

Niveau 2^{de}
THEME : LA SANTE

Physique – Chimie
LA REFRACTION - LA RÉFLEXION TOTALE

Programme : BO spécial n° 4 du 29 avril 2010

LA SANTE

NOTIONS ET CONTENUS	COMPETENCES ATTENDUES
<p>Le diagnostic médical : l'analyse de signaux périodiques, l'utilisation de l'imagerie et des analyses médicales permettent d'établir un diagnostic. Des exemples seront pris dans le domaine de la santé (électrocardiogramme, électroencéphalogramme, radiographie, échographie, fibroscopie, ...). L'observation de résultats d'analyses médicales permet d'introduire les notions de concentration et d'espèces chimiques ainsi que des considérations sur la constitution et la structure de la matière.</p>	
Réfraction et réflexion totale.	<i>Pratiquer une démarche expérimentale sur la réfraction et la réflexion totale</i>

Pré requis : en physique

En physique chimie (BO spécial n°6 du 28 août 2008)	
Connaissances	Capacités
<p>Le Soleil, les étoiles et les lampes sont des sources primaires ; la Lune, les planètes, les objets éclairés sont des objets diffusants. Pour voir un objet, il faut que l'œil en reçoive de la lumière.</p>	<p><i>Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu des sources de lumière, des objets diffusants et des obstacles opaques.</i></p>
<p>Le laser présente un danger pour l'œil.</p>	<p><i>Identifier le risque correspondant, respecter les règles de sécurité.</i></p>
<p>La lumière se propage de façon rectiligne. Le trajet rectiligne de la lumière est modélisé par le rayon de lumière</p>	<p><i>Faire un schéma normalisé du rayon de lumière en respectant les conventions.</i></p>

Mots-clé

- Réflexion totale
- Dioptre, interface, surface de séparation
- Normale
- Rayon de lumière
- Rayon incident, rayon réfracté, rayon réfléchi
- Angle d'incidence, angle de réfraction limite

Liste de matériel :*Professeur*

- Source laser de classe 2
- Géoptique
- Aquarium

Ref. 02996
Ref. 02342
Ref. 15381

Poste élève

- Coffret d'optique GEO 30
- ou
- Source Polylumen
- Ensemble réflexion-réfraction

Ref. 02348

Ref. 05897
Ref. 03196

Remarques, astuces

- Il est conseillé de réaliser d'abord le TP CPHY-224 qui amène la loi de Descartes
- L'utilisation de LASER peut présenter un danger pour la rétine.
- L'orientation du faisceau de lumière suivant un rayon du rapporteur cylindrique doit être effectuée avec précision pour obtenir des mesures précises.
- La fabrication d'une « fibre optique » peut être réalisée à l'aide de gélatine et d'une barquette en polystyrène : 2 feuilles de gélatine pour 150 mL d'eau. Laisser reposer 2 heures dans le réfrigérateur puis découper directement au cutter des bandes de 3 cm de large en découpant aussi le polystyrène qui servira de support. Utiliser ensuite un laser pour observer le guidage du rayon de lumière dans la fibre.
- L'utilisation de boîtes plastiques avec couvercles peut être aussi judicieuse. Retourner la boîte pendant la solidification, ce qui favorise la récupération de la gélatine ensuite
- Une explication peut être demandée aux élèves quant à l'utilisation d'hémi cylindres : il n'est pas forcément évident pour eux de voir que la normale est confondue avec le rayon de l'hémi cylindre ce qui explique pourquoi il n'y a pas de réfraction sur la face arrondie.
- Pour amener la situation déclenchante, de nombreuses expériences existent : on peut utiliser un aquarium avec un laser, un dispositif aimanté sur tableau métallique, ou une cuve hémicylindrique posée sur le bureau avec une caméra reliée à un vidéoprojecteur.
- Ajouter de la fluorescéine dans l'eau pour mieux matérialiser le faisceau laser.

Prolongements possibles :**👉 Histoire des sciences : fontaines lumineuse**

Dès l'antiquité, les Grecs connaissaient le phénomène de propagation de la lumière dans des cylindres creux où l'eau circulait et dont la sortie était courbée pour donner naissance à des fontaines lumineuses.

Lors de l'exposition coloniale de 1931, une fontaine lumineuse de 45 m de haut, appelée « le Grand Signal », fut installée sur le lac Daumesnil.

En 1935, la piscine du paquebot Normandie fut agrémentée d'une fontaine lumineuse en forme de corne d'abondance.



Fibres optiques

La première démonstration scientifique du principe de la réflexion totale interne fut faite par les à Paris au milieu du 19^{ème}. L'idée des physiciens français Jean-Daniel COLLADON et Jacques BABINET était de courber la trajectoire de la lumière, en guidant la lumière dans un jet d'eau déversé d'un trou à la base d'un réservoir. Ils mirent alors en évidence le principe qui est à la base de la fibre optique.

Le développement des fibres optiques se fait dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle. La première application fructueuse de la fibre optique eut lieu au début des années 1950, avec l'invention du fibroscope flexible par VAN HEEL et HOPKINS qui permettait la transmission d'une image le long de fibres en verre et fut utilisé en endoscopie, pour l'observation de l'intérieur du corps humain.

Le laser offrit en 1960 la possibilité de transmettre un signal sans pertes sur une grande distance.

En 1966, Charles KAO démontra expérimentalement, avec la collaboration de Georges HOCKMAN, qu'il était possible de transporter de l'information sur une grande distance sous forme de lumière grâce à la fibre optique. En 1980, une première liaison est établie entre les centres téléphoniques des Tuileries et Philippe Auguste avec un câble comprenant 70 fibres.

Nom :
Prénom :
Classe :
Date :

Physique – Chimie

Thème : La Santé**LA RÉFRACTION - LA RÉFLEXION TOTALE****Objectifs :**

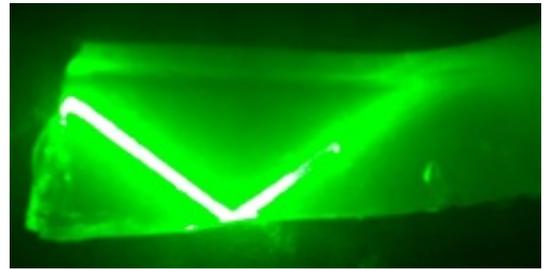
- **Rappeler les lois de la réfraction**
- **Pratiquer une démarche expérimentale la réflexion totale.**
- **Pratiquer une démarche expérimentale pour comprendre le principe des méthodes d'exploration.**

SITUATION PROBLEME

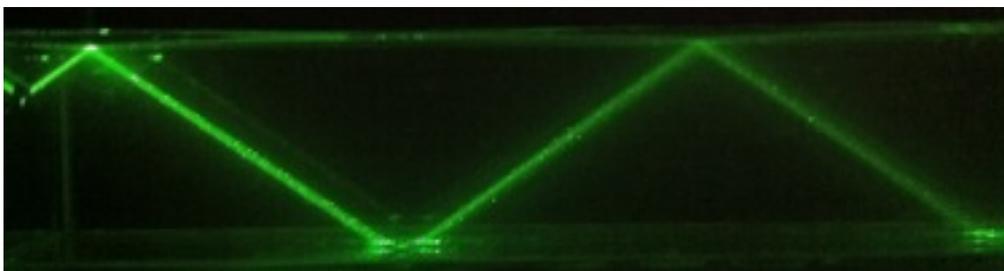
Le diagnostic médical a été fortement amélioré par la possibilité d'explorer l'intérieur du corps humain, avec des outils tels que l'endoscope. Ce dispositif permet d'éclairer et d'observer l'intérieur du corps grâce à une fibre optique.

Comment peut-on guider la lumière dans une fibre optique, que ce soit pour éclairer l'organe ou pour recevoir la lumière émise par celui-ci ?

Observons les photos ci dessous : un faisceau laser est dirigé à l'intérieur d'un morceau de gélatine, ou dans un cylindre de plexiglas®.



Faisceau laser dans un bloc de gélatine



Réflexions multiples du laser dans un cylindre en plexiglas®

Que constate-t-on sur ces deux photos ?

La lumière semble être guidée à l'intérieur du milieu. Elle y subit de nombreuses réflexions.

La gélatine et le plexiglas[®] sont transparents : comment la lumière peut-elle être piégée à l'intérieur de matériaux transparents ?

C'est à cette question que répondent les manipulations qui suivent

RAPPEL DU VOCABULAIRE DE L'OPTIQUE ET DES LOIS DE SNELL-DESCARTES

1. Le vocabulaire

La lumière se divise lorsqu'elle arrive à la surface de séparation entre deux milieux, une partie étant réfléchie, l'autre subissant une déviation au passage dans le second milieu.

Ce passage dans le second milieu s'appelle une « **réfraction** » : la lumière est réfractée lors de la traversée de la surface de séparation des deux milieux, cette surface est appelée « **dioptre** ».

Le point d'incidence I est l'intersection du rayon incident et du dioptre

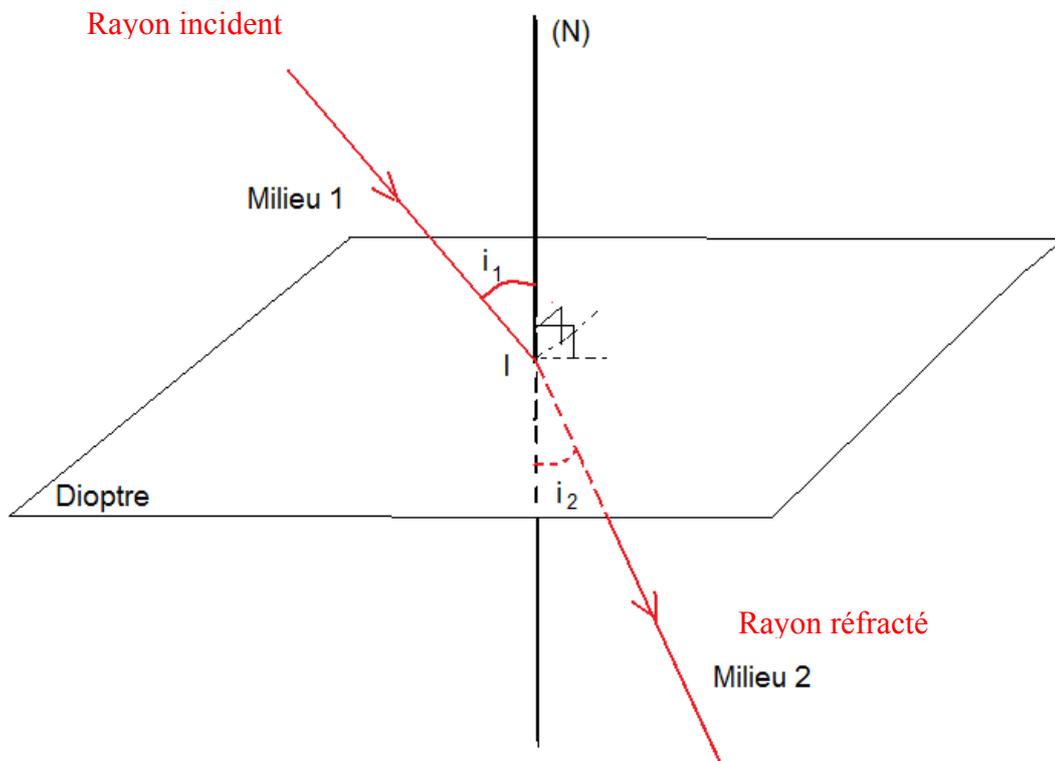
Le plan d'incidence est défini par le rayon incident et la normale à la surface de séparation au point d'incidence.

Le plan de réfraction est défini par le rayon réfracté et la normale à la surface de séparation au point d'incidence.

La normale (N) est la droite perpendiculaire en I à la surface de séparation. Elle sert de référence pour mesurer les angles.

i_1 est l'angle d'incidence, i_2 est l'angle de réfraction.

Compléter le schéma ci-dessous avec les mots « rayon incident » et « rayon réfracté »



2. Les lois de Snell-Descartes

Ces lois ont été vues au TP P11. Voici leur rappel :

Le plan d'incidence et le plan de réfraction sont confondus.

Les directions des rayons incidents et réfractés sont telles que $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$.

Cette relation constitue la loi de Snell-Descartes dans laquelle :

n_1 est l'indice de réfraction du milieu d'incidence, milieu 1

i_1 est l'angle d'incidence,

n_2 est l'indice de réfraction du milieu de réfraction, milieu 2

i_2 est l'angle de réfraction.

Une conséquence importante est que si le second milieu est PLUS RÉFRINGENT que le premier, c'est-à-dire si son indice de réfraction n_2 est plus élevé que n_1 , alors l'angle i_2 est toujours inférieur à l'angle i_1 :

la lumière peut toujours passer d'un milieu donné dans un milieu PLUS réfringent.

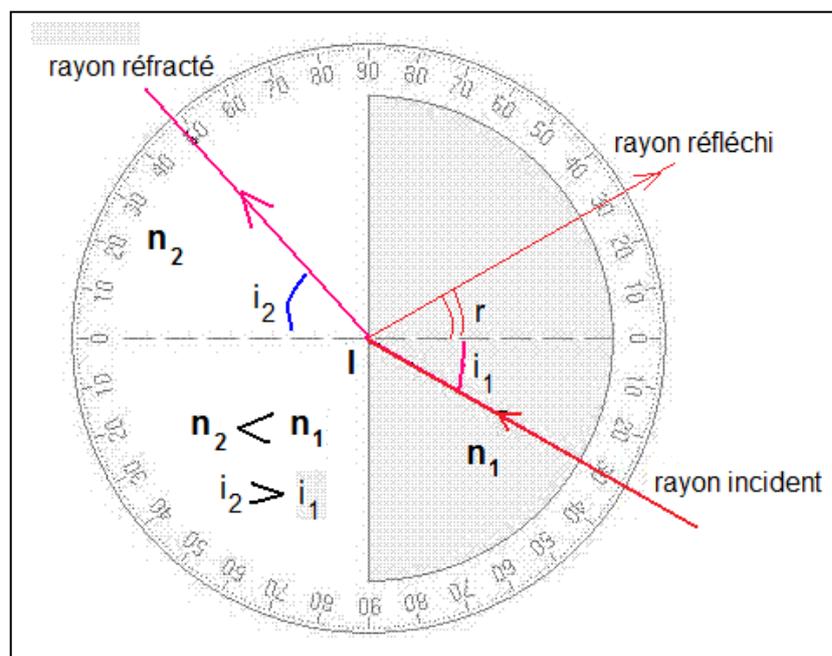
Mais qu'advient-il lorsque la lumière doit passer d'un milieu donné dans un milieu MOINS réfringent, c'est-à-dire lorsque l'indice de réfraction n_2 du second milieu est inférieur à celui n_1 du premier ?

ACTIVITE 1 : MISE EN EVIDENCE DU PHÉNOMÈNE ET MESURES : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DU PASSAGE DE LA LUMIÈRE DU PLEXIGLAS® VERS L'AIR.

1. Le matériel

Le matériel se compose d' :

- une source lumineuse monochromatique,
- un demi-cylindre en plexiglas®,
- un plateau gradué angulairement,



Pour cette étude, on placera le demi cylindre en faisant coïncider les graduations « 90-90 » avec la partie plate du demi cylindre.

2. Les observations

- Commencer par éclairer la partie « bombée » du demi-cylindre avec le faisceau de lumière en le dirigeant suivant la direction « 0-0 ». Que constate-t-on ?
On constate que le faisceau lumineux n'est pas dévié. Il traverse les deux surfaces de séparation (partie bombée et partie plate sans subir de déviation).
- Modifier ensuite l'angle d'incidence.
Qu'observe-t-on ?
On observe un rayon réfléchi et un rayon réfracté qui est dévié après passage au travers du demi-cylindre.
- Comparer l'angle d'incidence et l'angle de réflexion.
Ils sont identiques.
- Le rayon réfracté est-il toujours visible, quel que soit l'angle d'incidence ?
Que devient la lumière ?
On constate qu'au-delà d'un certain angle d'incidence, le rayon réfracté n'existe plus. La lumière est totalement réfléchie.

À partir de quel angle d'incidence sur le dioptre dans le milieu 1, le plus réfringent, observe-t-on la réflexion totale de la lumière sur ce dioptre ?

La valeur maximale que peut prendre l'angle i_2 est 90° . Dans ce cas $\sin i_2 = 1$

La relation de Snell-Descartes permet alors d'écrire dans ce cas : $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2$, soit $\sin i_1 = n_2/n_1$
 n_2 étant inférieur à n_1 , cet angle existe, appelons-le λ : c'est l'angle limite de réflexion totale.

3. Compléter la conclusion ci-après :

Conclusion

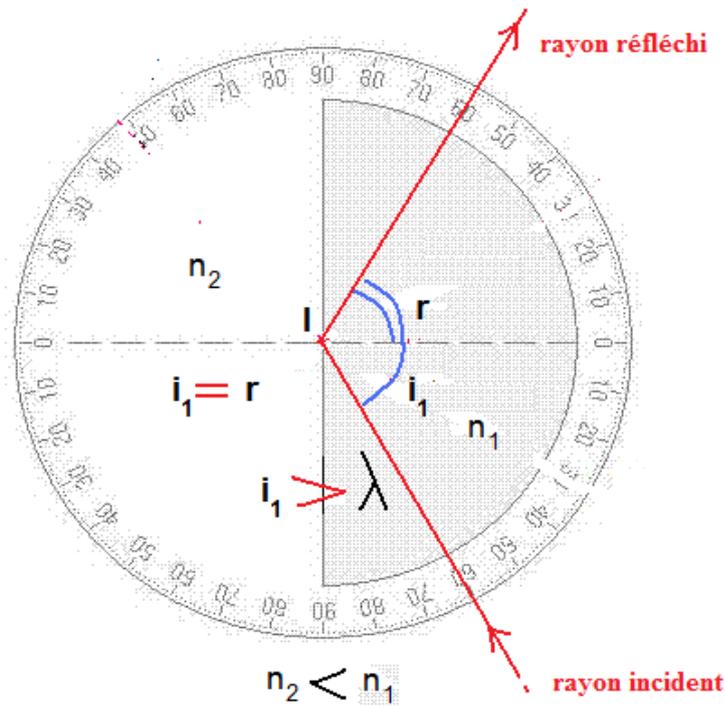
Lors du passage d'un milieu donné d'indice n_1 dans un milieu moins réfringent d'indice n_2 ($n_2 < n_1$), le rayon **réfracté** n'existe pas toujours.

Il existe un angle limite λ **au-delà** duquel le rayon de lumière ne change pas de milieu.

Ce rayon est alors complètement réfléchi : c'est le phénomène de **réflexion totale**.

Cet angle est tel que $\sin \lambda = n_2/n_1$.

Le rayon réfléchi obéit aux lois de la réflexion : son angle d'incidence et son angle de réflexion sont **identiques**.



La réflexion totale

Un calcul :

Si, pour le plexiglas on prend $n_1 = 1,47$ et pour l'air, $n_2 = 1$, alors $\sin \lambda = 1/1,47 = 0,68$ soit $\lambda = 42^\circ$
 Si $i_1 > 42^\circ$, il y a réflexion totale du rayon de lumière

ACTIVITE 2 : LA FIBROSCOPIE

La fibroscopie est une technique d'analyse médicale qui utilise la propagation de la lumière dans une fibre optique.

Elle permet l'examen des vaisseaux, du tube digestif, des bronches, de la vessie et des voies biliaires.

Elle est utilisée pour réaliser des diagnostics ou des opérations chirurgicales sous anesthésie locale le plus souvent.

Le fibroscope ou endoscope est un tuyau souple de 50 cm à 2 m de longueur et de quelques millimètres de diamètre, constitué d'un faisceau de fibres de verre, à l'extrémité duquel se trouvent une lampe et une caméra. L'autre extrémité est insérée dans le corps du patient et permet d'éclairer la zone à observer et de véhiculer son image.



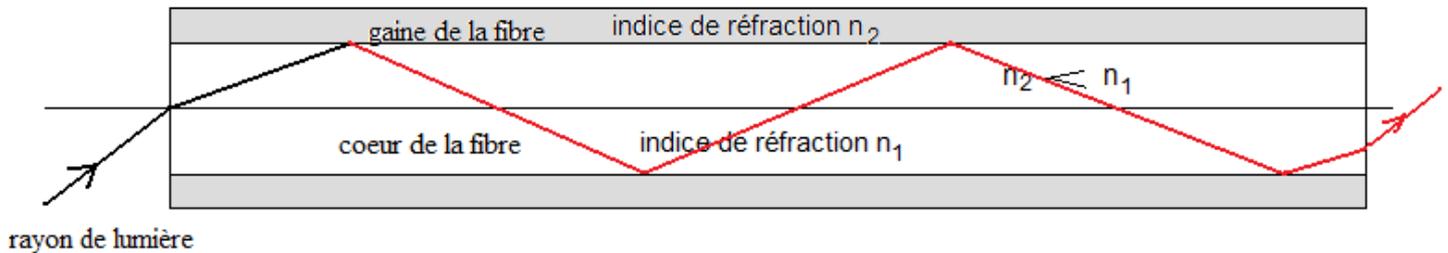
Endoscope (Source : wikipédia)

Observer à nouveau la « fibre » en gélatine ou la « fibre » en plexiglas[®] du paragraphe I.

Que se passe-t-il si la fibre est courbée ?

La lumière subit des réflexions à l'intérieur de la fibre et « suit » celle-ci même si elle est courbée.
La lumière ne se propage donc plus en ligne droite mais en une succession de lignes brisées.

Compléter le schéma ci-dessous qui représente une fibre optique dans laquelle la lumière est guidée par une succession de réflexions totales, la gaine de la fibre étant d'indice n_2 inférieur à celui n_1 du cœur :



À quel niveau de la fibre la lumière subit-elle des réflexions totales ?

Les réflexions totales se font sur la surface de séparation entre le cœur et la gaine de la fibre.

ACTIVITE : LA FONTAINE LUMINEUSE

La fontaine « Colladon » - extrait de « La Nature » 1884

LA NATURE.

325

LA FONTAINE COLLADON

RÉFLEXION D'UN RAYON DE LUMIÈRE À L'INTÉRIEUR
D'UNE VEINE LIQUIDE PARABOLIQUE

Nous avons récemment publié la description de la remarquable cloche d'eau imaginée par le regretté M. Eugène Bourdon¹. A cette occasion nous avons parlé de l'appareil de M. Colladon pour faire circuler la lumière en ligne courbe à l'intérieur d'une veine liquide, appareil désigné dans les cabinets de physique sous le nom de fontaine Colladon.

Cet appareil qui a été expérimenté dans bien des pays et même dans des pièces de théâtre, notamment dans *Fantaf*, à l'Opéra, n'a jamais été représenté, et nous avons pensé que nos lecteurs accueilleraient avec intérêt des documents précis à ce sujet ; nous en avons demandé la description à son auteur, M. D. Colladon a bien voulu nous communiquer le dessin de son expérience, avec une description faite d'après une note qu'il a autrefois présentée à l'Académie des sciences. Nous reproduisons ci-dessous ces curieux documents. G. T.

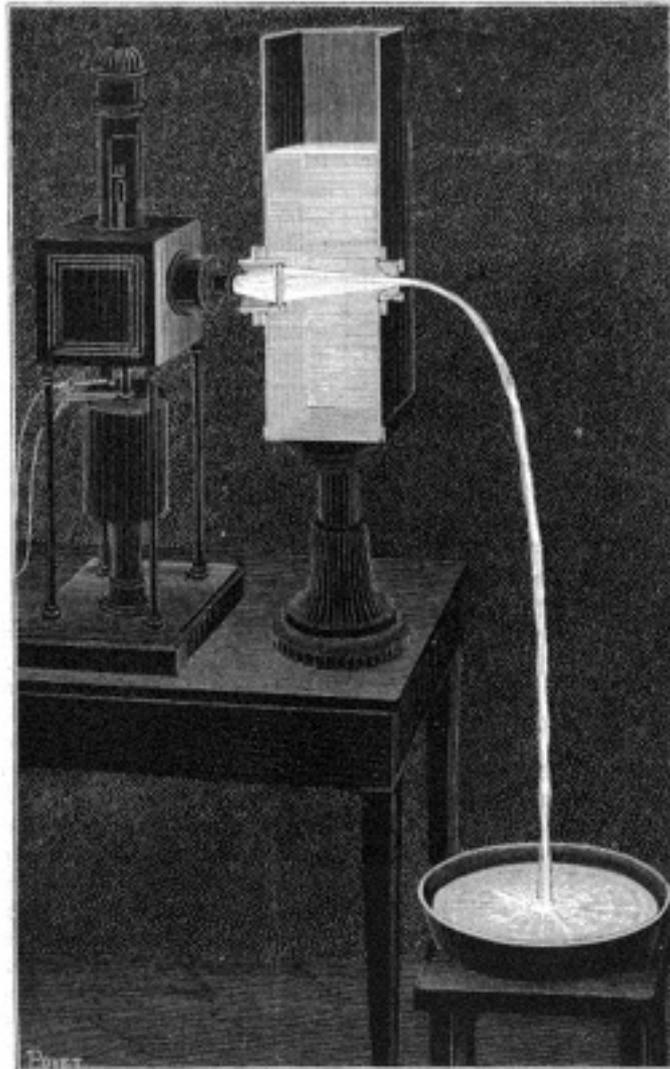
J'ai souvent cherché dans mes cours à rendre visibles pour tous les élèves, réunis dans un amphithéâtre, les différentes formes que prend une veine fluide en sortant par des orifices variés.

C'est pour y parvenir que j'ai été conduit à éclairer intérieurement une veine placée dans un espace obscur. J'ai reconnu que cette disposition est très convenable pour le but que je m'étais proposé, et que de plus elle offre dans ses résultats une

des plus belles et des plus curieuses expériences que l'on puisse faire dans un cours d'optique.

L'appareil que j'emploie pour ces essais se compose d'un vase parallélépipédique de un mètre de hauteur ; sur une des faces, un peu au-dessus du fond, est une ouverture où s'adaptent à vis différents diaphragmes pour varier la grosseur et la forme du jet. Cette veine

s'échappe du vase dans une direction horizontale : pour l'éclairer intérieurement on perce un trou dans la paroi opposée sur la même direction, on adapte à ce trou une lentille convexe et on ajoute en dehors du vase un tube court, horizontal, noirci à l'intérieur, destiné à empêcher les rayons obliques à l'axe du jet de pénétrer dans le vase. L'appareil est ensuite placé dans une chambre obscure ; un des volets de cette chambre peut être percé d'un trou auquel on adapte le tube noirci, et l'on renvoie par un miroir un faisceau de lumière solaire parallèlement à l'axe du tube. On peut encore employer avec avantage une lampe oxyhydrique ou électrique projetant un faisceau de lumière horizontale



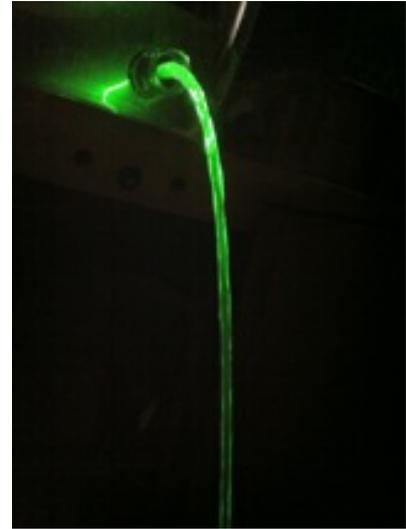
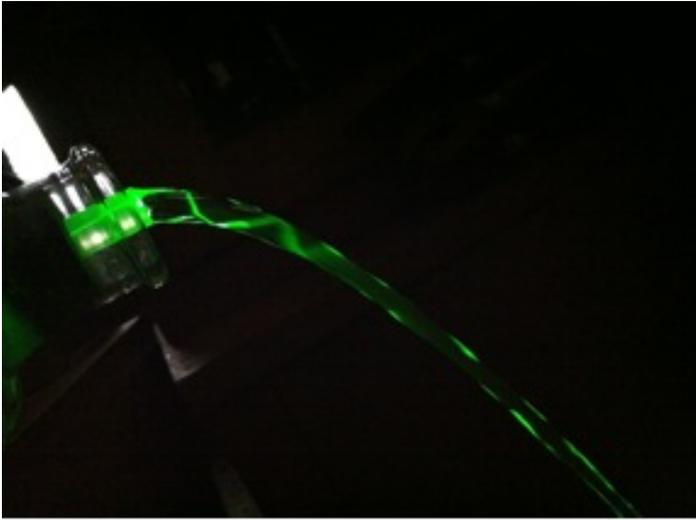
Expérience de la fontaine Colladon.

comme le représente la figure ci-dessus. Les rayons lumineux traversent la lentille et le liquide, et vont converger dans l'ouverture par laquelle s'échappe la veine ; une fois entrés dans la veine, ils rencontrent sa surface sous un angle assez petit pour éprouver une réflexion intérieure totale ; le même effet se produit à chaque nouveau point d'incidence, en sorte que la lumière circule dans ce jet transparent comme dans un canal, et en suit toutes les inflexions.

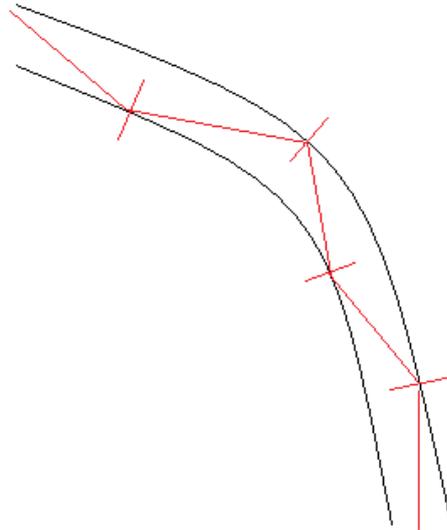
Si l'eau est parfaitement limpide et l'ouverture

¹ Voy. n° 584 du 9 août 1884, p. 159.

En utilisant un récipient muni d'un fond percé sur le côté latéral, on peut reproduire l'expérience décrite dans le texte.



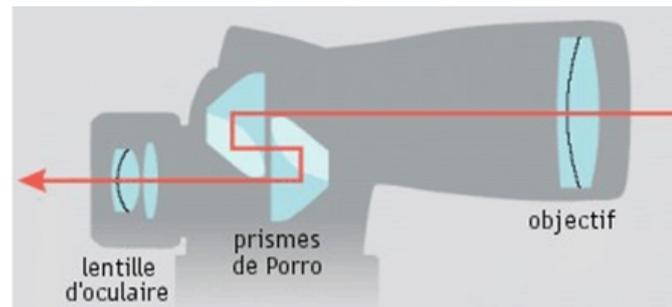
1. Compléter le schéma du jet d'eau ci-dessous en traçant la marche du rayon lumineux à l'intérieur de celui-ci.



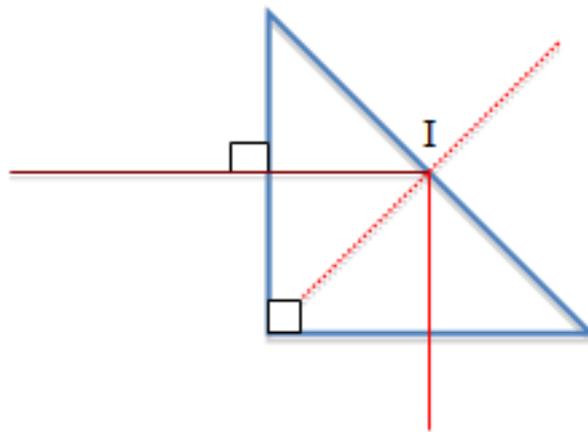
2. Placer pour chaque réflexion, le point d'incidence et la normale ainsi que l'angle d'incidence. L'angle limite λ pour une réflexion totale dans le cas d'un dioptre eau/air vaut 49° .
3. Quelle est la condition sur la valeur des angles d'incidence pour que la totalité du rayon de lumière reste à l'intérieur du jet ?
L'angle d'incidence doit être supérieur à 49°
4. Que se passe-t-il sinon ?
Le rayon lumineux est partiellement réfracté, une partie du faisceau traverse la surface de séparation eau/air.

ACTIVITE 4 : LE PRISME À RÉFLEXION TOTALE

Des prismes en verre (dits de Porro) sont utilisés dans les jumelles pour permettre à l'image de parvenir jusqu'aux yeux de l'observateur. Essayons de comprendre leur utilité.



Un rayon lumineux pénètre dans un prisme en forme de triangle rectangle isocèle, *sous incidence normale*, c'est à dire perpendiculairement à l'une de ses faces.



1. Le rayon lumineux est-il dévié en entrant dans le prisme ?
Non car l'incidence est normale
2. Sur le schéma, tracer la normale à la surface de séparation air/verre en I.
3. Que vaut l'angle d'incidence en I ?
L'angle d'incidence en I vaut 45°
4. Sachant qu'il y a réflexion totale en I pour un angle d'incidence supérieur ou égal à 42° , la lumière est-elle totalement réfléchi en I ?
Oui car l'angle d'incidence est supérieur à 42°
5. Compléter le schéma en traçant la marche du rayon de lumière jusqu'à sa sortie du prisme.

Remarque : Les prismes sont préférés aux miroirs dont la couche réfléchissante métallique a tendance à s'altérer avec le temps.