Mesure d'un indice de réfraction avec une montre

par **Julien BARTHES**
Lycée Gustave Eiffel
21000 DIJON
barthes_j@yahoo.fr

Résumé
La présence d'un dioptre verre-air sur une montre permet d'illustrer le phénomène de réflexion totale lorsque la montre est immergée dans de l'eau. En mesurant l'angle pour lequel apparaît la réflexion totale, il est alors possible de mesurer l'indice de l'eau avec une précision de quelques pourcents.

Introduction

Tout comme dans les tours de magie, les Travaux Pratiques impliquent davantage les élèves si le matériel leur est emprunté. Nous montrerons qu'il est possible de mesurer l'indice de réfraction de l'eau à l'aide d'une montre (évidemment étanche) empruntée à un élève et d'un système de mesure des plus simples.

1. Principe de la mesure.

1.1 Dispositif

La mesure d'un indice de réfraction peut s'effectuer de manière originale et attrayante [1]. Celle proposée dans cet article repose sur le principe de réflexion totale qui apparaît à partir d'un angle limite lorsque la lumière passe d'un milieu à un autre moins réfringent.
En plongeant une montre dans l'eau, on dispose d'un dioptre eau-verre puis d'un dioptre verre-air.
Au regard des indices, ce dernier dioptre verre-air est propice au phénomène de réflexion totale puisque l'indice de l'air est plus faible que celui de l'eau.

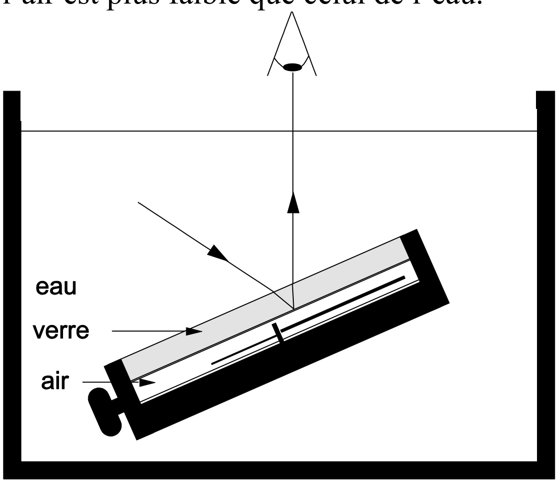

Figure 1 : Principe de la mesure.

Regardons une montre plongée dans une bassine remplie d'eau. Lorsqu'on incline la montre, il apparaît un angle pour lequel la vision du cadran disparaît subitement : le dispositif est alors incliné de sorte que l'angle des rayons lumineux dans le verre par rapport à la normale au dioptre est celui de la réflexion totale.

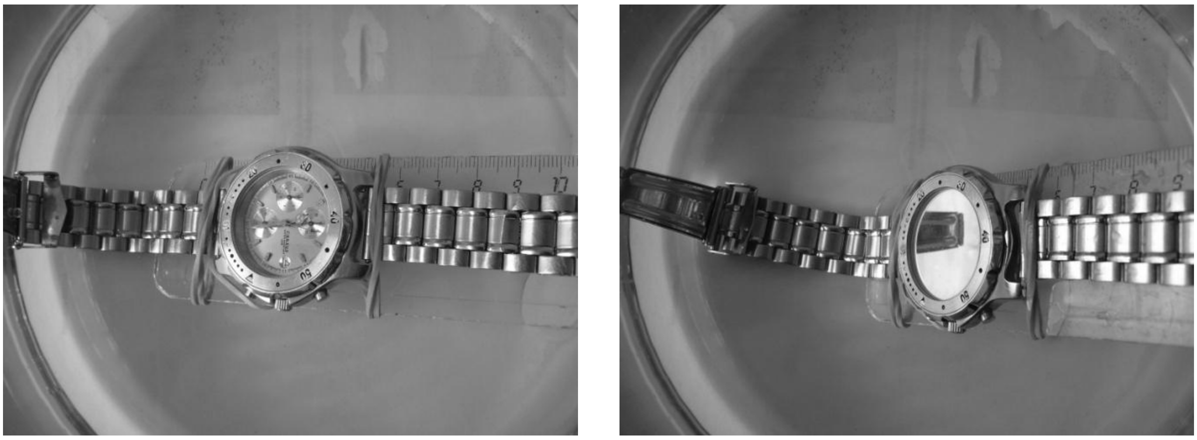

Figure 2 : Clichés sans et avec réflexion totale

Toutefois, même si le cadran ne semble plus visible, les rayons lumineux provenant du cadran traversent bel et bien le verre de montre : quoique son indice n_v soit supérieur à celui de l'eau n_e, aussi grand que soit n_v il ne peut pas y avoir de réflexion totale pour ces rayons au niveau du dioptre verre-eau, car la lame de verre est à faces planes parallèles donc ces rayons jouissent alors de l'invariant de Snell-DESCARTES, qui ne dépasse pas 1 (puisque le cadran est dans l'air) et reste donc toujours inférieur à n_e. La disparition subite du cardan s'explique par une intensité lumineuse brutalement plus importante provenant du bracelet se réfléchissant sur le verre : en fonction de l'angle d'incidence, les facteurs de réflexion croissent juste avant l'angle limite avec une dérivée qui tend vers l'infini pour celui-ci.

1.2 Lois de DESCARTES

Etudions un rayon lumineux descendant verticalement sur le verre de montre inclinée de façon à ce que le phénomène de réflexion totale apparaisse.

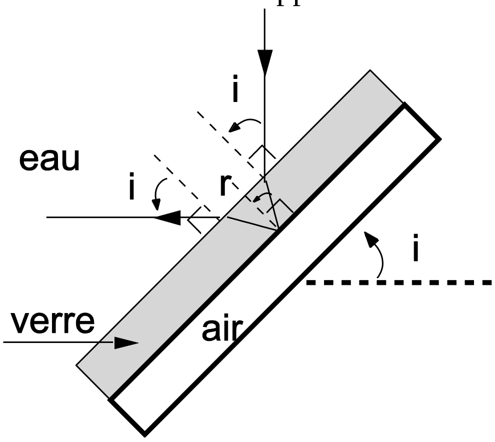

Figure 3 : Réflexion totale

D'après les lois de DESCARTES, il est possible d'écrire à l'interface verre-air:

$$n_v \sin r = 1$$

A l'interface eau-verre, ces mêmes lois conduisent à

$$n_e \sin \mathrm{i} = n_v \sin r$$

Ainsi, il apparaît que $\boxed{n_e = 1/\sin i}$

La mesure de l'angle i permet donc de calculer l'indice de l'eau. Il est intéressant de noter que le résultat est indépendant du verre utilisé (même si son indice était inférieur à n_e) pour une raison semblable à celle donnée à la fin du § 1.1.

2. Mesures expérimentales

2.1 Sources d'erreurs

La mesure de l'angle *i* est effectuée par des mesures de distance : la montre est accrochée à l'aide d'élastiques sur une règle de longueur *L*. Une des extrémités de la règle touche le fond de la bassine et l'on mesure la hauteur *h* nécessaire pour obtenir la réflexion totale.

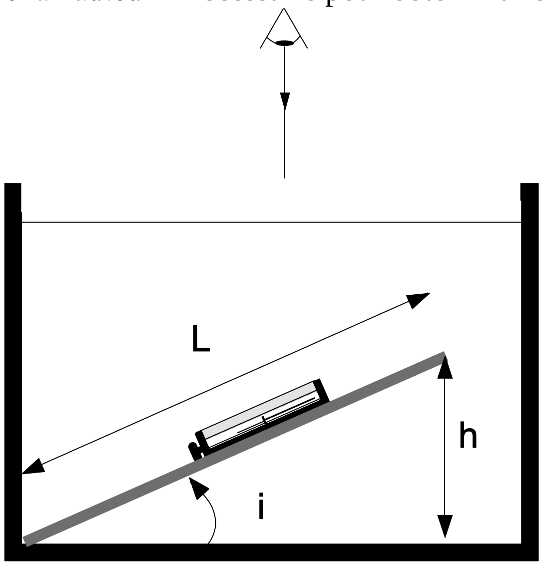

Figure 4 : Notations

L'utilisation d'un fil à plomb permet de viser la verticale avec précision.
La mesure de *L* s'effectue au millimètre près, et l'incertitude sur *h* est estimée à 5 mm en raison de la surface souvent légèrement bombée des verres de montre.

2.2 Résultats

Dans notre cas, nous avons obtenu : L = 21,2 cm et h = 16,1 cm
En utilisant les relations dans le triangle d'angle au sommet *i* on obtient :

$$\sin i = h/L$$

donc

$$n_e = L/h \cong 1{,}32$$

Un calcul d'incertitude permet de conclure que

$$\frac{\Delta n_e}{n_e} \cong \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta L}{L} \cong 0{,}03$$

Ainsi

$$\boxed{n_e = 1,32 \pm 0{,}03}$$

Conclusion

Même s'il existe des méthodes beaucoup plus précises permettant la mesure d'un indice de réfraction, celle décrite ici a le mérite d'être simple et d'utiliser le matériel des élèves. On peut alors proposer une manipulation sous la forme d'un défi à relever avec pour unique matériel quelques élastiques, deux règles et une bassine d'eau.

Remerciements

L'auteur tient à remercier Catherine Jannot et Alain Caillate pour leur relecture attentive et constructive de cet article.

Bibliographie

[1] J. H. TEULIERES, "Mesure d'un indice de réfraction par rapport à l'air en utilisant le théorème de Lambert", Bull. Un. Phys. **101**, 1189-1194, n° 899(1), décembre 2007.

Julien BARTHES
Enseignant en classe préparatoire
DIJON