

La Lumière, épisode III :

La Lumière selon Rascar Capac



La Lumière selon Rascar Capac

Résumé des épisodes I & II

- ▶ -400 000 ans : Maîtrise du feu



La Lumière selon Rascar Capac

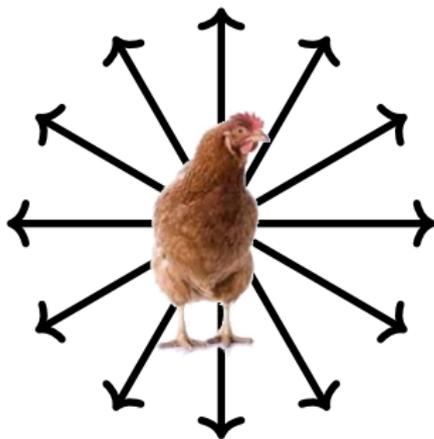
Résumé des épisodes I & II

- ▶ -400 000 ans : Maîtrise du feu
- ▶ VII^e avant notre ère : naissance de la Philosophie

La Lumière selon Rascar Capac

Résumé des épisodes I & II

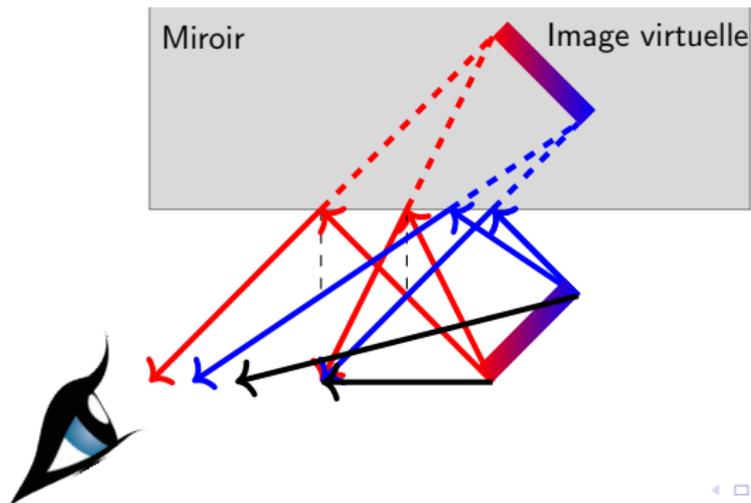
- ▶ -400 000 ans : Maîtrise du feu
- ▶ VII^e avant notre ère : naissance de la Philosophie
- ▶ III^e avant notre ère : Euclide et le concept de *rayon visuel*



La Lumière selon Rascar Capac

Résumé des épisodes I & II

- ▶ -400 000 ans : Maîtrise du feu
- ▶ VII^e avant notre ère : naissance de la Philosophie
- ▶ III^e avant notre ère : Euclide et le concept de *rayon visuel*
- ▶ I^e de notre ère : Ptolémée et le concept d'*image virtuelle*



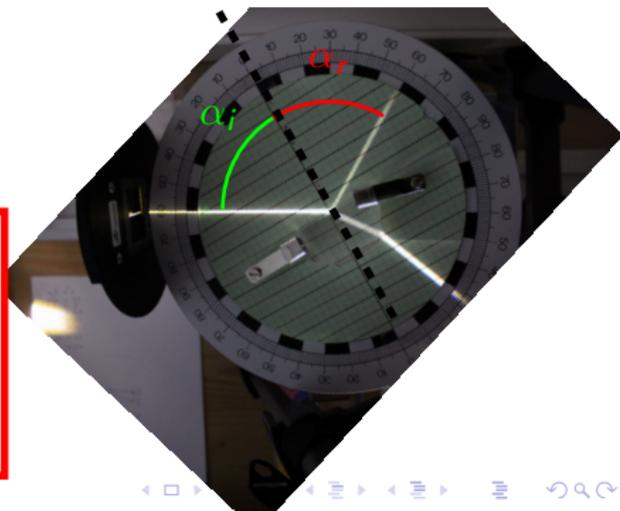
La Lumière selon Rascar Capac

Résumé des épisodes I & II

- ▶ -400 000 ans : Maîtrise du feu
- ▶ VII^e avant notre ère : naissance de la Philosophie
- ▶ III^e avant notre ère : Euclide et le concept de *rayon visuel*
- ▶ I^e de notre ère : Ptolémée et le concept d'*image virtuelle*
- ▶ I^e de notre ère : Héron d'Alexandrie et *les lois de la réflexion*

Lois de la réflexion

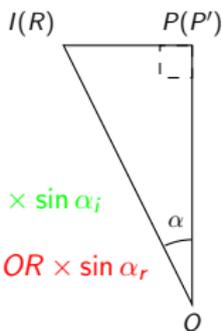
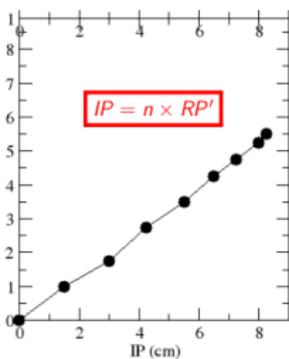
- ▶ le rayon réfléchi est contenu dans le plan d'incidence,
- ▶ l'angle de réflexion α_r est égale à l'angle d'incidence α_i .



La Lumière selon Rascar Capac

Résumé des épisodes I & II

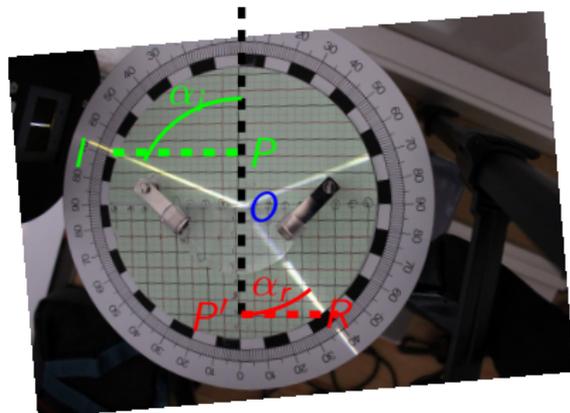
- ▶ -400 000 ans : Maîtrise du feu
- ▶ VII^e avant notre ère : naissance de la Philosophie
- ▶ III^e avant notre ère : Euclide et le concept de *rayon visuel*
- ▶ I^e de notre ère : Ptolémée et le concept d'*image virtuelle*
- ▶ I^e de notre ère : Héron d'Alexandrie et *les lois de la réflexion*
- ▶ XVII^e de notre ère : Snell & Descartes et *les lois de la réfraction*



$$IP = OI \times \sin \alpha_i$$

$$RP' = OR \times \sin \alpha_r$$

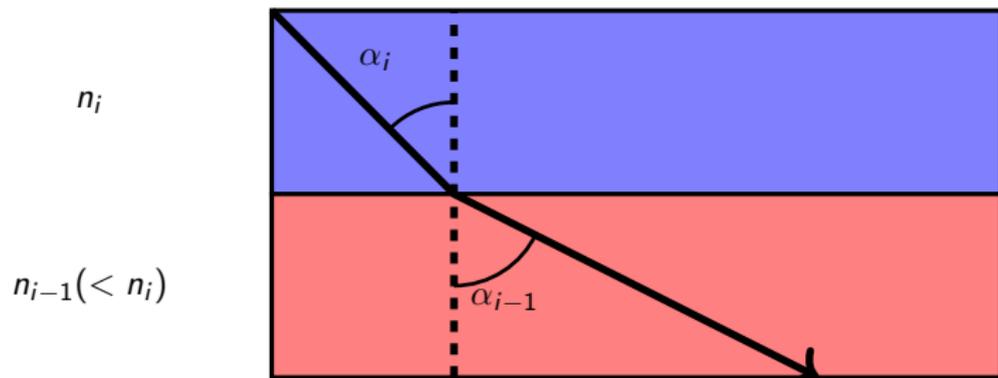
$$n_i \sin \alpha_i = n_r \sin \alpha_r$$



La Lumière selon Rascar Capac

Résumé des épisodes I & II

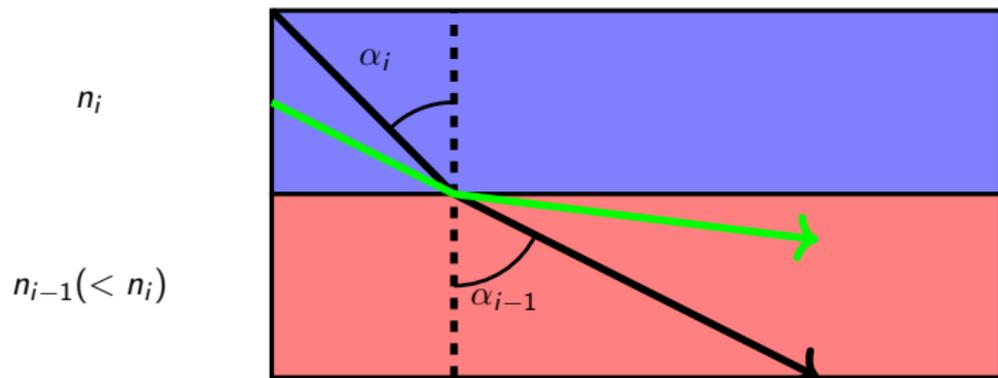
- ▶ -400 000 ans : Maîtrise du feu
- ▶ VII^e avant notre ère : naissance de la Philosophie
- ▶ III^e avant notre ère : Euclide et le concept de *rayon visuel*
- ▶ I^e de notre ère : Ptolémée et le concept d'*image virtuelle*
- ▶ I^e de notre ère : Héron d'Alexandrie et *les lois de la réflexion*
- ▶ XVII^e de notre ère : Snell & Descartes et *les lois de la réfraction*
- ▶ XVII^e de notre ère : *La réflexion totale*



La Lumière selon Rascar Capac

Résumé des épisodes I & II

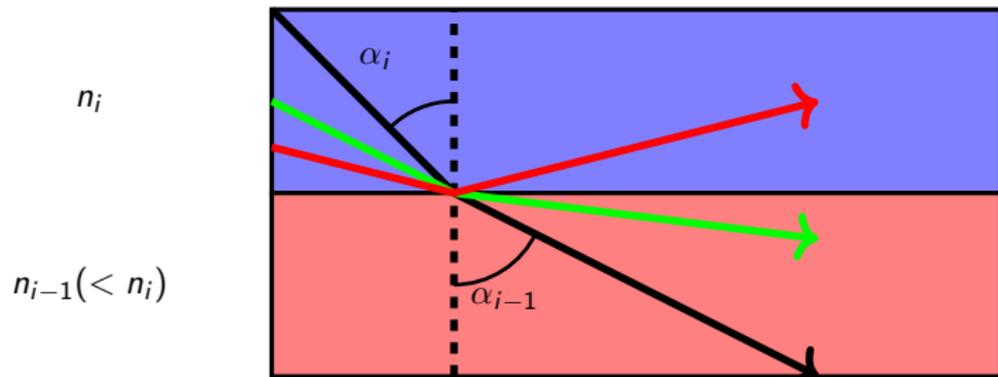
- ▶ -400 000 ans : Maîtrise du feu
- ▶ VII^e avant notre ère : naissance de la Philosophie
- ▶ III^e avant notre ère : Euclide et le concept de *rayon visuel*
- ▶ I^e de notre ère : Ptolémée et le concept d'*image virtuelle*
- ▶ I^e de notre ère : Héron d'Alexandrie et *les lois de la réflexion*
- ▶ XVII^e de notre ère : Snell & Descartes et *les lois de la réfraction*
- ▶ XVII^e de notre ère : *La réflexion totale*



La Lumière selon Rascar Capac

Résumé des épisodes I & II

- ▶ -400 000 ans : Maîtrise du feu
- ▶ VII^e avant notre ère : naissance de la Philosophie
- ▶ III^e avant notre ère : Euclide et le concept de *rayon visuel*
- ▶ I^e de notre ère : Ptolémée et le concept d'*image virtuelle*
- ▶ I^e de notre ère : Héron d'Alexandrie et *les lois de la réflexion*
- ▶ XVII^e de notre ère : Snell & Descartes et *les lois de la réfraction*
- ▶ XVII^e de notre ère : *La réflexion totale*



La Lumière selon Rascar Capac

[Au sommaire cette semaine ...](#)

- ▶ L'indice de réfraction ...
 - ▶ ... et la densité (air, eau, verre, ...)
 - ▶ ... et la température et la pression
 - ▶ ... et les couleurs
- ▶ La théorie mécaniste de la lumière

La Lumière selon Rascar Capac

L'indice de réfraction, n

- ▶ On observe que l'indice de réfraction, n , augmente avec la densité des corps :

- ▶ $n_{\text{air}} < n_{\text{eau}} < n_{\text{verre}}$

- ▶ $n_{\text{gaz}} < n_{\text{liquide}} < n_{\text{solide}}$

	n	Etat
vide	1	
Air 20 C° et 1 atm	1.000272	Gaz
CO ₂	1.00045	Gaz
Hélium	1.000036	Gaz
H ₂ 20 C° et 1 atm	1.000132	Gaz
Eau	1.333	Liquide
Hélium liquide	1.025	Liquide
Larmes	1.336	Liquide
Sucre, solution 25 %	1.3723	Liquide
Sucre, solution 50 %	1.4200	Liquide
Sucre, solution 75 %	1.4774	Liquide
Glace	1.31	Solide
Calcite	1.486/1.658	Solide
Sel	1.531	Solide
Diamant	2.4175	Solide
Pyrex	1.474	Solide
Verre de pare-brise	1.52	Solide
Verre de bouteille	1.52	Solide

La Lumière selon Rascar Capac

L'indice de réfraction, n

- ▶ On observe que l'indice de réfraction, n , augmente avec la densité des corps :
 - ▶ $n_{\text{air}} < n_{\text{eau}} < n_{\text{verre}}$
 - ▶ $n_{\text{gaz}} < n_{\text{liquide}} < n_{\text{solide}}$
- ▶ Dans un gaz, la densité dépend de la température : plus la température est élevée, plus la densité est faible

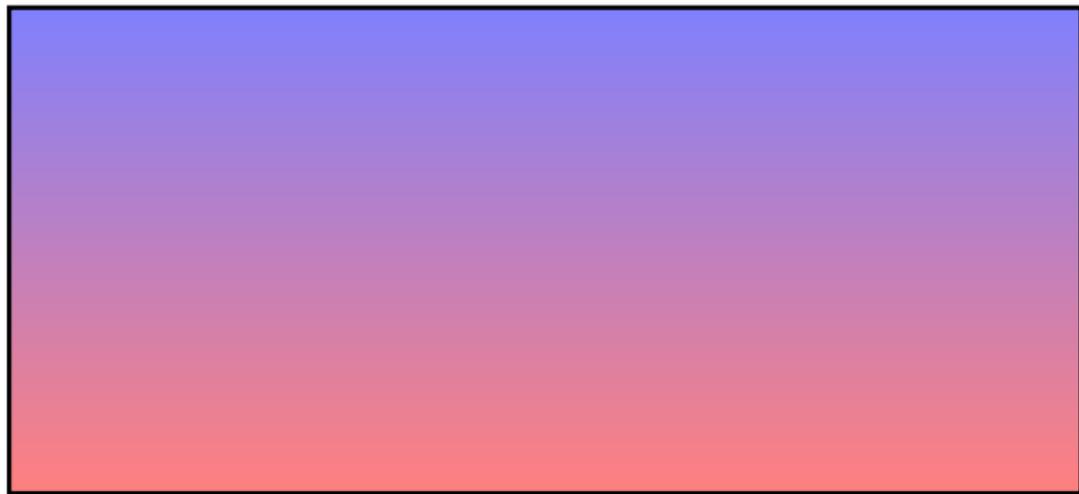
La Lumière selon Rascar Capac

L'indice de réfraction, n

- ▶ On observe que l'indice de réfraction, n , augmente avec la densité des corps :
 - ▶ $n_{air} < n_{eau} < n_{verre}$
 - ▶ $n_{gaz} < n_{liquide} < n_{solide}$
- ▶ Dans un gaz, la densité dépend de la température : plus la température est élevée, plus la densité est faible
- ▶ impact de la température sur l'indice de réfraction ?

La Lumière selon Rascar Capac

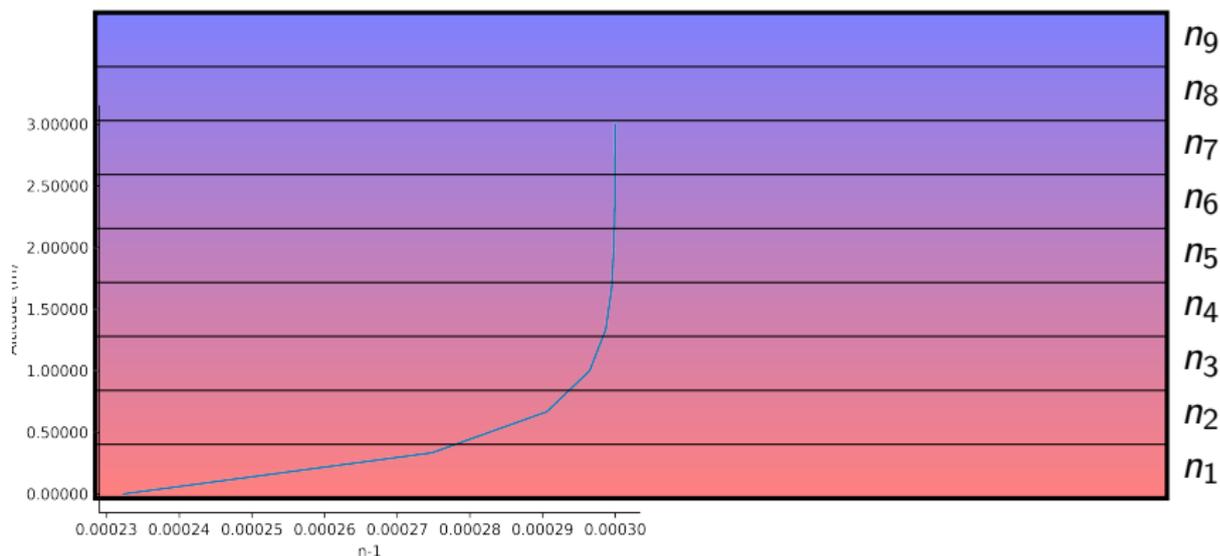
L'indice de réfraction, n



La Lumière selon Rascar Capac

L'indice de réfraction, n

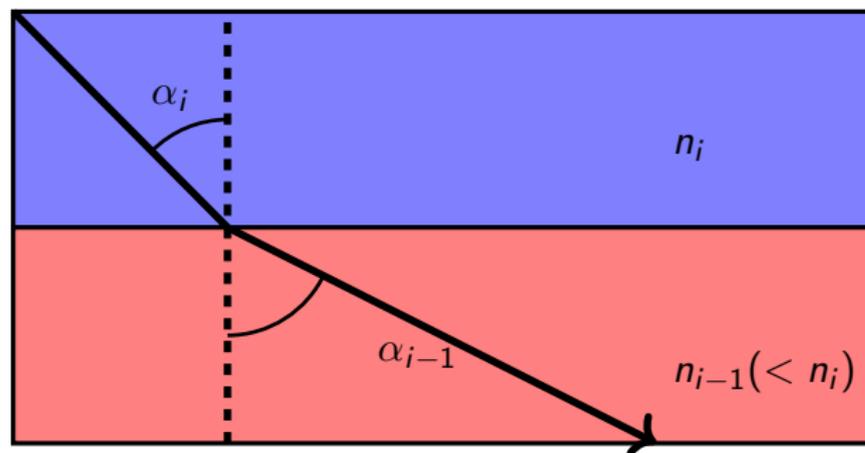
Variation de l'indice de réfraction, n , avec l'altitude



La Lumière selon Rascar Capac

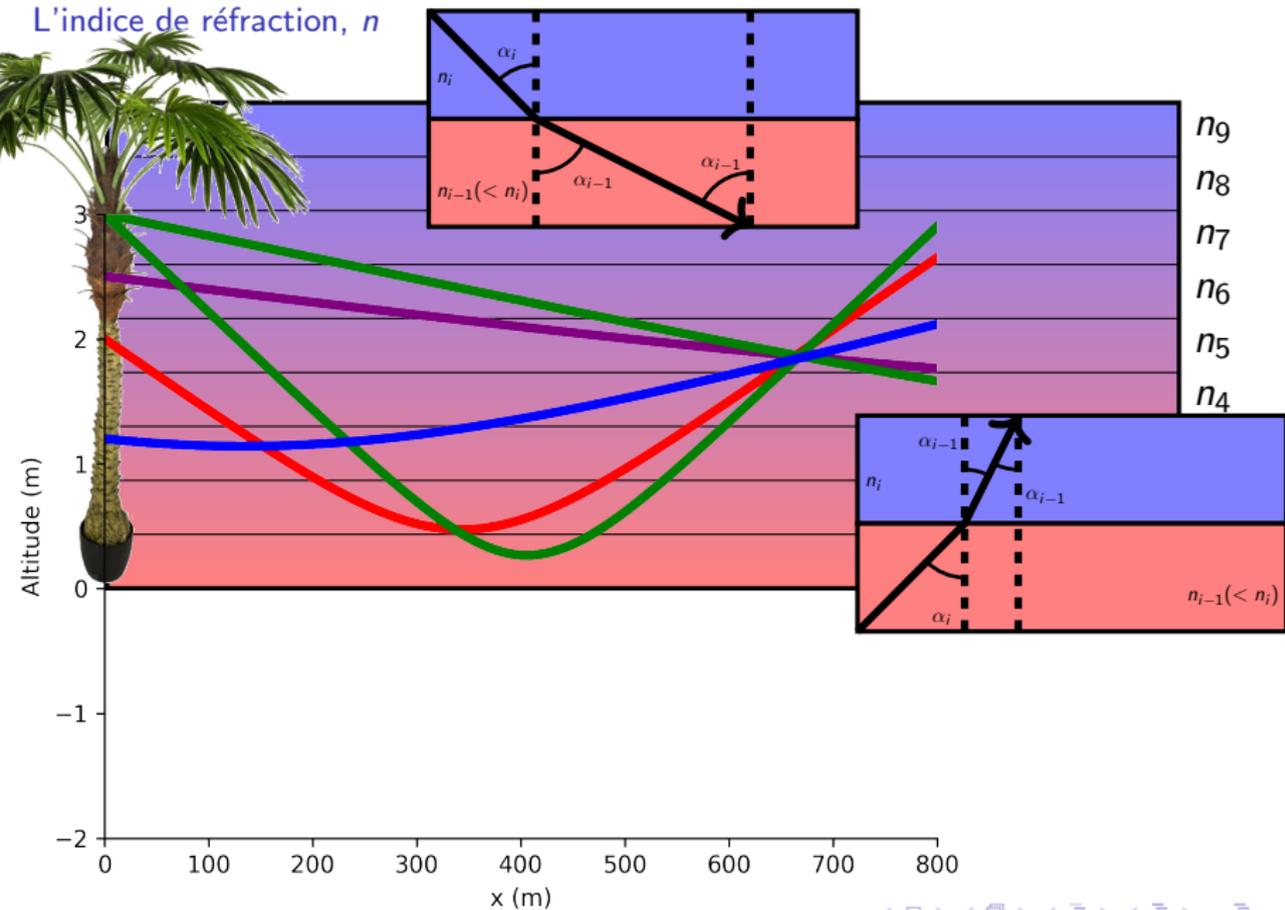
L'indice de réfraction, n

- ▶ Chemin du milieu le plus dense vers le moins dense
- ▶ le rayon réfracté s'écarte de la normale au dioptre



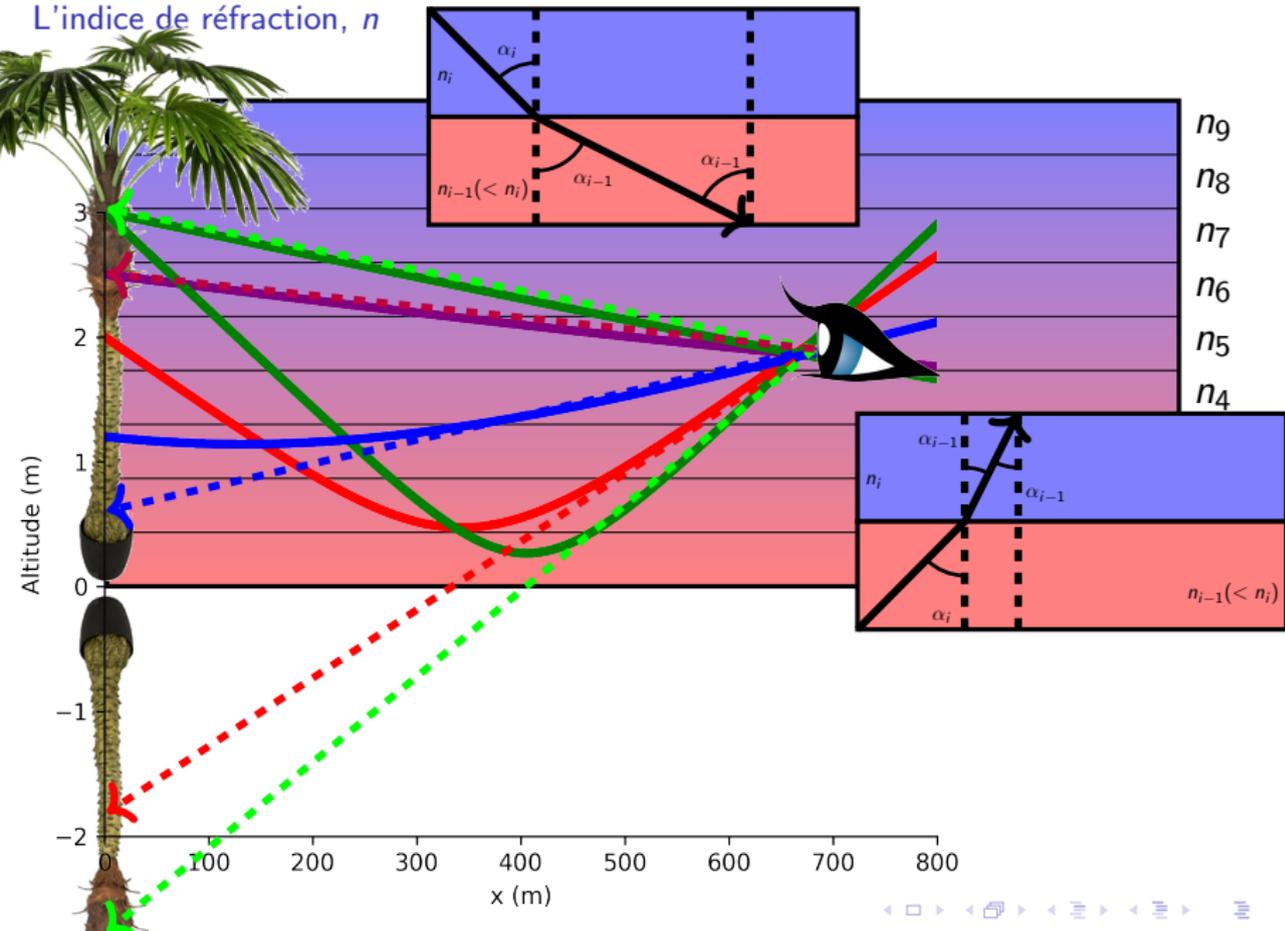
La Lumière selon Rascar Capac

L'indice de réfraction, n



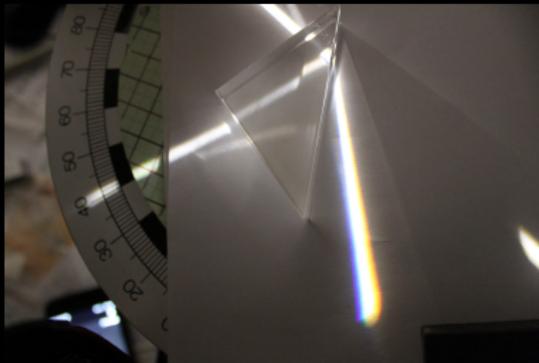
La Lumière selon Rascar Capac

L'indice de réfraction, n



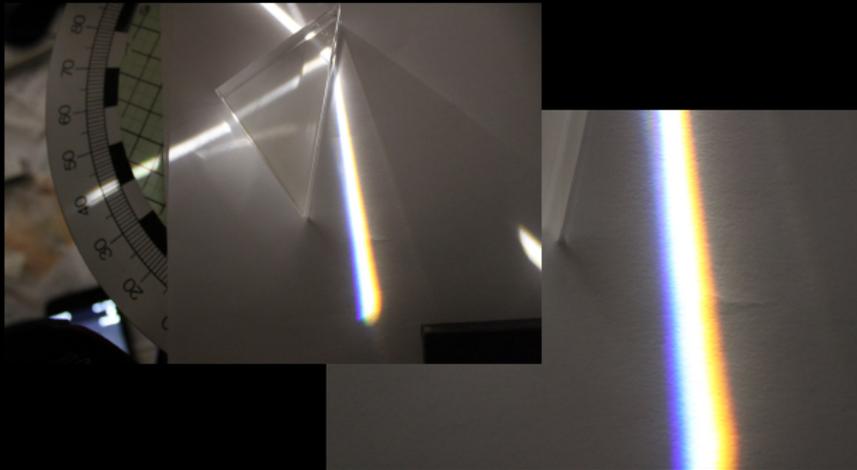
La Lumière selon Rascar Capac

L'indice de réfraction, n



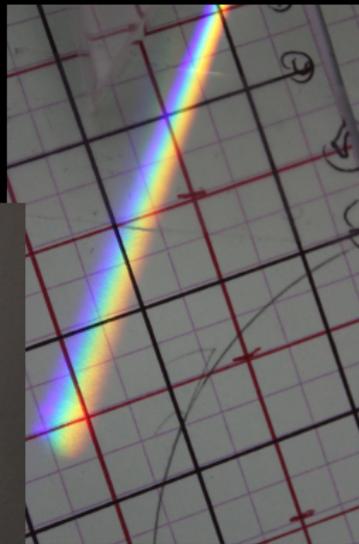
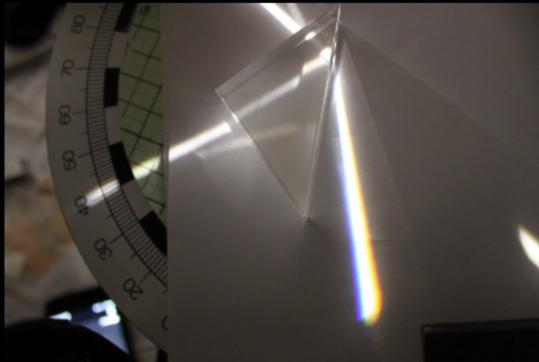
La Lumière selon Rascar Capac

L'indice de réfraction, n



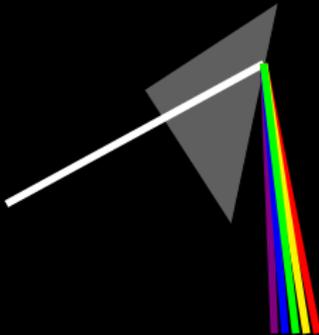
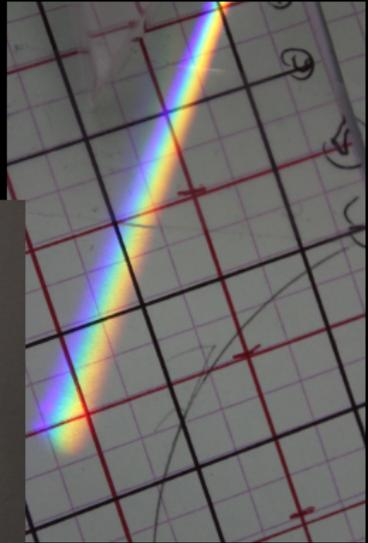
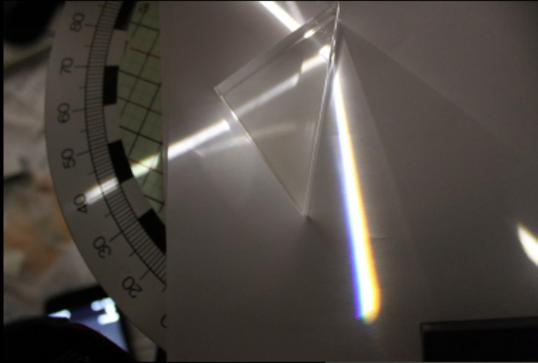
La Lumière selon Rascar Capac

L'indice de réfraction, n



La Lumière selon Rascar Capac

L'indice de réfraction, n



Dispersion de la lumière : Newton (1642-1726)

“En l'an 1666 [...] je me suis procuré un prisme triangulaire en verre pour faire des expériences sur les fameux phénomènes des couleurs. Après avoir fait l'obscurité dans la chambre et percé un trou dans le volet pour laisser pénétrer une quantité convenable de lumière solaire, j'ai placé mon prisme devant l'ouverture afin que la lumière soit réfractée sur le mur opposé. Ce fut d'abord un divertissement très plaisant de contempler les couleurs vives et intenses ainsi produites.

La théorie mécaniste de la Lumière

La nature de la lumière

Les conceptions de Ibn al-Haytham (965-1039)

- ▶ conception mécanique de la propagation de la lumière



La nature de la lumière

Les conceptions de Ibn al-Haytham (965-1039)

- ▶ conception mécanique de la propagation de la lumière
- ▶ Il assimile “la plus petite des lumières” à un mobile émis par une source qui traverse divers milieux



La nature de la lumière

Les conceptions de Ibn al-Haytham (965-1039)



- ▶ conception mécanique de la propagation de la lumière
- ▶ Il assimile “la plus petite des lumières” à un mobile émis par une source qui traverse divers milieux
- ▶ **“La raison pour laquelle la lumière se reflète en faisant avec le miroir un angle égale à celui sous lequel elle y arrive est la suivante : comme la lumière se déplace par un mouvement extrêmement rapide, lorsqu’elle tombe sur le miroir, elle ne pénètre pas à l’intérieur mais elle ne peut s’y arrêter et, comme en elle demeurent encore la force et la nature du mouvement primitif, elle se réfléchit du côté par lequel elle est arrivée et suivant une ligne inclinée comme la précédente”**, *Le discours sur la lumière*.

La nature de la lumière

Les conceptions de Ibn al-Haytham (965-1039)



- ▶ conception mécanique de la propagation de la lumière
- ▶ Il assimile “la plus petite des lumières” à un mobile émis par une source qui traverse divers milieux
- ▶ **“La raison pour laquelle la lumière se reflète en faisant avec le miroir un angle égale à celui sous lequel elle y arrive est la suivante : comme la lumière se déplace par un mouvement extrêmement rapide, lorsqu’elle tombe sur le miroir, elle ne pénètre pas à l’intérieur mais elle ne peut s’y arrêter et, comme en elle demeurent encore la force et la nature du mouvement primitif, elle se réfléchit du côté par lequel elle est arrivée et suivant une ligne inclinée comme la précédente”**, *Le discours sur la lumière*.

La nature de la lumière

Les conceptions de Ibn al-Haytham (965-1039)



Democrite (460-370)

“Ce que nous appelons **la lumière** est constitué par des **atomes émis par un corps lumineux**, laissant une impression de lumière dans notre oeil dès qu'ils le rencontrent”.

La nature de la lumière

Les conceptions de Ibn al-Haytham (965-1039)



- ▶ conception mécanique de la propagation de la lumière
- ▶ Il assimile “la plus petite des lumières” à un mobile émis par une source qui traverse divers milieux
- ▶ **“La raison pour laquelle la lumière se reflète en faisant avec le miroir un angle égale à celui sous lequel elle y arrive est la suivante : comme la lumière se déplace par un mouvement extrêmement rapide, lorsqu’elle tombe sur le miroir, elle ne pénètre pas à l’intérieur mais elle ne peut s’y arrêter et, comme en elle demeurent encore la force et la nature du mouvement primitif, elle se réfléchit du côté par lequel elle est arrivée et suivant une ligne inclinée comme la précédente”**, *Le discours sur la lumière*.
- ▶ Décomposition du mouvement en deux composantes, l’une parallèle au dioptré, l’autre perpendiculaire

Un peu de mathématique

La notion de “vecteur”



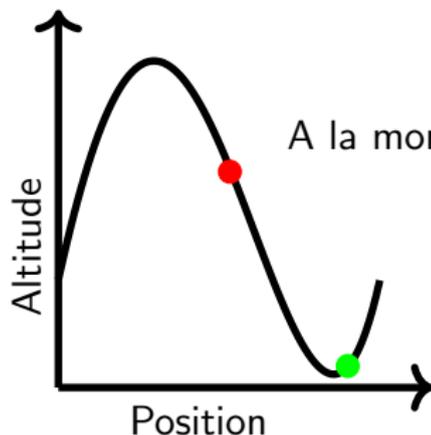
- ▶ La semaine dernière → la **fonction** qui associe une valeur à une autre

Un peu de mathématique

La notion de "vecteur"



- ▶ La semaine dernière → la **fonction** qui associe une valeur à une autre



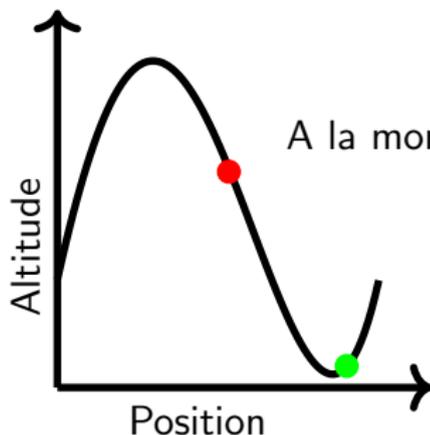
A la montagne : associe l'altitude à une position

Un peu de mathématique

La notion de "vecteur"



- ▶ La semaine dernière → la **fonction** qui associe une valeur à une autre



A la montagne : associe l'altitude à une position

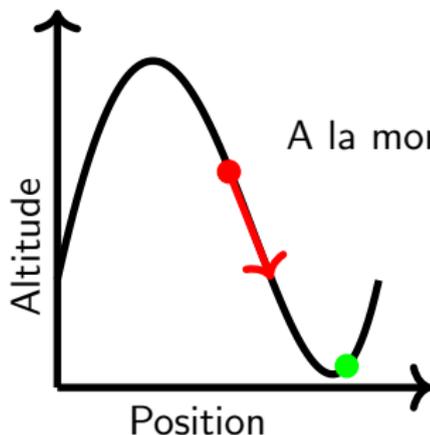
- ▶ le **vecteur** → de la position où je suis, comment va changer mon altitude si je me déplace d'un mètre

Un peu de mathématique

La notion de "vecteur"



- ▶ La semaine dernière → la **fonction** qui associe une valeur à une autre



A la montagne : associe l'altitude à une position

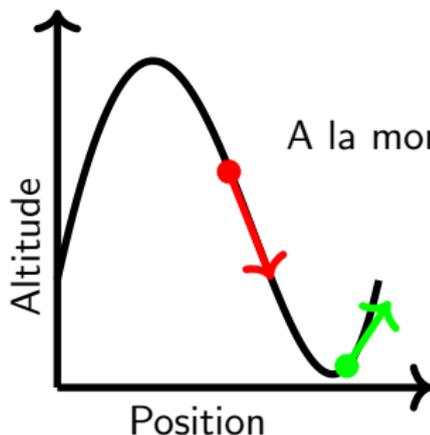
- ▶ le **vecteur** → de la position où je suis, comment va changer mon altitude si je me déplace d'un mètre
 - ▶ à la **position rouge**, si je vais vers la droite je descends "beaucoup" ("longue flèche rouge")

Un peu de mathématique

La notion de "vecteur"



- ▶ La semaine dernière → la **fonction** qui associe une valeur à une autre



A la montagne : associe l'altitude à une position

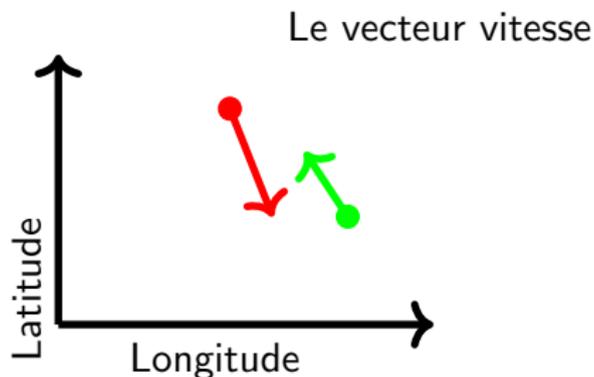
- ▶ le **vecteur** → de la position où je suis, comment va changer mon altitude si je me déplace d'un mètre
 - ▶ à la **position rouge**, si je vais vers la droite je descends "beaucoup" ("longue flèche rouge")
 - ▶ à la **position verte**, si je vais vers la droite je monte "peu" ("petite flèche verte")

Un peu de mathématique

La notion de "vecteur"



- ▶ La semaine dernière → la **fonction** qui associe une valeur à une autre



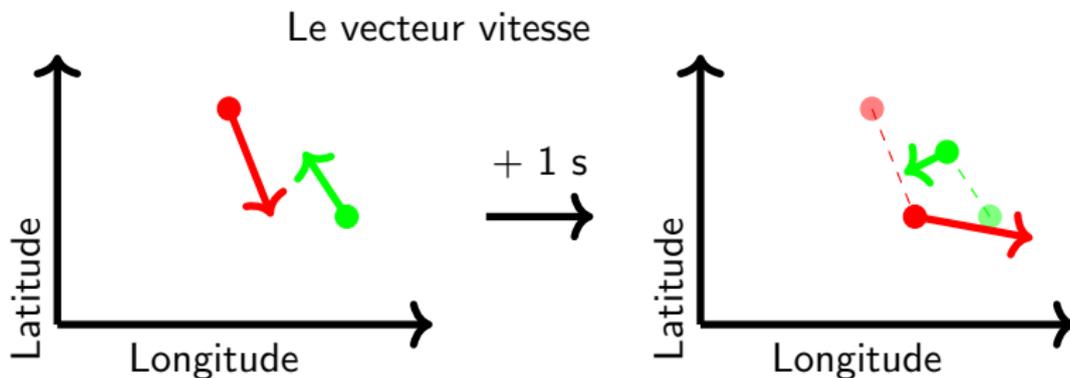
- ▶ le **vecteur** → de la position où je suis,
 - ▶ de combien de mètres vais je déplacer en 1 s
 - ▶ dans quelle direction

Un peu de mathématique

La notion de "vecteur"



- ▶ La semaine dernière → la **fonction** qui associe une valeur à une autre



- ▶ le **vecteur** → de la position où je suis,
 - ▶ de combien de mètres vais je déplacer en 1 s
 - ▶ dans quelle direction

La nature de la lumière

Les conceptions de Ibn al-Haytham (965-1039)

- ▶ Décomposition du mouvement en deux composantes ,
 - ▶ l'une parallèle au dioptré,
 - ▶ l'autre perpendiculaire au dioptré.

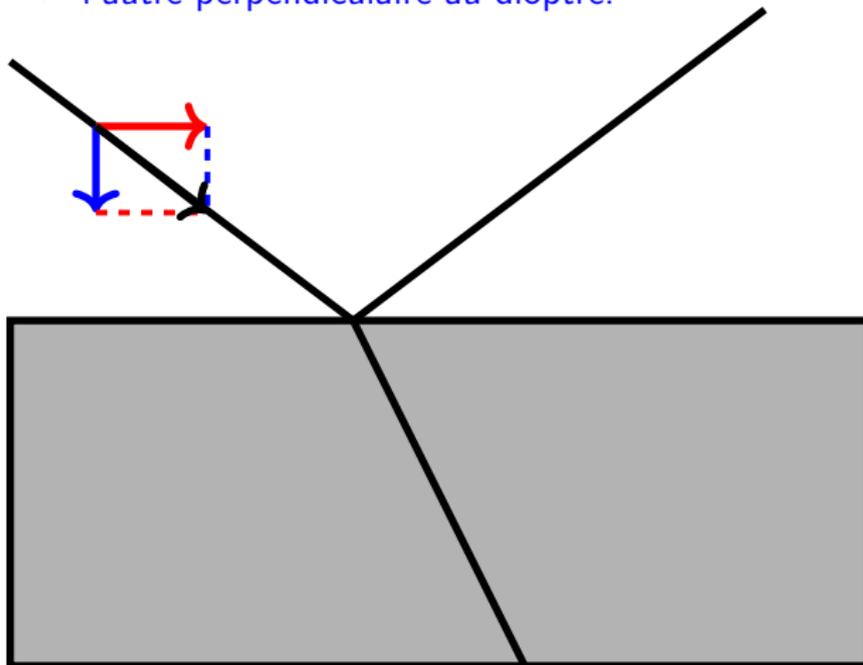


La nature de la lumière

Les conceptions de Ibn al-Haytham (965-1039)



- ▶ Décomposition du mouvement en deux composantes ,
 - ▶ l'une parallèle au dioptré,
 - ▶ l'autre perpendiculaire au dioptré.

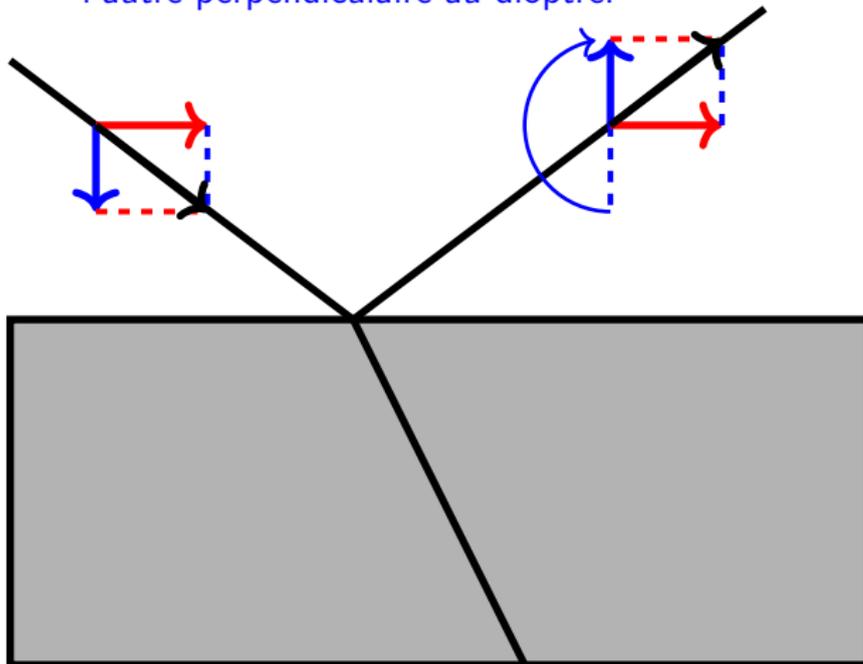


La nature de la lumière

Les conceptions de Ibn al-Haytham (965-1039)



- ▶ Décomposition du mouvement en deux composantes ,
 - ▶ l'une parallèle au dioptré,
 - ▶ l'autre perpendiculaire au dioptré.

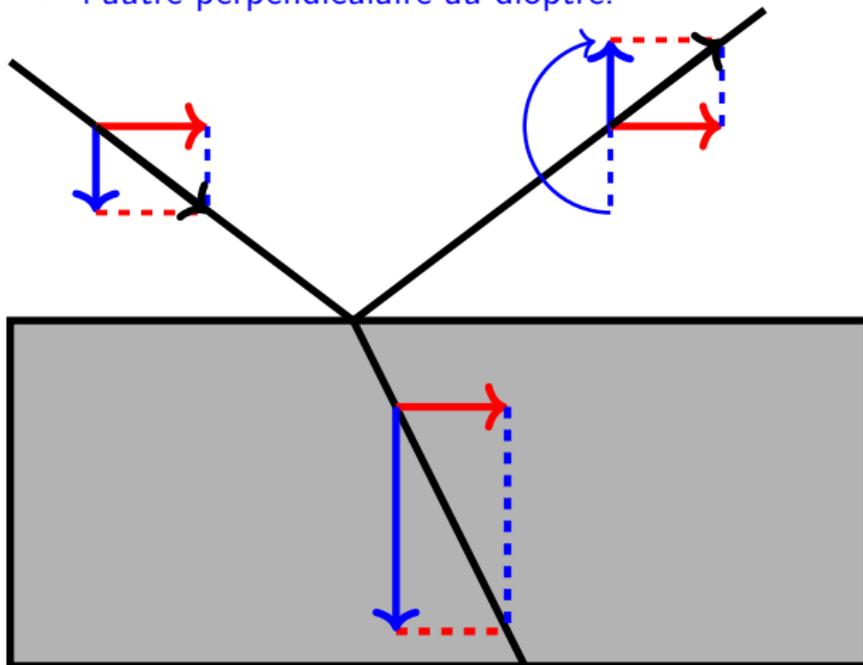


La nature de la lumière

Les conceptions de Ibn al-Haytham (965-1039)



- ▶ Décomposition du mouvement en deux composantes ,
 - ▶ l'une parallèle au dioptré,
 - ▶ l'autre perpendiculaire au dioptré.



La nature de la lumière

Les conceptions de Descartes (1596-1650)

- ▶ Le feu selon Descartes
 - ▶ Phénomène mécanique



La nature de la lumière

Les conceptions de Descartes (1596-1650)

- ▶ Le feu selon Descartes

- ▶ Phénomène mécanique
- ▶ La flamme est formée de petites particules invisibles animées d'un mouvement rapide et violent



La nature de la lumière

Les conceptions de Descartes (1596-1650)



▶ Le feu selon Descartes

- ▶ Phénomène mécanique
- ▶ La flamme est formée de petites particules invisibles animées d'un mouvement rapide et violent
- ▶ **“C'est ce mouvement seul qui selon les différents effets qu'il produit s'appelle tantôt chaleur et tantôt lumière”**, *Le Monde ou Traité de la lumière* (1664)

La nature de la lumière

Les conceptions de Descartes (1596-1650)



- ▶ Le feu selon Descartes
 - ▶ Phénomène mécanique
 - ▶ La flamme est formée de petites particules invisibles animées d'un mouvement rapide et violent
 - ▶ **“C'est ce mouvement seul qui selon les différents effets qu'il produit s'appelle tantôt chaleur et tantôt lumière”**, *Le Monde ou Traité de la lumière* (1664)
- ▶ La propagation de la lumière est instantanée

La nature de la lumière

Les conceptions de Descartes (1596-1650)



- ▶ Le feu selon Descartes
 - ▶ Phénomène mécanique
 - ▶ La flamme est formée de petites particules invisibles animées d'un mouvement rapide et violent
 - ▶ **“C'est ce mouvement seul qui selon les différents effets qu'il produit s'appelle tantôt chaleur et tantôt lumière”**, *Le Monde ou Traité de la lumière* (1664)
- ▶ La propagation de la lumière est instantanée
- ▶ La réflexion : l'image du rebond d'une balle sur un mur (Alhazen)

La nature de la lumière

Les conceptions de Descartes (1596-1650)



- ▶ Le feu selon Descartes
 - ▶ Phénomène mécanique
 - ▶ La flamme est formée de petites particules invisibles animées d'un mouvement rapide et violent
 - ▶ **“C'est ce mouvement seul qui selon les différents effets qu'il produit s'appelle tantôt chaleur et tantôt lumière”**, *Le Monde ou Traité de la lumière* (1664)
- ▶ La propagation de la lumière est instantanée
- ▶ La réflexion : l'image du rebond d'une balle sur un mur (Alhazen)
- ▶ La réfraction : passage d'un projectile à travers une toile tendue **“perdant seulement une partie de sa vitesse [...] et s'écartant de la normale à la toile car il est bien aisé de croire que l'action [...] à se mouvoir doit suivre les mêmes lois que le mouvement**(*La Dioptrique*, 1637)

La nature de la lumière

Les conceptions de Descartes (1596-1650)

- ▶ La réfraction : passage d'un projectile à travers une toile tendue **“perdant seulement une partie de sa vitesse [...] et s'écartant de la normale à la toile car il est bien aisé de croire que l'action [...] à se mouvoir doit suivre les mêmes lois que le mouvement**(*La Dioptrique*, 1637)

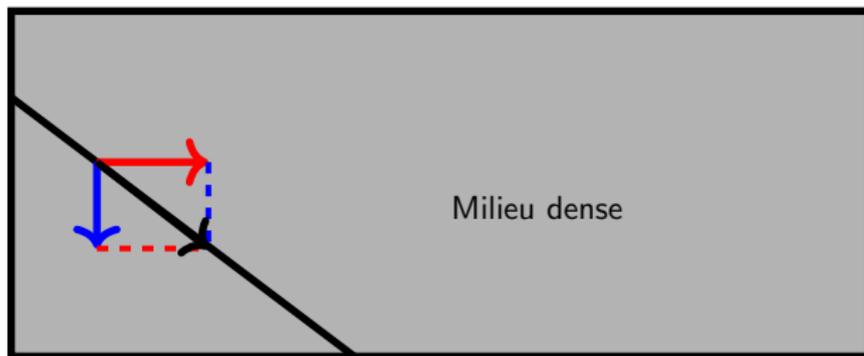


La nature de la lumière

Les conceptions de Descartes (1596-1650)



- ▶ La réfraction : passage d'un projectile à travers une toile tendue **“perdant seulement une partie de sa vitesse [...] et s'écartant de la normale à la toile car il est bien aisé de croire que l'action [...] à se mouvoir doit suivre les mêmes lois que le mouvement”(La Dioptrique, 1637)**



Air

Milieu dense

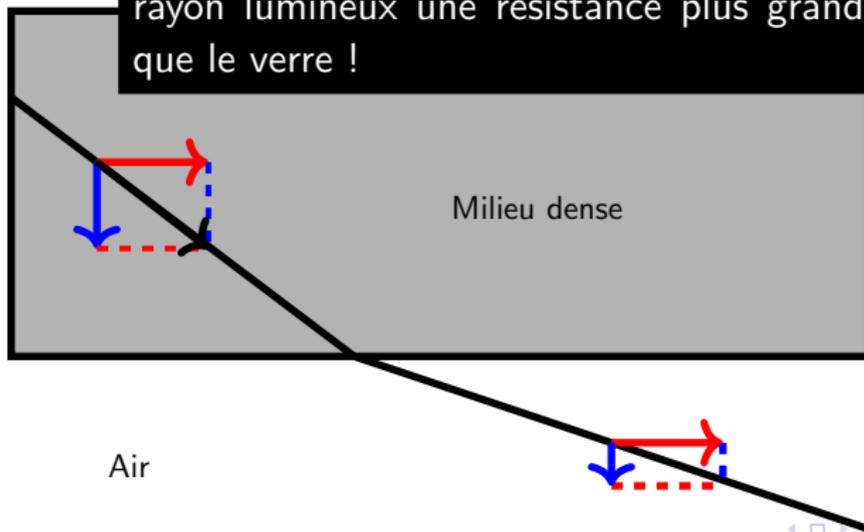
La nature de la lumière

Les conceptions de Descartes (1596-1650)



- ▶ La réfraction : passage d'un projectile à travers une toile tendue **“perdant seulement une partie de sa vitesse [...] et s'écartant de la normale à la toile car il est bien aisé de croire que l'action [...] à se mouvoir doit suivre les mêmes lois que le mouvement** (*La Dioptrique*, 1637)

Implique que l'air oppose au passage du rayon lumineux une résistance plus grande que le verre !



La nature de la lumière

La conception de Newton (1642-1726) : Théorie de l'émission



- ▶ *Optiks* (1704) → Newton présente une démonstration similaire à celle de Descartes, qui s'appuie sur sa théorie de la gravitation.
- ▶ Newton suppose qu'à l'interface entre deux milieux transparents, les corpuscules de lumière sont attirés par le milieu le plus dense, et accélérés par la force de gravitation selon la direction perpendiculaire à l'interface.
- ▶ Loi universelle de la gravitation, Newton, *Principia mathematica philosophiae naturalis* (1687)

$$F_{A/B} = F_{B/A} = G \frac{M_A M_B}{d_{AB}^2}.$$

$G = 6.67408 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ est la constante gravitationnelle

La nature de la lumière

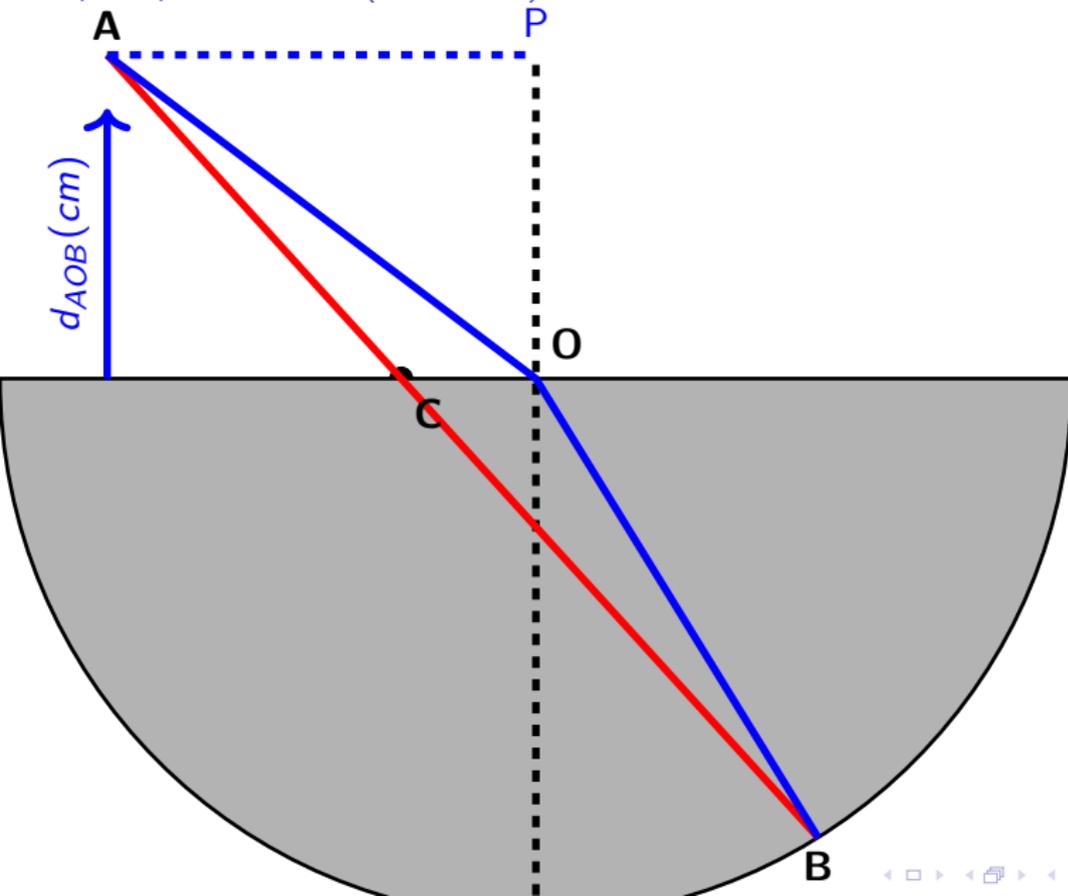
Le principe de Fermat (1607-1665)



- ▶ **“La démonstration de la réfraction me semble un véritable paralogisme parce que [Descartes] suppose que le mouvement de la lumière qui se fait dans l’air et dans les corps rares est plus [...] lent que celui qui se fait dans l’eau et dans les autres corps ce qui semble choquer le sens commun”** (*Lettre à un destinataire inconnu*, 1679)
- ▶ Principe du plus court chemin : **“La nature agit toujours par les voies les plus courtes”** (*op. cit.*)

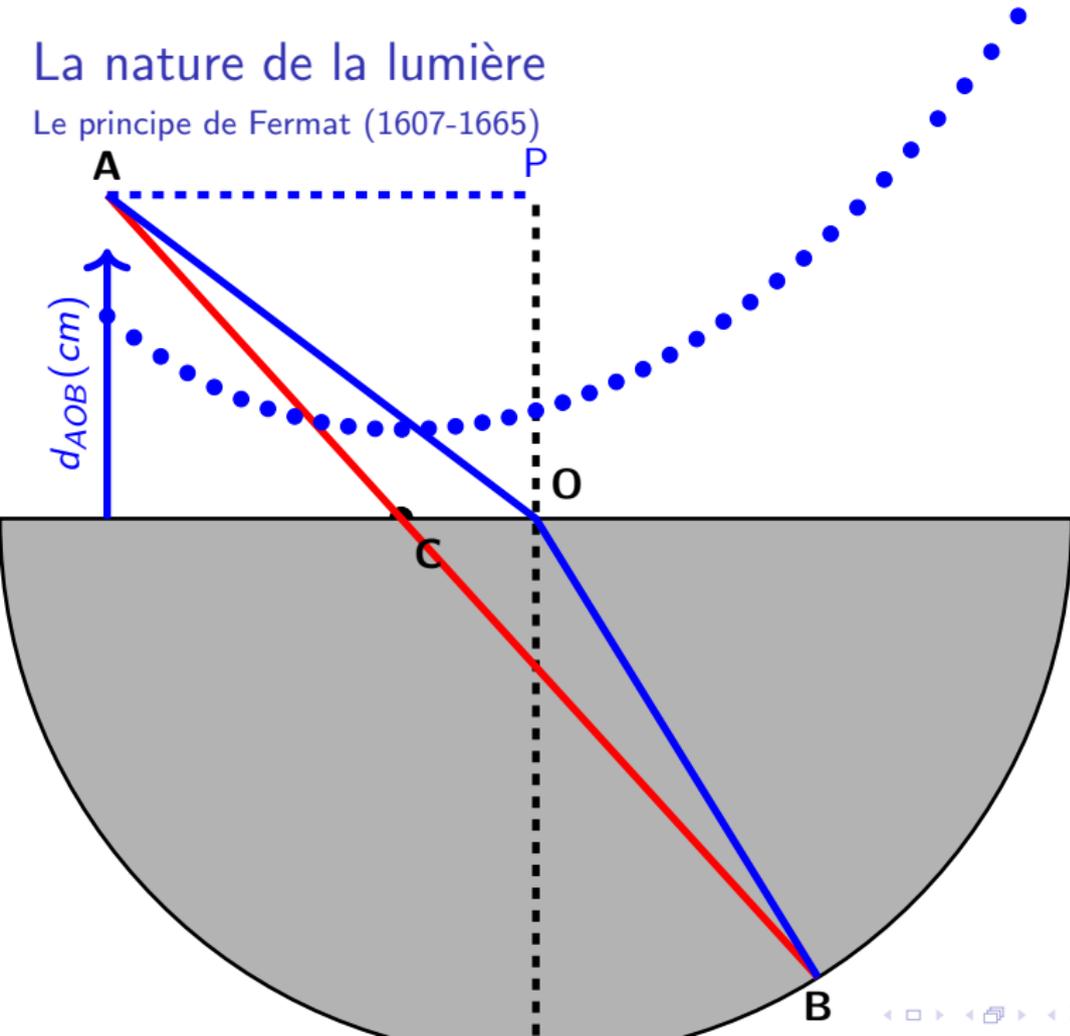
La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



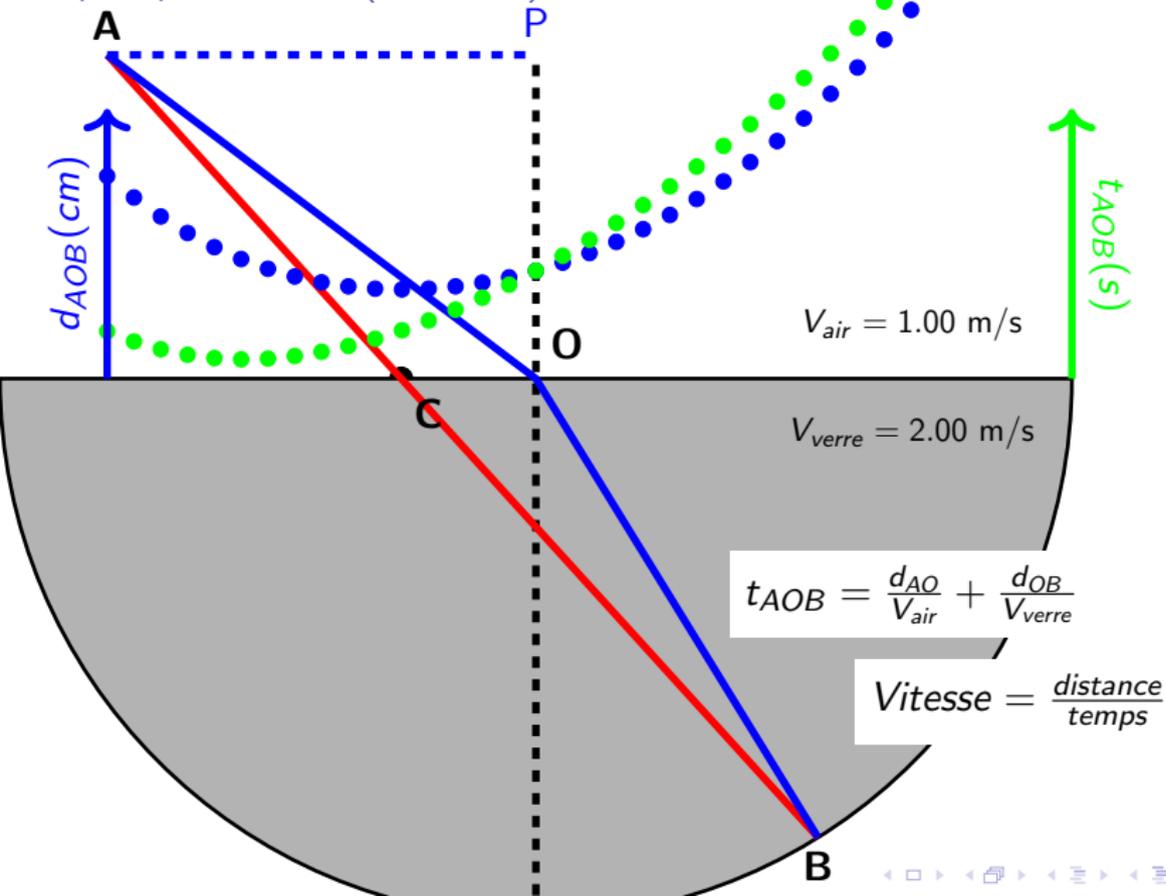
La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



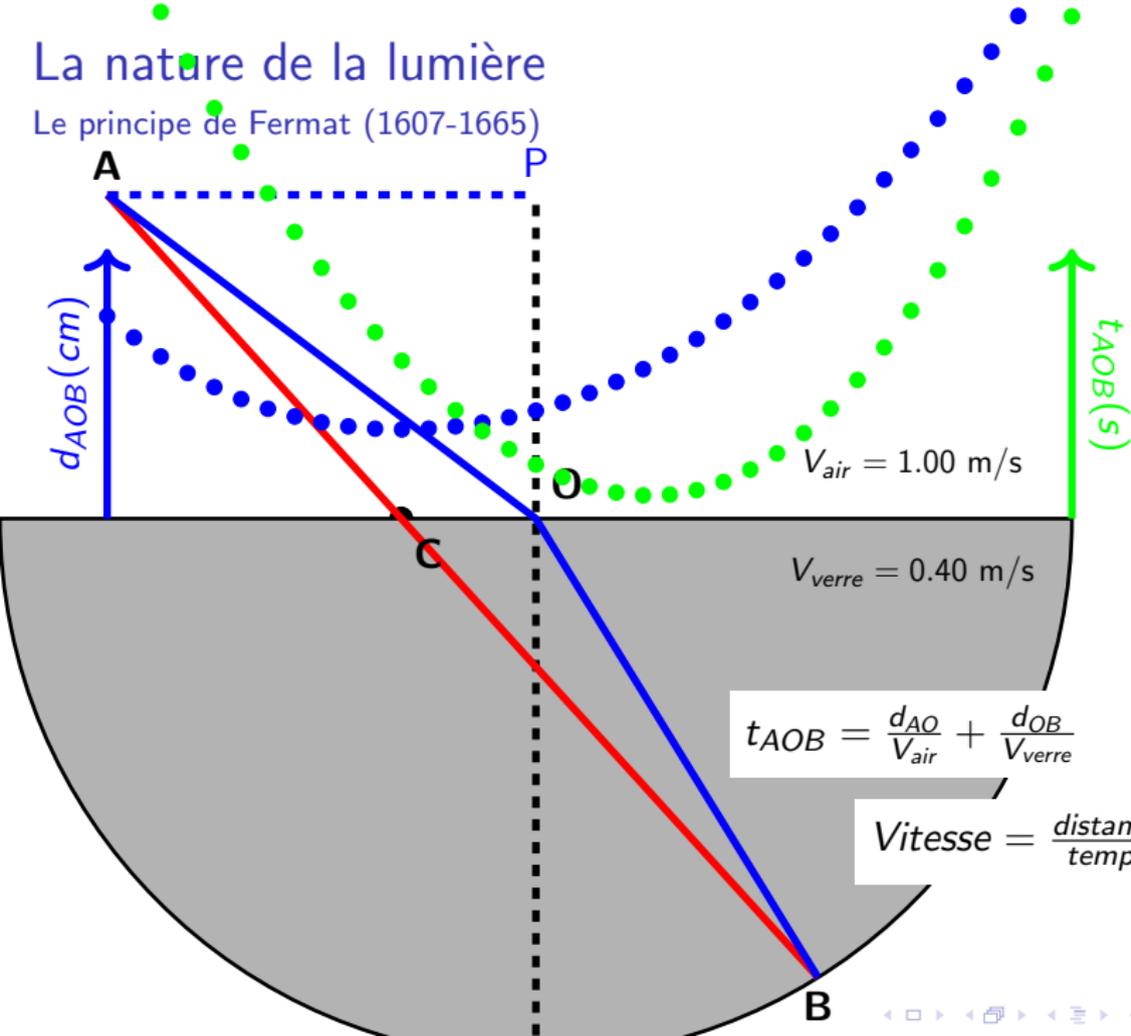
La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

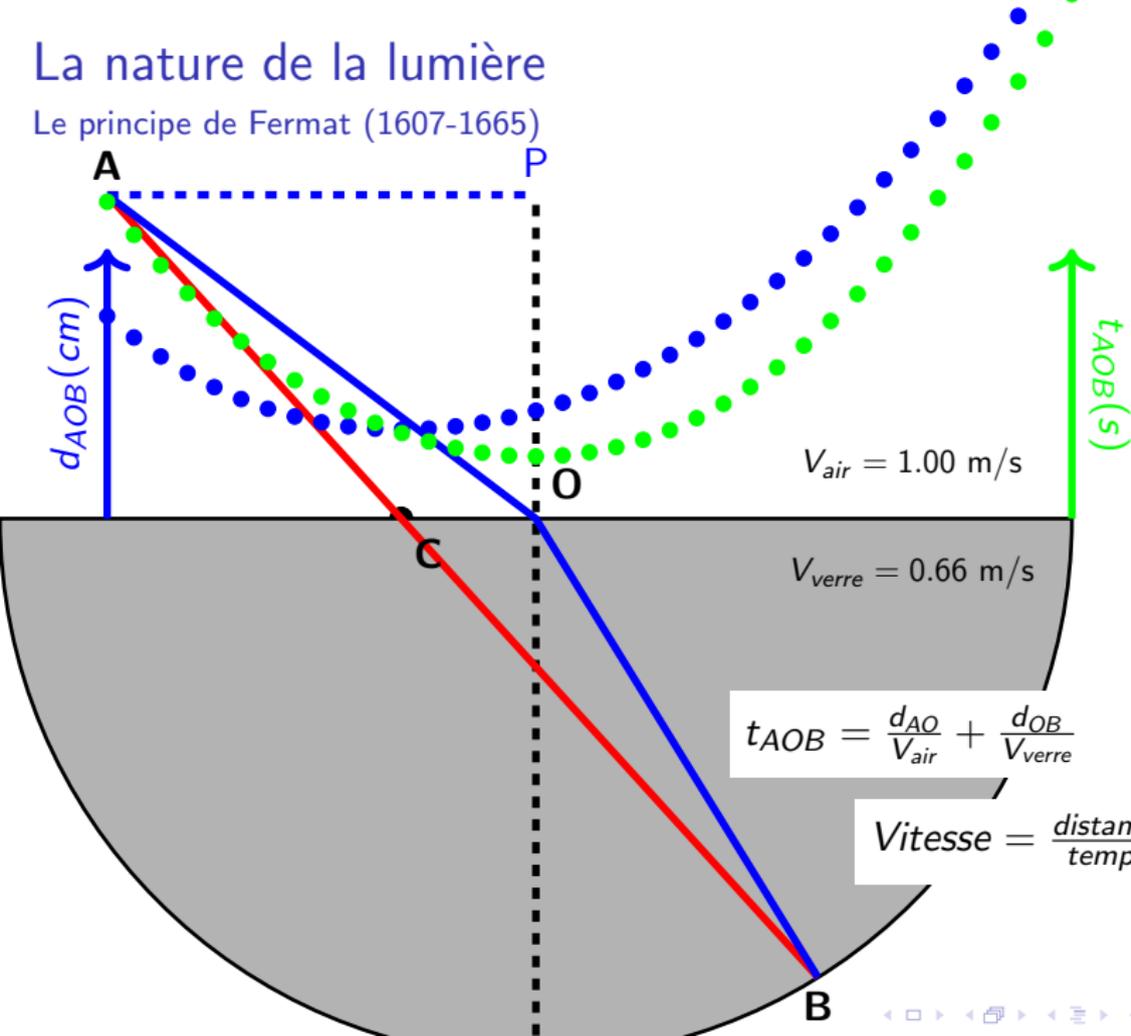


$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{\text{air}}} + \frac{d_{OB}}{V_{\text{verre}}}$$

$$\text{Vitesse} = \frac{\text{distance}}{\text{temps}}$$

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$$V_{air} = 1.00 \text{ m/s}$$

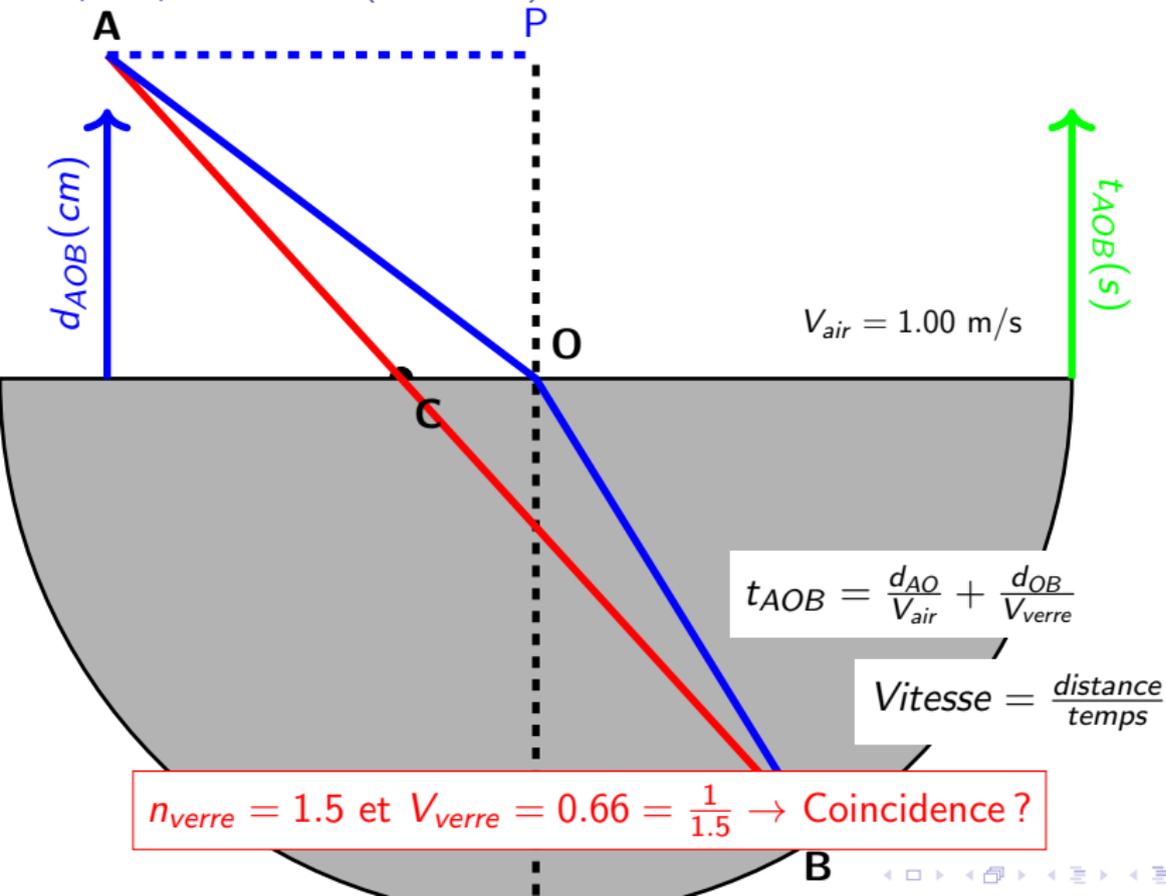
$$V_{verre} = 0.66 \text{ m/s}$$

$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

$$\text{Vitesse} = \frac{\text{distance}}{\text{temps}}$$

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



La Lumière selon Rascar Capac

Conclusions

- ▶ L'indice de réfraction dépend ...
 - ▶ ... de la densité des matériaux en présence (air, eau, verre, ...)
 - ▶ ... de la température (et de la pression)
 - ▶ ... des couleurs : le rouge est moins réfracté que le bleu
- ▶ Alhazen, Descartes, Newton → La théorie mécaniste de la lumière
 - ▶ Problème de la vitesse
- ▶ Le principe de Fermat → démonstration théorique de la relation de Snell-Descartes
- ▶ La semaine prochaine
 - ▶ encore un peu de Fermat
 - ▶ une autre théorie ...

Lumière

Référence

- ▶ R. Rashed, " Le *Discours de la lumière* d'Ibn al-Haytham (Alhazen) : Traduction française critique", Revue d'histoire des sciences et de leurs applications **21**, n° 3, 1968, p. 197-223.
- ▶ "Illiade", Homère, Trad. Victor Bérard, Folio, 1988.
- ▶ "Les origines de la physique moderne", I. Bernard Cohen, Ed. Seuil, 1993.
- ▶ "Histoire générale des Sciences", René Taton, Eds. Quadrige, 1994.
- ▶ "Histoire de la Philosophie", Emile Bréhier, Eds. Quadrige, 1994.
- ▶ "La lumière", Émile Biémont, collection Que sais-je, 1996.
- ▶ "Optique géométrique", Tamer Becherrawy, De Boeck Université, 2006.
- ▶ "Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences", Thomas Bourgeois et Dominique Lecourt, Presses Universitaires de France, 2006.
- ▶ "La vue et la lumière", Michel Blay, Revue d'Histoire des Sciences **60**, 119 (2007).
- ▶ "Histoire de la Physique", Jean Perdijon, Dunod, 2008.
- ▶ "Optique : Une approche expérimentale et pratique", Sylvain Houard, Eds. De Boeck, 2011.
- ▶ "A history of optics", Olivier Darrigol, Oxford University Press, 2012.
- ▶ "Initiation à la Philosophie", Roger Caratini, Archipoche Eds, 2012.
- ▶ "Le double chemin de la lumière", Bernard Maitte, La Recherche N° 493, Novembre 2014.
- ▶ "Une histoire de la lumière", Bernard Maitte, Eds. Seuil, 2015.
- ▶ "Brève histoire des théories de la lumière", Michel Blay, Union Rationaliste **196**, 7 (2015).
- ▶ "Les plus grandes dates de la Science", Jean C. Baudet, La Boîte à Pandore Eds, 2016.
- ▶ "Optics", Eugene Hecht, Eds. Pearson, 2017.
- ▶ "Lumière et luminescence", Bernard Valeur, Eds. Belin, 2017.