



OPTIQUE GEOMETRIQUE

Pascale Diener

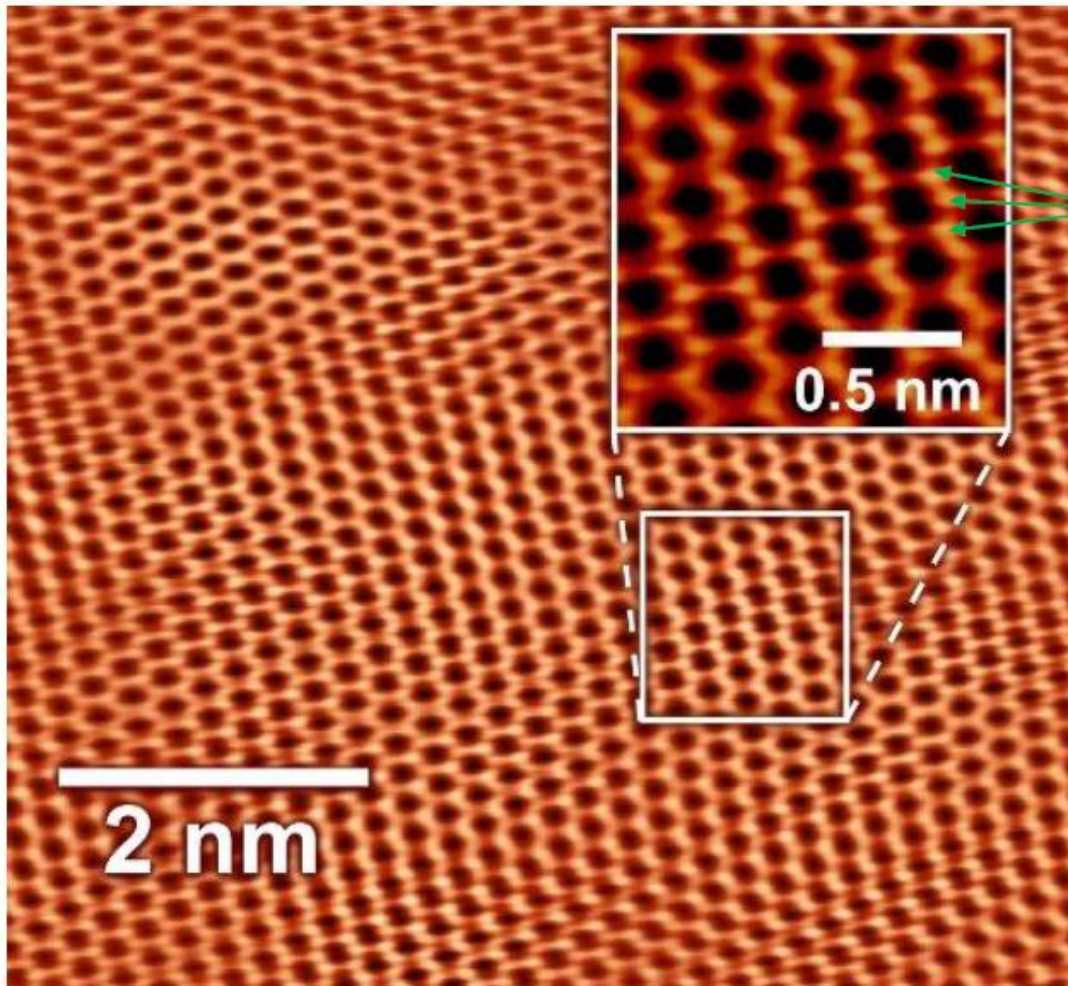
Pascale Diener

Enseignante-chercheuse, département Physique de l'ISEN

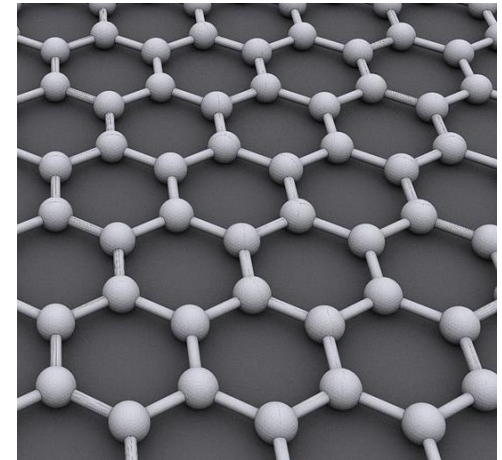
Bureau C663

pascale.diener@yncrea.fr

ISEN
ALL IS DIGITAL!



atomes



Propriétés de nanomatériaux
Microscopie à l'échelle atomique



Optique géométrique (4 semaines)



Electronique analogique (8 semaines)

Mécanique du point (8 semaines)

Introduction à la **Thermodynamique** (4 semaines)

+ TP d'électronique

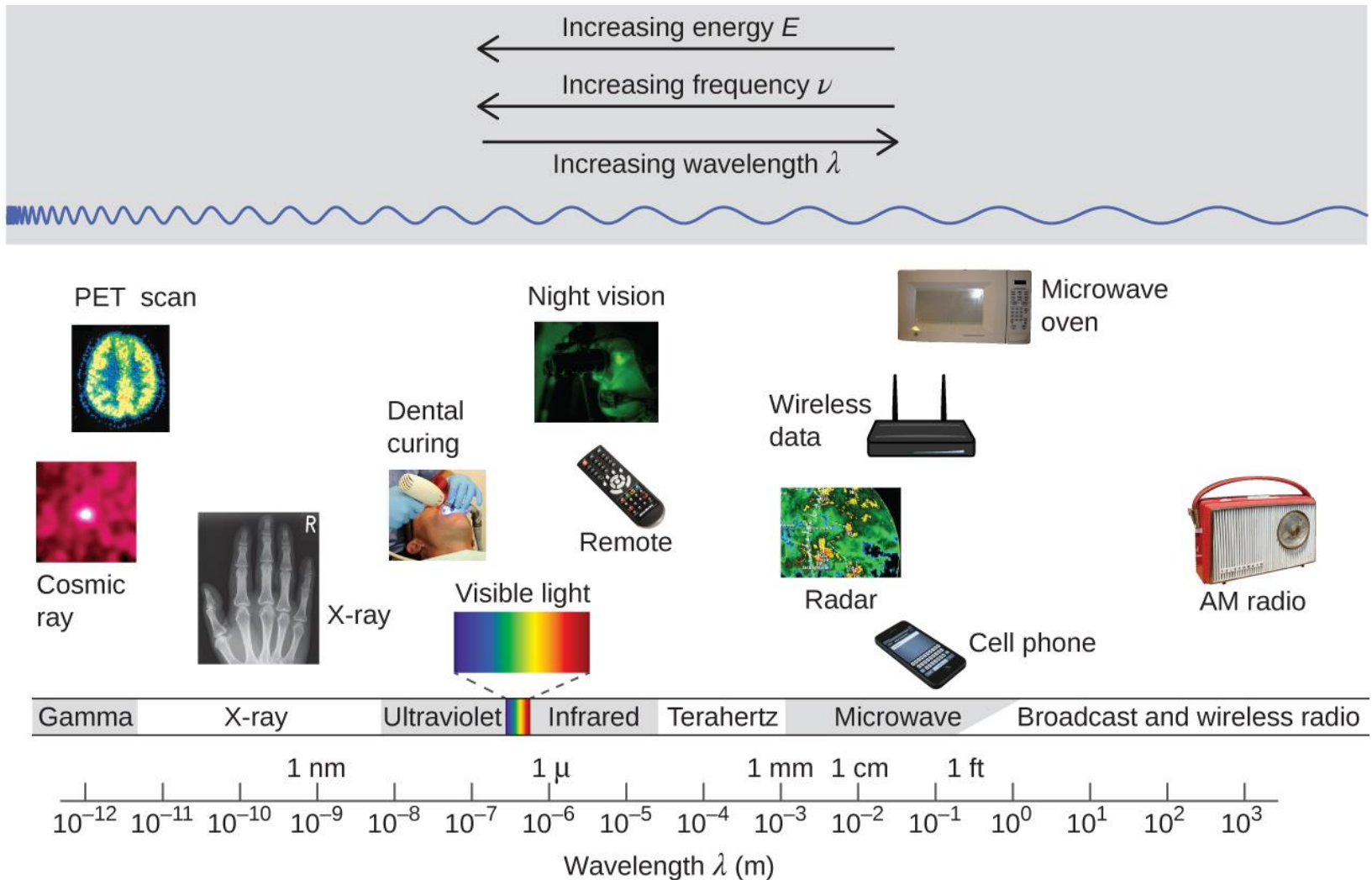
CIR1 : 5 TPs en S1 et 4 TP en S2

CNB1 : 8 TPs en S2



Pourquoi de la Physique en CIR et CNB ?

OBJECTIF : 1. DEVENIR UN INGENIEUR GENERALISTE



Comprendre le matériel (pro) que l'on utilise

Pourquoi de la Physique en CIR et CNB ?

OBJECTIF : 1. DEVENIR UN INGENIEUR GENERALISTE

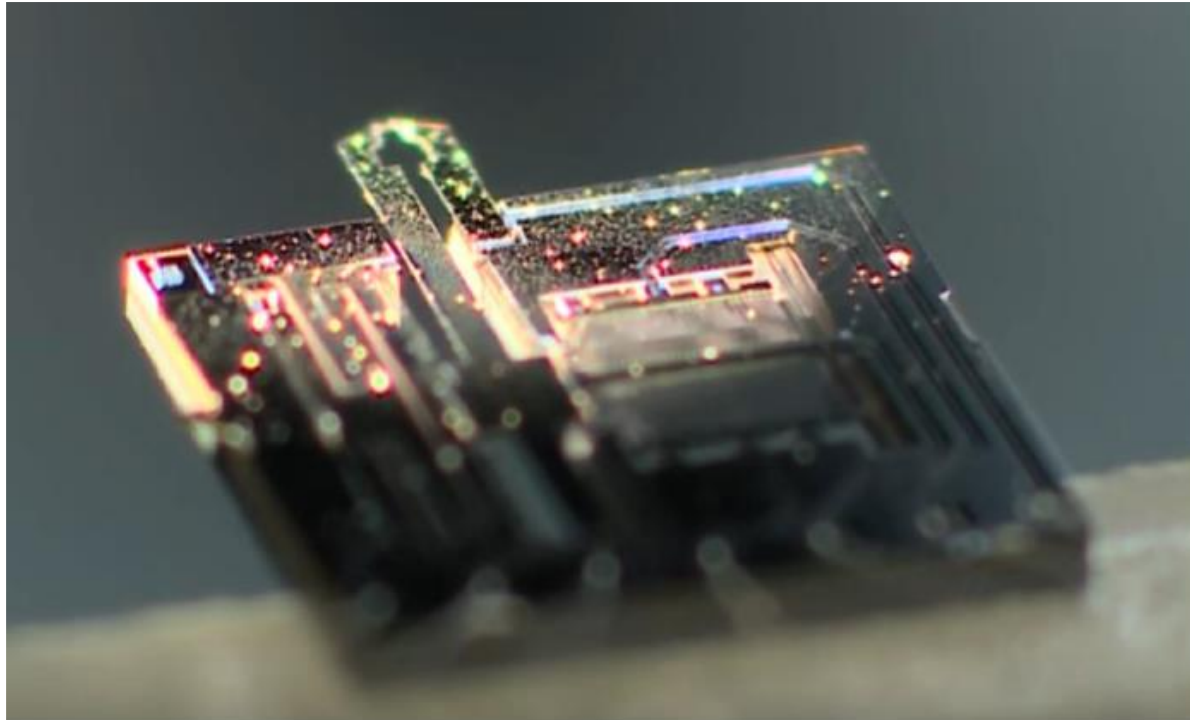
Informatique graphique



Accéder aux métiers à l'interface Informatique-Physique ₅

Pourquoi de la Physique en CIR et CNB ?

OBJECTIF : 1. DEVENIR UN INGENIEUR GENERALISTE



Nanopinces pour la caractérisation de molécules biologiques (C. Tarhan)

Domaine ISEN BIO-NANOTECHS

Accéder aux métiers à l'interface Biologie-Physique

Pourquoi de la Physique en CIR et CNB ?

OBJECTIF : 2. **SE FORMER A LA DEMARCHE SCIENTIFIQUE**

EXTRAIT DU PROGRAMME DE PHYSIQUE PREPA PCI

A travers l'enseignement de la physique et de la chimie, il s'agit de renforcer chez l'étudiant les compétences inhérentes à la pratique de la démarche scientifique et de ses grandes étapes : observer et mesurer, comprendre et modéliser, agir pour créer, pour produire, pour appliquer ces sciences aux réalisations humaines. Ces compétences ne sauraient être opérationnelles sans connaissances, ni savoir-



Questionnaire

Questionnaire

1. NOM et Prénom

2. Pourquoi avoir choisi l'ISEN ?

3. Métier(s) visé(s) ?

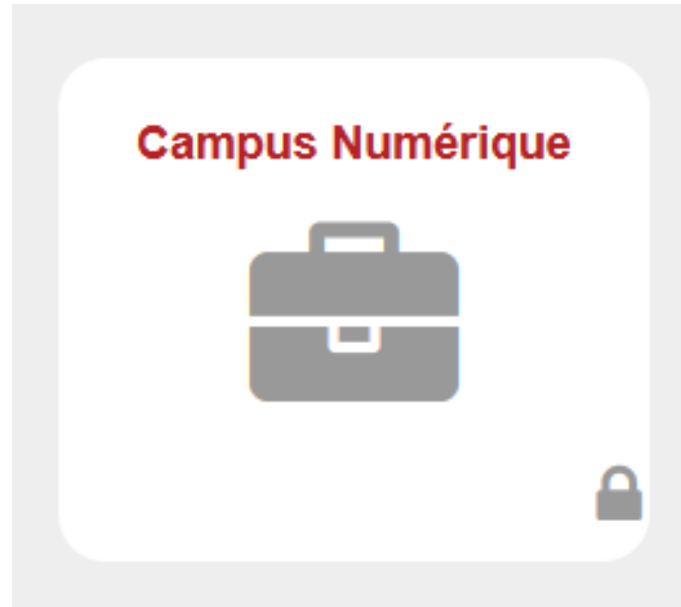
4. Difficultés pratiques à signaler ?

(problèmes de santé, trajet long, logement peu propice à l'étude, petit boulot ou activité chronophage en parallèle,...)

OPTIQUE GEOMETRIQUE

Informations pratiques

Cours et TDs en ligne



campus.isen.fr

L'équipe enseignante

Cours

Pascale Diener

TD

Charles Croenne

Pierre Henne

Arthur Terroir

Ricardo Alcorta

Kekeli N'Konou

Pascale Diener

→ Email : prénom.nom@yncrea.fr

Planning

Lundi

Mardi

Mercredi

Jeudi

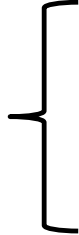
Vendredi

TD
2H

TD
1H

Cours
2H

Modalités d'évaluation

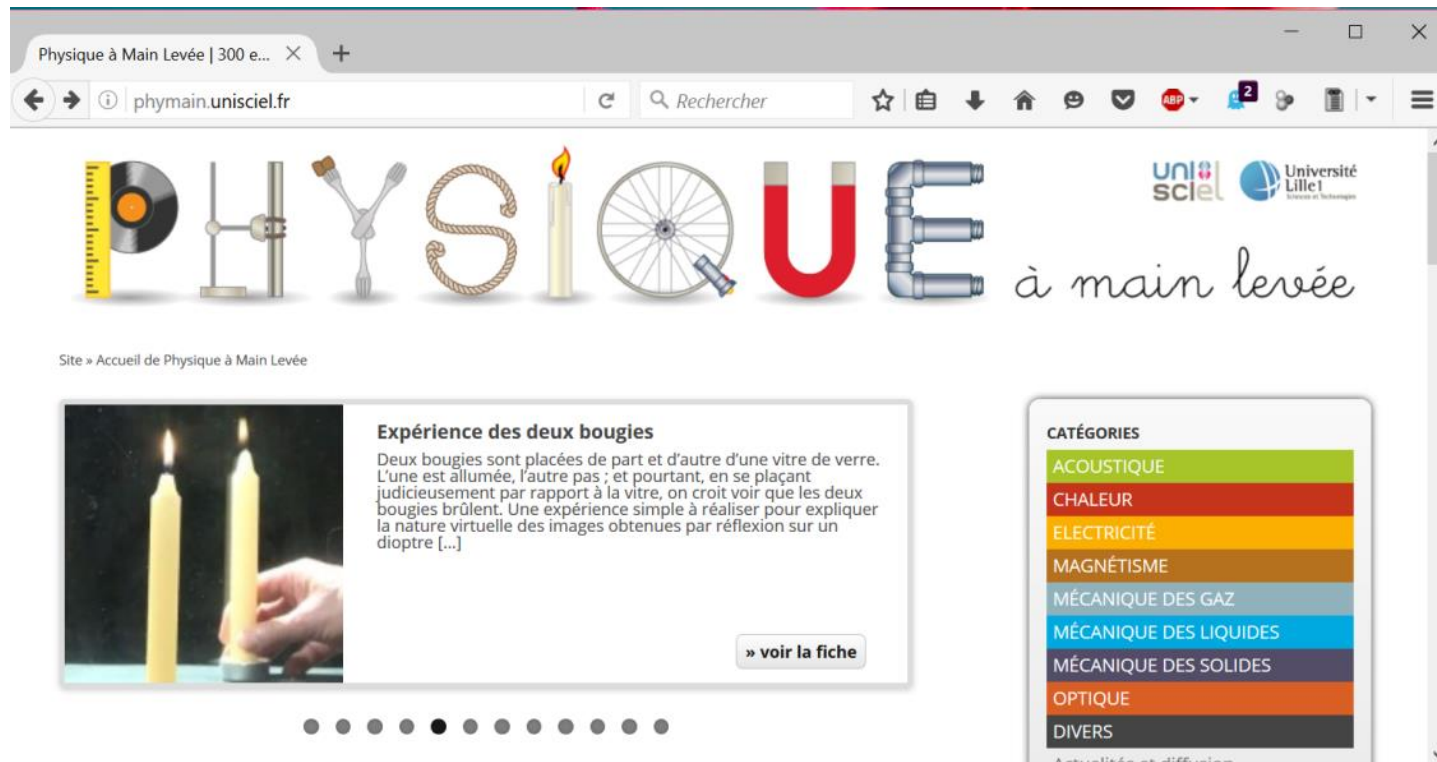
CONTROLE CONTINU	40%	 Quiz 1 En option : Miniprojet
EXAMEN FINAL	60%	

Miniprojets

- Un Miniprojet est une expérience à présenter à l'ensemble de la classe au début du dernier cours, **mercredi 26 septembre 2019**.
- C'est un projet non obligatoire, qui donne lieu à une note supplémentaire de contrôle continu. Chaque étudiant peut présenter un Miniprojet au maximum.
- Les expériences sont à choisir parmi celles proposées sur le site <http://phymain.unisciel.fr/> dans la rubrique OPTIQUE.
- Elles sont préparées et présentées en binôme.

Plus d'infos sur Campus / CIR CNB / Optique géométrique / Miniprojets

Miniprojets



Plus d'infos sur Campus / CIR CNB / Optique géométrique / Miniprojets

OPTIQUE GEOMETRIQUE

Chapitre I. Les bases

Introduction

1. Principes fondamentaux
2. Lois de la réflexion
3. Stigmatisme rigoureux du miroir plan
4. Relation de conjugaison du miroir plan
5. Lois de la réfraction
6. Stigmatisme approché dans le cas du dioptre plan
7. Relation de conjugaison du dioptre plan

Conclusion

INTRODUCTION

OPTIQUE = Etude de la lumière

LUMIERE = rayonnement visible par l'œil



Plusieurs approches théoriques :

- Optique géométrique
- Optique ondulatoire
- Optique quantique

Optique geometrique

Lumiere = Rayons/Faisceaux lumineux

Lois determinées à l'aide de la construction géométrique des rayons

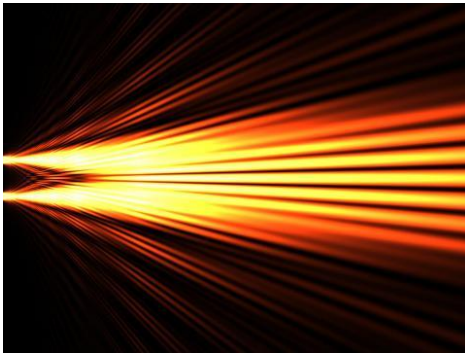


Alhazen
Egypte XI^e siècle



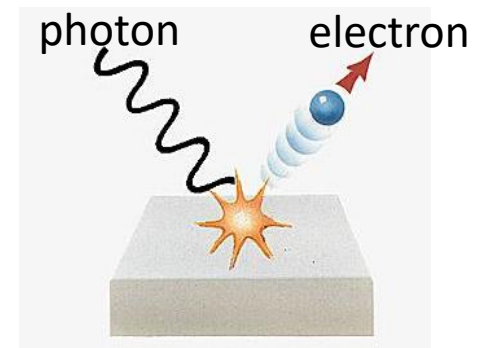
Optique géométrique : lumière = rayons lumineux

Optique ondulatoire : lumière = onde / rayonnement electromagnetique



Optique quantique : lumiere = particule (photon)

Exemple : effet photoelectrique

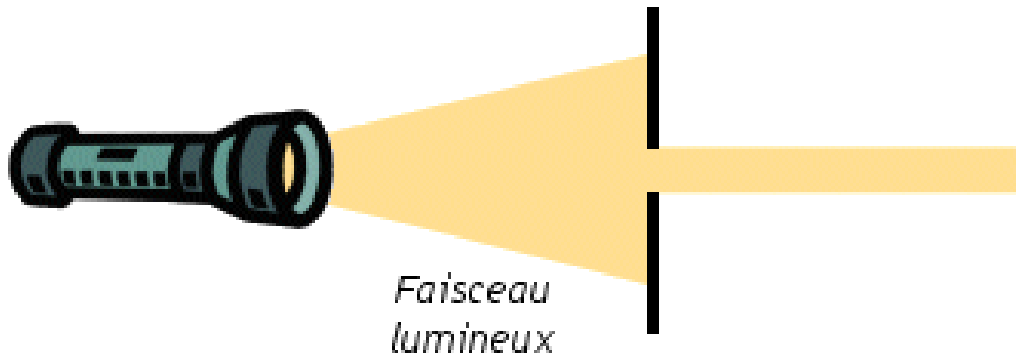


Optique géométrique : applications actuelles



1. PRINCIPES FONDAMENTAUX

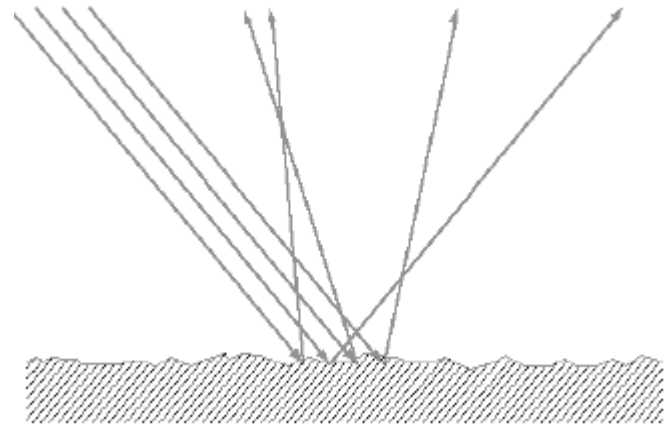
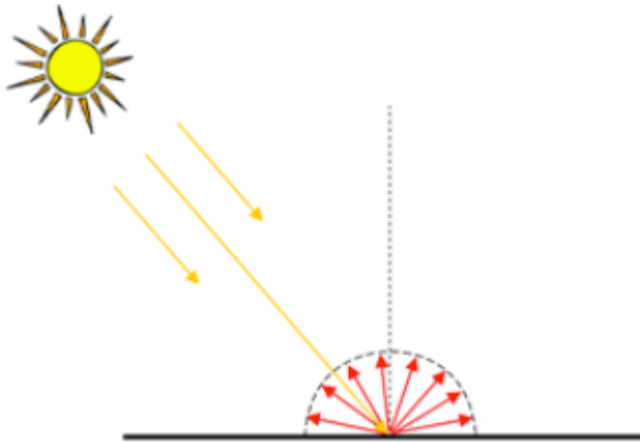
- *Les faisceaux lumineux peuvent être décomposés en une infinité de rayons lumineux que l'on peut étudier de manière indépendante*



- *Les rayons lumineux se propagent en ligne droite dans les milieux homogènes*

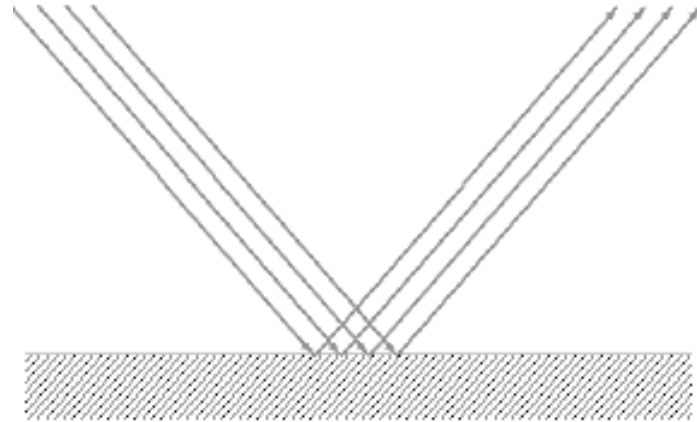
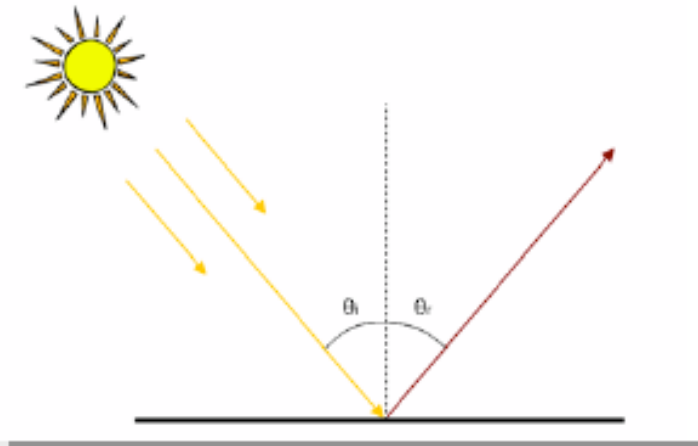
Reflexion spéculaire et réflexion diffuse

Observation de la plupart des objets de la vie courante : DIFFUSION (Réflexion diffuse)

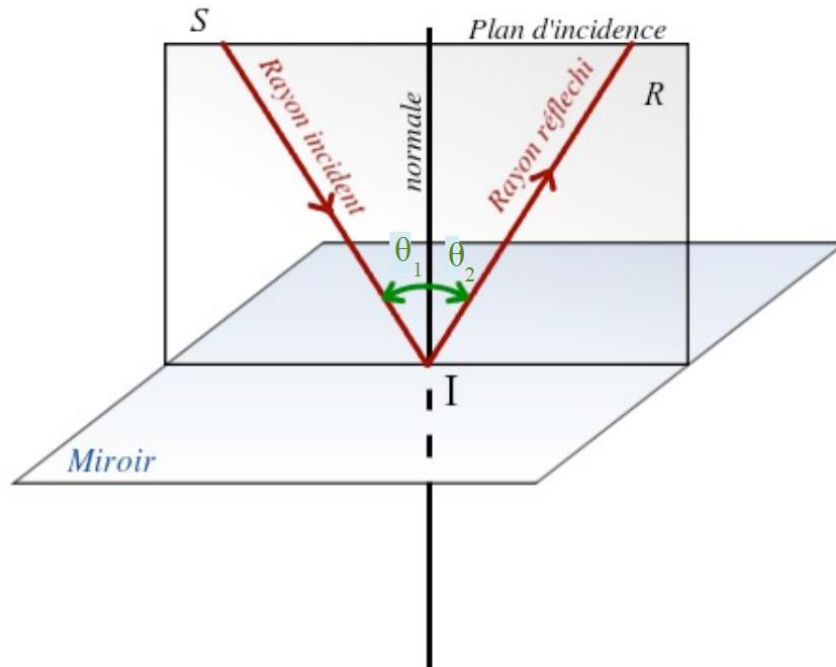


2. REFLEXION

Reflexion (Réflexion spéculaire) :
surface « lisse » (rugosité petite devant la longueur d'onde)
une direction incidente correspond à une seule direction sortante



La normale = droite perpendiculaire au miroir



Le rayon réfléchi est dans le plan défini par la normale et le rayon incident . Ce plan est appelé le plan incident.

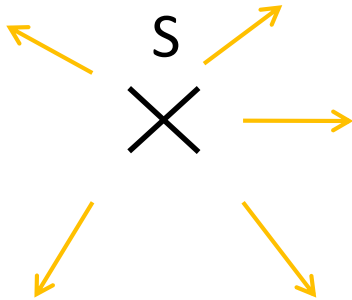
L'angle réfléchi est égal à l'angle incident $\theta_i = \theta_r$

3. STIGMATISME RIGOUREUX DU MIROIR PLAN

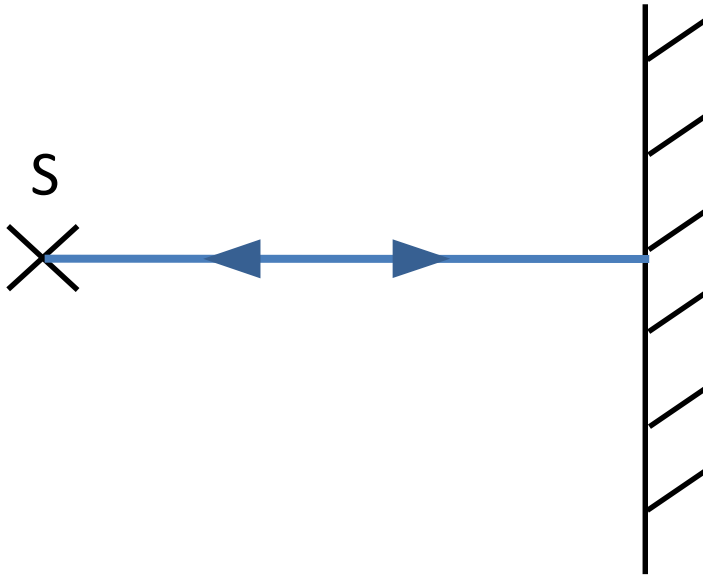
Miroir

Source lumineuse

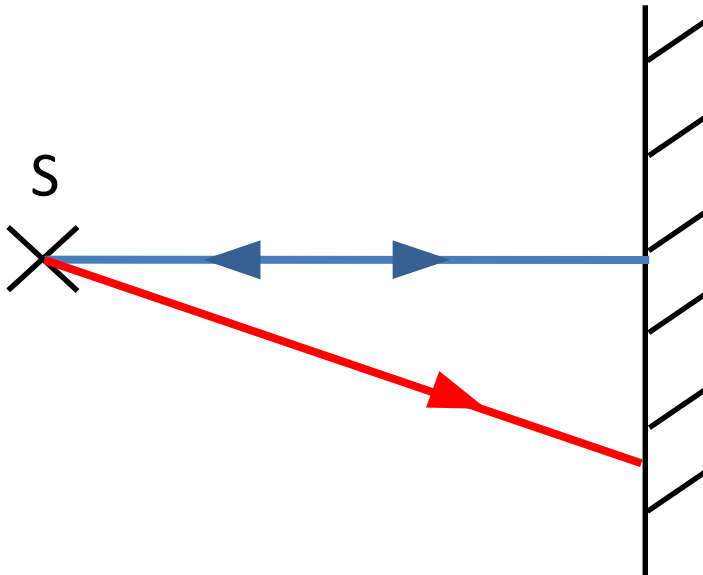
(Ré)émet dans toutes les directions



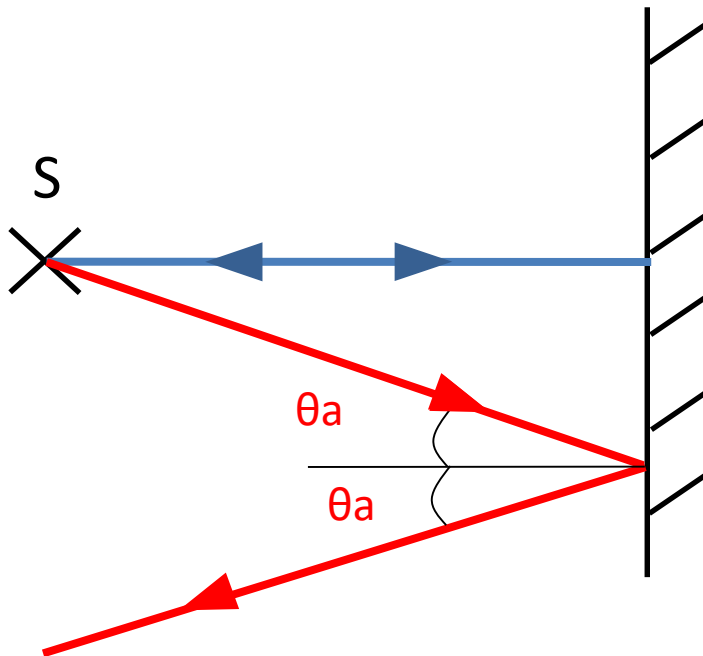
Rayon 1 : rayon perpendiculaire : $\theta_i = 0$ donc $\theta_r = 0$



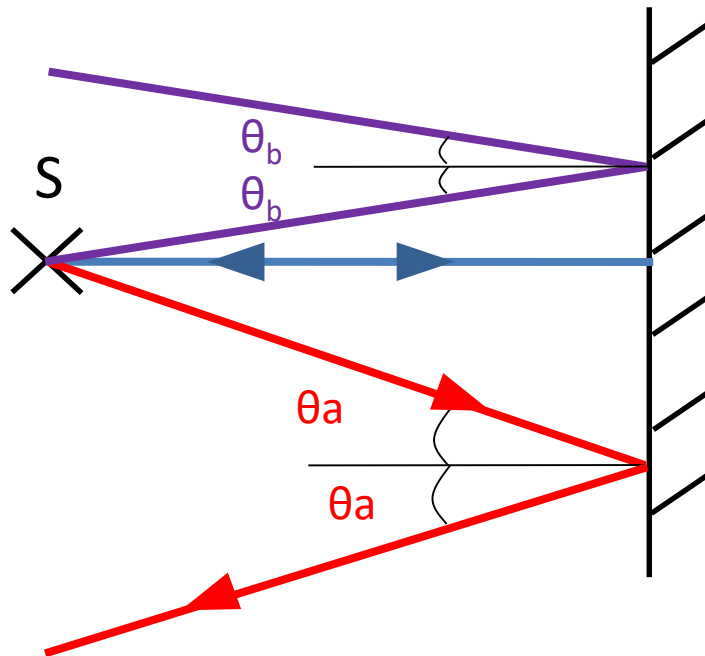
Rayon 2 : rayon quelconque $\theta_i = \theta_a$



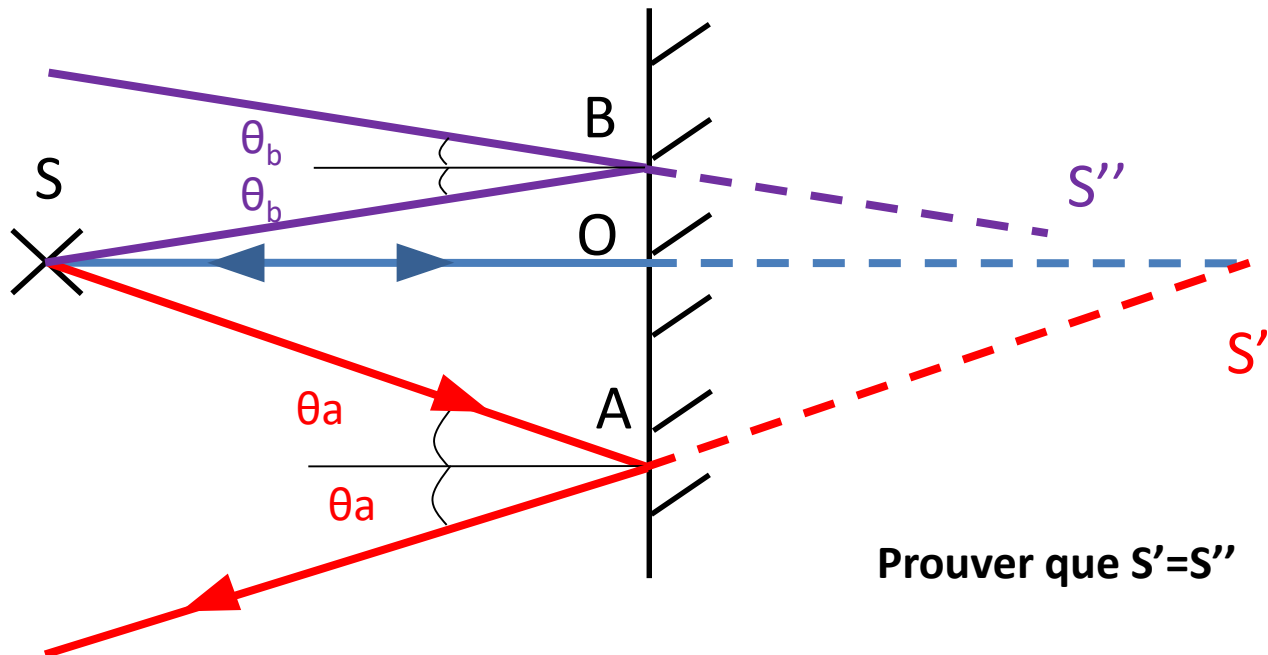
Rayon 2 : rayon quelconque $\theta_i = \theta_a$



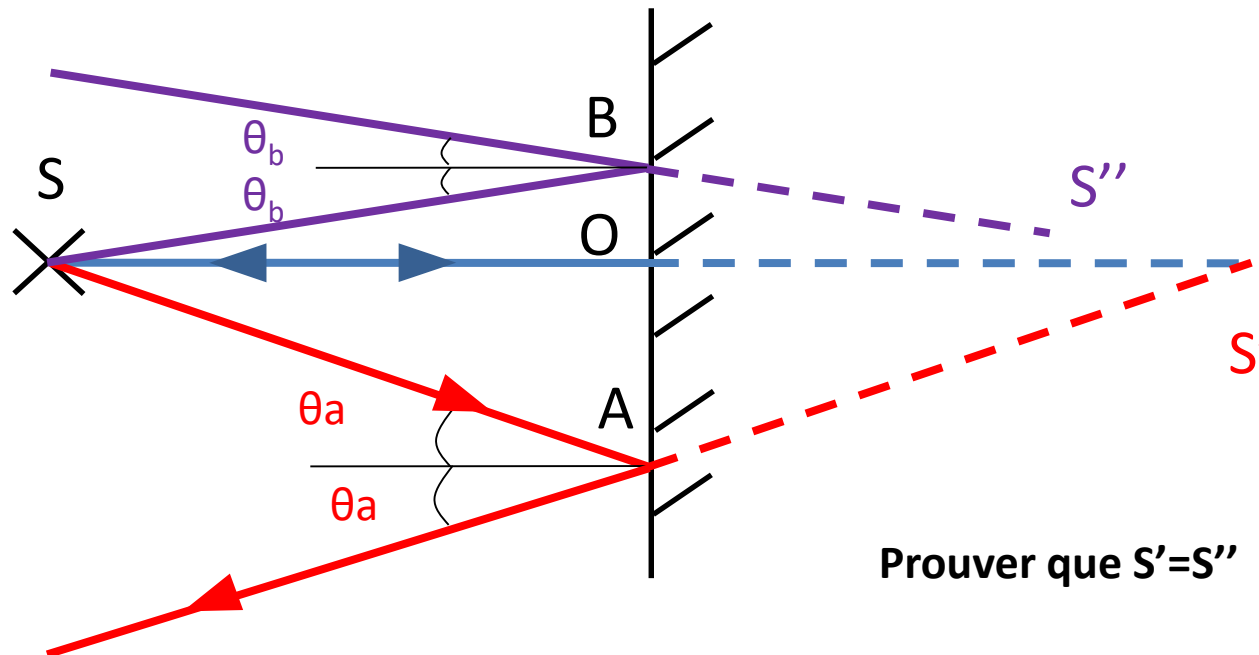
Rayon 3 : autre rayon quelconque $\theta_i = \theta_b$



Rayon 3 : autre rayon quelconque $\theta_i = \theta_b$



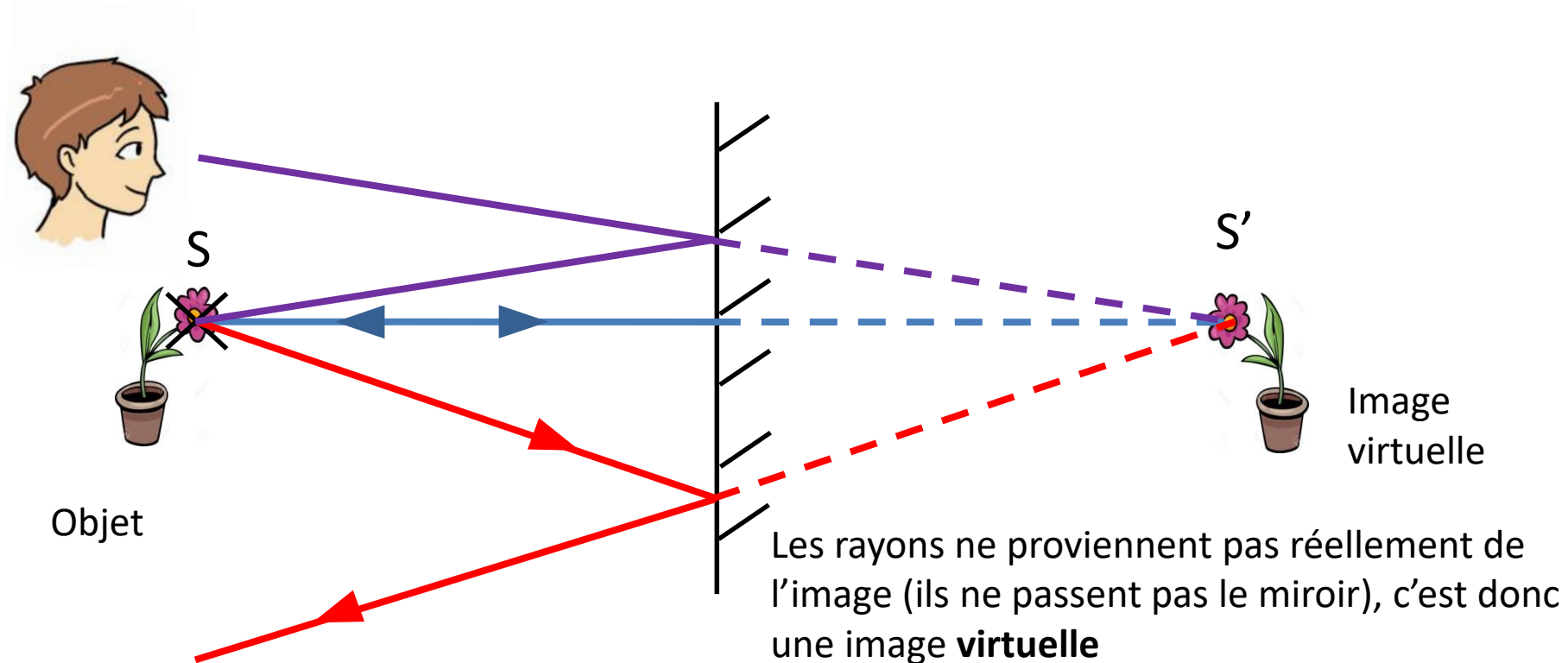
Rayon 3 : autre rayon quelconque $\theta_i = \theta_b$



Prouver que $S'=S''$

Une solution : les triangles SAS' et SBS'' sont isocèles ;
 $OA \perp SS'$ et $OB \perp SS''$ donc (propriétés des triangles isocèles)
 $OS = OS'$ et $OS = OS'' \rightarrow S'=S''$

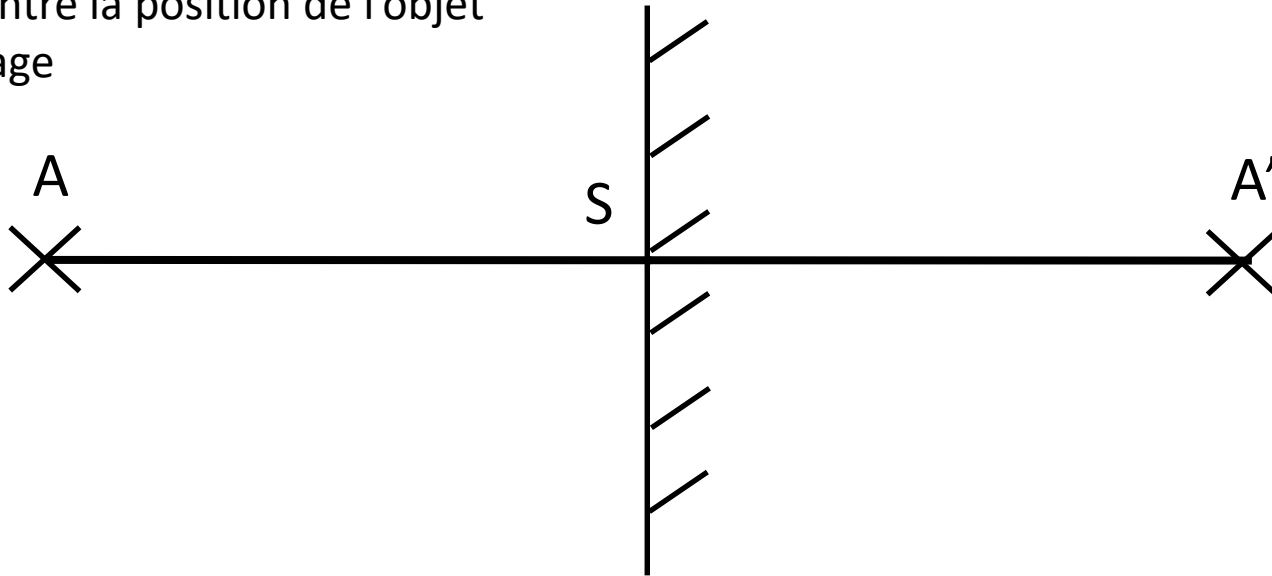
Stigmatisme : tous les rayons provenant d'un point objet donnent lieu à un seul point image ; l'observateur voit une image nette.



Le **stigmatisme rigoureux** s'obtient uniquement avec un miroir plan. Pour les autres systèmes optiques, on verra comment obtenir un **stigmatisme approché**.

4. RELATION DE CONJUGAISON DU MIROIR PLAN

Relation entre la position de l'objet
et de l'image

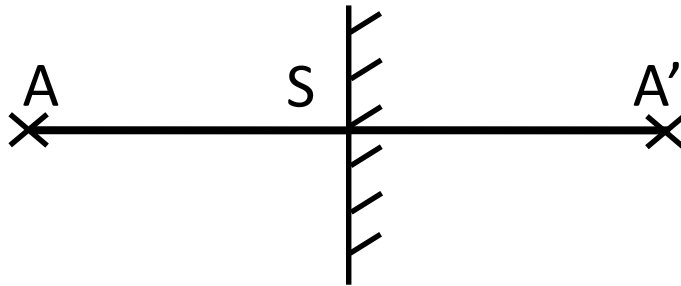


On vient de voir que $SA' = SA$

Il faut encore indiquer de quel côté se forme l'image : notation de **distance algébrique**

$$\overline{SA} = - \overline{SA'}$$

Relation de conjugaison du
miroir plan



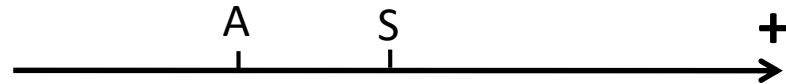
$$\overline{SA} = -\overline{SA'}$$

Rappel sur les distances algébriques

-On choisit un axe positif



-Si on a deux points A et S tels que :



$$\overline{SA} = -AS$$

\overline{SA} est négatif

AS est la distance classique, toujours positive

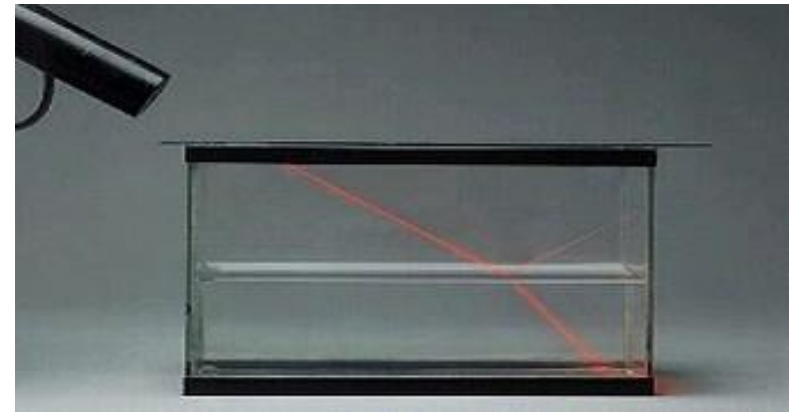
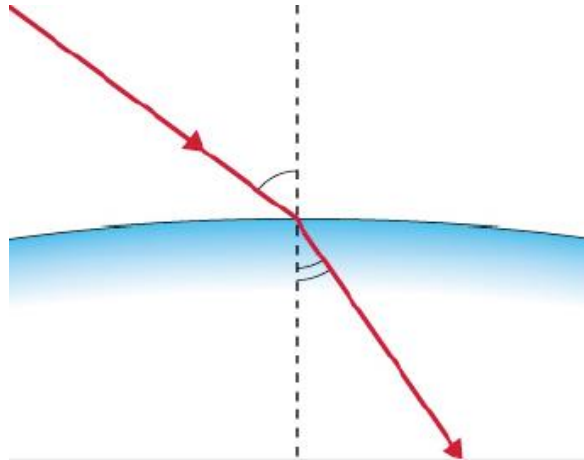
Test : est-ce correct d'écrire $\overline{SA} = -SA$?

Et $\overline{AS} = AS$?

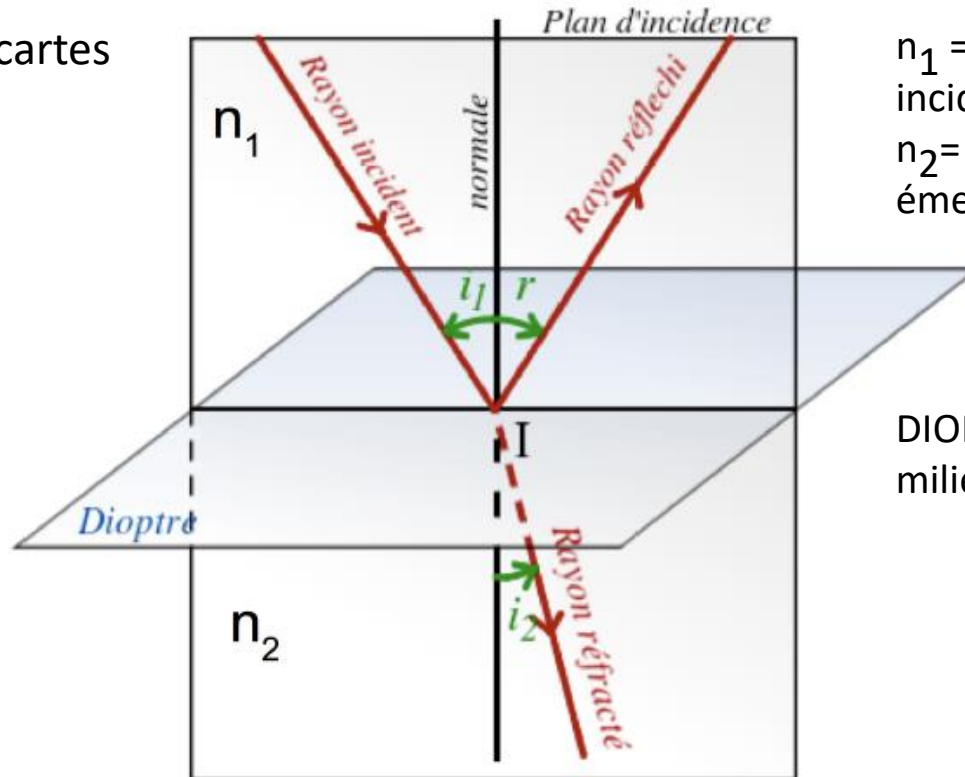
5. LOIS DE LA REFRACTION

Définition

Réfraction : changement de la direction de propagation de la lumière passant d'un milieu homogène à un autre



Lois de Snell Descartes



n_1 = indice de réfraction du milieu incident

n_2 = indice de réfraction du milieu émergent

DIOPTRE = interface entre 2 milieux homogènes

Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence

L'angle du rayon réfracté i_2 vérifie : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

L'indice de réfraction

**L'indice de réfraction est
caractéristique d'un milieu**

Indice de réfraction de référence, dans le vide, $n=1$.

Dans le cadre de ce cours, $n_{\text{air}} = n_{\text{vide}} = 1$.

$$n_{\text{eau}} \approx 1,33$$

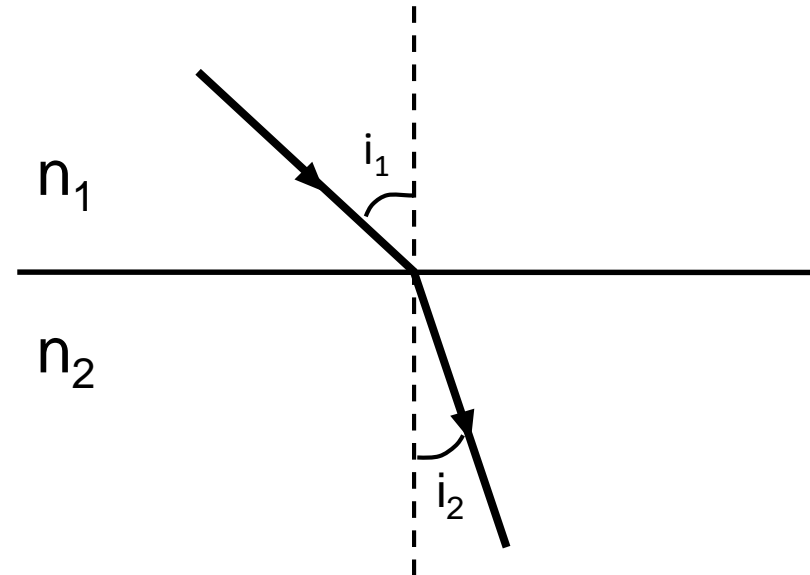
$$n_{\text{verre}} \approx 1,5$$

D'ordinaire n est compris entre 1 et 2

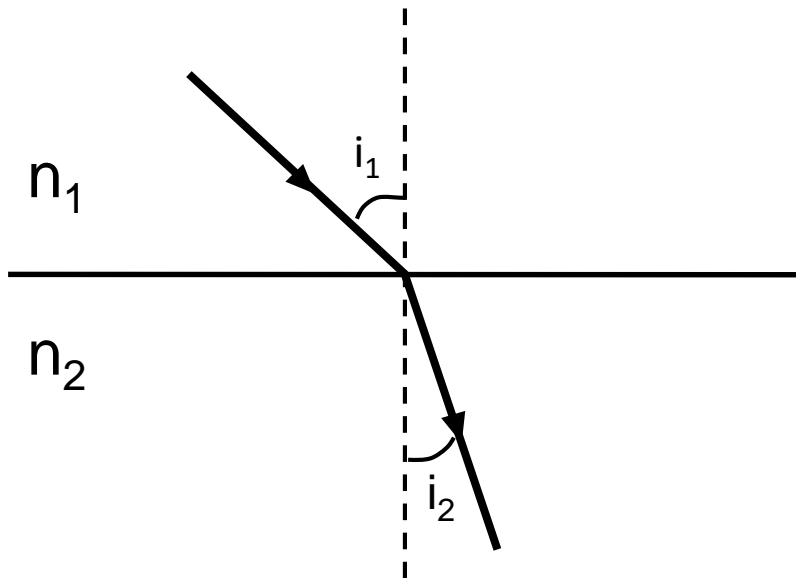
$$n = c / v$$

c : vitesse de la lumière dans le vide

v : vitesse de la lumière dans le milieu

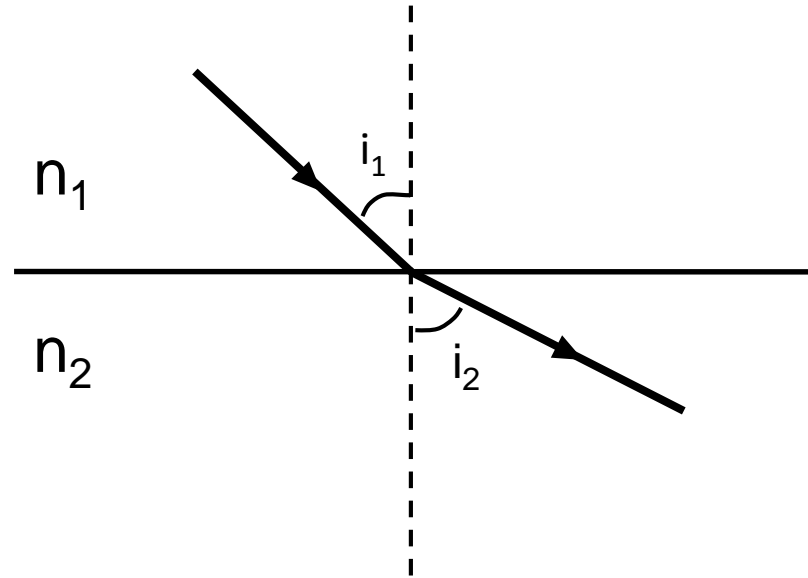


Cas 1



$n_1 < n_2$

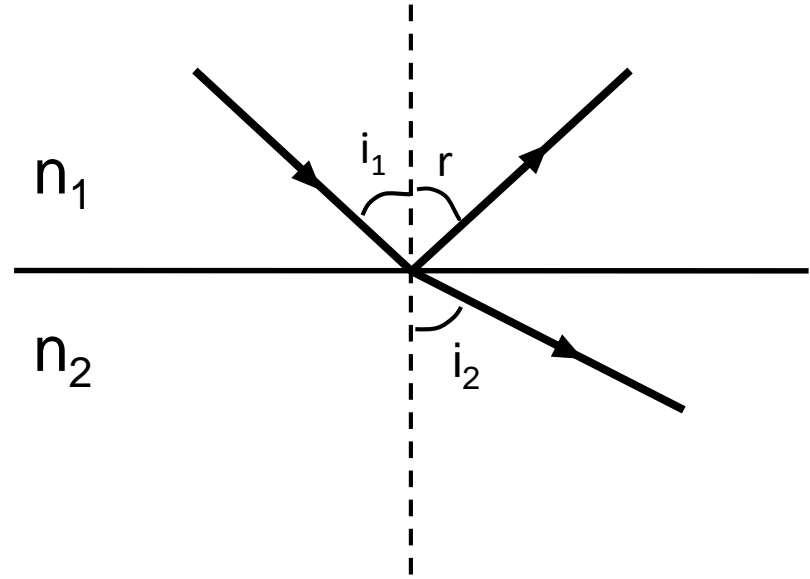
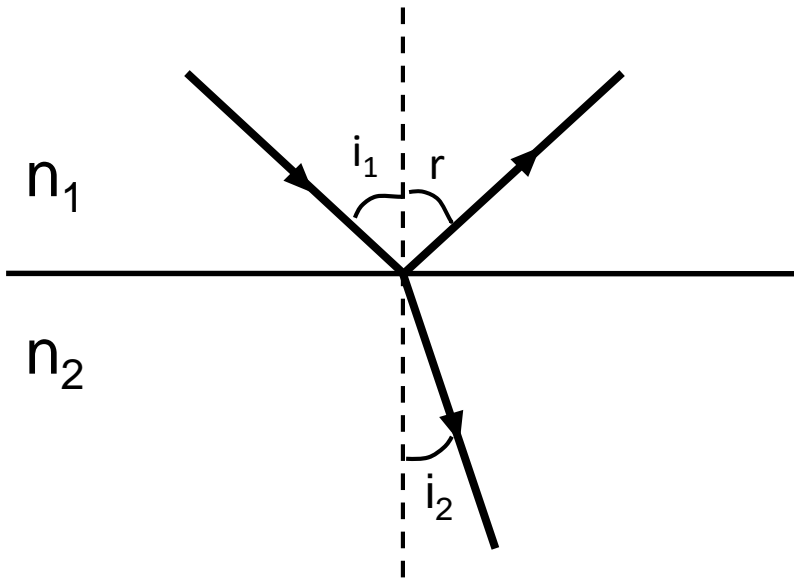
Cas 2



$n_1 > n_2$

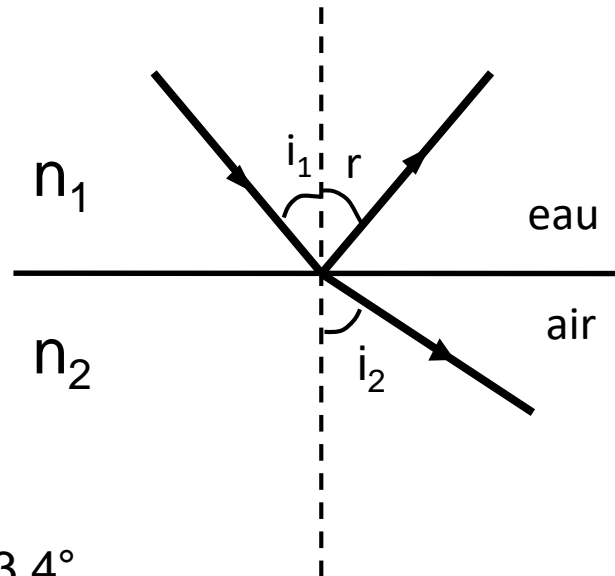
En effet : $i_1 > i_2 \rightarrow \sin i_1 > \sin i_2$ et $n_2 = n_1 \sin i_1 / \sin i_2$

Remarque : il y a toujours un rayon réfléchi



APPLICATION

Calculer l'angle de réflexion et l'angle de réfraction dans le cas suivant, avec $n_1 = 1,33$ et $n_2 = 1$ pour a) $i_1 = 10^\circ$; b) $i_1 = 48^\circ$; c) $i_1 = 50^\circ$.



Si $i_1 = 10^\circ$, alors $i_2 = 13,4^\circ$

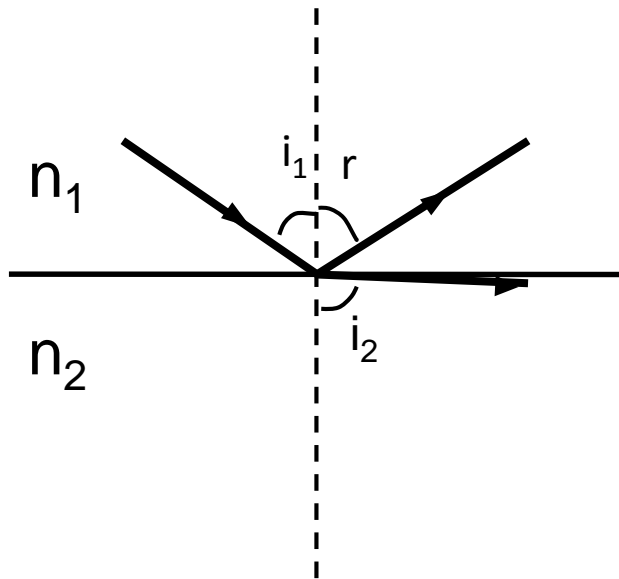
Si $i_1 = 48^\circ$, alors $i_2 = 81,3^\circ$

Si $i_1 = 50^\circ$, alors $i_2 = \text{« Error »}$

Car on cherche un angle i_2 pour lequel $\sin x > 1$, ça n'existe pas !

Pas de rayon réfracté : **réflexion totale**

Cas particulier : réflexion totale



Angle incident limite pour $i_2=90^\circ$

$$\sin i_2=1$$

$$\sin i_1 = n_2/n_1$$

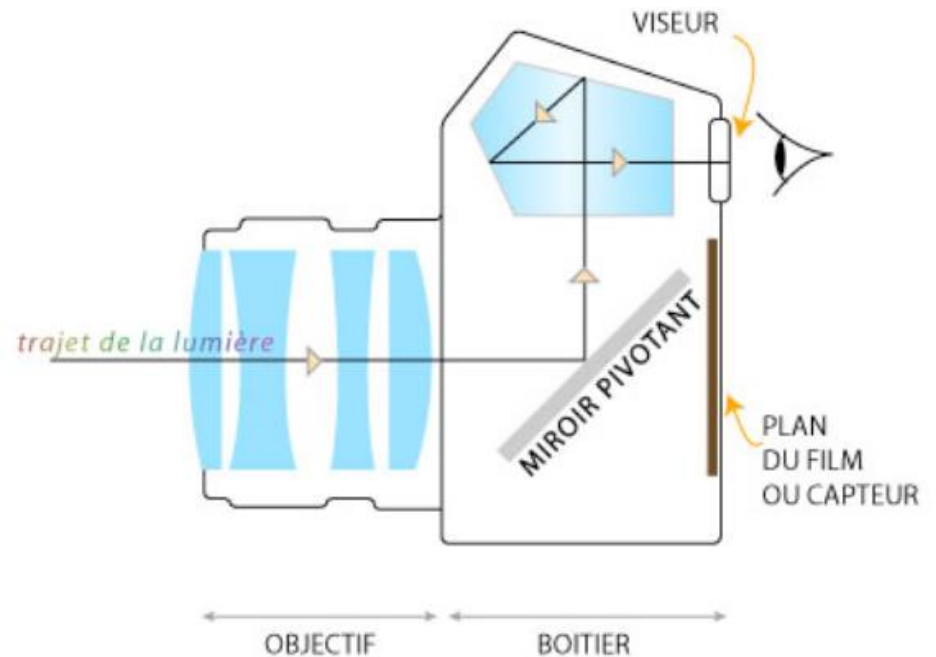
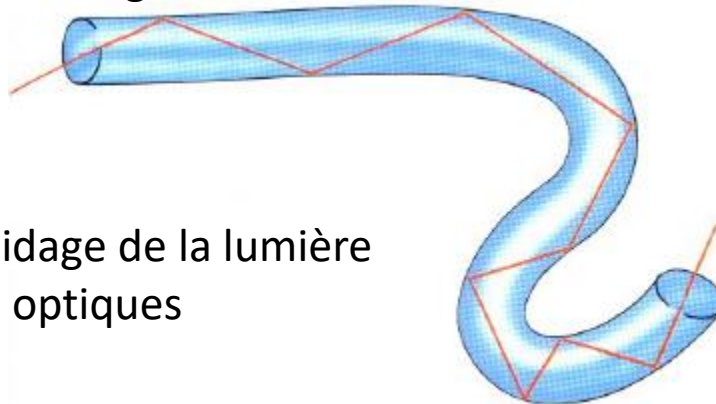
$i_1 = 48,8^\circ$ pour l'interface eau air

Applications



Dans l'eau la surface peut se comporter comme un miroir lorsque l'angle d'incidence est rasant

Principe de guidage de la lumière dans les fibres optiques

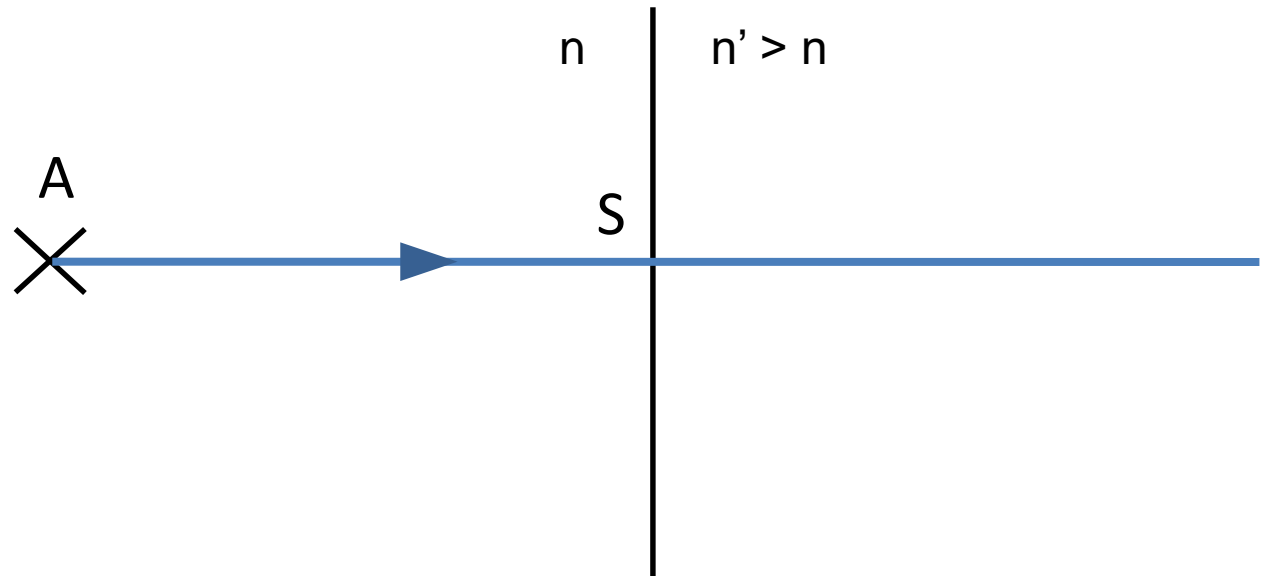


Dans les appareils photos reflex des composants en verre dévient la lumière

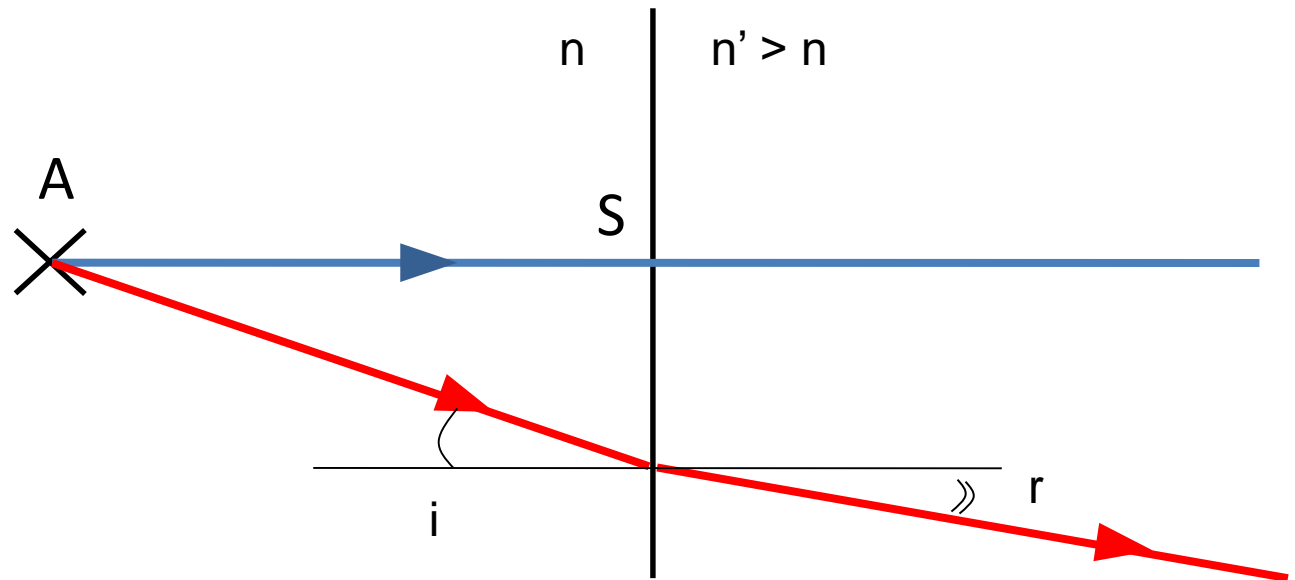


6. STIGMATISME APPROCHE DU DIOPTRE PLAN

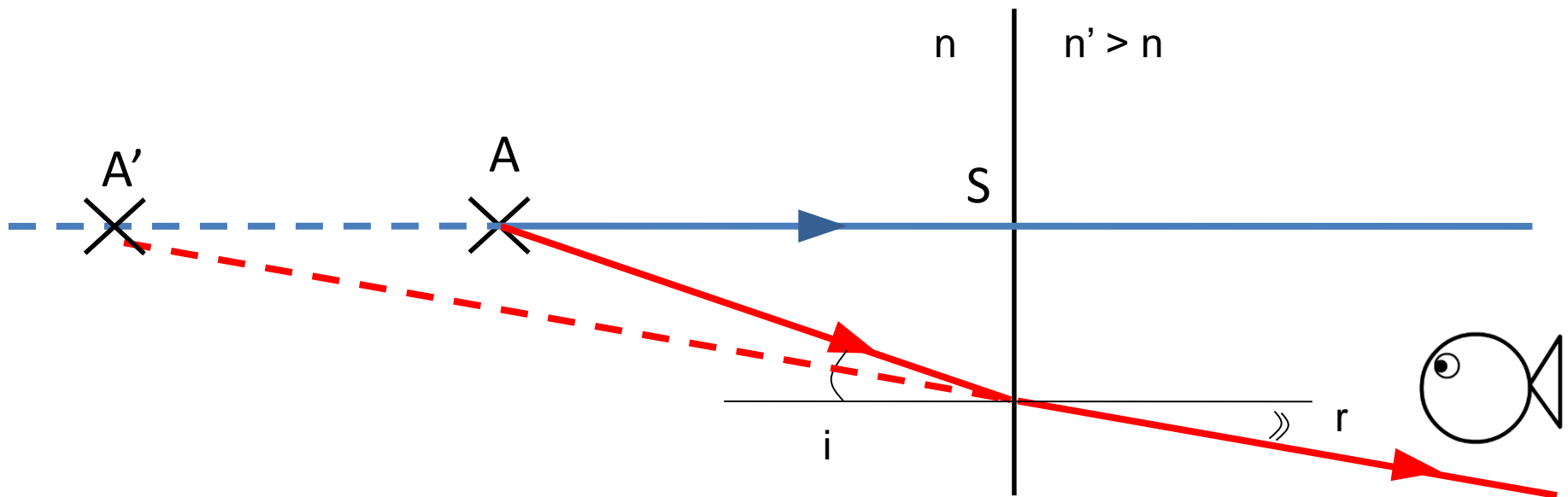
Rayon 1 : rayon perpendiculaire : $i_1 = 0$ donc $i_2 = \sin i_1 n_1 / n_2 = 0$



Rayon 2 : rayon quelconque d'angle d'incidence i et de réfraction r

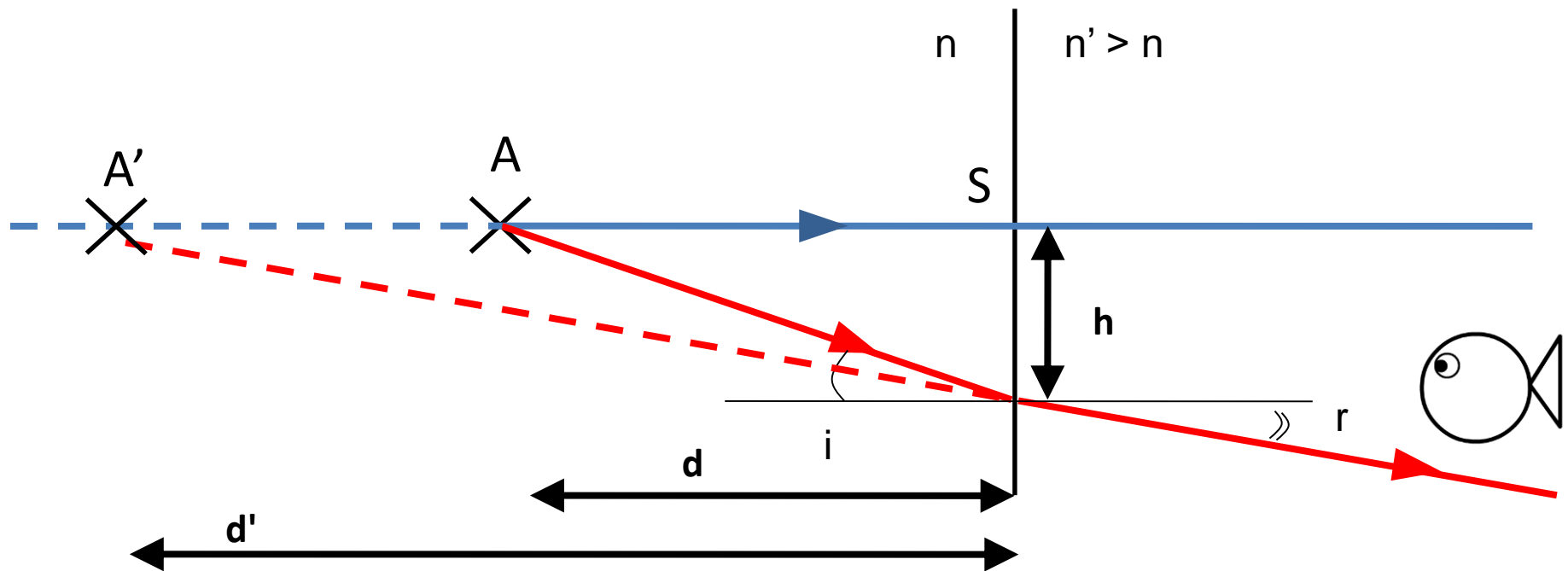


Objectif : trouver les propriétés de l'image de l'objet à travers le dioptre
Autrement dit : que voit le poisson ?



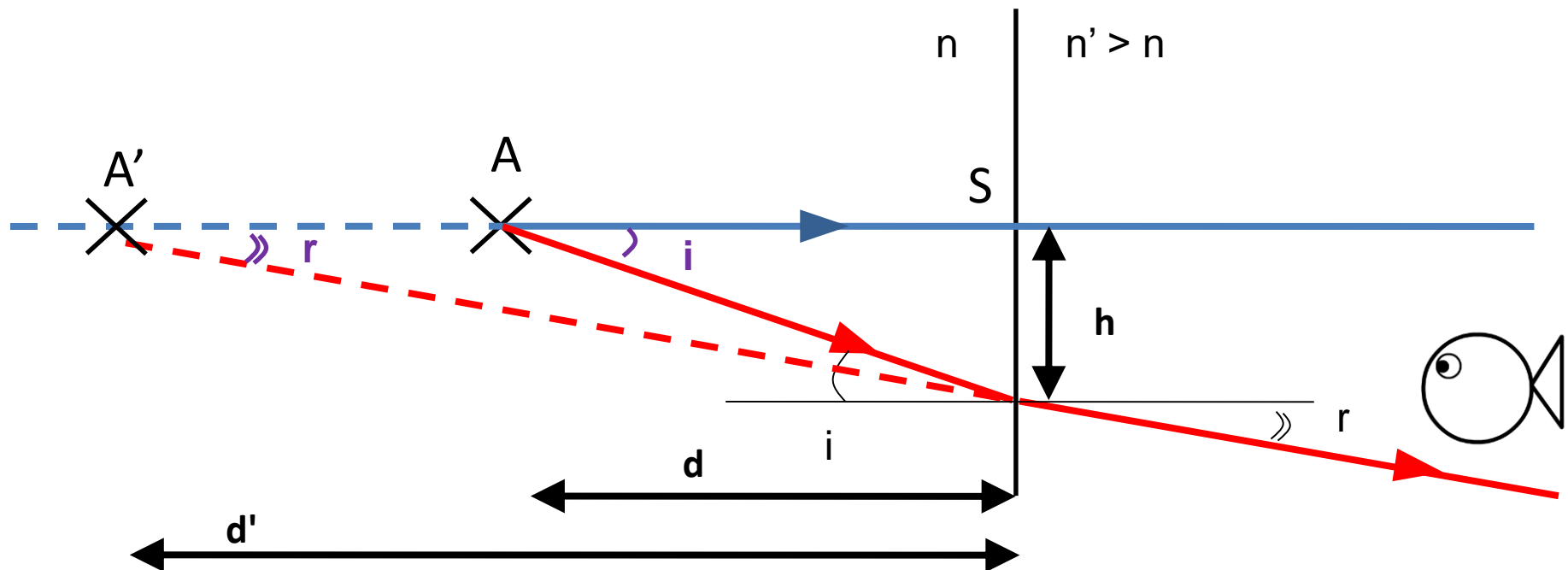
Où se croisent les rayons réfractés ? A'

Objectif : trouver les propriétés de l'image de l'objet à travers le dioptre



Trouver une relation entre h et d en utilisant les angles
une relation entre h et d'

Objectif : trouver les propriétés de l'image de l'objet à travers le dioptre



$$h = d \tan i$$

$$h = d' \tan r$$

On cherche une relation entre d et d'

On sait aussi que

$$n \sin i = n' \sin r$$

$$\left\{ \begin{array}{l} n \sin i = n' \sin r \text{ (1)} \\ h = d \tan i \text{ (2)} \\ h = d' \tan r \text{ (3)} \end{array} \right.$$

Donc $d' \tan r = d \tan i$ qu'on réécrit $d' = d \frac{\sin i}{\cos i} \frac{\cos r}{\sin r}$ (4)

On veut réécrire (4) en faisant disparaître l'angle r en utilisant (1)

D'après (1), $\sin r = \frac{n}{n'} \sin i$

Donc (4) devient $d' = d \frac{\sin i}{\cos i} \frac{n'}{n} \frac{\cos r}{\sin i} = d \frac{n'}{n} \frac{\cos r}{\cos i}$


On utilise la relation trigonométrique : $\cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1$ (5)

$$\cos r = \sqrt{1 - \sin^2 r}$$

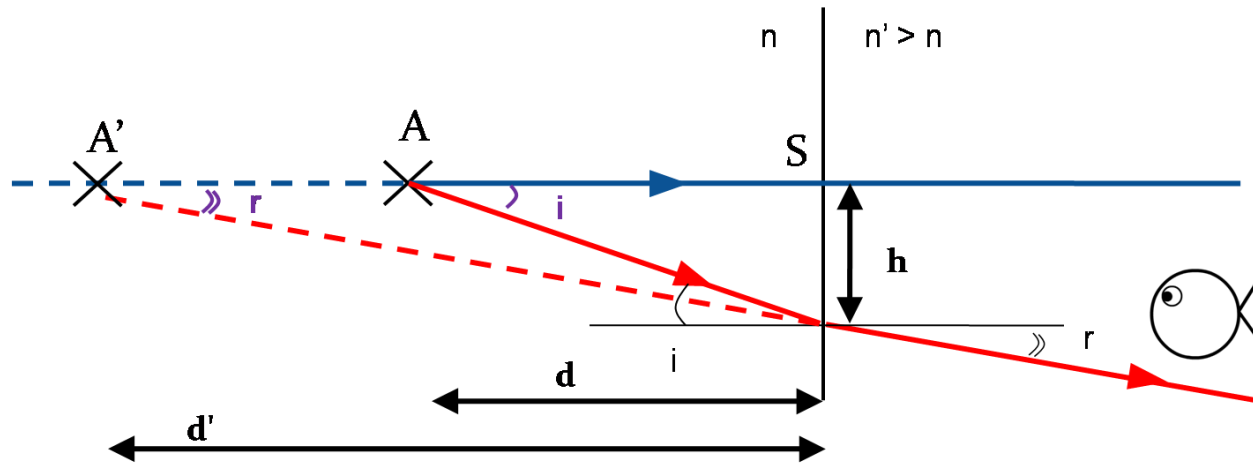
En utilisant (1) on obtient

$$\cos r = \sqrt{1 - \frac{n^2}{n'^2} \sin^2 i}$$

La relation (4) devient alors (en réécrivant aussi $\cos i$ avec (5)):



$$d' = \frac{n'}{n} d \frac{\sqrt{1 - \frac{n^2}{n'^2} \sin^2 i}}{\sqrt{1 - \sin^2 i}}$$



$$d' = \frac{n'}{n} d \frac{\sqrt{1 - \frac{n^2}{n'^2} \sin^2 i}}{\sqrt{1 - \sin^2 i}}$$

Contrairement au miroir plan d' dépend de l'angle i !
 A' change pour chaque rayon émis par A
 L'image (A') n'est pas unique = image floue, les dioptries ne sont pas stigmatiques... Et pourtant

Stigmatisme approché aux petits angles

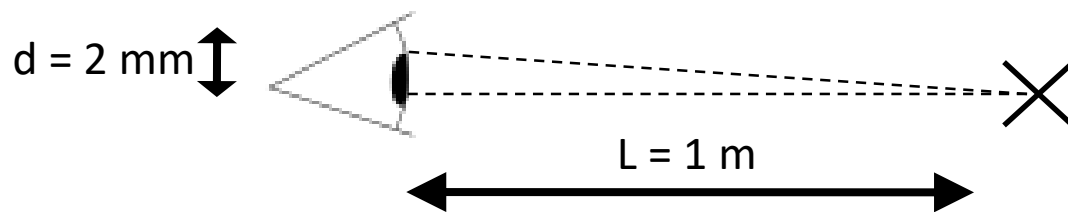
Stigmatisme approché aux petits angles :

$$d' = \frac{n'}{n} d \frac{\sqrt{1 - \frac{n^2}{n'^2} \sin^2 i}}{\sqrt{1 - \sin^2 i}} \quad \xrightarrow[\sin^2 i \ll 1]{\text{Quand } i \text{ petit}} \quad d' \approx \frac{n'}{n} d$$

→ d' dépend très peu de i aux petits angles. On peut considérer que chaque point objet donne lieu à un point image unique

Les conditions de stigmatisme approché sont validées dans de très nombreux cas

Exemple : un observateur regarde un objet à 1 mètre. L'angle est limité par la pupille

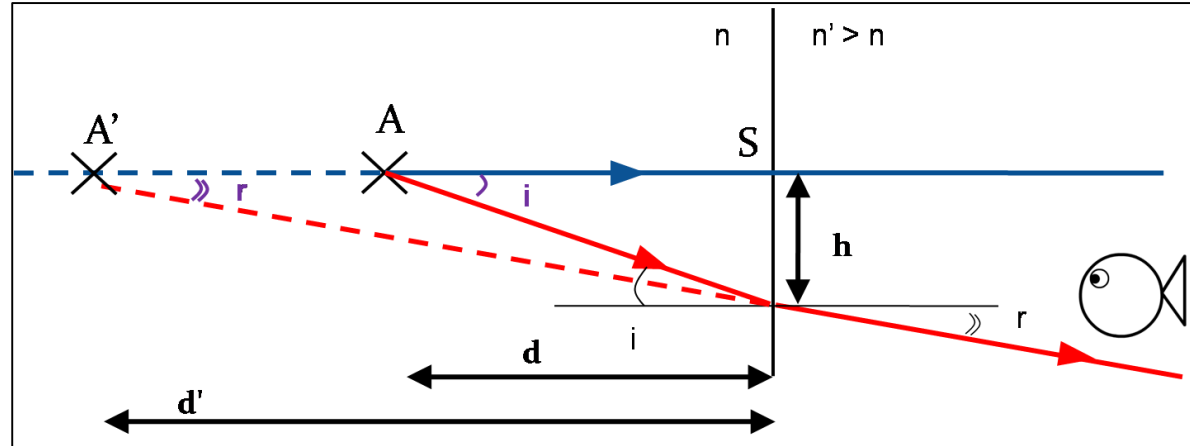


$$\tan i = L / d \rightarrow i = 0,002$$

$$\sin^2 i = 0,000004$$

7. RELATION DE CONJUGAISON DU DIOPTRE PLAN

$$d' \approx \frac{n'}{n} d$$



A et A' sont du même côté du dioptre

$$\overline{SA'} = \frac{n'}{n} \overline{SA}$$

Relation de conjugaison du dioptre plan

Remarque 1

Quand les angles sont suffisamment petits, $n \sin i = n' \sin r$ devient

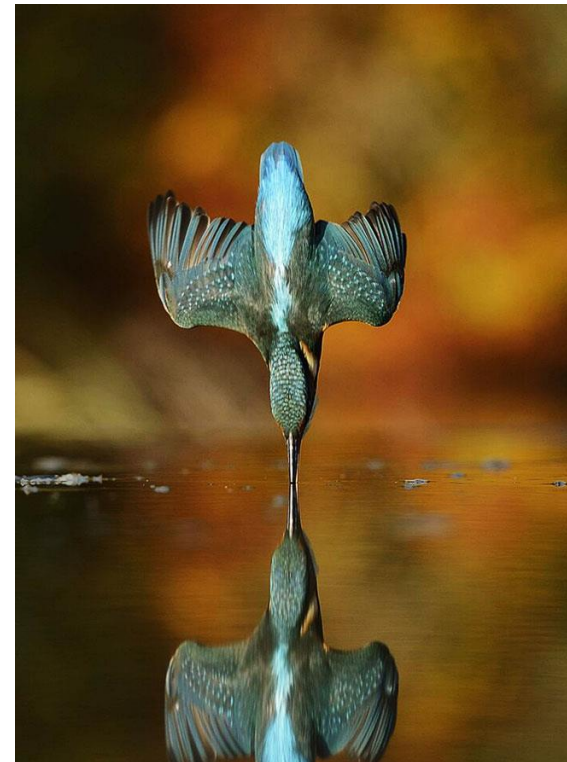
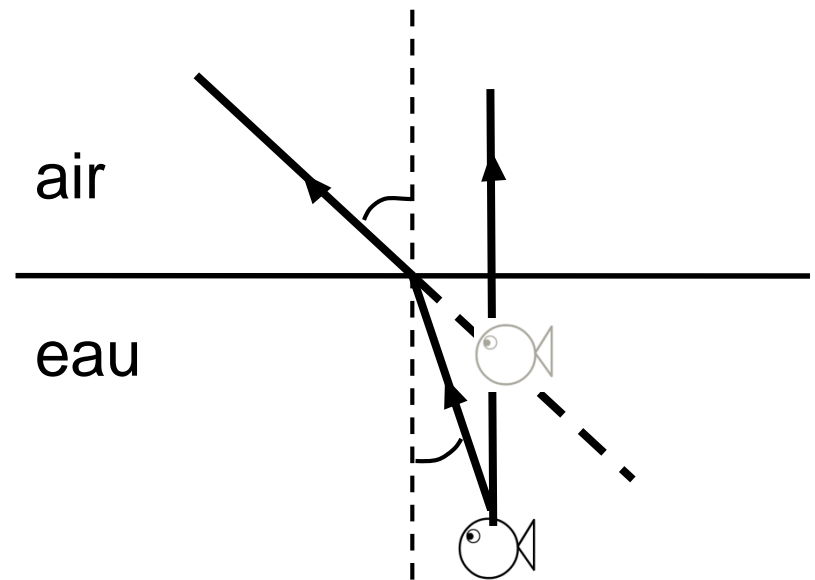
$$n i \approx n' r \quad \text{Loi de Kepler}$$

Remarque 2

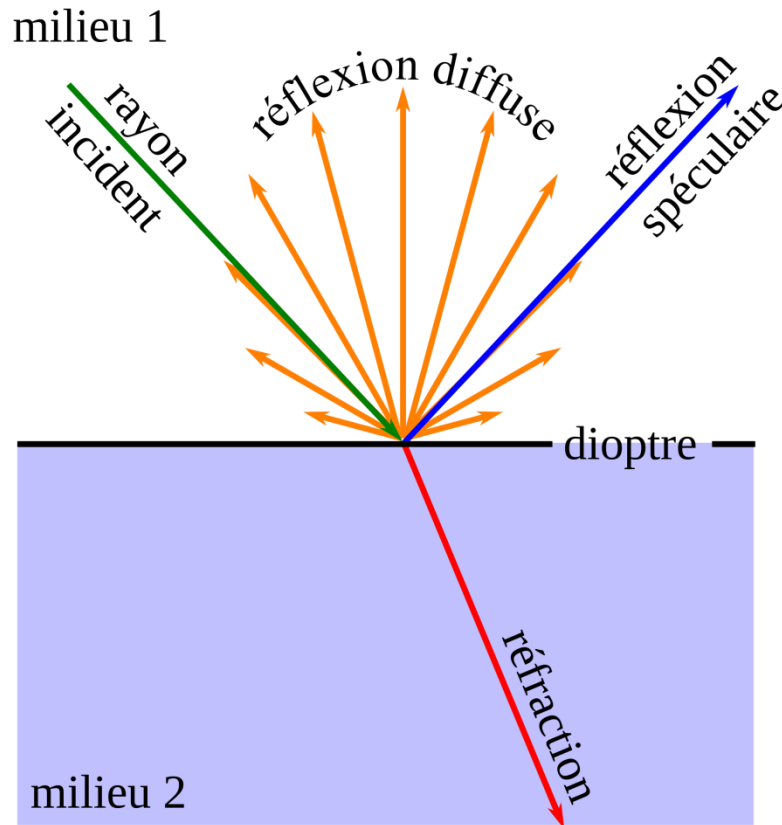
$$\overline{SA'} = \frac{n'}{n} \overline{SA}$$

Mais comment font les oiseaux pour pêcher ?
Le poisson n'est pas à l'endroit où ils le voient.

Solution... Plongée verticale



CONCLUSION



Réflexion
 $\theta_i = \theta_r$

Réfraction
 $n \sin i = n' \sin r$

Réfraction totale au-delà
D'un angle limite $r = 90^\circ$

Le rayon se rapproche de la normale dans le milieu d'indice le plus grand

Miroir plan : stigmatisme rigoureux

$$\overline{SA'} = - \overline{SA}$$

Dioptre plan : stigmatisme approché

$$\overline{SA'} = \frac{n'}{n} \overline{SA}$$

Rappel trigo

$$\cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1$$

Lorsque θ est petit :

$$\sin \theta \approx \theta$$

$$\tan \theta \approx \theta$$

SUPPLEMENT :

Indice, vitesse de la lumière, longueur d'onde, fréquence, dispersion de la lumière blanche

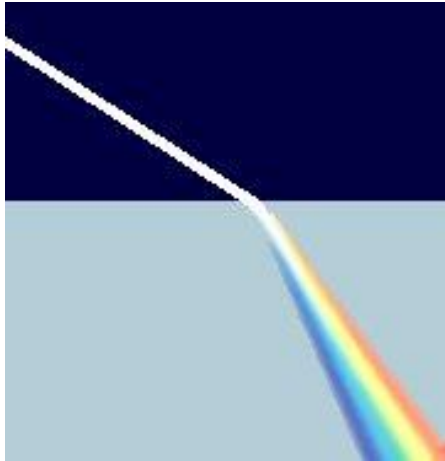
On a vu que

$$n = c / v$$

c : vitesse de la lumière dans le vide

v : vitesse de la lumière dans le milieu

Le plus souvent, dans un milieu matériel, **la vitesse** de la propagation d'une onde **dépend de sa fréquence (couleur)**. On dit que le milieu est **dispersif** pour cette onde.



ROUGE.

Exemple

Fréquence = 457 THz

Indice dans le verre crown = **1.504**

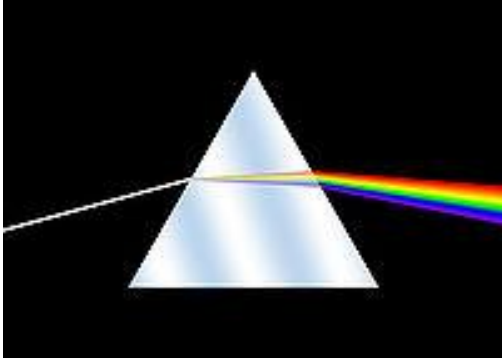
BLEU

Fréquence 617 THz

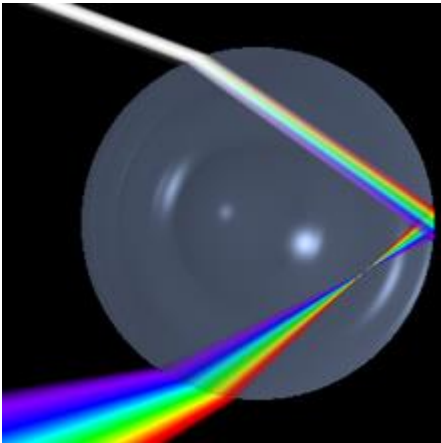
Indice dans le verre crown = **1.521**

Remarque : la longueur d'onde $\lambda = v/f$ varie aussi en fonction du milieu, puisque la vitesse change

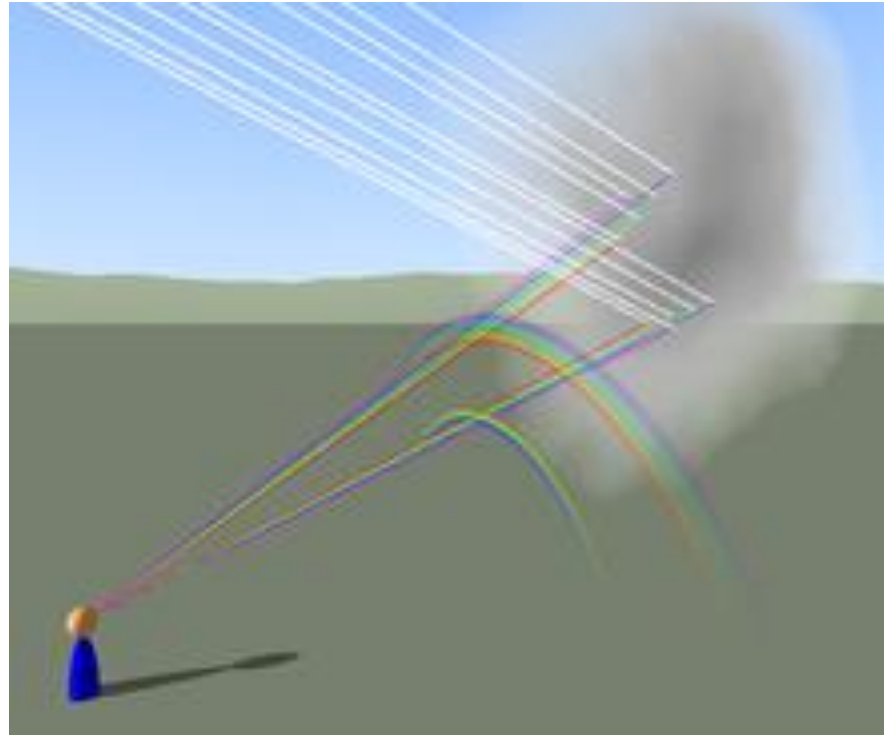
PRISME

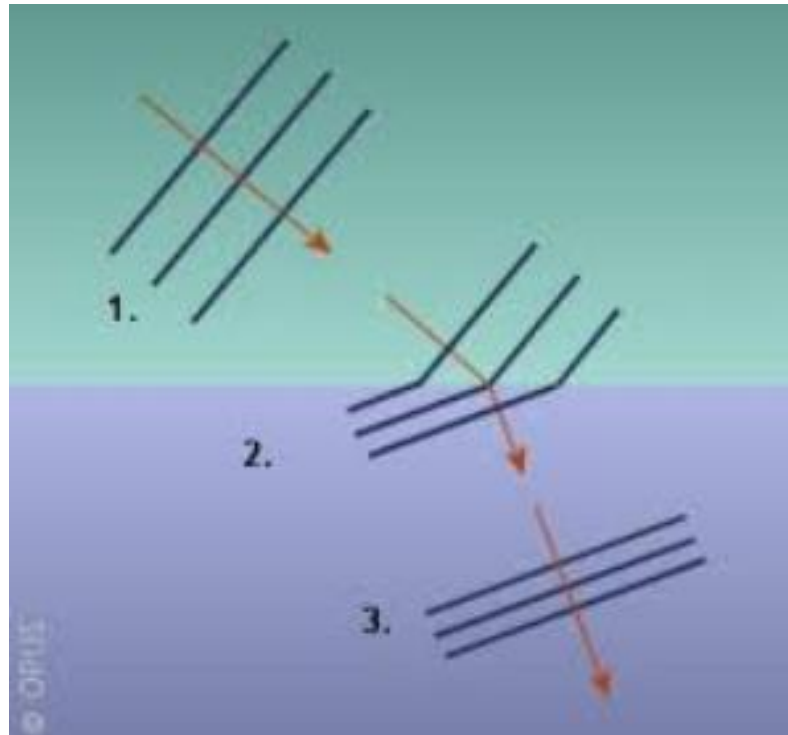


GOUTTE DE PLUIE



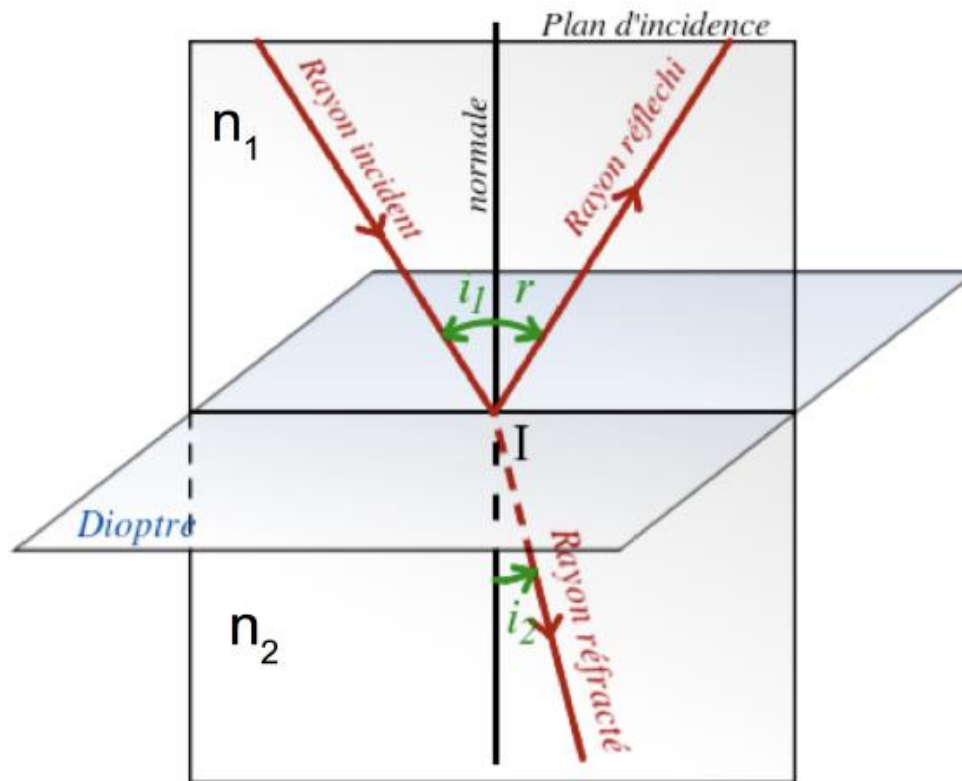
FORMATION DES ARCS EN CIEL PAR DISPERSION DE LA LUMIERE BLANCHE SUR LES GOUTTES DE PLUIE



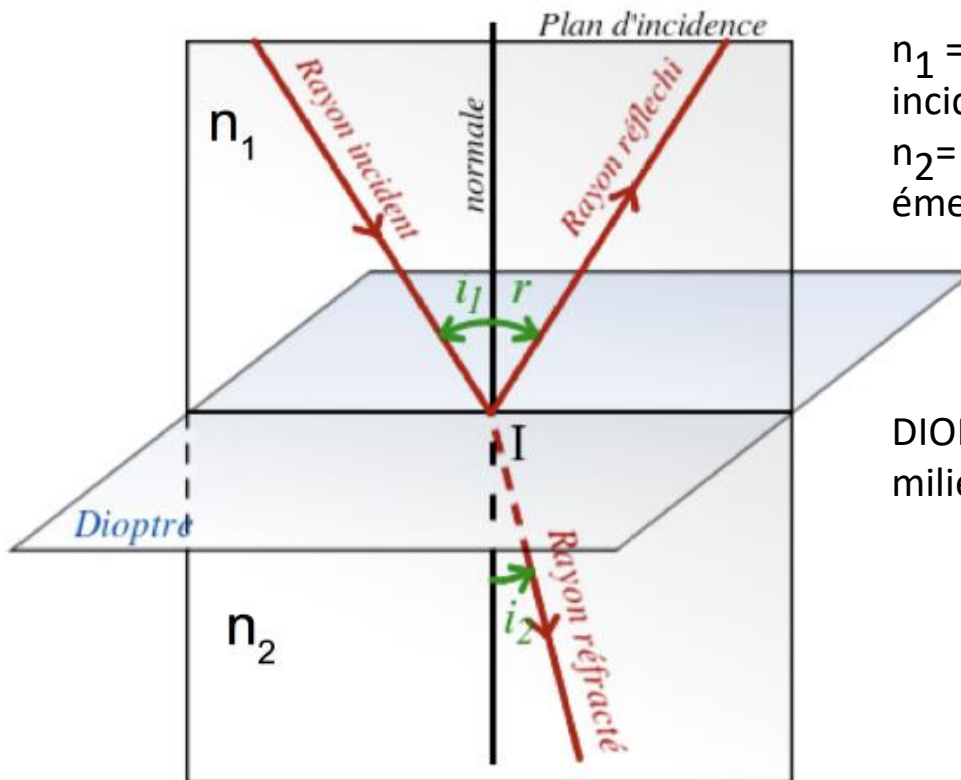


Rencontre d'un front d'onde avec un dioptre

1. Qu'est-ce qu'un rayon réfléchi ? Un rayon réfracté ?



2. Qu'est-ce qu'un indice de réfraction ?



n_1 = indice de réfraction du milieu incident

n_2 = indice de réfraction du milieu émergent

DIOPTRE = interface entre 2 milieux homogènes

3. Donner des valeurs typiques de l'indice de réfraction ?

**L'indice de réfraction est
caractéristique d'un milieu**

Indice de réfraction de référence, dans le vide, $n=1$.

Dans le cadre de ce cours, $n_{\text{air}} = n_{\text{vide}} = 1$.

$$n_{\text{eau}} \approx 1,33$$

$$n_{\text{verre}} \approx 1,5$$

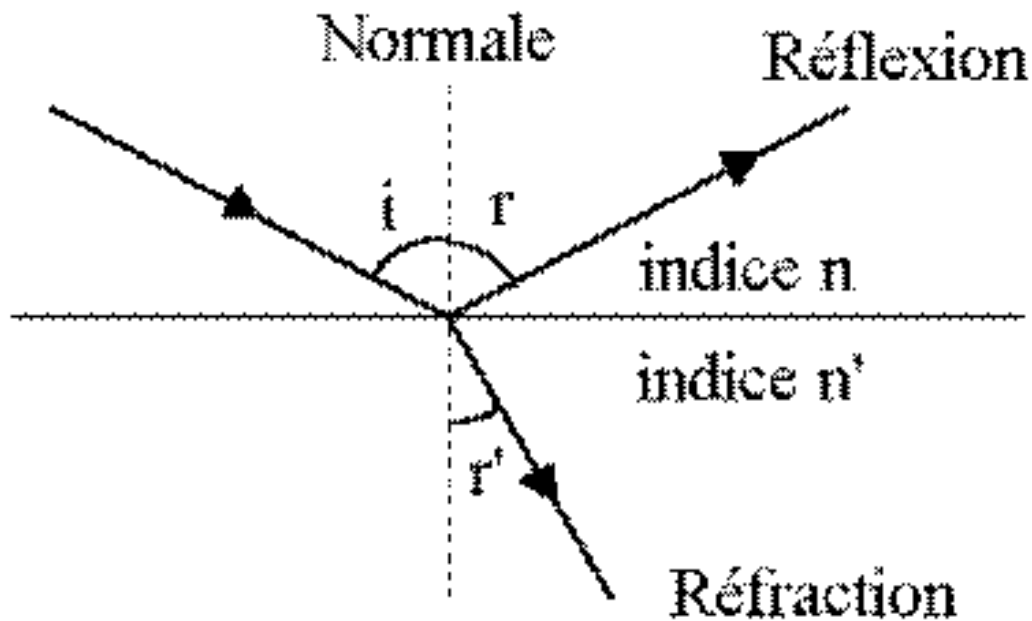
D'ordinaire n est compris entre 1 et 2

$$n = c / v$$

c : vitesse de la lumière dans le vide

v : vitesse de la lumière dans le milieu

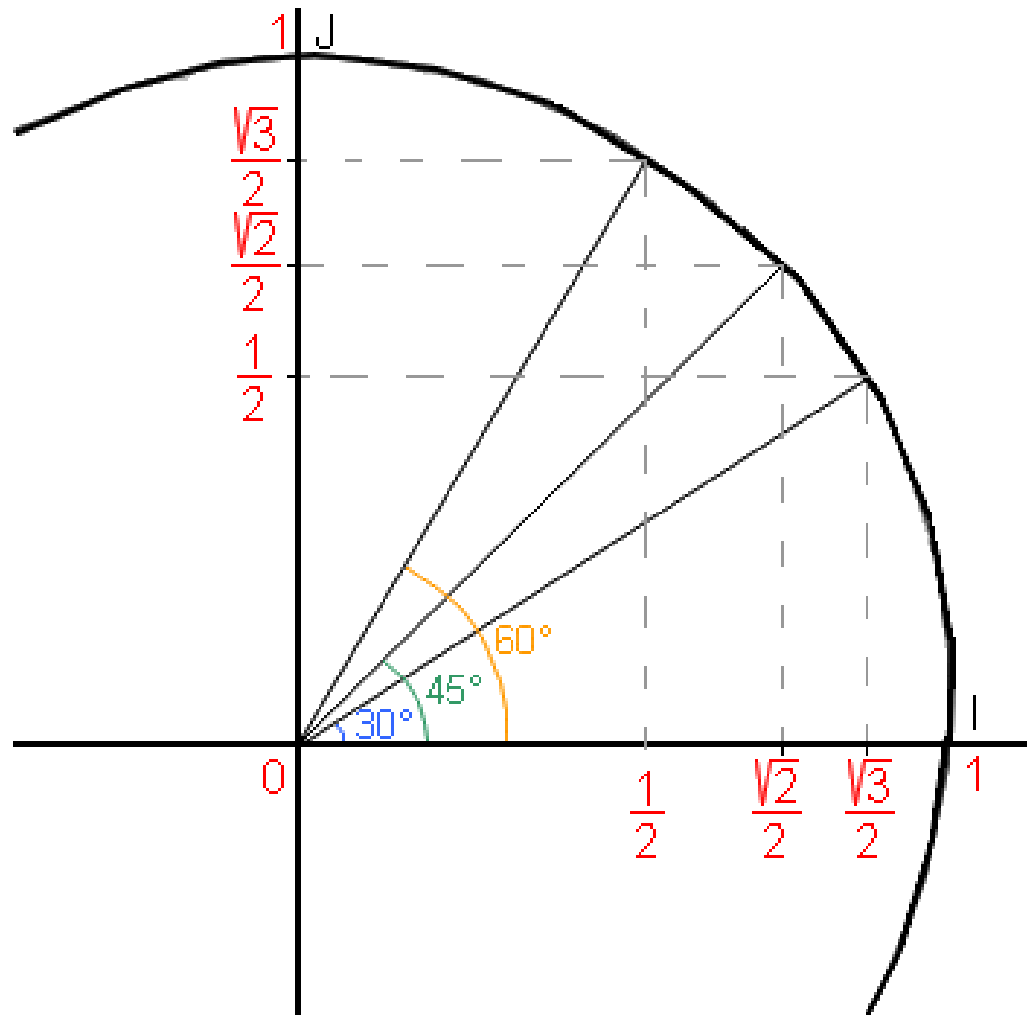
4. Donner les relations de Snell Descartes pour le schéma suivant ?



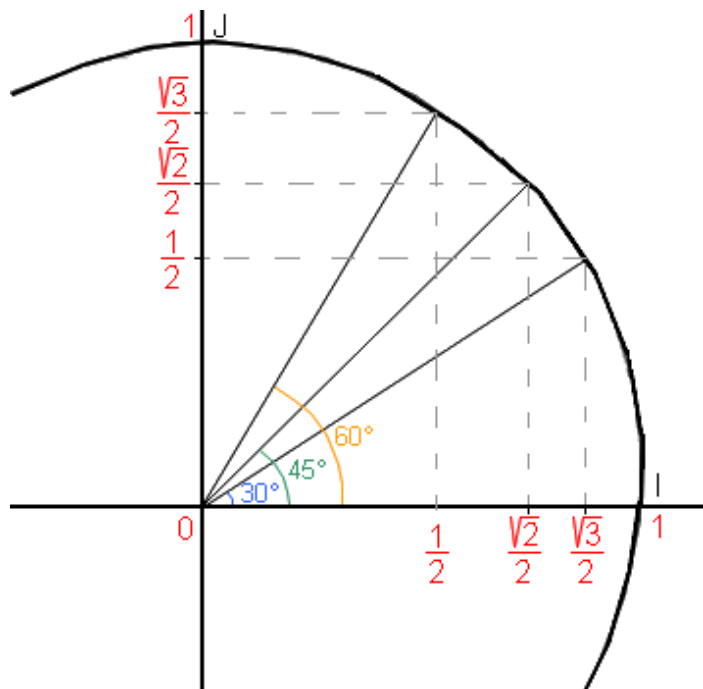
$$i = r$$

$$n \sin(i) = n' \sin(r')$$

5. Que vaut le sinus de 0° ? 30° ? 45° ? 60° ? 90° ?



6. Approximation de sin, cos et tan aux petit angles ?



$$\sin \theta \approx \theta \text{ (en radians)}$$

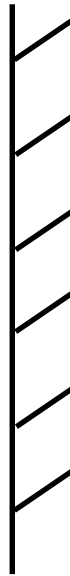
$$\cos \theta \approx 1$$

$$\tan \theta \approx \theta \text{ (en radians)}$$

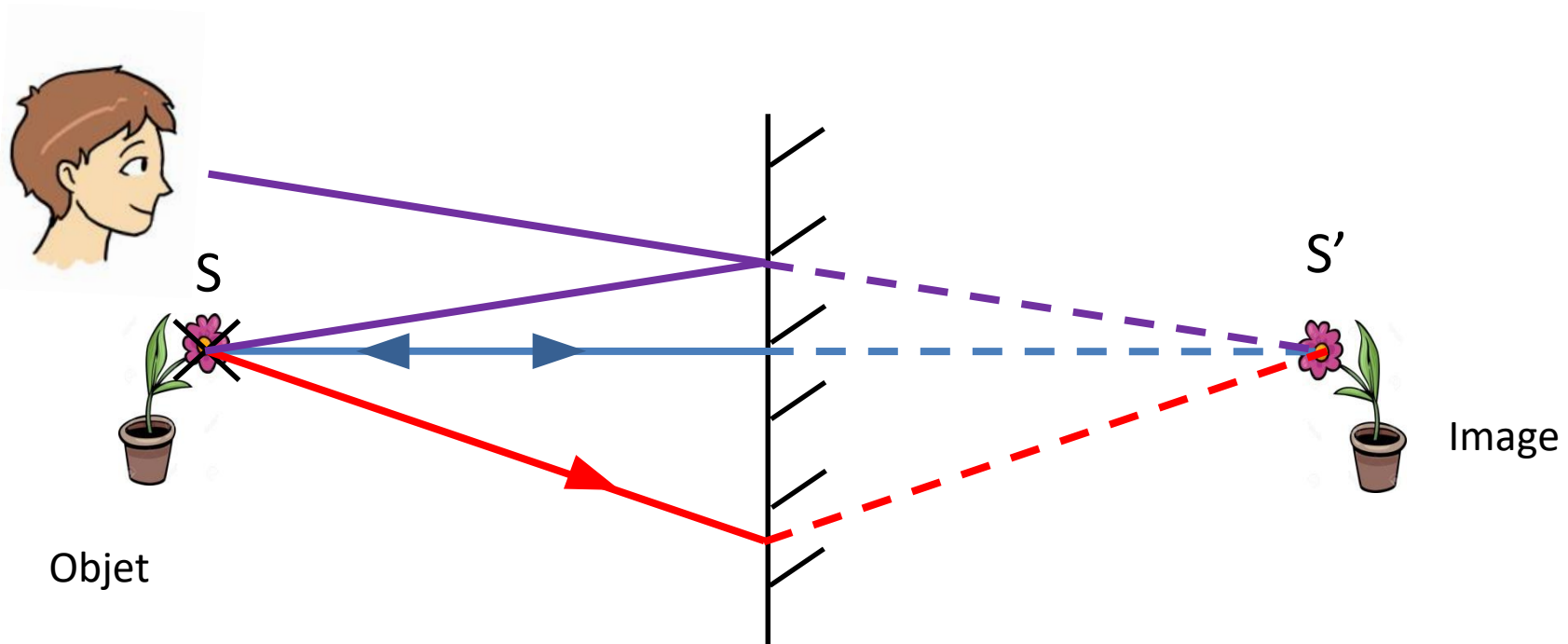
Exemple : faire le calcul
pour $5^\circ = 0,087 \text{ rad}$

7. En optique, comment représente-t-on un miroir ?

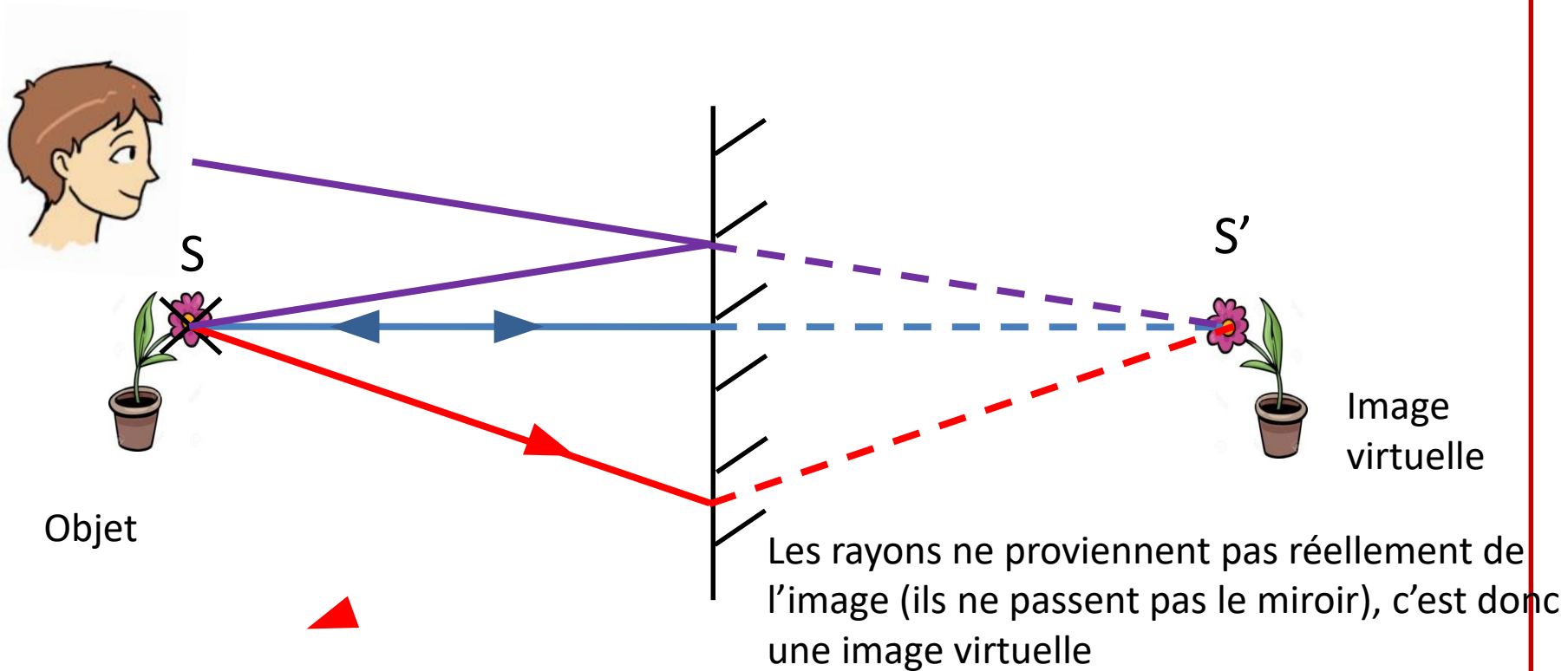
Miroir



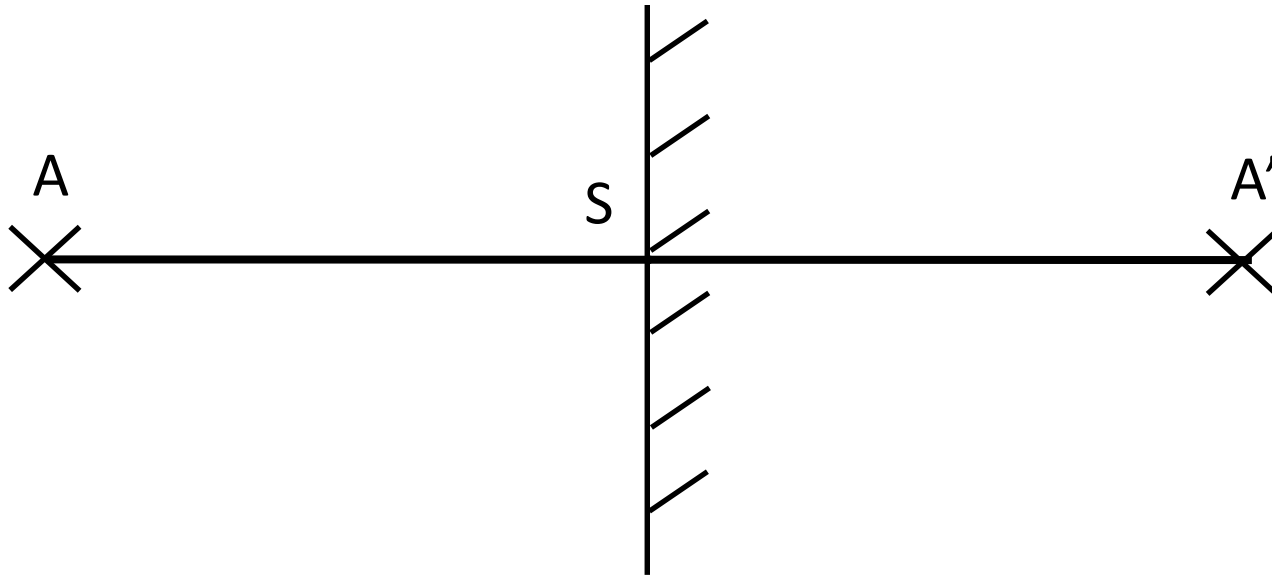
8. En optique, qu'est-ce qu'un objet ? Une image ?



9. Qu'est-ce qu'une image virtuelle ?

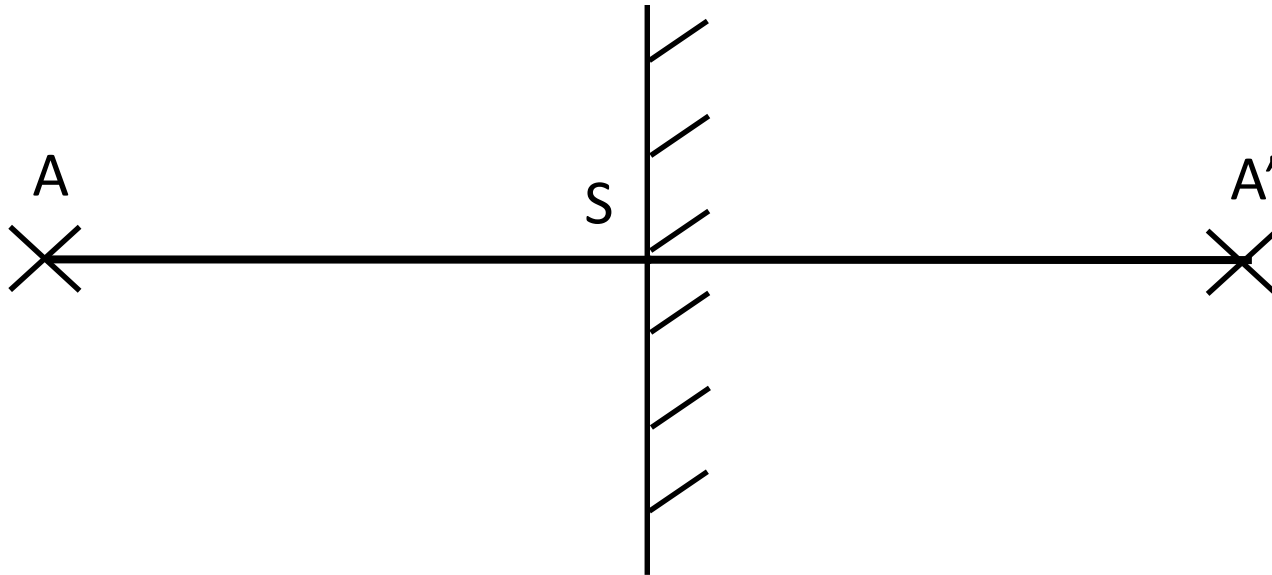


10. Qu'est-ce qu'une relation de conjugaison ?



Relation entre la position de l'objet et de l'image
→ entre SA et SA' , en notation algébrique

11. Qu'elle est la relation de conjugaison du miroir plan ?



$$\overline{SA} = - \overline{SA'}$$

Relation de conjugaison du
miroir plan

12. Quelle est la relation de conjugaison du dioptre plan ?

$$\overline{SA'} = \frac{n'}{n} \overline{SA}$$

Relation de conjugaison du dioptre plan

Pas besoin de le savoir par cœur (formulaire à l'examen)
mais à savoir utiliser.

13. Exercice. Dioptre air/eau (1 et 1,33), poisson à 10 cm de la surface, où le pêcheur voit-il le poisson ?

$$\overline{SA'} = \frac{n'}{n} \overline{SA}$$

Objet = poisson

Rayon incident : rayon qui viennent du poisson

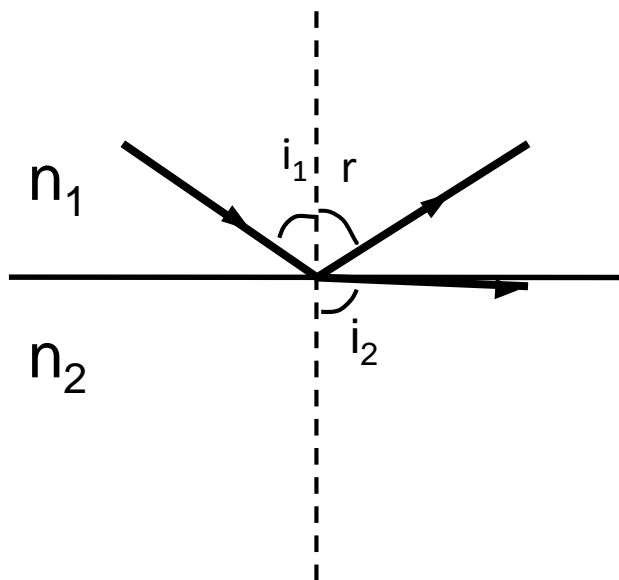
Donc indice n = indice du côté de l'objet/du poisson = 1,33

Indice n' = indice du côté de l'observateur = 1

$$SA' = 10 \text{ cm} * 1 / 1,33 = 7.5 \text{ cm environ}$$

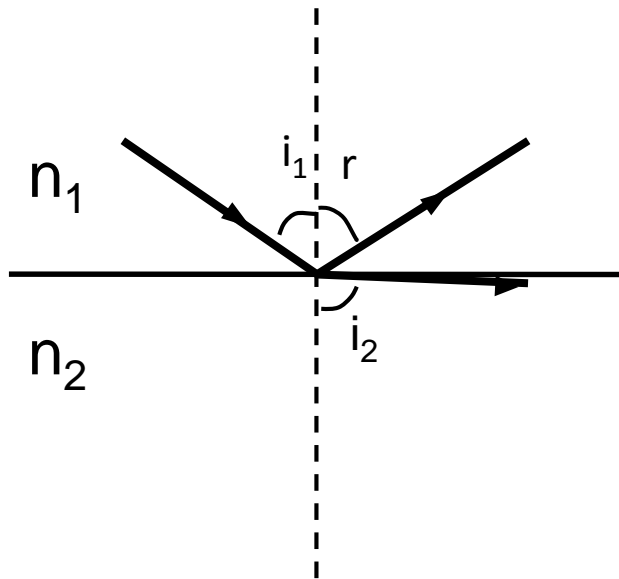
14. Qu'est-ce la réflexion totale ?

Réflexion totale



Seuls les rayons avec un angle d'incidence pas trop élevé nous parviennent dans l'eau, les autres autour sont réfléchis à la surface

15. Qu'est-ce que l'angle d'incidence limite ?



Angle incident limite pour $i_2 = 90^\circ$

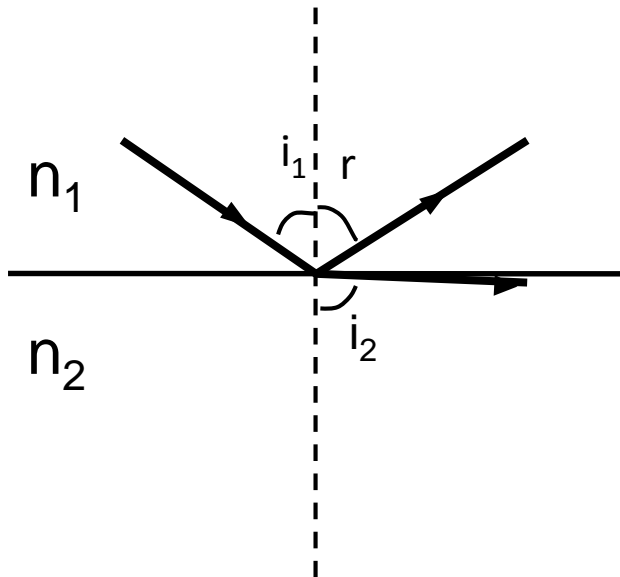
$$\sin i_2 = 1$$

$$\sin i_1 = n_2 / n_1$$

$i_1 = 48,8^\circ$ pour l'interface eau air

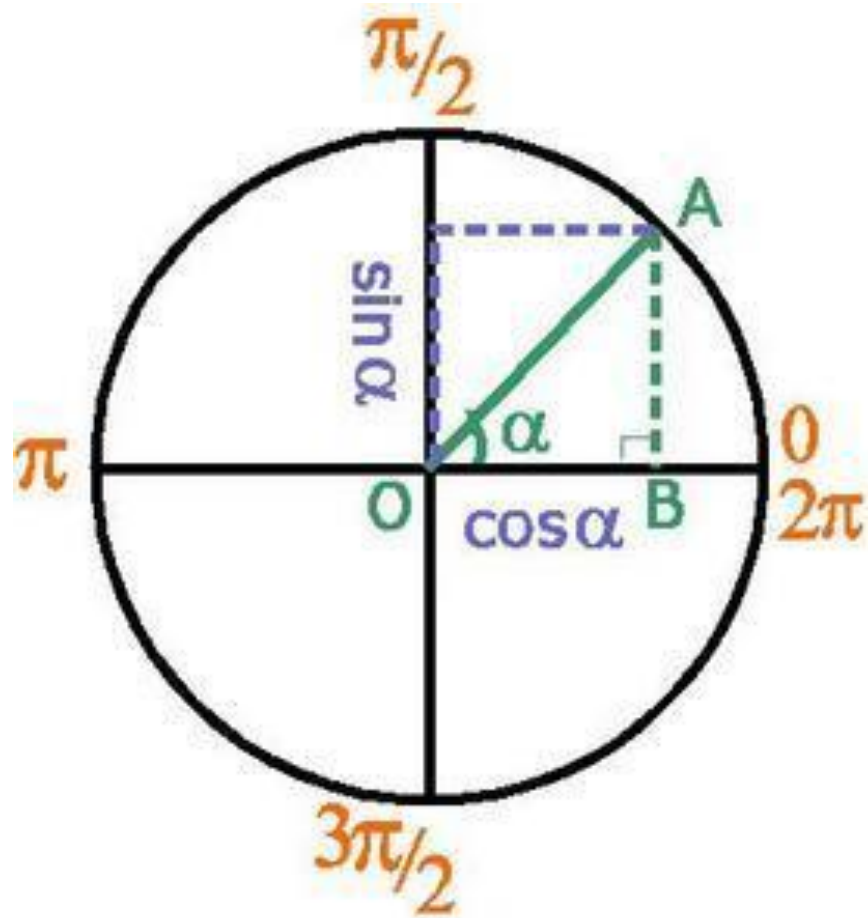
16. Comment calcule t on l'angle d'incidence limite ?

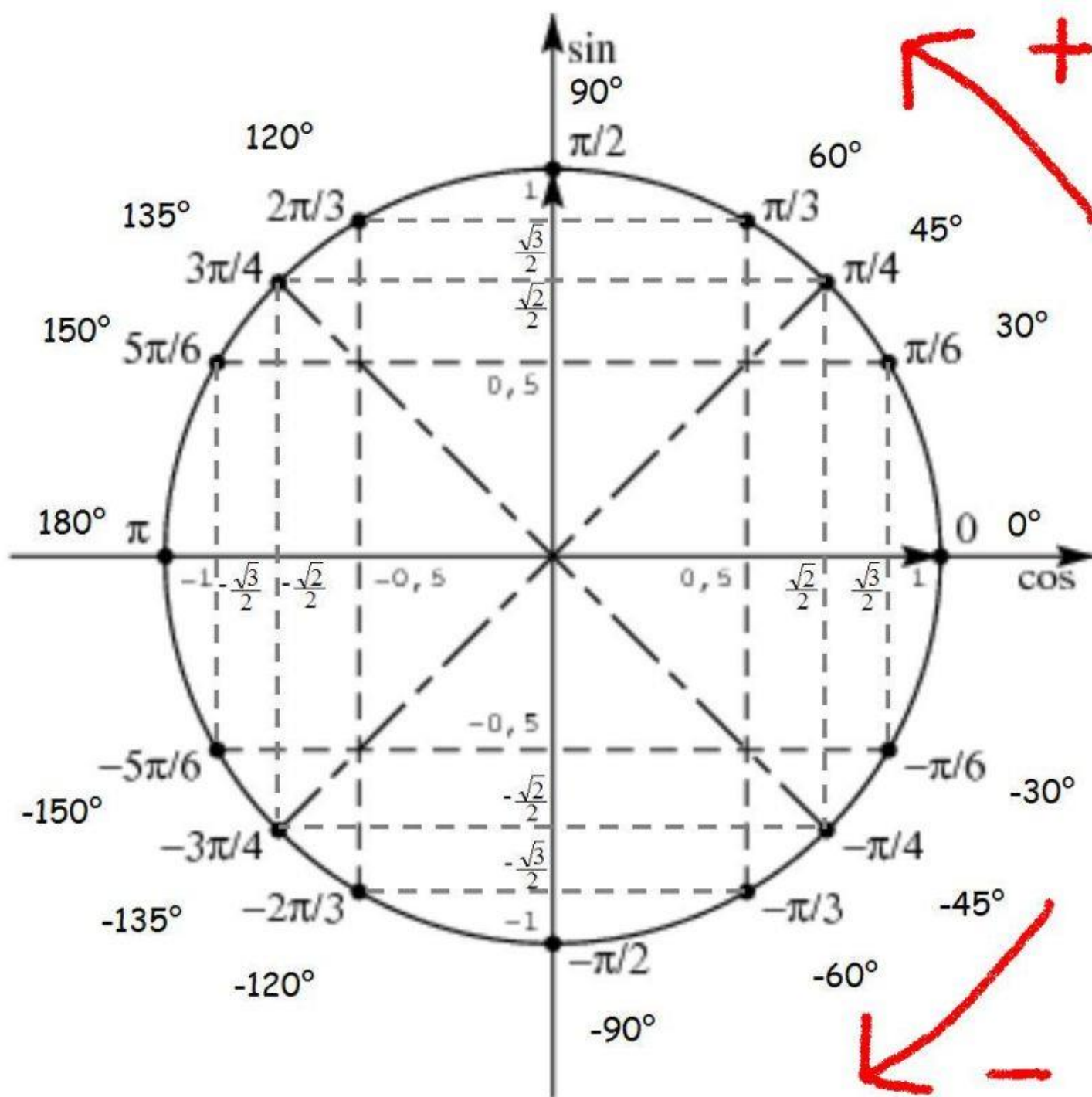
Exemple : interface air / eau (1,33)



Angle incident limite pour $i_2 = 90^\circ$
 $\sin i_2 = 1$
 $\sin i_1 = n_2/n_1$

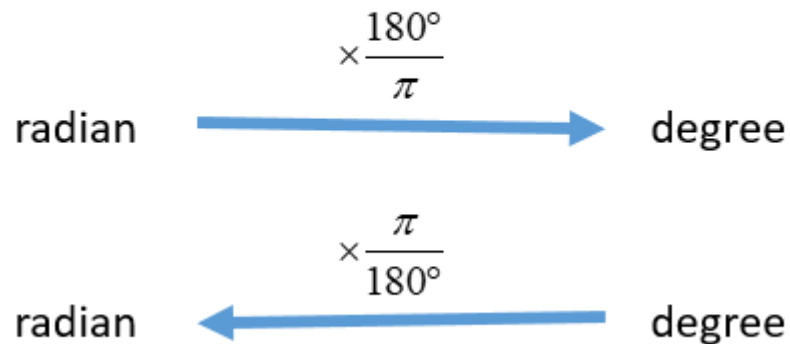
$i_1 = 48,8^\circ$ pour l'interface eau air



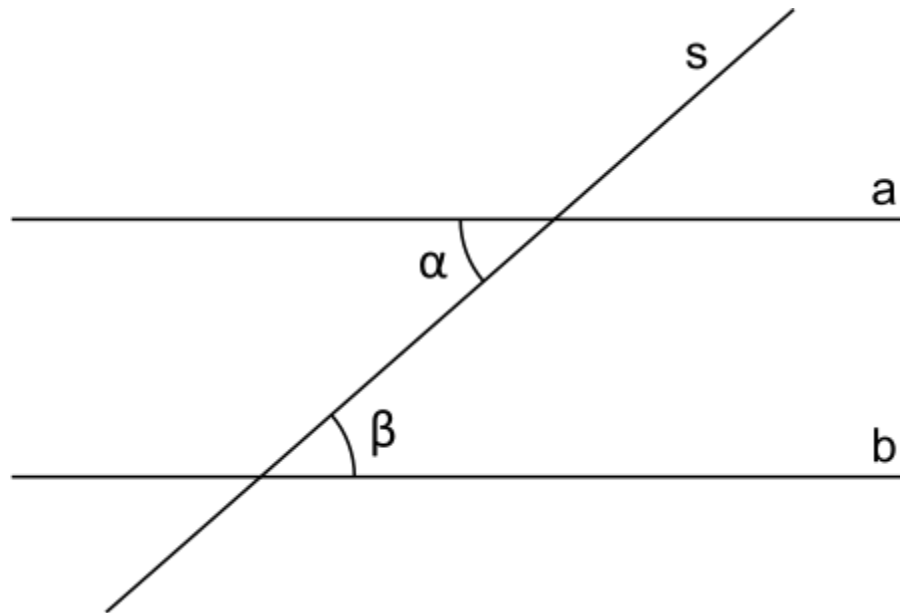


Degrés	0°	30°	45°	60°	90°	120°	135°	150°	180°	360°
Radians	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{5\pi}{6}$	π	2π

Radian-Degree Conversion



Angles alternes internes



Si $a \parallel b$, $\alpha = \beta$