

SESSION 2001CLASSES TERMINALESSCIENCES PHYSIQUES

Les parties de ce sujet sont indépendantes les unes des autres.

PREMIERE PARTIE

Notre civilisation est avant tout celle de l'image, donc de la lumière. Pourtant nous sommes condamnés à entendre. Les yeux peuvent se fermer, pas les oreilles. Même bouchées, elles permettent la perception directe, par l'intérieur du corps, des battements du cœur et de la respiration. Omniprésents les sons atteignent leur apothéose avec le langage et la musique.

Déjà les Grecs anciens plaçaient la musique au premier rang des quatre sciences majeures, devant l'astronomie, la géométrie et l'arithmétique !

Que sont ces sons qui nous assaillent ? des vibrations perçues par l'homme et constamment interprétées.

La trompette de Miles Davis trouble la nuit. Nous ne distinguons que le cuivre étincelant sous les projecteurs. Les notes naissent, vivent et meurent sans laisser de traces.

C'est le mystère qui prend sa source dans les vibrations des lèvres du jazzman. A l'origine de tout son, il y a un mouvement : une corde vibre, des objets s'entrechoquent, de l'air est expulsé, ... Par analogie, les hommes ont vite compris – dès la plus haute antiquité – qu'on pouvait comparer cette propagation du son dans l'air à celle d'ondes à la surface de l'eau. En effet, jetons une pierre dans un étang. Nous créons des vagues concentriques sur toute la surface de l'eau. C'est la perturbation des particules d'eau créée à l'endroit du choc qui est ainsi transmise à la surface liquide.

Quand Miles Davis souffle dans sa trompette, il se produit un peu la même chose dans l'air. Les molécules d'air situées dans l'instrument sont mises en vibration et transmettent ce mouvement aux autres molécules environnantes, qui le répercutent à leur tour.

Mais l'air est ainsi comprimé d'avant en arrière, et non « soulevé » comme les molécules d'eau à la surface de l'étang. A la vitesse de 340 mètres par seconde, cet ébranlement parvient à une minuscule membrane épaisse située à l'intérieur de l'oreille : le tympan. On comprend maintenant pourquoi, en raison du mouvement continu des particules d'air, le silence absolu ne peut exister sur terre.

Les physiciens ont aujourd'hui encore leur « son pur ». Inutile de chercher la moindre miette de pensée métaphysique dans cette notion.

Le son pur n'est autre que le mouvement d'oscillation de l'air le plus simple que l'on puisse imaginer un va-et-vient régulier autour d'une position moyenne.

Ces oscillations, appelées sinusoïdales, sont exactement analogues à celles que l'on observe en écartant puis en relâchant un objet suspendu à un ressort.

(D'après Sciences et Avenir, n° 79)

QUESTIONS

- 1) – Donner un titre à ce texte
- 2) – Découper ce texte en différentes parties et donner-leur un titre court et explicite.
- 3) – Pourquoi sommes-nous condamnés à entendre des sons ?
- 4) – quelle image l'auteur utilise-t-il pour visualiser la propagation des ondes sonores ? Quelle différence fait-il cependant entre les deux types d'ébranlements.

5) – Compléter le tableau ci-dessous

	Son	Lumière
Milieu de propagation		
Vitesse de propagation dans l'air		
Vitesse de propagation dans le vide		
Domaine de fréquence dans l'air	Audible	Visible

6) – A partir de ce tableau, montrer la nécessité de transformer le son en lumière pour des communications à longue distance.

Dans les parties qui suivent, on vous présente un certain nombre d'éléments nécessaires à l'acheminement du son d'un émetteur A à un récepteur B.

DEUXIEME PARTIE

Le haut-parleur électrodynamique.

1) – Dans ce qui suit on étudie un dispositif très schématisé du haut-parleur.

Une tige conductrice cylindrique, de section négligeable, homogène, de masse m , est posée sur deux rails conducteurs parallèles dans un plan horizontal, distants de a ; elle est perpendiculaire aux rails et se déplace dans un mouvement de translation rectiligne parallèlement aux rails (fig. 1a)

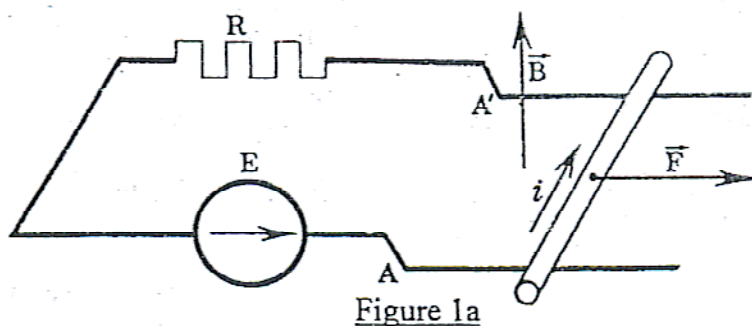


Figure 1a

On constitue un circuit fermé (C) en branchant entre les extrémités A et A' des rails, une source de tension de f.é.m. E, disposée comme l'indique la figure, en série avec une résistance R.

On néglige les frottements, les résistances autres que R, l'inductance de (C).

L'ensemble est placé dans un champ magnétique \vec{B} , uniforme, vertical dirigé vers le haut et constant au cours du temps.

A l'instant $t = 0$, on lâche la tige sans vitesse initiale :

- a) – Déterminer en fonction du temps t , la vitesse v de la tige et l'intensité i du courant dans le circuit (C). Préciser le sens du déplacement et le sens du courant.
- b) – Montrer que la vitesse de la tige tend vers une limite v_0 dont on établira l'expression.

- c) – Le calcul demandé à l’alinéa a) fait apparaître une « constante de temps » qu’on définira. Est-il réaliste de chercher à observer l’existence de la vitesse limite dans un dispositif du type étudié ici ?
- d) – Faire le bilan des transferts d’énergie, auxquels donne lieu le fonctionnement du dispositif étudié, entre les instants t et $t + dt$.

2) – On conserve la résistance R mais on remplace la source de tension continue par une source de tension de f.é.m. $e = E_m \cos \omega t$ (fig. 1b)

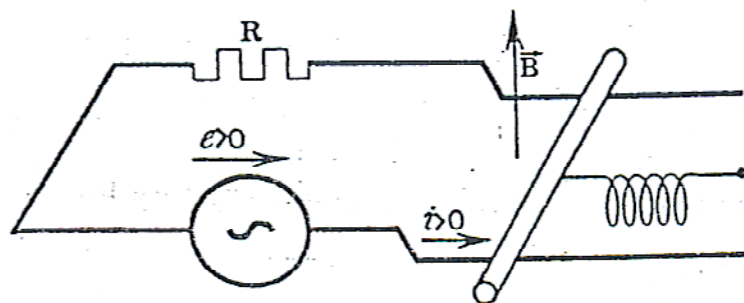


Figure 1b

Par ailleurs, on introduit entre le milieu de la tige et un point fixe un ressort horizontal, parallèle aux rails, de raideur k , agissant à la traction et à la compression, exerçant sur la tige une force $-kx$ où x est l’abscisse de la tige comptée positivement vers la droite et mesurée à partir de la position dans laquelle le ressort a sa longueur à vide. La tige est, de plus, soumise à une force de frottements visqueux $-f \cdot dx/dt = -f \cdot v$.

On désigne par i la valeur instantanée de l’intensité du courant dans le circuit (C), mesurée algébriquement, le sens positif étant indiqué sur la figure.

- a) – En considérant la maille unique que constitue le circuit (C), établir une relation entre e , i et $v = dx/dt$, faisant intervenir les constantes définissant le dispositif.
- b) – En utilisant en particulier la relation fondamentale de la dynamique, établir une relation entre i , x , dx/dt , d^2x/dt^2 et les constantes définissant le dispositif.

Dans la suite, on s’intéresse uniquement aux régimes permanents au cours desquels x , v , i varient sinusoïdalement avec la même pulsation ω que e .

3) – On envisage d’abord le cas où la pulsation ω de la source de tension est égale à la pulsation propre ω_0 de l’oscillateur constitué par la tige et le ressort.

- a) – Que valent ω_0 et la fréquence correspondante N_0 ?
- b) – Exprimer dans ce cas i et v en fonction de e . Montrer qu’au point de vue électrique, tout se passe comme si à la résistance R du circuit était ajoutée une résistance R'_0 , dite résistance motionnelle, dont on donnera l’expression. Exprimer la vitesse maximale V_{0m} et l’amplitude X_{0m} du mouvement de la tige.

CLASSES TERMINALES

- c) - Ecrire la puissance instantanée de la force de frottement visqueux ; en déduire la puissance moyenne P'_0 dissipée par suite de ce frottement et exprimer P'_0 en fonction de R , R'_0 et E_m . Calculer, en fonction des mêmes grandeurs, la puissance moyenne P_0 dissipée par effet Joule dans R .

En déduire le rapport $P'_0/(P_0 + P'_0)$.

N.B : Dans le dispositif réel une bobine branchée sur la source de tension de f.é.m. e est mobile dans un champ magnétique radial créé par un aimant permanent. Elle est solidaire d'un piston placé à l'entrée d'un tuyau cylindrique de même section. L'ensemble bobine-piston effectuant une vibration sinusoïdale le piston émet une onde plane acoustique qui se propage dans le gaz du tuyau.

TROISIEME PARTIEA - Emission spontanée

Les niveaux d'énergies quantifiées de l'atome d'hydrogène sont donnés par la relation :

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ avec } E_n \text{ en électron-Volt (eV) et } n \geq 1$$

- 1) - Expliquer brièvement le terme « niveau d'énergie quantifié ».
- 2) - On envoie sur les atomes d'hydrogène dans l'état fondamental des photons d'énergie 12,09 eV. L'atome passe à un état excité.
 - a) - Préciser alors son niveau d'énergie et représenter la transition en utilisant un diagramme énergétique.
 - b) - L'atome reste-t-il à l'état excité ? Sinon, quel est l'état final de l'atome ? Traduire à nouveau ce qui se produit en utilisant le diagramme énergétique.

B - Emission stimulée : le laser

- Présentation :

Il existe plusieurs types de laser, selon la nature du milieu actif :

- les lasers à gaz (utilisés dans les lycées)
- les lasers à semi-conducteurs encore appelés diode-lasers
- les lasers à solides
- les lasers à colorants

Néanmoins, dans tout laser, on trouve les mêmes éléments fondamentaux, qui font du laser un oscillateur dans le domaine optique.

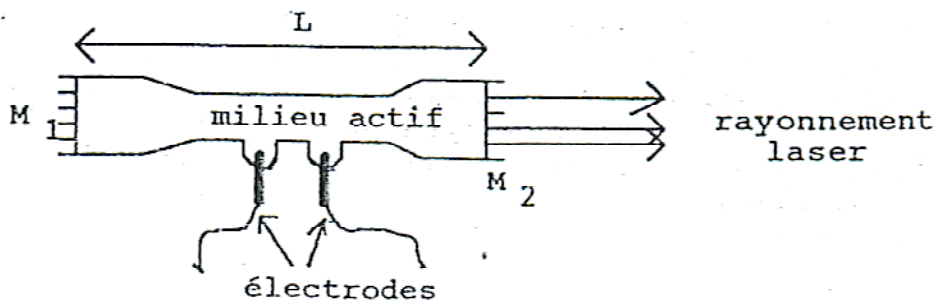


schéma d'un laser

Figure 2

- Fonctionnement

Cet extrait d'une documentation concernant le laser, qui est suivi de questions, donne le principe de fonctionnement de cet instrument.

« La cavité, de longueur L , contient un mélange gazeux siège de l'émission laser. Une décharge électrique porte certains atomes de gaz dans un état excité. Ces atomes sont alors susceptibles d'émettre des photons de même fréquence dont les vibrations correspondantes sont en phase. La directivité du faisceau émis est obtenue grâce à un système de miroirs, l'un M_1 , totalement réfléchissant, l'autre, M_2 , partiellement transparent, qui réfléchit une partie des ondes et laisse passer le reste ; la partie non réfléchi sort ainsi de la cavité et constitue le faisceau émis par le laser. Les décharges électriques provoquées au sein du gaz apportent l'énergie nécessaire à l'entretien du faisceau émis ».

(...) On lit souvent que ce processus conduit à l'émission d'une radiation de fréquence ν_0 parfaitement déterminée. En fait, les fréquences sont émises avec une bande de largeur $\Delta\nu$ centrée sur ν_0 .

(...) Les seules radiations qui peuvent émerger de la cavité décrite sont telles que le double de la longueur L de la cavité est un multiple entier de la longueur d'onde de la lumière émise.

QUESTIONS

- 1-a) – D'où vient l'énergie transportée par le faisceau laser ?
 b) – Dessiner le diagramme énergétique mettant en évidence l'émission de cette énergie.
 c) – Ecrire l'expression de cette énergie en fonction de la longueur d'onde λ .
 d) – Quel est le rôle de la décharge électrique, à l'échelle atomique, dans le fonctionnement du laser ?
 e) – Pourquoi l'un des deux miroirs est-il partiellement transparent ?
- 2-a) – Exprimer la dernière phrase du document (« les seules(...) émises ») sous forme d'une relation liant la longueur d'onde λ d'une lumière émise par le laser, la longueur L de la cavité et un nombre entier p ($p = 1, 2, 3, \dots$). Cette relation constitue la condition de résonance de la cavité.
- b) – Une telle cavité peut permettre l'émission d'ondes de plusieurs fréquences. Exprimer en fonction de L et de la vitesse c de la lumière la plus petite différence non nulle entre deux fréquences qui peuvent émerger de la cavité.
 A.N. : longueur de la cavité $L = 0,25$ m.
- c) – Le mélange gazeux utilisé est tel que $\lambda_0 = 632,8$ nm et $\frac{\Delta\nu_0}{\nu_0} = 2,5 \cdot 10^{-5}$

Montrer que le laser utilisant la cavité décrite peut émettre non pas une mais plusieurs fréquences (laser multimodes).

On admettra que la bande passante est symétrique par rapport à la fréquence ν_0 , c'est-à-dire

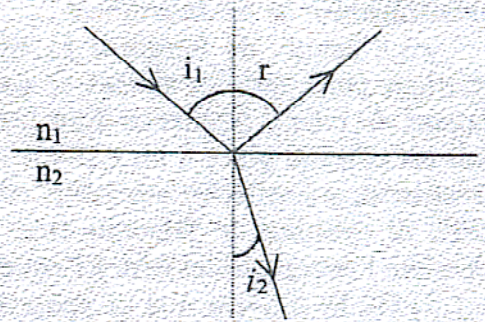
qu'elle s'étend de $\nu_0 - \frac{\Delta\nu_0}{2}$ à $\nu_0 + \frac{\Delta\nu_0}{2}$

- d) – Peut-on dire, en pratique, que le laser constitue néanmoins une source monochromatique ? Justifier la réponse.
 Données : $c = 3,00 \cdot 10^8$ m.s⁻¹.

QUATRIEME PARTIE**Les fibres optiques.**

On rappelle les lois de Descartes :

- Pour la réflexion : $i_1 = r$
- Pour la réfraction : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

**Description :**

Une fibre optique se compose de trois parties (figure 3).

Pour le cœur et la gaine, on choisit des verres très purs (10^{-6} g d'impureté par kg) pour lesquels l'affaiblissement de l'énergie n'est que de 1 % après 100 km de propagation.

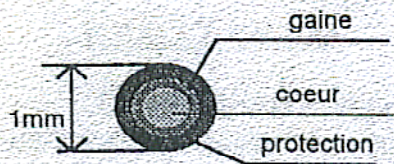


Figure 3

Mode de propagation :

Il dépend du type de fibre optique utilisée ; il en existe trois sortes :

- la fibre à saut d'indice :

L'indice de réfraction varie brusquement à la surface de séparation cœur-gaine optique : il y a un saut d'indice.

Les indices de réfraction n_1 et n_2 sont cependant voisins : $n_1 - n_2 \approx 0,01$ à $0,02$.

La lumière pénètre dans le cœur à une extrémité de la fibre, arrive sur le dioptré cœur-gaine, avec une incidence $i > i_L$ le faisceau subit alors une réflexion totale et poursuit son chemin dans le cœur en effectuant de nombreuses réflexions totales sur la paroi du cœur (figure 4)

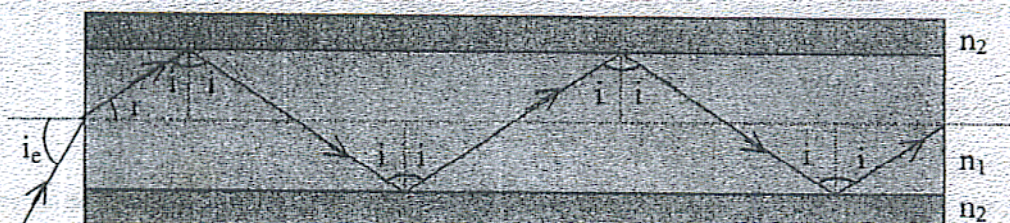


Figure 4

- Fibre à gradient d'indice

L'indice de réfraction du cœur de la fibre décroît continûment du centre vers l'extérieur où il atteint la valeur n_2 (indice de la gaine).

Les pinceaux lumineux se propagent dans le cœur en subissant une courbure plus ou moins forte qui les « maintient » dans le cœur (figure 5)

Dans ces deux cas, à chaque angle d'incidence à l'entrée, correspond un trajet particulier de durée différente : les fibres sont alors dites multimodales.

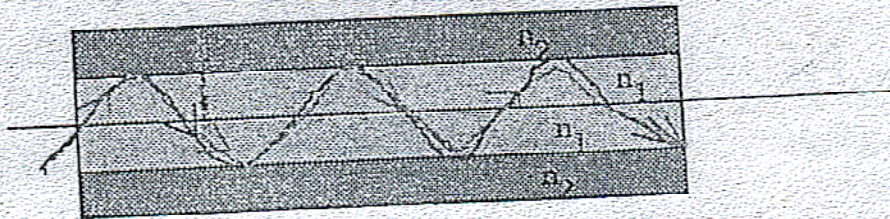


Figure 5

- Fibres multimodales

Dans ce cas, le diamètre du cœur est de l'ordre du micromètre (voisin de la longueur d'onde de la lumière transportée) et la propagation est alors uniquement axiale (figure 6).

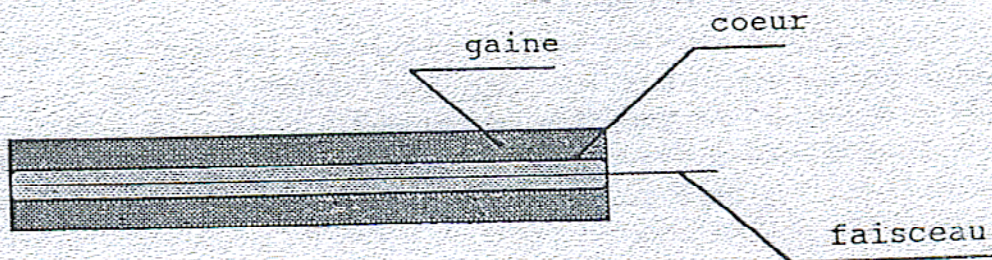


Figure 6

QUESTIONS

- 1) – La durée du trajet de la lumière est-elle identique dans les fibres à saut d'indice et à gradient d'indice ? Justifier la réponse.
- 2) – Quelle est la différence entre les fibres multimodales et monomodales ?
- 3) – Considérons maintenant une fibre à saut d'indice.
 - a) – Exprimer le sinus de l'angle de réfraction r en fonction de n_1 et de i_c .
 - b) – L'angle d'incidence sur la surface de séparation cœur-gaine est i . Donner la relation entre i et r et l'expression de $\cos i$.
 - c) – L'indice de la gaine a pour valeur n_2 ($n_2 < n_1$).
Exprimer le sinus de l'angle limite i_c de réfraction entre les milieux d'indices n_2 et n_1 .
 - d) – Démontrer que la condition pour qu'un rayon lumineux puisse se propager dans la fibre s'écrit

$$\sin i_c < \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

CLASSES TERMINALES

- 4) -- La fibre optique à saut d'indice, de longueur $L = 6 \text{ km}$, possède un cœur en silice d'indice $n_1 = 1,46$ et une gaine d'indice $n_2 = 1,45$. Une diode laser y envoie une série d'impulsions lumineuses infrarouges, à la fréquence $f = 10 \text{ MHz}$.

Le faisceau qui sort du laser se propage dans l'air et, grâce à une optique intégrée, pénètre dans la fibre en convergeant en un point de la face d'entrée située sur l'axe de symétrie de la fibre. Le demi-angle d'ouverture de ce faisceau convergent est $i_e = 8^\circ$.

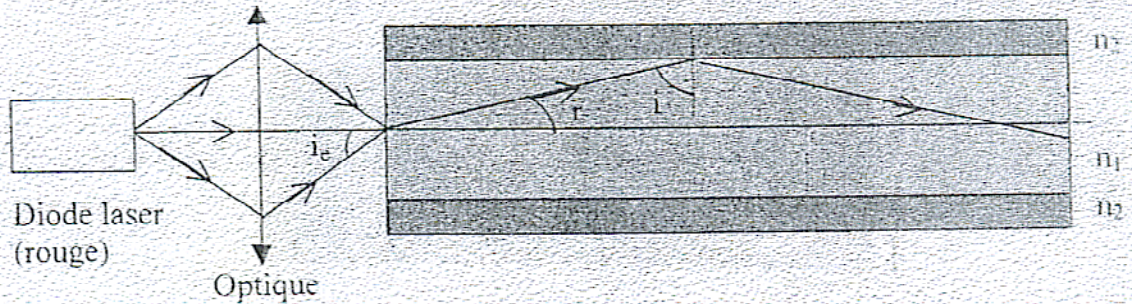


Figure 7

- Avec quelle célérité C_1 la lumière se propage-t-elle dans la fibre ?
- Vérifier que le rayon lumineux qui pénètre dans la fibre sous l'incidence i_e peut subir la réflexion totale à la surface de séparation du cœur et de la gaine.
- Quel est le délai Δt nécessaire pour qu'une impulsion lumineuse, transmise parallèlement à l'axe de la fibre, parvienne à l'autre extrémité ?
- Quel serait le délai $\Delta t'$ nécessaire pour qu'une impulsion lumineuse qui pénètre sous l'incidence i_e dans la fibre parvienne à l'extrémité de celle-ci ? Comparer avec Δt .
- Quelle est la période T des impulsions lumineuses ?
- On admet que la durée de transit d'une impulsion dans la fibre peut prendre toute valeur comprise entre Δt et $\Delta t'$. Les impulsions qui parviennent à la sortie de la fibre sont-elles reçues de façon ordonnée ? Une telle fibre serait-elle adaptée au transport à grand débit d'informations numériques ?

SEME PARTIE**Le photocapteur électrique.**Principes généraux :

Un photocapteur électrique est constitué d'un matériau destiné à interagir avec des photons. L'énergie du photon absorbé peut être convertie en énergie électrique, ce qui se traduit par l'apparition d'un photocourant, d'une variation de tension électrique, etc... La manipulation consiste à étudier le temps de réponse de ce photocapteur et on compare le comportement d'une photorésistance et d'une photodiode.

Principe

Le photocapteur en série avec un résistor R_1 est alimenté par un générateur de tension continue. (Partie C la figure 8).

Un circuit indépendant (partie D) permet de faire fonctionner une source lumineuse (LED rouge associée à un conducteur ohmique de protection) placée en face et à courte distance du photocapteur de manière à ce que celui-ci reçoit le maximum d'énergie lumineuse.

La LED rouge émet des impulsions lumineuses de fréquence ajustable, imposées par un générateur de tension en créneaux.

On observe la « réponse » du photocapteur aux impulsions lumineuses en suivant la tension aux bornes de R₁ et R₂.
 . le montage électrique

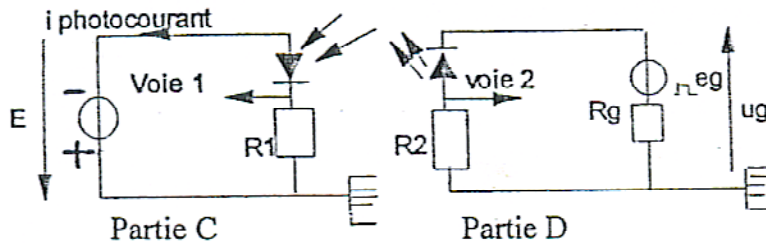
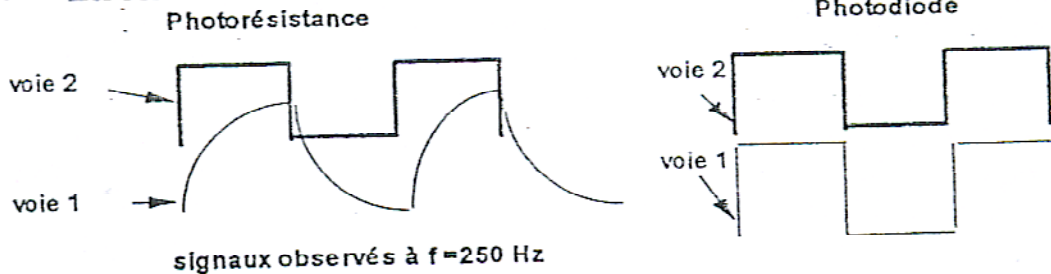


Figure 8

• Les résultats :



signaux observés à $f = 250 \text{ Hz}$

Figure 9

. Exploitation

- 1) – Comparer les tensions visualisées à la voie 1 et à la voie 2 pour la photorésistance puis pour la photodiode.
- 2) – Comment cela se traduit-il en temps de réponse ?
 - pour la photorésistance
 - pour la photodiode.
- 3) – Des deux photocapteurs lequel présente un intérêt dans les télécommunications par fibre optique ? Justifier la réponse.