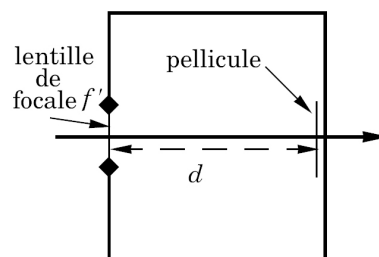


### Problème 1 Étude d'un appareil photo jetable

Les appareils photos jetables sont conçus pour ne servir qu'une seule fois. Ils sont donc de conception très simple afin que le prix de revient soit le plus bas possible. Nous étudierons tour à tour l'optique, puis l'électronique de tels appareils.

#### A Étude de la partie optique

L'objectif n'est composé que d'une seule lentille mince  $L$  de centre  $O$ , de distance focale  $f'$  et de diamètre utile  $D_L$ . La pellicule se situe à une distance  $d$  fixe de la lentille. Aucune mise au point n'est possible, c'est-à-dire que la distance  $d$  est fixée lors de la fabrication et n'est pas modifiable par l'utilisateur. Nous travaillerons dans les conditions de Gauss.



##### A.1 Conditions de Gauss

**A.1.1** Rappeler les conditions de Gauss.

**A.1.2** Pourquoi se place-t-on dans les conditions de Gauss ?

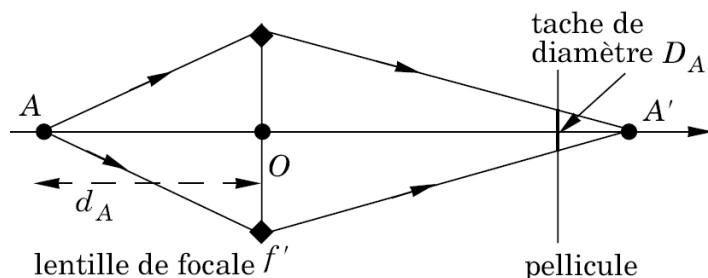
**A.1.3** Comment fait-on en pratique pour travailler dans les conditions de Gauss ? Quel est l'inconvénient de se placer dans les conditions de Gauss ?

**A.2** En fonctionnant usuel, les objets et les images données par  $L$  sur la pellicule sont réels. En prenant un objet  $AB$  tel que  $|\overline{OA}| > |f'|$  et en traçant son image pour une lentille convergente puis divergente, déterminer la nature convergente ou divergente de la lentille  $L$  servant d'objectif.

**A.3** L'objet à photographier étant situé à l'infini, déterminer la valeur de la distance  $d$  qu'il faut prévoir lors de la fabrication pour que son image soit nette sur la pellicule.

**A.4** Quelle est alors la dimension  $X$ , sur la pellicule, de l'image de la Lune qui a un diamètre apparent  $\alpha$  (on pourra s'aider d'une construction pour répondre). Faire l'application numérique avec  $f' = 3,0 \text{ cm}$  et  $\alpha = 0,50^\circ$ .

**A.5** Un objet ponctuel  $A$ , qui n'est pas situé à l'infini, à son image en dehors du plan de la pellicule (confondu avec le plan focal image de la lentille) et donne sur la pellicule une tache de diamètre  $D_{A'}$ . Soit  $d_A$  la distance entre le point  $A$  et la lentille ( $d_A$  est une distance et est donc positive).



**A.5.1** Exprimer  $\overline{OA'}$  en fonction de  $f'$  et  $d_A$ .

**A.5.2** Montrer que l'expression de  $D_{A'}$  en fonction de  $D_L$  (diamètre utile de la lentille),  $f'$  et  $d_A$  est :  $D_{A'} = D_L \frac{f'}{d_A}$ .

**A.6** La pellicule est formée de grains que l'on supposera circulaires et de même diamètre  $\epsilon$ . Une image, après développement de la pellicule, paraît nette si un point objet n'a éclairé qu'un seul grain et a donc donné, sur la pellicule, une tache de diamètre inférieur ou égal à  $\epsilon$ .

Sachant que  $f' = 3,0 \text{ cm}$ ,  $D_L = 2,0 \text{ mm}$  (partie utile de la lentille) et que  $\epsilon = 20 \mu\text{m}$ , calculer numériquement la position du point  $A$  ( $d_A$ ) le plus proche qui est encore net après développement.

**A.7** Afin de pouvoir diminuer  $d_A$ , on augmente, lors de la fabrication, la distance  $d$  afin qu'un point à l'infini soit à la limite de netteté (il donne donc une tache de diamètre  $\epsilon$  sur la pellicule).

**A.7.1** Faire un schéma du dispositif montrant la tache donnée par l'objet à l'infini.

**A.7.2** Déterminer  $d$  et faire l'application numérique.

**A.7.3** Déterminer la nouvelle distance  $d_A$  correspondant au point le plus près donnant lui aussi une tache de diamètre  $\epsilon$  sur la pellicule et faire l'application numérique.

## Problème 2 Étude d'un récepteur optique d'une transmission Li-Fi

Le Li-Fi (Light Fidelity) est une technologie de communication sans fil reposant sur l'utilisation de la lumière visible. Les données sont transmises par des diodes électroluminescentes (LED) modulées à très haute fréquence puis reçues par des photodiodes intégrées aux terminaux (tablettes, ordinateurs, consoles de jeu...). Les avantages de cette technologie sont un débit plus élevé, une protection des données car les ondes lumineuses ne traversent pas les murs contrairement aux ondes radiofréquences ainsi qu'une consommation électrique réduite par rapport au Wi-Fi.

### A Généralités sur les ondes lumineuses

**A.1** Quel est l'intervalle de longueur d'onde utilisée dans la technologie Li-Fi? Calculer les fréquences correspondantes.

**A.2** Le spectre d'émission d'une LED est-il continu, discret?

**A.3** Quel est le nom du processus physique permettant l'émission de lumière au sein d'une LED? Est le même que dans un LASER?

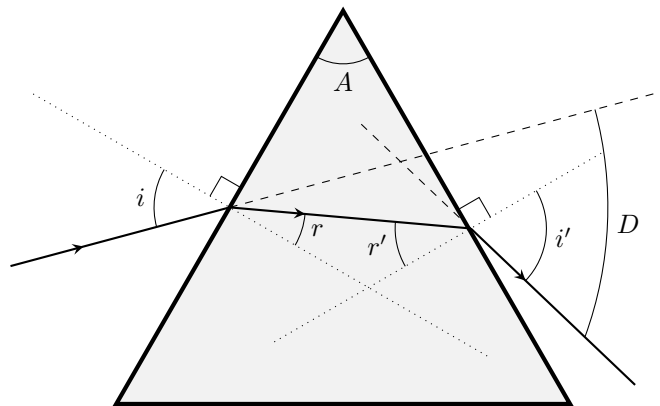
**A.4** Dans ce problème on se place dans le cadre de l'optique géométrique. Rappeler les hypothèses associées.

### B Récepteur optique

Le récepteur optique doit collecter un maximum de lumière tout en limitant sa masse et son encombrement pour qu'il puisse être intégré sur différents terminaux mobiles (smartphone, tablette, TV...). L'utilisation d'une lentille de Fresnel est adaptée car à distance focale et diamètre identiques à ceux d'une lentille « standard », elle a une épaisseur et une masse considérablement plus faibles.

**B.1** Comment doit-on positionner la photodiode par rapport à la lentille du collecteur? Justifier.

Avant de procéder à l'étude d'une lentille de Fresnel, on s'intéresse, dans un premier temps, à un prisme d'indice  $n$  et d'angle au sommet  $A$  comme celui représenté sur la figure ci-dessous. On note  $i$  et  $i'$  les angles d'incidence et d'émergence au niveau des faces d'entrée et de sortie du prisme ainsi que  $r$  et  $r'$  les rayons réfractés sur les faces d'entrée et de sortie. On note  $D$  l'angle de déviation du rayon incident à l'issue de sa traversée dans le prisme.



Vue en coupe d'un prisme d'indice  $n$ .

**B.2** Établir, en justifiant, les quatre relations ci-dessous :

$$\sin i = n \sin r$$

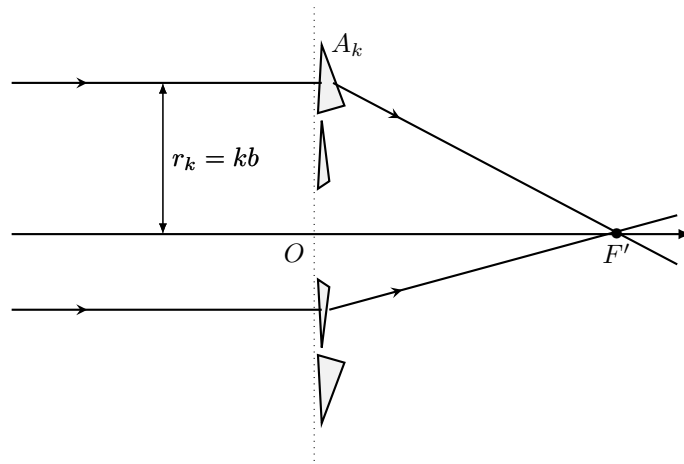
$$\sin i' = n \sin r'$$

$$A = r + r'$$

$$D = i + i' - A$$

On suppose dans la suite du problème que le rayon incident est quasiment normal et que tous les angles considérés sont petits.

**B.3** Montrer que la déviation subie par un rayon s'écrit :  $D = (n - 1)A$ .



Principe de la lentille de Fresnel. Le prisme d'angle au sommet  $A_k$  est situé à une distance  $r_k = kb$  de l'axe optique.

La lentille de Fresnel est réalisée à partir de prismes de ce type répartis de part et d'autre de l'axe optique. Ils sont régulièrement espacés, le  $k^e$  prisme est à la distance  $r_k = kb$  de l'axe optique avec  $b$  la distance moyenne entre deux prismes consécutifs. Les prismes sont orientés de manière à rabattre un faisceau parallèle vers l'axe optique (figure ci-dessus). On désigne par  $A_k$  l'angle au sommet du  $k^e$  prisme. L'ensemble est invariant par rotation autour de l'axe  $(OF')$ .

**B.4** Quelle doit être l'expression de l'angle  $A_k$  pour qu'un rayon parallèle à l'axe optique distant de  $r_k$  vienne converger en un point  $F'$  défini par  $f' = \overline{OF'}$  ?

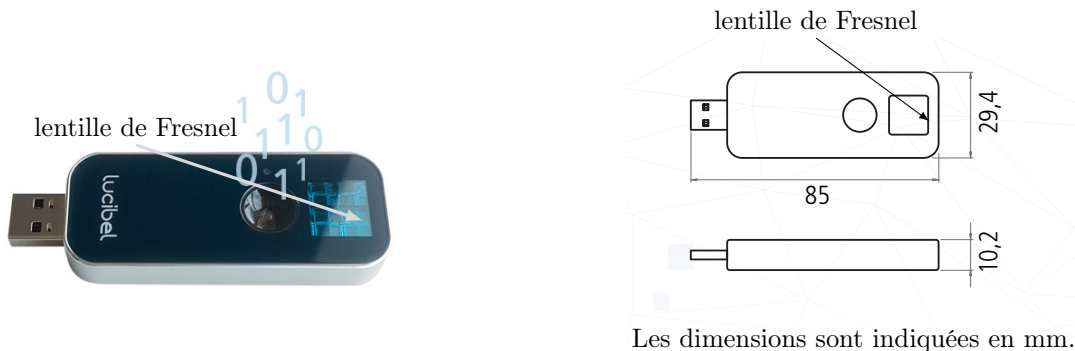


Photo et dimensions d'un dongle USB Li-Fi (extrait d'un catalogue technique – mars 2022).

**B.5** La figure ci-dessus montre un dongle USB Li-Fi muni d'un émetteur optique (partie circulaire) et d'un récepteur optique (à droite du dongle). Les dimensions en mm sont reportées à droite de la photo. Les hypothèses considérées précédemment sont-elles vérifiées ?

### Problème 3 Découverte de Proxima du Centaure

Données :

- Vitesse de la lumière dans le vide :  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- Constante de Planck :  $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J s}^{-1}$
- Charge élémentaire :  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Distance Terre-Soleil :  $D_{TS} = 1,5 \times 10^8 \text{ km}$
- Surface d'une sphère de rayon  $R$  :  $S = 4\pi R^2$
- Surface d'un disque de rayon  $r$  :  $s = \pi r^2$

#### A Première observation de l'étoile

L'étoile *Proxima Centauri* a été découverte en 1915 par l'astronome britannique Robert Innes, alors directeur de l'observatoire de l'Union à Johannesburg en Afrique du Sud. C'est une étoile de type naine rouge, de masse  $M_E = 2,44 \times 10^{29} \text{ kg}$  et de rayon  $R_E = 9,81 \times 10^4 \text{ km}$ . Elle est située à  $D_E = 3,99 \times 10^{13} \text{ km}$  soit 4,22 années-lumière du Soleil.

Dans la suite du sujet, toutes les applications numériques seront faites à la longueur d'onde moyenne du visible  $\lambda_{\text{obs}} = 600 \text{ nm}$ .

**A.1** Justifier, par un argument d'ordre de grandeur, que la distance entre la Terre et Proxima du Centaure peut être approximée à 4,22 années-lumière.

Pour voir l'étoile *Proxima Centauri*, un instrument d'optique est utilisé. Il est modélisé dans la suite par deux lentilles :

- une lentille convergente  $L_1$  objectif, de centre optique  $O_1$ , de foyer principal objet  $F_1$ , de foyer principal image  $F'_1$  et de distance focale image  $f'_1 = 8,0$  m ;
- une lentille divergente  $L_2$  de projection, de centre optique  $O_2$ , de foyer principal objet  $F_2$ , de foyer principal image  $F'_2$  et de distance focale image  $f'_2 = -0,020$  m.

Si le point objet  $A$  et le point image  $A'$  sont conjugués par la lentille  $L$  de focale  $f'$  et de centre  $O$ , d'après la Formule de Descartes on a

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$$

et le grandissement transversal est

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}.$$

L'instrument d'optique est pointé vers l'étoile *Proxima Centauri*.

**A.2** Où est située l'image de l'étoile par la lentille  $L_1$ , appelée image intermédiaire  $A_1B_1$  ? Illustrer cette situation par un schéma.

**A.3** Déterminer l'expression de la taille de cette image intermédiaire  $A_1B_1$  (non algébrique) en fonction du rayon  $R_E$  de l'étoile et des caractéristiques de la lentille objectif  $L_1$ .

**A.4** La lentille de projection  $L_2$ , divergente, sert à faire de l'image intermédiaire  $A_1B_1$  une image définitive  $A'B'$ , réelle, non inversée et agrandie d'un facteur 4. Calculer la distance  $O_1O_2$  pour respecter ces contraintes.

**A.5** Illustrer par un schéma la position de  $A_1B_1$ , de  $A'B'$  et de  $L_2$  (sans représenter  $L_1$ ).

**A.6** En 1915, l'image définitive  $A'B'$  de l'étoile se formait sur une plaque photographique de dimension 24millimeter  $\times$  36millimeter, composée de cristaux de 10  $\mu$ m de chlorure d'argent, précipité blanc qui noircit à la lumière. L'image définitive de l'étoile *Proxima Centauri* est-elle vue comme ponctuelle ou étendue sur la plaque photo ?

**A.7** À l'occasion du centenaire de la découverte de Proxima du Centaure, en 2015, la photo de l'étoile a été reprise avec l'instrument d'optique de l'époque mais la plaque photographique a été remplacée par un capteur CCD (Charge Coupled Device) de 100 millions de pixels, de taille identique à la plaque photo originelle. L'image définitive de l'étoile *Proxima Centauri* est-elle vue comme ponctuelle ou étendue sur le capteur photosensible ?

**A.8** L'efficacité quantique QE d'un capteur CCD donne le taux de transformation de la lumière en charge, soit la probabilité qu'un photon incident donne *naissance* à un électron dans le capteur. Pour la longueur d'onde étudiée, cette sensibilité quantique QE est de 30 %.

**A.8.1** Sachant que la puissance surfacique reçue sur Terre par le Soleil dans le visible est  $p_S(S_o) = 600 \text{ W m}^{-2}$  et que la lentille d'entrée de l'instrument est de diamètre  $D_1 = 50$  cm, en faisant l'hypothèse que la puissance lumineuse du Soleil  $P_{SO}$  soit identique à celle de Proxima du Centaure  $P_{PC}$ , montrer que la puissance lumineuse reçue par le système optique, issue de l'étoile Proxima Centauri est donnée par :

$$P = \pi p_S(S_o) \left( \frac{D_{TS}}{D_E} \right)^2 \left( \frac{D_1}{2} \right)^2$$

**A.8.2** Déterminer l'énergie lumineuse résultante pour une exposition d'une durée  $\Delta t = 12$  min.

**A.8.3** Combien d'électron seront effectivement émis par le capteur pendant cette durée d'exposition ?

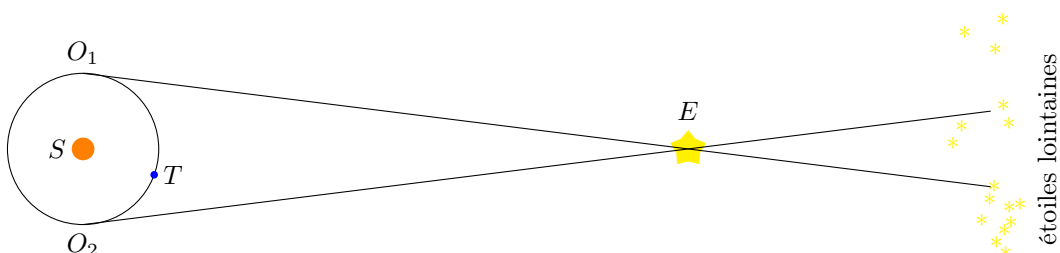
**A.8.4** Quelle est la charge produite par le capteur ?

**A.9** La diffraction par la lentille d'entrée  $L_1$  est-elle gênante pour les observations ? Justifier.

## B Mesure de la distance entre la Terre et l'étoile

La parallaxe est l'effet du changement de position de l'observateur sur ce qu'il perçoit.

La parallaxe annuelle est, par définition, l'angle qui mesure le déplacement, au cours de l'année, de la position apparente, perçue depuis la Terre, d'une étoile proche par rapport aux étoiles lointaines (figure ci-dessous).



Sur la figure ci-dessus, deux instants d'observation sont représentés par  $O_1$  et  $O_2$ .

Le satellite Hipparcos (High Precision Parallax Collection Satellite) a mesuré la parallaxe de  $P_E = 1545$  millisecondes d'arc pour *Proxima Centauri*. On rappelle qu'une seconde d'arc est égal à  $1/3600$  degré.

**B.1** Calculer, à partir de cette valeur de la parallaxe  $P_E$ , la distance séparant l'étoile *Proxima Centauri* du système solaire et comparer à la valeur donnée au début de cette partie.

**B.2** Pourquoi la distance entre la Terre et le Soleil varie-t-elle au cours de l'année ?

## Problème 4 Onde progressive sinusoïdale sonore et ultrasonore

Les différentes parties de cet exercice sont complètement indépendantes.

### A Étude d'une onde sonore

Un haut-parleur excité par un GBF émet une onde sonore sinusoïdale de pulsation  $\omega$ . En considérant que l'atténuation peut être négligée, le signal  $s(x, t)$  capté par un microphone placé au point d'abscisse  $x$  sur l'axe du haut parleur est donné par une expression de la forme :

$$s(x, t) = A \cos(\omega t - kx + \varphi)$$

La célérité du son dans l'air dans les conditions de l'expérience est égale à  $c = 3,4 \times 10^2 \text{ m s}^{-1}$ .

**A.1** Rappeler la relation liant  $\omega$ ,  $k$  et  $c$ . Quelle est la dimension de  $k$  ?

On visualise sur un oscilloscope le signal délivré par le microphone. L'oscillogramme obtenu lorsque le microphone se trouve dans le plan  $x = 0$  est représenté sur la figure 1 fournie en annexe à la fin de l'énoncé.

**A.2** Déterminer d'après cet oscillogramme les valeurs de l'amplitude  $A$  du signal, de sa fréquence  $f$  et de la phase à l'origine  $\varphi$ .

**A.3** Déterminer la longueur d'onde, puis déterminer le retard temporel  $\Delta t$  correspondant à une progression de l'onde de  $\Delta x = 34 \text{ cm}$ .

**A.4** Représenter soigneusement sur la Figure 1, l'allure du signal dans le plan d'abscisse  $x = 34 \text{ cm}$  en le justifiant sommairement.

**A.5** Reproduire sur la Figure 2 en annexe, l'allure des variations du signal  $s$  en fonction de  $x$  à la date  $t = 0$  en le justifiant sommairement.

### B Mesure de la célérité du son à l'aide d'une onde ultrasonore

Le GBF délivrant maintenant une fréquence  $f = 40,0 \text{ kHz}$  est relié à un émetteur à ultrasons. Le signal de l'émetteur et le signal fourni par un capteur placé devant l'émetteur sont visualisés simultanément sur l'écran d'un oscilloscope. On règle initialement la distance entre le capteur et l'émetteur de telle sorte que les signaux observés soient en phase.

**B.1** En partant de cette position l'opérateur déplace lentement le capteur jusqu'à retrouver pour la première fois des signaux en phase. Que peut-on dire de la distance dont a été déplacée le capteur ?

**B.2** L'opérateur déplace le capteur jusqu'à compter 10 coïncidences de phase successives après la position initiale et mesure entre ces deux positions une distance  $d = 8,6 \text{ cm}$ . Calculer la valeur de la célérité du son que l'on peut déduire de cette expérience.

**B.3** La distance  $d$  a été mesurée avec une incertitude  $\Delta d = 0,4 \text{ cm}$  au niveau de confiance de 95%. L'incertitude relative sur la valeur de la fréquence pouvant être négligée, on peut considérer que l'incertitude relative  $\frac{\Delta c}{c}$  sur

la valeur de  $c$  s'identifie à l'incertitude relative  $\frac{\Delta \lambda}{\lambda}$  sur la valeur de la longueur d'onde. En déduire l'incertitude absolue sur  $c$  dans cette expérience au niveau de confiance de 95%.

**B.4** Comment pourrait-on procéder pour améliorer la précision de la mesure ?

## Feuille annexe exercice 2

Nom :

Figure 1

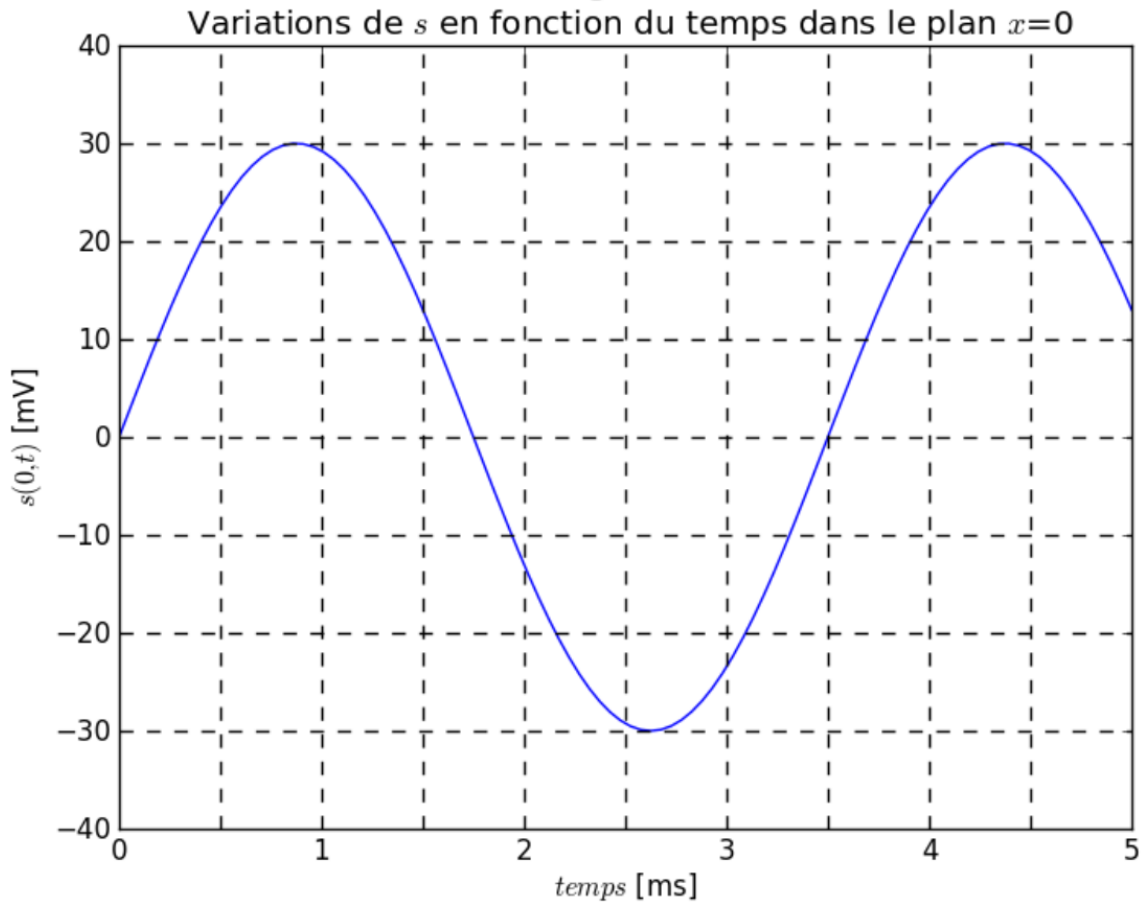


Figure 2

