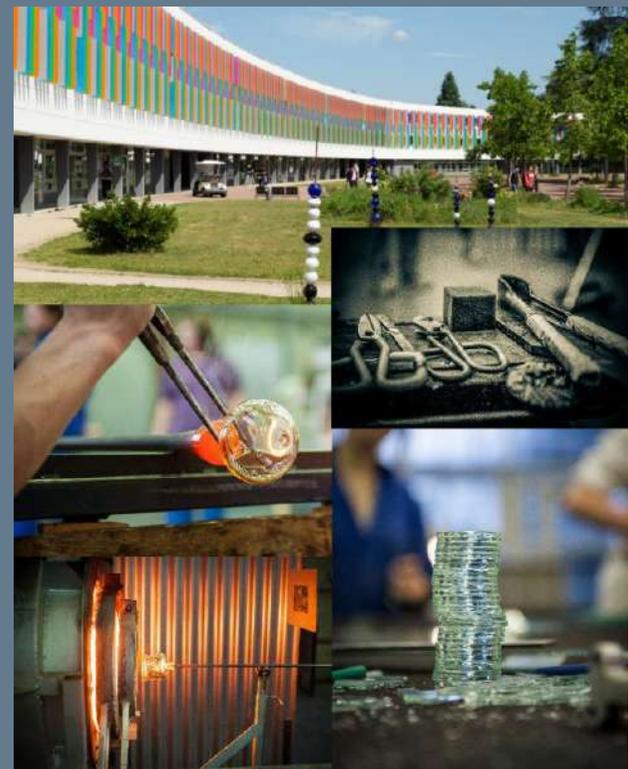


# VERRE ET LUMIÈRE, MATIÈRE À VOIR ET À RÉFLÉCHIR, Et à transmettre

WILFRIED BLANC  
INSTITUT DE PHYSIQUE DE NICE  
UNIV. CÔTE D'AZUR, CNRS



# AU COMMENCEMENT ÉTAIT LE VERRE

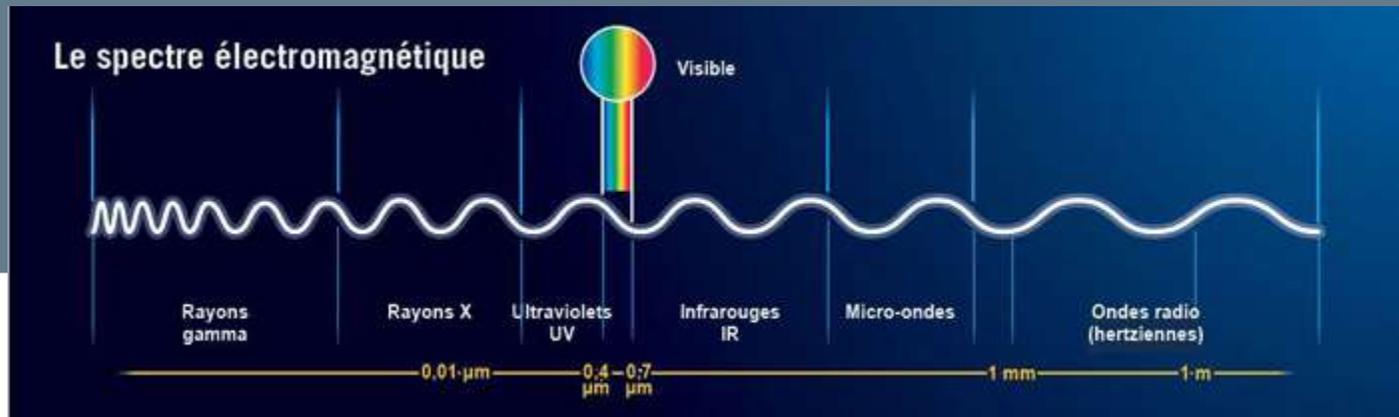
1<sup>er</sup> matériau transparent fabriqué par l'Humanité

Verre → *vitrum*, transparent, qui fait voir



→ Verre et optique sont intimement liés

# TRANSPARENCE RELATIVE

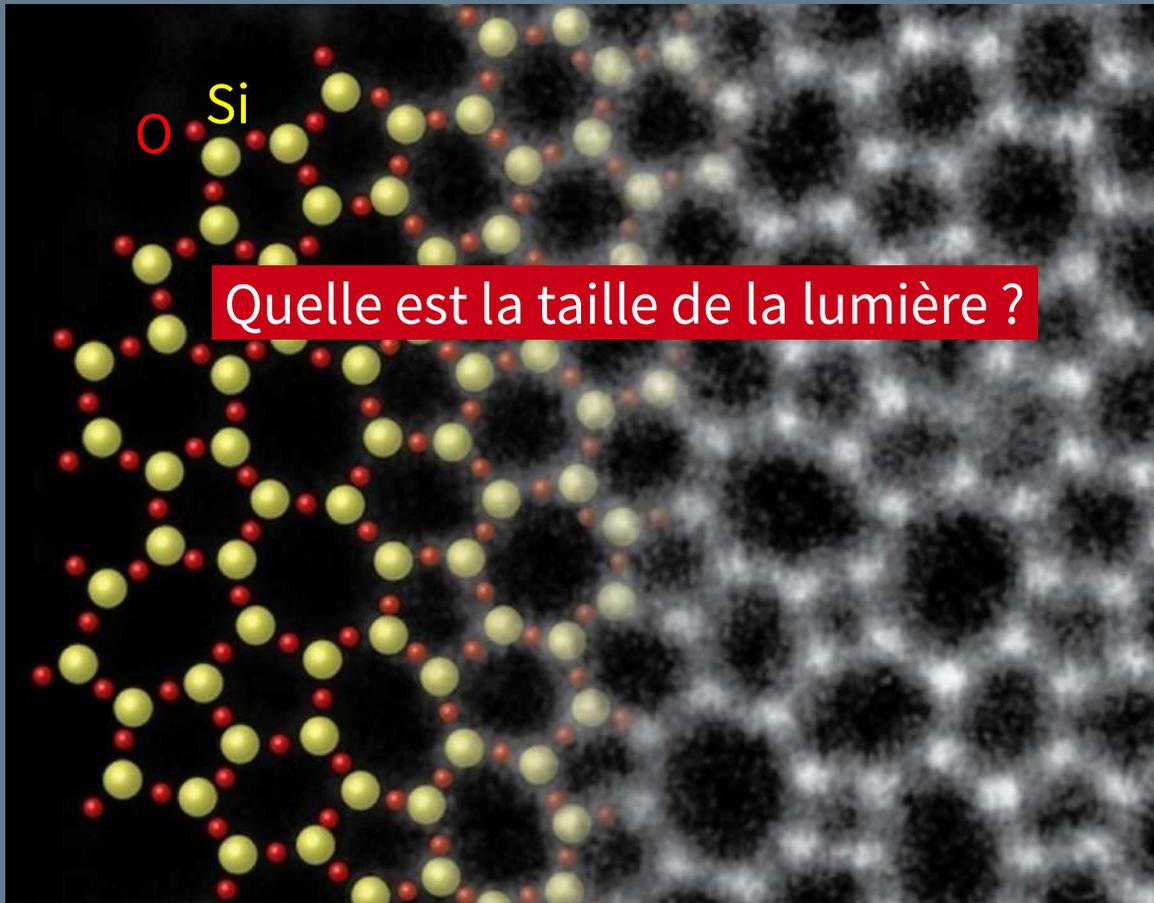


ambre

obsidienne

# POURQUOI LE VERRE EST-IL TRANSPARENT ?

- Parce qu'il y a de la place entre les atomes ?



Distance Si-O :  $1,6 \text{ \AA} = 0,16 \text{ nm}$

Dans l'air, la distance entre les molécules est 10 fois plus grande (3-4 nm)

## POURQUOI LE VERRE EST-IL TRANSPARENT ?

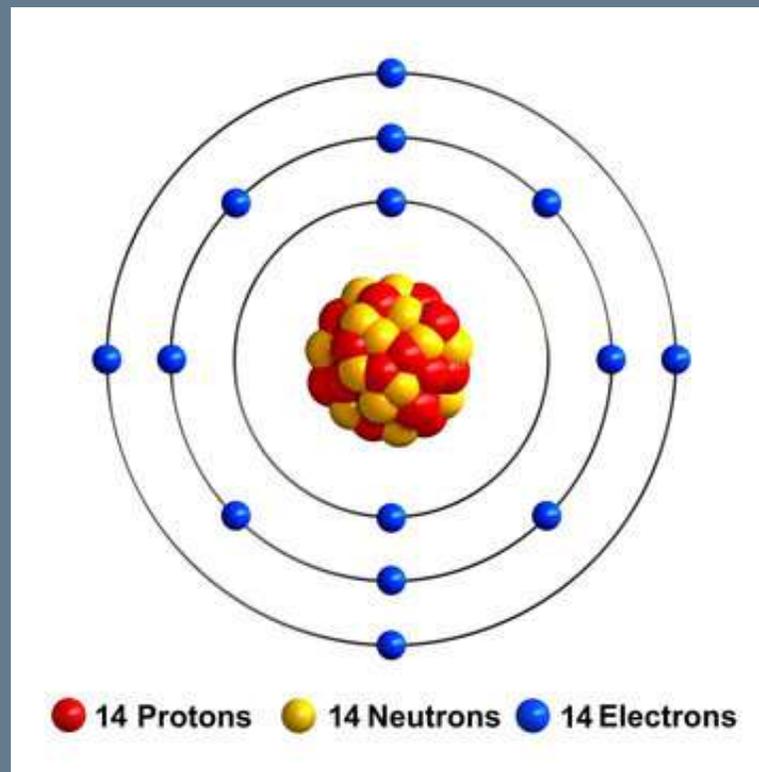
---

- Parce qu'il y a de la place entre les atomes ?
- À cause de la nature des atomes ?



## POURQUOI LE VERRE EST-IL TRANSPARENT ?

- Parce qu'il y a de la place entre les atomes ?
- À cause de la nature des atomes ?
- À cause des électrons !

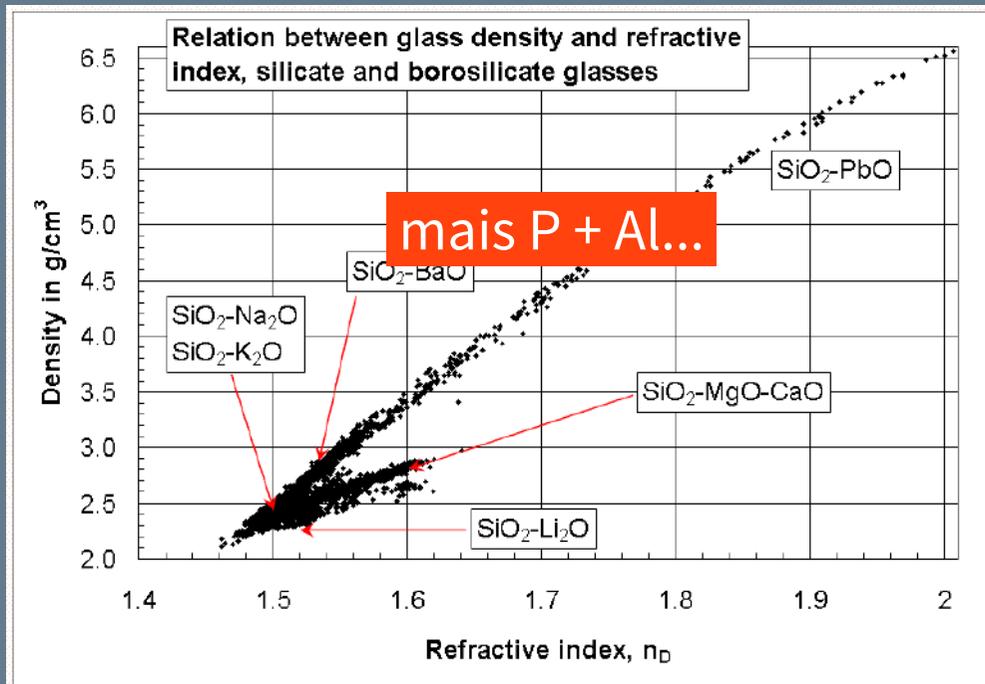


# INDICE OPTIQUE

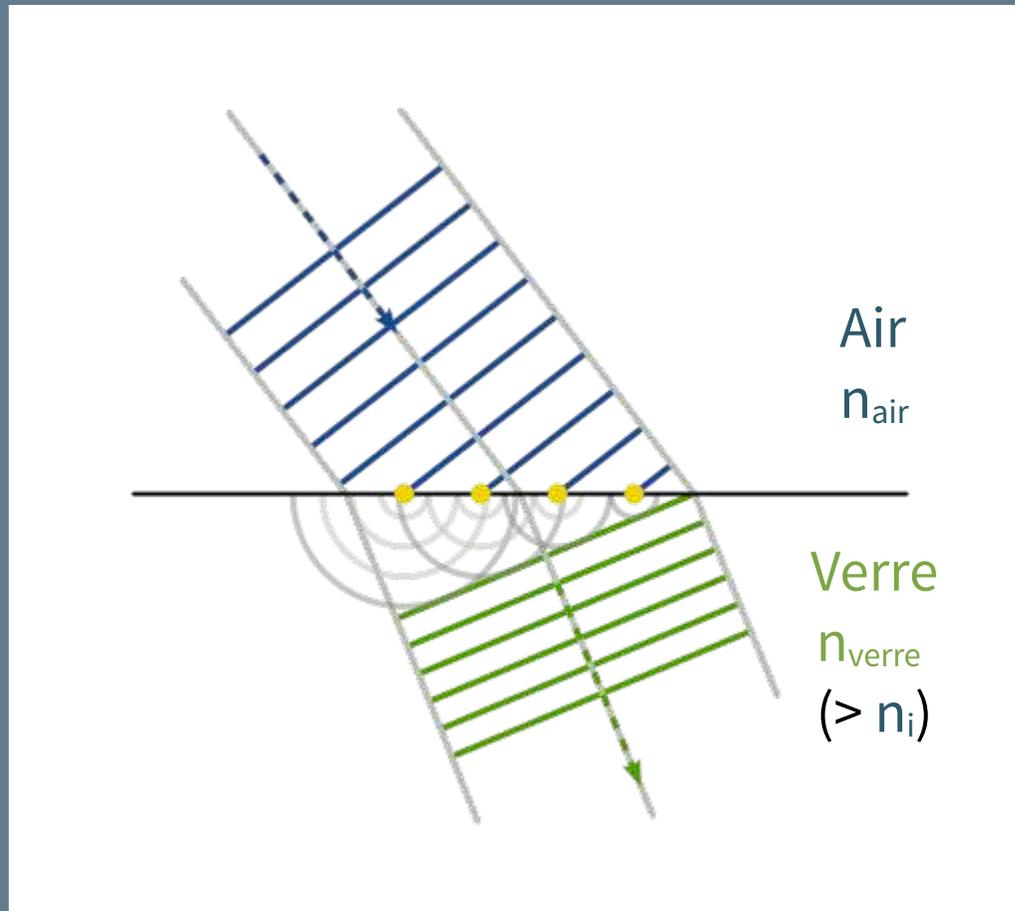
Indice optique  $n = \frac{c}{v}$

*c* Vitesse de la lumière dans le vide  
*v* Vitesse de la lumière dans le verre

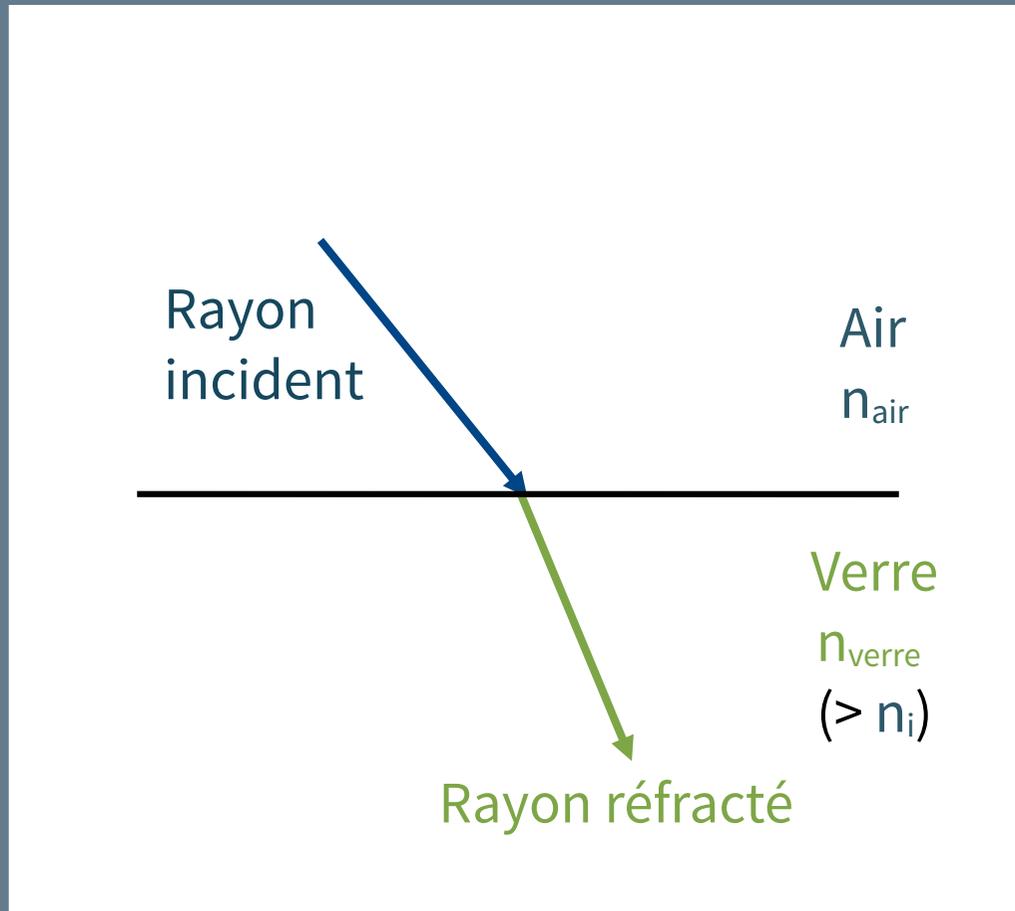
$n = 1$  dans le vide  
 $n = 1,5$  dans le verre



# CHANGEMENT DE VITESSE → RÉFRACTION

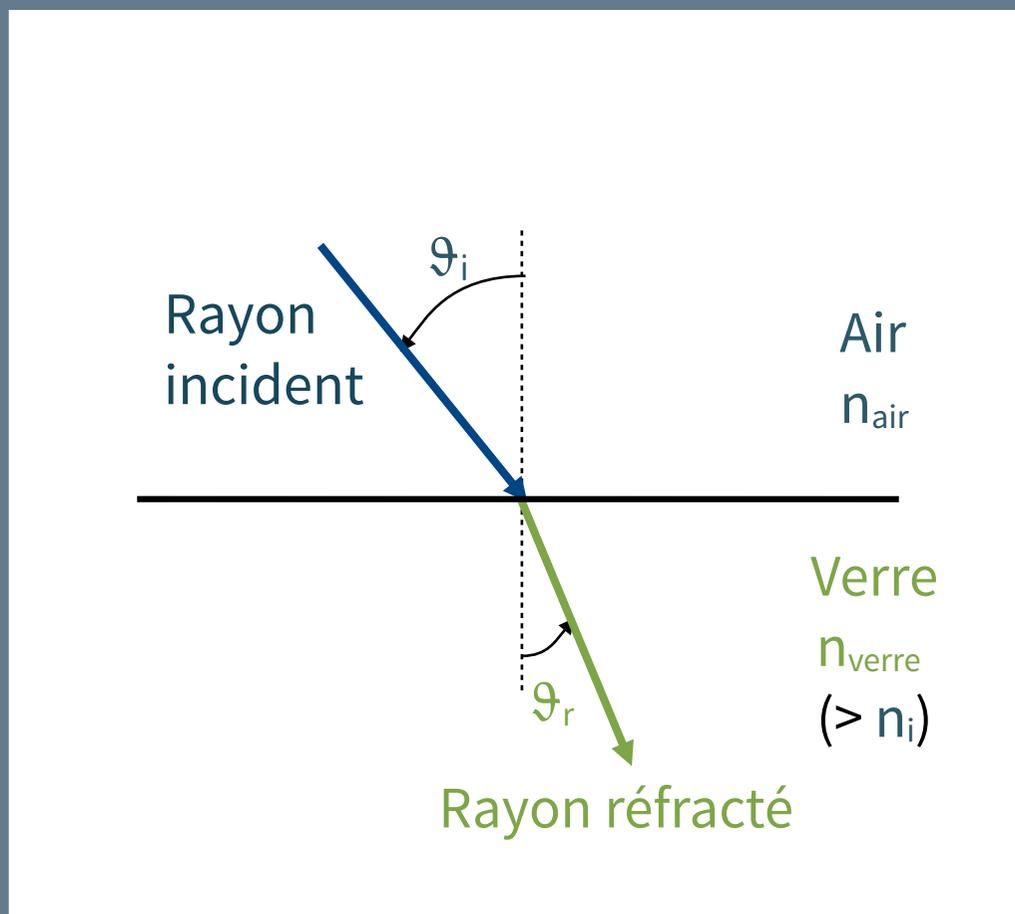


# RAYON RÉFRACTÉ



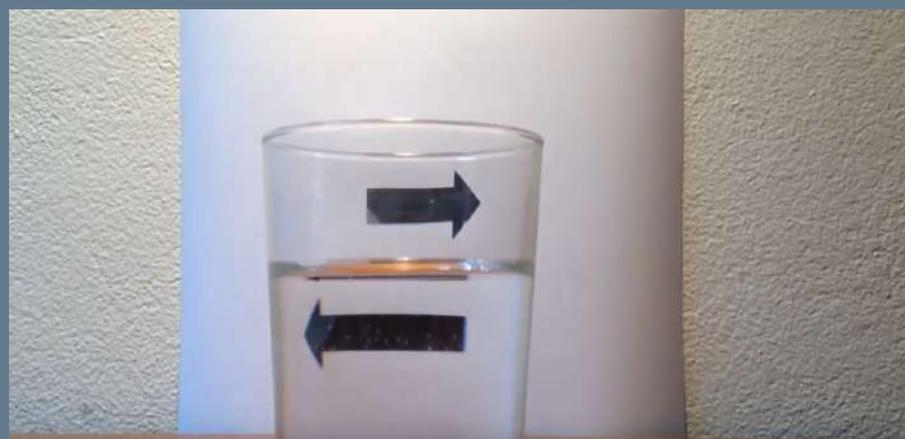
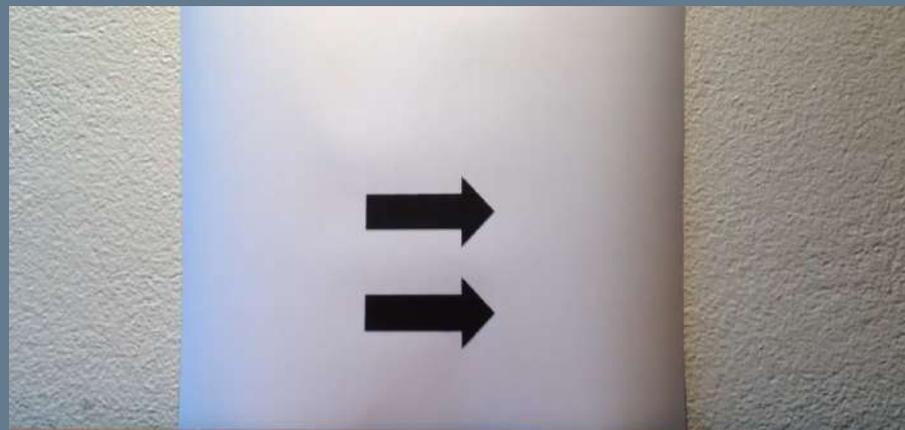
## LOI DE SNELL-DESCARTES

Loi de Snell (1621) - Descartes (1637) :  $n_{\text{air}} \times \sin \vartheta_i = n_{\text{verre}} \times \sin \vartheta_r$

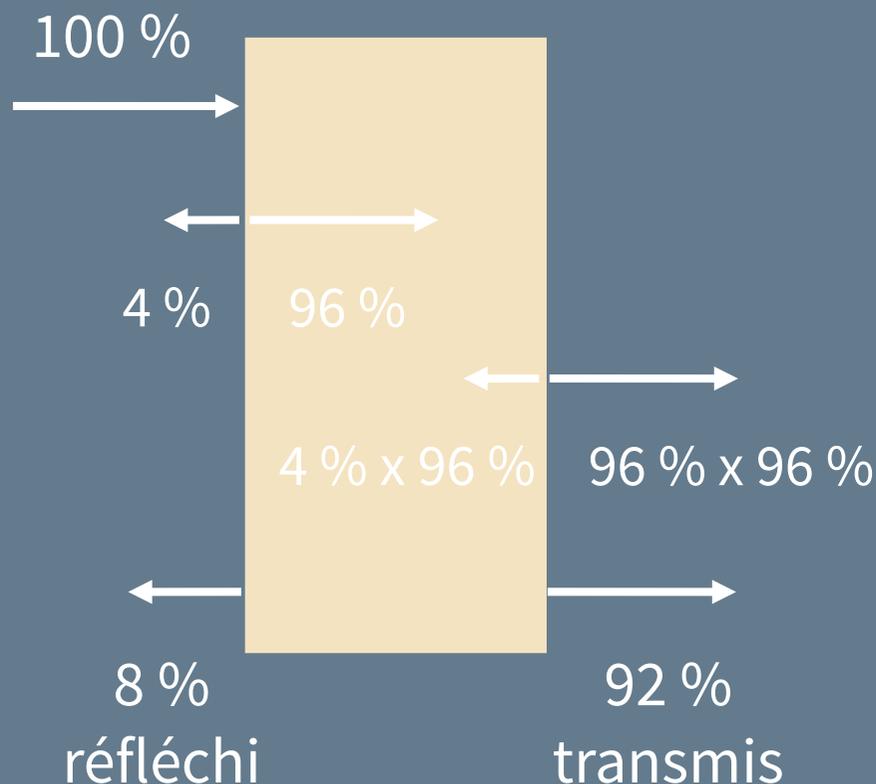


Le  $n$  de Snell-Descartes est le même que le  $n = c/v$

# LA MAGIE DE LA RÉFRACTION



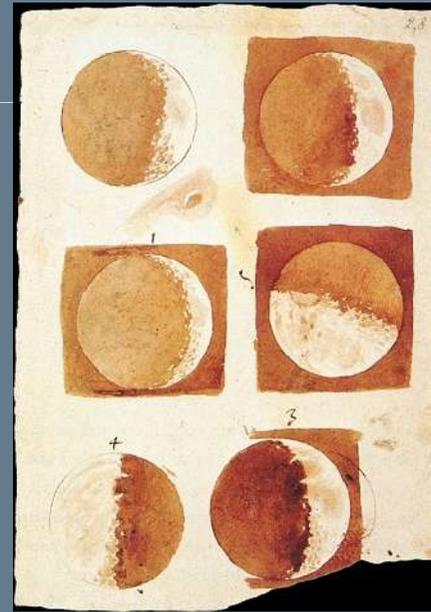
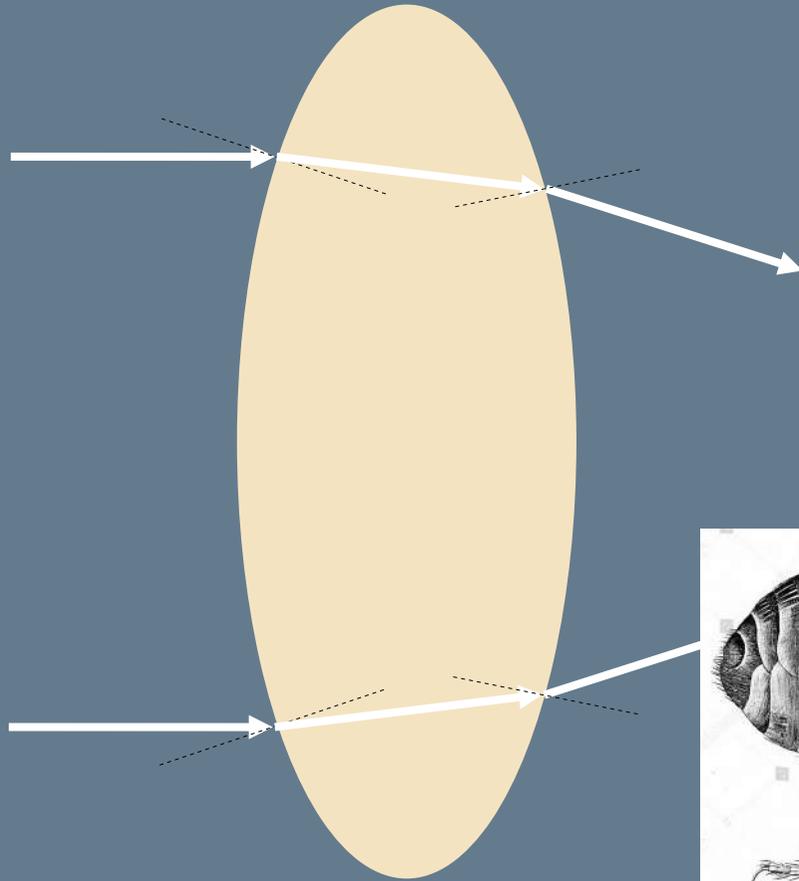
# LA RÉFLEXION



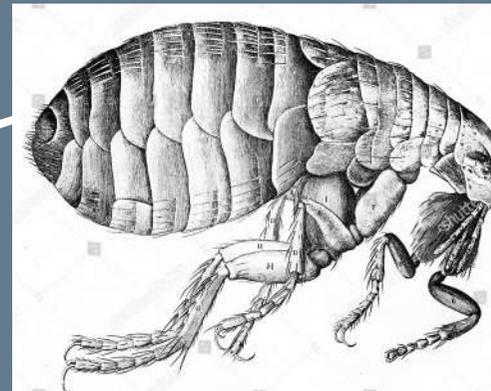
Même le verre le plus transparent  
ne transmet pas 100 % de lumière !

Diamant :  $n = 2,4 \rightarrow$  réflexion à la surface = 17 %

# LENTILLES

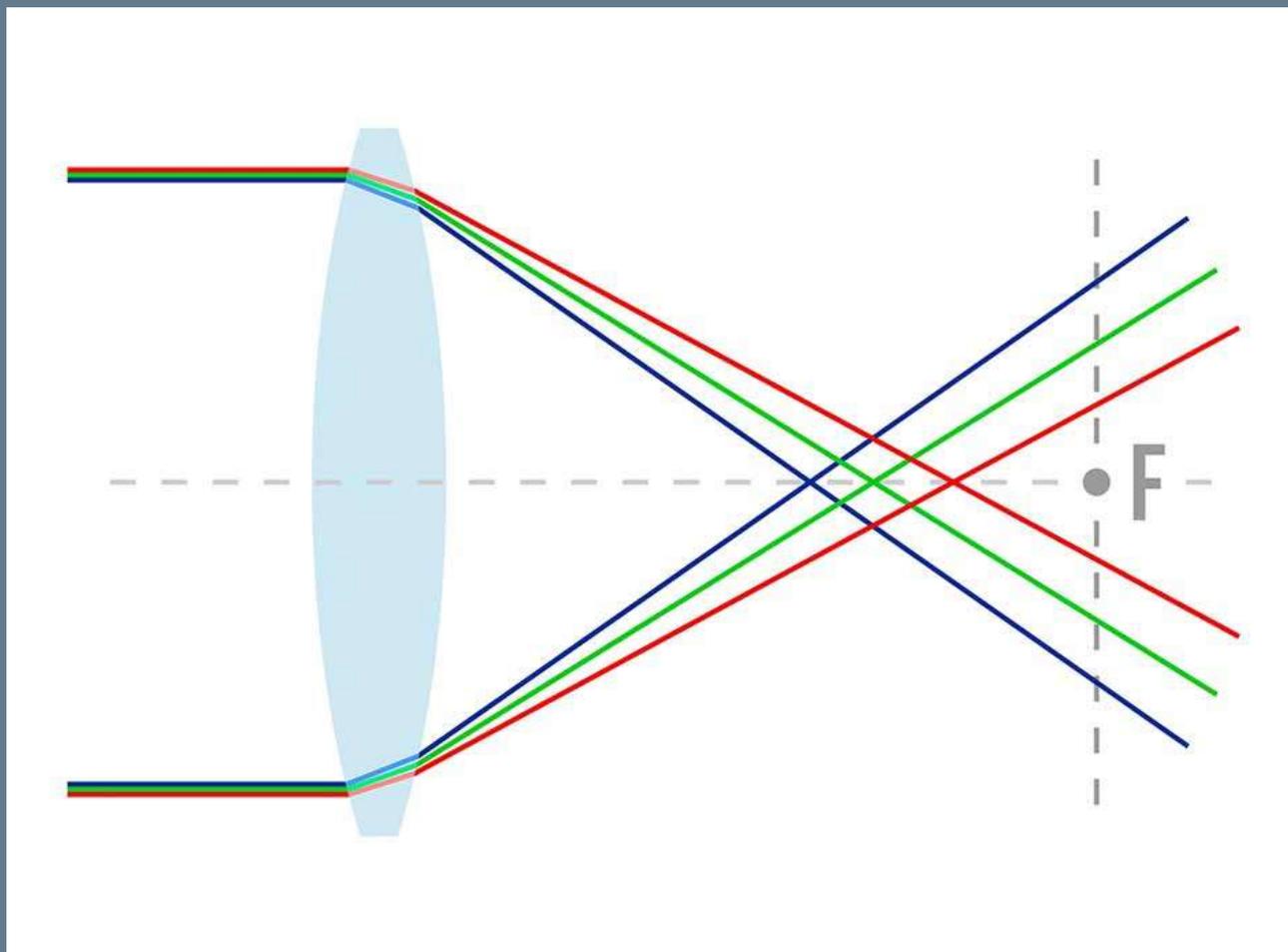


1609 - Galilée



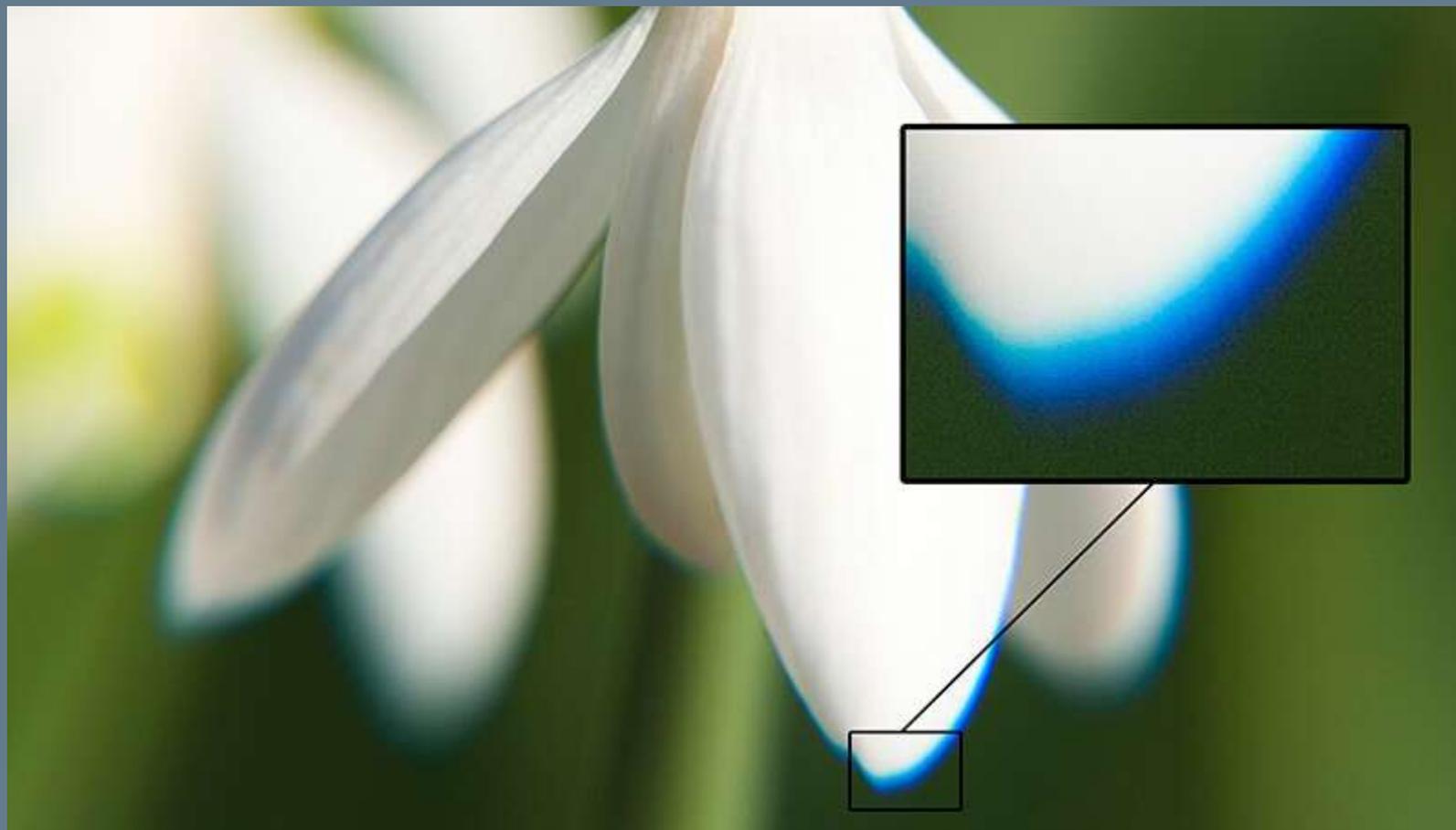
1665 - Micrographia, Robert Hooke

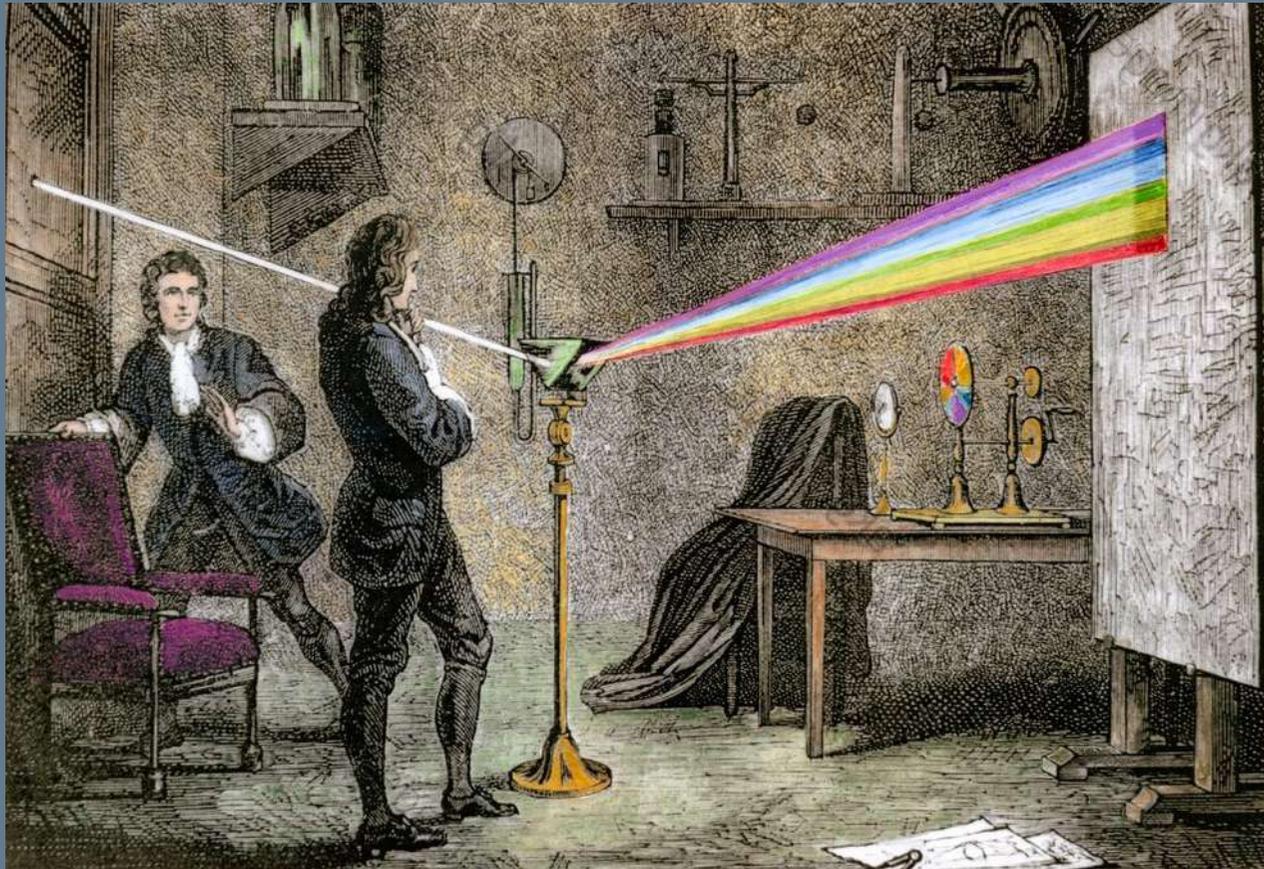
# DISPERSION CHROMATIQUE



# DISPERSION CHROMATIQUE

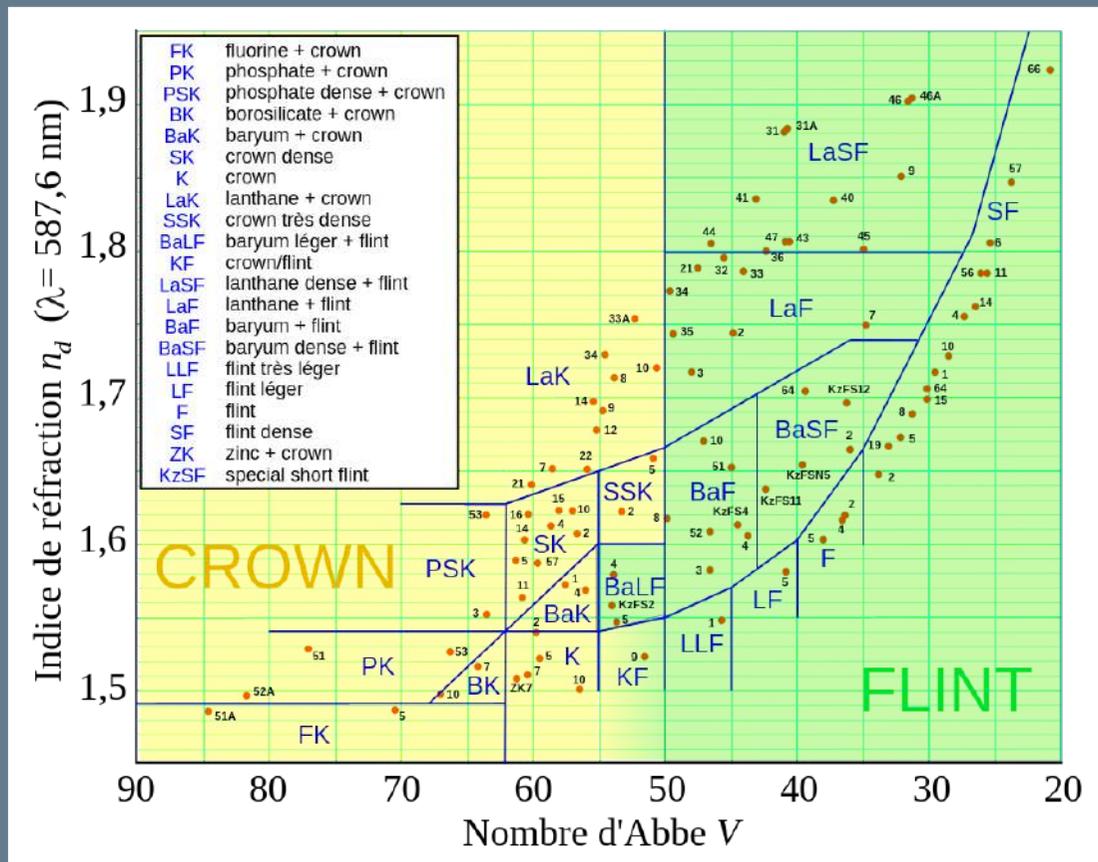
---



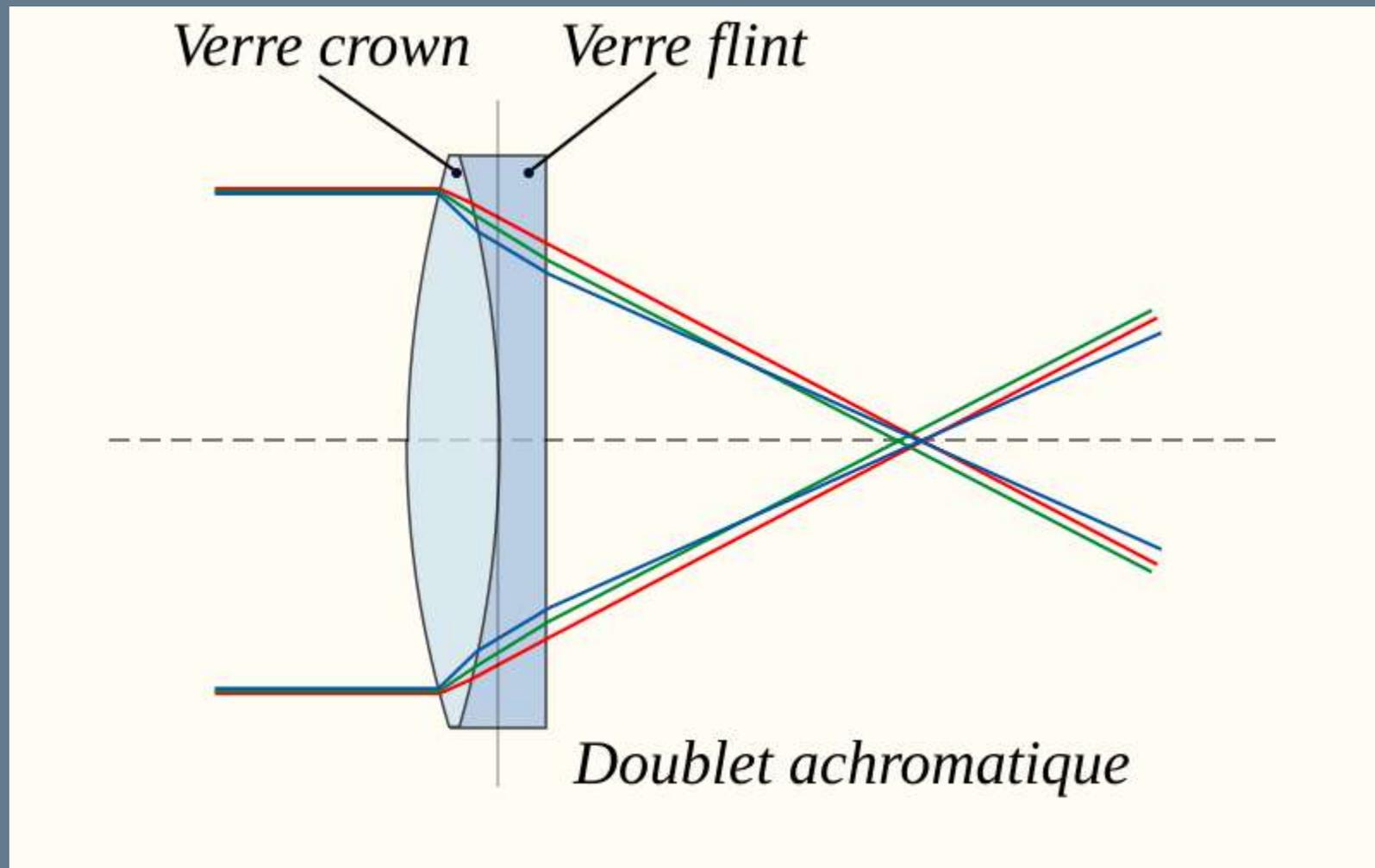


Expériences de Newton en 1666 (24 ans),  
confiné à Woolsthorpe à cause de la Grande Peste

# DISPERSION CHROMATIQUE

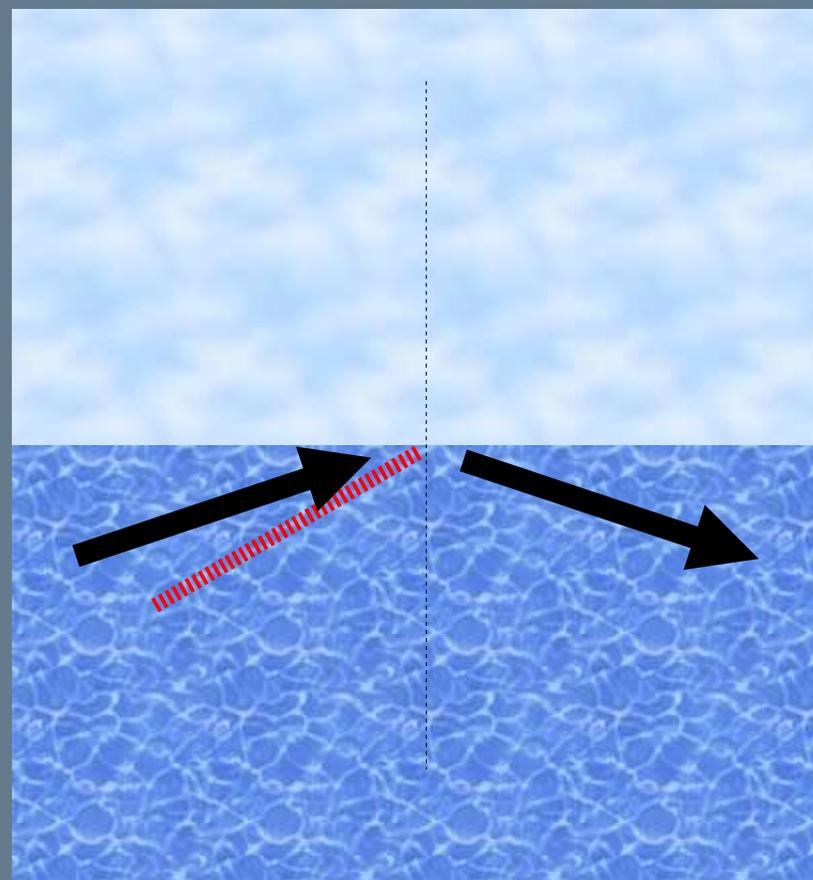
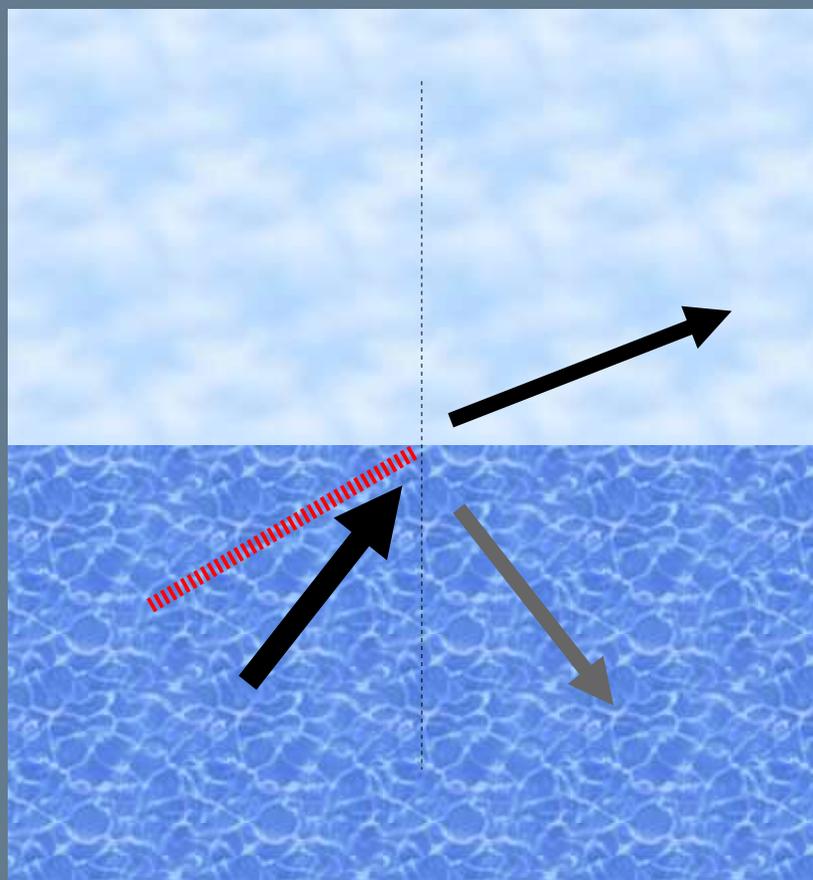


## DOUBLET ACHROMATIQUE



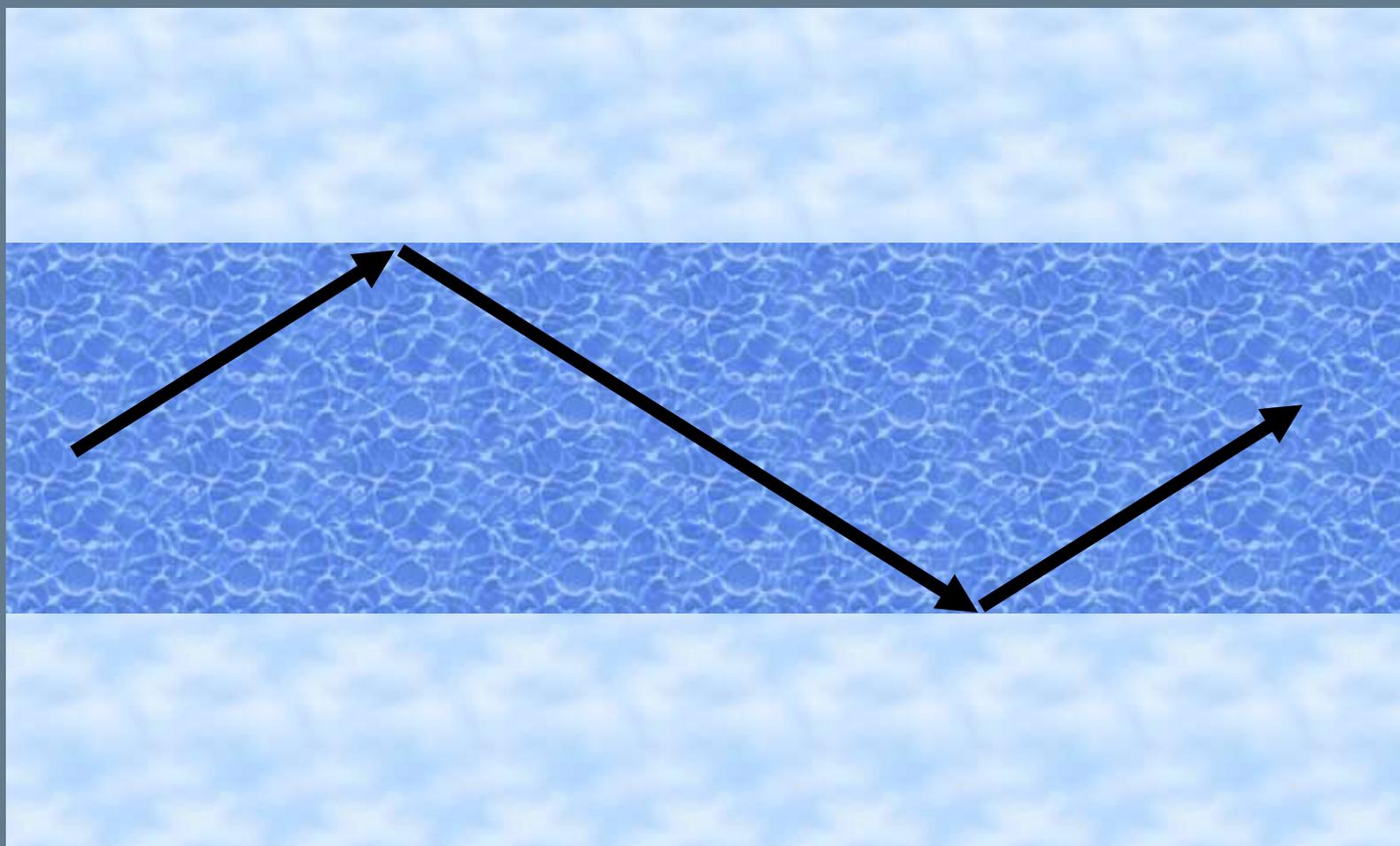
Le verre propose la solution à son problème !

# RÉFLEXION TOTALE INTERNE



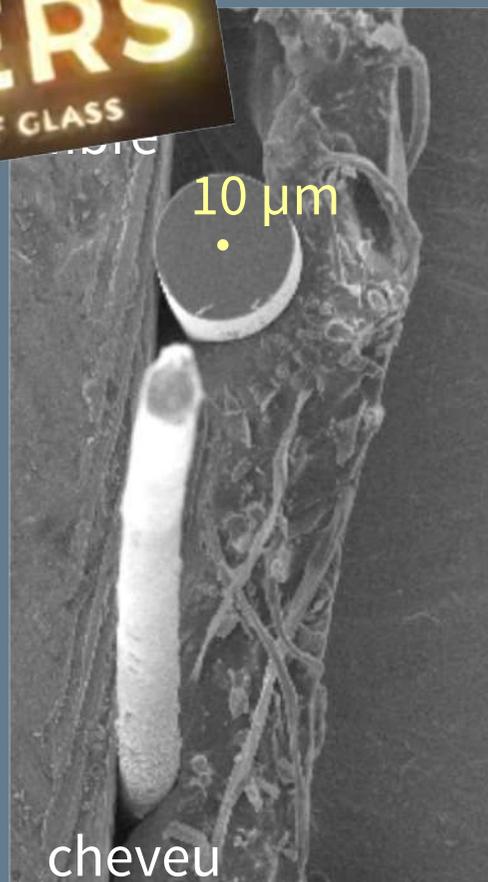
# GUIDAGE DE LA LUMIÈRE

---



# LA FIBRE OPTIQUE, UN CHEVEU DE LUMIÈRE

**7 GLASS  
WONDERS**  
INTERNATIONAL YEAR OF GLASS



1 mm = 1000 μm

## TRANSPARENCE DU VERRE

---

*1 % de lumière après :*

1966

| 20 m

1970

■ 1 km

1979

■ 100 km

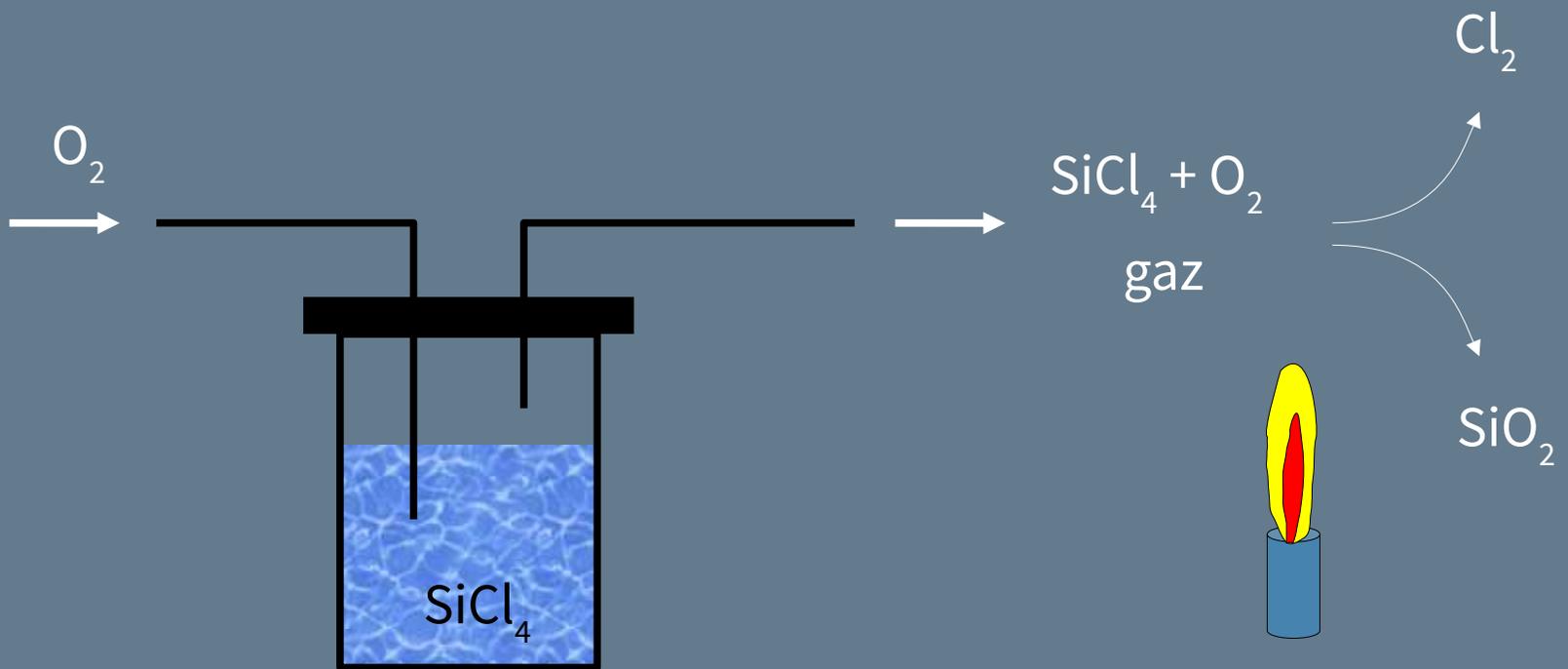
2017

■ 140 km

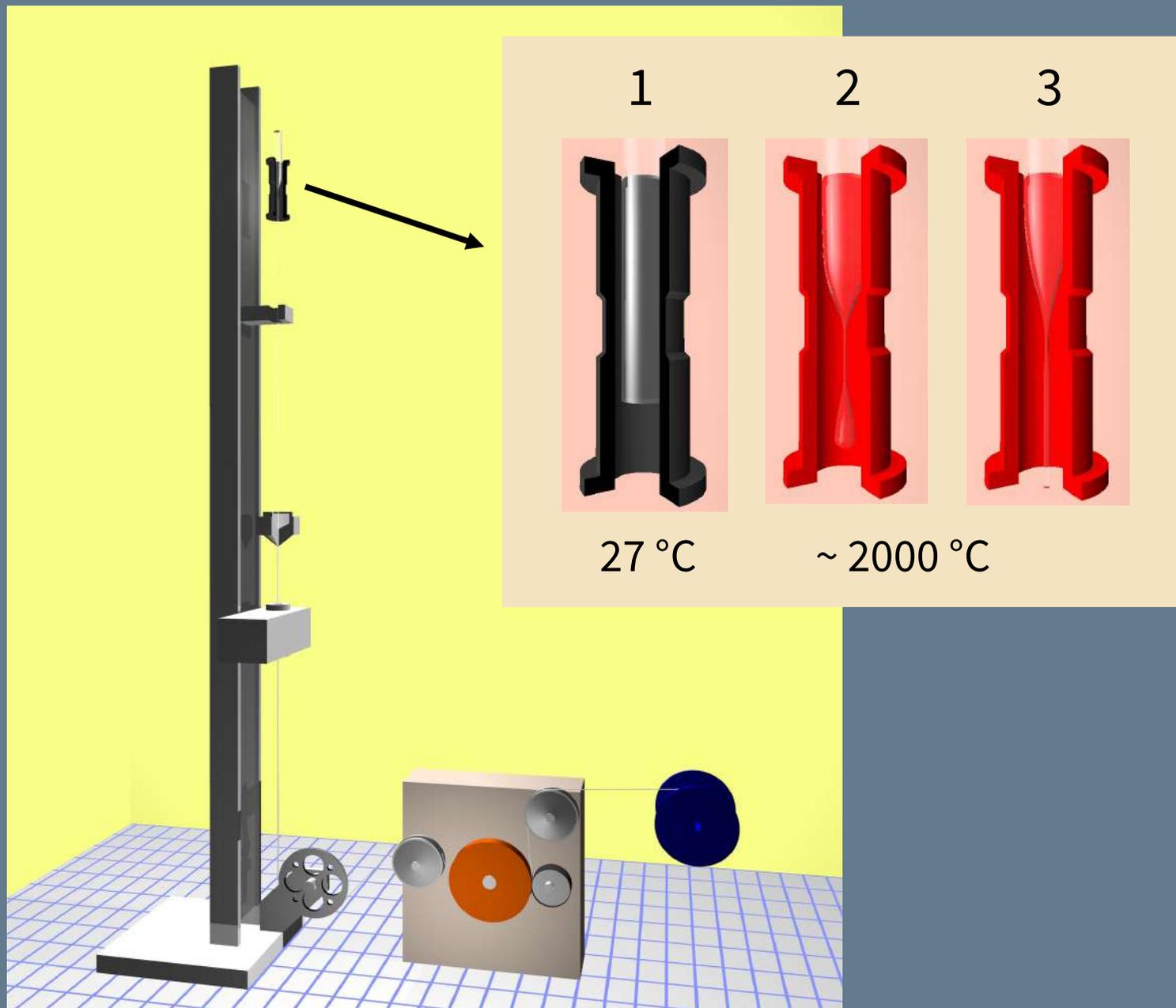
Moulins-Mâcon

# SYNTHÈSE DE SILICE ULTRA-PURE

1934 (1942) : Corning, J.F. Hyde (US patent 2,272,342)

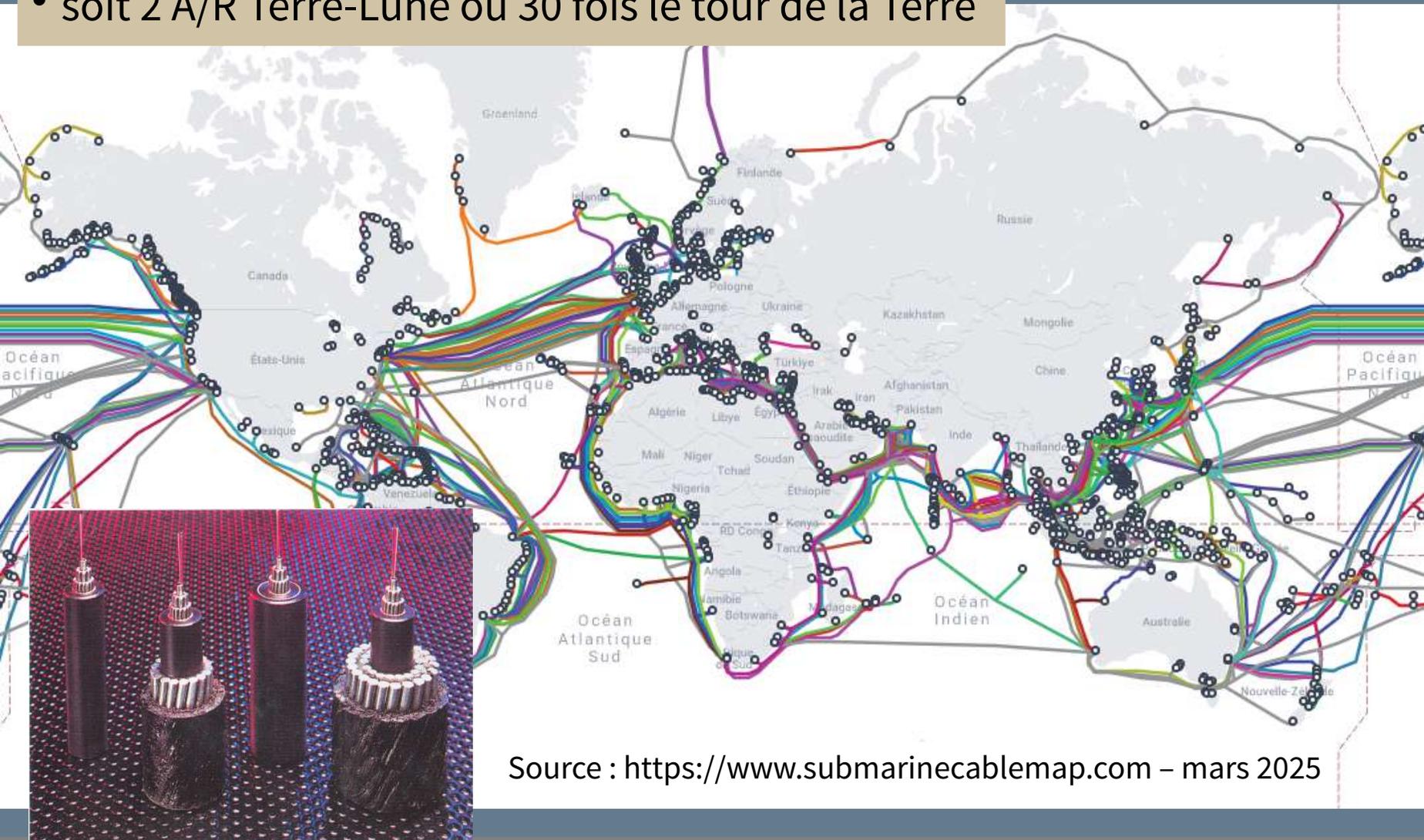


# TOUR D'ÉTIRAGE EN FIBRE OPTIQUE



# APERÇU DU RÉSEAU SOUS-MARIN

- ~650 câbles sous-marins
- 1,5 million de km (de 130 à 39 000 km)
- soit 2 A/R Terre-Lune ou 30 fois le tour de la Terre



Source : <https://www.submarinecablemap.com> – mars 2025

# Quelle masse de verre ?

Énoncé :

Sachant qu'une liaison transatlantique mesure 6500 km, quelle masse de verre représente une telle fibre optique ?

Données :

Diamètre de la fibre : 125  $\mu\text{m}$ , diamètre du cœur : 8  $\mu\text{m}$

Densité de la silice : 2,2  $\text{g}/\text{cm}^3$

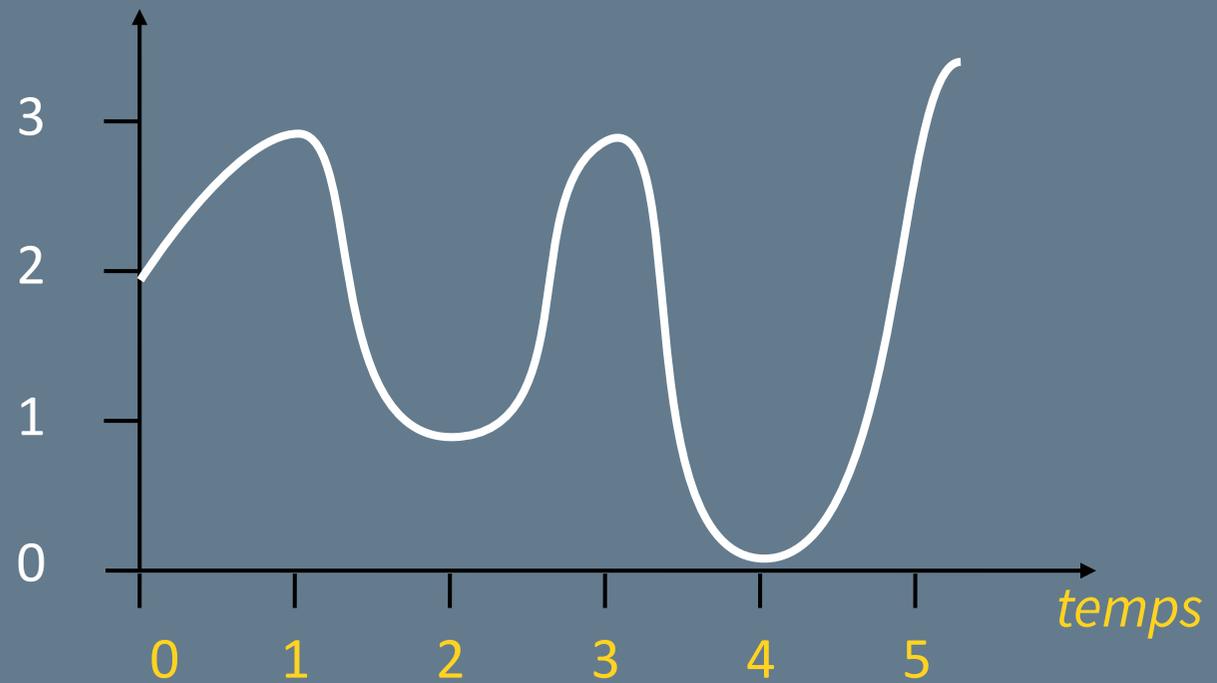
→ 176 kg de verre

→ cube de 43 cm de côté

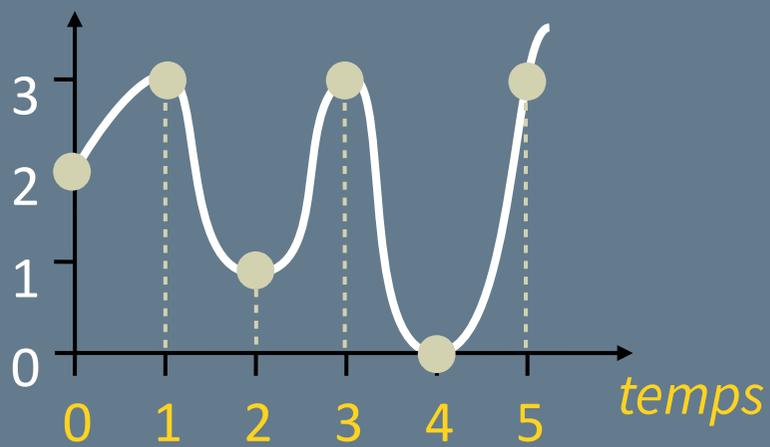
# CODAGE DE LA VOIX



Intensité de la voix



# CODAGE DE LA VOIX



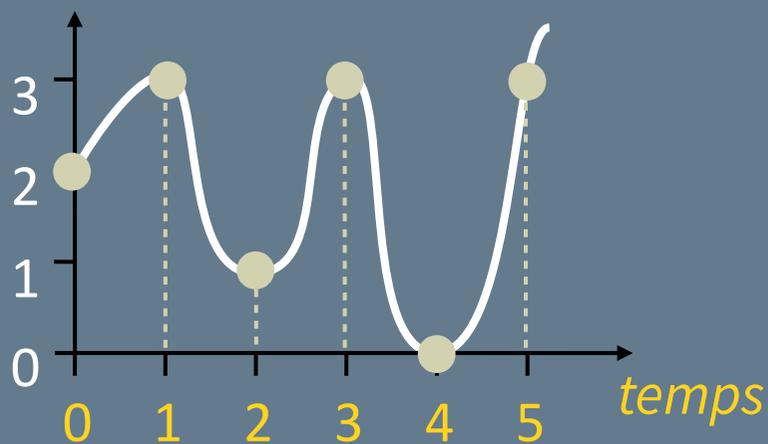
Signal analogique

0 s	2
1 s	3
2 s	1
3 s	3
4 s	0
5 s	3

Signal numérique



# CODAGE DE LA VOIX



Signal analogique

0 s	2	• 10
1 s	3	• 11
2 s	1	• 01
3 s	3	• 11
4 s	0	• 00
5 s	3	• 11

Signal numérique

Binarisation

Décimal	Binaire
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110



1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1

2 3 1 3 0 0 3 3



# APPLICATIONS

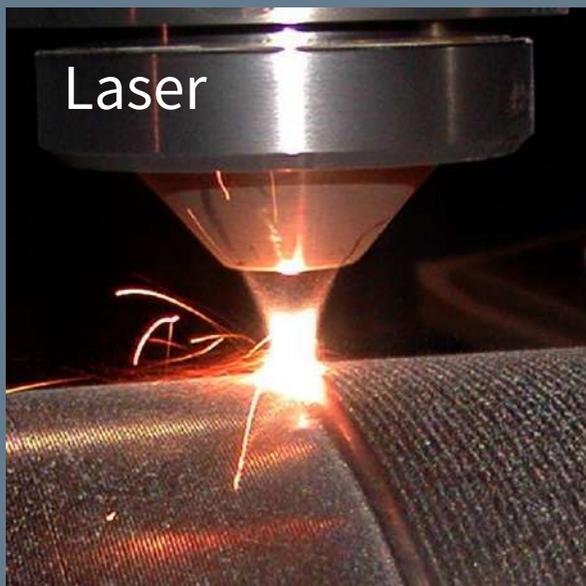
Ampoule fibrée



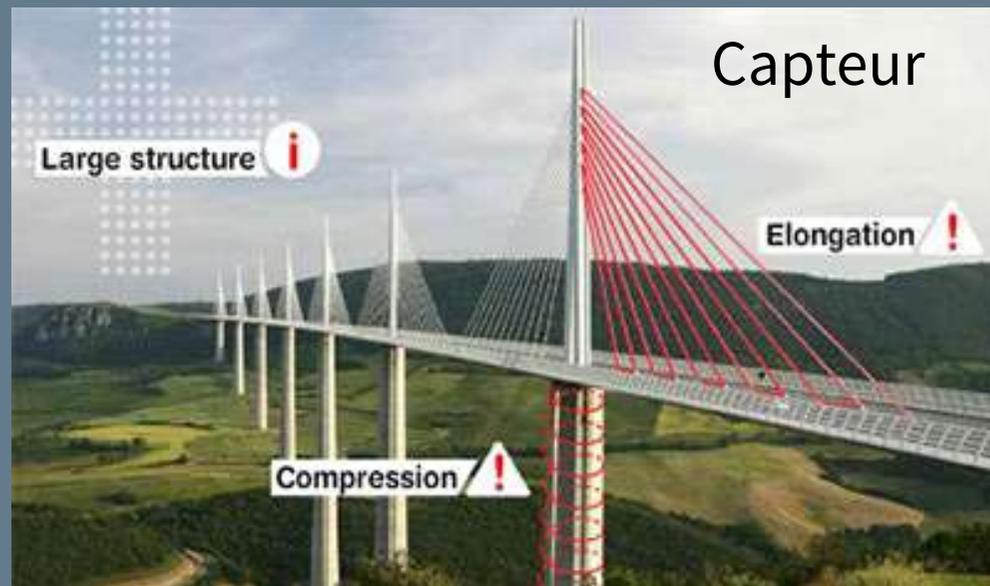
Béton transparent



Laser



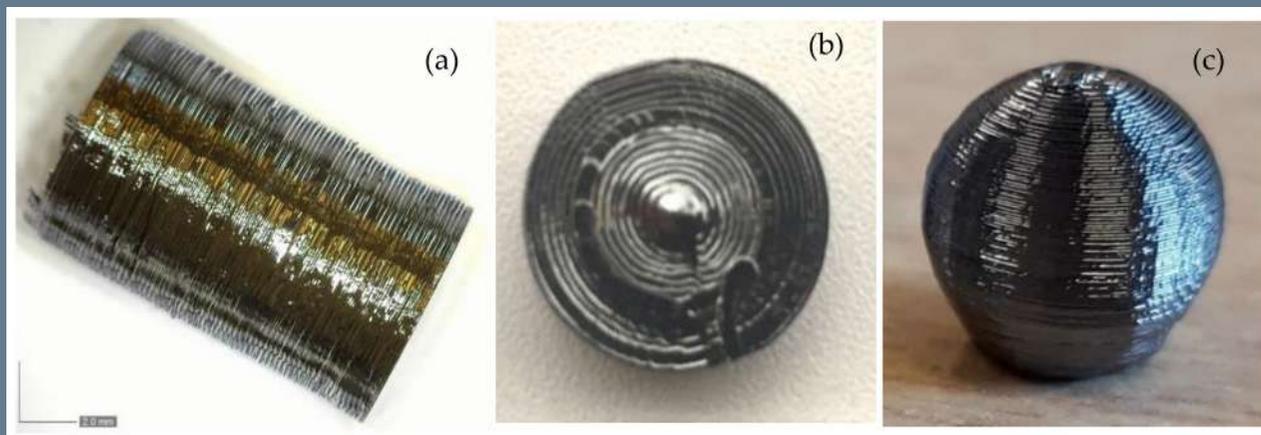
Capteur



# LE VERRE NOIR

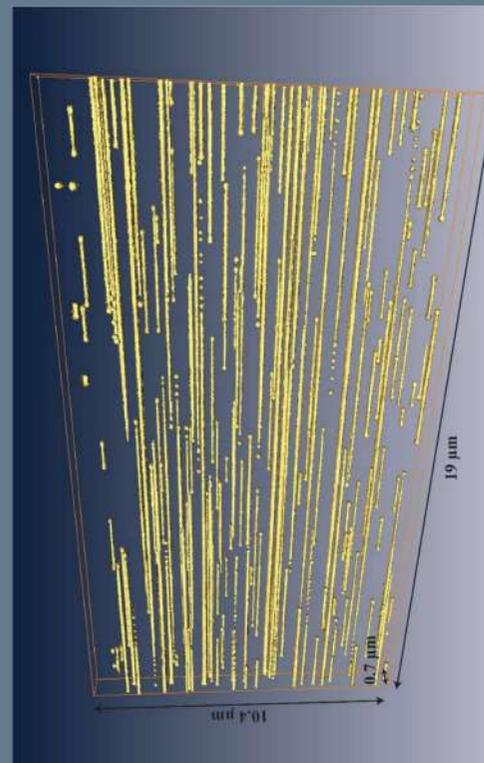
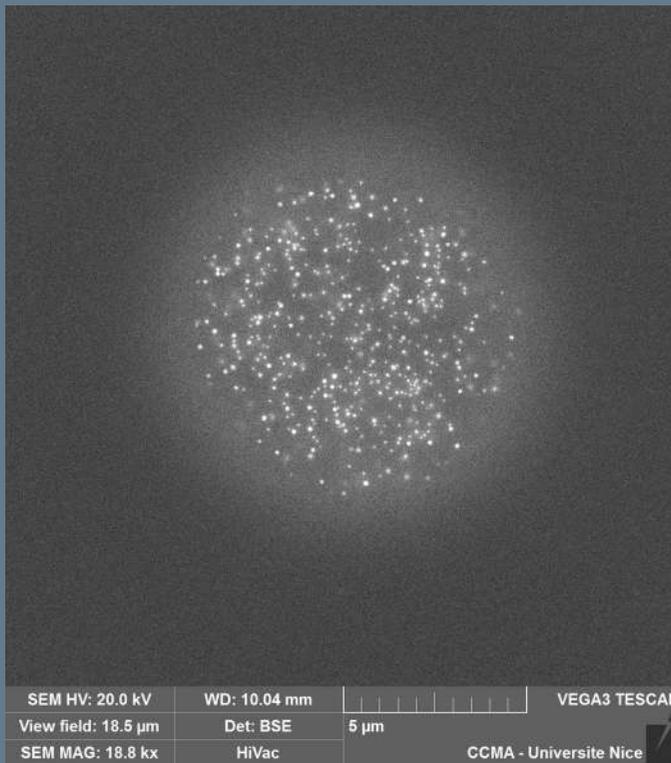
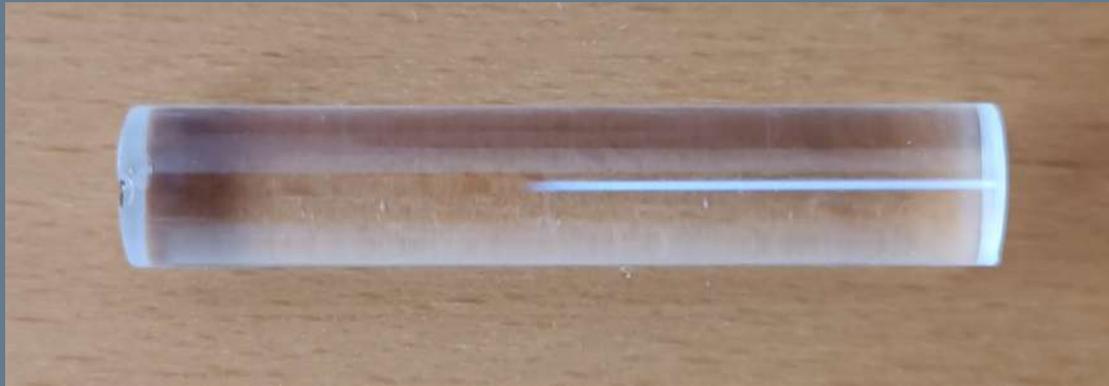


Verres de chalcogénures  
~~O~~ → S, Se ou Te



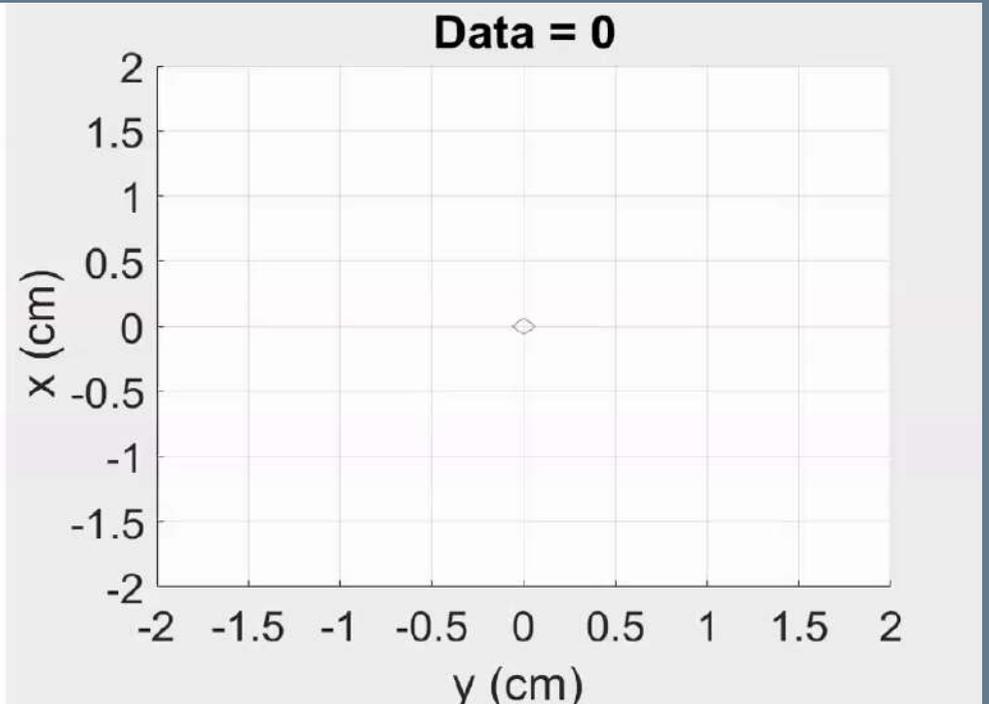
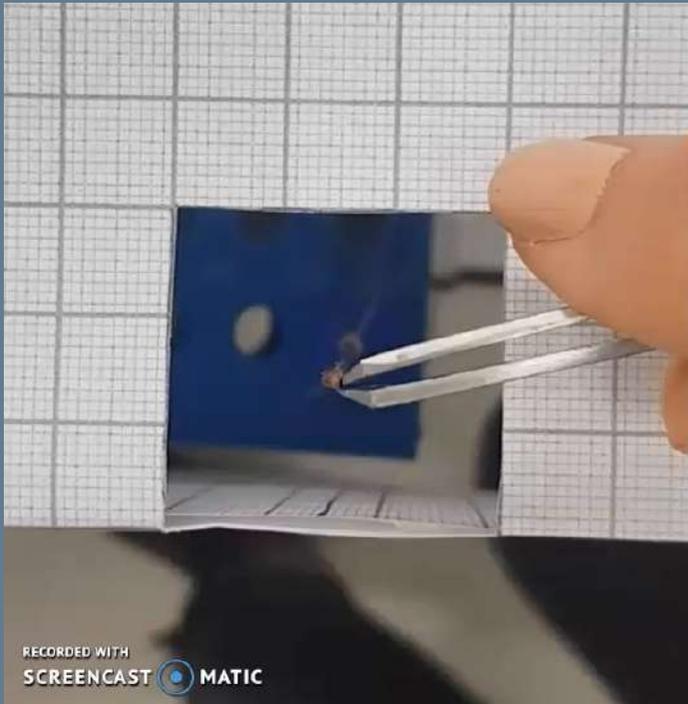
J. Carcreff *et al.*, Crystals 2021

# ÊTRE OU NE PAS ÊTRE TRANSPARENT ?



M. Vermillac *et al.*, J. Am. Ceram. Soc. 2017, W. Blanc *et al.*, Prog. Mat. Sci. 2023

# CAPTEUR DE DÉFORMATION



+ Nouveaux capteurs utilisant l'intelligence artificielle

A. Leal-Junio *et al.*, IEEE Internet of things Journal 2023

# EN ROUTE VERS L'INFINI

