

## QCM

Nom :

Lycée :

E-mail :

Centre :

N° tel mobile :

Merci d'entourer votre réponse (Une seule réponse par question).

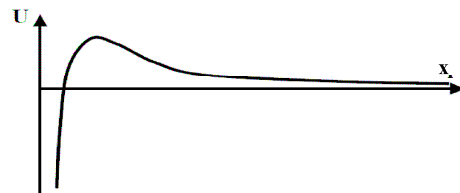
NB : Si jamais aucune réponse parmi le choix proposé ne convenait, l'indiquer sur la feuille.

1- Si la masse du Soleil était la moitié de sa masse actuelle - toutes autres choses restant par ailleurs égales - quelle durée serait significativement (de plus de 10%) changée pour les Terriens ?

- a) La durée de l'année, plus longue
- b) La durée de l'année, plus courte
- c) La durée du jour sidéral, plus longue
- d) La durée du jour sidéral, plus courte

2- Deux particules distantes de  $r$  interagissent selon un champ de force dont le potentiel a l'allure suivante  $U(r)$ . Que peut-on en déduire ?

- a) Il n'existe pas de position d'équilibre
- b) L'équilibre n'est possible qu'en  $r = 0$
- c) Il y a une position d'équilibre stable non nulle
- d) Il y a une position d'équilibre instable non nulle



3- On observe un corps dont la trajectoire, sous l'effet d'une force centrale, est une courbe fermée. Que peut-on dire au sujet de sa vitesse angulaire (module) ?

- a) Elle est maximale au point le plus éloigné du centre de force
- b) Elle est maximale au point le plus rapproché du centre de force
- c) C'est une constante du mouvement
- d) On ne peut rien affirmer sans la loi de force exacte

4- On peut détecter sur Terre des muons, particules relativistes créées dans la haute atmosphère dont la durée de vie est de l'ordre de la microseconde, parce que :

- a) Leur durée propre de vie est plus longue que le temps mis pour atteindre le détecteur
- b) Parce que le froid conserve
- c) A cause du phénomène relativiste de la « dilatation des durées »
- d) On ne peut pas détecter directement des muons depuis la surface terrestre

5- Un TGV roule en ligne droite à une vitesse uniforme de l'ordre de  $c/2$ .

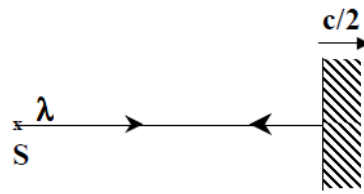
- a) Les passagers voient les fenêtres du train se réduire dans la direction du déplacement
- b) Le contrôleur estime passer moins de temps pour faire sa tournée
- c) Les passagers ne voient rien d'anormal à l'intérieur du train
- d) Les passagers ont le mal des transports

6- Un camion lancé à la vitesse  $c/2$  traverse un hangar de même longueur au repos que lui. Au moment où l'arrière du camion franchit l'entrée, qu'observe un spectateur placé près de la porte de sortie, face à l'entrée ?

- a) Einstein au volant
- b) L'avant du camion a déjà franchi la sortie
- c) L'avant du camion est juste à sa hauteur
- d) Le camion n'est pas encore ressorti

7- Un miroir se déplace horizontalement à la vitesse uniforme  $c/2$ . Une source lumineuse immobile l'éclaire avec une radiation de longueur d'onde  $\lambda$ . Après réflexion sur le miroir mobile :

- a) La lumière a la même fréquence
- b) La lumière a une fréquence plus faible
- c) La lumière a une fréquence plus élevée
- d) La lumière ne peut pas rattraper le miroir



8- On évolue dans un monde où la constante de Planck vaut 100 J.s.

Un homme de taille 1,8 m, de masse 80 kg, se dirige, à la vitesse 1 m/s, vers une porte de largeur 1 m et de hauteur 2,2 m. Que se passe-t-il ?

- a) Rien d'anormal
- b) Il est diffracté significativement
- c) Il ne peut pas franchir la porte
- d) Il est désintégré en énergie pure

9- Un cristal éclairé par un faisceau de rayons X renvoie une radiation  $\lambda$  dans une direction donnée par l'angle  $\theta$  compté par rapport au plan de la surface. On peut en déduire :

- a) La couleur du cristal
- b) Sa composition chimique
- c) La taille de ses atomes ou « motifs »
- d) Cette expérience est impossible à réaliser

10- On étudie la propagation horizontale d'une onde mécanique longitudinale dans une chaîne infinie de masses ponctuelles  $m$  reliées par des ressorts identiques de raideur  $k$  et de longueur à vide  $a$ . La célérité mesurée de l'onde est donnée par :

a)  $c = \sqrt{\frac{m}{ka}}$       b)  $c = \sqrt{\frac{k}{ma}}$       c)  $c = \sqrt{\frac{ka^2}{m}}$       d)  $c = \sqrt{\frac{k}{ma^2}}$

**11-** Un réseau par transmission a un pouvoir séparateur  $R$ . Placé dans l'air, il sépare 2 raies distantes de  $\Delta\lambda$  dans le visible à l'ordre 2. On place le système dans un liquide d'indice  $n$ .

- a) On observe toujours au même ordre, il n'y a pas de raison que ça change.
- b) On peut observer à un ordre plus élevé.
- c) On peut observer à un ordre plus faible.
- d) Un réseau ne peut pas fonctionner dans un liquide.

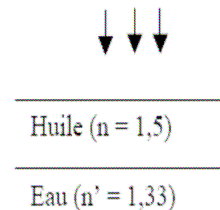
**12-** Un écran opaque a été percé de trois fentes (de largeur  $0,1$  mm), placées comme indiqué ci-contre ( $a \sim 1$  cm). Il est éclairé en lumière visible, par une source située très loin. Sur un écran, à une distance de  $0,5$  m, on observe :

- a) Des franges d'interférences de contraste variable
- b) Trois figures de diffraction
- c) L'ombre géométrique des trous
- d) Des interférences modulées par de la diffraction.



**13-** De l'huile a été répandue en une couche très mince sur une flaque d'eau (voir figure). Cette flaque d'eau est éclairée en lumière blanche et en incidence normale. On la voit verte ( $\lambda_{\text{vert}} \sim 520$  nm). Quel est l'ordre de grandeur de l'épaisseur de la couche d'huile ?

- a)  $0,52 \mu\text{m}$
- b)  $0,20 \mu\text{m}$
- c)  $100 \text{ nm}$
- d)  $10 \text{ nm}$



**14-** Pour observer des détails de l'ordre de  $1$  nm, on éclaire un échantillon de matière biologique avec un rayonnement d'énergie de l'ordre de :

- a)  $100 \text{ eV}$
- b)  $100 \text{ keV}$
- c)  $100 \text{ GeV}$
- d)  $100 \text{ mJ}$

**15-** La loi de décroissance radioactive pour un échantillon de radioéléments contenant  $N_0$  noyaux à l'instant  $t = 0$  est donnée par  $N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$ , avec  $\lambda$  constante radioactive. Quelle est la relation entre cette constante et la « période » ou « demi-vie »  $T_{1/2}$  ?

- a)  $T_{1/2} = 1/\lambda$
- b)  $T_{1/2} = (\ln 2)/\lambda$
- c)  $T_{1/2} = \lambda \ln 2$
- d)  $T_{1/2} = 1/\lambda^2$

16- La radioactivité  $\beta^-$  produit dans le canal de sortie, outre un noyau « fils » :

- a) un proton et neutrino
  - b) un proton et un antineutrino
  - c) un électron et un antineutrino
  - d) un positron et un neutrino
- 

17- On observe une onde stationnaire obtenue à partir d'une corde vibrante de longueur L pour laquelle les deux extrémités sont fixes.

Si on observe la première harmonique que peut-on dire pour la longueur d'onde  $\lambda$  ?

- a)  $L = \lambda/2$
  - b)  $L = \lambda$
  - c)  $L = 2\lambda$
  - d)  $L = 4\lambda$
- 

18- Si on compare la force gravitationnelle et la force électrostatique qui s'exercent entre un proton et un électron, leur rapport est de l'ordre de :

- a)  $10^{-40}$
  - b)  $10^{-20}$
  - c)  $10^{-10}$
  - d)  $10^{-3}$
- 

19- Evaluer le nombre de grains de sables dans un  $m^3$

- a)  $10^{30}$
  - b)  $10^{23}$
  - c)  $10^{12}$
  - d)  $10^6$
- 

20- La grandeur  $\sqrt{\frac{\hbar c}{G}}$  ; avec c la vitesse de la lumière,  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ , la constante de Planck réduite, et G la constante de gravitation universelle est :

- a) Une longueur
- b) Un temps
- c) Une masse
- d) Une énergie

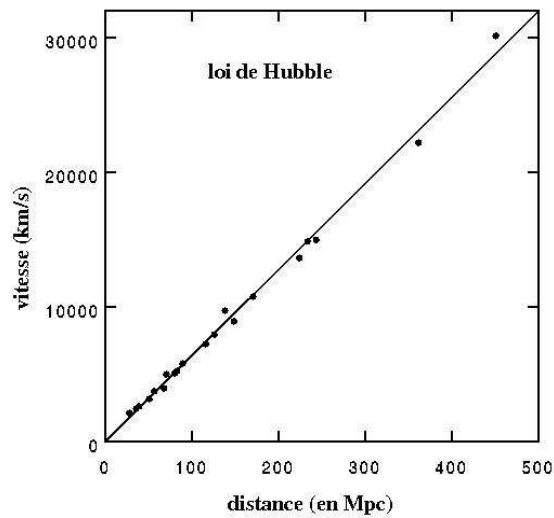
**FIN du QCM**

Nom

Lycée :

**Exercice 1 : effet Doppler relativiste**

En 1929, E. Hubble a établi que les galaxies éloignées de la Terre s'éloignent de nous avec une vitesse  $v$  proportionnelle à leur distance à la Terre (cf graphe de la loi de Hubble).



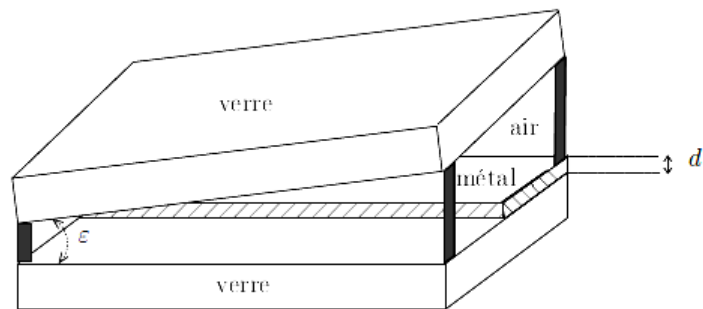
Dans le spectre d'émission d'une des galaxies situées dans la constellation de la Grande Ourse on détecte la raie  $H_\alpha$  de la série de Balmer (correspondant à la transition du niveau  $n_i = 3$  au niveau  $n_f = 2$  pour l'atome d'hydrogène) dont la mesure de la longueur d'onde donne  $\lambda = 0,689 \mu\text{m}$ . Quelle est la vitesse de la galaxie et à quelle distance (en année-lumière) se situe-t-elle ?

On donne :

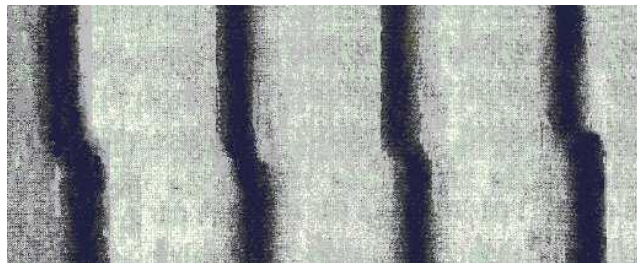
- 1 Mpc (megaparsec) =  $3,1 \cdot 10^{22} \text{ m} = 3,2 \cdot 10^6 \text{ a l.}$
- la célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- la constante de Rydberg :  $R_H = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

**Exercice 2 : mesure de l'épaisseur d'une couche mince**

On considère deux lames de verre dont les faces en regard forment un dièdre d'angle  $\varepsilon$  très faible. Une couche de métal d'épaisseur  $d$  recouvre partiellement la lame du dessous. Le coin d'air ainsi constitué est éclairé avec un faisceau parallèle monochromatique, de longueur d'onde  $\lambda = 589 \text{ nm}$ , en incidence normale. On observe des franges d'interférence localisées au voisinage des plaques, et parallèles à l'arête, décalées du fait de la présence du dépôt de métal.



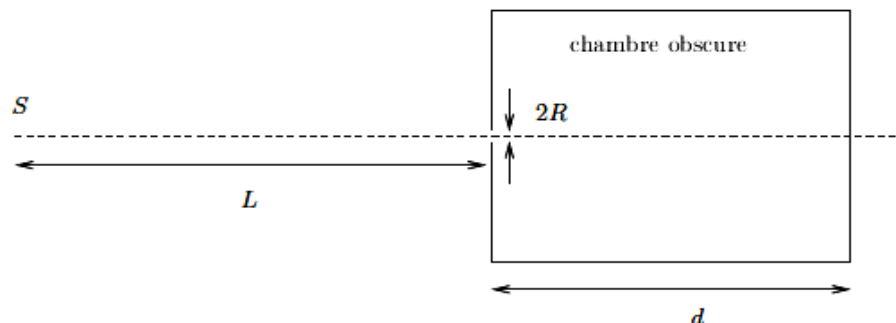
- 1) En mesurant le décalage relatif des franges sur l'image ci-dessous, déterminer l'épaisseur  $d$ .



- 2) Comment est modifiée la figure d'interférence si on augmente l'angle  $\varepsilon$  ? Si on remplace l'air entre les lames par de l'eau ?

**Exercice 3 : sténopé**

L'appareil photographique à sténopé est un appareil sans viseur ni objectif : il est constitué par une boîte opaque (chambre obscure) dont l'une des faces est percée d'un minuscule trou, de rayon  $R$ , laissant entrer la lumière et permettant de former l'image inversée de la réalité extérieure sur la face opposée, située à la distance  $d = 20$  cm de la face trouée. Cette image peut servir à impressionner un support photosensible comme une plaque photographique, mais de nos jours, certains artistes utilisent ce procédé avec des boîtiers numériques.

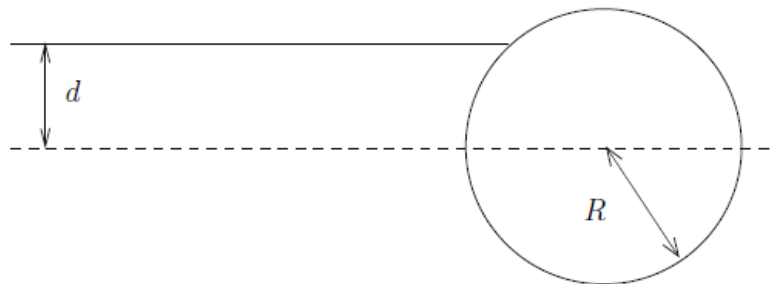


- 1) En considérant un objet ponctuel situé à une distance  $L = 10$  m sur l'axe du trou, déterminer le rayon  $R$  optimal du trou pour que le rayon de la tâche de lumière au fond de la boîte soit le plus petit possible : on prendra une longueur d'onde moyenne correspondant au maximum de sensibilité de l'œil :  $\lambda = 550$  nm.
- 2) Dans cette configuration optimale, quelle est la résolution angulaire de l'appareil à sténopé ?

**Exercice 4 : charge d'une sphère conductrice**

Un accélérateur de particules produit des protons avec pour énergie cinétique  $E = 2 \text{ keV}$ . Un faisceau de ces protons est dirigé vers une sphère métallique, de centre  $O$ , de rayon  $R$ , initialement reliée à la Terre (potentiel nul) puis isolée et située à grande distance de l'accélérateur. La distance entre le centre de la sphère et la direction du faisceau incident est notée  $d = R/2$ .

- 1) Au fur et à mesure que la sphère se charge, son potentiel électrostatique augmente. Expliquer pourquoi la charge atteint une valeur limite si l'accélérateur fonctionne pendant une durée suffisamment longue. Représenter sur la figure la trajectoire des protons lorsque la charge a atteint sa valeur limite.
- 2) Calculer le potentiel final de la sphère.



**Hypothèses :** On suppose que l'intensité du faisceau est suffisamment faible pour que l'interaction mutuelle entre les protons du faisceau puisse être négligée. On suppose pour simplifier que la charge finale est uniformément répartie à la surface de la sphère.

Dans ces conditions, la force électrostatique créée par la sphère sur une charge extérieure est la même que celle créée par une charge égale à celle de la sphère, concentrée en son centre  $O$ . Enfin l'énergie potentielle  $E_p$  d'une charge  $q$  placée en un point où existe un potentiel électrostatique  $U$  est égale au produit de la charge par ce potentiel (à une constante additive près) :  $E_p = qU$ .



## Problème IPhO : Diode électroluminescente et lampe de poche

Les diodes électroluminescentes (DEL ou LED en anglais) sont de plus en plus utilisées pour l'éclairage : affichages colorés, lampes de poche, éclairage domestique ... Dans ce composant, l'énergie électrique est convertie directement en lumière au sein d'un matériau semiconducteur. Nous nous proposons d'étudier la physique de ce dispositif à partir des chiffres expérimentaux que l'on peut trouver sur les notices techniques de ces composants. Les différentes parties du problème peuvent être traitées séparément, néanmoins les différentes données techniques valent pour n'importe quelle partie du problème.

### 1 Emission de lumière par une diode électroluminescente

On étudie la lumière émise par une diode électroluminescente, et avec quelle efficacité. Le schéma de branchement électrique d'une LED est indiqué dans la figure suivante. Comme toute diode, la LED ne laisse passer le courant que dans un sens. En outre le passage du courant électrique dans la diode est associé à l'émission de lumière. Lorsque les électrons (qui conduisent le courant dans l'une des moitiés de la diode) rencontrent les trous (qui assurent la conduction de l'autre côté) au niveau de la jonction, la recombinaison electron-trou s'accompagne de l'émission d'un photon. L'émission de lumière par une diode électroluminescente est ainsi un phénomène quantique.

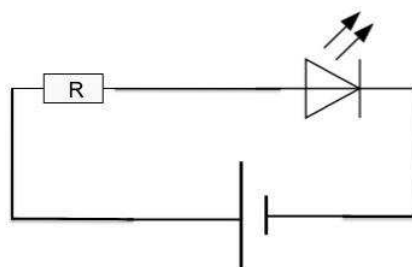


FIGURE 1: Branchement électrique d'une LED

#### 1.1 Couleur émise

Une diode électroluminescente "de base" émet une lumière que l'on peut considérer monochromatique. Les données fournies par un fabricant montrent que la tension aux bornes d'une LED en fonctionnement dépend de la longueur d'onde émise par la diode. Voir le tableau qui suit.

Ce tableau donne les caractéristiques optiques et électriques d'un certain nombre de LED. Toutes les données présentées dans le tableau le sont pour un courant électrique circulant dans la LED de 10 mA.

Color	Technology	lp	ld	DI	fv	fe	$V_F$
		nm	nm	nm	mlm	mW	V
Red	GaAlAs on GaAs	650	648	20	60	0.82	1.80
Red	GaAsP on GaP	635	620	38	30	0.20	2.00
Red	AllnGaP on GaAs	643	630	15	200	1.22	1.85
Red	AllnGaP on GaAs	620	618	20	400	1.5	1.85
Red (OMA)	AllnGaP on Si	622	615	18	600	2.5	2.8
Softorange	AllnGaP on GaAs	610	605	17	400	1.2	1.90
Softorange	GaAsP on GaP	610	605	36	25	0.06	2.00
Yellow	AllnGaP on GaAs	590	588	20	200	0.78	1.90
Yellow	GaAsP on GaP	585	590	38	30	0.05	2.00
Yellow Green	AllnGaP on GaAs	574	572	20	80	1.12	2.0
Green	GaP on GaP	565	570	38	35	0.05	2.00
Pure Green	GaP on GaP	555	560	22	12	0.02	2.00
Pure Green	AllnGaP on GaAs	561	562	20	30	0.05	2.00
True Green	InGaN on SiC	518	523	35	250	0.55	3.10
Blue Green	InGaN on SiC	503	505	30	200	0.79	3.20
Blue	InGaN on SiC	463	470	25	75	1.21	3.60
Blue	GaN on SiC	428	466	65	25	0.96	3.70

FIGURE 2: Caractéristiques techniques typiques de quelques LED du fabricant VISHAY. lp est la longueur d'onde correspondant au maximum d'émission, ld la longueur d'onde moyenne du pic d'émission, et DI la largeur à mi hauteur du pic d'émission. fv correspond au flux lumineux émis exprimé en millilumen. fe le flux radiatif émis exprimé en milliwatt.  $V_F$  est la tension de fonctionnement nominal de la LED.

1- A partir des données du tableau, tracer la tension notée  $V_F$  en fonction de l'inverse de la longueur d'onde d'émission maximale pour les LED fabriquées sur de l'arsénure de gallium. Quelle relation mathématique met-on en évidence avec ce graphe? La déterminer. On utilisera la feuille de papier millimétrée fournie.

Ce lien entre la tension de fonctionnement et la longueur d'onde de la lumière émise correspond à l'effet réciproque de l'effet photoélectrique, c'est-à-dire ici la conversion d'une énergie électrique en un quantum d'énergie lumineuse.

2- Montrer que la tension  $V_F$  est reliée à l'énergie électrique d'un électron traversant la jonction. Quelle est la relation entre la longueur d'onde  $\lambda$  émise et l'énergie d'un photon ayant cette longueur d'onde. En déduire le lien théorique entre  $\lambda$  et  $V_F$ .

3- A partir des questions précédentes, évaluer la constante de Planck. On essaiera de donner une incertitude à cette valeur expérimentale. On donne  $c=3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  la vitesse de la lumière dans le vide et  $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  la charge élémentaire.

### 1.2 Efficacité d'une diode électroluminescente

Une courbe, fournie par le constructeur, permet de relier la puissance lumineuse émise par la diode au courant électrique qui la traverse. La courbe qui suit correspond à l'intensité lumineuse relative émise par la LED rouge à 620 nm, en fonction de l'intensité électrique qui traverse la LED.

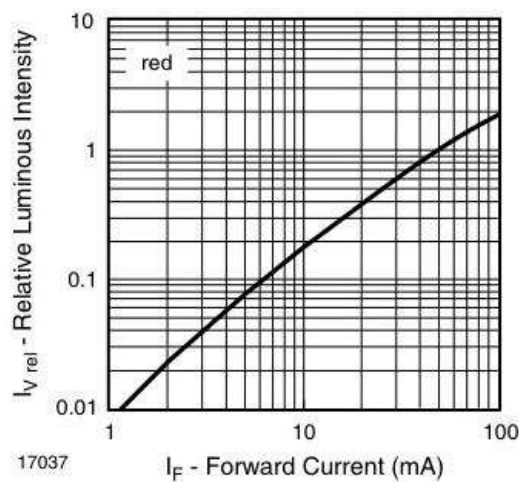


FIGURE 3: Intensité lumineuse relative en fonction du courant traversant la LED. La valeur 1 pour cette intensité relative correspond à une puissance lumineuse émise de 16 mW.

On souhaite déterminer maintenant le rendement quantique d'une LED, c'est-à-dire le nombre de photons émis en moyenne pour chaque charge électrique élémentaire traversant la jonction.

4- Quelle est l'énergie d'un photon rouge de 620 nm ? A combien de photons par seconde correspond une puissance de 16 mW ?

5- A partir de la courbe, déterminer pour cette puissance le nombre d'électrons traversant la jonction par unité de temps. En déduire le rendement quantique de la LED, c'est à dire le rapport du nombre de photons produits par le nombre d'électrons qui traversent la diode.

6- Quel est le rendement énergétique de la LED (puissance lumineuse émise / puissance électrique consommée) ? Comparer avec d'autres sources lumineuses que vous connaissez.

## 2 Alimentation de la LED par une batterie

On souhaite maintenant étudier une lampe torche à LED, alimentée par une batterie. L'idée est de déterminer l'autonomie d'une telle lampe.

### 2.1 Analyse d'une pile électrique

Pour déterminer l'autonomie d'une lampe, il faut avant tout connaître la capacité<sup>1</sup> de la pile. Nous considérons ici une pile LR06. La capacité d'une telle pile dépend du courant débité, comme le montre le document technique suivant :

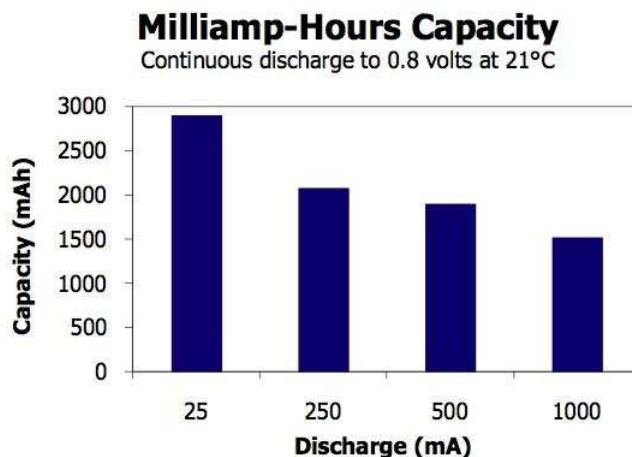


FIGURE 4: Capacité maximale d'une pile LR06 selon différents courants débités. La tension de fonctionnement et la température sont fixées.

7- Combien d'électrons fournit la pile lorsque le courant est de 25 mA ? Estimer le volume d'une pile LR06 (c'est la pile bâton la plus répandue). En imaginant la pile comme un "réservoir à électron", quel volume occupe chaque électron stocké ? Comparez la taille correspondante avec des tailles que vous connaissez.

---

1. La capacité d'une pile sera exprimée en ampère heure, noté Ah. La définition de l'ampère heure est semblable à celle du Watt heure : une charge de 1 Ah correspond à la charge débitée en une heure par un conducteur traversé par une intensité de 1 ampère.

8- Quelle est l'énergie maximale récupérable avec cette pile ?

### 2.2 Modèle cinétique d'une pile

En analysant la figure 4, on constate que la capacité d'une pile dépend de l'intensité débitée. L'explication physique de ce phénomène étonnant réside dans le fonctionnement cinétique d'une pile électrochimique. En fait, la capacité d'une pile dépend directement de la réalisation d'une réaction d'oxydo-réduction, et la pile s'arrête quand il n'y a plus d'espèces chimiques disponibles pour la réaction chimique. Le fonctionnement interne d'une pile impose que seule une partie des espèces chimiques présentes dans la pile intervient dans la capacité électrique de la pile. On peut voir la pile comme un double puits de charges électriques : un premier puits de charges de réserve et un deuxième puits de charges disponibles, les deux étant en interaction par un flux de charges noté  $k$ . Le schéma suivant résume bien la chose :

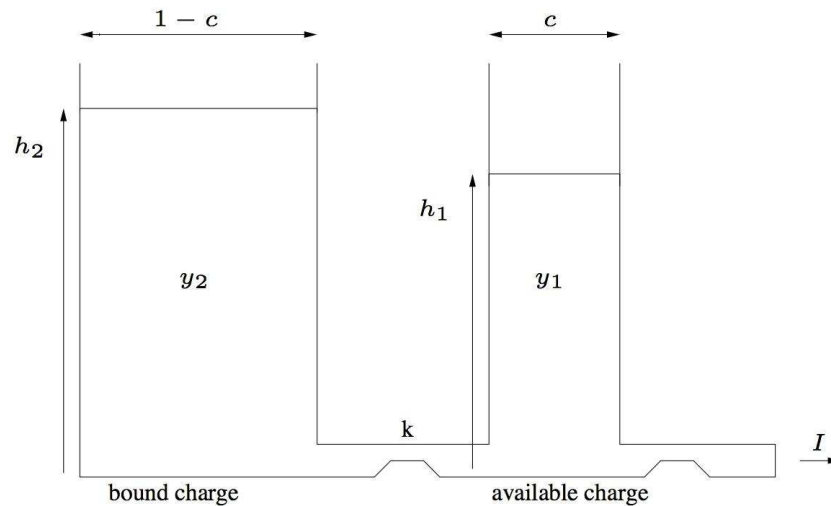


FIGURE 5: Modèle cinétique d'une pile :  $k$  est le couplage entre les deux puits, le taux d'échange de charges entre les deux puits est proportionnel à la différence de hauteur dans les deux puits et à  $k$ .  $c$  est la fraction de capacité disponible et correspond à la largeur du puits.  $I$  est le courant débité dans la charge, supposé constant ici ;  $y_2$  et  $y_1$  sont des capacités en Ah et sont représentées dans le modèle comme des surfaces, avec  $h_2$  et  $h_1$  les hauteurs respectives du puits des charges de réserve et du puits des charges disponibles.

9- A partir de ce schéma, écrire les deux équations régissant l'évolution temporelle des charges ou capacité  $y_2$  et  $y_1$  des deux puits.

La solution mathématique de ces équations donne pour  $y_1(t)$  :

$$y_1(t) = y_{10}e^{-k't} + (y_0c - \frac{I}{k'}) (1 - e^{-k't}) - Ic(t - \frac{1}{k'} + \frac{1}{k'}e^{-k't}), \text{ avec } k' = \frac{k}{c(1-c)}$$

10- A partir de l'expression de  $y_1$  donnée, déterminer la durée de fonctionnement  $T$  de la pile et l'exprimer en fonction de  $y_0$ ,  $k'$  et  $c$ . On supposera  $k'T \gg 1$ . Commentaires physiques sur l'expression obtenue.

11- Le constructeur de pile LR06 indique une durée de vie de 3,2 heures pour un fonctionnement à 500 mA. Sachant que  $k = 1,15 \cdot 10^{-4}$  SI, en déduire  $c$ ? Par la suite, pour le calcul de l'autonomie de la lampe de poche, on prendra pour la pile non pas la capacité théorique donnée à la figure 4, mais la capacité disponible  $y_{10} = c * y_0$ .

### 2.3 La lampe torche

La lampe torche à LED étudiée ici a les caractéristiques suivantes :

- 1 LED blanche,
- fonctionne avec trois piles LR06,
- puissance lumineuse de 100 lumens (la documentation technique de cette LED est résumée sur les deux graphes suivants),
- autonomie à 100 lumens : 3 h,

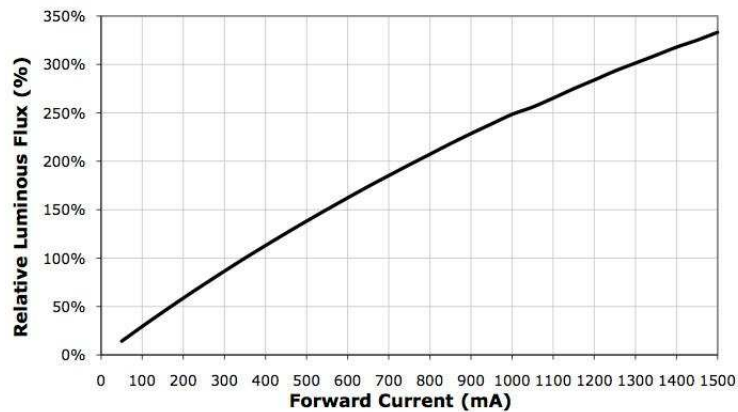


FIGURE 6: Flux lumineux émis par la LED blanche en fonction du courant la traversant. Le flux lumineux de référence est égal à 139 lumens.

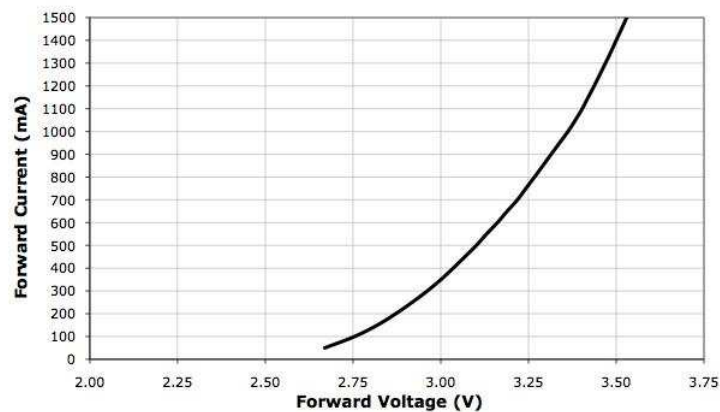


FIGURE 7: Tension de fonctionnement de la LED blanche en fonction du courant la traversant.

12- Que vaut la charge en coulombs disponible dans la lampe torche, fonctionnant à 100 lumens ? On pourra utiliser les données disponibles en 2.1.



13- Quelle est la puissance électrique consommée par la LED fonctionnant à 100 lumens ?

14- En déduire l'autonomie de la lampe torche ? Comparer à la valeur donnée par le constructeur. Pourquoi trouve-t-on une autonomie plus grande que celle donnée par le constructeur ? Proposer une explication.

**Nom et lycée :**

