

## Réfractomètre à fibre optique par couplage d'un faisceau laser à l'aide d'une lentille boule

par Cafer OZKUL et Nicole ANTHORE

U.A. CNRS 230 - C.O.R.I.A. - Université de Rouen

B.P. 118 - 76134 Mont Saint Aignan Cedex (France)

---

### RÉSUMÉ

On décrit un réfractomètre basé sur le couplage d'un faisceau laser à l'aide d'une lentille boule dans une fibre optique multimode. Lorsque l'on change le liquide en contact avec le premier dioptré de la lentille, l'efficacité de couplage change. Une courbe d'étalonnage préalable d'intensité lumineuse transmise par la fibre en fonction d'indices de réfraction connus permet de déterminer l'indice d'un liquide inconnu.

### 1. INTRODUCTION

Les capteurs à fibres optiques suscitent beaucoup d'intérêt. Les domaines d'application sont très variés : mesures de déplacement, pression, température, intensité de courant, indice de liquides, vitesse, accélération, diamètre [1-5]. On peut sans doute multiplier les exemples.

L'introduction des lasers, des fibres optiques ou d'autres composants optoélectroniques dans les travaux pratiques du premier cycle des universités ou du second cycle de l'enseignement secondaire est donc appelée à se généraliser. D'autre part, le calcul de la position des foyers d'une lentille boule dans les conditions de Gauss est souvent proposée sous forme d'exercice en travaux dirigés de ce niveau.

Le réfractomètre que nous proposons ici en est une application très simple. Il peut être étudié pendant une séance de travaux pratiques où l'on peut éventuellement comparer les résultats avec ceux obtenus à l'aide d'un réfractomètre d'Abbe simplifié.

### 2. DESCRIPTION DU MONTAGE

La lentille boule L d'indice N est logée dans la paroi d'une petite cuve (par exemple,  $10 \times 10 \times 8$  mm). Constituée d'une lamelle de microscope, la face avant de la cuve est transparente. On remplit la cuve d'un liquide

d'indice  $n$ . Le faisceau laser (He-Ne) traverse la cuve et la lentille boule. Il converge à l'entrée d'une fibre multimode (diamètre cœur-gaine : 50 et 125  $\mu\text{m}$ , ouverture numérique : 0.20). On mesure le signal électrique délivré par une photopile exposée à la lumière transmise par la fibre à l'aide d'un microampèremètre.

L'entrée de la fibre est montée sur une platine comportant trois translations micrométriques  $x$ ,  $y$ ,  $z$  pour faciliter les alignements et réglages initiaux.

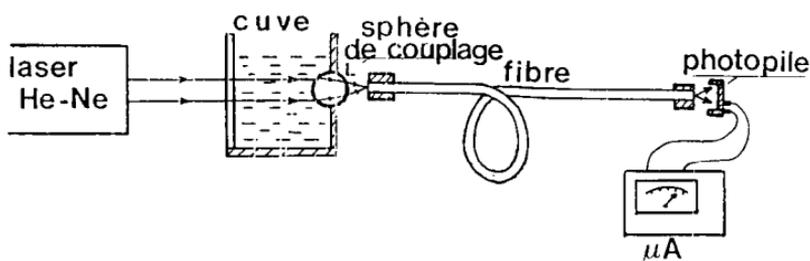


Figure 1 - Montage optique

Ce montage horizontal permet d'assurer une bonne stabilité mécanique. Notons que l'on peut faire la cuve soi-même et trouver la sphère de couplage auprès d'un fournisseur (comme Milles Griot).

#### REMARQUES :

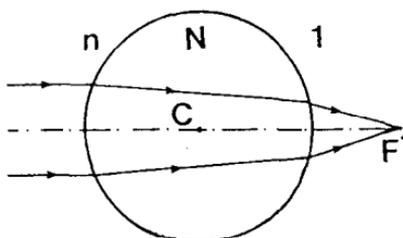
- La détermination d'un indice inconnu étant basée sur un étalonnage initial avec des liquides d'indice connu (voir les sections 4 et 5), on doit pouvoir changer les liquides avec facilité et nettoyer la cuve sans mouvoir la sphère de couplage pendant ces opérations.
- La courbe de réponse (courant électrique en fonction du flux lumineux) d'une photopile n'est linéaire qu'en régime de court-circuit. L'utilisation d'un appareil de mesure (avec une résistance interne non nulle) nécessite des montages spéciaux pour obtenir la linéarité [6]. Afin de simplifier la manipulation nous avons branché directement le microampèremètre aux bornes de la photopile. Dans ce cas, seule la sensibilité de la mesure est affectée par la non linéarité puisque l'on effectue la mesure à partir d'une courbe d'étalonnage.

### 3. CALCUL DE LA POSITION DU FOYER IMAGE DE LA LENTILLE BOULE

Le schéma ci-dessous illustre les indices de différents milieux. Désignons par C le centre de la sphère, par R son rayon. Soit F' le foyer image. On suppose que le faisceau laser est parallèle.

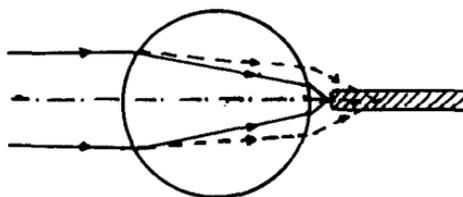
$$\text{Il vient } CF' = \frac{RnN}{N+n(N-2)}$$

Avec  $N = 1,84$ , nous avons en première approximation :  
 $CF' \approx Rn$ .



### 4. COURBE D'ÉTALONNAGE

On positionne la fibre pour obtenir le maximum d'intensité lumineuse transmise avec le liquide étalon d'indice le plus faible (F' sur la face d'entrée de la fibre). Quand on remplace ce liquide par un autre d'indice plus élevé F' se déplace sur l'axe optique et s'éloigne de C'. L'intensité transmise par la fibre diminue comme le montre le schéma ci-dessous.



Rayons réfractés avec  
 les liquides d'indice  
 ——— n  
 - - - n + Δn

Ce schéma simplifié ne fait pas apparaître les aspects liés aux aberrations, à la diffraction, à l'ouverture numérique de la fibre et à la variation de la divergence des ondes au voisinage du col du faisceau gaussien.

Les liquides d'indice connu qui ont servi à cet étalonnage sont répertoriés dans le tableau ci-contre :

PRODUITS	INDICES
méthanol	1,336
éthanol	1,363
propanol	1,384
butanol	1,396
pentanol	1,409
hexanol	1,417
octanol	1,428

Nous avons porté sur la Figure 2 les intensités de courant mesurées en fonction des indices connus.

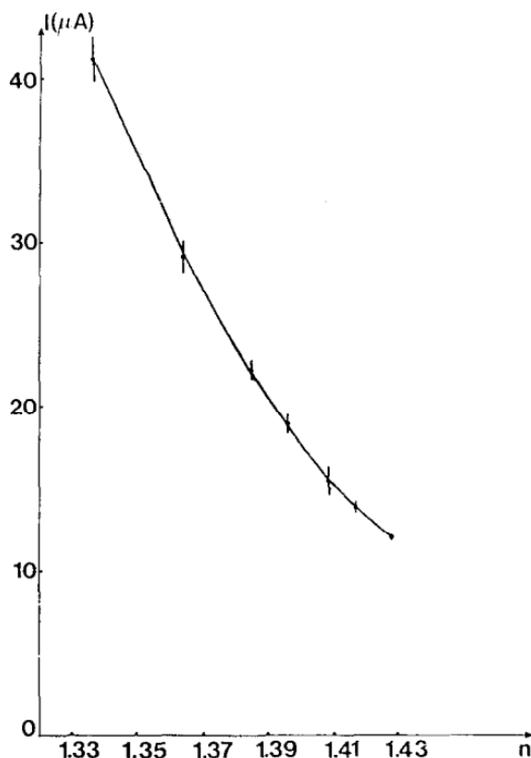


Figure 2 - Courbe d'étalonnage  $I = f(n)$

Les indices ont été mesurés à l'aide d'un réfractomètre d'Abbe (à  $20^\circ$ ). Ils diffèrent au maximum de 0,5 % des valeurs données dans la référence [7]. Cette différence s'explique, en partie, par le fait que les produits ne sont pas purs sans oublier les imprécisions de mesures.

Dans cette expérience, le diamètre de la lentille boule était de 3 mm.

##### 5. MESURES D'UN INDICE INCONNU

Une fois tracée la courbe d'étalonnage, on place dans la cuve le liquide inconnu. On mesure l'intensité du courant dans le circuit. Du report de cette valeur sur la courbe d'étalonnage, on déduit  $n$ . Nous avons testé ce réfractomètre à fibre optique avec trois liquides différents. Les indices

trouvés correspondent à mieux de 0,5 % près aux valeurs mesurées à l'aide du réfractomètre d'Abbe.

La précision des mesures dépend de la stabilité du signal photométrique qui est fonction des variations de température ambiante, de la puissance de la source laser et de la diffusion due à la contamination des liquides par des microparticules. Notons qu'il faut éviter le retour des faisceaux réfléchis en particulier, celui qui est du à la face d'entrée de la cuve, dans la cavité laser.

Les essais avec une lentille de diamètre 5 mm ont donné des résultats comparables.

## 6. CONCLUSION

Nous avons décrit un réfractomètre qui fait appel aux composants optoélectroniques modernes comme le laser, la fibre optique, les sphères de couplage, etc... Le fonctionnement est basé sur les principes simples d'optique géométrique. Il peut être facilement étudié en une séance de travaux pratiques.

La précision des mesures est comparable à celle obtenue avec un réfractomètre d'Abbe classique. Par rapport au réfractomètre à fibre optique étudié dans la référence [4] qui utilise le couplage entre deux fibres sans gaine, notre appareil est moins sensible mais il peut être utilisé sur une plus grande gamme d'indices.

## RÉFÉRENCES :

- [1] C.M. DAVIS, An introduction to fiberoptic sensors. Fiberoptic Technology. February 1982.
- [2] K.W. JONES, R. JONES, New techniques for all optical sensor of temperature, pressure, acceleration and displacement. Opto n° 27, Juillet-Août 1985.
- [3] P. SHAJENKO, Multimode optical fibers as sensing devices. Applied Optics, vol. 21, n° 23, December 1982.
- [4] S. RAMAKRISHNAN, R. TH. KERSTEN, Optical Fibers, VDE Verlag, GmbH, Berlin p. 105 (1984).
- [5] D.N. PAYNE, Fibers for sensor. 2nd International Conference on Optical Fibers Sensors. VDE Verlag GmbH, Berlin p. 353 (1984).
- [6] J. TERRIEN, La Cellule Photoélectrique, PUF.
- [7] Handbook of Chemistry and Physics 64th edition 1983-1984, C.R.C. Press.