série avec une résistance $r = 0,20\Omega$, on la branche sur un chargeur de force électromotrice $\text{E} = 13\text{V}$ et de résistance interne $\text{R} = 0,30\Omega$.





On lit sur la batterie qu'elle a une "capacité" de 50 $\text{A}\cdot\text{h}$ (ampères-heures).

1. Déterminer l'intensité I du courant circulant dans la batterie et la tension U à ses bornes lors de la charge. Quelle est la convention utilisée ?

2. Calculer la puissance délivrée par la source E, la puissance dissipée par effet Joule et la puissance reçue par la batterie (stockée sous forme chimique). Définir et calculer le rendement de l'opération.

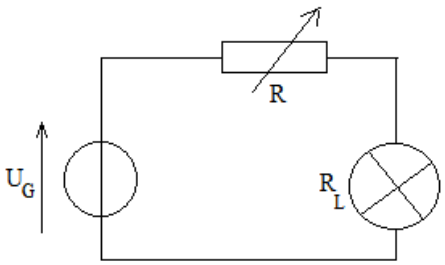
3. À quelle grandeur physique la capacité de 50 $\text{A}\cdot\text{h}$ est-elle homogène ?

4. Initialement la batterie est déchargée, avec seulement 10% de sa capacité. Déterminer le temps de charge pour la recharger complètement.

5. Calculer l'énergie dissipée par effet Joule pendant la charge.

Exercice 6 : fonctionnement d'un éclairage réglable

On réalise le circuit schématisé ci-dessous dans lequel le résistor a une résistance R réglable tandis que la lampe est supposée avoir une résistance fixée $\text{R}_\text{L} = 40\Omega$.



À l'aide de deux multimètres, on mesure simultanément :

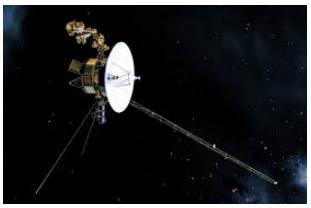
— l'intensité du courant délivré par le générateur : $\text{I} = 40$ mA ;

— la tension aux bornes du générateur : $\text{U}_\text{G} = 6,0\text{V}$.

1. Déterminer U_L, la tension aux bornes de la lampe en convention récepteur.

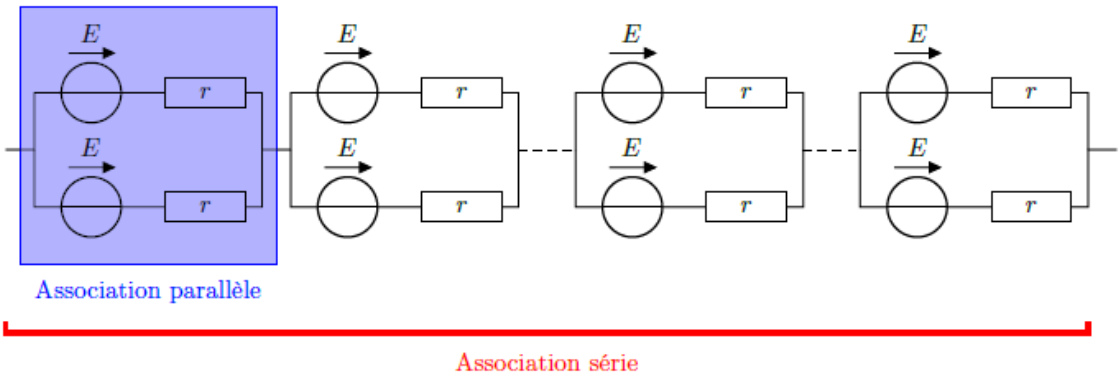
2. En déduire la valeur de R.
3. En déduire la puissance électrique $\mathrm{P_L}$ consommée par la lampe.
4. La puissance lumineuse étant de 28 mW, quel est le rendement de la lampe ?
5. Sur quelle valeur R' doit-on régler R pour que la lampe brille deux fois plus ?

Exercice 7 : les sondes Voyager



Voyager 1 et Voyager 2 sont les deux sondes jumelles du programme Voyager de l'agence spatiale américaine (NASA). Lancées en 1977, elles ont permis d'explorer de près les planètes géantes gazeuses et leur lunes avant de s'aventurer aux confins du système solaire, qu'elles quittent en 2012. Aujourd'hui à 24 milliards de km de la Terre, elles continuent de nous envoyer de précieuses informations sur le milieu interstellaire. Ce record de longévité n'aurait pas été possible sans les générateurs thermoélectriques à radioisotope (GTR) qui n'ont jamais cessé d'alimenter les appareils de mesure et de navigation des sondes.

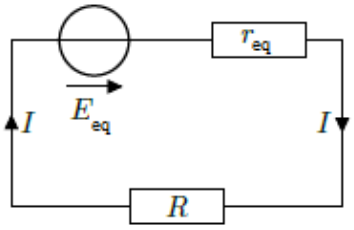
Dans les générateurs thermoélectriques des sondes Voyager, 2×156 modules identiques sont associés selon un câblage série/parallèle, dont le schéma électrique équivalent est représenté ci-dessous.



1. Montrer que l'association parallèle de deux générateurs de Thévenin identiques de force électromotrice E et de résistance r est équivalente à un unique générateur de Thévenin de force électromotrice E' et de résistance r' telles que $\mathrm{E}'=\mathrm{E}$ et $r'=\frac{r}{2}$.
2. Montrer que l'association série de deux générateurs de Thévenin identiques de force électromotrice E' et de résistance r' est équivalente à un unique générateur de Thévenin de force électromotrice E'' et de résistance r'' qu'on exprimera en fonction de E' et r'.
3. En déduire que l'association globale des 2×156 modules dans un générateur thermoélectrique des sondes Voyager peut être modélisé par un unique générateur de Thévenin de force électromotrice $\mathrm{E_G}$ et de résistance r_G qu'on exprimera en fonction de E et r. Calculer $\mathrm{E_G}$ et r_G sachant que $\mathrm{E}=0,32\mathrm{V}$ et $r=51\mathrm{m}\Omega$.

4. Expliquer l'intérêt d'associer les modules de la façon représentée ci-dessus. Pourquoi n'ont-ils pas été associés simplement en série ?

On assimile les instruments de commande et de mesure des sondes à un conducteur ohmique de résistance R appelé résistance de charge. Le circuit électrique modélisant les transferts de puissance entre les trois générateurs thermoélectriques et les instruments embarqués est représenté ci-dessous, avec $\mathrm{E}_{eq} = \mathrm{E}_{\mathrm{G}}$ et $r_{eq} = r_{\mathrm{G}}/3$.



5. Exprimer l'intensité I en fonction de E_{eq}, r_{eq} et R.

6. Rappeler l'expression de la puissance dissipée par effet Joule dans un composant de résistance R traversé par un courant d'intensité I. En déduire l'expression de la puissance électrique P_e disponible pour les instruments en fonction de E_{eq}, r_{eq} et R.

7. Montrer que la puissance électrique disponible pour les instruments est maximale quand $\mathrm{R} = r_{eq}$, puis exprimer sa valeur maximale P_{max} en fonction de E_{eq} et r_{eq}.

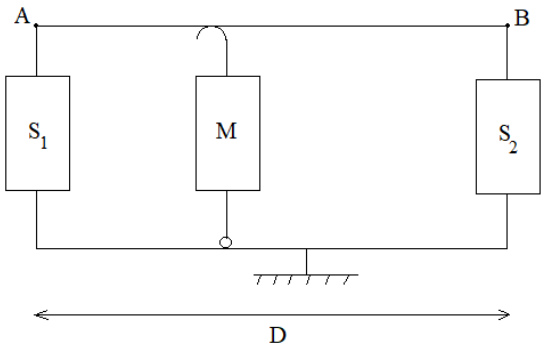
8. Calculer P_{max}. Comparer cette valeur avec les 470 W obtenus au décollage des sondes Voyager.

Exercice 8 : voie électrifiée

Une locomotive est alimentée en courant continu (DC). L'alimentation est réalisée par des sous-stations S_i distantes de D.

Ces sous-stations relient les rails (au potentiel nul) à la caténaire AB. Chaque source S_i est modélisée par un générateur idéal de tension E (borne + du côté de la caténaire). La motrice M est branchée entre les rails et la caténaire. On supposera que son moteur doit être alimenté par un courant d'intensité constante I.

De plus, la caténaire présente une résistance linéique (autrement dit, par unité de longueur) de valeur ρ et on négligera la résistance des rails et des câbles de liaison à la caténaire.





On considère une section de ligne de longueur D alimentée par deux sous-stations. On note x la longueur de caténaire séparant la motrice de la sous-station S_1. On note U la tension aux bornes de la motrice.

1. Schématiser le circuit électrique qui modélise la situation et le paramétrer en utilisant les informations fournies ci-dessus.
2. Exprimer la tension U aux bornes de la motrice.
3. En déduire la chute de tension $\Delta U = E - U$.
4. Calculer D_{max} pour $\rho = 5 \times 10^{-5} \Omega \cdot m^{-1}$, $I = 800A$ et $(\Delta U)_{max} = 45V$.

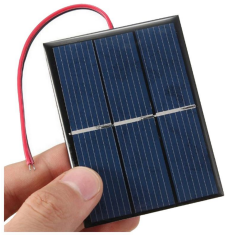
5 Résolution de problèmes :

RP1 : vitesse des porteurs de charge (IPhO)

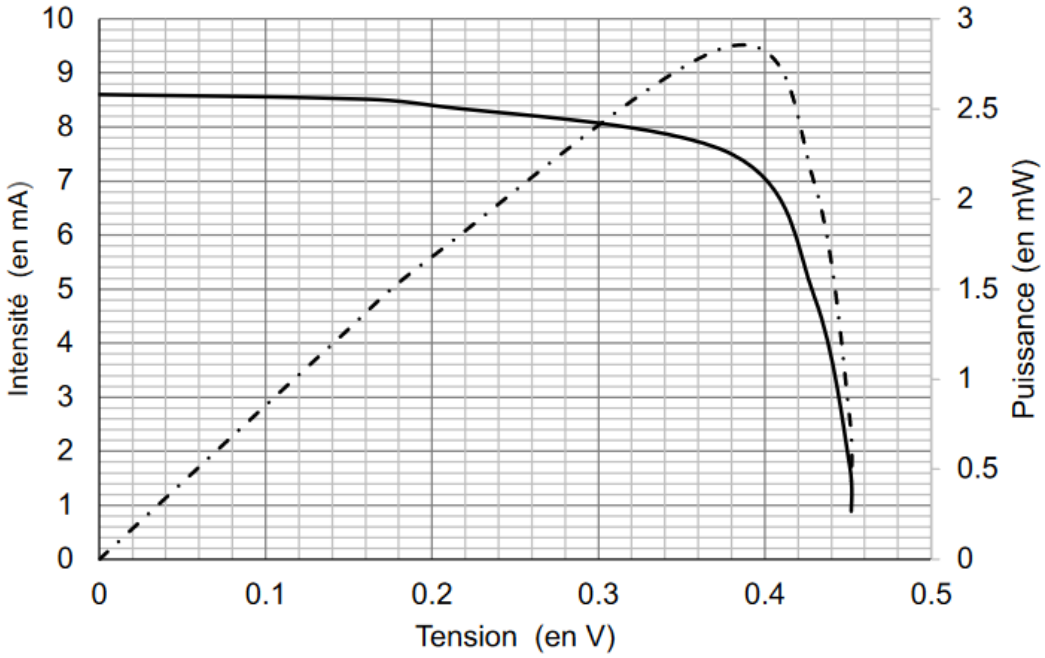
Un fil métallique de section 1 mm^2 a une densité d'électrons conducteurs de $6 \cdot 10^{28} m^{-3}$. Chaque électron possède une charge qui vaut $1,6 \times 10^{-19} C$ en valeur absolue. Si le fil fait circuler un courant électrique de $0,1A$, déterminer la vitesse moyenne de déplacement des électrons dans le fil.

RP2 : cellule photovoltaïque

On se propose d'étudier le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque, élément de base de chaque panneau photovoltaïque d'une ferme solaire.



Grâce aux mesures réalisées sur la cellule, on trace la caractéristique tension - intensité (en trait plein) et la caractéristique tension - puissance (en pointillé).



Déterminer la valeur de la résistance R du récepteur à utiliser avec le panneau pour un fonctionnement optimal.