

Chapitre 14 : Générateurs et récepteurs

I. Générateurs

1. Qu'est-ce qu'un générateur ?

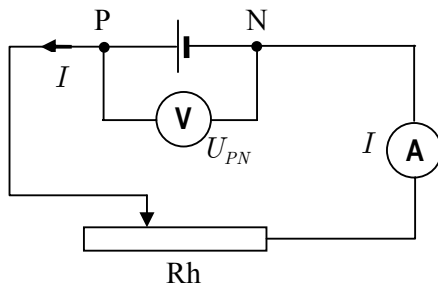
Passons en revue les appareils usuels qui assurent la circulation des courants dans les circuits :

- Un **alternateur**, pour l'éclairage d'une bicyclette, demande une dépense de *travail* musculaire.
- Une **dynamo** industrielle est toujours entraînée par une machine, qui peut être : une *machine thermique* (turbine à vapeur, moteur à explosions) qui utilise *l'énergie thermique* tirée d'une combustion; une *turbine hydraulique*, une *hélice mue par le vent*; on tire parti du *travail* fourni par de l'eau ou de l'air en mouvement.
- Un **accumulateur** est le siège, pendant son fonctionnement, de réactions chimiques, nées de l'électrolyse, qui absorbent de *l'énergie chimique*.
- Une **pile** possède, par fabrication, un certain capital *d'énergie chimique*, qu'elle épuise au cours de son fonctionnement.
- Une **cellule photoélectrique** reçoit de *l'énergie lumineuse* qu'elle transforme en énergie électrique.

Ainsi, dans tous les cas, un générateur ne crée pas d'énergie; il en reçoit, il en donne.

Définition : Un générateur est un appareil qui transforme une forme quelconque d'énergie en énergie électrique.

2. Expérience



A l'aide du rhéostat Rh on diminue la résistance du circuit extérieur

⇒ L'intensité I augmente.

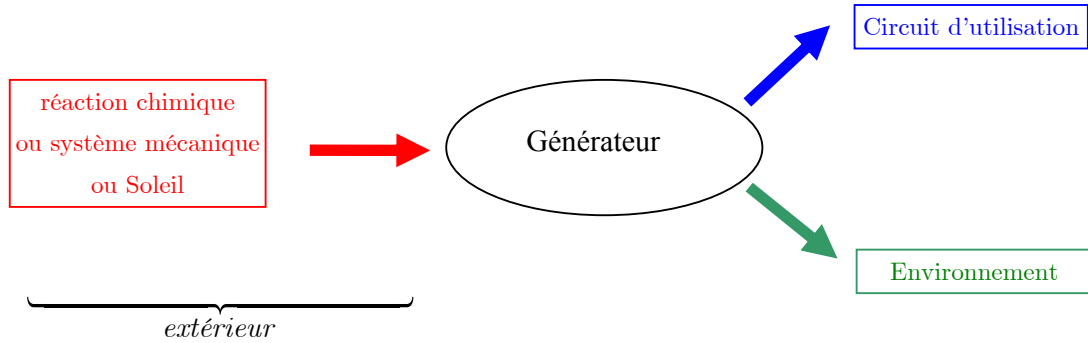
On constate alors que la tension U_{PN} aux bornes du générateur diminue !

Explication:

L'expérience montre qu'une dynamo, un accumulateur, une pile en fonctionnement sont le siège d'un dégagement de chaleur, dû à l'effet Joule. Ils introduisent donc, dans le circuit qu'ils alimentent, une résistance supplémentaire, leur **résistance interne** ou **intérieure** r .

A circuit fermé, le courant traverse également le générateur. La résistance interne provoque dès lors une *chute de tension* $U_r = rI$ et par suite une *diminution de la tension disponible* aux bornes du générateur au fur et à mesure que I augmente.

3. Bilan énergétique ^[1]



Soient

- $\mathcal{P} = U_{PN} I$ la puissance utile (disponible) communiquée au circuit d'utilisation;
- $\mathcal{P}_{th} = rI^2$ la puissance thermique dissipée dans le générateur par effet Joule;
- \mathcal{P}_g la puissance (venant de l'extérieur) que le générateur transforme = puissance totale fournie par le générateur (aux électrons).

On a:
$$\mathcal{P}_g = \mathcal{P} + \mathcal{P}_{th}$$

ou bien
$$\mathcal{P}_g = U_{PN} I + rI^2 \quad (1)$$

4. Loi d'Ohm pour un générateur

- La division de (1) par I donne
$$\frac{\mathcal{P}_g}{I} = U_{PN} + rI \quad (2)$$

Le rapport \mathcal{P}_g/I représente la puissance électrique totale fournie par le générateur par unité d'intensité de courant qui le parcourt. Ce rapport est une *grandeur de même nature qu'une tension électrique*. Par abus de langage on l'appelle **force électromotrice** ou **faculté électromotrice (fém) E** du générateur. Cette fém peut servir à caractériser *numériquement l'aptitude du générateur à faire circuler un courant* en communiquant de l'énergie aux électrons qui le traversent.

- On a:
$$E = \frac{\mathcal{P}_g}{I} \quad \text{et} \quad [E] = 1 \frac{W}{A} = 1 \frac{J}{As} = 1 \frac{J}{C} = 1 \frac{Nm}{C} = 1 \frac{Vm}{m} = 1V$$

⇒ Numériquement la fém exprime en V le nombre de J cédés à chaque C.

[1] Réservoir d'énergie qui voit son énergie totale varier lorsqu'il reçoit ou cède de l'énergie.
 Système convertisseur d'énergie dont l'énergie totale ne varie pas et qui transforme seulement l'énergie qu'il reçoit.

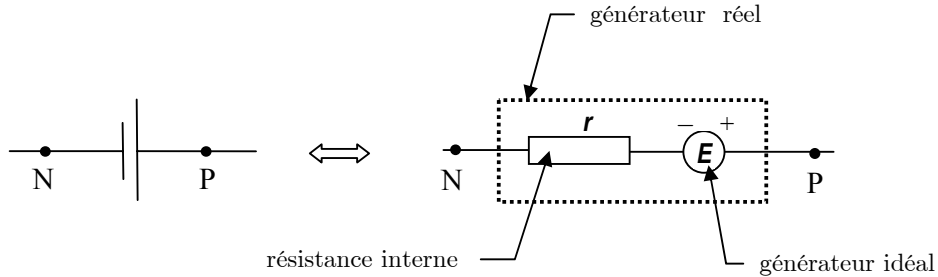
- La relation (2) donne pour la tension U_{PN} qui existe aux bornes du générateur :

$$U_{PN} = E - rI$$

Formule d'Ohm pour un générateur

L'intensité $I = I_{NP}$ est l'intensité du courant qui circule de N vers P dans la portion de circuit comprenant le générateur.

- On pourra utilement retrouver cette relation à l'aide du *modèle de Thévenin*:



- Pour $I = 0$, $U_{PN} = E$: La fém d'un générateur est la tension à ses bornes, s'il n'est pas parcouru par un courant électrique. Voilà pourquoi on appelle la fém encore la **tension à vide** du générateur.
- La fonction affine $U_{PN} = E - rI$ a pour représentation graphique une *droite descendante* ne passant pas par l'origine caractérisée par

l'ordonnée à l'origine E et la pente $\frac{\Delta U_{PN}}{\Delta I} = -r$.

Cette droite est appelée **caractéristique intensité-tension** du générateur.

- **L'intensité de court-circuit** I_{cc} d'un générateur est l'intensité qu'il débite quand on met ses 2 pôles en court-circuit (ce qui, en pratique, n'est pas recommandé).

P et N en court-circuit : $V_P = V_N \Rightarrow U_{PN} = V_P - V_N = 0$

d'où: $E - rI_{cc} = 0 \Rightarrow I_{cc} = E/r$

La caractéristique intensité-tension coupe l'axe des intensités à l'abscisse I_{cc} .

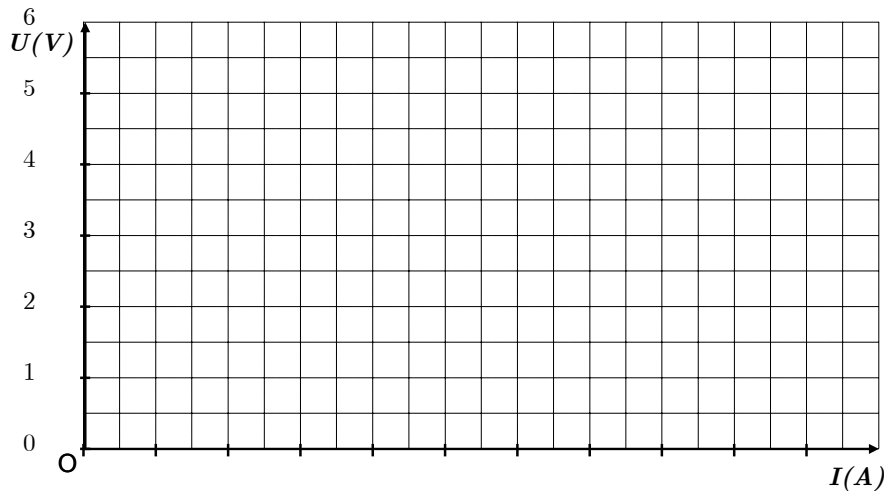
5. Vérification expérimentale de la loi d'Ohm pour un générateur

Utilisons le montage décrit sous 2.

Pour différentes valeurs de I mesurons $U_{PN} = U$

$I(A)$	0,0	0,5	0,9	1,2	1,6	2,0
$U(V)$	4,5	4,0	3,5	3,1	2,7	2,2

Représentation graphique de la tension U en fonction de l'intensité I



6. Rendement du générateur

Le rendement est le quotient entre la puissance utile (celle qui apparaît dans le circuit extérieur) et la puissance totale (venant de l'extérieur).

$$\eta = \left| \frac{\mathcal{P}}{\mathcal{P}_g} \right| = \frac{U_{PN}I}{EI} = \frac{U_{PN}}{E} = \frac{E - rI}{E} = 1 - \frac{rI}{E} = 1 - \frac{I}{E/r} = 1 - \frac{I}{I_{cc}} < 1$$

II. Récepteurs

1. Qu'est-ce qu'un récepteur ?

- Les **moteurs électriques** sont des récepteurs qui transforment la majeure partie de l'énergie électrique qu'ils reçoivent en *énergie mécanique*.

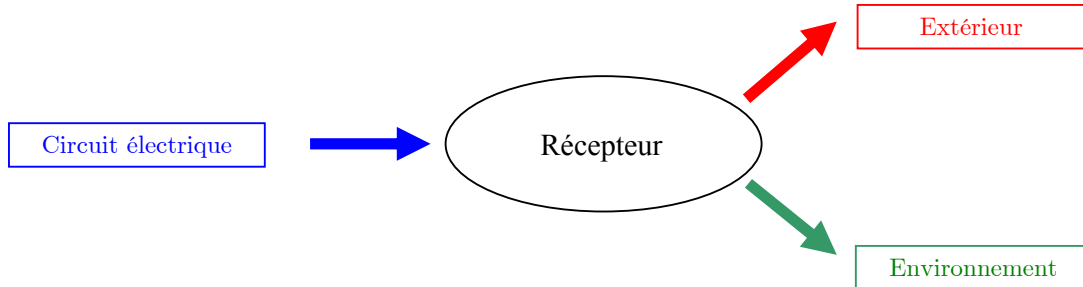
Les moteurs fonctionnent le plus souvent en **courant alternatif**. Cependant, lorsqu'on a besoin de moteurs puissants à vitesse variable, les moteurs alimentés en courant alternatif sont inadapés et ils doivent être remplacés par des moteurs en **courant continu**. La traction électrique, en particulier, utilise des moteurs à courant continu. (Ex.: Le métro parisien est alimenté sous tension continue de 750 V. Les motrices électriques des CFL tirent leur énergie d'une caténaire sous tension alternative de 25 kV, mais possèdent, à bord, des redresseurs qui délivrent un courant continu. Les locomotives Diesel de forte puissance sont mues par des moteurs électriques; dans ce cas, le moteur Diesel ne sert pas directement à la traction, mais à entraîner un groupe électrogène qui produit le courant continu alimentant les moteurs de traction.)

- Les **électrolyseurs** ou voltamètres sont des récepteurs dans lesquels l'énergie électrique reçue sert, pour l'essentiel, à produire de *l'énergie chimique*.
- Une **batterie d'accumulateurs branchée en opposition** dans un circuit se comporte comme un récepteur : *l'énergie électrique* fournie par le générateur se transforme en énergie chimique dans les accumulateurs en opposition. On dit *qu'on recharge* la batterie.

Définition : Un récepteur est un dipôle dans lequel une partie de l'énergie électrique est transformée en une forme d'énergie autre que l'énergie thermique.

2. Bilan énergétique

Considérons un dipôle AB qui représente un récepteur quelconque. Soit r' sa **résistance interne**.



Soient

- $\mathcal{P}_t = U_{AB} I$ la puissance totale reçue par le dipôle-récepteur;
- $\mathcal{P}_{th} = r'I^2$ la puissance thermique dissipée dans le récepteur par effet Joule;
- \mathcal{P}_u la puissance consommée sous une forme autre que thermique = la puissance utile fournie par le récepteur à l'extérieur (puissance mécanique utilisable [moteur]; puissance emmagasinée sous forme chimique dans les produits de l'électrolyse [électrolyseur]).

On a:
$$\mathcal{P}_t = \mathcal{P}_u + \mathcal{P}_{th}$$

ou bien
$$U_{AB}I = \mathcal{P}_u + r'I^2 \quad (3)$$

3. Loi d'Ohm pour un récepteur

- La division de (3) par I donne
$$U_{AB} = \frac{\mathcal{P}_u}{I} + r'I \quad (4)$$

Le rapport \mathcal{P}_u/I représente la puissance utile (autre que thermique) fournie par le récepteur par unité d'intensité de courant qui le parcourt. Ce rapport est une *grandeur de même nature qu'une tension électrique*. Par abus de langage on l'appelle **force (faculté) contre-électromotrice (fcém) E'** du récepteur.

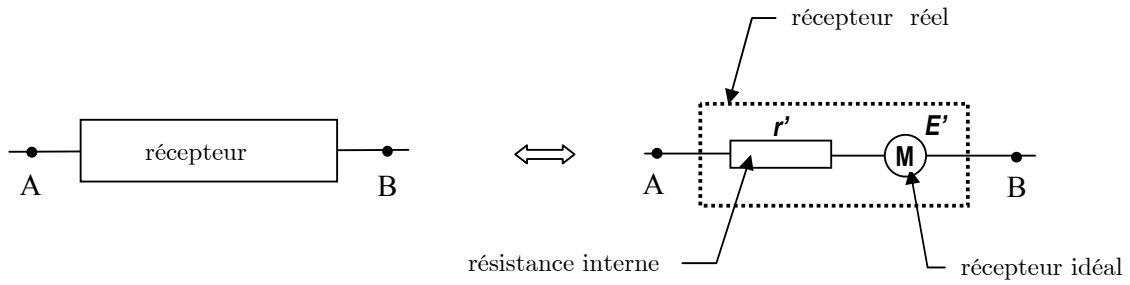
- La formule (4) s'écrit:

$$U_{AB} = E' + r'I$$

Formule d'Ohm pour un récepteur

avec $I = I_{AB}$ l'intensité du courant qui circule de A vers B dans la portion de circuit qui comprend le récepteur.

- *Modèle de Thévenin* d'un récepteur



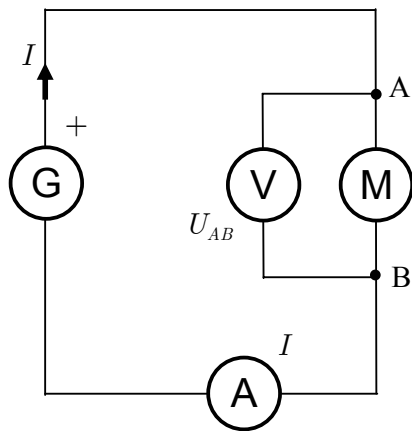
- La fonction affine $U_{AB} = E' + r'I$ a pour représentation graphique une *droite ascendante* ne passant pas par l'origine caractérisée par

l'ordonnée à l'origine E' et la pente $\frac{\Delta U_{AB}}{\Delta I} = + r'$.

Cette droite est appelée **caractéristique** intensité-tension du récepteur.

4. Vérification expérimentale de la loi d'Ohm pour un récepteur

- Réalisons le montage suivant:



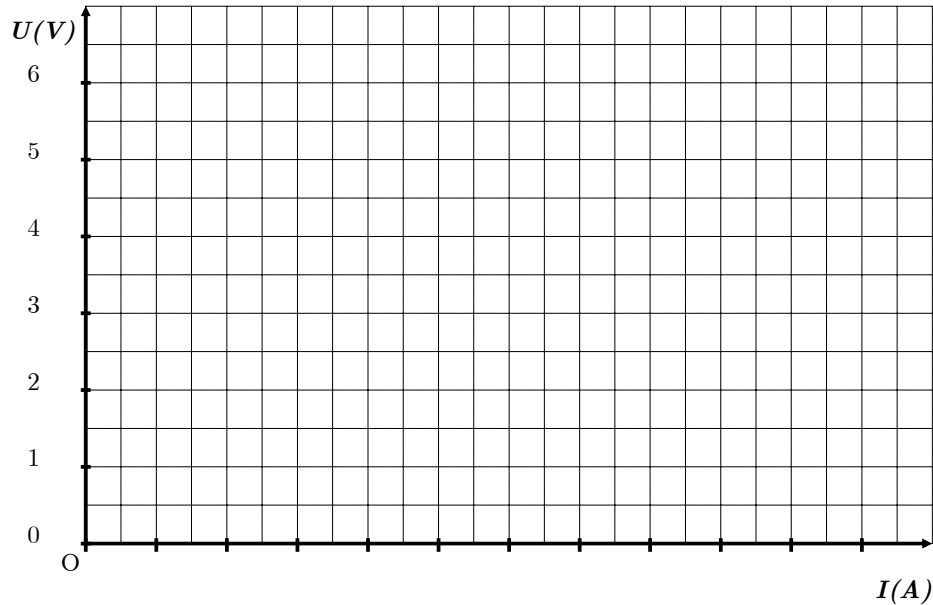
Le voltmètre mesure la tension $U = U_{AB}$ aux bornes du moteur.

L'ampèremètre mesure l'intensité I qui traverse le moteur.

Faisons varier la tension U appliquée au moteur et mesurons les valeurs correspondantes de I .

$U(V)$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
$I(A)$	0,15	0,40	1,10	1,50	1,80	2,40	2,90	3,40	3,90	4,35	4,80	5,30

- **Représentation graphique de la tension U en fonction de l'intensité I**



- $I = 0$ conduit à $U = E'$: ordonnée à l'origine de la caractéristique.
 \Rightarrow Lorsque la tension U varie, c'est à partir de la tension $U = E'$ qu'un courant commence à traverser le récepteur.
 En d'autres termes : *La f.c.ém E' d'un récepteur représente la tension minimale qu'il faut appliquer à ses bornes pour qu'il puisse fonctionner.*

- *Remarque: Cas d'un **moteur bloqué***

Considérons un moteur qui se trouve empêché de tourner. Le moteur est traversé par un courant et il ne fournit aucune puissance utile (mécanique) :

$$\mathcal{P}_u = E'I \quad \text{et} \quad I \neq 0 \quad \Rightarrow \quad E' = 0 \quad .$$

Le moteur possède une résistance interne r' (résistance de l'enroulement qui le constitue); **bloqué** il joue le même rôle qu'un **conducteur ohmique**.

Dans la pratique, il est *vivement déconseillé* de "bloquer un moteur", car il est alors parcouru par un courant anormalement intense qui risque de le détériorer.

5. Rendement d'un récepteur

Le rendement d'un récepteur est le quotient entre la puissance utile qu'il produit (mécanique ou chimique) et la puissance totale qu'il reçoit.

$$\eta' = \left| \frac{\mathcal{P}_u}{\mathcal{P}_t} \right| = \frac{E'I}{U_{AB}I} = \frac{E'}{U_{AB}} = \frac{E'}{E' + r'I} = \frac{1}{1 + \frac{r'I}{E'}} < 1$$

III. Circuits avec générateurs et récepteurs : Loi de Pouillet ^[2]

Considérons le circuit ci-contre comprenant 2 générateurs de fém E_1 resp. E_2 et de résistances internes r_1 resp. r_2 en série avec un conducteur ohmique de résistance R et 2 récepteurs de fém E'_1 resp. E'_2 et de résistances internes r'_1 resp. r'_2 .

De façon générale : Lorsqu'il y a plusieurs générateurs et plusieurs récepteurs et conducteurs ohmiques dans un circuit fermé, on a :

$$\sum f_{\text{ém}} - \sum f_{\text{cém}} = (\sum \text{résistances}) \cdot I \quad \text{Loi de Pouillet}$$

COMPREHENSION

1 Vrai ou faux ? La tension aux bornes d'un accumulateur est toujours inférieure à sa fém.

2 Quelle condition doit remplir un générateur pour assurer une alimentation à tension constante ?

3 Quelle est la valeur maximale de l'intensité du courant électrique que peut débiter un générateur ? Quand l'intensité prend-elle cette valeur ?

4 Electrolyseur

Décrire le comportement d'un électrolyseur lorsque la tension à ses bornes est

- inférieure à sa force contre-électromotrice ;
- supérieure à sa force contre-électromotrice.

Quelles sont les énergies reçues par ce dipôle dans les deux cas. Donner pour les deux cas la relation entre tension et intensité du courant électrique.

5 Générateurs et récepteurs

Un circuit comprend un chargeur (9 V ; 0,1 Ω), et deux accumulateurs identiques (8,5 V ; 0,2 Ω) en parallèle en train d'être chargés.

- 1) Dessiner le schéma du circuit.
- 2) Ecrire la relation donnant la tension aux bornes du chargeur.
- 3) Ecrire la relation donnant la tension aux bornes d'un des accumulateurs.
- 4) Quelle est la tension aux bornes de l'autre accumulateur ?
- 5) Pourquoi les intensités à travers les deux accumulateurs doivent-elles être égales ?
- 6) Calculer l'intensité à travers l'un des accumulateurs.

^[2] **POUILLET Claude**, physicien français, (1790-1868). Il établit les lois des courants, introduisit les notions de fém et de résistance interne des générateurs, et inventa la boussole des tangentes.

IV. EXERCICES

1. Générateur

La différence de potentiel aux bornes d'un générateur est de 8,75 V lorsqu'il débite un courant d'intensité 1,3 A et de 7,50 V lorsque le courant vaut 1,8 A.

Calculer la fém et la résistance interne de ce générateur.

2. Générateur

Un générateur a une fém $E = 11$ V et une résistance interne $r = 5,5 \Omega$.

- Exprimer, en fonction de l'intensité I débitée :
 - la tension entre les bornes de ce générateur ;
 - la puissance utile fournie par ce générateur ;
 - son rendement électrique.
- Tracer la courbe représentant $P_u = f(I)$. Pour quelle valeur de l'intensité la puissance est-elle maximale ?

3. Moteur

Un moteur électrique a une fcém $E' = 100$ V et une résistance interne $r' = 4 \Omega$.

- Quelle est l'intensité de courant qui traverse le moteur, si la tension à ses bornes vaut 110 V ?
- Quelle est la tension à appliquer pour qu'il soit traversé par un courant d'intensité 4 A ?

4. Moteur

Un moteur électrique de résistance $0,8 \Omega$ est parcouru par un courant de 10 A lorsqu'il est alimenté sous une tension de 90 V.

Déterminer :

- sa fcém ;
- la puissance absorbée ;
- la puissance utile fournie par ce moteur ;
- son rendement électrique.

5. Accumulateur et moteur

Un accumulateur de fém $E = 12$ V et de résistance interne $r = 1 \Omega$ alimente un moteur électrique de fcém $E' = 10$ V et de résistance interne $r' = 2 \Omega$.

Déterminer :

- l'intensité de courant dans le circuit ;
- la tension entre les bornes de l'accumulateur ;
- la puissance utile fournie par le moteur ;
- le rendement du moteur.

6. Générateur et moteur de pompe

Un générateur ($E = 12$ V ; $r = 0,1 \Omega$) alimente un moteur de pompe ($E' = 6$ V ; $r' = 0,5 \Omega$).

- Quelle sera l'intensité de courant dans le circuit, si le moteur est directement relié au générateur ?
- Il peut arriver qu'un caillou bloque la pompe (le moteur ne tourne plus). Quelle sera alors l'intensité de courant ?

- c) Au-delà d'une intensité de 12 A, le moteur risque de se détériorer. Quelle résistance minimale R faut-il brancher en série, pour qu'en cas de blocage, l'intensité ne dépasse pas la valeur limite ?

7. Moteur

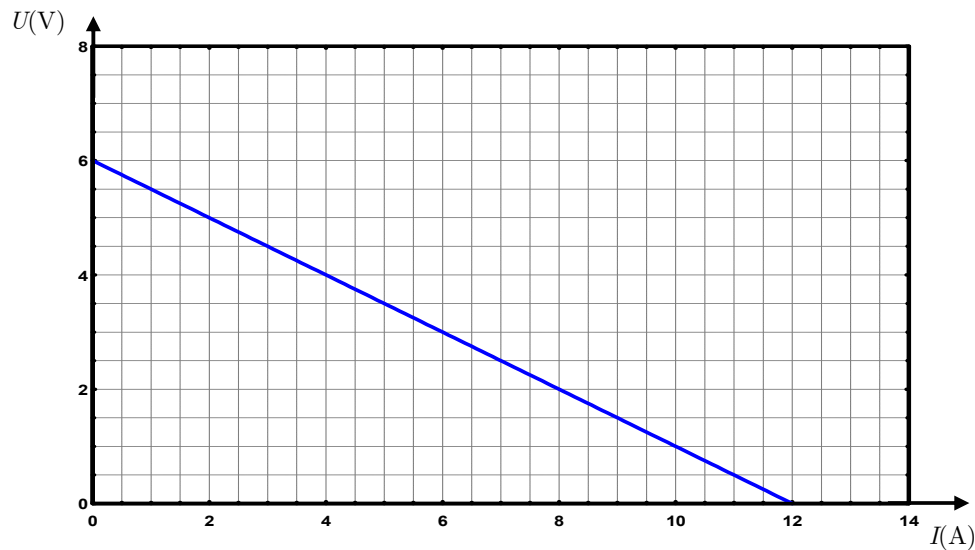
Un moteur électrique fournit une puissance mécanique utile de 1500 W et dissipe simultanément par effet Joule une énergie de 15 kJ par minute.

Calculer :

- la puissance électrique totale consommée par le moteur ;
- l'énergie consommée par le moteur en une heure ;
- le rendement de ce moteur dans les conditions de fonctionnement précédentes.

8. Caractéristique tension-intensité

On enregistre la caractéristique suivante :



- Etablir à partir du graphique l'équation de cette caractéristique. Quel appareil présente une telle caractéristique ? Faire un schéma du montage expérimental.
- Expliquer les transformations d'énergie qui ont lieu.

9. Génératrice

Une génératrice de courant continu convertit une puissance mécanique de $\mathcal{P}_m = 1,86$ kW en énergie électrique. La tension à ses bornes est de 112 V et elle débite un courant électrique de 14,2 A.

- Calculer la puissance électrique fournie par cette génératrice au circuit extérieur.
- Calculer la puissance du transfert thermique dissipé par effet Joule.
- Quelles sont la fém de la génératrice ainsi que sa résistance interne r ?
- Sous forme d'un schéma, faire un bilan d'énergie de cette génératrice en terme de puissance.

10. Pile électrochimique

On se propose de tracer la caractéristique $U_{PN} = f(I)$ d'une pile électrochimique en utilisant comme instrument de mesure deux multimètres. On dispose également d'un rhéostat et des fils de jonction nécessaires.

- Faire le schéma du montage électrique permettant d'effectuer ce tracé. Préciser le rôle de chacun des multimètres employés.
- Les différentes mesures sont consignées dans le tableau suivant :

I (mA)	0	100	200	300	400	500	600
U_{PN} (V)	4,7	4,54	4,40	4,27	4,13	3,98	3,82

Tracer la caractéristique de la pile. Caractériser la fonction $U_{PN} = f(I)$. En utilisant le tracé, déterminer la f.é.m. E de la pile et sa résistance interne r .

- Si la pile était court-circuitée, quelle serait alors l'intensité I_{cc} du courant électrique ?

11. Moteur électrique

Un moteur électrique ($E' = 4$ V, $r' = 4$ Ω) est alimenté par un générateur ($E = 12$ V, $r = 2$ Ω).

- Calculer la tension aux bornes du moteur et l'intensité qui le traverse.
- Le moteur est bloqué. Que deviennent la tension et l'intensité ?

12. Cellule à électrolyse

Une cellule à électrolyse a une fém $E' = 1,6$ V et une résistance interne $r' = 0,1$ Ω .

- On applique une tension $U_1 = 2,1$ V. Calculer l'intensité I_1 du courant qui traverse la cellule à électrolyse.
- On veut que l'intensité du courant soit $I_2 = 8$ A. Quelle est la tension U_2 à appliquer ?
- Calculer dans le cas a) la puissance électrique reçue par la cellule ainsi que la puissance dissipée par effet Joule.
- En déduire le rendement de la transformation d'énergie dans l'électrolyseur.
- On veut que la puissance électrique consommée par l'électrolyseur soit de 15,5 W. Quelle tension faut-il appliquer ?

13. Pile

Une pile a une force électromotrice $E = 1,5$ V et une résistance interne $r = 0,5$ Ω .

On monte cette pile en court-circuit. Quelle est la puissance dissipée par effet Joule ?

14. Pile

Une pile de fém $E = 4,5$ V et de résistance interne $r = 2$ Ω est branchée aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance R . L'intensité du courant qui traverse le circuit est $I = 0,3$ A.

- Déterminer la tension aux bornes de la pile et la puissance électrique qu'elle fournit.
- Calculer la valeur de la résistance R .
- Calculer la puissance totale dissipée par effet Joule dans ce circuit.

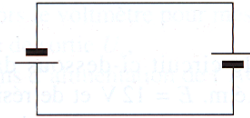
15. Générateur

Un générateur de fém $E = 33$ V débite un courant d'intensité $I = 11$ A lorsqu'il est connecté à un conducteur ohmique de résistance $R = 2,5$ Ω . Calculer :

- a) la puissance dissipée par effet Joule dans le conducteur ohmique ;
- b) la puissance totale disponible dans le générateur ;
- c) la puissance dissipée par effet Joule dans le générateur ;
- d) la résistance interne du générateur.

16. Association de piles

On considère le circuit suivant formé de deux piles de même fém $E = 4,5 \text{ V}$ et de même résistance interne $r = 1,5 \Omega$.

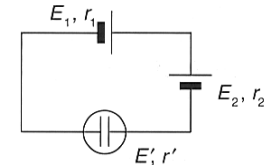


- a) Calculer l'intensité du courant qui traverse le circuit.
- b) Calculer la puissance totale dissipée par effet Joule.
- c) Reprendre les mêmes questions après avoir inversé le sens de l'une des deux piles.

17. Circuit électrique

On considère le circuit suivant comportant l'association en série de deux accumulateurs (E_1, r_1) et (E_2, r_2) , et d'un électrolyseur (E', r') :

$E_1 = 12 \text{ V}; r_1 = 4 \Omega; E_2 = 4 \text{ V}; r_2 = 3 \Omega; E' = 3 \text{ V}; r' = 2 \Omega$



- a) Déterminer le sens et l'intensité du courant dans le circuit.
- b) Comment fonctionne l'accumulateur 2 ?

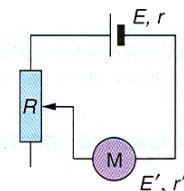
Calculer:

- c) la puissance totale fournie par l'accumulateur 1 ;
- d) la puissance électrique reçue par l'accumulateur 2 ;
- e) la puissance électrique reçue par l'électrolyseur.

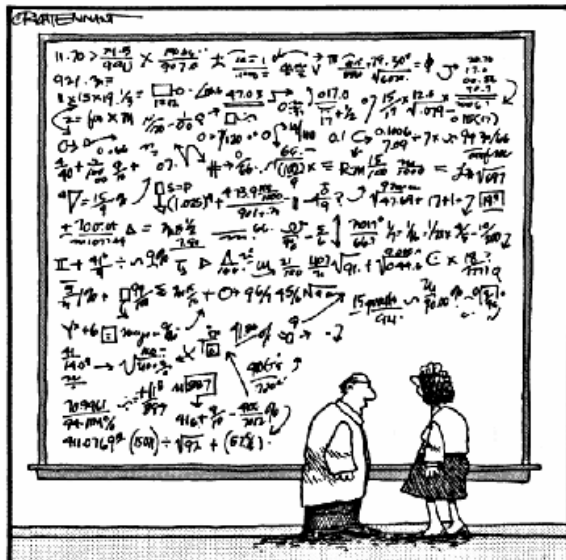
18. Réglage d'un moteur

On donne le circuit suivant dans lequel une batterie d'accumulateurs de fém $E = 12 \text{ V}$ et de résistance interne $r = 5 \Omega$ alimente un moteur électrique de fém $E' = 6,5 \text{ V}$ et de résistance interne $r' = 1,5 \Omega$ par l'intermédiaire d'un rhéostat R .

L'intensité maximale supportée par le moteur électrique vaut $I_{max} = 500 \text{ mA}$. A quelle valeur doit-on régler la résistance du rhéostat lorsque le moteur est en fonctionnement ?



En fait, le rhéostat sert aussi de rhéostat de protection destiné à limiter l'intensité du courant dans le moteur lorsque celui-ci ne tourne pas; quelle doit être la valeur minimale de la résistance du rhéostat pour assurer une protection efficace du moteur ?



"WHAT EXACTLY ARE WE SAYING HERE?"