

TD 7 : Lois de l'électrocinétique

I. Tester ses connaissances et sa compréhension du cours

- 1) Quel est le sens conventionnel du courant ?
- 2) Rappeler la loi d'Ohm en convention récepteur puis en convention générateur.
Tracer la caractéristique de la résistance dans chaque cas.
- 3) Rappeler la formule du diviseur de tension et de courant avec le schéma correspondant.
- 4) N résistances identiques sont branchées en série puis en parallèle. Rappeler la résistance équivalente.
- 5) Rappeler les lois de Kirchhoff dans le cadre de l'approximation des régimes quasi-stationnaires.
- 6) Rappeler les relations caractéristiques d'un condensateur et d'une bobine.
- 7) Rappeler les deux modèles équivalents pour décrire une source réelle entre deux points A et B.

II. Questions de réflexion – Physique pratique

1) Analogie hydraulique

Soumis à un champ électrique uniforme, les électrons libres d'un métal devraient acquérir un mouvement accéléré. Pourquoi alors la loi d'Ohm s'interprète-t-elle par la proportionnalité entre le champ appliqué et la vitesse de dérive des électrons ? Comment à l'aide d'une analogie simple (fleuve, troncs d'arbres, dénivellation...) peut-on faire comprendre $U = RI$ à quelqu'un qui n'est pas physicien ?

2) Le maillon faible

Dans une association de résistances en parallèle, justifier que la résistance équivalente est toujours plus faible que la plus faible des résistances. Que peut-on dire dans le cas d'une association en série ?

3) Connexions interdites

Pour quelle raison ne peut-on pas connecter des sources de tensions différentes ? Peut-on le faire avec des sources de courant ? Une interconnexion entre source de tension de courant est-elle licite ?

4) Guirlandes lumineuses

Dans une guirlande lumineuse, comment sont placés les ampoules, en série ou en parallèle ?

5) Batteries

Pourquoi la longévité d'une batterie s'apprécie-t-elle en A.h (12 V de voiture par exemple) et en mA.h (pour les piles d'un appareil photo par exemple) ?

6) Fils électriques

La section d'un fil électrique pour un éclairage ($I_{\max} \approx 15$ A) est de $1,5 \text{ mm}^2$ et pour une cuisinière ($I_{\max} \approx 35$ A) de 6 mm^2 . Pourquoi cette différence ?

7) Fusibles et disjoncteur différentiel

Quel est, dans une installation domestique, le rôle d'un fusible ? d'une terre ? d'un disjoncteur différentiel ?

III. Exercices d'entraînement

1) Modèle électrique du corps humain

La résistance du corps humain est au moins 1200Ω . Le disjoncteur différentiel domestique coupe le courant si la différence entre l'intensité entrante et l'intensité sortante atteint 30 mA .

1. Si l'on touche un fil porté à un potentiel de 220 V par rapport à la terre, et que l'on n'est pas équipé de semelles isolantes, le disjoncteur coupera-t-il le courant ?
2. Si maintenant on met un index dans chacun des trous d'une prise de courant, les fusibles de l'installation sont-ils protecteurs (ils sont choisis pour fondre au-delà d'une intensité de 6 A) ?

L'opération précédente est-elle dangereuse sachant que, si un courant de plus de 20 mA traverse pendant quelques millisecondes un corps humain, il y a risque de tétanisation mortelle ?

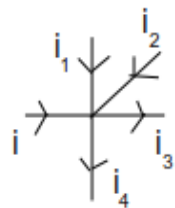
3. Les travailleurs utilisant des appareils électriques dans des milieux très conducteurs ont un système d'alimentation électrique fonctionnant sous très basse tension. Quelle doit être la valeur maximale de cette tension ?

2) Loi des nœuds

1. Déterminer l'expression de l'intensité du courant i en fonction des autres intensités, puis donner sa valeur numérique.

On donne : $i_1 = i_4 = 1 \text{ A}$; $i_2 = 4 \text{ A}$; $i_3 = 2 \text{ A}$

2. Que signifie le signe négatif de l'intensité i ?



3) Loi des mailles

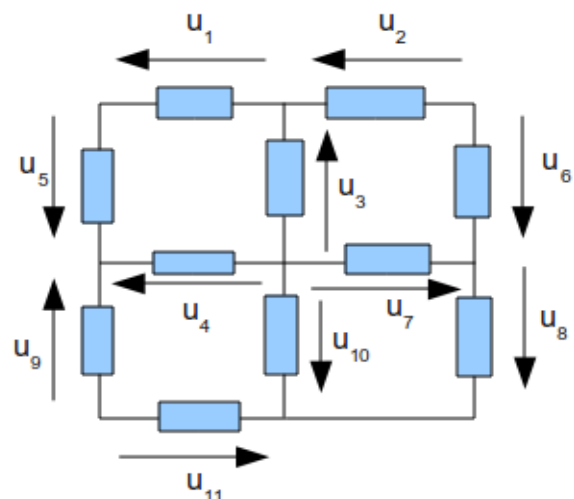
Les rectangles représentés sur le schéma ci-contre sont des dipôles quelconques dont nous ne précisons pas la nature.

On donne les tensions suivantes :

$$u_1 = 1 \text{ V}, u_2 = 2 \text{ V}, u_3 = 3 \text{ V}, u_5 = 5 \text{ V}, u_6 = 6 \text{ V},$$

$$u_8 = 8 \text{ V}, u_9 = 20 \text{ V}$$

Déterminer les tensions u_4 , u_7 , u_{10} et u_{11} en utilisant la loi des mailles.

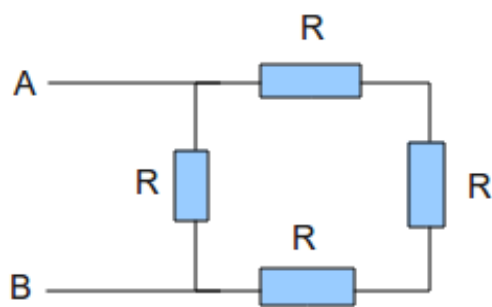


4) Résistance équivalente

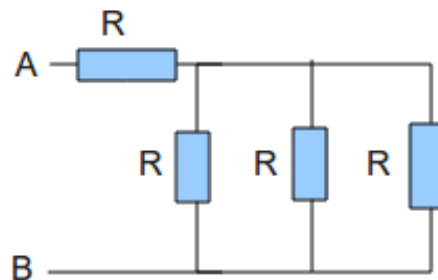
Toutes les résistances sont identiques de valeur R .

Déterminer la résistance équivalente vue entre les bornes A et B pour les schémas ci-dessous.

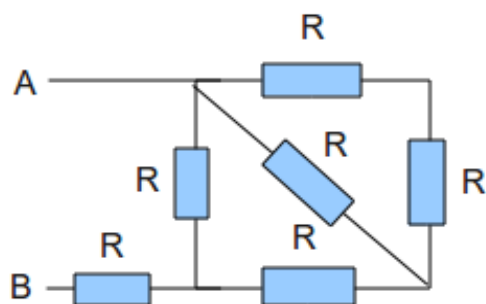
1.



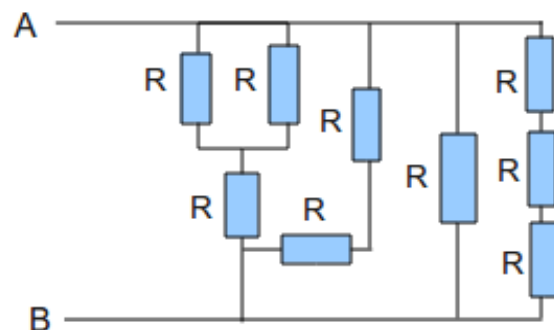
2.



3.



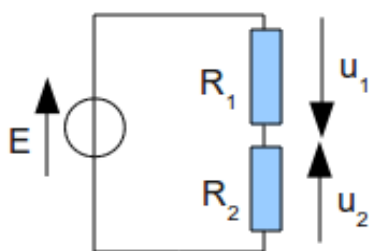
4.

**5) Ponts diviseurs et théorème de Millman**

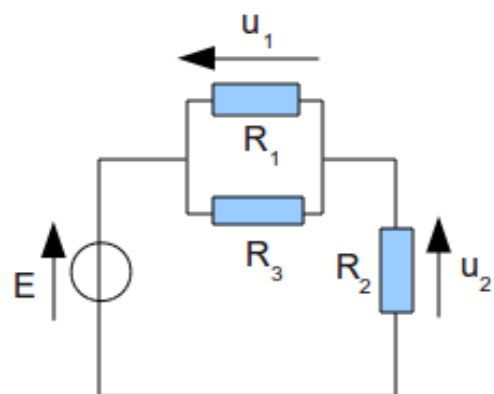
Déterminer les expressions littérales des grandeurs représentées en utilisant des ponts diviseurs ou le « théorème de Millman ».

On donne : $E = 10 \text{ V}$; $I_0 = 10 \text{ mA}$; $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$; $R_3 = 3 \text{ k}\Omega$; $R_4 = 4 \text{ k}\Omega$

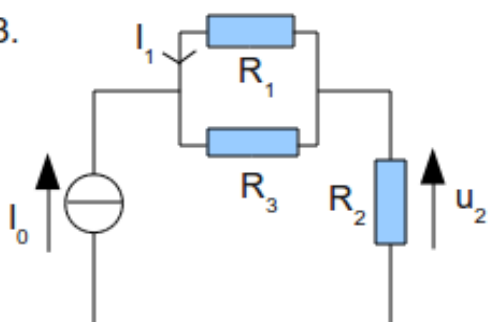
1.



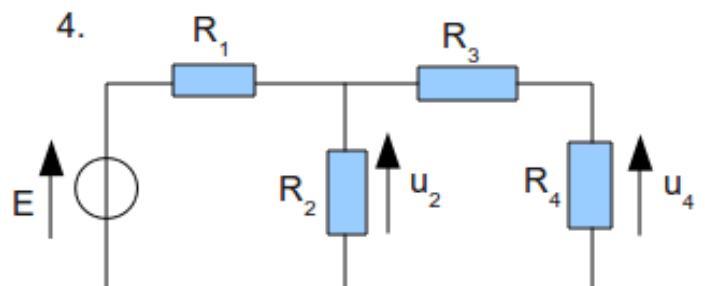
2.



3.



4.



6) Pont de Wheatstone

Un pont de Wheatstone est constitué de quatre résistances selon le montage ci-dessous.

1. Déterminer la valeur des courants I_1 , I_3 et I en fonction de E et des résistances du circuit.

En déduire les tensions U_1 et U_3

2. Retrouver la valeur des tensions U_1 et U_3 en utilisant la formule du diviseur de tension.

En déduire la valeur de la tension U .

Quelle doit-être la relation entre les résistances pour que U soit nulle ?

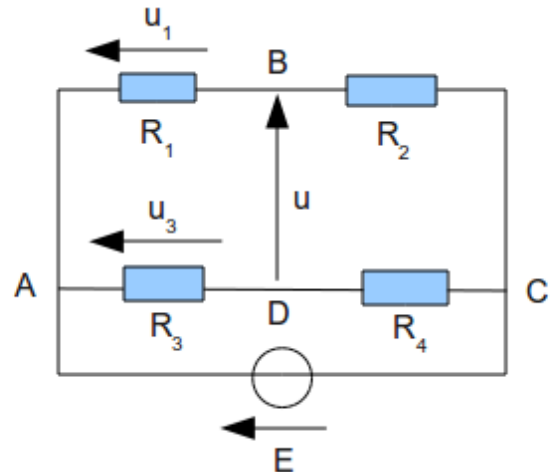
On dit alors que le pont est équilibré.

3. On branche maintenant entre les bornes B et D un ampèremètre de précision, que l'on modélise par un conducteur de résistance r .

a. A quelle condition sur les potentiels V_B et V_D l'ampèremètre indique-t-il zéro ?

b. Appliquer le théorème de Millman en B et D. En déduire que l'ampèremètre zéro quand les quatre résistances vérifient la relation trouvée à la question 2.

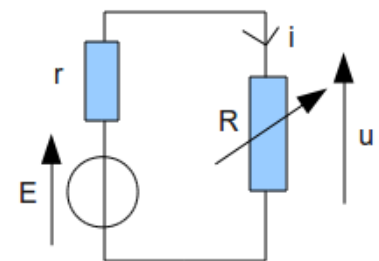
4. Les valeurs des résistances R_1 et R_4 étant connues très précisément et la résistance R_2 variable mais dont on peut lire la valeur, quel est l'intérêt d'un tel montage ?



7) Adaptation de puissance

On considère une résistance variable R alimentée par un générateur de tension, caractérisé par sa représentation de Thévenin de force électromotrice E et de résistance interne r .

On cherche à rendre maximale la puissance dissipée par effet Joule dans ce conducteur (c'est par exemple un radiateur électrique).



1. Déterminer l'expression de la puissance P reçue par le conducteur ohmique en fonction de E , R et r .

2. Montrer que P (fonction dépendant de la variable R) est maximale pour une valeur particulière de R .

On dit que le montage est alors adapté.

3. On définit le rendement du transfert thermique par $\eta = \frac{P}{P_{\text{gén}}}$ où $P_{\text{gén}}$ représente la puissance fournie par la force électromotrice E du dipôle.

Représenter graphiquement $\eta(R)$. Que vaut le rendement quand le montage est adapté ?

8) Utilisation d'une lampe

On a relevé quelques valeurs de tension et d'intensité pour une lampe, en convention récepteur :

U (V)	0	1	2,3	4	6	6,25	9
I (A)	0	0,2	0,3	0,4	0,49	0,5	0,56

On dispose d'une source idéale de tension de $fem E = 6 V$.

1. On désire que le courant dans la lampe soit de 0,4 A. Quelle valeur de résistance doit-on mettre en série avec la lampe pour que cette condition soit réalisée ?
2. Quelle est la puissance absorbée par la lampe ?

9) Point de fonctionnement d'une diode Zener

On a relevé la caractéristique statique d'un dipôle appelé diode Zener, en convention récepteur.

U (V)	0	2	4	6	6,2	6,4	6,6	6,8	7	7,2
I (mA)	0	0	0	0	50	100	150	200	250	300

1. Tracer la caractéristique $I = f(U)$. Échelles : 1 V/cm ; 50 mA/cm.
2. Comment se comporte ce dipôle pour U entre 0 et 6 V ? Pour U entre 6 V et 7,2 V, déterminer l'équation de la courbe $I = f(U)$ du dipôle, puis en déduire $U = f(I)$. En déduire le modèle de Thévenin de ce dipôle.
3. On associe à cette diode une pile de FÉM $E = 12 V$ et de résistance interne $r = 40 \Omega$. Déterminer le point de fonctionnement (valeur du courant I et de la tension U pour la diode lorsqu'elle est connectée à la pile), graphiquement et analytiquement.

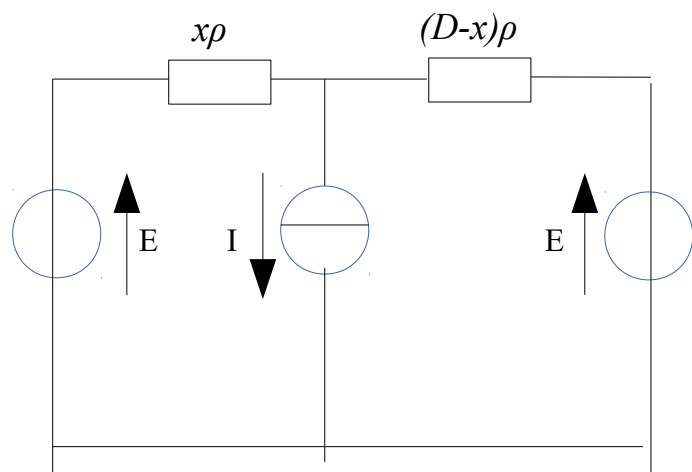
10) Étude d'une locomotive électrique

Une locomotive électrique est alimentée en courant continu. L'alimentation est réalisée par un ensemble de deux sous-stations distantes de D délivrant une tension E.

La motrice M est branchée entre les rails et la caténaire. On supposera que son moteur peut être modélisée par une source de courant I.

La caténaire présente une résistance par unité de longueur ρ et on négligera la résistance des rails.

Le système est donc équivalent à la figure suivante :



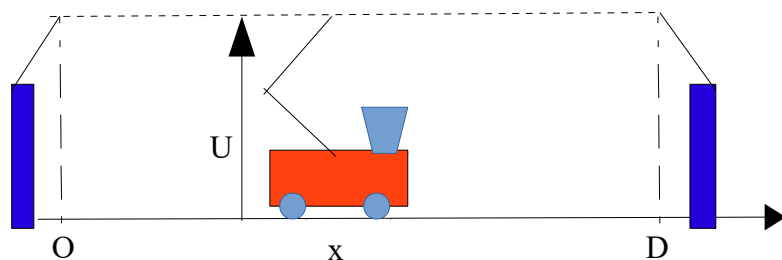
1. Exprimer la tension U aux bornes de la motrice en fonction de E , ρ , x , D et I .

2. En déduire la chute de tension $\Delta U = E - U$. Donner l'allure de la courbe donnant ΔU en fonction de x .

3. Déterminer l'expression de ΔU maximale. En déduire la valeur maximale de D entre deux sous-stations.

Données : $I = 800 \text{ A}$, $\rho = 5,00 \cdot 10^{-5} \Omega \cdot \text{m}^{-1}$

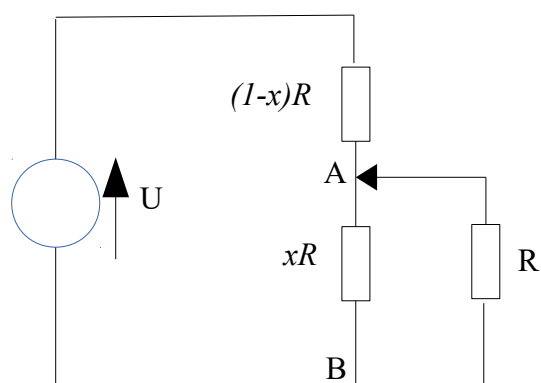
$$\Delta U_{\max} = 45,0 \text{ V}$$



L'alimentation électrique des trains s'effectue à l'aide d'une tension alternative d'amplitude $25\,000 \text{ V}$. Cette valeur est un compromis permettant de minimiser les pertes par effet Joule (augmentation de la tension au détriment du courant) sans être trop importante (problème d'isolation électrique à forte tension). Avec de telles tensions, la distance entre sous-stations est supérieure à la dizaine de kilomètres.

11) Étude d'un potentiomètre

On considère le circuit suivant, constitué d'un potentiomètre de résistance R alimenté par un générateur de tension U . Entre les points A et B est connecté une résistance R .



1. Déterminer le générateur de Thévenin équivalent vu depuis les points A et B.

On exprimera la *fem* de Thévenin E_T et la résistance interne de Thévenin R_T en fonction de E , x et R .

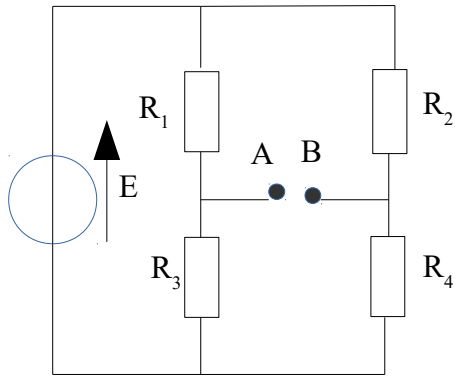
2. Calculer la puissance dissipée par la résistance R à droite de AB.

3. Calculer la puissance P_G fournie par le générateur.

4. Déterminer le rendement énergétique η du dispositif en fonction. Tracer η en fonction de x .

Pour quelle valeur de x le rendement est-il maximal ?

Les circuits de voiture électrique utilisent des potentiomètres intégrées à la manette pour contrôler la puissance injectée dans le moteur.

Exercice : étude d'un montage

On considère le montage ci-contre.

- 1) Calculer la tension U_{AB} par la méthode de votre choix.
- 2) A quelle condition sur les résistances cette tension est-elle nulle ?
- 3) On prend maintenant $R_3 = R_4 = R$ et les résistors R_1 et R_2 sont en fait des jauges de contrainte fixées sur une barre métallique. Lorsque celle-ci se déforme, les résistances R_1 et R_2 varient suivant une loi du type $R_1 = R + x$ avec $x \ll R$ et $R_2 = R - x$

Exprimer alors U_{AB} , mesurée par un voltmètre idéal (c'est à dire ayant une résistance d'entrée infinie) en fonction de R et x .

Montrer que dans la mesure où $x \ll R$, il y a proportionnalité entre la tension mesurée et x .

Voyez-vous une application à ce montage ?