

 φ 2 : Réflexion, réfraction			Ondes et signaux
 Plan			 Documents
I	La nature de la lumière 2 La lumière : une onde • Domaines d'existence des OEM • La lumière : des corpuscules • Célérité de la lumière dans différents milieux		TD-φ 1 TP-φ 2 TP-φ 3
II	Les lois de Snell-Descartes 7 Hypothèses et approximations de l'optique géométrique • Loi de la réflexion et de la réfraction • Cas limite : phénomène de réflexion totale • Le phénomène de dispersion		 Exercices ♥ : Ex. & ★ : Ex. ★★ : Ex. & ★★★ : Ex.
III	Image par un miroir plan 10 Image virtuelle par un miroir plan : construction géométrique • Notions de stigmatisme et d'aplanétisme		
IV	Les ondes sismiques et la découverte du Moho 11		
 Capacités exigibles			
Citer des ordres de grandeur de longueurs d'onde associées aux différents domaines spectraux du rayonnement électromagnétique (ondes radio, micro-ondes, rayonnements infrarouge, visible, ultraviolet, rayons X et gamma). Citer des applications scientifiques et techniques des différents domaines spectraux de rayonnement électromagnétique. Interpréter qualitativement l'effet photoélectrique et l'effet photoionisant à l'aide du modèle particulaire de la lumière. Définir le modèle de l'optique géométrique et en indiquer les limites. Établir la condition de réflexion totale. Appliquer les lois de la réflexion et de la réfraction à l'étude de la propagation des ondes sismiques de volume dans la Terre.			

Notions préliminaires

Définition 1 : Quelques définitions pour commencer...

- Dans ce chapitre, les milieux étudiés seront **homogènes** (propriétés identiques en tout point), **transparents** (l'énergie lumineuse est totalement transmise) et isotropes (les propriétés sont identiques dans toutes les directions de l'espace), on abrégera ces milieux par le sigle **MHTI**.
- On parle de **source ponctuelle** pour désigner une source dont les dimensions sont très petites par rapport à la distance d'observation.
- On appellera **source étendue**, une source formée d'une infinité de sources ponctuelles.
- Un **rayon** est la ligne suivant le trajet de la lumière. Un rayon est orienté dans le sens de propagation, cette orientation est matérialisée à l'aide de flèches. On appellera **faisceau**, un ensemble de rayons.

I La nature de la lumière

A) La lumière : une onde

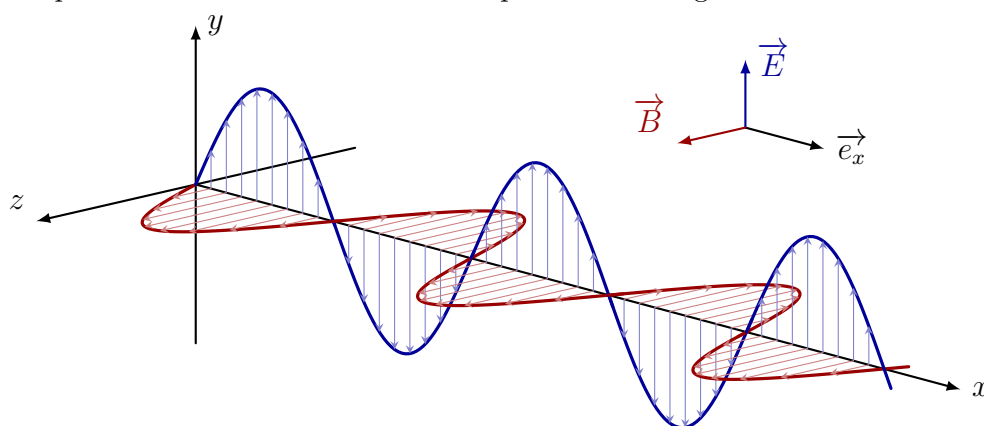
Les phénomènes de diffraction et d'interférences observés lors de la propagation d'énergie lumineuse au travers d'obstacle(s) ou d'orifice(s) sont les premiers phénomènes dont l'explication fait appel à la nature ondulatoire de la lumière (doc. 1). Initiée par Christian HUYGENS (1678), la théorie ondulatoire n'a cessé d'être améliorée (Thomas YOUNG, 1802; Augustin FRESNEL, 1815). En 1865, James MAXWELL finalise le modèle et prédit l'existence et la célérité de l'onde électromagnétique.

Propriété 1 : La lumière : une onde électromagnétique

La lumière est une **onde électromagnétique** (OEM). Une OEM :

✓ Exemple

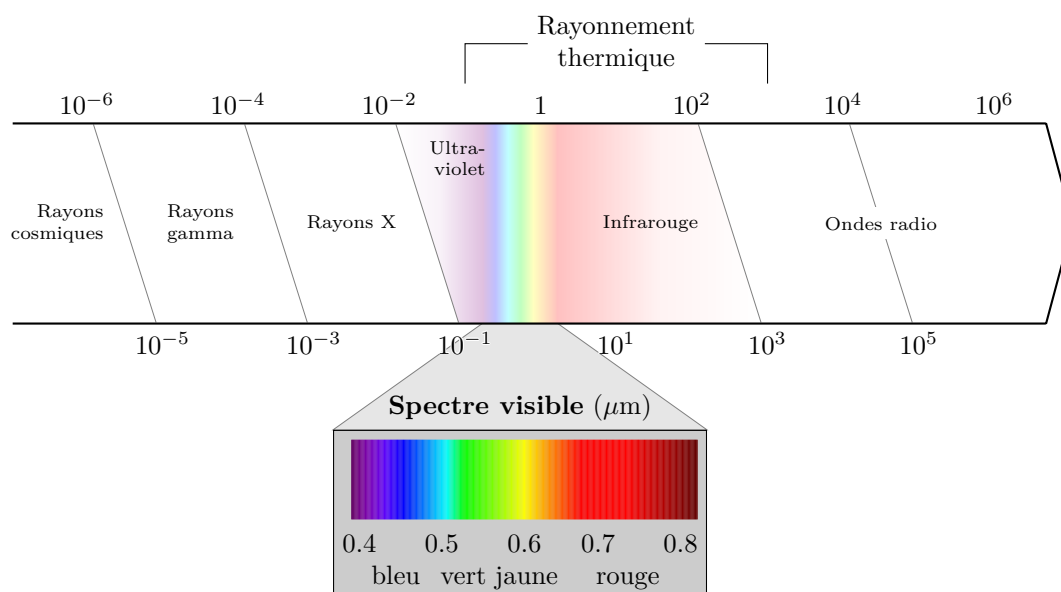
Cas particulier d'une OEM sinusoïdale polarisée rectilignement :



Propriété 2 : Double périodicité d'une onde lumineuse

B) Domaines d'existence des OEM

Le spectre électromagnétique est le classement, ici par longueur d'onde, des différents rayonnements électromagnétiques. Il s'étend de 0 m à l'infini et se divise en différentes zones comme présenté sur le diagramme ci-après. Ce dernier est gradué en micromètre.

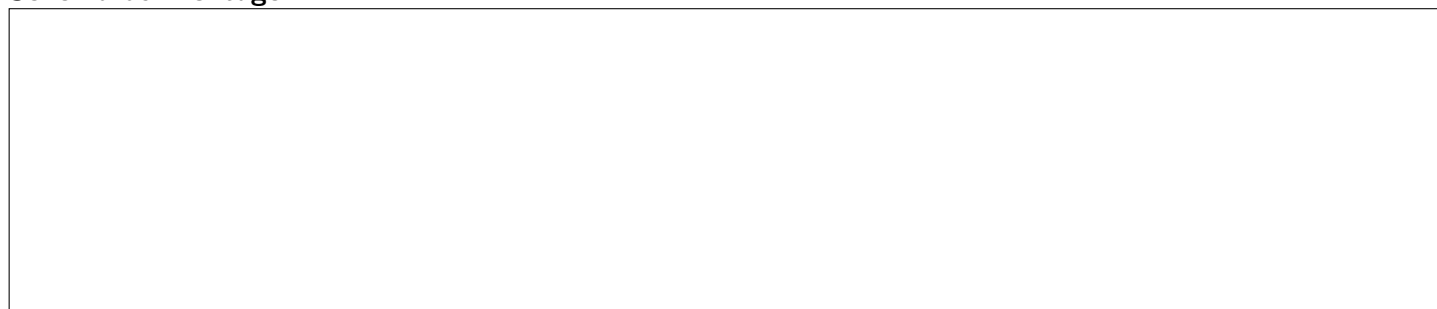


C) La lumière : des corpuscules

Expérience de Lénard

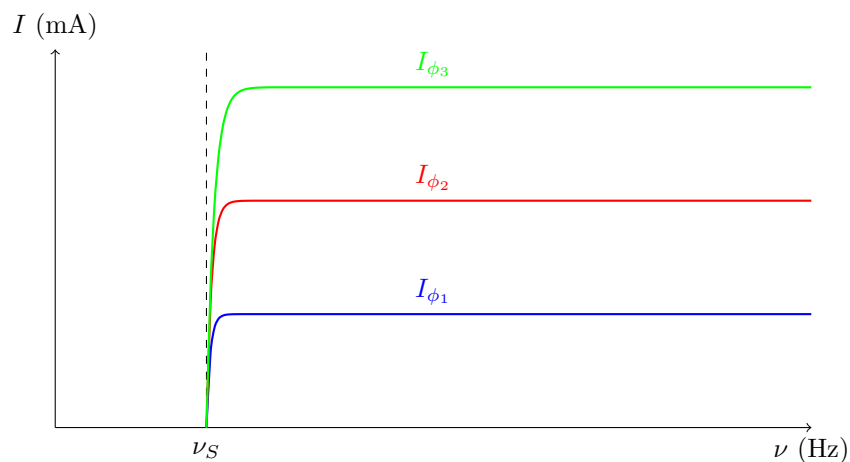
À la fin du 19^e siècle, on a observé que lorsque la lumière (dans le visible ou l'UV) rencontre une surface métallique, des électrons sont émis par cette surface. Le physicien allemand d'origine austro-hongroise Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947, prix Nobel 1905) décide d'éclairer une électrode (émetteur) avec un rayonnement dont on peut faire varier la fréquence et l'intensité ϕ telle que $\phi_1 < \phi_2 < \phi_3$. Il recueille les électrons émis (ou photo-électrons) sur la seconde électrode (collecteur). Enfin, il mesure l'intensité I du courant dû au déplacement d'électrons, grâce à un ampèremètre.

Schéma du montage :



Prévisions :



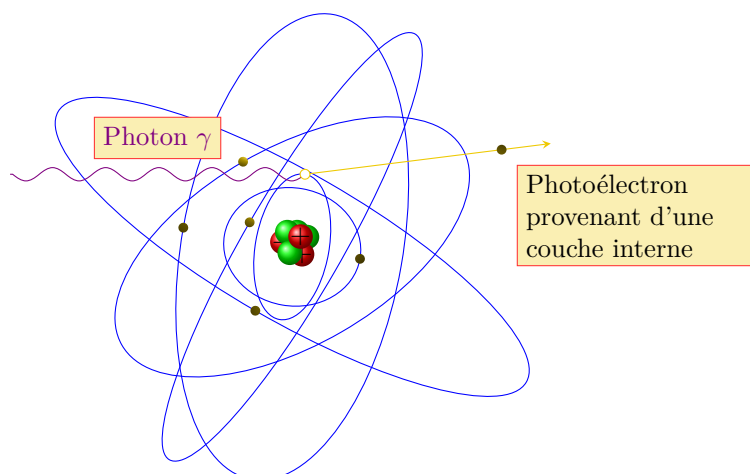
Observations :

Explications proposées par A. Einstein : Albert Einstein proposa l'explication suivante : l'énergie d'un faisceau de lumière monochromatique arrive par paquets d'énergie $h\nu$ (appelés "quantum d'énergie"). En effet, l'existence d'une fréquence seuil montre l'indépendance des photons : ils ne peuvent pas cumuler leur énergie pour arracher un électron. **Un photon ne peut interagir qu'avec un seul électron.**

En s'appuyant sur l'idée de Max Planck, Albert Einstein introduit alors son hypothèse fondamentale qui lui vaudra un prix Nobel en 1921 :

Propriété 3 : Relation de Planck-Einstein

Si le quantum d'énergie $h\nu$ est transmis en totalité à un électron, celui-ci sort du métal avec une énergie cinétique (E_k) telle que :



Finalement l'effet photoélectrique se définit par :

Définition 2 : Effet photoélectrique

L'effet photoélectrique est donc l'émission d'électrons par un métal lorsqu'il est éclairée. Le phénomène n'existe que si la fréquence du rayonnement est supérieure à une fréquence seuil ν_S qui dépend de la nature du métal. Si la fréquence est plus petite que cette fréquence seuil ν_S , il n'y a pas d'effet photoélectrique même si le faisceau est très intense.

Exercice 1

La fréquence seuil dépend du matériau, le travail d'extraction dépend lui aussi de celui-ci :

1. Calculer la fréquence seuil de la lumière permettant une émission photoélectrique pour du zinc, du platine et du césium. Dans chaque cas, donner la longueur d'onde correspondante et indiquer à quel domaine spectral ce rayonnement appartient.

Données : $W_0(Cs) = 2,1 \text{ eV}$, $W_0(Pt) = 6,35 \text{ eV}$, $W_0(Zn) = 4,3 \text{ eV}$.

2. On réalise l'expérience de Lénard avec une plaque de zinc et une lumière ultraviolette de longueur d'onde 200 nm.
 - (a) Y aura-t-il des électrons arrachés ?
 - (b) Quelle sera leur énergie cinétique juste après les avoir arrachés ?

**Document 1 : Pour aller plus loin : Dualité onde-corpuscule****Dualité onde-corpuscule - 35 - e-penser (17 :53)**

Bruce Benamran : « Pas nécessairement la question où l'on s'attend à n'y rien comprendre (la mécanique quantique est truffée de telles questions), mais c'est de celle-ci que découlent quasiment toutes les autres. Restez curieux, et prenez le temps d'e-penser. »

<https://www.youtube.com/watch?v=kZTUhGhJfwk>

💡 Remarque

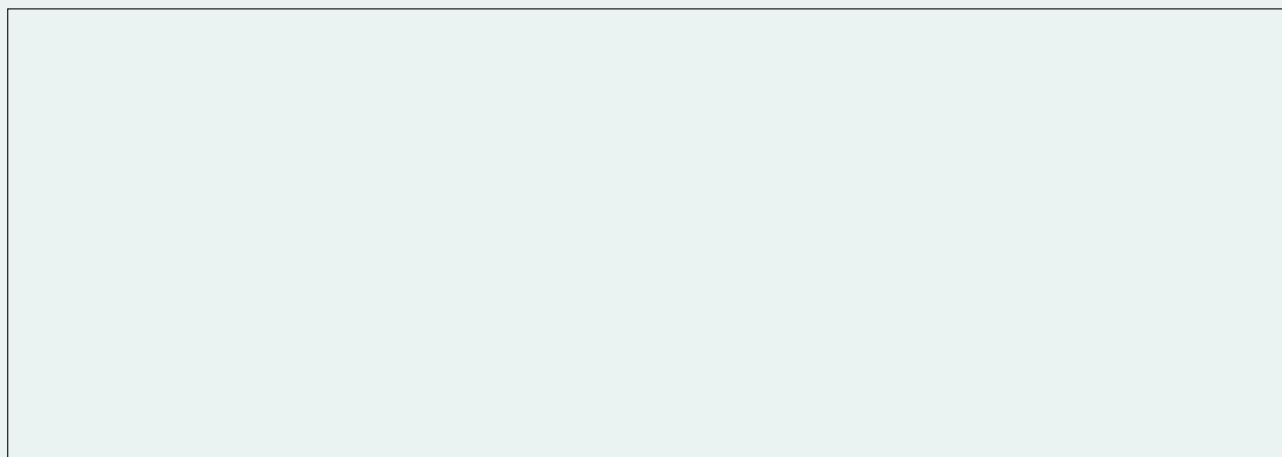
La description de la lumière comme photons est également nécessaire à l'étude du phénomène de photoionisation. La photoionisation consiste à former des ions à partir d'espèces généralement en phase gaz soumise à l'action de la lumière. On retrouve la présence de fréquence seuil en dessous de laquelle aucune ionisation n'est possible.

D) Célérité de la lumière dans différents milieux

Dans un MTHI, la lumière interagit avec la matière. Cette interaction engendre une **diminution** de la vitesse de la lumière dans ledit milieu. Ainsi, la vitesse de la lumière dépend du milieu qu'elle traverse. Cette vitesse est aussi dépendante de la longueur d'onde considérée (ou de la fréquence de l'onde).

🕒 Rappel

La célérité de la lumière dans le vide est la vitesse maximale que peut atteindre la lumière. En première approximation, on peut assimiler la vitesse de la lumière dans l'air à la célérité de la lumière dans le vide.

Définition 3 : Indice de réfraction d'un milieu pour une longueur d'onde**💡 Remarque**

— L'indice optique est **nécessairement** supérieur à 1.

III Les lois de Snell-Descartes

A) Hypothèses et approximations de l'optique géométrique

Propriété 4 : Propriétés des rayons lumineux en optique géométrique

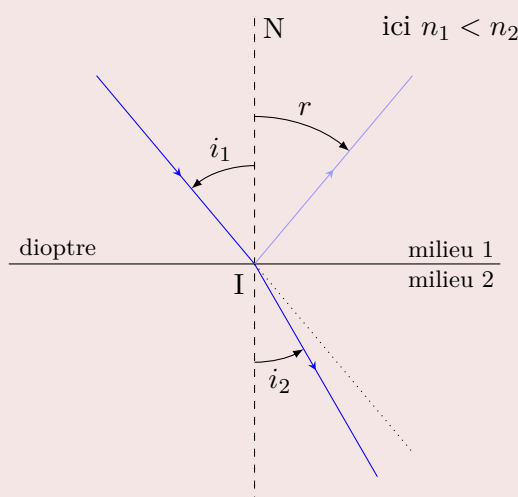
- **Indépendance des rayons lumineux** : chaque rayon lumineux se propage indépendamment des autres rayons.
- **Principe de Fermat** : la lumière se propage en empruntant le chemin qui correspond à la **durée minimale de trajet**. Ainsi, dans un MHTI donné, la lumière se propage **rectilignement**.
- **Principe du retour inverse de la lumière** : tout trajet emprunté par la lumière pour aller d'un point A vers un point B sera le même que pour faire le trajet de B vers A .

B) Loi de la réflexion et de la réfraction

La surface qui sépare deux MHTI d'indices différents est appelé **dioptré**. Deux phénomènes ont alors lieu simultanément, la **réflexion** et la **réfraction**.

Théorème 1 : Loi de la réfraction

Soit un rayon, dit **incident**, se propageant dans le milieu 1 d'indice optique n_1 atteignant un dioptré au point I, il est alors en partie **réfléchi** dans le milieu 1 et en partie **réfracté** dans le milieu 2 d'indice optique n_2 selon la figure suivante :



Plusieurs conditions sont satisfaites :

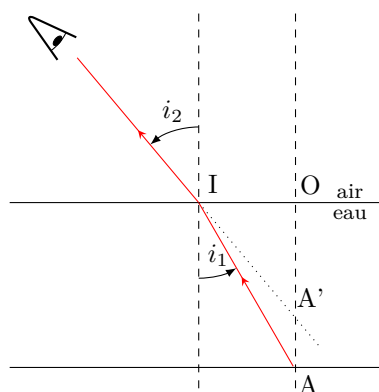
⚠ **Attention** : les angles i_1 , i_2 et r sont orientés en partant de la normale N. Il s'agit des angles entre la normale et le rayon étudié.

Il y a deux cas possibles :

Exercice 2

Vue du fond du bassin Le fond du bassin se trouve à une profondeur $h = |OA| = 1,0$ m. À quelle profondeur $h' = |OA'|$, un observateur à l'aplomb du bassin, voit-il le fond ? Utiliser le schéma ci-dessous pour répondre à cette question. L'eau sera considérée comme étant un milieu non dispersif d'indice $n_e = 1,33$.

On considère les angles petits de sorte que sinus, tangente et angle en radians puissent être confondus. On prendra l'indice de l'air $n_a = 1$



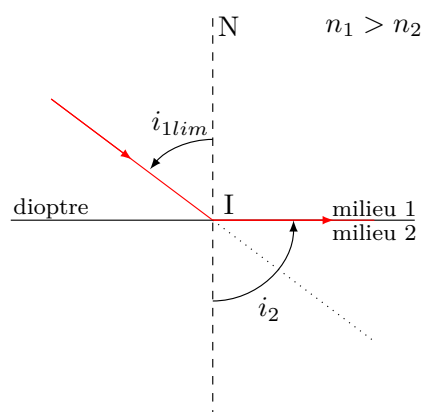
C) Cas limite : phénomène de réflexion totale

Lorsque le phénomène de réflexion totale a lieu, plusieurs conditions sont satisfaites :

- il faut impérativement que $n_1 > n_2$;
- l'**angle limite d'incidence**, noté $i_{1,\text{lim}}$, pour lequel l'**angle de réfraction** vaut $\frac{\pi}{2}$ (on parle alors de **rayon réfracté rasant**), se calcule selon la formule :

$$i_{1,\text{lim}} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (1)$$

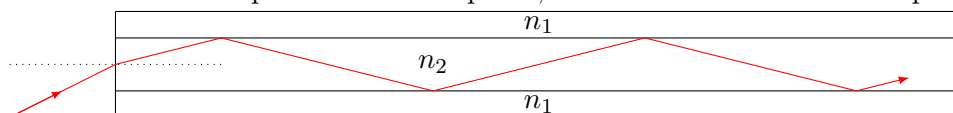
- $\forall i_1 > i_{1,\text{lim}}$, il y a **réflexion totale**.



Démonstration :

💡 Remarque

La réflexion totale peut être mise à profit, notamment dans les fibres optiques :



D) Le phénomène de dispersion

Définition 4 : Milieu dispersif

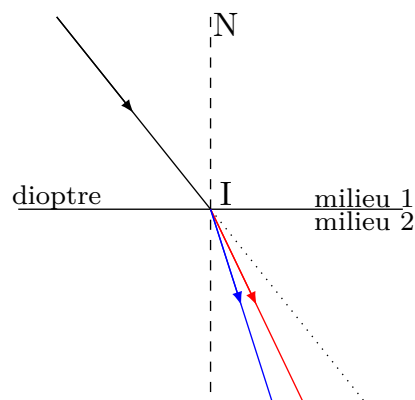
💡 Remarque

L'air a un indice qui ne dépend quasiment pas de la longueur d'onde, l'air est un milieu très peu dispersif, on prendra $n_{\text{air}} = 1$ comme pour le vide.

Le phénomène de dispersion permet d'expliquer la décomposition de la lumière par un prisme. L'indice d'un milieu comme le verre dépend de la longueur d'onde de la lumière qui le traverse.

Le verre admet, pour une radiation rouge, l'indice $n_{\text{rouge}} = 1,510$ et pour une radiation bleue, l'indice $n_{\text{bleu}} = 1,520$.

Ainsi, pour un même angle incident i_1 , comme n_2 varie en fonction de la longueur d'onde alors l'angle de réfraction i_2 vérifiant la relation $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$ va être différent selon la longueur d'onde : la lumière est dispersée.



Pour un même n_1 , plus n_2 augmente et plus le rayon est dévié, ainsi dans notre cas, le rayon bleu sera donc plus dévié que le rayon rouge.

💡 Remarque

Pour être plus précis, l'indice d'un milieu dépend de la longueur d'onde de la lumière selon la relation empirique de Cauchy :

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \dots$$

avec A , B et C des coefficients positifs, respectivement sans dimension, en m^2 , et en m^4 .

III Image par un miroir plan

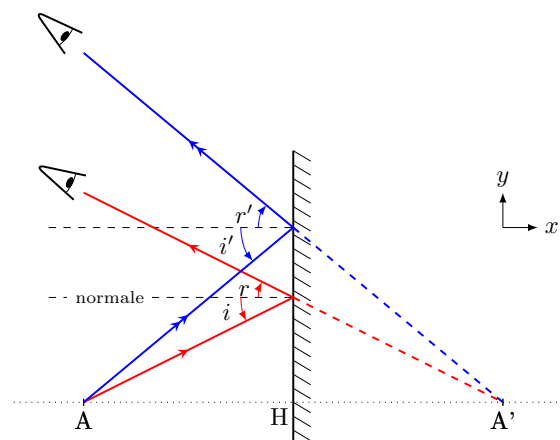
A) Image virtuelle par un miroir plan : construction géométrique

Pour obtenir l'**image ponctuelle** A' d'un point objet A , il suffit de tracer le **symétrique** de A par rapport au miroir plan. Les rayons sont ensuite construits en traçant une droite partant du point A' vers l'œil de l'observateur.

Le segment de droite allant du point A' au miroir correspondant au prolongement du rayon réel, ce dernier est tracé en pointillés. Tout comme pour la **loi de Snell-Descartes pour la réflexion** :

$$i = -r \text{ et } i' = -r'$$

avec i , i' , r et $r' \in [-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]$.



Les rayons réfléchis par le miroir **ne convergent pas** en un point image, seuls leurs prolongements convergent vers un point image A' , on dit alors que cette image est **virtuelle**.

💡 Remarque

On appelle **image virtuelle**, une image qui n'est pas visible sur un écran.

B) Notions de stigmatisme et d'aplanétisme

Définition 5 : Stigmatisme

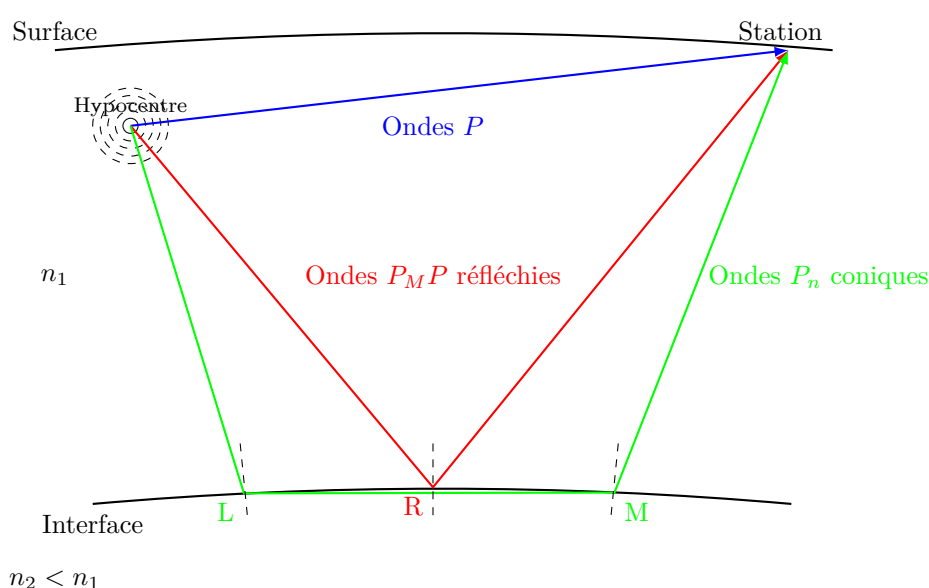
Définition 6 : Aplanétisme

IV Les ondes sismiques et la découverte du Moho

Analyse documentaire :

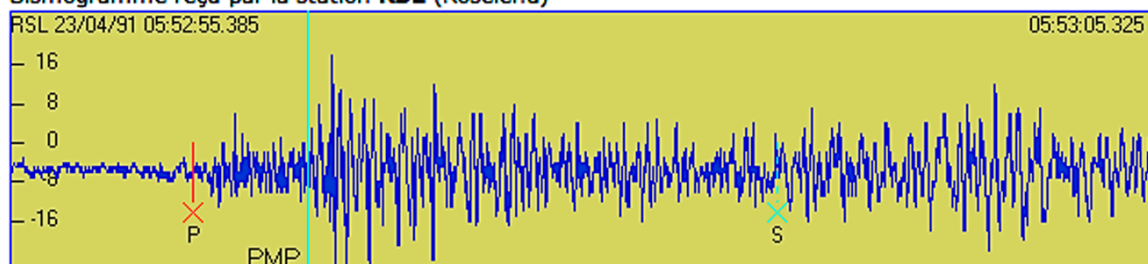
À partir des deux documents suivants et de vos connaissances sur les ondes sismiques, déterminer la profondeur du Moho sous l'hypocentre du séisme.

Document 2 : Les différentes ondes sismiques longitudinales



Document 3 : Sismogramme enregistré à Roselend le 23/04/91

Sismogramme reçu par la station **RSL** (Roselend)



Profondeur focale $h = 10$ km

Arrivée des ondes P à 5 h 53 min 02,005 s

Distance épacentrale $\Delta = 135,8$ km Arrivée des ondes PMP à 5 h 53 min 05,325 s

