

Energie

Transfert d'énergie

Energy

Energy transfer

**Ref :
282 064**

Français – p 1

English – p 35

Version : 9001

Energie et rendement

Energy and efficiency

ENERGIE ET RENDEMENT est un ensemble destiné à l'étude expérimentale de chaînes énergétiques. Il permet en particulier :

- la réalisation de montages mettant en œuvre diverses chaînes énergétiques,
- le tracé de la caractéristique d'une cellule photovoltaïque (photopile),
- le calcul du rendement d'un moteur,
- la mise en évidence du stockage de l'énergie dans un condensateur.

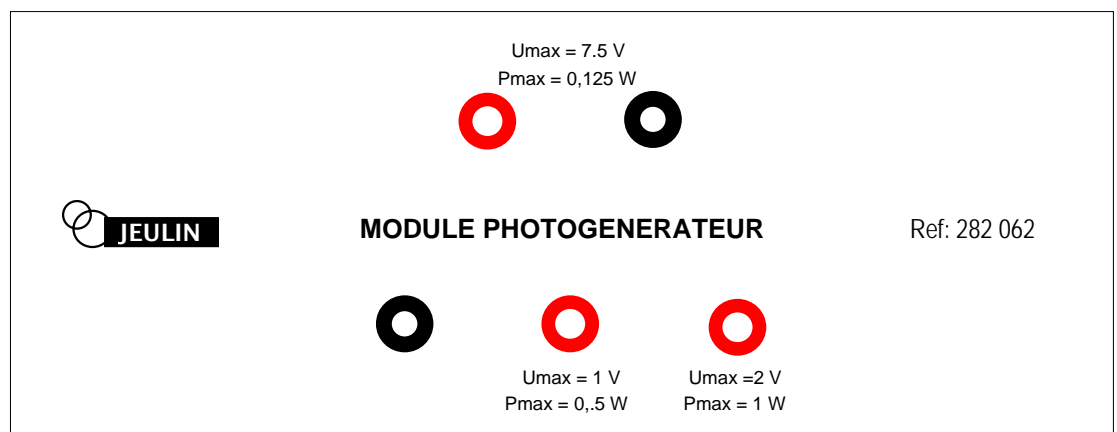
1 Description

L'ensemble ENERGIE ET RENDEMENT est constitué de modules :

1°) Le MODULE PHOTOGENERATEURS (Réf. 282 062) qui contient deux générateurs photovoltaïques :

- le premier est une photopile SOLEM de 14 éléments reliés en série sur le même support de silicium. Il présente une tension nominale de 7,5 V (pouvant dépasser 10 V selon l'éclairement) et une puissance maximale de 0,125 W. L'intensité maximale qui le traverse peut atteindre quelques mA selon l'éclairement.
- le second est constitué de 4 photopiles identiques. Chaque photopile a une tension nominale de 0,5 V et une puissance maximale de 0,25 W. Elles sont assemblées de façon à donner deux générateurs différents : 2 V/1 W et 1 V/0,5 W.

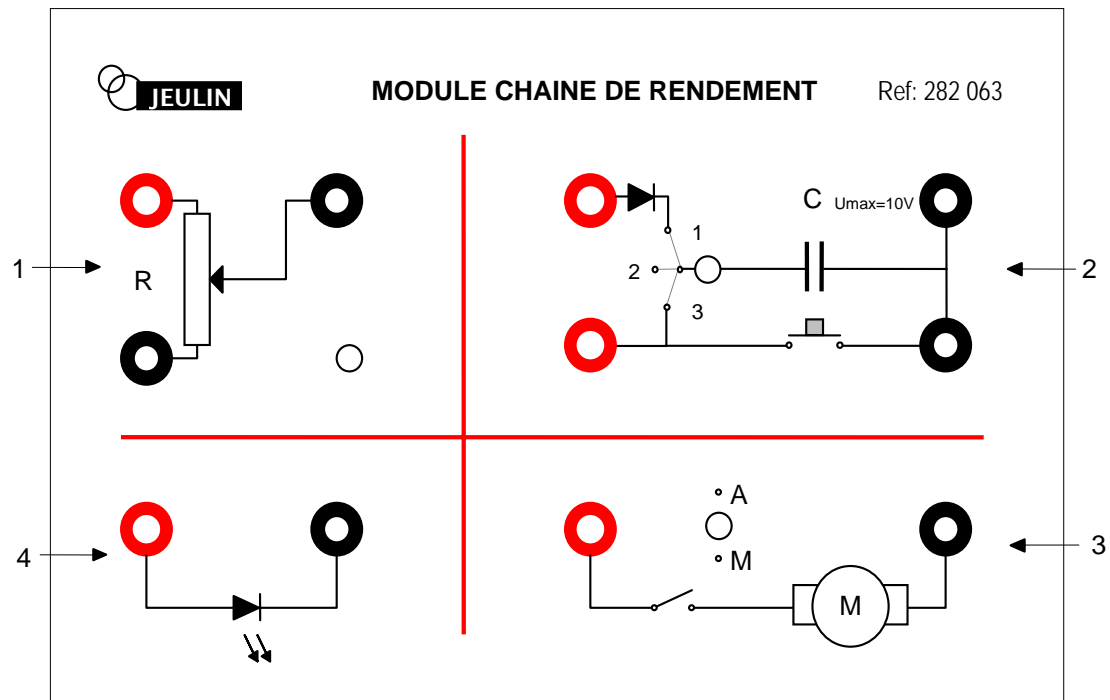
Le schéma ci-dessous reproduit la face du module portant les bornes de branchement des 2 photogénérateurs. Ceux-ci sont fixés sur les 2 faces latérales, protégés par des parois transparentes.



2°) Le module CHAINE DE RENDEMENT (Réf. 282 063) comporte 4 parties dans le même coffret, comme l'indique le schéma ci-dessous :

- un potentiomètre de 5 k Ω -0,5W muni d'un bouton de réglage (1). .
- un condensateur (Super capacité) de 0,1 F/10 V (2).

- Une diode évite une décharge accidentelle du pendant la charge, lorsque le commutateur est en position 1 (par exemple au cours d'une baisse de l'éclairement quand la charge est obtenue à partir d'une photopile).
 La position 2 n'est pas connectée.
 La position 3 permet de relier le condensateur chargé aux bornes inférieures (un poussoir sert à décharger éventuellement le condensateur).
- un moteur de faible puissance, de tension nominale 1,5 V et un interrupteur (3).
- une D.E.L. rouge haute luminosité (4).



2 Mise en service

2.1 Matériels nécessaires

Deux multimètres (type CL 2065 par exemple)
 Une source lumineuse (lampe halogène 50 W-12 V)
 Une boîte de masses à crochets
 Un luxmètre
 Un chronomètre

Réf. 703 016
 Réf. 211 009
 Réf. : 351 037

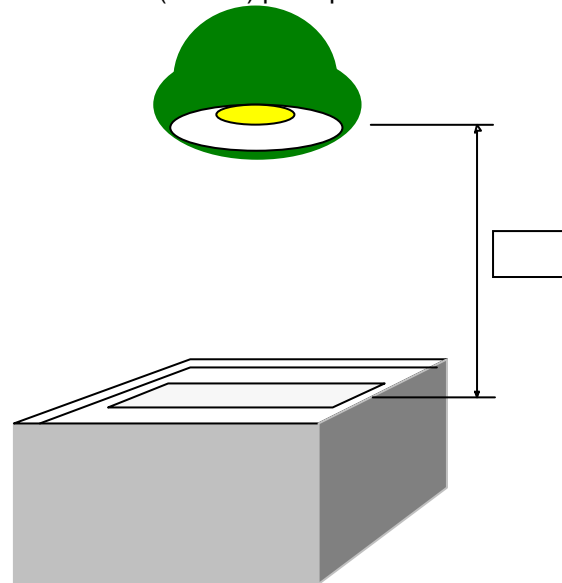
2.2 Matériels complémentaires

Le logiciel *ACTILAB*
 Un micro-ordinateur et ses périphériques

2.3 Mise en place

2.3.1 Le MODULE PHOTOGENERATEUR est utilisé avec une source de lumière assez intense.

Pour obtenir un éclairage régulier et intense, on peut utiliser un projecteur muni d'une lampe à halogène de 50 W et d'un réflecteur. Le projecteur est placé à 15 ou 20 cm de la (ou des) photopiles.



Avec cette disposition, l'éclairage des photopiles est d'environ 10000 à 50000 lux. **C'est ce type d'éclairage qu'il est conseillé d'employer pour réaliser les expériences qui sont décrites par la suite.**

Il est possible également d'utiliser un projecteur de diapositives de 150 à 200 W placé à une quarantaine de centimètres des photopiles (mises en position verticale).

Remarque : Le projecteur dégage une chaleur assez importante. Cela se traduit, pour les photogénérateurs, proches du projecteur, par deux inconvénients :

- la paroi transparente de protection des photopiles s'échauffe elle a tendance à se déformer légèrement en se creusant. La déformation n'est que momentanée et sans gravité.
- la température des photopiles augmente et leurs caractéristiques électriques varient (diminution de la en particulier), pour se stabiliser quand un équilibre thermique est atteint, après quelques minutes.

Il est préférable de limiter dans le temps l'exposition à la lumière du projecteur mais il est aussi possible d'interposer une plaque de verre entre le projecteur et le MODULE PHOTOGENERATEUR pour diminuer le transfert thermique.

2.3.2 Le MODULE DE RENDEMENT est conçu pour être utilisé en liaison avec l'un des deux photogénérateurs. Les manipulations proposées plus loin précisent le fonctionnement de chacun des éléments de ce module :

① - le potentiomètre est utilisé pour le tracé de la caractéristique du photogénérateur constitué par une photopile SOLEM unique (7,5V-0.125W),
Il ne doit pas être employé avec les autres photogénérateurs.

② - le condensateur de 0,1 F sert au stockage de l'énergie électrique transférée par la photopile SOLEM (ou tout autre source n'excédant pas 10 V).

③ - le moteur est employé dans plusieurs manipulations. Il est soit alimenté directement à partir d'une alimentation stabilisée extérieure, soit à partir du photogénérateurs de 2 V -1 W, soit par le condensateur précédent qui a stocké de l'énergie. Dans tous les cas, le calcul de l'énergie mécanique transférée est réalisé par la mesure du travail d'un poids, remonté par le

moteur en fonctionnement sur une hauteur connue, par d'un fil qui s'enroule sur une poulie. La mesure complémentaire de la durée du déplacement, à l'aide d'un chronomètre, permet d'atteindre la puissance mécanique mise en jeu.

Ces mesures conduisent à la détermination de rendements divers.

④ - le montage d'une photodiode, alimentée directement par un photogénérateur, permet d'évaluer le rendement dans une chaîne optoélectronique.

3 La lumière

Les générateurs photovoltaïques illustrent l'aspect énergétique de la lumière.

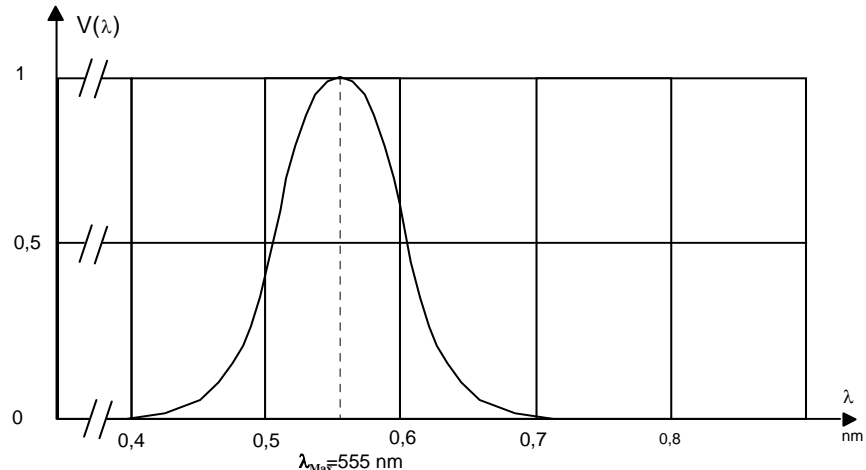
L'interaction du rayonnement lumineux avec la matière (mais également de tout rayonnement électromagnétique) est interprétée par le modèle corpusculaire de la lumière. Chaque photon est un grain d'énergie rayonnante qui ne dépend que de la fréquence ν du rayonnement considéré.

$$W = h \cdot \nu ; h = 6,6256 \cdot 10^{-34} \text{ est la constante de Planck.}$$

Notions de photométrie :

Les grandeurs relatives au rayonnement lumineux peuvent être évaluées de deux façons :

① - *du point de vue de l'impression visuelle* : on considère le spectre visible et la sensibilité relative $V(\lambda)$ de l'œil aux diverses radiations colorées (maximum de sensibilité à $\lambda = 555 \text{ nm} \Rightarrow V(\lambda) = 1$).



Courbe de sensibilité de l'œil

Si on appelle $\Phi(\lambda)$ le flux énergétique émis ou reçu, par convention, le flux lumineux visuel $\Phi_v(\lambda)$ est donné par définition, pour une radiation monochromatique, par la relation :

$$\Phi_v(\lambda) = 680 \cdot V(\lambda) \Phi(\lambda)$$

Pour un rayonnement à spectre continu, le flux total est la somme des flux partiels des diverses longueurs d'onde du spectre (entre λ_1 et λ_2).

$$\Phi_v(\lambda) = 680 \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) \cdot \frac{d\Phi(\lambda)}{d\lambda} \cdot d\lambda$$

$$\lambda_2 = 760 \text{ nm. } \lambda_1 = 380 \text{ nm}$$

② - *du point de vue énergétique* : on considère l'énergie totale transmise par le rayonnement et les unités employées sont celles qu'on rencontre habituellement (le joule, le watt,...)
Toute grandeur visuelle X_v est liée à la grandeur énergétique correspondante X par la relation :

$$X_v(\lambda) = 680 \cdot V(\lambda) \cdot X(\lambda), \text{ pour la radiation monochromatique } \lambda \quad (A)$$

Unités photométriques principales

Grandeurs	Unités visuelles	Unités énergétiques
Flux	lumen (lm)	watt (W)
Intensité	candela (cd)	watt/stéradian (W/sr)
Luminance	candela/m ² (cd/m ²)	watt/sr.m ² (W/ sr.m ²)
Eclairement	lumen/m ² ou lux	watt/m ²
Energie	lumen.s (lm.s)	joule (J)

Pour connaître la puissance rayonnante reçue par un récepteur (une photopile par exemple) ou émise par une source, il faut connaître le flux énergétique reçu ou émis.

Mesure de l'énergie rayonnante :

La relation précédente (A) laisse supposer qu'il est possible de connaître une grandeur énergétique X si on connaît la grandeur visuelle correspondante X_v . En pratique, il est difficile d'établir une relation simple (dans le cas d'un spectre continu par exemple). En particulier, il n'est pas possible de déterminer la valeur du flux énergétique total Φ émis par une source, avec les moyens d'un laboratoire de physique courant de lycée.

En revanche, le flux lumineux est facilement mesurable si on possède *un luxmètre* qui indique l'éclairement (en lux) d'une surface qui reçoit de la lumière.

On peut établir une correspondance entre les deux grandeurs, ainsi, ***lorsque la source est une lampe à filament de tungstène dont la température de couleur est 2850 K, un éclairement visuel de lux correspond à un éclairement énergétique de $4,75 \cdot 10^{-2} \text{ W.m}^{-2}$ soit $4,75 \text{ mW.cm}^{-2}$***

$$1 \text{ lx} \Leftrightarrow 4,75 \cdot 10^{-2} \text{ W.m}^{-2}$$

C'est cette correspondance approchée qui sera utilisée par la suite.

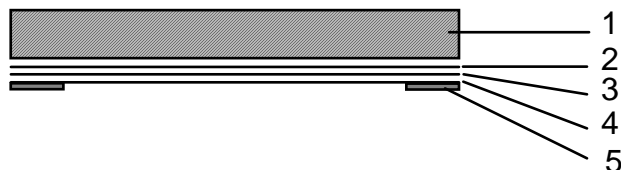
D'après *Les capteurs en instrumentation industrielle* – Georges Ash et col. - DUNOD

Fiche technique n°1

Les photogénérateurs SOLEM (d'après les documents techniques SOLEM)

ENVIRONNEMENT Eclairage typique	APPLICATIONS	COURANT Valeur minimale	UTILISATION
Usage extérieur Eclairage fort 50 000 à 100 000 lux	Chargeur d'accumulateurs (modélisme, radio, baladeur, lampe de poche...) Entretien de batteries d'accumulateurs de voiture, de bateau,..., ventilation Emetteurs radio Signalisation routière	1 à 10 mA 10 à 20 mA 50 à 100 mA	Avec des accumulateurs CdNi et une diode anti retour En direct sur une batterie d'accumulateurs, diode anti retour et limiteur de charge par diode Zener Utilisation d'accumulateurs CdNi ou Pb en combinaison avec lampe de flash ou LED
Usage mixte Usage intérieur Eclairage diffus 5 000 à 50 000 lux	Alimentation d'appareils à faible consommation. Systèmes d'alarme, de sécurité Equipements de sécurité Enregistreurs météorologiques Systèmes de mesures et de contrôle Sonnettes de porte, horloges extérieures	50 mA 10 mA 1 mA 0,5 mA	Avec des accumulateurs CdNi ou une mini batterie d'accumulateurs En relais avec une pile au lithium ou un accumulateur En relais avec un condensateur de forte capacité ou mini accumulateur
Usage intérieur Eclairage faible 200 à 1 000 lux	Instruments de mesure portatifs Thermomètres, luxmètres Détecteurs infrarouges, photo détecteurs Systèmes électroniques à faible consommation Afficheur à cristaux liquides (LCD) Horloges, montres	50 mA 10 mA 1 mA 0,5 mA	Utilisation en direct ou en relais avec un condensateur de forte capacité ou un mini accumulateur Avec un condensateur de forte capacité

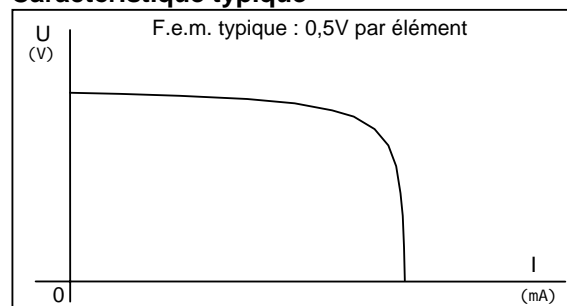
Structure d'une pile SOLEM



- 1 - verre
- 2 - dépôt de silicium
- 3 - métallisation
- 4 - résine protectrice
- 5 - bande étamée
pour soudure des connexions

Exemple : Photopile de type 14/96/48
 - 14 éléments réunis en série
 - dimensions de la photopile :
 96 mm x 48 mm x 2 mm (+/- 0,5 mm)
 - surface : 46 cm²

Caractéristique typique



Eclairage

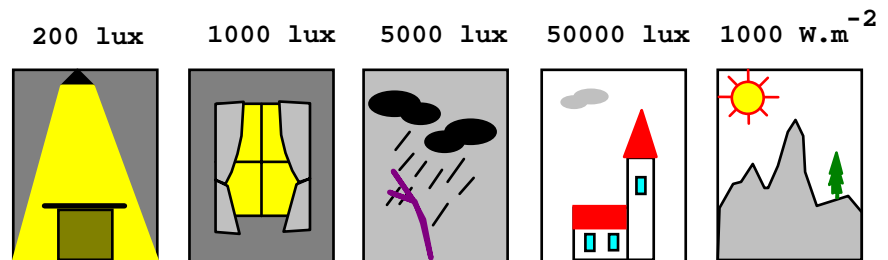
L'éclairage lumineux est la densité de flux sur une surface. Il se mesure en lux. Sa valeur peut varier dans de grandes proportions : de 1 à 100 000 lux, par exemple.

L'éclairement énergétique se mesure en W.m^{-2} . C'est la puissance rayonnante reçue par m^2 .

L'équivalence entre ces deux éclairement est difficile à déterminer avec précision : elle dépend des caractéristiques de la source. Par exemple :

- l'éclairement énergétique du Soleil est de 1000 W.m^{-2} et son éclairement visuel de 110 000 lux.
- Pour une lampe à incandescence usuelle, l'équivalence est de 10 à 20 lux pour 1 W.m^{-2} .

Quelques valeurs usuelles d'éclairement moyen



Fiche technique n°2

Les condensateurs de sauvegarde (d'après les documents techniques SFERNICE)

DEFINITION	AVANTAGES D'UNE SUPERCAP
<p>C'est un condensateur de très grande capacité de l'ordre de 0,022 à 1 F.</p> <p>Les condensateurs de sauvegarde (appelés Supercap) ont été fabriqués pour répondre à la nécessité de la conservation des données en mémoire dans les dispositions de l'électronique numérique, en cas de coupure ou de micro-coupures d'alimentation en énergie.</p>	<ol style="list-style-type: none"> ❶ Très faible encombrement ❷ Capacité élevée ❸ Charge et décharge rapides ❹ Aucune maintenance ❺ Non polluante ❻ Non explosive (pas de court-circuit) ❼ Implantation directe sur circuits imprimés ❽ Ne nécessite pas de circuits de charge ❾ Prix modéré (environ 0,16 Fpar m³)

APPLICATIONS TYPIQUES

COURANT DE SAUVEGARDE	COMPOSANT ALIMENTÉ	UTILISATIONS	COURANT DE SAUVEGARDE
< 1 μ A	CMOS-RAM (mémoire d'ordinateur, de calculette) CI (circuits intégrés) pour horloge d'ordinateur	Tuner digital Programmeur de four, machine à laver, cafetière	CSL
Quelques μ A A Quelques mA	CMOS	Téléphone, clavier à mémoire Répondeur enregistreur automatique Thermostat, terminal d'ordinateur Informatique	
Quelques mA A 100 mA	PMOS-NMOS	Instrument de mesure automatique Feux de signalisation Flipper Compteur de taxi	CSL CSV CSR
	Démarrage de moteur	Magnétophone Magnétoscope Vidéo disque	
	Batterie tampon	Auto radio ou démarrage du moteur	
> 100 mA	Source de secours pour affichage à LED	Jeux et jouets portables, rechargeables Afficheurs et voyants Systèmes d'alarme et de protection Affichage de secours	CSV CSR

TYPES DE SUPERCAP

Pour des tensions de charge de l'ordre de 5 V :

❶ série CSL
consommation ≤ 10 mA

❷ série CSR
consommation > 10 mA

Pour des tensions de charge de l'ordre de 10 V :

❸ série CSV

MARQUAGE DES SUPERCAP

Série Version Capacité en μ F

CS L 104

Les deux premiers chiffres sont significatifs, le dernier indique la puissance de 10.

Exemple : 104 = $10^5 \mu$ F ou 0,1 F

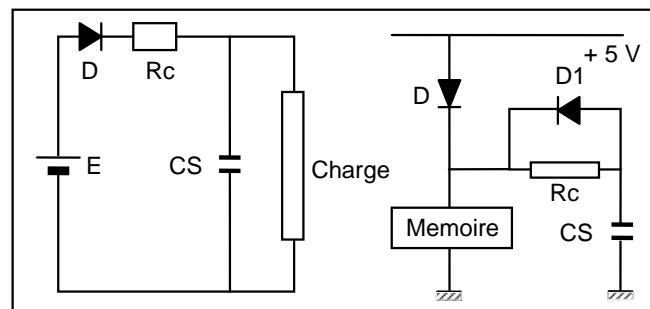
Rôle des Supercap

Pendant la charge, le condensateur emmagasine une énergie électrique dont l'expression est $W = \frac{1}{2}CU^2$ (c'est la capacité du condensateur et U la tension entre ses bornes). Cette énergie est restituée au cours de la décharge.

La charge et la décharge des capacités de sauvegarde est un phénomène physique dont la répétition ne provoque aucun dommage pour le condensateur.

Dans ces deux schémas, la Supercap CS est utilisée comme source de secours. Dans les deux circuits la résistance Rc limite de courant de charge de la Supercap et de la diode D isole la Supercap de l'alimentation en service normal. Dans la figure de droite, la diode D1 court-circuite la résistance Rc pendant la décharge de la Supercap dans la mémoire.

Schémas de principe



4 Manipulations

①. La première partie de ce recueil de manipulations est destinée au professeur. Elle regroupe quelques manipulations réalisées avec le MODULE PHOTOGENERATEUR et le MODULE DE RENDEMENT. Les résultats numériques et les courbes qui y figurent proviennent de mesures réelles. Cependant, celles-ci ont été réalisées dans des conditions quelconques, pas toujours fidèlement reproductibles (c'est le cas de l'éclairement en particulier) et peuvent différer des mesures personnelles observées par les expérimentateurs : les mesures qui suivent ne sont donc que des exemples.

②. La deuxième partie du recueil reprend les expériences de la première partie sous la forme de fiches de travaux pratiques directement utilisables par le professeur dans sa classe ou facilement modifiables. Dans le texte, destiné aux élèves, des questions sont fréquemment posées : elles correspondent souvent aux remarques concernant les observations, les résultats expérimentaux et les conclusions de la première partie.

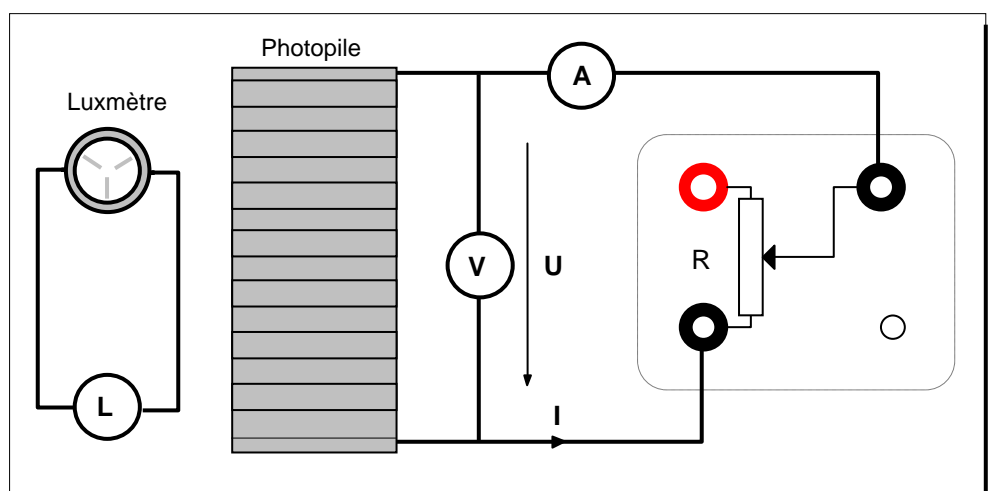
③. Précautions d'emploi : Les photogénérateurs sont des composants fragiles par nature (réalisés sur de minces plaques de verre) et doivent être manipulés avec précaution. Il faut impérativement éviter tout choc ou chute. Chaque photopile est collée sur une mince plaque de mousse synthétique qui sert d'amortisseur.

4.1 Etude d'un photogénérateur

Le but de la manipulation est le tracé de la caractéristique d'une pile photovoltaïque et le calcul de son rendement énergétique maximum.

1^{ère} étape : le montage

On réalise le montage représenté par le schéma ci-dessous : il fait appel au MODULE PHOTOGENERATEUR dont on utilise la photopile 7,5 V-0,125 W et le potentiomètre du MODULE CHAINE ENERGETIQUE. Deux multimètres sont installés : V en voltmètre et A en milliampèremètre.



La photopile est éclairée par le projecteur à lampe à halogène de 50 W, comme indiqué au paragraphe 2.3.1. Le luxmètre mesure l'éclairement de la photopile

2^e étape : le protocole

Tracé de la caractéristique de la photopile.

① Pour une position déterminée du projecteur, on relève la valeur donnée par le luxmètre de l'éclairement reçu par la photopile (le luxmètre est placé sur la surface du photogénérateur). L'éclairement moyen¹ est : $E_{lum} = 18000 \text{ lx}$

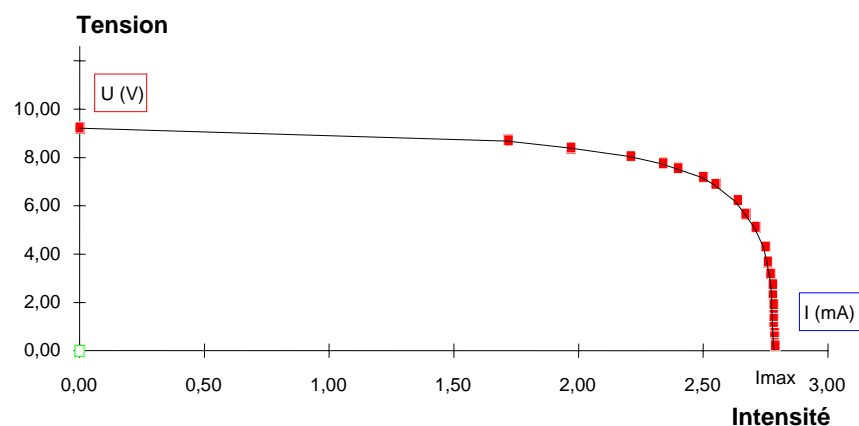
② On modifie la valeur de la résistance du potentiomètre et on relève les valeurs de **U** et **I** qui sont reportées dans un tableau :

Intensité (mA)	Tension (V)	Intensité (mA)	Tension (V)
0	9.25	2.76	3.70
1.72	8.70	2.77	3.20
1.97	8.43	2.78	2.70
2.21	8.06	2.78	2.29
2.34	7.76	2.78	1.95
2.40	7.55	2.78	1.75
2.50	7.2	2.78	1.43
2.55	6.9	2.78	1.07
2.64	6.23	2.79	0.732
2.67	5.67	2.80	0.550
2.71	5.12	2.80	0.465
2.75	4.31	2.81	0.313

③ On visualise ces valeurs dans le tableau du logiciel Actilab (ce qui peut être fait dès le début des mesures) : **I** dans la première colonne (Abscisse) et **U** dans la deuxième colonne (C. n°1).

④ On visualise la courbe $U = f(I)$. On obtient la représentation suivante :

Caractéristiques d'une photopile SOLEM



¹ La valeur moyenne de l'éclairement est obtenue en déplaçant le luxmètre dans le champ lumineux sur la surface de la photopile et en calculant la moyenne approchée des mesures lues. En toute rigueur, il faut placer le luxmètre dans le plan de la photopile et non sur la surface transparente du module.

⑤ Observations : description de la caractéristique

- deux parties de la caractéristique intensité/tension $U = f(I)$ de la photopile peuvent être linéarisées : de 0 à 1,5 mA et de 0 à 4 V environ (cf. graphique)

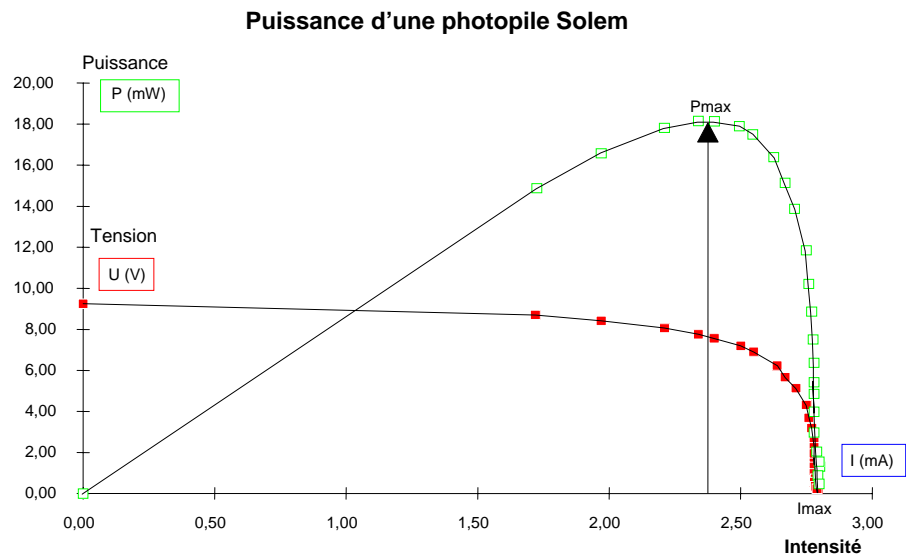
- l'intensité pour des tensions comprises entre 0 et 4 V est à peu près constante². Elle est maximale à 2,80 mA.

3^e étape : l'exploitation des résultats

1 - Puissance électrique transférée par le photogénérateur

① Dans le tableur d'Actilab, on crée une nouvelle colonne qui donne le produit de **U** par **I** c'est-à-dire la puissance **P** : il suffit de demander une *Formule* (touche F4) et de taper C1*X dans le cadre de saisie devant l'inscription C2 =.

② On visualise les courbes $U = f(I)$ et $P = g(I)$ ci-dessous :



③ Observations : description des courbes

- la courbe de puissance $P = f(I)$ passe par un maximum à 18,2 mW.
- sur la courbe $U = f(I)$ les coordonnées du point pour lequel la puissance transférée par le photogénérateur est maximale sont $U = 7,8$ V et $I = 2,34$ mA.

2 – Rendement du photogénérateur

On se propose de calculer le rendement maximal du photogénérateur éclairé par la lampe à halogène de 50 W.

① *Puissance moyenne reçue*

L'éclairement lumineux mesuré précédemment est : $E_{lum} = 18000$ Lx

- on utilise la relation d'équivalence de la page 5, $1 \text{ lx} \Leftrightarrow 4,75 \cdot 10^{-2} \text{ W.m}^{-2}$ et on calcule l'éclairement énergétique E_1 reçu par la photopile :

$$E_{lum} \Leftrightarrow E_1 = 18000 \times 4,75 \cdot 10^{-2} = 855 \text{ W.m}^{-2}$$

- on mesure les dimensions du photogénérateur et on calcule sa surface :

$$L = 96 \text{ mm} ; l = 48 \text{ mm} \quad s = 46 \text{ cm}^2 = 46 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- on en déduit la puissance rayonnante P_1 reçue par la photopile :

$$P_1 = E_1 \times s = 855 \times 46 \cdot 10^{-4} \approx 4 \text{ W}$$

² Cette propriété sera utilisée dans l'étude de la charge du condensateur.

② Puissance électrique maximale transférée

Sur la courbe $P = f(I)$, la puissance électrique maximale est :

$$P_{\max} = 18,2 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

③ Calcul du rendement énergétique maximal de la photopile

C'est le rapport ρ de la puissance maximale transférée P_{\max} et de la puissance rayonnante reçue P_1 :

$$\rho = P_{\max} / P_1 \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ ou } 0,5 \%$$

On constate que le rendement est très faible.

La précision des mesures ne permet que l'obtention d'un ordre de grandeur du rendement.

Remarque 1 : Si le temps le permet, il est conseillé de mesurer le rendement pour un autre éclairage.

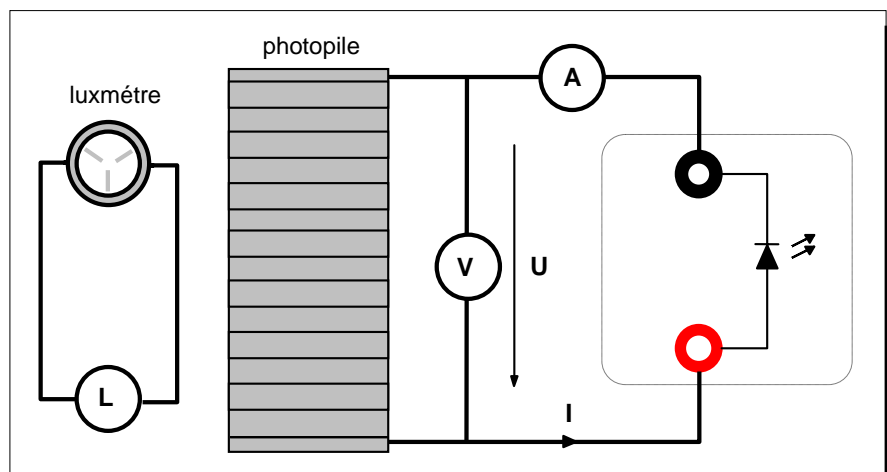
Remarque 2 : On peut remarquer que la lampe consomme une puissance électrique de $P = 50 \text{ W}$. Le rendement global de l'installation en tenant compte de ce constat tombe à $\rho' = P_{\max} / P \approx 3,6 \cdot 10^{-4}$ ou environ **0,04 %**

4^e étape : une application

Etude d'une chaîne énergétique contenant la photopile et une photodiode (DEL) de haute luminosité. Estimation du rendement lumineux.

1 – Réalisation du montage et mesures

Le photogénérateur (7,5 V – 0,125 W) est éclairé par le projecteur à lampe halogène de 50 W, disposé exactement comme dans l'étude précédente.



① On relève les valeurs de U et I pour calculer la valeur de la puissance électrique $P = U \times I$ transférée par le générateur. On trouve la valeur :

$$P = 1,67 \times 2,78 \cdot 10^{-3} \approx 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

Inférieure à la puissance maximale transférée qui est 18,2 mW.

② L'éclairement lumineux mesuré précédemment est :
qui correspond à une puissance rayonnante reçue

$$E_{\text{lum}} = 18000 \text{ lx}$$

$$P_1 = 4 \text{ W}$$

On mesure l'éclairement lumineux maximum produit par la DEL, en appliquant directement le luxmètre sur la *DEL* (à l'abri de la lumière en appuyant le luxmètre sur la paroi latérale du module portant la DEL). On mesure : **28 lx**.

En réalité, le luxmètre ne donne pas une indication correcte puisque seule la surface **s** (égale à la surface de la DEL vue de face) est éclairée.

Ramené à la surface **S** du luxmètre, l'éclairement serait : **$E_{DEL} = 28 \times S/s$**

Le diamètre de la DEL est 5 mm, celui du luxmètre est 35 mm.

Le rapport des surfaces est égal au carré du rapport des diamètres, d'où

$$E_{DEL} = 28 \times (35/5)^2 = 1370 \text{ lx}$$

2 – Quelques rendements

① Le rendement énergétique ρ_1 de la photopile, par rapport à la puissance rayonnante **P₁** qu'elle reçoit est :

$$\rho_1 = P/P_1 \approx 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ ou } 0,12 \%$$

② Une estimation du rendement de l'éclairement lumineux est donnée par :

$$\rho_2 = E_{DEL}/E_{LUM} = 1370/18000 \approx 7,6 \cdot 10^{-2} = 7,6 \%$$

On constate que le rendement de l'éclairement lumineux est faible.

4.2 Etude d'un moteur électrique

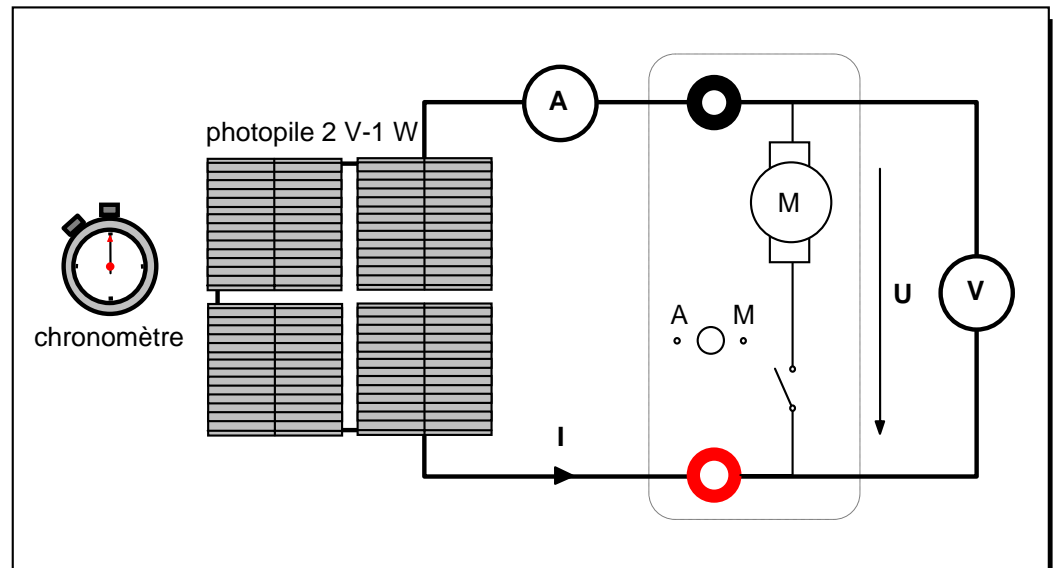
Le but de la manipulation est :

- la mesure du travail mécanique transféré par un moteur électrique,
- l'étude du bilan de la chaîne énergétique
- le calcul du rendement du moteur électrique

Le moteur est alimenté par un photogénérateur. Il est également possible de l'alimenter par un autre générateur électrique, sans dépasser une tension de 2 V (alimentation stabilisée ou pile de 1,5 V par exemple).

1^{ère} étape : le montage

On réalise le montage représenté par le schéma ci-dessous : il fait appel au MODULE PHOTOGENERATEUR dont on utilise la photopile 2 V – 1 W et au moteur du MODULE CHAINE ENERGETIQUE. Deux multimètres sont installés : le milliampèremètre A et le voltmètre V.

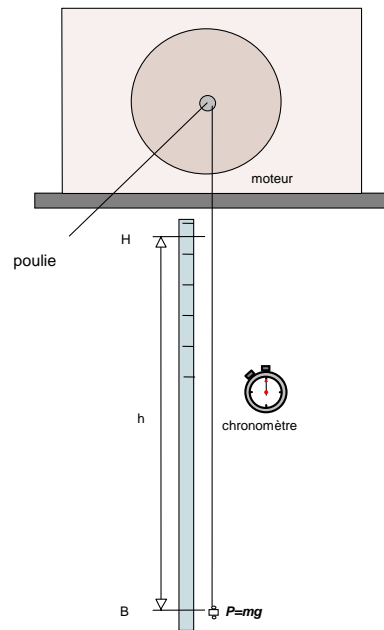


La photopile est éclairée par le projecteur à la lampe à halogène de 50 W. Le chronomètre mesure la durée de montée du poids **P**.

2^{ème} étape : le protocole

Travail mécanique transféré par le moteur électrique

- ① Le moteur soulève une masse **m**, de poids **P = mg**, sur une hauteur **h**, pendant le temps **t**, à vitesse constante (voir le schéma à la page suivante).
- ② Les mesures qui suivent sont nombreuses et à réaliser en peu de temps :
 - on fixe la hauteur **h** ($h = 56$ cm par exemple) et on met en place les repères horizontaux **H** et **B**
 - on choisit la valeur de **m**, successivement 10, 20, 30, 40 g
 - on amène le poids **P** au niveau du repère de départ bas **B**
 - on déclenche le chronomètre et on bascule simultanément l'interrupteur du moteur dans la position **M**(arche) : le fil s'enroule sur la poulie et le poids **P** se déplace vers le haut.
 - durant le déplacement du poids, on lit les indications **U** et **I** des contrôleurs
 - on arrête le chronomètre quand le poids **P** passe au niveau du repère haut **H** et on bascule *simultanément* l'interrupteur du moteur dans la position **A**(arrêt)
 - on note la durée **t** du déplacement (durée courte difficile à évaluer du premier coup avec précision)
 - on refait plusieurs fois la mesure, pour chaque masse, afin de déterminer une valeur moyenne des résultats.



Les résultats sont reportés dans le tableau ci-dessous en même temps que les calculs des diverses énergies mises en jeu.

③ Pour connaître la valeur de la résistance interne r' du moteur, il faut bloquer l'arbre du moteur (à la main) et mesurer les valeurs de U et I à cet instant :

- on a $r' = U/I$

- les mesures donnent $U = 0,95 \text{ V}$ et $I = 155 \text{ mA}$ soit

$$r' = 0,95/0,155 = 6,1 \Omega$$

3^e étape : l'exploitation des résultats

1 – Bilan de la chaîne énergétique

① La puissance transférée par effet Joule dans le moteur est : $P_j = r' \cdot I^2$
Elle figure dans le tableau pour chaque mesure.

② Bilan énergétique et rendement

m (g)	h (m)	t (s)	$P_m = mgh/t$ (mW)	U (V)	I (mA)	$P_e = UI$ (mW)	$\rho_{\text{mot}} = P_m/P_e$ (%)	$P_j = r'I^2$ (mW)	$P_f = P_e - (P_m + P_j)$ (mW)
0	/	/	0	1.61	28.8	46	0	5	41
10	0.56	2.0	27	1.53	50	76	36	15	34
20	0.56	2.5	44	1.45	73	106	42	32	30
30	0.56	3.4	48	1.28	100	128	37	61	19
40	0.56	5.0	44	1.20	120	144	31	88	12

La puissance mécanique transférée par le moteur lorsqu'il soulève le poids $P=mg$ est $P_m = mgh/t$.

La première ligne ($m=0$) correspond au fonctionnement à vide ($P_m=0$).

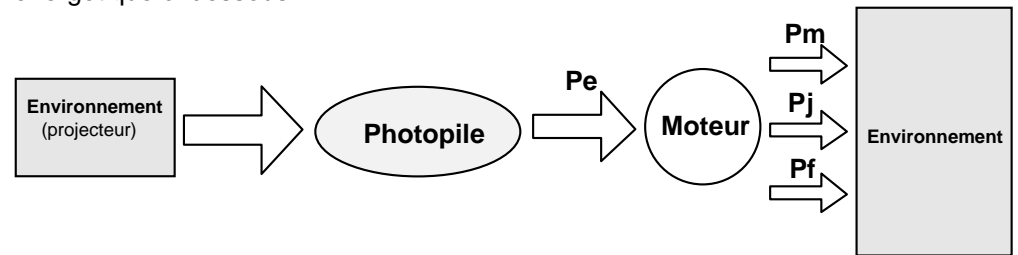
La puissance électrique transférée par le photogénérateur est $P_e = UI$

Les frottements mécaniques (balais du collecteur, supports de l'arbre,...) et les autres pertes diverses (d'origine magnétique) représentent une puissance P_f qui peut être évaluée par différence :

$$P_f = P_e - (P_m + P_j)$$

Le rendement effectif du moteur est donné par la relation : $\rho_{\text{mot}} = P_m/P_e$

La conservation de la puissance mécanique se traduit par le diagramme énergétique ci-dessous :



$$P_e = P_m + P_j + P_f$$

2 - Rendement ρ_{mot} du moteur

① La puissance mécanique transférée par le moteur passe par un maximum. Le rendement du moteur passe également par un maximum de l'ordre de :

$$\rho_{\text{mot}} = 42 \%$$

Si on demande un travail trop important au moteur (ici dès que $m > 20 \text{ g}$), les pertes par effet Joule deviennent très grandes car l'intensité croît beaucoup et le rendement diminue.

② Les pertes de puissance varient de façons inverses :

- par effet Joule, elles augmentent avec la charge car l'intensité du courant augmente
- par frottement ou autres causes, elles diminuent car elles sont en général variables dans le même sens que la vitesse de rotation. Or celle-ci diminue quand le moteur fournit un travail mécanique plus important.

Remarque 1 : Si le générateur est une pile Leclanché de 1,5 V, les mêmes mesures donnent les résultats suivants :

m (g)	h (m)	t (s)	$P_m = mgh/t$ (mW)	U (V)	I (mA)	$P_e = UI$ (mW)	$\rho_{\text{mot}} = P_m/P_e$ (%)	$P_j = r'I^2$ (mW)	$P_f = P_e - (P_m + P_j)$ (mW)
0	/	/	0	1.50	29.3	44	0	5	39
10	0.56	2.1	26	1.47	51	75	35	16	33
20	0.56	2.6	42	1.42	73	104	41	33	29
30	0.56	3.4	48	1.38	97	134	36	57	29
40	0.56	5.0	44	1.32	123	162	27	92	26

On constate que les valeurs mesurées sont très voisines de celles obtenues avec la photopile.

4.3 Etude d'un super condensateur

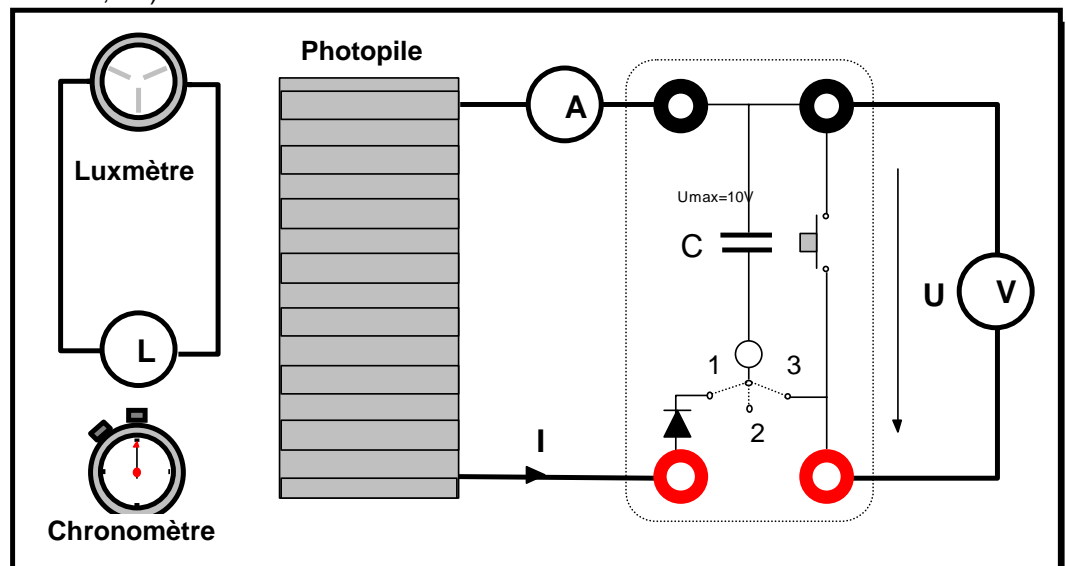
Le but de la manipulation est :

- la mesure de la capacité d'un condensateur de sauvegarde,
- le calcul de l'énergie électrique qu'il emmagasine.

Capacité du condensateur

1^{ière} étape : le montage

Réaliser le montage représenté par le schéma ci-dessous : il fait appel au MODULE PHOTOGENERATEUR dont on utilise la photopile 7,5 V-0,125 W et le condensateur du MODULE CHAINE ENERGETIQUE. Deux multimètres sont installés : le milliampèremètre A mesure l'intensité du courant pendant la charge du condensateur (inverseur en 1) et le voltmètre V la tension aux bornes du condensateur après la charge (inverseur en 3) pour ne pas avoir à tenir compte de la chute de tension dans la diode (tension de seuil d'environ 0,6 V).



La photopile est éclairée par le projecteur à la lampe à halogène de 50 W. Un luxmètre mesure l'éclairement reçu par la photopile. Le chronomètre mesure la durée de charge t du condensateur.

2^e étape : le protocole

Charge du condensateur à courant constant.

On utilise une propriété de la caractéristique du photogénérateur (cf. note 2 p.11) pour des tensions faibles (jusque vers 4V), il débite un courant qu'on peut considérer comme constant. On se trouve dans la partie de la caractéristique sensiblement parallèle à l'axe des ordonnées, à l'abscisse 2,8 mA.

En réalité, ce courant varie un peu, de façon linéaire. L'ampèremètre A contrôle cette variation et permet de trouver *une valeur moyenne de l'intensité*. Lorsqu'on commute l'inverseur dans la position 1, le condensateur - déchargé au début de l'opération - est traversé par cette intensité. Pendant ce temps, la tension aux bornes du condensateur croît lentement à partir de 0 jusqu'à une valeur qui ne doit pas excéder 4 V (on peut s'en assurer en branchant provisoirement le voltmètre aux bornes du photogénérateur).

On chronomètre la durée t de la charge.

① Pour une position bien déterminée du projecteur, on relève la valeur donnée par le luxmètre de l'éclairement reçu par la photopile, en plaçant le luxmètre sur la surface du photogénérateur. Si nous reprenons les conditions d'éclairement vue précédemment, on a $E_{lum} = 18000 \text{ lx}$,

② Il faut s'assurer que le condensateur est bien déchargé : on passe sur la position 3 de l'inverseur et on appuie sur le bouton poussoir. Il faut contrôler sur le voltmètre que la tension est nulle.

③ On bascule l'inverseur sur la position 1 et *simultanément* on déclenche le chronomètre.

On réalise plusieurs charges successives pour des durées déterminées, par exemple : $t = 1, 2, 3 \text{ min}$.

Pendant la charge, on observe la variation éventuelle de I et on note la valeur moyenne de l'intensité (moyenne entre la valeur de départ et la valeur de fin de mesure).

④ A la fin de la durée t choisie, on bascule le commutateur dans la position 2. En passant sur la position 3, le voltmètre V indique la tension U de fin de charge, valeur qui est notée.

3^e étape : l'exploitation des résultats

Les résultats des mesures et des calculs

t (s)	I (mA)	q=I.t (C)	U (V)	C=I.t/U (F)	W=1/2.C.U ² (J)	W ₁ =P ₁ .t (J)	ρ = W/W ₁ (%)
60	2.76	0.166	1.36	0.122	0.110	240	0.046
120	2.75	0.330	2.65	0.125	0.437	480	0.091
180	2.76	0.497	3.89	0.128	0.967	720	0.134

Capacité du condensateur

La capacité d'électricité emmagasinée sur les armatures du condensateur par le courant I durant le temps t est :

$$q = I.t$$

Si on appelle C la capacité du condensateur et U la tension entre ses bornes, la charge q est proportionnelle à U :

$$q = C.U$$

On obtient donc la valeur de la capacité

$$C = I.t/U$$

La valeur moyenne de la capacité, pour les 3 mesures réalisées est :

(le fabricant annonce 0,1 F)

$$C = 0,125 \text{ F}$$

Energie emmagasiné dans le condensateur

L'énergie électrique stockée dans le condensateur est

$$W = 1/2.C.U^2$$

Rendement de l'opération

① L'éclairement lumineux mesuré précédemment est :
qui correspond à une puissance rayonnante reçue

$$E_{lum}=18000 \text{ lx}$$

$$P_1 = 4 \text{ W}$$

② L'éclairement lumineux est constant de même que la puissance P_1
Durant la charge, l'énergie rayonnante mise en jeu est

$$W_1 = P_1.t$$

③ Le rendement de l'opération est

$$\rho = W/W_1$$

Le rendement augmente quand la tension finale augmente : la photopile voit sa puissance électrique augmenter (cf. la courbe du bas de la page 12).

4.4 Utilisation du super condensateur

Le but de la manipulation est :

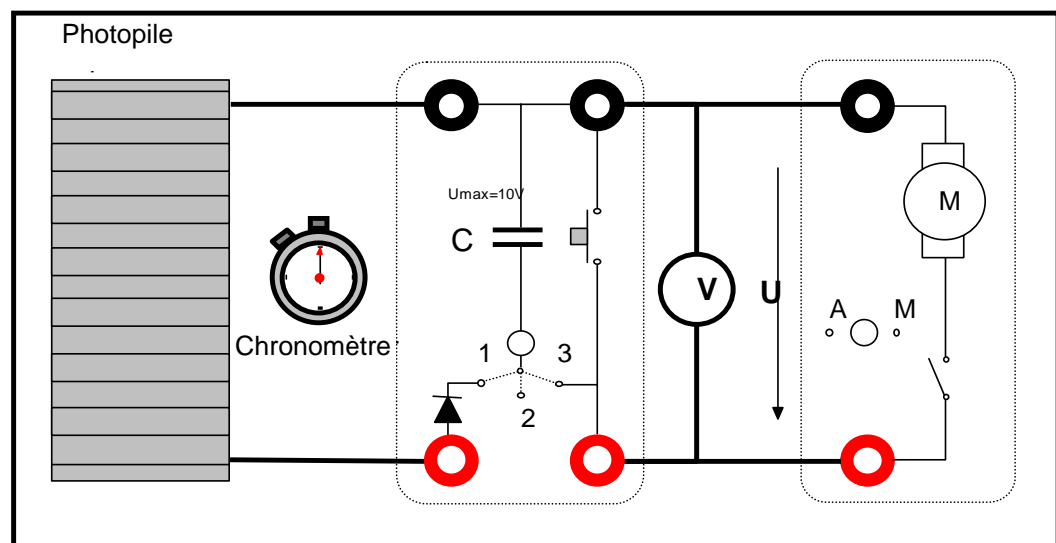
- l'utilisation de l'énergie électrique emmagasinée dans le super condensateur par un moteur électrique,
- le calcul du rendement de la chaîne énergétique réalisée

Energie du condensateur

Si on relie directement le moteur au photogénérateur de 7,5 V-0,125 W, la tension aux bornes des deux appareils est quasi nulle et le moteur ne peut fonctionner. Pour utiliser l'énergie électrique transférée par la photopile au fonctionnement correct du moteur, on utilise le super condensateur comme *intermédiaire de stockage de l'énergie*.

1^{ère} étape : le montage

Réaliser le montage représenté par le schéma ci-dessous : il fait appel au MODULE PHOTOGENERATEUR dont on utilise la photopile 7,5 V-0,125 W et au MODULE CHAINE ENERGETIQUE dont on utilise le condensateur et le moteur. Un multimètre est installé : le voltmètre V qui mesure la tension aux bornes du condensateur relié au moteur (inverseur en 3).



La photopile est éclairée par le projecteur à la lampe à halogène de 50 W. Le chronomètre mesure la durée de charge t du condensateur.

2^e étape : le protocole

- ① Charge du condensateur à courant constant.

L'interrupteur du moteur est sur la position **A**(arrêt). On procède à la charge du condensateur de la même façon que dans la manipulation 4.3 précédente en choisissant une durée $t = 2$ ou 3 min mesurée par le chronomètre. On note la valeur de la tension U_1 en fin de charge (position 3 du commutateur).

- ② Mise en marche du moteur

Le dispositif mis en place est celui du schéma de la page 16.

La masse employée est

$m = 20$ g ou 30 g

On bascule l'interrupteur du moteur sur la position **M**(arche) : la masse **m** remonte d'une hauteur **h**. On peut fixer cette valeur, par exemple **h = 0,56 m**. Au moment précis où cette hauteur est atteinte, on bascule l'interrupteur du moteur sur la position **A**(arrêt) et on lit, après 1 min d'attente environ, la valeur de la tension résiduelle **U₂** aux bornes du condensateur.

3^e étape : l'exploitation des résultats

- ① La valeur de la capacité (déjà connue) est **C = 0,125 F**
- ② L'énergie électrique stockée dans le condensateur est **$W_1 = 1/2 \cdot C \cdot U_1^2$**
L'énergie non transférée restant dans le condensateur est **$W_2 = 1/2 \cdot C \cdot U_2^2$**
L'énergie transférée réellement au moteur est donc **$W = W_1 - W_2$**
- ③ L'énergie mécanique transférée par le moteur est **$W_m = mgh$**

Les résultats des mesures et des calculs

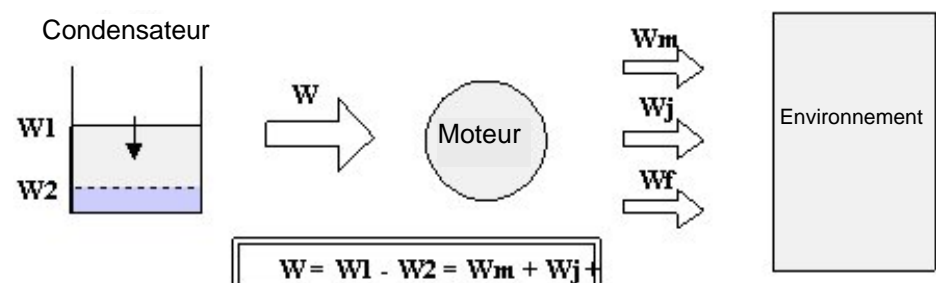
m (g)	h (m)	t (s)	$W_m = mgh$ (J)	U_1 (V)	$W_1 = 1/2 \cdot C \cdot U_1^2$ (J)	U_2 (V)	$W_2 = 1/2 \cdot C \cdot U_2^2$ (J)	$W = W_1 - W_2$ (J)	$\rho = W_m/W$ (%)
20	0.56	120	0.11	3.01	0.566	1.71	0.183	0.383	28.7
30	0.56	180	0.165	3.70	0.856	2.29	0.328	0.528	31.3
30	0.56	240	0.165	4.92	1.51	3.82	0.912	0.598	27.6
30	0.56	240	0.165	3.82	0.912	2.48	0.384	0.528	31.3

Remarque : il est possible de procéder à deux remontées successives du poids **P**, c'est le cas pour les deux dernières mesures du tableau (dans ce cas, **U₁** de la deuxième montée est égal à **U₂** de la première montée).

Rendement du moteur

Le rendement effectif du moteur est **$\rho = W_m/W$** .
On constate qu'il est de l'ordre de 30 % et dépend de la tension de charge du condensateur. On constate qu'il est du même ordre de grandeur que dans la manipulation 4.2.
Les pertes sont de même nature : effet Joule et autre (frottements, magnétiques).

Le diagramme de conservation de l'énergie est le suivant :



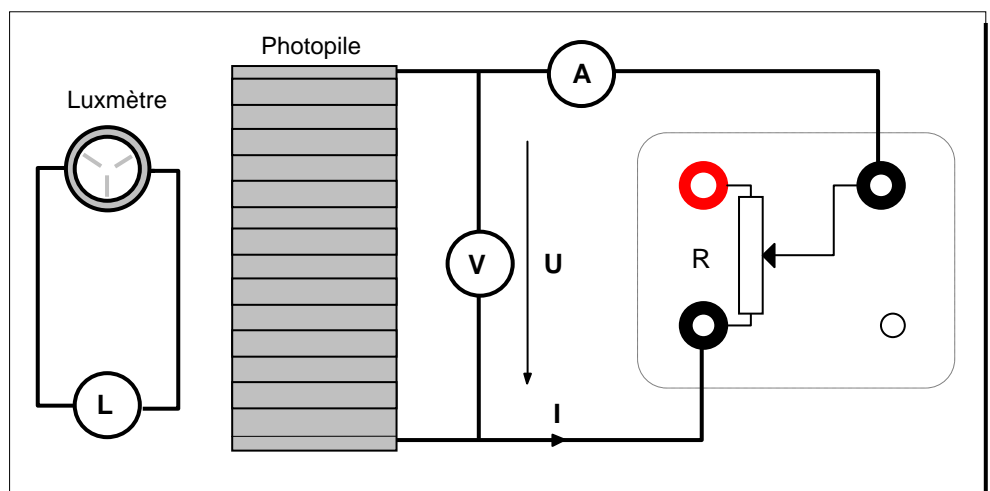
Fiches de travaux pratiques : documents pour les élèves

1 Etude d'un photogénérateur

Le but de la manipulation est le tracé de la caractéristique d'une pile photovoltaïque et le calcul de son rendement énergétique maximum.

1^{ère} étape : le montage

On réalise le montage représenté par le schéma ci-dessous : il fait appel au MODULE PHOTOGENERATEUR dont on utilise la photopile 7,5 V-0,125 W et le potentiomètre du MODULE CHAINE ENERGETIQUE. Deux multimètres sont installés : V en voltmètre et A en milliampèremètre.



La photopile est éclairée par le projecteur à lampe à halogène de 50 W. Le luxmètre mesure l'éclairement de la photopile, c'est-à-dire la puissance lumineuse reçue par unité de surface.

2^e étape : le protocole

Tracé de la caractéristique de la photopile.

① Placer le projecteur à 15 ou 20 cm au dessus du photogénérateur. Placer le luxmètre sur la surface du photogénérateur. Relever la valeur en lux de l'éclairement³ reçu par la photopile. Noter l'éclairement : $E_{lum} =$

② Faire varier la valeur de la résistance du potentiomètre et prendre 20 mesures de U et I (rapprocher les mesures de la tension U lorsque sa valeur diminue) Reporter les mesures de U et de I dans un tableau :

Intensité (mA)	Tension (V)	Intensité (mA)	Tension (V)

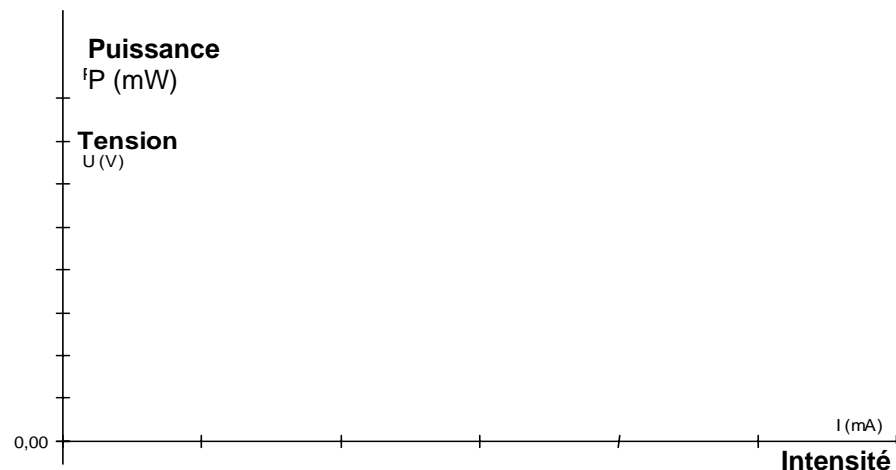
³ L'éclairement représente l'énergie lumineuse reçue par unité de surface. Il se mesure en lux.

③ Copier ces valeurs dans le tableur du logiciel (ce qui peut être fait directement dès le début des mesures) : I dans la première colonne (Abscisse) et U dans la deuxième colonne (C n°1).

④ Visualiser ou tracer la courbe $U = f(I)$.

⑤ Observations : décrire la caractéristique intensité-tension obtenue.

Caractéristiques et puissance d'une photopile SOLEM



- quelles parties de la caractéristiques intensité-tension $U = f(I)$ de la photopile peuvent être linéarisées ?
- quelle est la valeur de l'intensité pour des tensions comprises entre 0 et 4 V environ ? Que constate-t-on ?

3^e étape : l'exploitation des résultats

1 - Puissance électrique transférée par le photogénérateur

① Dans le tableur d'Actilab, on crée une nouvelle colonne qui donne le produit de U par I c'est-à-dire la puissance P : il suffit de demander une *Formule* (touche F4) et de taper C1*X dans le cadre de saisie devant l'inscription C2 =.

② Visualiser ou tracer la courbe $P = g(I)$ sur le graphe précédent.

③ Observations : décrire la courbe obtenue

- quelle particularité présente la courbe de puissance $P = f(I)$?
- relever sur la courbe $U = f(I)$ les coordonnées du point pour lequel la puissance transférée par le photogénérateur est maximale.

2 – Rendement du photogénérateur

On se propose de calculer le rendement maximal du photogénérateur éclairé par la lampe à halogène de 50 W.

① *Puissance moyenne reçue*

On sait que l'éclairement lumineux est : $E_{lum} =$

- pour calculer l'éclairement énergétique reçu par la photopile, on convertit l'éclairement lumineux en utilisant la relation d'équivalence approchée :

$$1 \text{ lx} \leftrightarrow 4,75 \cdot 10^{-2} \text{ W.m}^{-2}$$

- calculer l'éclairement énergétique E_1 reçu par la photopile :

$$E_{\text{lum}} \leftrightarrow E_1 = \quad \quad \quad \text{W. m}^{-2}$$

- mesurer les dimensions du photogénérateur et calculer sa surface

$$L = \quad \quad \quad I = \quad \quad \quad S =$$

- en déduire la puissance rayonnante P_1 , reçu par la photopile

$$P_1 =$$

② Puissance électrique maximale transférée

Sur la courbe $P = f(I)$, quelle est la puissance électrique maximale ?

$$P_{\text{max}} =$$

③ Calcul du rendement énergétique maximal de la photopile

C'est le rapport ρ de la puissance maximale transférée P_{max} et de la puissance rayonnante reçue P_1 :

$$\rho \approx \quad \quad \quad \%$$

Que peut on conclure sur la valeur de ce rendement ?

La précision des mesures ne permet que l'obtention d'un ordre de grandeur du rendement.

Remarque 1 : Si le temps le permet, il est conseillé de mesurer le rendement pour un autre éclairage (en modifiant par exemple la position du projecteur).

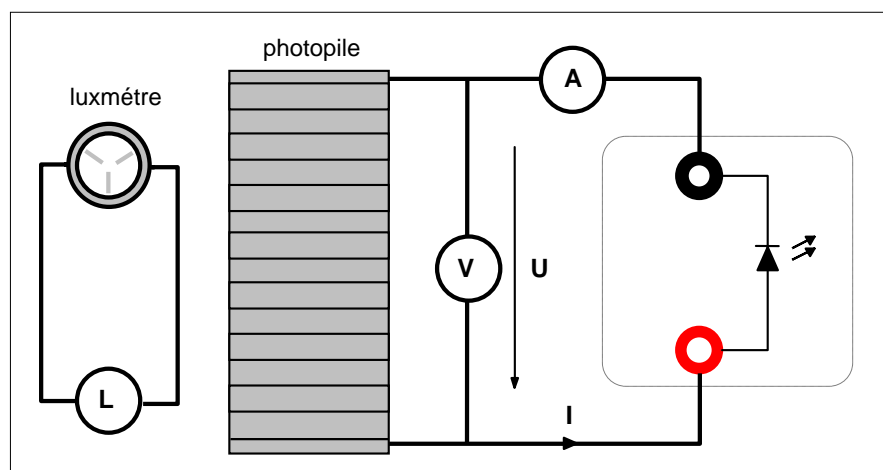
Remarque 2 : On peut remarquer que la lampe consomme une puissance électrique de $P = 50 \text{ W}$. Quel est le rendement global de l'installation en tenant compte de ce constat.

4^e étape : une application

Etude d'une chaîne énergétique contenant la photopile et une photodiode (DEL) de haute luminosité. Estimation du rendement lumineux.

1 – Réalisation du montage et mesures

Le photogénérateur (7,5 V – 0,125 W) est éclairé par le projecteur à lampe halogène de 50 W, disposé exactement comme dans l'étude précédente.



① Relever les valeurs de **U** et **I**. Calculer la valeur de la puissance électrique
P = U x I transférée par le générateur. On trouve : P = W

② L'éclairement lumineux mesuré précédemment est : **E_{lum}** =
 qui correspond à une puissance rayonnante reçue **P₁** =

Mesurer l'éclairement lumineux maximum produit par la DEL, appliquer directement le luxmètre sur la **DEL** (à l'abri de la lumière en appuyant le luxmètre sur la paroi latérale du module portant la DEL). On mesure : **lx**.
 En réalité, le luxmètre ne donne pas une indication correcte puisque seule la surface **s** (égale à la surface de la DEL vue de face) est éclairée.
 Ramené à la surface **S** du luxmètre, l'éclairement serait : **E_{DEL}** = x **S/s**
 Mesurer les diamètres de la DEL et du luxmètre et calculer :

$$E_{DEL} = \quad \quad \quad lx$$

2 – Quelques rendements

① Calculer le rendement énergétique **ρ₁** de la photopile, par rapport à la puissance rayonnante **P₁** qu'elle reçoit :

$$\rho_1 = P/P_1 \approx \quad \quad \quad \%$$

② Une estimation du rendement de l'éclairement lumineux est donnée par :

$$\rho_2 = E_{DEL}/E_{LUM} = \quad \quad \quad \%$$

Que dire du rendement de l'éclairement lumineux ?

2 Etude d'un moteur électrique

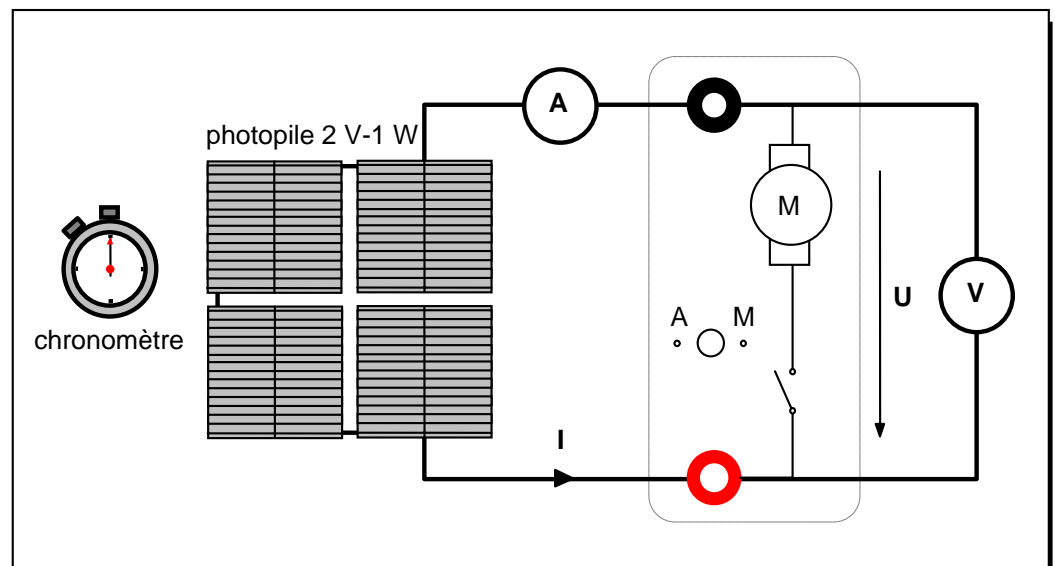
Le but de la manipulation est :

- la mesure du travail mécanique transféré par un moteur électrique,
- l'étude du bilan de la chaîne énergétique
- le calcul du rendement du moteur électrique

Le moteur est alimenté par un photogénérateur. Il est également possible de l'alimenter par un autre générateur électrique, sans dépasser une tension de 2 V (alimentation stabilisée ou pile de 1,5 V par exemple).

1^{ère} étape : le montage

On réalise le montage représenté par le schéma ci-dessous : il fait appel au MODULE PHOTOGENERATEUR dont on utilise la photopile 2 V – 1 W et au moteur du MODULE CHAINE ENERGETIQUE. Deux multimètres sont installés : le milliampèremètre A et le voltmètre V.



La photopile est éclairée par le projecteur à la lampe à halogène de 50 W. Le chronomètre mesure la durée de montée du poids P .

2^{ème} étape : le protocole

Travail mécanique transféré par le moteur électrique

- ① Le moteur soulève une masse m , de poids $P = mg$, sur une hauteur h , pendant le temps t , à vitesse constante (voir le schéma à la page suivante).
- ② Les mesures qui suivent sont nombreuses et à réaliser en peu de temps. Il est bon de partager le travail entre les membres du groupe de travail :

□ *Travail préparatoire*

- fixer la hauteur **h** (de l'ordre de 50 à 60 cm), mettre en place les repères horizontaux **H** et **B**
- choisir la valeur de **m**, on prendra successivement 10, 20, 30, 40 g
- amener le poids **P** au niveau du repère de départ bas **B**

□ *Travail de l'élève 1*

- déclencher le chronomètre et basculer simultanément l'interrupteur du moteur dans la position **M**(arche) : le fil s'enroule sur la poulie et le poids **P** se déplace vers le haut
- arrêter le chronomètre au moment où le poids **P** passe au niveau du repère haut **H** et basculer simultanément l'interrupteur du moteur dans la position **A**(arrêt)
- noter la durée **t** du déplacement (durée courte difficile à évaluer du premier coup avec précision)

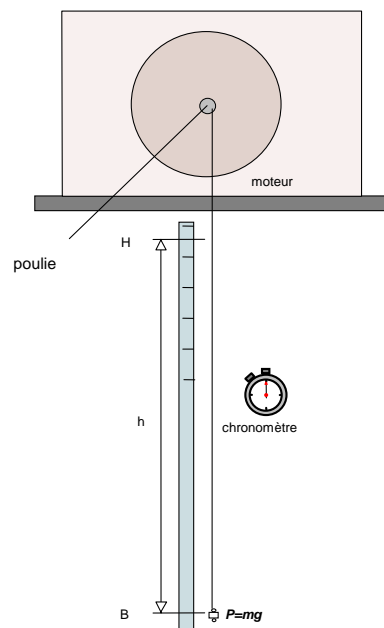
□ *Travail de l'élève 2*

- lire, durant le déplacement du poids, les indications **U** et **I** des contrôleurs
- déterminer les valeurs moyennes de **U** et de **I** à retenir.

□ *Recommandation*

- refaire plusieurs fois la mesure, pour chaque masse, afin de déterminer une valeur moyenne des résultats

Les résultats sont reportés dans le tableau de la page suivante en même temps que les calculs des diverses énergies mises en jeu



Pour la première séries de mesures, prendre $m = 0$ (c'est-à-dire faire tourner le moteur à vide)

③ Pour connaître la valeur de la **résistance interne r' du moteur**, il faut bloquer l'arbre du moteur (à la main) et mesurer les valeurs de **U** et **I** à cet instant :

- on a $r' = U/I$
- les mesures donnent $U =$ V et $I =$ mA soit
 $r' =$ Ω

3^e étape : l'exploitation des résultats

1 – Bilan de la chaîne énergétique

① La puissance transférée par effet Joule dans le moteur est : $P_j = r' \cdot I^2$
Elle figure dans le tableau pour chaque mesure.

② Bilan énergétique et rendement

m (g)	h (m)	t (s)	P _m =mgh/t (mW)	U (V)	I (mA)	P _e =UI (mW)	ρ _{mot} =P _m /P _e (%)	P _j =r'I ² (mW)	P _f =P _e -(P _m +P _j) (mW)
0	/	/	0				0		

L'expression de la puissance mécanique transférée par le moteur lorsqu'il soulève le poids $P = mg$ est $P_m =$

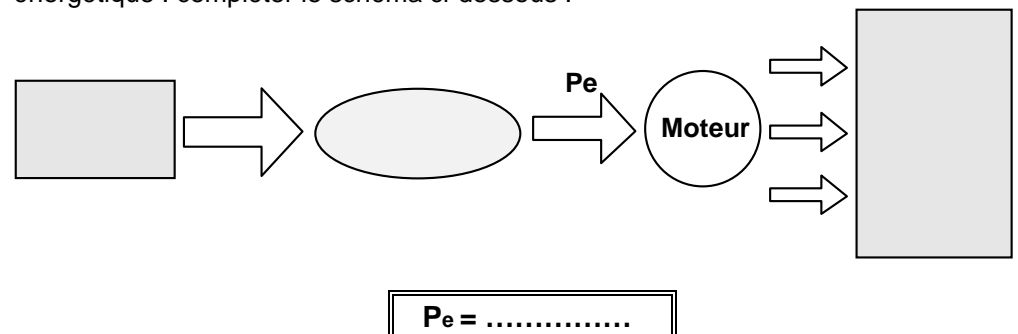
La puissance électrique transférée par la photopile est $P_e =$

Les frottements mécaniques (balais du collecteur, supports de l'arbre,...) et les autres pertes diverses (d'origine magnétique) représentent une puissance P_f qui peut être évaluée par différence par l'expression :

$P_f =$

Le rendement effectif du moteur est donné par la relation : $\rho_{\text{mot}} =$

La conservation de la puissance mécanique se traduit par un diagramme énergétique : compléter le schéma ci-dessous :



2 - Rendement ρ_{mot} du moteur

① Quelle est la valeur maximum de la puissance mécanique transférée par le moteur ?

Le rendement du moteur passe également par un maximum de l'ordre de :

$\rho_{\text{mot}} =$ %

Pour quelles raisons le rendement passe-t-il par un maximum ?

② Comment varient les pertes de puissance avec l'intensité ? Pourquoi ?

- par effet Joule

- par frottement ou autres causes

3 Etude d'un super condensateur

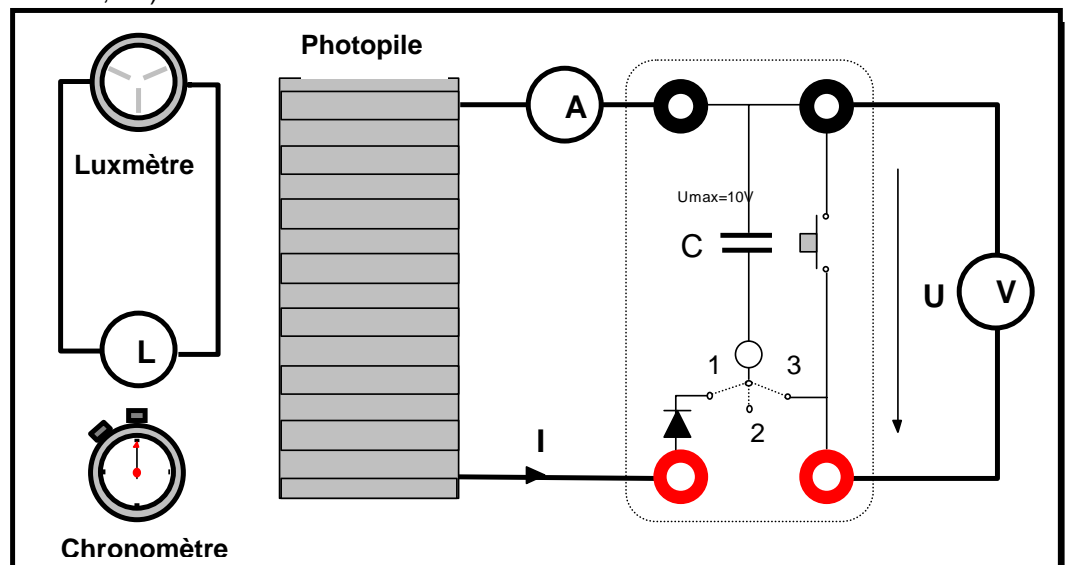
Le but de la manipulation est :

- la mesure de la capacité d'un condensateur de sauvegarde,
- le calcul de l'énergie électrique qu'il emmagasine.

Capacité du condensateur

1^{ère} étape : le montage

Réaliser le montage représenté par le schéma ci-dessous : il fait appel au MODULE PHOTOGENERATEUR dont on utilise la photopile 7,5 V-0,125 W et le condensateur du MODULE CHAINE ENERGETIQUE. Deux multimètres sont installés : le milliampèremètre A mesure l'intensité du courant pendant la charge du condensateur (inverseur en 1) et le voltmètre V la tension aux bornes du condensateur après la charge (inverseur en 3) pour ne pas avoir à tenir compte de la chute de tension dans la diode (tension de seuil d'environ 0,6 V).



La photopile est éclairée par le projecteur à la lampe à halogène de 50 W. Un luxmètre mesure l'éclairement reçu par la photopile. Le chronomètre mesure la durée de charge t du condensateur.

2^e étape : le protocole

Charge du condensateur à courant constant.

On utilise une propriété de la caractéristique du photogénérateur (cf. note 2 p.10) pour des tensions faibles (jusque vers 4V), il débite un courant qu'on peut considérer comme constant.

Dans quelle partie de la caractéristiques de la photopile se trouve-t-on ? Pour l'éclairement utilisé, quelle est la valeur de l'intensité de ce courant ?

En réalité, ce courant varie un peu, de façon linéaire. L'ampèremètre A permet d'observer cette variation et de calculer *une valeur moyenne de l'intensité*.

Comment peut-on procéder pour la déterminer ?

Lorsqu'on commute l'inverseur dans la position 1, le condensateur - déchargé au début de l'opération - est traversé par cette intensité. Pendant ce temps, la tension aux bornes du condensateur croît lentement à partir de 0 jusqu'à une valeur qui ne doit pas excéder 4 V (on peut s'en assurer en branchant provisoirement le voltmètre aux bornes du photogénérateur).
On chronomètre la durée t de la charge.

① Pour une position fixée du projecteur, relever la valeur donnée par le luxmètre de l'éclairement reçu par la photopile, en plaçant le luxmètre sur la surface du photogénérateur.

$$E_{lum} = Ix,$$

② S'assurer que le condensateur est bien déchargé : passer sur la position 3 de l'inverseur et appuyer sur le bouton poussoir. Contrôler sur le voltmètre que la tension est nulle.

③ Basculer l'inverseur sur la position 1 et *simultanément* déclencher le chronomètre.

La durée de la charge est choisie $t = 1 \text{ min}$

Pendant la charge, observer la variation éventuelle de I et noter sa valeur moyenne.

④ A la fin de la durée t choisie, basculer le commutateur dans la position 2. En passant sur la position 3, le voltmètre V indique la tension U de fin de charge, valeur qui est notée.

⑤ Réaliser plusieurs charges successives pour des durées déterminées, par exemple : $t = 2 \text{ et } 3 \text{ min}$ et reporter les diverses mesures dans le tableau des résultats ci-dessous.

3^e étape : l'exploitation des résultats

Les résultats des mesures et des calculs

t (s)	I (mA)	$q=I.t$ (C)	U (V)	$C=I.t/U$ (F)	$W=1/2.C.U^2$ (J)	$W_1=P_1.t$ (J)	$\rho = W/W_1$ (%)

Capacité du condensateur

La capacité d'électricité emmagasinée sur les armatures du condensateur par le courant I durant le temps t est :

$$q = I.t$$

Si on appelle C la capacité du condensateur et U la tension entre ses bornes, la charge q est proportionnelle à U :

$$q = C.U$$

Donner la relation simple qui donne la valeur de la capacité

$$C =$$

Quelle est la valeur numérique moyenne de la capacité)

$$C = \frac{\quad}{F}$$

Energie emmagasinée dans le condensateur

L'énergie électrique stockée dans le condensateur est
Remplir la colonne du tableau correspondant.

$$W = 1/2.C.U^2$$

Rendement de l'opération

① L'éclairement lumineux mesuré précédemment est : $E_{lum} = I_x$
qui correspond à une puissance rayonnante reçue $P_1 = W$

② L'éclairement lumineux est constant de même que la puissance P_1
Durant la charge, l'énergie rayonnante mise en jeu est $W_1 = P_1 \cdot t$
 $W_1 =$

③ Le rendement de l'opération
En reprenant les valeurs successives de W (énergie électrique emmagasinée
par le condensateur), on a :

$$\rho = W/W_1 =$$

Comment le rendement varie-t-il quand la tension de fin de charge
augmente ?

Quelle raison permet d'expliquer ce comportement ?

4 Utilisation du super condensateur

Le but de la manipulation est :

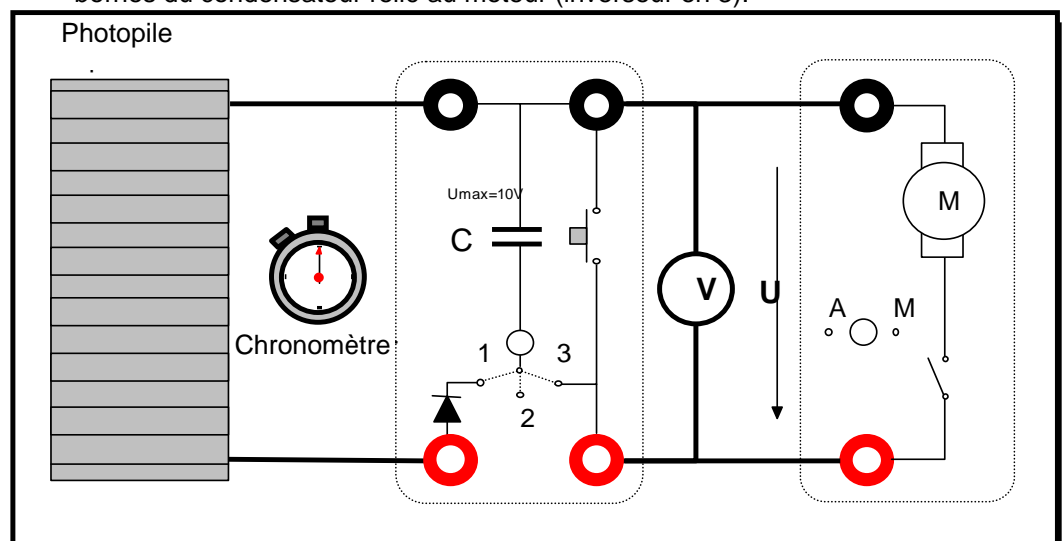
- l'utilisation de l'énergie électrique emmagasinée dans le super condensateur par un moteur électrique,
- le calcul du rendement de la chaîne énergétique réalisée

Energie du condensateur

Si on relie directement le moteur au photogénérateur de 7,5 V-0,125 W, la tension aux bornes des deux appareils est quasi nulle et le moteur ne peut fonctionner. Pour utiliser l'énergie électrique transférée par la photopile au fonctionnement correct du moteur, on utilise le super condensateur comme **intermédiaire de stockage de l'énergie**.

1^{ère} étape : le montage

Réaliser le montage représenté par le schéma ci-dessous : il fait appel au MODULE PHOTOGENERATEUR dont on utilise la photopile 7,5 V-0,125 W et au MODULE CHAINE ENERGETIQUE dont on utilise le condensateur et le moteur. Un multimètre est installé : le voltmètre V qui mesure la tension aux bornes du condensateur relié au moteur (inverseur en 3).



La photopile est éclairée par le projecteur à la lampe à halogène de 50 W. Le chronomètre mesure la durée de charge t du condensateur.

2^e étape : le protocole

① Charge du condensateur à courant constant.

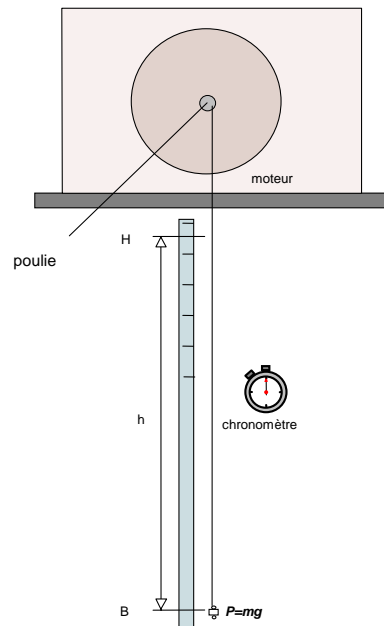
L'interrupteur du moteur est sur la position **A**(rrêt). On procède à la charge du condensateur de la même façon que dans la manipulation 4.3 précédente en choisissant une durée $t = 2$ ou 3 min mesurée par le chronomètre.

On note la valeur de la tension U_1 en fin de charge (position 3 du commutateur).

Noter la valeur de la tension U_1 en fin de charge (position 3 du commutateur).

② Mise en marche du moteur

Le dispositif mis en place est celui du schéma ci dessous.



La masse employée est

m = 20 g ou 30g

Basculer l'interrupteur du moteur sur la position **M**(arche) : la masse **m** remonte d'une hauteur **h**. Fixer cette valeur, par exemple **h = m**

Au moment précis où la hauteur est atteinte, basculer l'interrupteur du moteur sur la position **A**(arrêt) et lire, après 1 min d'attente environ, la valeur de la tension résiduelle **U₂** aux bornes du condensateur.

3^e étape : l'exploitation des résultats

① La valeur de la capacité (déjà connue) est

C = F

② L'énergie électrique stockée dans le condensateur est

W₁ =

L'énergie non transférée restant dans le condensateur est

W₂ =

L'énergie transférée réellement au moteur est donc

W = W₁ - W₂

③ L'énergie mécanique transférée par le moteur est

W_m =

m (g)	h (m)	t (s)	W _m =mgh (J)	U ₁ (V)	W ₁ =1/2.CU ₁ ² (J)	U ₂ (V)	W ₂ =1/2.CU ₂ ² (J)	W=W ₁ -W ₂ (J)	ρ = W _m /W (%)

Remarque : il est possible de procéder à deux remontées successives du poids **P** si l'énergie emmagasinée est suffisante.

Rendement du moteur

Le rendement effectif du moteur est

ρ = W_m/W

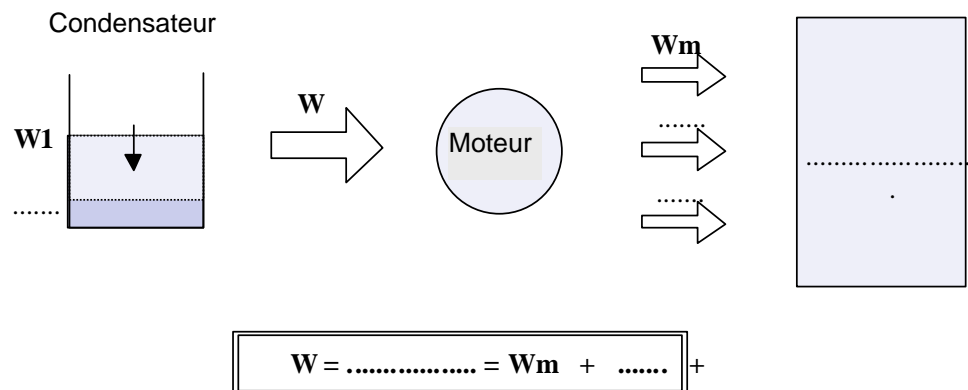
Quelle est la valeur moyenne du rendement calculé ?

P =

Comparer ce rendement à celui du moteur alimenté directement par un générateur (voir TP précédant).

De quelles natures sont les pertes d'énergie ?

Le diagramme de conservation de l'énergie peut être représenté par le schéma suivant. Compléter et annoter ce schéma :



5 Service après vente

La garantie est de 2 ans, le matériel doit être retourné dans nos ateliers.
 Pour toutes réparations, réglages ou pièces détachées, veuillez contacter :

JEULIN - SUPPORT TECHNIQUE
 Rue Jacques Monod
 BP 1900
 27 019 EVREUX CEDEX FRANCE
 0 825 563 563 *
 * 0,15 € TTC/min à partir d'un poste fixe

ENERGY AND EFFICIENCY is a set designed for the experimental study of energy chains. It allows in particular:

- Creating experimental set ups demonstrating the different energy chains
- Plotting the characteristics of a photovoltaic cell (photocell)
- Calculating the efficiency of a motor
- Demonstrating the storage of energy in a condenser.

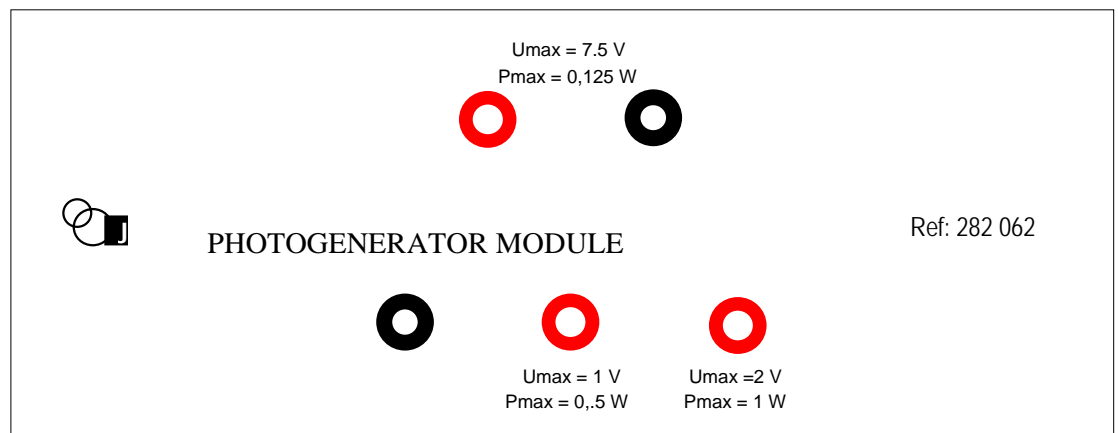
1 Description

The ENERGY AND EFFICIENCY set is made up of two modules:

1°) The PHOTOGENERATOR MODULE (Ref 282 062) that contains two photovoltaic generators:

- The first is a SOLEM photocell of 14 elements connected in series to the same silicon support. It has a rated voltage of 7.5 V (can exceed 10 V depending on the available light) and a maximum power of 0.125 W. The maximum intensity passing through it can reach a few mA depending on the available light.
- The second is made up of 4 identical photocells. Each photocell has a rated voltage of 0.5 V and a maximum power of 0.25 W. They are assembled for providing two different generators: 2V/1W and 1V/0.5W.

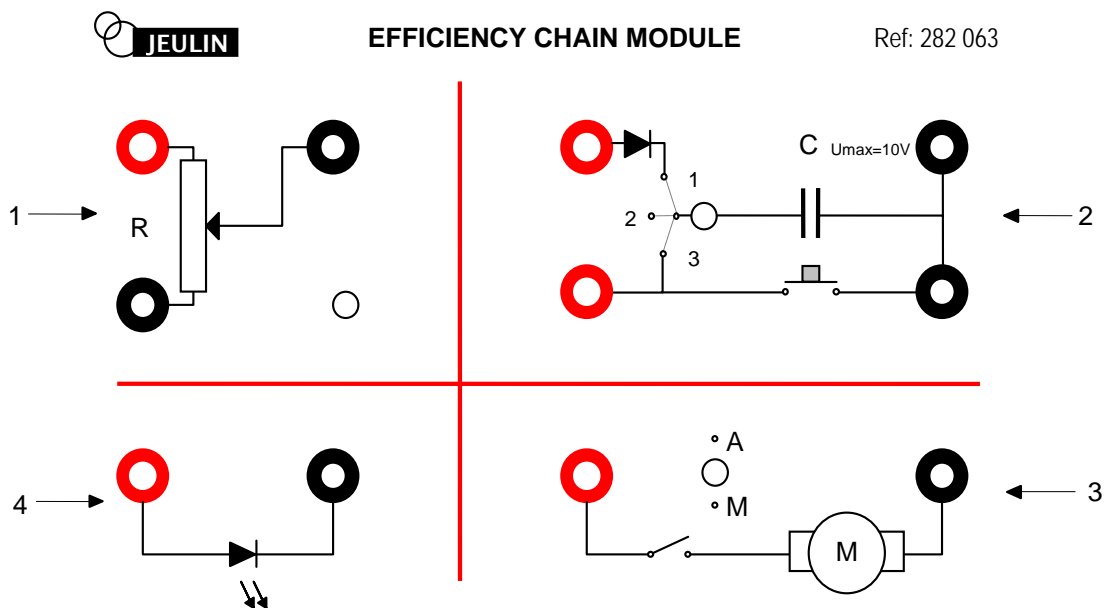
The following diagram shows the front panel of the module with the connection terminals of the two photo generators. They are fixed on the two side panels protected by transparent walls.



2°) The module EFFICIENCY CHAIN (Ref 282 063), includes four parts in the same box, as shown in the following diagram:

- A potentiometer of 5 k Ω -0.5 W provided with an adjustment button (1).
- A condenser (Super capacity) of 0.1 F/10 V (2).

- A diode prevents an accidental discharge of the condenser while charging, when the switch is in position 1 (for example during a reduction of available light when the charge is obtained from a photocell).
The position 2 is not connected.
The position 3 allows connecting the charged condenser to the bottom terminals (a push button may be used eventually for discharging the condenser).
- A low power motor of rated voltage 1.5 V and a switch (3).
- A high luminosity red LED (4).



2 Getting started

2.1 Materials necessary

Two multimeters (type CL 2065 for example)
A light source (halogen lamp 50 W-12 V)
A weighing box with hooks
A luxmeter
A chronometer

Ref.: 703 016
Ref.: 211 009
Ref.: 351 037

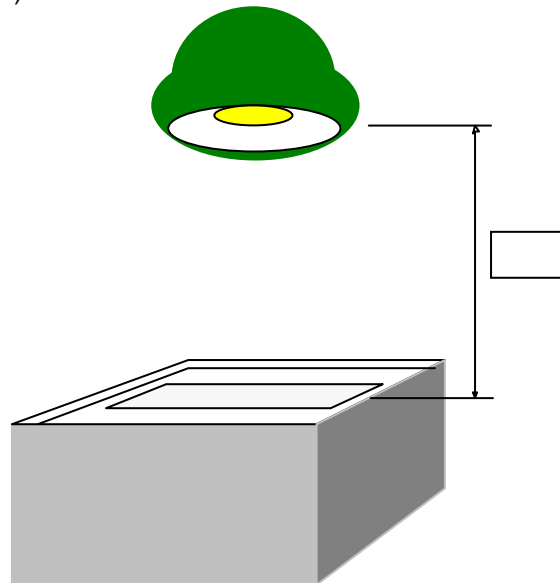
2.2 Additional materials

The ACTILAB software
A micro-computer and its peripherals

2.3 Set up

2.3.1 The PHOTOGENERATOR MODULE is used with a high intensity light source.

For obtaining a regular and intense lighting, we can use a spotlight fitted with a 50 W halogen lamp and a reflector. The spotlight is placed 15 to 20 cm from the photocell(s).



With this layout, the photocells obtain a lighting of 10000 to 50000 lux. ***This is the type of lighting that is recommended for using in experiments described in this manual.***

It is also possible to use a slide projector of 150 to 200 W placed about 40 cm from the photocells (placed in vertical position).

Note: The projector generates considerable heat. This results in two disadvantages for the photo generators close to the projector:

- The transparent protective wall of the photocell is heated, it tends to deform slightly by warping. The deformation is only temporary and not serious.
- The temperature of photocells increases and their electrical feature varies (reduction of e.m.f. in particular) and is stabilised when a thermal balance is reached after a few minutes.

It is preferable to limit over a time the exposure to the light of projector but it is also possible to interpose a glass plate between the projector and the PHOTOGENERATOR MODULE for reducing the heat transfer.

2.3.2 The EFFICIENCY CHAIN MODULE is designed for use when linked to one of the two photo generators. The experiments proposed here describe the operation of each element of this module:

① - The potentiometer is used for plotting the characteristics of the photo generator made up of a single SOLEM photocell (7.5 V - 0.125 W).
 It ***should not be used with the other photo generators.***

② - The 0.1 F condenser is used for storing the electrical energy transferred by the SOLEM photocell (or any other source not exceeding 10 V).

③ - The motor is used in several experiments. It should be supplied directly from an external stabilised power supply, either from the 2 V - 1 W photo generators or by the previous condenser that had stored the energy. In all the cases, the mechanical energy transferred is calculated by measuring the work of a weight, lifted by the motor operating over a known height, through a wire passing over a pulley. The additional measurement of the duration of movement, using a chronometer, allows estimating the mechanical power applied.

These measurements can be used for determining different types of efficiency.

④ - The photodiode set up, supplied directly by a photo generator, allows evaluating the efficiency in an optoelectronic chain.

3 The light

The photovoltaic generators illustrate the principle that light is a form of energy.

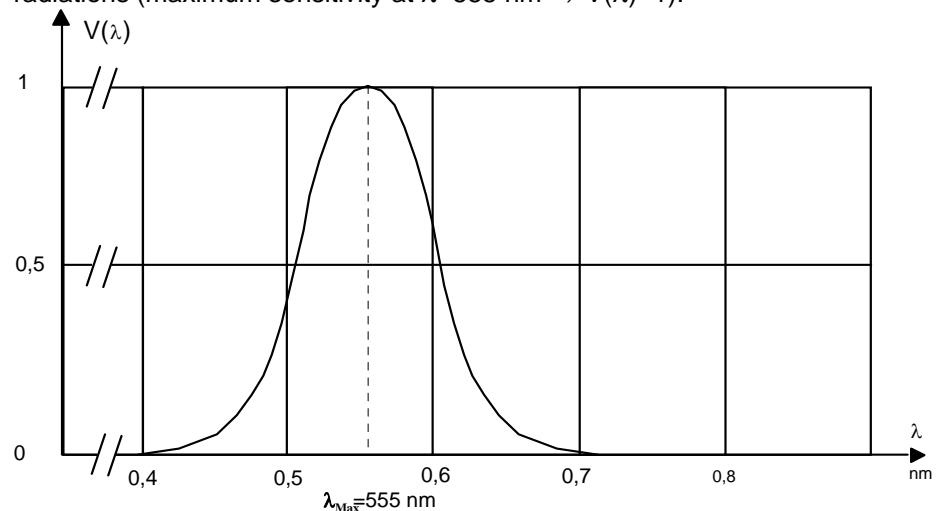
The interaction of luminous radiation with the matter (this includes all electromagnetic radiations) is interpreted by the corpuscular model of light. Each photon is a grain of radiating energy that depends only on the frequency of the radiation considered.

$$w = h \cdot \nu ; h = 6.6256 \cdot 10^{-34} \text{ J.s is the Planck constant.}$$

Photometry basics:

The relative magnitudes of luminous radiation can be evaluated by two methods:

① *From the point of view of visual impression:* we consider the visible spectrum and the relative sensitivity $V(\lambda)$ of the eye to various coloured radiations (maximum sensitivity at $\lambda=555 \text{ nm} \Rightarrow V(\lambda)=1$).



Sensitivity curve of the eye

If we call $\Phi(\lambda)$, the energy flow emitted or received, by convention, the visual luminous flow $\Phi_v(\lambda)$ is given by defining the following relation for a given monochromatic radiation:

$$\Phi_v(\lambda) = 680 \cdot V(\lambda) \Phi(\lambda)$$

For a radiation in continuous spectrum, the total flow is the sum of partial flows of various wavelengths of the spectrum (from λ_1 to λ_2).

$$\Phi_v(\lambda) = 680 \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) \cdot \frac{d\Phi(\lambda)}{d\lambda} \cdot d\lambda$$

$$\lambda_2 = 760 \text{ nm} ; \lambda_1 = 380 \text{ nm}$$

②. - *From the point of view of energy:* we consider the total energy transmitted by the radiation and the units used are those that are used usually (the joule, the watt, etc.).
Any visual magnitude X_v is related to the corresponding energy unit X by the relation:

$$X_v(\lambda) = 680.V(\lambda).X(\lambda), \text{ for the monochromatic radiation } \lambda \quad (A)$$

Principal photometric units

Units	Visual units	Energy units
Flow	lumen (lm)	watt (W)
Intensity	candela (cd)	watt/steradian (W/sr)
Luminance	candela/m ² (cd/m ²)	watt/sr.m ² (W/sr/ m ²)
Lighting	lumen/m ² or lux (lx)	watt/ m ²
Energy	lumen.s (lm.s)	joule (J)

For obtaining the radiated power received by a receiver (a photocell for example) or emitted by a source, we have to measure the energy flow received or emitted.

Measurement of radiated energy:

The previous relation (A) allows supposing that it is possible to obtain an energy unit X if we know the corresponding visual unit X_v .

In practice, it is difficult to establish a simple relation (in the case of a continuous spectrum for example). In particular, it is not possible to determine the value of total energy flow Φ emitted by a source, using the common physics laboratory equipment of a school.

On the other hand, the luminous flow can be easily measured if we have a *luxmeter* that indicates the lighting (in lux) of a surface receiving the light.

We can establish a correspondence between the two magnitudes, thus, **"when the source is a tungsten filament lamp whose colour temperature is 2850 K, a visual light of 1 lux corresponds to an energy lighting of $4.75.10^{-2} \text{ W.m}^{-2}$, that is 4.75 mW.cm⁻²".**

$$1 \text{ lx} \Leftrightarrow 4.75.10^{-2} \text{ W.m}^{-2}$$

This is the close correspondence that will be used in the following pages.

From "Les capteurs en instrumentation industrielle - Georges Asch et col. – DUNOD"

Technical datasheet no. 1

SOLEM photo generators (based on SOLEM technical documents)

ENVIRONMENT Typical lighting	APPLICATIONS	CURRENT Minimum value	USAGE
External use	Battery charger (modelling, radio, walkman, pocket lamp, etc.)	1 to 10 mA	With Ni-Cd cells and a blocking diode
Strong lighting	Maintenance of vehicle, boat batteries, ventilation accumulators	10 to 20 mA	Directly on a battery, blocking diode and load limiter by Zener diode
50000 to 100000 lux	Radio transmitters Road signage	50 to 100 mA	Use of Ni-Cd or Pb batteries in combination with flash lamp or LED
Mixed use	Supply of low consumption devices. Alarm, security systems.	50 mA	With Ni-Cd cells or a mini-battery of cells
Internal use	Security equipment Meteorological recorders	10 mA	In relay with a lithium cell or an accumulator
Diffused lighting	Measurement and control systems	1 mA	In relay with a high capacity condenser or mini accumulator
5000 to 50000 lux	Doorbells, exterior clocks	0.5 mA	
Internal use	Portable measuring instruments Thermometer, luxmeter Infrared detectors, Photo detectors	50 mA	Direct use or in relay with a high capacity condenser or a mini accumulator
Poor lighting	Low consumption electronic systems	10 mA	
200 to 1000 lux	Liquid crystal displays (LCD) Clocks, watches	1 mA 0.5 mA	With a high capacity condenser

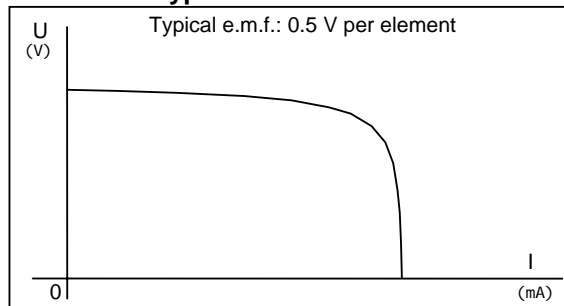
Structure of a SOLEM cell



- 1 - Glass
- 2 - Silicon deposit
- 3 - Metallization
- 4 - Protective resin
- 5 - Tinned strip for soldering the connections

Example: photocell of type 14/96/48
 - 14 elements connected in series
 - Dimensions of the photocell:
 96 mm x 48 mm x 2 mm (+/- 0.5 mm)
 - Area: 46 cm²

Typical characteristics



Lighting

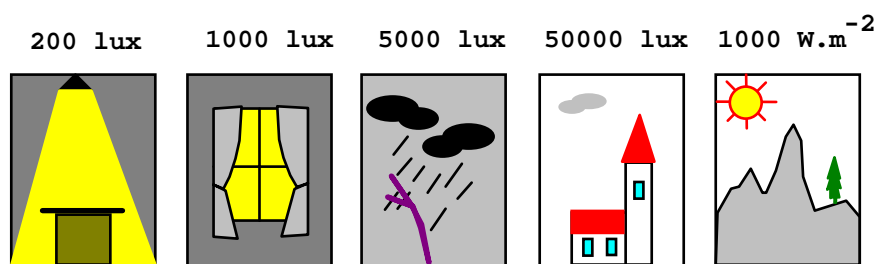
The luminous lighting is the density of luminous flow falling on a surface. It is measured in lux. Its value may vary in large proportion, from 1 to 100 000 lux, for example.

The energy lighting is measured in W.m^{-2} . It is the radiated power received per m^2 .

The equivalence between these two lightings is difficult to determine precisely: it depends on the characteristics of the light source. For example:

- The energy lighting of the Sun is 1000 W.m^{-2} and its visual lighting is 110 000 lux.
- For a normal incandescent lamp, the equivalence is 10 to 20 lux for 1 W.m^{-2}

Some common values of medium lighting



Technical datasheet no. 2

The back up condensers (according to SFERNICE technical documents)

DEFINITION	ADVANTAGES OF A SUPERCAP
<p>It is a condenser with a very high capacity in the range of 0.022 to 1 F.</p> <p>The back up condensers (called Supercap) are manufactured for meeting the needs of saving the data in the memory of digital electronic devices, in case of outage or mini-surges in the power supply.</p>	<p>① Very low dimensions</p> <p>② High capacity</p> <p>③ Rapid charging and discharging</p> <p>④ Maintenance free</p> <p>⑤ Non polluting</p> <p>⑥ Non explosive (no short circuit)</p> <p>⑦ Direct mounting on printed circuits</p> <p>⑧ Does not require a charge circuit</p> <p>⑨ Low cost (about 0.16 F per m³)</p>

TYPICAL APPLICATIONS

BACK UP CURRENT	COMPONENT SUPPLY	USAGE	BACK UP CURRENT
< 1 μ A	CMOS-RAM (memory of computer, calculator) IC (integrated circuits for the computer clock)	Digital tuner Oven, washing machine, coffee machine programmer, etc.	CSL
Few μ A to few mA	CMOS	Telephone, memory keyboard Automatic answering machine Typewriter with memory Thermostat, computer terminal Automatic measuring instruments	
Few mA to 100 mA	PMOS-NMOS	Indication lamps Flipper Taxi meter	CSL CSV CSR
	Motor starting	Tape recorder Camcorder Video disc	
	Buffer batteries	Car radio or engine starting	
> 100 mA	Standby supply for LED display Warnings, sirens	Toys and rechargeable portable games, Displays and indicators Alarm and protection systems Back up displays	CSV CSR

CMOS, PMOS, NMOS: Types of low consumption electric circuits

TYPES DE SUPERCAP

For charge voltages in the range of 5 V:

- ① Series CSL
consumption ≤ 10 mA
- ② Series CSR
consumption > 10 mA

For charge voltages in the range of 10 V:

- ③ Series CSV

MARKING OF SUPERCAP

Series Version Capacity in μ F

CS	L	104
----	---	-----

The first two digits are significant, the last indicates the power of 10.

Example: 104=10⁵ μ F or 0.1 F

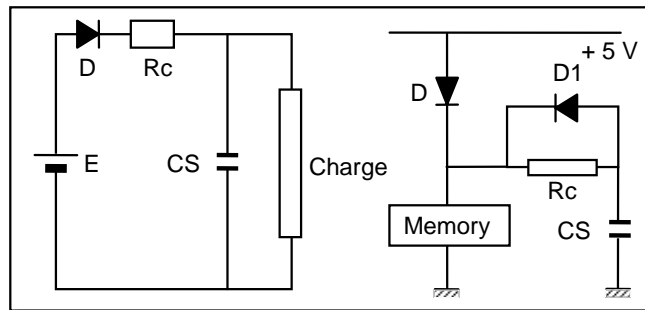
Role of the Supercap

During the charge, the condenser stores an electric energy that can be expressed as $W=1/2CU^2$ (C is capacity of the condenser and U the voltage between its terminals). This energy is restored during the discharge.

The charge and the discharge of backup capacities is a physical phenomenon that causes no damage to the condenser.

In these two diagrams, the Supercap CS is used as a backup source. In the two circuits, the resistor RC limits the charge current of Supercap and the diode D isolates the Supercap from the power supply in normal service. In the figure below, the diode D1 short circuits the resistance RC during the discharge of the Supercap into the memory.

Layout diagram



4 Experiments

①.The first part of this collection of experiments is meant for the teacher. It covers a few experiments conducted with the PHOTOGENERATOR MODULE and the EFFICIENCY CHAIN MODULE. The numerical results and the curves shown here are taken from real measurements. However, they were conducted under real conditions that cannot always be reproduced precisely (particularly in the case of lighting) and can differ from personal measurements obtained by the experimenters: the measurements given here are therefore only examples.

②.The second part of the manual studies the experiments of the first part in the form of practical work assignments that can be directly used by the teacher in his class or easily adapted. In the text, meant for students, questions are frequently included: they correspond often to remarks concerning the observations, the experimental results and the conclusions of the first part.

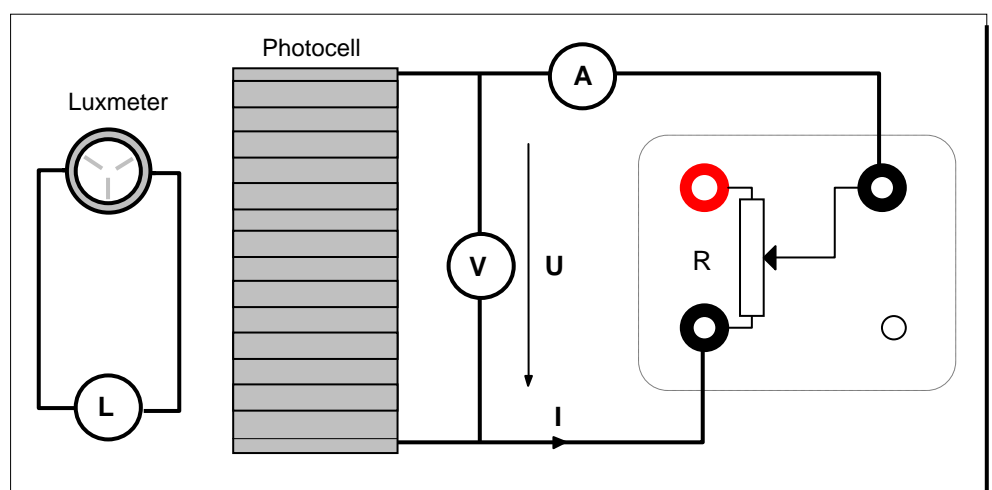
③.Necessary precautions: The photo generators are fragile components (manufactured on thin glass plates) and must be handled with care. They should be protected against shocks or drops. Each photocell is bonded on a thin sheet of synthetic foam that acts as a damper.

4.1 Study of a photo generator

The purpose of the experiment is to plot the characteristics of a photovoltaic cell and to calculate its maximum energy efficiency.

1st stage: set up

The set up shown in the following diagram is created: It requires the PHOTOGENERATOR MODULE with the photocell 7.5 V-0,125 W and the potentiometer of the ENERGY CHAIN MODULE. Two multimeters are installed: V in voltmeter and A in milli-ammeter.



The photocell is lit by the 50 W halogen lamp spotlights as described in the paragraph 2.3.1. The luxmeter measures the light falling on the photocell.

2nd stage: Protocol

Plotting the characteristics of the photocell.

① For a given position of the projector, we read the value given by the luxmeter for the lighting received by the photocell (the luxmeter is placed on the surface of the photo generator). The average lighting¹ is: $E_{lum}=18000 \text{ lx}$

② The value of the resistance of the potentiometer is modified and the values of **U** and **I** are noted as shown in the following table:

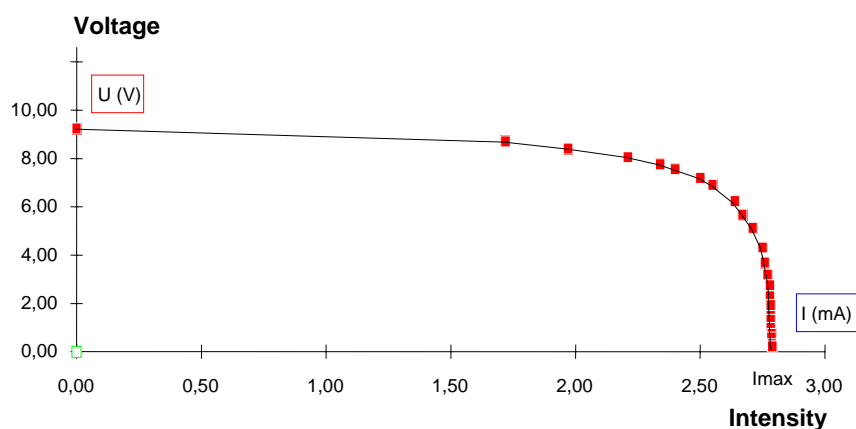
Intensity (mA)	Voltage (V)	Intensity (mA)	Voltage (V)
0	9.25	2.76	3.70
1.72	8.70	2.77	3.20
1.97	8.43	2.78	2.70
2.21	8.06	2.78	2.29
2.34	7.76	2.78	1.95
2.40	7.55	2.78	1.75
2.50	7.2	2.78	1.43
2.55	6.9	2.78	1.07
2.64	6.23	2.79	0.732
2.67	5.67	2.80	0.550
2.71	5.12	2.80	0.465
2.75	4.31	2.81	0.313

Footnote: ¹The average value of lighting is obtained by moving the luxmeter in a luminous field on the surface of the photocell and by calculating the close average of the measurements read. For greater precision, the luxmeter must be placed in the plane of the photocell and not on the transparent surface of the module.

③ These values are copied into the spreadsheet of the *ACTILAB* software (this can be done from the start of measurements): **I** in the first column (Abscissa) and **U** in the second column (C. no.1).

④ The curve $U = f(I)$ can be displayed as shown below:

Characteristics of a SOLEM photocell



⑤ Observations: Description of the characteristics

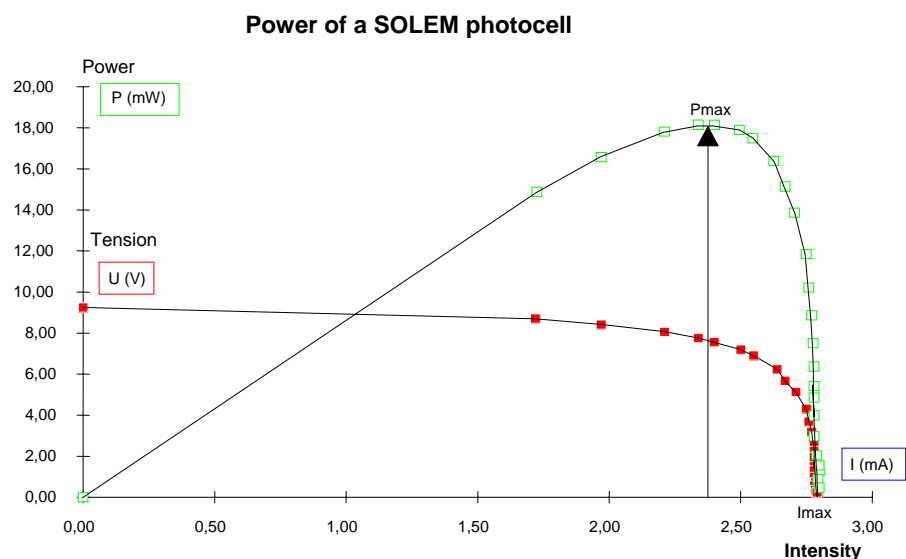
- Two parts of the characteristic intensity / voltage $U = f(I)$ of the photocell can have a linear representation: from 0 to 1.5 mA and from 0 to 4 V approx. (cf. graphs)
- Intensity for voltages from 0 to 4 V is almost constant². Its maximum is 2.80 mA.

3rd stage: Analysis of results

1 – Electric power transferred by the photo generator

① In the *ACTILAB* spreadsheet, we create a new column that gives the product of **U** by **I**, that is, the power **P**: Ask for a *Formula* (key F4) and enter **C1*X** in the input field against the mention **C2 =**.

② The curves $U = f(I)$ and $P = g(I)$ are displayed as shown below:



Footnote: ²This property shall be used in the study of the charge of the condenser.

③ Observations: Description of curves

- The curve of power $P = f(I)$ passes through a maximum at 18.2 mW.
- On the curve $U = f(I)$ the coordinates of the point for which the maximum power is transferred by the photo generator are $U = 7.8$ V and $I = 2.34$ mA.

2 – Efficiency of the photo generator

We shall calculate here the maximum efficiency of the photo generator lit by a 50 W halogen lamp.

① *Average power received*

The luminous lighting measured previously is: $E_{lum} = 18000$ lx.

- We shall use the equivalence relation of the page 5, $1 \text{ lx} \Leftrightarrow 4.75 \cdot 10^{-2} \text{ W.m}^{-2}$ for calculating the energy lighting E_1 received by the photocell:

$$E_{lum} \Leftrightarrow E_1 = 18000 \times 4.75 \cdot 10^{-2} = 855 \text{ W.m}^{-2}$$

- Measure the dimensions of the photo generator and calculate its area:
 $L = 96 \text{ mm}$; $l = 48 \text{ mm}$ $s = 46 \text{ cm}^2 = 46 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

- We can deduce from it the radiated power P_1 received by the photocell:

$$P_1 = E_1 \times s = 855 \times 46 \cdot 10^{-4} \approx 4 \text{ W}$$

②. Maximum electric power transferred

On the curve $P = f(I)$, the maximum electric power is:

$$P_{\max} = 18.2 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

③. Calculation of the maximum energy efficiency of the photocell

This is the ratio ρ of the maximum power transferred P_{\max} and the radiated power received P_1 :

$$\rho = P_{\max} / P_1 \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ or } 0.5 \%$$

We note that the efficiency is very poor.

The accuracy of measurements does not allow obtaining an order of magnitude of the efficiency.

Note 1: If there is sufficient time, calculate the efficiency for a different lighting.

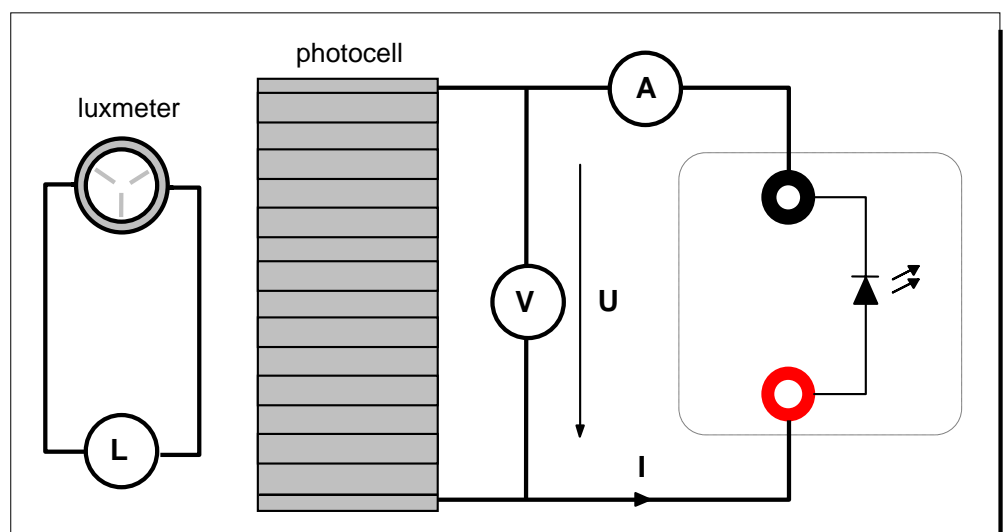
Note 2: We note that the lamp consumes an electric power of $P=50 \text{ W}$. The global efficiency of the installation taking into account this observation falls to $\rho' = P_{\max} / P \approx 3.6 \cdot 10^{-4}$ or about **0.04 %**

4th stage: An application

Study of an energy chain containing the photocell and a high luminance photodiode (DEL). Estimation of the luminous efficiency.

1 – Set up and measurements

The photo generator ($7.5 \text{ V} - 0.125 \text{ W}$) is lit by the 50 W halogen lamp spotlight placed exactly as in the previous study.



① Read the values of **U** and **I** for calculating the values of electric power **P=U x I** transferred by the generator. We find the value:

$$P = 1.67 \times 2.78.10^{-3} \approx 4.6.10^{-3} \text{ W}$$

lower than the maximum power transferred, that is, 18.2 mW

② The luminous lighting measured previously is: **E_{lum} = 18000 lx** that corresponds to a radiated power received: **P₁ = 4 W**.

The maximum luminous lighting produced by the LED is measured by applying the luxmeter directly on the LED (sheltered from the light by pressing the luxmeter against the side wall of the module holding the LED). We measure: **28 lx**.

In reality, the luxmeter does not provide a correct indication because only the surface **s** (equal to the area of the **LED** seen from the front) is lit.

Adjusted to the area **S** of the luxmeter, the lighting shall be: **E_{DEL} = 28 x S/s**

The diameter of the LED is 5 mm that of the luxmeter is 35 mm.

The ratio of the areas is equal to the square of the ratio of diameters. Therefore, we obtain:

$$E_{DEL} = 28 \times (35/5)^2 = 1370 \text{ lx}$$

2 – Some efficiencies

① The energy efficiency **ρ₁** of the photocell with reference to the radiated power **P₁** that it receives is:

$$\rho_1 = P / P_1 \approx 1.2.10^{-3} \text{ or } 0.12 \%$$

② An estimate of the luminous lighting efficiency is given by:

$$\rho_2 = E_{DEL} / E_{lum} = 1370/18000 \approx 7.6.10^{-2} = 7.6 \%$$

We note that the efficiency of luminous lighting is poor.

4.2 Study of an electric motor

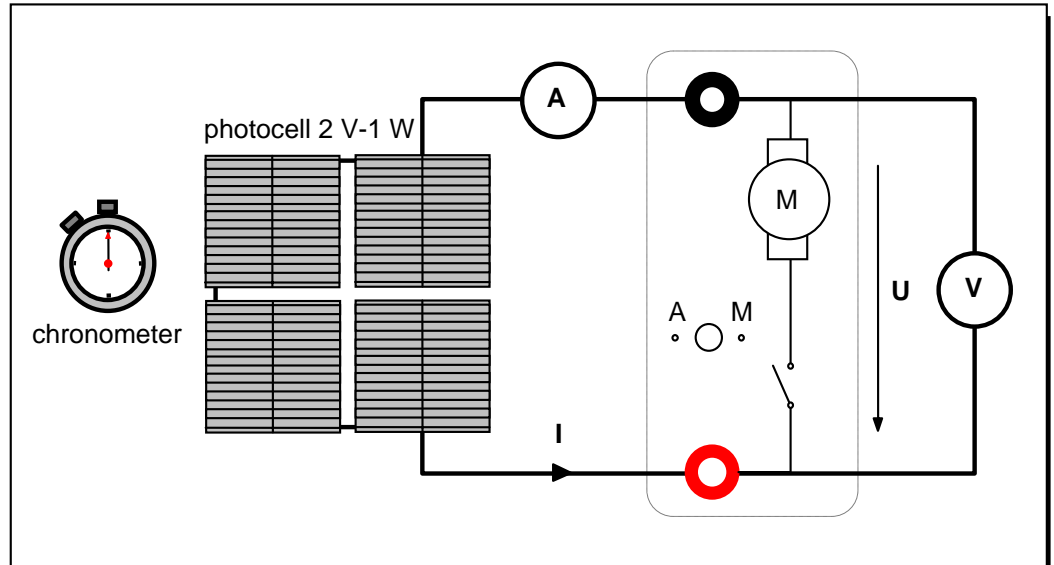
The purpose of the experiment is:

- To measure the mechanical work transferred by an electric motor
- To study the balance of the energy chain
- To calculate the efficiency of the electric motor.

The motor is supplied by a photo generator. It is also possible to supply it from another electrical generator, without exceeding a voltage of 2 V (stabilised supply or 1.5 V cell, for example).

1st stage: Set up

The set up is created according to the following diagram: It requires the PHOTOGENERATOR MODULE with the photocell 2 V-1 W and the motor of the ENERGY CHAIN MODULE. Two multimeters are installed: the milli-ammeter A and the voltmeter V.

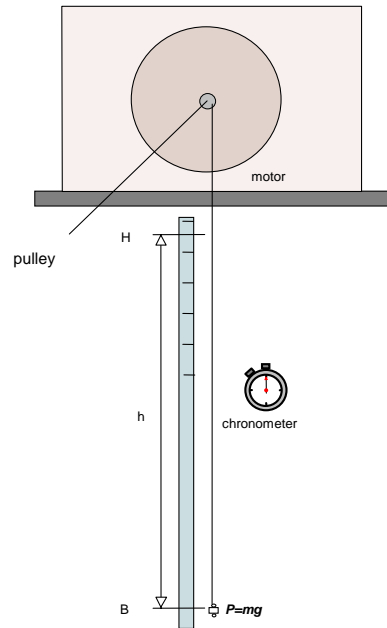


The photocell is lit by the 50 W halogen lamp projector. The chronometer measures the duration of lifting of weight **P**.

2nd stage: Protocol

Mechanical work transferred by the electric motor

- ① The motor lifts a mass **m** of weight **P=mg** over a height **h** during the time **t** at constant speed (refer to diagram on the next page).
- ② The following measurements are numerous and have to be obtained in a short time:
 - Fix the height **h** (**h**=56 cm for example) and the horizontal markers **H** and **B** are placed.
 - Select the successive values of **m** 10, 20, 30, 40 g
 - Bring the weight **P** to the level of the bottom starting marker **B**
 - The chronometer is started and simultaneously, the motor is switched to the position **M** (Run): The wire passes over the pulley and the weight **P** moves upwards.
 - During the movement of the weight, read the indications **U** and **I** of the controllers
 - The chronometer is stopped when the weight **P** passes over the level of the top marker **H**. Switch *simultaneously* the motor to the position **A** (stop)
 - Read the duration **t** of the movement (short period difficult to evaluate accurately at first).
 - Repeat the measurements several times for each weight in order to determine an average value of the results.



The results are reported in the following table along with calculation of different energies applied.

③ For defining the value of the internal resistance r' of the motor, block the motor shaft (by hand) and measure the values of U and I at this instant:

- We have $r' = U/I$

- The measurements give $U = 0.95 \text{ V}$ and $I = 155 \text{ mA}$, or

$r' = 0.95/0.155 = 6.1 \Omega$

3rd stage: Analysis of results

1 – Balance of the energy chain

① The power transferred by Joule effect in the motor is: $P_j = r' \cdot I^2$
It is given in the table for each measurement.

② Energy balance and yield

Table of results (the values of power are rounded off)

m (g)	h (m)	t (s)	$P_m = mgh/t$ (mW)	U (V)	I (mA)	$P_e = UI$ (mW)	$\rho_{\text{mot}} = P_m/P_e$ (%)	$P_j = r'I^2$ (mW)	$P_f = P_e - (P_m + P_j)$ (mW)
0	/	/	0	1.61	28.8	46	0	5	41
10	0.56	2.0	27	1.53	50	76	36	15	34
20	0.56	2.5	44	1.45	73	106	42	32	30
30	0.56	3.4	48	1.28	100	128	37	61	19
40	0.56	5.0	44	1.20	120	144	31	88	12

The mechanical power transferred by the motor when it lifts the weight $P = mg$ is $P_m = mgh/t$.

The first line ($m=0$) corresponds to functioning when empty ($P_m=0$).

The electric power transferred by the photo generator is $P_e = UI$

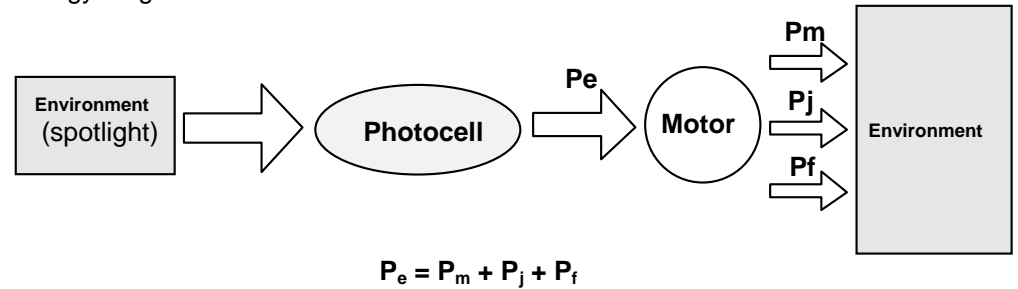
The mechanical frictions (brushes of the collector, supports of the shaft, etc.) and other losses (of magnetic origin) represent a power P_f that can be evaluated by the difference:

$$P_f = P_e - (P_m + P_j)$$

The effective efficiency of the motor is given by the relation:

$$\rho_{\text{mot}} = P_m / P_e$$

The conservation of mechanical power is represented by the following energy diagram:



2 – Efficiency ρ_{mot} of the motor

① The mechanical power transferred by the motor passes through a maximum. The efficiency of the motor also passes by a maximum in the range of:

$$\rho_{\text{mot}} = 42\%$$

If we ask for a too great work from the motor (here, when $m > 20$ g), the losses due to Joule effect become very high because the intensity increases too much and the efficiency is reduced.

② The losses of power vary inversely:

- Due to Joule effect, they increase with the load because the intensity of the current is increased.
- Due to friction or other causes, they are reduced because they are in general variable in the same direction as the rotary speed. This speed is reduced when the motor supplies a higher mechanical work.

Note 1: If the generator is a Leclanché cell of 1.5 V, the same measurements give the following results:

m (g)	h (m)	t (s)	$P_m = mgh/t$ (mW)	U (V)	I (mA)	$P_e = UI$ (mW)	$\rho_{\text{mot}} = P_m/P_e$ (%)	$P_j = r'I^2$ (mW)	$P_f = P_e - (P_m + P_j)$ (mW)
0	/	/	0	1.50	29.3	44	0	5	39
10	0.56	2.1	26	1.47	51	75	35	16	33
20	0.56	2.6	42	1.42	73	104	41	33	29
30	0.56	3.4	48	1.38	97	134	36	57	29
40	0.56	5.0	44	1.32	123	162	27	92	26

It is noted that the values measured are very close to those obtained with the photocell.

4.3 Study of a super condenser

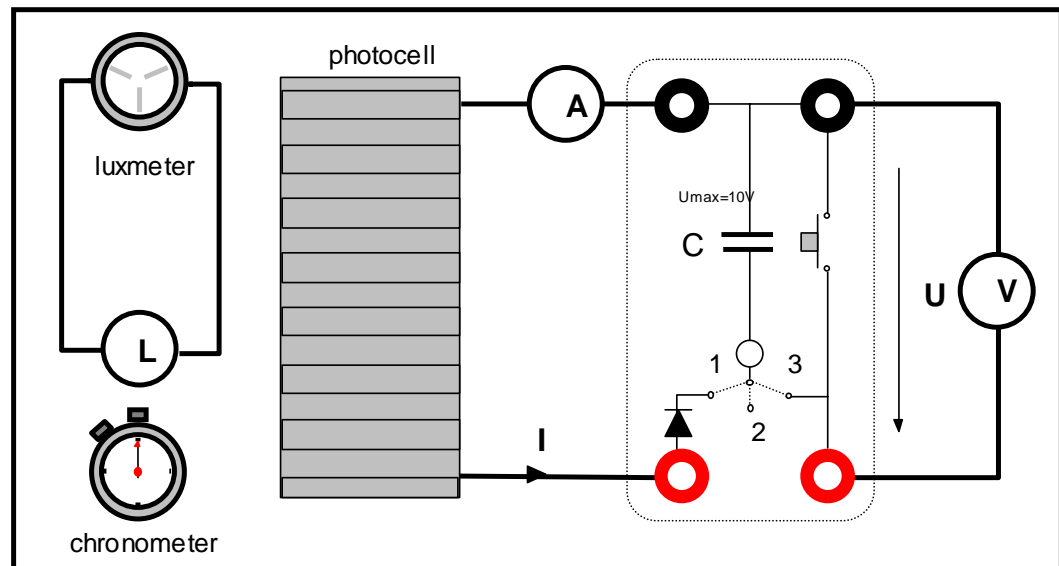
The purpose of the experiment is to:

- Measure the capacity of a backup condenser
- Calculate the electrical energy stored by it.

Capacity of the condenser

1st stage: Set up

Set up the apparatus as shown in the following diagram: the photocell 7.5 V-0.125 of the PHOTO GENERATOR MODULE and the condenser of the ENERGY CHAIN MODULE are used in this set up. Two multimeters are installed: the milli-ammeter A measures the intensity of current while the condenser is charged (reversing switch in position 1) and the voltmeter V measures the voltage at the terminals of the condenser after the charge (reversing switch in position 3) for not having to take into account the voltage drop in the diode (limit voltage of about 0.6 V).



The photocell is lit by a 50 W halogen lamp spotlight. A luxmeter measures the light received by the photocell. The chronometer measures the duration of charge t of the condenser.

2nd stage: Protocol

Charging the condenser at constant voltage.

We use a property of the characteristic of the photo generator (cf. note 2 p. 46): for low voltages (up to about 4 V), it outputs a current that can be considered constant. It is placed in the part of the characteristic significantly parallel to the axis of the ordinates, at the abscissa 2.8 mA.

In fact, this current varies slightly, in a linear manner. The ammeter A checks this variation and allows obtaining *an average value of the intensity*.

When the reversing switch is placed in the position 1, this intensity passes through the condenser – discharged at the start of the operation. During this period, the voltage at the terminals of the condenser increases slowly from 0 to a value that should not exceed 4 V (we can make sure of this by temporarily connecting the voltmeter to the terminals of the photo generator).

The duration t of the charge is measured using the chronometer.

- ① For a given position of the spotlight read on the luxmeter the value of light received by the photocell, by placing the luxmeter on the photo generator. Under the same conditions of lighting as seen previously, we obtain

$$E_{lum} = 18000 \text{ lx},$$

- ② Make sure that the condenser is fully discharged: place the reversing switch in position 3 and press the push button. Check on the voltmeter that the voltage is nil.

- ③ Place the switch in the position 1 and *simultaneously* start the chronometer. Several charges are made successively for fixed periods, for example: $t = 1, 2, 3$ min.

During the charge, observe the eventual variation of I and note the average value of intensity (balance of the starting and ending values of the measurement).

- ④ At the end of the period t chosen, place the switch in the position 2. Switch to the position 3, the voltmeter V indicates the voltage U at the end of charge. Note this value.

3rd stage: Analysis of results

The results of measurements and calculations

t (s)	I (mA)	$q=I.t$ (C)	U (V)	$C=I.t/U$ (F)	$W=1/2.CU^2$ (J)	$W_1=P_1.t$ (J)	$\rho = W/W_1$ (%)
60	2.76	0.166	1.36	0.122	0.110	240	0.046
120	2.75	0.330	2.65	0.125	0.437	480	0.091
180	2.76	0.497	3.89	0.128	0.967	720	0.134

Capacity of the condenser

The quantity of electricity stored by the coils of the condenser by the constant current I during the period t is:

$$q = I \cdot t$$

If we call C the capacity of the condenser and U the voltage between its terminals, the charge q is proportional to U :

$$q = C \cdot U$$

We can thus obtain the value of the capacity

$$C = I.t/U$$

The average value of the capacity, for the 3 measurements is:

(according to the manufacturer 0.1 F) $C=0.125 \text{ F}$

Energy stored by the condenser

The electrical energy stored by the condenser is

$$W=1/2.C.U^2$$

Efficiency of the operation

- ① The luminous lighting measured above is:

$$E_{lum} = 18000 \text{ lx}$$

This corresponds to a radiated power received

$$P_1 = 4 \text{ W}$$

- ② The luminous lighting is constant, like the power

$$P_1$$

During the charge, the radiated energy applied is

$$W_1=P_1.t$$

- ③ The efficiency of the operation is

$$\rho = W/W_1$$

The efficiency increases when the final voltage increases: the electrical power of the photocell is increased (cf. the curve on page 45)

4.4 Using the super condenser

The purpose of the experiment is to:

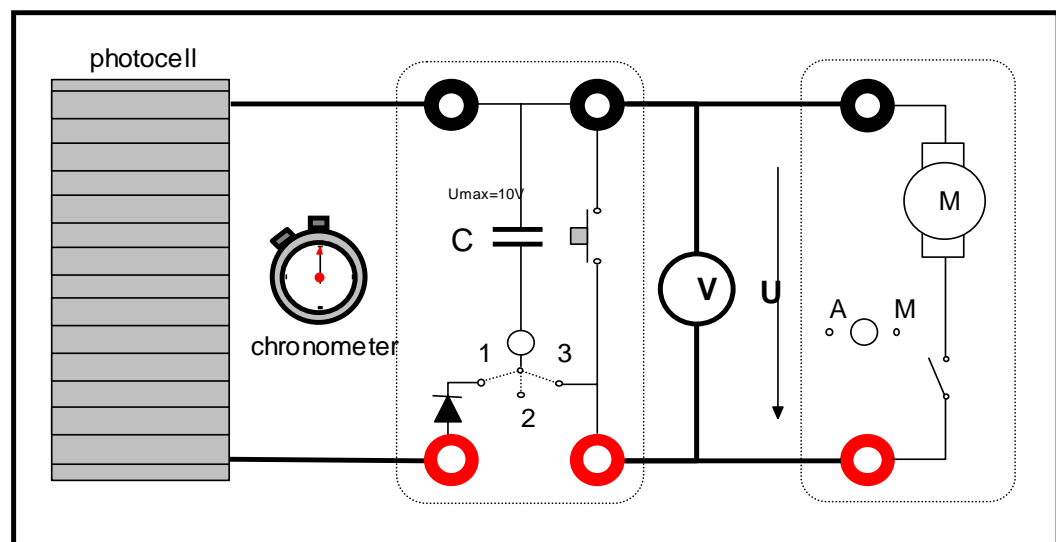
- Use the electrical energy stored in the super condenser for driving an electric motor
- Calculate the efficiency of the energy chain created.

Energy of the condenser

If we directly connect the motor to the 7.5 V-0.125 W photo generator, the voltages at the terminals of the two apparatus is almost nil and the motor cannot work. In order to use the electrical energy transferred by the photocell for the proper functioning of the motor, we use the super condenser as an *intermediary for the storage of the energy*.

1st stage: Set up

Set up the apparatus as shown in the following diagram: the photocell 7.5 V-0.125 W of the PHOTO GENERATOR MODULE and the condenser of the ENERGY CHAIN MODULE are used in this set up. One multimeter is installed: the voltmeter V measures the voltage at the terminals of the condenser connected to the motor (reversing switch in position 3).



The photocell is lit by a 50 W halogen lamp spotlight. The chronometer measures the duration of charge t of the condenser.

2nd stage: Protocol

- ① Charging the condenser at constant current.

The switch of the motor is placed in position **A** (stop). Charge the condenser in the same way as in the previous experiment 4.3, choosing a period $t = 2$ or 3 min measured by the chronometer.

Read the value of the voltage U_1 at the end of charge (position 3 of the switch)

- ② Running the motor

The set up is same as the one shown in the page 50.

The mass used is: $m = 20$ g or 30 g.

The switch of the motor is placed in the position **M** (Run): The mass **m** is lifted over a height **h**. We can fix this value, for example **h = 0.56 m**
At the precise instant when this height is reached, switch the motor to the position **A** (stop) and read, after waiting about 1 minute, the value of the residual voltage **U₂** at the terminals of the condenser.

3rd stage: Analysis of results

Transfer of energy.

- ① The value of the capacity (already known) is **C=0.125 F**
- ② The electrical energy stored in the condenser is **$W_1 = 1/2.C.U_1^2$**
The energy not transferred, remaining in the condenser is **$W_2 = 1/2.C.U_2^2$**
The energy really transferred to the motor is therefore **$W = W_1 - W_2$**
- ③ The mechanical energy transferred by the motor is **$W_m = mgh$**

The results of measurements and calculations

m (g)	h (m)	t (s)	$W_m = mgh$ (J)	U_1 (V)	$W_1 = 1/2.C.U_1^2$ (J)	U_2 (V)	$W_2 = 1/2.C.U_2^2$ (J)	$W = W_1 - W_2$ (J)	$\rho = W_m/W$ (%)
20	0.56	120	0.11	3.01	0.566	1.71	0.183	0.383	28.7
30	0.56	180	0.165	3.70	0.856	2.29	0.328	0.528	31.3
30	0.56	240	0.165	4.92	1.51	3.82	0.912	0.598	27.6
30	0.56	240	0.165	3.82	0.912	2.48	0.384	0.528	31.3

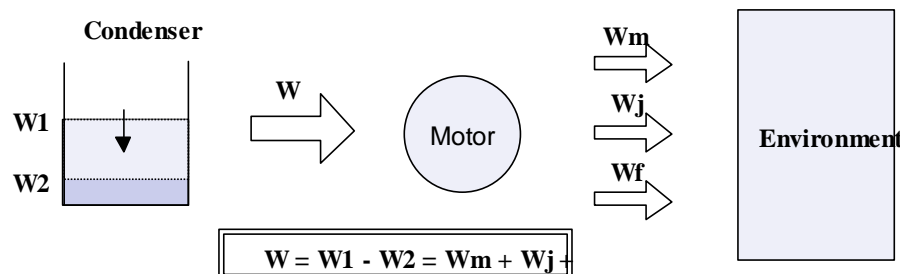
Note: It is possible to lift the weight **P** twice successively. This is the case of the last two measurements in the table (in this case, **U₁** of the second lifting is equal to **U₂** of the first lifting).

Efficiency of the motor.

The effective efficiency of the motor is **$\rho = W_m/W$**

We note that it is *in the range of 30 %* and that it depends on the charge voltage of the condenser. It is of the same magnitude as in the experiment 4.2 The losses are of the same nature: Joule effects and others (frictions, magnetic effects).

The energy conservation diagram is shown below:



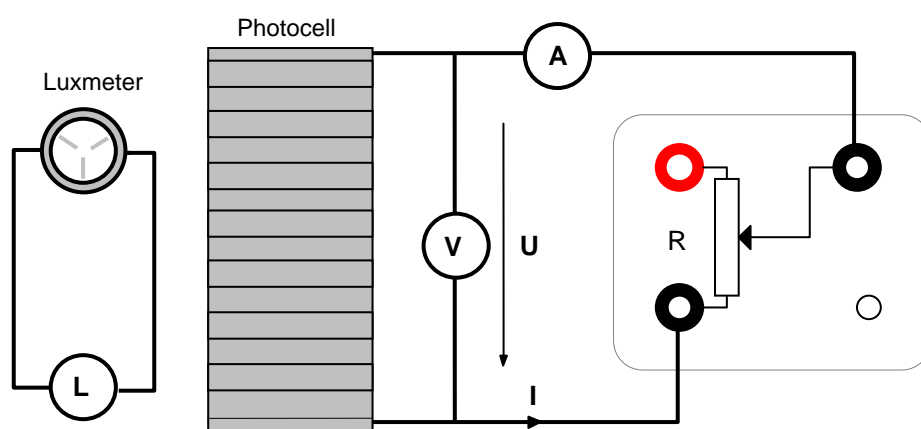
Practical assignments: documents for the students

1 Study of a photo generator

The purpose of the experiment is to plot the characteristics of a photovoltaic cell and to calculate its maximum energy efficiency.

1st stage: set up

The set up shown in the following diagram is created: It requires the PHOTOGENERATOR MODULE with the photocell 7.5 V-0,125 W and the potentiometer of the ENERGY CHAIN MODULE. Two multimeters are installed: V in voltmeter and A in milli-ammeter.



The photocell is lit by the 50 W halogen lamp spotlights. A luxmeter measures the light received by the photocell, i.e. the luminous power received by a unit area.

2nd stage: Protocol

Plotting the characteristics of the photocell.

① Place the spotlight about 15 to 20 cm above the photo generator. Place the luxmeter on the surface of the photo generator. Read the value of the light¹ received by the photocell in lux. Note the lighting: $E_{lum} =$

② Vary the value of the resistance of potentiometer and take 20 measurements of U and I (use shorter measurement intervals of the voltage U when its value diminishes). Enter the measurements of U and I in a table:

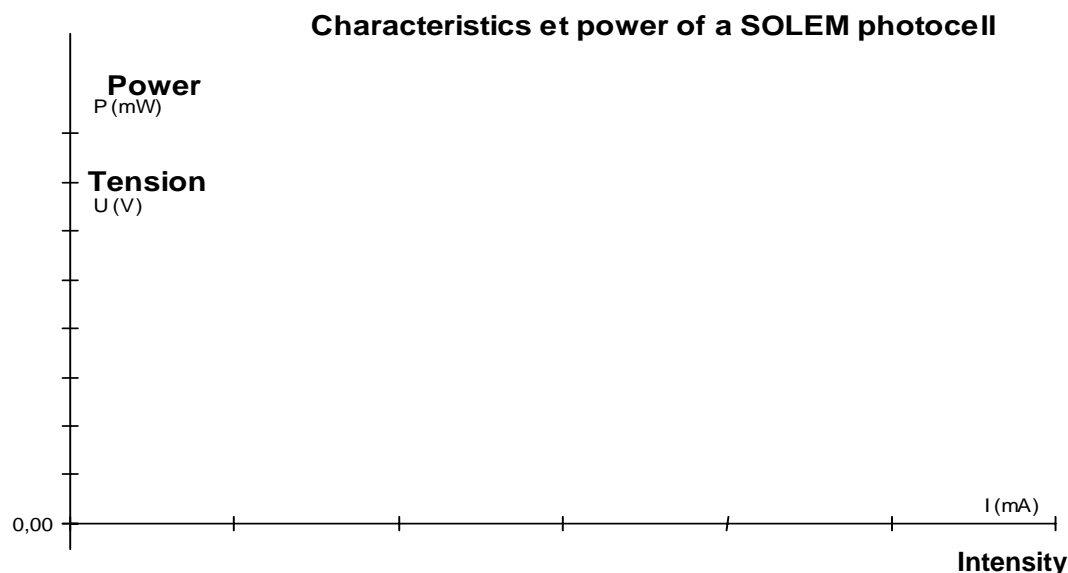
Intensity (mA)	Voltage (V)	Intensity (mA)	Voltage (V)

¹ The lighting represents the luminous energy received by a unit area. It is measured in lux.

③ Copy these values in the spreadsheet of the *ACTILAB* software (this can be done directly when starting the measurements): **I** in the first column (Abscissa) and **U** in the second column (C. no.1).

④ Display or plot the curve $U = f(I)$.

⑤ Observations: Describe the characteristic intensity – voltage obtained



- Which are the parts of the characteristic intensity / voltage $U = f(I)$ of the photocell that can be linearised?

- What is the value of the intensity for voltages comprised from 0 to about 4 V? What do you observe?

3rd stage: Analysis of results

1 – Electric power transferred by the photo generator

① In the spreadsheet of *ACTILAB* software, create a new column that gives the product of U / I , that is, the power **P**: Ask for a *Formula* (key F4) and enter $C1 \cdot X$ in the input field against the mention $C2 =$.

② Display or plot the curve $P = g(I)$ on the previous graph

③ Observations: Describe the curve obtained

- What is the particularity shown by the curve of power $P = f(I)$?

- Mark on the curve $U = f(I)$ the coordinates of the point for which the power transferred by the photo generator is maximum.

2 – Efficiency of the photo generator

We shall calculate here the maximum efficiency of the photo generator lit by a 50 W halogen lamp.

①. Average power received

The luminous lighting measured previously is: $E_{lum} =$

- For calculating the energy lighting received by the photocell, convert the luminous lighting by using the approximate equivalence relation:

$$1 \text{ lx} \Leftrightarrow 4.75 \cdot 10^{-2} \text{ W.m}^{-2}$$

- Calculate the energy lighting E_1 received by the photocell:

$$E_{lum} \Leftrightarrow E_1 = \dots\dots\dots \text{W.m}^{-2}$$

- Measure the dimensions of the photo generator and calculate its area:

$$L = \dots\dots\dots ; l = \dots\dots\dots s = \dots\dots\dots$$

- Deduce from it the radiated power P_1 received by the photocell:

$$P_1 = \dots\dots\dots$$

②. Maximum electric power transferred

On the curve $P = f(I)$, What is the maximum electric ?

$$P_{max} =$$

③. Calculation of the maximum energy efficiency of the photocell

This is the ratio ρ of the maximum power transferred P_{max} and the radiated power received P_1 :

$$\rho \approx \dots\dots\dots \%$$

What are the conclusions that can be drawn from the value of this yield?

The precision of measurements allows obtaining only an order of magnitude of the yield.

Note 1: If there is sufficient time, we suggest measuring the yield for another lighting (by modifying the position of the spotlight, for example).

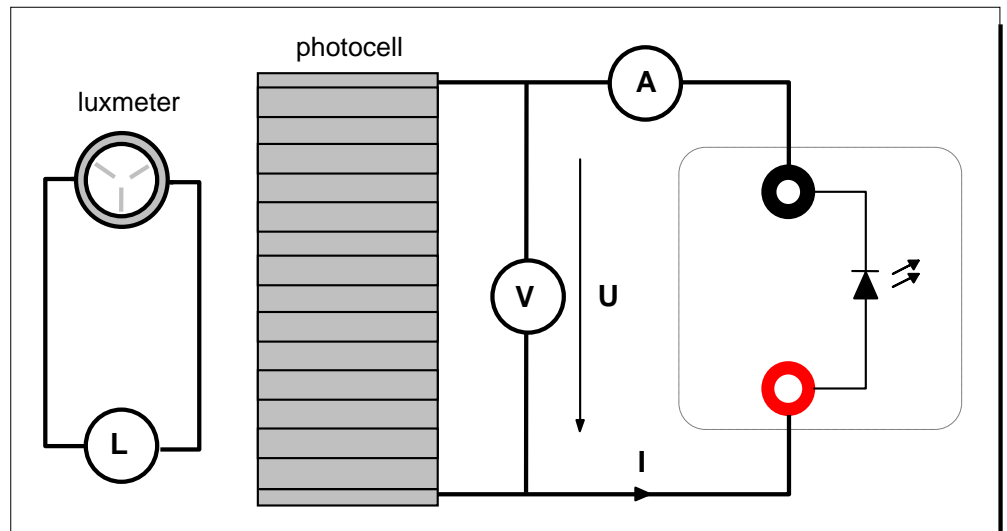
Note 2: It is observed that the lamp consumes an electric power of 50 W. What is the global efficiency of the installation, taking into account this observation?

4th stage: An application

Study of an energy chain containing the photocell and a high luminance light emitting diode (LED). (intensity of 4 candelas).
Estimation of the luminous efficiency.

1 – Set up and measurements

The photo generator (7.5 V – 0.125 W) is lit by the 50 W halogen lamp spotlight placed exactly as in the previous study.



① Read the values of U and I for calculating the values of electric power $P=U \times I$ transferred by the generator. We find the value:

$$P = \quad W$$

Are these the conditions when maximum power is transferred?

② The luminous lighting measured previously is:
this corresponds to a radiated power received:

$$E_{lum} = \quad \\ P_1 = \quad$$

The maximum luminous lighting produced by the LED is measured by applying the luxmeter directly on the LED (sheltered from the light by pressing the luxmeter against the side wall of the module holding the LED). We measure:

lx .

In reality, the luxmeter does not provide a correct indication because only the surface s (equal to the area of the LED seen from the front) is lit.

Adjusted to the area S of the luxmeter, the lighting shall be: $E_{DEL} = \quad \times S/s$
Measure the diameter of the LED and the luxmeter and calculate as follow:

$$E_{DEL} = \quad lx$$

2 – Some efficiencies

① Calculate the energy efficiency ρ_1 of the photocell with reference to the radiated power P_1 received by it:

$$\rho_1 = P / P_1 \approx \quad \%$$

② An estimate of the luminous lighting efficiency is given by:

$$\rho_2 = E_{DEL} / E_{lum} = \quad \%$$

What is the significance of luminous lighting efficiency?

2 Study of an electric motor

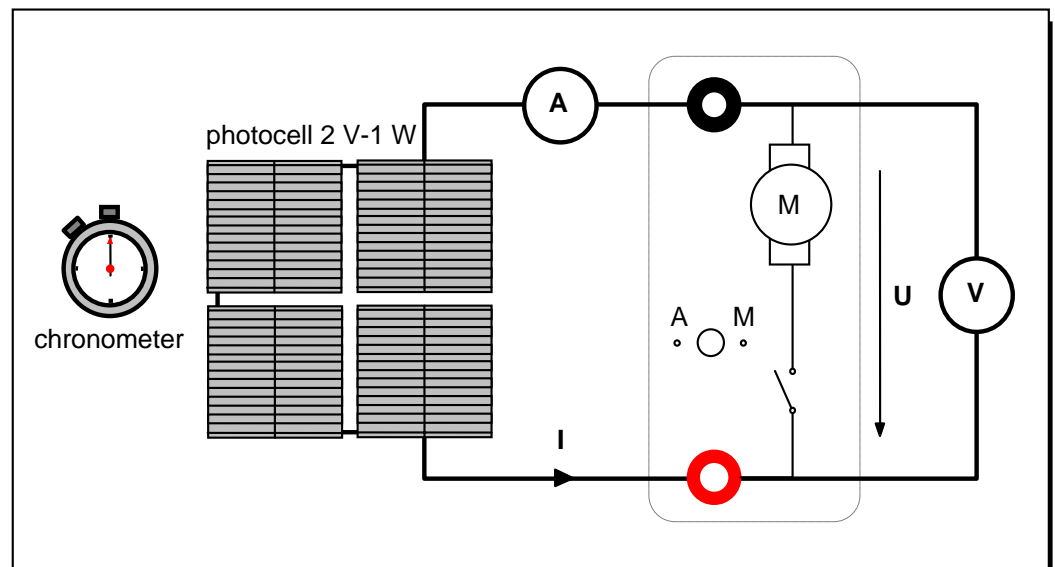
The purpose of the experiment is:

- To measure the mechanical work transferred by an electric motor
- To study the balance of the energy chain
- To calculate the efficiency of the electric motor.

The motor is supplied by a photo generator.

1st stage: Set up

The set up is created according to the following diagram: It requires the PHOTOGENERATOR MODULE with the photocell 2 V-1 W and the motor of the ENERGY CHAIN MODULE. Two multimeters are installed: the milli-ammeter A and the voltmeter V.



The photocell is lit by the 50 W halogen lamp projector. The chronometer measures the duration of lifting of weight **P**.

2nd stage: Protocol

Mechanical work transferred by the electric motor

- ① The motor lifts a mass **m** of weight **P=mg** over a height **h** during the time **t** at constant speed (refer to diagram on the next page).
- ② The following measurements are numerous and have to be obtained in a short time. The work may be shared among the members of the work group:

□ Preparatory work

- Fix the height **h** (in the range to 50 to 60 cm), place the horizontal markers **H** and **B**
- Select the values of **m**, we can take successively 10, 20, 30, 40 g
- Bring the weight **P** to the level of the bottom starting marker **B**

□ *Work of 1st student*

- The chronometer is started and *simultaneously*, the motor is switched to the position **M** (Run): The wire passes over the pulley and the weight **P** moves upwards.
- Stop the chronometer at the instant when the weight **P** passes over the level of the top marker **H** and switch *simultaneously* the motor to the position **A** (stop)
- Note the period **t** of the movement (short period difficult to evaluate precisely on first attempt)

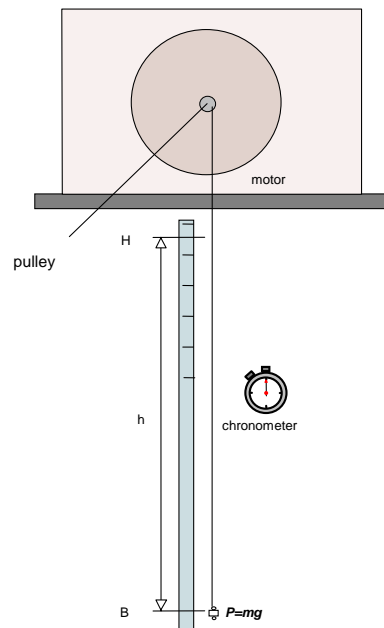
□ *Work of 2nd student*

- During the movement of the weight, read the indications **U** and **I** of the controllers
- Determine the average values of **U** and **I** to be retained

□ *Recommendation*

- Repeat the measurements several times for each weight in order to determine an average value of the results

The results are reported in the following table along with the calculation of different energies applied



For the first series of measurements, take $m=0$ (that is, run the motor without load)

③ For obtaining the value of the **internal resistance r' of the motor**, block the motor shaft (by hand) and measure the values of **U** and **I** at this instant:

- We have $r' = U/I$
- The measurements give $U = \quad$ V and $I = \quad$ mA, that is
 $r' = \quad \Omega$

3rd stage: Analysis of results

1 – Balance of the energy chain

① The power transferred by Joule effect in the motor is: $P_j = r'.I^2$
It is given in the table for each measurement.

② Energy balance and yield

Table of results (the values of power are rounded off)

m (g)	h (m)	t (s)	$P_m=mgh/t$ (mW)	U (V)	I (mA)	$P_e=UI$ (mW)	$\rho_{mot}=P_m/P_e$ (%)	$P_j=r'I^2$ (mW)	$P_f=P_e-(P_m+P_j)$ (mW)
0	/	/	0				0		

The mechanical power transferred by the motor when it lifts the weight $P=mg$ can be expressed as

$$P_m =$$

The electric power transferred by the photo generator is $P_e =$

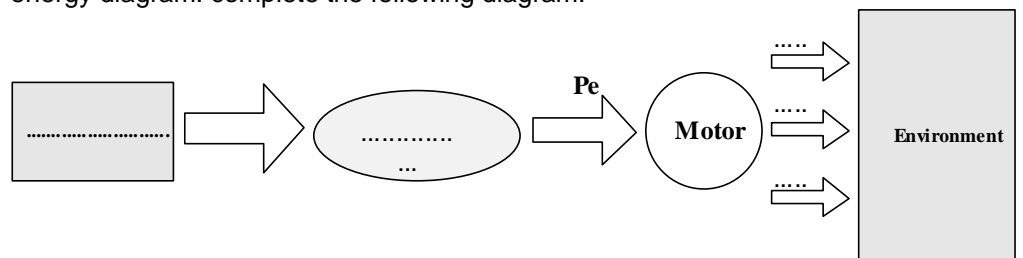
The mechanical frictions (brushes of the collector, supports of the shaft, etc.) and other losses (of magnetic origin) represent a power P_f that can be evaluated by the difference:

$$P_f =$$

The effective efficiency of the motor is given by the relation:

$$\rho_{mot} =$$

The conservation of mechanical power is represented by the following energy diagram: complete the following diagram:



$$P_e =$$

2 – Efficiency ρ_{mot} of the motor

① What is the maximum value of the mechanical power transferred by the motor?

The efficiency of the motor also passes by a maximum in the range of:

$$\rho_{mot} = \quad \%$$

Why does the efficiency pass through a maximum?

② How do the losses of power vary with the intensity? Why?

- By Joule effect
- By friction or other causes

3 Study of a super condenser

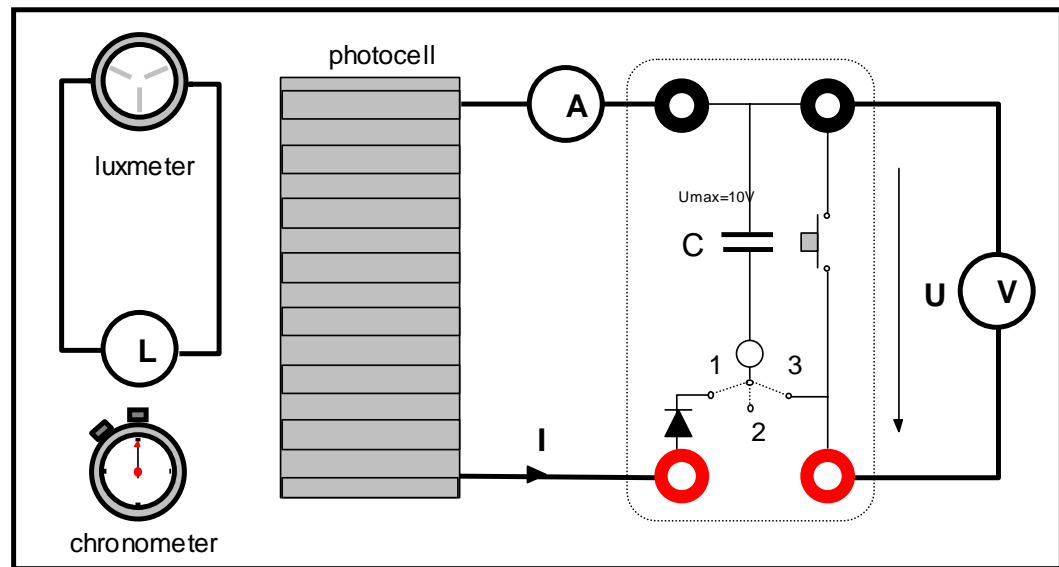
The purpose of the experiment is to:

- Measure the capacity of a backup condenser
- Calculate the electrical energy stored by it.

Capacity of the condenser

1st stage: Set up

Set up the apparatus as shown in the following diagram: the photocell 7.5 V-0.125 W of the PHOTO GENERATOR MODULE and the condenser of the ENERGY CHAIN MODULE are used in this set up. Two multimeters are installed: the milli-ammeter A measures the intensity of current while the condenser is charged (reversing switch in position 1) and the voltmeter V measures the voltage at the terminals of the condenser after the charge (reversing switch in position 3) for not having to take into account the voltage drop in the diode (limit voltage of about 0.6 V).



The photocell is lit by a 50 W halogen lamp spotlight. A luxmeter measures the light received by the photocell. The chronometer measures the duration of charge t of the condenser.

2nd stage: Protocol

Charging the condenser at constant voltage.

We use a property of the characteristic of the photo generator (cf. note 2 p. 10): for low voltages (up to about 4 V), it outputs a current that can be considered constant.

Which is the part of the characteristic of the photocell that is involved? For the lighting used, what is the value of the intensity of this current?

In fact, this current varies slightly. The ammeter A checks this variation and allows obtaining an average value of the intensity. How do we determine this value?

When the reversing switch is placed in the position 1, this intensity passes through the condenser – discharged at the start of the operation. During this period, the voltage at the terminals of the condenser increases slowly from 0 to a value that should not exceed 4 V (we can make sure of this by temporarily connecting the voltmeter to the terminals of the photo generator). The duration t of the charge is measured using the chronometer.

① For a fixed position of the spotlight read on the luxmeter the value of light received by the photocell, by placing the luxmeter on the photo generator.

$$E_{lum} = I_x,$$

② Make sure that the condenser is fully discharged: place the reversing switch in position 3 and press the push button. Check on the voltmeter that the voltage is nil.

③ Place the switch in the position 1 and *simultaneously* start the chronometer. The period of charge is chosen as: $t = 1 \text{ min}$. During the charge, observe the eventual variation of Intensity I and note the average value.

④ At the end of the period t chosen, place the switch in the position 2. Switch to the position 3, the voltmeter V indicates the voltage U at the end of charge. Note this value.

⑤ Carry out several successive charges for the periods fixed, for example: $t = 2 \text{ and } 3 \text{ min}$. and report the different measurements in the following table of results.

3rd stage: Analysis of results

The results of measurements and calculations

t (s)	I (mA)	$q=I.t$ (C)	U (V)	$C=I.t/U$ (F)	$W=1/2.C.U^2$ (J)	$W_1=P_1.t$ (J)	$\rho = W/W_1$ (%)

Capacity of the condenser

The quantity of electricity stored by the coils of the condenser by the constant current I during the period t is:

$$q = I . t$$

If we call C the capacity of the condenser and U the voltage between its terminals, the charge q is proportional to U :

$$q = C.U$$

Give the simple relation for obtaining the value of the capacity $C = \dots\dots\dots$

What is the average numerical value of the capacity?
(according to the manufacturer 0.1 F)

$$C = \dots\dots\dots \text{ F}$$

What does this value signify?

Energy stored by the condenser

The electrical energy stored by the condenser is
Fill in the corresponding column.

$$W=1/2.C.U^2$$

Efficiency of the operation

① The luminous lighting measured above is:
This corresponds to a radiated power received

$$\begin{array}{l} E_{lum} = \\ P_1 = \end{array} \quad \begin{array}{l} I_x \\ W \end{array}$$

② The luminous lighting is constant, like the power
During the charge, the radiated energy applied is

$$P_1$$
$$W_1 = P_1 \cdot t$$

$W_1 =$

③ The efficiency of the operation

By taking the successive values of **W** (electrical energy stored by the condenser), we have:

$$\rho = W/W_1 =$$

How does the efficiency vary when the end of charge voltage is increased?

How do you explain this behaviour?

4 Using the super condenser

The purpose of the experiment is to:

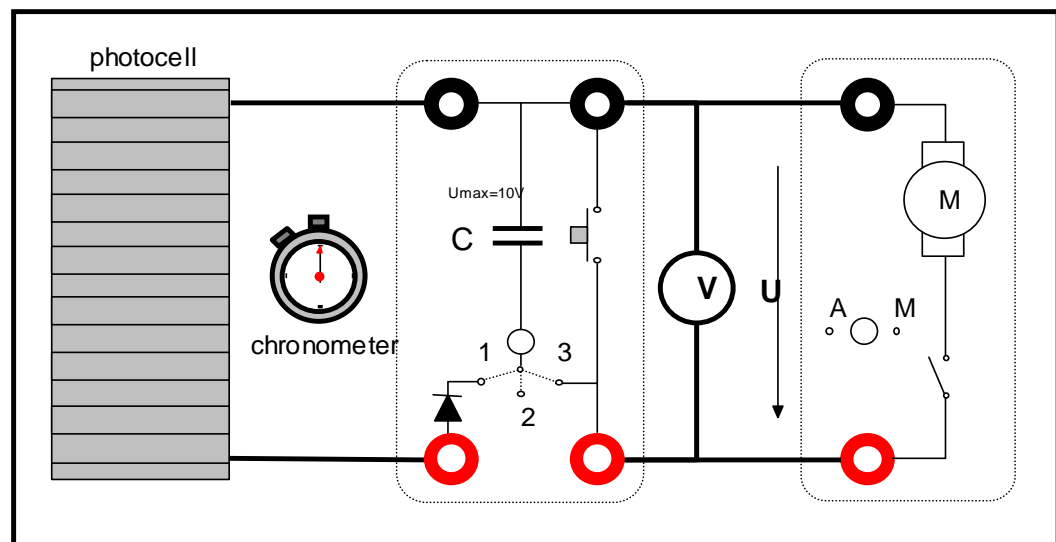
- Use the electrical energy stored in the super condenser for driving an electric motor
- Calculate the efficiency of the energy chain created.

Energy of the condenser

If we directly connect the motor to the 7.5 V-0.125 W photo generator, the voltages at the terminals of the two apparatus is almost nil and the motor cannot work. In order to use the electrical energy transferred by the photocell for the proper functioning of the motor, we use the super condenser as an **intermediary for the storage of the energy**.

1st stage: Set up

Set up the apparatus as shown in the following diagram: the photocell 7.5 V-0.125 W of the PHOTO GENERATOR MODULE and the condenser of the ENERGY CHAIN MODULE are used in this set up. One multimeter is installed: the voltmeter V measures the voltage at the terminals of the condenser connected to the motor (reversing switch in position 3).



The photocell is lit by a 50 W halogen lamp spotlight. The chronometer measures the duration of charge t of the condenser.

2nd stage: Protocol

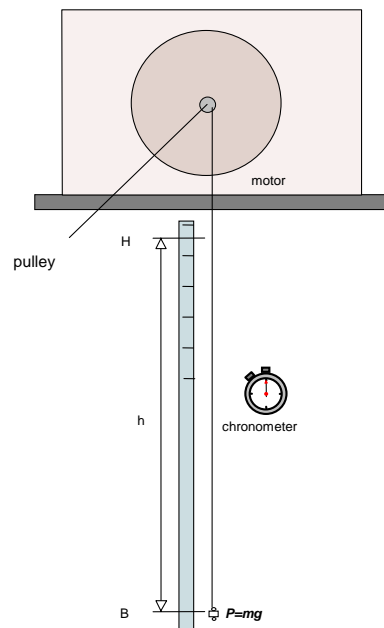
- ① Charging the condenser at constant current.

The switch of the motor is placed in position **A** (stop). Charge the condenser in the same way as in the previous experiment by choosing a period $t = 2$ or 3 min measured by the chronometer.

Read the value of the voltage U_1 at the end of charge (position 3 of the switch)

② Running the motor

Prepare the set up as shown in the following diagram.



The mass used is: **$m = 20 \text{ g}$ or 30 g** .

The switch of the motor is placed in the position **M** (Run): The mass **m** is lifted over a height **h**.

We can fix this value, for example **$h = \quad m$**

*At the precise instant where this height is reached, switch the motor to the position **A** (stop) and read, after waiting about 1 minute, the value of the residual voltage U_2 at the terminals of the condenser.*

3rd stage: Analysis of results

Transfer of energy.

① The value of the capacity (already known) is

$C = \quad F$

② The electrical energy stored in the condenser is

$W_1 =$

The energy not transferred, remaining in the condenser is

$W_2 =$

The energy really transferred to the motor is therefore

$W = W_1 - W_2$

Fill in the following table with the numerical values.

③ The mechanical energy transferred by the motor is

$W_m =$

m (g)	h (m)	t (s)	$W_m = mgh$ (J)	U_1 (V)	$W_1 = 1/2 \cdot C U_1^2$ (J)	U_2 (V)	$W_2 = 1/2 \cdot C U_2^2$ (J)	$W = W_1 - W_2$ (J)	$\rho = W_m / W$ (%)

Note: It is possible to lift the weight **P** twice successively if sufficient energy is stored in the condenser.

Efficiency of the motor.

The effective efficiency of the motor is

$$\rho = W_m/W$$

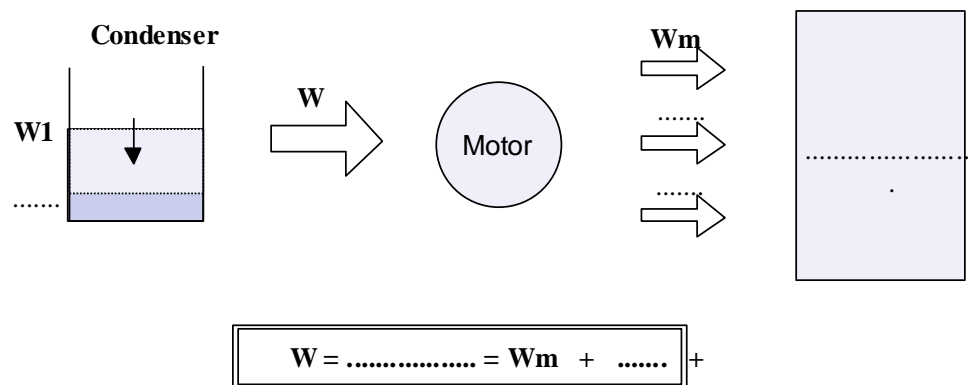
What is the average value of the efficiency calculated?

$\rho = \dots\dots\dots$

Compare this efficiency with that of the motor supplied directly by a generator (refer to previous experiments).

What is the nature of energy losses?

The energy conservation diagram can be represented as shown below. Complete this diagram and comment on it:



5 After-Sales Service

This material is under a two year warranty and should be returned to our stores in the event of any defects.

For any repairs, adjustments or spare parts, please contact:

JEULIN - TECHNICAL SUPPORT
 Rue Jacques Monod
 BP 1900
 27 019 EVREUX CEDEX FRANCE
 +33 (0)2 32 29 40 50

Assistance technique en direct

Une équipe d'experts
à votre disposition du Lundi
au Vendredi (8h30 à 17h30)

- Vous recherchez une information technique ?
- Vous souhaitez un conseil d'utilisation ?
- Vous avez besoin d'un diagnostic urgent ?

Nous prenons en charge immédiatement votre appel pour vous apporter une réponse adaptée à votre domaine d'expérimentation : Sciences de la Vie et de la Terre, Physique, Chimie, Technologie .

Service gratuit *

0825 563 563 choix n° 3. **

* Hors coût d'appel : 0,15 € ttc / min.
à partir d'un poste fixe.

** Numéro valable uniquement pour
la France métropolitaine et la Corse.

Pour les Dom-Tom et les EFE,
utilisez le + 33 (0)2 32 29 40 50

Aide en ligne :
www.jeulin.fr

Rubrique FAQ



Rue Jacques-Monod,
Z.I. n° 1, Netreville,
BP 1900, 27019 Evreux cedex,
France

Tél. : + 33 (0) 2 32 29 40 00
Fax : + 33 (0) 2 32 29 43 99
Internet : www.jeulin.fr - support@jeulin.fr

Phone : + 33 (0) 2 32 29 40 49
Fax : + 33 (0) 2 32 29 43 05
Internet : www.jeulin.com - export@jeulin.fr

SA capital 3 233 762 € - Siren R.C.S. B 387 901 044 - Siret 387 901 04400017

Direct connection for technical support

A team of experts at your
disposal from Monday
to Friday (opening hours)

- You're looking for technical information ?
- You wish advice for use ?
- You need an urgent diagnosis ?

We take in charge your request immediatly to provide you with the right answers regarding your activity field : Biology, Physics, Chemistry, Technology .

Free service *

+ 33 (0)2 32 29 40 50**

* Call cost not included

** Only for call from foreign countries

