

## TP 19 de Physique : Lignes de transmissions d'un signal lumineux

### Fibres optiques

#### Capacités exigibles :

- Connaître les principes de propagation de la lumière dans une fibre optique : réfraction et réflexion totale
- Savoir déterminer les caractéristiques principales d'une fibre optique : longueur(s) d'onde, atténuation, bande passante, débit maximum.

#### Capacités expérimentales :

- Savoir réaliser une chaîne de mesures
- Utilisation d'un dispositif pour déterminer des angles
- Utilisation du logiciel Regressi afin de réaliser une modélisation

#### Présentation du problème :

On étudie ici la transmission d'un rayonnement électromagnétique émis par un LASER ou une DEL, dont la fréquence des flashes est notée  $f$ , au sein d'une fibre optique.

#### I. Etude du dispositif FIBROPTONIC (JEULIN) :

##### A. Réalisation du système et premières observations :

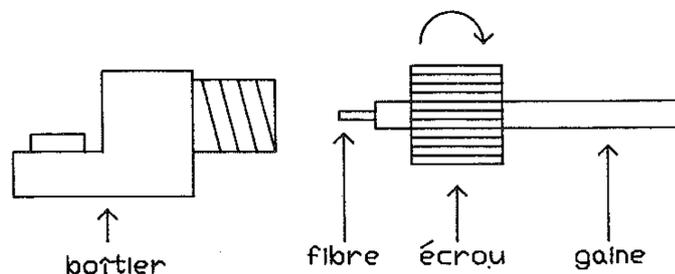
**SANS ALLUMER** le générateur SEFRAM 6330, mettre au minimum l'ensemble des boutons « Current » et « Voltage ». Vérifier que les curseurs « Indep/series/parallel » soient dans la position « Indep. »

Les deux modules émetteur et récepteur FIBROPTONIC doivent être alimentés par ce générateur SEFRAM : brancher la voie de gauche sur l'émetteur et celle du milieu sur le récepteur.

#### **Lire le protocole ci-dessous :**

Pour relier avec la fibre optique les 2 boîtiers d'émission et de réception, il faut :

- desserrer les 2 écrous en plastique bleu et noir
- faire passer la fibre qui sera guidée jusqu'à ce que ses extrémités se positionnent contre les diodes émettrice et réceptrice situées à l'intérieur des embouts en plastique bleu et noir des boîtiers émetteur et récepteur
- resserrer sans forcer les 2 écrous (figure 4 ).



Avec soin, **après avoir lu le protocole ci-dessus**, brancher la fibre optique de longueur  $L = 5,00\text{ m}$  à la sortie de l'émetteur et à l'entrée du récepteur.

L'émetteur doit avoir son interrupteur du bas sur la position 1 et l'interrupteur central doit être orienté vers le haut (vers la borne jaune).

Le récepteur doit avoir son interrupteur sur la position 1 et le volume sonore réglé au plus bas niveau.

Le GBF HAMEG 8130 doit être réglé afin de délivrer un signal analogique carré de fréquence 500 Hz, d'amplitude 0,500 V et de valeur moyenne 0,500 V (offset).

**Les LED « OUTPUT ON » et « OFFSET ON » du GBF doivent être éteintes.**

Ouvrir ensuite l'annexe 01 du TP afin de terminer la réalisation du système.

Allumer l'oscilloscope et appuyer sur le bouton « default » : vérifier que les voies 01 et 02 soient enclenchées et en couplage DC. L'oscilloscope doit avoir pour sensibilité verticale 500 mV/div pour la voie 01 et 200 mV/div pour la voie 02. La sensibilité horizontale est 200  $\mu$ s/div. **On ne cherchera pas obtenir des signaux : aucun générateur n'est encore allumé !**

Allumer le multimètre Métrix MX 5060 : le régler et le brancher (au reste du système) afin qu'il mesure la valeur efficace de la composante alternative du signal de sortie.

### **APPEL 01 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.**

Avec l'enseignant, allumer le générateur HAMEG afin qu'il délivre une tension constante de 12 V, pour les deux voies. Enfin, allumer le GBF.

1. Quel système étudie-t-on ici ?
2. Qualifier à l'aide des adjectifs usuels, le signal en entrée du système.
3. Quel type de signal simule-t-on grâce au GBF, à l'entrée du système ?
4. En observant le signal d'entrée, proposer une durée possible pour un bit.
5. Qualifier à l'aide des adjectifs usuels, le signal en sortie du système.
6. La valeur « crête à crête » du signal de sortie est-elle identique, plus grande ou plus petite que celle du signal d'entrée ? Quel phénomène met-on ici en évidence ?
7. Comment expliquer que la nature des motifs en entrée et en sortie soient différents ? On argumentera sa réponse à l'aide d'une réflexion autour des spectres des signaux d'entrée et de sortie.

### **APPEL 02 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.**

#### **B. Régime sinusoïdal forcé : mesurage de la bande passante du système**

Le GBF HAMEG 8130 délivre à présent un signal analogique sinusoïdal alternatif de fréquence 500 Hz, d'amplitude 0,150 V (**sans offset**). Les deux voies de l'oscilloscope doivent être en couplage AC.

L'oscilloscope est réglé sur la sensibilité verticale de 100 mV/div (pour les deux voies) et sur la sensibilité horizontale 500  $\mu$ s/div. Le MX5060 doit-être en mode AC.

8. A l'aide de la fiche technique du multimètre MX5060, rédiger le mesurage de la valeur efficace du signal de sortie, notée  $S_{eff}$  (en mV)

Augmenter la fréquence du GBF de 500 Hz à 5000 Hz (à l'aide du bouton  $\times 10$ ) : on réglerà la sensibilité horizontale de l'oscilloscope pour n'observer que quelques motifs.

9. Comment évolue l'amplitude du signal de sortie lorsque la fréquence imposée par le GBF augmente ?
10. Quel est la nature du filtrage réalisé par le système ?

On cherche à déterminer la fréquence de coupure de ce filtre :

11. Calculer les valeurs des grandeurs suivantes (en utilisant la valeur de  $S_{eff}$  déterminée à 500 Hz) :

$$\frac{S_{eff}}{\sqrt{2}} - \frac{u(S_{eff})}{\sqrt{2}} \quad \text{et} \quad \frac{S_{eff}}{\sqrt{2}} + \frac{u(S_{eff})}{\sqrt{2}}$$

Puis, augmenter la valeur de la fréquence (sur le GBF) afin d'obtenir une valeur efficace en sortie égale à  $\frac{S_{eff}}{\sqrt{2}} - \frac{u(S_{eff})}{\sqrt{2}}$ .

12. Noter sur votre copie, la valeur la plus petite possible pour la fréquence de coupure, notée  $f_{c,limite\ basse}$

Modifier la valeur de la fréquence (sur le GBF) afin d'obtenir une valeur efficace en sortie égale à  $\frac{S_{eff}}{\sqrt{2}} + \frac{u(S_{eff})}{\sqrt{2}}$ .

13. Noter sur votre copie, la valeur la plus grande possible pour la fréquence de coupure, notée  $f_{c,limite\ haute}$

14. Rédiger le mesurage de la fréquence de coupure du système, en suivant les règles suivantes :

$$f_c = \frac{(f_{c,limite\ haute} + f_{c,limite\ basse})}{2} \quad \text{et} \quad u(f_c) = \frac{\left(\frac{(f_{c,limite\ haute} - f_{c,limite\ basse})}{2}\right)}{\sqrt{2}}$$

Le constructeur de la fibre indique une « bande passante » caractéristique de 3500 MHz.km

15. Calculer la valeur de référence de la bande passante  $\Delta f$  pour la longueur de cette fibre.  
16. Le mesurage est-il compatible avec la valeur fournie par le constructeur ? Donner un argument expliquant l'éventuelle incompatibilité observée.

### APPEL 03 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.

#### C. Régime sinusoïdal forcé : mesurage de l'atténuation du système

Le GBF HAMEG 8130 délivre à présent un signal analogique sinusoïdal alternatif de fréquence 500 Hz, d'amplitude 0,150 V (sans offset). Les deux voies de l'oscilloscope doivent être en couplage AC. L'oscilloscope est réglé sur la sensibilité verticale de 100 mV/div (pour les deux voies) et sur la sensibilité horizontale 500 μs/div. Le multimètre Métrix MX 5060 permet maintenant de mesurer la valeur efficace de la composante alternative du signal d'entrée.

17. A l'aide de la fiche technique du multimètre MX5060, rédiger le mesurage de la valeur efficace du signal d'entrée, notée  $E_{eff}$  (en mV)

Brancher le voltmètre, afin qu'il mesure la valeur efficace du signal de sortie.

18. A l'aide de la fiche technique du multimètre MX5060, rédiger le mesurage de la valeur efficace du signal de sortie, notée  $S_{eff}$  (en mV)

19. En déduire le mesurage de l'atténuation du système, à l'aide des formules suivantes :

$$A_{dB} = 20 \times \log\left(\frac{E_{eff}}{S_{eff}}\right) \quad \text{et} \quad u(A_{dB}) = 20 \times 0,434 \times \left(\frac{u(E_{eff})}{E_{eff}} + \frac{u(S_{eff})}{S_{eff}}\right)$$

Le constructeur de la fibre optique indique que l'atténuation linéique de la fibre (pour cette longueur d'onde) est de  $3,0 \text{ dB/km}$ .

20. Calculer la valeur de référence de l'atténuation  $A_{dB,ref}$  pour la longueur de cette fibre.
21. Le mesurage est-il compatible avec la valeur fournie par le constructeur ? Donner un argument expliquant l'éventuelle incompatibilité observée.

#### APPEL 04 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.

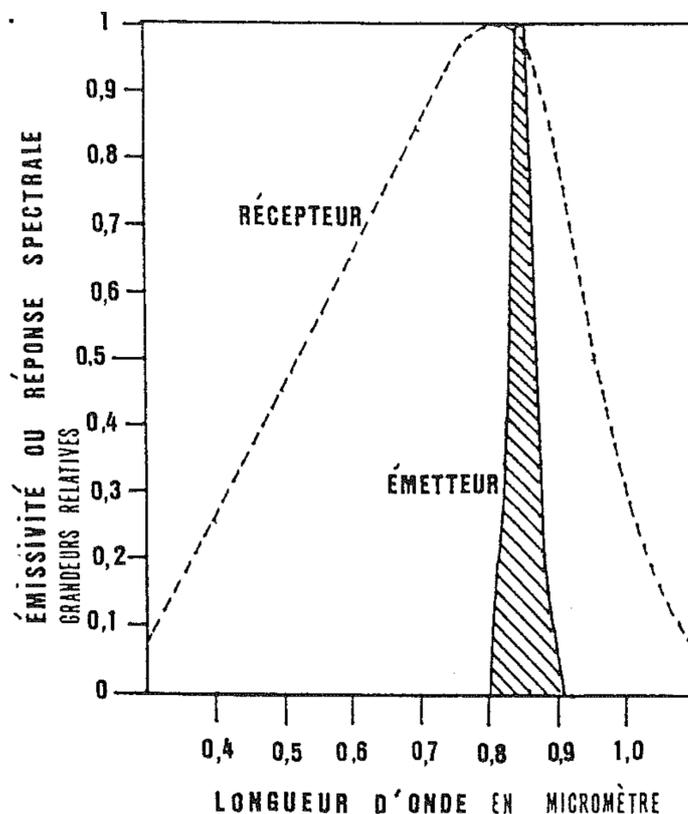
#### D. Étude de quelques caractéristiques du système :

Le photoémetteur délivre un signal (sous forme de rayonnement électromagnétiques) dont la longueur d'onde est  $\lambda = 850 \text{ nm}$  (dans le vide).

22. Ces rayonnements appartiennent-ils au domaine du visible ? Justifier votre réponse. Si votre réponse est négative, indiquer le nom du domaine.
23. Calculer la fréquence des rayonnement électromagnétiques, en Hertz.

On donne ci-après les caractéristiques spectrales du photoémetteur et du photorécepteur (graphe ci-dessous). A l'aide de ce graphe, répondre aux questions suivantes :

24. L'émetteur délivre-t-il des rayonnements monochromatiques (ou harmoniques) ? Justifier votre réponse.
25. Le récepteur possède-t-il une bande passante plus large ou plus étroite que celle de l'œil humain ?
26. Le choix de l'émetteur et du récepteur (fait par le constructeur) est-il pertinent ? Justifier votre réponse.



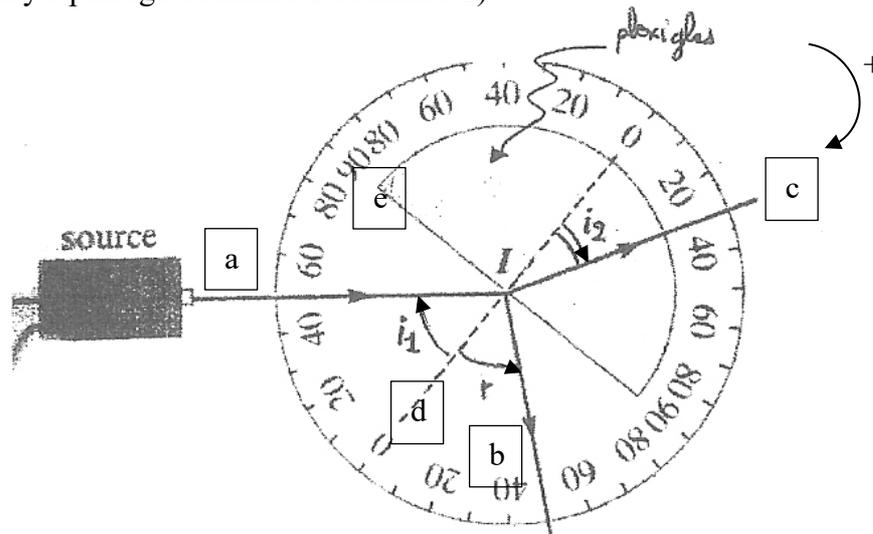
**APPEL 05 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail**

Dans la suite de ce TP, on cherche à comprendre les conditions à respecter pour que la lumière reste « piégée » dans la fibre.

**II. Mesures autour des lois de Snell-Descartes :****A. Mesures d'angles :**

Un demi-cylindre de Plexiglas est posé sur un disque gradué pouvant tourner autour de son axe. Un faisceau lumineux arrive sur la surface de séparation entre les milieux 1 (air) et 2 (plexiglas). Il subit :

- une réflexion (le faisceau reste dans le milieu 1)
- une réfraction (il y a passage du milieu 1 au milieu 2)



27. A l'aide du paragraphe III.B du chapitre 10, indiquer la légende pour chaque lettre présente sur la capture d'écran précédente.
28. Indiquer la valeur de l'angle d'incidence  $i_1$ , la valeur de l'angle de réflexion nommé  $r$  et celle de l'angle de réfraction nommé  $i_2$ . **On veillera au signe des angles.**

**APPEL 06 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.**

Réaliser le montage et régler le faisceau incident afin qu'il tape au centre du demi-cylindre. Faire tourner le demi-cylindre et observer comment varie chacun des angles. On pourra appeler le professeur pour qu'il vérifie l'installation du système.

Ouvrir Regressi, puis FICHER/NOUVEAU/CLAVIER. Entrer 3 variables expérimentales, correspondant aux 3 angles :

- Symbole :  $i_1$  Unité : °
- Symbole :  $i_2$  Unité : °

Cliquer sur « OK ». Un tableau contenant une seule ligne apparaît.

Placer le faisceau incident pour que l'angle d'incidence soit  $i_1 = 0^\circ$ . Relever et saisir sur Regressi, la valeur de l'angle de réfraction  $i_2$ .

Faire varier ensuite la valeur de l'angle d'incidence  $i_1$  de  $5^\circ$  en  $5^\circ$ , entre  $0^\circ$  et  $70^\circ$  : mesurer et saisir les valeurs de l'angle de réfraction  $i_2$  pour chaque valeur de  $i_1$ . **On prendra soin d'enregistrer au fur et à mesure, le travail effectué sur Regressi.**

*On pourra utiliser une feuille de papier pour percevoir les faisceaux.*

29. Évaluer et noter sur votre copie l'incertitude sur la mesure de l'angle  $i_1$ , noté  $u(i_1)$ , en degré.  
Évaluer et noter sur votre copie l'incertitude sur la mesure de l'angle  $i_2$ , noté  $u(i_2)$ , en degré.

Saisir sur Regressi ces incertitudes : pour cela, dans l'onglet TABLEAU, cliquer sur l'icône « Incertitudes ». Saisir dans les colonnes respectives les incertitudes.

**APPEL 07 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.**

B. Loi de la réfraction :

On souhaite vérifier que nos mesures sont cohérentes par rapport à la troisième loi de Snell-Descartes, donnée dans le document 01.

Document 01 : Loi de la réfraction – 3ème loi de Snell-Descartes

L'angle d'incidence et l'angle de réfraction sont liés par la relation suivante :

$$n_1 \times \sin(i_1) = n_2 \times \sin(i_2)$$

Document 02 : équation de droite

On trace  $y$  en fonction de  $x$ .

Si  $y = f(x)$  est une fonction linéaire  $y = a \times x$  alors la courbe obtenue est une droite passant par l'origine.  
 $a$  : coefficient directeur de la droite

Si  $y = f(x)$  est une fonction affine  $y = a \times x + b$  la courbe obtenue est une droite ne passant pas par l'origine.

$a$  : coefficient directeur de la droite  
 $b$  : ordonnée à l'origine de la droite

30. A l'aide du document 01, exprimer  $\sin i_1$  en fonction de  $n_1$ ,  $n_2$  et  $\sin i_2$   
31. D'après cette troisième loi, si on trace  $\sin i_1$  en fonction de  $\sin i_2$ , quel type de droite va-t-on obtenir : une droite passant par l'origine ou une droite ne passant pas par l'origine ? On s'aidera du document 02.  
32. Quelle est l'**expression littérale** théorique du coefficient directeur de cette droite (noté  $a_{ref}$ ) ?

On donne l'indice de réfraction de l'air  $n_1 = 1,00$  et l'indice de réfraction du plexiglas  $n_2 = 1,44$ .

33. En déduire la **valeur de référence** du coefficient directeur de cette droite (noté  $a_{ref}$ ).

**APPEL 08 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.**

Sur Regressi, créer deux grandeurs à l'aide de l'icône « Y+ » et cocher « grandeurs calculée » :

- Symbole : SIN1 et SIN1= sin(i1)
- Symbole : SIN2 et SIN2= sin(i2)

Puis tracer  $\sin i_1$  en fonction de  $\sin i_2$  grâce au menu Graphe/Coordonnées : décocher LIGNE et cocher POINT puis choisir comme type de point INCERTITUDE.

Modéliser par une fonction pertinente la courbe obtenue grâce au menu Modélisation/Modèles. Puis, cliquer sur « Ajuster ».

34. Relever la valeur du coefficient directeur expérimental (noté  $a_{exp}$ ) ainsi que son incertitude.
35. Conclure sur la compatibilité de vos mesures avec la troisième loi de Descartes.

**APPEL 09 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.**

C. Autour du plexiglas :

36. A l'aide de  $a_{exp}$ , calculer l'indice de réfraction expérimental du plexiglas, noté  $n_{2,exp}$ .
37. A l'aide du *paragraphe III.A du chapitre 10*, en déduire la célérité des rayonnements électromagnétiques dans le plexiglas.

**APPEL 10 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.**

III. Phénomène de réflexion totale :

38. D'après les conditions énoncées dans la *partie III.B du chapitre 10*, est-il possible d'observer le phénomène de réflexion totale sur la surface plane de l'hémi-cylindre, lorsque le faisceau passe de l'air au plexiglas ? Justifier votre réponse.

Grâce au matériel à votre disposition, faire en sorte que le faisceau incident passe du plexiglas à l'air à la traversée de la surface plane de l'hémi-cylindre.

Faire varier la valeur de l'angle d'incidence  $i_1$  entre  $0^\circ$  et  $70^\circ$  : mesurer l'angle d'incidence limite  $i_{lim}$ , correspondant à la disparition du faisceau réfracté.

39. Rédiger le mesurage de la grandeur  $i_{lim,exp}$ .
40. « Si  $i_1 < i_{lim,exp}$ , il y a réflexion totale : le faisceau incident est intégralement réfléchi et le faisceau réfracté n'existe plus ». Cette affirmation est-elle juste ? Si non, corrigez-la.
41. A l'aide de la *partie III.B du chapitre 10*, déterminer la valeur de l'angle d'incidence limite théorique  $i_{lim,ref}$ . On utilisera la valeur de  $n_{2,exp}$  pour le calcul.
42. Conclure sur la compatibilité des valeurs de l'angle limite obtenues.

**APPEL 11 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.**

