

GENERATEURS ET RECEPTEURS ELECTRIQUES

Classe concernée : 1^{ère} S

(Biblio : Livre de 1^{ère} S Hachette)

INTRODUCTION

Thomas Edison (1847-1931) a réalisé la première « ampoule » électrique constituée d'un filament de carbone enfermé dans une ampoule de verre contenant une atmosphère privée de dioxygène. Cet objet, tout simple, a révolutionné l'éclairage de nos lieux de vie, mais aussi des animaux domestiques et des plantes cultivées. Ce dispositif, aussi appelé récepteur électrique, nécessite pour fonctionner un apport énergétique de la part d'un générateur électrique.

Nous présenterons dans ce montage les caractéristiques tension-intensité d'un générateur (pile) et d'un récepteur (électrolyseur) électriques et mettre en évidence les bilans énergétiques correspondants au point de fonctionnement.

I. MISE EN EVIDENCE DU TRANSFERT D'ENERGIE

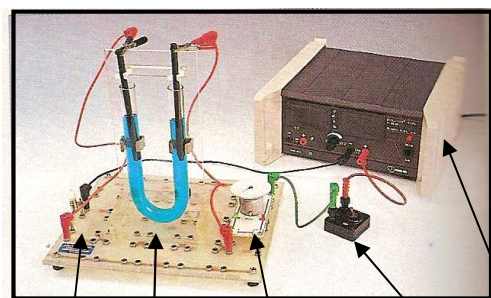
Matériel

- un générateur de tension continue
- 5 fils électriques
- un moteur
- un électrolyseur avec 2 électrodes de graphite
- une solution de bromure de cuivre
- une lampe

Protocole

Réaliser le montage série suivant et mettre en évidence que l'énergie électrique apportée par le générateur est convertie :

- en transfert thermique et rayonnement dans la lampe
- en travail mécanique dans le moteur
- en énergie chimique dans l'électrolyseur



Lampe

Electrolyseur

Moteur

Interrupteur

Générateur de tension

- Faire le lien avec la partie du programme de mécanique concernant la conservation de l'énergie mécanique, vue au chapitre précédent.

- Définition de la tension algébrique et de la puissance électrique fournie ou reçue : $P = U.I$ (vitesse de transfert énergétique : $P = We/\Delta t$)

- Aux bornes d'une résistance, $P = R.I^2$, puissance évacuée par effet Joule.

II. ETUDE D'UN GENERATEUR ELECTRIQUE : LA PILE

1. Caractéristique tension - intensité

Définition

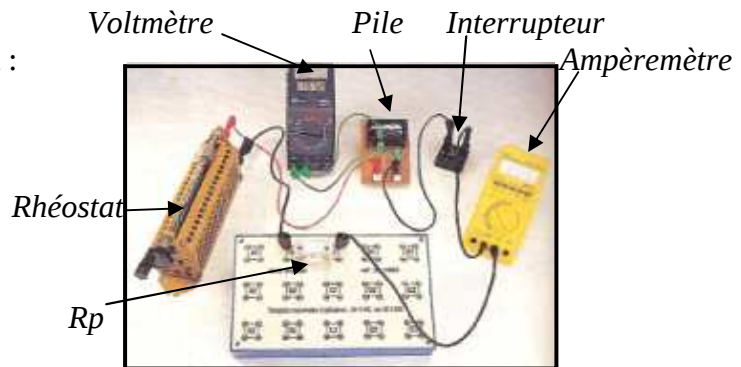
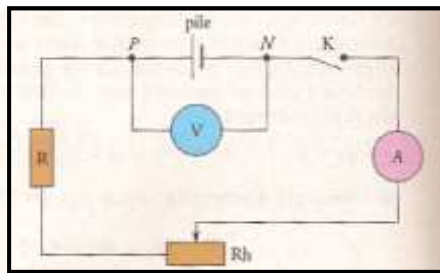
Une pile est un dispositif qui transforme une énergie chimique en énergie électrique, transmise au reste du circuit. On la caractérise par l'évolution de sa tension en fonction de l'intensité qui la traverse.

Matériel

- une pile de 4,5 V
- une résistance R_p de protection (12 ohms ; 2 watts)
- un rhéostat R_h (0-100 watts ; 2 A_{max})
- un ampèremètre
- un voltmètre
- 7 fils électriques
- un interrupteur

Protocole

Réaliser le montage en série suivant :



Les élèves ont vu en 3^{ème} la loi d'ohm. On peut exprimer $I = U/R$ aux bornes des résistances. On peut donc faire varier le courant dans le circuit électrique en jouant sur R_h .

- Remplir un tableau à 3 colonnes : R_h , I et U_{PN} .
- **Tracer $U_{PN} = f(I)$ sur tableur** ⁽¹⁾

On peut définir $P_{\text{élec}} = P_{\text{chim}} - P_{\text{joule}}$, avec $P_{\text{élec}} = U_{PN} \cdot I$; $P_{\text{chim}} = E \cdot I$; $P_{\text{joule}} = r \cdot I^2$ (E : fem de la pile et r : résistance interne de la pile), soit $U_{PN} = E - r \cdot I$

- **Déterminer** graphiquement E et r de la pile

(1) : faire en prépa la mesure de tous les points sauf un ou deux

Variante : mesurer E avec un voltmètre aux bornes de la pile. Puis, un rhéostat à ses bornes (en dérivation avec un voltmètre), faire varier R_h pour avoir $U_{Rh} = 0,5 \cdot U_{PN}$. Mesurer avec un ohmètre $R_h = r$.

Transition

Dans le circuit, les récepteurs sont purement ohmiques. Les élèves ont vu en 3^{ème} la caractéristique tension-intensité de ce genre de dipôle et peuvent définir alors un point de fonctionnement pour R_h fixé, pour lequel on peut établir un bilan énergétique.

2. Bilan énergétique

Protocole

- Se placer à un point de fonctionnement et on mesure avec le voltmètre les potentiels en différents points du circuit, en ayant au préalable défini un zéro (N).
- Dédire de I et U_{PN} $P_{\text{élec}}$ et P_{joule} du générateur.
- Remplir un tableau où, pour chaque point, est noté le potentiel associé.

On remarque que les potentiels vont en décroissant de P vers N et que I circule des potentiels les plus hauts vers ceux les plus bas (*cours*). Remarquer qu'il n'y a pas de ddp aux bornes d'un fil donc que la puissance est nulle.

- Déterminer les tensions aux bornes des dipôles Rh, A et Rp et appliquer l'expression de la puissance à chacun.
- Sommer ces puissances et observer que $P_{Rh} + P_{Rp} + P_A = P_{elec}$.
Soit $U_{Rh} + U_{Rp} + U_A = U_{PN}$ ou $(R_h + R_p + R_A) \cdot I = U_{PN}$

R : On retrouve, via la **conservation d'énergie électrique**, la loi d'additivité des tensions et de la **résistance équivalente**.

⇒ On peut ainsi déterminer R_A , la résistance de l'ampèremètre.

Transition

Paul Héroult (1868-1914), ingénieur métallurgiste français, déposa, le 23 avril 1896, un brevet, sous le titre *Procédé électrolytique pour la préparation de l'aluminium*. Sa mise en œuvre nécessite un apport important en énergie électrique bien qu'elle n'utilise pas que des récepteurs purement ohmiques.

III. ETUDE D'UN RECEPTEUR ELECTRIQUE : L'ELECTROLYSEUR

1. Caractéristique tension - intensité

Définition

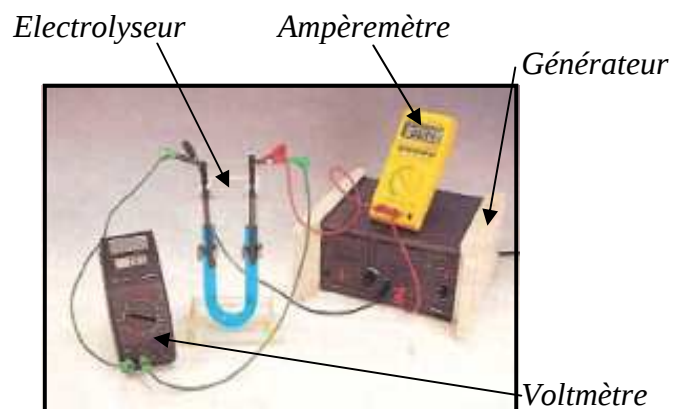
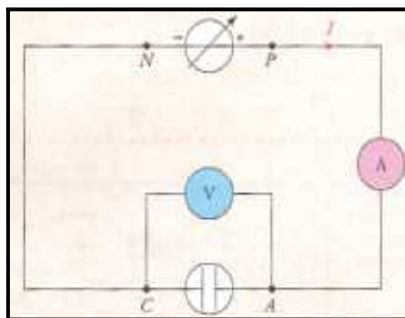
Un électrolyseur est un récepteur qui reçoit une énergie électrique d'un générateur et qui la transforme en énergie chimique et en transfert thermique (effet joule). On le caractérise également par l'évolution de sa tension en fonction de l'intensité qui le traverse.

Matériel

- un générateur de tension (6 V ; 30W_{max})
- un rhéostat Rh (0-100 watts ; 2 A_{max})
- un électrolyseur à électrodes de graphite rempli d'une solution de bromure de cuivre)
- un ampèremètre
- un voltmètre
- 6 fils électriques
- un interrupteur

Protocole

Réaliser le montage en série suivant :



- Faire varier I avec le rhéostat et noter I et U_{AC} .
- Tracer $U_{AC} = f(I)$ sur tableur ⁽¹⁾

On peut définir aux bornes de l'électrolyseur $P_{\text{élec}} = P_{\text{chim}} + P_{\text{joule}}$, avec $P_{\text{élec}} = U_{\text{AC}}.I$; $P_{\text{chim}} = E'.I$; $P_{\text{joule}} = r'.I^2$ (E' : fem de l'électrolyseur et r' : résistance interne de l'électrolyseur), soit $U_{\text{AC}} = E' + r'.I$

- **Déterminer** graphiquement E' et r' de l'électrolyseur

2. Bilan énergétique

Protocole

- Se placer à un point de fonctionnement et on mesure avec le voltmètre les tensions aux bornes d'électrolyseur, de l'ampèremètre et du générateur.
- Déduire de I et U_{AC} $P_{\text{élec}}$ et P_{joule} de l'électrolyseur.
- Faire de même pour le générateur et l'ampèremètre.
- Sommer ces puissances et observer que $P_{\text{AC}} + P_A = P_{\text{PN}}$. Et exprimer : $E' + r'.I + R_A.I = U_{\text{PN}}$ et donc $R_A = (U_{\text{PN}} - E')/I - r'$

⇒ On peut aussi retrouver R_A , la résistance de l'ampèremètre.

CONCLUSION

Les générateurs transmettent de l'énergie aux récepteurs d'un circuit électrique. Selon l'application que l'on souhaite développer, l'effet Joule sera favorisé (chauffage) ou réduit (moteur). Dans tous les cas, les générateurs et les récepteurs ohmiques ne pourront délivrer ou accepter une puissance supérieure à celle, maximale, donnée par le constructeur. Au-delà, comme $P_{\text{max}} = r.I_{\text{max}}^2 = U_{\text{max}}^2/r$, le courant circulant dans le dipôle ou la tension à ses bornes est si grand(e) qu'il le (la) dégrade. D'où l'intérêt d'utiliser pour les chauffages de grosses résistances pour lesquelles une plus importante énergie peut être dissipée par effet Joule.

Questions

Q1 Comment mesure-t-on la résistance interne d'un générateur ?

R1 On utilise la méthode de la tension moitié c'est-à-dire celle qui consiste d'abord à mesurer la tension à vide (E), puis à brancher un rhéostat en série avec le générateur et enfin à régler le rhéostat de manière à obtenir aux bornes du générateur une tension $U = E/2$. La valeur de la résistance du rhéostat est alors égale à celle du générateur.

Q2 Quels sont les constituants d'une pile :

- saline ?
- alcaline ?

R2 saline : compartiment anodique (borne moins) : Zn
 compartiment cathodique (borne plus) : $\text{MnO}_2 + \text{C}$
 électrolyte : chlorure d'ammonium et ou chlorure de zinc
 alcaline :
 l'électrolyte est formé par un gel de potasse.

Q3 Analogies et différences entre une pile et un accumulateur.

R3 Un accumulateur peut être rechargé, une pile ne le peut pas. La résistance interne d'un accu est très faible (0.01Ω), celle d'une pile est de quelques ohms. En conséquence, un accu peut être considéré comme un générateur de tension idéal.

Q4 Comment réalise-t-on une alimentation stabilisée ?

R4 On associe en cascade un transformateur, un pont redresseur, un dipôle RC pour le filtrage et un RIT (régulateur intégré de tension).

Q5 Pourquoi utilise-t-on des lignes à hautes tensions ?

R5 On utilise des tensions élevées pour transporter l'énergie électrique afin de réduire les pertes par effets Joule dans les lignes ($P = UI$).

Q6 Dans quel cas une bobine se comporte comme :

- un récepteur ?

- un générateur ?

R6 Bobine = récepteur si $p(t) > 0$ ($p(t)$ puissance reçue par la bobine).

Bobine = générateur si $p(t) < 0$.

Q7 Intérêts pratiques du conducteur ohmique.

R7 Limitation de I ; polarisation d'un circuit électronique ; visualisation de i à l'oscillo ; résistance chauffante.

Q8 Comment peut-on réaliser une résistance négative ? Quel est son intérêt ?

R8 "Montage AO + résistances" permet d'obtenir des oscillations entretenues.

Q9 Qu'appelle-t-on puissance nominale d'un élément ?

R9 Il s'agit de la puissance pour laquelle l'élément fonctionne dans les meilleures conditions.

Q10 La loi d'ohm a-t-elle la même expression en courant alternatif ?

R10 Oui à condition d'utiliser les valeurs instantanées de i et de u .

Q11 Citer plusieurs méthodes permettant de déterminer la résistance d'un conducteur ohmique.

R11 Méthode ampèremètre-voltmètre ; coefficient directeur de la caractéristique intensité-tension ; ohmmètre ; pont de Wheatstone.

Q11 Quel risque y a-t-il à utiliser le montage comportant un générateur de tension continue et un rhéostat pour faire l'étude de $U = f(I)$?

R11 Risque de court-circuiter le générateur.

Q12 Quelle précaution devrait-on prendre avec un tel montage ?

R12 Ajouter en série un conducteur ohmique adapté à l'intensité maximale admissible par le générateur.

6. Générateurs et récepteurs électriques.

Classe concernée : 1^{ère} S

Expérience	But	Matériel
1	Réaliser la caractéristique intensité - tension d'une pile. Etablir un bilan énergétique pour un fonctionnement donné.	Pile 4,5 V, résistance variable, résistance de protection (pour limiter I), ampèremètre, voltmètre, tableur.
2	Réaliser la caractéristique intensité - tension d'un électrolyseur. Etablir un bilan énergétique pour un fonctionnement donné.	Générateur de tension continue réglable, électrolyseur à électrodes en ferronickel contenant une solution d'hydroxyde de sodium de concentration 1 mol/L, 2 tubes à essais, carte ESAO, Génériss.

Extrait du BO

III - Electrodynamique

(durée indicative 15 heures, 5 TP)

Objectifs

Dans une première partie, on montre comment se transforme l'énergie dans un circuit électrique en soulignant l'importance de l'effet Joule, autant dans ses applications que dans ses inconvénients. A cette occasion l'élève va réinvestir les connaissances sur l'introduction à l'énergie. L'approche énergétique est privilégiée, mais c'est aussi l'occasion de s'approprier certaines lois de l'électrocinétique.

La seconde partie comporte l'étude des forces magnétiques sur les courants dont le rôle pratique est considérable; pour la première fois, une action à distance est décrite localement à l'aide d'un intermédiaire, un champ vectoriel: le champ magnétique; les caractéristiques de la force de Laplace sont précisées et l'utilisation de ces forces à la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique permet d'enrichir les bilans abordés en mécanique.

A - CIRCUIT ÉLECTRIQUE EN COURANT CONTINU

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
Interpréter en termes de transferts d'énergie qu'une lampe brille, qu'une résistance s'échauffe, qu'un moteur tourne.	1 - Transferts d'énergie au niveau d'un générateur et d'un récepteur. 1.1 Énergie électrique W_e reçue par un récepteur, traversé par le courant d'intensité I , pendant Δt : $W_e = (V_A - V_B) I \Delta t$ avec $U_{AB} = (V_A - V_B) > 0$ Puissance électrique du transfert: $P = U_{AB} I$. 1.2 Effet Joule: applications 1.3 Énergie électrique transférée du générateur au reste du circuit pendant la durée Δt : $W_e = (V_T - V_N) I \Delta t$ ($V_T - V_N$) = U_{TN} désigne la différence de potentiel ou tension entre les bornes positive et négative du générateur et I l'intensité du courant qui le traverse. Puissance électrique du transfert: $P = U_{TN} I$	Utiliser le principe de conservation de l'énergie pour faire un bilan qualitatif au niveau d'un récepteur. <i>Mesurer une différence de potentiel.</i> <i>Mesurer l'intensité d'un courant.</i> <i>Réaliser un circuit d'après un schéma conventionnel et dessiner le schéma d'un circuit réalisé.</i> Savoir que l'effet Joule est un effet thermique associé au passage du courant dans un conducteur.
Mesures de tensions et d'intensités dans un circuit série dans le but de calculer des grandeurs énergétiques.	1.4 Bilan du transfert d'énergie pendant la durée Δt Un récepteur absorbe une énergie électrique $U_{AB} I \Delta t$, en "dissipe" une partie $r.P. \Delta t$ et convertit le reste sous une autre forme (mécanique, chimique). Un générateur transforme partiellement une forme d'énergie (mécanique, chimique) $E.I \Delta t$ en énergie électrique disponible $U_{TN} I \Delta t$. Le complément $r.P. \Delta t$ est "dissipé" sous forme thermique par effet Joule.	Représenter sur un schéma une tension par une flèche. Savoir que, dans un circuit où il n'y a qu'un générateur, le potentiel électrique est une grandeur qui décroît de la borne positive vers la borne négative. Savoir que la grandeur "puissance électrique" permet d'évaluer la rapidité d'un transfert d'énergie.
Mesure du potentiel électrique de différents points d'un circuit par rapport à celui d'un point choisi comme référence; tracé d'un diagramme des potentiels le long d'un circuit.	2. Comportement global d'un circuit 2.1 Distribution de l'énergie électrique pendant la durée Δt: W_e (générateur) = $\sum W_e$ (récepteur) Justification énergétique des lois d'additivité des tensions et des intensités (loi des nœuds). 2.2 Étude des paramètres influant sur l'énergie transférée par le générateur au reste d'un circuit résistif: - Influence de la force électromotrice E - Influence des résistances et de leurs associations - Relation $I = E / R_{eq}$ - Puissance maximale disponible aux bornes d'un générateur, tolérée par un récepteur.	Utiliser l'additivité des résistances en série et des conductances en parallèle. Faire des prévisions quantitatives lors de la réalisation ou de la modification du circuit à partir de la relation $I = E / R_{eq}$.
Inventorier quelques manifestations de l'effet Joule dans la vie courante.		
Analyser l'influence de l'agencement des composants sur l'énergie transférée par le générateur au reste du circuit.		
Justification de l'utilisation de hautes tensions pour le transport de l'énergie électrique.		

Commentaires

Lors de l'étude des transferts d'énergie concernant un récepteur en régime permanent, l'approche du principe de conservation de l'énergie vue à la fin de la mécanique va permettre d'introduire simplement le fait que de l'énergie a nécessairement été transférée du générateur au récepteur. On utilise alors l'expression "d'énergie électrique transférée", notée W_e , de préférence à l'expression de "travail électrique" d'usage moins courant.

Pour les bilans, on utilise les conventions "récepteur" d'une part et "générateur" d'autre part. Les tensions sont automatiquement algébrisées car elles se présentent comme des différences de potentiel; comme seuls des circuits simples, parcourus par des courants continus, sont ici

étudiés, le sens du courant est clairement identifié et l'algèbrisation de l'intensité n'apparaît pas comme indispensable, l'intensité étant en pratique positive; ainsi We et P sont des grandeurs positives. Le professeur peut commencer à introduire l'algèbrisation de l'intensité en précisant simplement sur les schémas le sens d'orientation choisi pour le circuit mais cela ne constitue absolument pas une exigence du programme.

On attire l'attention sur le fait qu'il n'y a transfert d'énergie que si la portion de circuit considérée est soumise à une tension différente de zéro et est traversée par un courant dont l'intensité n'est pas nulle.

On insiste sur l'omniprésence de l'effet Joule, en justifiant que dans certains cas cet effet est mis au ring des pertes (dans les générateurs par exemple ou les lignes de transport) et que dans d'autres il s'agit d'un effet utile. L'étude de l'effet Joule est aussi l'occasion de rencontrer un nouveau mode de transfert de l'énergie: le rayonnement, toujours associé aux effets thermiques et même dominant dans certains radiateurs électriques et les lampes.

On n'étudie que des circuits comportant un seul générateur de tension; néanmoins le professeur peut mentionner le fait que les générateurs de tension continue sont souvent associés en série de manière à additionner les f.é.m. Les générateurs qui fournissent une tension (et un courant) continu à partir du "secteur" (souvent appelés: alimentations continues) possèdent en général un circuit électronique interne qui, si on respecte la limitation d'intensité indiquée, stabilise la tension aux bornes de sortie; dans ce cas l'alimentation est équivalente à un générateur de résistance interne négligeable et dont la f.é.m. E est égale à la tension aux bornes de sortie.

L'étude des paramètres influant sur l'énergie transférée par le générateur au reste du circuit permet d'insister sur le rôle de la résistance équivalente du circuit. On montre que finalement l'intensité du courant dépend de cette résistance et que, pour un circuit entièrement résistif, cette intensité est égale à E/R_{eq} . On exploitera cette relation que dans des situations où E est une constante du générateur. Les associations de conducteurs sont mises en œuvre dans le but de constater leur effet sur l'intensité du courant donc sur l'énergie délivrée par le générateur de tension. Il est important en revanche que l'élève retienne que les associations en série ont pour effet d'augmenter la résistance totale et que les associations en parallèle, en augmentant la conductance totale, aboutissent à une résistance plus faible que la plus petite d'entre elles.

On peut souligner que les installations domestiques utilisent des associations en parallèles aux bornes de l'installation.