

Support de cours

Cours:

## UNIL-123 Physique Expérimentale II

Vidéo:

### Lesson2-UNIL-123 Physique expérimentale II

Concepts (extraits des sous-titres générés automatiquement) :

**Choses intéressantes. Petits points. Milieu transparent. Rayon lumineux. Question de vocabulaire. Loi de la réflexion du miroir. Jour d'autres gens. Angle de réflexion. Petit truc. Ensemble de rayons lumineux. Partie de sa vie. Culture générale. Angle d'incidence. Milieu dense. Cartes mentales.**



[vers la recherche de séquences vidéo](#)  
(dans UNIL-123 Physique Expérimentale II.)



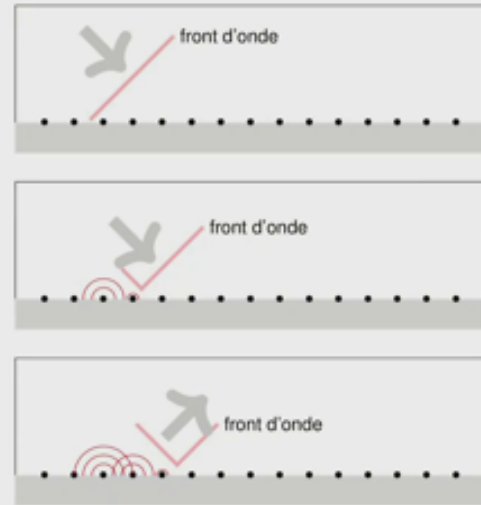
[vers la vidéo](#)

Center for Digital Education. Plus de matériel de soutien pédagogique ici :

<https://www.epfl.ch/education/educational-initiatives/cede/educational-technologies-gallery/boocs-en/>  
page 1/83

## 1.2.4 Explication de la réflexion à l'aide du principe de Fresnel

- ❶ Le front d'onde arrive sur l'interface.  
Parce que la longueur d'onde est beaucoup plus grande que la distance entre les molécules, on peut considérer que la réflexion a lieu à la surface
- ❷ Comme le front fait un angle avec la surface, l'interaction se fait d'abord d'un côté
- ❸ Chaque molécule de l'interface ré-émet le rayonnement, mais avec un décalage qui crée le rayon réfléchi



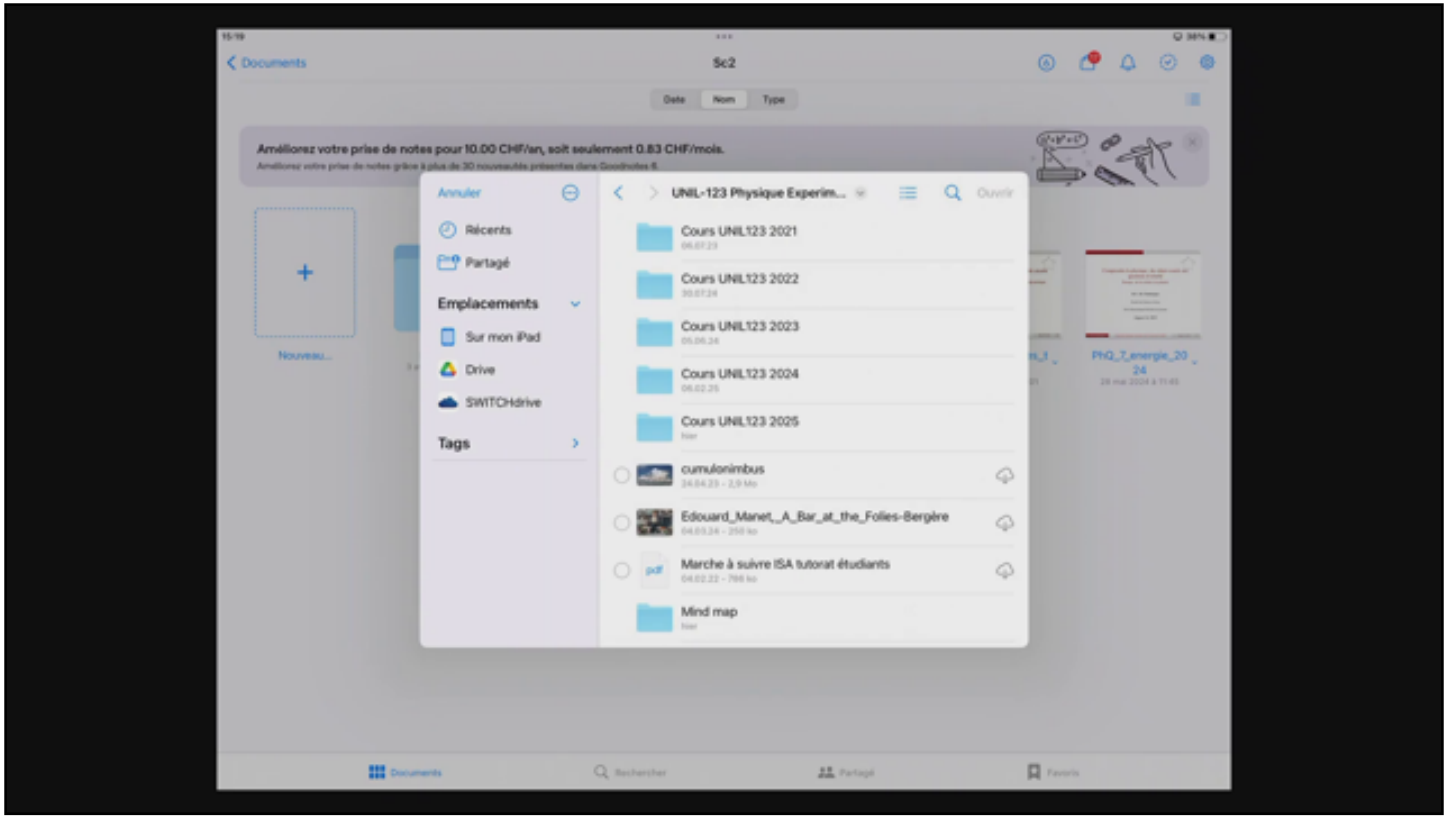
Ces sous-titres ont été générés automatiquement Une chose intéressante à voir aujourd'hui, je vais reprendre deux ou trois trucs parce que la fin de la leçon dernière était un peu abrupte. Je suis désolé, c'est un commentaire que je reçois facilement, mais la fin de la leçon, des fois je me dis « ah oui, j'ai besoin de ça pour les examens ». Des fois ça se presse un peu, je suis désolé de le faire, je vous ai toujours m'amélioré, mais voilà, il y a encore de la marge, comme on dit. Donc soyez les bienvenus à cette deuxième leçon de physique, j'espère que vous avez apprécié... J'espère que vous avez apprécié... Il faut que j'enlève le son... Les exercices, j'avais quelques feedbacks sur les exercices que j'ai oubliés de préparer. C'est toujours comme ça, comment est-ce que je fais ? Je vais faire ça comme ça, non, il faut que j'aille là, il faut que j'aille ici...

notes

résumé

0m 0s





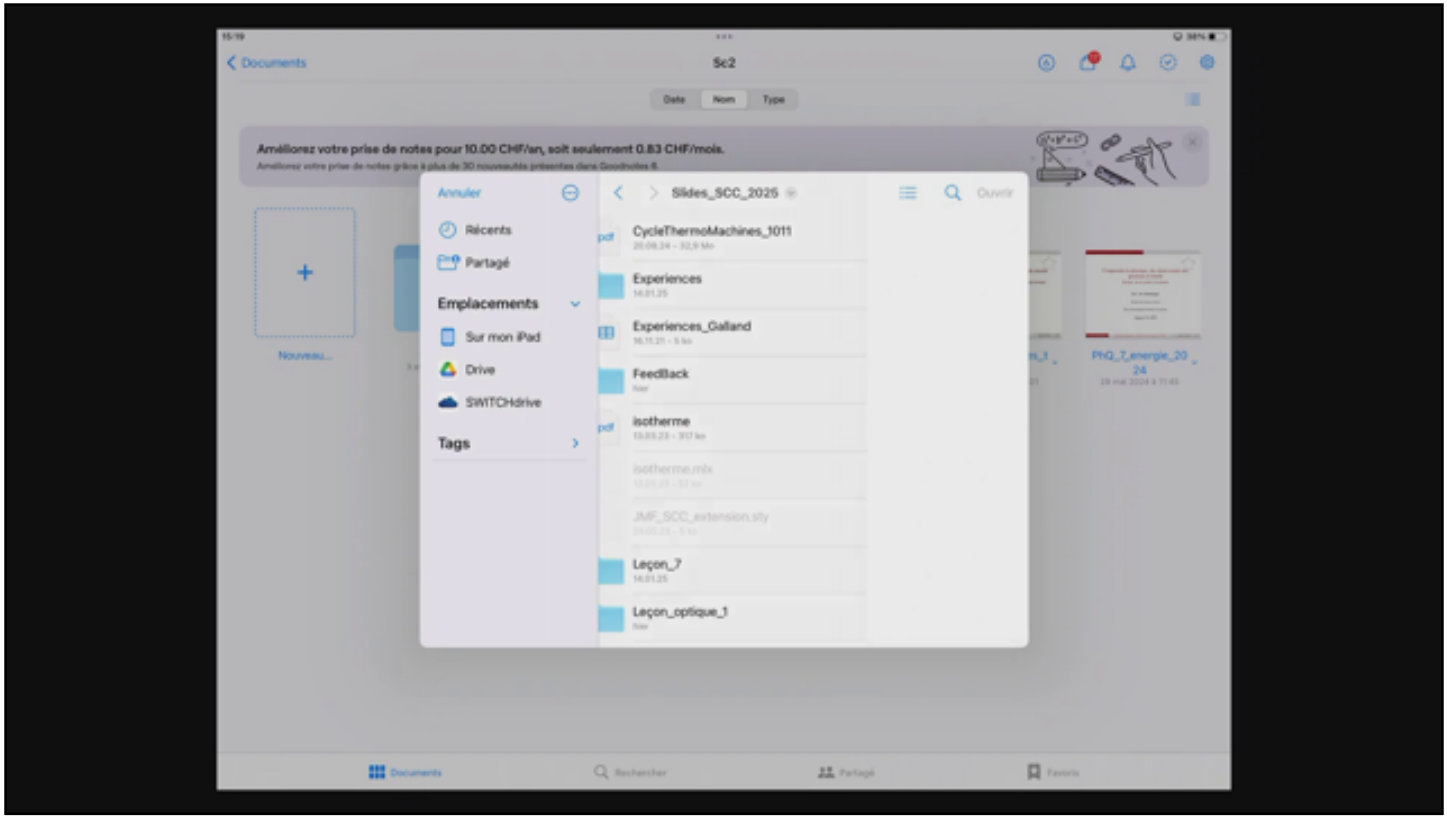
Pour emporter... ..institution...

notes

résumé

1m 1s





...mais je vais pas perdre du temps maintenant, je vais préparer pendant la pause, j'ai quelques feedbacks à vous donner sur les exercices, j'ai vu les mind maps, j'ai trouvé que c'était super, j'ai deux, trois trucs à vous raconter à ce propos-là.

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

1m 22s



.....

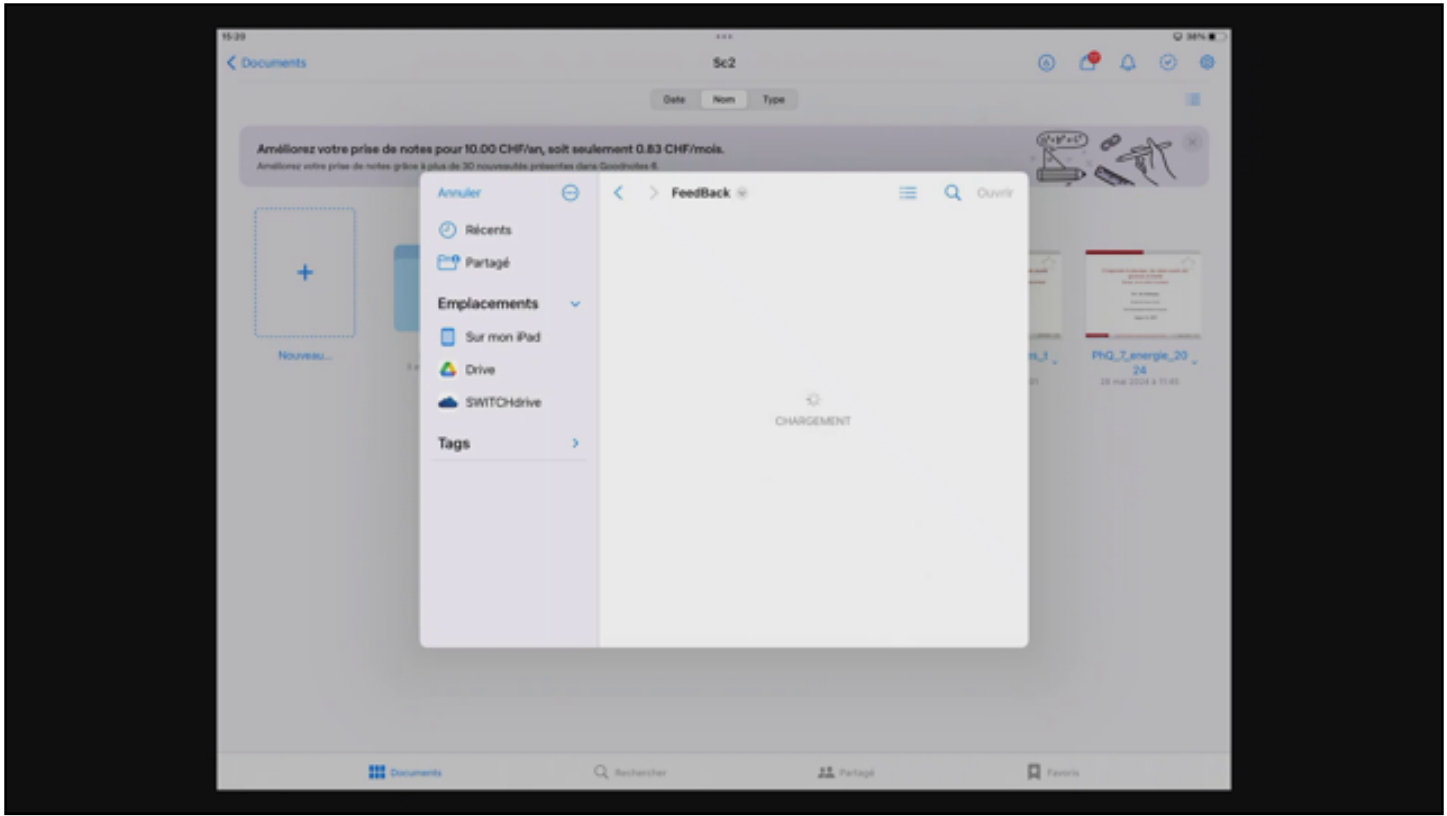
.....

.....

.....

.....





Alors maintenant, forcément, que quand on fait la crimineau, 25...

notes

résumé

1m 31s

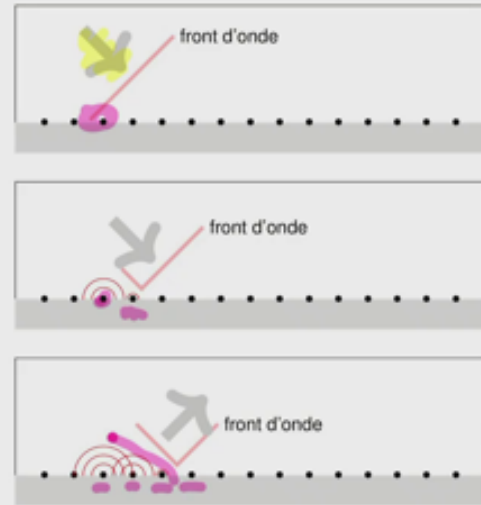






## 1.2.4 Explication de la réflexion à l'aide du principe de Fresnel

- ❶ Le front d'onde arrive sur l'interface.  
Parce que la longueur d'onde est beaucoup plus grande que la distance entre les molécules, on peut considérer que la réflexion a lieu à la surface
- ❷ Comme le front fait un angle avec la surface, l'interaction se fait d'abord d'un côté
- ❸ Chaque molécule de l'interface ré-émet le rayonnement, mais avec un décalage qui crée le rayon réfléchi



Donc, j'espère que vous avez souri autant que moi. Je me suis mis des chaises là pour essayer d'éviter de sortir de... Mais c'est pas si bien, je me rapprochais de vous. Ok, alors quelques explications sur certains slides, soit que j'ai pas montré la dernière fois, soit que j'ai passé très rapidement. Il y a un principe en physique, des fois je vous les cite comme ça, je passe pas beaucoup de temps dessus, mais comme ça c'est plus une question de vocabulaire et on va dire de culture générale. La dernière fois, j'ai passé très rapidement sur fermage, mais il est revenu un petit peu. Et puis aujourd'hui, je vais parler de Fresnel. Fresnel a été vraiment quelqu'un qui a fait beaucoup avancer l'optique. C'est assez classique en science, il a proposé des trucs, on s'est un peu moqués de lui, puis après on était obligé de se rendre compte qu'il avait raison. Donc il s'est, pendant une partie de sa vie, un petit peu bagarré avec l'establishment, se passait en France, c'est très franco-français, mais ça peut se passer dans tous les pays. Et il y a ce qu'on appelle le principe de Fresnel, qui est une manière pour reconstruire les ondes, c'est de se dire que quand la lumière arrive à un endroit, on peut reconsidérer comme cet endroit où elle est arrivée comme une source, et depuis cet endroit-là, elle se répand de manière radial. Donc ça, c'est un petit peu pour expliquer avec les doigts pourquoi, quand on a cette loi de la réflexion du miroir, après on verra ce qui se passe quand la lumière elle rentre dans un matériau transparent, mais pour le moment on est dans un miroir, on reste plus ou moins à la surface pendant qu'on rentre dans quelques

### notes

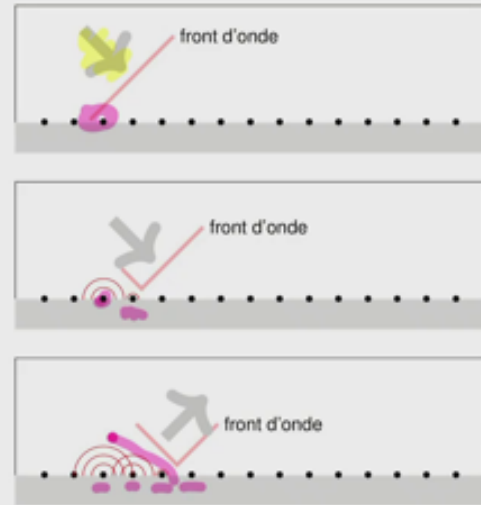
### résumé

2m 25s



## 1.2.4 Explication de la réflexion à l'aide du principe de Fresnel

- ❶ Le front d'onde arrive sur l'interface.  
Parce que la longueur d'onde est beaucoup plus grande que la distance entre les molécules, on peut considérer que la réflexion a lieu à la surface
- ❷ Comme le front fait un angle avec la surface, l'interaction se fait d'abord d'un côté
- ❸ Chaque molécule de l'interface ré-émet le rayonnement, mais avec un décalage qui crée le rayon réfléchi



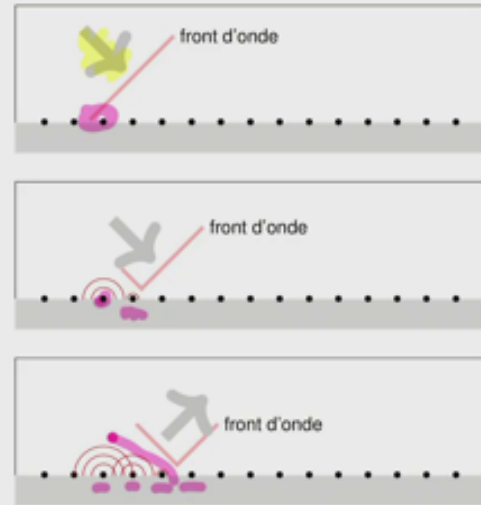
couches atomiques, on va considérer qu'on reste à la surface. Donc vous voyez, c'est ce que ce dessin est censé représenter, donc c'est trois moments différents. Vous avez votre onde qui arrive, donc ce que j'appelle mon onde, dans ce cas-là, c'est cette flèche-là. Mon onde arrive et puis à l'onde, il y a ce qu'on appelle le front d'onde. C'est comme si elle arrivait pour la première fois, où si vous imaginez des sinusoïdes, vous dites voilà, je regarde le sommet de ma sinusoïde, c'est une onde qui arrive, elle n'arrive pas parallèlement à une surface, mais elle se déplace comme ça dans une direction et j'ai un front d'onde qui est perpendiculaire à sa direction d'avancement. Donc vous voyez, quand elle va arriver sur une surface, imaginez que la surface grise avec les petits points, c'est un miroir. Donc il y a une partie du front d'onde qui va arriver avant l'autre. Donc la partie, donc je commence à toucher mon miroir par là, donc ça veut dire que depuis cet endroit où j'ai touché mon miroir, là c'est de nouveau une source. J'applique le principe de Fresnel en disant, je considère, quand la lumière arrive à un endroit, je considère après, comme si c'était une nouvelle onde de lumière qui se créait et de manière radial, de manière sphérique. Et puis donc là vous avez le premier qui est arrivé un petit peu avant, qui a déjà eu le temps de s'étendre et puis il y a le deuxième qui est arrivé juste après, qui a juste commencé à s'étendre et puis le reste, mais on n'a pas encore touché l'onde donc ça ne se répand pas. Et puis après vous avez la même chose, tous les différents points vont commencer à être touchés par l'onde et

### notes

### résumé

## 1.2.4 Explication de la réflexion à l'aide du principe de Fresnel

- ❶ Le front d'onde arrive sur l'interface.  
Parce que la longueur d'onde est beaucoup plus grande que la distance entre les molécules, on peut considérer que la réflexion a lieu à la surface
- ❷ Comme le front fait un angle avec la surface, l'interaction se fait d'abord d'un côté
- ❸ Chaque molécule de l'interface ré-émet le rayonnement, mais avec un décalage qui crée le rayon réfléchi



à réémettre la lumière, puis vous voyez que ça va recréer un front d'onde qui a un certain angle opposé par rapport au premier. C'est comme ça qu'on peut expliquer pourquoi dans la loi de la réflexion on dit que l'angle de réflexion, alors ça dépend comment on parle, on dit des fois c'est le même que l'angle d'incidence, on dit il est opposé, ça dépend si on considère le même angle, une fois à gauche, une fois à droite, ou si on dit bon ben celui qui est à gauche c'est moins celui qui est à droite, mais quand on dit ça on veut dire la même chose. Donc voilà une explication avec les doigts de pourquoi quand un rayon lumineux, un ensemble de rayons lumineux arrive sur une surface, l'angle de réflexion est égal et opposé à l'angle d'incidence.

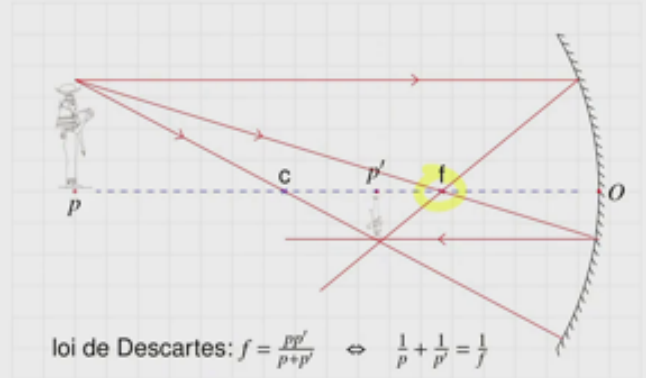
notes

résumé

## 1.2.6 Le miroir sphérique

- Le **miroir sphérique** est le plus utilisé pour focaliser et former des images, car plus facile à fabriquer que le miroir parabolique. Point focal à la moitié du rayon,  $f = -r/2$
- Un **point focal** est un point par lequel vont passer tous les rayons qui atteignent un système optique parallèlement à l'axe optique.
- Avec l'approximation paraxiale, la surface sphérique est traitée comme une surface parabolique. C'est un compromis: Il faut tenir compte de l'**aberration sphérique**.

- Convention cartésienne: focale d'un miroir concave est négative pour indiquer que le foyer se situe du même côté que l'objet.



Voilà ça c'est quelque chose. Ensuite j'ai eu une question au TP et je suis pas sûr que ma réponse a été hyper claire, si vous avez, j'avais passé très vite avec ces choses là au cours c'était je sais pas, 2 minutes avant la fin, le gars était déjà dans la salle donc je me suis pressé. Donc dans un miroir sphérique concave, si jamais un petit truc pour concave, convexe, pensez que je suis valaisan donc la cave c'est très très important, donc la cave c'est ce qu'il y a dessous, donc ça veut dire que la partie de miroir et dans l'intérieur de la partie bombée, ça fait une grotte, ça fait une cave, ça fait un carnavitis, ça fait quelque chose, vous pensez ce que vous voulez, mais en fait c'est comme ça que vous pouvez vous souvenir concave, parce qu'en fait la même forme est concave, convexe, ça dépend vous considérer que vous avez la partie du miroir, donc un miroir concave c'est un miroir qui fait une conque qui fait un, qui englobe quelque chose alors que convexe c'est plutôt sur l'extérieur, c'est pas la cave. Alors quand on parle, c'est des histoires de conventions, quand on parle de la focale d'un miroir concave, en fait on considère qu'il est négatif parce que si vous regardez la focale, le point focale, on va regarder des lentilles la semaine prochaine, en général la focale est après la lentille, c'est-à-dire que la focale est en amont si vous considérez la lumière qui vient depuis la gauche, en général comme ça qu'on fait les schémas optiques, la focale est de l'autre côté, donc c'est pour ça qu'elle est négative, ça passe à pas d'importance sur la géométrie, si j'ai bien regardé que vous la considérez positive, en

### notes

### résumé

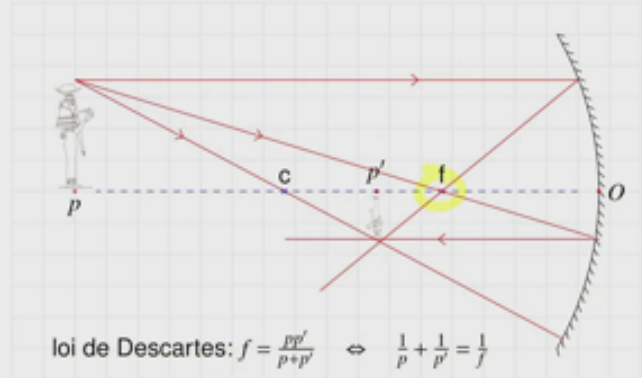
7m 18s



## 1.2.6 Le miroir sphérique

- Le **miroir sphérique** est le plus utilisé pour focaliser et former des images, car plus facile à fabriquer que le miroir parabolique. Point focal à la moitié du rayon,  $f = -r/2$
- Un **point focal** est un point par lequel vont passer tous les rayons qui atteignent un système optique parallèlement à l'axe optique.
- Avec l'approximation paraxiale, la surface sphérique est traitée comme une surface parabolique. C'est un compromis: Il faut tenir compte de l'**aberration sphérique**.

- Convention cartésienne: focale d'un miroir concave est négative pour indiquer que le foyer se situe du même côté que l'objet.



général vous en sortirez dans les calculs si vous voyez bien les choses, mais en général par convention on dit que la focale d'un miroir concave est négative, vous en faites pas, c'est pas sur des trucs comme ça que je vous attraperai à l'examen.

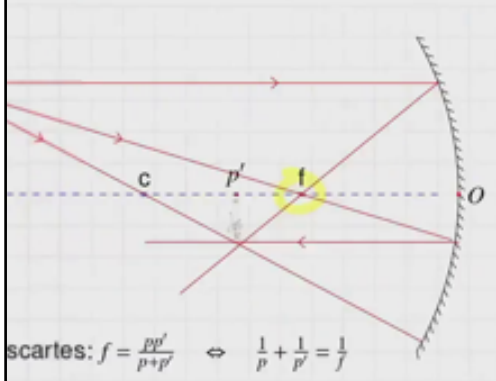
notes

résumé



## 1.2.7 Abbération sphérique

ion cartésienne: focale d'un miroir  
est négative pour indiquer que le foyer  
du même côté que l'objet.



- Le concept de point focal est une simplification
- Les rayons périphériques ( $h/r > 0.25$ ) ne passent pas par le point comme sur l'image ci-contre
- La conséquence est une détérioration de la netteté
- On utilise un diaphragme pour bloquer les rayons périphérique et corrigé l'aberration



February 24, 2025

31 / 49

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

Ensuite, alors j'ai parlé de l'aberration sphérique, j'ai changé un petit peu ces slides, donc ce slide je lui ai enlevé quelque chose,

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

9m 35s



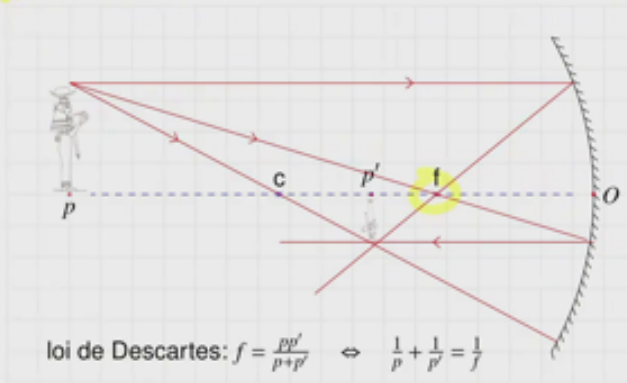
## Miroir sphérique

Le miroir sphérique est le plus utilisé pour former des images, car plus facile à fabriquer que le miroir parabolique. Point focal principal,  $f = -r/2$

C'est un point par lequel vont converger les rayons qui atteignent un système optique centré sur l'axe optique.

En approximation paraxiale, la surface sphérique est traitée comme une surface plane. C'est un compromis: Il faut tenir compte de l'aberration sphérique.

- Convention cartésienne: focale d'un miroir concave est négative pour indiquer que le foyer se situe du même côté que l'objet.



$$\text{loi de Descartes: } f = \frac{pp'}{p+p'} \Leftrightarrow \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

## 1.2.7 Aberration

- Le concept de point focal
- Les rayons périphériques ne passent pas par le point focal
- La conséquence est une perte de netteté
- On utilise un diagramme des rayons périphériques

j'ai rajouté ça, ça c'est nouveau par rapport à la semaine, donc j'ai changé le fichier, donc j'ai gardé l'ancien, je sais pas ce que vous avez voulu comme ça, vous voyez qu'il y a l'ancien nombre si vous les comparez celui que vous avez, donc je l'ai mis sous l'autre dans la leçon 1, mais j'ai remis une nouvelle version, vous verrez c'est marqué la version d'aujourd'hui, la version aujourd'hui on a quoi, le 25 ?

notes

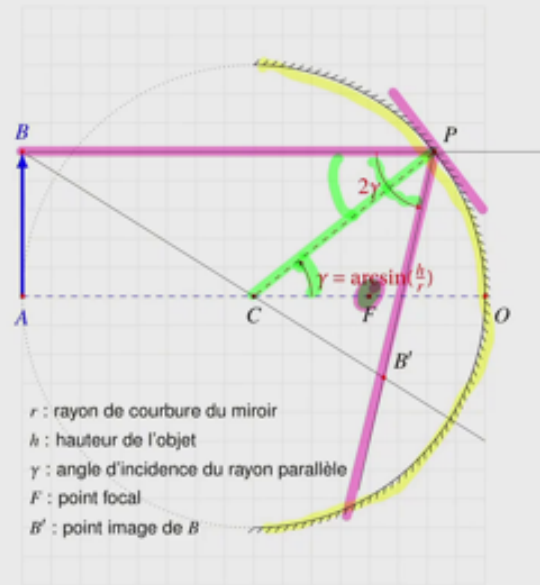
résumé

9m 39s



## 1.2.7 Aberration sphérique

- Le concept de point focal est une simplification
- Les rayons périphériques ( $h/r > 0.25$ ) ne passent pas par le point comme sur l'image ci-contre
- La conséquence est une détérioration de la netteté
- On utilise un diaphragme pour bloquer les rayons périphérique et corrigé l'aberration



Donc j'ai rajouté ça et puis j'ai passé un peu de temps hier à faire un dessin pour vous expliquer l'aberration sphérique, c'était aussi une discussion que j'ai eu avec un étudiant et je me suis rendu compte que je vais peut-être passer sur ces concepts rapidement et que ça valait la peine d'en parler un petit peu. Donc là vous avez un miroir sphérique concave, vous voyez le miroir sphérique concave, il est ici, donc là il est grand, souvent on met qu'un petit bout, mais c'est simplement le rayon de courbure qui nous dit qu'il est sphérique. Je voulais vous montrer pourquoi on parle d'aberration sphérique. Donc normalement on dit rapidement on utilise le point focal et on dit un rayon qui arrive parallèlement à l'axoptique va être reflété par le point focal, c'est ce qu'on fait. En fait ça c'est vrai seulement pour un miroir qui serait parabolique. Donc dans un miroir sphérique c'est pas vraiment le cas et je vous le montre et ça c'était la question B du problème 3 je crois ou quelque chose comme ça. C'était une question, je voulais refaire un dessin, ceux qui l'ont fait très précisément vu le problème, certains qui l'ont fait comme on fait souvent ces dessins optiques, comme on les voit, ils ne voyaient pas le problème. Si on faisait bien ce dessin là, on voyait qu'un rayon, alors là j'ai pris un rayon parallèle et j'ai fait un dessin particulier pour que ce soit facile à calculer, pour moi parce que je voulais faire le dessin vraiment précisément. Donc ça c'est un dessin que j'ai calculé, j'ai vraiment fait les choses le plus sérieusement possible comme tout ce que je fais d'ailleurs, c'est un gag. Donc vous avez votre rayon qui arrive ici, qui touche la

### notes

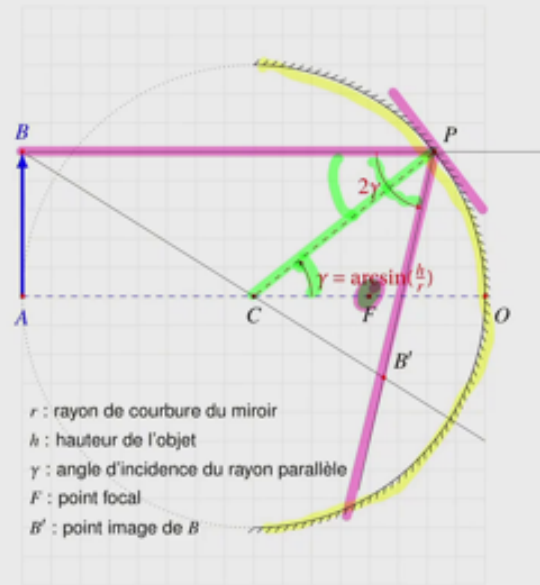
### résumé

10m 15s



## 1.2.7 Abbération sphérique

- Le concept de point focal est une simplification
- Les rayons périphériques ( $h/r > 0.25$ ) ne passent pas par le point comme sur l'image ci-contre
- La conséquence est une détérioration de la netteté
- On utilise un diaphragme pour bloquer les rayons périphérique et corrigé l'aberration



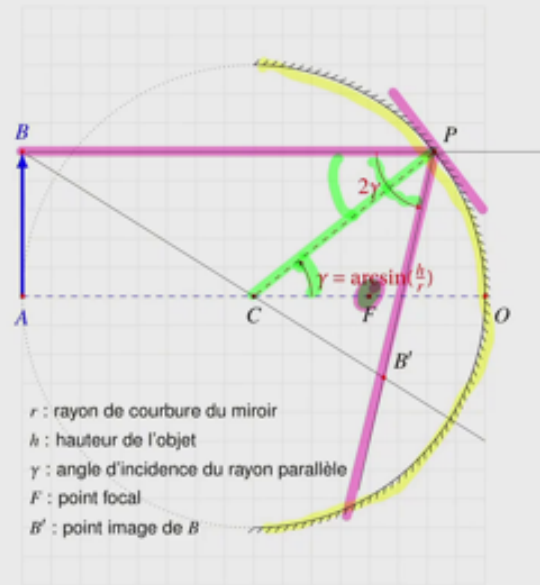
surface, la règle absolue c'est l'angle de réflexion et l'opposé de l'angle d'incidence. Ça c'est la vraie règle. Donc là j'ai un plan tangent et puis une manière de voir que c'est le plan tangent, c'est, je vais changer de couleur, là j'avais un rayon, donc la tangente elle est perpendiculaire au rayon. Donc ça veut dire que ce rayon vert, c'est un rayon, pas de lumière mais c'est le rayon du cercle vert que j'ai dessiné, va être la bisectrice de l'angle entre l'incidence et la réflexion. Vous pouvez le voir que c'est vrai. Donc il fallait calculer cet angle là et puis c'est donc deux fois l'angle, qui est ici parce que avec votre trigonométrie vous pouvez revoir les angles alternés, etc. Vous pouvez le voir que c'est le même angle qui correspond à l'angle sur la paroi. Donc on a ici un gamma, ici un autre gamma, donc ça veut dire que je peux calculer le gamma, c'est l'arcsinus de la hauteur. Vous voyez que la théorie simplifiée dit que je devrais passer par là et puis vous voyez que je passe pas par là. Donc quand je dis par là, ici j'ai le point focal, ici, là, puis vous voyez bien que mon rayon, je vais le dessiner ici, vous voyez bien que mon rayon il passe à côté. Donc ça c'est ce que vous pouvez voir quand vous regardez, alors là c'est pas un... mais je devrais pouvoir le... non j'ai pas de trucs... Ça marche avec une lentille ou ça marche avec un miroir, vous pouvez voir ici, alors il faut que je prenne 8, la caméra 8, la caméra 8. Vous pouvez voir que certains, les points qui sont le plus à l'extérieur, ils ne passent pas, ils n'arrivent pas à se rejoindre

### notes

### résumé

## 1.2.7 Aberration sphérique

- Le concept de point focal est une simplification
- Les rayons périphériques ( $h/r > 0.25$ ) ne passent pas par le point comme sur l'image ci-contre
- La conséquence est une détérioration de la netteté
- On utilise un diaphragme pour bloquer les rayons périphérique et corrigé l'aberration



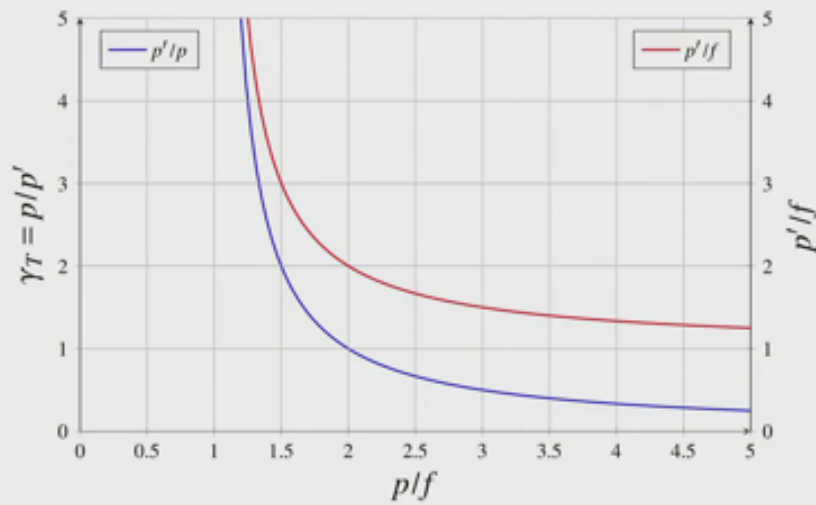
parce qu'ils ne passent pas par la focale. C'est ça qu'on appelle l'aberration sphérique. Donc je résume maintenant, on utilise des systèmes optiques sphériques parce que c'est facile à construire, mais en fait on aimerait des paraboliques, mais c'est plus facile. C'est plus compliqué à construire. Donc on utilise des systèmes sphériques, puis après on s'arrange, une des manières de s'arranger c'est de supprimer les points qui sont trop extrêmes. Voilà. Vous voyez, j'ai plus de problèmes là maintenant. Il y a un autre moyen d'essayer de le faire quand on a pas des miroirs, etc. Vous inversez les choses et le chapitre suivant qu'on va voir, la réfraction, corrige un petit peu le problème d'aberration sphérique. Ça c'était pour vous expliquer l'aberration sphérique.

### notes

### résumé

## 1.2.9 Variation du grandissement

Le grandissement  $\gamma_t = \frac{f}{p-f}$  ainsi que la position de l'image  $p' = \frac{pf}{p-f}$  peuvent être visualisé sous forme d'une courbe pour observer leur variation en fonction de la position de l'objet. (consulter l'applet [ici](#))



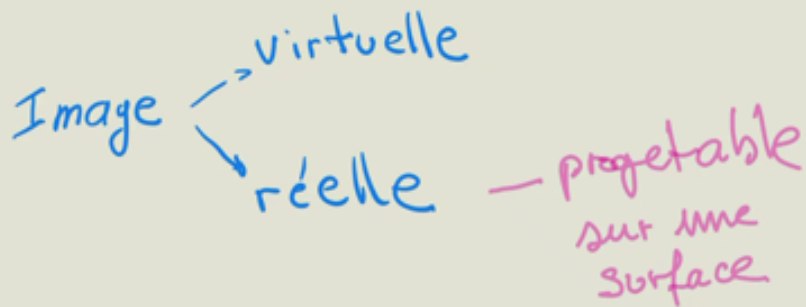
Après je pense que c'était bon, j'avais pas d'autre chose à vous raconter.

notes

résumé

15m 8s





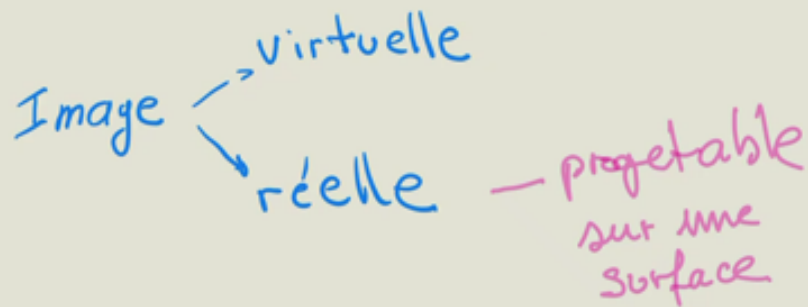
J'ai parlé un peu comme ça, comme ça venait dans le cours, des images virtuelles et des images réelles. Alors quelqu'un m'a fait à la fin du cours la dernière fois un commentaire qui me fait penser que c'est... Voilà, comme mes propos n'est pas si transparent que ça, c'est assez... Pour ce qu'on va faire, confondre images réelles virtuelles, à part mal répondre à une question que je pourrais vous poser, ce ne sera pas plus grave que ça, n'empêche que quand on fait des systèmes optiques, on doit exactement savoir ce que c'est parce qu'on ne se comporte pas de la même manière avec un système d'image réel, un système virtuel. Alors, pouvez-vous me dire selon vous comment on pourrait distinguer, parce que j'en ai parlé, parce que vous avez votre propre expérience, vous avez déjà fait un peu d'optique, qu'est-ce qui me permet de séparer une image réelle d'une image virtuelle ? Et si vous avez un exemple en tête, peut-être essayer d'analyser cet exemple. Parlez pas tous à la fois. Qui veut me donner un exemple d'une image réelle qui est devant vous maintenant ? Ok, la projection, hein ? Les slides qui sont projetés, ça, c'est une image réelle. Donc l'image réelle, vous voyez tous, a priori, la même chose. Les gens qui sont à gauche, les gens qui sont à droite voient la même image. Donc l'image réelle, je peux la projeter, je ne sais pas si ça existe vraiment en français, on va dire oui, projeter sur une surface. On pourrait la déformer pour qu'elle puisse se faire sur un plan, sur une surface courbée, mais en règle générale, c'est sur une surface. Si vous allez regarder les sons et lumières, je ne sais pas si vous avez eu l'occasion de voir celles

#### notes

#### résumé

15m 16s





de chartes, c'est extraordinaire, mais à Lausanne, il y en a aussi quelques-unes qui étaient très belles. Bon, alors l'image, elle suit le bâtiment, mais c'est une image réelle, d'accord ? Elle est projetée sur quelque chose, et les gens qui sont dans le spectacle à gauche et à droite voient la même chose. Donc elle est projetable sur une surface. C'est joli ce rose, non ? Alors, par opposition, qu'est-ce que vous pourriez dire d'une image virtuelle ? Je vous pouvez me donner un exemple d'une image virtuelle. Dans un miroir, pourquoi vous pouvez vraiment dire que c'est une image virtuelle ? Parce que vous savez très bien que quand vous vous déplacez dans le miroir, vous ne voyez pas la même chose. Mais vous avez d'autres exemples, vous pouvez encore les revoir ici à la pause, d'image virtuelle, le petit cochon, parce que j'ai des systèmes de miroir, puis j'ai un petit cochon là-dessous, voilà, je l'ai tué, il est mort.

#### notes

#### résumé





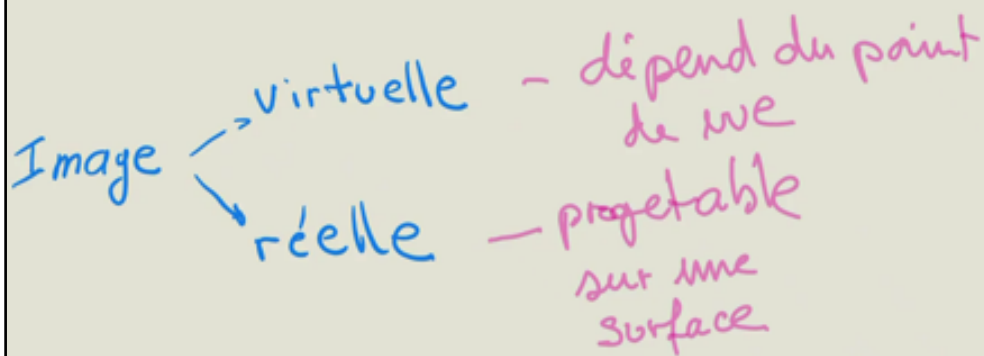
Et puis, on peut le voir. Et suivant où vous êtes, vous ne le voyez pas. Donc c'est une image virtuelle. Donc on va dire dépend du point de vue.

notes

résumé

18m 54s





En général, avec ces deux critères, vous vous en sortez bien, vous arrivez bien à différencier ce qu'est une image virtuelle, une image réelle. Pensez vraiment à ces deux critères.

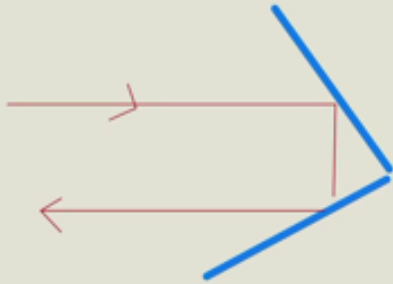
notes

résumé

19m 4s



# Catadioptr



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Ensuite, on va quitter le chapitre des miroirs. Je crois qu'il y aura un exercice, je ne me souviens plus dans quelle semaine, sur l'objet que je vais vous présenter, qui est un objet un peu particulier. C'est vraiment le nec plus ultra qu'on fait avec des miroirs. C'est ce qu'on appelle le cathadiôtre. Si on met plusieurs miroirs ensemble, ça a certaines propriétés assez intéressantes. Donc ils sont, ça marche avec deux, mais ça marchera dans une direction. Mais si vous voulez dire, dans toutes les directions, il faut qu'il y ait trois miroirs à angle droit. Et ça, la propriété de... Voilà, j'étais en train d'entraîner. De renvoyer la lumière, je crois que vous pouvez l'avoir sur mon pull ou bien, etc. Si on vous envoyait la lumière dans une certaine direction, elle va revenir dans la même direction, peut-être un petit peu décaler. Mais c'est ça, le cathadiôtre. Donc c'est pour ça que Cycliste vous a pris utiliser les cathadiôtes. Ça permet que l'automobiliste qui a des phares vous voient, parce que c'est renvoyé d'ailleurs. Il y a aussi, passons pour les cyclistes, pour les piétons aussi, des surfaces cathadiôtes. C'est exactement ça, la propriété. Et puis, il y en a, par exemple, des choses un peu comme ça, qui utilisent la réflexion totale. C'est un sujet qu'on va voir dans la leçon qui vient maintenant. Et puis, par exemple, sur la lune, il y en a, je crois, des comme ça, et puis on envoie un rayon lumineux sur la lune, puis ça nous revient dans la même direction et ça permet de faire des mesures de distance, de rotation, etc. Donc voilà, c'est juste une petite histoire. Donc ce que je vous dis, c'est que si vous envoyez un rayon... Non, je vais utiliser ça.

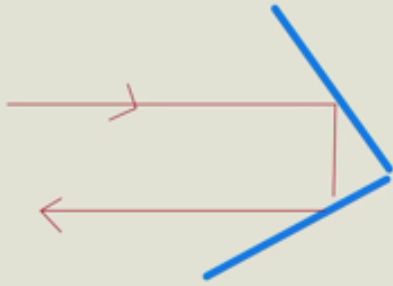
## notes

## résumé

19m 21s



# Catadioptr



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

On envoie un rayon sur le cathadioptr, ça va faire comme ça et ça va faire revenir. Donc voilà, je l'ai envoyé dans le sens que ça va revenir dans la même direction, c'est la propriété du cathadioptr. Et puis après la pause, je vous montrerai encore la magie qu'on peut faire avec un miroir, mais c'est vraiment très intéressant.

## notes

## résumé

## 1.3 Réfraction

On va attaquer un nouveau chapitre. Donc là, on était dans les surfaces spéculaires, il ne faut pas que je dépasse mes chaises là. Donc maintenant, on va regarder ce qui se passe quand la lumière, elle va être transmise par un milieu transparent. Et le mot clé, c'est la réfraction.

notes

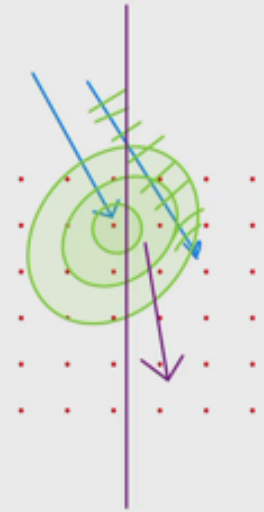
résumé

21m 50s



### 1.3.1 Indice de réfringence

- L'interaction d'un photon avec la matière va mettre la molécule dans un état excité, suivi de l'émission d'un photon.
- Si la fréquence du photon incident n'est pas proche des fréquences propres de la molécule, l'interaction peut être considérée comme élastique et le photon émis sera de même fréquence que le photon absorbé. C'est le cas dans la majeure partie des situations impliquant de la lumière visible ( $\lambda \approx 500\text{nm}$ ) et les matériaux transparents courants.
- Du point de vue ondulatoire, le front d'onde qui arrive sur un plan de molécule provoque une onde secondaire qui a un retard ou une avance de phase, suivant les cas. L'interférence de l'onde primaire et de l'onde secondaire donne une onde se déplaçant dans le même sens que l'onde primaire.
- Entre les molécules, la vitesse des photons est  $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ; par contre la combinaison de l'onde primaire et de l'onde secondaire va résulter dans une vitesse de groupe plus lente ou plus rapide.



Alors qu'est-ce qui se passe quand un rayon arrive dans un milieu transparent ? Donc vous pouvez imaginer le milieu transparent comme un milieu cristallin. Il y a des milieux amorphes, c'est un petit peu différent, mais on peut quand même représenter ça comme plein de petits milieux cristallins. Donc vous allez envoyer... Je vais prendre du bleu, vous allez envoyer des rayons. Et puis vous avez deux situations, soit les rayons, ils vont arriver ping au milieu sur un atome, soit ils vont arriver... Bon là finalement, il l'arrivera, vous avez quand même toute chance qu'une fois, il va arriver sur un atome. On va imaginer que celui-là, il va bien y avoir un ongle dans lequel on peut passer tout droit sans rencontrer rien. Alors qu'est-ce qui se passe quand ils vont arriver sur un atome ? Principalement quand les fréquences de la lumière visible ne correspondent pas aux fréquences propres de l'atome, l'atome va absorber le photon et il va le renvoyer. Et là c'est le principe de Huygens quasiment qui s'applique, ça veut dire il va le recevoir et il va le renvoyer dans toutes les directions. Donc ça veut dire que j'ai fait ça en vert, on aura une ongle qui va se répandre, etc. Puis cette ongle, quand elle va rencontrer celle qui vient des photons qui n'ont pas rencontré ou pas encore, enfin celle qui n'ont pas rencontré, elles vont salier et puis elles vont changer la direction, elles vont se combiner, changer la direction et ça va aussi changer la vitesse de l'onde. Alors là, pour vous expliquer ça dans le détail, il faudrait rentrer dans ces pelures d'oignons de l'optique que je lui ai dit que je n'allais pas rentrer ou faire juste des petites inscriptions, je ne vais pas aller

#### notes

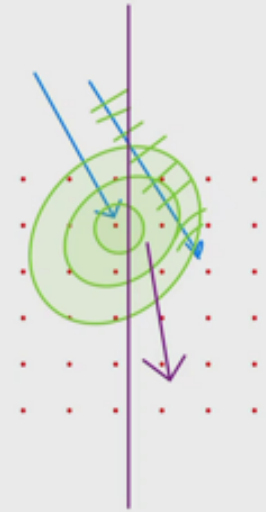
#### résumé

22m 18s



### 1.3.1 Indice de réfringence

- L'interaction d'un photon avec la matière va mettre la molécule dans un état excité, suivi de l'émission un photon.
- Si la fréquence du photon incident n'est pas proche des fréquences propres de la molécule, l'interaction peut être considérée comme élastique et le photon émit sera de même fréquence que le photon absorbé. C'est le cas dans la majeure partie des situations impliquant de la lumière visible ( $\lambda \approx 500nm$ ) et les matériaux transparent courants.
- Du point de vue ondulatoire, le front d'onde qui arrive sur un plan de molécule provoque une onde secondaire qui a un retard ou une avance de phase, suivant les cas. L'interférence de l'onde primaire et de l'onde secondaire donne une onde se déplaçant dans le même sens que l'onde primaire.
- Entre les molécules, la vitesse des photons est  $c \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ; par contre le combinaison de l'onde primaire et de l'onde secondaire va résulter dans une vitesse de groupe plus lente ou plus rapide.

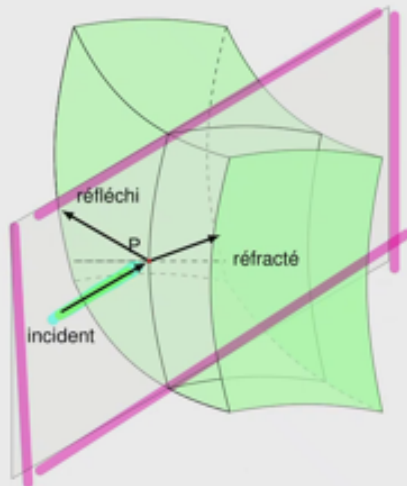


plus loin dans l'explication. Mais c'est ça qui se passe et c'est pour ça qu'on va avoir la direction, dans certaines situations, la direction qui va varier, des fois elle va se corriger par rapport à la verticale, donc je vais prendre une autre couleur, je vais prendre du violet, mais l'ensemble de ces choses-là va faire, au lieu de continuer dans cette direction-là, si j'ai une verticale qui est comme ça, elle va se rapprocher un peu, je vais faire ça comme ça, voilà, elle va se rapprocher un peu de la verticale, si le milieu est plus dense, si le milieu est moins dense, elle va avoir plutôt tendance. C'est ça l'objectif de ce chapitre, c'est vous présenter comment en optique géométrique on traite. Donc là c'est une explication avec les doigts d'une optique quantique, pour que mes collègues ne m'entendent pas et puis on va maintenant rentrer sur la manière dont on traite ça dans l'optique géométrique. Et puis sur le texte qu'elle a, vous lirez, il raconte un petit peu mieux que ce que je l'ai fait, là maintenant, en quelques minutes, il raconte cette histoire.

#### notes

#### résumé

## 1.3.2 Plan de réflexion et de réfraction



- Un rayon incident sur une surface transparente va résulter, suivant les circonstances, en un rayon réfléchi et un rayon réfracté.
- La première loi de Snell-Descartes affirme que les trois rayons sont dans le même plan, appelé plan d'incidence.
- Si le rayon incident est perpendiculaire, il n'y a pas de rayon réfléchi et le rayon transmis est en ligne droite par rapport au rayon incident.

Alors, il y a des aspects de ce qu'on fait qui sont la continuation de ce qu'on a fait avec les miroirs, mais maintenant comme ils ont transmis, avant on avait un rayon qui arrivait, qui on appelle les rayons émergents et l'autre le rayon de la réflexion, puis maintenant on a une partie qui est transmise. Donc vous pouvez voir ici, j'ai fait exprès, la surface verte, ça représente l'enjeu, le milieu dans lequel on arrive, du vert, du vert transparent, etc. Je l'ai donné exprès, une forme un peu particulière pas cubique, pour que vous voyez que les plans, c'est pas dû au fait que c'est cubique, c'est vrai à n'importe quelle position d'émission dans le milieu, je peux tracer ces plans que le milieu est n'importe quelle forme. Et donc vous voyez, un plan, j'ai dessiné ici un plan, on va appeler ça souvent le plan d'incidence, ou le plan d'incidence, réflexion, etc. Et tous les trois rayons dont on parle, ils sont dans ce plan-là. Ce phénomène-là d'arriver sur un milieu, d'être réfléchi et d'être transmis, ils sont coplanaires, ils sont dans un même plan. Ça c'est la première loi de Snell Descartes. Il y a trois lois importantes pour comprendre ce phénomène, et la première c'est que ce phénomène se passe dans un plan. Le vecteur représentant l'onde incidente, l'onde réfléchi et l'onde transmis, sont dans un même plan. Donc ça va permettre de comprendre par où ça passe, ça va permettre de faire première partie des calculs. Si le rayon incident, jaune surver, c'est pas top. Voilà, ça c'est le rayon incident et perpendiculaire à la surface, donc à la surface, au point où il arrive, donc ça veut dire qu'il est perpendiculaire à la tangente, à la surface où il arrive, je peux

### notes

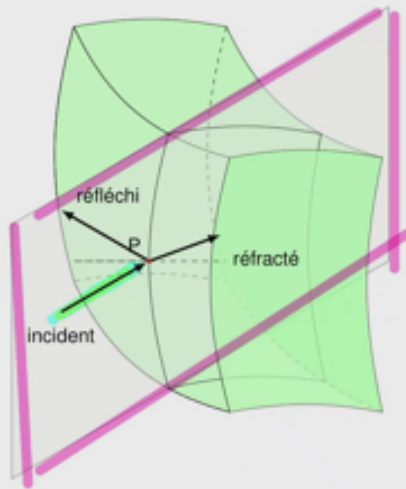
### résumé

25m 44s





## 1.3.2 Plan de réflexion et de réfraction



- Un rayon incident sur une surface transparente va résulter, suivant les circonstances, en un rayon réfléchi et un rayon réfracté.
- La première loi de Snell-Descartes affirme que les trois rayons sont dans le même plan, appelé plan d'incidence.
- Si le rayon incident est perpendiculaire, il n'y a pas de rayon réfléchi et le rayon transmis est en ligne droite par rapport au rayon incident.

avoir une surface qui est courbe, alors il n'y aura pas de réflexion, il va rentrer tout droit dans le nouveau milieu. Il va y avoir une réflexion seulement quand son angle, il n'arrive pas exactement à angle droit, c'est comme ça qu'il y aura une partie réfléchi. Et puis il y aura une partie qui va rentrer dans le milieu, on parle de la partie réfractée, vous aurez aussi le vocabulaire, la partie transmise, c'est la transmission. C'est un tout petit peu embêtant pour les lettres, les indices, parce que R, l'indice R, il marche autant pour réfléchis que réfractés, donc en général l'indice R, c'est pour la partie réfléchi, on utilise l'indice T pour la partie réfractée, parce qu'on dit c'est la partie transmise.

notes

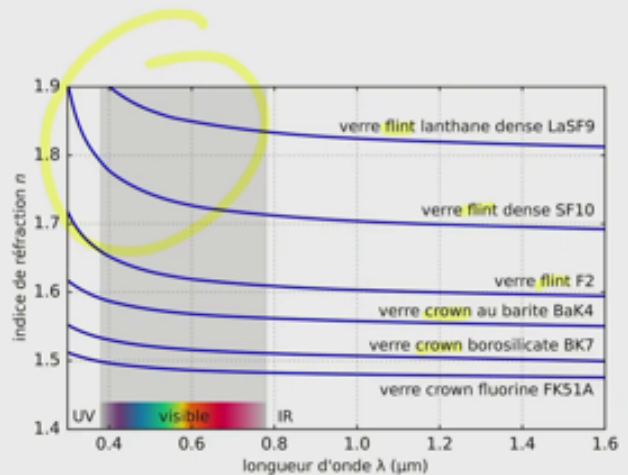
résumé

### 1.3.3 La réfraction

- La transparence (la **réfringence**) d'un milieu est un paramètre qui qualifie la vitesse avec laquelle la lumière se déplace dans ce milieu
- L'indice total de réfraction  $n$  est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide  $c$  et  $u$ , celle dans le milieu considéré

$$n_i = \frac{c}{u_i} \quad (1.4)$$

- La surface entre les deux milieux transparents s'appelle un **dioptre**
- Lorsqu'un rayon lumineux rencontre un dioptre sa direction de propagation change: une partie est réfléchiée et une partie est transmise



Indices de réfraction pour une plage de longueurs d'onde et différents matériaux transparents

Alors ensuite, ce qui va se passer, c'est que ça va dépendre de certaines propriétés du milieu. C'était la question, pas piège, mais je vous ai posé une question qui n'avait rien à voir avec le premier cours dans le quiz, ceux qui l'ont fait. Vous avez vu, il y avait une question, c'est de la prochaine fois, mais testons voir dans le vocabulaire, il y a quand même 50% des gens qui ont rien à voir. Je vous montrerai les statistiques après quand j'aurais déchargé le fichier. Ce qui va se passer dans le nouveau milieu, ce que je vous ai expliqué avec les doigts, avec mon petit cristal et puis l'onde qui se composait en ce qui passait tout droit et ce qui rencontrait des atones, c'est qu'en fait je vais avoir une variation de la vitesse, la lumière ne va plus se déplacer à la même vitesse. Elle ne va jamais dépasser le fameux valeur de  $c$ , qui est la vitesse de la lumière dans le vide. C'est là qu'on considère qu'un jour d'autres gens diront autre chose, mais aujourd'hui on considère qu'on ne peut pas dépasser cette vitesse-là, c'est une vitesse limite, c'est la vitesse de la lumière dans le vide, dans l'air, elle a quasiment la même vitesse, l'air n'est pas suffisamment dense pour quelque chose d'autre, mais dans le verre, dans l'eau, la lumière va se déplacer avec une vitesse un petit peu inférieure. Et donc il y a un coefficient qu'on appelle la réfringence, le coefficient de réfringence qui représente cette relation entre la vitesse de la lumière dans le vide et la vitesse de la lumière dans le milieu dont on parle. Alors  $c$  va être utilisé, il faudra faire attention à ce que vous lisez, je crois dans mon cours j'essaye

#### notes

#### résumé

29m 8s

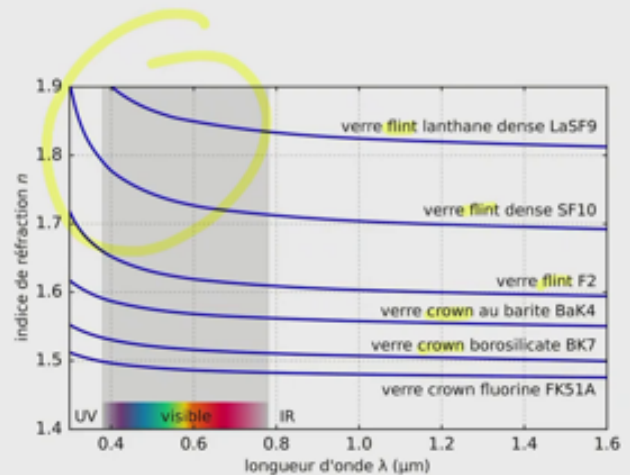


### 1.3.3 La réfraction

- La transparence (la **réfringence**) d'un milieu est un paramètre qui qualifie la vitesse avec laquelle la lumière se déplace dans ce milieu
- L'indice total de réfraction  $n$  est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide  $c$  et  $u$ , celle dans le milieu considéré

$$n_i = \frac{c}{u_i} \quad (1.4)$$

- La surface entre les deux milieux transparents s'appelle un **dioptre**
- Lorsqu'un rayon lumineux rencontre un dioptre sa direction de propagation change: une partie est réfléchiée et une partie est transmise



Indices de réfraction pour une plage de longueurs d'onde et différents matériaux transparents

d'éviter, mais ça peut arriver, c ça peut être des fois la vitesse de l'onde, mais en général on préfère la garder pour la vitesse de la lumière dans le vide. Et puis  $u$  c'est la vitesse de l'onde dans le milieu dans lequel on est en train de parler. Et le rapport de  $c$  sur  $u$ , ça s'appelle, on aime bien prendre la lettre  $n$ , et ça, ça représente l'indice de réfringence. Des fois les gens disent la réfringence, mais pour moi, la réfringence c'est plutôt le phénomène qui va se passer et donc c'est plutôt l'indice de la réfringence. Puis il y a encore un autre mot qui est important pour parler de ce qu'on va faire. Quand on réit on rentre dans un milieu, il y a une interface entre les deux milieux, la surface de la vitre, la surface de l'eau, cette interface peut être plus ou moins plate, peut avoir différentes caractéristiques, ça on appelle un dioptre. Le dioptre c'est l'interface entre deux milieux. Et donc il va se passer quelque chose dans le premier milieu, il va se passer quelque chose dans le second milieu, mais il va aussi se passer quelque chose à l'interface entre les deux milieux. Donc la lumière, elle se déplace en ligne droite dans un milieu qui est homogène, donc ça veut dire avant de passer par un dioptre, et au moment où vous êtes sur le dioptre, c'est plus homogène et là elle ne va pas en ligne droite. Alors, à titre aussi d'information, vous avez un petit chemin à côté pour donner pour quelques exemples d'un milieu transparent le verre. Alors comme moi j'ai fait mes études, on parlait beaucoup, donc il y a des verres qu'on dit flint, puis il y a des verres qu'on dit

#### notes

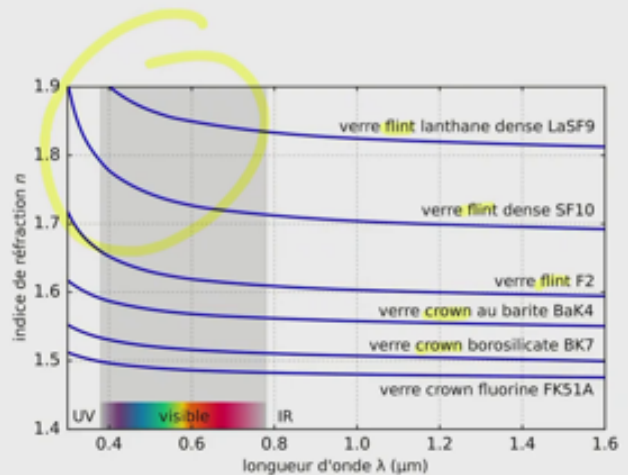
#### résumé

### 1.3.3 La réfraction

- La transparence (la **réfringence**) d'un milieu est un paramètre qui qualifie la vitesse avec laquelle la lumière se déplace dans ce milieu
- L'indice total de réfraction  $n$  est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide  $c$  et  $u$ , celle dans le milieu considéré

$$n_i = \frac{c}{u_i} \quad (1.4)$$

- La surface entre les deux milieux transparents s'appelle un **dioptre**
- Lorsqu'un rayon lumineux rencontre un dioptre sa direction de propagation change: une partie est réfléchiée et une partie est transmise



Indices de réfraction pour une plage de longueurs d'onde et différents matériaux transparents

crown, en fait c'est des verres qui sont faits avec différents types de substances et qui ont différents types de propriété. Donc ce qui est intéressant là, pourquoi je vous montre ça, c'est déjà pour vous voyez, on va considérer en général que quelle que soit la longueur d'onde, le haine elle-même, vous voyez qu'il n'est pas exactement le même, il varie un peu, alors il varie plutôt pour les verres flint, et puis il varie un peu moins pour les verres crown. Puis après il y a d'autres types, du plexiglas, il y a d'autres choses, donc ça vaut la peine, suivant ce que vous avez comme problème, je ne parle pas des problèmes que je vous donnerais, je vous parle des problèmes réels, si vous faites des TP, etc., de savoir quelles sont les propriétés optiques du matériau avec lequel vous travaillez. Et quelque chose qui est intéressant de savoir, c'est est-ce que mon matériau a plutôt, dans le visible, c'est plutôt une ligne droite, le haine est plus ou moins constant ou pas, parce que s'il n'est pas constant alors vous aurez des aberrations chromatiques, vous aurez des problèmes avec les lumières, la lumière de différentes valeurs va se comporter différemment, et entre autres ça va vous iriser votre image à la fin et des choses comme ça. Et puis est-ce que voilà, voilà ce que je voulais vous raconter sur cet aspect-là.

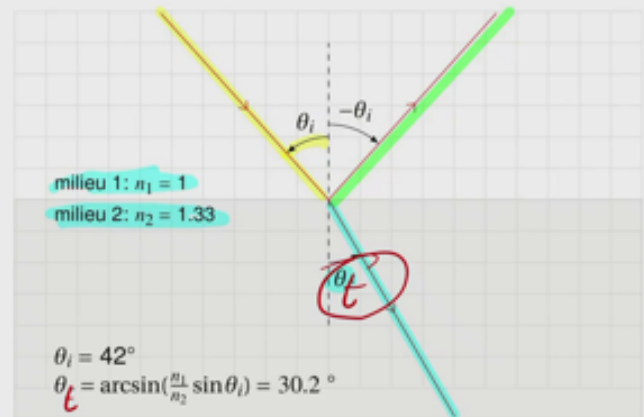
#### notes

#### résumé

## 1.3.4 La loi de Snell-Descartes

- Le rayon incident et le rayon réfléchi sont coplanaires, ainsi que le rayon transmis
- La partie réfléchie forme un angle opposé à l'angle d'incidence  $\theta_i$  par rapport à la normale à la surface au point d'incidence
- L'angle d'incidence et celui du rayon transmis obéissent à la loi de **Snell-Descartes**

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t \quad (1.5)$$



Exemple de réfraction externe

Alors, qu'est-ce qui se passe quand on rayons lumineux, alors là on imagine quelque chose comme un laser, on imagine qu'on a une seule couleur dans le rayon lumineux qui est suffisamment fin, comme ça ce que je vous dis marche quel que soit les valeurs  $n$ , qu'elles dépendent ou pas de la fréquence de la lumière, vu qu'il n'y en a qu'une seule fréquence, ça n'a pas d'importance dans ce que je vous raconte, donc il est clair que si vous aviez un rayon lumineux composé de photons de différentes longueurs d'ondes, alors peut-être qu'au lieu d'avoir juste un an que vous aurez un pinceau qui va s'élargir, mais ça on regardera un petit peu plus tard quand on parlera du prisme. Donc vous avez ici un rayon lumineux incident qui arrive avec un certain an, l'angle dont on parle c'est toujours l'angle avec la, qui est perpendiculaire à la surface, c'est pas la tangente, c'est l'angle qui est perpendiculaire à la surface, ça c'est quelque chose à se souvenir parce qu'outrement vous risquez de vous tromper. Donc j'ai mon angle, je l'appelais Theta, I, Theta parce qu'on aime bien appeler les angles avec des lettres grecques, puis I pour incidence. Et puis il y a une partie comme je ne suis pas perpendiculaire à la surface, j'ai une partie de l'onde qui est réfléchi et là on connaît déjà à quel angle il est réfléchi, comme dans le miroir, c'est la même chose, c'est à dire que la surface a fonctionné comme un miroir. Et puis c'est l'angle, enfin, nouveau, c'est égal que l'on parle, on peut dire soit c'est le même angle, mais dans l'autre, dans l'autre direction par rapport à la perpendiculaire, ça vous dit c'est l'angle opposé, c'est l'angle juste en face, c'est pour ça

### notes

### résumé

34m 46s

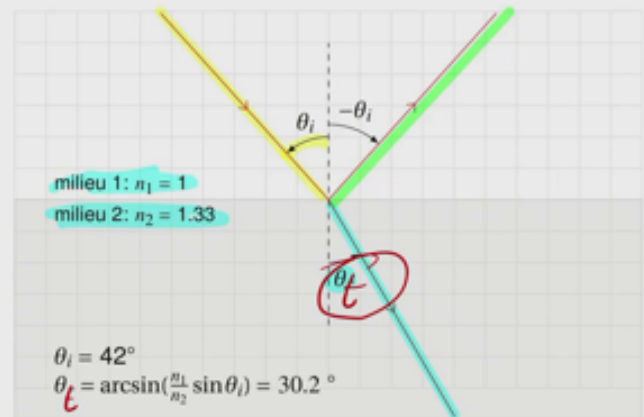




## 1.3.4 La loi de Snell-Descartes

- Le rayon incident et le rayon réfléchi sont coplanaires, ainsi que le rayon transmis
- La partie réfléchie forme un angle opposé à l'angle d'incidence  $\theta_i$  par rapport à la normale à la surface au point d'incidence
- L'angle d'incidence et celui du rayon transmis obéissent à la loi de **Snell-Descartes**

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t \quad (1.5)$$



Exemple de réfraction externe

que je l'ai appelé moins Theta I. Et puis il y a une partie qui va être transmise, donc c'est la partie que je vais dessiner en bleu maintenant, et puis là j'ai donc un angle que j'appelle, là je l'appelais Theta R, vous voyez, je me contredis moi-même, appelez-le plutôt Theta T si vous avez la possibilité. Mais c'est clair que là on parle de l'angle de rayons qui est transmis, qui est réfracté. Alors là on est dans un milieu où on vient peut-être de l'air, donc j'ai mis ici que le milieu duquel on venait, le milieu I, il avait un indice de réfringence de 1, et je passe dans un milieu qui est toujours transparent, autrement ça ne passerait pas, c'est pas de l'aluminium, vous n'arrivez pas à traverser de l'aluminium, moi qui sois vraiment toute petite couche, donc c'est du vert, du plexi, de la glace, de l'eau, différentes choses. Et puis là on lui a donné, c'est une valeur qu'on donne souvent pour le vert, une valeur moyenne si on veut avoir un indice 1,33, ça c'est dans le milieu II, donc je passe dans un milieu qui est plus dense. Alors ce que vous pouvez voir c'est que l'angle Theta R est plus petit par rapport à l'angle Theta I. Dans un milieu plus dense, le rayon lumineux qui arrive obliquement va avoir une tendance à se rapprocher de la perpendiculaire. Et puis si on veut le calculer, c'est très facile, il y a la loi de Snell, c'est souvent dit, la loi il y en a 3, donc c'était que tous ces 3 rayons sont dans un plan, c'est la première, la deuxième c'est que le rayon réfléchi, il est à un angle opposé, égal ou opposé c'est dépend comment on parle,

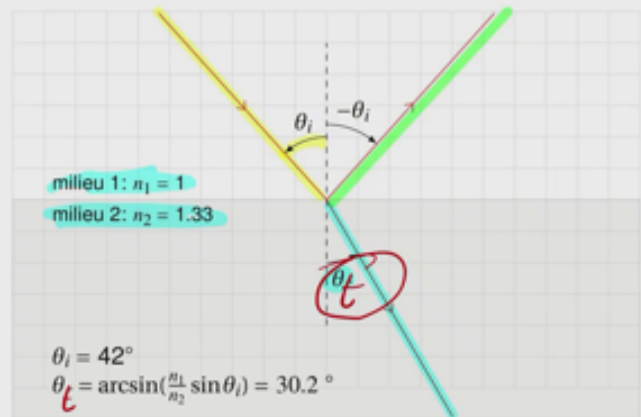
notes

résumé

## 1.3.4 La loi de Snell-Descartes

- Le rayon incident et le rayon réfléchi sont coplanaires, ainsi que le rayon transmis
- La partie réfléchie forme un angle opposé à l'angle d'incidence  $\theta_i$  par rapport à la normale à la surface au point d'incidence
- L'angle d'incidence et celui du rayon transmis obéissent à la loi de **Snell-Descartes**

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t \quad (1.5)$$



Exemple de réfraction externe

et puis la troisième loi de Snell c'est que le rayon transmis à un angle par rapport à la perpendiculaire, à la surface, à l'endroit où il a passé, qui répond à cette loi-là ni donc l'indice de réfraction dans le milieu d'incidence, c'est  $n_1$ , c'est 1 dans notre situation, fois sinus de l'angle d'incidence est égal à, et vous voyez j'ai mis un R dans mon dessin, j'ai mis un T dans mon équation, je vais vite faire un gros truc rouge pour me souvenir et puis corriger ça bientôt, voilà. Donc la partie qui est transmise, j'ai de nouveau le produit de l'indice de réfraction dans le milieu, le deuxième milieu, le milieu dans lequel c'est transmis, multiplié par le sinus de cet angle-là. Ça c'est la loi, je vous propose de la mémoriser comme ça, c'est pas si compliqué que ça,  $n_1 \sin \theta_1$  est égal à  $n_2 \sin \theta_2$ , puis ça, ça va être vrai dans un sens et dans l'autre. Après il faut savoir, vous votre rayon, oui, va, mais cette loi-là, le fait que  $n$  fois le sinus de l'angle d'incidence sur le dioptre est constant des deux côtés du dioptre, ça c'est la troisième loi de Snell des cartes. Après quand vous lisez, il y a des gens qui font la différence entre les lois de Snell, les lois de Snell des cartes, pour moi c'est tous les lois de Snell des cartes, tout le monde égal, ne vous disputez pas les enfants. Et puis il y a la première, la deuxième, la troisième, la première, c'est dans un plan. La deuxième, l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence et puis la troisième c'est  $n_1 \sin \theta_1$  est égal à  $n_2 \sin \theta_2$ . Alors, après, vous, ce qui vous intéresse en général,

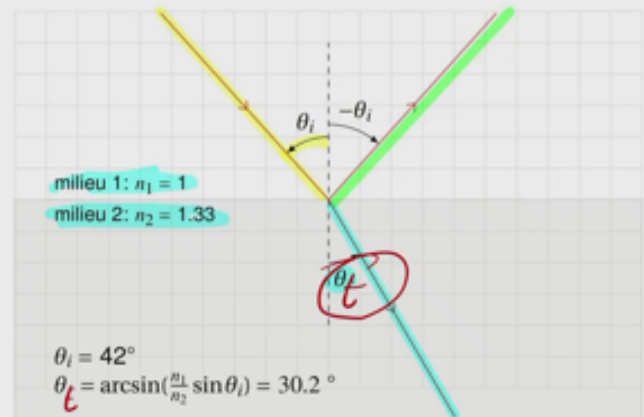
### notes

### résumé

### 1.3.4 La loi de Snell-Descartes

- Le rayon incident et le rayon réfléchi sont coplanaires, ainsi que le rayon transmis
- La partie réfléchie forme un angle opposé à l'angle d'incidence  $\theta_i$  par rapport à la normale à la surface au point d'incidence
- L'angle d'incidence et celui du rayon transmis obéissent à la loi de **Snell-Descartes**

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t \quad (1.5)$$



Exemple de réfraction externe

c'est l'angle theta t ou theta r, donc je l'appelais, sur le côté gauche il s'appelle theta t, sur le côté droit il s'appelle theta r, mais il s'agit du même. Donc celui-là vous l'appellez t, celui-là vous l'appellez t, voilà. Et donc vous avez les jolies formules, ils en voyaient pas souvent des comme ça. Donc vous avez l'angle à lequel on va être réfracté, c'est égal. Au sinus de l'angle d'incidence, puis après on va faire le rapport des deux indices. Et puis là, ils ne vont pas se tromper parce que c'est l'angle d'incidence, donc le n1, le n est en haut de la fraction, il est en numérateur, pas au dénominateur. Et puis le 2e, il est au dénominateur. Et puis après je le l'angle, donc je prends la fonction inverse, donc c'est un sinus multiplié par quelque chose, et puis je prends l'arc sinus, je prends la fonction inverse du sinus. Ça va, ça va, on n'a pas la vitesse, ça va. Voilà, je vous laisse aller en pause, et puis je vous retrouve dans un quart d'heure.

notes

résumé



## Feedback sur les exercices de la première semaine

Jean-Marie Fürbringer, Giulia Vittorangeli, Mateo Dubuisson

23 février 2025

Jean-Marie Fürbringer, Giulia Vittorangeli, MFeedback sur les exercices de la première sem

23 février 2025 1 / 9

Avant de reprendre notre flux de lumière, un feedback que j'ai réussi à transférer à mon fichier, j'ai mis les noms des deux assistants qui m'ont aidé pour ça. Certains c'est vos assistants, j'ai des assistants qui font les oeuvres habituelles, puis j'ai des autres assistants qui m'aident un petit peu plus. Julia, elle m'aide pour les cartes mentales, parce que je les collectionne, ça m'intéresse de comprendre comment les choses évoluent. Et puis si tout se passe bien, elle viendra aussi vous raconter des choses parfois sur le lien entre le cours et la durabilité. On a trouvé intéressant de vous montrer un petit peu des liens importants. Et puis Matteo, Dubuisson, La Manne, lui, il s'est responsable aussi de Heide. C'est lui qui m'a installé Heide,

### notes

### résumé

42m 38s



Grade Level	Number of Respondents
Grade 1	6
Grade 2	5
Grade 3	4
Grade 4	3
Grade 5	2
Grade 6	1
Grade 7	1

notes

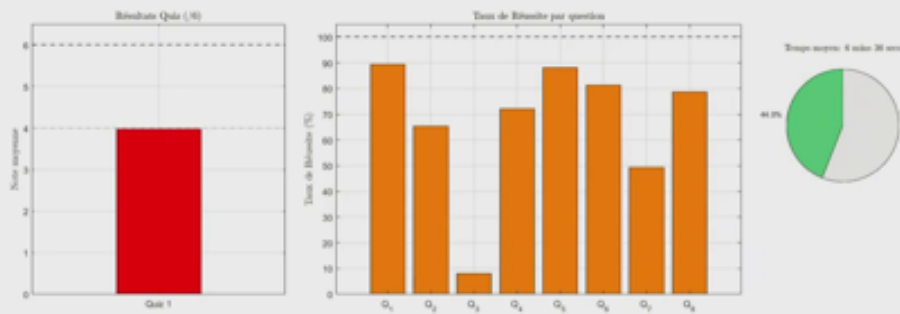
---

résumé

43m 37s



## Résultat du quizz



Jean-Marie Fürbringer, Giulia Vittorangeli, MFeedback sur les exercices de la première sem

23 février 2025 3 / 9

Voilà les résultats statistiques du quiz. Donc en règle générale, vous avez la moyenne. On arrive à quatre. Ça veut dire que vous avez suffisamment de questions. C'est plutôt pour éclatérir, parce que c'est vraiment un début de cours. Je ne m'attends vraiment pas à des résultats faramineux. Je ne m'attends en tout cas pas à un six. Autrement, moi je vais faire les questions plus difficiles pour vous montrer qu'on peut monter. Donc moi, ça me satisfait tout à fait. Alors après, vous avez les résultats par question. Et puis, on va parler de la trois qui est un petit peu intéressante. La sept, c'est celle que je vous ai dit, je l'ai demandé sur la réfringence. Voilà, c'était un petit test, un petit clin d'oeil. L'année passée, je crois que j'avais avancé plus vite, donc elle était déjà là, puis je l'ai laissée. Je me suis dit, bon, on verra ce que ça donne, et je suis quand même intéressé. C'est de voir qu'il y a au moins 50% des gens qui sont sortis, soit... C'était l'année passée, non, pas forcément. Soit, ils avaient déjà vu ça, et ils ont compris la question. Maintenant, regardons sur la question trois.

notes

résumé

45m 8s

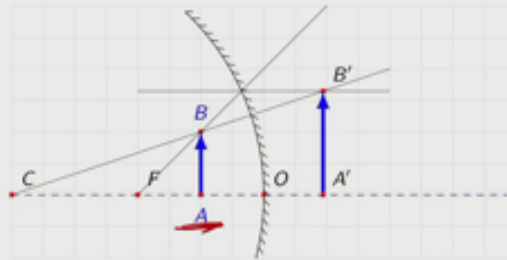


## La question 3

Si un objet est placé entre le foyer et le miroir concave, comment sera l'image formée ?

- Inversée et réduite
- Inversée et agrandie
- Droite et réduite
- Aucune de ces réponses

La formule donnée au cours  $\gamma_T = \frac{f}{p-f}$ , ne suffit pas parce qu'elle ne donne pas l'orientation de l'image : il faut faire un schéma :



Jean-Marie Fürbringer, Giulia Vittorangeli, MFeedback sur les exercices de la première sem

23 février 2025 4 / 9

La question trois, elle disait, si un objet est placé entre le foyer et le miroir concaves, comment sera l'image formée ? C'est presque un Alexandre. Est-ce qu'elle est inversée et réduite ? Est-ce qu'elle est inversée et agrandie, droite et réduite ? Aucune de ces réponses. C'est la bonne réponse, c'était aucune de ces réponses, parce qu'en fait, elle est droite et agrandie. Donc, c'est la quatrième possibilité que je ne vous ai pas mis. Alors, là, on joue encore. C'est clair que c'est un piège. En tout cas, je n'aimerais pas à l'examen. Je pense que vous avez peut-être mal répondu, parce qu'on hésite à répondre. On pense que le professeur a toujours mis une bonne réponse, etc. Donc, c'est une question, c'est cette quatrième option de la question. Est-ce que vous voulez vous parler un petit peu de ça ? Je n'arrive pas à vous promettre ou pas vous promettre que ce n'aura pas du tout de ça à l'examen. Mais pourquoi, quand on vous entraîne, on vous pose des questions comme ça ou on ne vous donne pas la bonne réponse ? Ce n'est pas pour rien. Regardez quelle était la bonne réponse. Vous voyez que vous avez l'objet. J'ai fait quoi ? Avec mon truc bidule. Mon truc bidule est là. Donc, ça, c'était l'objet. Vous voyez que l'image, vous avez l'impression qu'elle est derrière le miroir. Elle est dans le miroir, l'image. Mais vous avez l'impression qu'elle est comme vous regardez dans un miroir. En fait, c'est exactement ce qui se passe quasiment dans un miroir plat. Si ce n'est qu'elle est agrandie parce que vous avez quelque chose qui augmente. Donc, la bonne réponse, c'était mon image, elle est droite et puis elle est agrandie. Voilà. Et puis, vous ne pouviez pas y

notes

résumé

46m 16s

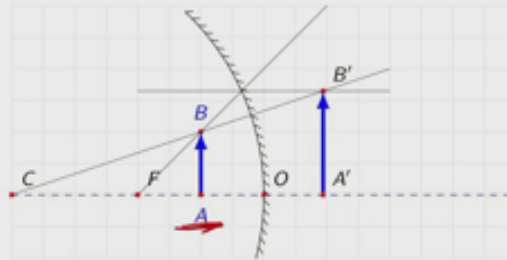


### La question 3

Si un objet est placé entre le foyer et le miroir concave, comment sera l'image formée ?

- Inversée et réduite
- Inversée et agrandie
- Droite et réduite
- Aucune de ces réponses

La formule donnée au cours  $\gamma_T = \frac{f}{p-f}$ , ne suffit pas parce qu'elle ne donne pas l'orientation de l'image : **il faut faire un schéma** :



Jean-Marie Fürbringer, Giulia Vittorangeli, MFeedback sur les exercices de la première sem

23 février 2025 4 / 9

répondre juste à ces autres choses que je voulais préciser. Il y avait une formule pour calculer l'agrandissement,

notes

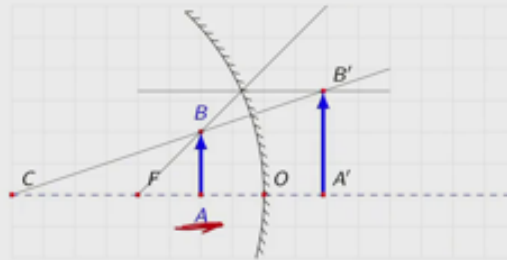
résumé

## La question 3

Si un objet est placé entre le foyer et le miroir concave, comment sera l'image formée ?

- Inversée et réduite
- Inversée et agrandie
- Droite et réduite
- Aucune de ces réponses

La formule donnée au cours  $\gamma_T = \frac{f}{p-f}$ , ne suffit pas parce qu'elle ne donne pas l'orientation de l'image : **il faut faire un schéma** :



Jean-Marie Fürbringer, Giulia Vittorangeli, MFeedback sur les exercices de la première sem

23 février 2025 4 / 9

mais cette formule, elle donne que la valeur absolue. Parce qu'elle fait juste le rapport des longueurs. Elle ne regarde pas si c'est

notes

résumé

48m 8s

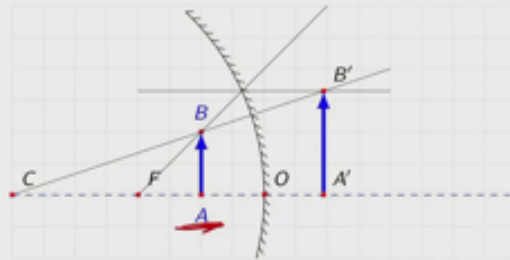


## La question 3

Si un objet est placé entre le foyer et le miroir concave, comment sera l'image formée ?

- Inversée et réduite
- Inversée et agrandie
- Droite et réduite
- Aucune de ces réponses

La formule donnée au cours  $\gamma_T = \frac{f}{p-f}$ , ne suffit pas parce qu'elle ne donne pas l'orientation de l'image : **il faut faire un schéma** :



Jean-Marie Fürbringer, Giulia Vittorangi, MFeedback sur les exercices de la première sem

23 février 2025

4 / 9

inversé ou pas inversé. Je ne vous ai pas rendu attentif à ça. Je crois que moi-même, je n'étais pas suffisamment attentif. J'ai rajouté des commentaires dans ce sens-là, dans les slides, pour vous vraiment vous rendre attentif à ça. Et puis alors, pourquoi

notes

résumé

48m 14s



## Pourquoi l'option « aucune des réponses proposées ? »

- **Analyse critique** : Incite l'élève à examiner toutes les réponses proposées plutôt que de choisir automatiquement.
- **Évitement des automatismes** : Permet de sortir du réflexe de sélectionner une réponse sans réflexion approfondie.
- **Diagnostic de compréhension** : Met en évidence une compréhension superficielle du sujet si l'élève choisit incorrectement.
- **Maîtrise du sujet** : Encourage une révision plus approfondie pour rejeter systématiquement chaque proposition.

Jean-Marie Fürbringer, Giulia Vittorangeli, MFeedback sur les exercices de la première sem

23 février 2025 5 / 9

est-ce qu'on vous pose des questions tordues ? Ça veut dire des questions où on vous propose des réponses. La réponse n'est pas là. On ne peut pas choisir aucune des bonnes réponses. C'est là. C'est pour vous faire réfléchir. C'est vraiment l'objectif. Donc, c'est pour vraiment vous rendre compte que probablement, de manière générale, à l'université, dans les sciences, mais particulièrement en physique, chaque mot compte. Et c'est vraiment très important de faire une analyse des phrases et de regarder ce qu'il en est. Et on ne peut pas juste avoir l'impression qu'elle répond de la première fois. C'est vraiment très désolé que vous répondiez très rapidement à l'examen. La réponse n'est pas juste alors que si vous réfléchissez un petit moment de plus. Je ne suis pas pas aussi. Donc désolé si vous me trouvez un peu paternaliste à certains moments. Mais c'est vraiment dans le but de vous aider et de vous permettre à passer ces étapes. On a des automatismes, des fois, à répondre. Il faut faire un petit peu attention. Un petit exemple des automatismes. Vous parlez plein de choses avec du lait. Vous dites que vous avez de l'eau. Et puis qu'est-ce que vous avez un petit vaut ? Vous dites de l'eau. Je ne suis pas sûr que mon exemple est correct. Vous savez ça, on peut vous donner l'automatisme qu'on a. On crée quelque chose dans l'esprit. Il y a des questions. Vous avez l'impression que ça continue. La première question c'est facile. La troisième, il faut faire attention. Elle est peut-être facile. Il faut vraiment être attentif à ça. Et puis ça permet de voir si vous avez bien compris. Vous devez dire si c'est pas le hasard qui vous a fait répondre à quelque chose. Et c'est donc... Vous invitez

### notes

### résumé

48m 30s





## Pourquoi l'option « aucune des réponses proposées ? »

- **Analyse critique** : Incite l'élève à examiner toutes les réponses proposées plutôt que de choisir automatiquement.
- **Évitement des automatismes** : Permet de sortir du réflexe de sélectionner une réponse sans réflexion approfondie.
- **Diagnostic de compréhension** : Met en évidence une compréhension superficielle du sujet si l'élève choisit incorrectement.
- **Maîtrise du sujet** : Encourage une révision plus approfondie pour rejeter systématiquement chaque proposition.

Jean-Marie Fürbringer, Giulia Vittorangeli, MFeedback sur les exercices de la première sem

23 février 2025 5 / 9

aussi à maîtriser le sujet. Que votre oui soit oui, que votre non soit non. Ça veut dire que vous ayez vraiment une compétence qui se développe et pas simplement comme chat GPT. Probablement que la réponse doit être simple. Donc, c'est vrai. Je n'avais pas pensé à ça quand j'ai écrit ça. Mais c'est vrai qu'on ne veut pas que vous ayez pensé. On veut faire de vous des personnes qui réfléchissent, des criminologues, des criminalistes qui soient vraiment capables de voir. Dans votre métier, on va dire qu'on a même l'impression qu'ils sont encore plus critiques que dans l'autre. Il s'agit vraiment de voir les détails. Et si vous regardez bien toutes les séries policières, c'est toujours le détail qui permet à Colombo de savoir qui était... Mme Moutard a tué le colonel

notes

résumé

# Mind map

Maria Laura  
Noémie

différents types  
de miroirs

• miroir plan  
→ image inversée (d-g)

• miroir parabolique  
→ parallèle passe par f

• miroir elliptique

image de f<sub>1</sub> vers f<sub>2</sub>

• miroir sphérique

voir dessin

$$f = \frac{R}{2}$$

optique  
géométrique

(vergence)  
Loi de Descartes

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \quad \text{vergence } (S) \quad [m^{-1}]$$

Loi de Descartes

principe de Fermat:  
- ligne droite / milieu homog.

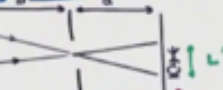
appelés géo:  
Thalès:

$$\frac{AH}{AC} = \frac{AM}{AB} = \frac{HN}{BC}$$

grandissement  
transversal (gt)

$$gt = -\frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA} = \frac{P'}{P}$$

principe  
du sténopé



$$L' = L \frac{d}{D}$$

image  
réelle  
(et virtuelle)  
= dépend de l'œil

Jean-Marie Fürbringer, Giulia Vittorangeli, MFeedback sur les exercices de la première sem

23 février 2025 6/9

dans la salle de banque.

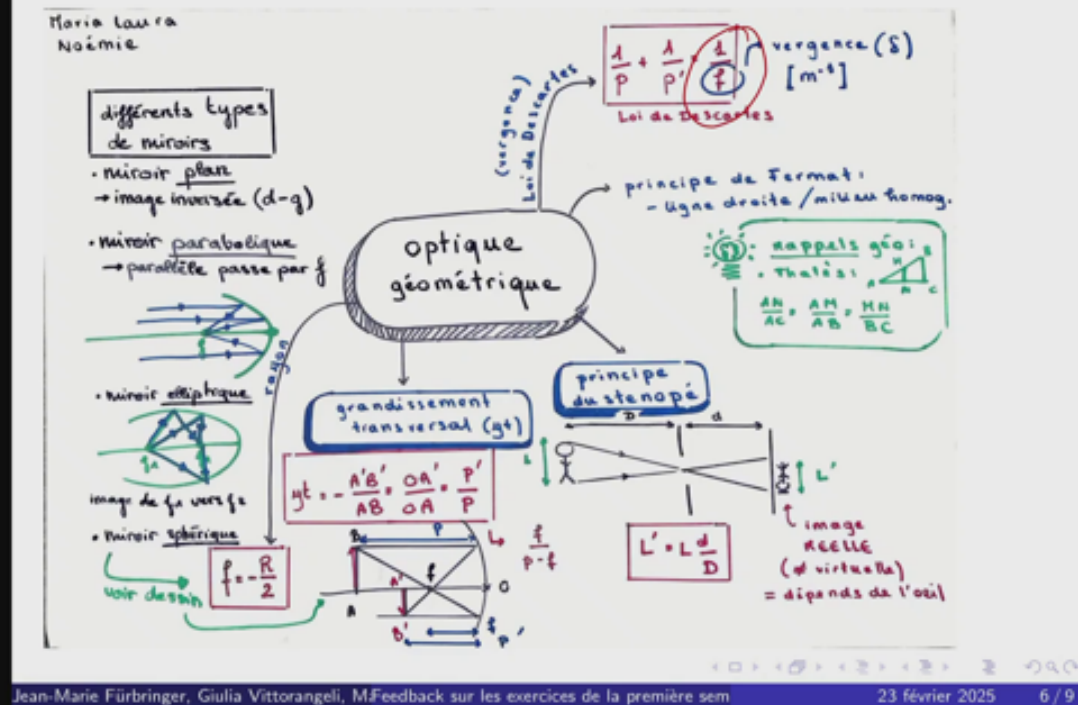
notes

résumé

51m 0s



## Mind map



Ensuite, les cartes mentales. Moi, je trouve ça très intéressant. Donc, j'attends pas à avoir regardé vos cartes et à me convaincre. Mais j'espère que ceux qui se sont prêtés au jeu ont vu l'intérêt. Et l'intérêt, il n'est pas seulement à court terme. Et je voulais saluer un certain nombre de cartes que j'ai trouvées très bien faites. Mais moi, j'ai trouvé bien. Ça ne peut pas dire que des cartes que moi, je n'ai pas remarquées, ce n'est pas bien parce que les cartes, elles sont pour vous. Est-ce que ces cartes, elles vous sont utiles ? C'est ça qui est important. Donc ne vous fixez pas non plus sur celle que j'ai trouvée intéressante. Néanmoins, j'ai trouvé cette carte. Moi, je l'ai trouvée belle. J'ai trouvée intéressante. Et puis, le fait d'avoir mis pas trop d'éléments, d'avoir mis des chemins et les équations, moi, je trouve que elle est très très bien. En tout cas, si je devais en faire une, je crois qu'elle ressemblerait. Elle ressemblerait à ça. Peut-être que j'ai pas l'esthétique des personnes qui ont fait ça. Bravo, félicitations. C'est vraiment une carte très intéressante. En finant, peu de choses. Elle est belle, elle est utile, elle est pratique. Est-ce qu'elle est complète ? Moi, il me semble qu'il y a pas mal de choses. Après, on peut toujours rajouter un de truc. Il y a toujours quelque chose. Il y a juste, oui, peut-être moi, je dirais que la vergence, c'est pas F. La vergence, c'est 1 sur F. On a l'impression que la vergence, c'est F. Mais la vergence, c'est 1 sur F.

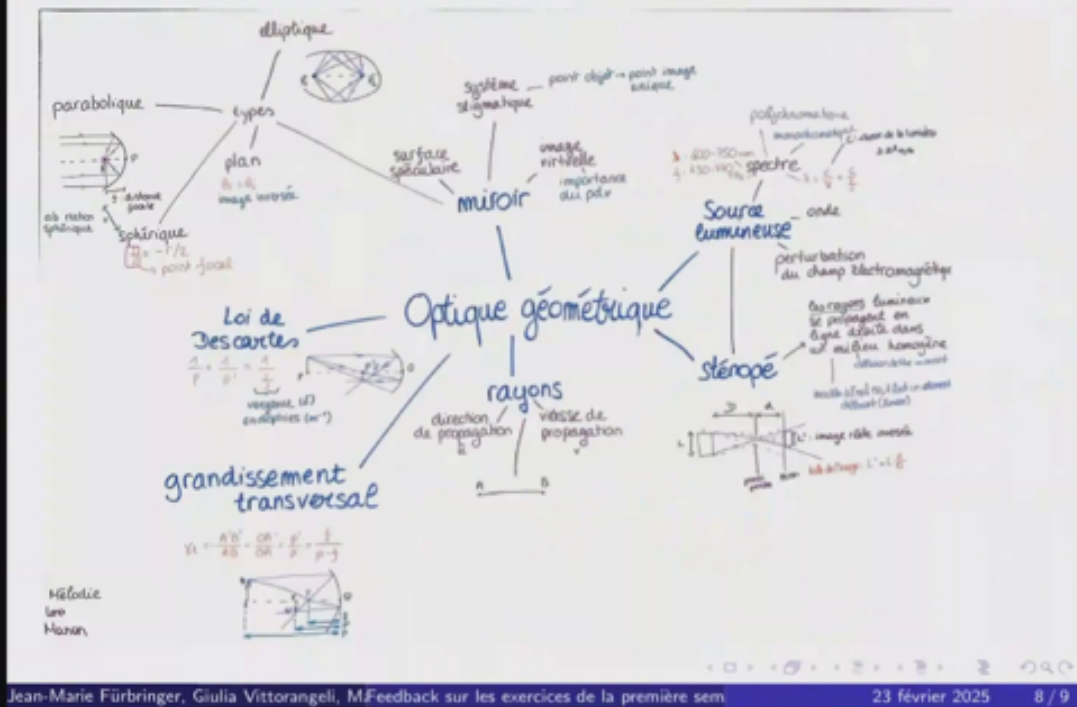
notes

résumé

51m 1s



## Mind map



Moi, j'ai aussi adoré celle-ci. J'ai trouvé très belle. D'ailleurs, les personnes ont utilisé aussi du rose comme moi aujourd'hui, donc c'est très bien. Aussi, de nouveau, il y a des graphiques. Je suis intéressé. Là, probablement, ce qu'on peut spécialiser, je dirais pourquoi elle trouve très bien. Parce que vous voyez, vous avez des grands titres importants, clac, clac, clac, clac, clac, puis après, des petits détails. Donc, ça veut dire qu'il y a une vision d'abord, puis on va sur le lieu, puis là, on découvre des choses. Donc, il y a un côté télescopique qui fait que ce carte est très intéressante.

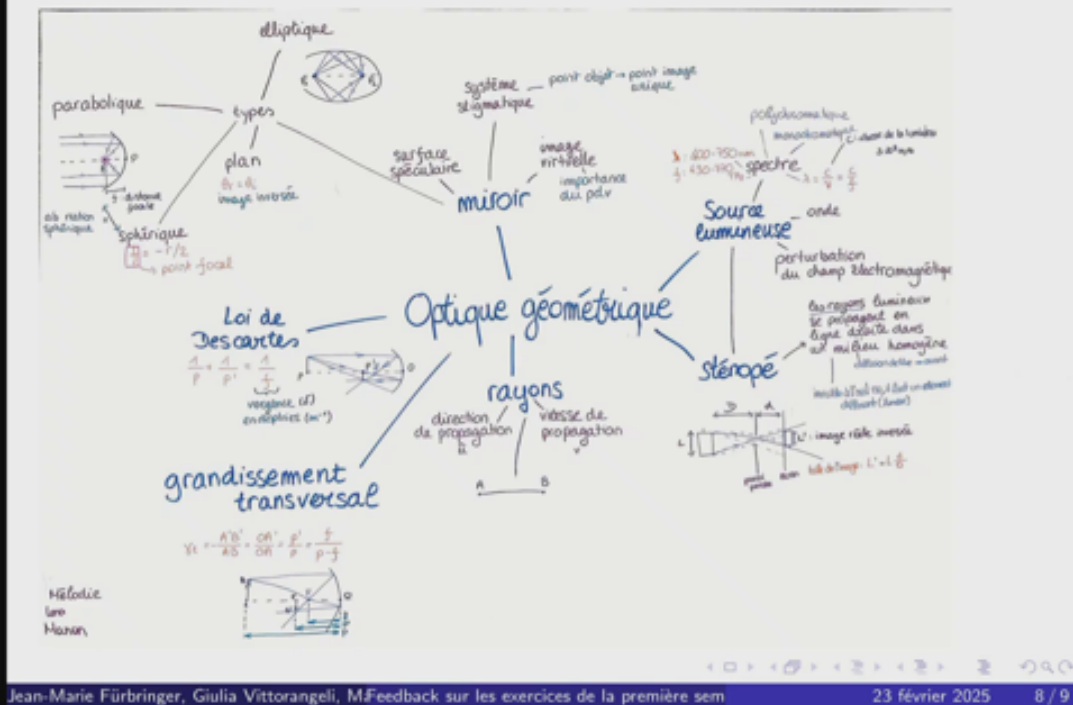
notes

résumé

52m 31s



## Mind map



Jean-Marie Fürbringer, Giulia Vittorangi, MFeedback sur les exercices de la première sem

23 février 2025 8 / 9

J'ai bien aimé celle-là. Elle est un peu plus scolétique. Comme par hasard, elle a un nouveau des dessins qui permettent d'exprimer les choses.

notes

résumé

53m 4s



## Mind map

**Lumière** : perturbation du champ électromagnétique  
 Longueur d'onde  $\lambda = \frac{c}{\nu}$  ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s)

**Sténopé**  
 - les rayons lumineux se propagent en ligne droite dans un milieu homogène

**Vergence** :  $\delta = \frac{1}{f}$  [m<sup>-1</sup>]

**Grandissement transversal** :  $\gamma_T = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA} = \frac{P'}{P} = \frac{f}{P-f}$

**OPTIQUE**

**Miroir**  
 1. Rayons en ligne droite  
 2. Angle de réflexion = angle d'incidence  
 → Système stigmatique : respecte les distances

**Loi de Descartes** :  $\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \frac{1}{f}$   
 c : centre cercle  
 f : point focal

**Concave**  
**Convexe**  
 objet réel image virtuelle

$L' = L \cdot \frac{d}{b}$

RACHEL  
 LINE  
 LAURYNÉ

Jean-Marie Fürbringer, Giulia Vittorangi, MFeedback sur les exercices de la première sem 23 février 2025 9/9

Et puis, celle-là, elle est sympa. Elle est aussi un petit côté esthétique et graphique qui me va aussi très, très bien. Voilà. Donc, ça, c'est ce que je voulais vous dire

notes

résumé

53m 14s



## Mind map

**Lumière** : perturbation du champ électromagnétique  
 Longueur d'onde  $\lambda = \frac{c}{\nu}$  ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s)

**Sténopé**  
 - les rayons lumineux se propagent en ligne droite dans un milieu homogène

**Vergence**:  $\delta = \frac{1}{f}$  [ $m^{-1}$ ]

**Grandissement transversal**:  $\gamma_T = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA} = \frac{P'}{P} = \frac{f}{P-f}$

**OPTIQUE**

**Miroir**  
 1. Rayons en ligne droite  
 2. Angle de réflexion = angle d'incidence  
 → Système stigmatique : respecte les distances

**Loi de Descartes**:  $f = \frac{P \cdot P'}{P + P'}$   
 $\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \frac{1}{f}$   
 C: centre cercle  
 f: point focal

**Formules**  
 $L' = L \cdot \frac{d}{b}$   
 $f = \frac{P \cdot P'}{P + P'}$   
 $\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \frac{1}{f}$

**Diagrammes**  
 - Diagramme de la lumière passant par un sténopé.  
 - Diagramme d'un miroir concave formant une image réelle.  
 - Diagramme d'un miroir convexe formant une image virtuelle.

**Legende**  
 concave  
 convexe  
 objet réel  
 image virtuelle

RACHEL  
 LINE  
 LAURYNÉ

Jean-Marie Fürbringer, Giulia Vittorangi, MFeedback sur les exercices de la première sem 23 février 2025 9 / 9

à propos des feedbacks. Je vais essayer, chaque fois, de vous donner des feedbacks. Je ne sais pas si de votre côté il y a quelqu'un qui aimerait donner un feedback sur cette première leçon d'exercice. N'hésitez pas. À part ça, sur AID, vous pouvez poser des questions. Vous pouvez aussi faire des commentaires si vous voulez. Vous êtes les bienvenus. En tout cas, moi, je les regarderai.

notes

résumé

53m 33s

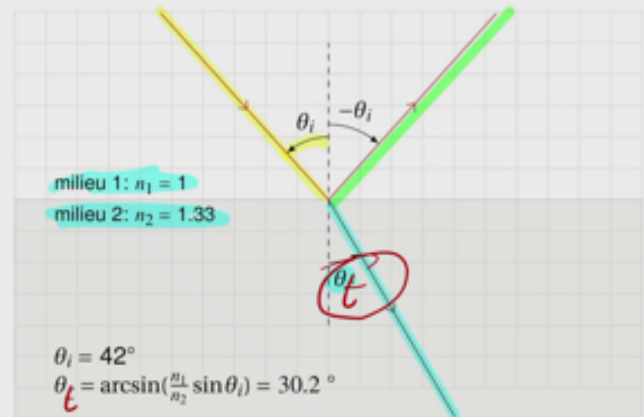




## 1.3.4 La loi de Snell-Descartes

- Le rayon incident et le rayon réfléchi sont coplanaires, ainsi que le rayon transmis
- La partie réfléchie forme un angle opposé à l'angle d'incidence  $\theta_i$  par rapport à la normale à la surface au point d'incidence
- L'angle d'incidence et celui du rayon transmis obéissent à la loi de **Snell-Descartes**

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t \quad (1.5)$$



Exemple de réfraction externe

OK. Les lois de... On revient aux lois de Snell Descartes. Donc, là, je vous ai expliqué la troisième. On va dire celle qui est numérique. Les deux premières, elles sont plutôt expliquées ce qui se passe, hein. Dans un plan, réflexion la même que l'incidence. Tandis que là, on commence à faire un petit peu des calculs.

notes

résumé

54m 1s

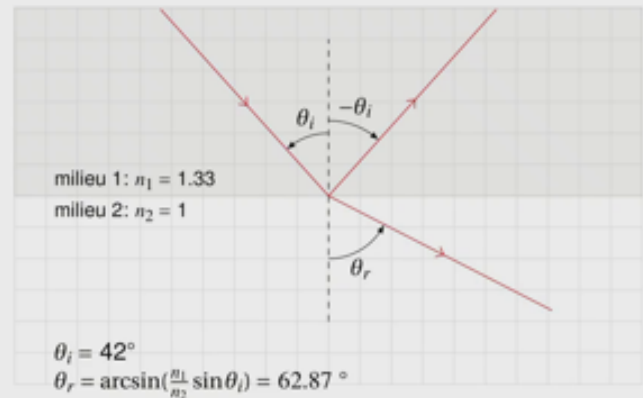




## 1.3.5 La réfraction

- Comme vu deux slides auparavant, la réfraction dépend en fait de la longueur d'onde  $\lambda$ ,
- Sans précision, c'est pour la lumière jaune ( $\lambda \approx 587 \text{ nm}$ ), la plus intense du spectre solaire

milieu	n
air	<u>1.000294</u>
eau	1.33
verre Crown	1.52
verre Flint	1.60



Exemple de réfraction interne

Alors, quelques chiffres qui sont... C'est quand même intéressant de se souvenir d'avoir dans sa tête que l'air, l'indice N, c'est 1 pour l'air. C'est comme si c'était le vide quasiment pour la lumière. En tout cas, sur des distances qui ne sont pas hyper importantes, on peut considérer le N1.

### notes

### résumé

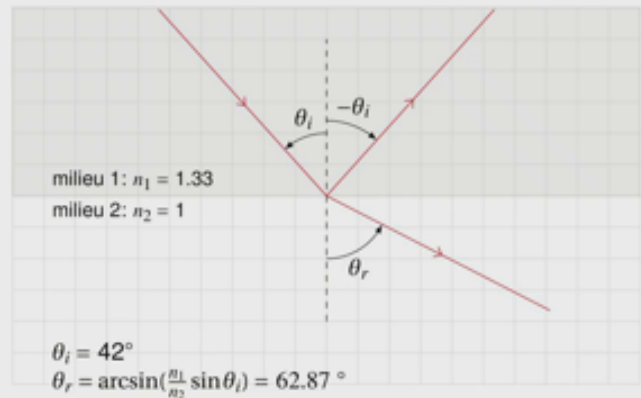
54m 30s



## 1.3.5 La réfraction

- Comme vu deux slides auparavant, la réfraction dépend en fait de la longueur d'onde  $\lambda$ ,
- Sans précision, c'est pour la lumière jaune ( $\lambda \approx 587 \text{ nm}$ ), la plus intense du spectre solaire

milieu	n
air	1.000294
eau	<u>1.33</u>
verre Crown	1.52
verre Flint	1.60



Exemple de réfraction interne

L'eau est 1,33. Vous voyez, avant, je vous ai dit c'est typique du verre. C'est typique de l'eau. 1,33. 1,5. 1,6. C'est toujours dans ces valeurs là. Je crois qu'il y a quelques situations, mais c'est très rare. Avec 2, 1,9. Mais en général, on va dire que les valeurs de N se retrouvent entre 1 et 1 et 1,6. En 0,7, c'est un petit peu les valeurs qu'on a. En général, je vous ai montré un slide.

### notes

### résumé

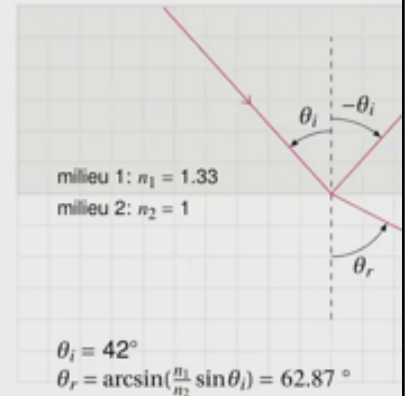
54m 54s



## 1.3.5 La réfraction

- Comme vu deux slides auparavant, la réfraction dépend en fait de la longueur d'onde  $\lambda$ ,
- Sans précision, c'est pour la lumière jaune ( $\lambda \approx 587 \text{ nm}$ ), la plus intense du spectre solaire

milieu	n
air	1.000294
eau	1.33
verre Crown	1.52
verre Flint	1.60



Exemple de réfraction

externe

February 24, 2025

39 / 49

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

Cet indice là, vraiment stricto sensu, il dépend de la longueur d'onde. Il y a toujours une petite variation. On va s'embêter dans ce cours pour ça, mais les gens qui font vraiment des systèmes optiques importants, qui doivent être sur des dimensions, faire des mesures avec les lasers, c'est clair qu'ils doivent tenir compte de ça. Et puis, quand on parle comme ça sans préciser, quand vous avez juste une valeur N, comme ça, pour un milieu, en général, on considère que c'est plus ou moins mieux du spectacle. La lumière jaune. C'est celle qu'elle est plus puissante pour la lumière du soleil. Donc, en général, c'est ça qu'on considère. C'est des conventions. En général, c'est pour 587 nanomètres. Là, je vous aimerais une autre situation. Si vous regardez dans ces mains, le gris représente un milieu plus dense que le milieu blanc. Et donc, là, on a un rayon qui va sortir du verre, par exemple, aller dans l'air, sortir d'un milieu dense pour aller dans un milieu moins dense. Il y a quelque chose que je n'avais pas dit avant,

notes

résumé

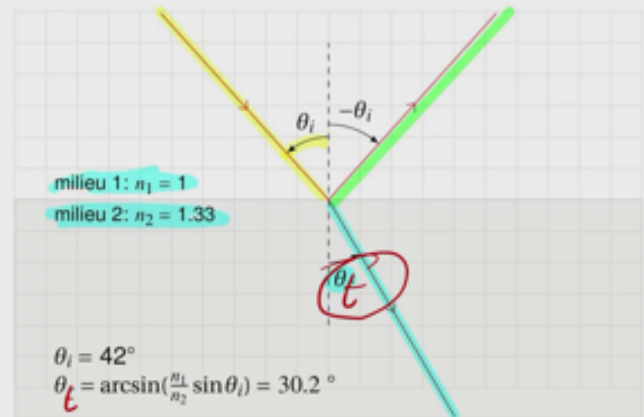
55m 30s



## 1.3.4 La loi de Snell-Descartes

- Le rayon incident et le rayon réfléchi sont coplanaires, ainsi que le rayon transmis
- La partie réfléchie forme un angle opposé à l'angle d'incidence  $\theta_i$  par rapport à la normale à la surface au point d'incidence
- L'angle d'incidence et celui du rayon transmis obéissent à la loi de **Snell-Descartes**

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t \quad (1.5)$$



Exemple de réfraction externe

c'est ça. Quand on clac, quand on passe d'un milieu pas dense, avec un milieu dense, donc vous pouvez vous tâcher de vous rappeler, quand je vais danser, je sors pour aller danser. Donc, quand c'est plus dense, je ne parle pas de la même chose, mais on s'en fiche, quand c'est plus dense, on parle externe. On dit c'est une réflexion externe. Puis quand je passe

notes

résumé

56m 46s



### .3.6 Réfraction comme conséquence de Fermat

On calcule le temps de parcours

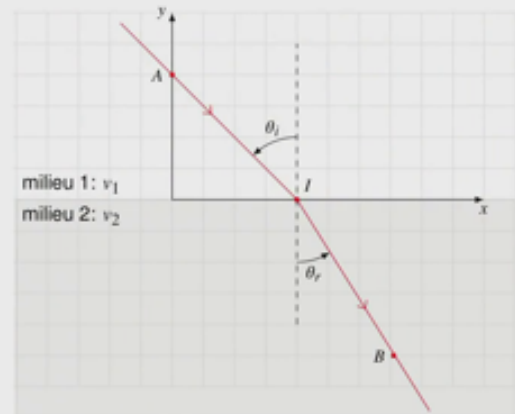
$$\begin{aligned}\Delta t = t_1 + t_2 &= \frac{AI}{v_1} + \frac{IB}{v_2} \\ &= \frac{\sqrt{x^2 + y_1^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(x-x_2)^2 + y_2^2}}{v_2}\end{aligned}$$

L'extremum correspond à une dérivée nulle:

$$\frac{d\Delta t}{dx} = \frac{1}{v_1} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y_1^2}} - \frac{1}{v_2} \frac{x_2 - x}{\sqrt{(x-x_2)^2 + y_2^2}} = \frac{x}{v_1 AI} - \frac{x_2 - x}{v_2 IB} = 0$$

Ce qui donne  $\frac{\sin \theta_i}{v_1} = \frac{\sin \theta_r}{v_2}$

Étant donné que  $n = \frac{c}{v}$ , on a finalement  $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$



Exemple de réfraction externe

d'un milieu dense à un milieu moins dense, alors on appelle ça une réflexion interne. Alors, quand j'ai une réfraction, pas une réflexion interne, alors, ce qui va se passer, c'est que le rapport, pour faire notre calcul d'Arxius du rapport des indices, eh bien, il a le nombre important en haut. Donc, ça veut dire que cette fraction là, elle est plus grande que 1. Mais Arxius, le sinus d'un angle, il ne peut pas être supérieur à 1. Donc, la fonction Arxius, elle n'est pas définie pour une situation où l'argument est plus grand que 1. Et ça, physiquement, ça veut dire que le rayon ne va pas réussir à sortir du milieu. Je vais reparler de ça dans un autre slide, mais pour le moment, la situation qui est possible, donc vous voyez vos rayons qui arrivent ici avec un angle de 42 degrés, l'incidence 42 degrés, j'ai une partie qui va être réfléchie. Je vais repartir dans le milieu et puis j'ai une partie qui est transmise. Et puis maintenant, donc là, c'est toujours la même erreur, je vais uniformiser mes gamfics, ça j'aime bien l'implémenter comme ça c'est clair. Là, vous voyez que l'angle réfracté, il est plus grand que l'angle d'incidence. Parce que mon rapport  $n_1$  sur  $n_2$  est plus grand que 1. Donc ça va être mon angle réfracté va être plus grand que mon angle d'incidence. Je vais amplifier mon rapport des indices s'il amplifie l'angle. Le sinus de l'angle est amplifié quand je reviens sur l'angle, l'angle est plus grand. Donc j'ai été rentré, enfin j'ai essayé de sortir plutôt du milieu avec un angle de 42 degrés et au moment où je sors mon angle est plus important, environ dans ce cas-là c'est un petit exemple à 63 degrés. Je

notes

résumé

57m 14s



### .3.6 Réfraction comme conséquence de Fermat

On calcul le temps de parcours

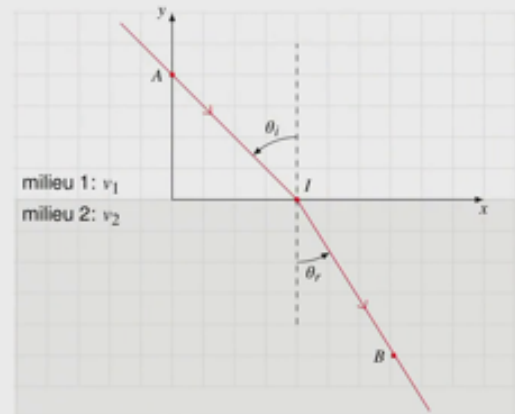
$$\begin{aligned}\Delta t = t_1 + t_2 &= \frac{AI}{v_1} + \frac{IB}{v_2} \\ &= \frac{\sqrt{x^2 + y_1^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(x - x_2)^2 + y_2^2}}{v_2}\end{aligned}$$

L'extremum correspond à une dérivée nulle:

$$\frac{d\Delta t}{dx} = \frac{1}{v_1} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y_1^2}} - \frac{1}{v_2} \frac{x_2 - x}{\sqrt{(x - x_2)^2 + y_2^2}} = \frac{x}{v_1 AI} - \frac{x_2 - x}{v_2 IB} = 0$$

Ce qui donne  $\frac{\sin \theta_i}{v_1} = \frac{\sin \theta_r}{v_2}$

Étant donné que  $n = \frac{c}{v}$ , on a finalement  $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$



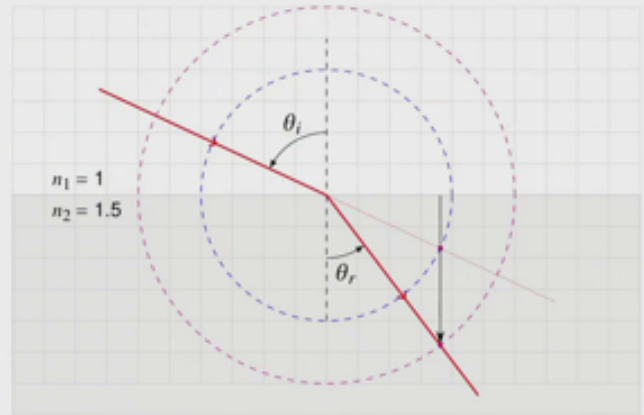
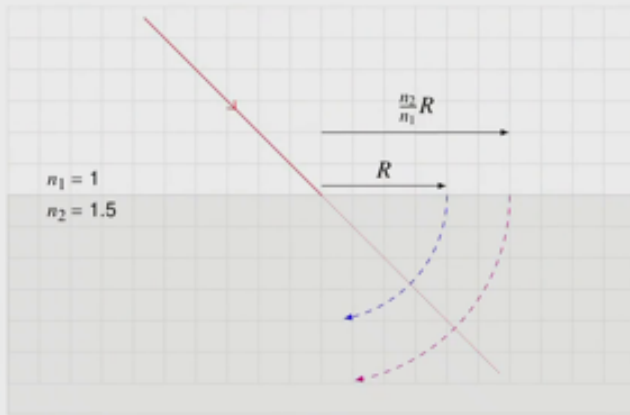
Exemple de réfraction externe

vais revenir

notes

résumé

### 1.3.7 Construction de Descartes du rayon réfracté



là-dessus, je crois

notes

résumé

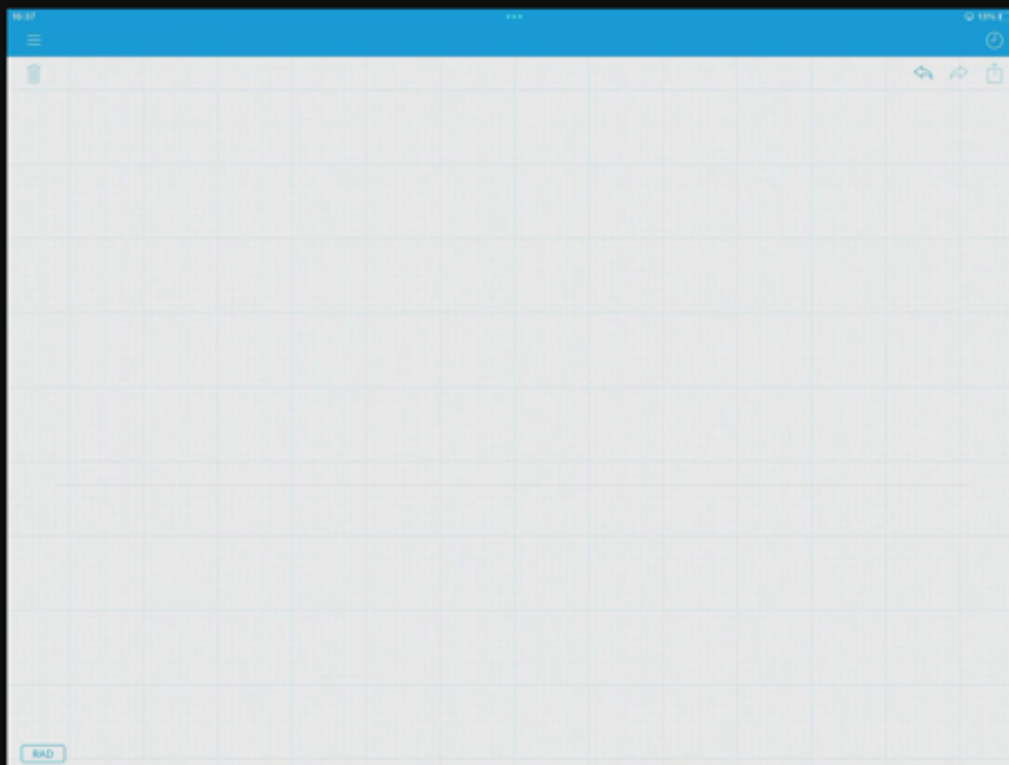
60m 12s











Ça fait environ deux tiers.

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

63m 56s



.....

.....

.....

.....

.....



Je vais aller là.

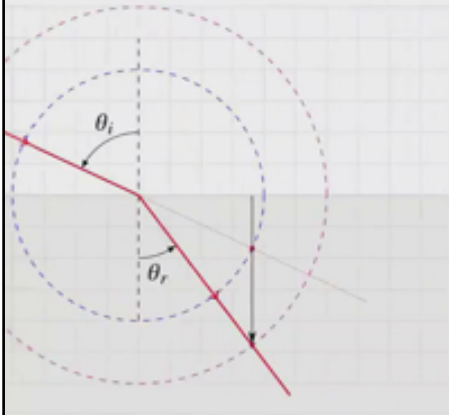
notes

résumé

64m 18s



n réfracté



### 1.3.8 La réflexion totale et angle limite

- Lorsque le rapport des indices est inférieur à 1, l'angle de réfraction est défini quelque soit l'angle d'incidence

$$\text{si } \frac{n_i}{n_r} < 1 \Rightarrow \frac{n_i}{n_r} \sin \theta_i < 1, \forall 0 \leq \theta_i < 90^\circ$$

- Lorsque le rapport des indices est supérieur à 1, l'angle de réfraction est défini que pour des valeurs inférieures à l'angle limite:

$$\text{si } \frac{n_i}{n_r} > 1 \text{ alors } \exists \theta_r \text{ ssi } \frac{n_i}{n_r} \sin \theta_i < 1$$

donc l'angle limite d'incidence est

$$\theta_{i,lim} = \arcsin \frac{n_r}{n_i}$$

- Lorsque l'angle d'incidence est supérieur à  $\theta_{i,lim}$ , il y a réflexion totale.

milieu 1:  $n=1.5$   
milieu 2:  $n=1$

$$\theta_{i,lim} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta_i = 50^\circ$$

$$X = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i$$

February 24, 2025 42 / 49

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

Ça suffit pour que mon rayon qui est à 50, il est supérieur à mon angle limite et il ne va pas pouvoir sortir. Donc ça veut dire que j'ai mon rayon qui arrive là, il ne peut pas sortir. Il est tout. La réflexion est totale. Alors il y a quelque chose dont je ne parle pas. Je ne me souviens plus si j'en parle dans le troisième, le dernier chapitre. Mais pour le moment, j'en parle pas.

notes

résumé

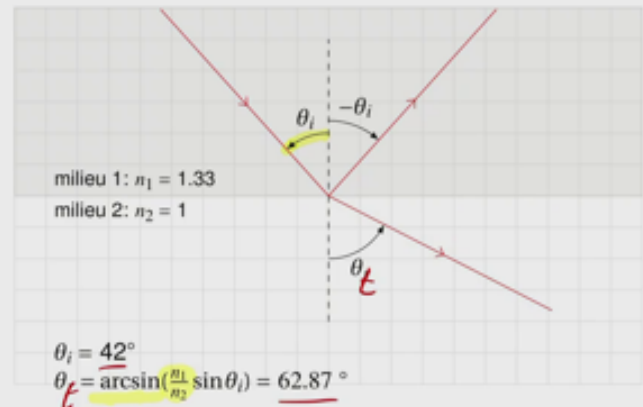
64m 27s



## 1.3.5 La réfraction

- Comme vu deux slides auparavant, la réfraction dépend en fait de la longueur d'onde  $\lambda$ ,
- Sans précision, c'est pour la lumière jaune ( $\lambda \approx 587 \text{ nm}$ ), la plus intense du spectre solaire

milieu	n
air	1.000294
eau	1.33
verre Crown	1.52
verre Flint	1.60



Exemple de réfraction interne

Mais quand vous avez trois, vous avez une intensité d'un rayon qui vient et après la lumière, elle va se répartir d'un côté de l'autre. Une partie qui va être réfléchiée, il y a une partie qui va être transmise. L'énergie doit être conservée. Donc il y aura des intensités différentes. Et suivant la polarisation de la lumière, ce sera le dernier chapitre, il va se passer des choses qui sont importantes. Et là il y a des choses qu'on appelle les coefficients de frein. Donc là je fais juste vous en parler comme ça.

notes

résumé

65m 1s



## 1.3.6 Réfraction comme conséquence de Fermat

On calcul le temps de parcours

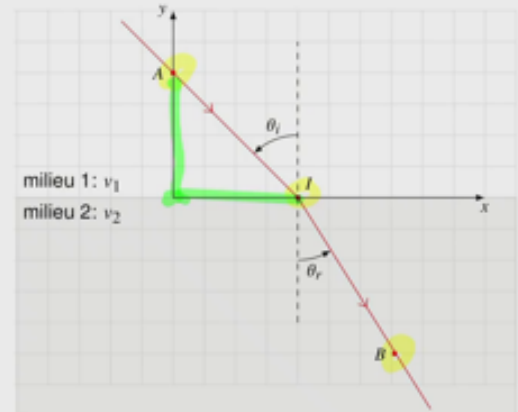
$$\begin{aligned}\Delta t = t_1 + t_2 &= \frac{AI}{v_1} + \frac{IB}{v_2} \\ &= \frac{\sqrt{x^2 + y_1^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(x-x_2)^2 + y_2^2}}{v_2}\end{aligned}$$

L'extremum correspond à une dérivée nulle:

$$\frac{d\Delta t}{dx} = \frac{1}{v_1} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y_1^2}} - \frac{1}{v_2} \frac{x_2 - x}{\sqrt{(x-x_2)^2 + y_2^2}} = \frac{x}{v_1 AI} - \frac{x_2 - x}{v_2 IB} = 0$$

Ce qui donne  $\frac{\sin \theta_i}{v_1} = \frac{\sin \theta_r}{v_2}$

Étant donné que  $n = \frac{c}{v}$ , on a finalement  $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$



Exemple de réfraction externe

Ça ne fait pas encore partie du sujet. Ensuite je voulais revenir sur le principe de Fermat. Donc le principe de Fermat qui disait que la lumière, elle trouve toujours le chemin fermat. On sait que la nature faisait toujours les choses de manière la plus économique. Ce n'est pas exactement le cas. On a trouvé que des fois, elle fait aussi le moins économique. Ça peut aussi arriver. Mais donc c'était cette idée de trouver des chemins stationnaires. Donc on peut s'intéresser au temps de parcours. Et vous aurez un petit problème cette semaine où on vous demande de calculer des temps de parcours. Oulala, j'espère qu'il va tenir. Donc le temps de parcours pour Montrayon entre une situation A qui est ici et une situation B, ça va être... Je ne sais pas si vous le connaissez, c'est le problème du nageur. Vous pouvez aller sauver quelqu'un et puis vous devrez arriver le plus vite. Est-ce que vous courez sur la plage et vous jetez dans l'eau? Où est-ce que vous allez le plus vite possible au bord de l'eau? Vous essayez de l'attraper. C'est ce problème-là. Je ne sais pas si vous l'avez déjà entendu. On appelle ça le problème du nageur. C'est exactement ça. Donc le temps que je vais mettre entre A et B, c'est le temps que je vais passer dans le milieu 1 et le temps que je vais passer dans le milieu 2. Et puis on appelle le point I, le point d'incidence. Et donc ça va être la distance A, I divisé par la vitesse que je vais avoir dans le milieu 1 plus la distance I, B divisé par la vitesse que j'ai dans le milieu 2. Parce que le temps, c'est la distance divisé par la vitesse. Si il

notes

résumé

65m 38s



## 1.3.6 Réfraction comme conséquence de Fermat

On calcul le temps de parcours

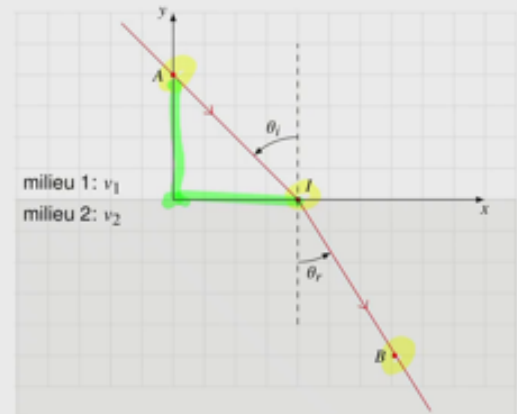
$$\begin{aligned}\Delta t = t_1 + t_2 &= \frac{AI}{v_1} + \frac{IB}{v_2} \\ &= \frac{\sqrt{x^2 + y_1^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(x-x_2)^2 + y_2^2}}{v_2}\end{aligned}$$

L'extremum correspond à une dérivée nulle:

$$\frac{d\Delta t}{dx} = \frac{1}{v_1} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y_1^2}} - \frac{1}{v_2} \frac{x_2 - x}{\sqrt{(x-x_2)^2 + y_2^2}} = \frac{x}{v_1 AI} - \frac{x_2 - x}{v_2 IB} = 0$$

Ce qui donne  $\frac{\sin \theta_i}{v_1} = \frac{\sin \theta_r}{v_2}$

Étant donné que  $n = \frac{c}{v}$ , on a finalement  $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$



Exemple de réfraction externe

y a Genève qui a 60 kmh et que votre voiture roule à 60 kmh, ça mouait 1 heure. Mais si vous avez une voiture qui roule à 30 kmh ou l'autoroute vous fait rouler à 30 kmh, ça vous mette 2 heures. On divise par la vitesse et ça donne le temps. C'est la même équation qu'on fait ça. Alors si on veut calculer les choses, on ne sait pas exactement encore où est placé I. Une manière, c'est d'utiliser Pythagore. Donc vous voyez que j'ai deux... j'ai des triangles rectangles. Donc je peux calculer la position. J'ai la position du point A et la position du point B et j'ai la possibilité de calculer la distance I en calculant à partir des coordonnées du point. La somme, carré des coordonnées et puis l'autre, ça va être quasiment la distance I. Je dois apprendre où est mon origine. C'est pour ça que pour le deuxième, vous avez un calcul un tout petit peu plus compliqué.

notes

résumé

## 1.3.6 Réfraction comme conséquence de Fermat

On calcul le temps de parcours

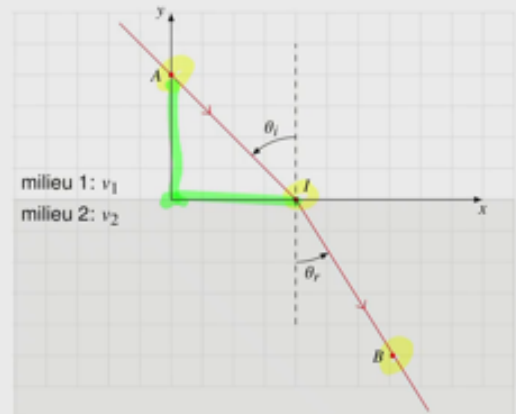
$$\begin{aligned}\Delta t = t_1 + t_2 &= \frac{AI}{v_1} + \frac{IB}{v_2} \\ &= \frac{\sqrt{x^2 + y_1^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(x-x_2)^2 + y_2^2}}{v_2}\end{aligned}$$

L'extremum correspond à une dérivée nulle:

$$\frac{d\Delta t}{dx} = \frac{1}{v_1} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y_1^2}} - \frac{1}{v_2} \frac{x_2 - x}{\sqrt{(x-x_2)^2 + y_2^2}} = \frac{x}{v_1 AI} - \frac{x_2 - x}{v_2 IB} = 0$$

Ce qui donne  $\frac{\sin \theta_i}{v_1} = \frac{\sin \theta_r}{v_2}$

Étant donné que  $n = \frac{c}{v}$ , on a finalement  $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$



Exemple de réfraction externe

Vous avez X, qui est moins X par 2 au carré. Mais c'est Pythagore que j'ai écrit. Donc ce que je dis, c'est que la distance est la racine carrée du somme des côtés parce que chaque fois la distance, c'est l'hypothénus d'un carré rectangle. Et puis le principe de Fermat me dit que la lumière passe par des positions stationnaires. Une autre manière de dire, elle passe par des extrémomes. Ça pourrait être le maximum ou ça pourrait être le minimum. Donc vous savez depuis votre gymnase que pour trouver les extrémomes, on prend la dérivé et on va même chercher jusqu'à la dérivé seconde et puis on arrive à trouver

notes

résumé

68m 50s





## 1.3.6 Réfraction comme conséquence de Fermat

On calcul le temps de parcours

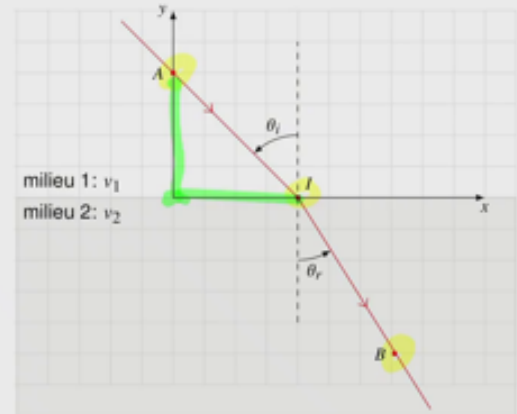
$$\begin{aligned}\Delta t = t_1 + t_2 &= \frac{AI}{v_1} + \frac{IB}{v_2} \\ &= \frac{\sqrt{x^2 + y_1^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(x-x_2)^2 + y_2^2}}{v_2}\end{aligned}$$

L'extremum correspond à une dérivée nulle:

$$\frac{d\Delta t}{dx} = \frac{1}{v_1} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y_1^2}} - \frac{1}{v_2} \frac{x_2 - x}{\sqrt{(x-x_2)^2 + y_2^2}} = \frac{x}{v_1 AI} - \frac{x_2 - x}{v_2 IB} = 0$$

Ce qui donne  $\frac{\sin \theta_i}{v_1} = \frac{\sin \theta_r}{v_2}$

Étant donné que  $n = \frac{c}{v}$ , on a finalement  $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$



Exemple de réfraction externe

quelles sont les extrémomes. Donc là, on a notre temps. On va prendre la dérivé du temps qu'on va faire. C'est 1 divisé par la vitesse. Je prends la dérivé de la racine carré. La dérivé de la racine carré, vous saviez faire ça quasiment les yeux fermés. Au moins, vous avez passé votre maturité. Ça fait x divisé par la racine de x carré plus y carré. Et puis après, c'est chaque fois la même chose avec différentes situations. J'ai des petites différences à faire. Et puis, comme vous faites ça,

notes

résumé

69m 38s



## 1.3.6 Réfraction comme conséquence de Fermat

On calcul le temps de parcours

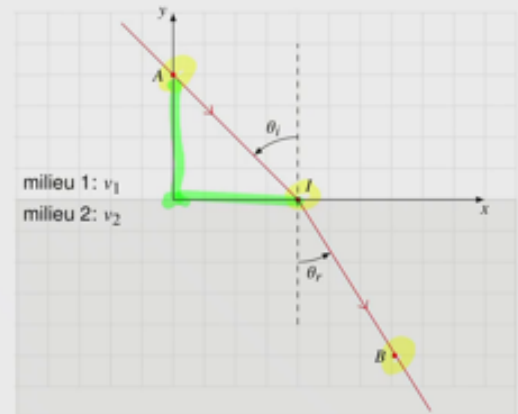
$$\begin{aligned}\Delta t = t_1 + t_2 &= \frac{AI}{v_1} + \frac{IB}{v_2} \\ &= \frac{\sqrt{x^2 + y_1^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(x-x_2)^2 + y_2^2}}{v_2}\end{aligned}$$

L'extremum correspond à une dérivée nulle:

$$\frac{d\Delta t}{dx} = \frac{1}{v_1} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y_1^2}} - \frac{1}{v_2} \frac{x_2 - x}{\sqrt{(x-x_2)^2 + y_2^2}} = \frac{x}{v_1 AI} - \frac{x_2 - x}{v_2 IB} = 0$$

Ce qui donne  $\frac{\sin \theta_i}{v_1} = \frac{\sin \theta_r}{v_2}$

Étant donné que  $n = \frac{c}{v}$ , on a finalement  $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$



Exemple de réfraction externe

vous trouvez la situation pour la dérivé. Et puis vous annulez cette dérivé. Et puis ça vous donne la situation où doit être le point y. Et puis si vous faites ça, vous allez arriver à cette équation qui dit que sinus theta y divisé par la vitesse dans le milieu 1 est égal à sinus theta t ou r. Je n'ai noté les indices divisés par la vitesse. Et puis si vous vous souvenez que n est égal à la vitesse de la lumière sur c, vous arrivez finalement à la loi de Snell Descartes.

notes

résumé

70m 20s



## 1.3.6 Réfraction comme conséquence de Fermat

On calcul le temps de parcours

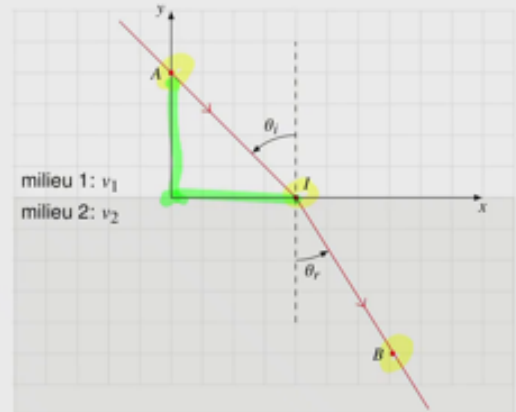
$$\begin{aligned}\Delta t = t_1 + t_2 &= \frac{AI}{v_1} + \frac{IB}{v_2} \\ &= \frac{\sqrt{x^2 + y_1^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(x-x_2)^2 + y_2^2}}{v_2}\end{aligned}$$

L'extremum correspond à une dérivée nulle:

$$\frac{d\Delta t}{dx} = \frac{1}{v_1} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y_1^2}} - \frac{1}{v_2} \frac{x_2 - x}{\sqrt{(x-x_2)^2 + y_2^2}} = \frac{x}{v_1 AI} - \frac{x_2 - x}{v_2 IB} = 0$$

Ce qui donne  $\frac{\sin \theta_i}{v_1} = \frac{\sin \theta_r}{v_2}$

Étant donné que  $n = \frac{c}{v}$ , on a finalement  $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$



Exemple de réfraction externe

Donc en fait, simplement avec un principe que la vitesse pour aller de A à B, elle prend le temps dans ce cas-là minimal. Donc ça veut dire que sa dérivé seconde, sa dérivé première est nulle, vous arrivez à retrouver les lois qui me permet, je suis sorti de ma zone, vous ne me verrez pas pendant un moment dans la vidéo, qui me permet de dire que vous aurez, que le principe de Fermat permet de comprendre ce qui se passe. Alors ça vous fait une belle chose, vous n'avez jamais utilisé plus le principe de Fermat. Mais pour vous montrer qu'il y a, en physique c'est souvent comme ça, vous avez des grands principes qu'on aime bien vérifier et puis après on arrive à partir de ces grands principes, à trouver des lois, ou des fois quand on a des lois qu'on a trouvé expérimentalement, on aime bien remonter pour voir qu'on a ces grands principes. Voilà, le son de morale physique est terminé, mais c'est le but de ce slide.

notes

résumé

71m 6s



### 1.3.8 La réflexion totale et angle limite

- Lorsque le rapport des indices est inférieur à 1, l'angle de réfraction est défini quelque soit l'angle d'incidence

$$\text{si } \frac{n_i}{n_r} < 1 \Rightarrow \frac{n_i}{n_r} \sin \theta_i < 1, \forall 0 \leq \theta_i < 90^\circ$$

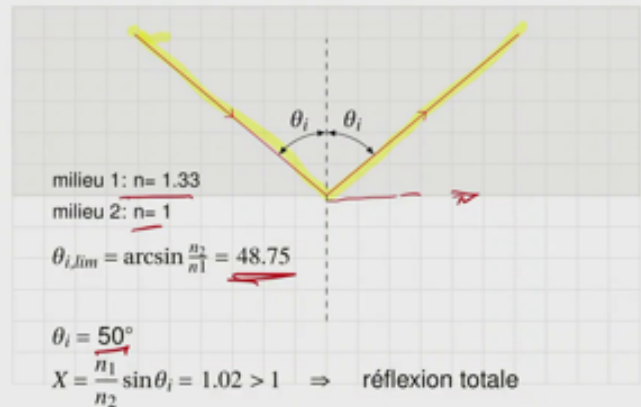
- Lorsque le rapport des indices est supérieur à 1, l'angle de réfraction est défini que pour des valeurs inférieures à l'angle limite:

$$\text{si } \frac{n_i}{n_r} > 1 \text{ alors } \exists \theta_r \text{ ssi } \frac{n_i}{n_r} \sin \theta_i < 1$$

donc l'angle limite d'incidence est

$$\theta_{i,lim} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

- Lorsque l'angle d'incidence est supérieur à  $\theta_{i,lim}$ , il y a **réflexion totale**.



À l'examen, il y aura de toute manière une construction graphique à faire. Donc ça j'y tiens, je trouve que c'est intéressant. Vous serez confrontés avec des appareils d'optiques dans votre profession, très probablement, à moins que vous fassiez que des statistiques à berne, mais je ne vous souhaite pas. Donc, et puis même là, il y a des chances qu'à un moment donné, vous ayez des choses à comprendre, les instruments d'optiques sont partout, sont partout, partout, puis sont partout en criminologie. Donc c'est quand même important, vous allez peut-être une fois, devoir regarder un schéma optique. Donc c'est aussi intéressant de savoir comment on peut le construire. Donc lorsque l'on a une réfraction en connaissant le rapport entre l'indice de la partie incidente et de la partie réfractée, on peut construire le schéma. Donc regardez comment on fait. Donc j'ai un rayon qui est arrivé, donc c'est graphique, je n'ai pas besoin de savoir l'angle exactement, j'ai mon rayon qui arrive comme ça sur une surface. En prenant le point d'impact comme centre, je peux tracer deux arcs de cercle, ou deux demi-cercles dans le nouveau milieu, un qui a un rayon, vous choisissez, un centimètre, deux centimètres, c'est dépendant de vous de faire ça, ça n'a aucune importance, mais il faudra garder ce rayon, cette valeur R constante. Et puis un premier rayon, c'est le bleu, et puis vous allez dessiner un deuxième rayon qui est le rayon multiplié par l'indice du nouveau milieu divisé par l'indice de l'ancien milieu. Et ça, ça vous va faire un second arc de cercle. Et bien, votre rayon, il faut trouver le point où la prolongation de votre rayon incident touche le premier cercle, et quand il a touché le premier cercle, vous allez verticalement sur le deuxième cercle. Et

notes

résumé

72m 8s



### 1.3.8 La réflexion totale et angle limite

- Lorsque le rapport des indices est inférieur à 1, l'angle de réfraction est défini quelque soit l'angle d'incidence

$$\text{si } \frac{n_i}{n_r} < 1 \Rightarrow \frac{n_i}{n_r} \sin \theta_i < 1, \forall 0 \leq \theta_i < 90^\circ$$

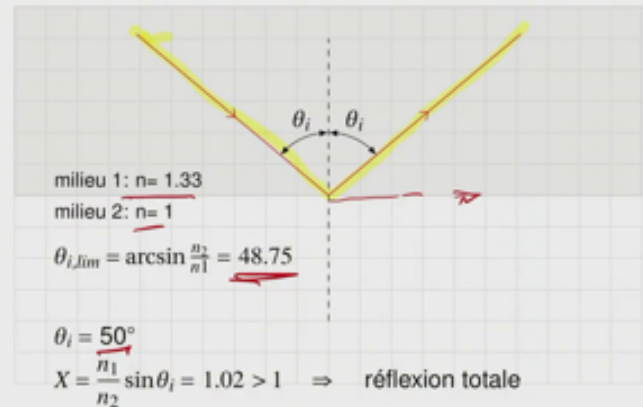
- Lorsque le rapport des indices est supérieur à 1, l'angle de réfraction est défini que pour des valeurs inférieures à l'angle limite:

$$\text{si } \frac{n_i}{n_r} > 1 \text{ alors } \exists \theta_r \text{ ssi } \frac{n_i}{n_r} \sin \theta_i < 1$$

donc l'angle limite d'incidence est

$$\theta_{i,lim} = \arcsin \frac{n_r}{n_i}$$

- Lorsque l'angle d'incidence est supérieur à  $\theta_{i,lim}$ , il y a **réflexion totale**.



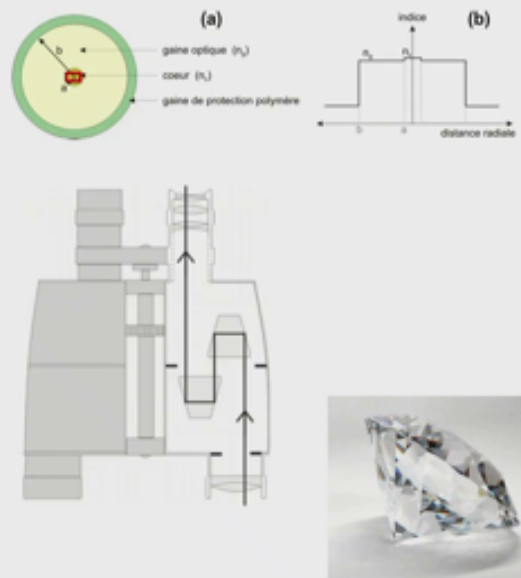
alors, ça va, qu'est-ce que je vais choisir, ça va vous permettre de tracer le rayon réfracté. Entraînez-vous. Il me semble que c'était à l'examen de l'année passée, au moins d'autres je crois, je ne suis pas certain. Voilà comment on construit, c'est ce qu'on appelle la construction de décarts des rayons réfractés.

notes

résumé

## 1.3.8 Exemples d'utilisation de la réflexion totale

- **Fibre optique** : La fibre optique repose sur le principe de la réflexion totale interne pour guider la lumière sur de longues distances avec très peu de pertes. Le cœur de la fibre, en verre ou en plastique, est entouré d'une gaine à indice de réfraction plus faible, ce qui permet de maintenir la lumière confinée dans le noyau par réflexion totale.
- **Prismes dans les instruments optiques** : Dans des dispositifs tels que les jumelles, les périscopes ou certains appareils photo, des prismes utilisant la réflexion totale interne redressent l'image ou inversent le champ visuel sans recourir à des miroirs recouverts. Par exemple, les prismes de Porro dans les jumelles exploitent ce phénomène pour offrir une image correctement orientée et nette.
- **Brillance des diamants** : La beauté des diamants tient en partie à la réflexion totale interne. La lumière qui pénètre dans le diamant est piégée par des angles spécifiques qui favorisent la réflexion totale, renvoyant la lumière à plusieurs reprises à l'intérieur de la pierre. Ce phénomène crée une dispersion accrue et un éclat remarquable, contribuant ainsi à la fameuse brillance du diamant.



Alors, cette réflexion totale, on l'utilise quelquefois et ce slide, un petit peu de culture générale, voulait souligner que voilà, c'est très utile en technologie. Donc je ne sais pas ce que vous savez, mais il y a une technologie essentielle, surtout dans l'ère de l'information, c'est aussi utilisé en médecine, je ne sais pas pour les autopsies comment c'est utilisé ou pas, on peut aussi imaginer qu'on peut ouvrir, donc on n'a peut-être pas les mêmes problèmes qu'on a avec un être encore vivant. Mais les fibres optiques sont utilisés dans vraiment plein, plein d'applications et donc c'est la possibilité de déplacer de la lumière dans un conduit, dans une fibre. Vous avez une idée de quand ce phénomène-là a été découvert ? Allez, donnez-moi une date. Il n'y a pas peur, il n'y a pas de risque, il n'y a pas d'hum... Quand c'est que vous pensez que ça a été inventé, ça. La première fois qu'on a vu que la lumière, elle pouvait suivre comme ça, un conduit. Donnez une date comme ça. 1840. 1840, la première fois qu'on a fait ça. 1840, la première fois qu'on a fait ça. Et semble-t-il que même les Grecs faisaient déjà ça ? Semble-t-il que les verriers de murano utilisaient déjà des choses comme ça pour faire des... Merci de J.G.P.T. C'est lui qui m'a raconté tout ça. Mais j'ai trouvé intéressant. Non, puis même je ne suis même plus sûr que c'est J.G.P.D. C'est peut-être Internet, simplement, qui m'a raconté. J'ai trouvé ça intéressant. Donc là, vous voyez, la schéma, ce qu'il y a, c'est qu'il y a un milieu plus dense au centre, un milieu moins dense. Et puis la lumière ne va pas pouvoir sortir dans certaines situations. On va utiliser cette réflexion totale pour piéger un

### notes

### résumé

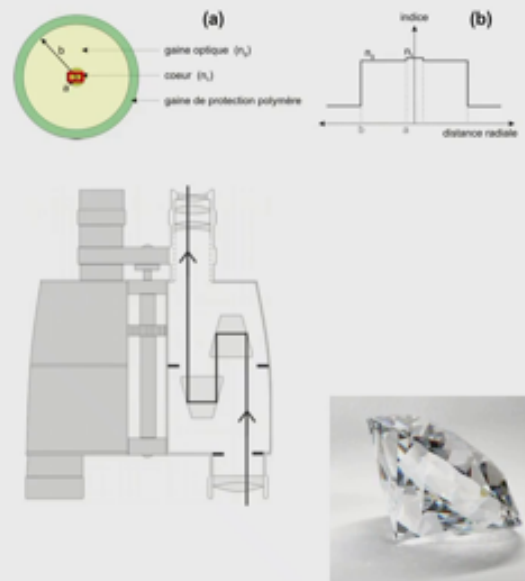
75m 3s





## 1.3.8 Exemples d'utilisation de la réflexion totale

- **Fibre optique** : La fibre optique repose sur le principe de la réflexion totale interne pour guider la lumière sur de longues distances avec très peu de pertes. Le cœur de la fibre, en verre ou en plastique, est entouré d'une gaine à indice de réfraction plus faible, ce qui permet de maintenir la lumière confinée dans le noyau par réflexion totale.
- **Prismes dans les instruments optiques** : Dans des dispositifs tels que les jumelles, les périscopes ou certains appareils photo, des prismes utilisant la réflexion totale interne redressent l'image ou inversent le champ visuel sans recourir à des miroirs recouverts. Par exemple, les prismes de Porro dans les jumelles exploitent ce phénomène pour offrir une image correctement orientée et nette.
- **Brillance des diamants** : La beauté des diamants tient en partie à la réflexion totale interne. La lumière qui pénètre dans le diamant est piégée par des angles spécifiques qui favorisent la réflexion totale, renvoyant la lumière à plusieurs reprises à l'intérieur de la pierre. Ce phénomène crée une dispersion accrue et un éclat remarquable, contribuant ainsi à la fameuse brillance du diamant.



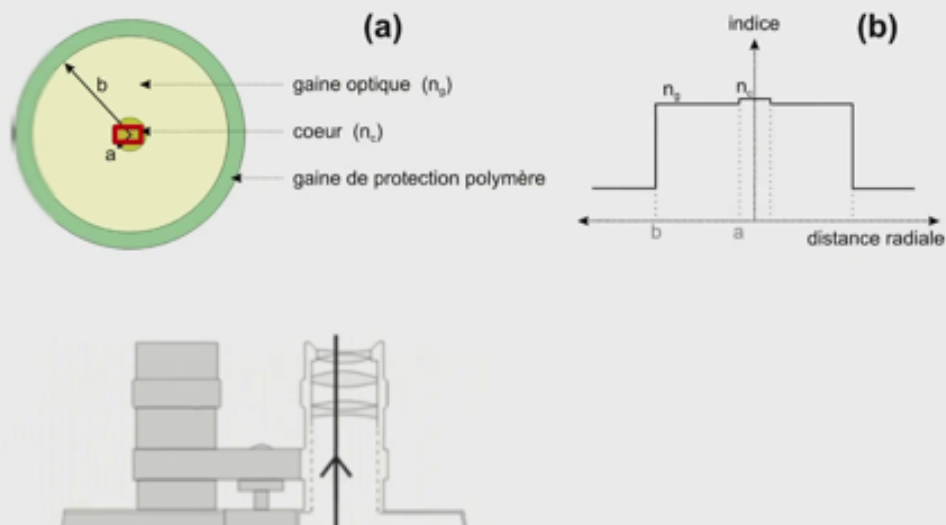
rayon lumineux à l'intérieur de ma fibre. Donc vous voyez là

notes

résumé

# réflexion totale

1.3.9



source

une petite explication au niveau du N. Vous avez donc un noyau qui a un indice de réfraction plus important que l'extérieur et ça va suffire pour pierger dans certaines situations, pour des angles qui ne sont pas des angles trop puissants.

notes

résumé

77m 9s



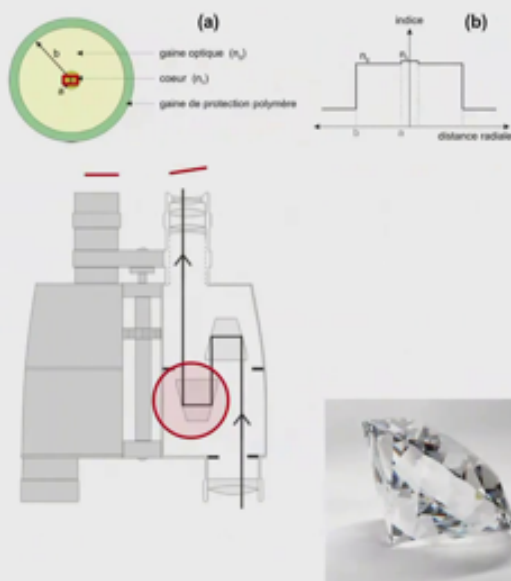


## on de la réflexion totale

le principe de la  
e sur de longues  
de la fibre, en verre  
ndice de réfraction  
nière confinée dans

Dans des dispositifs  
ains appareils photo,  
ne redressent  
ecourir à des miroirs  
erro dans les jumelles  
age correctement

mants tient en partie  
pénètre dans le  
ues qui favorisent la  
eurs reprises à  
une dispersion  
ainsi à la fameuse

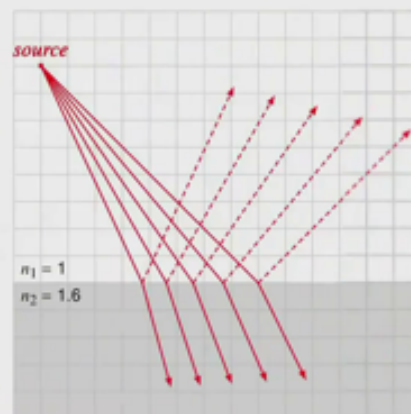


Physique Générale II

February 24, 2025

44 / 49

## 1.3.9 Courbes de réfract



Réfraction externe

Une autre utilisation de l'angle limite et de la réflexion totale est utilisée en optique, par exemple, pas seulement, mais par exemple dans les lunettes d'approche pour pouvoir vous donner un spectacle intéressant quand vous regardez qu'est-ce que je peux dire comme bêtise, je n'en ai pas une qui vienne, mais enfin, ça va augmenter le confort visuel avec un binoculaire. Ça va vous donner un côté naturel de ce que vous allez voir, alors que si c'était juste de l'in tout droit, ça donnerait quelque chose d'un petit peu particulier, comme quand vous regardez dans une seule lunette. Donc on utilise des prismes de poros, donc Monsieur Poro avait du poro, il a inventé ça et ça permet, vous voyez, que ça permet de déplacer, ça veut dire que vous avez au départ vos deux yeux qui sont ici avec l'écartement, c'est assez difficile d'écarter les yeux, généralement si vous les restez vivants, et on arrive à augmenter la vue. Donc c'est utilisé dans les binoculaires, comme on appelle ça en-dessus de la tranchée, pour regarder les choses, les différents systèmes de vision, militaires, entre autres, ça permet. Et puis, mesdames, j'ai pensé à vous quand j'ai choisi cette image, les diamants. Le reflet du diamant vient de la réflexion totale, c'est pour ça que vous avez des choses. Si vous regardez après, vous descendez, mon catadien fait déjà, mais il faut que vous avez des trucs comme ça avec des réflexions totales, tout de suite, c'est super, c'est brillant. Donc, voilà trois exemples où la réflexion totale est utile, on va dire utilisé, je ne suis pas sûr que les diamants soient très utiles, mais, enfin, si on demandait la maréline mon rouge, je pense qu'elle ne serait pas d'accord du tout d'accord avec moi, mais ce n'est

notes

résumé

77m 26s

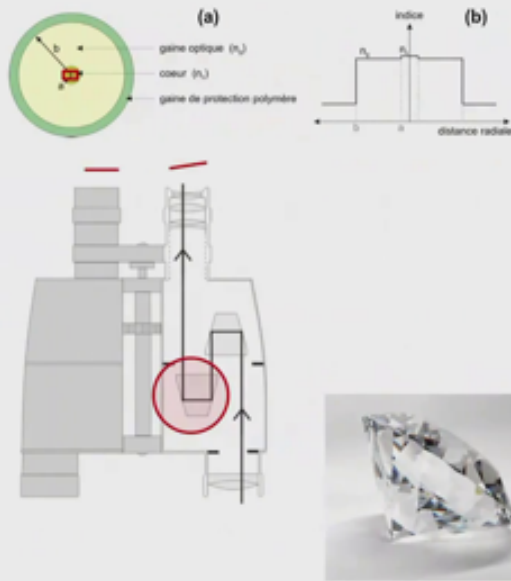


# on de la réflexion totale

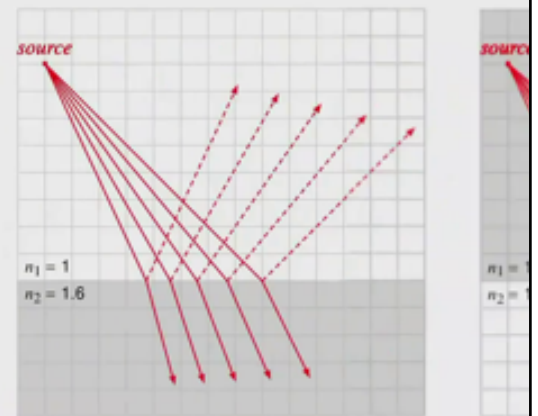
le principe de la  
e sur de longues  
de la fibre, en verre  
ndice de réfraction  
nière confinée dans

Dans des dispositifs  
ains appareils photo,  
ne redressent  
ecourir à des miroirs  
ro dans les jumelles  
age correctement

mants tient en partie  
pénètre dans le  
es qui favorisent la  
eurs reprises à  
une dispersion  
ainsi à la fameuse



## 1.3.9 Courbes de réfract



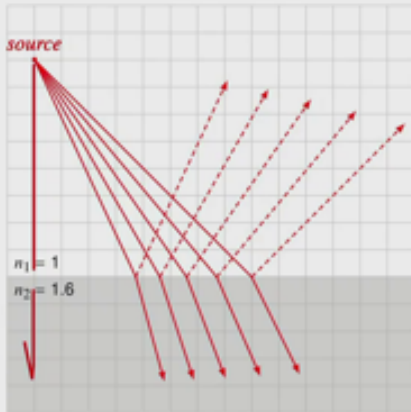
Réfraction externe

pas grave, elle ne fait pas partie de mes amis personnels, donc elle ne sera pas vexée parce que j'ai dit. Donc, voilà trois exemples, on utilise cette réflexion totale. Et puis,

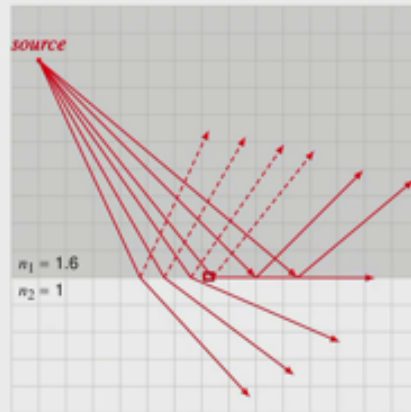
notes

résumé

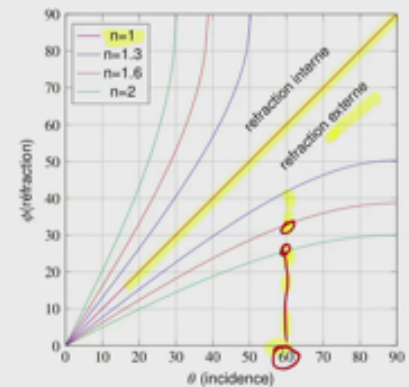
### 1.3.9 Courbes de réfraction



Réfraction externe



Réfraction interne



Angle de réfraction en  
fonction de l'angle  
d'incidence

voilà un schéma qui résume un petit peu ce qu'on a vu sur la réfraction. Vous avez dans un des graphiques des réfractions internes, vous pouvez voir que, finalement, tous les rayons vont pouvoir pénétrer dans le nouveau milieu. Il y en a même un que je n'ai pas dessiné qui aurait été intéressant, c'est celui qui passait tout droit. Il est intéressant parce que lui, il n'aurait pas de réflexion, c'est la réflexion qui aurait disparu, parce que je vous souvenais, je vous ai dit au début, quand le rayon est perpendiculaire qu'il y a la surface, il passe tout droit, il n'y a pas de réflexion. Et puis, il y a l'autre situation, vous avez une réfraction interne, vous passez d'un milieu plus dense, un milieu moins dense, et à ce moment-là, vous avez un certain nombre de rayons qui passent, mais à partir d'un certain point, ça passe plus. Il y a une réflexion totale et vous n'arrivez plus à transmettre vos rayons dans le milieu suivant. Oula, 5%. Et puis, le dernier graphique, ça résume un petit peu tout ça. Donc, vous avez les deux types de réflexion, ça va dépendre. On considère que là, on donne que le 1N, mais en fait, c'est le rapport, c'est le rapport entre le plus dense et le moins dense, donc on considère qu'un des deux, il a égal à 1. Donc, ça veut dire que si vous êtes de 1 à 1, bah, attendez, on va prendre ça, on va prendre ça, donc vous êtes 1 à 1, vous êtes ici. Et puis, après, suivant, qu'on passe d'un plus dense, un moins dense, ou d'un moins dense, un plus dense, on est en bas ou en haut. Donc, ça veut dire qu'on est d'un moins dense, un plus

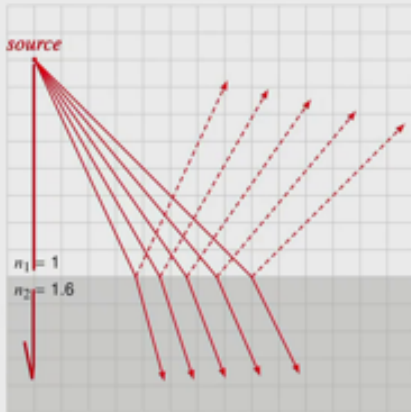
notes

résumé

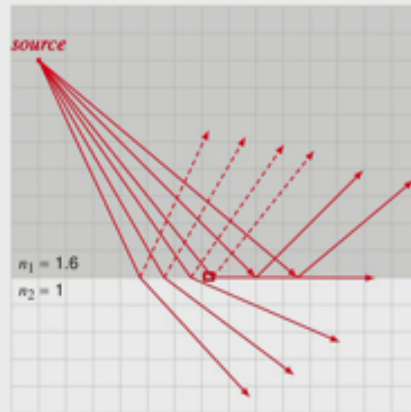
79m 57s



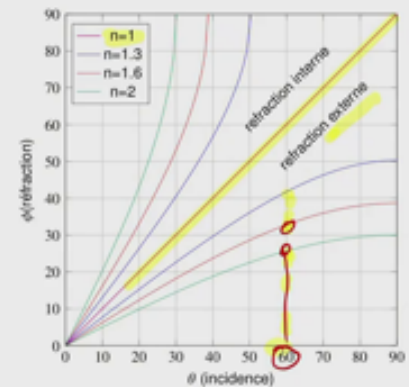
### 1.3.9 Courbes de réfraction



Réfraction externe



Réfraction interne



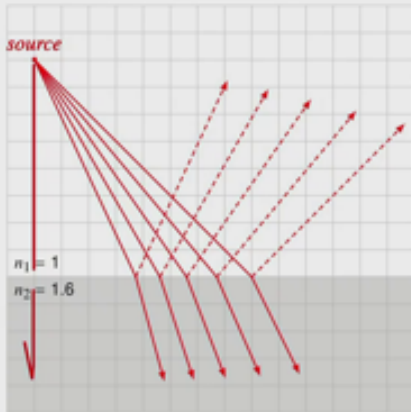
Angle de réfraction en  
fonction de l'angle  
d'incidence

dense. On est là et vous pouvez voir qu'en fonction de l'angle d'incidence, par exemple, si je suis à 60 degrés, eh bien, je vais avoir, suivant les indices de réfraction, je vais avoir environ 35, non, environ 25, ou 32, ou presque 40, c'est comme ça que ça se lit. Je vais prendre un autre truc. Donc, là, j'ai un angle d'incidence de 60. Et puis, ça, c'est si je suis vert, si je suis vert, je suis dans un truc de 1 à 2. Et puis, là, c'est si je suis

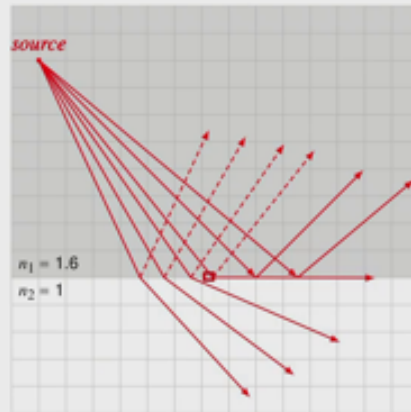
notes

résumé

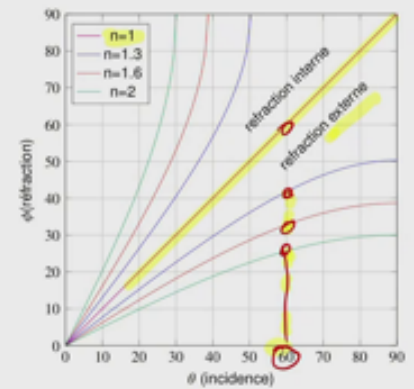
## 1.3.9 Courbes de réfraction



Réfraction externe



Réfraction interne



Angle de réfraction en fonction de l'angle d'incidence

dans un de 1 à 1.6. Et puis, ça, c'est si je suis de 1 à 1.3. Puis, ça, c'est si je suis de 1 à 1. Et puis, là, vous voyez que vous pouvez,

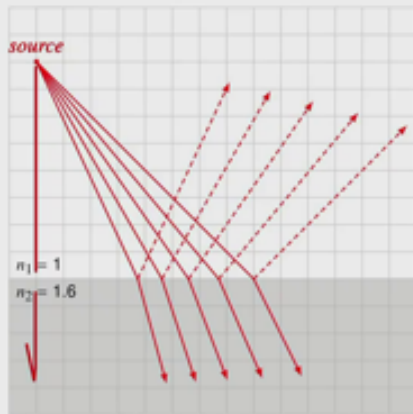
notes

résumé

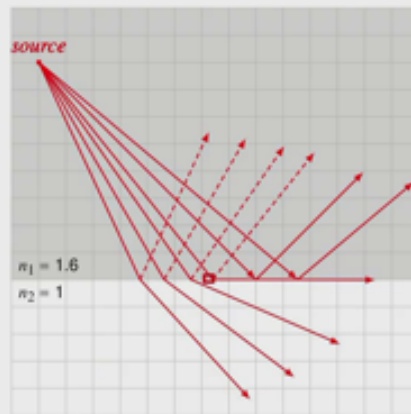
82m 34s



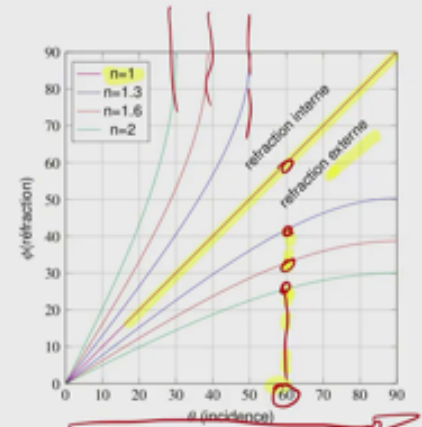
## 1.3.9 Courbes de réfraction



Réfraction externe



Réfraction interne



Angle de réfraction en fonction de l'angle d'incidence

quel que soit votre angle d'incidence, vous arrivez à obtenir quelque chose. Tandis que, dans la réfraction qui est interne, vous voyez que vous avez des angles limites, à partir duquel vous pouvez plus sortir. Voilà. Donc, ça, c'est une explication mathématique ou géométrique ou je sais pas comment dire, qui vous montre tous ces résultats qu'on a regardés. Ça résume l'ensemble de ce petit chapitre qu'on vient de voir aujourd'hui, qui vous permet d'avoir, en fonction de l'angle d'incidence et en fonction du rapport des indices, avoir l'angle de réfraction ou même la possibilité que vous n'avez pas d'angle de réfraction et que vous avez une réflexion totale. Si je connais bien mes slides,

notes

résumé

82m 44s



### 1.3.10 Calcul des angles de réflexion et réfraction

- a) Calculer l'angle de réflexion et celui de réfraction d'un rayon incident à  $\pi/4$  sur un dioptre tel que  $n_{ir} = 1.2$
- b) Calculer l'angle de réfraction d'un rayon incident à  $\pi/3$  sur un dioptre tel que  $n_{ir} = 0.8$

non, ça, c'était des choses que je vous ai montrées. Je voulais faire un calcul.

notes

résumé

83m 35s





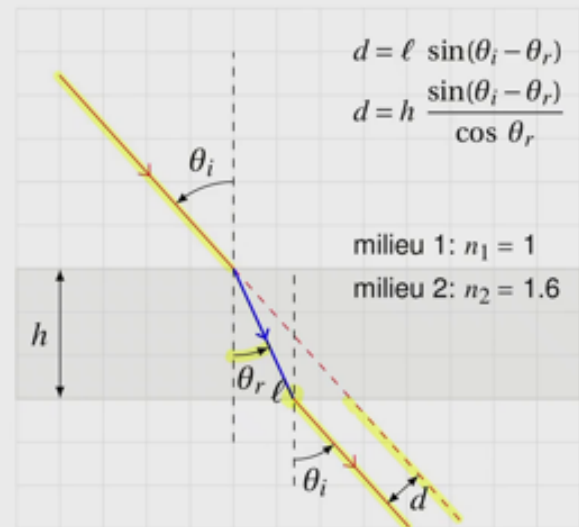
### 1.3.11 Lame à faces parallèles

- Une situation courante en expérimentation
- Un rayon lumineux qui traverse une lame à faces parallèles est dévié d'une distance  $d$  proportionnellement à l'épaisseur  $h$  de la lame :

$$d = h \frac{\sin(\theta_i - \theta_r)}{\cos \theta_r} \quad (1.6)$$

- On peut intégrer à ce calcul celui de l'angle de réfraction  $\theta_r$  :

$$d = h \frac{\sin\left(\theta_i - \arcsin\left(\frac{n_i \sin \theta_i}{n_r}\right)\right)}{\sqrt{1 - \frac{n_i^2 \sin^2 \theta_i}{n_r^2}}} \quad (1.7)$$



Je n'ai pas le faire. Ah oui, j'avais encore des choses à vous raconter. Quelques minutes. Ça, je peux le raconter assez rapidement. Parfois, la situation, c'est que je n'ai pas seulement un dioptré, j'ai deux dioptré. C'est ce qui se passe quand je traverse une vitre, par exemple, ou je traverse une lame de microscope. Donc, ce que vous pouvez percevoir et on peut faire les calculs pour montrer que c'est vrai, ça veut dire que l'angle d'entrée va être le même que l'angle de sortie. Mais j'ai mon rayon qui va se déplacer. C'est ce qui explique ce slide. Donc, vous voyez votre rayon incident. Non, je vais prendre une autre chose. Je vais prendre ça. J'ai mon rayon incident ici. Je passe dans un milieu plus d'anche en train de traverser une lame de verre. Donc, là, je pourrais calculer mon angle de transmission, mon angle de réfraction. Donc, je dois faire comment j'ai toujours fait. Arc sinus du rapport des indices fois le sinus de l'angle d'incidence. Ça me donne une certaine... Et après, j'arrive sur l'autre dioptré. Et puis, là, j'ai la transformation inverse. Mais la transformation inverse, je vais de nouveau le rapport inverse. Et je repars dans la même direction où je suis arrivé. Donc, vous voyez que l'angle émergent de mes deux lames, il va suivre exactement la même direction que le rayon incident. Si ce n'est qu'il est un petit peu décalé, dû à la lamelle. Donc, si vous avez un seul rayon laser, vous verrez, mais si vous avez un pinceau de lumière, vous n'allez rien voir. C'est pour ça que... ce que vous voyez là n'est pas déformé par le fait qu'il y a un vitrage. S'il y avait un vitrage qui manquait, vous verrez une petite différence, probablement,

notes

résumé

83m 39s





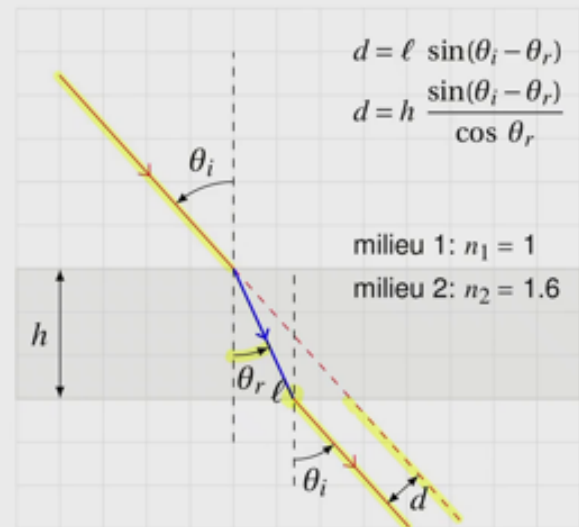
### 1.3.11 lame à faces parallèles

- Une situation courante en expérimentation
- Un rayon lumineux qui traverse une lame à faces parallèles est dévié d'une distance  $d$  proportionnellement à l'épaisseur  $h$  de la lame :

$$d = h \frac{\sin(\theta_i - \theta_r)}{\cos \theta_r} \quad (1.6)$$

- On peut intégrer à ce calcul celui de l'angle de réfraction  $\theta_r$  :

$$d = h \frac{\sin\left(\theta_i - \arcsin\left(\frac{n_i \sin \theta_i}{n_r}\right)\right)}{\sqrt{1 - \frac{n_i^2 \sin^2 \theta_i}{n_r^2}}} \quad (1.7)$$



avec la couleur. Mais vous verriez... Peut-être des endroits, vous verriez qu'il y en a un, il y avait un petit peu l'image et un petit peu décalé par rapport à l'autre, mais vraiment très peu, parce que sur les distances, l'épaisseur du verre est toute petite. Alors que si on avait... si on avait du blindage, peut-être que là, ça changerait un peu. Ce n'avait pas un aquarium avec une grande épaisseur d'eau, là, on verrait une petite différence. Là, on ne voit aucune différence. Et puis, voilà, vous avez les calculs. Vous avez un petit peu de ces calculs. Il y a un problème qui vous fait ça. Voilà, je suis très fier de moi. Je termine 30 secondes avant la fin du cours, alors que vous, vous aviez 3 minutes de retard ou quelque chose comme ça. Je suis presque comme les CFF, non comme les... Le carpostal. Le matin, je suis étonné de l'arriver avec 5 minutes de retard chez moi, puis j'arrive à la gare, quasiment alors, en ailleurs, écraser personne. Donc, je vous souhaite une bonne semaine. Je me réjouis de vous voir vendredi. Et puis, on continue. En tout cas, j'ai beaucoup de plaisir d'être parmi vous, et vous, que ça continue.

#### notes

#### résumé