



CONCOURS GÉNÉRAL SÉNÉGALAIS

1/12

01-19 T CGS 05 20

Durée : 6 heures

Toutes séries S réunies

SESSION 2019

CLASSES DE TERMINALE S

## SCIENCES PHYSIQUES

### THEME : LA LUMIERE, ONDE ET / OU CORPUSCULES ?

#### Données numériques

Charge élémentaire :  $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$   
 Constante de Boltzmann :  $k = 1,38.10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$ ,  
 Permittivité du vide  $\epsilon_0 = 8,854.10^{-12} \text{ SI}$   
 Perméabilité du vide  $\mu_0 = 4 \pi.10^{-7} \text{ SI}$

Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02.10^{23} \text{ mol}^{-1}$   
 Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ .  
 Constante de Planck :  $h = 6,63.10^{-34} \text{ J.s}$

#### TEXTE INTRODUCTIF.

L'optique est familièrement identifiée à l'étude des phénomènes lumineux c'est-à-dire à l'ensemble des ondes électromagnétiques auxquelles l'œil normal est sensible. Cependant il existe des radiations de nature identique à celle de la lumière mais non perceptibles par l'œil humain. Ces radiations obéissent aux mêmes lois (équations de Maxwell) que les radiations lumineuses et sont également étudiées dans le cadre de l'optique ondulatoire.

La lumière a été découverte et étudiée bien avant le début de notre ère : 4000 ans avant Jésus Christ les Sumériens utilisaient déjà la lumière et les astres pour prédire leur quotidien et pour produire du feu par concentration. De même les miroirs à métal poli et le verre ont été utilisés 2500 ans avant Jésus Christ.

L'interprétation des perceptions lumineuses a connu une évolution au cours du temps :

- alors que les lois de la réflexion de la lumière étaient connues des Grecs, celles de la réfraction ne furent établies qu'en 1621 par W Snell, R. Descartes les a trouvées plus tard en 1637

- en 1657 Fermat retrouve ces lois à partir d'un principe selon lequel la lumière met un temps minimal pour aller d'un point à un autre. Les lois de l'optique géométrique se présentent sous une forme variationnelle.

- l'optique ondulatoire n'apparaît qu'en 1665 avec Hooke qui émet l'idée que la lumière est une vibration de haute fréquence qui se propage. Cette idée est développée par Huygens mais malheureusement contrariée par Newton, adepte d'une théorie corpusculaire.

- ce n'est qu'au début du 19<sup>ème</sup> siècle que Young reprend la théorie ondulatoire pour étudier les phénomènes d'interférences. En 1818 Fresnel fait une synthèse des idées de Huygens et Young pour expliquer le phénomène de diffraction c'est-à-dire l'éparpillement de la lumière et donc la présence des ombres géométriques.

- enfin après avoir construit la théorie des ondes électromagnétiques (ondes lumineuses y comprises), Maxwell conclut que la lumière est une onde électromagnétique qui vibre à une fréquence  $\nu \sim 5.10^{14} \text{ Hz}$  et se propage dans le vide à la vitesse  $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ . Il précise en outre que l'onde est transversale, c'est-à-dire que les grandeurs vectorielles qui la caractérisent, le vecteur-champ électrique  $\vec{E}$  et le vecteur-champ magnétique  $\vec{B}$  sont perpendiculaires à la direction de propagation.

- au 20<sup>ème</sup> siècle, l'optique quantique se développe avec l'introduction par Planck en 1900 du concept de quantum (des quanta). Selon Planck, l'énergie lumineuse ne peut être échangée que par paquets indivisibles qu'il nomme quanta d'énergie. En 1905, pour interpréter l'interaction matière - rayonnement, dans l'effet photoélectrique, Einstein introduit la notion de grain de lumière pour parler des quanta de Planck qui sont donc présents dans la lumière dont ils sont des constituants fondamentaux. Considérée jusqu'alors comme onde, la lumière est interprétée dans la nouvelle conception d'Einstein comme un ensemble de corpuscules. Le grain de lumière sera nommé plus tard (1926) photon par Gilbert N Lewis. Le concept de corpuscule est la base de l'optique corpusculaire et l'optique quantique.

Cette révolution n'a cependant pas mis en cause les lois établies dans le cadre de la théorie ondulatoire.

Les aspects ondulatoire et corpusculaire de la lumière sont indissociables et selon le cas c'est l'un ou l'autre qui prédomine. La jonction des deux conceptions est d'ailleurs réalisée par la théorie de l'équivalence onde corpuscule élaborée par Louis De Broglie en 1924.

Bien que l'optique soit une science multiséculaire, ses applications se modernisent et embrassent tous les secteurs de la vie moderne. De nos jours nous pouvons affirmer qu'aucune technique ne peut se passer des moyens optiques pour la mesure, l'observation /ou la transmission des données. Citons quelques applications dans :

- la vie domestique : éclairage, lunetterie, photographie, cinéma, vidéo projection....
- l'industrie : usinage par laser, gravure par diode laser, four solaire, affichage couleur....
- la médecine : ophtalmoscopie, endoscopie, fibroscopie, incisions au laser...
- la communication : liaison par fibre optique.

La vie telle que nous la connaissons, n'est pas possible sans lumière. La transformation de l'énergie qui nous vient du soleil permet le maintien de la température de la terre et, par réactions chimiques, la nutrition de la plus part des végétaux et par conséquent des animaux (l'homme y compris).

**PARTIE A : QUESTIONS SUR LE TEXTE (05 points)**

Lire attentivement le texte introductif puis répondre aux questions suivantes.

- A-1- A quelle époque les Sumériens utilisaient-ils la lumière et les astres ? dans quel but ?
- A-2- Donner les noms des deux physiciens qui ont découvert et établi les lois de la réfraction de la lumière et les années correspondantes.
- A-3- Quelles conclusions Maxwell a tirée sur la nature de la lumière après avoir construit la théorie des ondes électromagnétiques ?
- A-4- Donner l'interprétation de la lumière dans la nouvelle théorie d'Einstein.
- A-5- Citer deux applications de l'optique dans la vie domestique puis en médecine.

**PARTIE B : CARACTERE ONDULATOIRE DE LA LUMIERE, (38 points)**

La théorie ondulatoire interprète bien les phénomènes où la lumière n'interagit pas avec la matière. Certains phénomènes tels que les interférences lumineuses, les diffractions, les réflexions, les réfractions, etc. , ne peuvent être expliqués par les artifices de l'optique géométrique ; leur explication n'a été faite qu'au moment où Huygens introduisit la théorie ondulatoire de la lumière qui fut développée par Fresnel. Cette théorie suppose que la lumière est formée de vibrations transversales de grandes fréquences.

Dans cette théorie l'onde lumineuse peut être caractérisée par une fonction sinusoïdale. En tout point M ( $\vec{r}, t$ ) de l'espace elle peut être représentée par une grandeur physique S(r,t) de la forme :

$$S(r,t) = A \cos \left[ \omega \left( t - \frac{r}{V} \right) + \varphi_0 \right]$$

avec A : amplitude maximale,  $\omega$  : pulsation, V = célérité de l'onde :

r = OM (O étant le point origine d'émission de l'onde) ;  $\varphi_0$  phase de l'onde à t = 0 et r = 0

En tout point M ( $\vec{r}, t$ ) de l'espace , l'onde transporte une énergie W(M,t) proportionnelle au carré de l'amplitude de la grandeur S(r,t) :  $W(M,t) \propto [A]^2$

**B-1- Propagation d'une onde plane polarisée rectilignement**

On considère que lorsque la lumière se propage dans l'espace, en tout point M il y a coexistence d'un champ électrique  $\vec{E}$  et d'un champ d'induction magnétique  $\vec{B}$  orthogonaux ( $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  varient mutuellement) (figure1)

Le système est rapporté au repère tri orthonormé ( $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$ ).

Dans la direction de propagation on définit le vecteur d'onde par :  $\vec{k} = k \vec{e}_z$  ; avec  $\|\vec{k}\| = \frac{2\pi}{\lambda}$  ;

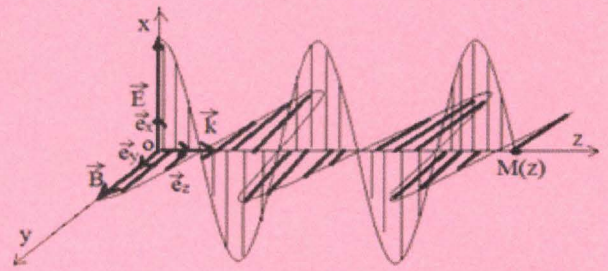


Figure 1

B--1-1- On donne l'expression du champ électrique au point M de coordonnée z :

$$\vec{E}(z, t) = E_0 \cos \omega \left( t - \frac{z}{c} \right) \vec{e}_x$$

avec  $\omega$  : pulsation de l'onde émise ; c célérité de la lumière dans le vide

Donner l'expression de  $\vec{B}$  au point M tel OM = z sachant que

d'après la théorie de Maxwell  $\vec{B}$  est donné par :  $\vec{B} = \frac{1}{c} (\vec{e}_z \wedge \vec{E})$ . En déduire que :  $\|\vec{E}\| = c \|\vec{B}\|$ .

**On indique :**  $\vec{e}_z = \vec{e}_x \wedge \vec{e}_y$  ;  $\vec{e}_y = \vec{e}_z \wedge \vec{e}_x$  et  $\vec{e}_x = \vec{e}_y \wedge \vec{e}_z$

B-1-2- Pour une onde électromagnétique plane polarisée rectilignement se propageant dans le vide, retrouver les équations de Maxwell suivantes :  $\vec{k} \cdot \vec{E} = 0$  ;  $\vec{k} \cdot \vec{B} = 0$  ;  $\vec{k} \wedge \vec{E} = \omega \vec{B}$  ,  $\vec{k} \wedge \vec{B} = -\epsilon_0 \mu_0 \omega \vec{E}$  , les grandeurs  $\mu_0$  et  $\epsilon_0$  représentent respectivement la perméabilité magnétique et la permittivité diélectrique du vide liées par  $\mu_0 \epsilon_0 c^2 = 1$ . En déduire la relation :  $k^2 = \mu_0 \epsilon_0 \omega^2$ .

B-1-3- On définit le vecteur de Poynting par  $\vec{P} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{E} \wedge \vec{B})$ .

**B-1-3-1** Donner l'expression de  $\vec{P}$  en fonction de  $\|\vec{E}\|$  et de  $\vec{e}_z$  et en déduire l'expression de la puissance rayonnante  $I$  en fonction de  $\|\vec{E}\|$  et  $\epsilon_0$  ; la puissance rayonnante  $I$  est le flux de  $\vec{P}$  par unité de surface perpendiculaire à la direction de propagation.

**B-1-3-2** La densité d'énergie électromagnétique par unité de volume rayonnée est donnée par :

$$\rho = \frac{\|\vec{P}\|}{c}, \text{ exprimer } \rho \text{ en fonction de } \|\vec{E}\| \text{ et } \epsilon_0 \text{ d'une part et en fonction de } \|\vec{B}\| \text{ et } \mu_0 \text{ d'autre part.}$$

**B-2--Interférences des ondes lumineuses.**

Avec une source de lumière unique et un dispositif approprié (miroirs de Fresnel, bi prisme de Fresnel, dispositifs d'Young, etc.) qui divise l'onde incidente issue de cette source en deux ou plusieurs ondes, après avoir parcouru des chemins différents, ces ondes en se superposant donnent des interférences.

**B-2-1** On considère un dispositif interférentiel de deux sources secondaires identiques  $S_1$  et  $S_2$ , distantes de  $a = 2 \text{ mm}$  et éclairées par la lumière traversant une fente principale  $S$  (figure 2).

Les franges d'interférences sont observées sur un écran placé à une distance  $D = 2,5 \text{ m}$  du plan contenant les deux fentes. Le système est placé dans l'air d'indice de réfraction  $n_0=1$

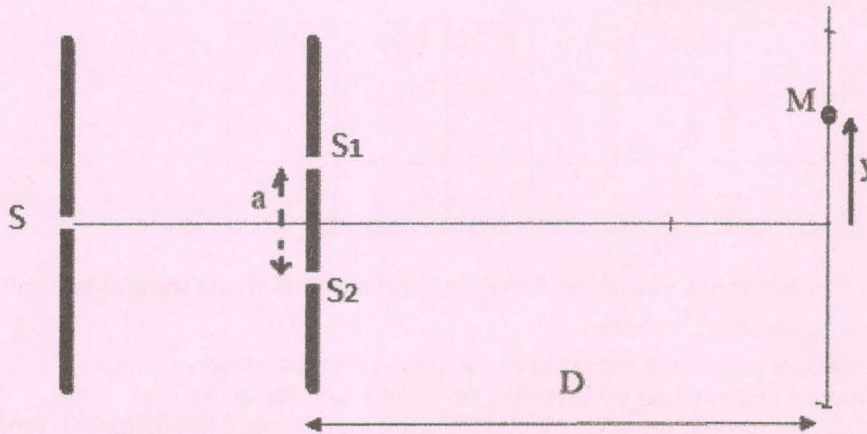


Figure 2

**B-2-1-1**-Quelle condition doivent vérifier les sources secondaires,  $S_1$  et  $S_2$ , pour observer le phénomène d'interférence sur l'écran ? Préciser le caractère de la lumière ainsi mis en jeu.

**B-2-1-2**-Les ondes lumineuses émises par les deux sources synchrones  $F_1$  et  $F_2$  arrivent, à un instant  $t$  en un point  $M$  (d'ordonnée  $y$ ) de l'écran, et sont caractérisées en ce point respectivement par les champs :  $\vec{E}_1 = \vec{e}_y E_{01} \cos(\omega t - kd_1)$  et  $\vec{E}_2 = \vec{e}_y E_{02} \cos(\omega t - kd_2)$  ; avec  $\vec{e}_y$  vecteur unitaire de l'axe  $Oy$  contenu dans le plan d'observation des interférences.  $k = \|\vec{k}\| = \frac{2\pi}{\lambda}$  ;  $\vec{k}$  : vecteur d'onde ;

$$d_1 = S_1M \text{ et } d_2 = S_2M$$

La vibration résultante au point  $M$  est définie par le champ  $\vec{E}(M,t) = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$  : donner l'expression de  $\vec{E}(M,t)$  en fonction  $E_{01}, E_{02}, d_1, d_2, t, \omega$  et  $\vec{e}_y$

**B-2-1-3**- On pose que  $\vec{E}(M,t) = \vec{e}_y E \cos(\omega t - \varphi)$ , exprimer l'amplitude  $E$  et la phase  $\varphi$  du champ électrique résultant  $\vec{E}(M,t)$  en fonction des paramètres des deux champs superposés .

**B-2-1-4** Dans une échelle convenablement choisie on définit l'éclairement au point  $M$  par :

$$\mathcal{E}(M) = E^2 \text{ (} E = \text{amplitude de l'onde résultante). Exprimer l'éclairement } \mathcal{E}(M) \text{ en fonction de } E_{01}, E_{02}, k, d_1 \text{ et } d_2$$

**B-2-1-5-** Montrer que  $\varepsilon(M) = (E_{01}^2 + E_{02}^2) \left[ 1 + \gamma \cos\left(2\pi \frac{\delta}{\lambda}\right) \right]$  avec  $\delta = |d_2 - d_1| = [F_2M] - [F_1M]$  : la différence de marche des chemins optiques et  $\gamma = \frac{2E_{01}E_{02}}{E_{01}^2 + E_{02}^2}$ ,

**B-2-1-6-** Les franges d'interférences sont particulièrement visibles lorsque les deux vibrations composantes ont même amplitude ; alors on pose  $E_{01} = E_{02} = E_0$ .

Montrer que l'intensité lumineuse  $I(M,t)$  résultant de l'éclairement en un point M (ordonnée y) de l'écran d'observation peut s'écrire :  $I(M,t) = 4I_0 \left( \cos \frac{\pi\delta}{\lambda} \right)^2$  avec  $I_0 = E_0^2$  ; où  $\lambda$  est la longueur de la radiation et  $I_0$  l'intensité lumineuse de chaque faisceau incident.

On a considérera que l'intensité lumineuse égale l'éclairement :  $I(M,t) = E^2$

**B-2-1-7-** La fente S est éclairée par une source monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = 400$  nm

a)- Rappeler l'expression de la différence de marche  $\delta$  en fonction de a, D et y et calculer sa valeur aux différents points d'ordonnées y : 0 ; 0,25 mm ; 0,5 mm ; 0,75 mm ; 1 mm et 1,25 mm.

b)- Pour chacune des valeurs de  $\delta$  trouvées précédemment, calculer l'intensité lumineuse I.

Recopier et compléter le tableau ci-après :

y (mm)	0	0,25	0,5	0,75	1,00	1,25
$\Delta$ (nm)						
I(M,t) [ $4 I_0$ ]						

Indiquer, en précisant leur ordonnée, les points de l'écran correspondant aux franges brillantes et ceux qui correspondent aux franges sombres.

**B-2-2** -La fente F du dispositif précédent est éclairée par une source de lumière blanche

**B-2-2-1**-Quelle est la nature et la couleur de la frange centrale ? Justifier la réponse

**B-2-2-2**- Au point y = 0,5 mm, construire la courbe de variation de l'intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  qu'on fera varier de 300 à 800 nm.

**B-2-2-3**-Quelle est la couleur dominante en ces points M ?

**Données**

Le domaine de longueur d'onde correspondant au rayonnement du visible est :  $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 800 \text{ nm}$

On donne la correspondance entre  $\lambda$  en nanomètre et la couleur de l'onde lumineuse :

Domaine de $\lambda$ (nm)	$\leq 390$	390 – 455	455 – 492	492 – 577	577- 597	597- 622	622 - 782	$\geq 782$
Domaine de $\nu$ ( $10^{14}$ Hz)	$\geq 7,69$	7,69 - 6,59	6,59 - 6,10	6,10 - 5,20	5,20- 5,03	5,03 - 4,82	4,82 - 3,84	$\leq 3,84$
Couleur	ultraviolet	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge	infrarouge

**B-3- Onde lumineuse émise par un laser (Laser à gaz hélium-néon)**

Un laser He-Ne émet en permanence une onde lumineuse monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = 632,8$  nm. Le faisceau cylindrique émergeant a une section droite  $s = 0,25 \text{ cm}^2$ .

La puissance reçue par un détecteur placé perpendiculairement au faisceau est de 1 W.

**B-3-1-** Justifier que cette lumière se trouve dans le domaine visible et donner sa couleur.

**B-3-2-** La puissance instantanée par unité de surface est :  $P(t) = \epsilon_0 c \|\vec{E}(Z, t)\|^2$  ;  $\epsilon_0$  = permittivité du vide,  $c$  = célérité de la lumière dans le vide et  $\vec{E}(z, t) = \vec{e}_x E_0 \cos\omega(t - \frac{z}{c})$ , le champ se propageant dans la direction  $oz$ . Evaluer la puissance moyenne reçue par le détecteur sur une période. En déduire la valeur de la norme  $E_0$  du champ électrique.

**B-3-3-** Quelle serait la puissance à l'émission d'une lampe à incandescence, de même efficacité, placée à la distance  $d = 1$  m du détecteur ?

**B-4- Principe de la mesure d'une longueur d'onde**

**B-4-1-** Deux traits noirs parallèles dont les centres sont distants de  $AB = 3,50$  cm sont tracés sur un fond blanc, Ces traits sont photographiés à une distance égale à  $|p| = 6,30$  m du centre optique d'un objectif (lentille convergente) de distance focale  $\overline{OF'} = f = 50,0$  mm. On obtient sur le négatif deux fentes transparentes  $A'B'$  (voir figure 3). Montrer que leur distance sur la photo (le négatif) est égale à  $A'B' = 2,90 \cdot 10^{-4}$  m.

**B-4-2-** Ces deux fentes sont traversées, perpendiculairement au plan du négatif, par un pinceau de lumière rouge émise par un laser hélium-néon. A  $2,50$  m du négatif, on observe que 20 interférences occupent sur l'écran une distance égale à  $11,3$  cm. Calculer la longueur d'onde de la lumière émise par le laser.

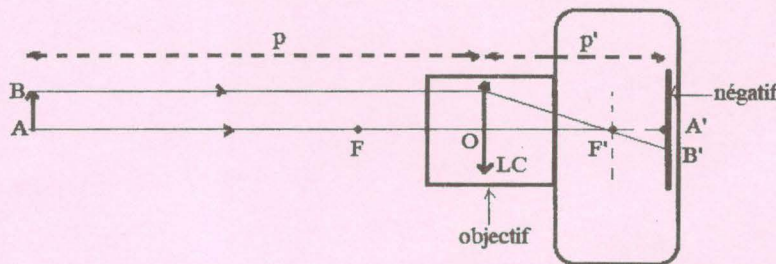


Figure 3 : Schéma de principe de formation d'image à partir d'un appareil photographique

**PARTIE C- CARACTERE CORPUSCULAIRE DE LA LUMIERE (35 points)**

La théorie corpusculaire de la lumière interprète les phénomènes où la lumière (le rayonnement de manière générale) interagit avec les atomes de la matière : effet photoélectrique, effet Compton, rayonnement du corps noir, émission de la lumière par les atomes ou les molécules.

Elle est attribuée à la transition d'un niveau d'énergie supérieur vers un niveau d'énergie plus faible.

**C-1-** Si  $E_1$  et  $E_2 > E_1$  sont les énergies des deux niveaux 1 et 2, la fréquence du photon émis lors de la transition de  $2 \rightarrow 1$  est donnée par la relation :  $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$  avec  $h =$  Constante de Planck :

L'énergie du photon est  $E_{ph} = E_2 - E_1 = h \nu$  et sa quantité de mouvement  $p = \frac{h \nu}{c}$

La théorie ondulatoire est incapable d'interpréter ces phénomènes.

**Données**

Constante de Planck :  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$  et  $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,0545888 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ .

Constante de Boltzmann :  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$ , Permittivité du vide  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ SI}$

Vitesse de la lumière dans le vide :  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Valeur absolue de la charge de l'électron :  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , Masse de l'électron :  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ .

**C-1-1** Montrer que l'énergie d'un photon  $E_{ph}$  (eV) est liée à sa longueur d'onde  $\lambda$ (m) par la relation

$$E_{ph}(\text{eV}) \approx \frac{1,242 \cdot 10^{-6}}{\lambda}$$

C-1-2 La figure ci-dessous représente partiellement le diagramme des niveaux d'énergie des atomes de thallium ; les longueurs d'onde sont exprimées en nanomètres

En prenant comme référence l'état fondamental déterminer :

- a) les énergies des niveaux (1), (3) et (4) en électrons-volts
- b) les longueurs d'onde des raies obtenues par désexcitation du niveau 5

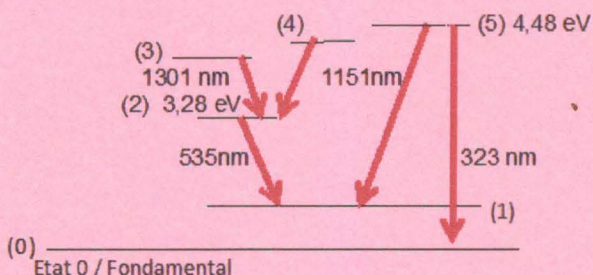


Figure 4 :

C- 2 L'effet photoélectrique est une des manifestations de l'interaction de la lumière avec la matière qu'Einstein a interprétée en termes de collision entre un atome et un photon.

L'effet photoélectrique est à la base de fonctionnement des cellules photoélectriques.

C--2-1- Donner la condition nécessaire pour qu'un photon de la radiation incidente puisse extraire un électron du métal dont le travail d'extraction est  $W_0$

C-2-2-L'énergie d'extraction du sodium est 2,3 eV. Quelle longueur d'onde maximale dans le vide une lumière incidente doit – elle avoir pour produire un effet photoélectrique sur du sodium ?

C-2-3- On veut réaliser une cellule photoélectrique qui soit sensible à la lumière visible. Les travaux d'extraction, en eV, sont donnés dans le tableau ci-dessous pour quelques métaux. Choisir , parmi ces métaux , ceux qui peuvent être utilisés pour cette cellule. On prendra le domaine du visible celui dont la longueur d'onde  $\lambda$  est telle que  $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 800 \text{ nm}$ .

Matériau	Zn	W	Al	Ba	Cu	LI
Energie d'extraction (eV)	3,4	4,5	4,2	2,5	4,3	2,3

C-3 En 1900, Max Planck découvre empiriquement la formule ci-dessous donnant la densité d'énergie rayonnée par un corps noir (exemple corps incandescent, les étoiles, corps en équilibre thermique ...) en faisant l'hypothèse que l'énergie émise ou absorbée par des corps est égale , à un instant donné, à un multiple entier d'un « quantum » d'énergie  $h\nu$  : le premier germe de quantification de l'énergie rayonnante.

La densité d'énergie rayonnée par un corps noir est donnée par la loi de Planck :

$$U(T, \nu) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3 \cdot (e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1)}$$

C-3-1- Etablir, à l'aide de cette loi de Planck, l'expression de la loi de Stephan  $U(T) = \sigma T^4$  et donner l'expression de  $\sigma$  en fonction de k, c et h.

$U(T)$  : énergie émise par tout le domaine de fréquences  $\nu$  variant de 0 à  $+\infty$ .

On donne  $\int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx = \frac{\pi^4}{15}$

C-3-2- Un corps noir rayonne une énergie  $E = U(T)$  à la température  $T=1000 \text{ K}$ . A quelle température  $T'$  rayonne-t-il une énergie  $E' = 2 E$  ? conclure.

C-3-3- La terre est éclairée par le soleil qui est approximativement un corps noir dont le flux lumineux émis par unité de surface (émittance) est  $\mathcal{M} = \sigma T^4$  ;  $T$  est la température à la surface du soleil, sa valeur est  $5800 \text{ K}$ .

Sciences physiques

7/12

01-19 T CGS 05 20

Toutes séries S réunies

CLASSES DE TERMINALE S

Sachant que la terre reçoit par unité de surface une quantité correspondant à  $1,6 \cdot 10^{-5}$  de celle émise par le soleil par unité de surface, montrer que la puissance reçue par la terre est environ de  $1 \text{ kW/m}^2$ . On donne  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ .

**C-4** L'effet photoélectrique est aussi utilisé dans les panneaux solaires et les cellules photovoltaïques (piles solaires) pour produire l'énergie électrique à partir de la lumière solaire. Cette technique mise au point en 1954 est encore utilisée dans certaines zones pour la production d'électricité, pour l'éclairage ou pour l'exhaure de l'eau (pompe solaire).

Les systèmes de pompage d'eau utilisant l'énergie solaire sont des idéaux pour l'irrigation ou la fourniture d'eau à partir d'une rivière, d'un lac, d'un canal, d'un puits ou d'un forage. Ce système associe le générateur photovoltaïque à une pompe spécialement conçue.

Le fonctionnement s'effectue grâce au soleil sans batterie. L'eau ainsi pompée peut être directement utilisée ou stockée dans les réservoirs. Le volume journalier d'eau ainsi obtenu dépend de l'éclairement du générateur photovoltaïque, de sa surface, de la hauteur de relèvement de l'eau et des caractéristiques du moteur.

On donne le diagramme ci-après pour une station de pompage : SHERFLO 24 V DC

Hauteur de relèvement (mètre)	Débit volumique (litre par heure)	Consommation (ampère)
6,1	443	1,5
24,4	401	2,4
42,7	375	3,1
61,0	345	3,8

A partir de ces données répondre aux questions suivantes :

**C-4-1** La tension délivrée par le générateur photovoltaïque est-elle continue ou alternative ?

Quelle est sa valeur ?

**C-4-2** A partir du débit volumique noté X et de la hauteur noté H de relèvement de l'eau, calculer dans chaque cas la puissance mécanique utile fournie par la pompe.

**C-4-3** Compte tenu de la tension délivrée par le générateur photovoltaïque et la « consommation » (intensité en ampère), calculer dans chaque cas, la puissance électrique consommée par le moteur de la pompe.

**C-4-4** Calculer le rendement de la pompe dans chaque situation.

**C-4-5** Sachant que le rendement du panneau solaire est de l'ordre de 14%, calculer, dans chaque situation, le rendement global de la chaîne.

**C-4-6** Donner les différentes étapes de transformation d'énergie qui se produisent dans cette installation.

La figure 5 ci-après montre l'installation de pompage alimentée par des panneaux solaires.

Un générateur électrique (panneaux solaires) alimente un récepteur : le moteur d'une pompe.

Cette installation, qui convertit l'énergie rayonnante en énergie électrique, puis en travail mécanique, constitue une chaîne électromécanique.

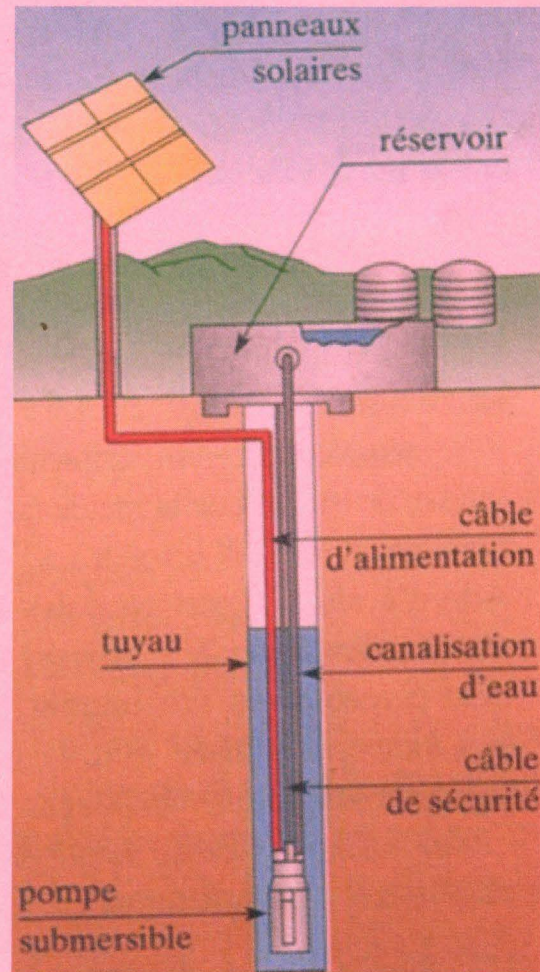


Figure 5

**C-5- Photosynthèse**

Une réaction photochimique importante est la photosynthèse : la chlorophylle contenue dans les feuilles permet de combiner l'hydrogène apporté par l'eau et le carbone apporté par le gaz carbonique pour former des substances organiques (protéines, sucre).

L'énergie lumineuse catalyse ces réactions de photosynthèse.

Dans la photosynthèse, processus par lequel des pigments tels que la chlorophylle dans les plantes, utilise l'énergie solaire pour convertir le dioxyde de carbone en sucres utiles. Il est considéré que neuf photons environ sont nécessaires pour la conversion d'une molécule de CO<sub>2</sub> en sucre et en dioxygène :

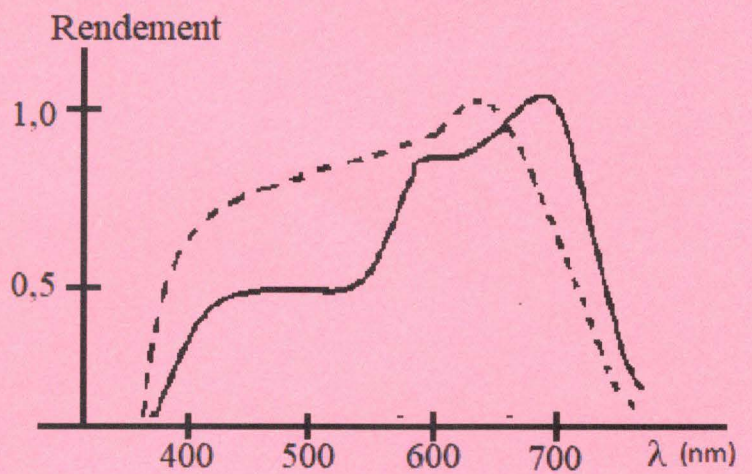
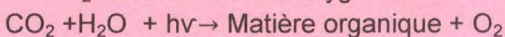


Figure 6



Sciences physiques

9/12

01-19 T CGS 05 20

Toutes séries S réunies

CLASSES DE TERMINALE S

Le spectre d'absorption des plantes correspond à la gamme du rayonnement visible du rayonnement solaire (0,4 μm - 0,8 μm).

Les courbes de la figure 6 correspondent au rendement d'absorption de la plante comme le nombre de moles de CO<sub>2</sub> fixées par rapport soit à l'unité d'énergie incidente : courbe en trait plein (→) soit par rapport au nombre de photons incidents : courbe en pointillés (· · ·).

**C-5-1-**

a) Montrer à partir des deux courbes que la mesure par flux de photons est plus adaptée à la mesure du rayonnement photo synthétiquement actif que celle du flux d'énergie.

b) Donner l'intervalle de longueur d'onde où se trouve le maximum de l'absorption de la chlorophylle.

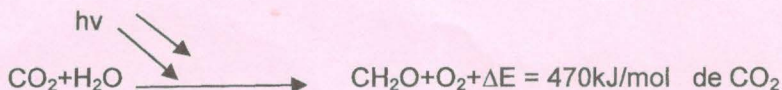
c) En supposant que la lumière utilisée a une longueur d'onde égale à 670 nm.

Déterminer l'efficacité du processus de photosynthèse. La chaleur de combustion de la réaction chimique inverse est égale à 4,9 eV par molécule de CO<sub>2</sub> formée.

**C-5-2** Presque toute l'énergie que nous utilisons aujourd'hui a été captée et stockée par photosynthèse.

La photosynthèse utilise la lumière solaire : le rayonnement photo synthétiquement actif (PAR) correspond sensiblement au domaine du visible.

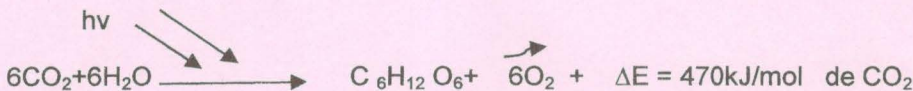
Le stockage de l'énergie sous forme de biomasse se fait selon la réaction suivante



a) En considérant les demi couples d'oxydoréduction mis en jeu au cours de cette réaction

O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub>/CH<sub>2</sub>O ; écrire les demi-équations pour chaque couple et retrouver l'équation précédente.

Montrer que l'équation globale peut s'écrire



b) Donner deux principaux intérêts de cette réaction qui se produit au niveau des plantes.

c) La photosynthèse d'une molécule de gaz carbonique CO<sub>2</sub> nécessite 4 photons. En considérant que ces photons ont pour longueur d'onde λ=700nm, calculer le rendement théorique de cette réaction (on pourra dans les calculs prendre h.c ≈ 1242 eV.nm)

En réalité le rendement réel est plus faible que la valeur trouvée,

d) On donne ici le tableau de croissances de cultures expérimentales des espèces C<sub>4</sub> et C<sub>3</sub> contenant respectivement 4 et 3 atomes de carbones dans leurs molécules.

Culture : Espèces C <sub>4</sub>	Canne à sucre	Mil perlé	Maïs
Taux de croissance en g/m <sup>3</sup> Jour	37	54	52
Pourcentage d'utilisation de la radiation solaire : rendement	3,7	4,2	4,6

Culture : Espèces C <sub>3</sub>	Betterave	Soja	Riz
Taux de croissance en g/m <sup>3</sup> Jour	31	27	36
Pourcentage d'utilisation de la radiation solaire : rendement	4,5	4,4	3,2

Citer pour chaque espèce en C la variété dont la culture est plus indiquée en ce lieu, justifier votre choix.

Toutes séries S réunies  
**CLASSES DE TERMINALE S**

**PARTIE D – LE CADRE DE L'APPROXIMATION DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE (22 points)**

Les ondes électromagnétiques ont des longueurs d'onde définies dans l'intervalle :  $10\text{ nm} < \lambda < 500\text{ }\mu\text{m}$ . Une petite partie de ces ondes est susceptible d'être détectée par l'œil humain, il s'agit de la lumière visible :  $400\text{ nm} \leq \lambda \leq 800\text{ nm}$ .

Dans certaines conditions le caractère ondulatoire de la lumière est peu apparent. C'est le cas où les instruments utilisés (lentilles, miroirs ...) sont de grandes tailles par rapport aux longueurs d'onde : on dit qu'on se trouve dans le cadre de l'optique géométrique. L'énergie se propage dans un milieu donné selon des lignes droites qu'on appelle des rayons lumineux constituant des faisceaux lumineux. L'optique géométrique assimile donc la propagation des ondes lumineuses à la propagation sous forme de rayons sans s'occuper de leur nature ondulatoire. Elle caractérise la propagation de la lumière en utilisant uniquement des constructions géométriques.

**D-1 Propagation rectiligne de la lumière - Les ombres.**

**D-1-1-** Pour mesurer la hauteur  $H = AB$  d'un tour, on plante verticalement un piquet de hauteur  $h = A'B'$  et on mesure les longueurs  $L$  et  $\ell$  des ombres de la tour et du piquet. Le sol est supposé horizontal (figure 7).

**D-1-1-1-** La tour et le piquet sont opaques et éclairés par le soleil.

Etablir les relations entre  $H$ ,  $h$ ,  $\ell$  et  $L$ .

**D-1-1-2-** Calculer la hauteur  $H$  de la tour avec les données suivantes :  $h = 1\text{ m}$ ,  $L = 15\text{ m}$  et  $\ell = 0,5\text{ m}$  ;

Donner une application ancienne faite par les hommes à partir de ce procédé.

**D-1-2-** Une source de lumière en forme de disque de rayon

$r_1 = 5\text{ mm}$ , de centre  $O_1$  éclaire un disque opaque de rayon  $r_2 = 5\text{ cm}$ , de centre  $O_2$  placé à une distance  $\ell = 50\text{ cm}$  de la source.

Un écran plan est disposé parallèlement aux disques et est situé à une distance  $D = 2\text{ m}$  du disque opaque.

Les points  $O'$ ,  $O_1$ ,  $O_2$  et  $O$  centre de l'ombre sur l'écran sont alignés (figure 8).

**D-1-2-1-** Rappeler la définition d'une source de lumière, celle d'un objet éclairé, celle d'un corps opaque et celle d'un corps translucide.

**D-1-2-2-** Faire un schéma simplifié légendé puis déterminer le diamètre de l'ombre propre sur l'écran.

**D-1-2-3-** En déduire l'explication des phénomènes d'éclipses solaire et lunaire.

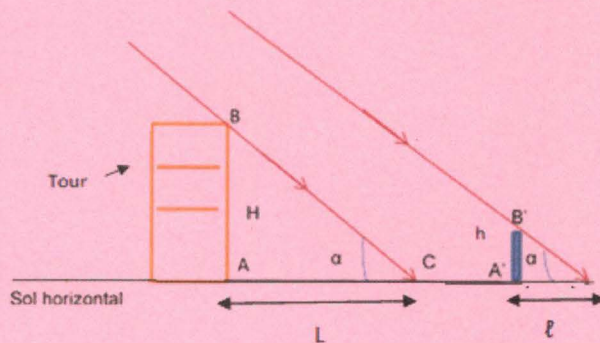


Figure 7

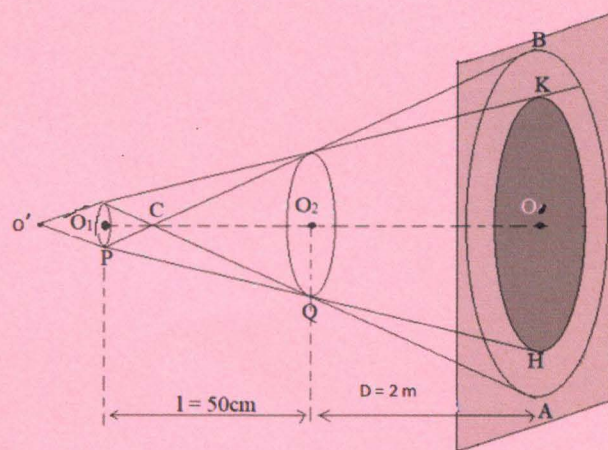


Figure 8

**D-2- Phénomènes de réflexion et de réfraction - détermination de l'indice de réfraction.**

**D-2-1-** On considère un rayon lumineux se propageant du milieu ① au milieu ② (figure 9)

**D-2-1-1-** Reproduire le schéma et l'annoter en indiquant clairement les rayons incident, réfléchi, réfracté et les angles d'incidence, de réfraction et de réflexion.

**D-2-1-2-** Rappeler les lois de Descartes relatives à la réflexion et à la réfraction.

A partir du schéma proposé lequel de ces deux milieux a l'indice le plus grand ; on désignera par  $n_1$  , et  $n_2$  les indices de réfraction des milieux ① et ② respectivement .

**D-2-2-** Une cuve parallélépipédique de profondeur  $h = 8$  cm, placée dans l'air d'indice  $n_0 = 1,00$ , est remplie d'eau d'indice  $n_e = 1,33$ . Un faisceau lumineux frappe la surface libre de l'eau en un point I et arrive au fond de la cuve en un point H situé à une distance  $d = 3$  cm de la verticale du point d'incidence I.

**D-2-2-1-** Exprimer l'angle de réfraction en I en fonction des distances  $h$  et  $d$ .

**D-2-2-2-** On se propose de mesurer l'indice de réfraction  $n$  d'un liquide L. Pour cela, on remplace l'eau de la cuve par le liquide L et on éclaire la surface libre du liquide avec la même radiation que précédemment. On constate que pour éclairer le fond à 3 cm de la verticale du point d'incidence, il faut un angle d'incidence  $i_0 = 31^\circ$ .

Donner l'expression de l'indice  $n$  du liquide en fonction de  $n_0, h, d$  et  $i_0$ .

Calculer l'indice de réfraction  $n$  du liquide L.

**D-3- La fibre optique**

L'application la plus simple des fibres optiques est la transmission de la lumière vers des endroits difficiles d'accès. L'ensemble peut également servir à transmettre des images : la lumière est acheminée par certaines fibres, se réfléchit à l'extrémité et revient à d'autres fibres. Cette application est très utilisée en médecine pour explorer divers endroits du corps humain (exemple gastroscopie) ainsi qu'en chirurgie laser. Les télécommunications constituent aussi un domaine d'application très important des fibres optiques.

On considère une fibre optique de longueur  $L = 1$  km, à symétrie cylindrique, d'axe  $zz'$ , constituée d'un cœur transparent d'indice  $n_c$  entouré d'une enveloppe (gaine) composée d'un matériau d'indice  $n_g < n_c$ . Un faisceau laser est envoyé sur la face d'entrée de la fibre, en contact avec l'air d'indice  $n_0 = 1$  (figure 10). On appelle angle d'acceptance de la fibre l'angle d'incidence  $i_{max}$  en deçà duquel le faisceau lumineux reste confiné dans la fibre.

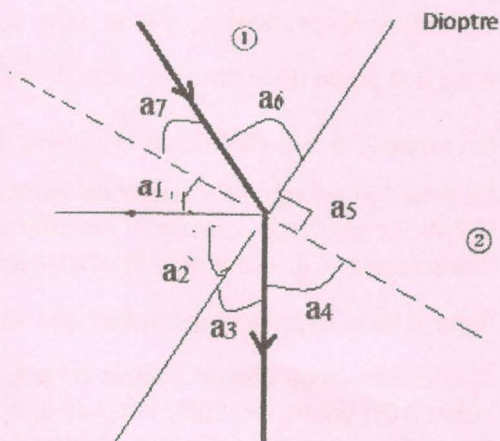


Figure 9

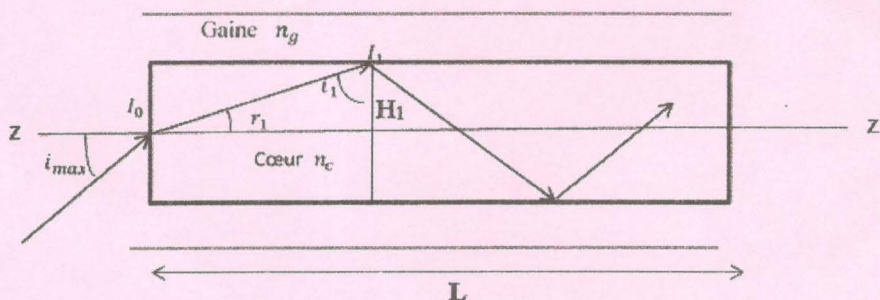


Figure 10

Sciences physiques

12/12

01-19 T CGS 05 20

Toutes séries S réunies

CLASSES DE TERMINALE S

**D-3-1-** Exprimer, en fonction des indices de réfraction  $n_c$  et  $n_g$ , l'ouverture numérique de la fibre notée ON et définie par  $ON = n_0 \sin i_{max}$ . Calculer  $i_{max}$  pour  $n_c = 1,66$  et  $n_g = 1,52$

**D-3-2-** On considère le cas où  $n_c \approx n_g$ , montrer qu'en première approximation  $ON \approx n_c \sqrt{2\Delta}$ , où  $\Delta$  est la différence d'indice relative donnée par  $\Delta = \frac{n_c - n_g}{n_c}$ .

Donner l'expression  $i_{max}$  en fonction de  $n_c$ ,  $n_0$  et  $\Delta$

**D-3-3-** On considère deux rayons lumineux  $R_0$  et  $R_m$  entrant dans la fibre au même instant sous incidences respectives  $i_0 = 0$  et  $i_m = i_{max}$ . Montrer que le retard temporel subi par  $R_m$  par rapport à  $R_0$ , à la sortie de la fibre est  $\delta t = n_c \frac{L}{c} \Delta$  où  $c$  : est la célérité de la lumière dans le vide.

On rappelle que la célérité de la lumière dans un milieu d'indice  $n$  est  $v = \frac{c}{n}$ .

Ce retard  $\delta t$  est appelé « temps de réponse » de la fibre à saut d'indice multimodale.

**D-3-4-** Lorsqu'une puissance lumineuse  $P_0$  est envoyée dans la fibre au niveau de son bout d'abscisse  $z = 0$ , elle s'amortit et devient  $P_L$  à l'autre bout ( $z = L$ ). L'affaiblissement de la puissance dans la fibre, exprimée en décibels par kilomètre (dB/km), est donnée par ;  $\alpha = -\frac{1}{L} \ln \left( \frac{P_L}{P_0} \right)$ .

Quelle puissance doit-on injecter à l'entrée de la fibre pour récupérer une puissance de 0,1 mW à la sortie ? On donne  $\alpha = 2\text{dB} / \text{km}$  pour la longueur d'onde considérée.

Rappel : la longueur de la fibre optique sera prise égale à :  $L = 1 \text{ km}$ .