

La Lumière, épisode IV : *Ombre & Lumière*

Ombre & Lumière

Résumé des épisodes précédents

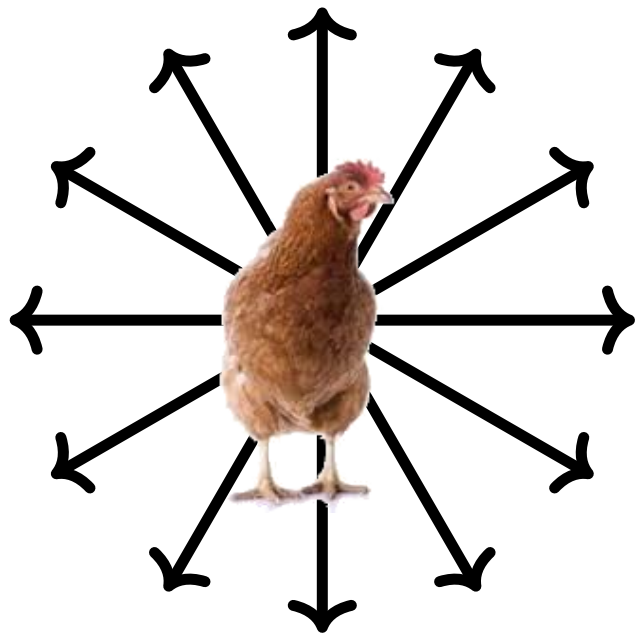
- -400 000 ans : Maîtrise du feu ; la vision



Ombre & Lumière

Résumé des épisodes précédents

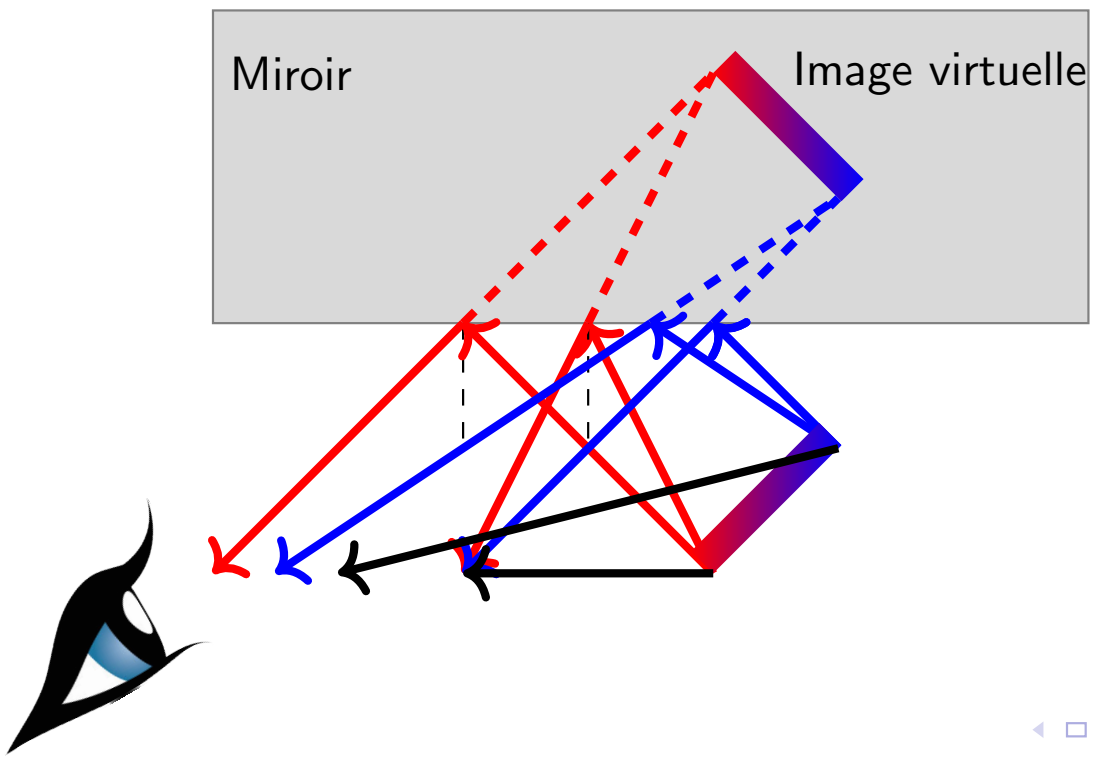
- -400 000 ans : Maîtrise du feu ; la vision
- III^{e} avant notre ère : Euclide et le concept de *rayon visuel*

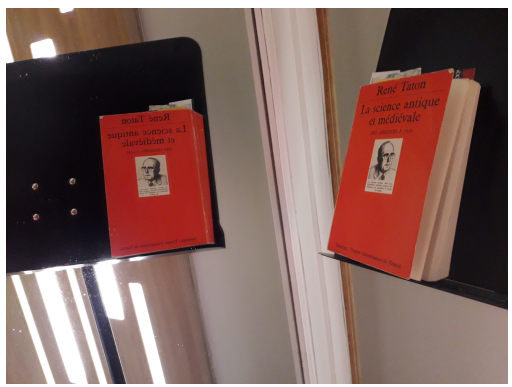


Ombre & Lumière

Résumé des épisodes précédents

- -400 000 ans : Maîtrise du feu ; la vision
- III^{e} avant notre ère : Euclide et le concept de *rayon visuel*
- I^{e} de notre ère : Ptolémée et le concept d'*image virtuelle*

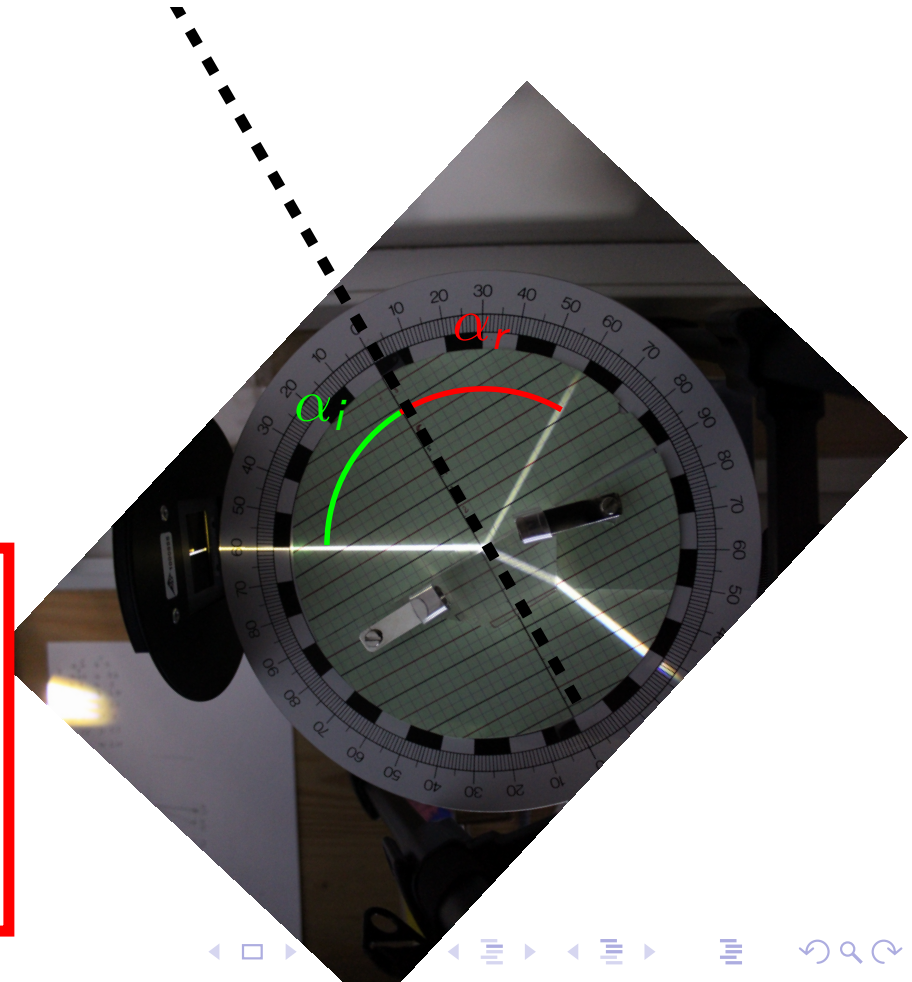




Ombre & Lumière

Résumé des épisodes précédents

- -400 000 ans : Maîtrise du feu ; la vision
- 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*



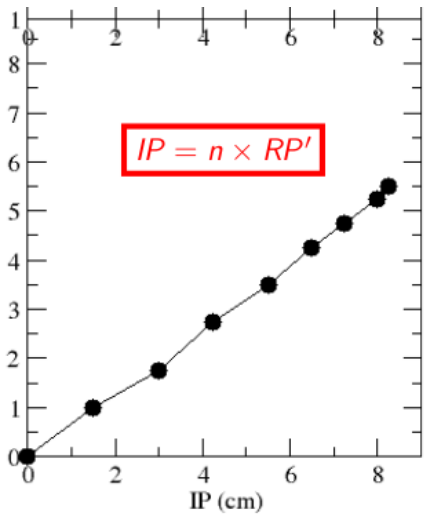
Lois de la réflexion

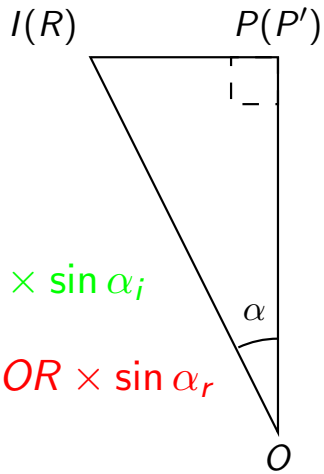
- le rayon réfléchi est contenu dans le plan d'incidence,
- l'angle de réflexion α_r est égale à l'angle d'incidence α_i.

Ombre & Lumière

Résumé des épisodes précédents

- -400 000 ans : Maîtrise du feu ; la vision
- 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*

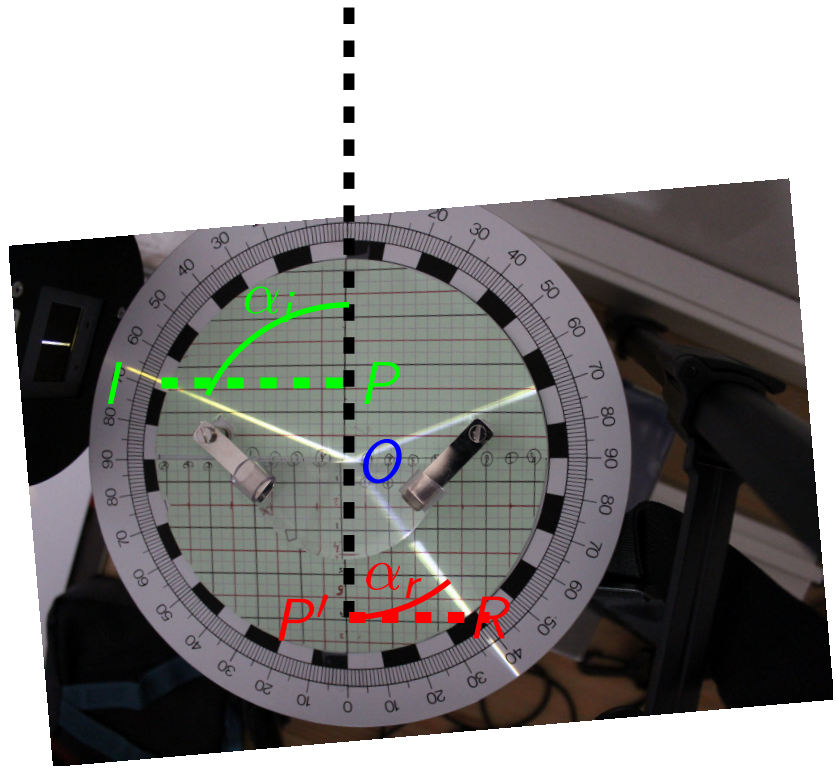




$IP = OI \times \sin \alpha_i$

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

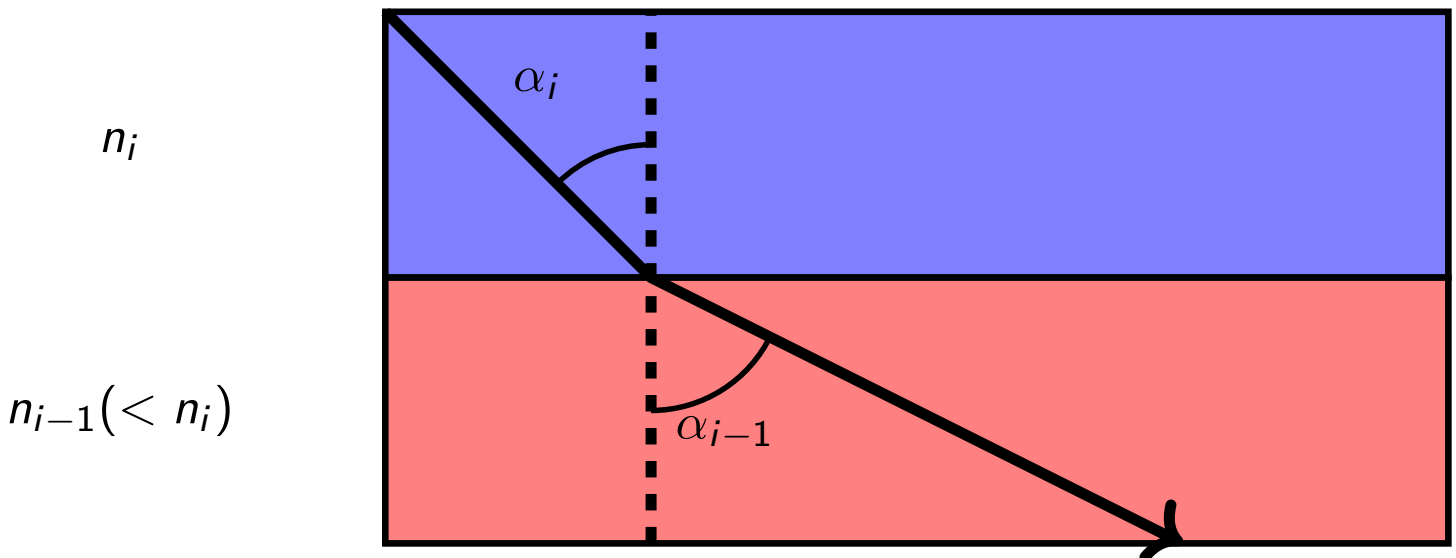
$$n_i \sin \alpha_i = n_r \sin \alpha_r$$



Ombre & Lumière

Résumé des épisodes précédents

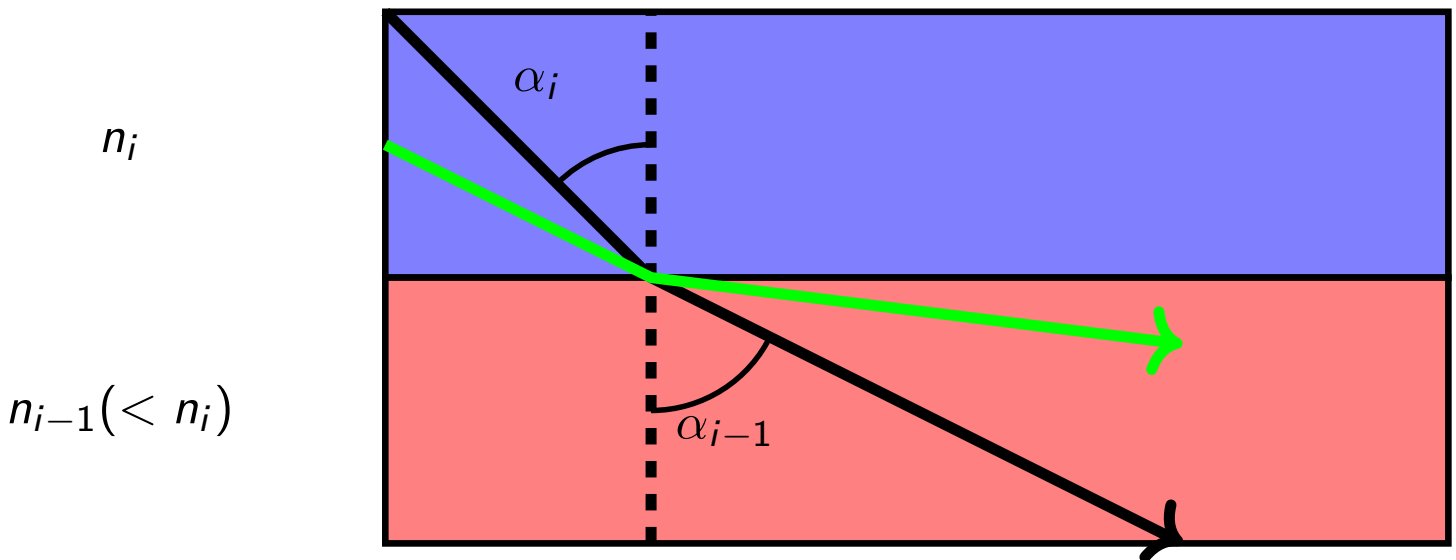
- XVII^{e} de notre ère : *La réflexion totale*



Ombre & Lumière

Résumé des épisodes précédents

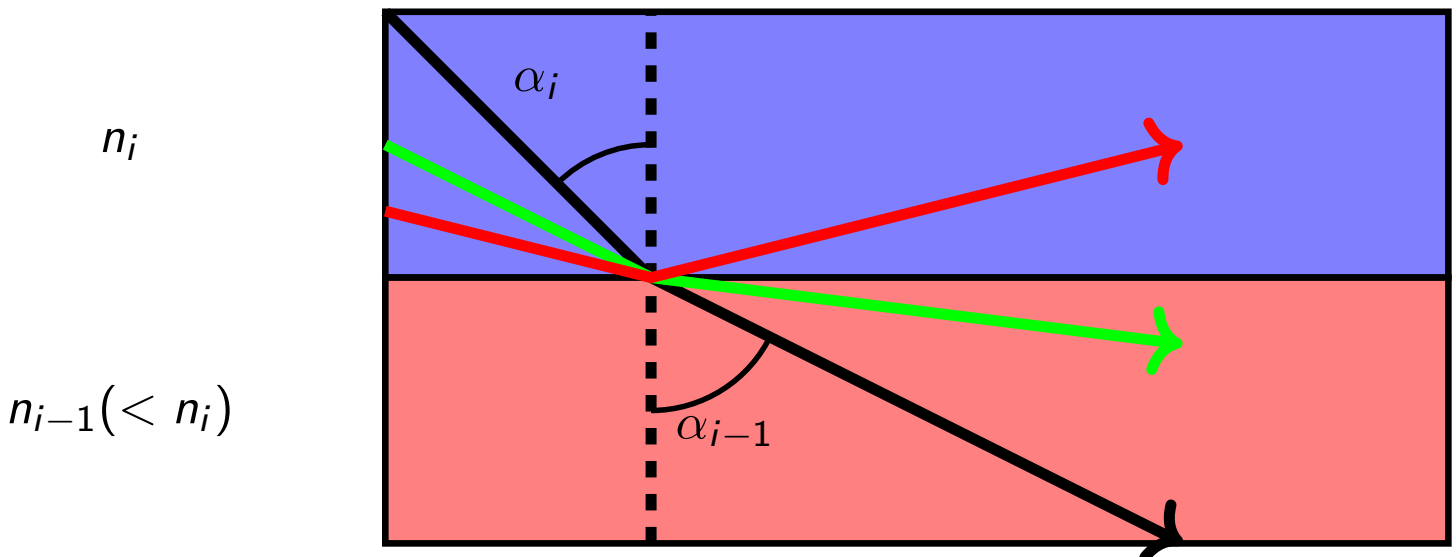
- XVII^{e} de notre ère : *La réflexion totale*



Ombre & Lumière

Résumé des épisodes précédents

- XVII^{e} de notre ère : *La réflexion totale*



Ombre & Lumière

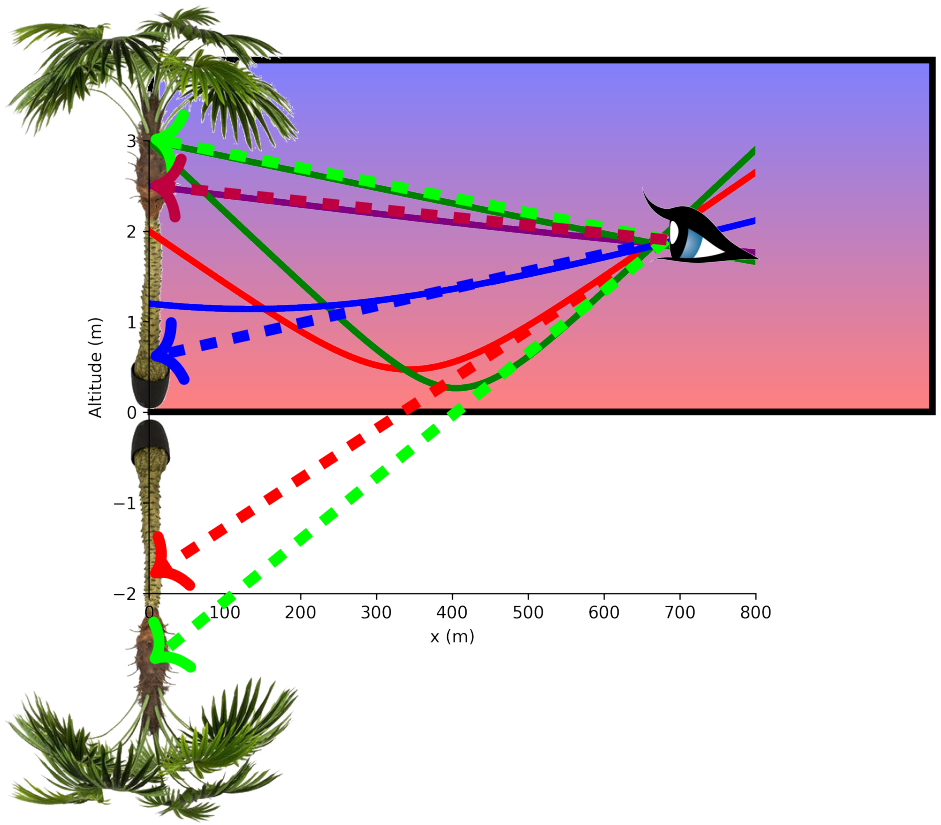
Résumé des épisodes précédents

- XVII^{e} de notre ère : *La réflexion totale*
- XVII^{e} de notre ère : la notion d'*indice de réfraction*, n
  - dépend de la densité des matériaux

Ombre & Lumière

Résumé des épisodes précédents

- XVII^e de notre ère : *La réflexion totale*
- XVII^e de notre ère : la notion d'*indice de réfraction, n*
  - dépend de la densité des matériaux
  - de la température pour les gaz $\rightarrow$ les mirages sur les parkings lorsqu'il fait chaud !

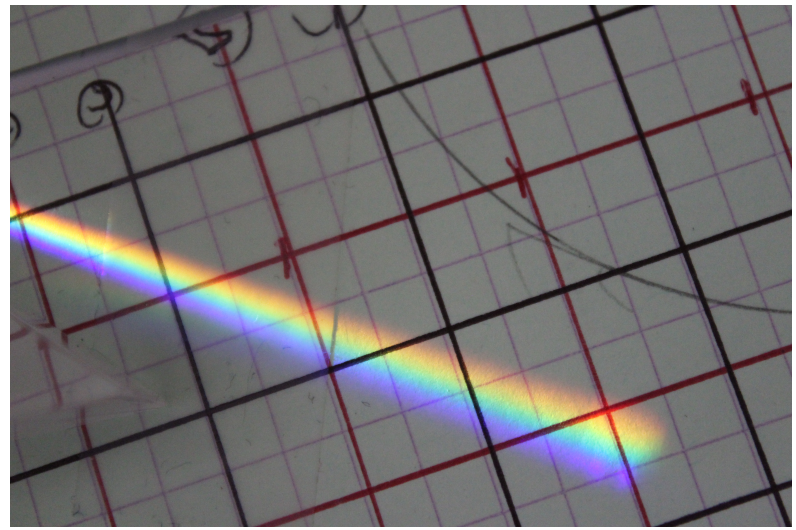




Ombre & Lumière

Résumé des épisodes précédents

- XVII^{e} de notre ère : *La réflexion totale*
- XVII^{e} de notre ère : la notion d'*indice de réfraction, n*
  - dépend de la densité des matériaux
  - de la température pour les gaz $\rightarrow$ les mirages sur les parkings lorsqu'il fait chaud !
  - de la "couleur" de la lumière ; notion de *Dispersion* de la lumière : le "rouge" est moins réfracté que le "bleu"



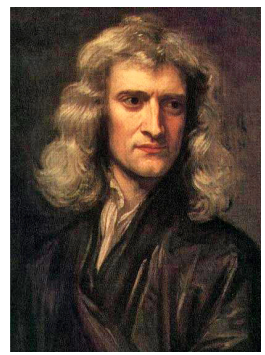
Ombre & Lumière

Résumé des épisodes précédents

- XVII^e de notre ère : *La réflexion totale*
- XVII^e de notre ère : la notion d'*indice de réfraction, n*
  - dépend de la densité des matériaux
  - de la température pour les gaz $\rightarrow$ les mirages sur les parkings lorsqu'il fait chaud !
  - de la "couleur" de la lumière ; notion de *Dispersion* de la lumière : le "rouge" est moins réfracté que le "bleu"
- La théorie corpusculaire de la lumière (Alhazen, Descartes, Newton)
  - $\rightarrow$ le problème de la vitesse de propagation : **"[...] le mouvement de la lumière qui se fait dans l'air [...] est plus lent que celui qui se fait dans l'eau"**, Fermat, 1679







Ombre & Lumière

Au sommaire cette semaine ...

- Le Principe de Fermat : première démonstration théorique de la relation de Snell-Descartes
- Huygens, Young, ... & la théorie ondulatoire de la lumière

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

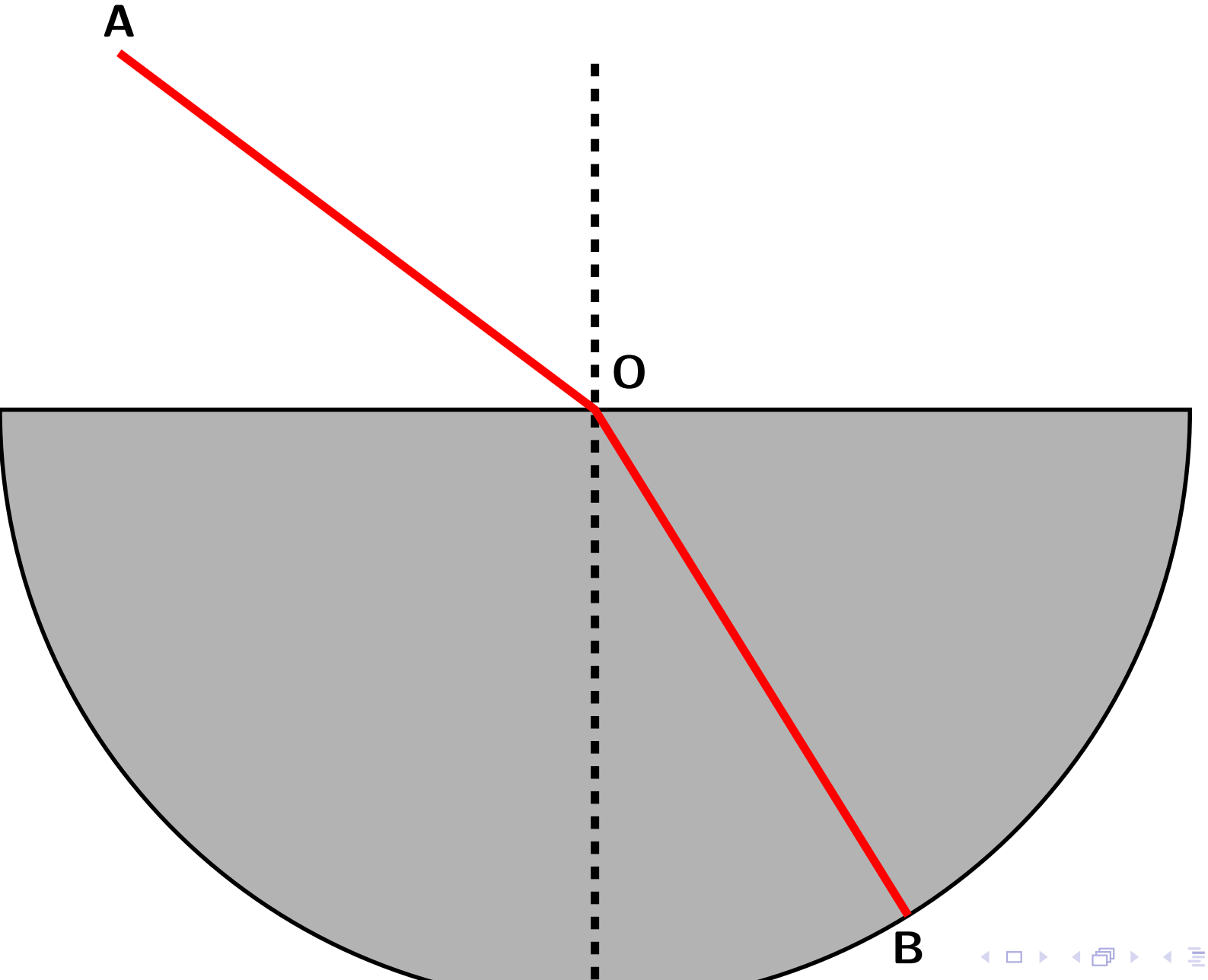


- **“La démonstration de la réfraction me semble un véritable paralogisme parce que [Descartes] suppose que le mouvement de la lumière qui se fait dans l’air et dans les corps rares est plus [...] lent que celui qui se fait dans l’eau et dans les autres corps ce qui semble choquer le sens commun”** (*Lettre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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

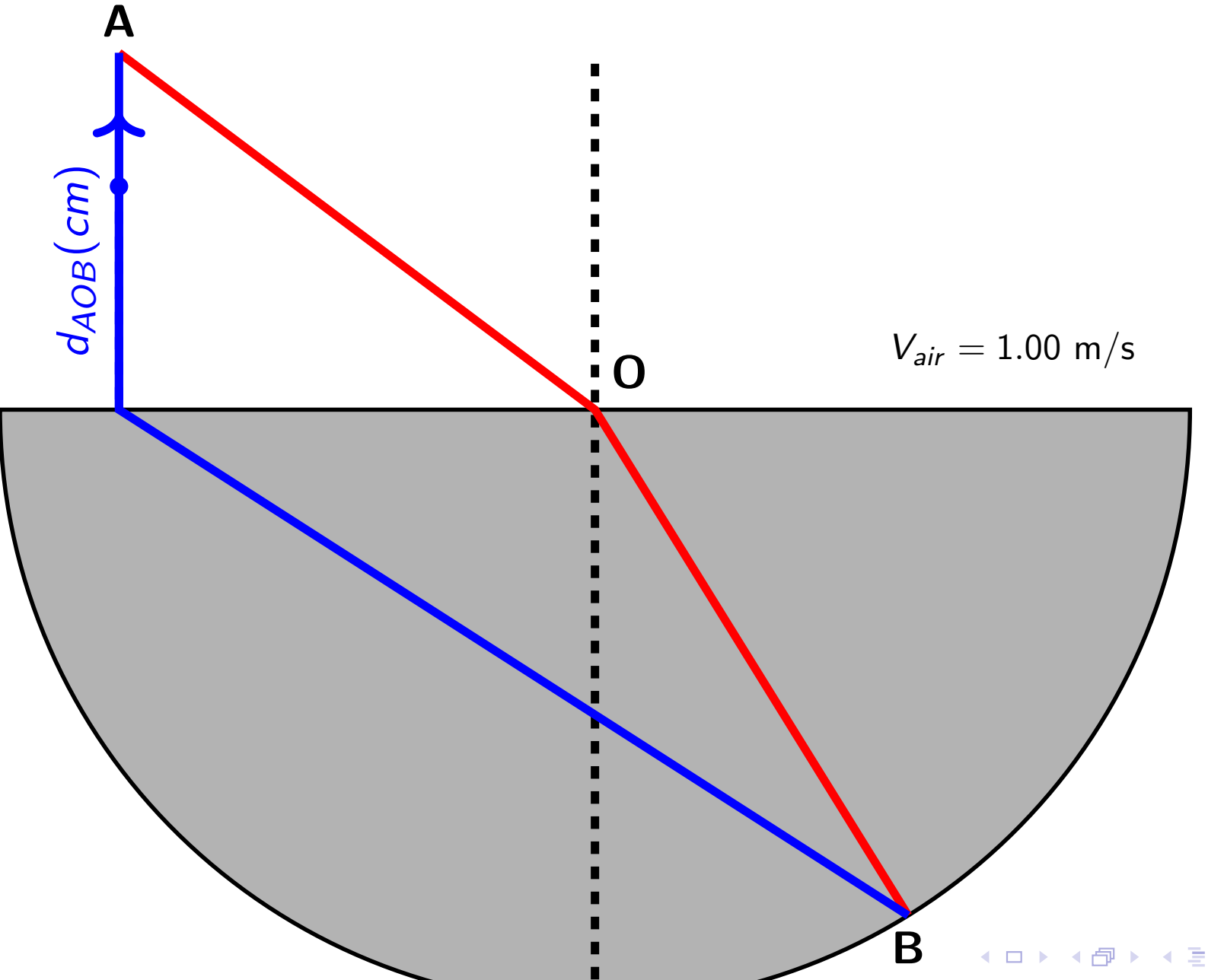




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

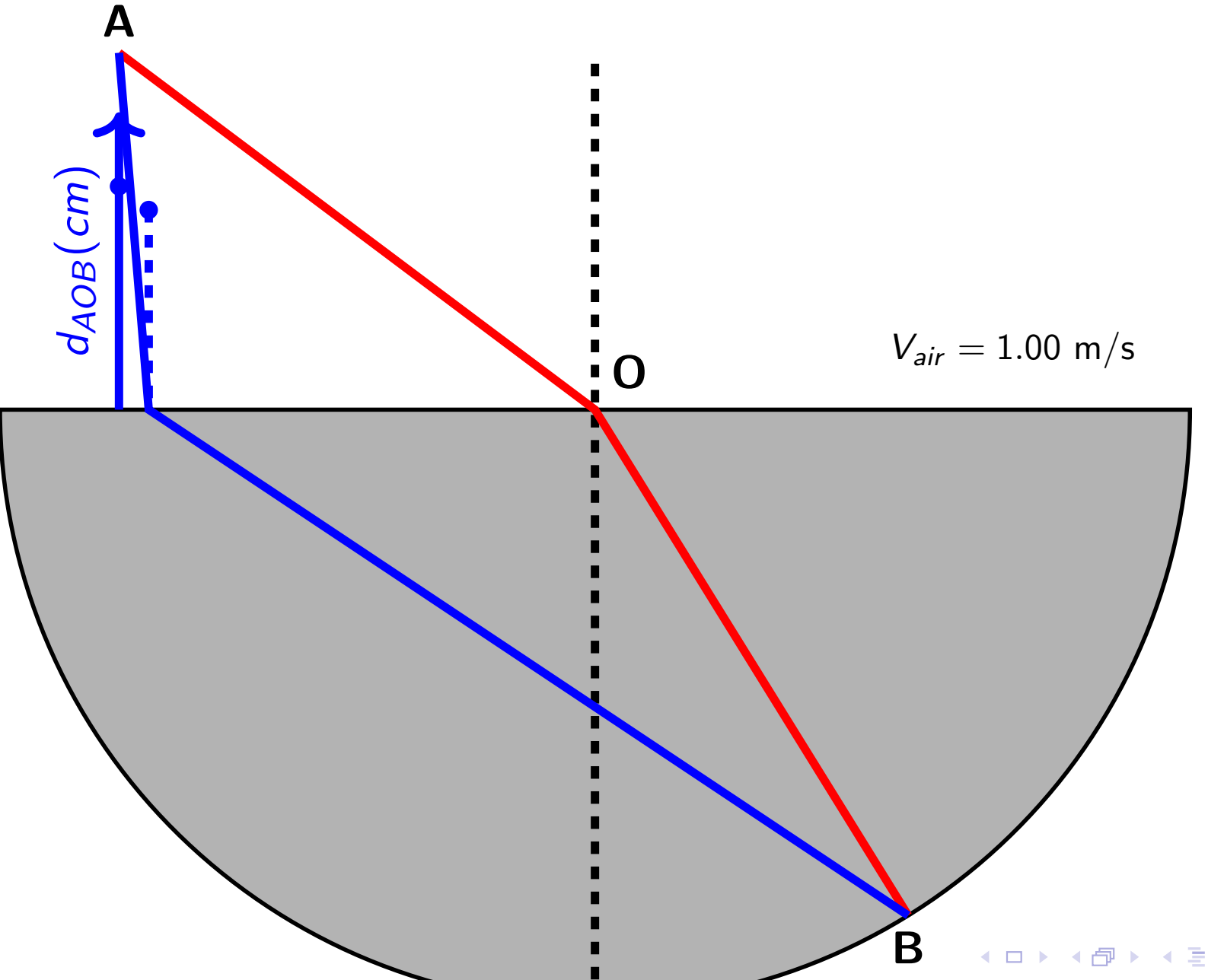




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

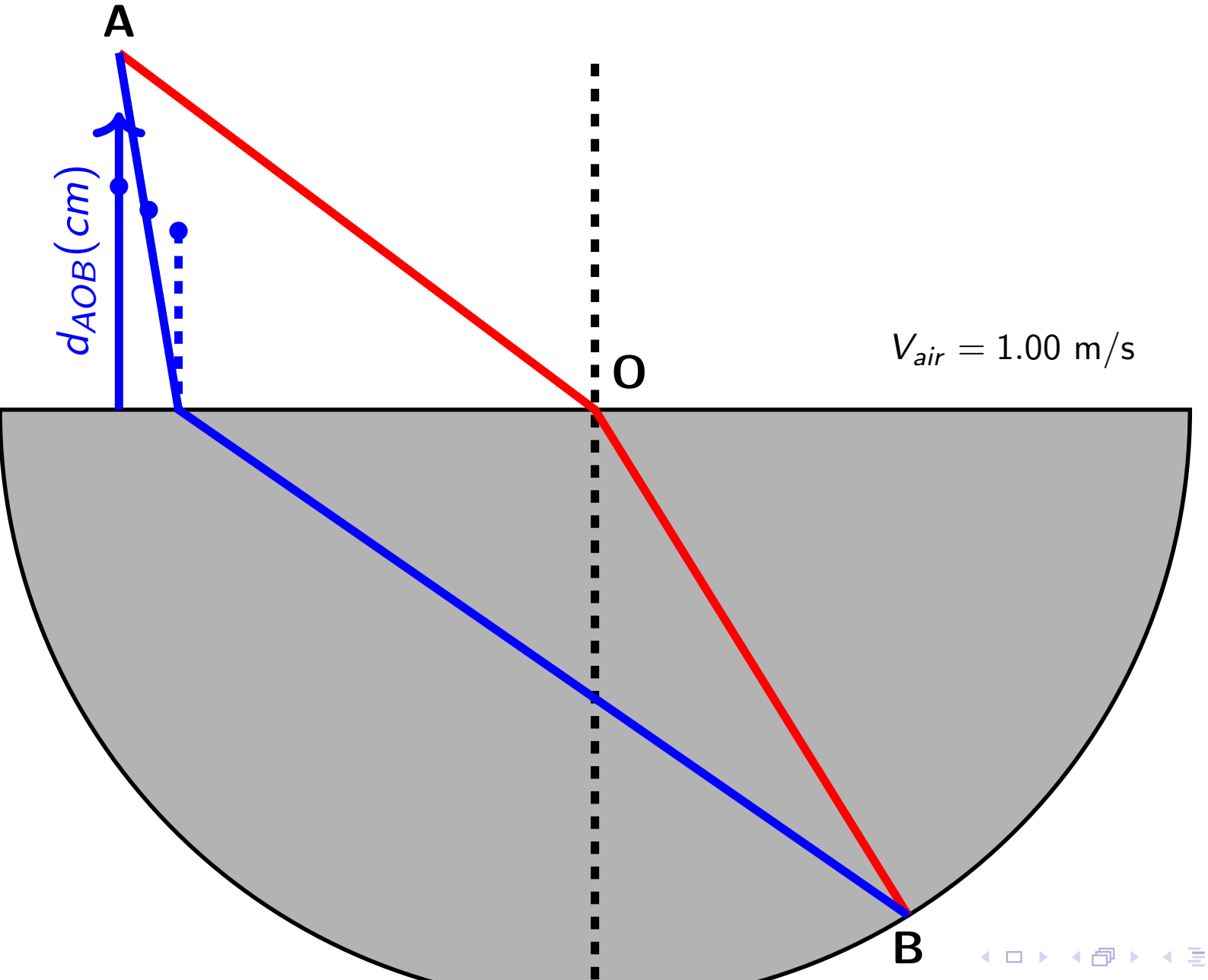




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

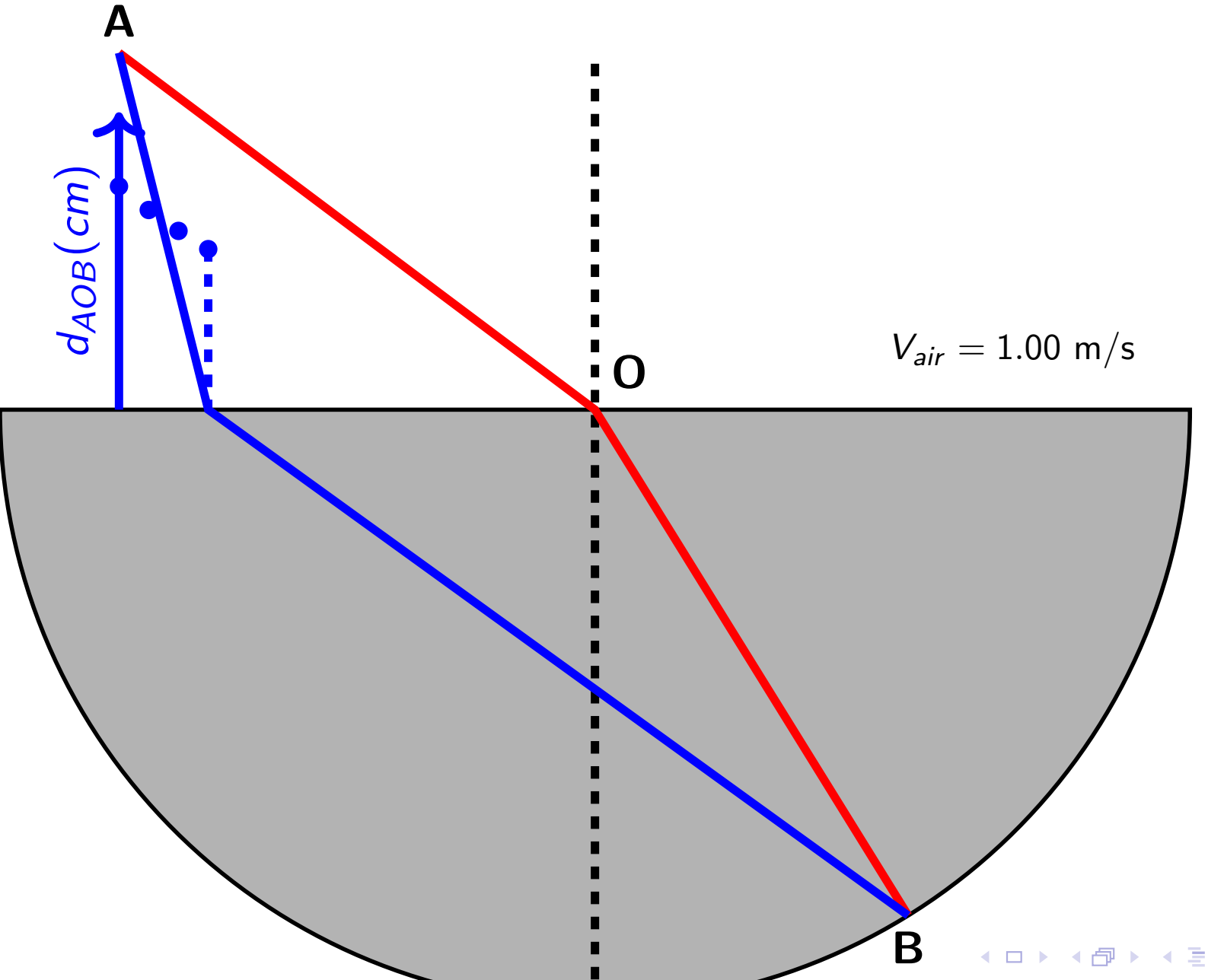




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

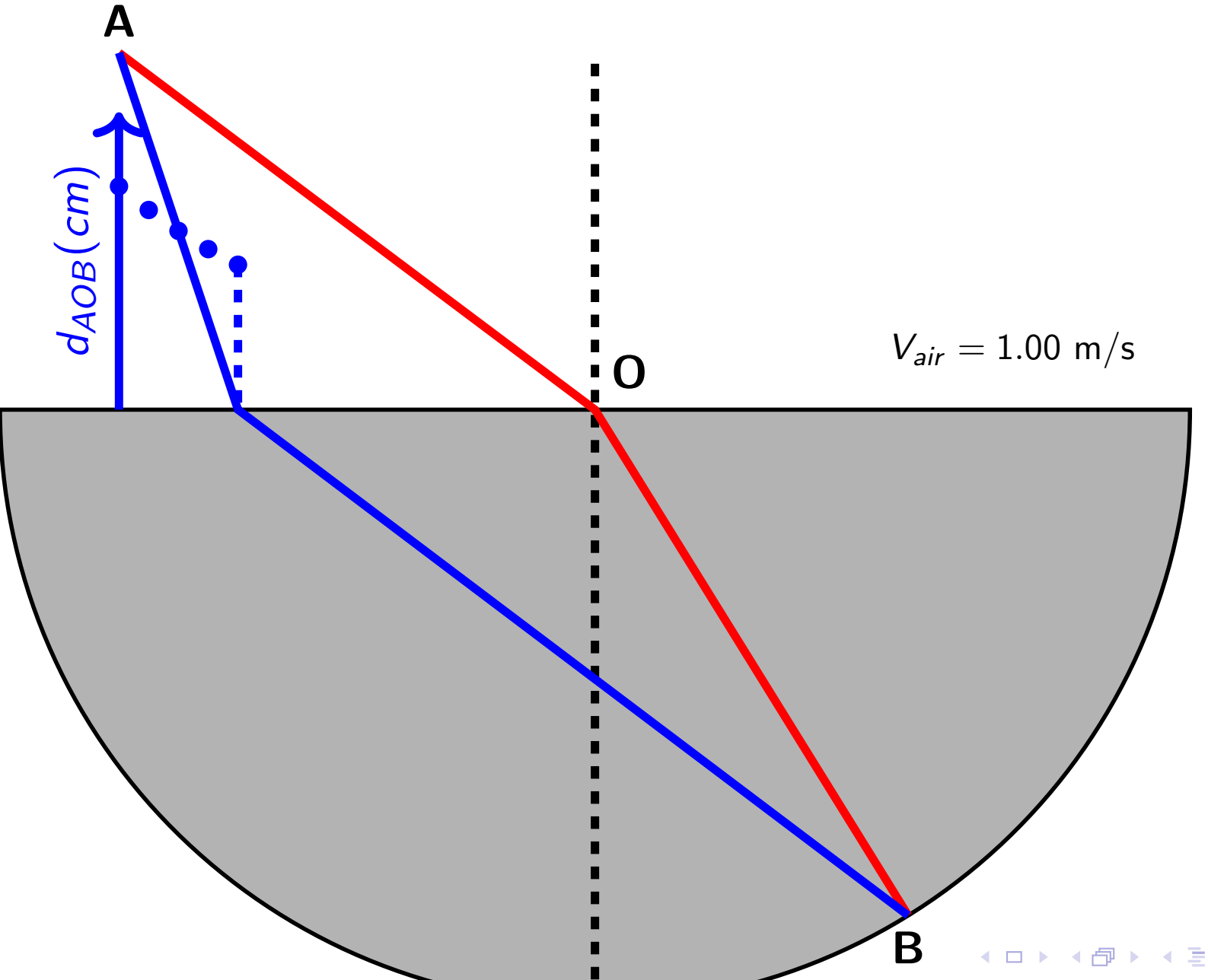




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

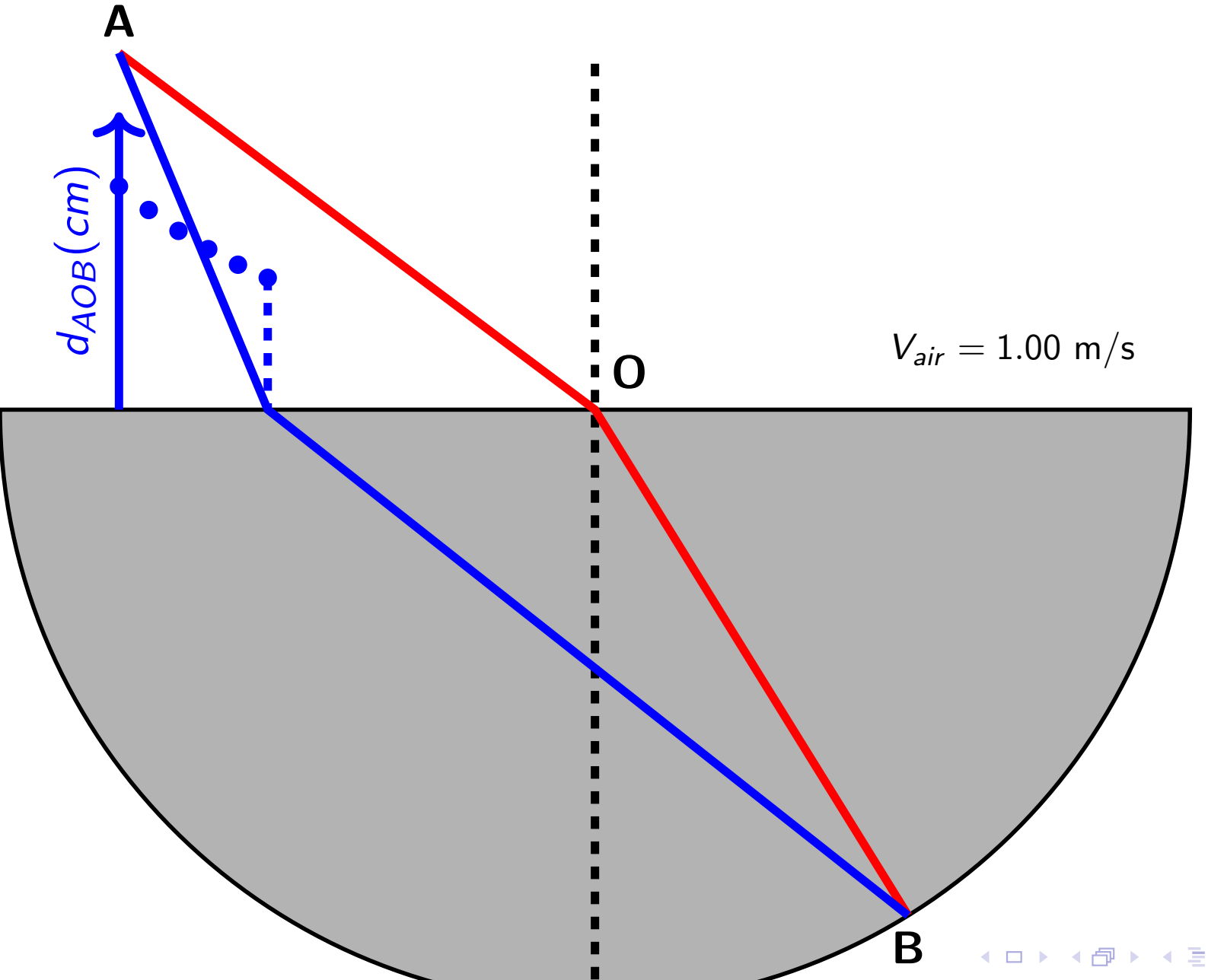




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

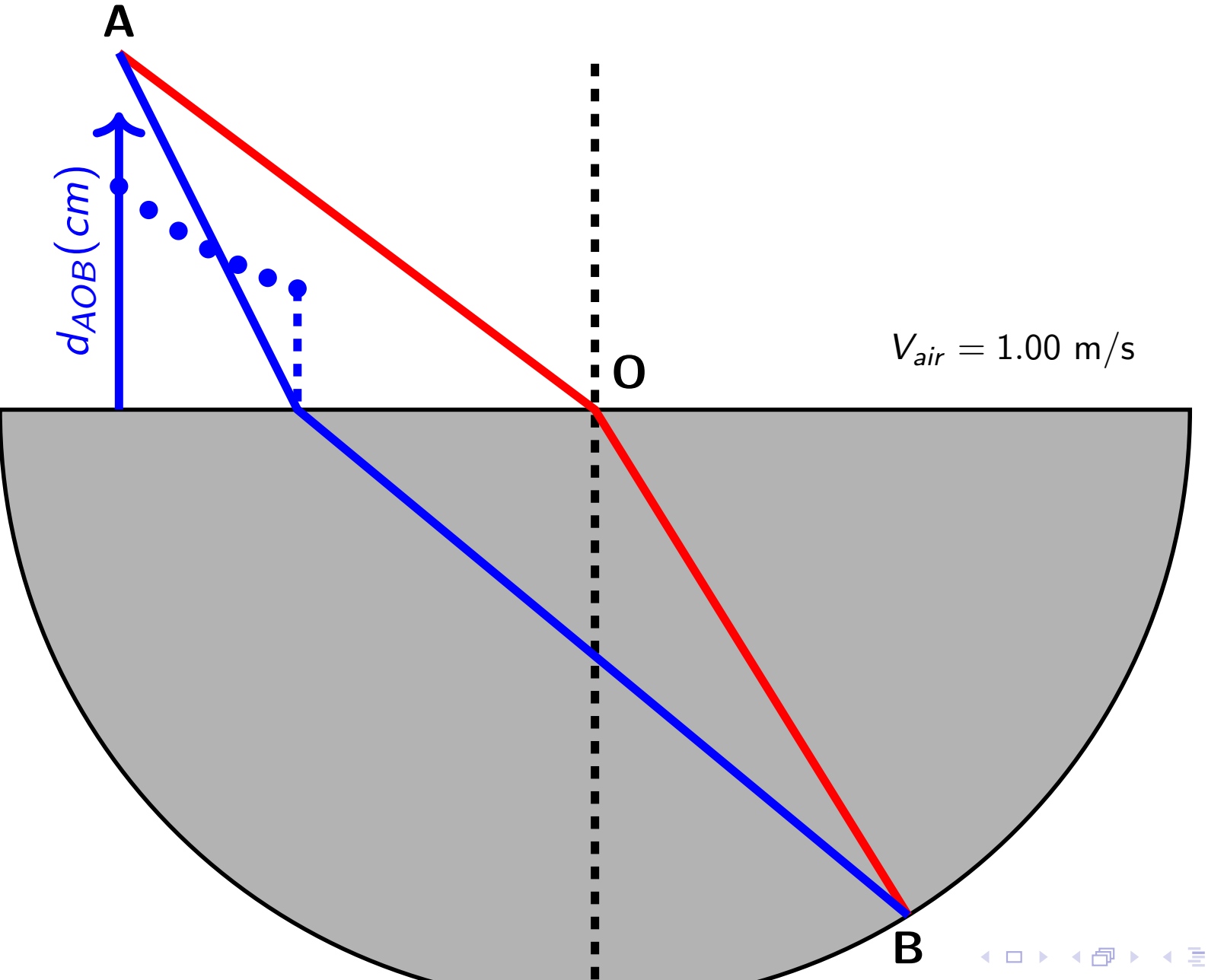




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

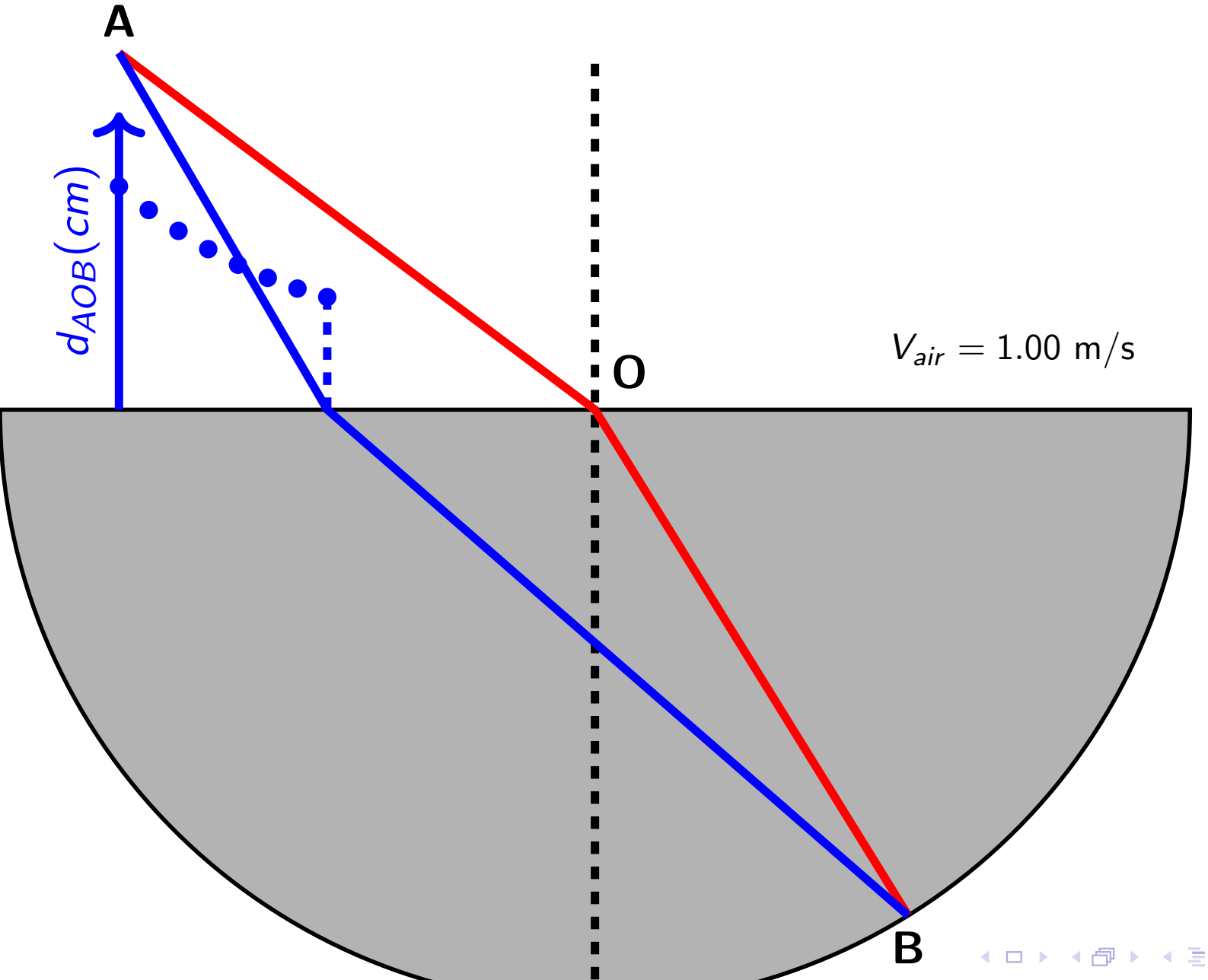




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

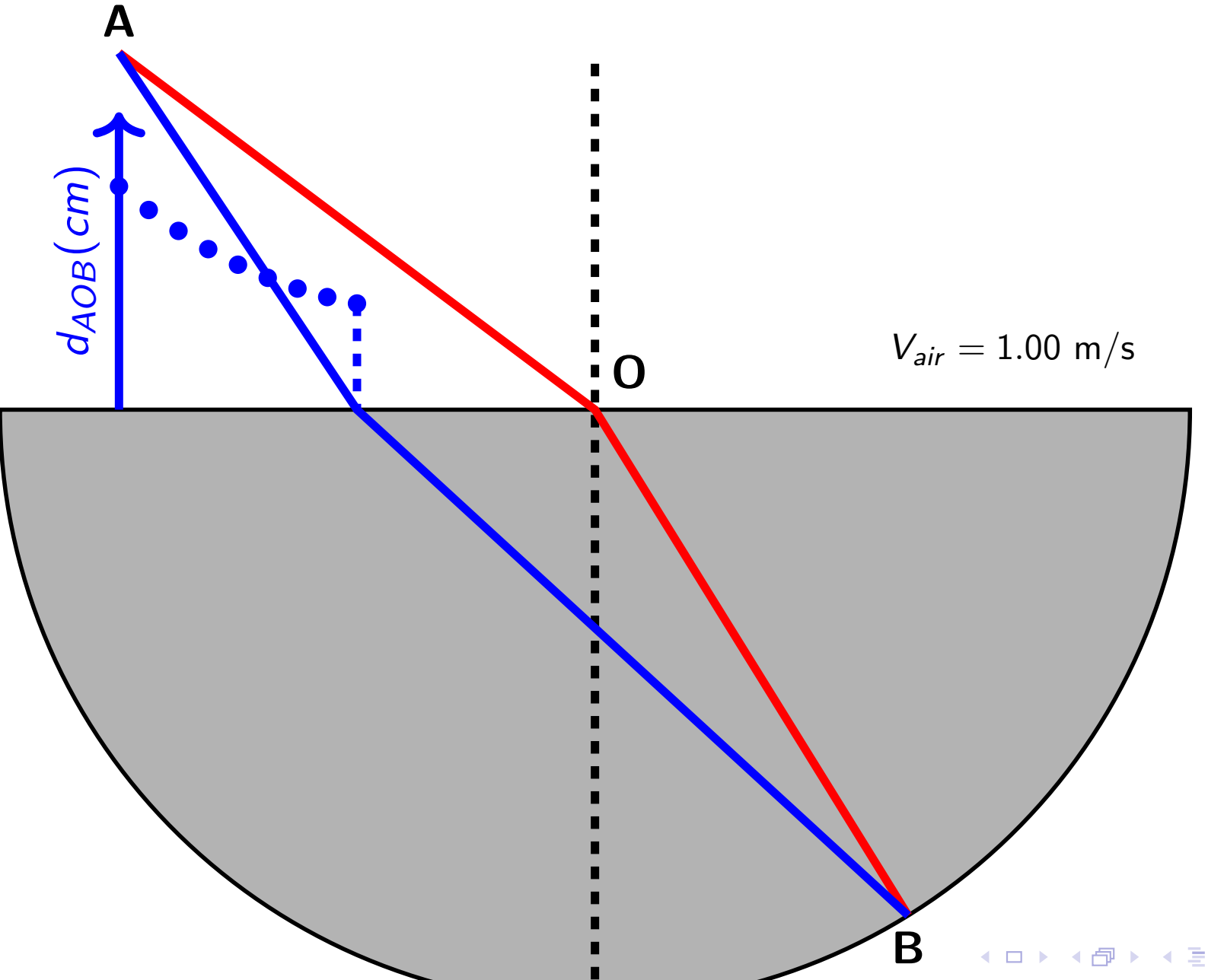




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

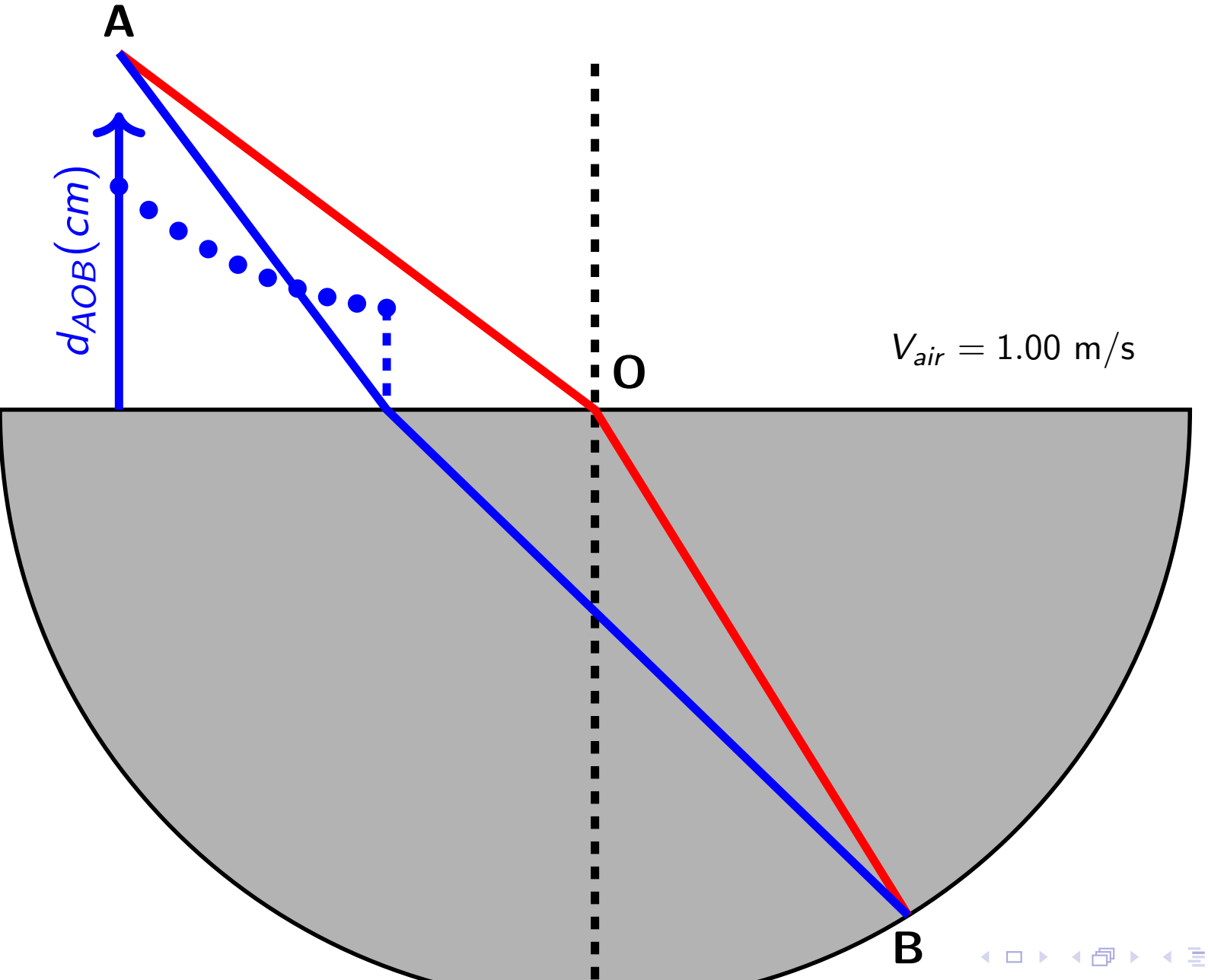




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

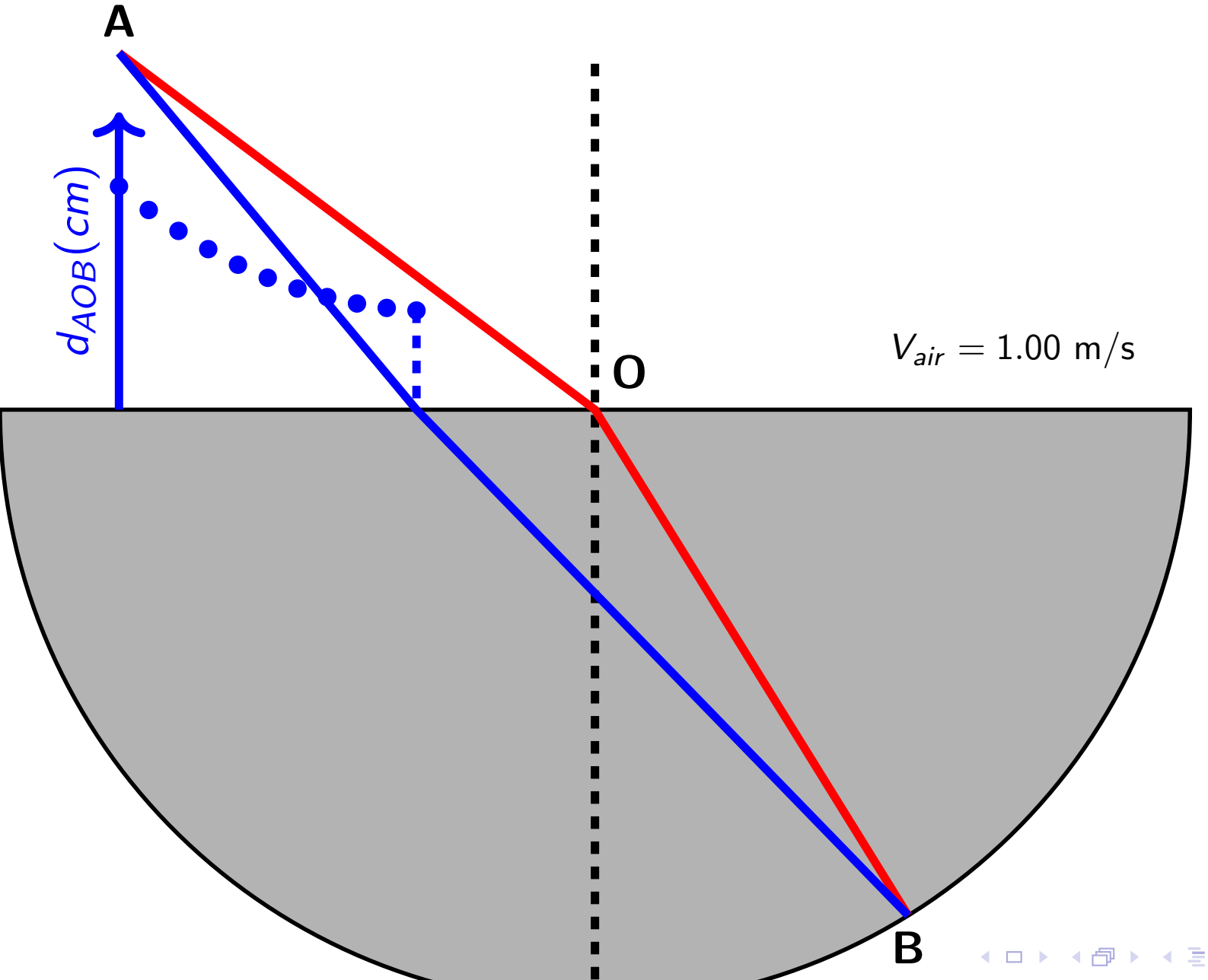




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

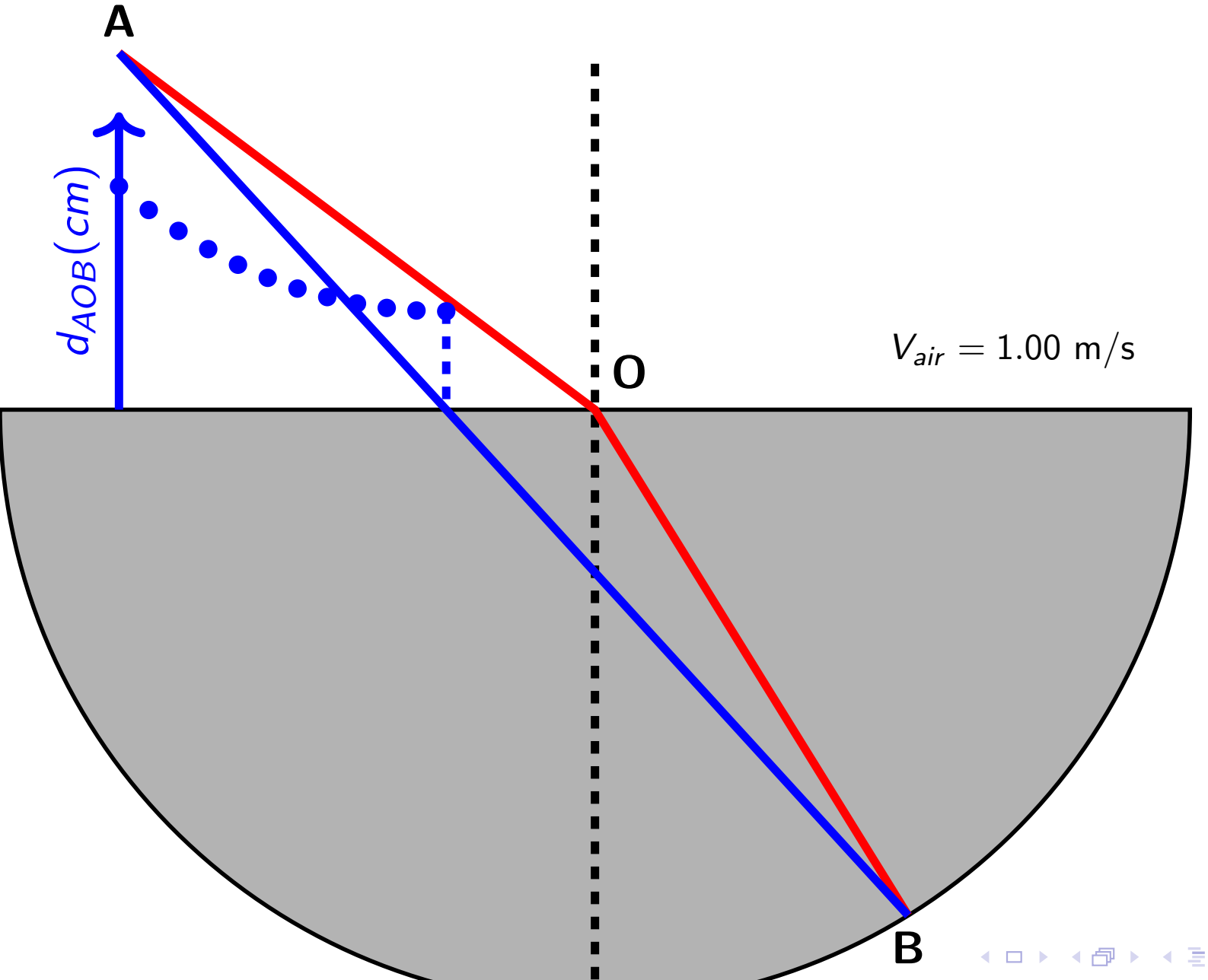




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

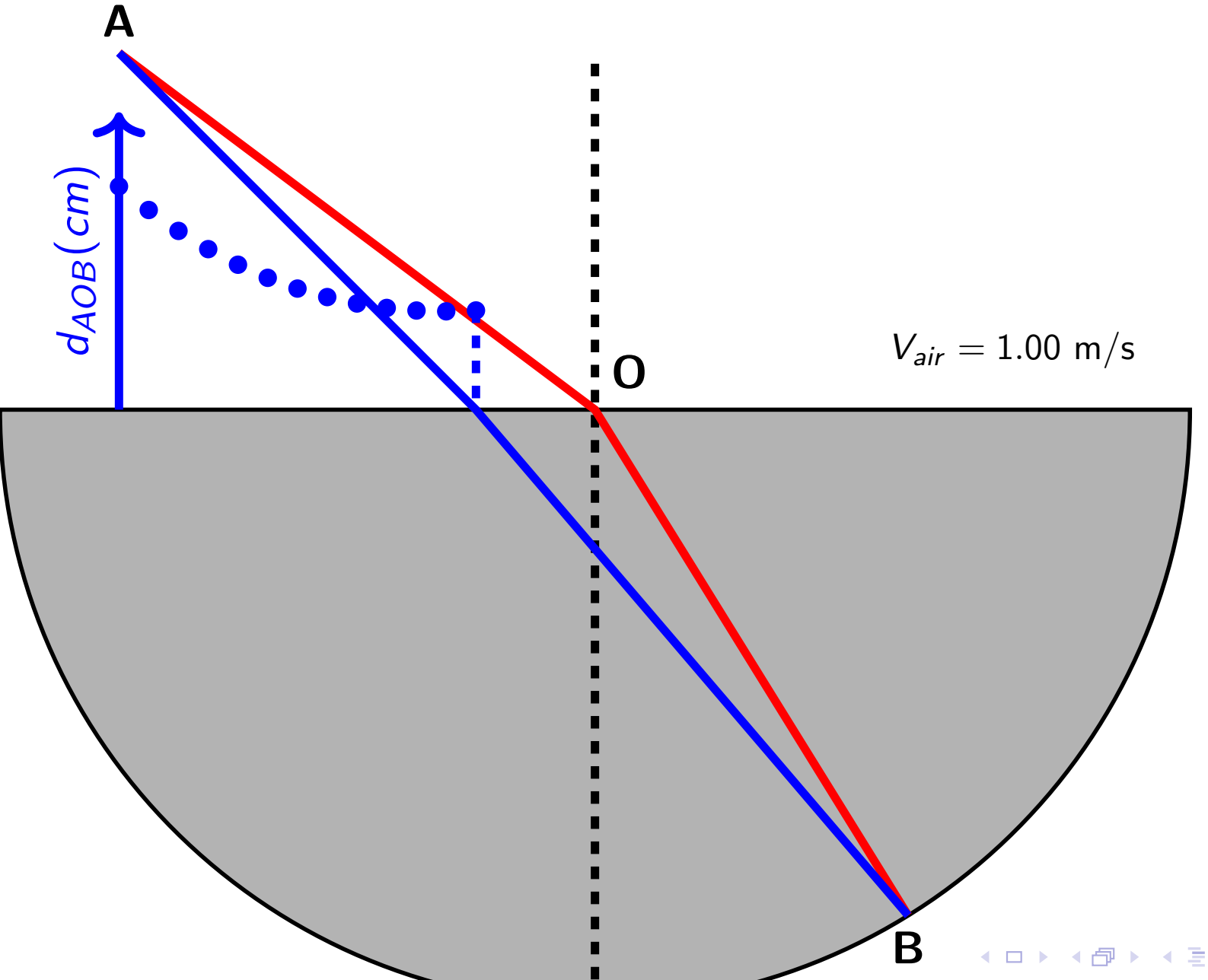




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

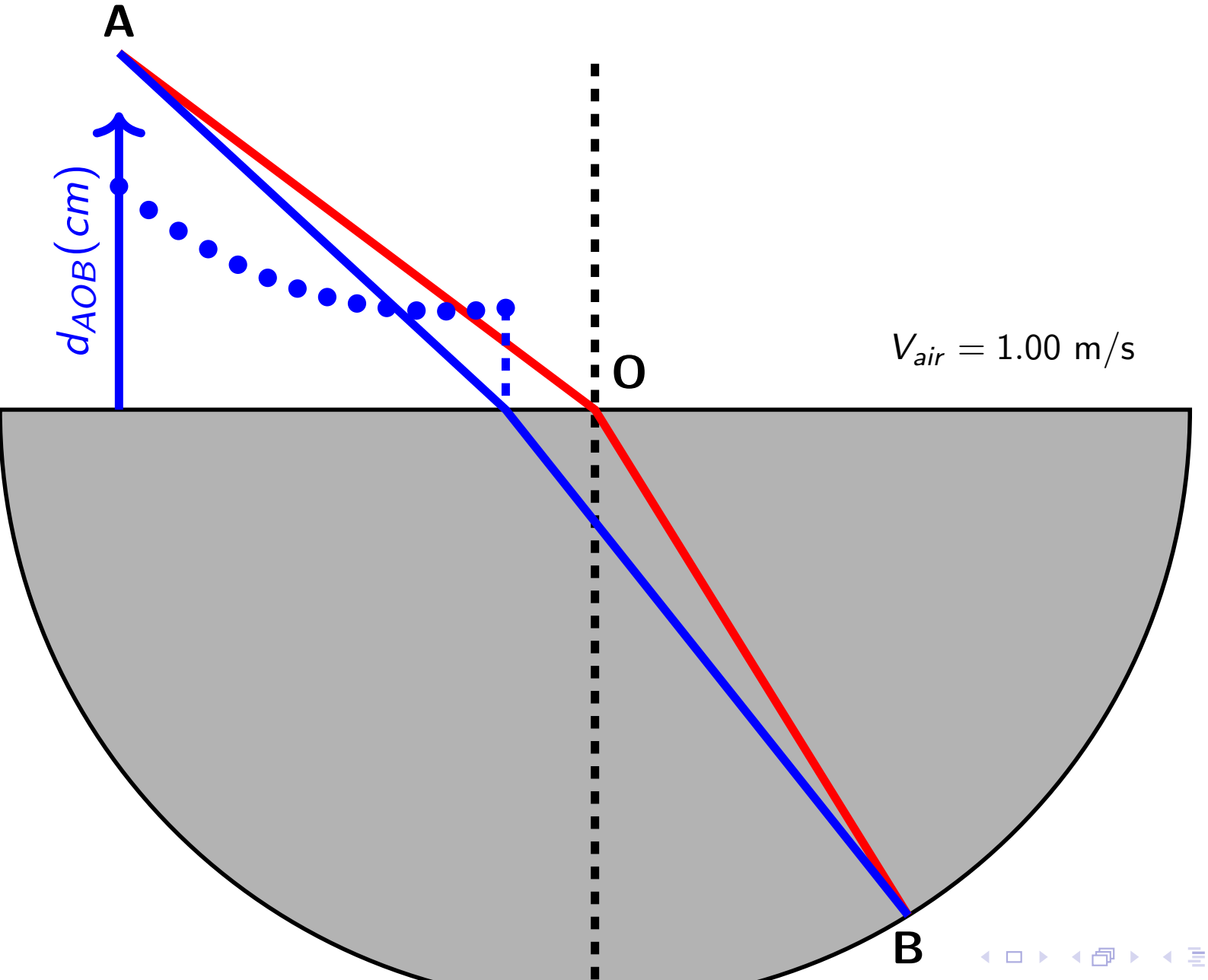




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

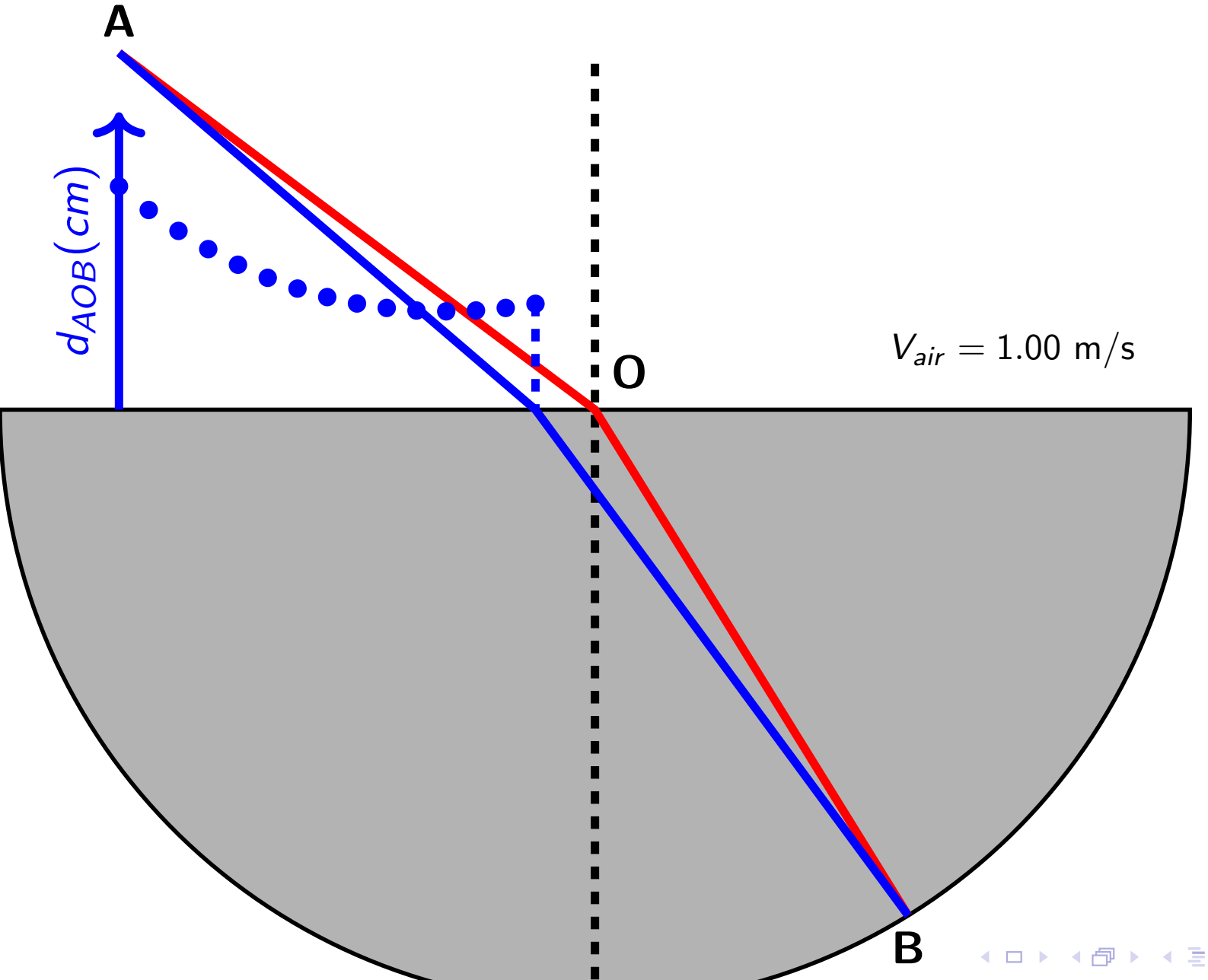




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

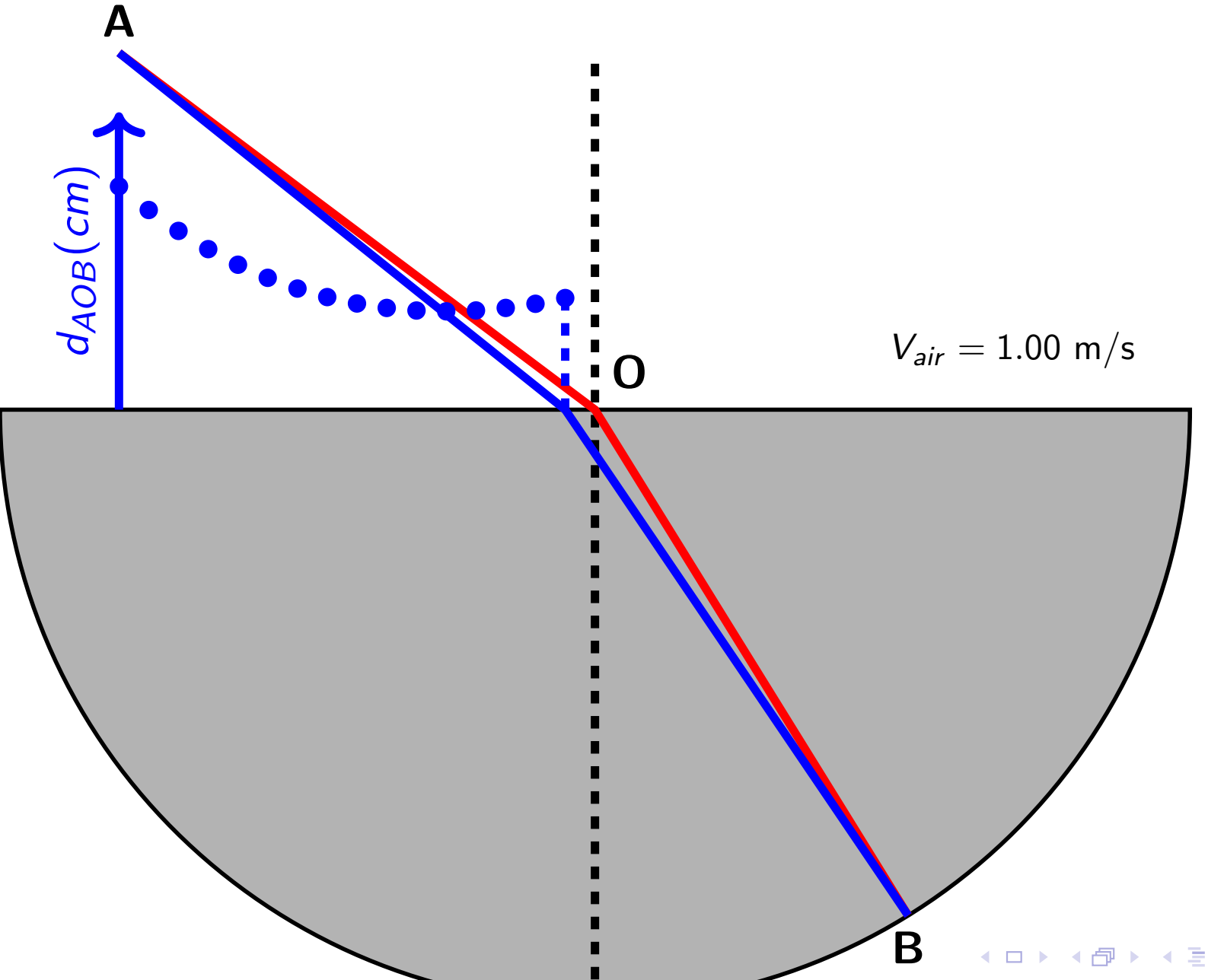




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

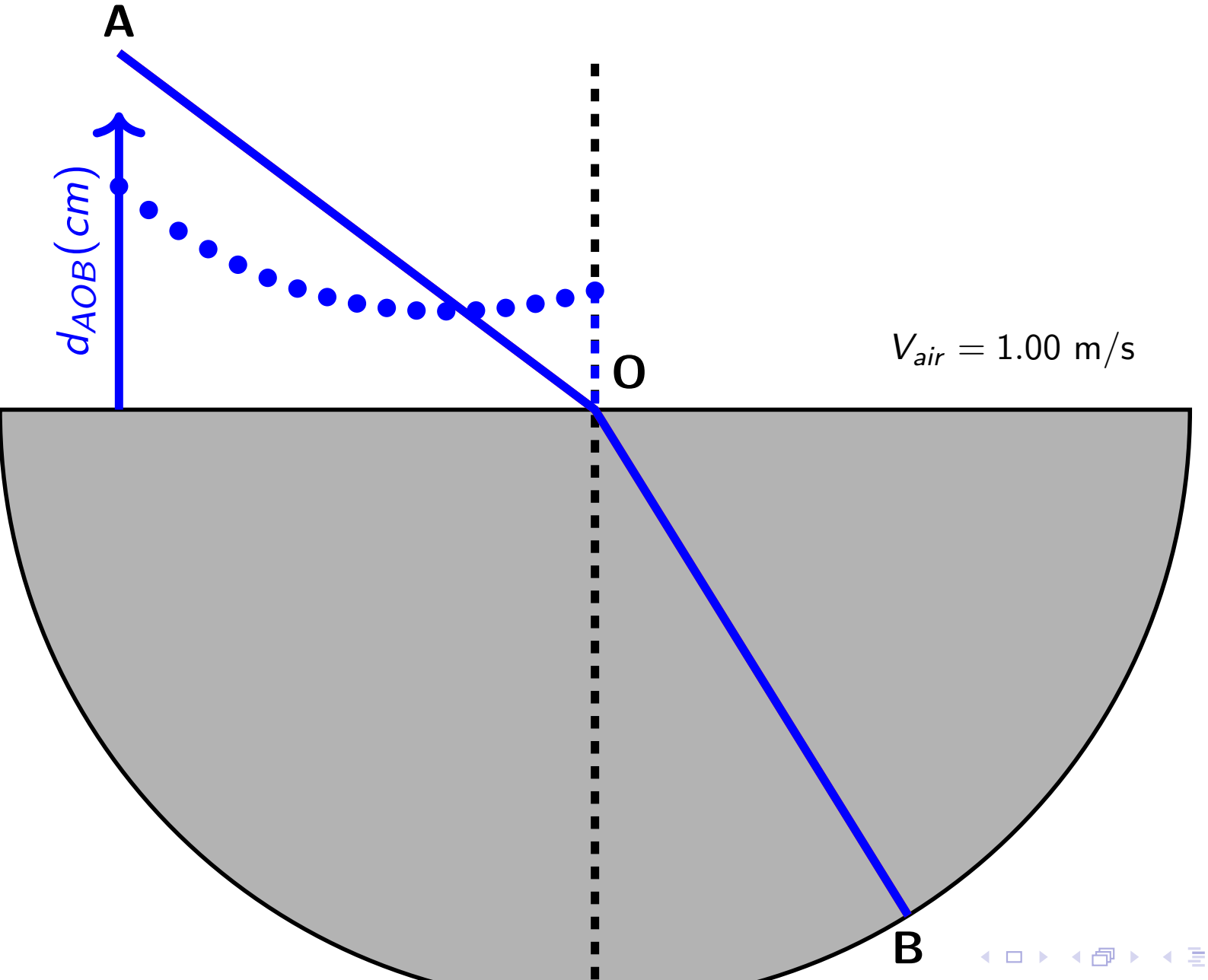




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

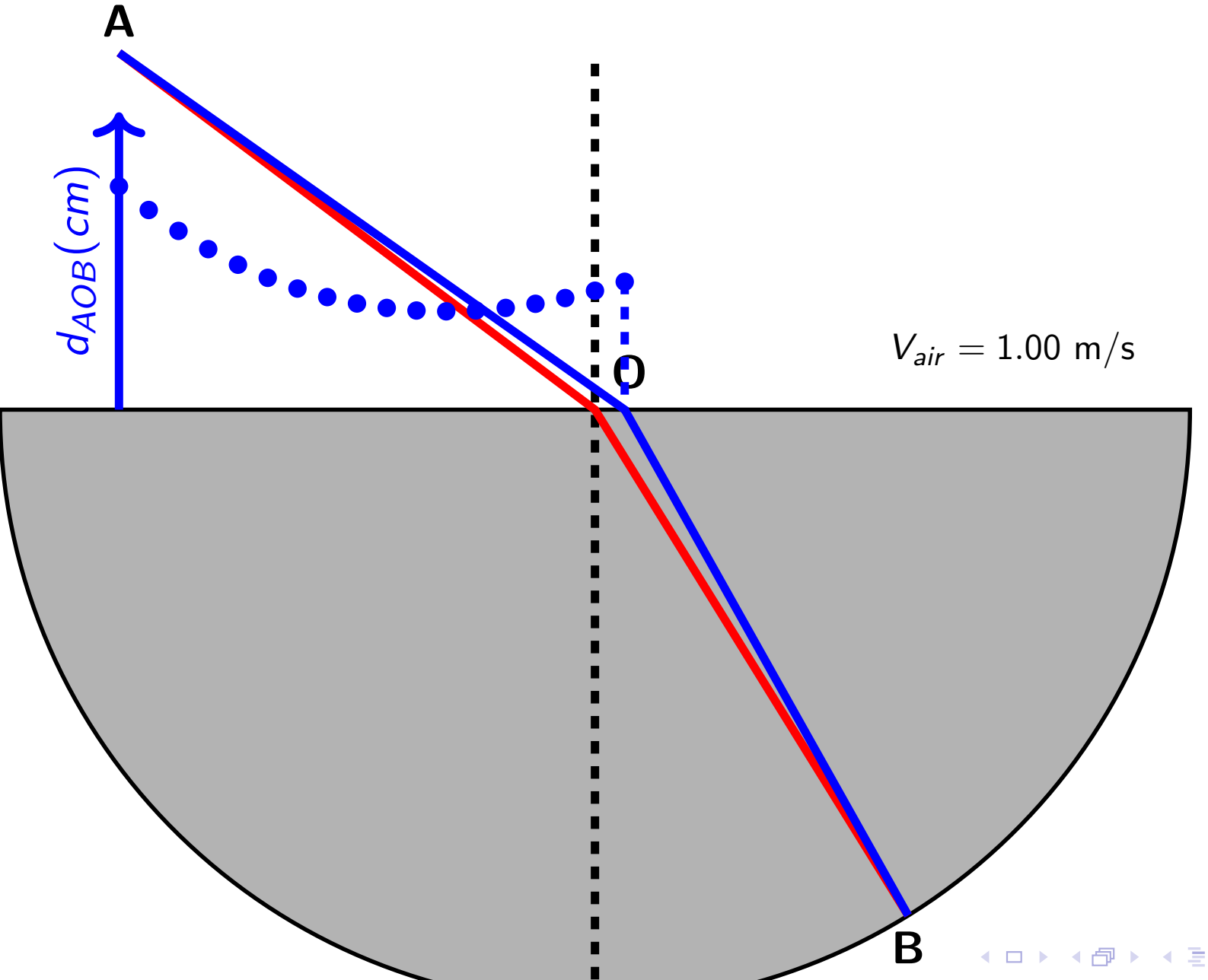




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

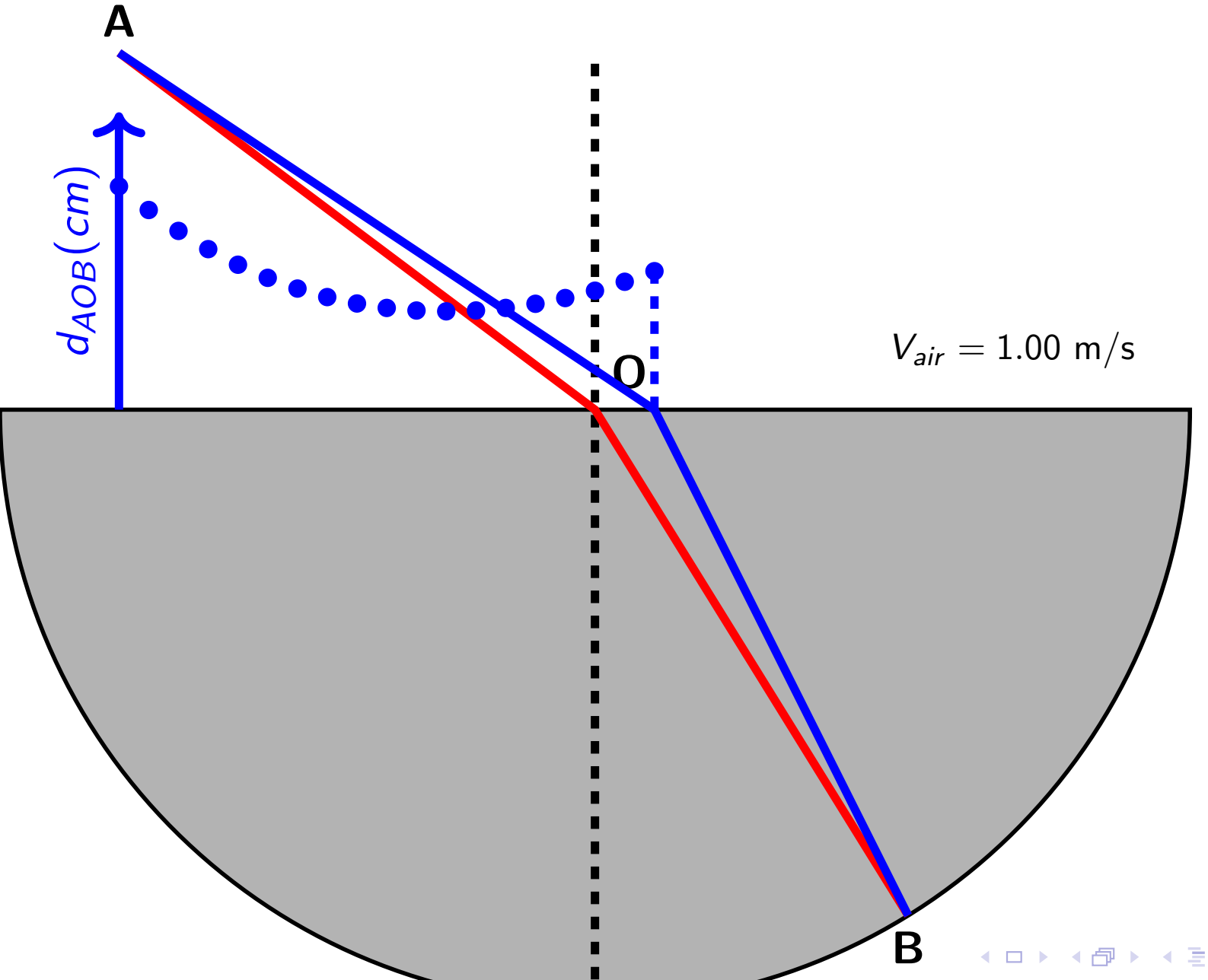




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

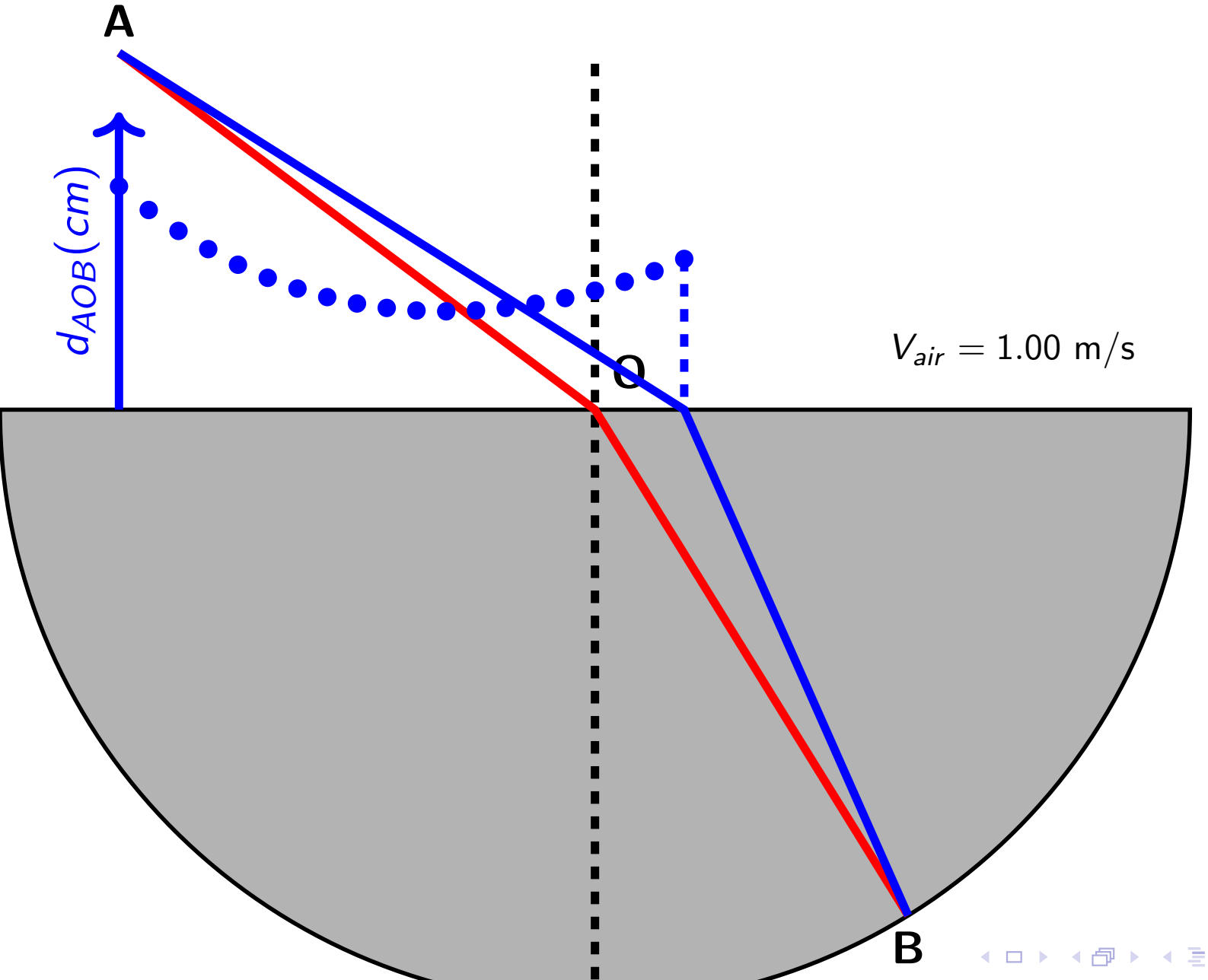




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

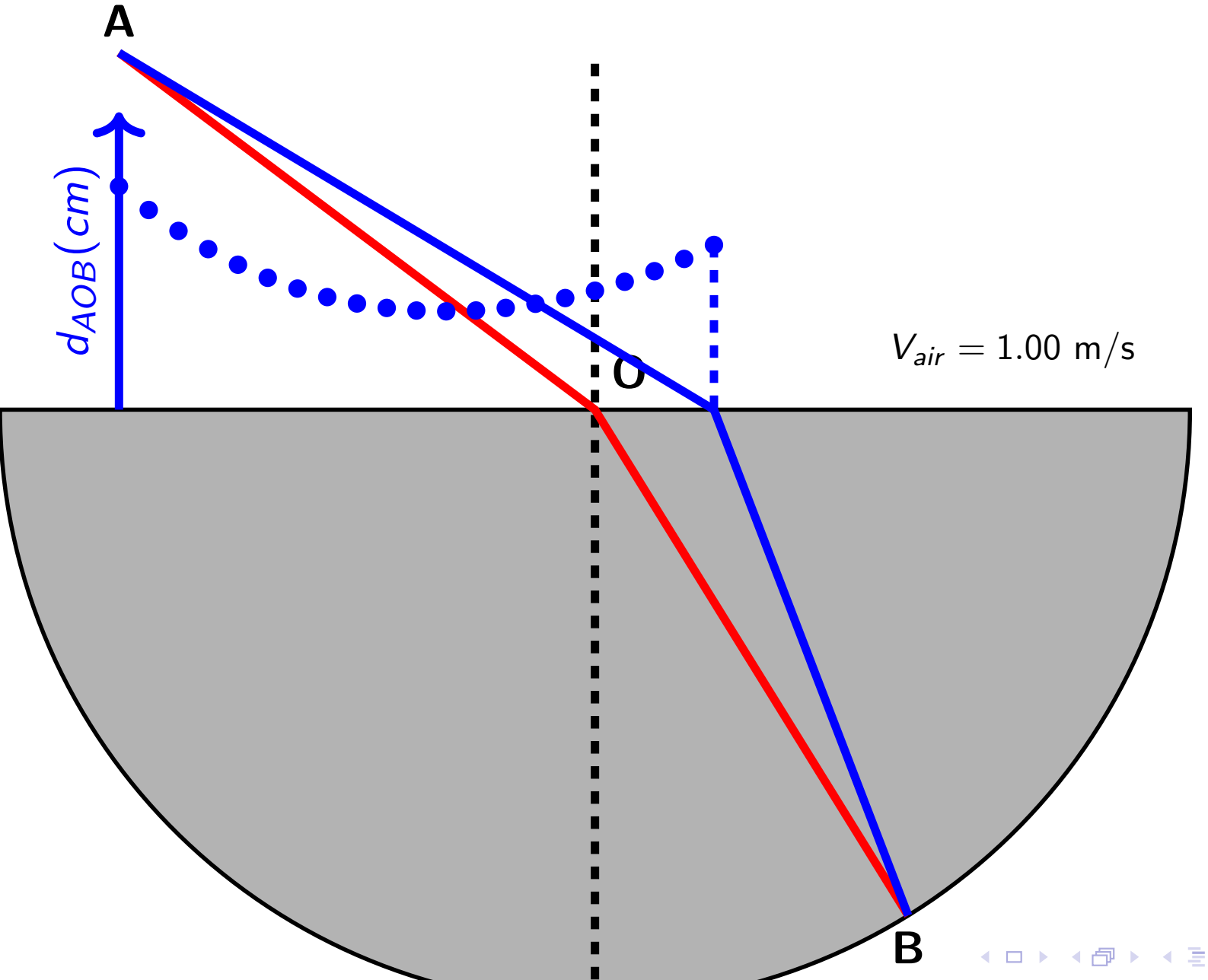




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

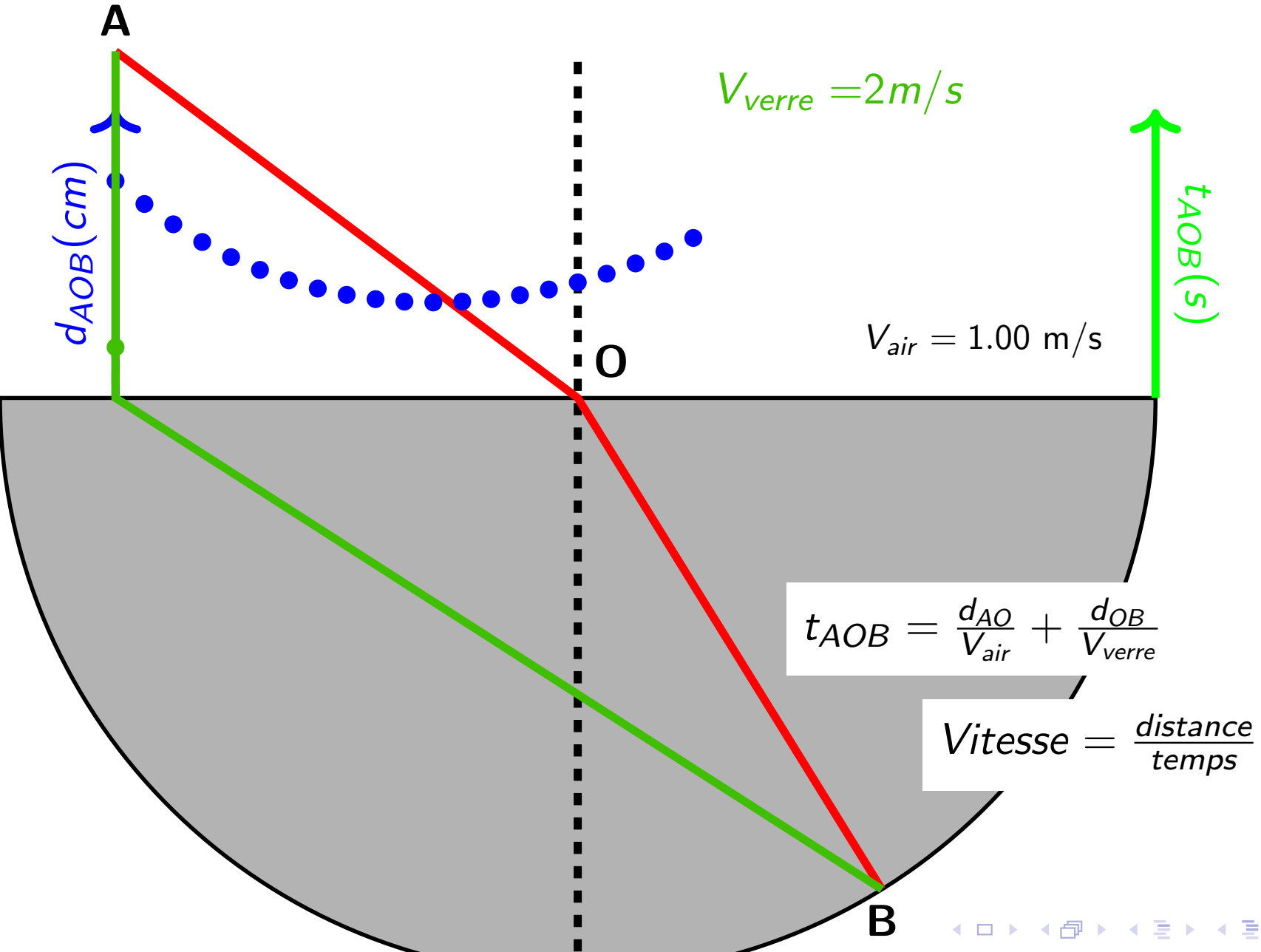




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





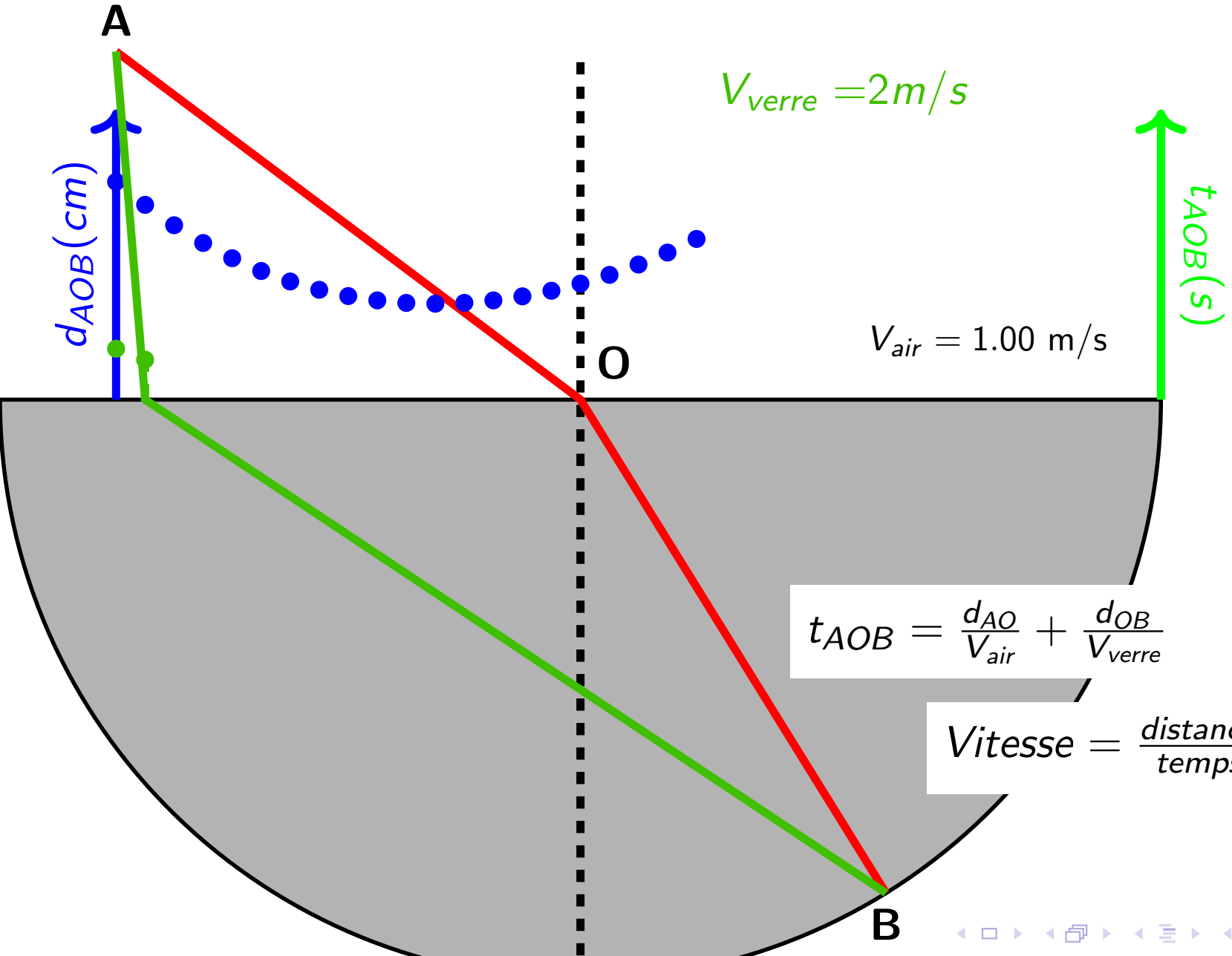
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





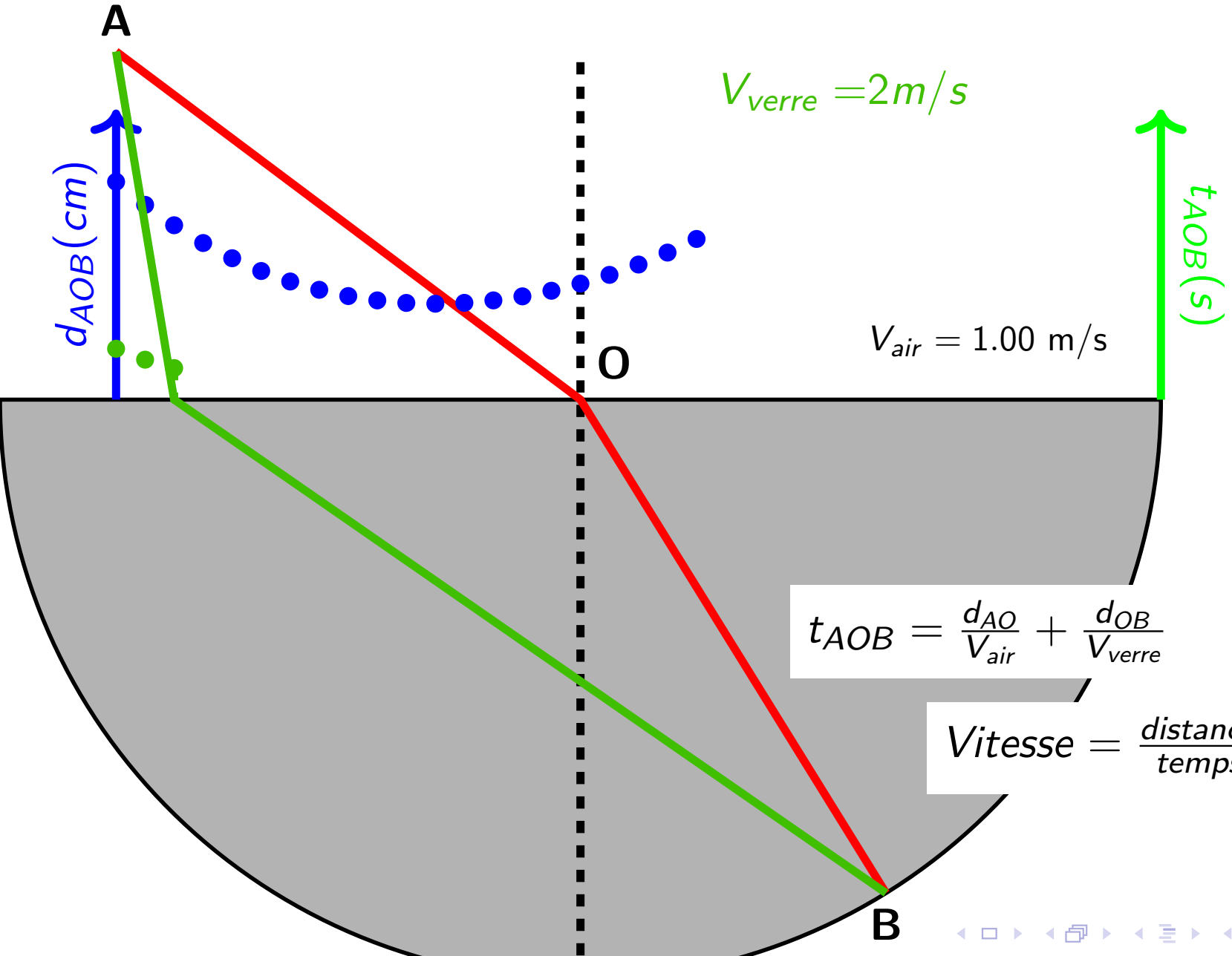
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





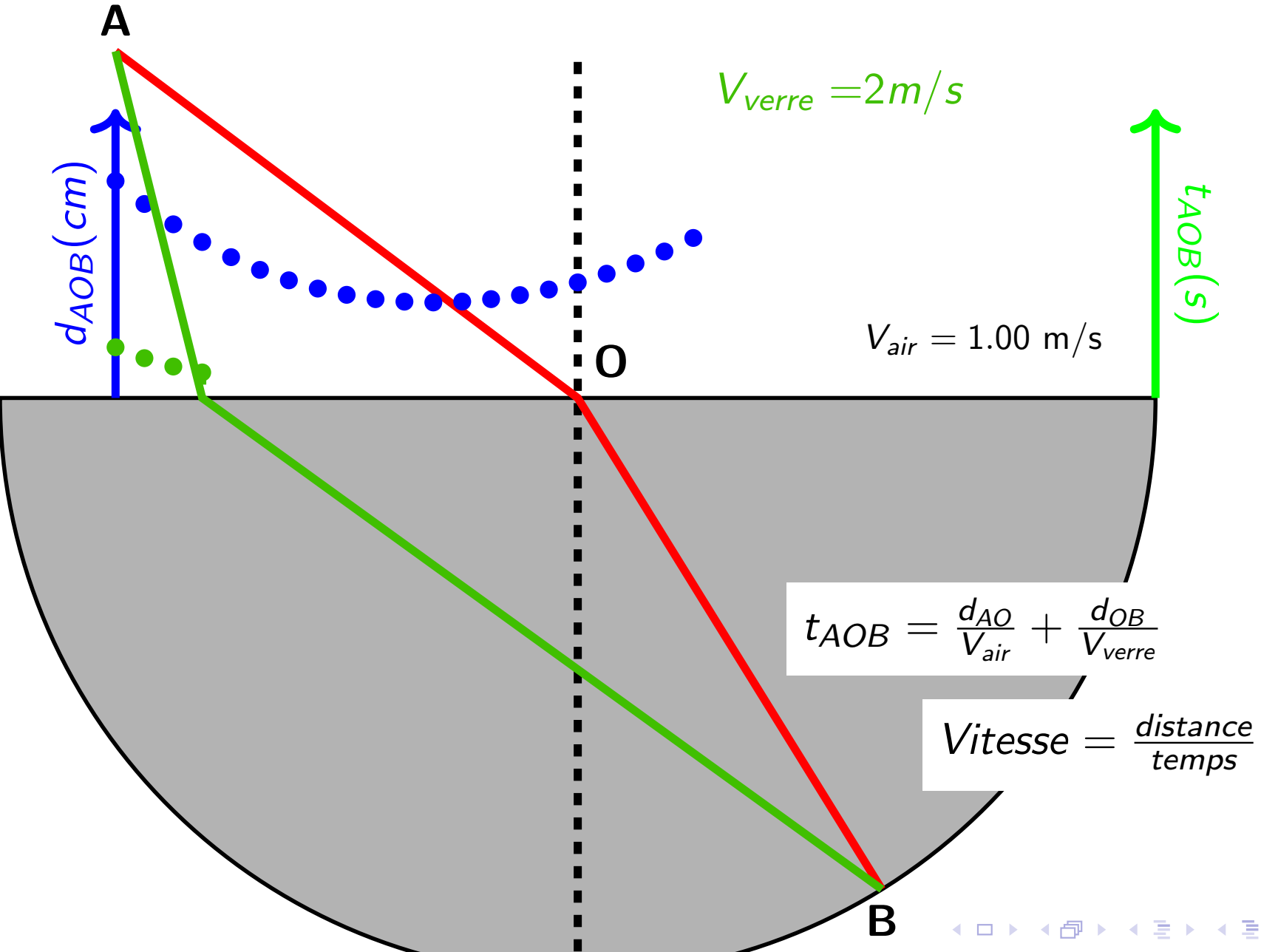
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





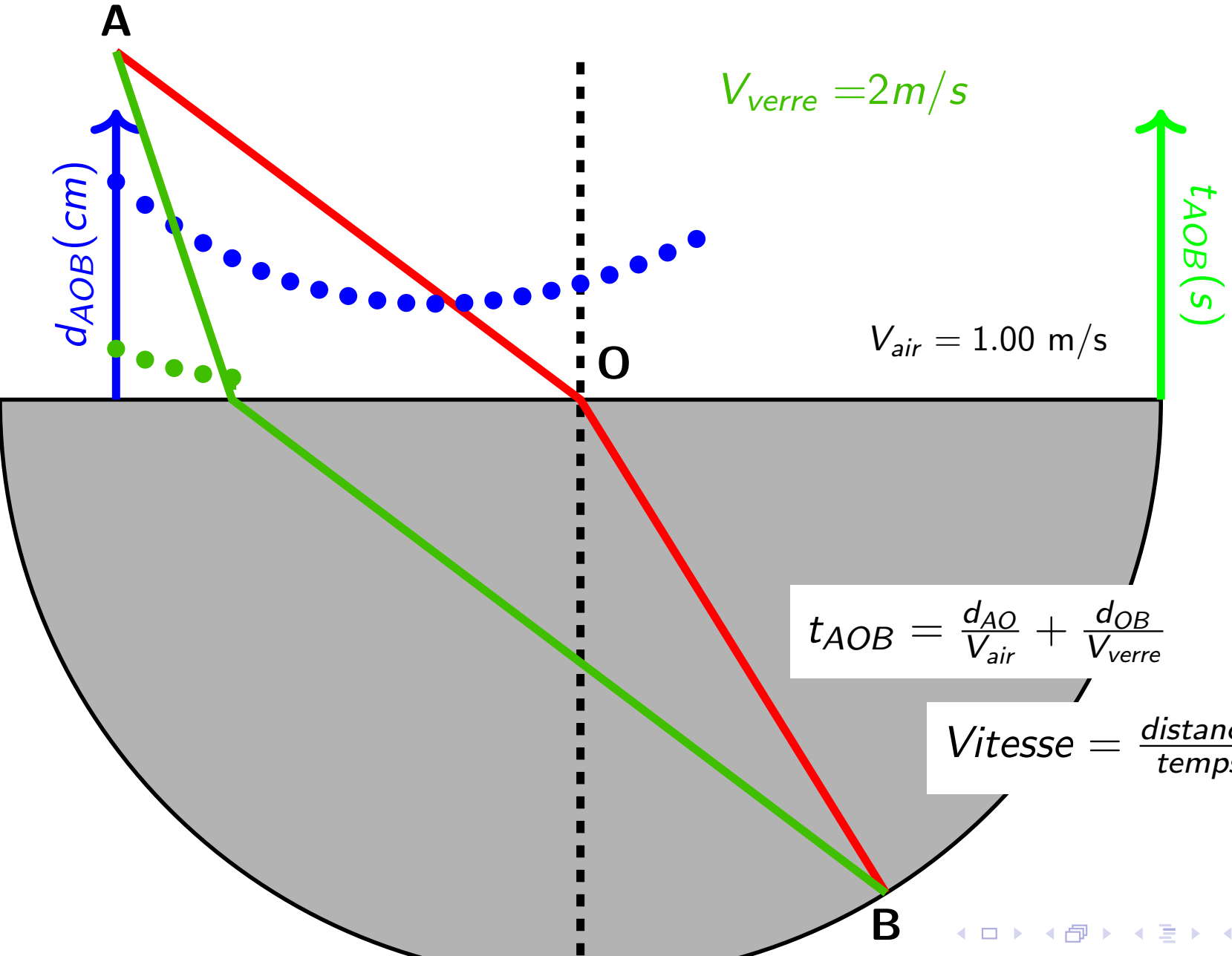
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





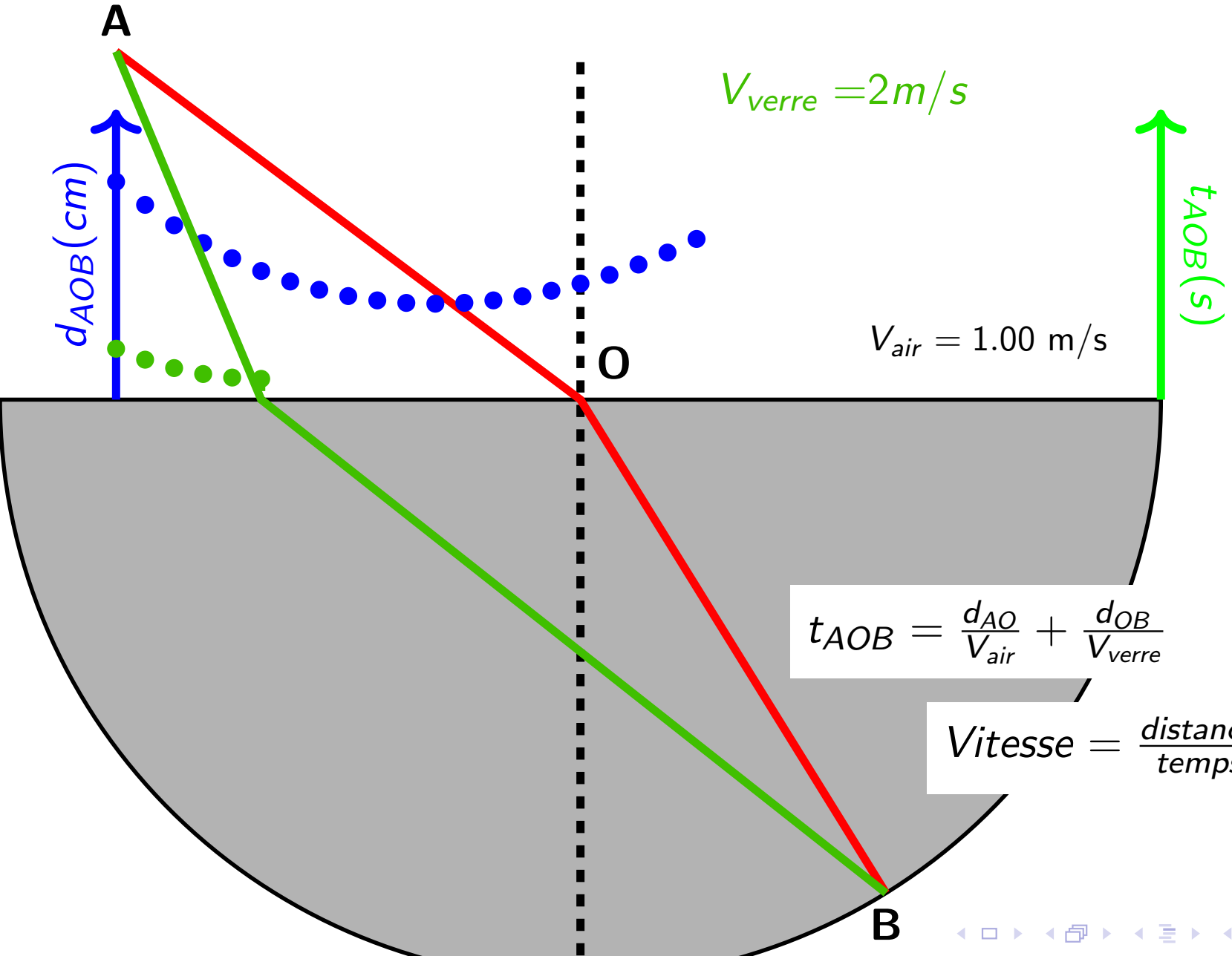
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





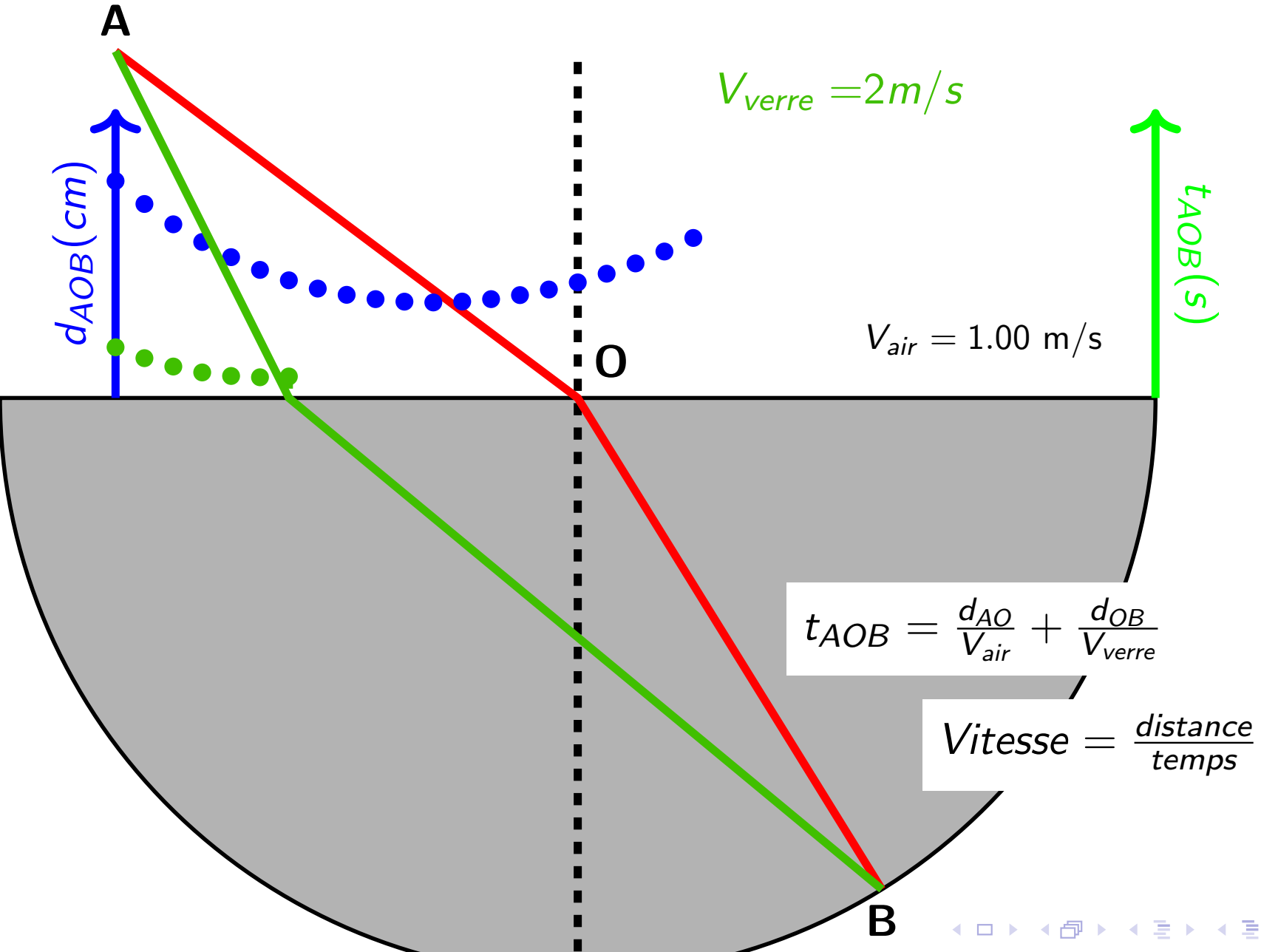
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





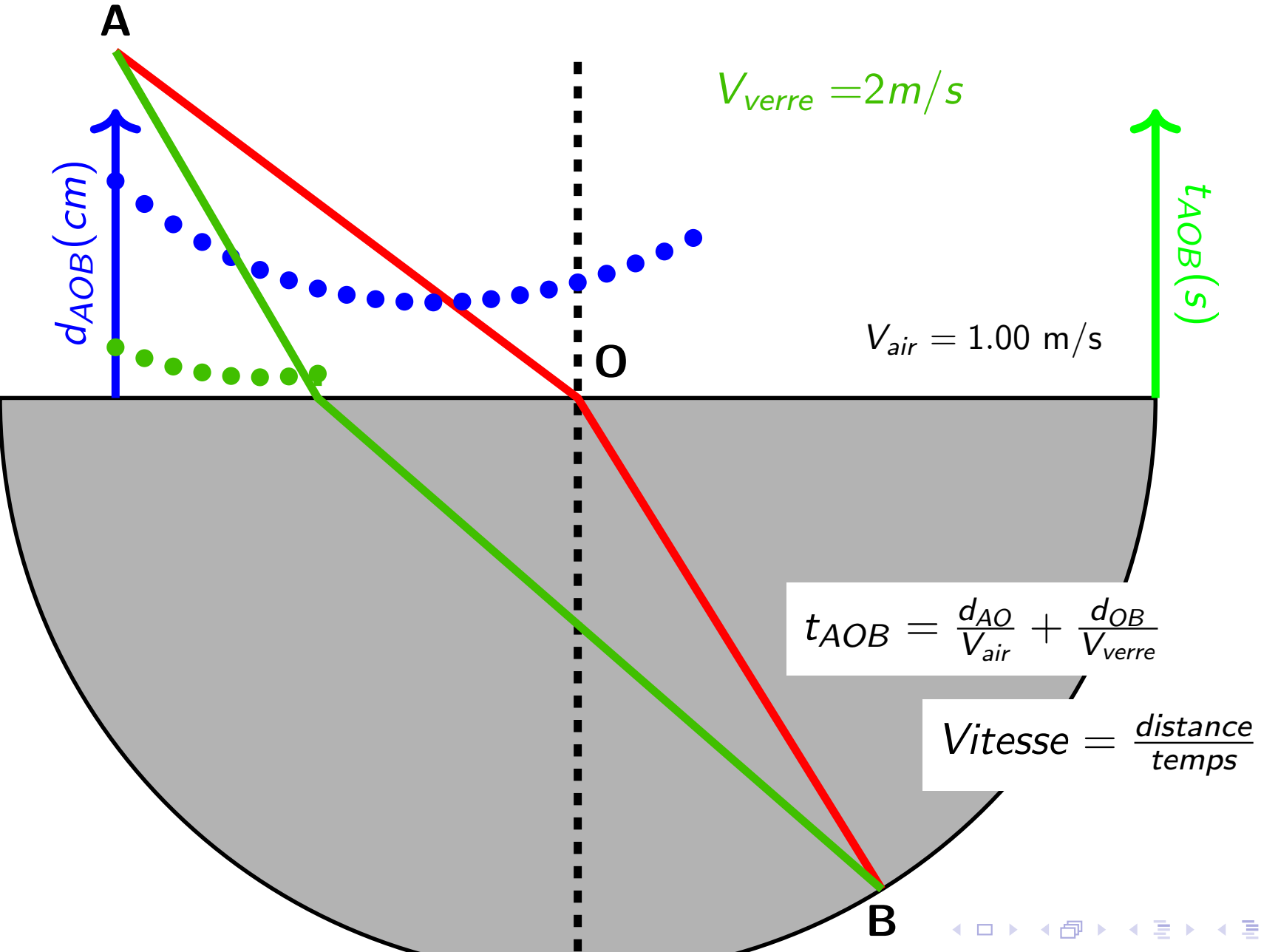
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





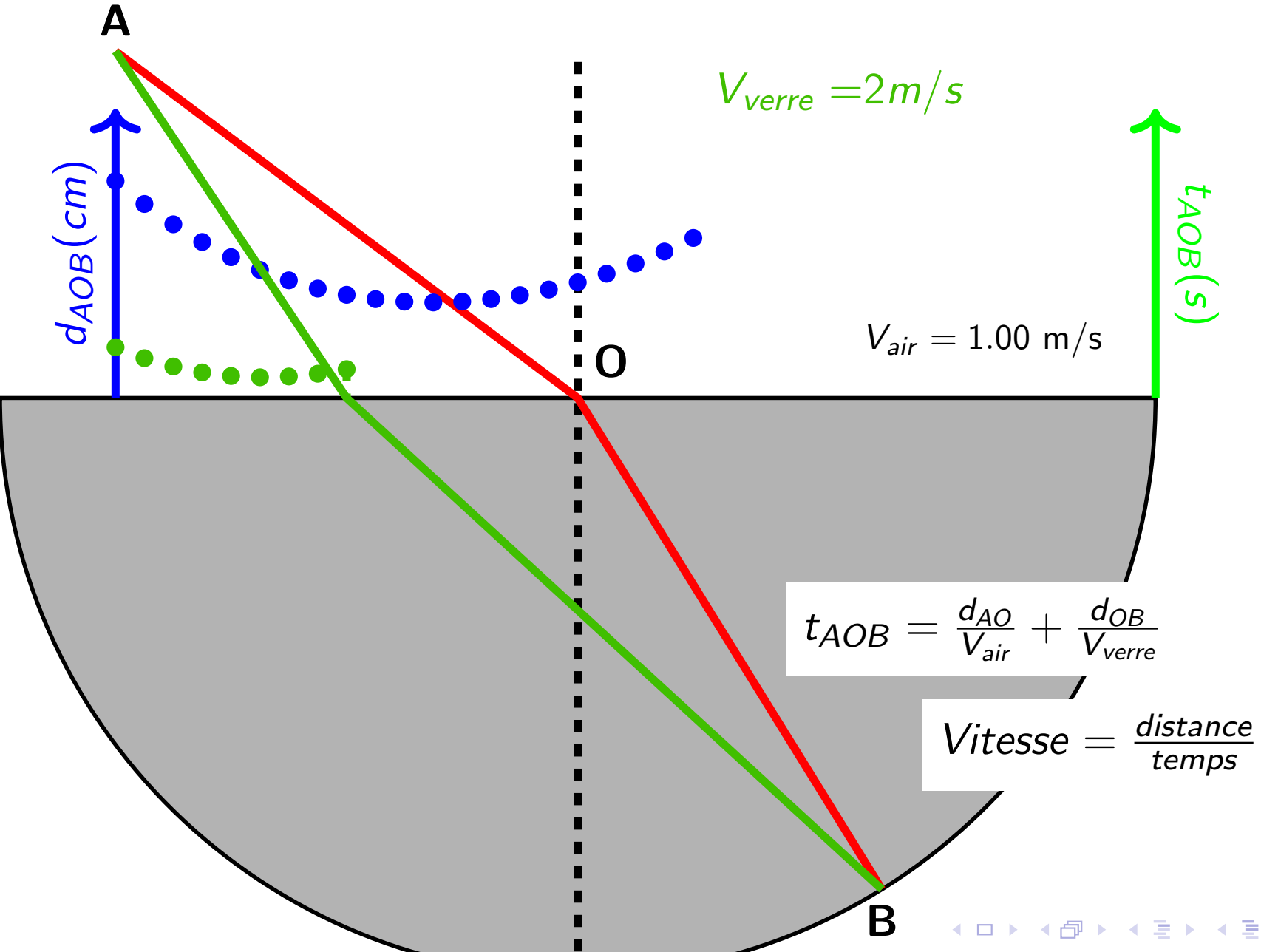
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





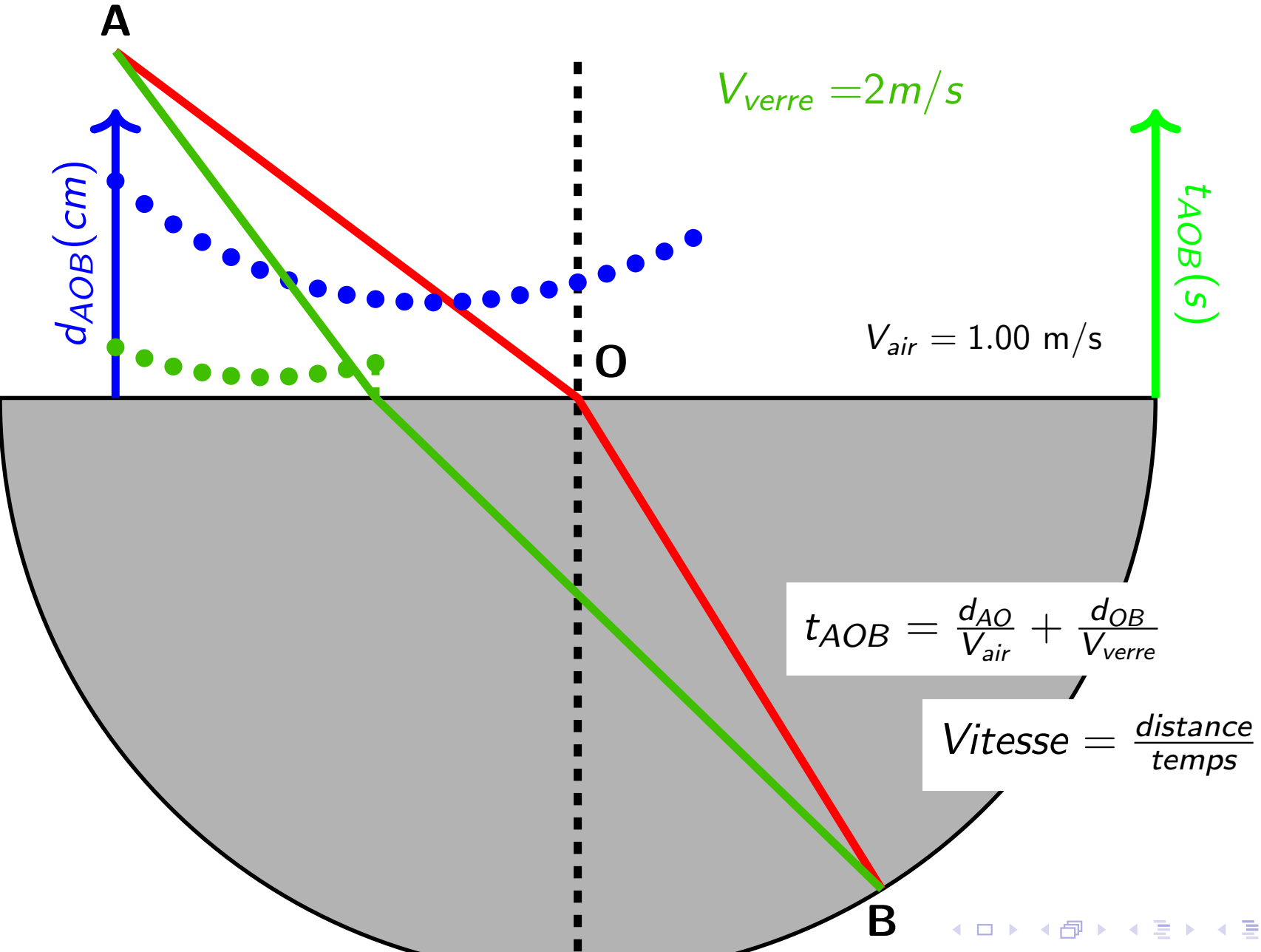
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





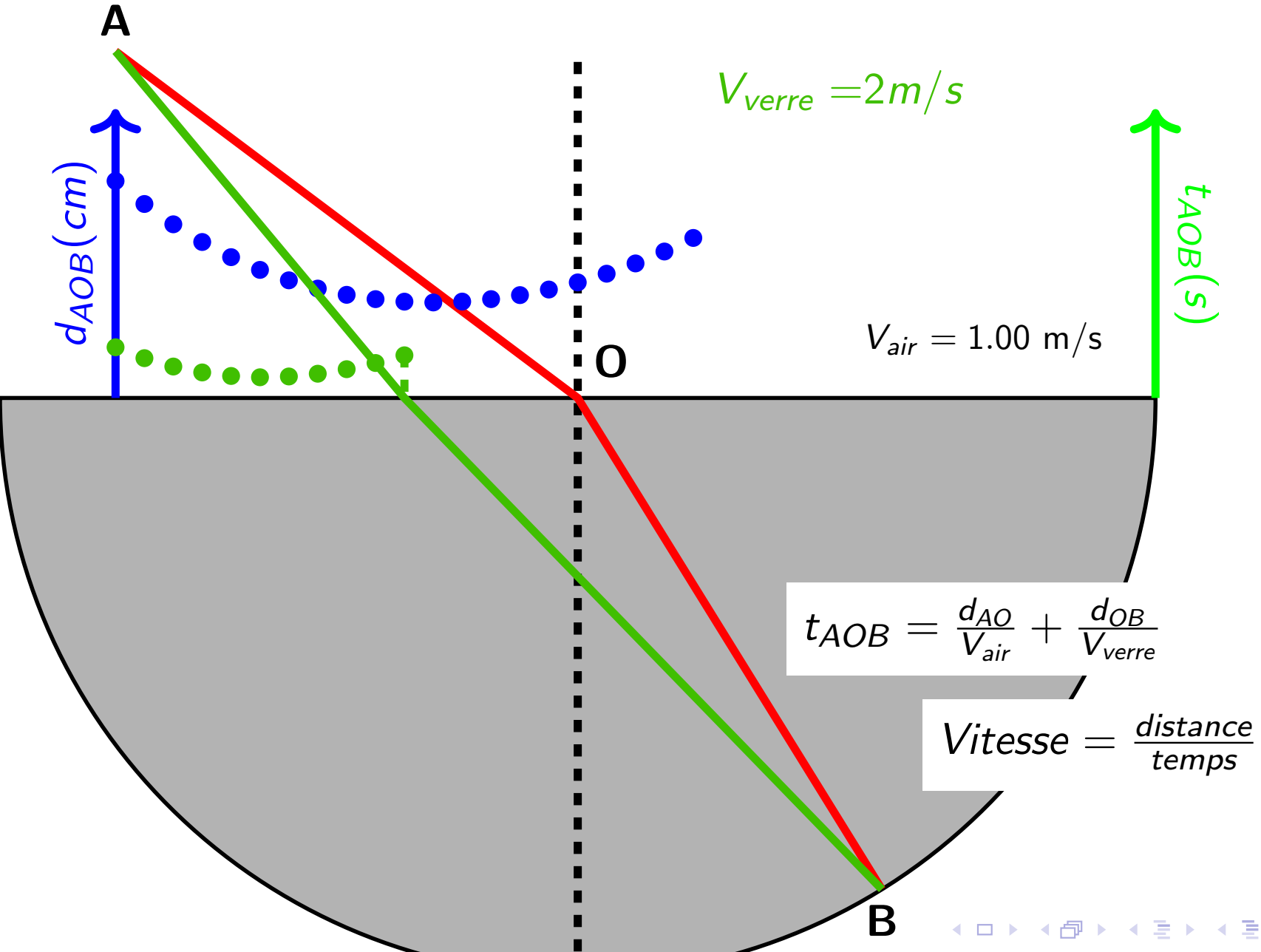
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





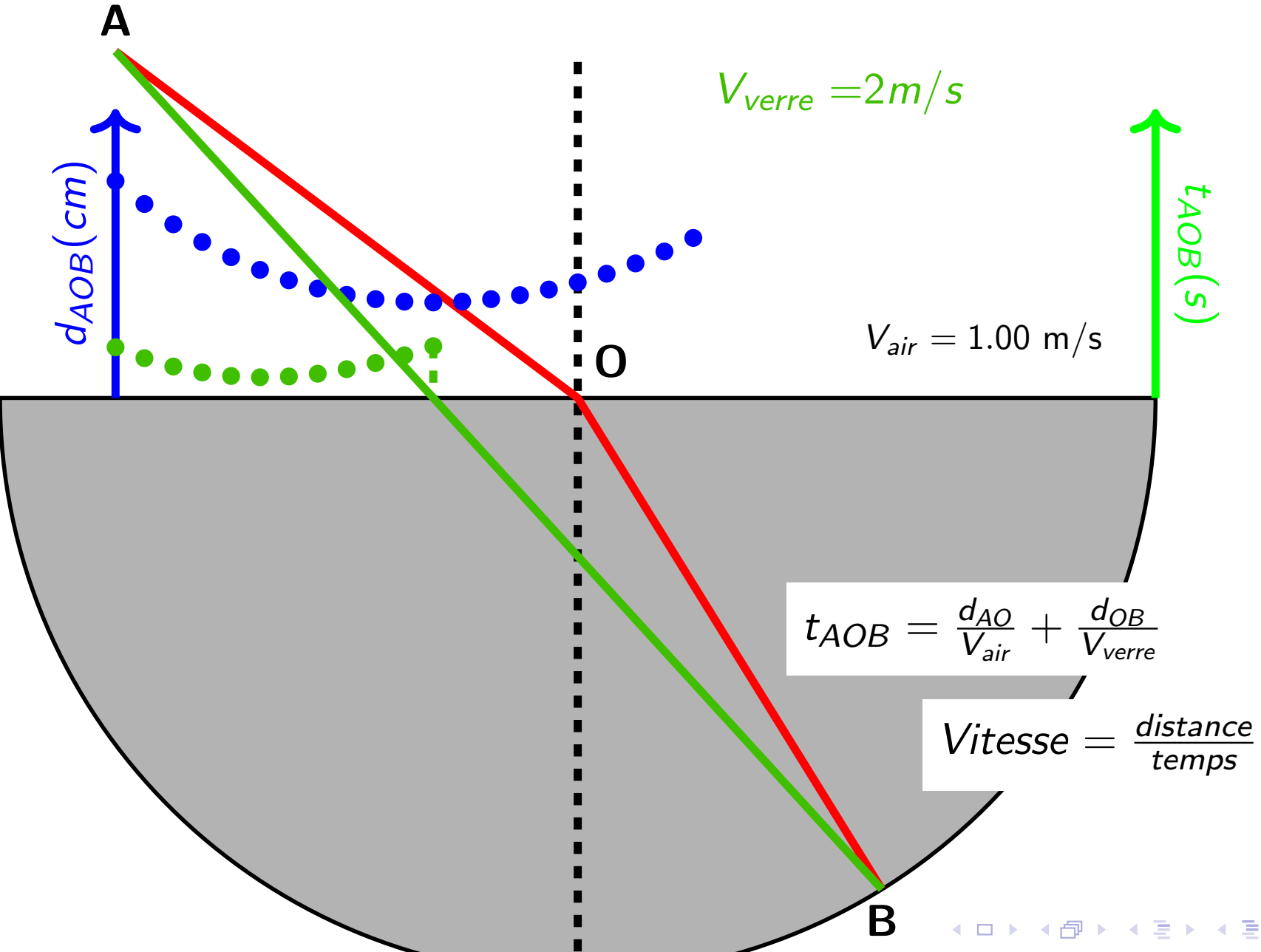
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





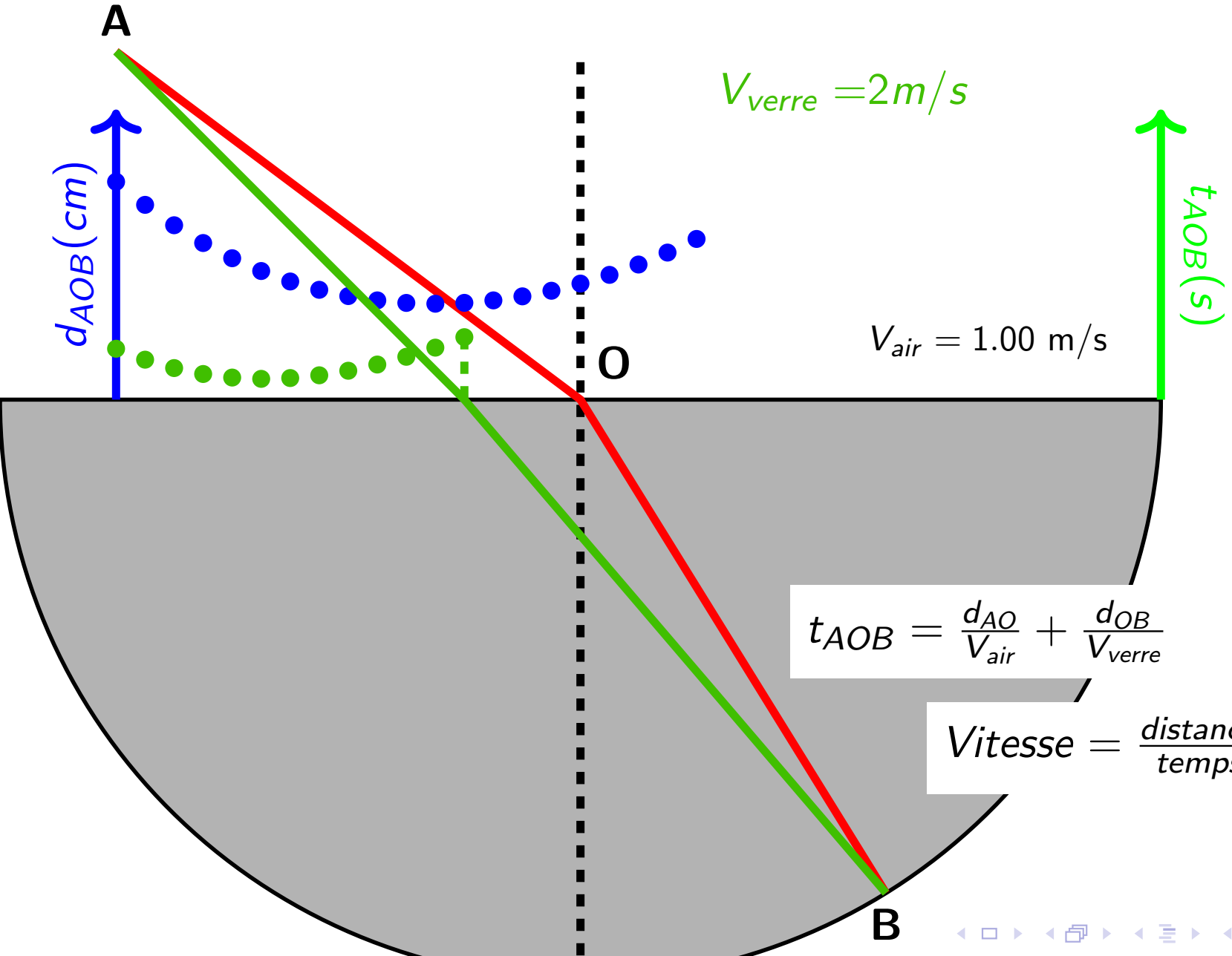
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





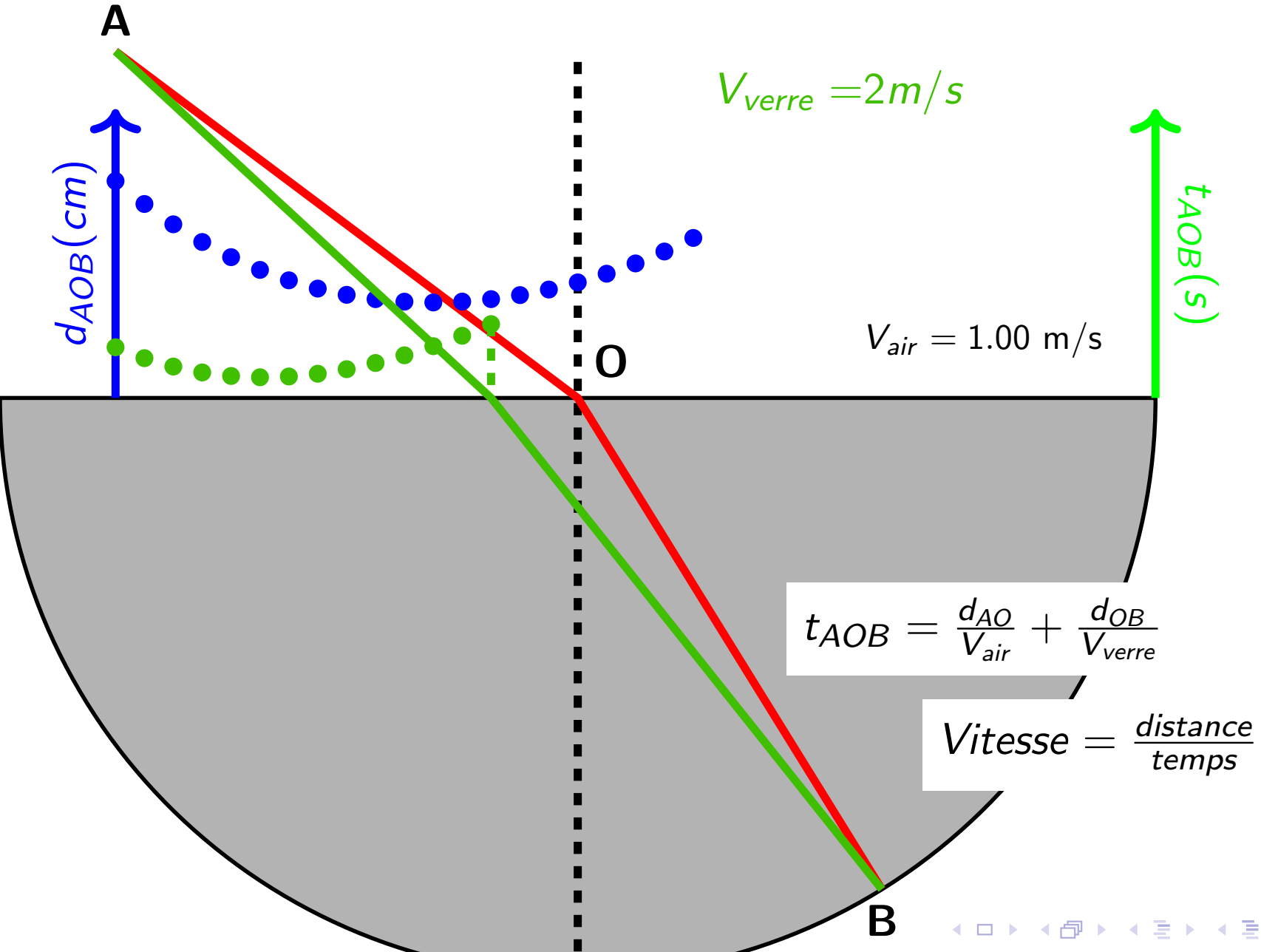
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





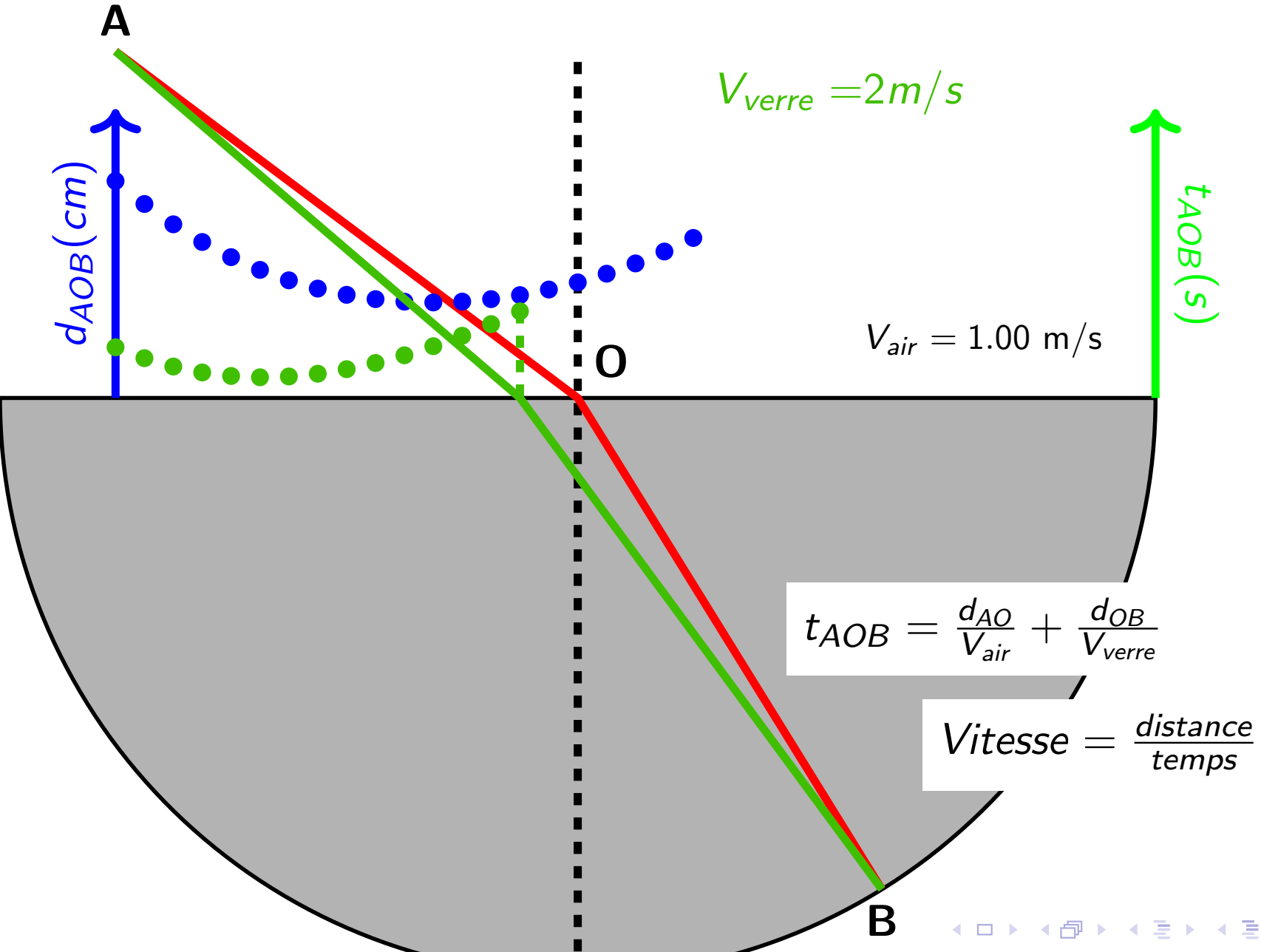
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





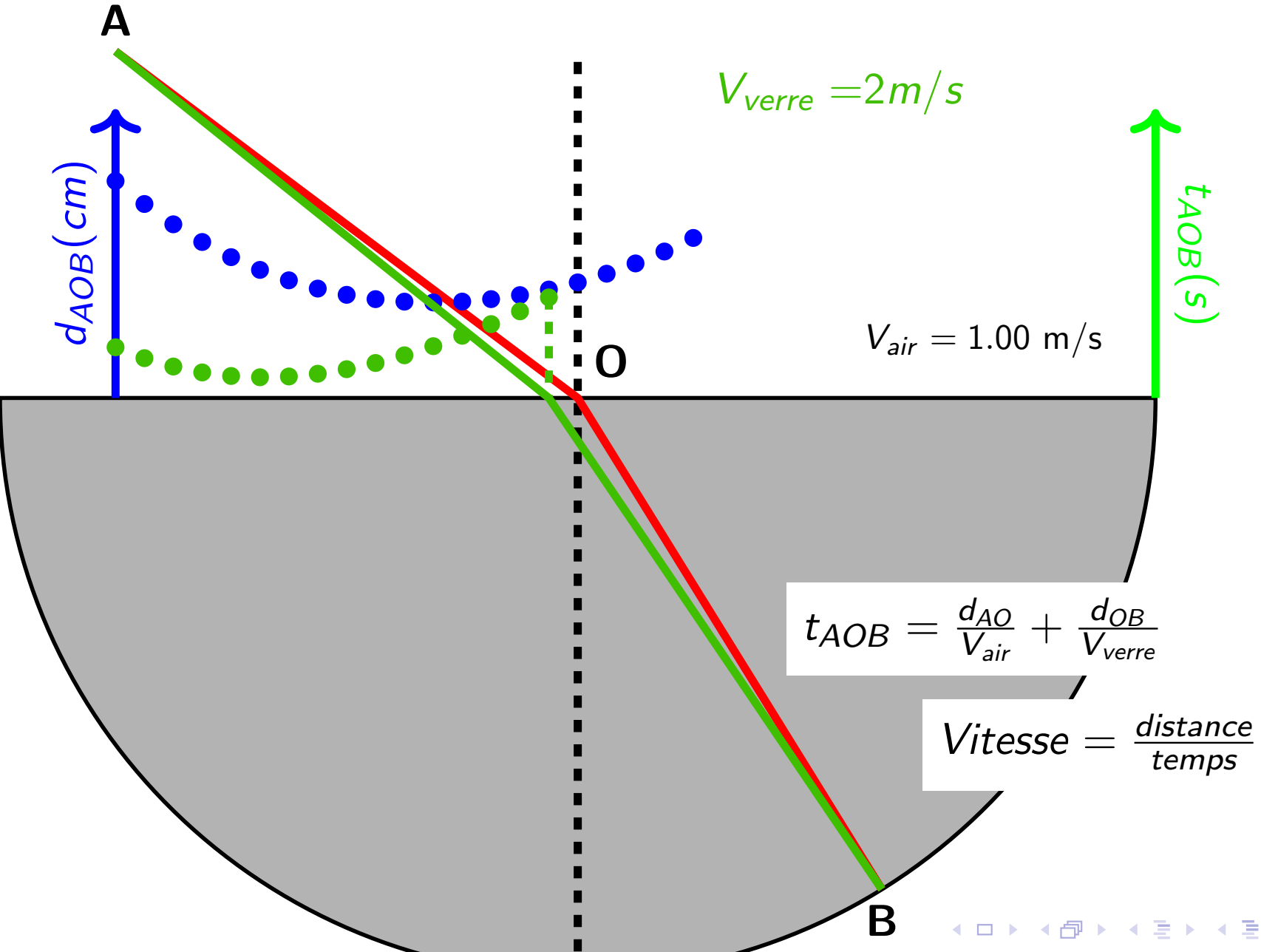
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





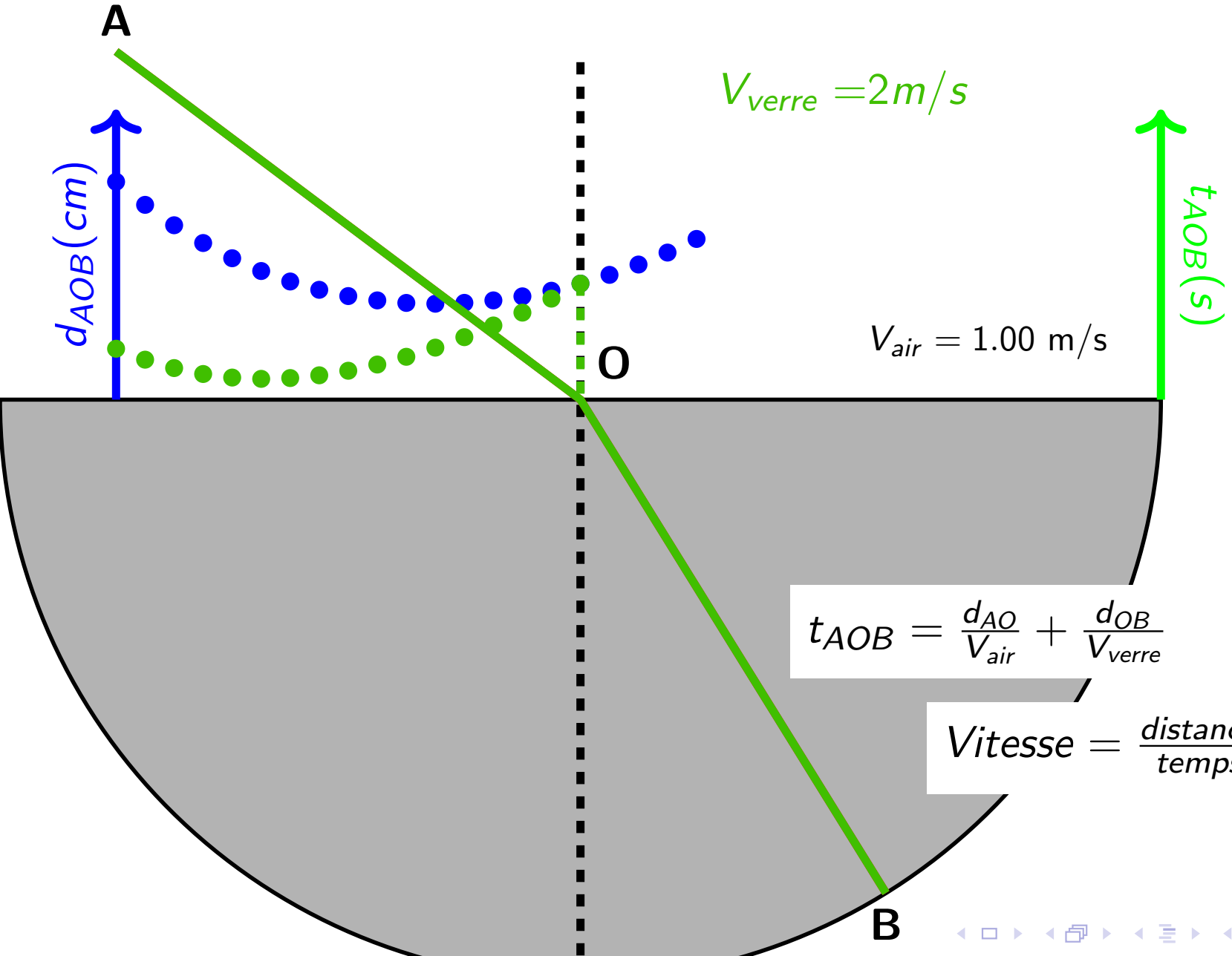
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





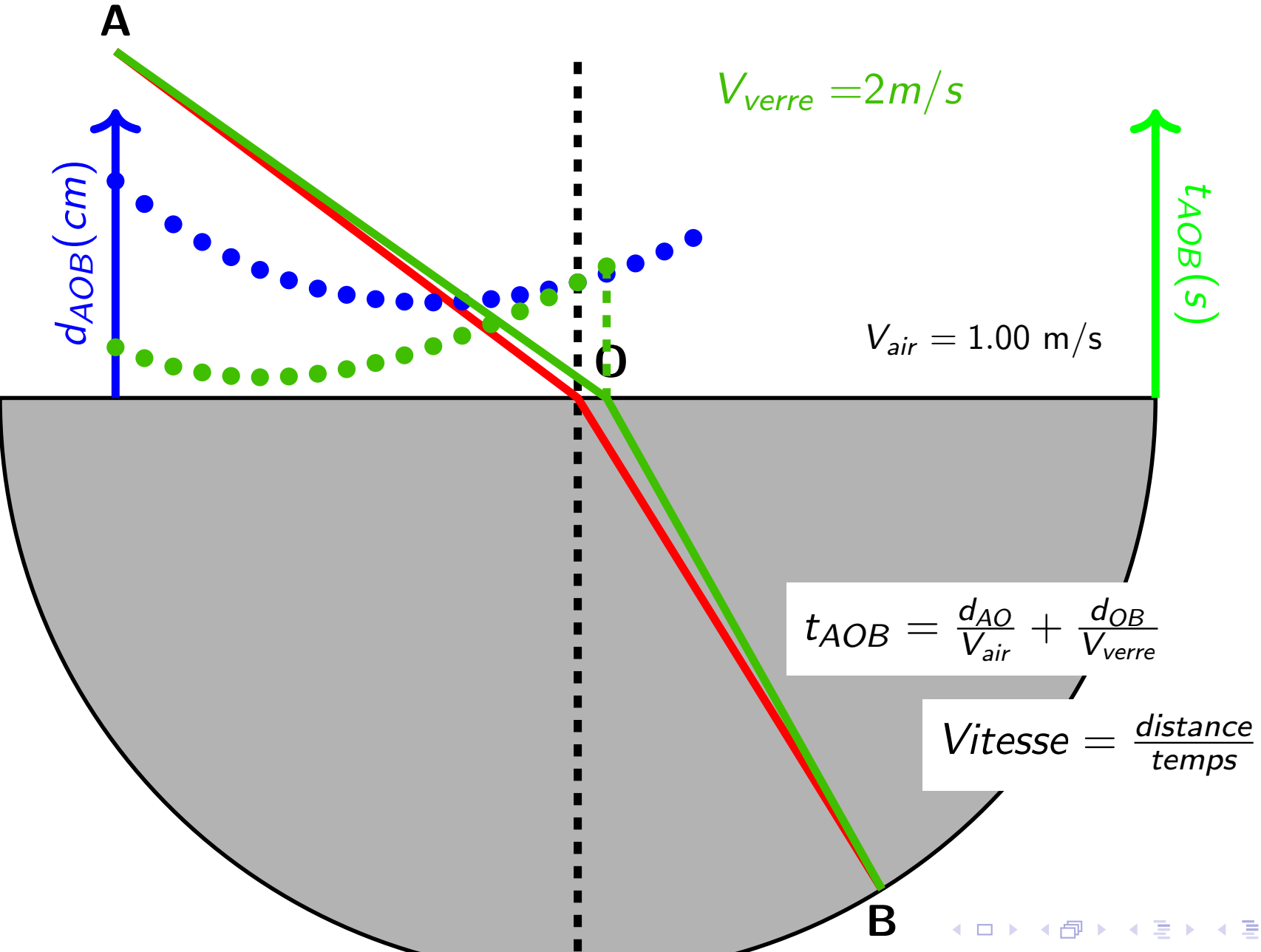
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





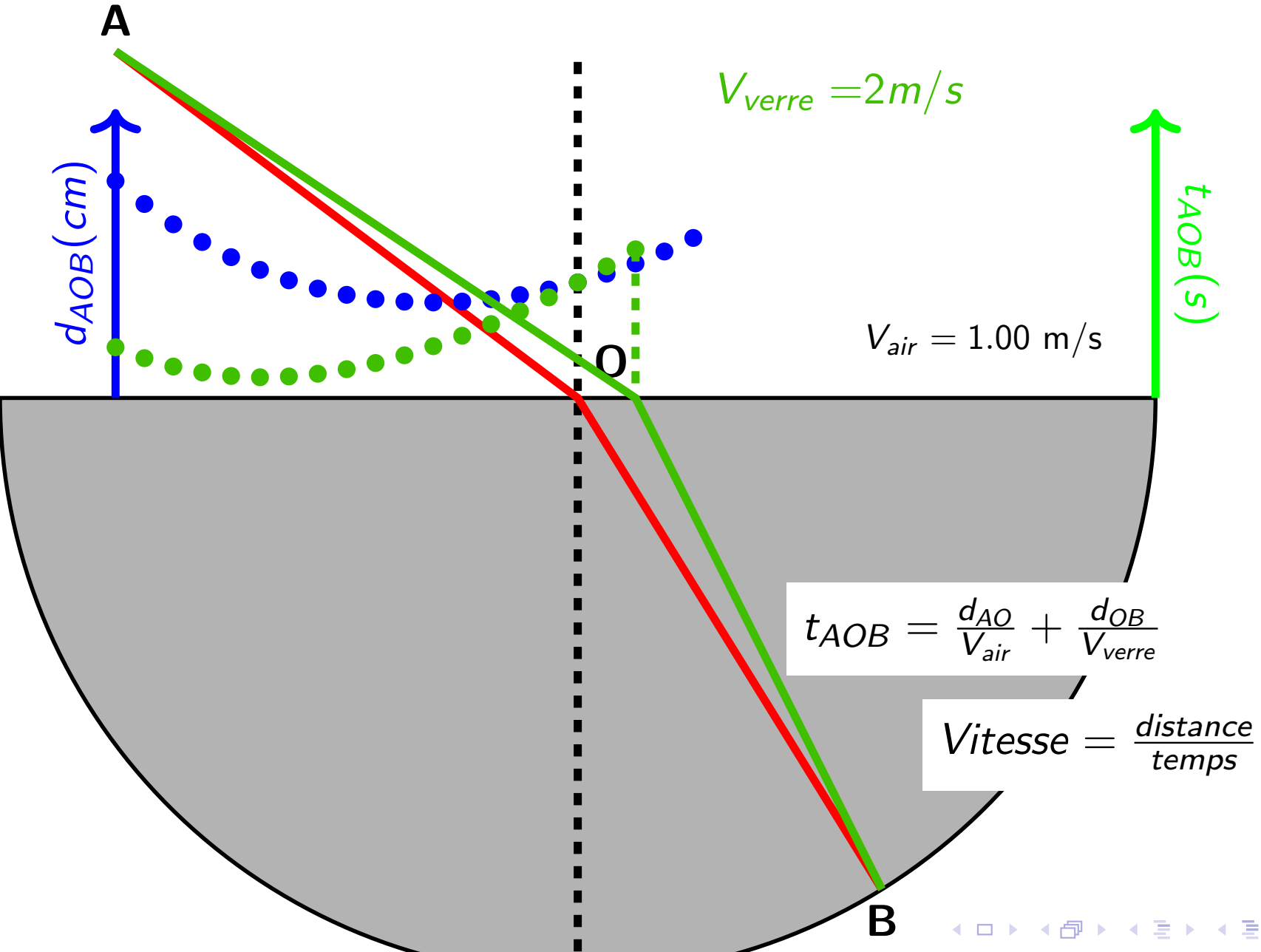
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





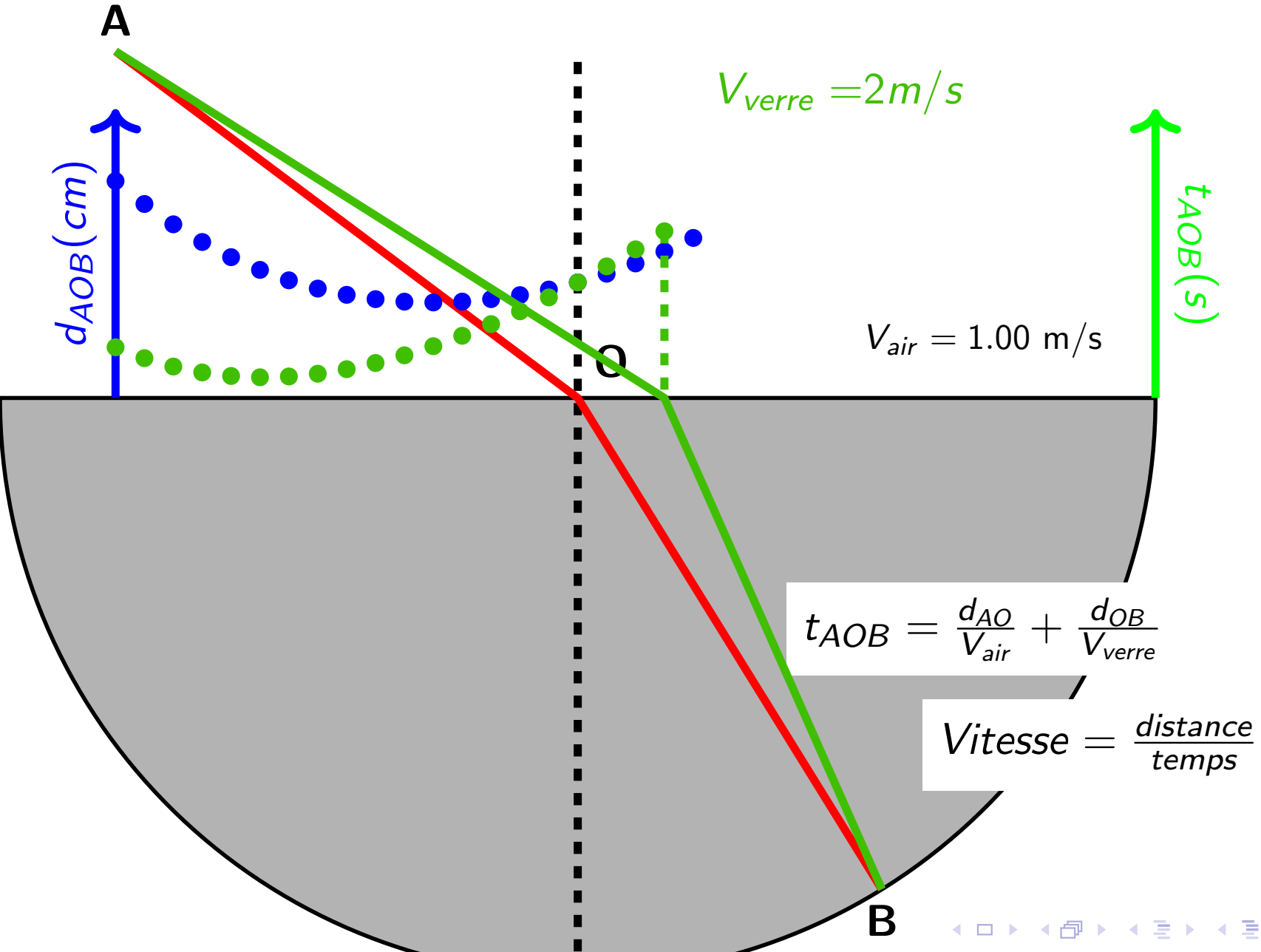
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





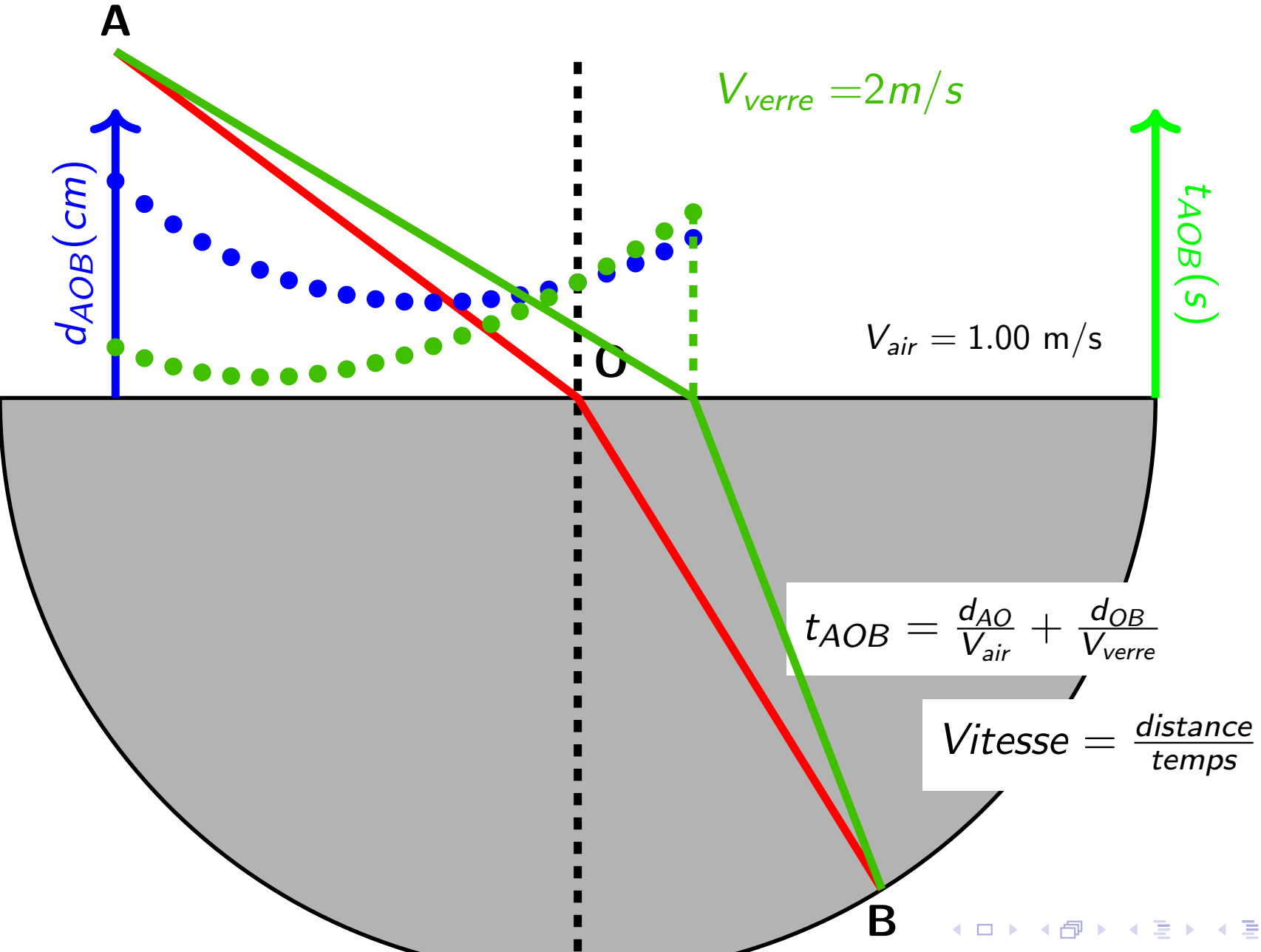
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





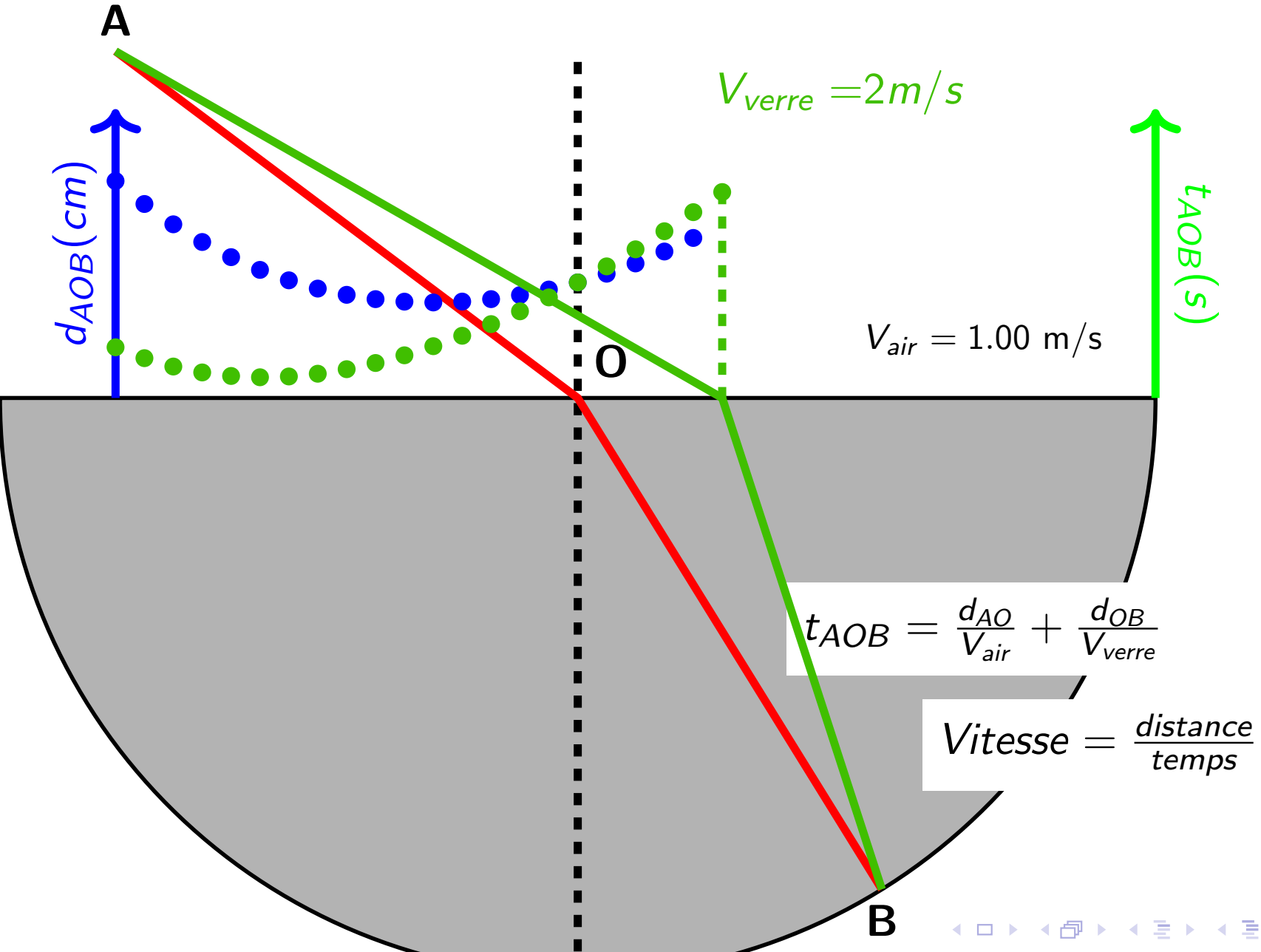
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





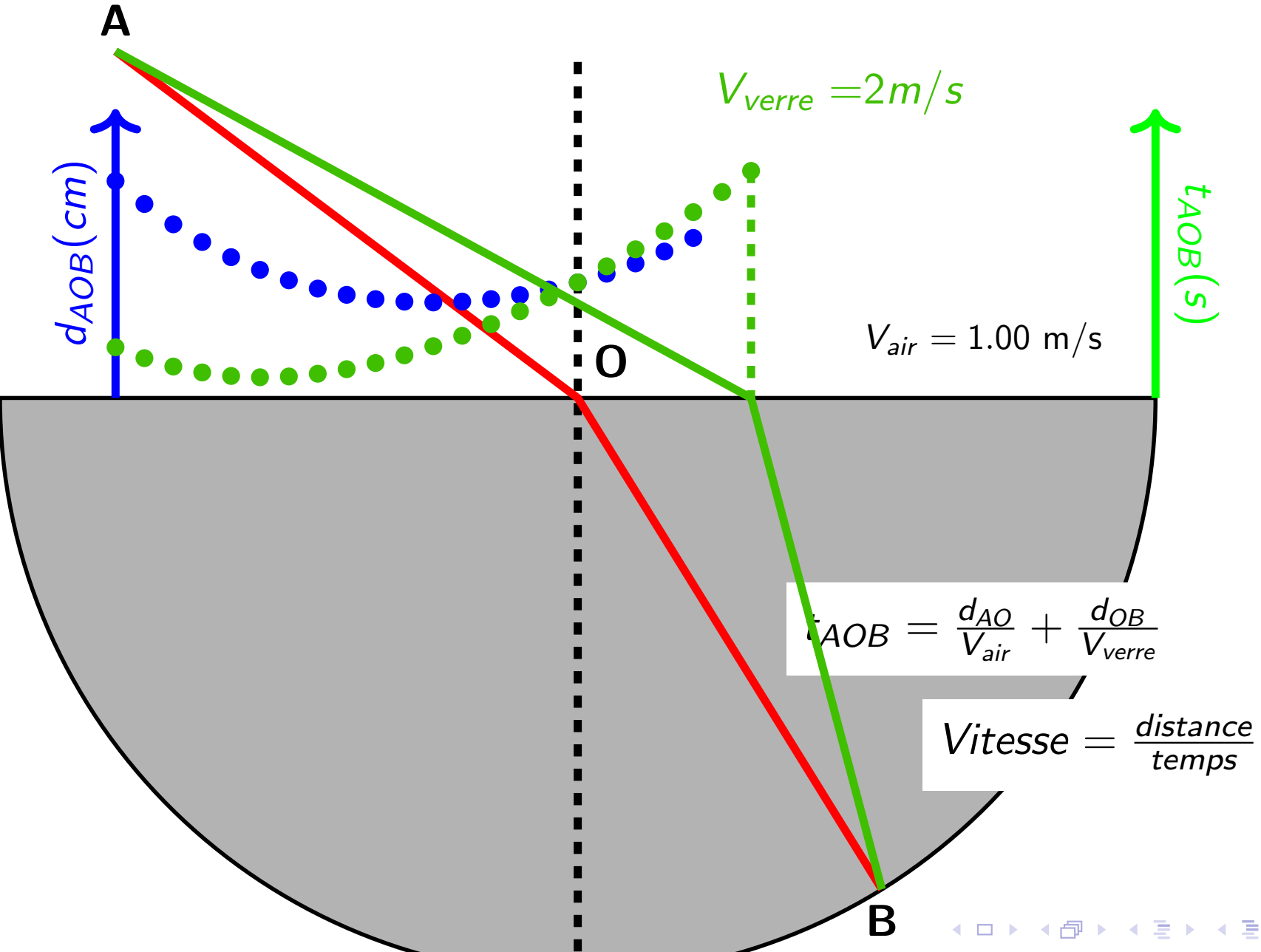
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





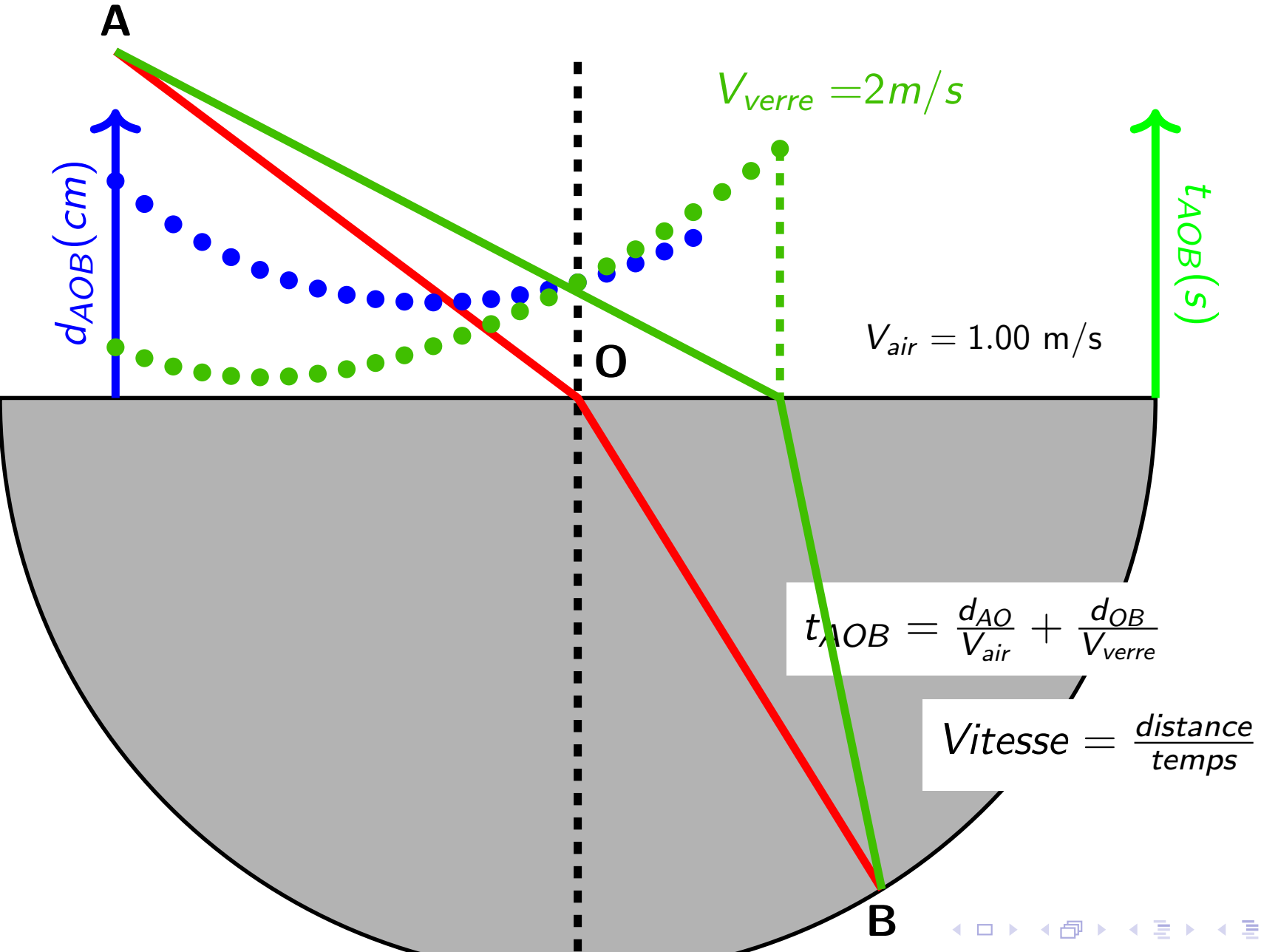
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





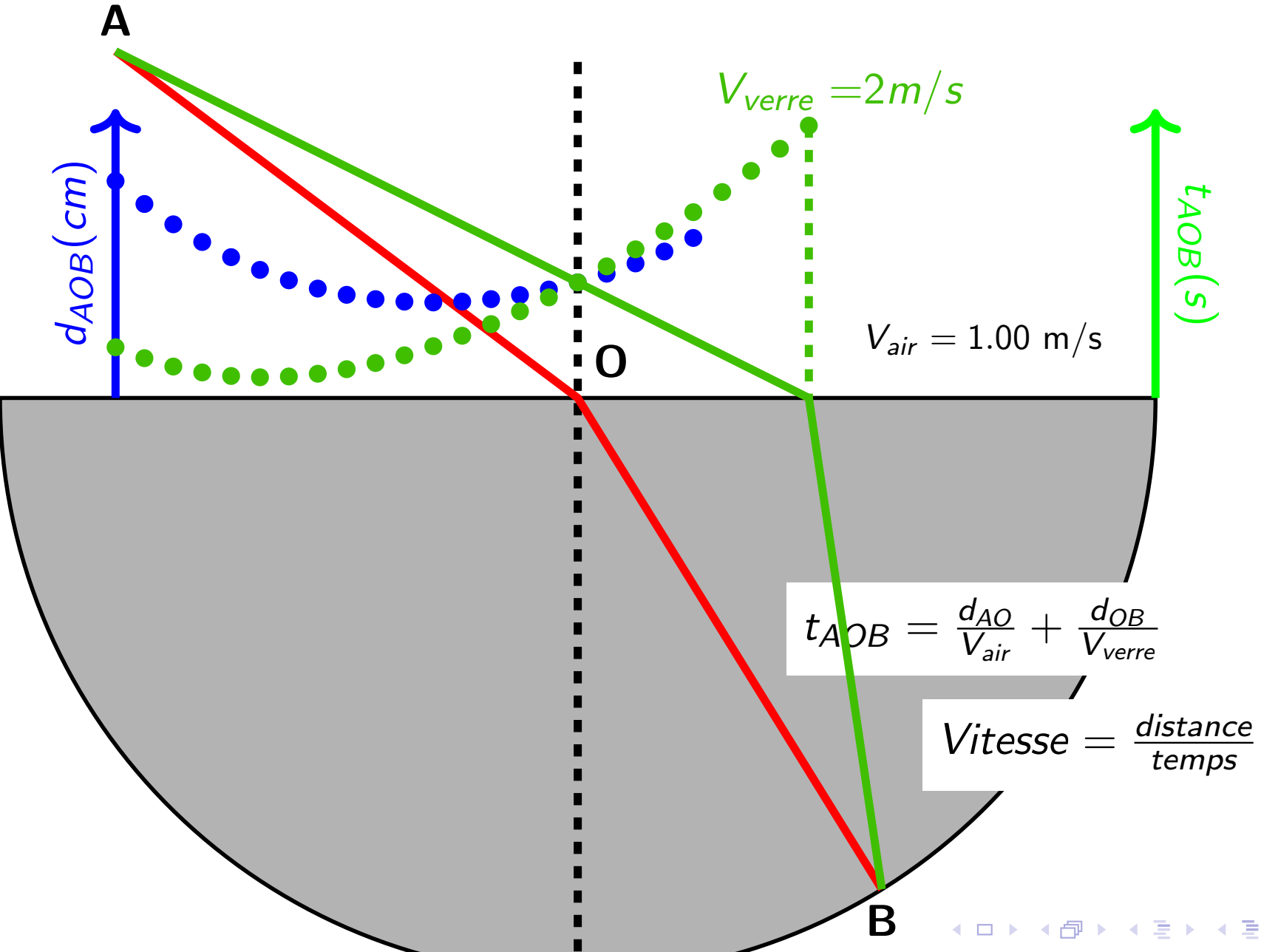
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





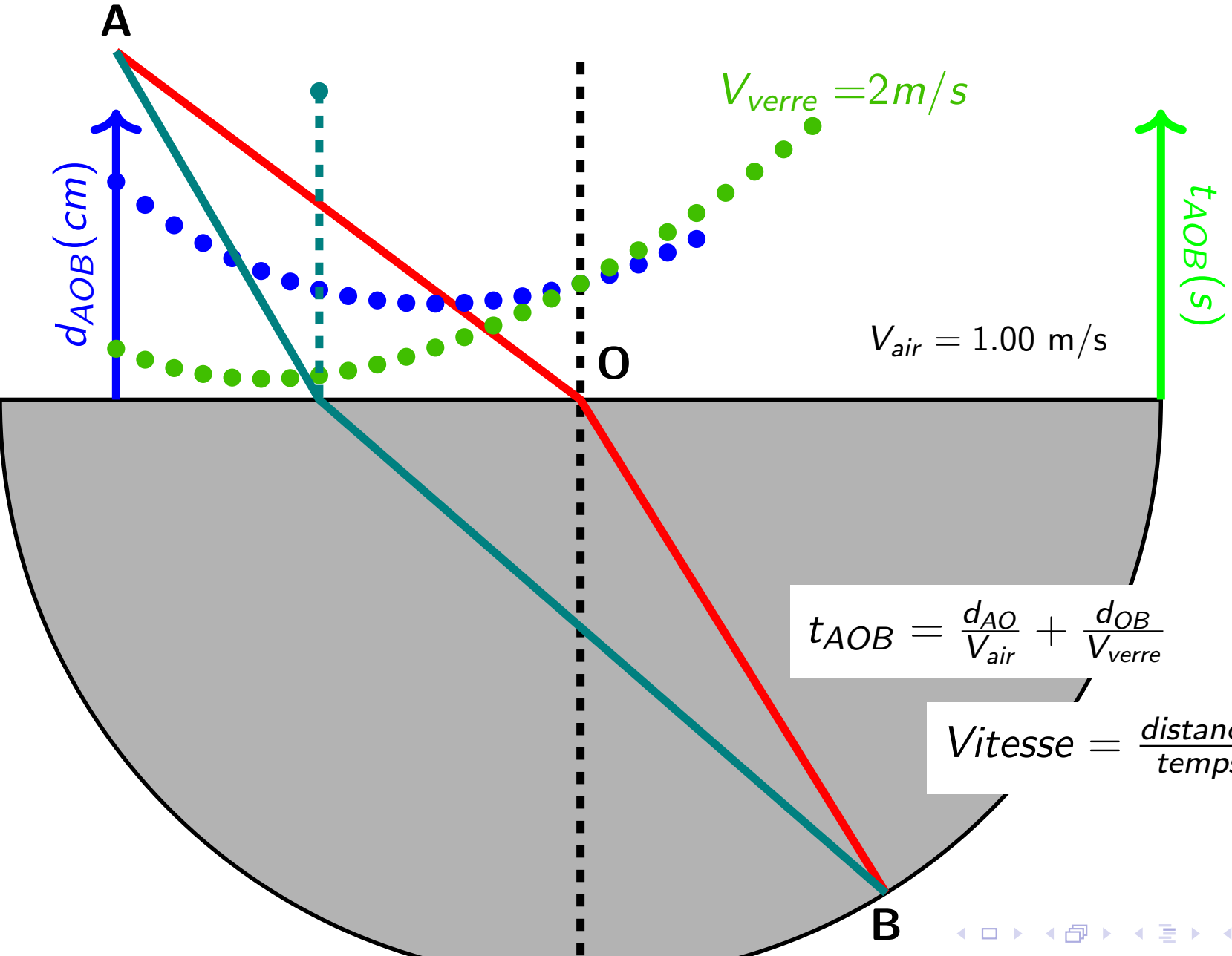
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





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

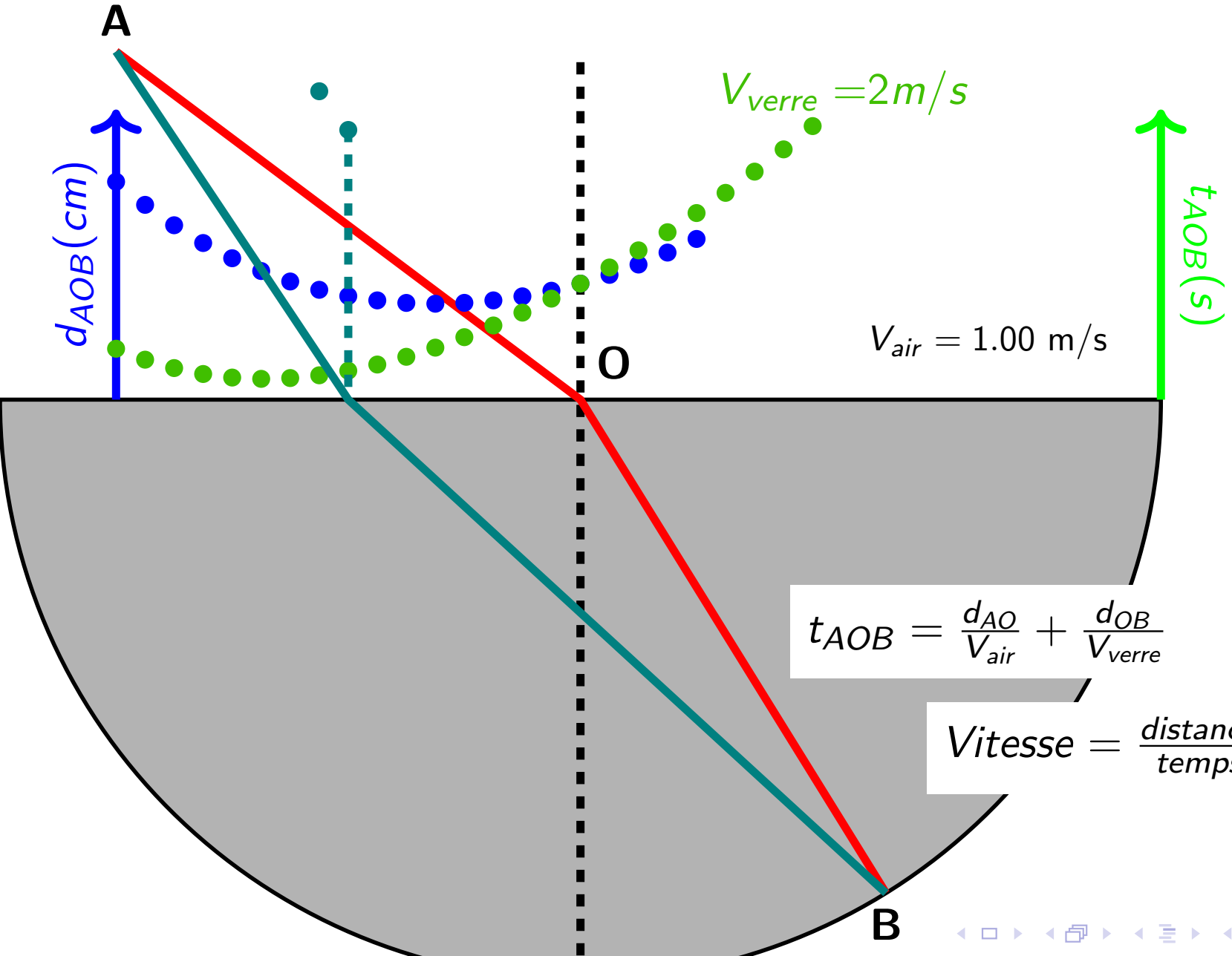
$$Vitesse = \frac{distance}{temps}$$

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$



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

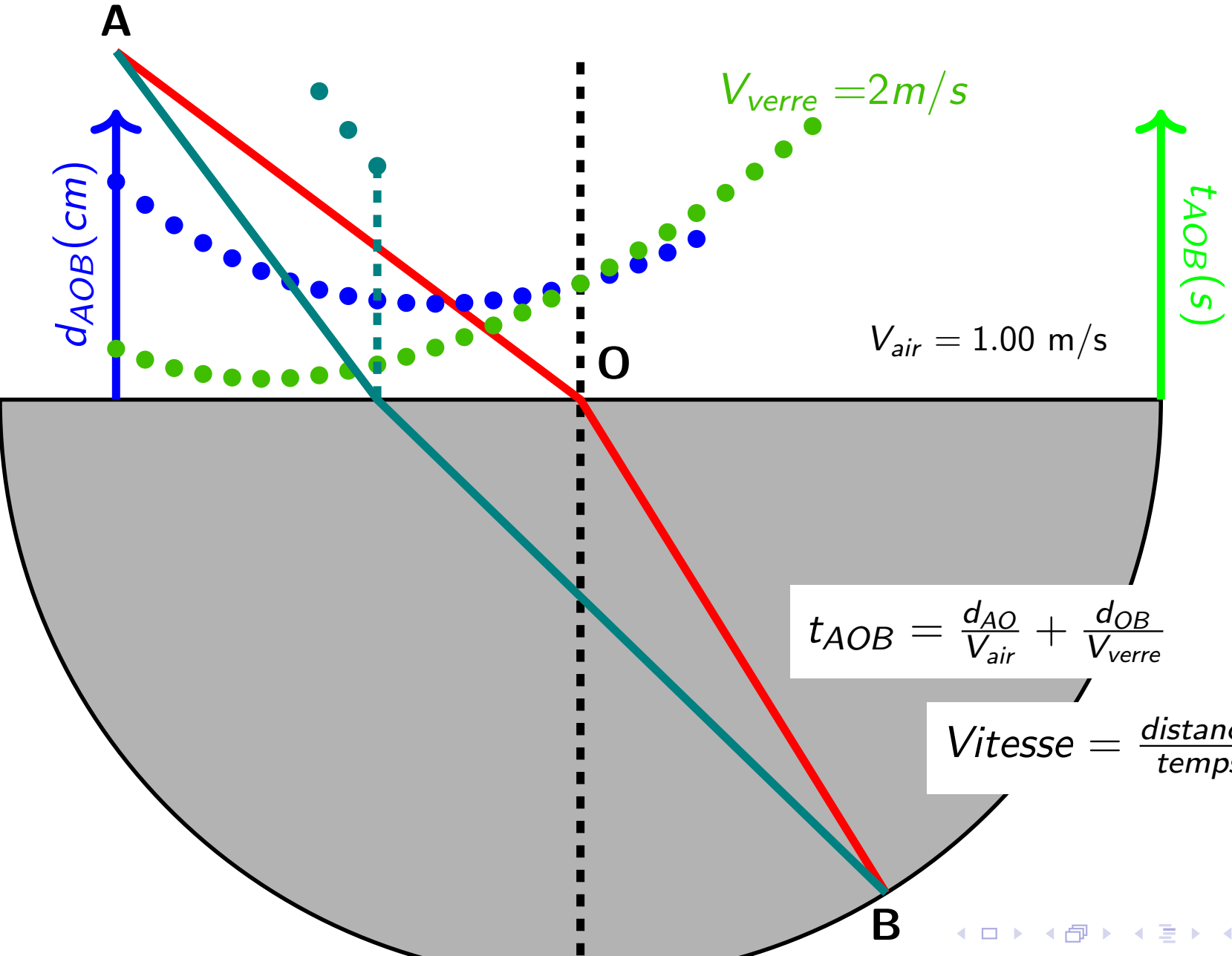
$$Vitesse = \frac{distance}{temps}$$

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$



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

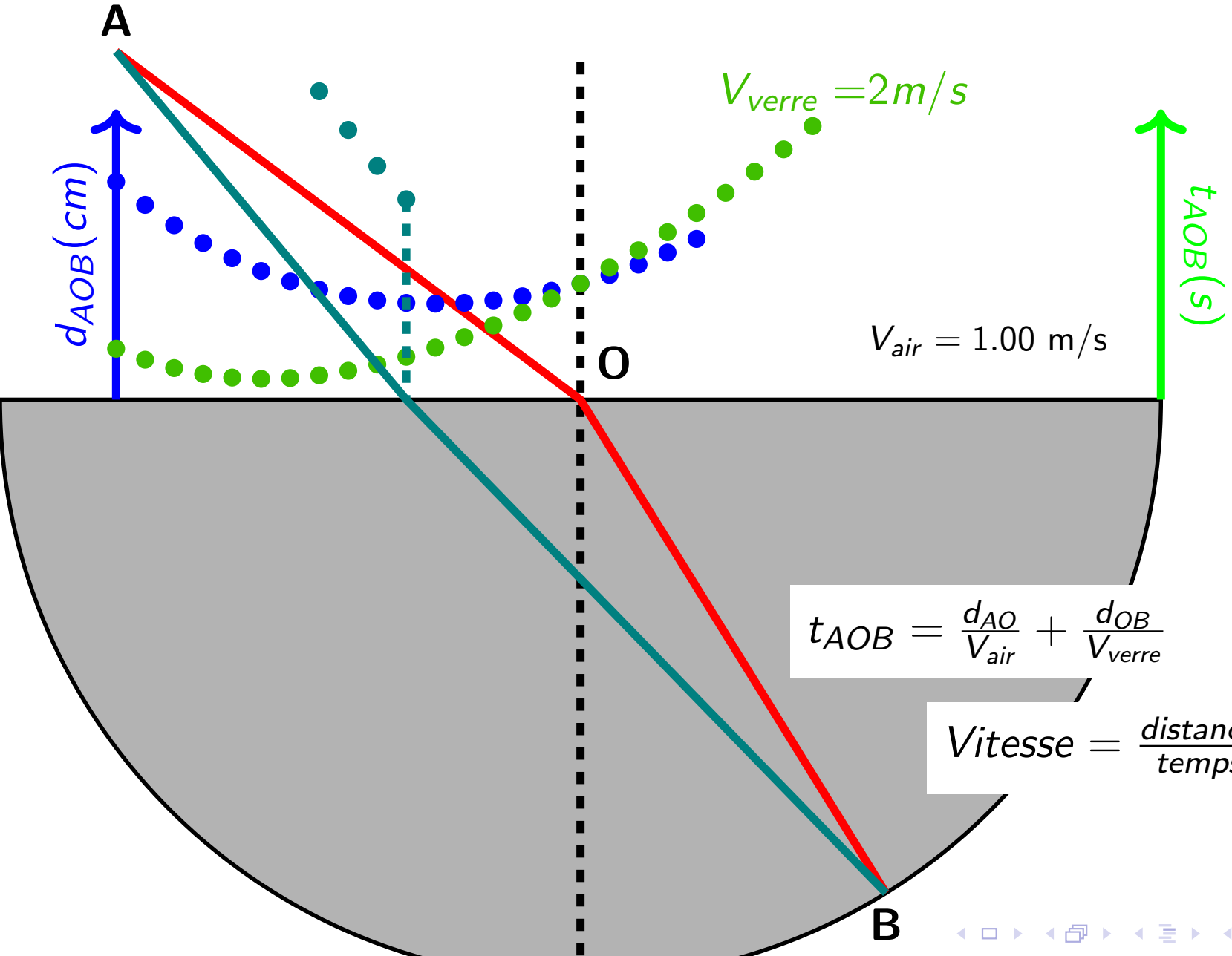
$$Vitesse = \frac{distance}{temps}$$

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$



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

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$

$V_{verre} = 2m/s$

A

O

B

$d_{AOB}(cm)$

$t_{AOB}(s)$

$V_{air} = 1.00$ m/s

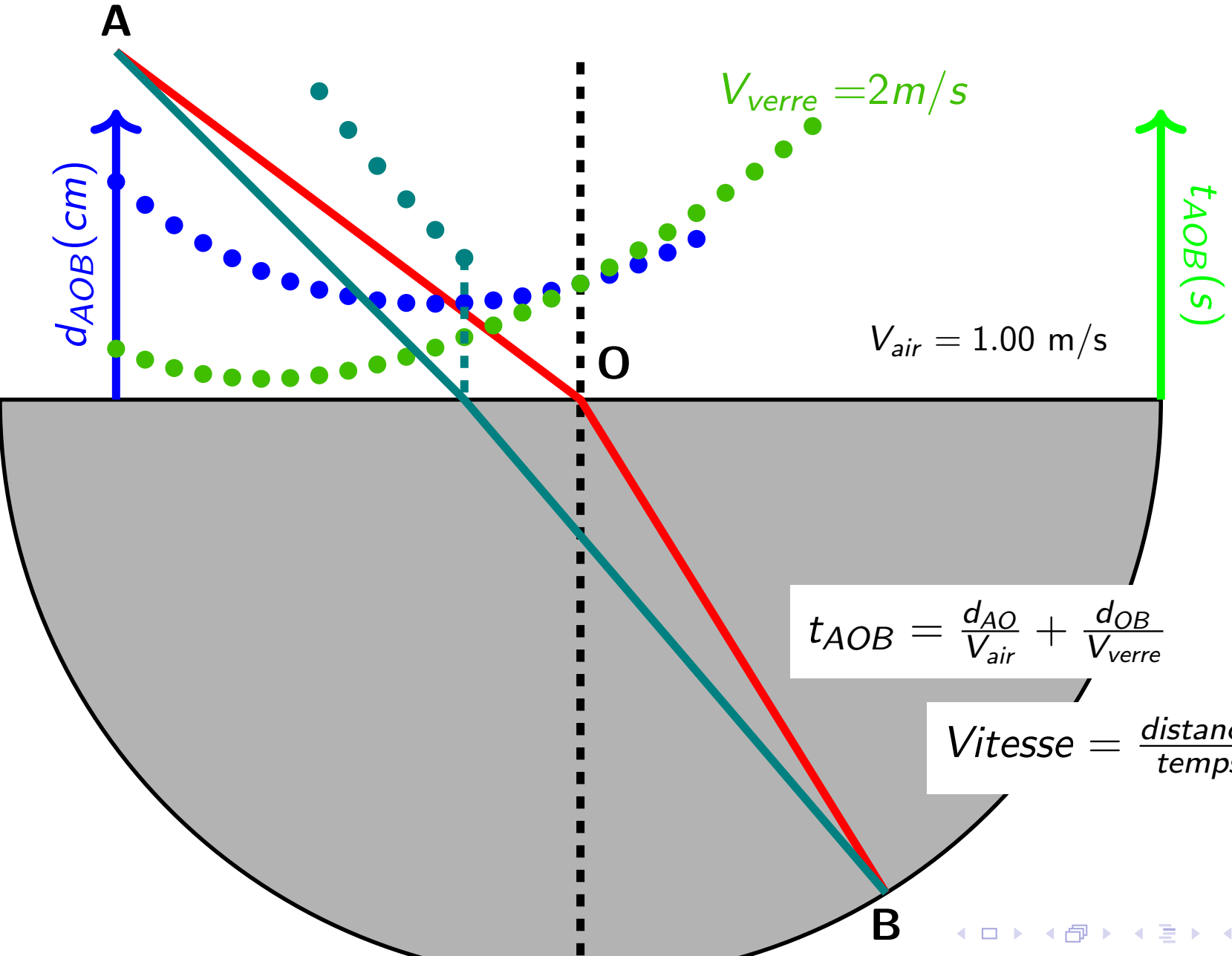
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





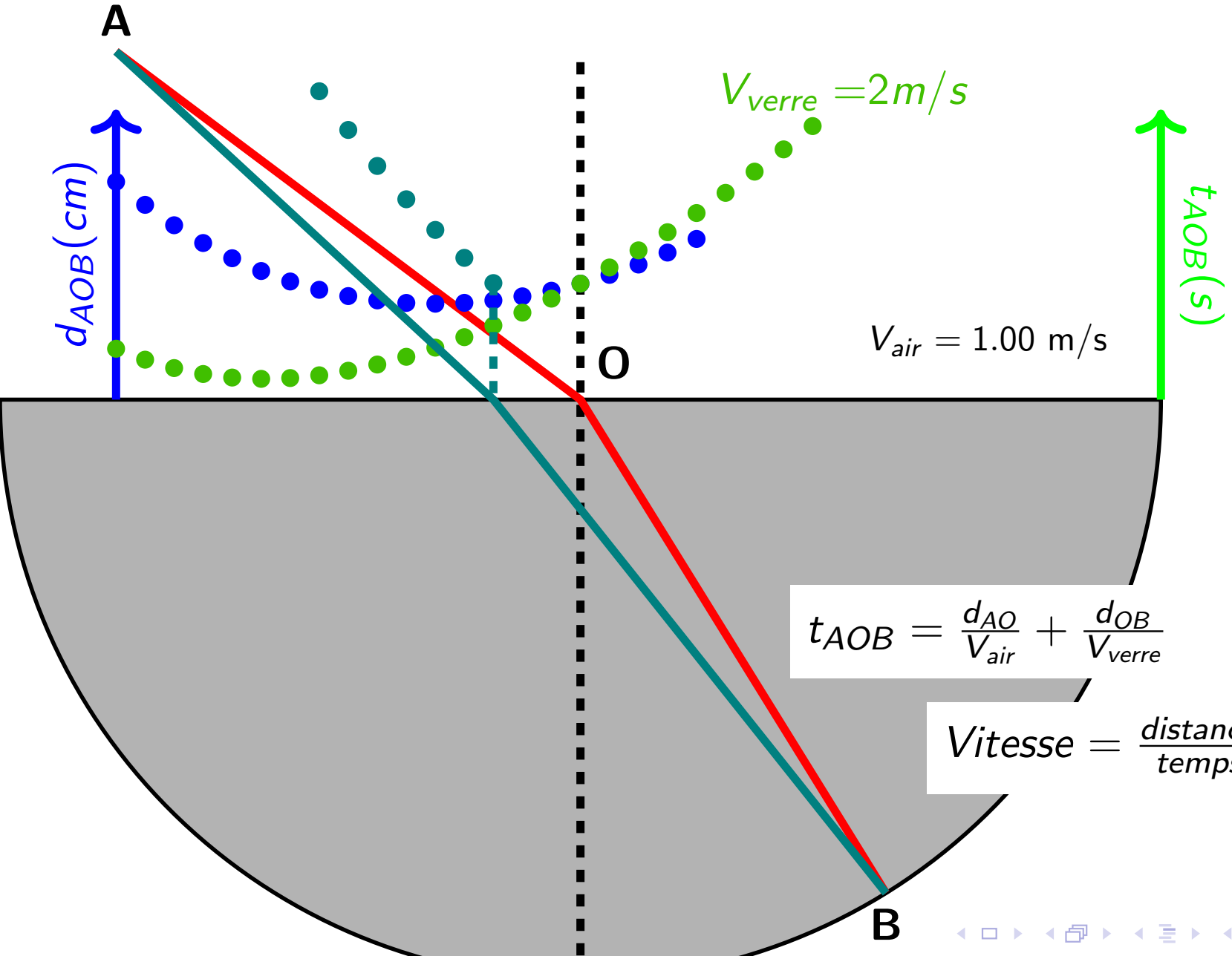
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





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

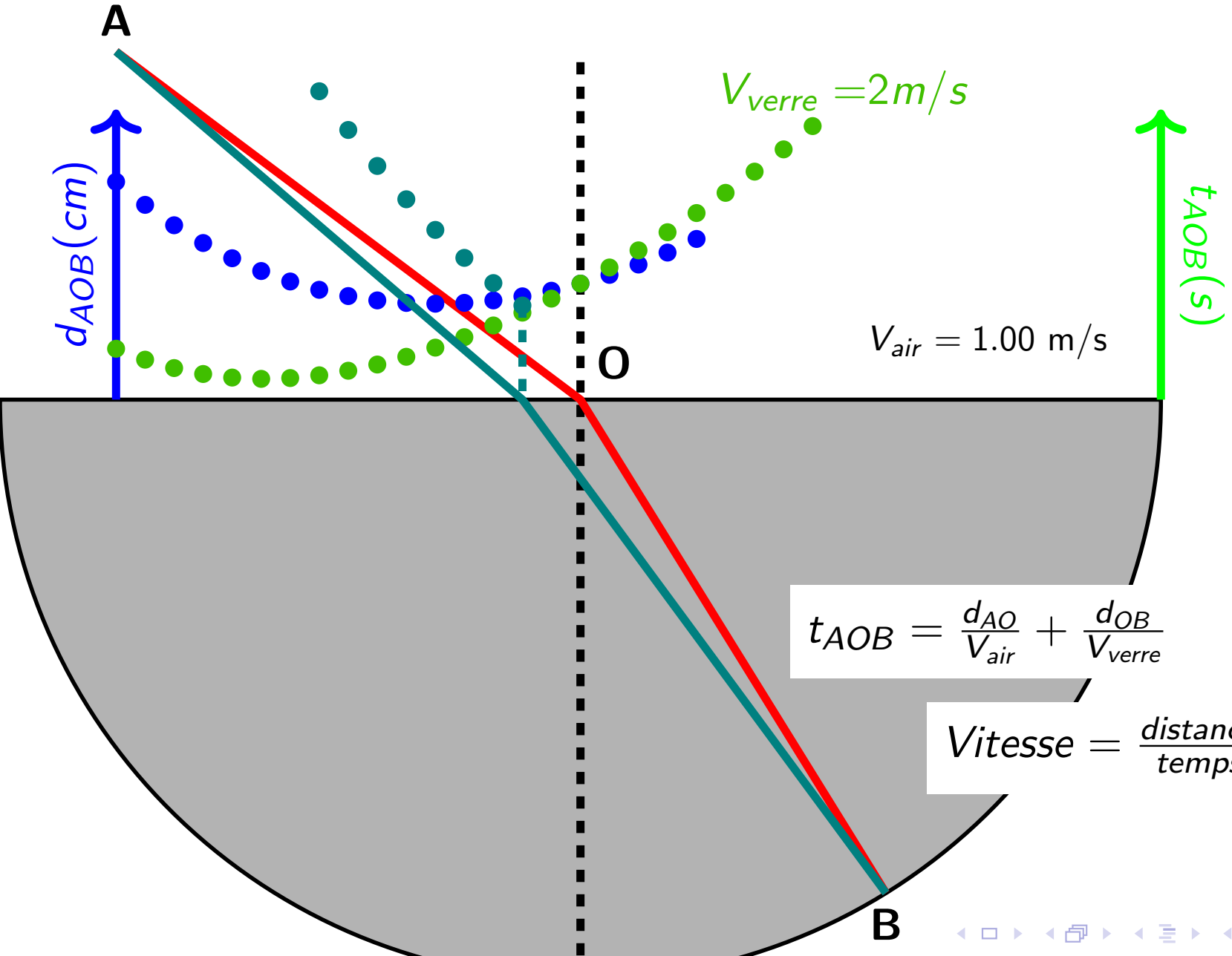
$$Vitesse = \frac{distance}{temps}$$

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$



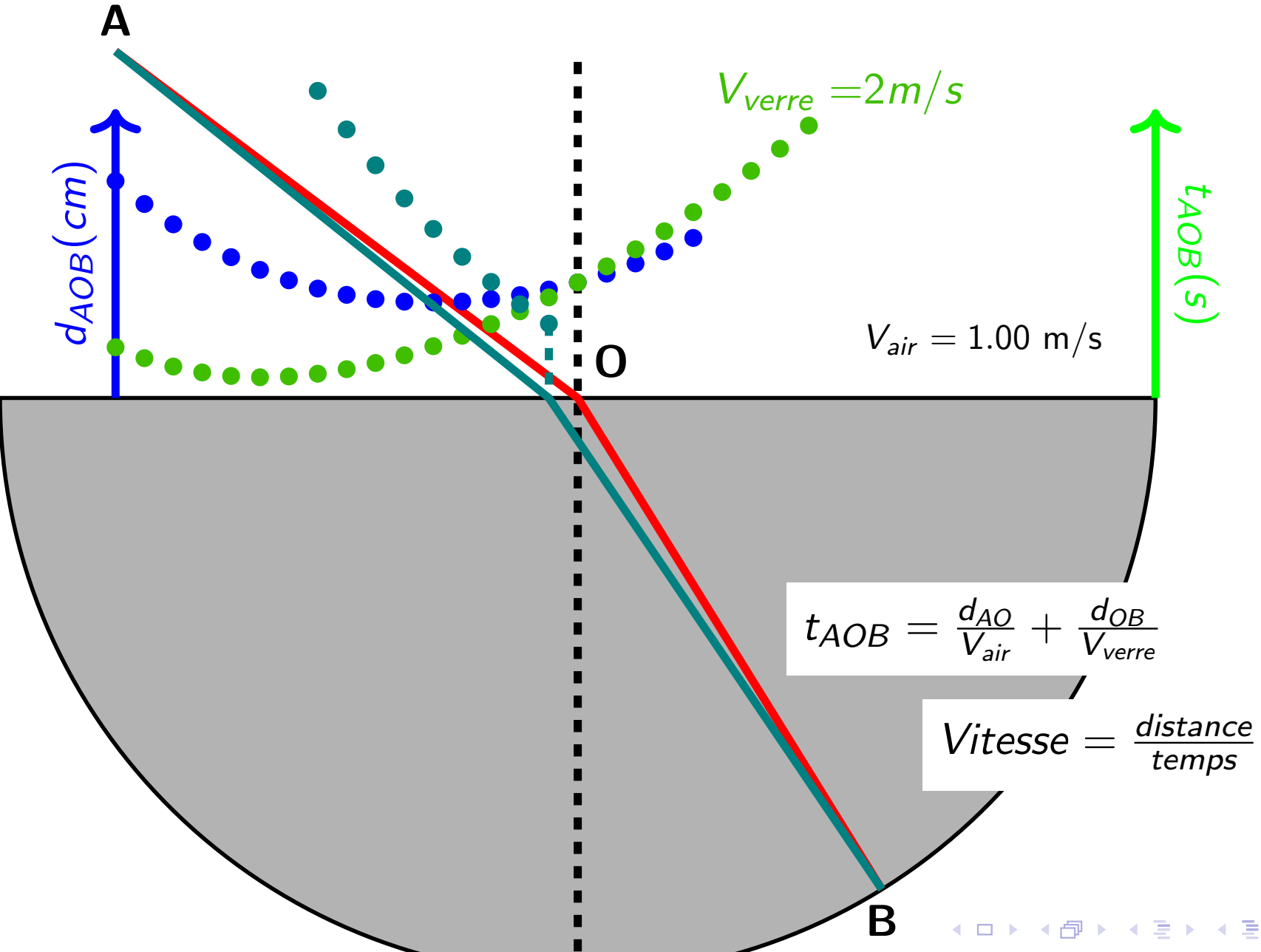
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





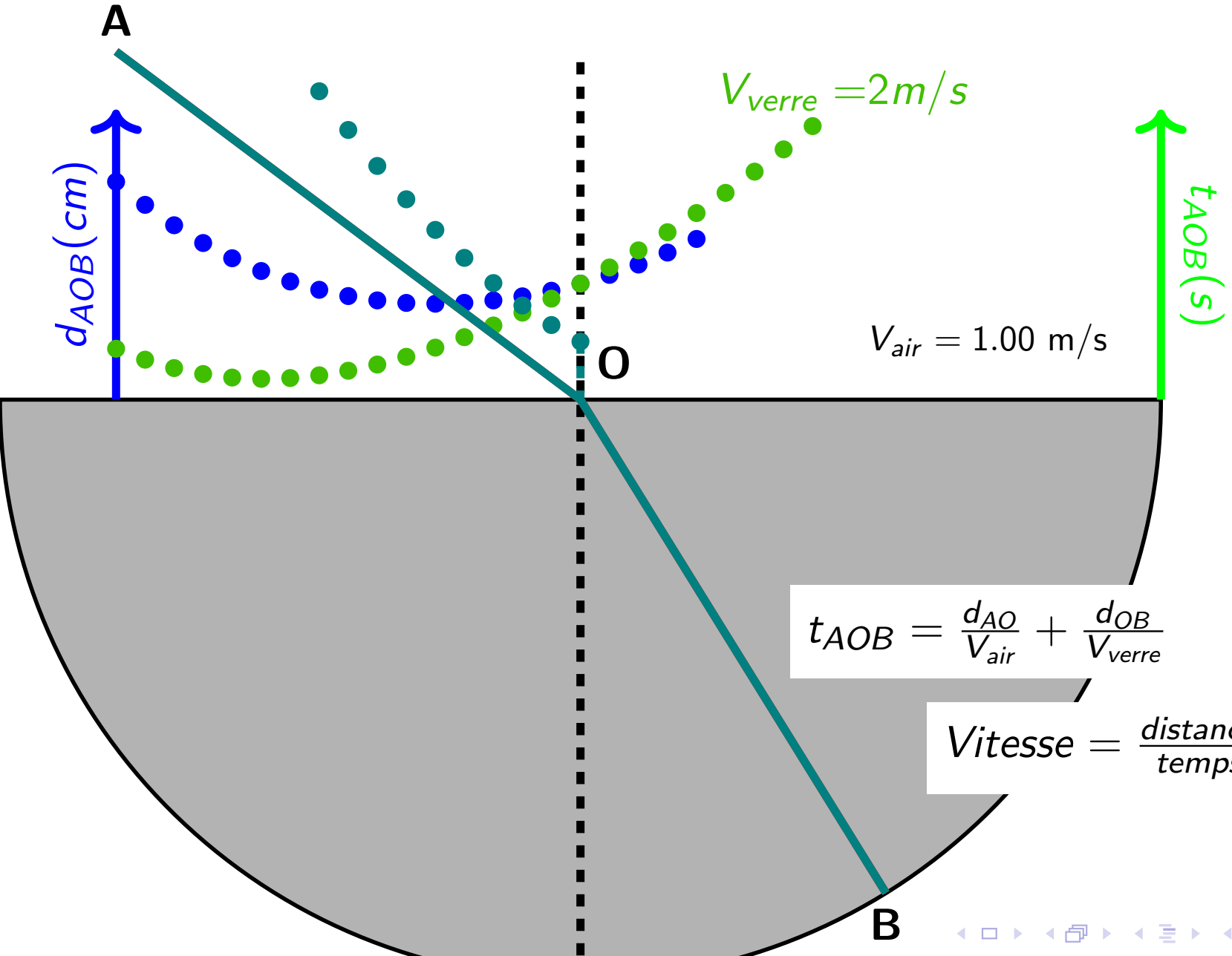
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





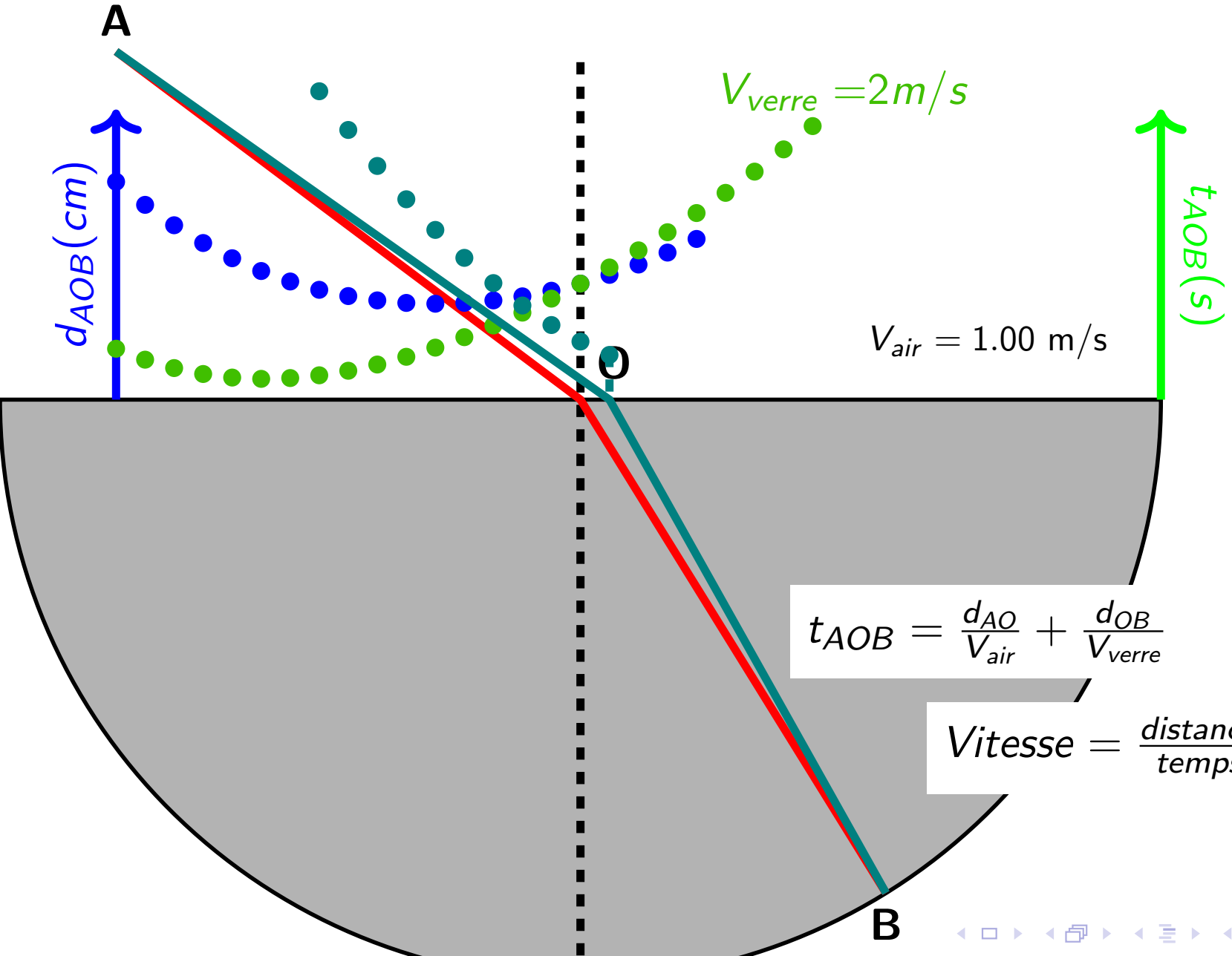
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





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

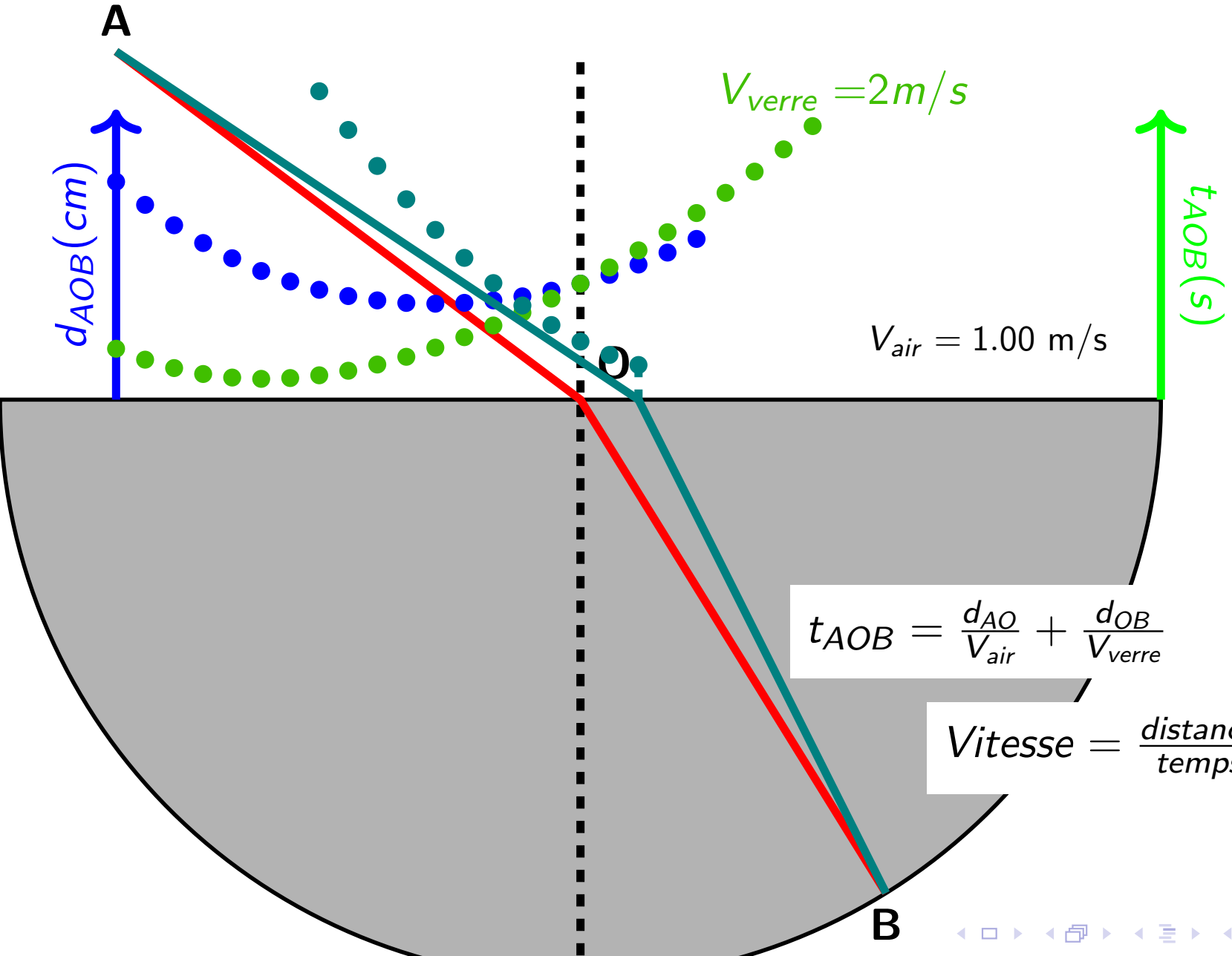
$$Vitesse = \frac{distance}{temps}$$

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$



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

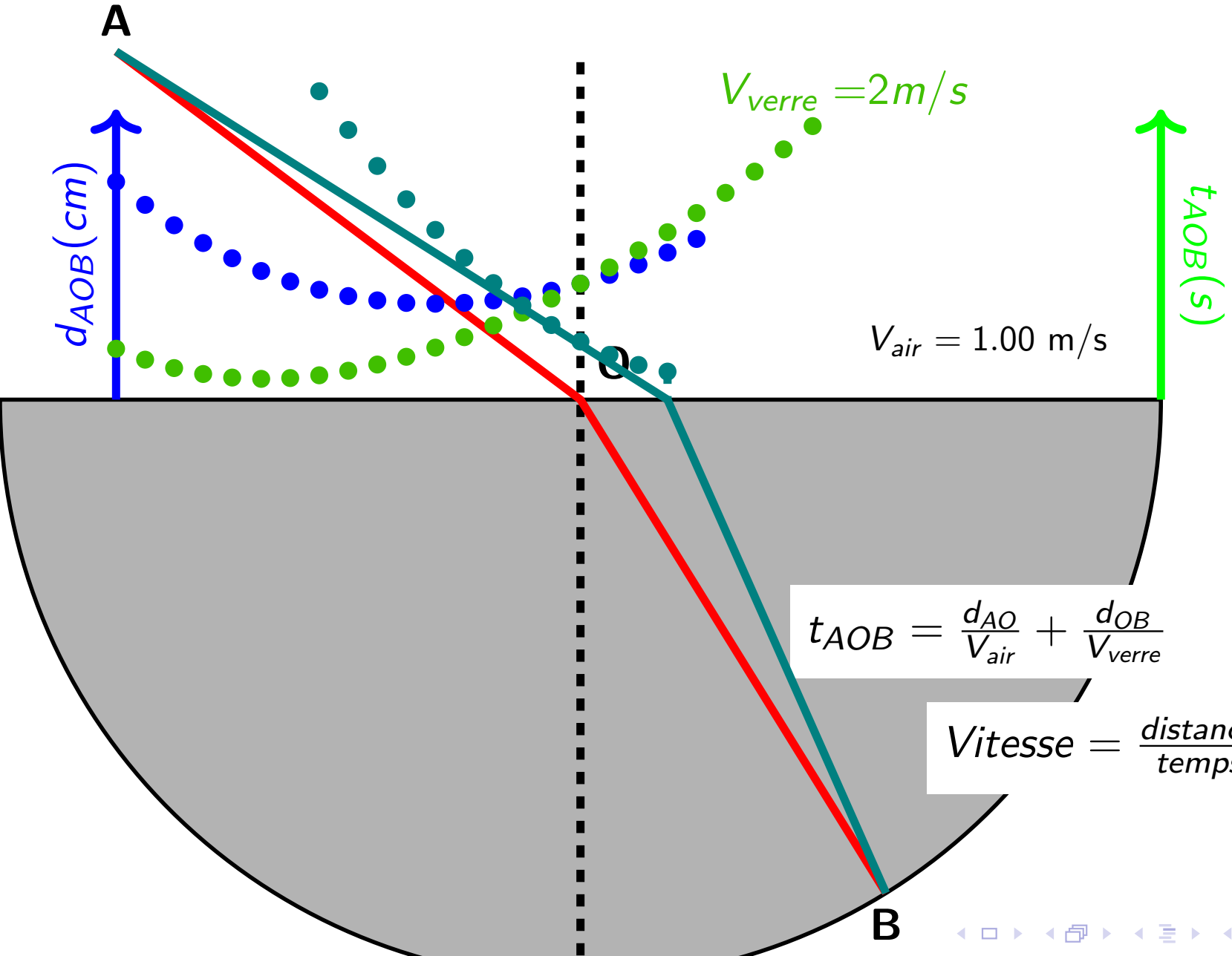
$$Vitesse = \frac{distance}{temps}$$

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$



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

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

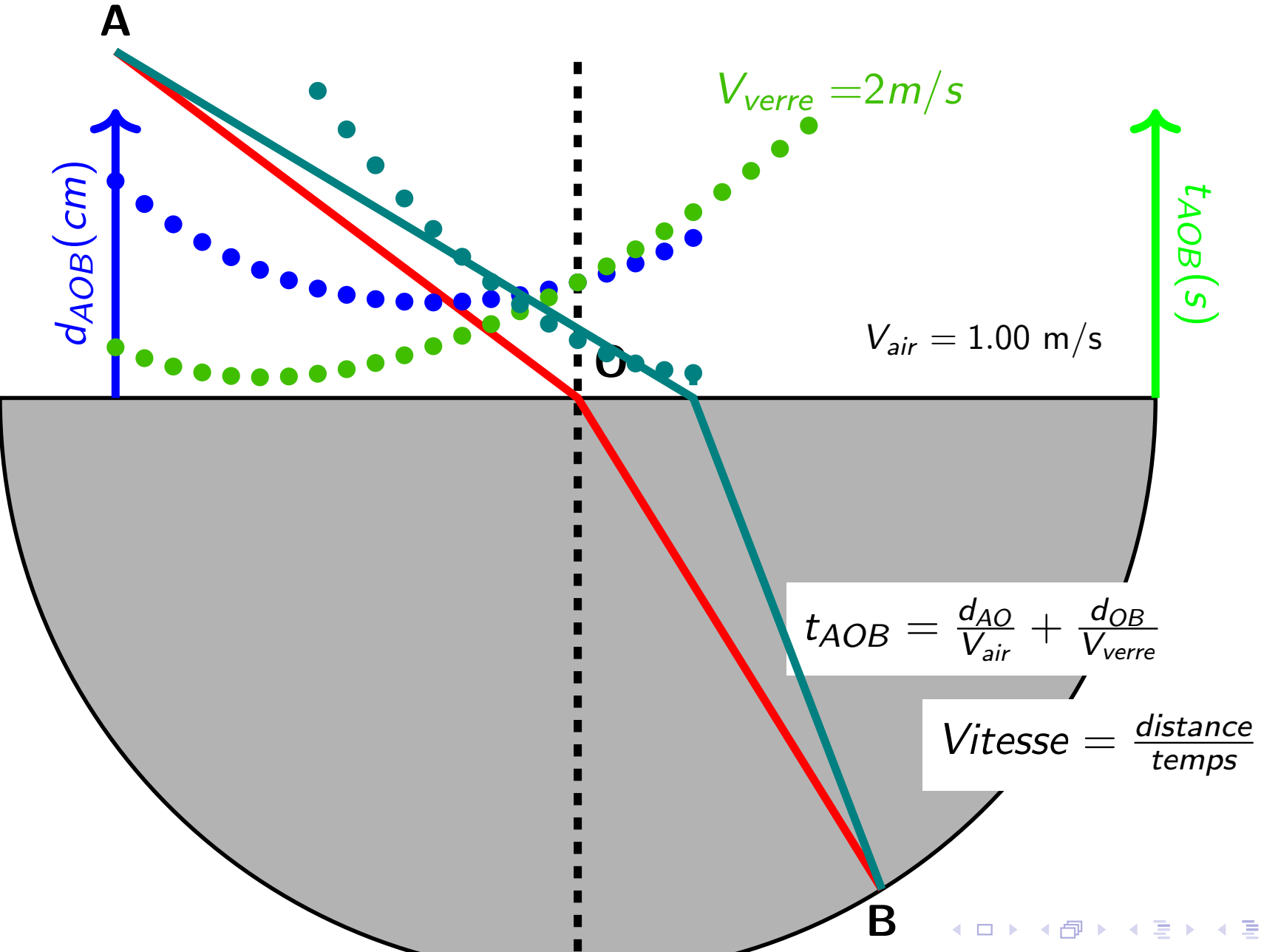
La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$

$V_{verre} = 2m/s$



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

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

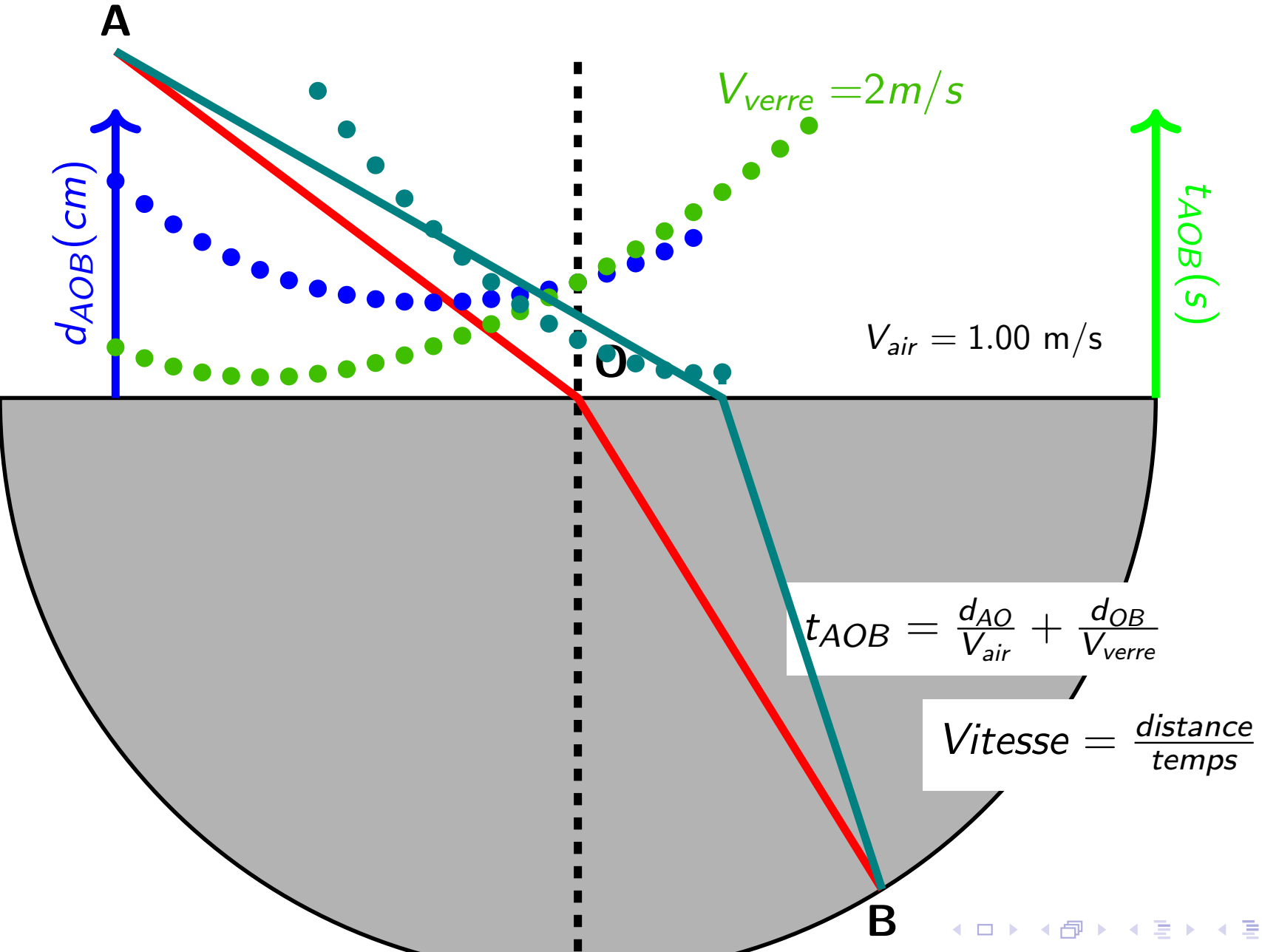
La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$

$V_{verre} = 2m/s$



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

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$

$V_{verre} = 2m/s$

A

O

B

$d_{AOB}(cm)$

$t_{AOB}(s)$

$V_{air} = 1.00$ m/s

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

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$

$V_{verre} = 2m/s$

A

O

B

$d_{AOB}(cm)$

$t_{AOB}(s)$

$V_{air} = 1.00$ m/s

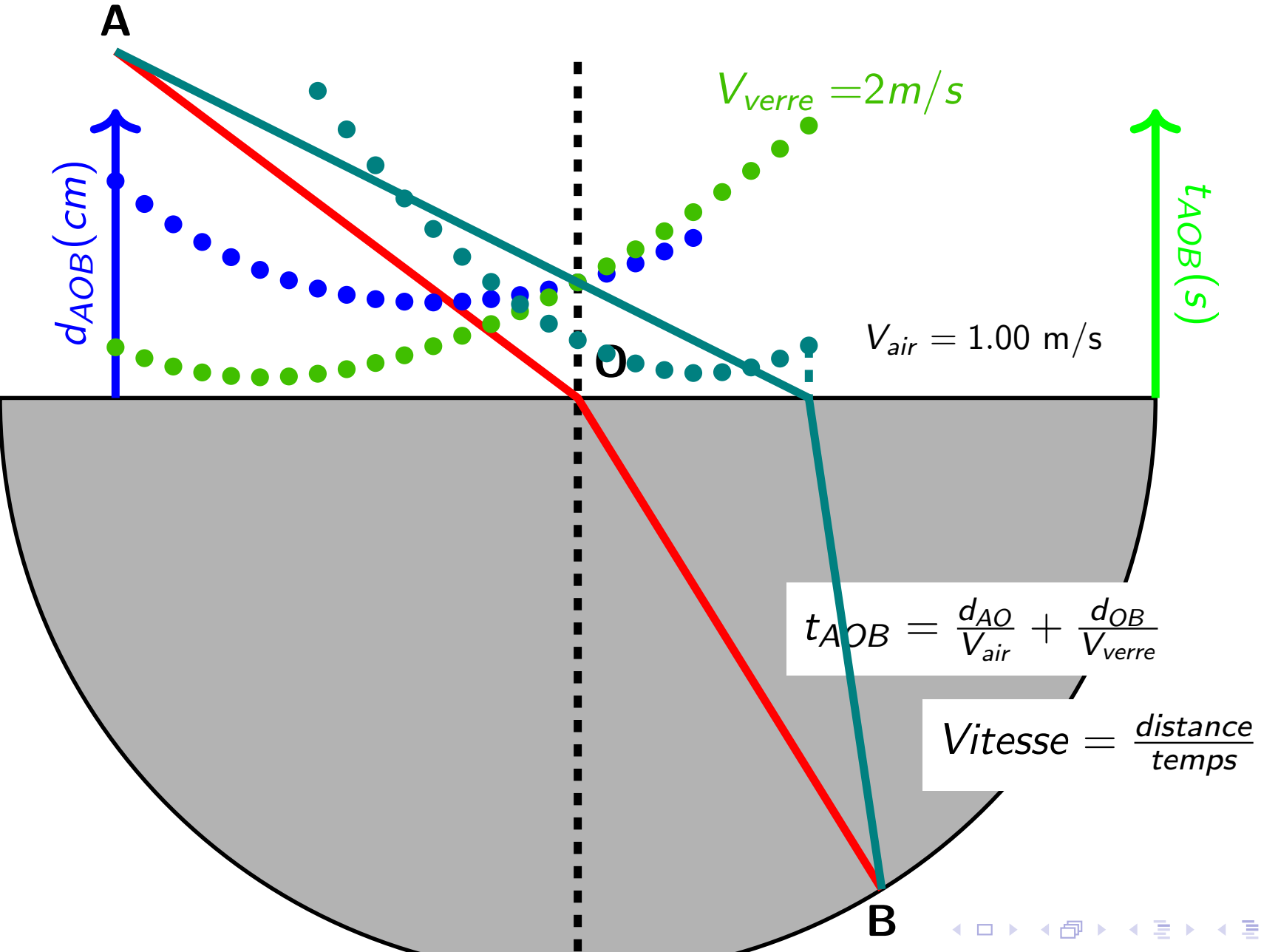
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





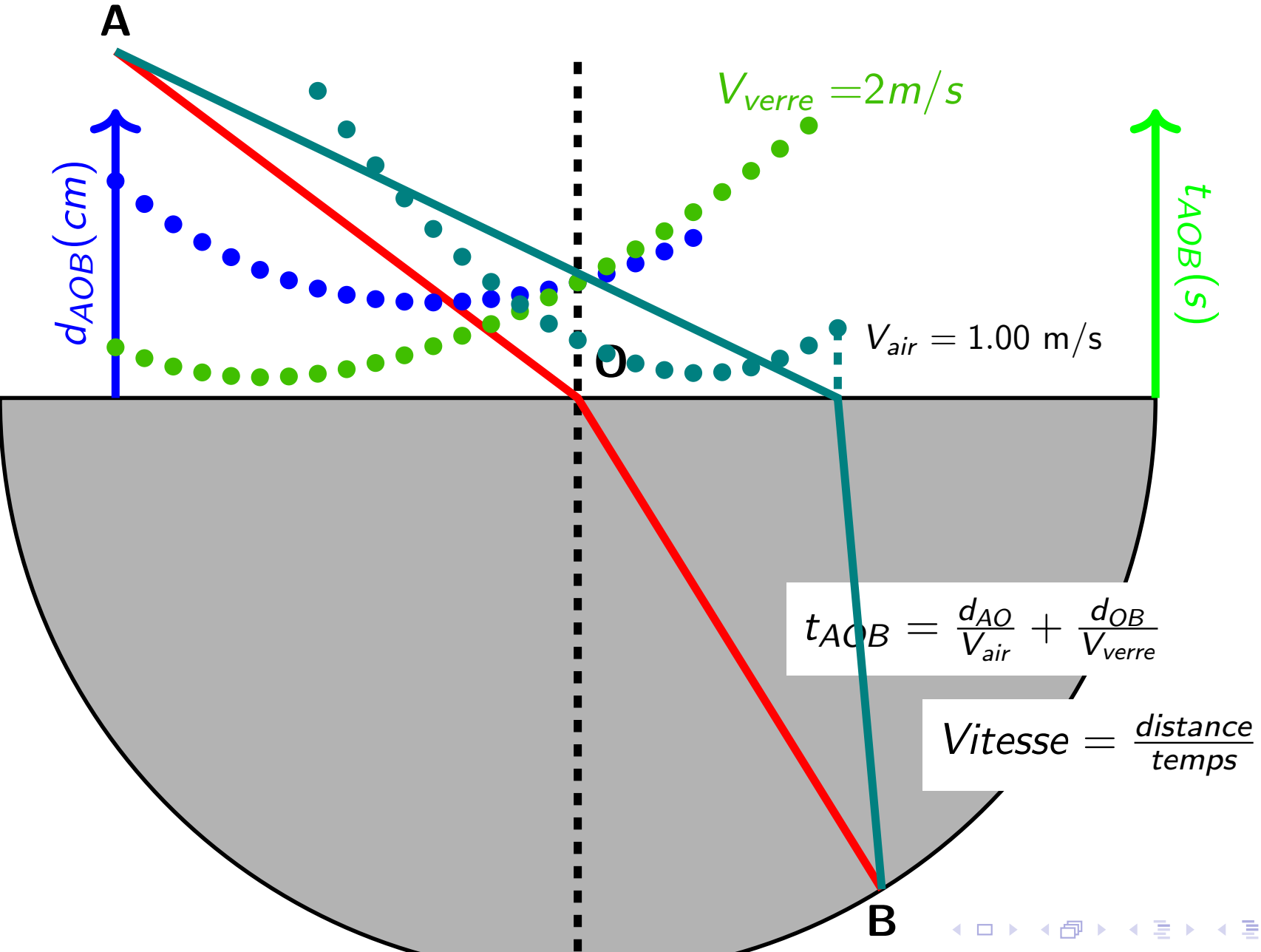
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





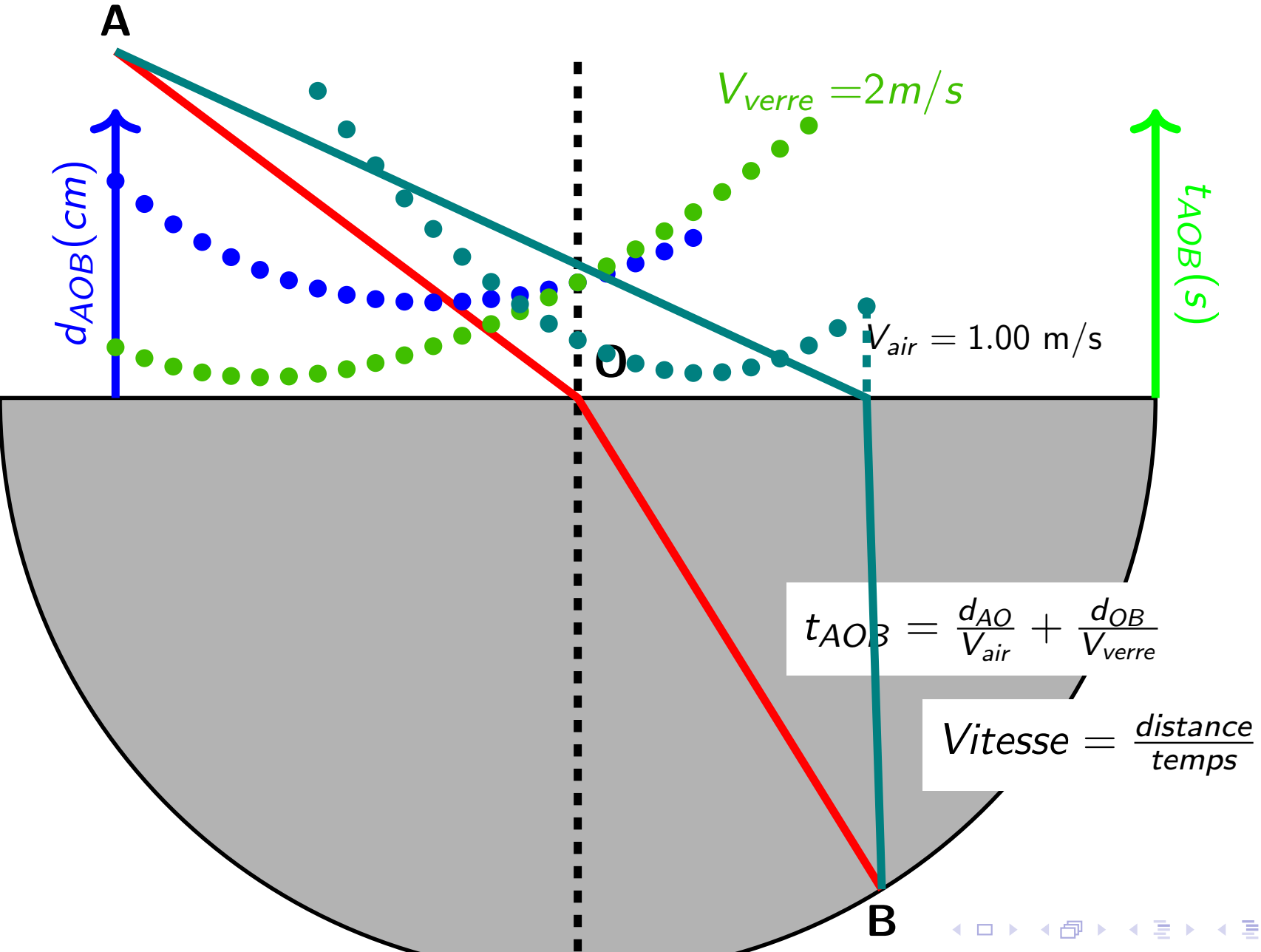
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





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

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

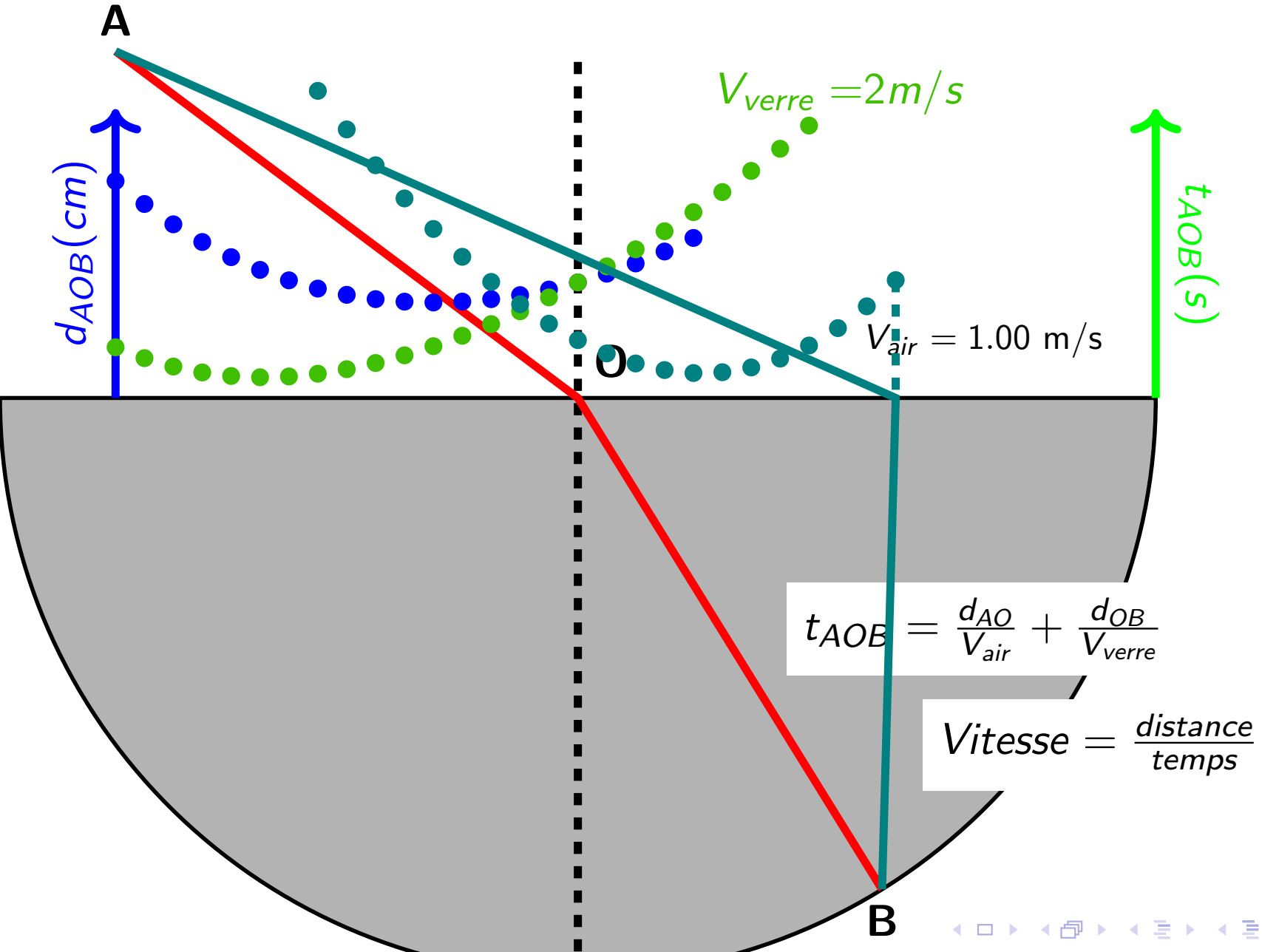
La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$

$V_{verre} = 2m/s$



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

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$

$V_{verre} = 2m/s$

A

O

B

$d_{AOB}(cm)$

$t_{AOB}(s)$

$V_{air} = 1.00$ m/s

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

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$

$V_{verre} = 2m/s$

A

O

B

$V_{air} = 1.00$ m/s

$d_{AOB}(cm)$

$t_{AOB}(s)$

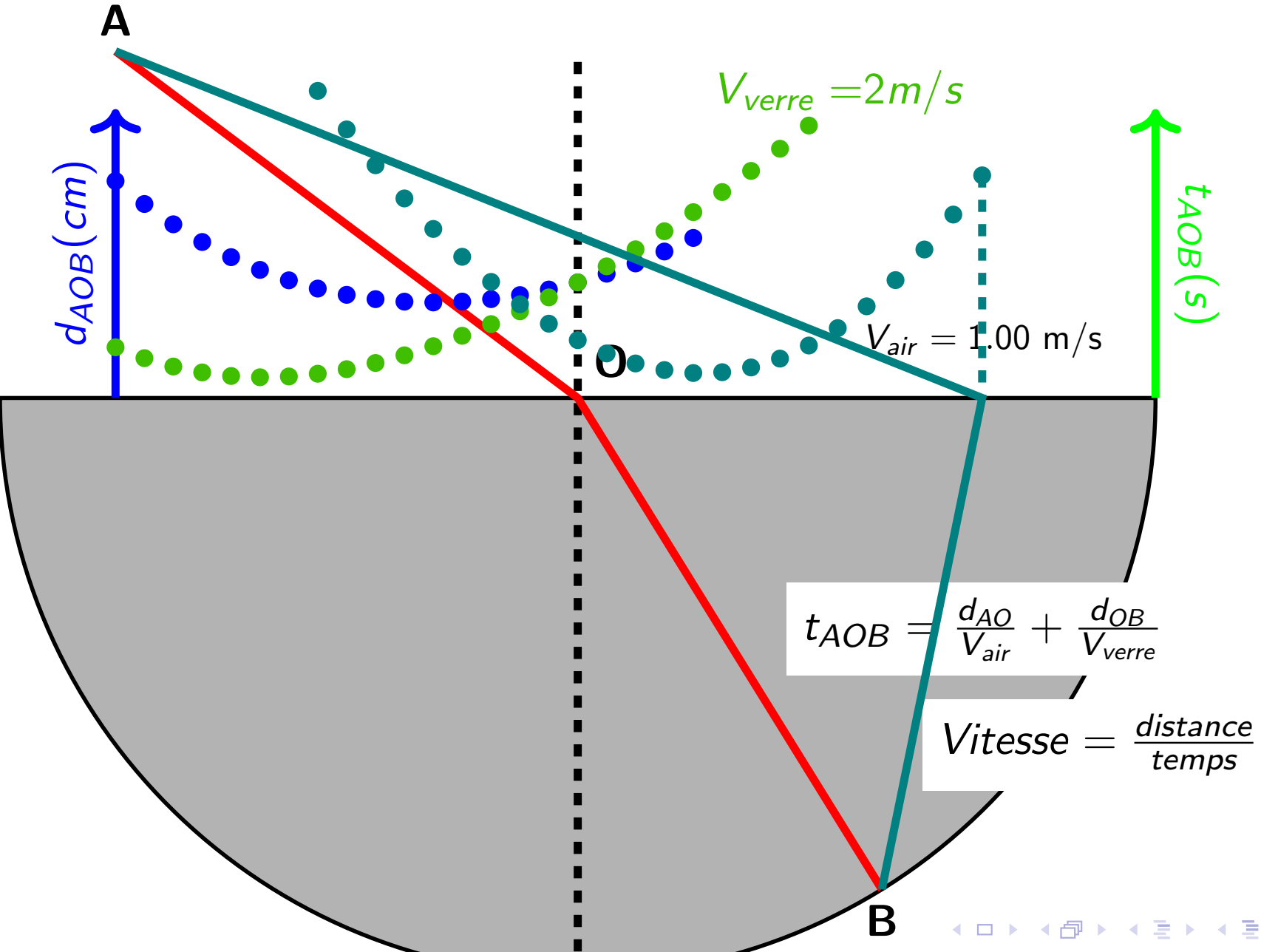
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





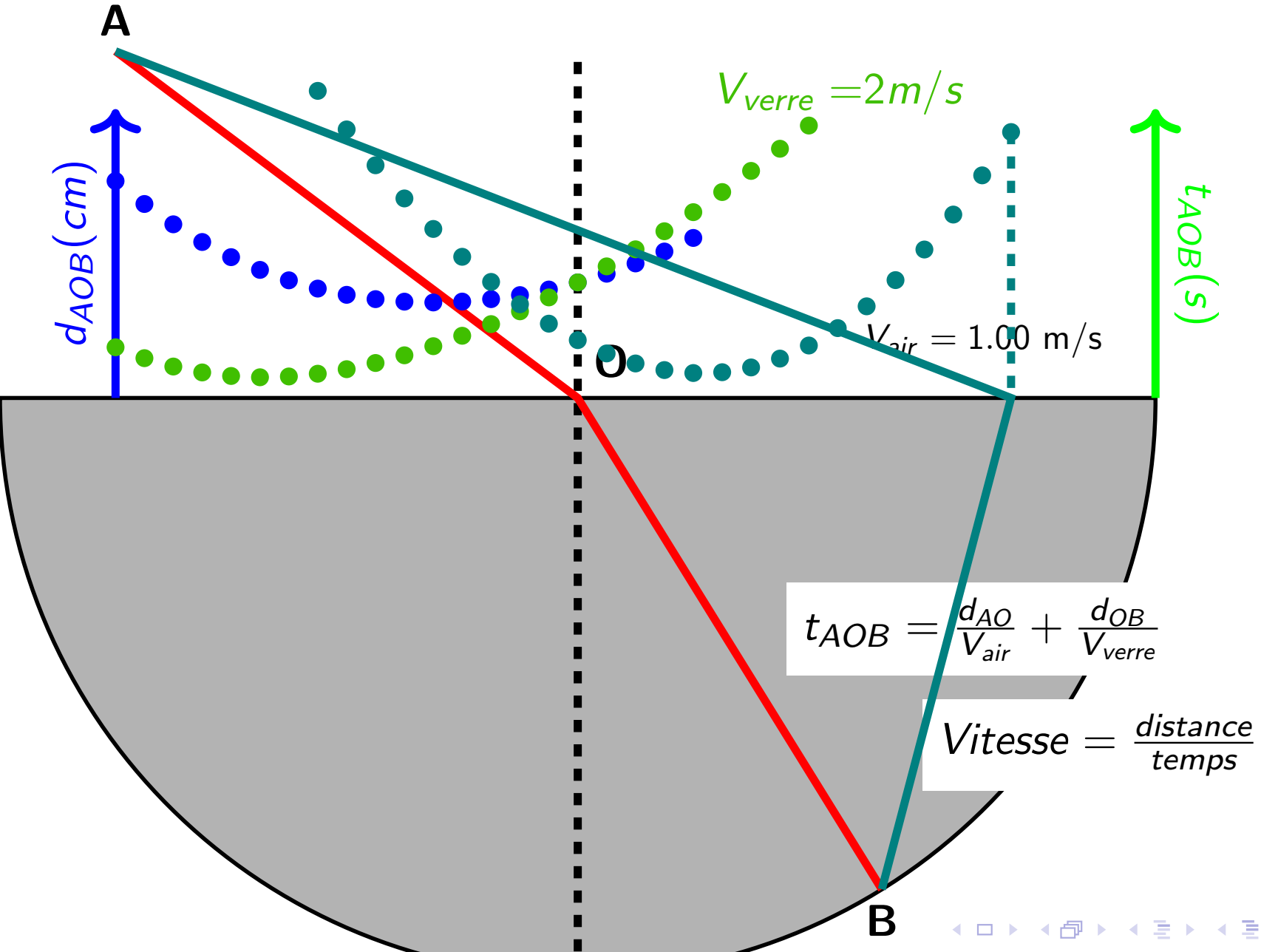
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





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

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4 m/s$

$V_{verre} = 2 m/s$

A

O

B

$d_{AOB}(cm)$

$t_{AOB}(s)$

$V_{air} = 1.00$ m/s

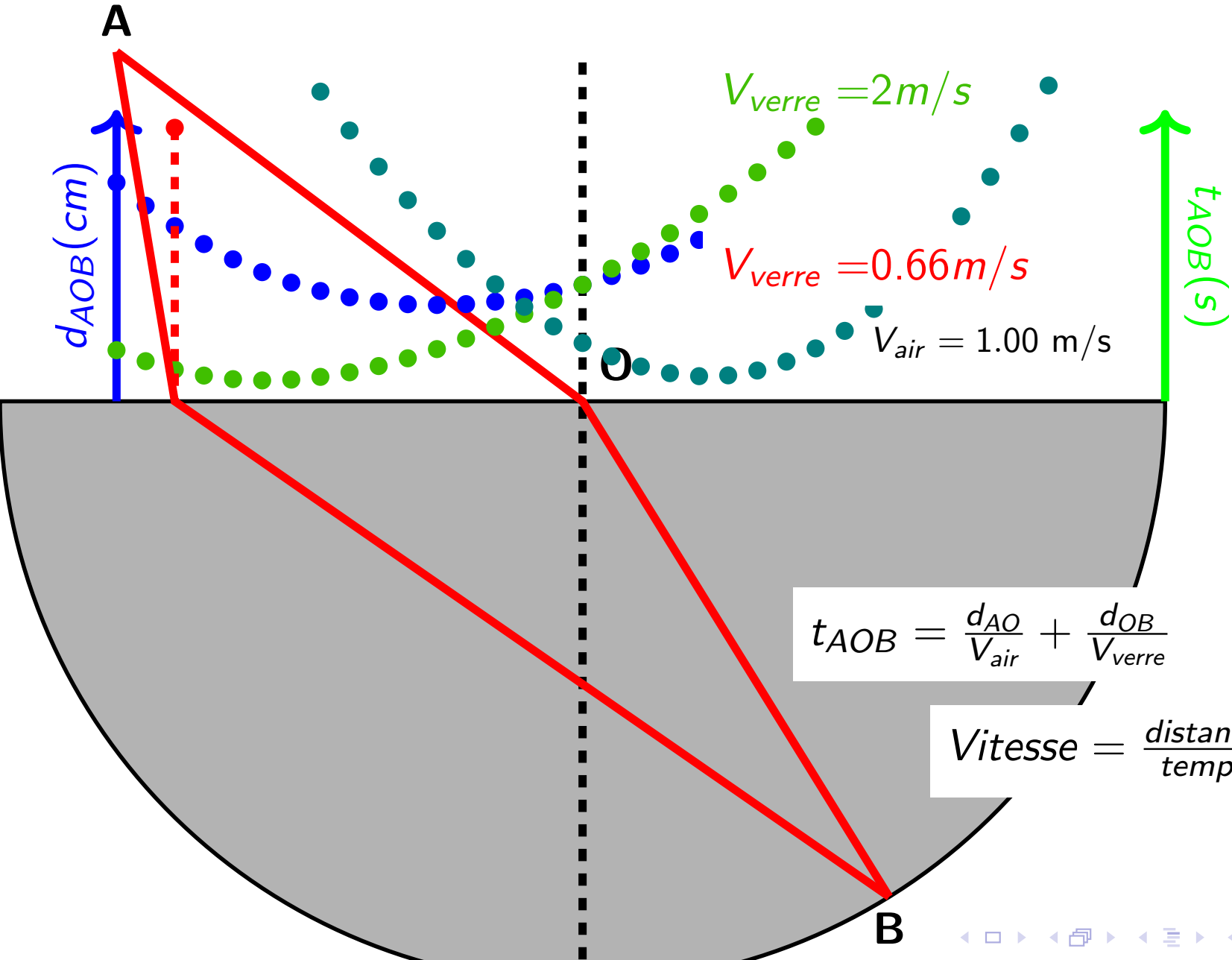
$$t_{AOB} = \frac{s_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





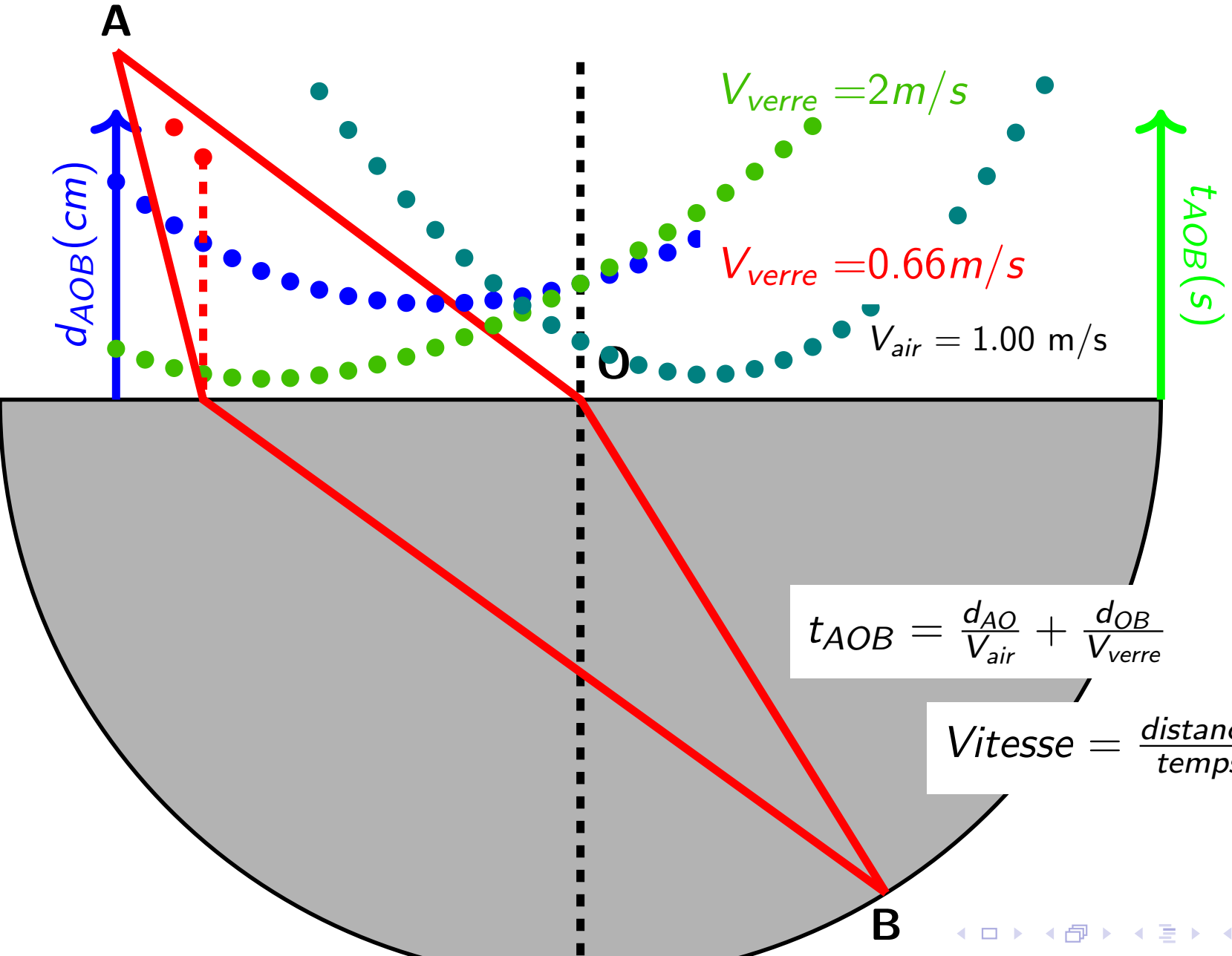
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





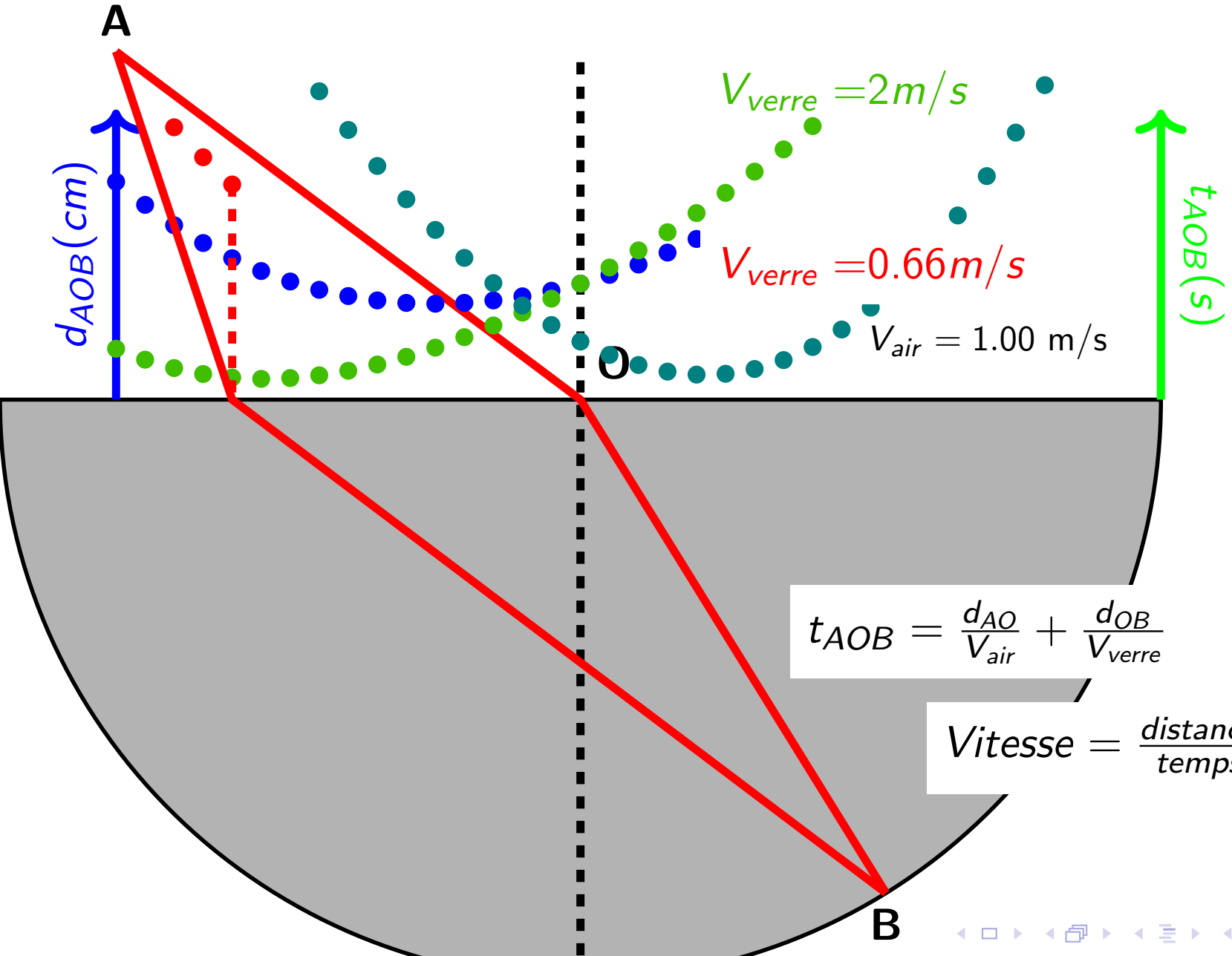
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





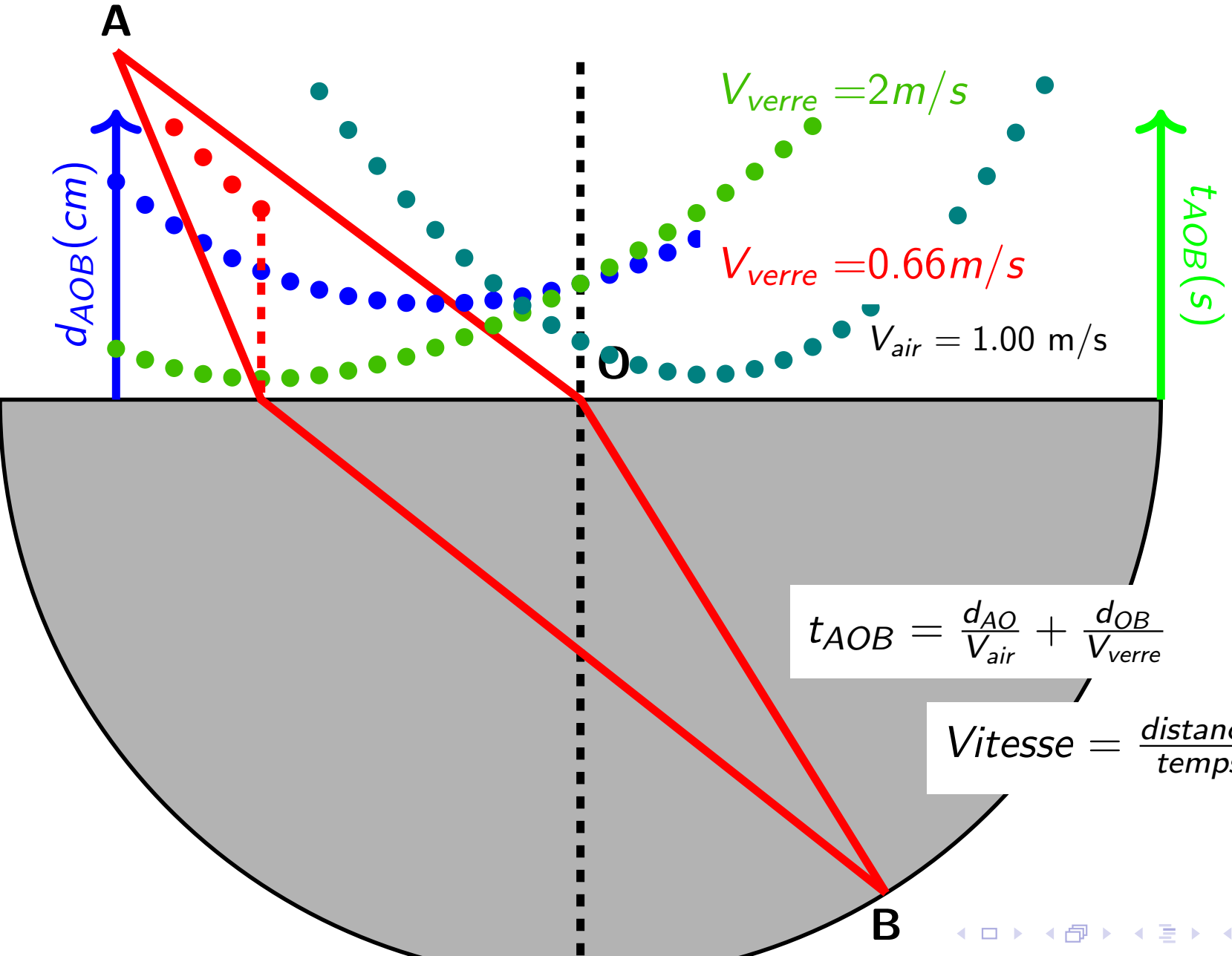
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





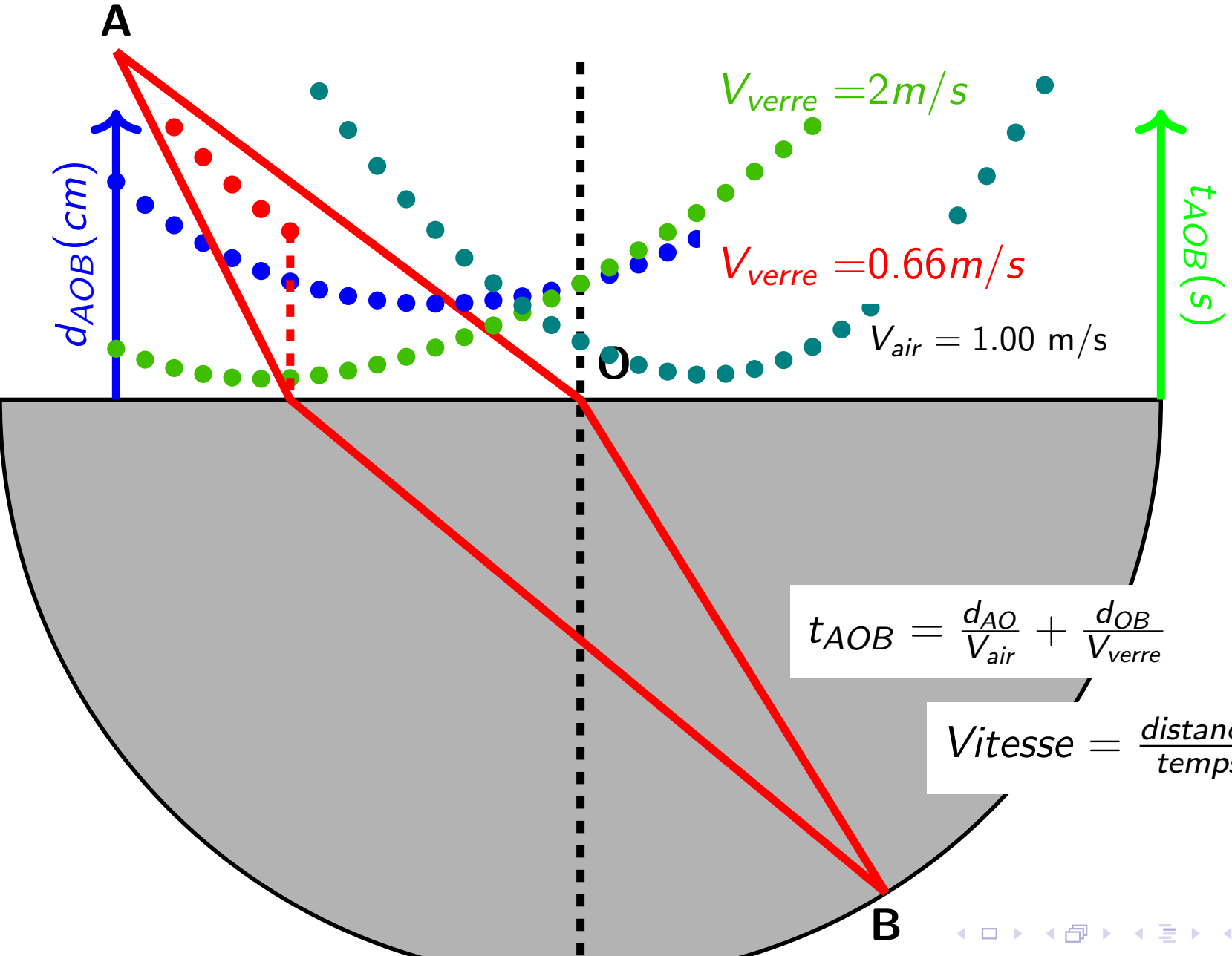
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





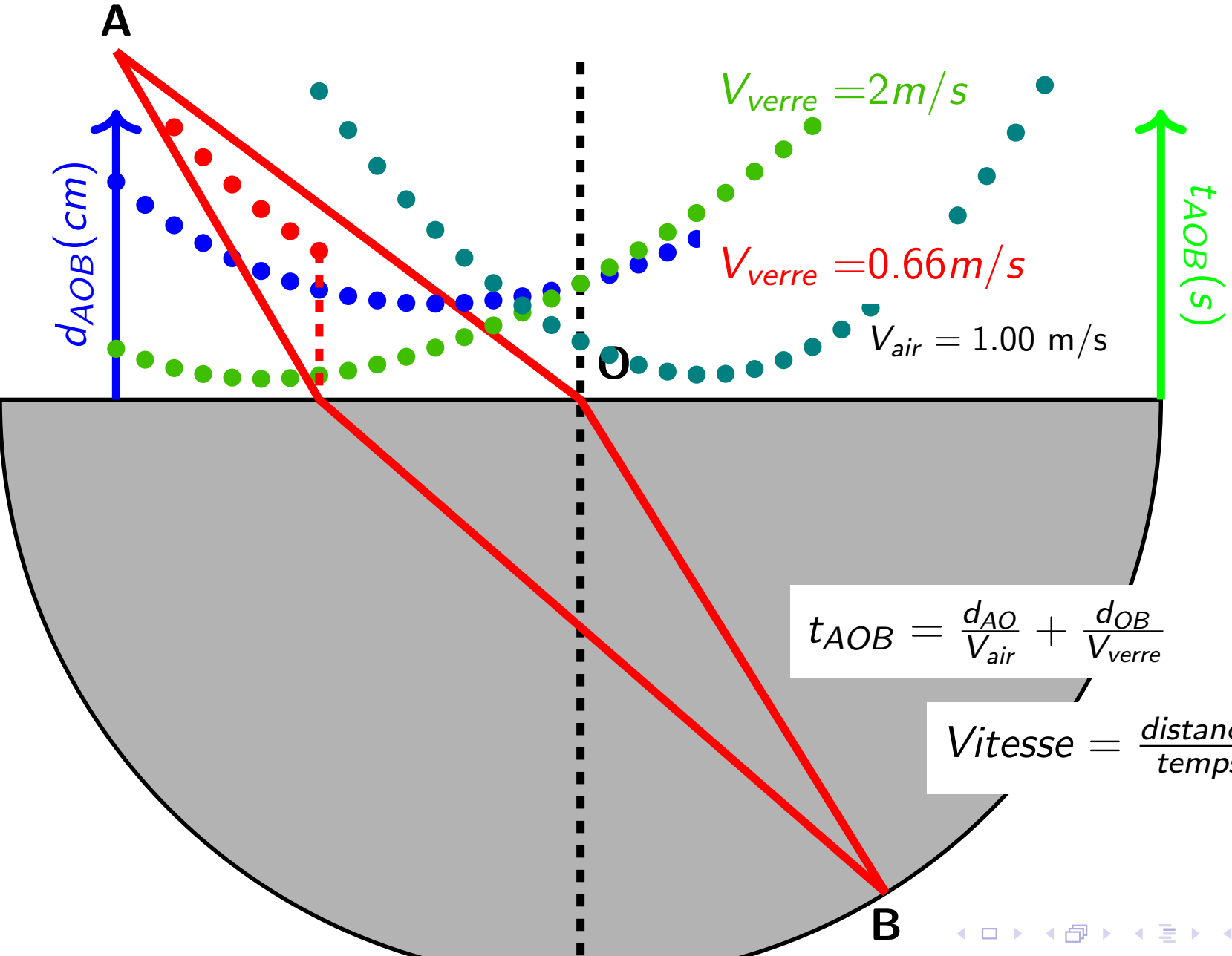
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





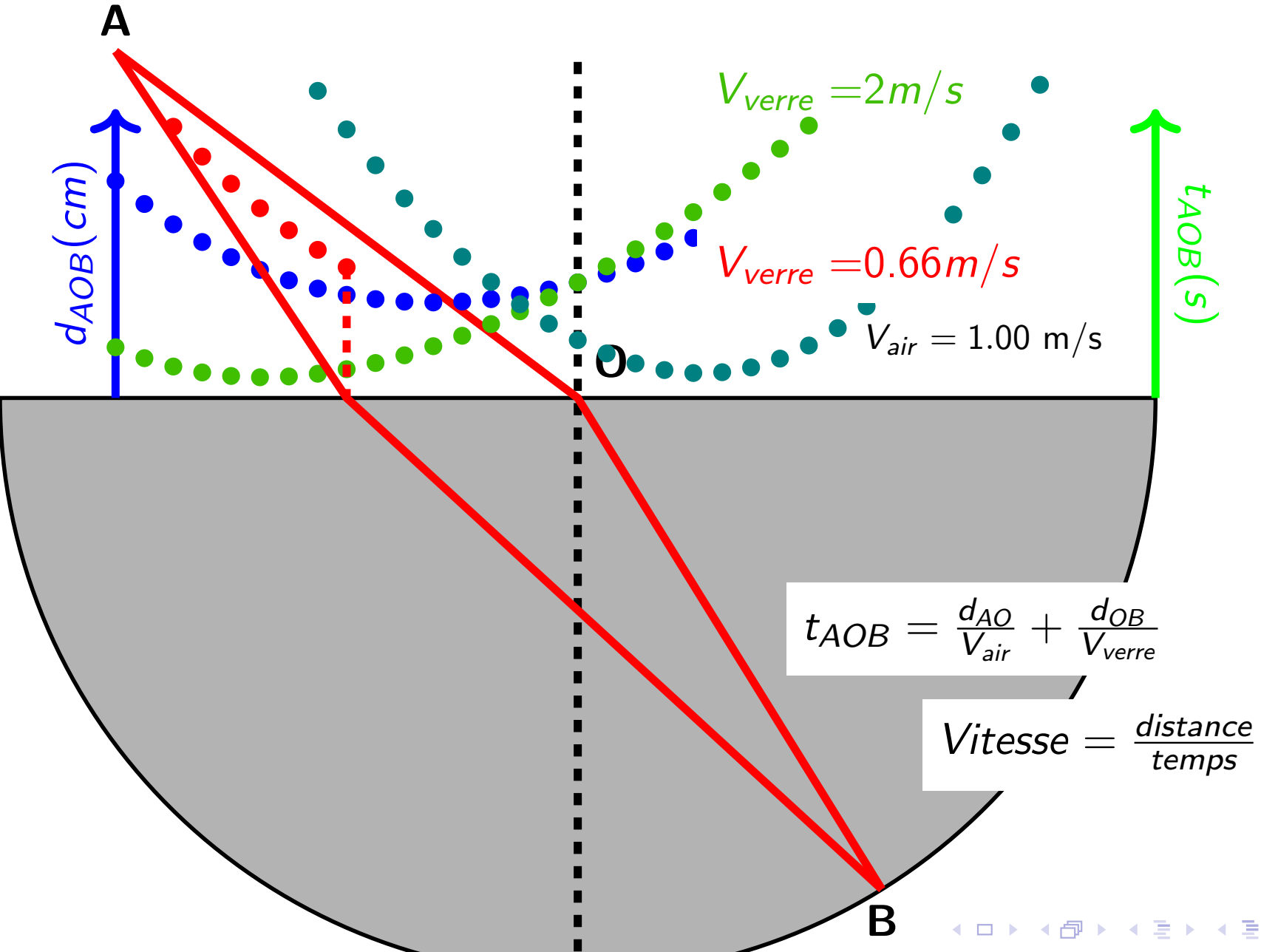
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





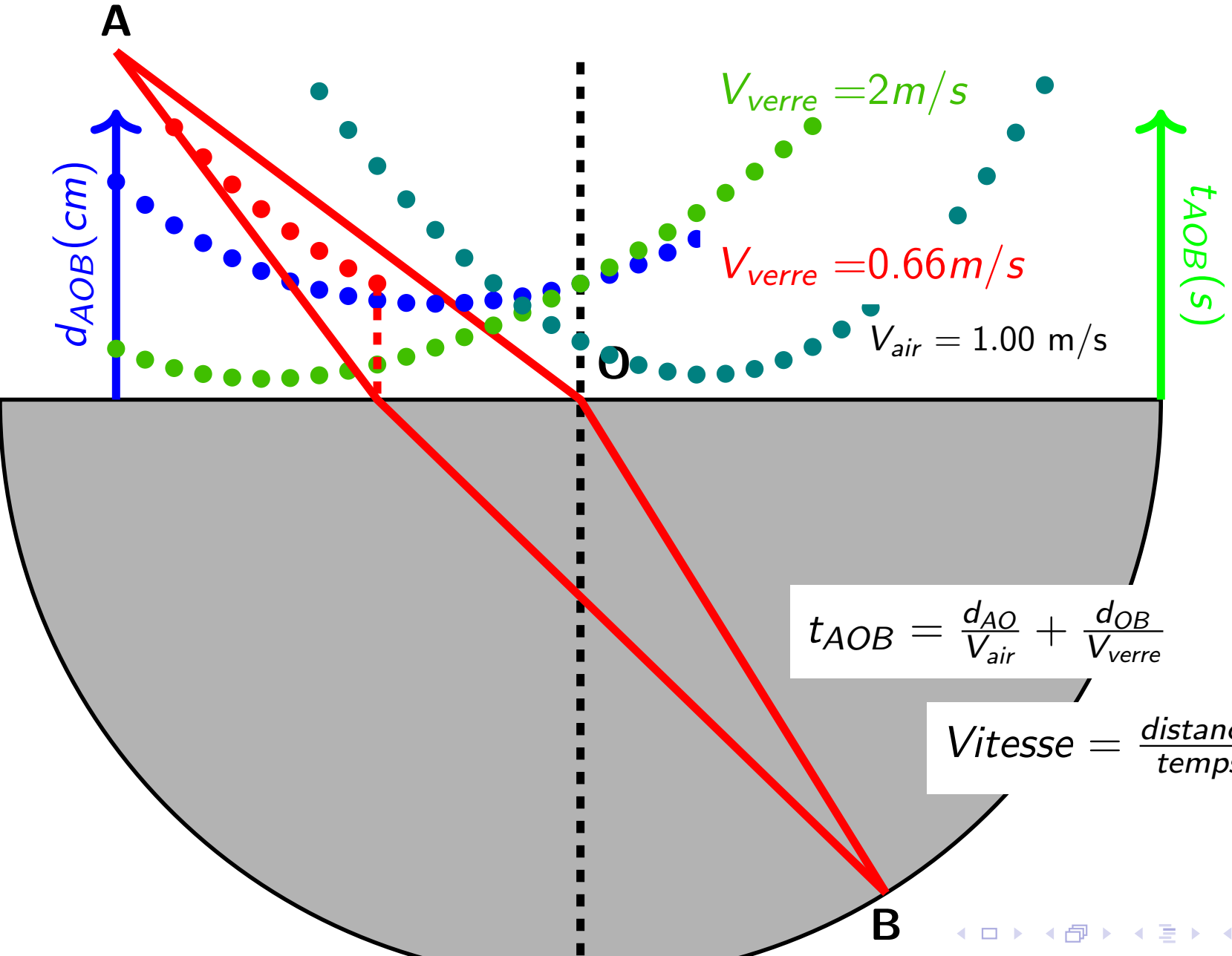
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





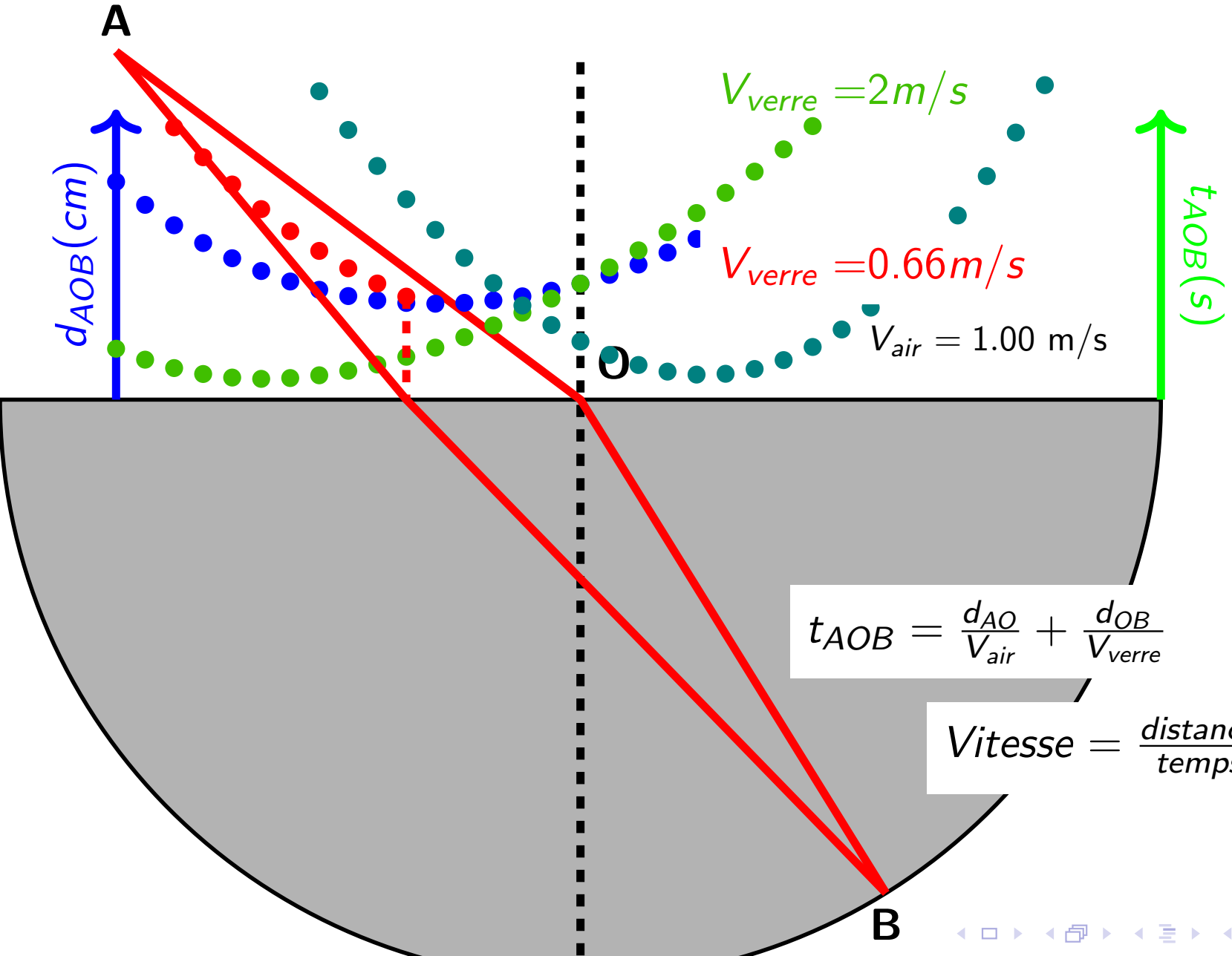
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





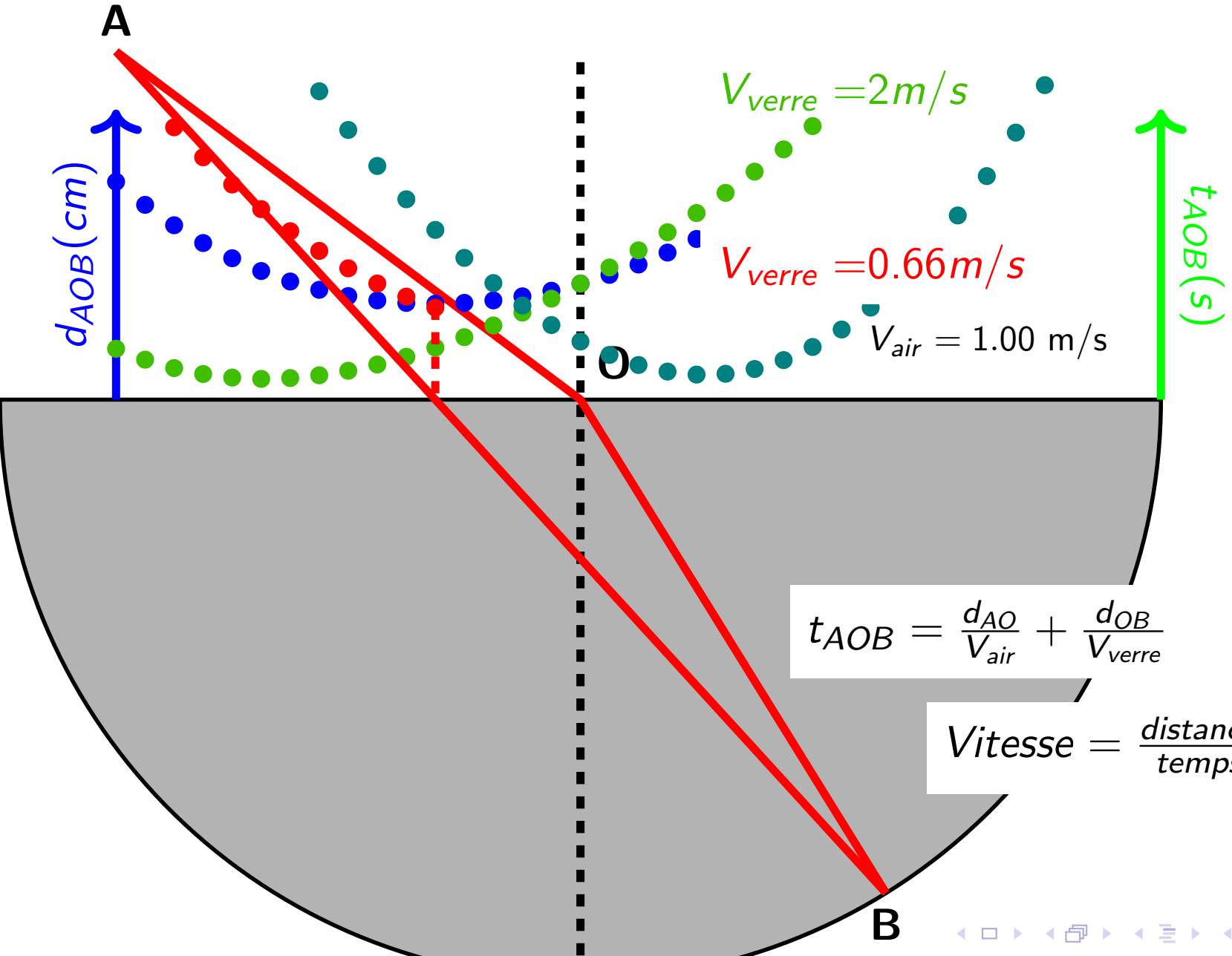
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





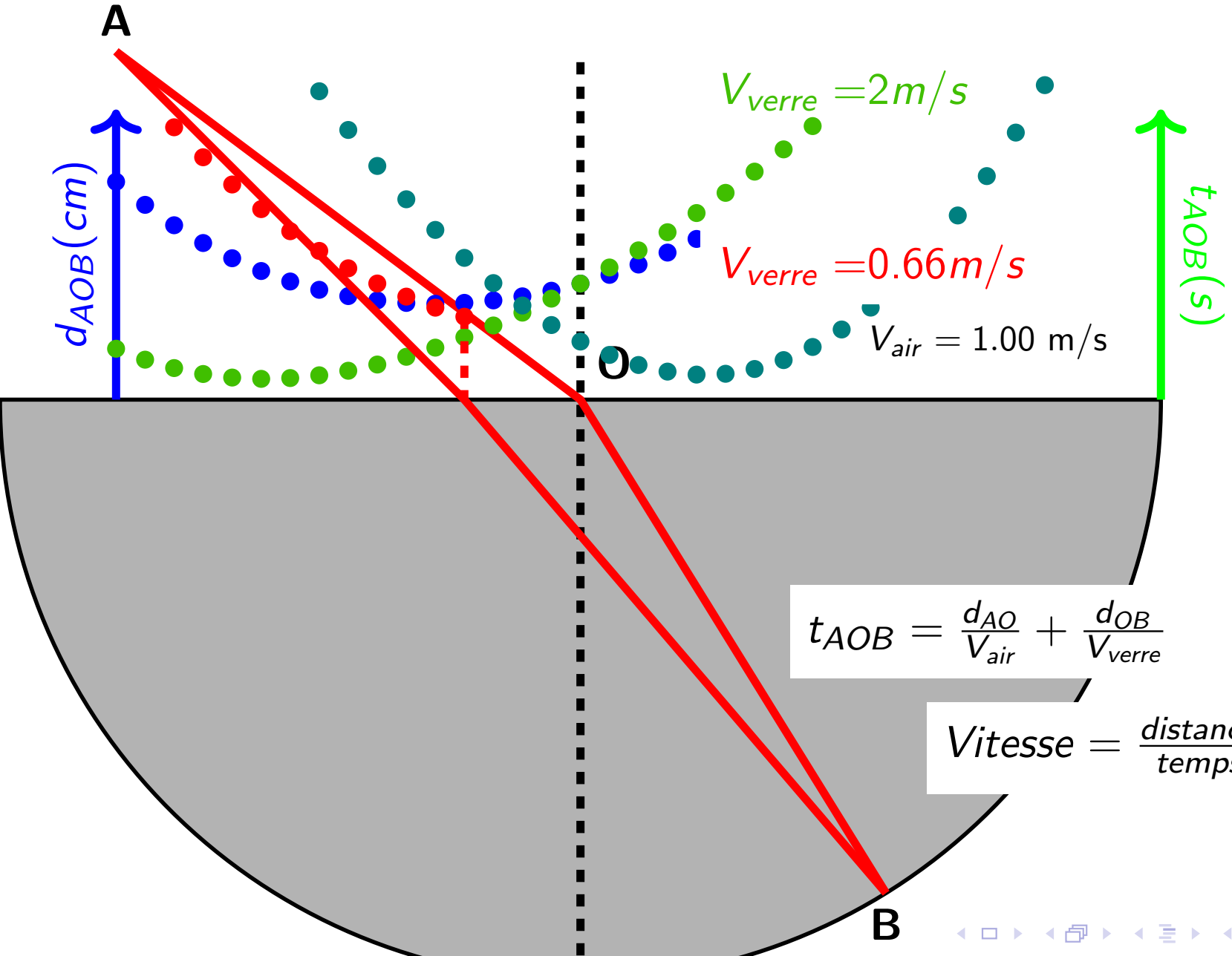
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





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

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$V_{verre} = .4m/s$

A

$V_{verre} = 2m/s$

$d_{AOB}(cm)$

$t_{AOB}(s)$

$V_{verre} = 0.66m/s$

$V_{air} = 1.00$ m/s

O

B

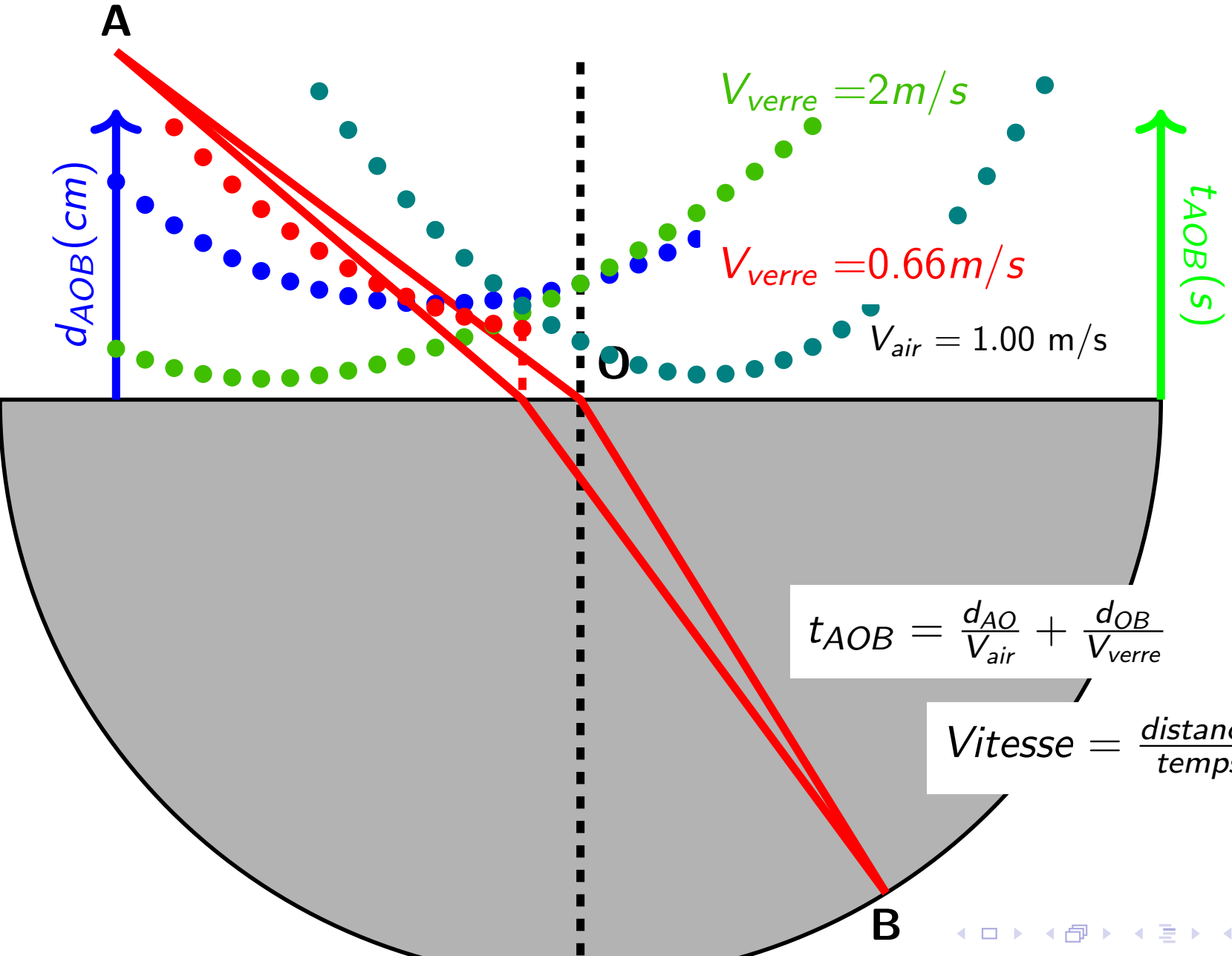
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





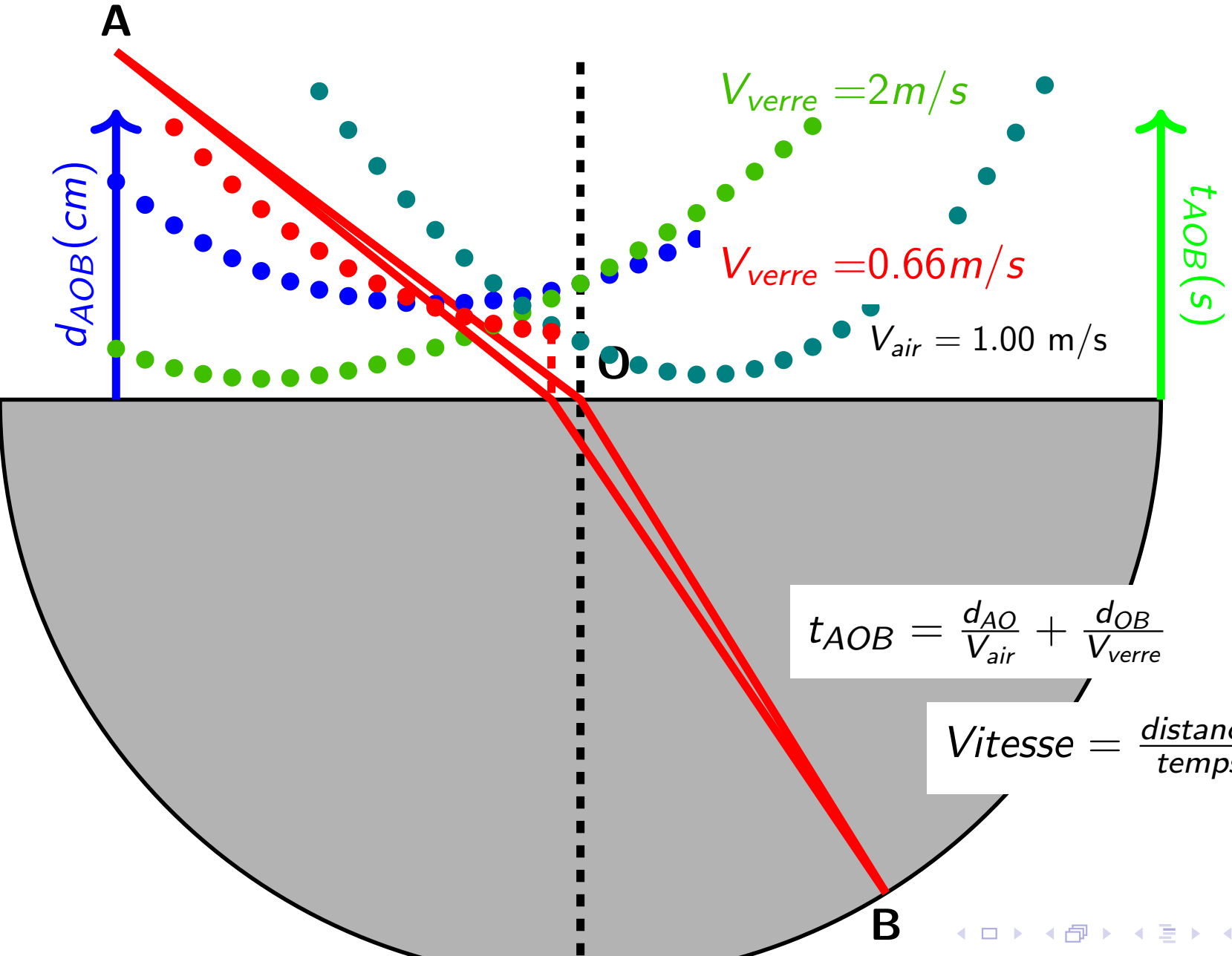
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





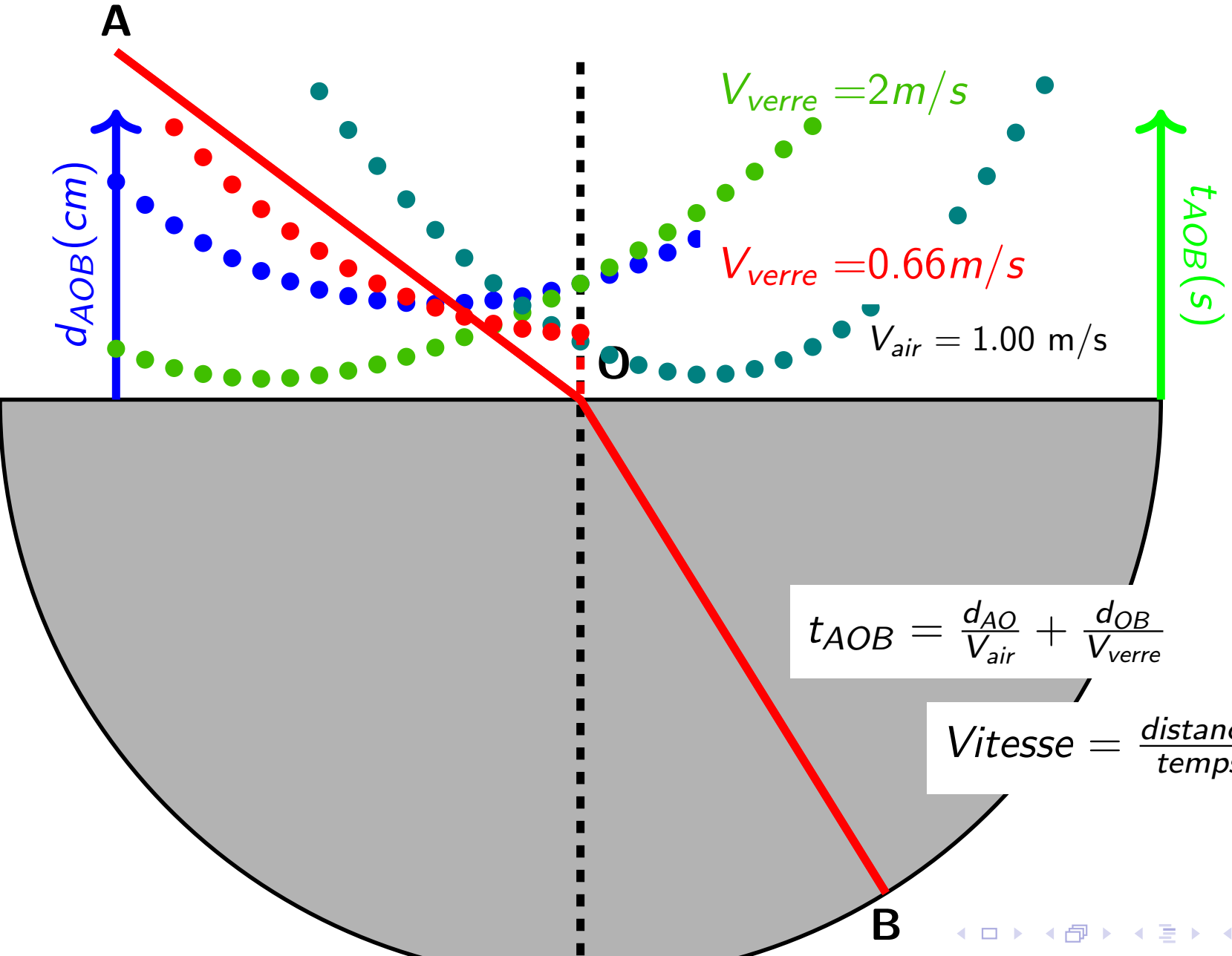
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





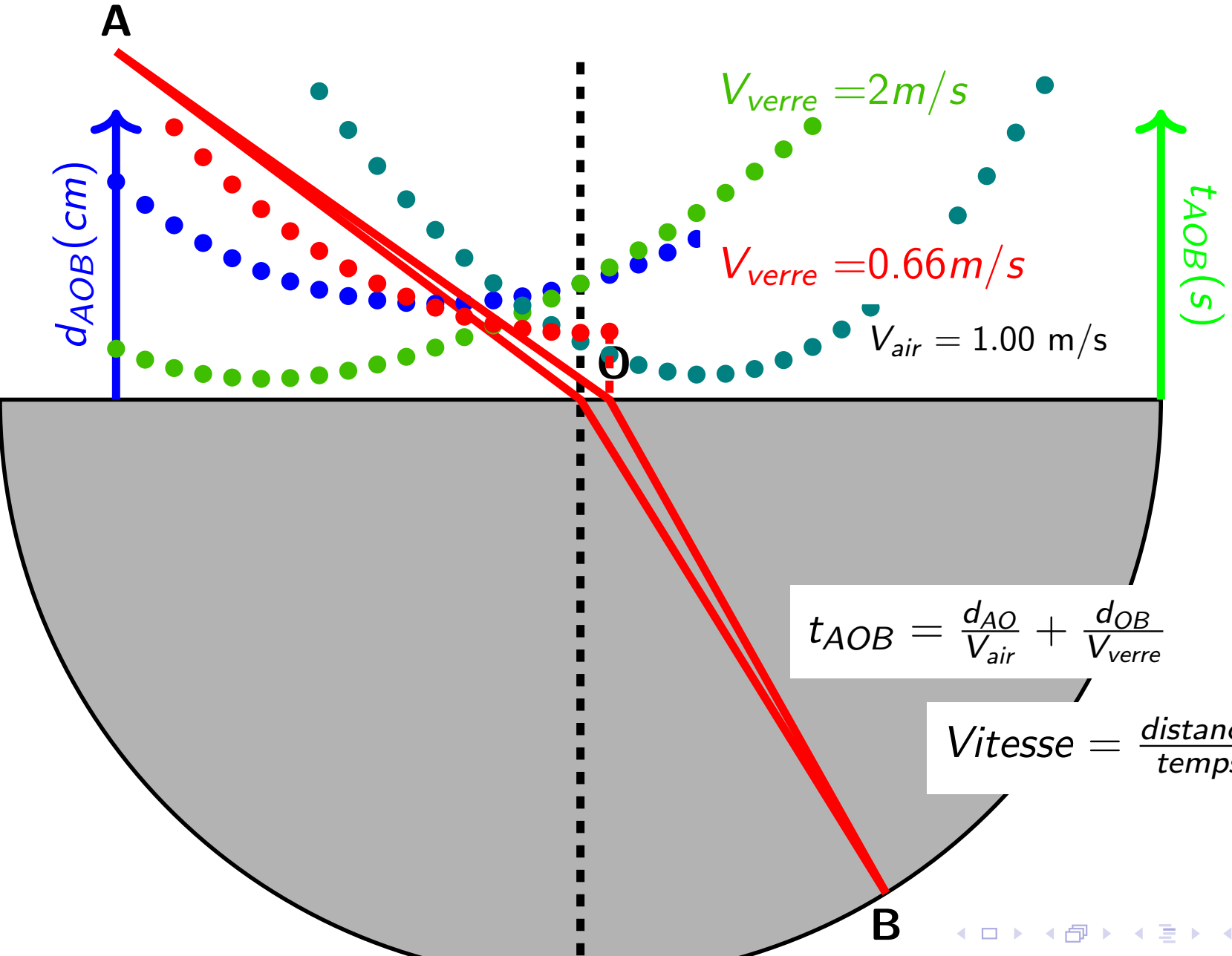
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





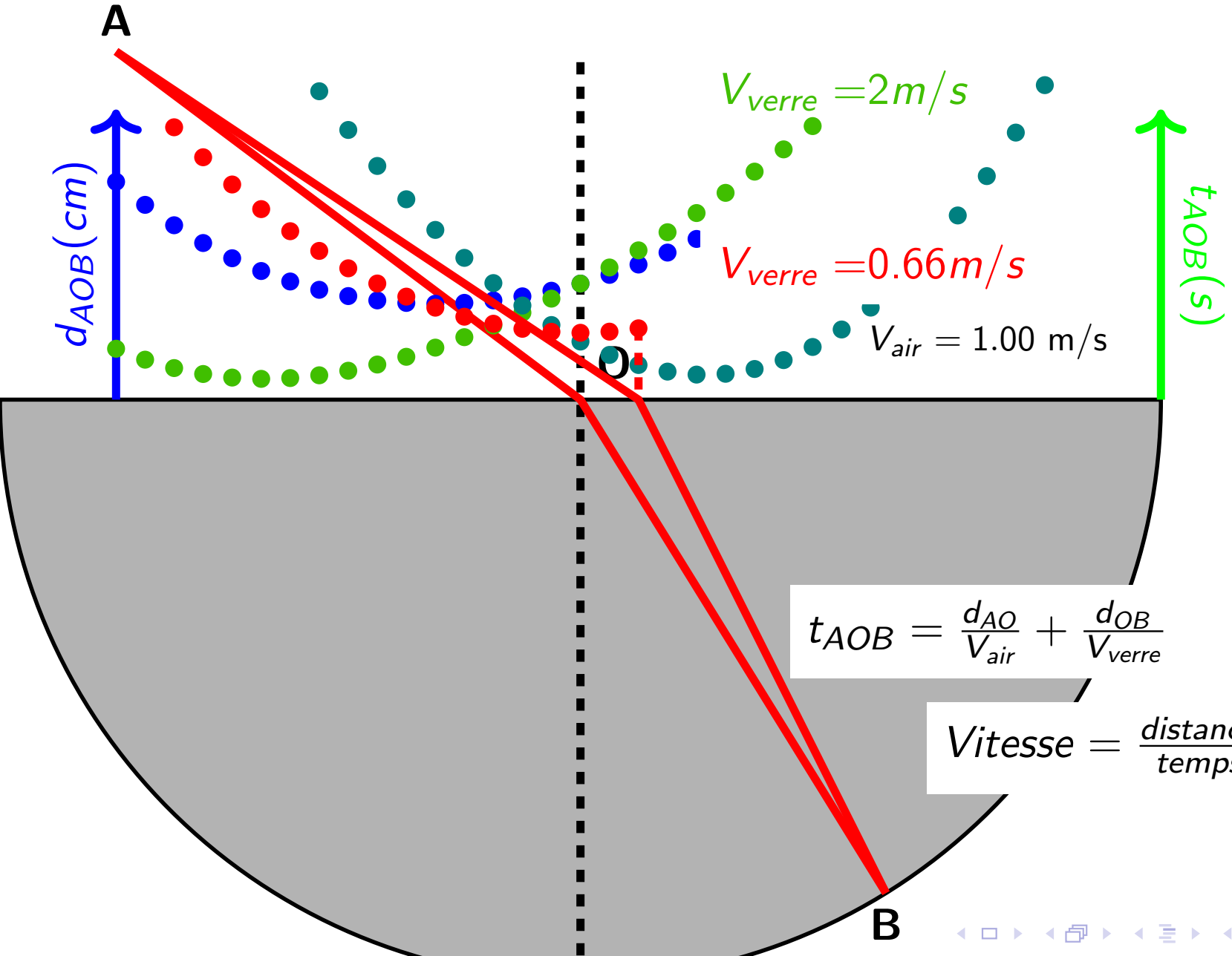
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





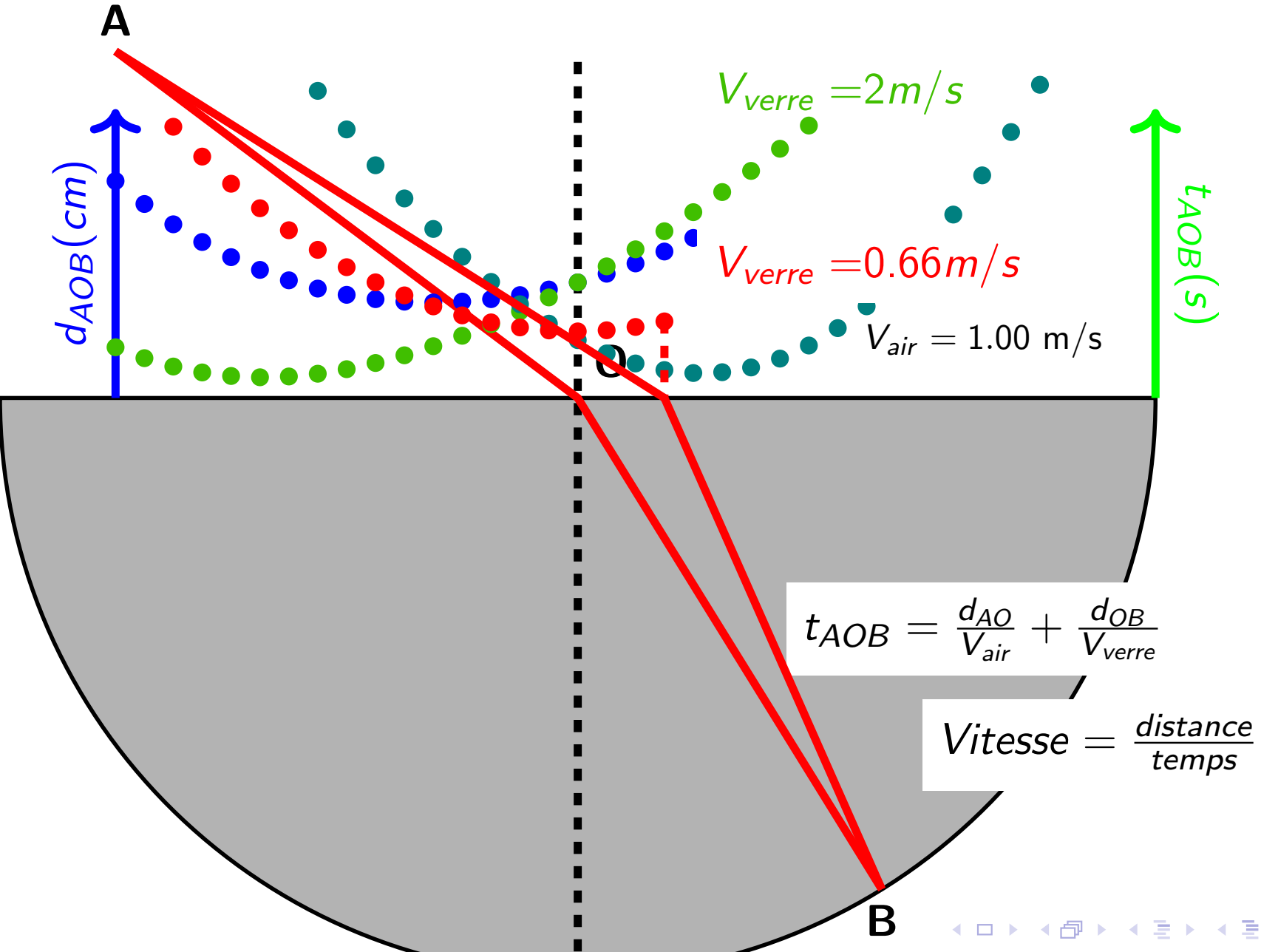
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





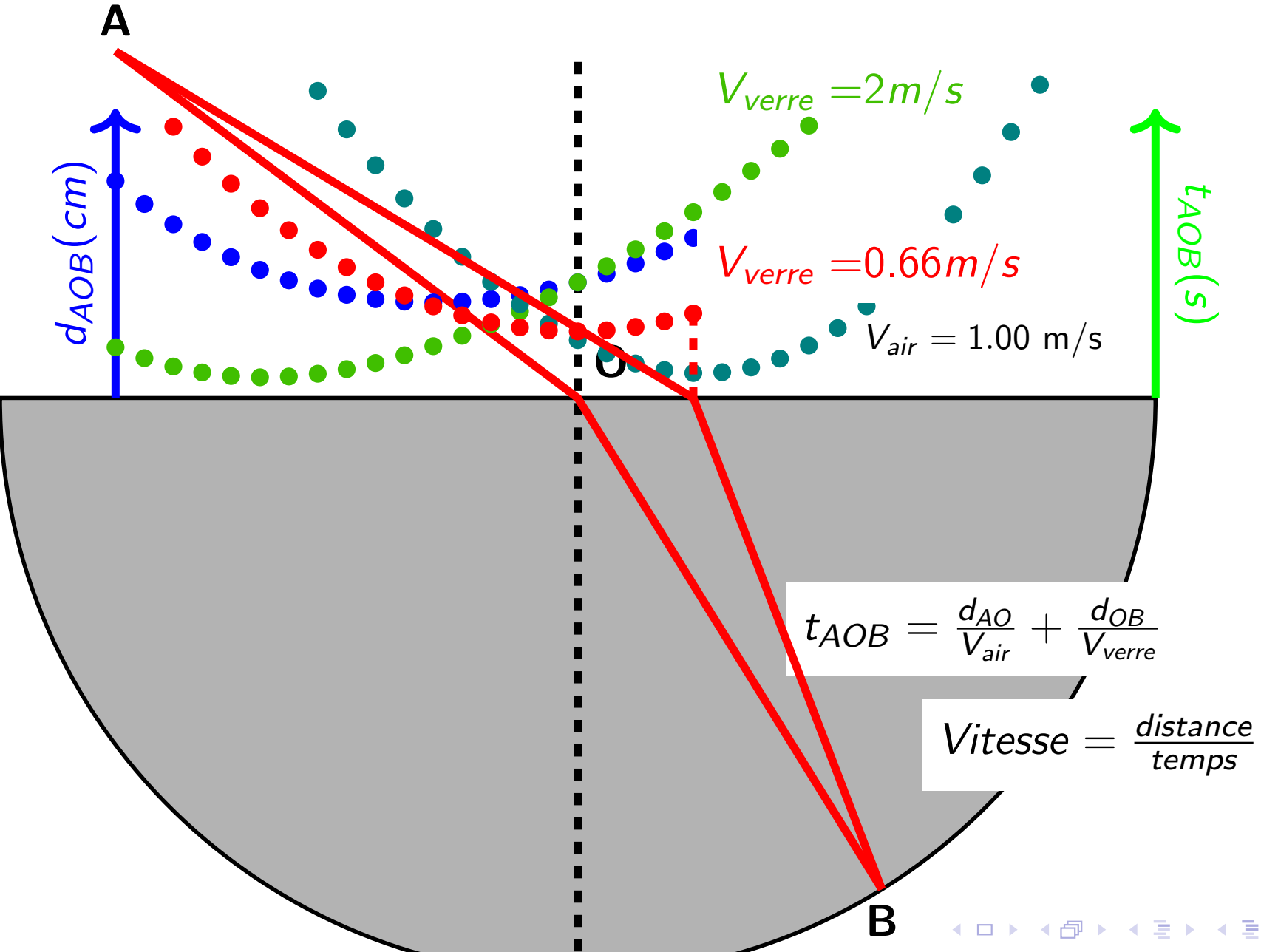
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





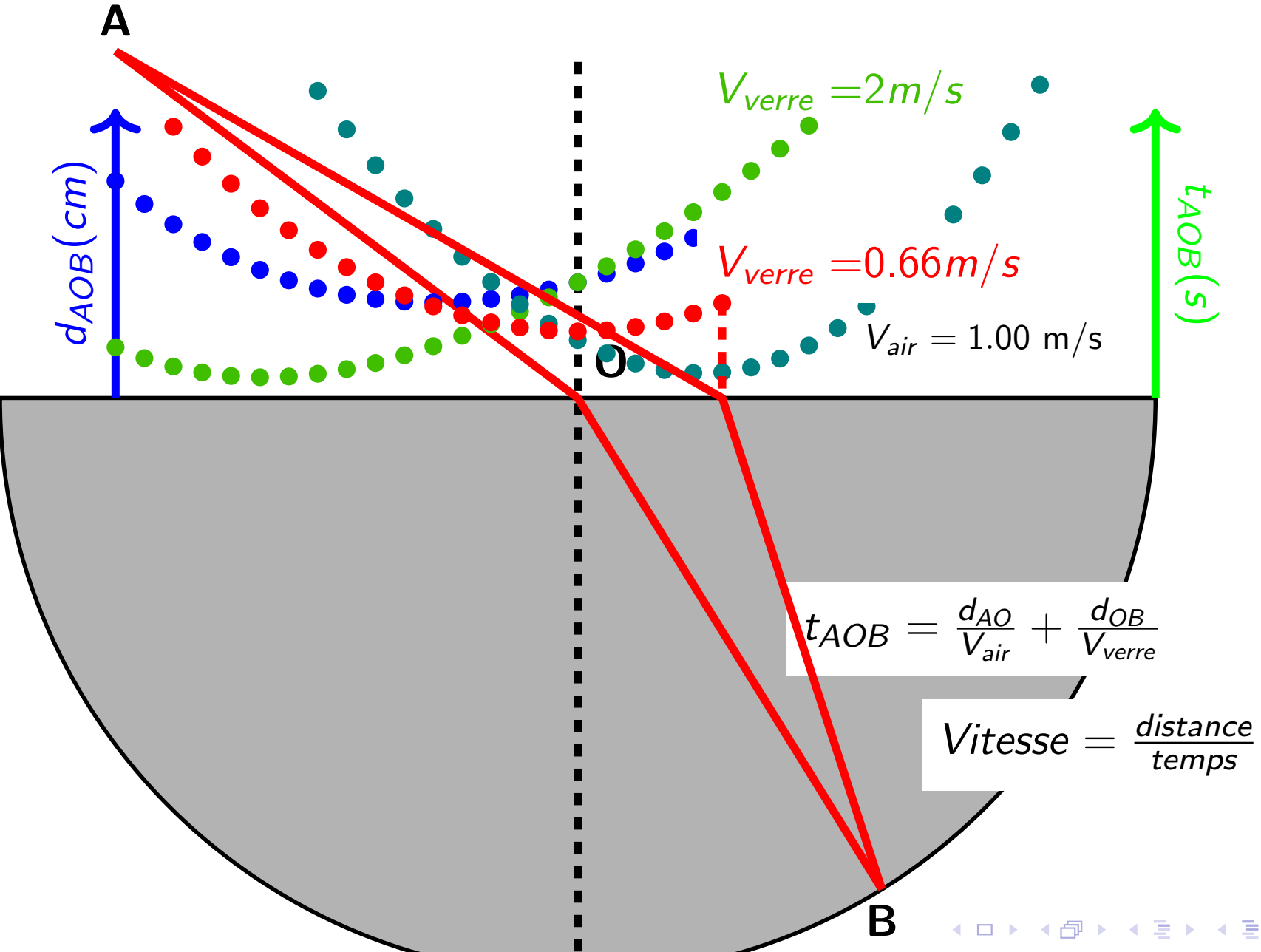
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





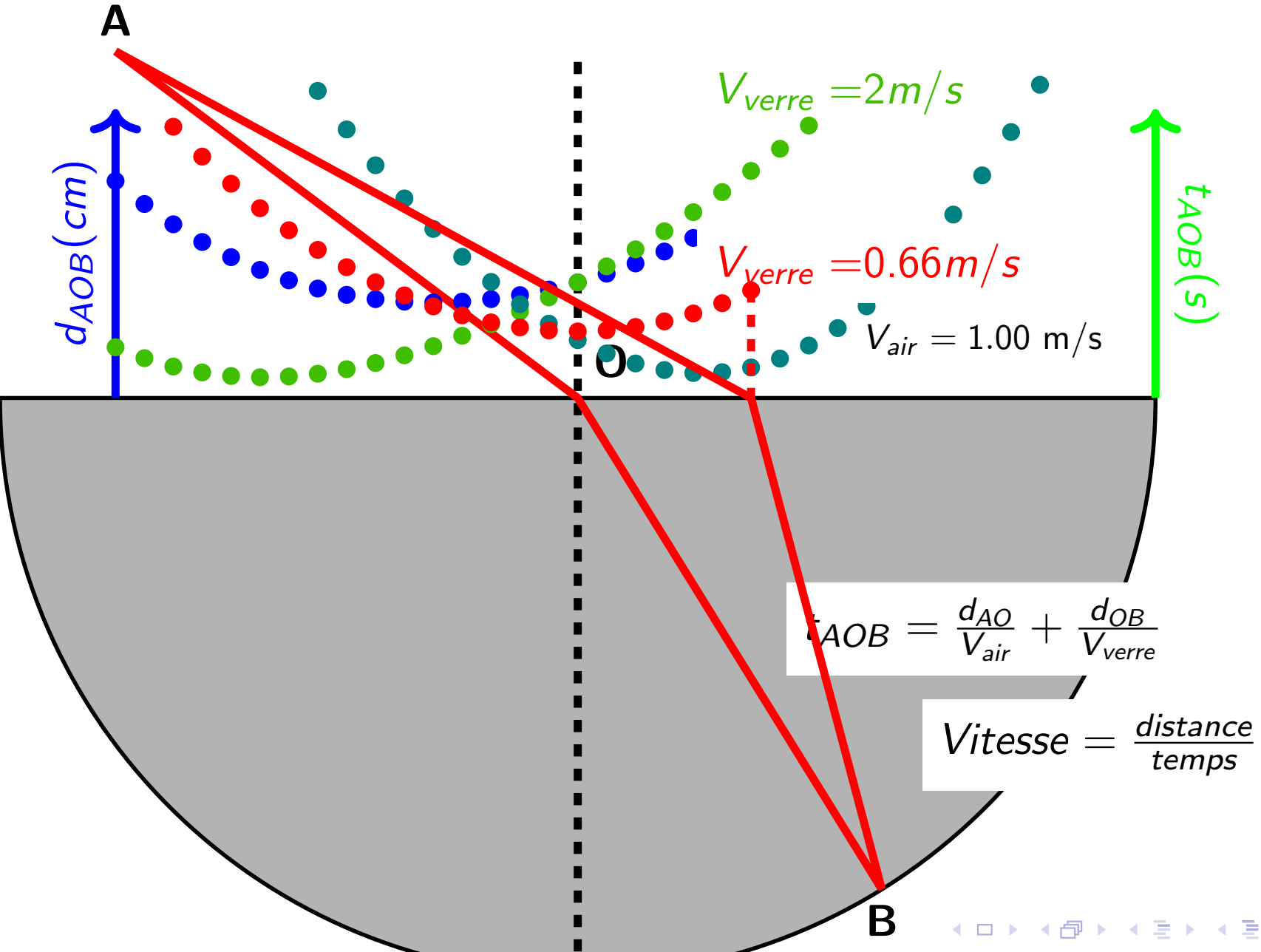
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





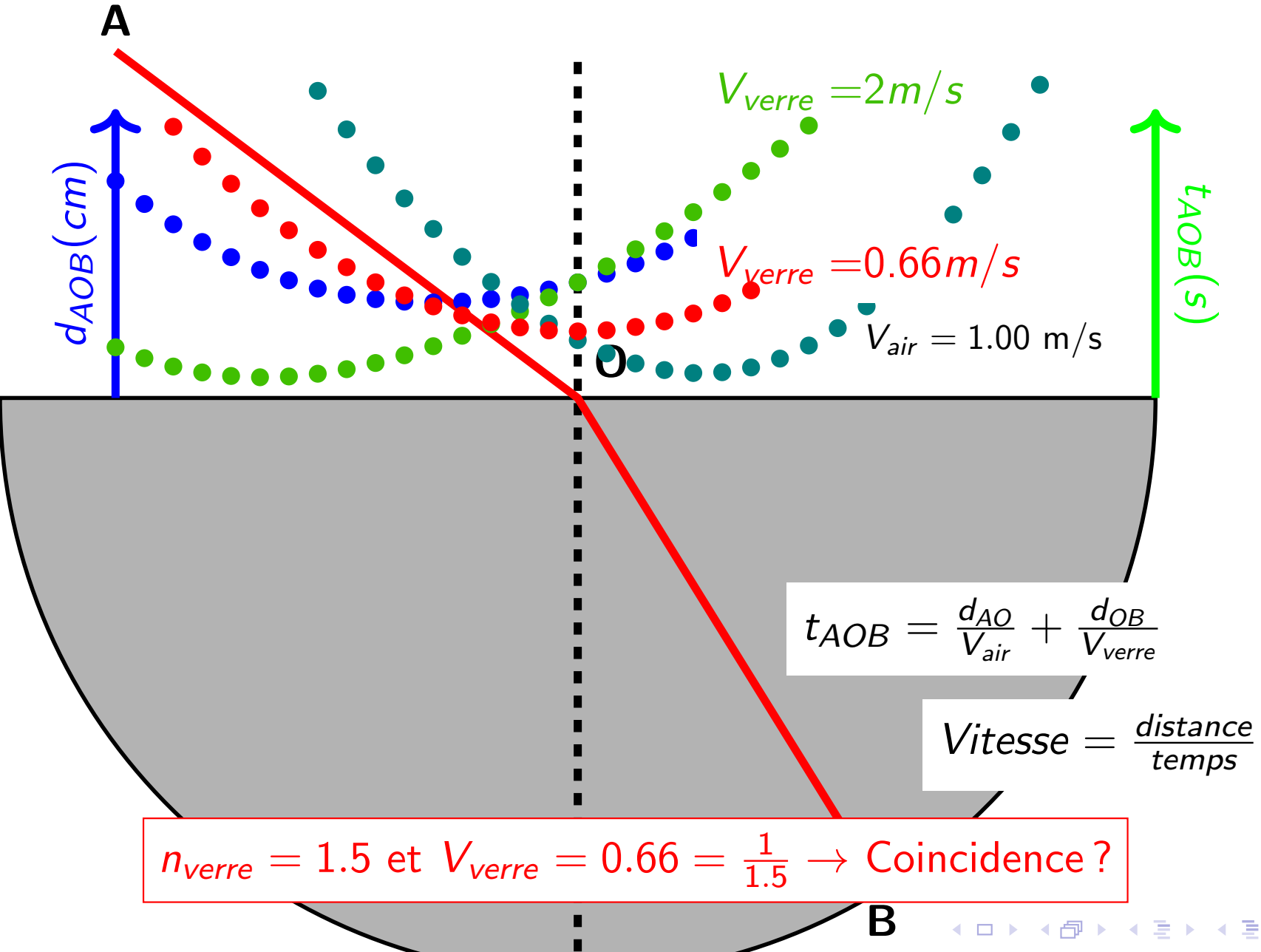
$$t_{AOB} = \frac{d_{AO}}{V_{air}} + \frac{d_{OB}}{V_{verre}}$$

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

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





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

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

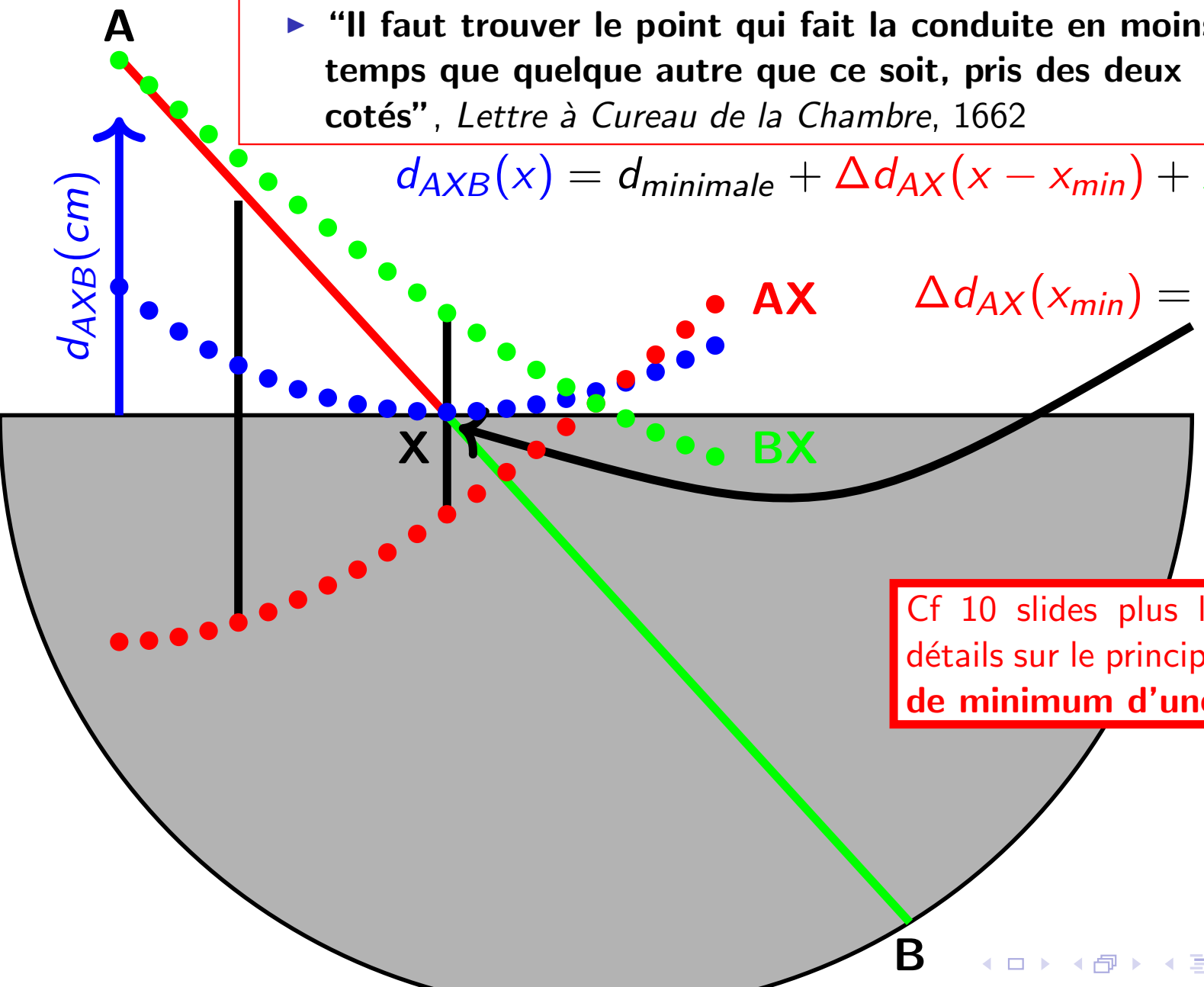
$n_{verre} = 1.5$ et $V_{verre} = 0.66 = \frac{1}{1.5} \rightarrow$ Coincidence ?

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



- **"Il faut trouver le point qui fait la conduite en moins de temps que quelque autre que ce soit, pris des deux cotés"**, *Lettre à Cureau de la Chambre*, 1662



$$d_{AXB}(x) = d_{minimale} + \Delta d_{AX}(x - x_{min}) + \Delta d_{BX}(x - x_{min})$$

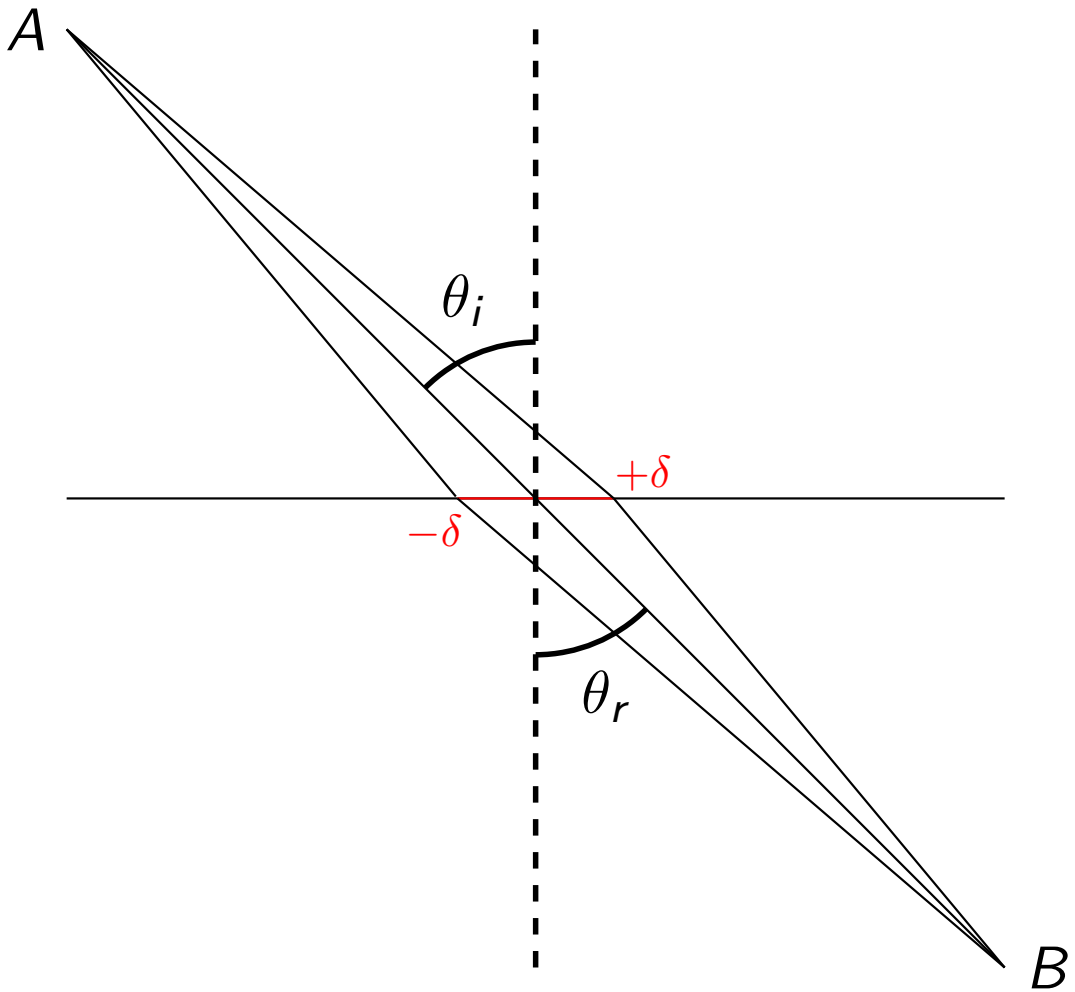
$$\Delta d_{AX}(x_{min}) = -\Delta d_{BX}(x_{min})$$

Cf 10 slides plus loin pour plus de détails sur le principe de la **recherche de minimum d'une fonction**

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

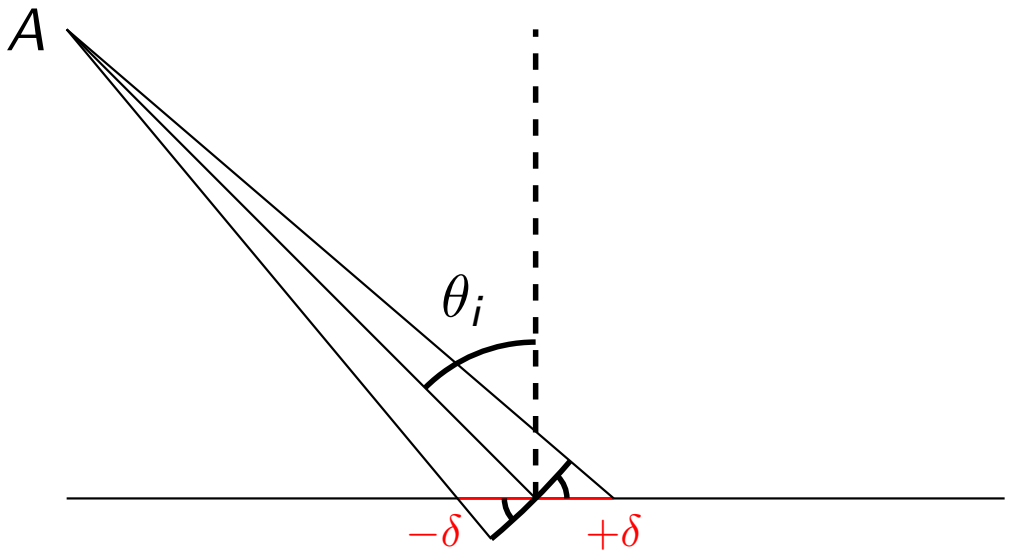




La nature de la lumière

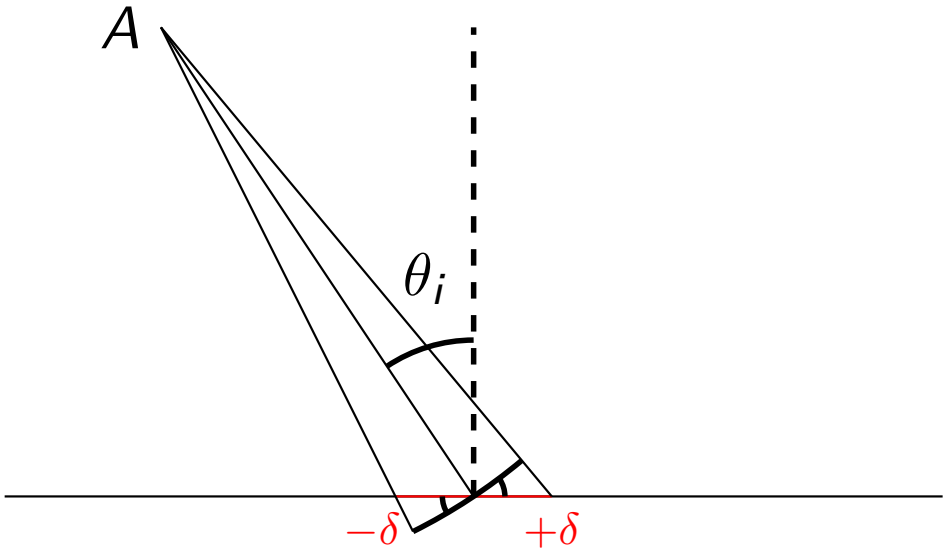
Le principe de Fermat (1607-1665)





La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

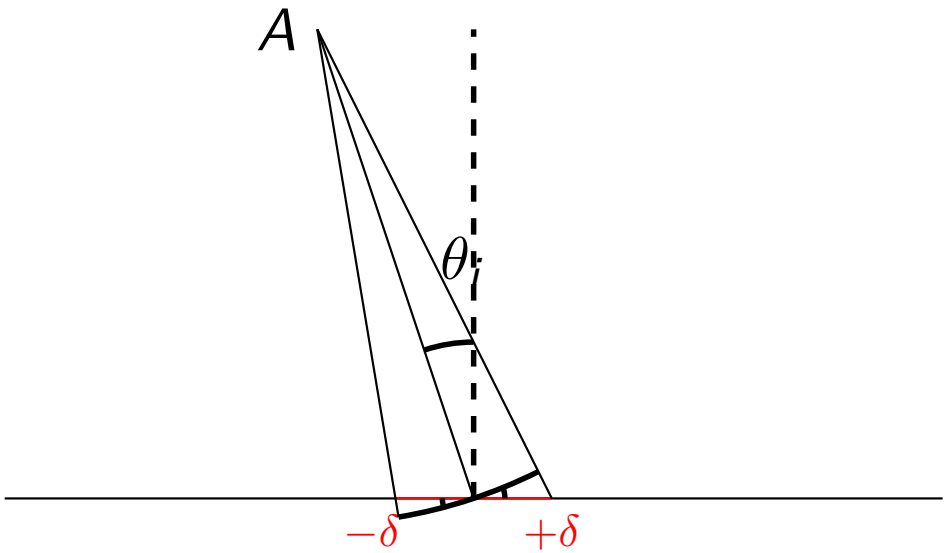




La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)

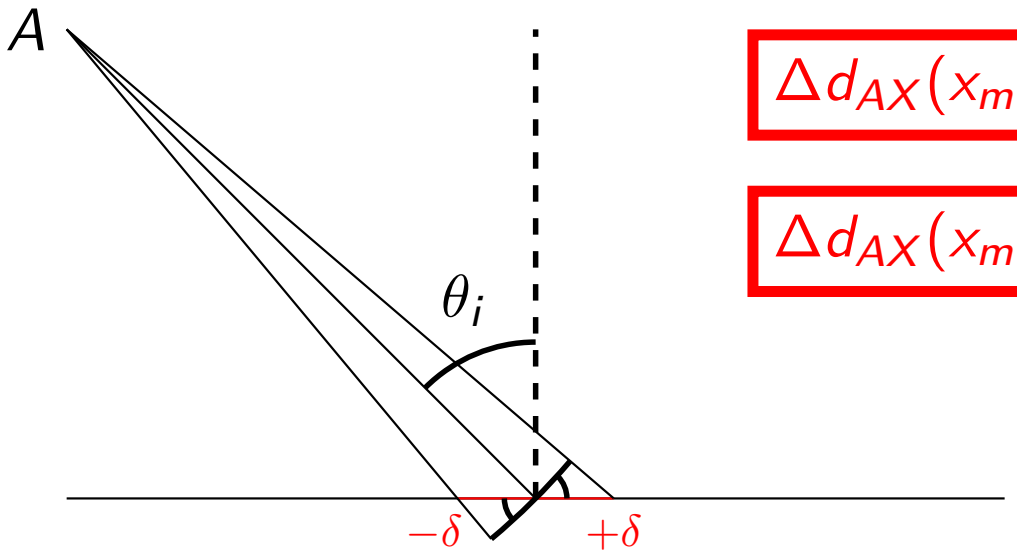




La nature de la lumière

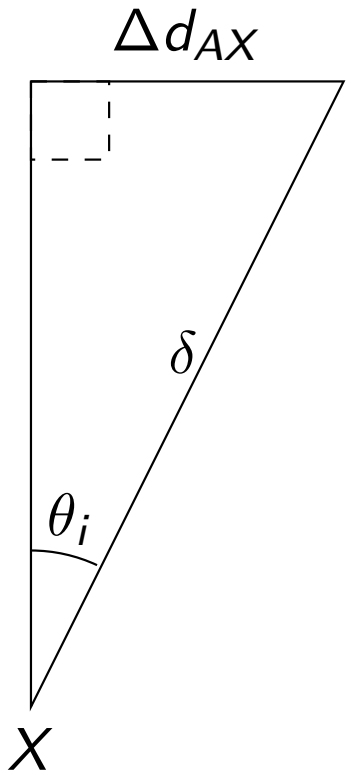
Le principe de Fermat (1607-1665)





$$\Delta d_{AX}(x_m \to x_m + \delta) = \delta \sin\theta_i$$

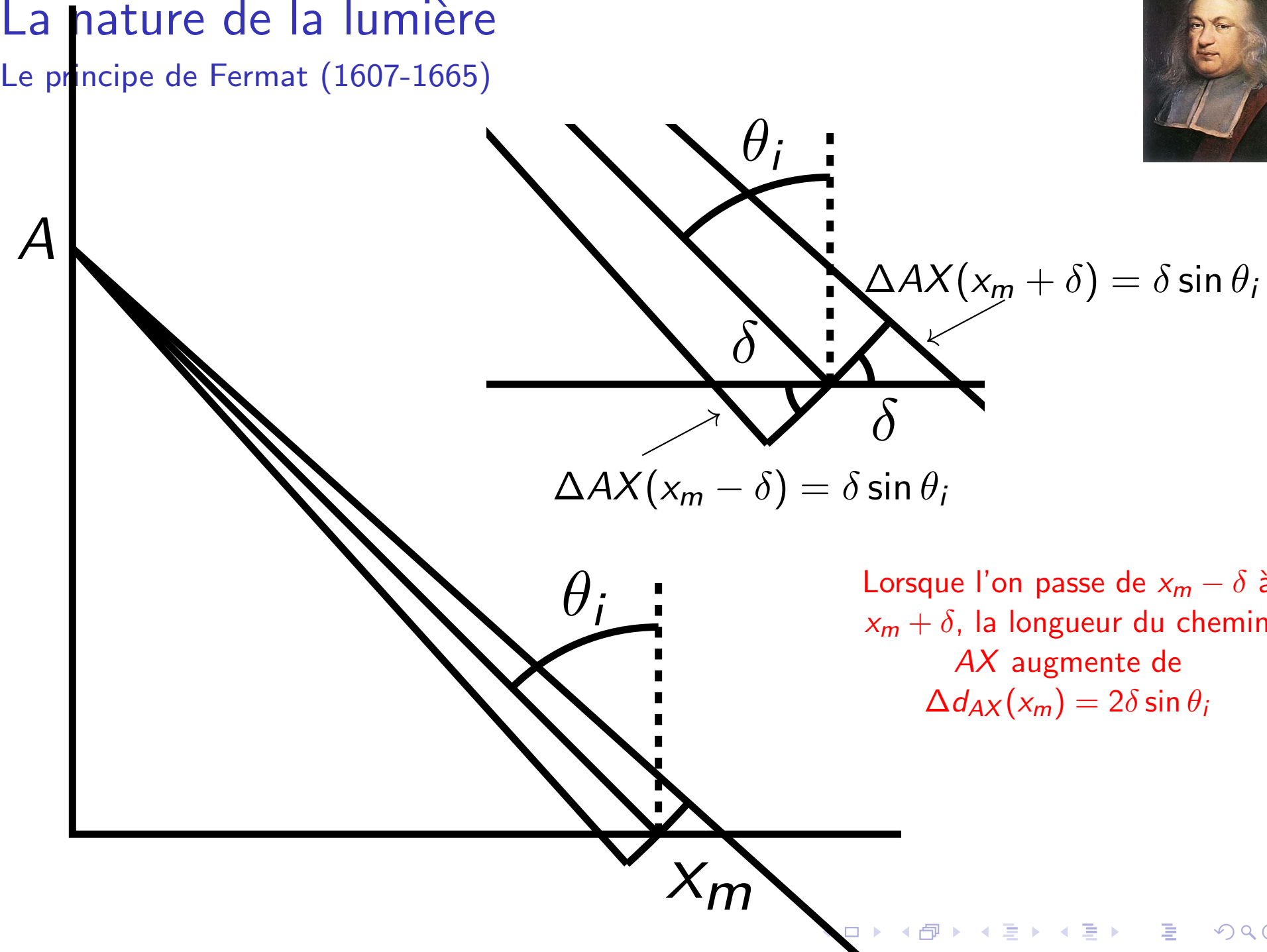
$$\Delta d_{AX}(x_m - \delta \to x_m) = \delta \sin\theta_i$$



La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





Lorsque l'on passe de $x_m - \delta$ à $x_m + \delta$, la longueur du chemin AX augmente de $\Delta d_{AX}(x_m) = 2\delta \sin\theta_i$

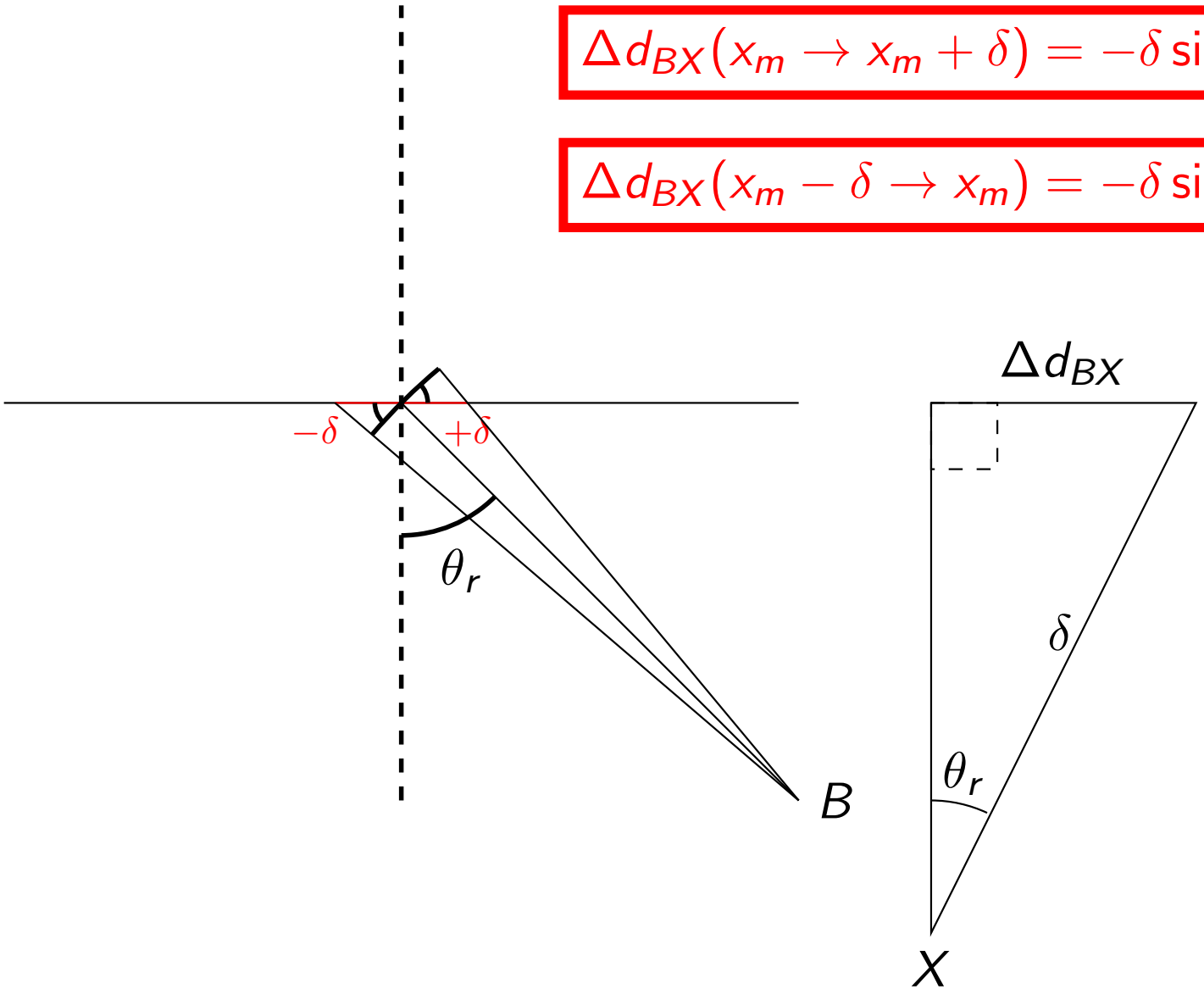
La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)



$$\Delta d_{BX}(x_m \to x_m + \delta) = -\delta \sin\theta_r$$

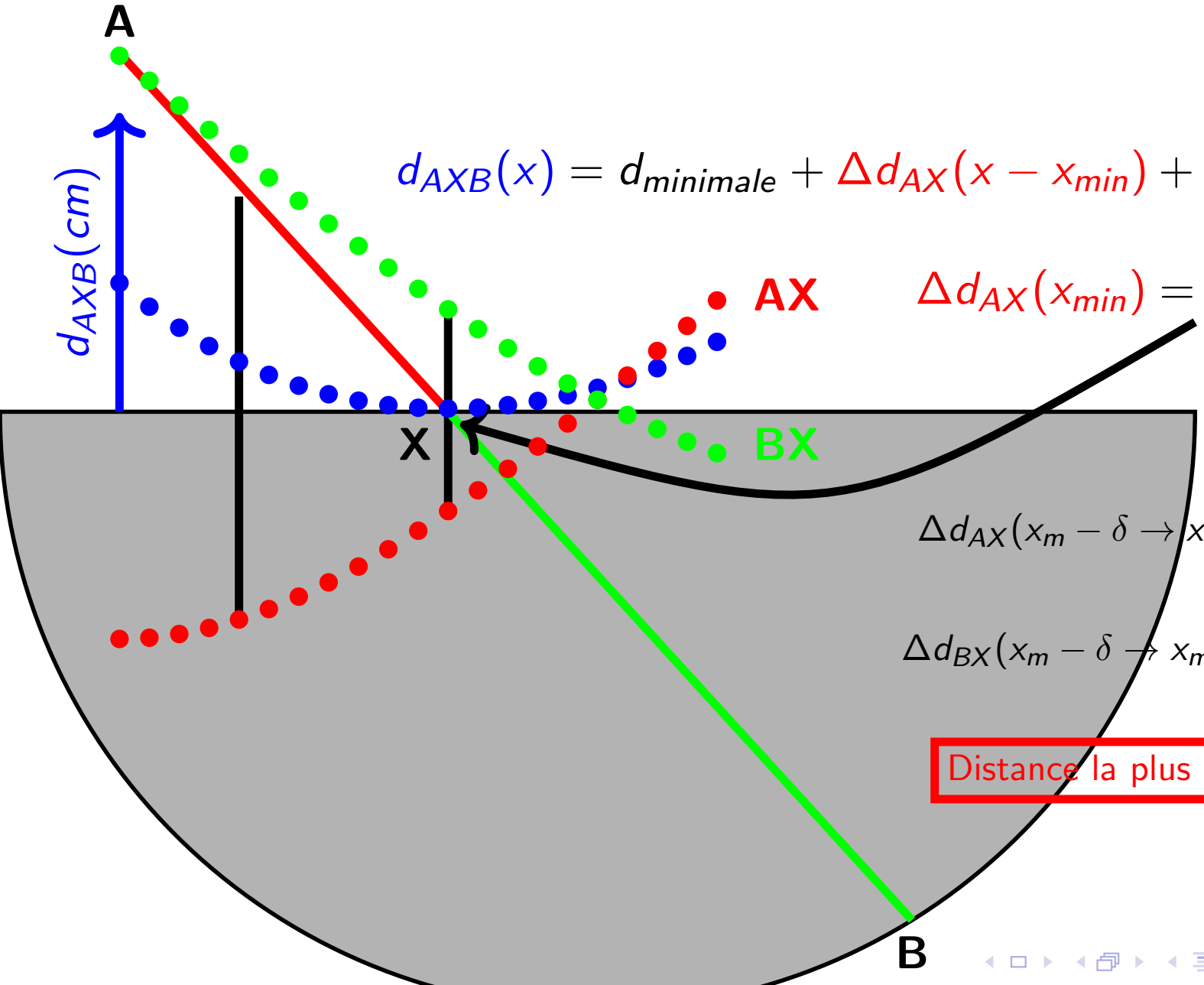
$$\Delta d_{BX}(x_m - \delta \to x_m) = -\delta \sin\theta_r$$



La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





$$d_{AXB}(x) = d_{minimale} + \Delta d_{AX}(x - x_{min}) + \Delta d_{BX}(x - x_{min})$$

$$\Delta d_{AX}(x_{min}) = -\Delta d_{BX}(x_{min})$$

$$\Delta d_{AX}(x_m - \delta \rightarrow x_m + \delta) = 2\delta \sin\theta_i$$

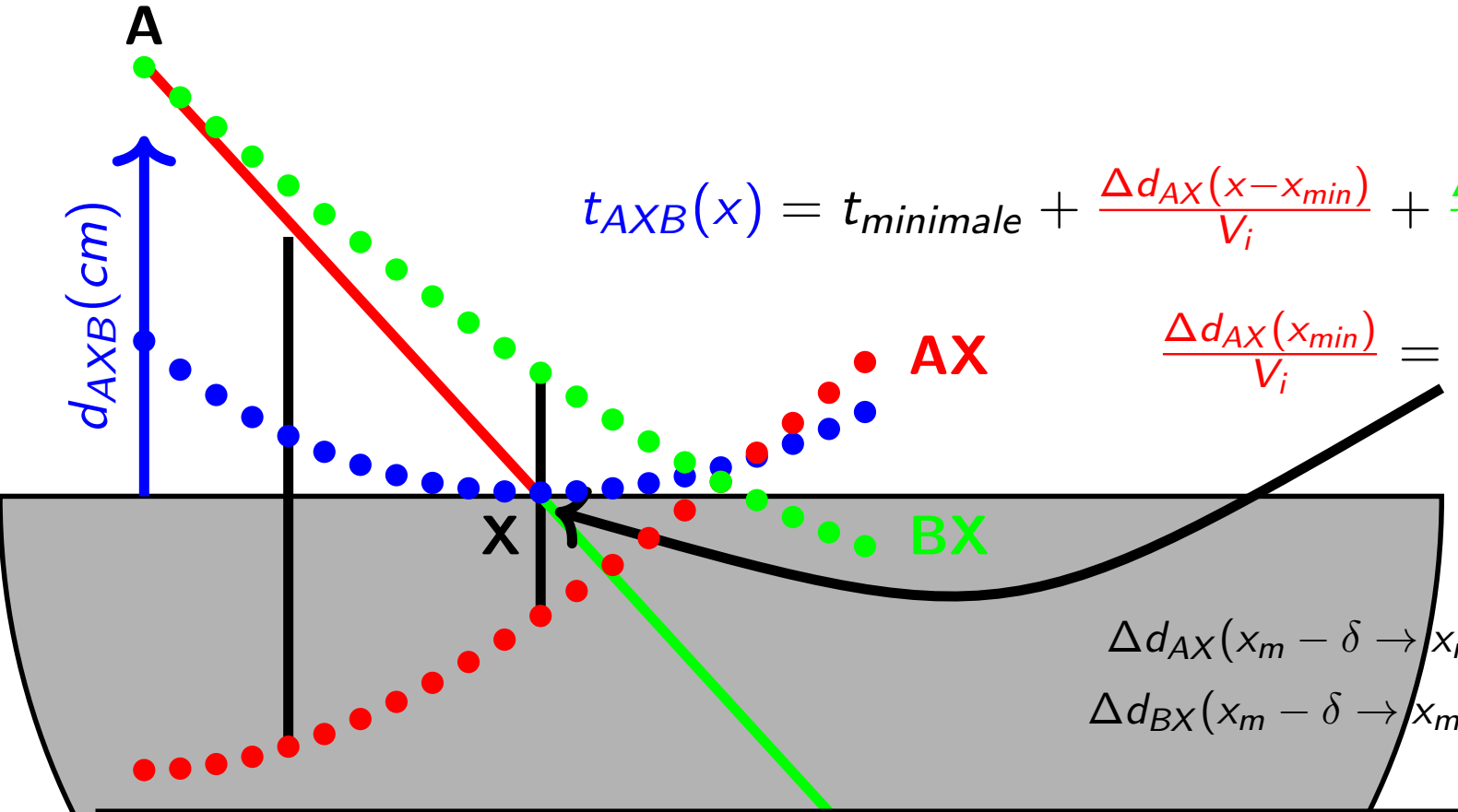
$$\Delta d_{BX}(x_m - \delta \rightarrow x_m + \delta) = -2\delta \sin\theta_r$$

Distance la plus courte : $\theta_i = \theta_r$

La nature de la lumière

Le principe de Fermat (1607-1665)





$$t_{AXB}(x) = t_{minimale} + \frac{\Delta d_{AX}(x - x_{min})}{V_i} + \frac{\Delta d_{BX}(x - x_{min})}{V_r}$$

$$\frac{\Delta d_{AX}(x_{min})}{V_i} = -\frac{\Delta d_{BX}(x_{min})}{V_r}$$

$$\Delta d_{AX}(x_m - \delta \rightarrow x_m + \delta) = 2\delta \sin\theta_i$$

$$\Delta d_{BX}(x_m - \delta \rightarrow x_m + \delta) = -2\delta \sin\theta_r$$

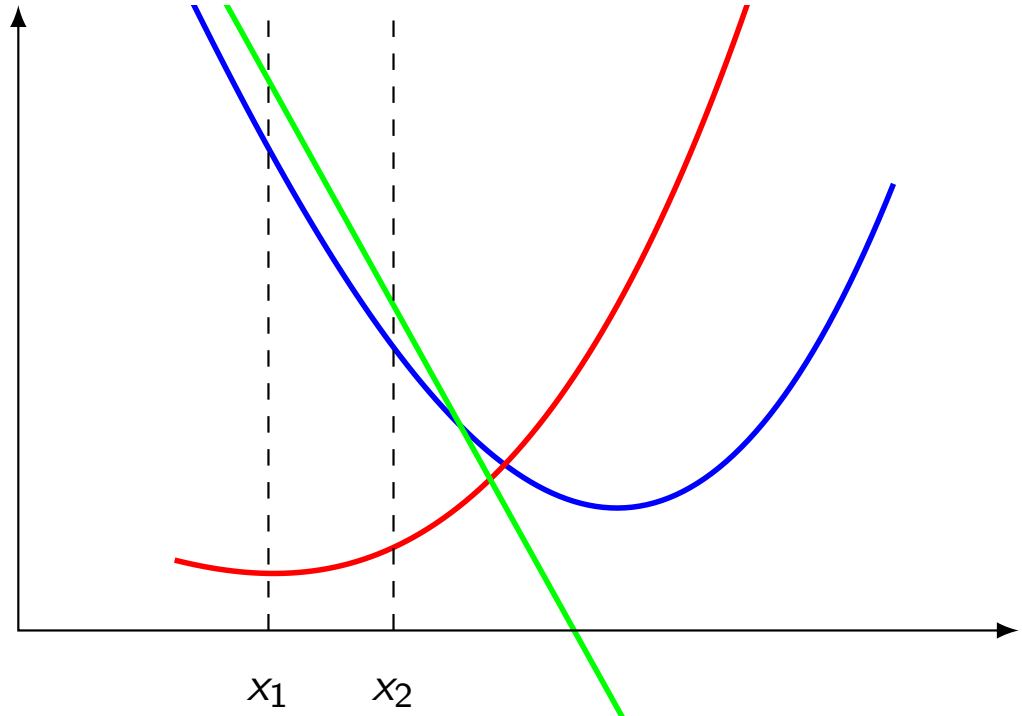
Temps le plus court $\Leftrightarrow \frac{\sin\theta_i}{V_i} = \frac{\sin\theta_r}{V_r}$

$n = \frac{1}{V} \rightarrow$ **Loi de Snell-Descartes** $n_i \sin_i = n_r \sin_r$

L'indice de réfraction d'un matériau est une quantité inversement proportionnelle à la vitesse de la lumière dans le matériau

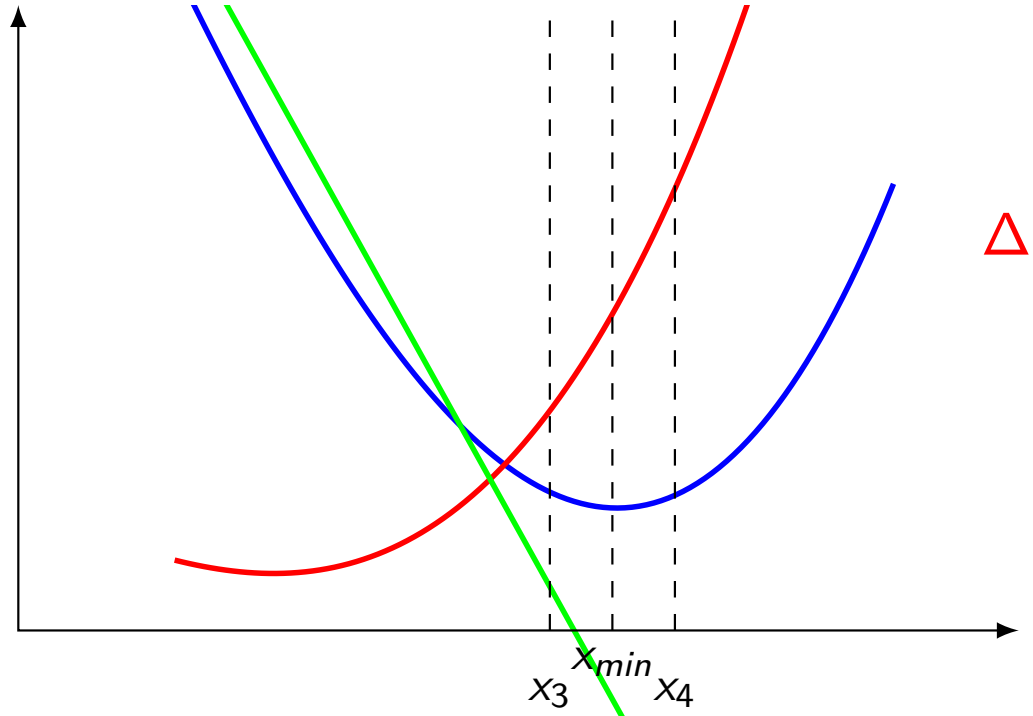
La recherche du minimum d'une courbe

- on va considérer la courbe bleue, AXB(x), qui est donnée comme la somme d'une courbe rouge, AX(x) et d'une courbe verte, BX(x).
- la variation de la courbe bleue à partir d'un point x_1 vers le point x_2 résulte de la somme des variations de la courbe rouge(positive) et de la courbe verte (négative).
- la variation de la courbe verte étant plus importante que celle de la courbe rouge, la courbe bleue diminue lorsque l'on passe du point x_1 au point x_2



La recherche du minimum d'une courbe

- le principe est le même lorsque l'on passe du point x_3 au oint x_4.
- toutefois à la différence du cas du précédent slide, la variation de la courbe bleue est proche de zéro (mêmes valeurs de la courbe aux points x_3 et x_4) **bien que** les variations des courbes rouge et vertes soient importante.
- **Cela indique qu'au passage du minimum les variations des deux courbes rouge et verte doivent se compenser**



$$\Delta d_{AX}(x_{min}) = -\Delta d_{BX}(x_{min})$$

La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des “milieux”



- Huygens, *Traité de la lumière* (1690) : **“Je m’étonne [que l’on ait] voulu faire passer des raisonnements peu évidents pour être certains et démonstratifs, car je ne trouve pas que personne ait encore expliqué de façon acceptable les premiers et plus notables phénomènes de la lumière [...]”.**
- **“[J’expliquerai] que ce mouvement imprimé [par la lumière] à la matière est successif et que, par conséquent, il s’étend ainsi que celui du son, par des surfaces et des ondes sphériques : car je les appelle ondes à cause de la ressemblance avec celles que l’on voit se former sur l’eau quand on y jette une pierre”.**



La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des “milieux”



- L’idée que la lumière est ondulatoire est rencontrée pour la première fois dans les travaux de **Robert Hooke** en 1660
- Théorie ondulatoire de la lumière : la lumière est constituée par les vibrations d’un milieu matériel élastique $\rightarrow$ *l’éther*
- Ces ondes s’y propagent à une vitesse finie et sans transport de matière (exp. du pendule de Newton) ; propagation de l’impulsion

La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des “milieux”



- L’idée que la lumière est ondulatoire est rencontrée pour la première fois dans les travaux de **Robert Hooke** en 1660
- Théorie ondulatoire de la lumière : la lumière est constituée par les vibrations d’un milieu matériel élastique $\rightarrow$ *l’éther*
- Ces ondes s’y propagent à une vitesse finie et sans transport de matière (exp. du pendule de Newton) ; propagation de l’impulsion
- notion d’**onde**



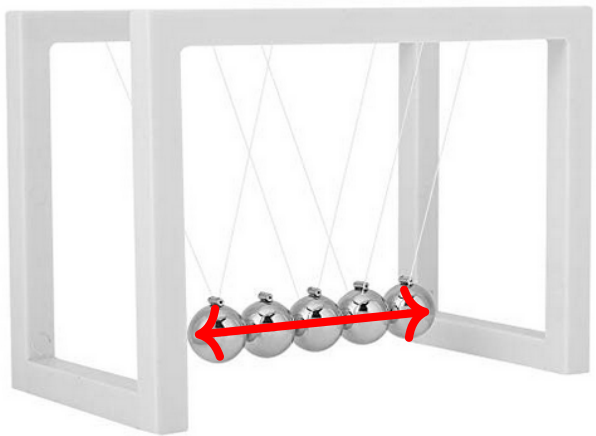


La nature de la lumière

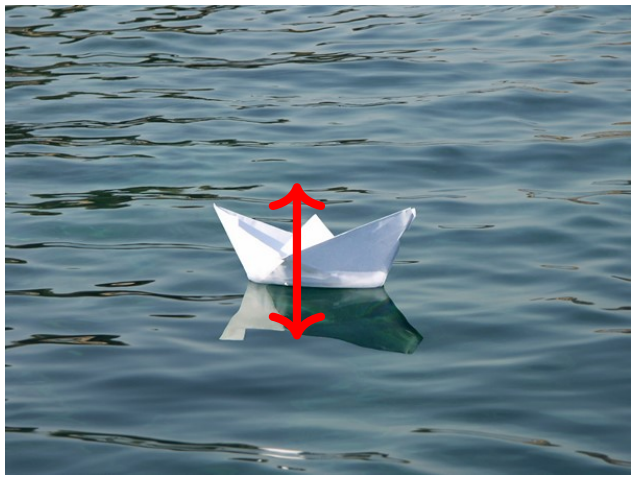
La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des “milieux”



- L'idée que la lumière est ondulatoire est rencontrée pour la première fois dans les travaux de **Robert Hooke** en 1660
- Théorie ondulatoire de la lumière : la lumière est constituée par les vibrations d'un milieu matériel élastique $\rightarrow$ *l'éther*
- Ces ondes s'y propagent à une vitesse finie et sans transport de matière (exp. du pendule de Newton) ; propagation de l'impulsion
- notion d'**onde**



Onde longitudinale



Onde Transversale

La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des “milieux”



- L'idée que la lumière est ondulatoire est rencontrée pour la première fois dans les travaux de **Robert Hooke** en 1660
- Théorie ondulatoire de la lumière : la lumière est constituée par les vibrations d'un milieu matériel élastique $\rightarrow$ *l'éther*
- Ces ondes s'y propagent à une vitesse finie et sans transport de matière (exp. du pendule de Newton) ; propagation de l'impulsion
- notion de **front d'onde**



La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des “milieux”



- L'idée que la lumière est ondulatoire est rencontrée pour la première fois dans les travaux de **Robert Hooke** en 1660
- Théorie ondulatoire de la lumière : la lumière est constituée par les vibrations d'un milieu matériel élastique $\rightarrow$ *l'éther*
- Ces ondes s'y propagent à une vitesse finie et sans transport de matière (exp. du pendule de Newton) ; propagation de l'impulsion
- notion de **front d'onde**



La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des "milieux"



- L'idée que la lumière est ondulatoire est rencontrée pour la première fois dans les travaux de **Robert Hooke** en 1660
- Théorie ondulatoire de la lumière : la lumière est constituée par les vibrations d'un milieu matériel élastique $\rightarrow$ *l'éther*
- Ces ondes s'y propagent à une vitesse finie et sans transport de matière (exp. du pendule de Newton) ; propagation de l'impulsion
- notion de **front d'onde**



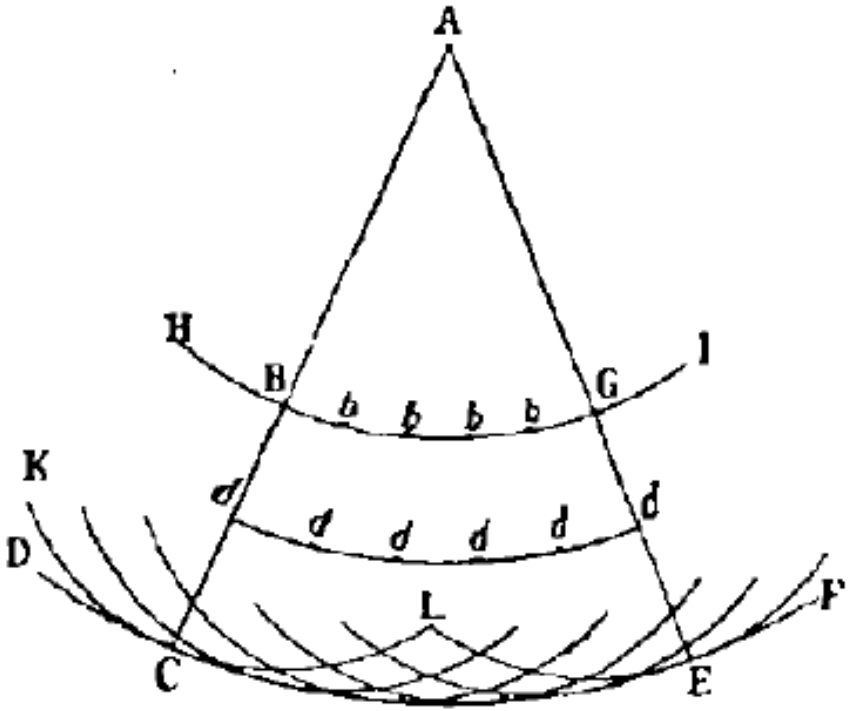
- Les vagues à la surface de l'eau sont une succession de crêtes et de creux, qui peuvent être considérées comme des fronts d'onde.
- Application à la lumière :
  - **Le front d'onde** est la surface atteinte par la lumière à un instant donné.

La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux



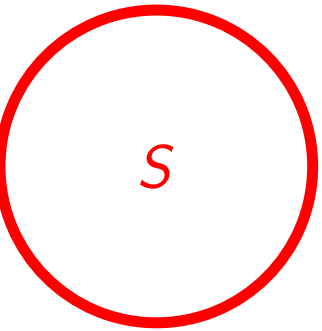
- **Principe de Huygens** : **“Chaque centre matériel d’ébranlement émet lui-même onde onde sphérique et chaque point de cette même onde devient une nouvelle source d’ébranlement”.**



La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

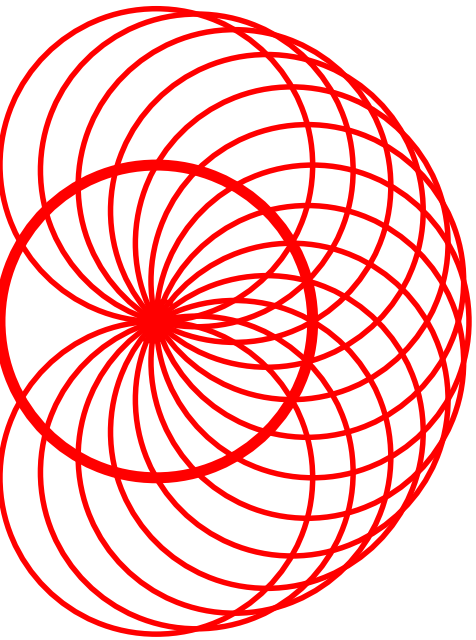




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

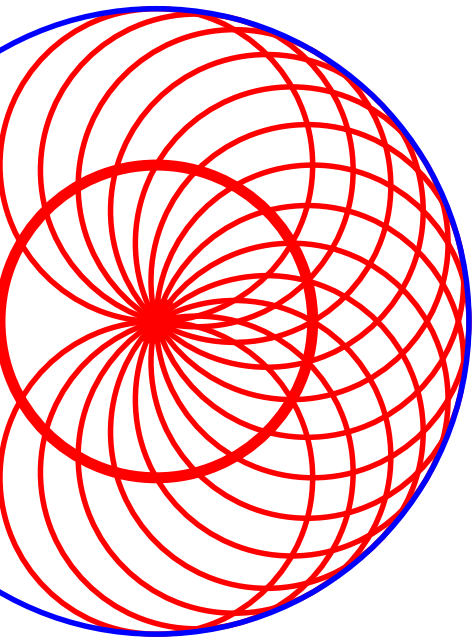




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

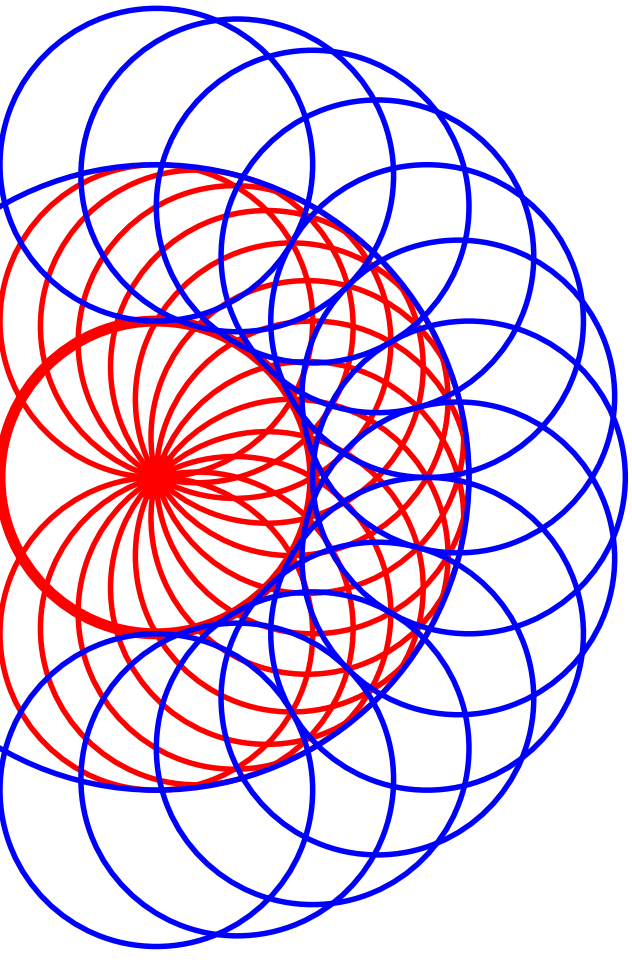




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

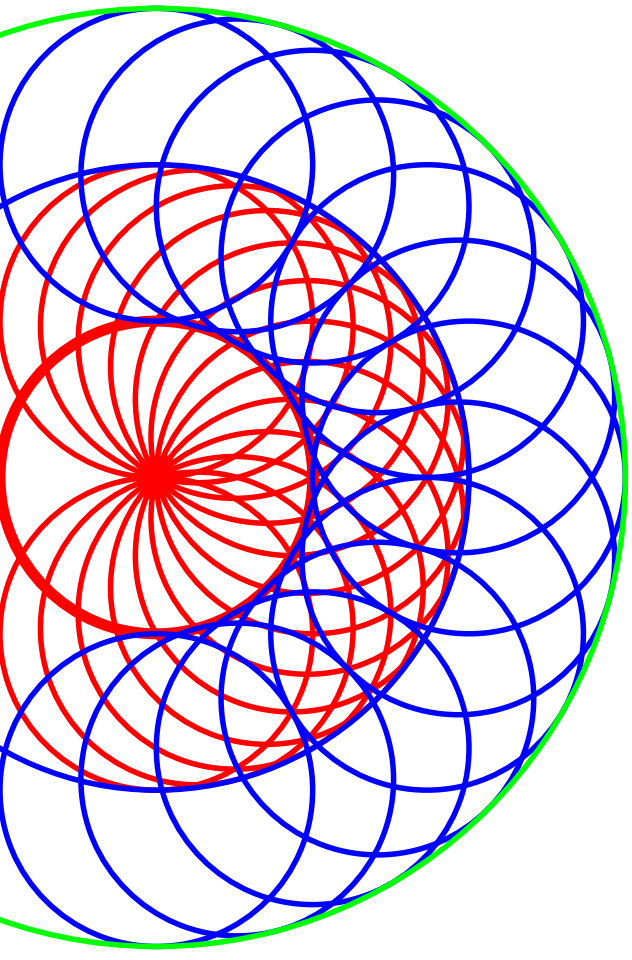




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

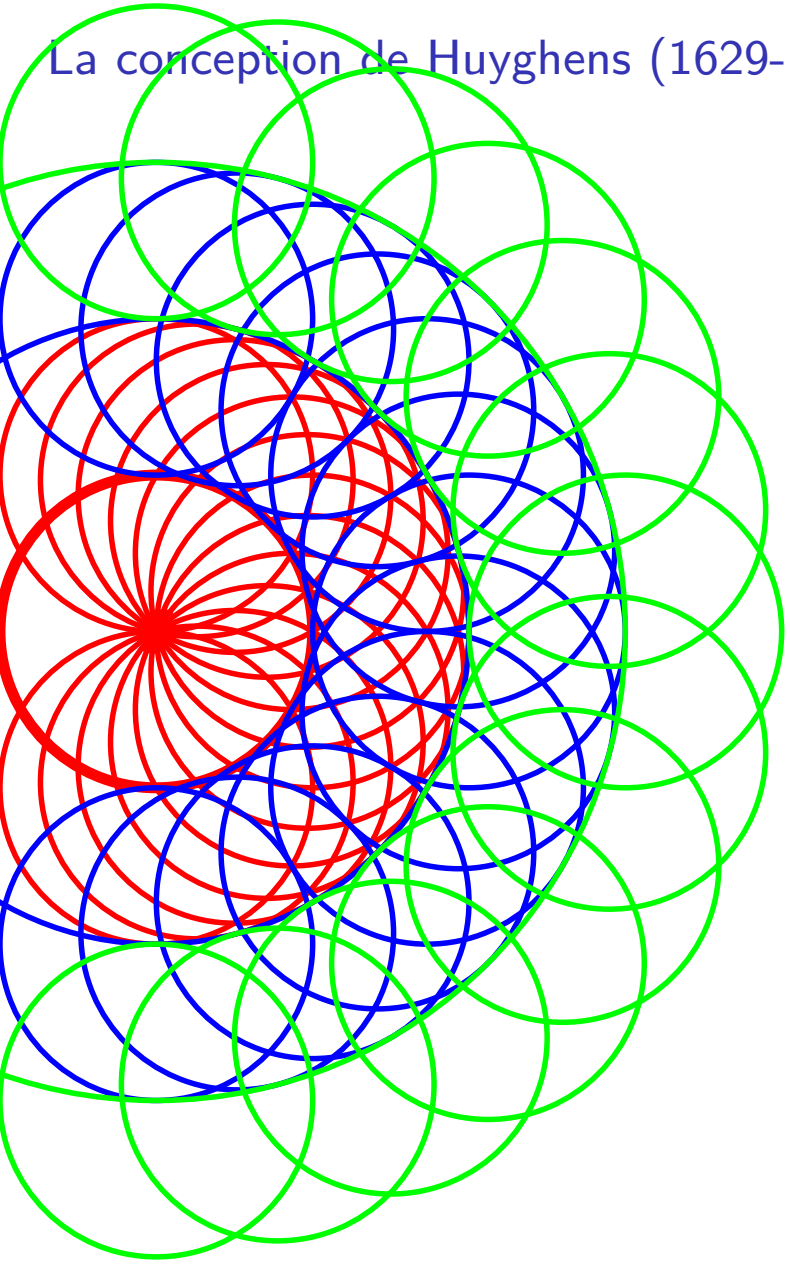




La nature de la lumière

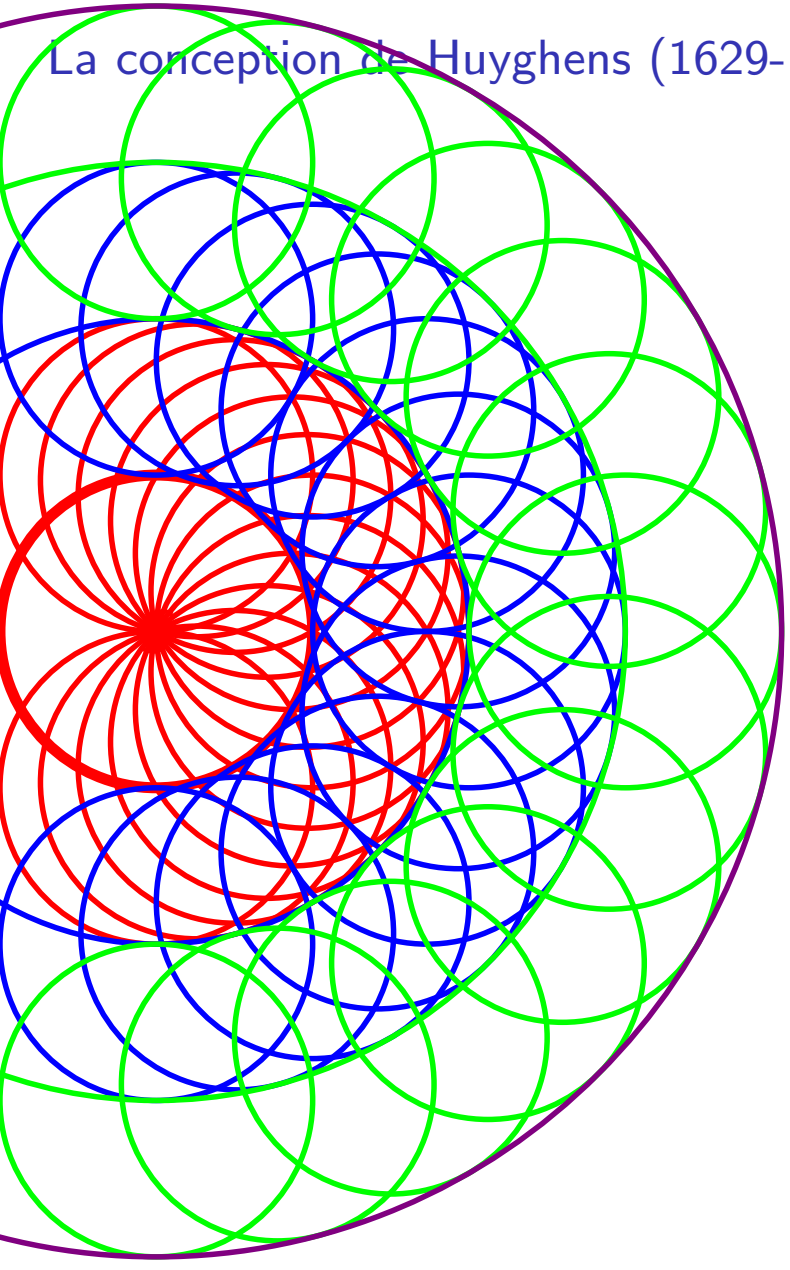
La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux





La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

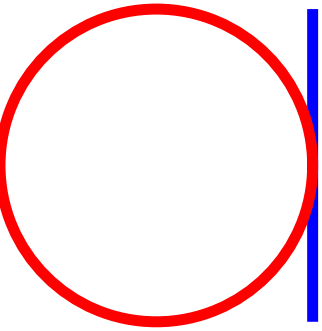




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

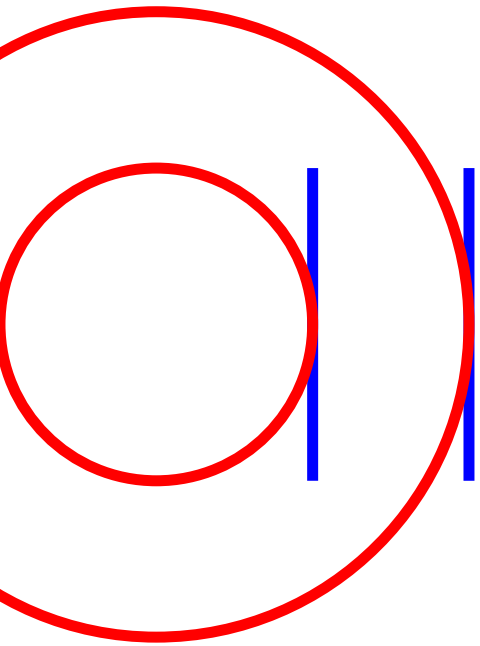




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

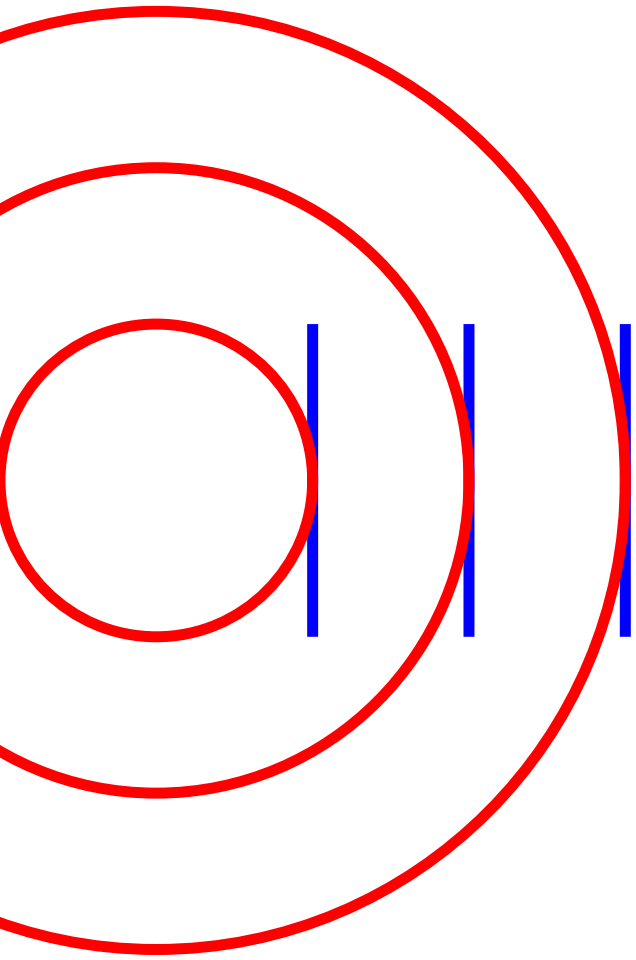




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

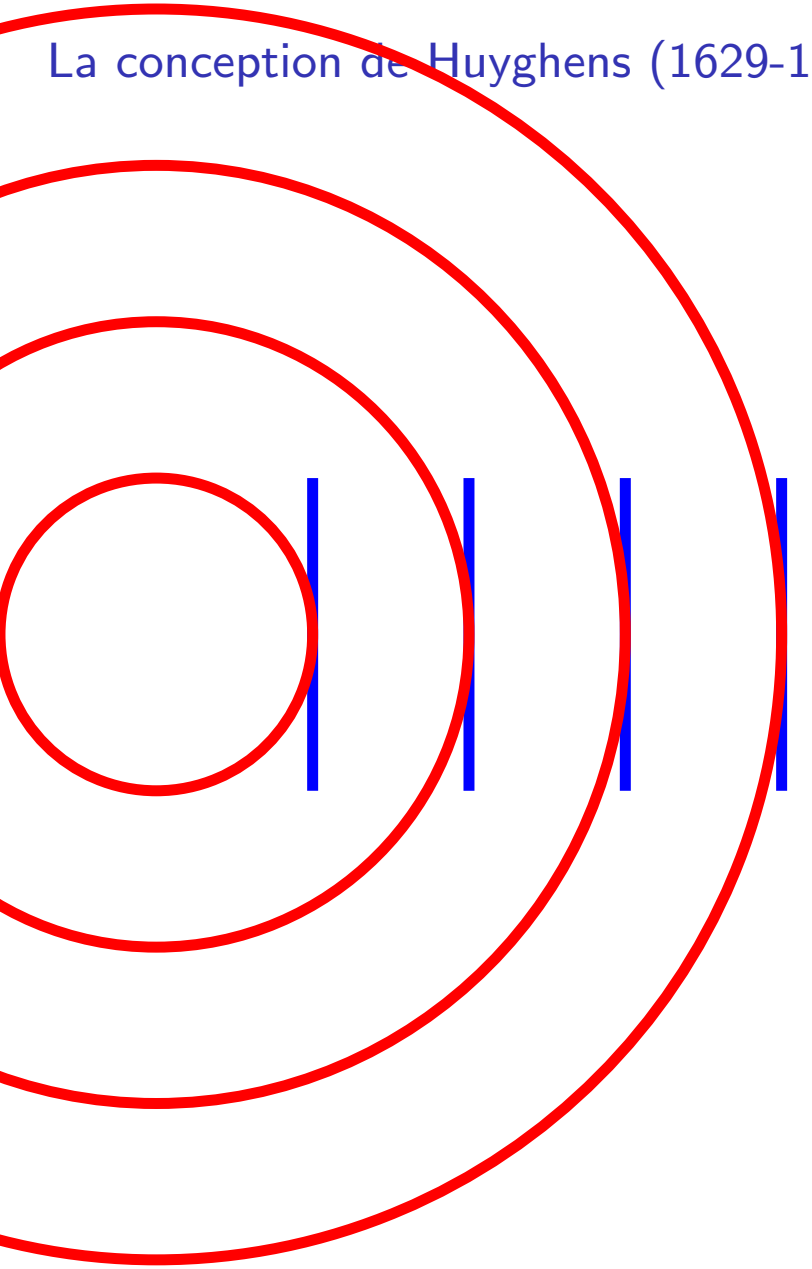




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

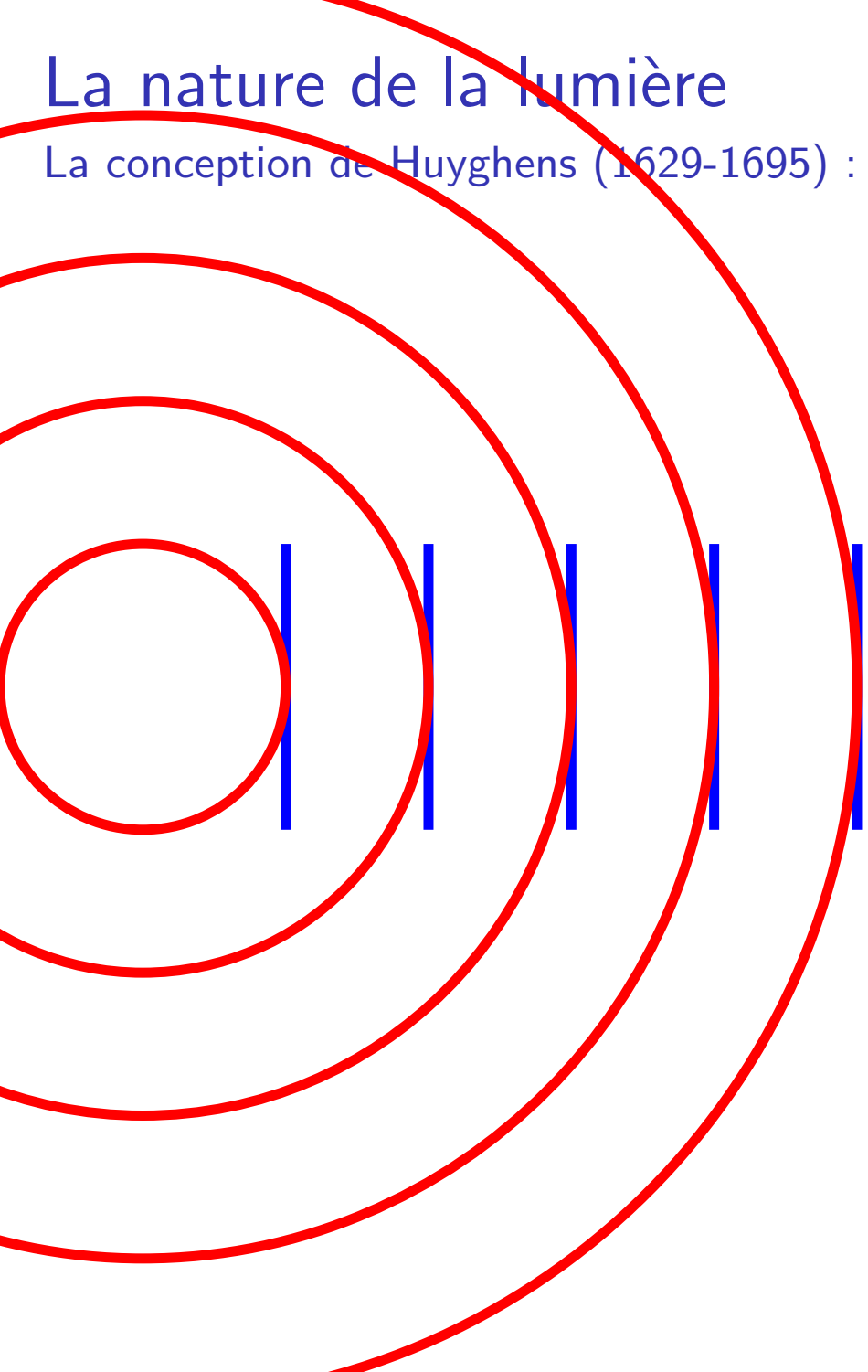




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

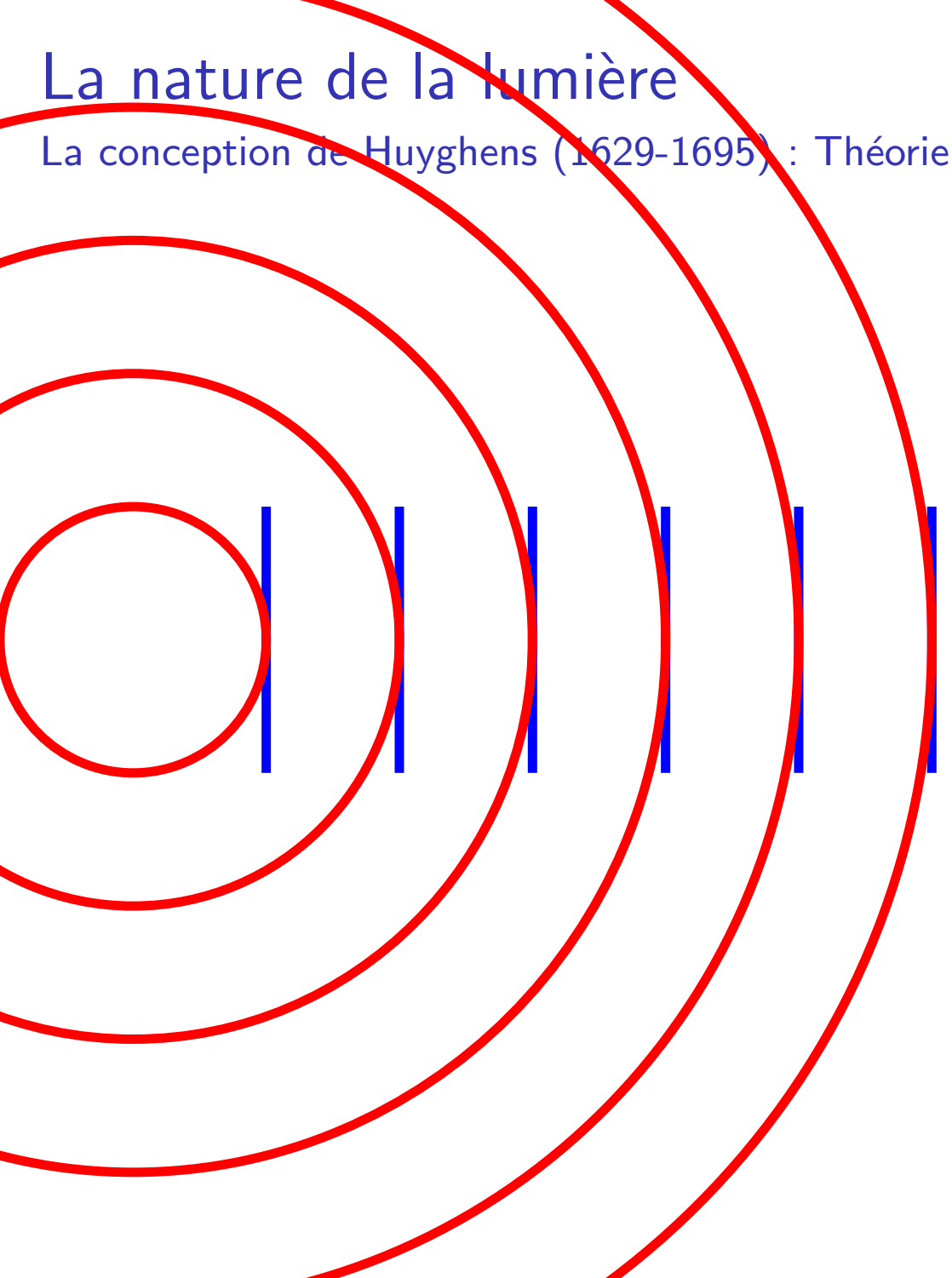




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

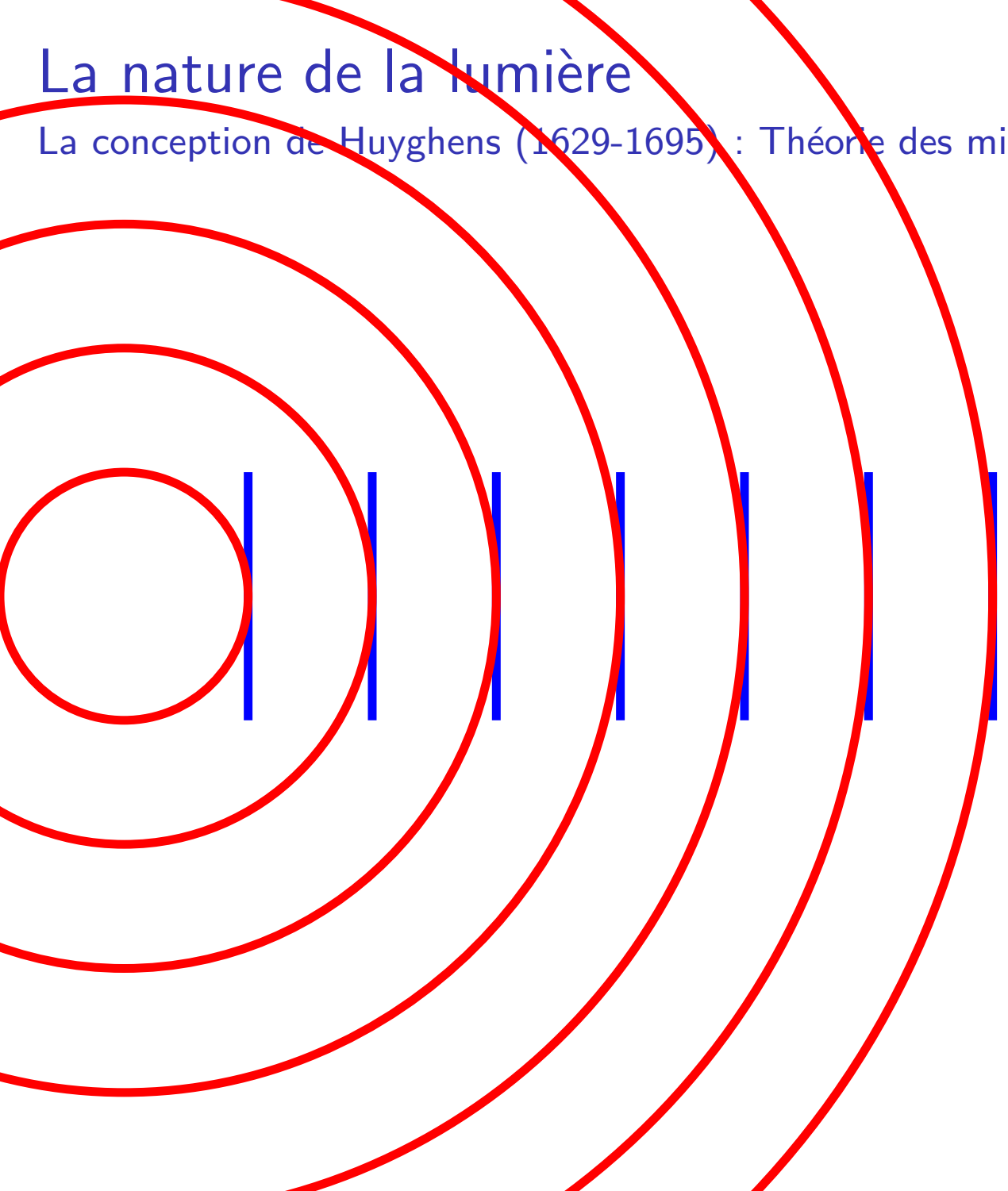




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

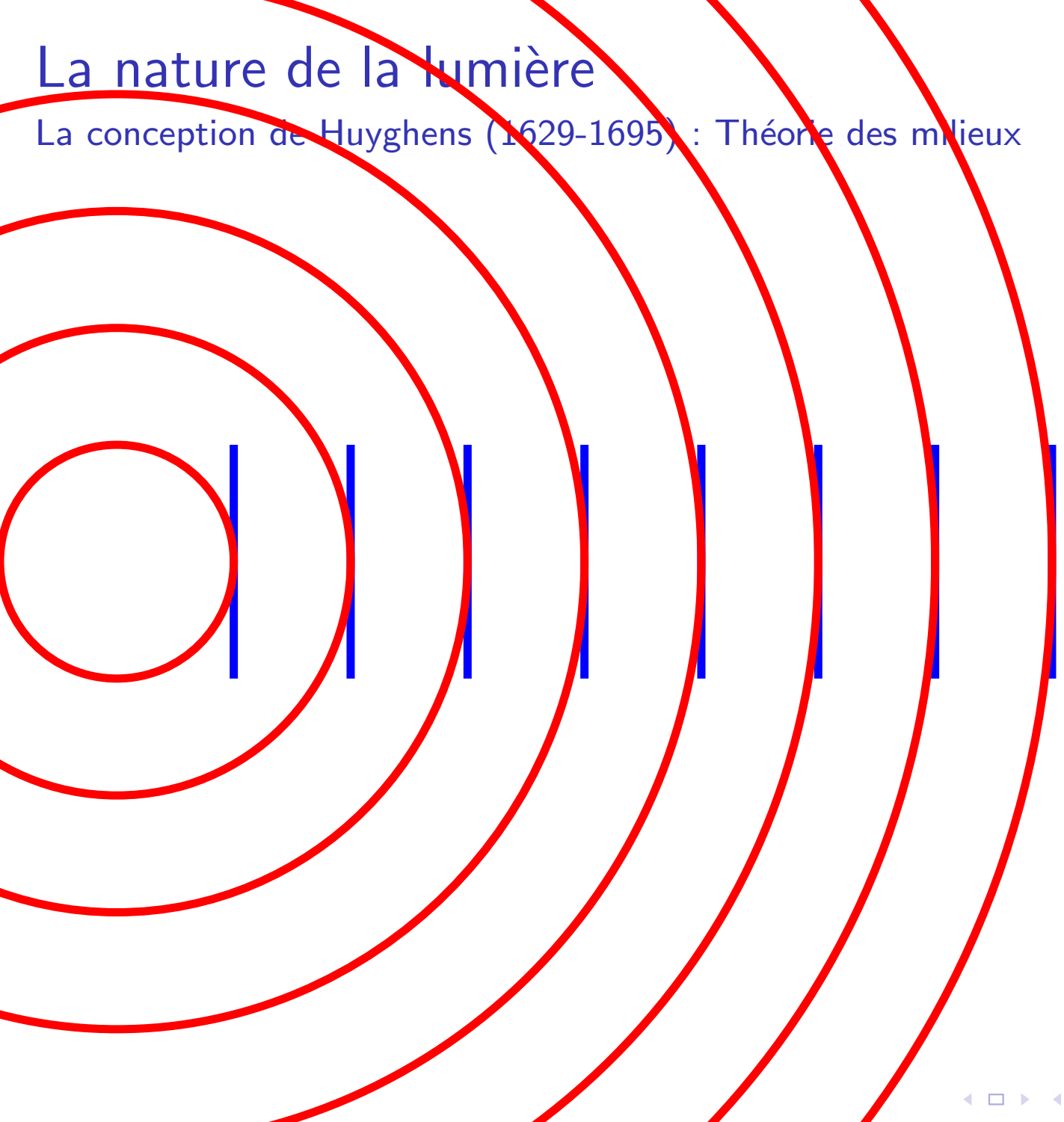




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

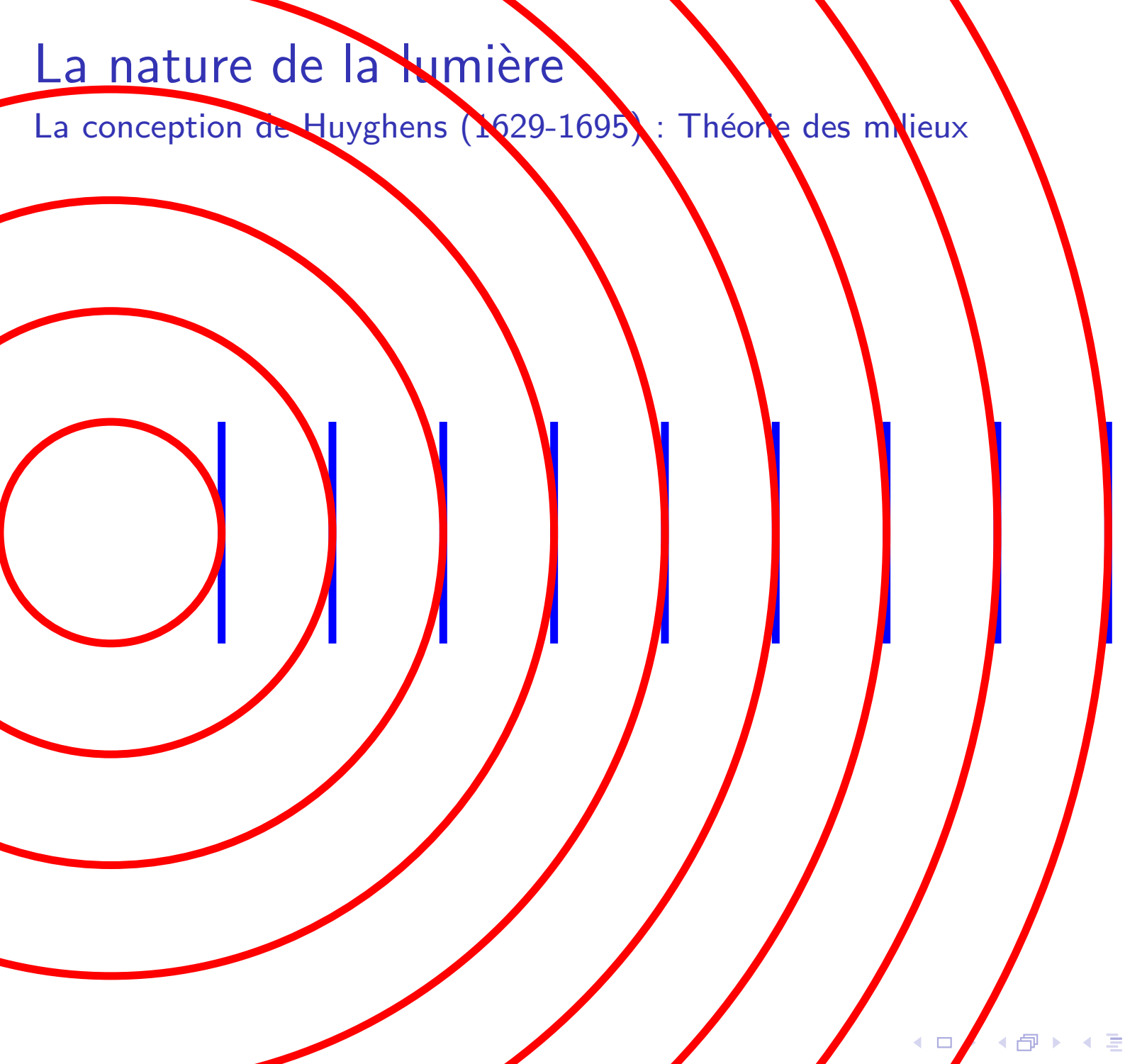




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux





La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

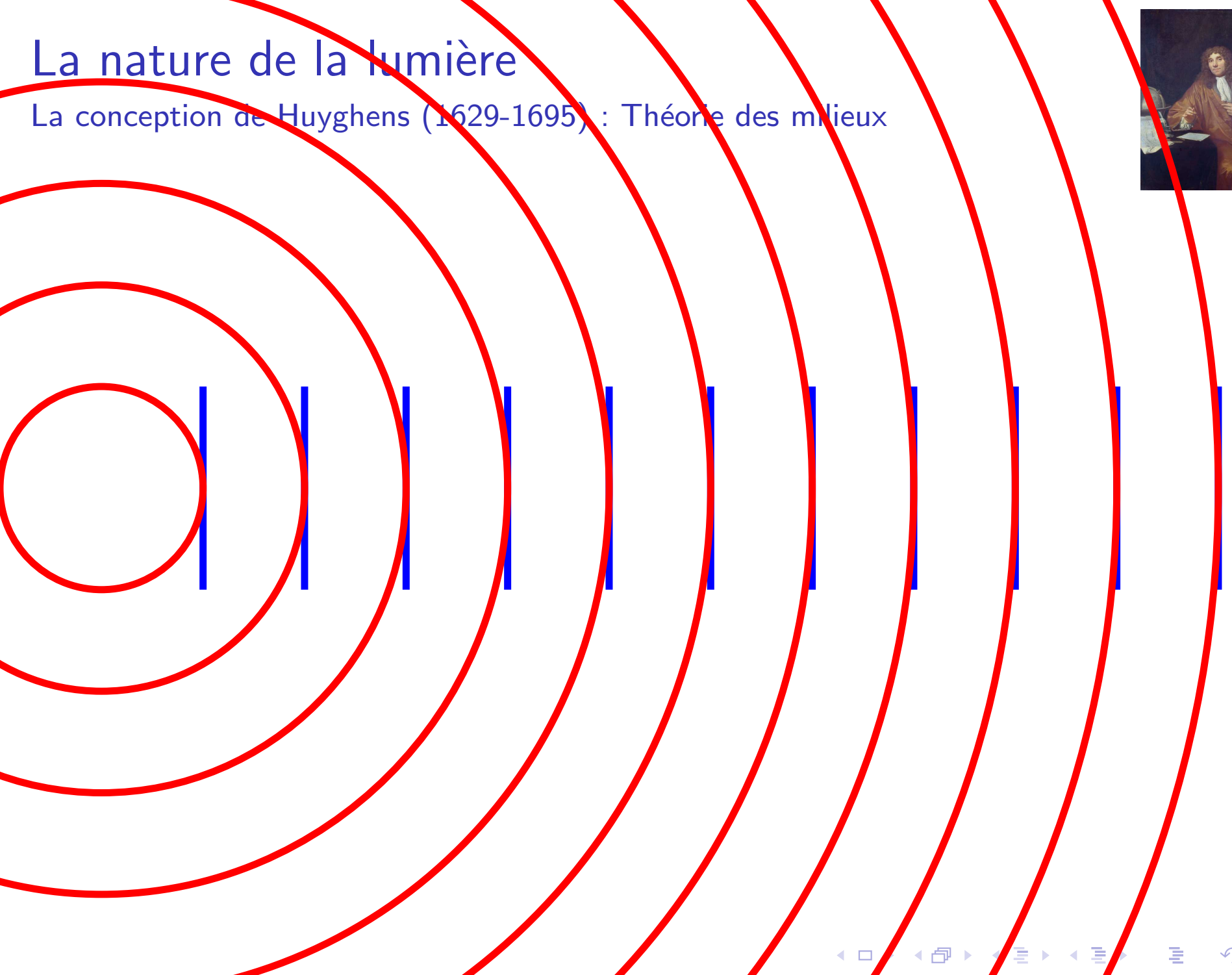




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux





La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

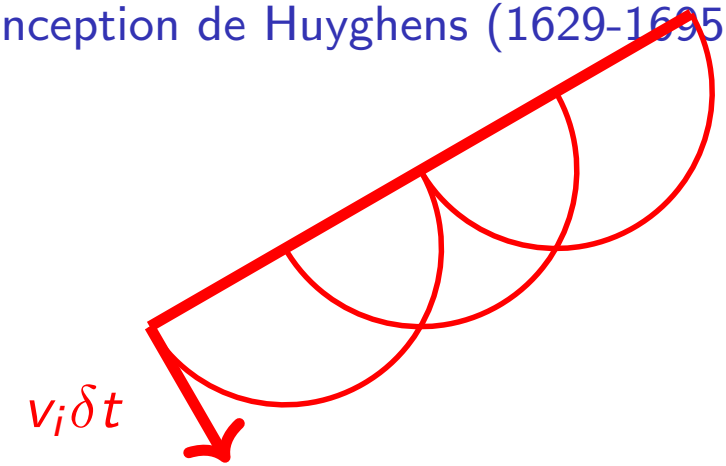




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux



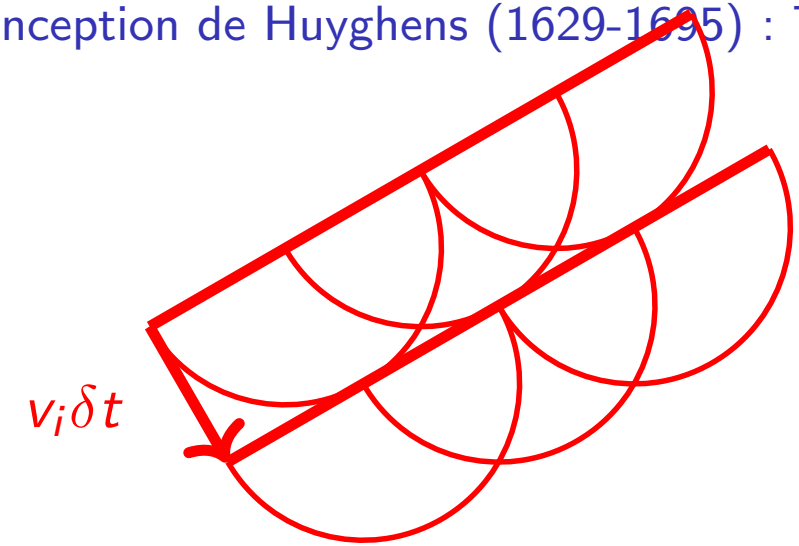




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux



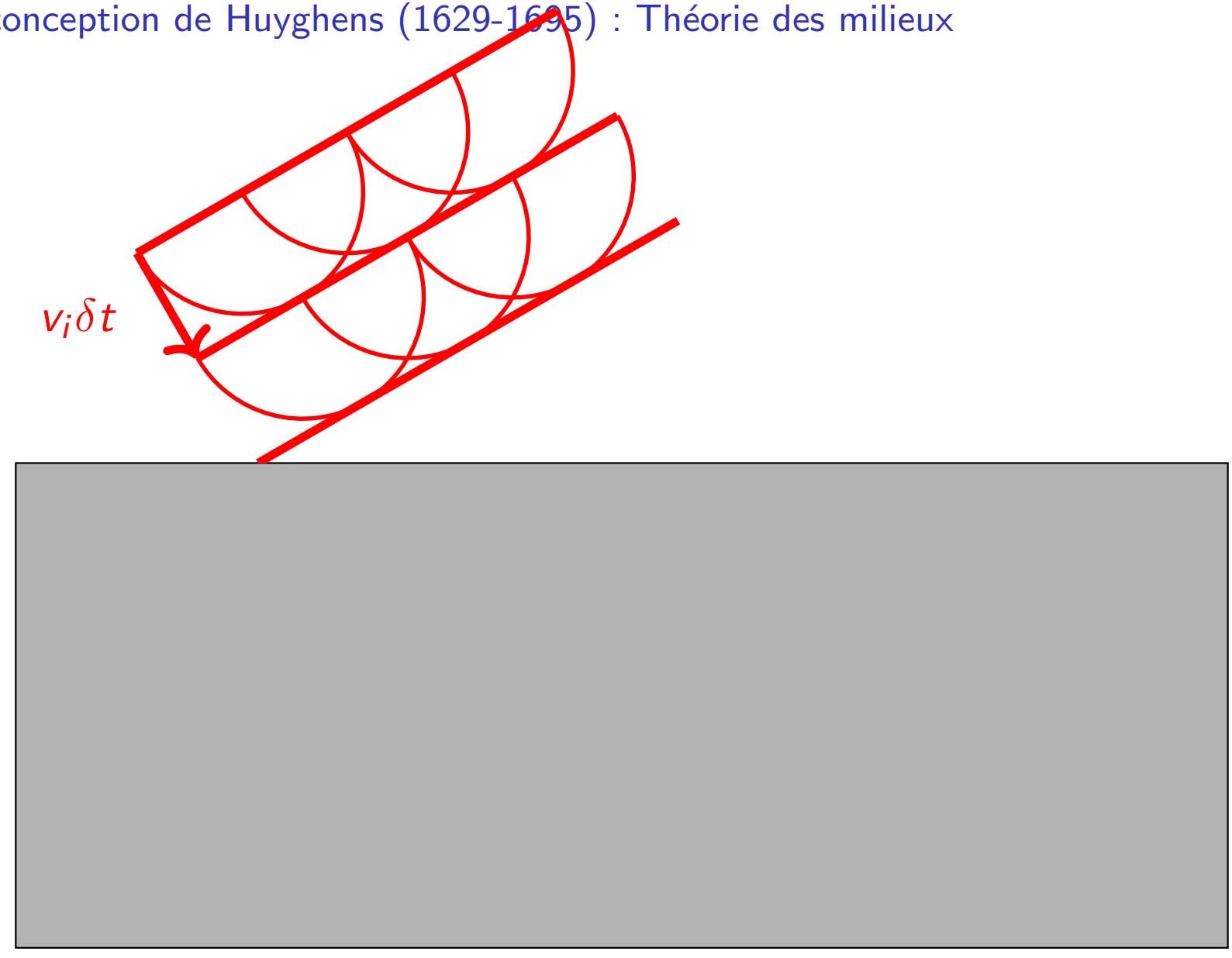




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux





La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux





La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux





La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

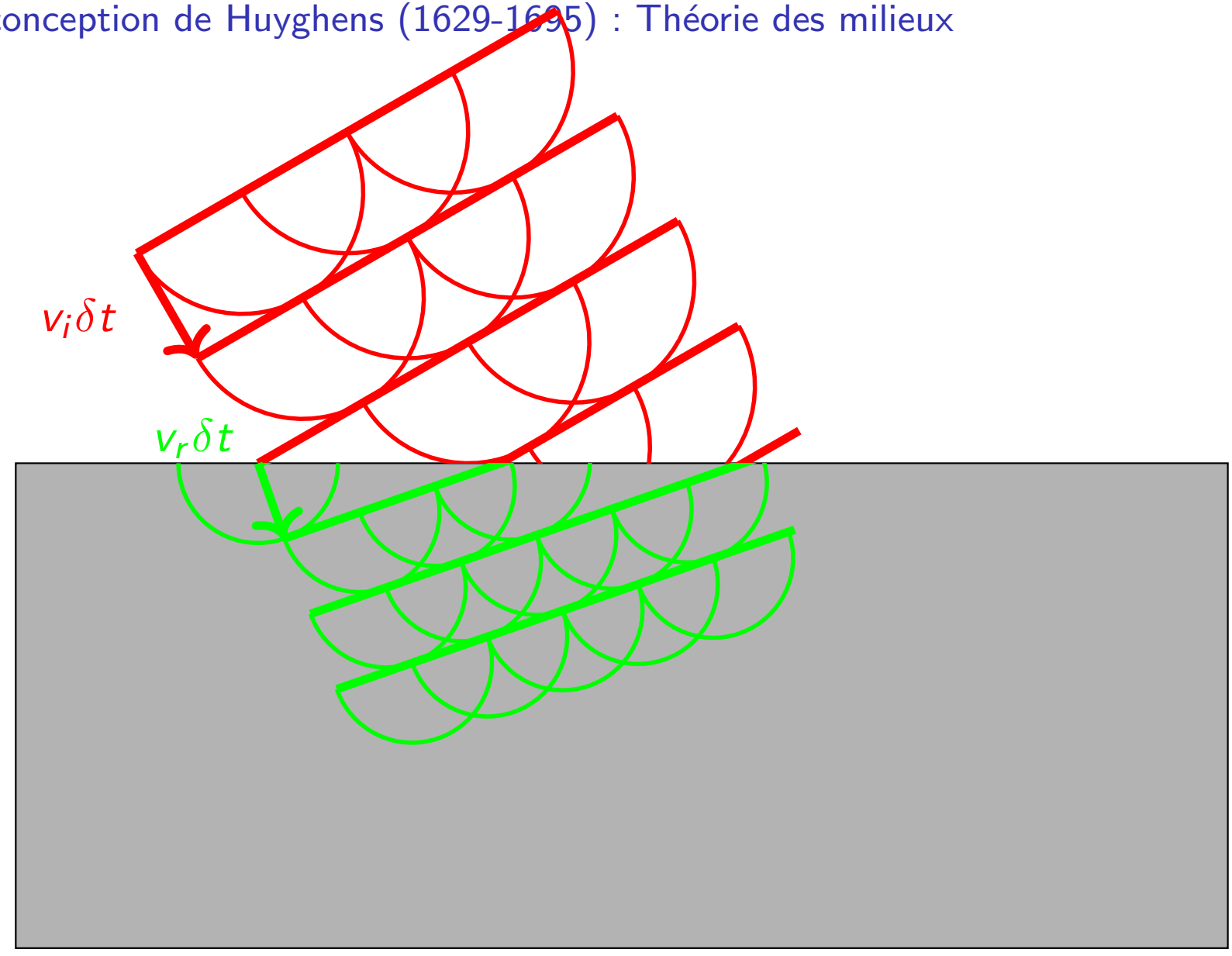




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux

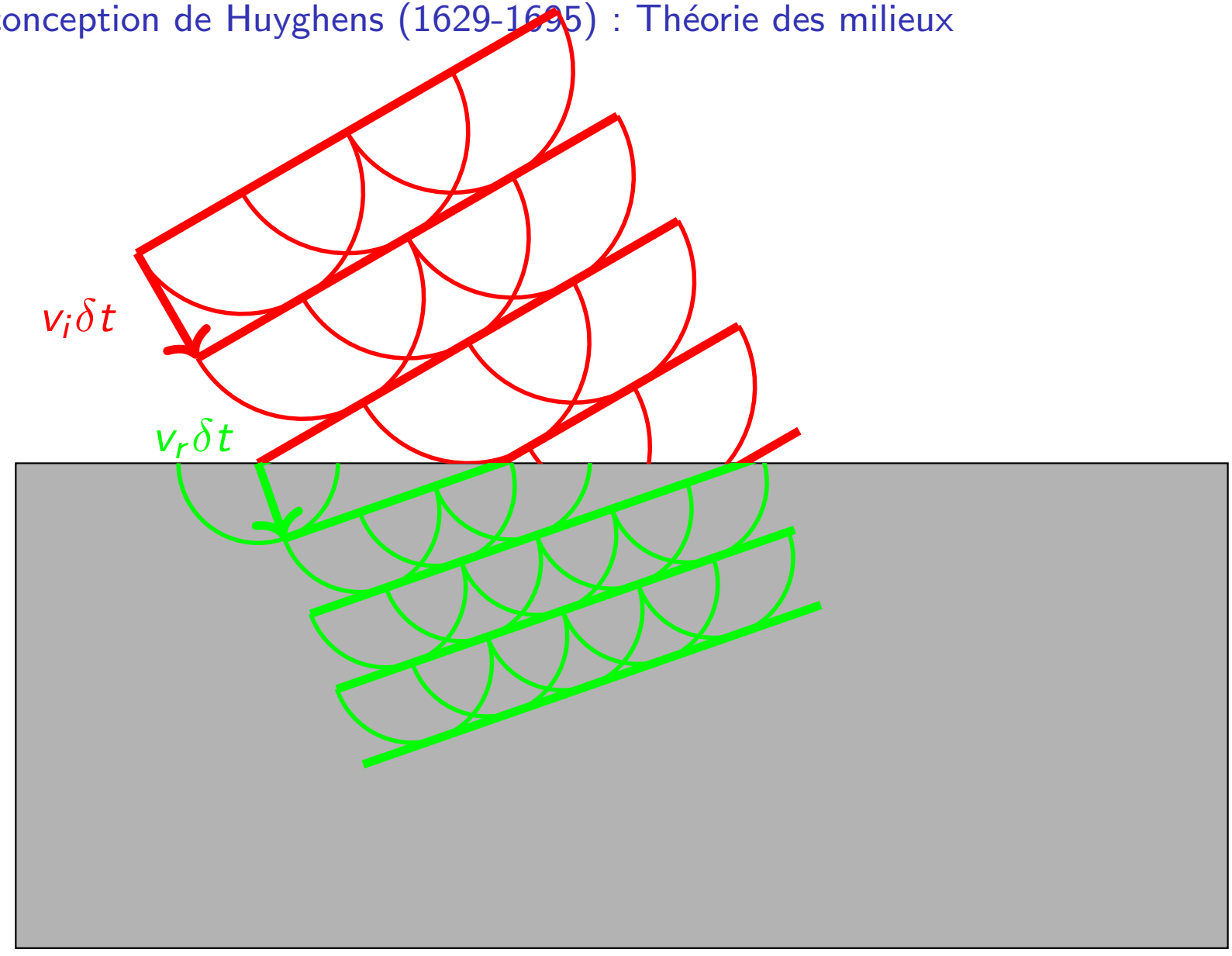




La nature de la lumière

La conception de Huyghens (1629-1695) : Théorie des milieux



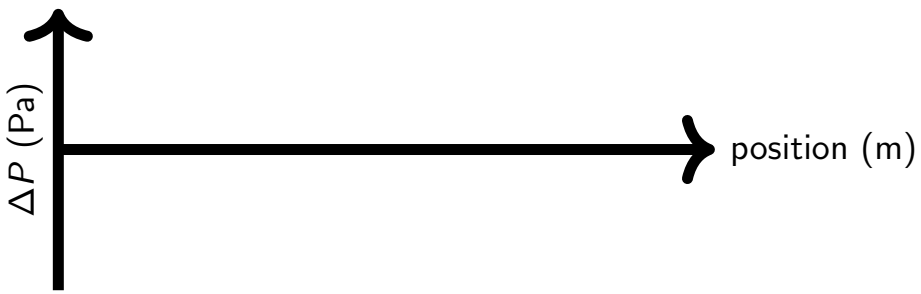


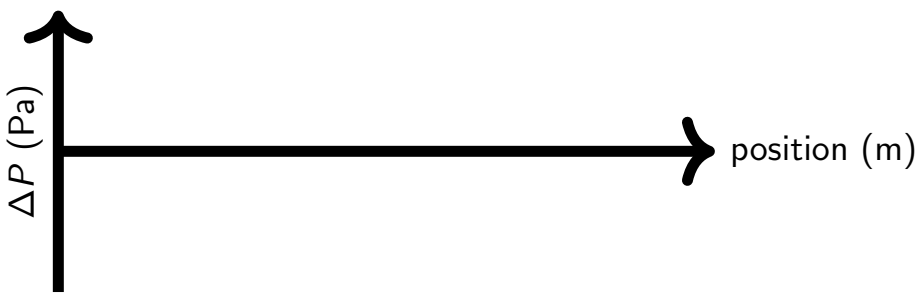
La nature de la lumière


Thomas Young
(1773-1829)

Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence

- 1800 : **Young**, un médecin écossais, s'intéresse aux battements sonores.
- A la différence de la lumière, il s'est établit très tôt dans l'histoire un consensus concernant la nature du son puisque dès la fin du XVII^e siècle, il est admis que le son était une vibration de l'air.
- Young propose le principe d'interférence pour les ondes sonores afin d'expliquer le phénomène de battements sonores.
- Il décrit le phénomène de superposition des mouvements ondulatoires



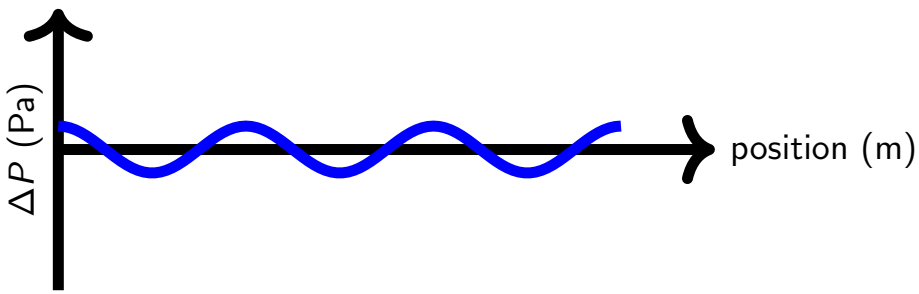


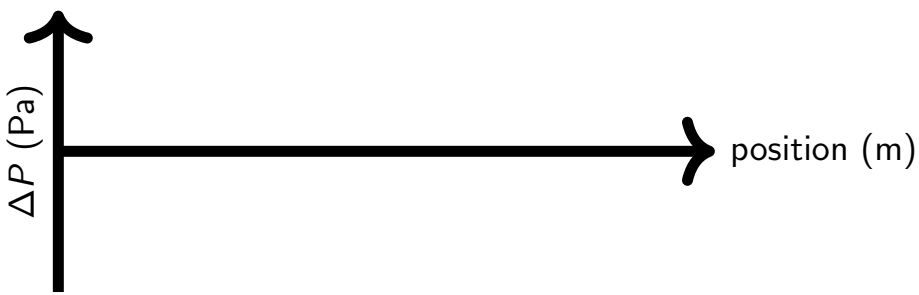
La nature de la lumière


Thomas Young
(1773-1829)

Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence

- 1800 : **Young**, un médecin écossais, s'intéresse aux battements sonores.
- A la différence de la lumière, il s'est établit très tôt dans l'histoire un consensus concernant la nature du son puisque dès la fin du XVII^{e} siècle, il est admis que le son était une vibration de l'air.
- Young propose le principe d'interférence pour les ondes sonores afin d'expliquer le phénomène de battements sonores.
- Il décrit le phénomène de superposition des mouvements ondulatoires



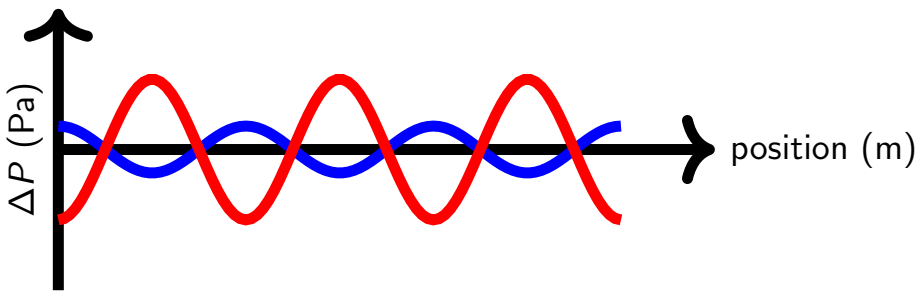


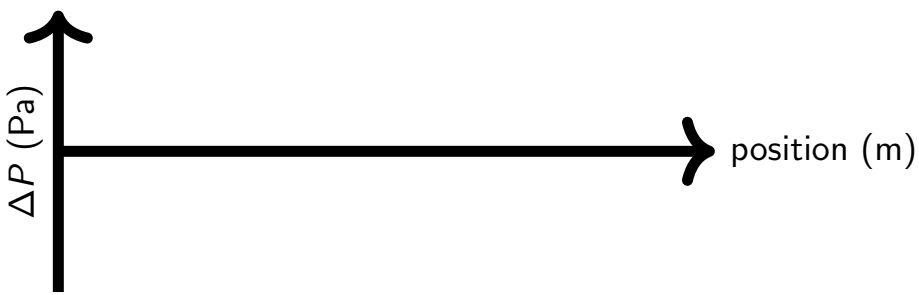
La nature de la lumière


Thomas Young
(1773-1829)

Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence

- 1800 : **Young**, un médecin écossais, s'intéresse aux battements sonores.
- A la différence de la lumière, il s'est établit très tôt dans l'histoire un consensus concernant la nature du son puisque dès la fin du XVII^{e} siècle, il est admis que le son était une vibration de l'air.
- Young propose le principe d'interférence pour les ondes sonores afin d'expliquer le phénomène de battements sonores.
- Il décrit le phénomène de superposition des mouvements ondulatoires



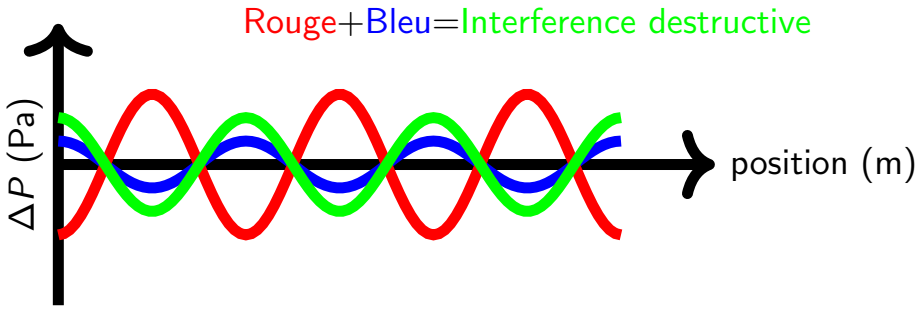


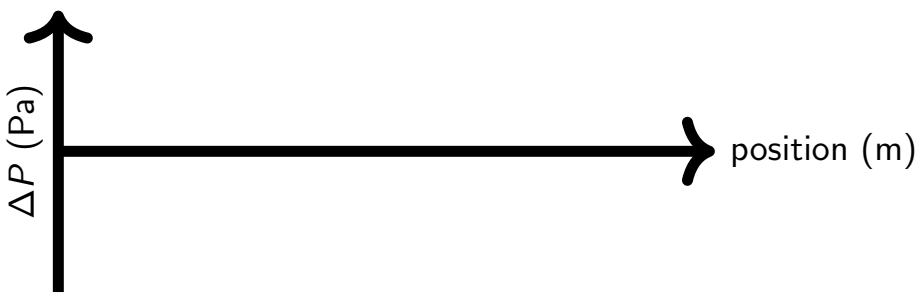
La nature de la lumière


Thomas Young
(1773-1829)

Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence

- 1800 : **Young**, un médecin écossais, s'intéresse aux battements sonores.
- A la différence de la lumière, il s'est établit très tôt dans l'histoire un consensus concernant la nature du son puisque dès la fin du XVII^{e} siècle, il est admis que le son était une vibration de l'air.
- Young propose le principe d'interférence pour les ondes sonores afin d'expliquer le phénomène de battements sonores.
- Il décrit le phénomène de superposition des mouvements ondulatoires



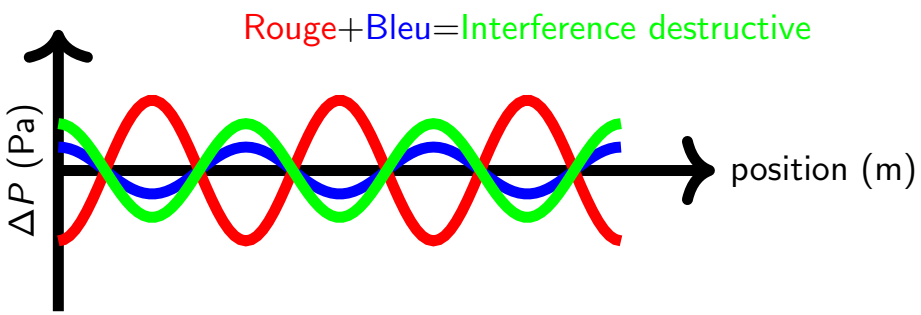


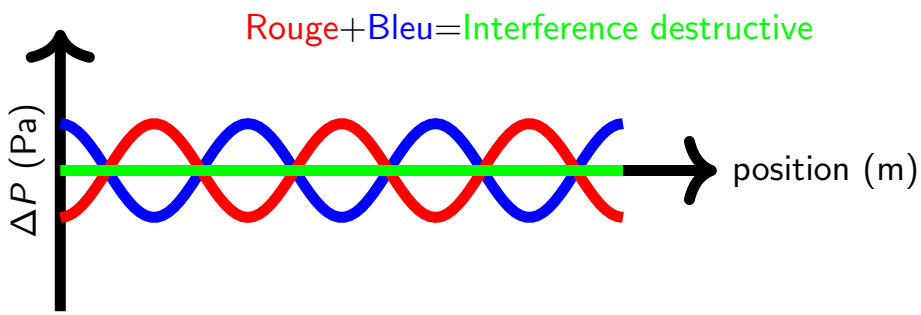
La nature de la lumière

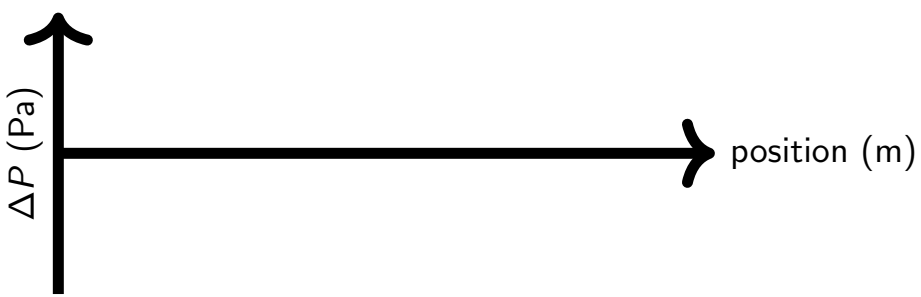

Thomas Young
(1773-1829)

Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence

- 1800 : **Young**, un médecin écossais, s'intéresse aux battements sonores.
- A la différence de la lumière, il s'est établit très tôt dans l'histoire un consensus concernant la nature du son puisque dès la fin du XVII^{e} siècle, il est admis que le son était une vibration de l'air.
- Young propose le principe d'interférence pour les ondes sonores afin d'expliquer le phénomène de battements sonores.
- Il décrit le phénomène de superposition des mouvements ondulatoires





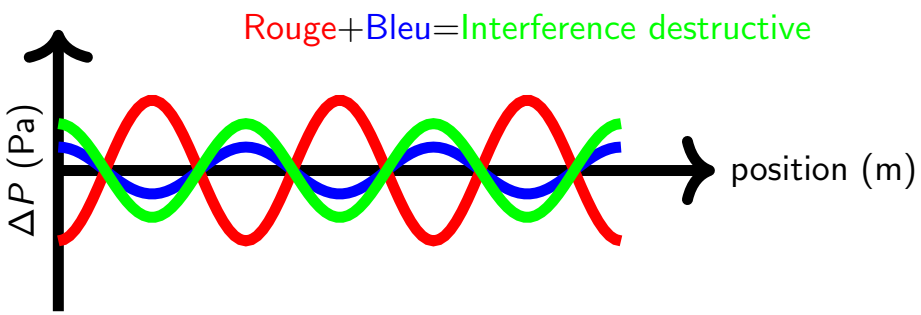


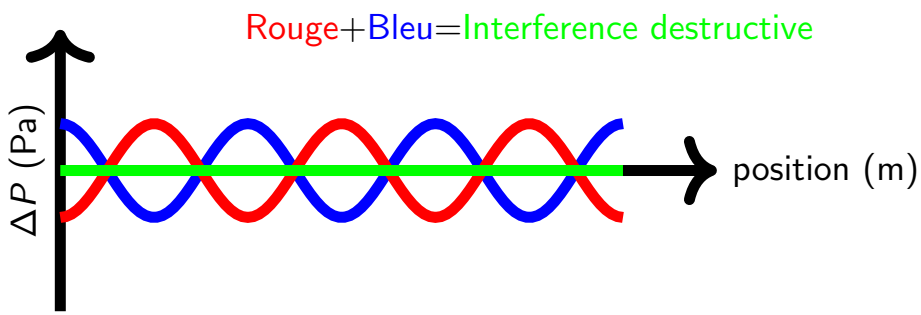
La nature de la lumière

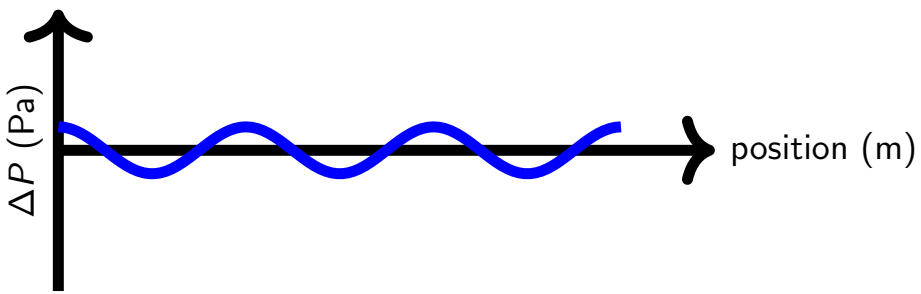

Thomas Young
(1773-1829)

Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence

- 1800 : **Young**, un médecin écossais, s'intéresse aux battements sonores.
- A la différence de la lumière, il s'est établit très tôt dans l'histoire un consensus concernant la nature du son puisque dès la fin du XVII^e siècle, il est admis que le son était une vibration de l'air.
- Young propose le principe d'interférence pour les ondes sonores afin d'expliquer le phénomène de battements sonores.
- Il décrit le phénomène de superposition des mouvements ondulatoires





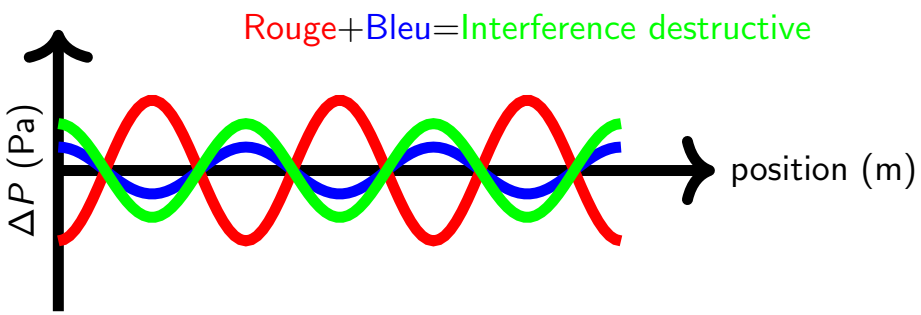


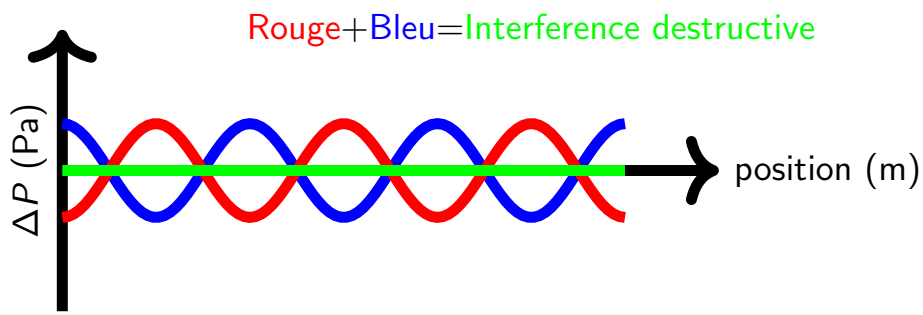
La nature de la lumière

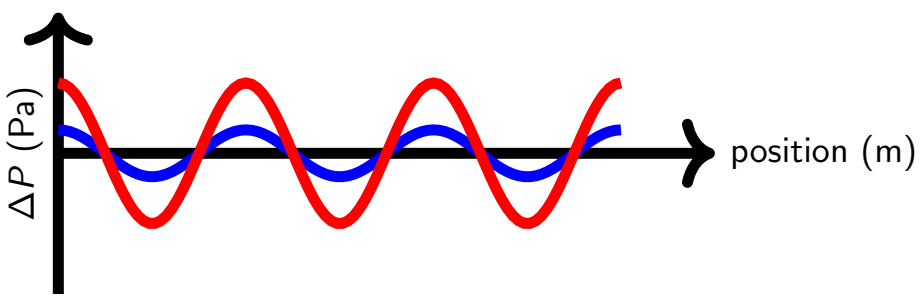

Thomas Young
(1773-1829)

Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence

- 1800 : **Young**, un médecin écossais, s'intéresse aux battements sonores.
- A la différence de la lumière, il s'est établit très tôt dans l'histoire un consensus concernant la nature du son puisque dès la fin du XVII^{e} siècle, il est admis que le son était une vibration de l'air.
- Young propose le principe d'interférence pour les ondes sonores afin d'expliquer le phénomène de battements sonores.
- Il décrit le phénomène de superposition des mouvements ondulatoires





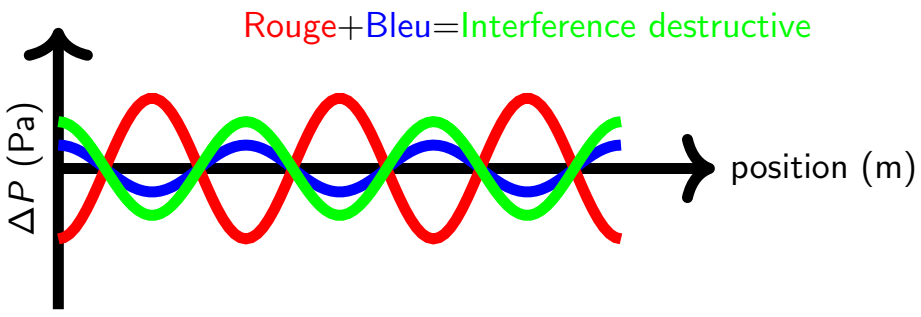


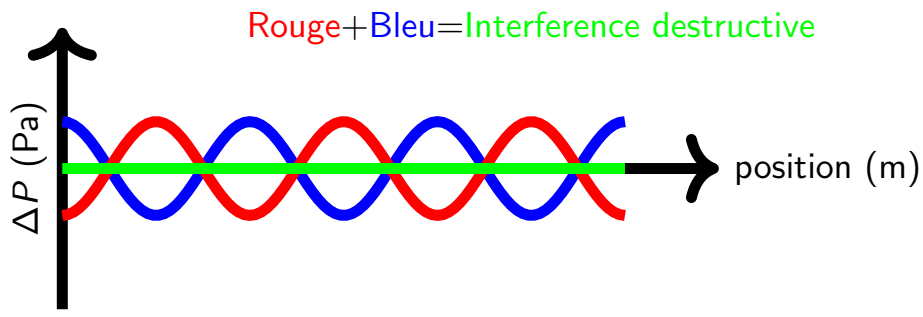
La nature de la lumière

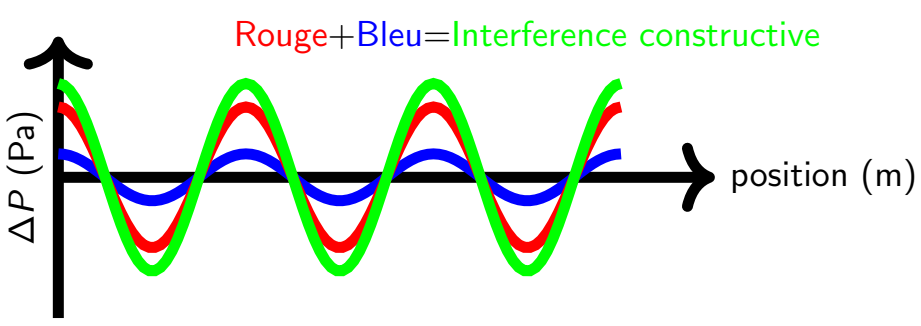

Thomas Young
(1773-1829)

Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence

- 1800 : **Young**, un médecin écossais, s'intéresse aux battements sonores.
- A la différence de la lumière, il s'est établit très tôt dans l'histoire un consensus concernant la nature du son puisque dès la fin du XVII^{e} siècle, il est admis que le son était une vibration de l'air.
- Young propose le principe d'interférence pour les ondes sonores afin d'expliquer le phénomène de battements sonores.
- Il décrit le phénomène de superposition des mouvements ondulatoires





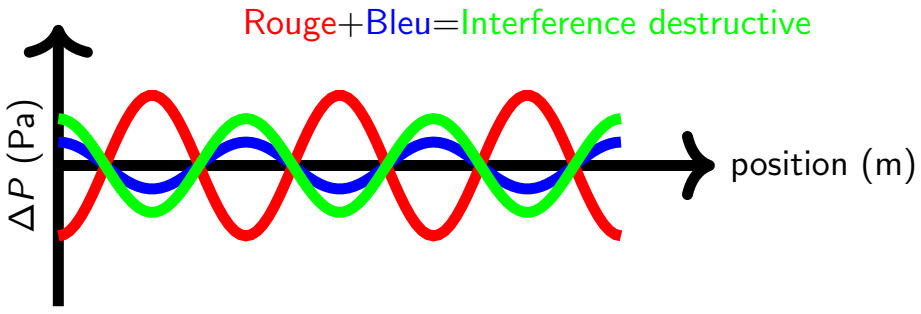


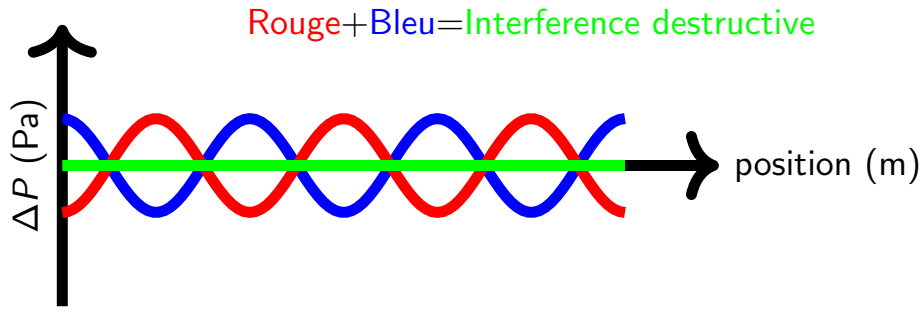
La nature de la lumière

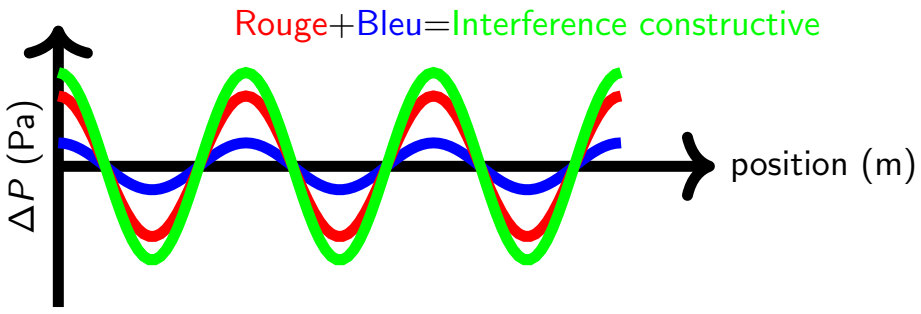


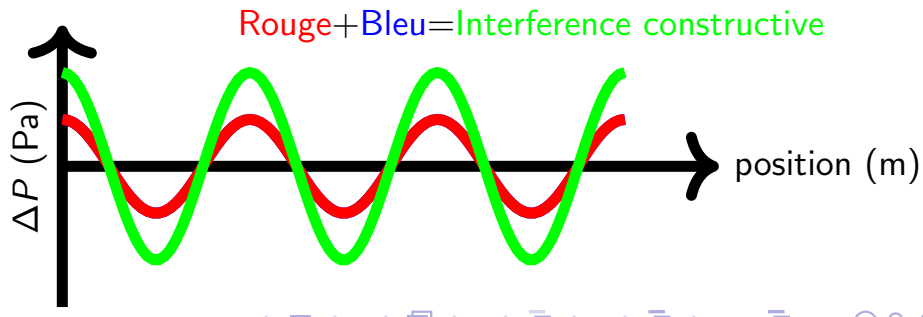
Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence

- 1800 : **Young**, un médecin écossais, s'intéresse aux battements sonores.
- A la différence de la lumière, il s'est établit très tôt dans l'histoire un consensus concernant la nature du son puisque dès la fin du XVII^{e} siècle, il est admis que le son était une vibration de l'air.
- Young propose le principe d'interférence pour les ondes sonores afin d'expliquer le phénomène de battements sonores.
- Il décrit le phénomène de superposition des mouvements ondulatoires









La nature de la lumière


Thomas Young
(1773-1829)

Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence

- Un an plus tard, sur la base de l'analogie avec le son, il étend le principe d'interférence des ondes sonores aux ondes lumineuses
- Afin d'établir de manière directe et indiscutable la nature ondulatoire de la lumière, Young conçoit la célèbre expérience des fentes d'Young

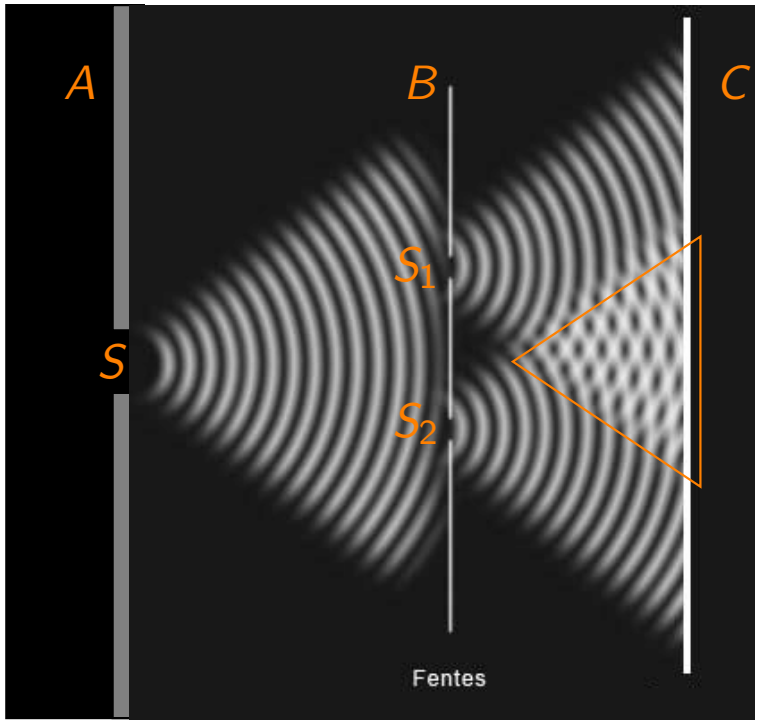
La nature de la lumière



Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence

- Un an plus tard, sur la base de l'analogie avec le son, il étend le principe d'interférence des ondes sonores aux ondes lumineuses
- Afin d'établir de manière directe et indiscutable la nature ondulatoire de la lumière, Young conçoit la célèbre expérience des fentes d'Young

- La lumière du Soleil passe par un petit trou S, percé dans un écran A
- Cela génère un faisceau lumineux qui vient éclairer 2 fentes S_1 et S_2 percées dans un écran B
- Les 2 faisceaux issus de S_1 et S_2 se ecouvrent partiellement dans la zone d'interférence
- En chaque point M de l'écran C situé dans le champ d'interférence se coupent 2 rayons issus de S_1 et S_2
- Ces 2 rayons présentent une différence de trajet, excepté si M est situé sur la médiatrice du segment S_1S_2



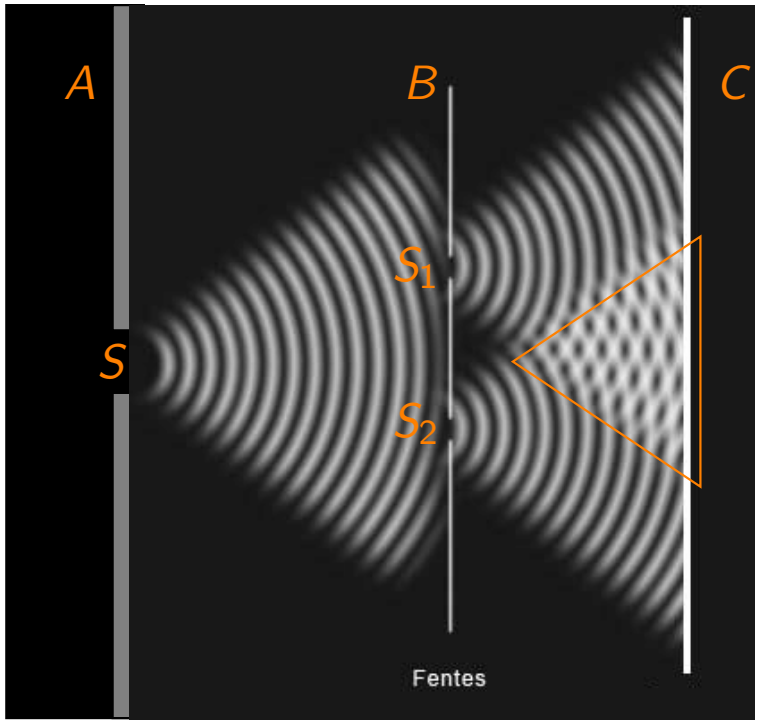
La nature de la lumière

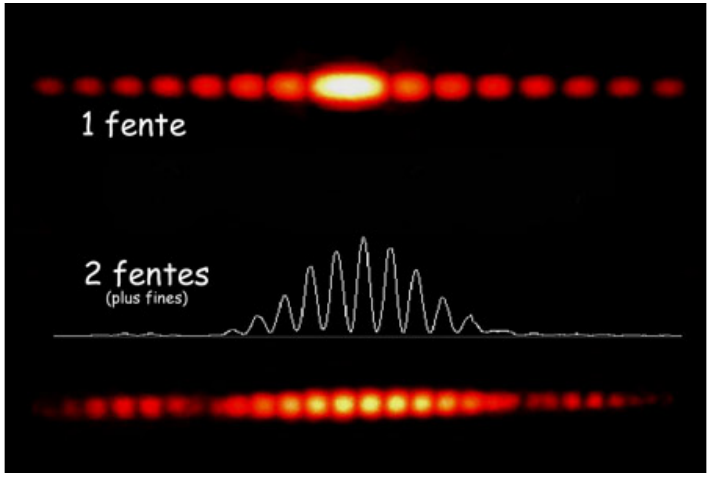


Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence

- Un an plus tard, sur la base de l'analogie avec le son, il étend le principe d'interférence des ondes sonores aux ondes lumineuses
- Afin d'établir de manière directe et indiscutable la nature ondulatoire de la lumière, Young conçoit la célèbre expérience des fentes d'Young

- La lumière du Soleil passe par un petit trou S, percé dans un écran A
- Cela génère un faisceau lumineux qui vient éclairer 2 fentes S_1 et S_2 percées dans un écran B
- Les 2 faisceaux issus de S_1 et S_2 se ecouvrent partiellement dans la zone d'interférence
- En chaque point M de l'écran C situé dans le champ d'interférence
- Ces 2 rayons si M est situé







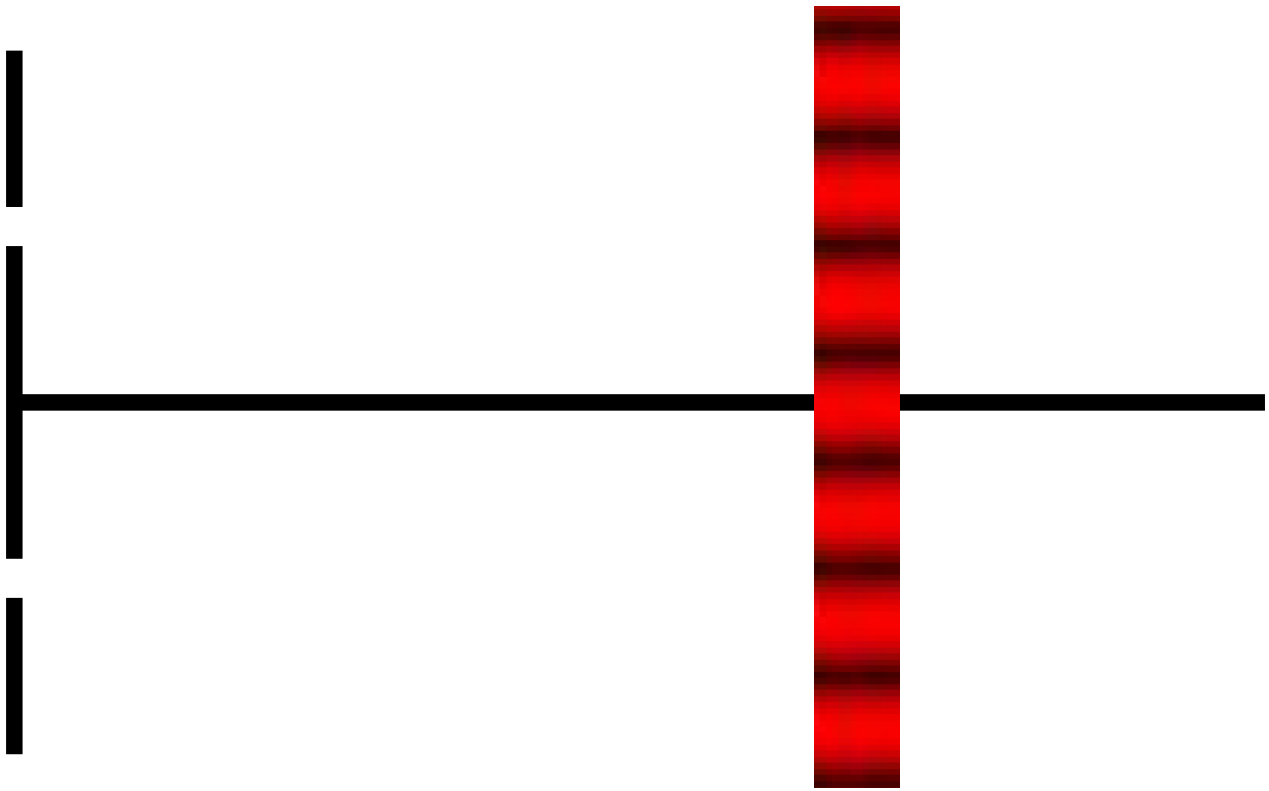
On observe un système de franges rectilignes alternativement sombres et claires

La nature de la lumière

Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence



Thomas Young
(1773-1829)

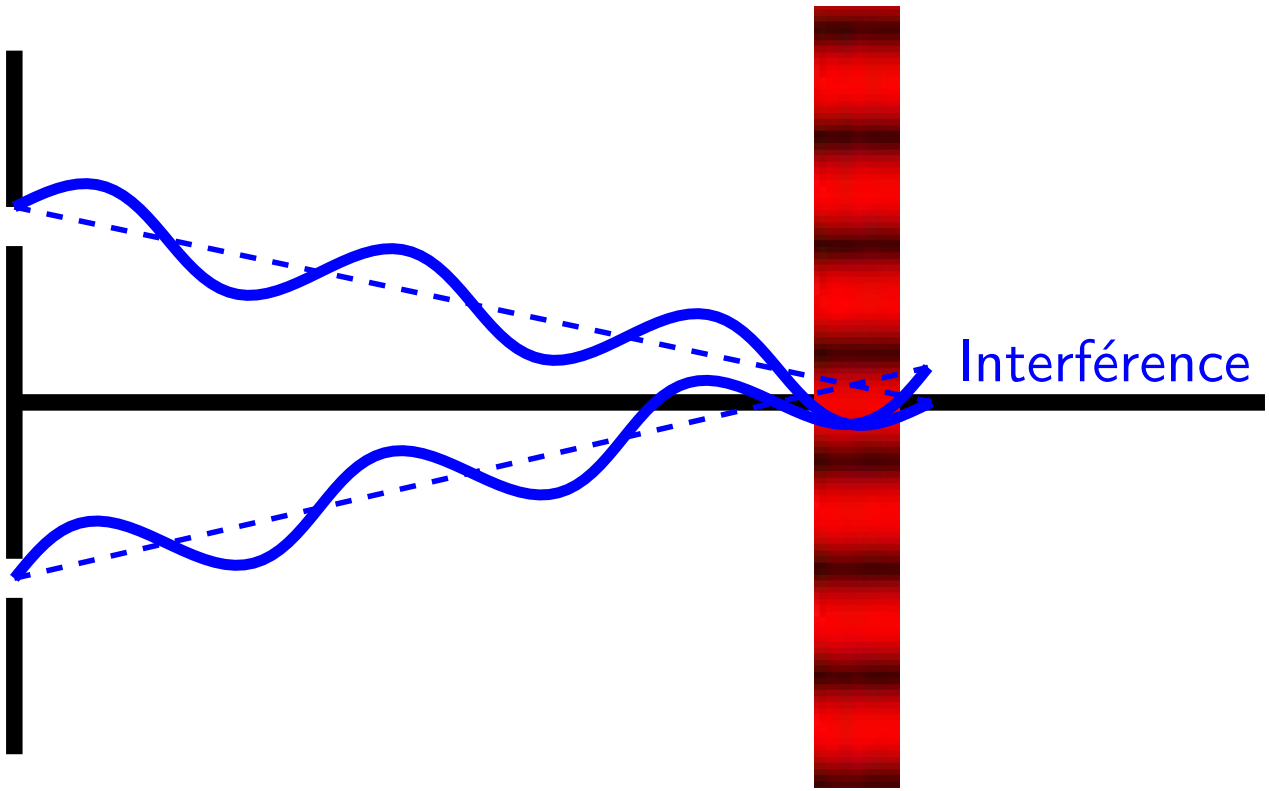


La nature de la lumière

Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence



Thomas Young
(1773-1829)

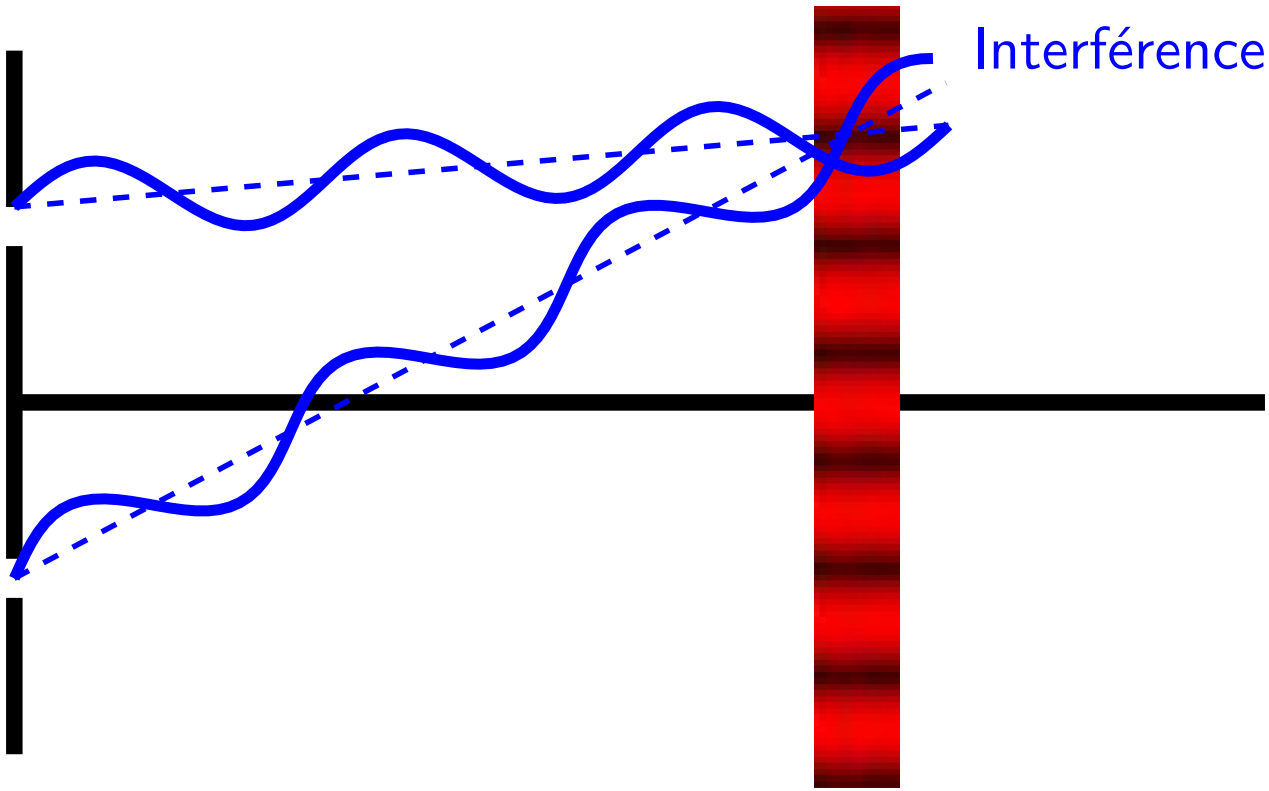


Interférence constructive

La nature de la lumière

Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence


Thomas Young
(1773-1829)



La nature de la lumière

Young (1773-1829) : les phénomès d'interférence


Thomas Young
(1773-1829)





Arago écrit, dans son Eloge à Young : **"Qui se fût imaginé qu'on en viendrait à supposer que l'obscurité pourrait être engendrée en ajoutant de la lumière à la lumière ?** ≫

L'ombre et la lumière

Conclusions

- **Fermat**, 1662
  - *Principe du chemin optique le plus rapide* : **"Il faut trouver le point qui fait la conduite en moins de temps que quelque autre que ce soit, pris des deux cotés"**, *Lettre à Cureau de la Chambre*, 1662
  - L'**indice de réfraction d'un matériau est une quantité inversement proportionnelle à la vitesse de la lumière dans le matériau**
- **Huygens**, 1690
  - *Principe de Huygens* : **"Chaque centre matériel d'ébranlement émet lui-même onde onde sphérique et chaque point de cette même onde devient une nouvelle source d'ébranlement".**
- **Young**, 1801
  - Principe d'interférence des ondes lumineuses

L'ombre et la lumière

Conclusions

- **Fermat**, 1662
  - *Principe du chemin optique le plus rapide* : **"Il faut trouver le point qui fait la conduite en moins de temps que quelque autre que ce soit, pris des deux cotés"**, *Lettre à Cureau de la Chambre*, 1662
  - L'**indice de réfraction d'un matériau est une quantité inversement proportionnelle à la vitesse de la lumière dans le matériau**
- **Huygens**, 1690
  - *Principe de Huygens* : **"Chaque centre matériel d'ébranlement émet lui-même onde onde sphérique et chaque point de cette même onde devient une nouvelle source d'ébranlement".**
- **Young**, 1801
  - Principe d'interférence des ondes lumineuses
    - **Signification de l'amplitude de l'onde ? de la fréquence ?**

L'ombre et la lumière

Conclusions

- Fin de l'Histoire de la lumière ...
  - La biréfringence
  - Maxwell
  - Hertz

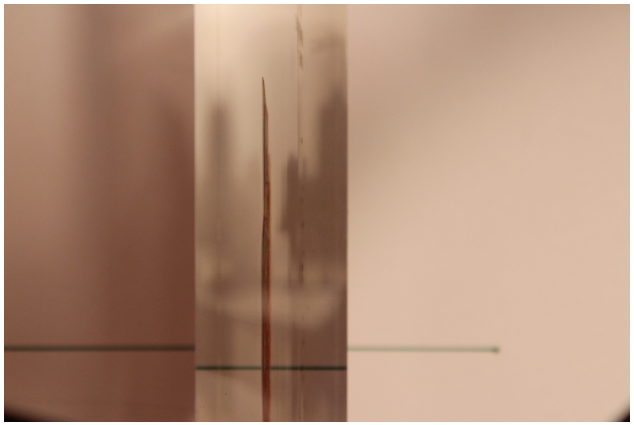
L'ombre et la lumière

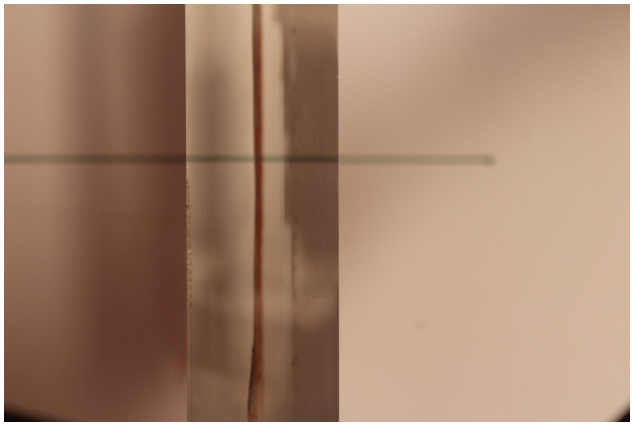
Conclusions

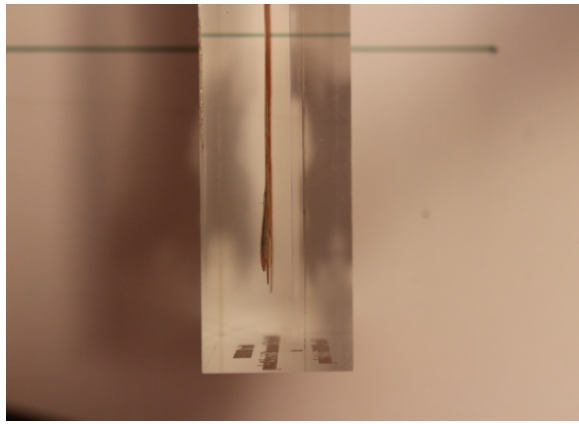
- Fin de l'Histoire de la lumière ...
  - La biréfringence
  - Maxwell
  - Hertz
- ... ou pas !
  - Planck
  - Einstein
  - De Broglie

La nature de la lumière

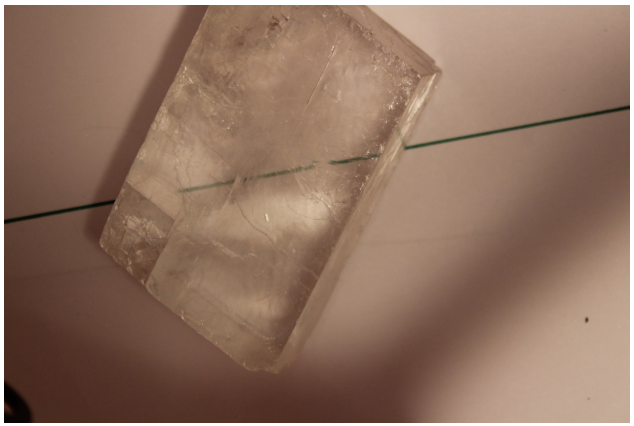
La biréfringence

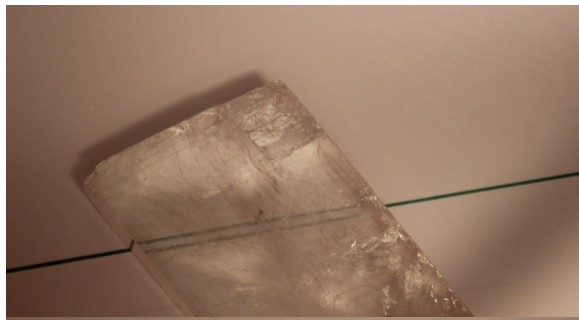


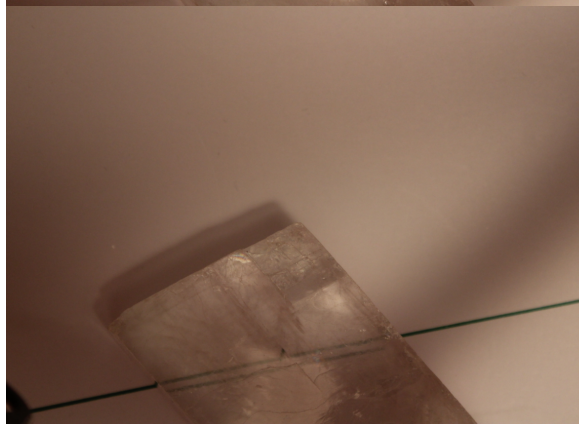












Lumière

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.
- "Iliade", 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", Jean-Paul Parisot, Patricia Segonds, Sylvie Le Boiteux, Dunod, 2003.
- "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.
- "Le Mémoire de Fresnel sur la diffraction de la lumière", Jean-Louis Basdevant, Bibnum, 2009.
- "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.
- "Brêve 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.