

Maquette moteur

L'ensemble de cette maquette permet de réaliser différentes études:

- étude du transfert d'énergie électrique en énergie mécanique à l'aide d'un moteur, puis mécanique en électrique à l'aide d'une génératrice, mesure de la puissance mécanique, du rendement moteur, du rendement génératrice et du rendement de l'ensemble.
- étude d'un solide en rotation autour d'un axe fixe, relation entre la valeur de la vitesse linéaire et la vitesse angulaire.
- étude du transfert d'énergie lumineuse en énergie mécanique à l'aide d'une cellule photoélectrique et d'un moteur électrique.

I/ Transformation d'énergie électrique en mécanique et réciproquement

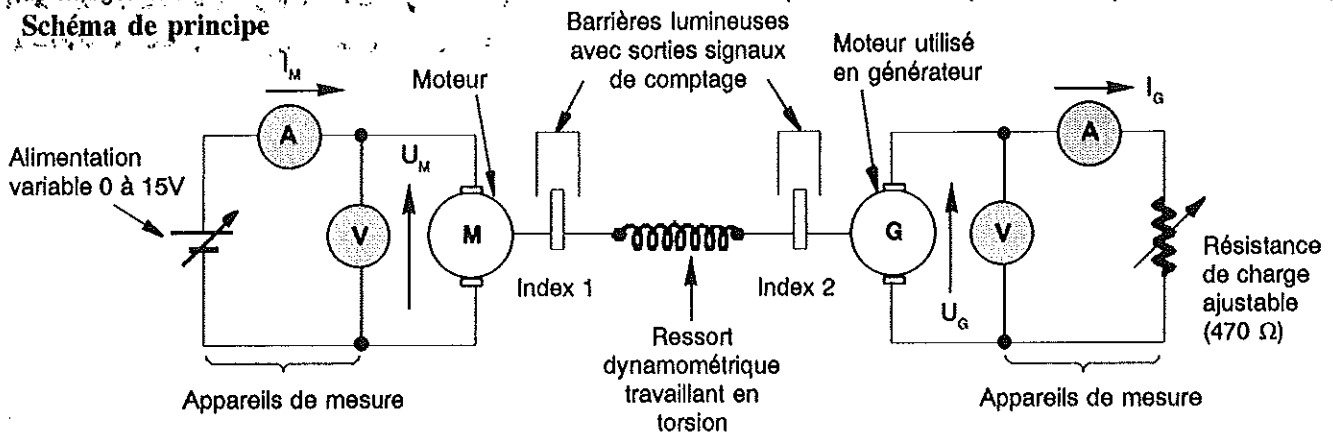
a/ Principe

2 moteurs électriques à courant continu, l'un fonctionnant en moteur, l'autre en génératrice, sont reliés mécaniquement l'un à l'autre par un ressort dynamométrique travaillant en torsion.

2 barrières lumineuses obturées chacune d'elle par un index solide du moteur et de la génératrice permettent de mesurer à l'aide d'un oscilloscope ou d'un chronomètre (GBF 2000 ou CHRONOS), la vitesse de rotation de l'ensemble et l'angle de torsion du ressort dynamométrique.

Un voltmètre et un ampèremètre connectés à la génératrice permettent de mesurer la puissance électrique fournie à la résistance de charge. Le voltmètre et l'ampèremètre branchés au moteur donnent la puissance électrique absorbée par le moteur électrique.

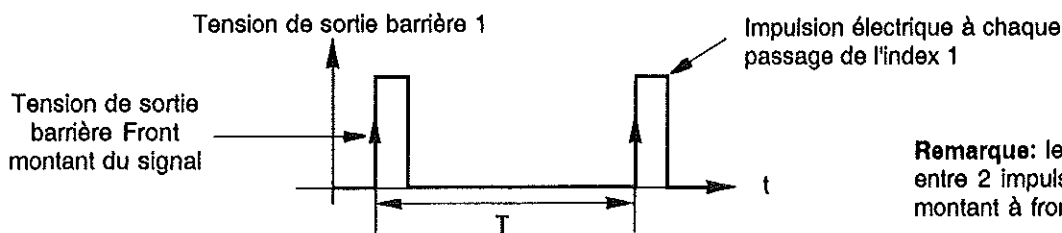
Schéma de principe



L'utilisation d'un accouplement moteur/génératrice, par un ressort dynamométrique, permet de calculer le moment du couple (\mathcal{M}), connaissant la constante de torsion (C) du ressort et la puissance mécanique fournie à la génératrice.

b/ Principe de mesure

À chaque passage de l'index solide du moteur ou de la génératrice, une impulsion électrique positive est générée par la barrière lumineuse. Le temps séparant 2 impulsions d'une même barrière correspond au temps que met le moteur à faire un tour complet de son axe.

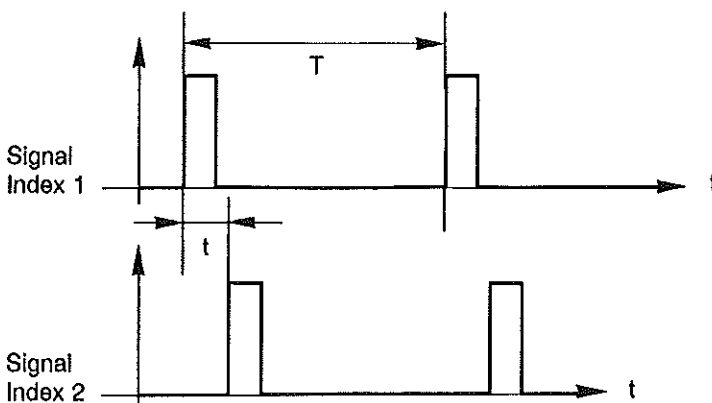


Remarque: le temps T doit être mesuré entre 2 impulsions de même front (front montant à front montant).

Ce temps (T) mesuré à l'aide d'un oscilloscope ou d'un chronomètre permet de calculer la vitesse angulaire (ω) du moteur:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (\text{en radian par seconde})$$

La 2ème barrière solide de l'arbre de la génératrice fournit une impulsion électrique qui est légèrement en retard par rapport à l'impulsion de l'arbre moteur (index 1). Ce retard (t) pouvant être mesuré à l'aide d'un oscilloscope double trace (index 1 Voie 1 et index 2 Voie 2) ou d'un chronomètre correspond à l'angle de torsion du ressort dynamométrique (θ). Après mesure du temps t , on peut ainsi calculer l'angle de torsion du ressort:



Remarque: en diminuant la résistance de charge de la génératrice, on fait varier la vitesse angulaire de l'ensemble mais également l'angle de torsion du ressort.

Sachant également que la constante (C) de torsion du ressort dynamométrique utilisé est égale à $1,23 \cdot 10^{-3}$ N.m/rad, on peut calculer le moment du couple moteur

$$\begin{aligned} \mathcal{M} &= C \cdot \theta \\ &= C \cdot 2\pi \frac{t}{T} \quad (\text{en N.m}) \end{aligned}$$

et la puissance mécanique fournie par le moteur $P_{\text{méca}} = \mathcal{M} \cdot \omega$ (en W)

En théorie, sans résistance de charge en sortie de la génératrice, l'angle de torsion du ressort dynamométrique devrait être nul. En pratique, cet angle n'est pas nul, il est dû d'une part au frottement mécanique dans la génératrice et d'autre part à un léger décalage des 2 index entre eux.

Pour obtenir des mesures correctes, il est donc nécessaire de mesurer l'angle de torsion du ressort dynamométrique sans résistance de charge en sortie de la génératrice (à vide). Et de soustraire cet angle (θ_0) à l'angle de torsion (θ) mesuré avec une résistance de charge en sortie de la génératrice.

Les pertes par frottement mécaniques n'étant pas négligeables et indifférentes suivant la vitesse de rotation de l'ensemble moteur/générateur; il est nécessaire d'effectuer toutes ces mesures à vitesse angulaire constante.

Après mesure des différentes tensions et courant circulant dans le moteur et la génératrice (fig. 1), on peut calculer:

- la puissance absorbée par le moteur: $P_M = U_M \cdot I_M$ (en W)
- la puissance fournie par la génératrice: $P_G = U_G \cdot I_G$ (en W)
- le rendement du moteur: $\eta (M) = P_{meca} / P_M$
- le rendement de la génératrice: $\eta (G) = P_G / P_{meca}$
- le rendement de l'ensemble: $\eta (E) = \eta (M) \times \eta (G)$ ou $\eta (E) = P_G / P_M$

Défaut dans le protocole: il faut connaître θ_0 , car P_{meca} trouvée à la génératrice à vide n'est pas nulle!

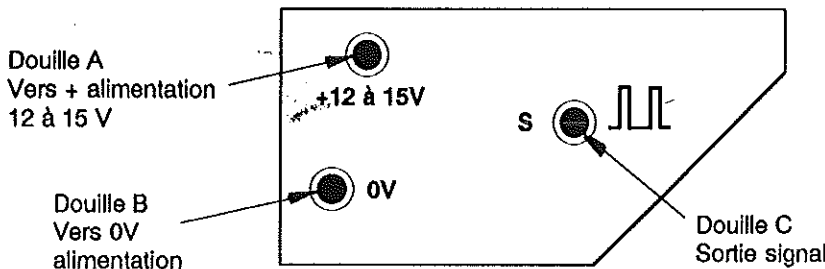
⇒ θ_0 mesuré en statique (intrig le vent) M avec une bille et dans les calculs, remplacer θ par θ_0

c/ Manipulations

Matériels nécessaires

- 1 plaque d'essai universelle P60
- 2 modules moteur (MMOT1)
- 1 module index/ressort dynamométrique (MMRES)
- 2 modules barrières lumineuses (MMBAR1)
- 1 module potentiomètre (MMPOT)
- une alimentation fixe 12 à 15 V
- une alimentation variable 3 à 15 V
- un oscilloscope double trace ou un chronomètre digital (GBF 2000 ou CHRONOS).

Raccordement des barrières

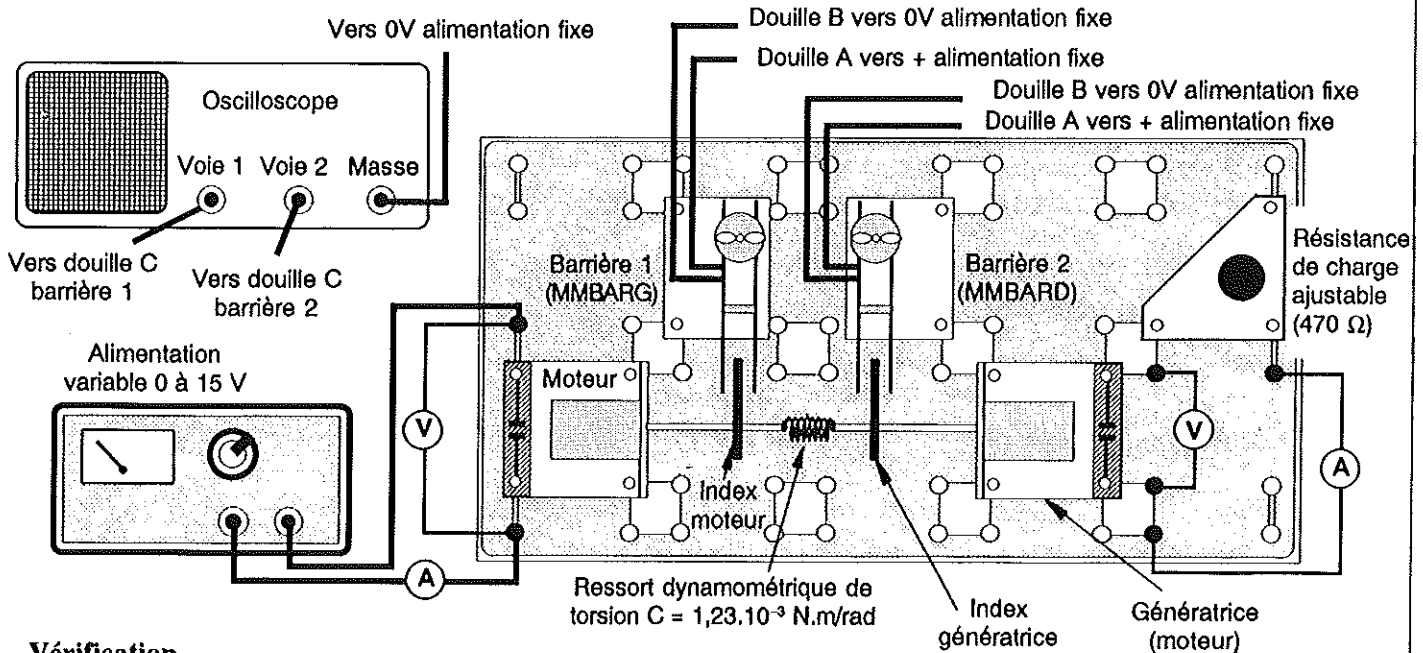


Les barrières devront être réglées grâce à l'écrou papillon, de façon à ne pas être touchées par les index en rotation.

La référence de chaque barrière (MMBAR1 ou MMBAR2) est indiquée dessous le circuit).

Montage

On réalise le montage du schéma ci-dessous. Le moteur est alimenté par un générateur de tension variable afin de régler sa vitesse de rotation.



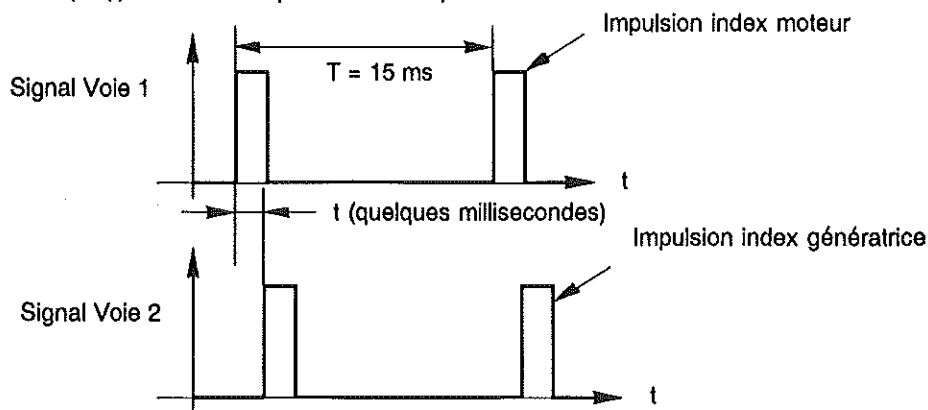
Vérification

Commencer par alimenter les barrières lumineuses, alimentation fixe de 12 ou 15 Volts. Régler la tension d'alimentation de l'alimentation variable sur le minimum, mettre en marche celle-ci, et retirer la résistance de charge ajustable de la plaque d'essai P60.

Augmenter progressivement la tension d'alimentation du moteur jusqu'à obtenir une vitesse de 4000 tr/mn, soit un temps T de 15 ms.

Vérifier sur oscilloscope que l'impulsion électrique de l'index de la génératrice est en retard de quelques millisecondes par rapport à l'impulsion de l'index moteur. Si ce n'est pas le cas, inverser la polarité d'alimentation du moteur.

Relever la différence de temps (t) entre les 2 impulsions électriques des 2 index.



Exemple: à vide, sans résistance de charge:

T	t	U_M	I_M	U_G	$\omega = 2\pi \frac{1}{T}$	$\theta_V = 2\pi \frac{t}{T}$
15 ms	1,16 ms	5,26 V	125,5 mA	3,75 V	418,8 rad/s	0,486 rad

Mesure:

Mettre le module résistance de charge en place sur la plaque d'essai P60, tourner à fond son ajustable dans le sens horaire (résistance de charge maximale). Augmenter la valeur de la tension d'alimentation du moteur à environ 12 V.

Puis diminuer progressivement la valeur de la résistance de charge (sens antihoraire) jusqu'à obtenir une vitesse identique à vide ($T = 15$ ms).

Relever les différentes mesures, temps T, t, tension U_M , U_G et courant I_M , I_G .

T	t	U_M	I_M	U_G	I_G	$\omega = 2\pi \frac{1}{T}$	$\theta = 2\pi \frac{t}{T}$
15 ms	2,9 ms	6,43 V	215 mA	2,24 V	91,2 mA	418,8 rad/s	1,2147 rad

Résultats:

Puissance absorbée par le moteur: $P_M = U_M \times I_M = 1,382$ W

Puissance fournie par la génératrice: $P_G = U_G \times I_G = 204,3$ mW

Moment du couple: $\mathcal{M} = C (\theta - \theta_V) = 8,963 \cdot 10^{-4}$ N.m

Puissance mécanique: $P_{meca} = \mathcal{M} \cdot \omega = 375,4$ mW

Rendement moteur: $\eta (M) = P_{meca} / P_M = 27,16$ %

Rendement génératrice: $\eta (G) = P_G / P_{meca} = 54,42$ %

Rendement de l'ensemble: $\eta (E) = P_G / P_M = 14,78$ %

Bilan énergétique

Le rendement de cet ensemble moteur/génératrice est faible. Cela est dû aux pertes:

- par effet joule dans le moteur
- par frottement dans les paliers du moteur
- par la transmission mécanique
- par effet joule dans la génératrice
- par frottement dans les paliers de la génératrice.

En réalité, les pertes dans un système industriel (centrale électrique, ...) sont beaucoup plus faibles. Elles sont ici importantes du fait des faibles puissances électriques mise en jeux.

II/ Etude d'un solide en rotation autour d'un axe fixe

a/ Principe

L'alimentation d'un moteur électrique à tension constante permet d'obtenir une vitesse de rotation constante. L'index solidaire de l'arbre moteur est donc animé d'un mouvement circulaire uniforme.

2 barrières lumineuses, dont le faisceau lumineux est obturé à chaque passage de l'index moteur, produisent des impulsions électriques.

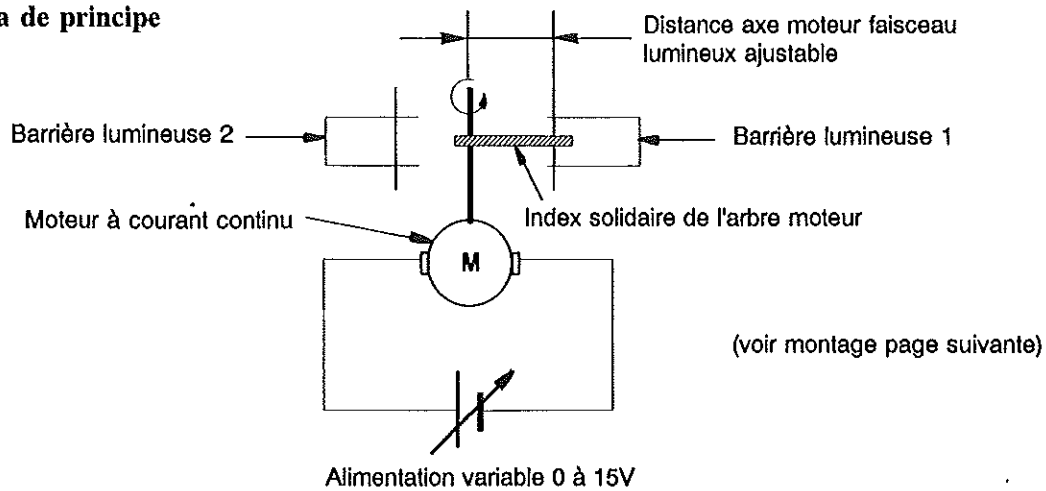
A chaque passage de l'index moteur, une impulsion électrique positive est générée. Le temps séparant 2 impulsions d'une même barrière correspond au temps que met l'index à faire un tour complet autour de l'axe moteur.

Les 2 barrières pouvant être déplacée linéairement selon un axe perpendiculaire à l'axe moteur, on fait varier la distance entre le faisceau lumineux et l'axe moteur. On peut donc calculer aisément la vitesse linéaire d'un point quelconque de l'index situé à une certaine distance de l'axe moteur.

Pour vérifier la formule $v = r\omega$, on peut mesurer la vitesse linéaire d'un point considéré de l'index en utilisant la formule: $v = \Delta M / \Delta t$, et en comparant les résultats.

Connaissant la largeur de l'index et le temps qu'il met pour obturer le faisceau lumineux (largeur de l'impulsion électrique), cela permet de calculer la vitesse linéaire au point considéré de l'index.

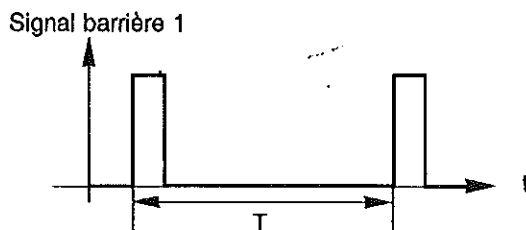
Schéma de principe



b/ Principe de mesure

Vitesse angulaire

A l'aide d'un oscilloscope ou d'un chronomètre digital (GBF 2000 ou CHRONOS), mesurer le temps qui sépare 2 impulsions électriques d'une même barrière lumineuse. Vérifier au préalable que le faisceau lumineux de la barrière est bien obturé par l'index et que l'alignement de la barrière soit bien perpendiculaire à l'axe moteur.



Remarque: le temps T doit être mesuré entre 2 impulsions de même front (front montant à front montant).

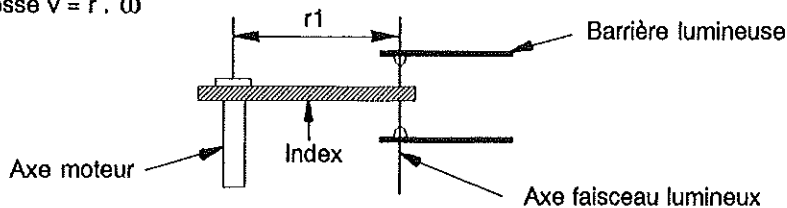
On peut également mesurer le temps T à l'aide d'un fréquencemètre, dans ce cas $T = 1/f$ avec f: fréquence du signal impulsionnel exprimé en Hertz.

La valeur de la vitesse angulaire est $\omega = 2\pi / T$ (en rad/s)

Recommencer les mesures précédentes en se servant de la 2ème barrière située à une autre distance de l'axe moteur et vérifier que la vitesse angulaire est constante quelque soit la distance barrière et axe moteur.

Vitesse linéaire

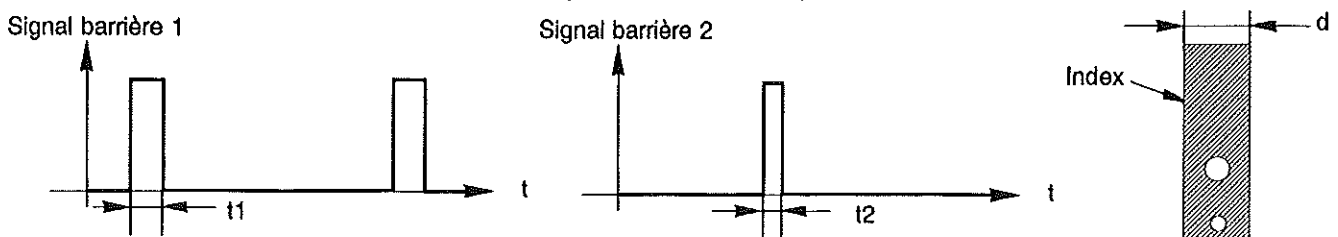
Mesurer à l'aide d'un régllet la distance séparant l'axe moteur du faisceau lumineux, de la 1ère barrière et de la 2ème barrière. Calculer les vitesse $v = r \cdot \omega$



On constate que plus la distance entre l'axe moteur et le faisceau lumineux est grande, plus la vitesse linéaire au point considéré est importante et cela pour une même vitesse angulaire.

Vérification de la formule $v = r \omega$

Sans déplacer les barrières lumineuses, mesurer la largeur de l'index et le temps d'obturation du faisceau lumineux des 2 barrières.



Calculer $v_1 = d / t_1$ et $v_2 = d / t_2$. Comparer les résultats par rapport à la méthode de calcul précédent.

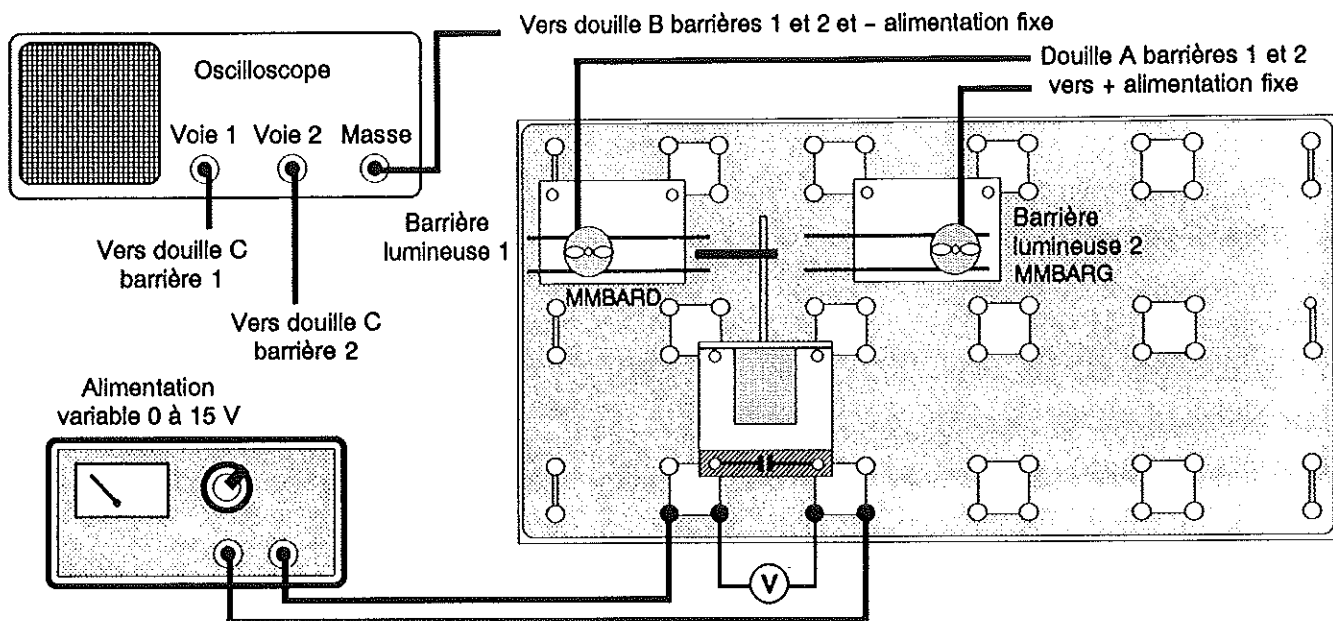
c/ Manipulations

Matériel nécessaire

- 1 plaque d'essai universelle P60
- 1 module moteur (MMOT1)
- 1 module index (MMIND)
- 2 modules barrières lumineuse (MMBAR1)
- une alimentation fixe 12 à 15V
- une alimentation variable 3 à 15 V
- un oscilloscope double trace ou un chronomètre (GBF 2000 ou CHRONOS)

Montage

On réalise le montage du schéma ci-dessous. On alimentera le moteur avec une tension continue d'environ 10 V. Pendant toutes les mesures, ne pas faire varier la tension d'alimentation du moteur (mouvement circulaire uniforme). Pour couper le moteur, débrancher les cordons d'alimentation, ou retirer le module moteur de la plaque d'essai.



Exemple

UM	T1	T2	$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1}$	$\omega_2 = \frac{2\pi}{T_2}$
5 V	15 ms	15 ms	418,9 rad/s	418,9 rad/s

Mesure du rayon barrière lumineuse 1 = $r_1 = 2,95$ cm

Mesure du rayon barrière lumineuse 2 : $r_2 = 1,65$ cm

Vitesse linéaire d'un point considéré sur l'index à la distance r_1 (2,95 cm) de l'axe moteur: $v_1 = r_1 \cdot \omega = 12,35$ m/s

Vitesse linéaire d'un point considéré sur l'index à la distance r_2 (1,65 cm) de l'axe moteur: $v_2 = r_2 \cdot \omega = 6,91$ m/s

Autre méthode de calcul

Mesure de la largeur de l'index: $d = 1,1$ cm

Mesure du temps d'obturation de la barrière 1: $t_1 = 0,9$ ms

Calcul de la vitesse linéaire $v_1 = d / t_1 = 12,22$ m/s

Mesure du temps d'obturation de la barrière 2: $t_2 = 1,6$ ms

Calcul de la vitesse linéaire $v_2 = d / t_2 = 6,875$ m/s

Le calcul des vitesses linéaires est identique pour 2 points considérés sur l'index moteur. La formule $v = r \cdot \omega$ est donc bien vérifiée.

Les résultats obtenus par les 2 méthodes de calcul sont sensiblement identiques.

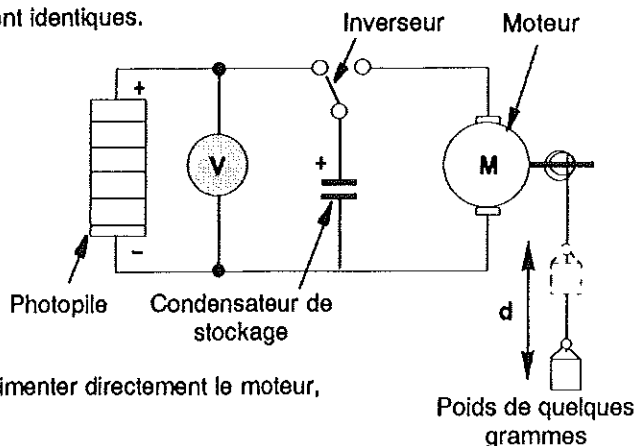
III/ Transfert d'énergie lumineuse en énergie mécanique

a/ Principe

Cette maquette permet de montrer le transfert d'énergie qu'il y a entre une énergie lumineuse et une énergie électrique à l'aide d'une photopile.

L'utilisation d'un condensateur de forte valeur permet d'emmagasiner l'énergie électrique fournie par la photopile. Cette énergie électrique stockée dans le condensateur peut être ensuite transférée dans un moteur électrique.

Remarque: le courant fourni par la photopile étant trop faible pour alimenter directement le moteur, il est nécessaire d'utiliser un réservoir d'énergie (condensateur).



L'énergie emmagasinée par le condensateur peut être mesurée à l'aide de la formule $\epsilon = 1/2 C \cdot U^2$ (C en Farad et U en Volt, ϵ en joule). Le travail effectué par le moteur pour remonter la masse (m) et du type $W = m \cdot g \cdot d$ (W en joule, m en kg et d en mètre), la distance d correspond au déplacement de la masse du point bas au point haut.

b/ Manipulations

Matériel nécessaire

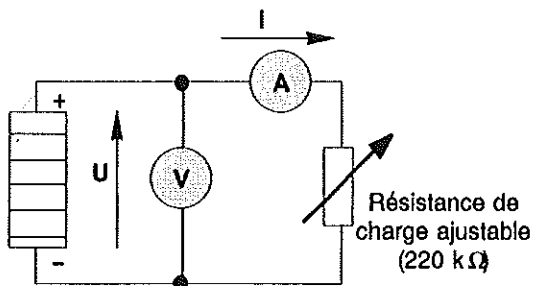
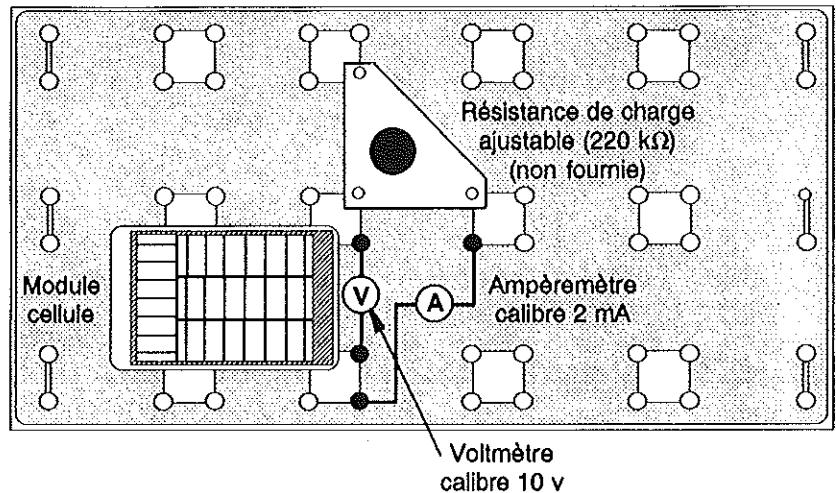
- une plaque d'essai universelle P60
- 1 module moteur (MMOT1)
- 1 module condensateur/inverseur (MMCO) ($c = 10\,000\ \mu\text{F}$)
- 1 module cellule solaire (MMSOL)
- 1 module masse (MMAS)

Caractéristiques de la photopile

On réalisera le montage de la figure ci-dessus.

Sous une luminosité constante (ampoule de 40 W située à environ 30 cm du module photopile), on relèvera le courant et la tension qui circule dans la résistance de charge. En faisant varier la résistance de charge (valeur max 470 Ω), on peut relever différents courants et différentes tensions. Cela permet de tracer la courbe de la puissance en fonction de la tension de la photopile.

La photopile comprend un couvercle de protection qu'il faut retirer pour l'expérience.



Remarque: sous une lumière constante, relever au préalable le courant maximal que peut fournir la photopile. Pour cela, court-circuiter la résistance de charge. Relever également la tension maximale que peut fournir la photopile, retirer le module résistance de charge de la plaque d'essai P60.

Exemple de relevé:

U	I	P = U . I	Remarques
0 V	314 μA	—	mesure effectuée en court-circuitant la photopile par l'ampèremètre
1,92 V	302 μA	0,579 mW	
3,6 V	284 μA	1,022 mW	
5,03 V	258 μA	1,298 mW	
5,74 V	215 μA	1,2341 mW	
5,99 V	183 μA	1,096 mW	
6,15 V	137 μA	0,845 mW	
6,3 V	96 μA	0,605 mW	
6,53 V	27 μA	0,177 mW	
6,61 V	0 μA	—	mesure de la tension max. de la cellule en débranchant l'ampèremètre

Action d'un moteur par photopile

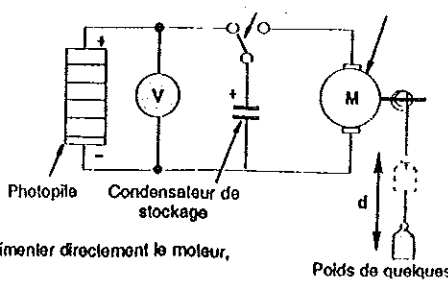
III/ Transfert d'énergie lumineuse en énergie mécanique

a/ Principe

Cette maquette permet de montrer le transfert d'énergie qu'il y a entre une énergie lumineuse et une énergie électrique à l'aide d'une photopile.

L'utilisation d'un condensateur de forte valeur permet d'emmagasiner l'énergie électrique fournie par la photopile. Cette énergie électrique stockée dans le condensateur peut être ensuite transférée dans un moteur électrique.

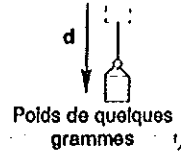
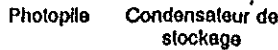
Remarque: le courant fourni par la photopile étant trop faible pour alimenter directement le moteur, il est nécessaire d'utiliser un réservoir d'énergie (condensateur).



maquette "moteur" électromécanique

ner l'énergie électrique fournie par la photopile. Cette énergie électrique stockée dans le condensateur peut être ensuite transférée dans un moteur électrique.

Remarque: le courant fourni par la photopile étant trop faible pour alimenter directement le moteur, il est nécessaire d'utiliser un réservoir d'énergie (condensateur).



L'énergie emmagasinée par le condensateur peut être mesurée à l'aide de la formule $E = 1/2 C \cdot U^2$ (C en Farad et U en Volt, E en joule). Le travail effectué par le moteur pour remonter la masse (m) et du type $W = m \cdot g \cdot d$ (W en joule, m en kg et d en mètre), la distance d correspond au déplacement de la masse du point bas au point haut.

b/ Manipulations

Matériel nécessaire

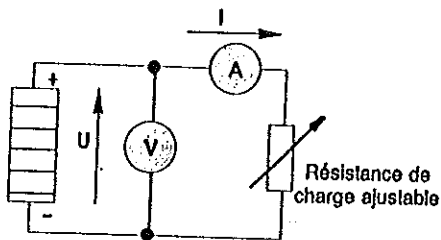
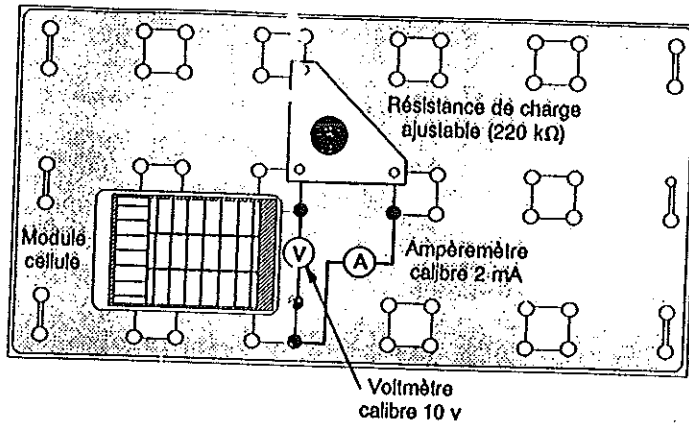
- une plaque d'essai universelle P60
- 1 module moteur (MMOT1)
- 1 module condensateur/inverseur (MMCO) (c = 10 000 μ F)
- 1 module cellule solaire (MMSOL)
- 1 module masse (MMAS)

Caractéristiques de la photopile

On réalisera le montage de la figure ci-dessus.

Sous une luminosité constante (ampoule de 40 W située à environ 30 cm du module photopile), on relèvera le courant et la tension qui circule dans la résistance de charge. En faisant varier la résistance de charge (valeur max 220 k Ω), on peut relever différents courants et différentes tensions. Cela permet de tracer la courbe de la puissance en fonction de la tension de la photopile.

La photopile comprend un couvercle de protection qu'il faut retirer pour l'expérience.

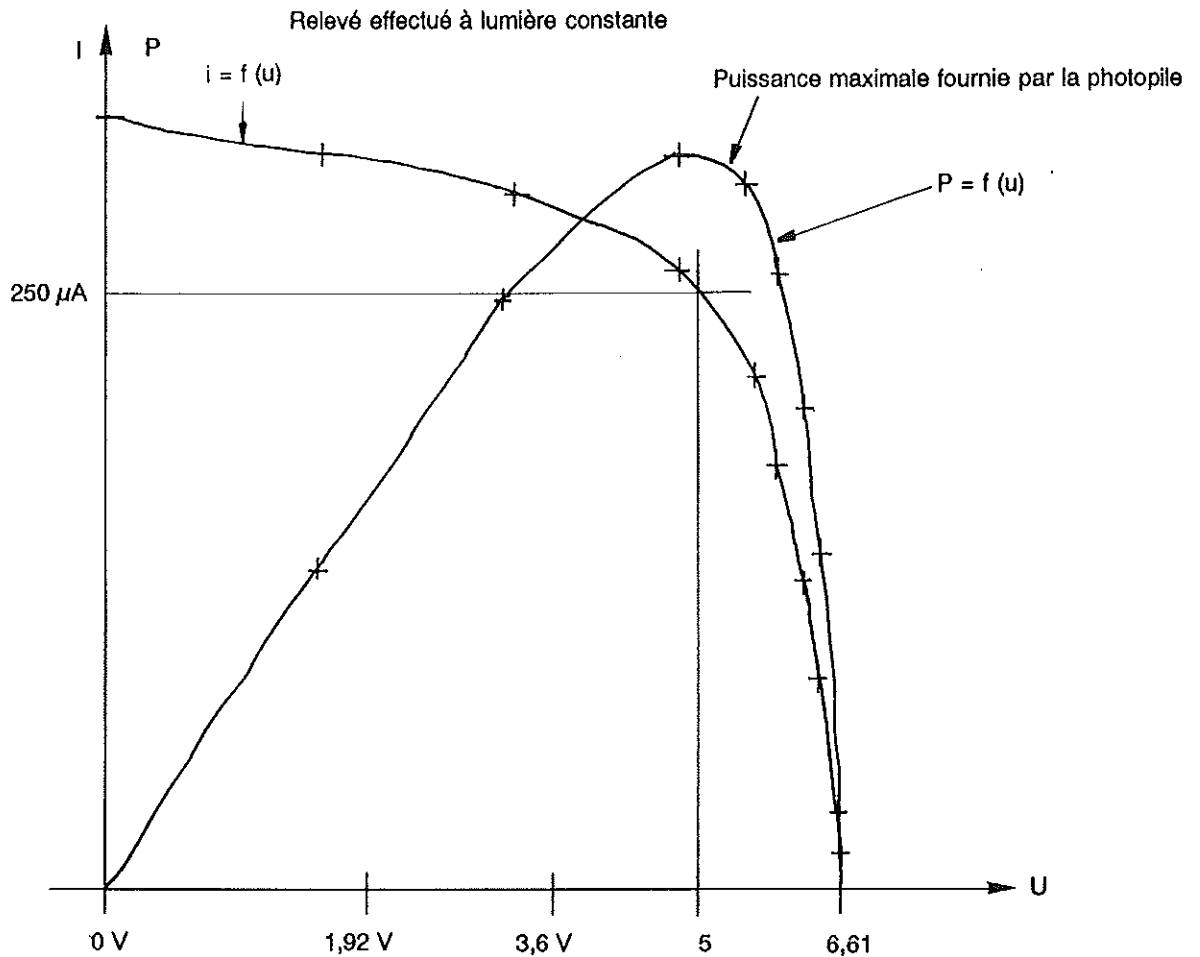


Remarque: sous une lumière constante, relever au préalable le courant maximum que peut fournir la photopile. Pour cela, court-circuiter la résistance de charge. Relever également la tension maximale que peut fournir la photopile, retirer le module résistance de charge de la plaque d'essai P60.

Exemple de relevés:

U	I	P = U . I	Remarques
0 V	314 μ A	—	mesure effectuée en court-circuitant la photopile par l'ampèremètre
1,92 V	302 μ A	0,579 mW	
3,6 V	284 μ A	1,022 mW	
5,03 V	258 μ A	1,298 mW	
5,74 V	215 μ A	1,2341 mW	
5,99 V	183 μ A	1,096 mW	
6,15 V	137 μ A	0,845 mW	
6,3 V	96 μ A	0,605 mW	
6,53 V	27 μ A	0,177 mW	
6,61 V	0 μ A	—	mesure de la tension max. de la cellule en débranchant l'ampèremètre

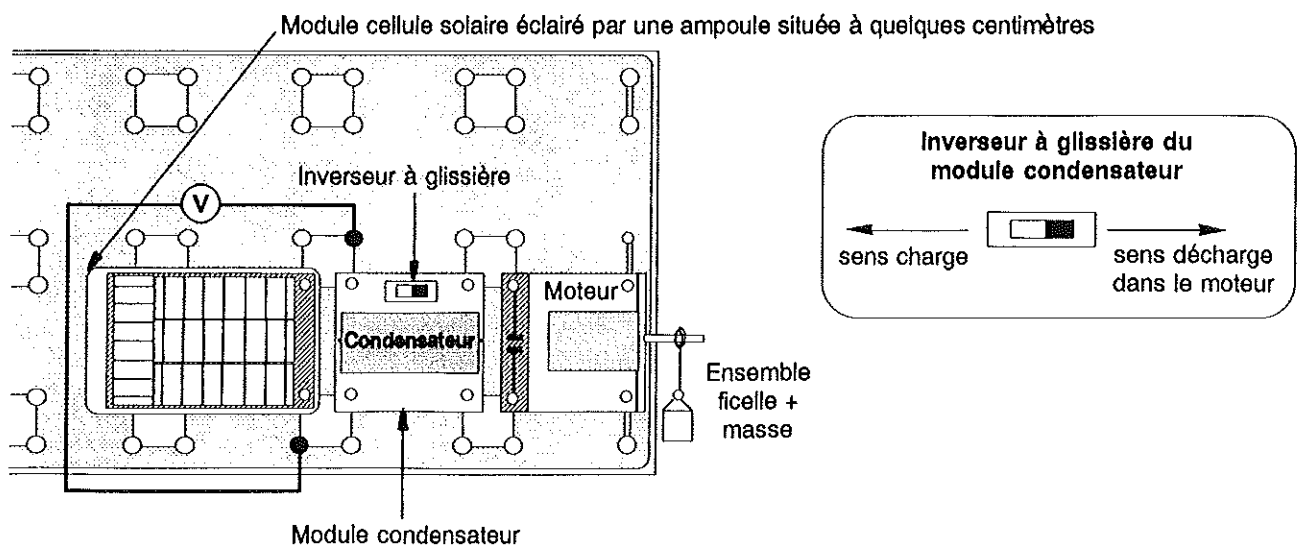
Caractéristiques de la photopile (lumière constante $\cong 10\ 000\ \text{lux}$)



On constate que pour une luminosité constante du module, les cellules photopiles fournissent une puissance maximale pour une tension d'environ $5\ \text{V}$ et un courant de $250\ \mu\text{A}$. Cette courbe de puissance en fonction de la tension est importante, pour définir la zone de rendement maximale des cellules photopiles.

Transfert d'énergie

Mettre l'inverseur à glissière sur charge, attendre quelques secondes que le condensateur se charge. Vérifier la tension de charge du condensateur ($6,2\ \text{V}$ maxi.). Basculer l'inverseur sur moteur. Le moteur tourne en entraînant la masse.



Exemple: pour une tension de charge du condensateur de $4,39\ \text{V}$, l'énergie emmagasinée dans le condensateur est de $\varepsilon = 1/2 C \cdot U^2 = 1/2 \cdot 10\ 000 \cdot 10^{-6} \cdot (4,39)^2 = 96,36 \cdot 10^{-3}$ joule.

Grâce à cette énergie emmagasinée dans le condensateur, le moteur a monté une charge de $3,77\ \text{g}$ sur une distance de $27,7\ \text{cm}$, soit fourni un travail $W^M = P \cdot d = m \cdot g \cdot d = 3,77 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \cdot 0,277 = 10,24 \cdot 10^{-3}$ joule.