

# Une symphonie de couleurs

Loïc Villain

Institut Denis Poisson (CNRS & Université de Tours)

loic.villain@univ-tours.fr

Centre Galois, le 20 juin 2025



Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

- ▶ concept « simple et universel »
- ▶ exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ?

Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

« *Des goûts et des couleurs, on ne discute pas.* »

Proverbe romain

- ▶ concept « simple et universel »
- ▶ exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ?

Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

« *Des goûts et des couleurs, on ne discute pas... et pourtant on ne fait que ça !* »  
(citation approximative de) Friedrich Nietzsche (1844 – 1900)

- ▶ concept « simple et universel »
- ▶ exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ?

Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

« *Des goûts et des couleurs, on ne discute pas... et pourtant on ne fait que ça !* »  
(citation approximative de) Friedrich Nietzsche (1844 – 1900)

- ▶ concept « simple et universel »
- ▶ exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ?

Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

« *Des goûts et des couleurs, on ne discute pas... et pourtant on ne fait que ça !* »  
(citation approximative de) Friedrich Nietzsche (1844 – 1900)

- ▶ concept **faussement** « simple et universel »
- ▶ exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ?

Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

« *Des goûts et des couleurs, on ne discute pas... et pourtant on ne fait que ça !* »  
(citation approximative de) Friedrich Nietzsche (1844 – 1900)

- ▶ concept **faussement** « simple et universel » car « *humain, trop humain* » :
- ▶ exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ?

Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

« *Des goûts et des couleurs, on ne discute pas... et pourtant on ne fait que ça !* »  
(citation approximative de) Friedrich Nietzsche (1844 – 1900)

- ▶ concept **faussetment** « simple et universel » car « *humain, trop humain* » :  
lié à la **vision (humaine)**
- ▶ exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ?

Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

« *Des goûts et des couleurs, on ne discute pas... et pourtant on ne fait que ça !* »  
(citation approximative de) Friedrich Nietzsche (1844 – 1900)

- ▶ concept **faussement** « simple et universel » car « *humain, trop humain* » :  
lié à la **vision (humaine)**, mais aussi fortement teinté de **culture** (société, environnement, etc.)
- ▶ exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ?

Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

« *Des goûts et des couleurs, on ne discute pas... et pourtant on ne fait que ça !* »  
(citation approximative de) Friedrich Nietzsche (1844 – 1900)

- ▶ concept **faussetment** « simple et universel » car « *humain, trop humain* » :  
lié à la **vision (humaine)**, mais aussi fortement teinté de **culture** (société, environnement, etc.)
- ▶ **exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire** :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ?

Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

« *Des goûts et des couleurs, on ne discute pas... et pourtant on ne fait que ça !* »  
(citation approximative de) Friedrich Nietzsche (1844 – 1900)

- ▶ concept **faussetment** « simple et universel » car « *humain, trop humain* » :  
lié à la **vision (humaine)**, mais aussi fortement teinté de **culture** (société, environnement, etc.)
- ▶ **exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire** :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ?

Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

« *Des goûts et des couleurs, on ne discute pas... et pourtant on ne fait que ça !* »  
(citation approximative de) Friedrich Nietzsche (1844 – 1900)

- ▶ concept **faussement** « simple et universel » car « *humain, trop humain* » :  
lié à la **vision (humaine)**, mais aussi fortement teinté de **culture** (société, environnement, etc.)
- ▶ **exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire** :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ? existe-t-elle même quand on ne le **regarde** pas ?

Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

« *Des goûts et des couleurs, on ne discute pas... et pourtant on ne fait que ça !* »  
(citation approximative de) Friedrich Nietzsche (1844 – 1900)

- ▶ concept **faussetment** « simple et universel » car « *humain, trop humain* » :  
lié à la **vision (humaine)**, mais aussi fortement teinté de **culture** (société, environnement, etc.)
- ▶ **exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire** :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ? existe-t-elle même quand on ne le **regarde** pas ? peut-on parler « couleurs » avec quiconque n'est pas romain ?

Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

« *Des goûts et des couleurs, on ne discute pas... et pourtant on ne fait que ça !* »  
(citation approximative de) Friedrich Nietzsche (1844 – 1900)

- ▶ concept **faussetment** « simple et universel » car « *humain, trop humain* » :  
lié à la **vision (humaine)**, mais aussi fortement teinté de **culture** (société, environnement, etc.)
- ▶ **exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire** :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ? existe-t-elle même quand on ne le **regarde** pas ? peut-on parler « couleurs » avec quiconque n'est pas romain ? (*apparemment certaines sociétés n'avaient même pas de mots pour désigner les couleurs*) ; etc.

Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

« *Des goûts et des couleurs, on ne discute pas... et pourtant on ne fait que ça !* »  
(citation approximative de) Friedrich Nietzsche (1844 – 1900)

- ▶ concept **faussement** « simple et universel » car « *humain, trop humain* » :  
lié à la **vision (humaine)**, mais aussi fortement teinté de **culture** (société, environnement, etc.)
- ▶ **exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire** :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ? existe-t-elle même quand on ne le **regarde** pas ? peut-on parler « couleurs » avec quiconque n'est pas romain ? (*apparemment certaines sociétés n'avaient même pas de mots pour désigner les couleurs*) ; etc.

**Cette conférence** : ce que la **Physique** nous dit de la couleur

Qu'est-ce que « la **couleur** » ? Et que peut-on en dire ?

« *Des goûts et des couleurs, on ne discute pas... et pourtant on ne fait que ça !* »  
(citation approximative de) Friedrich Nietzsche (1844 – 1900)

- ▶ concept **faussement** « simple et universel » car « *humain, trop humain* » :  
lié à la **vision (humaine)**, mais aussi fortement teinté de **culture** (société, environnement, etc.)
- ▶ **exemples de questions plus subtiles qu'on ne pourrait le croire** :  
la couleur d'un objet est-elle une propriété qui lui est **propre** ? existe-t-elle même quand on ne le **regarde** pas ? peut-on parler « couleurs » avec quiconque n'est pas romain ? (*apparemment certaines sociétés n'avaient même pas de mots pour désigner les couleurs*) ; etc.

**Cette conférence** : ce que la **Physique** nous dit de la couleur... avec un peu d'histoire, de biologie, etc.

- ▶ **physique** = tentative de **description scientifique** du **monde mesurable** (du plus proche au plus lointain, du plus gros au plus petit)
- ▶ en **physique**, l'Être humain et la vision humaine sont des « détails » parmi tout ce qui existe et est **modélisable** (vrai aussi en **biologie**, même si elle ne s'intéresse qu'au vivant)
- ▶ mais **couleur** = concept en lien avec la **question fondamentale** « que signifie **voir (observer)** » ?  
⇒ **ancienne** et **subtile** à multiples facettes (biologie, épistémologie, psychologie, etc.)  
**exemple** : « vue **active**, comme le toucher, ou **passive**, comme l'ouïe ? »
- ▶ « **réponse** » de la science moderne :
  - **vue** = sens « **passif** », qui permet une perception à **distance**, grâce à un intermédiaire, la **lumière**, et qui repose sur de **complexes processus d'interprétation en partie subjectifs et inconscients**
  - mais la **couleur** a aussi un **versant physique** et **objectif/mesurable**, lié à la **lumière**  
⇒ utilisations quotidiennes en **imprimerie, informatique, optique, télécommunication**, etc.

- ▶ **physique** = tentative de **description scientifique** du **monde mesurable** (du plus proche au plus lointain, du plus gros au plus petit)  $\implies$  quête et étude de **modèles objectifs et falsifiables**
- ▶ en **physique**, l'Être humain et la vision humaine sont des « détails » parmi tout ce qui existe et est **modélisable** (vrai aussi en **biologie**, même si elle ne s'intéresse qu'au vivant)
- ▶ mais **couleur** = concept en lien avec la **question fondamentale** « que signifie **voir (observer)** » ?  
 $\implies$  **ancienne** et **subtile** à multiples facettes (biologie, épistémologie, psychologie, etc.)  
**exemple** : « vue **active**, comme le toucher, ou **passive**, comme l'ouïe ? »
- ▶ « **réponse** » de la science moderne :
- **vue** = sens « **passif** », qui permet une perception à **distance**, grâce à un intermédiaire, la **lumière**, et qui repose sur de **complexes processus d'interprétation en partie subjectifs et inconscients**
- mais la **couleur** a aussi un **versant physique** et **objectif/mesurable**, lié à la **lumière**  
 $\implies$  utilisations quotidiennes en **imprimerie, informatique, optique, télécommunication**, etc.

- ▶ **physique** = tentative de **description scientifique** du **monde mesurable** (du plus proche au plus lointain, du plus gros au plus petit)  $\implies$  quête et étude de **modèles objectifs et falsifiables**
- ▶ en **physique**, l'Être humain et la vision humaine sont des « détails » parmi tout ce qui existe et est **modélisable** (vrai aussi en **biologie**, même si elle ne s'intéresse qu'au vivant)
- ▶ mais **couleur** = concept en lien avec la **question fondamentale** « que signifie **voir (observer)** » ?  
 $\implies$  **ancienne** et **subtile** à multiples facettes (biologie, épistémologie, psychologie, etc.)  
**exemple** : « vue **active**, comme le toucher, ou **passive**, comme l'ouïe ? »
- ▶ « **réponse** » de la science moderne :
  - **vue** = sens « **passif** », qui permet une perception à **distance**, grâce à un intermédiaire, la **lumière**, et qui repose sur de **complexes processus d'interprétation en partie subjectifs et inconscients**
  - mais la **couleur** a aussi un **versant physique** et **objectif/mesurable**, lié à la **lumière**  
 $\implies$  utilisations quotidiennes en **imprimerie, informatique, optique, télécommunication**, etc.

- ▶ **physique** = tentative de **description scientifique** du **monde mesurable** (du plus proche au plus lointain, du plus gros au plus petit)  $\implies$  quête et étude de **modèles objectifs et falsifiables**
- ▶ en **physique**, l'Être humain et la vision humaine sont des « détails » parmi tout ce qui existe et est **modélisable** (vrai aussi en **biologie**, même si elle ne s'intéresse qu'au vivant)
- ▶ mais **couleur** = concept en lien avec la **question fondamentale** « que signifie **voir (observer)** » ?  
 $\implies$  **ancienne** et **subtile** à multiples facettes (biologie, épistémologie, psychologie, etc.)  
**exemple** : « vue **active**, comme le toucher, ou **passive**, comme l'ouïe ? »
- ▶ « **réponse** » de la science moderne :
  - **vue** = sens « **passif** », qui permet une perception à **distance**, grâce à un intermédiaire, la **lumière**, et qui repose sur de **complexes processus d'interprétation en partie subjectifs et inconscients**
  - mais la **couleur** a aussi un **versant physique** et **objectif/mesurable**, lié à la **lumière**  
 $\implies$  utilisations quotidiennes en **imprimerie, informatique, optique, télécommunication**, etc.

- ▶ **physique** = tentative de **description scientifique** du **monde mesurable** (du plus proche au plus lointain, du plus gros au plus petit)  $\implies$  quête et étude de **modèles objectifs et falsifiables**
- ▶ en **physique**, l'Être humain et la vision humaine sont des « détails » parmi tout ce qui existe et est **modélisable** (vrai aussi en **biologie**, même si elle ne s'intéresse qu'au vivant)
- ▶ mais **couleur** = concept en lien avec la **question fondamentale** « que signifie **voir (observer)** » ?  
 $\implies$  **ancienne** et **subtile** à multiples facettes (biologie, épistémologie, psychologie, etc.)  
**exemple** : « vue **active**, comme le toucher, ou **passive**, comme l'ouïe ? »
- ▶ « réponse » de la science moderne :
  - **vue** = sens « **passif** », qui permet une perception à **distance**, grâce à un intermédiaire, la **lumière**, et qui repose sur de **complexes processus d'interprétation en partie subjectifs et inconscients**
  - mais la **couleur** a aussi un **versant physique** et **objectif/mesurable**, lié à la **lumière**  
 $\implies$  utilisations quotidiennes en **imprimerie, informatique, optique, télécommunication**, etc.

- ▶ **physique** = tentative de **description scientifique** du **monde mesurable** (du plus proche au plus lointain, du plus gros au plus petit)  $\implies$  quête et étude de **modèles objectifs et falsifiables**
- ▶ en **physique**, l'Être humain et la vision humaine sont des « détails » parmi tout ce qui existe et est **modélisable** (vrai aussi en **biologie**, même si elle ne s'intéresse qu'au vivant)
- ▶ mais **couleur** = concept en lien avec la **question fondamentale** « que signifie **voir (observer)** » ?  
 $\implies$  **ancienne** et **subtile** à multiples facettes (biologie, épistémologie, psychologie, etc.)  
**exemple** : « vue **active**, comme le toucher, ou **passive**, comme l'ouïe ? »
- ▶ « **réponse** » de la science moderne :
  - **vue** = sens « **passif** », qui permet une perception à **distance**, grâce à un intermédiaire, la **lumière**, et qui repose sur de **complexes processus d'interprétation en partie subjectifs et inconscients**
  - mais la **couleur** a aussi un **versant physique et objectif/mesurable**, lié à la **lumière**  
 $\implies$  utilisations quotidiennes en **imprimerie, informatique, optique, télécommunication**, etc.

- ▶ **physique** = tentative de **description scientifique** du **monde mesurable** (du plus proche au plus lointain, du plus gros au plus petit)  $\implies$  quête et étude de **modèles objectifs et falsifiables**
- ▶ en **physique**, l'Être humain et la vision humaine sont des « détails » parmi tout ce qui existe et est **modélisable** (vrai aussi en **biologie**, même si elle ne s'intéresse qu'au vivant)
- ▶ mais **couleur** = concept en lien avec la **question fondamentale** « que signifie **voir (observer)** » ?  
 $\implies$  **ancienne** et **subtile** à multiples facettes (biologie, épistémologie, psychologie, etc.)  
**exemple** : « vue **active**, comme le toucher, ou **passive**, comme l'ouïe ? »
- ▶ « **réponse** » de la science moderne :
  - **vue** = sens « **passif** », qui permet une perception à **distance**, grâce à un intermédiaire, la **lumière**, et qui repose sur de **complexes processus d'interprétation en partie subjectifs et inconscients**
  - mais la **couleur** a aussi un **versant physique et objectif/mesurable**, lié à la **lumière**  
 $\implies$  utilisations quotidiennes en **imprimerie, informatique, optique, télécommunication**, etc.

- ▶ **physique** = tentative de **description scientifique** du **monde mesurable** (du plus proche au plus lointain, du plus gros au plus petit)  $\implies$  quête et étude de **modèles objectifs et falsifiables**
- ▶ en **physique**, l'Être humain et la vision humaine sont des « détails » parmi tout ce qui existe et est **modélisable** (vrai aussi en **biologie**, même si elle ne s'intéresse qu'au vivant)
- ▶ mais **couleur** = concept en lien avec la **question fondamentale** « que signifie **voir (observer)** » ?  
 $\implies$  **ancienne** et **subtile** à multiples facettes (biologie, épistémologie, psychologie, etc.)  
**exemple** : « vue **active**, comme le toucher, ou **passive**, comme l'ouïe ? »
- ▶ « **réponse** » de la science moderne :
  - **vue** = sens « **passif** », qui permet une perception à **distance**, grâce à un intermédiaire, la **lumière**, et qui repose sur de **complexes processus d'interprétation en partie subjectifs et inconscients**, notamment pour ce qui concerne les **couleurs perçues**
  - mais la **couleur** a aussi un **versant physique et objectif/mesurable**, lié à la **lumière**  
 $\implies$  utilisations quotidiennes en **imprimerie, informatique, optique, télécommunication**, etc.

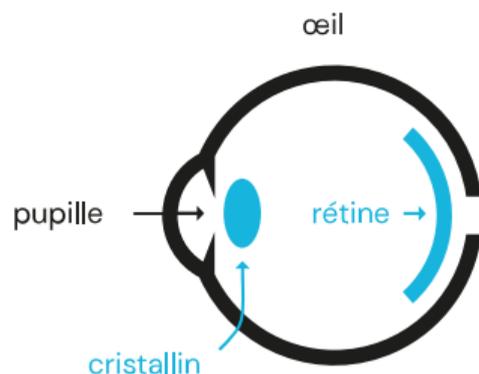
- ▶ **physique** = tentative de **description scientifique** du **monde mesurable** (du plus proche au plus lointain, du plus gros au plus petit)  $\implies$  quête et étude de **modèles objectifs et falsifiables**
- ▶ en **physique**, l'Être humain et la vision humaine sont des « détails » parmi tout ce qui existe et est **modélisable** (vrai aussi en **biologie**, même si elle ne s'intéresse qu'au vivant)
- ▶ mais **couleur** = concept en lien avec la **question fondamentale** « que signifie **voir (observer)** » ?  
 $\implies$  **ancienne** et **subtile** à multiples facettes (biologie, épistémologie, psychologie, etc.)  
**exemple** : « vue **active**, comme le toucher, ou **passive**, comme l'ouïe ? »
- ▶ « **réponse** » de la science moderne :
  - **vue** = sens « **passif** », qui permet une perception à **distance**, grâce à un intermédiaire, la **lumière**, et qui repose sur de **complexes processus d'interprétation en partie subjectifs et inconscients**, notamment pour ce qui concerne les **couleurs perçues**
  - mais la **couleur** a aussi un **versant physique** et **objectif/mesurable**, lié à la **lumière**  
 $\implies$  utilisations quotidiennes en **imprimerie, informatique, optique, télécommunication**, etc.

**acteurs** pour une modélisation **physique/objective** de la « vision d'une image colorée » :

- capteur (exemple : œil humain )
- lumière
- parfois aussi source ( $\simeq$  « objet vu ») et milieu intermédiaire (exemple : vision différente sous l'eau)
- analyseur(s) des informations reçues : complexes, mais **cruciaux**, dans la perception des couleurs  
⇒ corps géniculé latéral, cortex cérébral, etc. (cf. recherche actuelle en **biologie**)

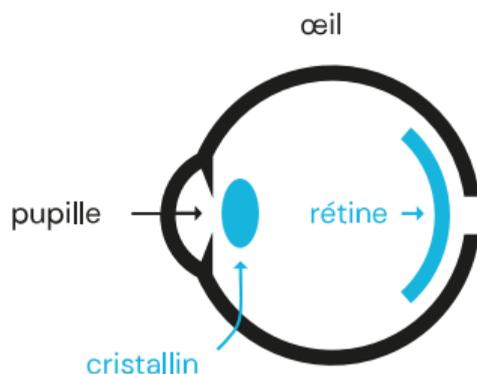
**acteurs** pour une modélisation **physique/objective** de la « vision d'une image colorée » :

- **capteur** (exemple : œil humain )
- lumière
- parfois aussi **source** ( $\simeq$  « objet vu ») et **milieu intermédiaire** (exemple : vision différente sous l'eau)
- **analyseur(s) des informations reçues** : complexes, mais **cruciaux**, dans la perception des **couleurs**  
⇒ **corps géniculé latéral, cortex cérébral**, etc. (cf. **recherche actuelle en biologie**)



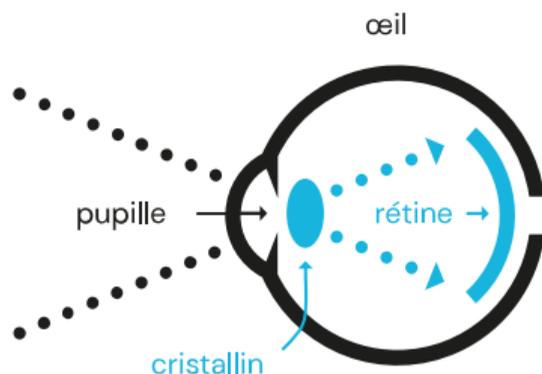
**acteurs** pour une modélisation **physique/objective** de la « vision d'une image colorée » :

- **capteur** (exemple : œil humain  $\implies$  décrit ici comme un « système physique quelconque »)
- lumière
- parfois aussi **source** ( $\simeq$  « objet vu ») et **milieu intermédiaire** (exemple : vision différente sous l'eau)
- **analyseur(s) des informations reçues** : complexes, mais **cruciaux**, dans la perception des **couleurs**  
 $\implies$  **corps géniculé latéral, cortex cérébral**, etc. (cf. **recherche actuelle en biologie**)



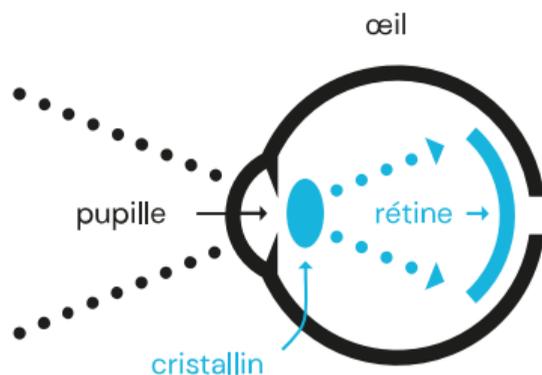
**acteurs** pour une modélisation **physique/objective** de la « vision d'une image colorée » :

- **capteur** (exemple : œil humain  $\implies$  décrit ici comme un « système physique quelconque »)
- **lumière**
- parfois aussi **source** ( $\simeq$  « objet vu ») et **milieu intermédiaire** (exemple : vision différente sous l'eau)
- **analyseur(s) des informations reçues** : complexes, mais **cruciaux**, dans la perception des **couleurs**  
 $\implies$  **corps géniculé latéral, cortex cérébral, etc.** (cf. **recherche actuelle en biologie**)



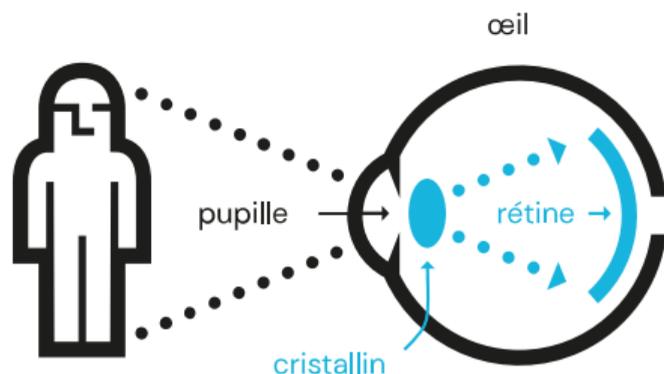
**acteurs** pour une modélisation **physique/objective** de la « vision d'une image colorée » :

- **capteur** (exemple : œil humain  $\implies$  décrit ici comme un « système physique quelconque »)
- **lumière** (pas humaine, et aux propriétés « élémentaires » ou contrôlables)
- parfois aussi **source** ( $\simeq$  « objet vu ») et **milieu intermédiaire** (exemple : vision différente sous l'eau)
- **analyseur(s) des informations reçues** : complexes, mais **cruciaux**, dans la perception des **couleurs**  
 $\implies$  **corps géniculé latéral, cortex cérébral, etc.** (cf. recherche actuelle en **biologie**)



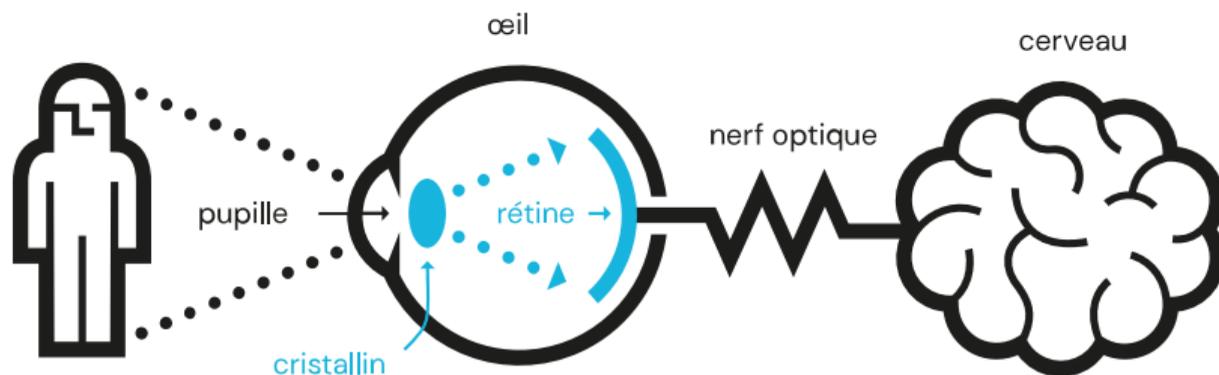
**acteurs** pour une modélisation **physique/objective** de la « vision d'une image colorée » :

- **capteur** (exemple : œil humain  $\implies$  décrit ici comme un « système physique quelconque »)
- **lumière** (pas humaine, et aux propriétés « élémentaires » ou contrôlables)
- parfois aussi **source** ( $\simeq$  « objet vu ») et **milieu intermédiaire** (exemple : vision différente sous l'eau)
- **analyseur(s) des informations reçues** : complexes, mais **cruciaux**, dans la perception des **couleurs**  
 $\implies$  **corps géniculé latéral, cortex cérébral, etc.** (cf. recherche actuelle en **biologie**)



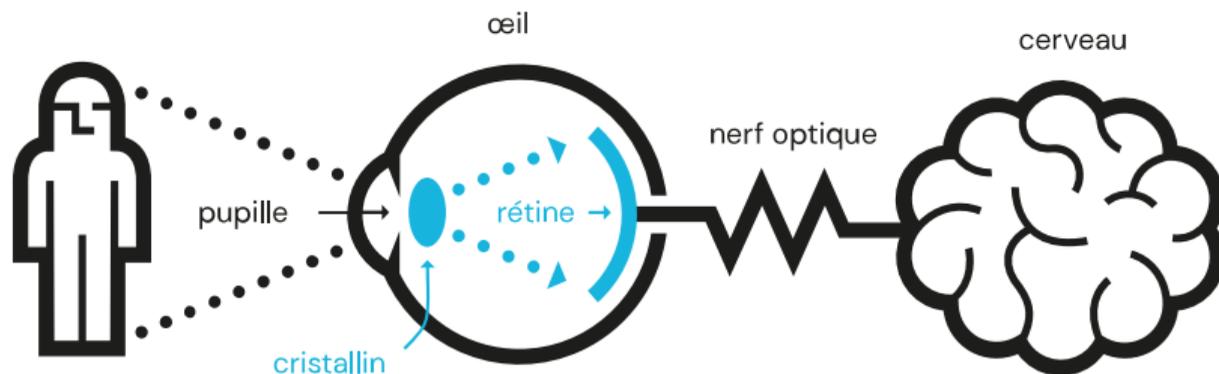
**acteurs** pour une modélisation **physique/objective** de la « vision d'une image colorée » :

- **capteur** (exemple : œil humain  $\implies$  décrit ici comme un « système physique quelconque »)
- **lumière** (pas humaine, et aux propriétés « élémentaires » ou contrôlables)
- parfois aussi **source** ( $\simeq$  « objet vu ») et **milieu intermédiaire** (exemple : vision différente sous l'eau)
- **analyseur(s) des informations reçues** : complexes, mais **cruciaux**, dans la perception des couleurs  
 $\implies$  corps géniculé latéral, cortex cérébral, etc. (cf. recherche actuelle en biologie)



**acteurs** pour une modélisation **physique/objective** de la « vision d'une image colorée » :

- **capteur** (exemple : œil humain  $\implies$  décrit ici comme un « système physique quelconque »)
- **lumière** (pas humaine, et aux propriétés « élémentaires » ou contrôlables)
- parfois aussi **source** ( $\simeq$  « objet vu ») et **milieu intermédiaire** (exemple : vision différente sous l'eau)
- **analyseur(s) des informations reçues** : complexes, mais **cruciaux**, dans la perception des couleurs  
 $\implies$  **corps géniculé latéral, cortex cérébral**, etc. (cf. **recherche actuelle** en **biologie**)



# Plan

I : De la vision aux propriétés fondamentales de la lumière

II : Des couleurs perçues à la couleur physique

III : Optique ondulatoire et couleurs

IV : Couleurs invisibles et ondes électromagnétiques

V : D'où vient...

## I : De la vision aux propriétés fondamentales de la lumière



- ▶ **vue** : l'un des 5 sens (humains)
- ▶ particularités :
- ▶ question très ancienne : principe de la vision ?
  - ⇒ nombreuses et distinctes propositions concernant la **vue** et donc la **nature des couleurs**
- ▶ études **anatomiques** (ex. : **Galien** au ii<sup>e</sup> siècle), et **physiques** (ex. : **Alhazem**, début xi<sup>e</sup> siècle)
  - ⇒ existence de la **lumière**



- ▶ **vue** : l'un des 5 sens (humains)  $\implies$  rôle-clef pour l'observation et la représentation du monde
- ▶ particularités :
- ▶ question très ancienne : principe de la vision ?
  - $\implies$  nombreuses et distinctes propositions concernant la **vue** et donc la nature des couleurs
- ▶ études anatomiques (ex. : **Galien** au ii<sup>e</sup> siècle), et physiques (ex. : **Alhazem**, début xi<sup>e</sup> siècle)
  - $\implies$  existence de la **lumière**



- ▶ **vue** : l'un des 5 sens (humains)  $\implies$  rôle-clé pour l'observation et la représentation du monde
- ▶ **particularités** :
  - ▶ question très ancienne : principe de la vision ?
    - $\implies$  nombreuses et distinctes propositions concernant la vue et donc la nature des couleurs
  - ▶ études anatomiques (ex. : **Galien** au ii<sup>e</sup> siècle), et physiques (ex. : **Alhazem**, début xi<sup>e</sup> siècle)
    - $\implies$  existence de la lumière



- ▶ **vue** : l'un des **5 sens (humains)**  $\implies$  rôle-clef pour l'**observation** et la **représentation du monde**
- ▶ **particularités** :  
perception à **distance** ( $\neq$  toucher ou goût)
- ▶ **question très ancienne** : principe de la vision ?  
 $\implies$  nombreuses et distinctes propositions concernant la **vue** et donc la **nature des couleurs**
- ▶ études **anatomiques** (ex. : **Galien** au ii<sup>e</sup> siècle), et **physiques** (ex. : **Alhazem**, début xi<sup>e</sup> siècle)  
 $\implies$  existence de la **lumière**



- ▶ **vue** : l'un des 5 sens (humains)  $\implies$  rôle-clé pour l'observation et la représentation du monde
- ▶ **particularités** :
  - perception à distance ( $\neq$  toucher ou goût), mais avec **directionnalité** ( $\neq$  ouïe ou odorat)
- ▶ **question très ancienne** : principe de la vision ?
  - $\implies$  nombreuses et distinctes propositions concernant la **vue** et donc la **nature des couleurs**
- ▶ études **anatomiques** (ex. : **Galien** au ii<sup>e</sup> siècle), et **physiques** (ex. : **Alhazem**, début xi<sup>e</sup> siècle)
  - $\implies$  existence de la **lumière**



- ▶ **vue** : l'un des 5 sens (humains)  $\implies$  rôle-clef pour l'observation et la représentation du monde
- ▶ **particularités** :  
perception à distance ( $\neq$  toucher ou goût), mais avec **directionnalité** ( $\neq$  ouïe ou odorat)
- ▶ **question très ancienne** : principe de la vision ?

$\implies$  nombreuses et distinctes propositions concernant la **vue** et donc la **nature des couleurs**

- ▶ études **anatomiques** (ex. : **Galien** au ii<sup>e</sup> siècle), et **physiques** (ex. : **Alhazem**, début xi<sup>e</sup> siècle)

$\implies$  existence de la **lumière**



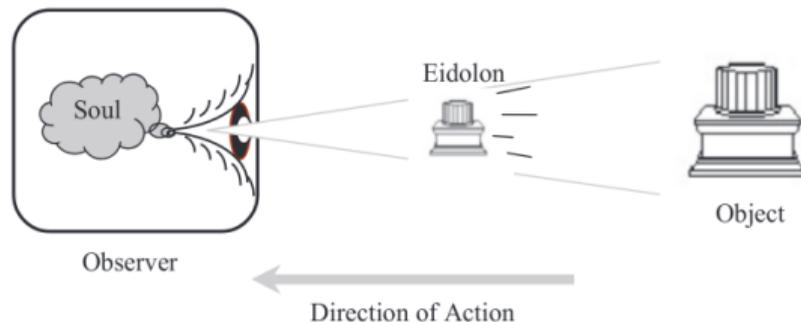
- ▶ **vue** : l'un des **5 sens (humains)**  $\implies$  rôle-clef pour l'**observation** et la **représentation du monde**
- ▶ **particularités** :  
perception à **distance** ( $\neq$  toucher ou goût), mais avec **directionnalité** ( $\neq$  ouïe ou odorat)
- ▶ **question très ancienne** : principe de la vision ? processus **actif** (théorie de l'émission d'**Euclide**)  
  
 $\implies$  nombreuses et distinctes propositions concernant la **vue** et donc la **nature des couleurs**
- ▶ études **anatomiques** (ex. : **Galien** au ii<sup>e</sup> siècle), et **physiques** (ex. : **Alhazem**, début xi<sup>e</sup> siècle)  
  
 $\implies$  existence de la **lumière**



- ▶ **vue** : l'un des **5 sens (humains)**  $\implies$  rôle-clé pour l'**observation** et la **représentation du monde**
- ▶ **particularités** :  
perception à **distance** ( $\neq$  toucher ou goût), mais avec **directionnalité** ( $\neq$  ouïe ou odorat)
- ▶ **question très ancienne** : principe de la vision ? processus **actif** (théorie de l'émission d'**Euclide**), ou **passif** (« simulacres » ou « eidola » de **Démocrite**)
  - $\implies$  nombreuses et distinctes propositions concernant la **vue** et donc la **nature des couleurs**
- ▶ études **anatomiques** (ex. : **Galien** au ii<sup>e</sup> siècle), et **physiques** (ex. : **Alhazem**, début xi<sup>e</sup> siècle)
  - $\implies$  existence de la **lumière**



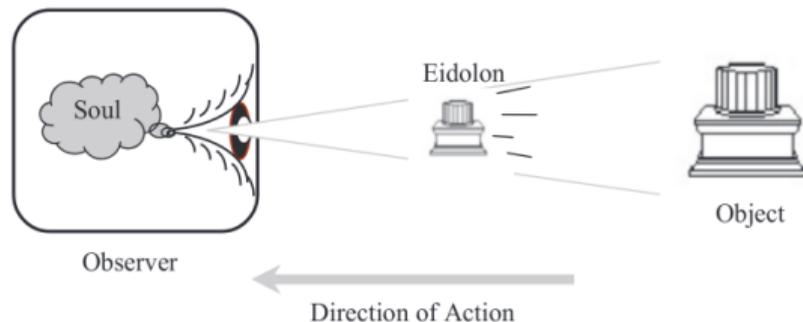
Loïc Villain (IDP)



- ▶ **vue** : l'un des **5 sens (humains)**  $\implies$  rôle-clé pour l'**observation** et la **représentation du monde**
- ▶ **particularités** :  
perception à **distance** ( $\neq$  toucher ou goût), mais avec **directionnalité** ( $\neq$  ouïe ou odorat)
- ▶ **question très ancienne** : principe de la vision ? processus **actif** (théorie de l'émission d'**Euclide**), ou **passif** (« simulacres » ou « eidola » de **Démocrite**), voire plus complexe encore...
  - $\implies$  nombreuses et distinctes propositions concernant la **vue** et donc la **nature des couleurs**
- ▶ études **anatomiques** (ex. : **Galien** au ii<sup>e</sup> siècle), et **physiques** (ex. : **Alhazem**, début xi<sup>e</sup> siècle)
  - $\implies$  existence de la **lumière**



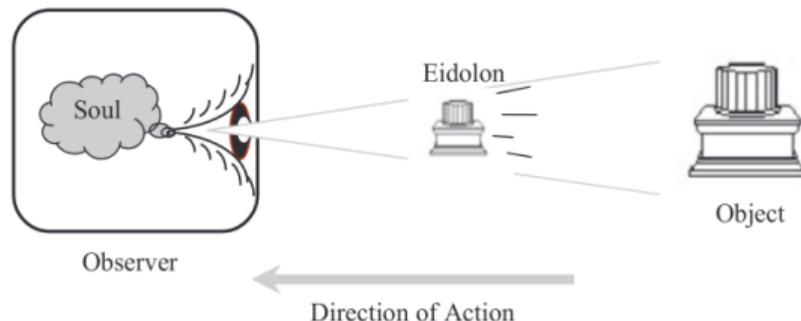
Loïc Villain (IDP)



- ▶ **vue** : l'un des **5 sens (humains)**  $\implies$  rôle-clef pour l'**observation** et la **représentation du monde**
- ▶ **particularités** :  
perception à **distance** ( $\neq$  toucher ou goût), mais avec **directionnalité** ( $\neq$  ouïe ou odorat)
- ▶ **question très ancienne** : principe de la vision ? processus **actif** (théorie de l'émission d'**Euclide**), ou **passif** (« simulacres » ou « eidola » de **Démocrite**), voire plus complexe encore...  
 $\implies$  nombreuses et distinctes propositions concernant la **vue** et donc la **nature des couleurs**
- ▶ études **anatomiques** (ex. : **Galien** au ii<sup>e</sup> siècle), et **physiques** (ex. : **Alhazem**, début xi<sup>e</sup> siècle)  
 $\implies$  existence de la **lumière**



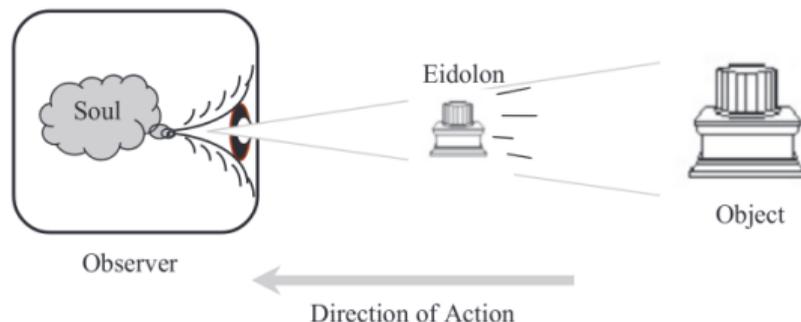
Loïc Villain (IDP)



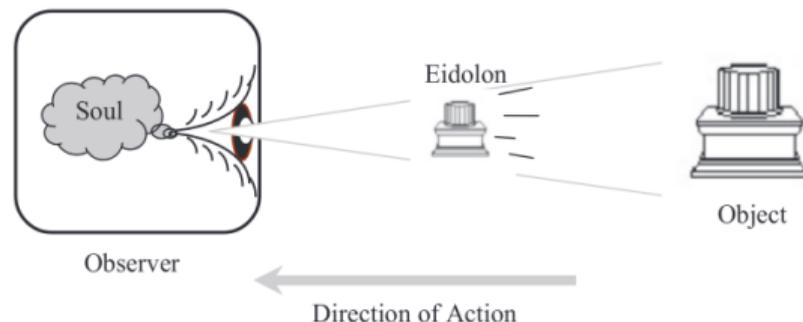
- ▶ **vue** : l'un des **5 sens (humains)**  $\implies$  rôle-clef pour l'**observation** et la **représentation du monde**
- ▶ **particularités** :  
perception à **distance** ( $\neq$  toucher ou goût), mais avec **directionnalité** ( $\neq$  ouïe ou odorat)
- ▶ **question très ancienne** : principe de la vision ? processus **actif** (théorie de l'émission d'**Euclide**), ou **passif** (« simulacres » ou « eidola » de **Démocrite**), voire plus complexe encore...  
 $\implies$  nombreuses et distinctes propositions concernant la **vue** et donc la **nature des couleurs**
- ▶ études **anatomiques** (ex. : **Galien** au ii<sup>e</sup> siècle), et **physiques** (ex. : **Alhazem**, début xi<sup>e</sup> siècle)  
 $\implies$  existence de la **lumière**



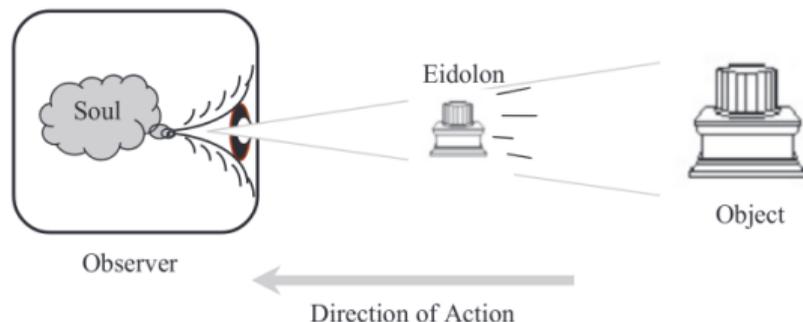
Loïc Villain (IDP)



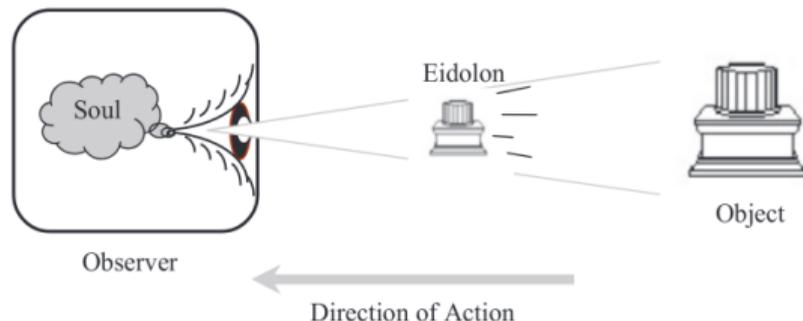
- ▶ **vue** : l'un des **5 sens (humains)**  $\implies$  rôle-clé pour l'**observation** et la **représentation du monde**
- ▶ **particularités** :  
perception à **distance** ( $\neq$  toucher ou goût), mais avec **directionnalité** ( $\neq$  ouïe ou odorat)
- ▶ **question très ancienne** : principe de la vision ? processus **actif** (théorie de l'émission d'**Euclide**), ou **passif** (« simulacres » ou « eidola » de **Démocrite**), voire plus complexe encore...  
 $\implies$  nombreuses et distinctes propositions concernant la **vue** et donc la **nature des couleurs**
- ▶ études **anatomiques** (ex. : **Galien** au ii<sup>e</sup> siècle), et **physiques** (ex. : **Alhazem**, début xi<sup>e</sup> siècle)  
 $\implies$  existence de la **lumière**



- ▶ **vue** : l'un des **5 sens (humains)**  $\implies$  rôle-clé pour l'**observation** et la **représentation du monde**
- ▶ **particularités** :  
perception à **distance** ( $\neq$  toucher ou goût), mais avec **directionnalité** ( $\neq$  ouïe ou odorat)
- ▶ **question très ancienne** : principe de la vision ? processus **actif** (théorie de l'émission d'**Euclide**), ou **passif** (« simulacres » ou « eidola » de **Démocrite**), voire plus complexe encore...  
 $\implies$  nombreuses et distinctes propositions concernant la **vue** et donc la **nature des couleurs**
- ▶ études **anatomiques** (ex. : **Galien** au ii<sup>e</sup> siècle), et **physiques** (ex. : **Alhazem**, début xi<sup>e</sup> siècle)  
 $\implies$  existence de la **lumière**, puis compréhension progressive de ses **propriétés** et du principe de la **vision**



- ▶ **vue** : l'un des **5 sens (humains)**  $\implies$  rôle-clé pour l'**observation** et la **représentation du monde**
- ▶ **particularités** :  
perception à **distance** ( $\neq$  toucher ou goût), mais avec **directionnalité** ( $\neq$  ouïe ou odorat)
- ▶ **question très ancienne** : principe de la vision ? processus **actif** (théorie de l'émission d'**Euclide**), ou **passif** (« simulacres » ou « eidola » de **Démocrite**), voire plus complexe encore...  
 $\implies$  nombreuses et distinctes propositions concernant la **vue** et donc la **nature des couleurs**
- ▶ études **anatomiques** (ex. : **Galien** au ii<sup>e</sup> siècle), et **physiques** (ex. : **Alhazem**, début xi<sup>e</sup> siècle)  
 $\implies$  existence de la **lumière**, puis compréhension progressive de ses **propriétés** et du principe de la **vision** (mais quelques questions « biologiques » subtiles encore ouvertes à ce jour...)



## La lumière en physique :

- ▶ **plusieurs modèles (valides)** et de plus en plus **précis** se sont succédés au cours de l'Histoire
- ▶ **fin du xix<sup>e</sup> siècle** :
  - remise en cause de nos conceptions de l'**espace**, du **temps**, de la **matière**... de tout !
    - ⇒ toute la **technologie moderne** (laser, micro-électronique, GPS, etc.)
- ▶ **modélisation la plus moderne** :
  - ⇒ compréhension « approfondie » de la **spécificité** et de l'**unicité** de la **vue** (en **physique**)
- ▶ **conclusions (validées expérimentalement, cf. CERN)** :
- ▶ **bonne nouvelle** : des modèles **moins complets, mais plus simples** suffiront ici !

## La lumière en physique :

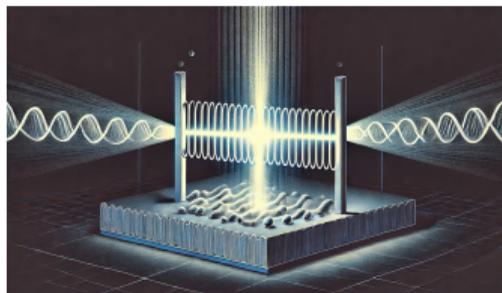
- ▶ plusieurs modèles (valides) et de plus en plus **précis** se sont succédés au cours de l'Histoire
- ▶ fin du xix<sup>e</sup> siècle :
  - remise en cause de nos conceptions de l'espace, du temps, de la matière... de tout !
    - ⇒ toute la **technologie moderne** (laser, micro-électronique, GPS, etc.)
- ▶ modélisation la plus moderne :
  - ⇒ compréhension « approfondie » de la **spécificité** et de l'**unicité** de la **vue** (en **physique**)
- ▶ conclusions (validées expérimentalement, cf. CERN) :
- ▶ **bonne nouvelle** : des modèles **moins complets, mais plus simples** suffiront ici !

## La lumière en physique :

- ▶ plusieurs modèles (valides) et de plus en plus **précis** se sont succédés au cours de l'Histoire
- ▶ fin du XIX<sup>e</sup> siècle : étude de la lumière  $\implies$  **révolutions relativiste** et **quantique**  
remise en cause de nos conceptions de l'espace, du temps, de la matière... de tout!  
 $\implies$  toute la **technologie moderne** (laser, micro-électronique, GPS, etc.)
- ▶ **modélisation la plus moderne** :  
  
 $\implies$  compréhension « approfondie » de la **spécificité** et de l'**unicité** de la **vue** (en **physique**)
- ▶ **conclusions (validées expérimentalement, cf. CERN)** :
- ▶ **bonne nouvelle** : des modèles **moins complets, mais plus simples** suffiront ici !

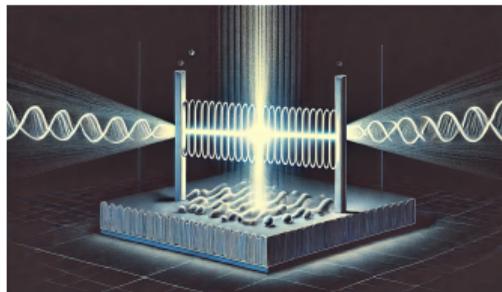
## La lumière en physique :

- ▶ plusieurs modèles (valides) et de plus en plus **précis** se sont succédés au cours de l'Histoire
- ▶ fin du **xix<sup>e</sup> siècle** : étude de la lumière  $\implies$  **révolutions relativiste** et **quantique**  
remise en cause de nos conceptions de l'**espace**, du **temps**, de la **matière**... de tout !  
 $\implies$  toute la **technologie moderne** (laser, micro-électronique, GPS, etc.)
- ▶ **modélisation la plus moderne** :
  - $\implies$  compréhension « approfondie » de la **spécificité** et de l'**unicité** de la **vue** (en **physique**)
- ▶ **conclusions (validées expérimentalement, cf. CERN)** :
- ▶ **bonne nouvelle** : des modèles **moins complets, mais plus simples** suffiront ici !



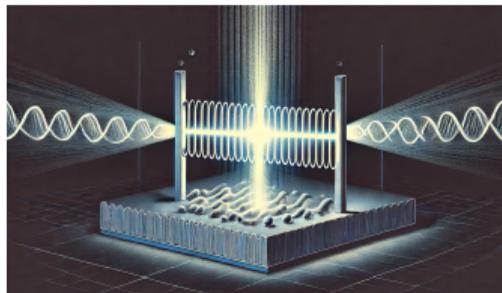
## La lumière en physique :

- ▶ plusieurs modèles (valides) et de plus en plus **précis** se sont succédés au cours de l'Histoire
- ▶ fin du **xix<sup>e</sup> siècle** : étude de la lumière  $\implies$  **révolutions relativiste** et **quantique**  
remise en cause de nos conceptions de l'**espace**, du **temps**, de la **matière**... de tout !  
 $\implies$  toute la **technologie moderne** (laser, micro-électronique, GPS, etc.)
- ▶ **modélisation la plus moderne** :
  - $\implies$  compréhension « approfondie » de la **spécificité** et de l'**unicité** de la **vue** (en **physique**)
- ▶ **conclusions (validées expérimentalement, cf. CERN)** :
- ▶ **bonne nouvelle** : des modèles **moins complets, mais plus simples** suffiront ici !

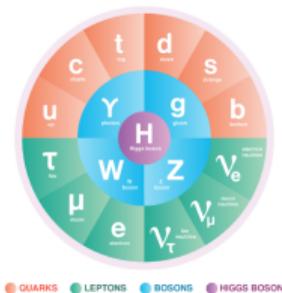


## La lumière en physique :

- ▶ plusieurs modèles (valides) et de plus en plus **précis** se sont succédés au cours de l'Histoire
- ▶ fin du XIX<sup>e</sup> siècle : étude de la lumière  $\implies$  **révolutions relativiste** et **quantique**  
remise en cause de nos conceptions de l'**espace**, du **temps**, de la **matière**... de tout !  
 $\implies$  toute la **technologie moderne** (laser, micro-électronique, GPS, etc.)
- ▶ **modélisation la plus moderne** : dans le cadre du **Modèle standard de la Physique des particules**
  - $\implies$  compréhension « approfondie » de la **spécificité** et de l'**unicité** de la **vue** (en physique)
- ▶ **conclusions (validées expérimentalement, cf. CERN) :**
- ▶ **bonne nouvelle** : des modèles **moins complets, mais plus simples** suffiront ici !

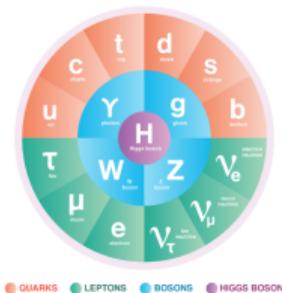
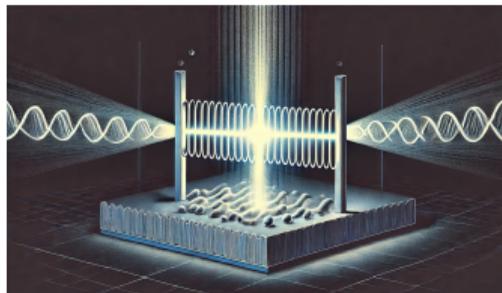


Loïc Villain (IDP)



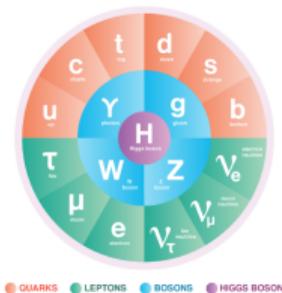
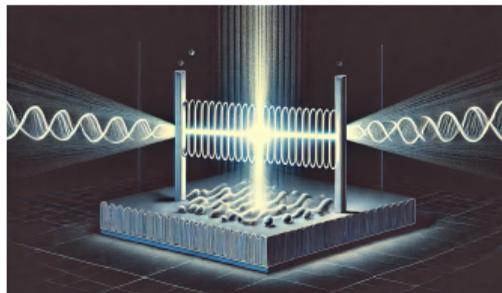
## La lumière en physique :

- ▶ plusieurs modèles (valides) et de plus en plus **précis** se sont succédés au cours de l'Histoire
- ▶ fin du XIX<sup>e</sup> siècle : étude de la lumière  $\implies$  **révolutions relativiste** et **quantique**  
remise en cause de nos conceptions de l'**espace**, du **temps**, de la **matière**... de tout !  
 $\implies$  toute la **technologie moderne** (laser, micro-électronique, GPS, etc.)
- ▶ **modélisation la plus moderne** : dans le cadre du **Modèle standard de la Physique des particules**, par l'intermédiaire de la **théorie électrofaible de Weinberg-Salam (1967)**  
  
 $\implies$  compréhension « approfondie » de la **spécificité** et de l'**unicité** de la **vue** (en physique)
- ▶ **conclusions (validées expérimentalement, cf. CERN) :**
- ▶ **bonne nouvelle** : des modèles **moins complets, mais plus simples** suffiront ici !



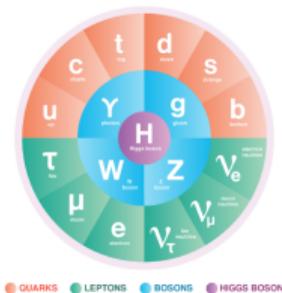
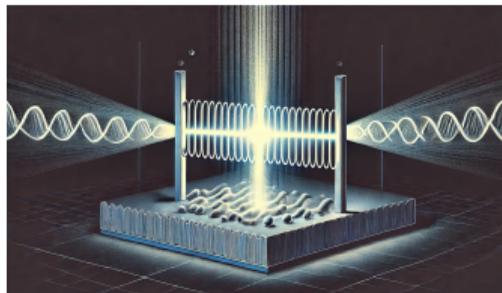
## La lumière en physique :

- ▶ plusieurs modèles (valides) et de plus en plus **précis** se sont succédés au cours de l'Histoire
- ▶ fin du XIX<sup>e</sup> siècle : étude de la lumière  $\implies$  **révolutions relativiste** et **quantique**  
remise en cause de nos conceptions de l'**espace**, du **temps**, de la **matière**... de tout !  
 $\implies$  toute la **technologie moderne** (laser, micro-électronique, GPS, etc.)
- ▶ **modélisation la plus moderne** : dans le cadre du **Modèle standard de la Physique des particules**, par l'intermédiaire de la **théorie électrofaible de Weinberg-Salam (1967)**, formulée dans le langage de la **théorie quantique des champs relativistes**  
 $\implies$  compréhension « approfondie » de la **spécificité** et de l'**unicité** de la **vue** (en physique)
- ▶ **conclusions (validées expérimentalement, cf. CERN)** :
- ▶ **bonne nouvelle** : des modèles **moins complets, mais plus simples** suffiront ici !



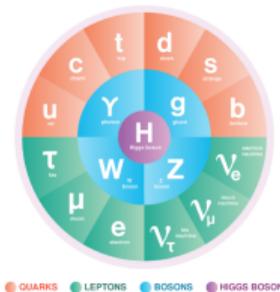
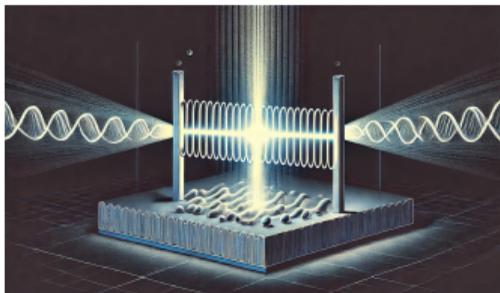
## La lumière en physique :

- ▶ plusieurs modèles (valides) et de plus en plus **précis** se sont succédés au cours de l'Histoire
- ▶ fin du XIX<sup>e</sup> siècle : étude de la lumière  $\implies$  **révolutions relativiste** et **quantique**  
remise en cause de nos conceptions de l'**espace**, du **temps**, de la **matière**... de tout !  
 $\implies$  toute la **technologie moderne** (laser, micro-électronique, GPS, etc.)
- ▶ **modélisation la plus moderne** : dans le cadre du **Modèle standard de la Physique des particules**, par l'intermédiaire de la **théorie électrofaible de Weinberg-Salam (1967)**, formulée dans le langage de la **théorie quantique des champs relativistes**  
 $\implies$  compréhension « approfondie » de la **spécificité** et de l'**unicité** de la **vue** (en **physique**)
- ▶ **conclusions (validées expérimentalement, cf. CERN) :**
- ▶ **bonne nouvelle** : des modèles **moins complets, mais plus simples** suffiront ici !



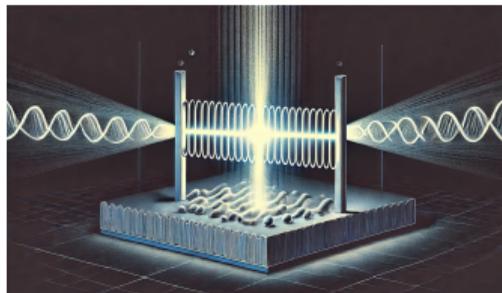
## La lumière en physique :

- ▶ plusieurs modèles (valides) et de plus en plus **précis** se sont succédés au cours de l'Histoire
- ▶ fin du XIX<sup>e</sup> siècle : étude de la lumière  $\implies$  **révolutions relativiste** et **quantique**  
remise en cause de nos conceptions de l'**espace**, du **temps**, de la **matière**... de tout !  
 $\implies$  toute la **technologie moderne** (laser, micro-électronique, GPS, etc.)
- ▶ **modélisation la plus moderne** : dans le cadre du **Modèle standard de la Physique des particules**, par l'intermédiaire de la **théorie électrofaible de Weinberg-Salam (1967)**, formulée dans le langage de la **théorie quantique des champs relativistes**  
 $\implies$  compréhension « approfondie » de la **spécificité** et de l'**unicité** de la **vue** (en **physique**)
- ▶ **conclusions (validées expérimentalement, cf. CERN) :**
- ▶ **bonne nouvelle** : des modèles moins complets, mais plus simples suffiront ici !



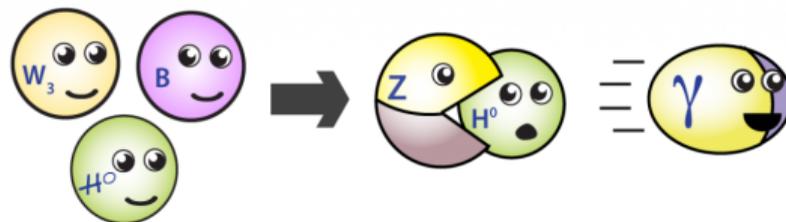
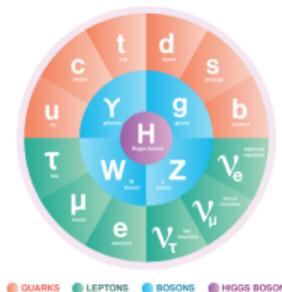
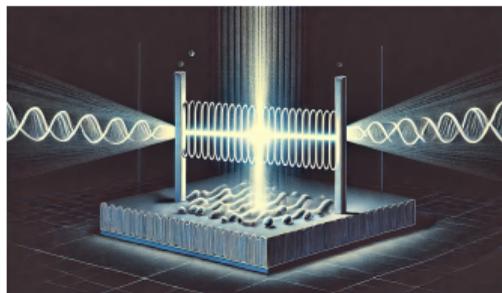
## La lumière en physique :

- ▶ plusieurs modèles (valides) et de plus en plus **précis** se sont succédés au cours de l'Histoire
- ▶ fin du XIX<sup>e</sup> siècle : étude de la lumière  $\implies$  **révolutions relativiste** et **quantique**  
remise en cause de nos conceptions de l'**espace**, du **temps**, de la **matière**... de tout !  
 $\implies$  toute la **technologie moderne** (laser, micro-électronique, GPS, etc.)
- ▶ **modélisation la plus moderne** : dans le cadre du **Modèle standard de la Physique des particules**, par l'intermédiaire de la **théorie électrofaible de Weinberg-Salam (1967)**, formulée dans le langage de la **théorie quantique des champs relativistes**  
 $\implies$  compréhension « approfondie » de la **spécificité** et de l'**unicité** de la **vue** (en **physique**)
- ▶ **conclusions (validées expérimentalement, cf. CERN)** : la lumière n'est **pas** « élémentaire »
- ▶ **bonne nouvelle** : des modèles moins complets, mais plus simples suffiront ici !



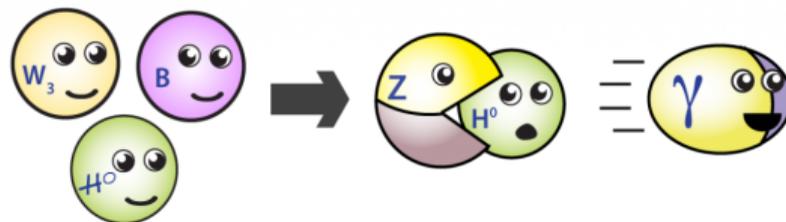
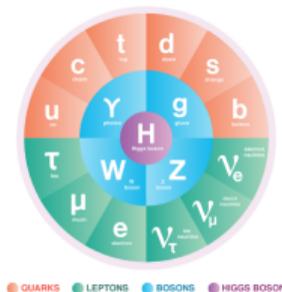
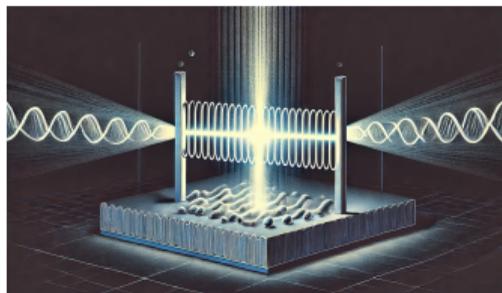
## La lumière en physique :

- ▶ plusieurs modèles (valides) et de plus en plus **précis** se sont succédés au cours de l'Histoire
- ▶ fin du **xix<sup>e</sup> siècle** : étude de la lumière  $\implies$  **révolutions relativiste** et **quantique**  
remise en cause de nos conceptions de l'**espace**, du **temps**, de la **matière**... de tout !  
 $\implies$  toute la **technologie moderne** (laser, micro-électronique, GPS, etc.)
- ▶ **modélisation la plus moderne** : dans le cadre du **Modèle standard de la Physique des particules**, par l'intermédiaire de la **théorie électrofaible de Weinberg-Salam (1967)**, formulée dans le langage de la **théorie quantique des champs relativistes**  
 $\implies$  compréhension « approfondie » de la **spécificité** et de l'**unicité** de la **vue** (en **physique**)
- ▶ **conclusions (validées expérimentalement, cf. CERN)** : la lumière n'est **pas** « élémentaire », elle est « constituée » de « choses plus fondamentales »
- ▶ **bonne nouvelle** : des modèles moins complets, mais plus simples suffiront ici !



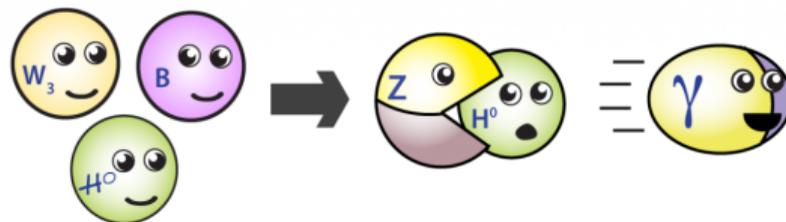
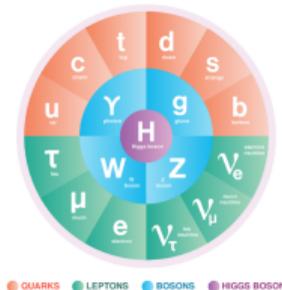
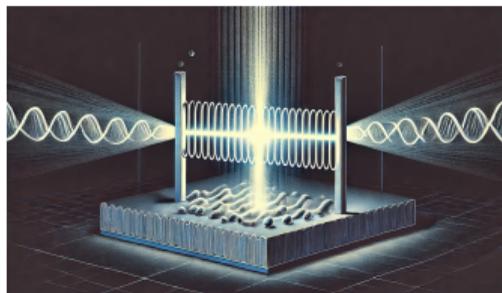
## La lumière en physique :

- ▶ **plusieurs modèles (valides)** et de plus en plus **précis** se sont succédés au cours de l'Histoire
- ▶ **fin du XIX<sup>e</sup> siècle** : étude de la lumière  $\implies$  **révolutions relativiste** et **quantique**  
remise en cause de nos conceptions de l'**espace**, du **temps**, de la **matière**... de tout !  
 $\implies$  toute la **technologie moderne** (laser, micro-électronique, GPS, etc.)
- ▶ **modélisation la plus moderne** : dans le cadre du **Modèle standard de la Physique des particules**, par l'intermédiaire de la **théorie électrofaible de Weinberg-Salam (1967)**, formulée dans le langage de la **théorie quantique des champs relativistes**  
 $\implies$  compréhension « approfondie » de la **spécificité** et de l'**unicité** de la **vue** (en **physique**)
- ▶ **conclusions (validées expérimentalement, cf. CERN)** : la lumière n'est **pas** « élémentaire », elle est « constituée » de « **choses plus fondamentales** », et elle n'a **pas toujours existé** !
- ▶ **bonne nouvelle** : des modèles **moins complets, mais plus simples** suffiront ici !



## La lumière en physique :

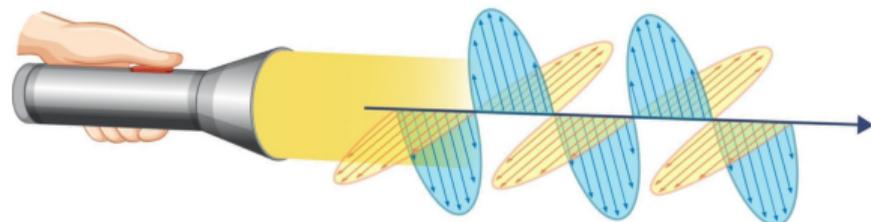
- ▶ plusieurs modèles (valides) et de plus en plus **précis** se sont succédés au cours de l'Histoire
- ▶ fin du **xix<sup>e</sup> siècle** : étude de la lumière  $\implies$  **révolutions relativiste** et **quantique**  
remise en cause de nos conceptions de l'**espace**, du **temps**, de la **matière**... de tout !  
 $\implies$  toute la **technologie moderne** (laser, micro-électronique, GPS, etc.)
- ▶ **modélisation la plus moderne** : dans le cadre du **Modèle standard de la Physique des particules**, par l'intermédiaire de la **théorie électrofaible de Weinberg-Salam (1967)**, formulée dans le langage de la **théorie quantique des champs relativistes**  
 $\implies$  compréhension « approfondie » de la **spécificité** et de l'**unicité** de la **vue** (en **physique**)
- ▶ **conclusions (validées expérimentalement, cf. CERN)** : la lumière n'est **pas** « élémentaire », elle est « constituée » de « choses plus fondamentales », et elle n'a **pas toujours existé** !
- ▶ **bonne nouvelle** : des modèles **moins complets, mais plus simples** suffiront ici !





Modélisation incomplète, mais suffisante ici : une description **duale** (cf. **physique quantique**)

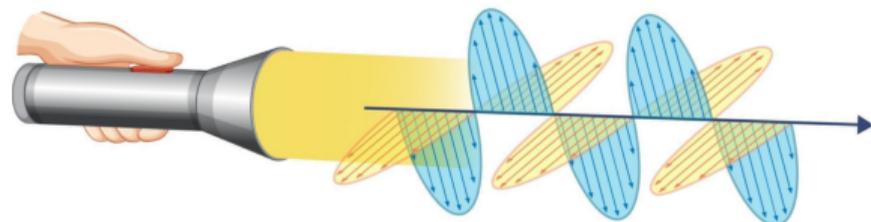
- ▶ soit **vibration** d'un **milieu continu**  
(**onde électromagnétique**)



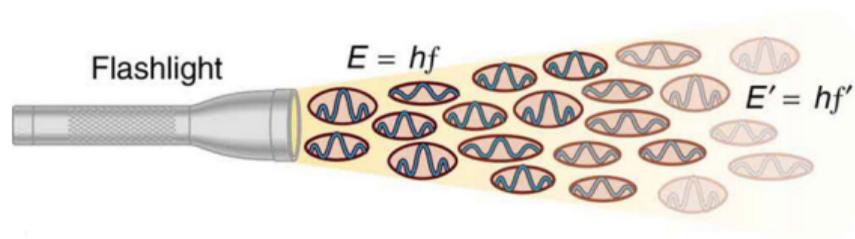
- ▶ soit ensemble **discontinu** de **boules** (**photons**)

Modélisation incomplète, mais suffisante ici : une description **duale** (cf. **physique quantique**)

- ▶ soit **vibration** d'un **milieu continu** (onde électromagnétique)

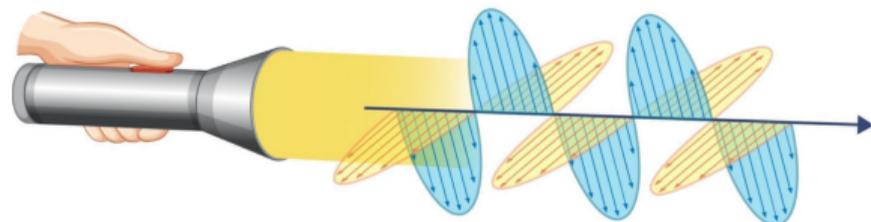


- ▶ soit ensemble **discontinu** de **boules** (photons)

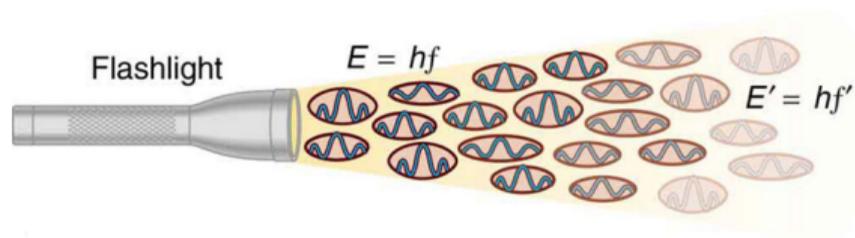


Modélisation incomplète, mais suffisante ici : une description **duale** (cf. **physique quantique**)

- ▶ soit **vibration** d'un **milieu continu**  
(**onde électromagnétique**)



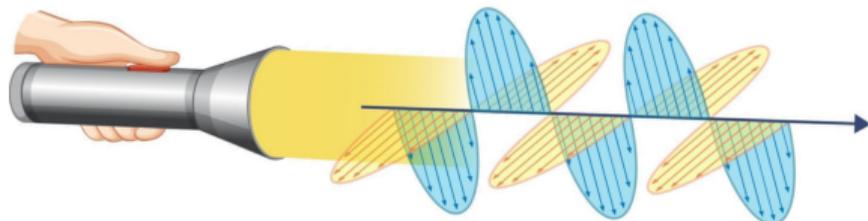
- ▶ soit ensemble **discontinu** de **boules** (**photons**)



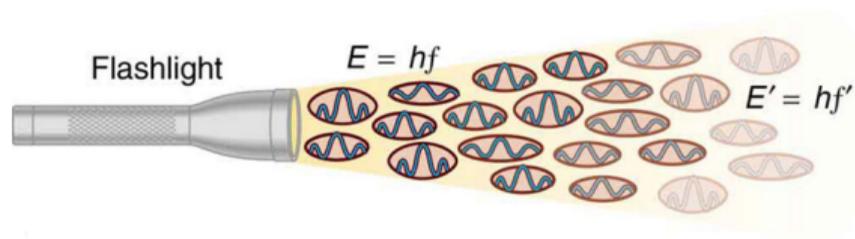
⇒ modèle à choisir, **selon la situation**, pour simplifier au maximum la description

Modélisation incomplète, mais suffisante ici : une description **duale** (cf. **physique quantique**)

- ▶ soit **vibration** d'un **milieu continu**  
(**onde électromagnétique**)



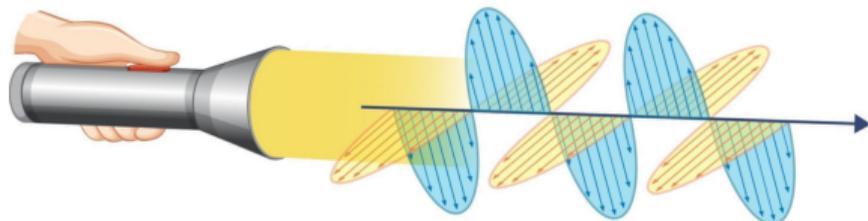
- ▶ soit ensemble **discontinu** de **boules** (**photons**)



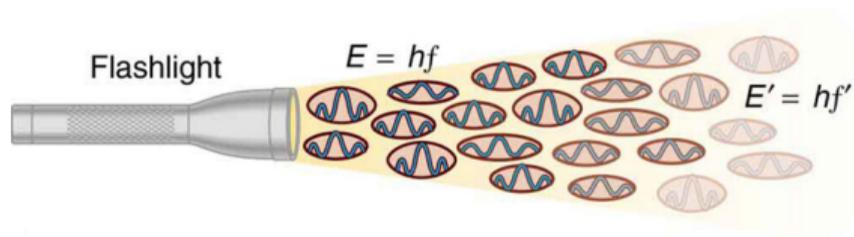
- ⇒ modèle à choisir, **selon la situation**, pour simplifier au maximum la description
- ⇒ **souvent** : **modèle ondulatoire** = le plus adapté

Modélisation incomplète, mais suffisante ici : une description **duale** (cf. **physique quantique**)

- ▶ soit **vibration** d'un **milieu continu** (onde électromagnétique)



- ▶ soit ensemble **discontinu** de **boules** (photons)



- ⇒ modèle à choisir, **selon la situation**, pour simplifier au maximum la description
- ⇒ **souvent** : **modèle ondulatoire** = le plus adapté
- ⇒ **parfois** : pertinence du simple **faisceau lumineux** pour quelques **propriétés fondamentales**

## Quelques propriétés fondamentales de la lumière :

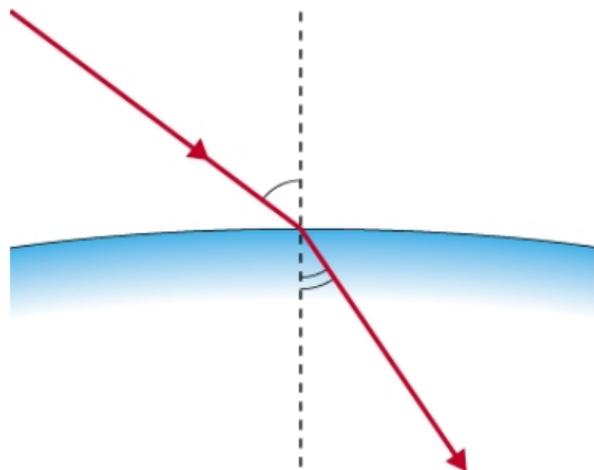
- ▶ **dans un milieu homogène** : les faisceaux lumineux vont **tout droit**, à **vitesse finie** et **constante**
  - ⇒ dans le vide, vitesse **invariante**  $c \simeq 300\,000$  km/s (cf. **relativité einsteinienne, 1905**)
- ▶ à l'**interface entre deux milieux** (exemple : air/eau) : changement de direction (**réfraction**)
- ▶ **remarque** : phénomène **simple à observer**, mais beaucoup plus subtil à **modéliser**
  - ⇒ **boules** (qui composent et suivent les faisceaux)
- ▶ avec **variation de la vitesse selon le milieu**

## Quelques propriétés fondamentales de la lumière :

- ▶ **dans un milieu homogène** : les faisceaux lumineux vont **tout droit**, à **vitesse finie** et **constante**  
⇒ dans le vide, vitesse **invariante**  $c \simeq 300\,000$  km/s (cf. **relativité einsteinienne, 1905**)
- ▶ à l'**interface entre deux milieux** (exemple : air/eau) : changement de direction (**réfraction**)
- ▶ **remarque** : phénomène **simple à observer**, mais beaucoup plus subtil à **modéliser**  
⇒ **boules** (qui composent et suivent les faisceaux)
- ▶ avec **variation de la vitesse selon le milieu**

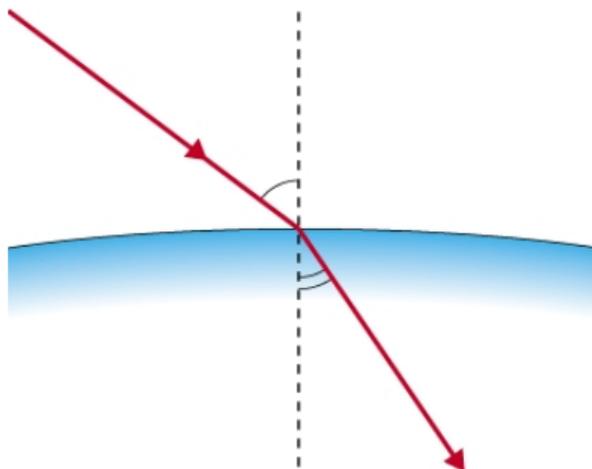
## Quelques propriétés fondamentales de la lumière :

- ▶ dans un milieu homogène : les faisceaux lumineux vont **tout droit**, à **vitesse finie** et **constante**  
⇒ dans le vide, vitesse **invariante**  $c \simeq 300\,000$  km/s (cf. **relativité einsteinienne, 1905**)
- ▶ à l'**interface entre deux milieux** (exemple : air/eau) : changement de direction (**réfraction**)
- ▶ remarque : phénomène **simple à observer**, mais beaucoup plus subtil à **modéliser**  
⇒ **boules** (qui composent et suivent les faisceaux)
- ▶ avec **variation de la vitesse selon le milieu**



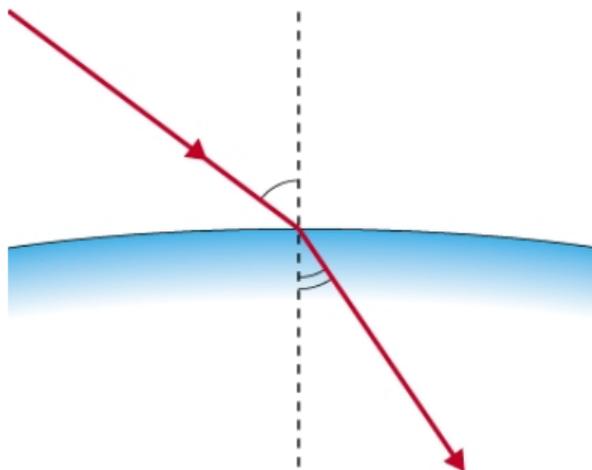
## Quelques propriétés fondamentales de la lumière :

- ▶ dans un milieu homogène : les faisceaux lumineux vont **tout droit**, à **vitesse finie** et **constante**  
⇒ dans le vide, vitesse **invariante**  $c \simeq 300\,000$  km/s (cf. **relativité einsteinienne, 1905**)
- ▶ à l'**interface entre deux milieux** (exemple : air/eau) : changement de direction (**réfraction**)
- ▶ **remarque** : phénomène **simple à observer**, mais beaucoup plus subtil à **modéliser**  
⇒ **boules** (qui composent et suivent les faisceaux)
- ▶ avec **variation de la vitesse selon le milieu**



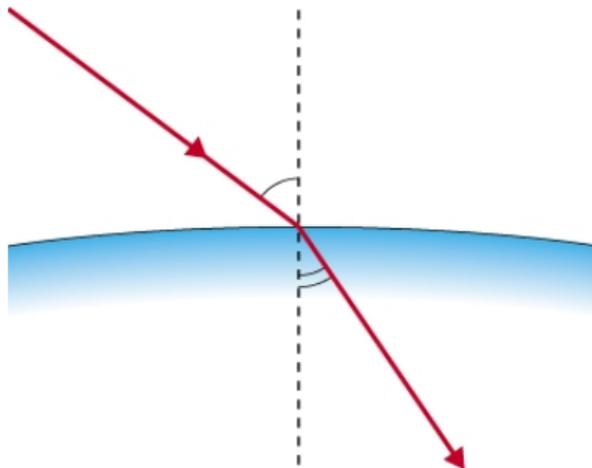
## Quelques propriétés fondamentales de la lumière :

- ▶ dans un milieu homogène : les faisceaux lumineux vont **tout droit**, à **vitesse finie** et **constante**  
⇒ dans le vide, vitesse **invariante**  $c \simeq 300\,000$  km/s (cf. **relativité einsteinienne, 1905**)
- ▶ à l'**interface entre deux milieux** (exemple : air/eau) : changement de direction (**réfraction**)
- ▶ **remarque** : phénomène **simple à observer**, mais beaucoup plus subtil à **modéliser**  
⇒ **boules** (qui composent et suivent les faisceaux)
- ▶ avec **variation de la vitesse selon le milieu**



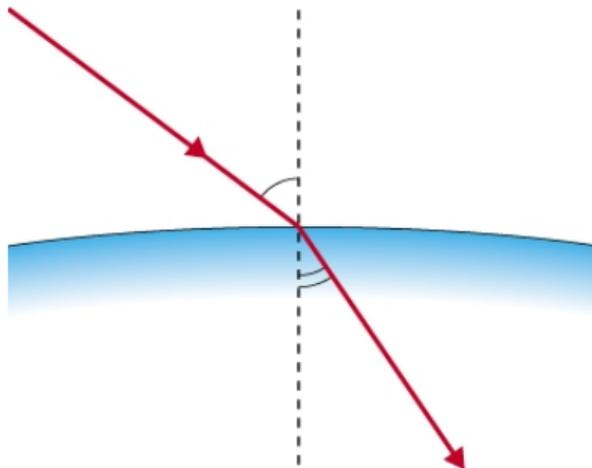
## Quelques propriétés fondamentales de la lumière :

- ▶ dans un milieu homogène : les faisceaux lumineux vont **tout droit**, à **vitesse finie** et **constante**  
⇒ dans le vide, vitesse **invariante**  $c \simeq 300\,000$  km/s (cf. **relativité einsteinienne**, **1905**)
- ▶ à l'**interface entre deux milieux** (exemple : air/eau) : changement de direction (**réfraction**)
- ▶ **remarque** : phénomène **simple à observer**, mais beaucoup plus subtil à **modéliser**  
⇒ **boules** (qui composent et suivent les faisceaux) ou **ondes** (cf. vagues)
- ▶ avec **variation de la vitesse selon le milieu**



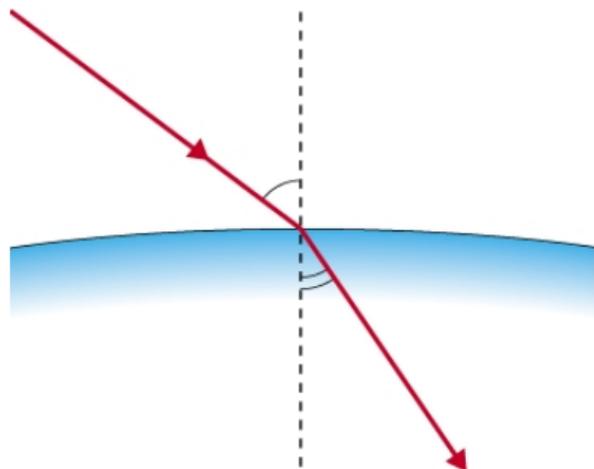
## Quelques propriétés fondamentales de la lumière :

- ▶ dans un milieu homogène : les faisceaux lumineux vont **tout droit**, à **vitesse finie** et **constante**  
⇒ dans le vide, vitesse **invariante**  $c \simeq 300\,000$  km/s (cf. **relativité einsteinienne**, **1905**)
- ▶ à l'**interface entre deux milieux** (exemple : air/eau) : changement de direction (**réfraction**)
- ▶ **remarque** : phénomène **simple à observer**, mais beaucoup plus subtil à **modéliser**  
⇒ **boules** (qui composent et suivent les faisceaux) ou **ondes** (cf. vagues)
- ▶ avec **variation de la vitesse selon le milieu**



## Quelques propriétés fondamentales de la lumière :

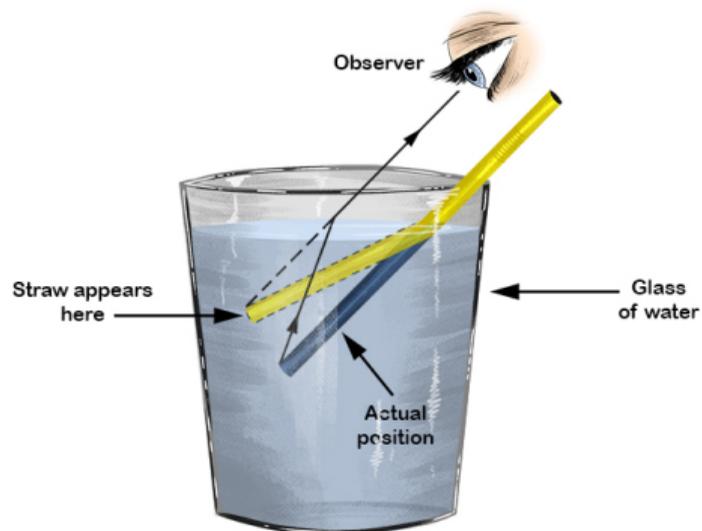
- ▶ dans un milieu homogène : les faisceaux lumineux vont **tout droit**, à **vitesse finie** et **constante**  
⇒ dans le vide, vitesse **invariante**  $c \simeq 300\,000$  km/s (cf. **relativité einsteinienne**, **1905**)
- ▶ à l'**interface entre deux milieux** (exemple : air/eau) : changement de direction (**réfraction**)
- ▶ **remarque** : phénomène **simple à observer**, mais beaucoup plus subtil à **modéliser**  
⇒ **boules** (qui composent et suivent les faisceaux) ou **ondes** (cf. vagues)
- ▶ avec **variation de la vitesse selon le milieu** (détails dépendent du modèle, cf. **xvii<sup>e</sup> siècle**)



## Une illustration de la réfraction

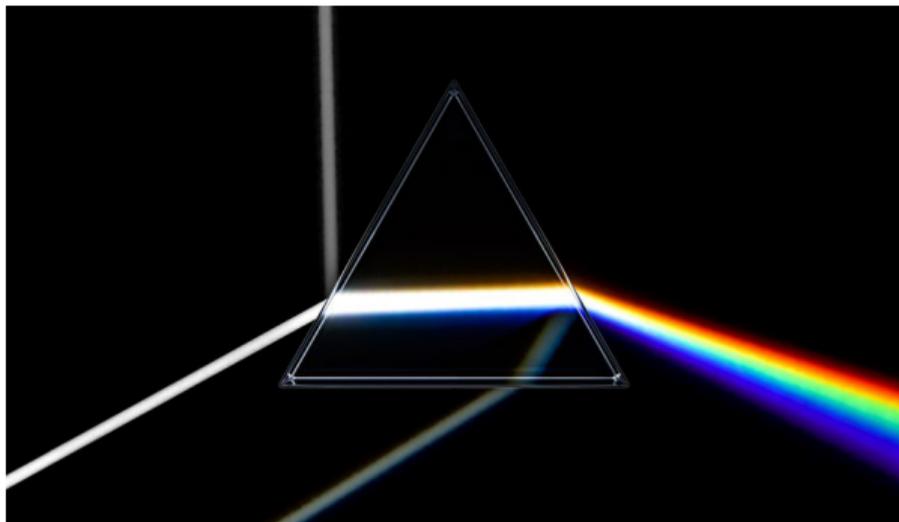


## Une illustration de la réfraction

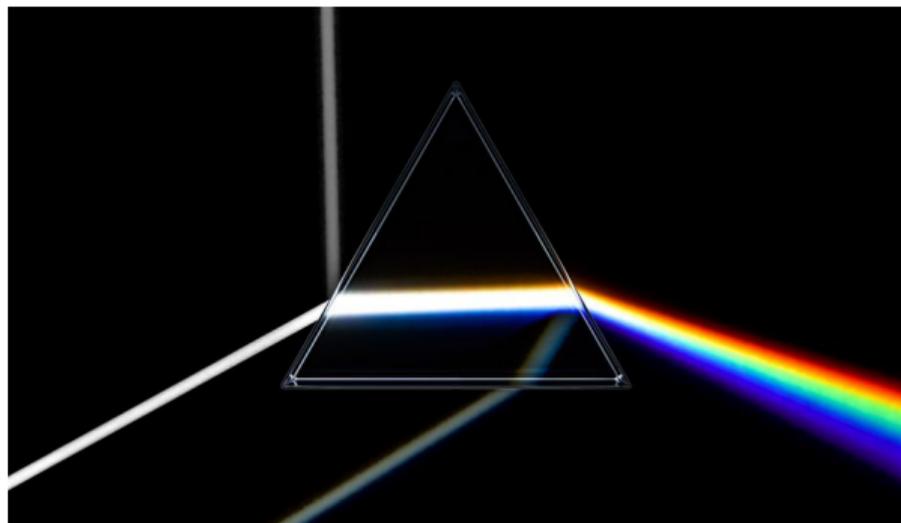


## D'autres illustrations de la réfraction

## D'autres illustrations de la réfraction

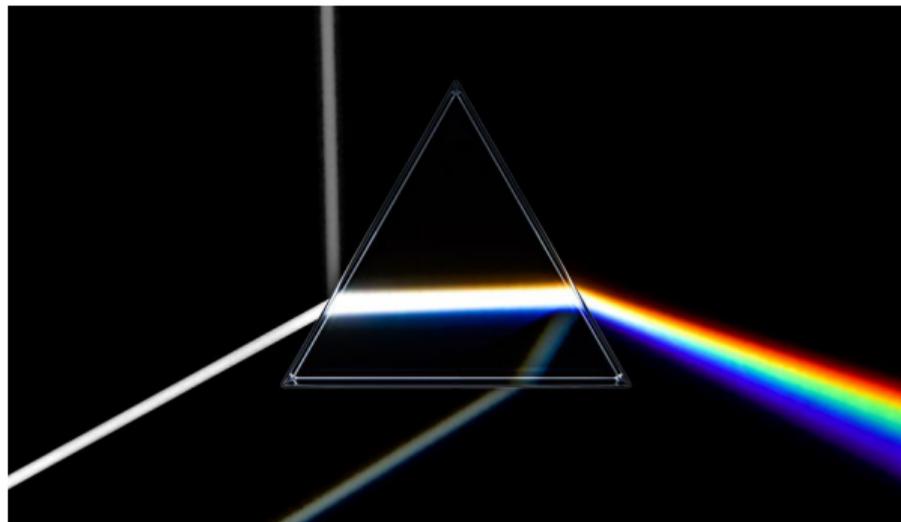


## D'autres illustrations de la réfraction



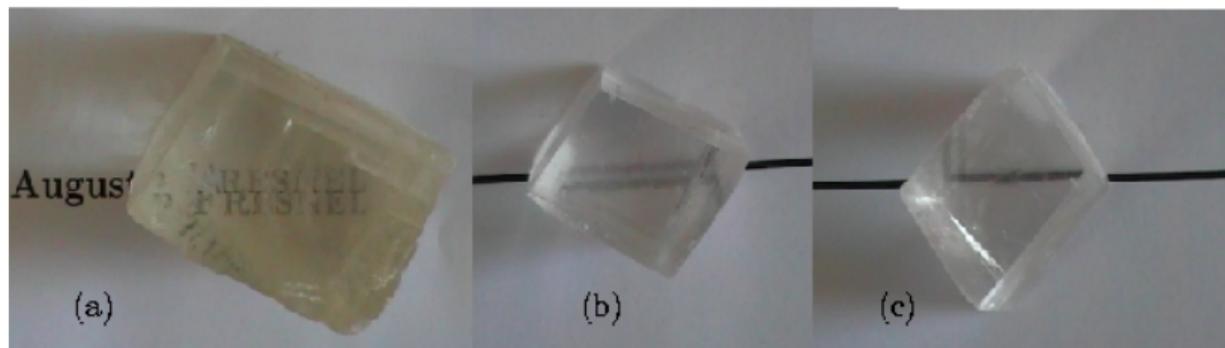
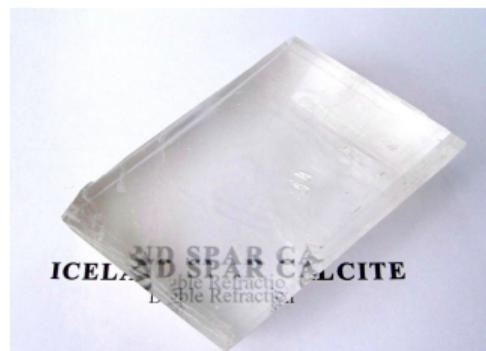
à droite : **prisme en verre**, où l'on constate aussi des **réflexions**, ainsi qu'une **absorption partielle**

## D'autres illustrations de la réfraction

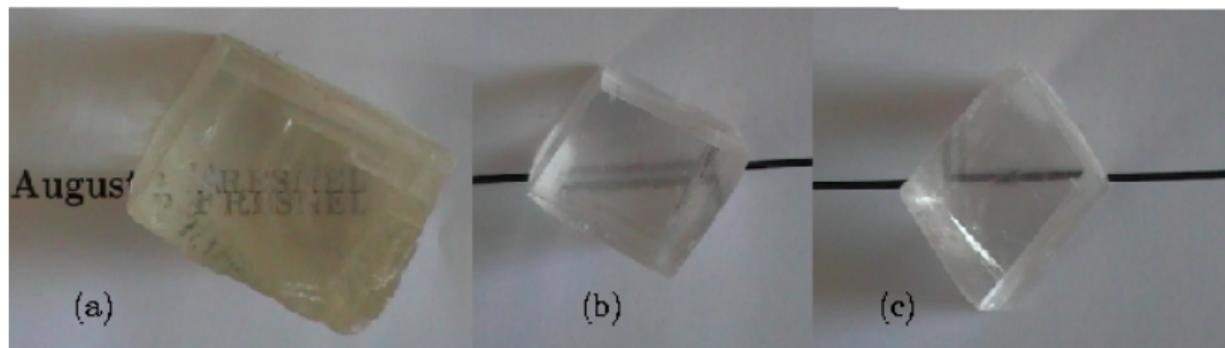
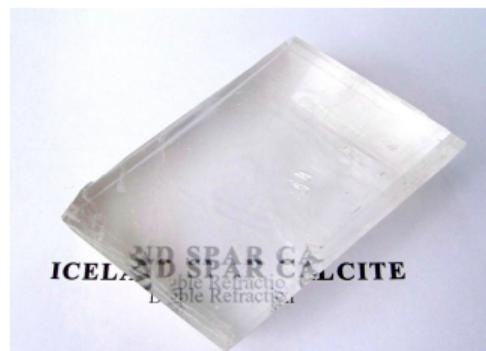


à droite : **prisme en verre**, où l'on constate aussi des **réflexions**, ainsi qu'une **absorption partielle**, mais également l'**apparition** de **couleurs** !

## Un phénomène exotique : la biréfringence

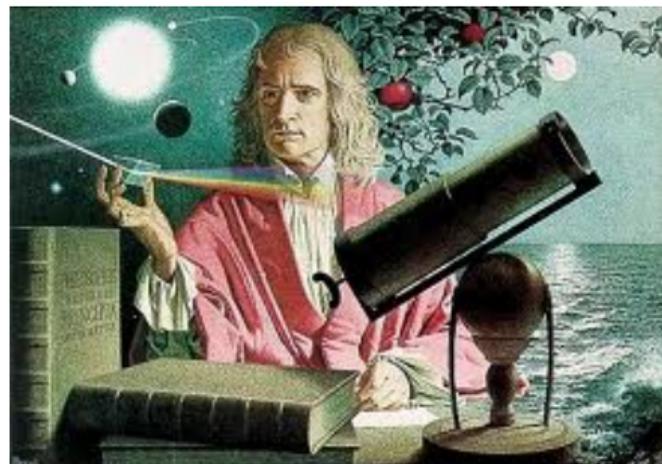


## Un phénomène exotique : la biréfringence



⇒ une image ordinaire, et une autre **extra-ordinaire**

## II : Des couleurs perçues à la couleur physique



## Observations anciennes :

- ▶ grande variété de **couleurs** et de **propriétés** (ton, saturation, etc.)
  - ⇒ couleurs **naturelles (primitives)** ou « **artificielles** »
- ▶ possibilité d'obtenir du « **blanc (ou gris uniforme)** » par **mélange** (ex. : tour de potier en rotation, Ptolémée vers 165 dans *Optique*)
  - ⇒ idée de **couleurs primaires** (mais diverses conceptions)
  - ⇒ motivations **philosophiques, artistiques (pigments)**, etc.
  - ⇒ **liste, organisation et ordre** variés et **subjectifs**
- ▶ **problème crucial** : **ambiguïté** des perceptions et des mots

## Observations anciennes :

- ▶ grande variété de **couleurs** et de **propriétés** (ton, saturation, etc.)
  - ⇒ couleurs **naturelles (primitives)** ou « **artificielles** »
- ▶ possibilité d'obtenir du « **blanc (ou gris uniforme)** » par **mélange** (ex. : tour de potier en rotation, Ptolémée vers 165 dans *Optique*)
  - ⇒ idée de **couleurs primaires** (mais diverses conceptions)
  - ⇒ motivations **philosophiques, artistiques (pigments)**, etc.
  - ⇒ **liste, organisation et ordre** variés et **subjectifs**
- ▶ **problème crucial** : **ambiguïté** des perceptions et des mots

## Observations anciennes :

- ▶ grande variété de **couleurs** et de **propriétés** (ton, saturation, etc.)
  - ⇒ couleurs **naturelles (primitives)** ou « **artificielles** »
- ▶ possibilité d'obtenir du « **blanc (ou gris uniforme)** » par **mélange** (ex. : tour de potier en rotation, Ptolémée vers 165 dans *Optique*)
  - ⇒ idée de **couleurs primaires** (mais diverses conceptions)
  - ⇒ motivations **philosophiques, artistiques (pigments)**, etc.
  - ⇒ **liste, organisation et ordre** variés et **subjectifs**
- ▶ **problème crucial** : **ambiguïté** des perceptions et des mots

## Observations anciennes :

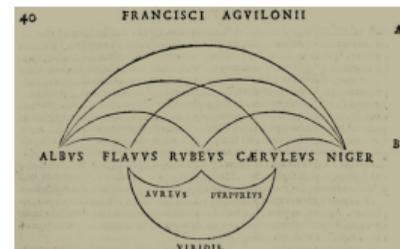
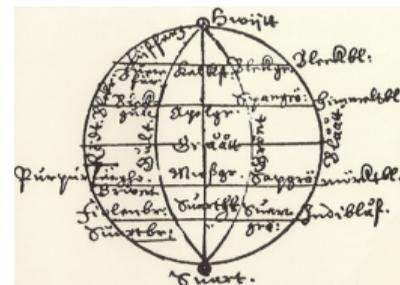
- ▶ grande variété de **couleurs** et de **propriétés** (ton, saturation, etc.)
  - ⇒ couleurs **naturelles (primitives)** ou « **artificielles** »
- ▶ possibilité d'obtenir du « **blanc (ou gris uniforme)** » par **mélange** (*ex.* : tour de potier en rotation, Ptolémée vers 165 dans *Optique*)
  - ⇒ idée de **couleurs primaires** (mais diverses conceptions)
  - ⇒ motivations **philosophiques, artistiques (pigments)**, etc.
  - ⇒ **liste, organisation et ordre** variés et **subjectifs**
- ▶ **problème crucial** : **ambiguïté** des **perceptions** et des **mots**

## Observations anciennes :

- ▶ grande variété de **couleurs** et de **propriétés** (ton, saturation, etc.)
  - ⇒ couleurs **naturelles (primitives)** ou « **artificielles** »
- ▶ possibilité d'obtenir du « **blanc (ou gris uniforme)** » par **mélange** (*ex.* : tour de potier en rotation, Ptolémée vers 165 dans *Optique*)
  - ⇒ idée de **couleurs primaires** (mais diverses conceptions)
  - ⇒ motivations **philosophiques, artistiques (pigments)**, etc.
  - ⇒ **liste, organisation et ordre** variés et **subjectifs**
- ▶ **problème crucial** : **ambiguïté** des **perceptions** et des **mots**

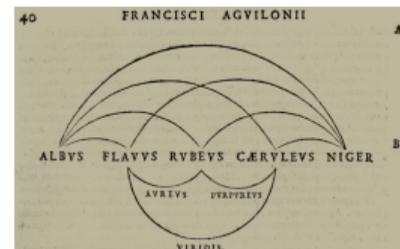
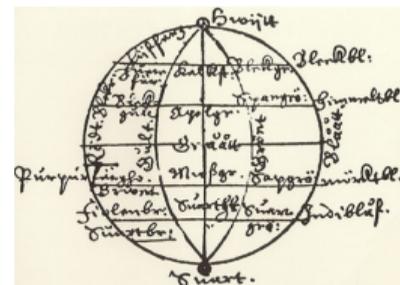
## Observations anciennes :

- ▶ grande variété de **couleurs** et de **propriétés** (ton, saturation, etc.)
  - ⇒ couleurs **naturelles (primitives)** ou « **artificielles** »
- ▶ possibilité d'obtenir du « **blanc (ou gris uniforme)** » par **mélange** (ex. : tour de potier en rotation, Ptolémée vers 165 dans *Optique*)
  - ⇒ idée de **couleurs primaires** (mais diverses conceptions)
  - ⇒ motivations **philosophiques, artistiques (pigments)**, etc.
  - ⇒ **liste, organisation et ordre variés et subjectifs**
- ▶ problème crucial : **ambiguïté** des perceptions et des mots



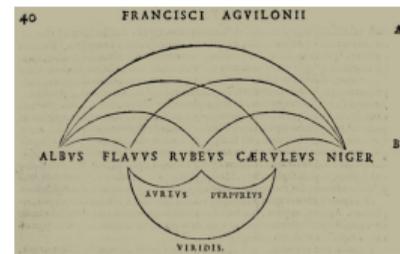
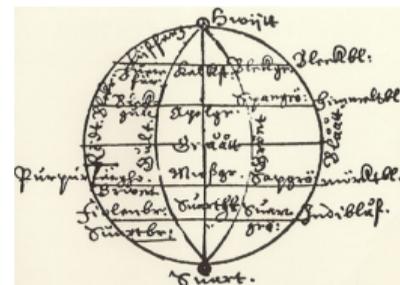
## Observations anciennes :

- ▶ grande variété de **couleurs** et de **propriétés** (ton, saturation, etc.)
  - ⇒ couleurs **naturelles (primitives)** ou « **artificielles** »
- ▶ possibilité d'obtenir du « **blanc (ou gris uniforme)** » par **mélange** (ex. : tour de potier en rotation, Ptolémée vers 165 dans *Optique*)
  - ⇒ idée de **couleurs primaires** (mais diverses conceptions)
  - ⇒ motivations **philosophiques, artistiques (pigments)**, etc.
  - ⇒ **liste, organisation et ordre** variés et **subjectifs**
- ▶ problème crucial : **ambiguïté** des perceptions et des mots



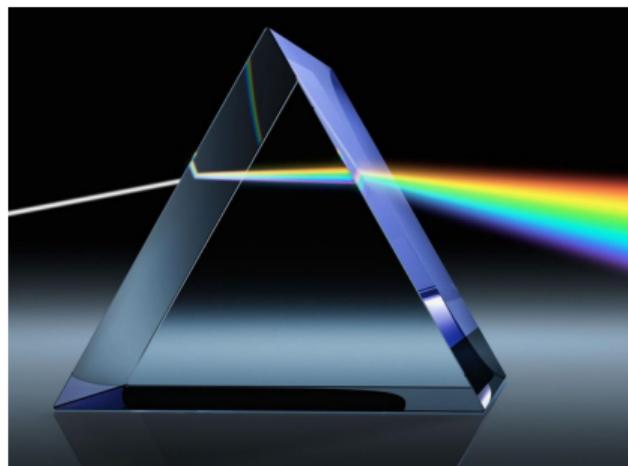
## Observations anciennes :

- ▶ grande variété de **couleurs** et de **propriétés** (ton, saturation, etc.)
  - ⇒ couleurs **naturelles (primitives)** ou « **artificielles** »
- ▶ possibilité d'obtenir du « **blanc (ou gris uniforme)** » par **mélange** (ex. : tour de potier en rotation, Ptolémée vers 165 dans *Optique*)
  - ⇒ idée de **couleurs primaires** (mais diverses conceptions)
  - ⇒ motivations **philosophiques, artistiques (pigments)**, etc.
  - ⇒ **liste, organisation et ordre** variés et **subjectifs**
- ▶ **problème crucial** : **ambiguïté** des **perceptions** et des **mots**



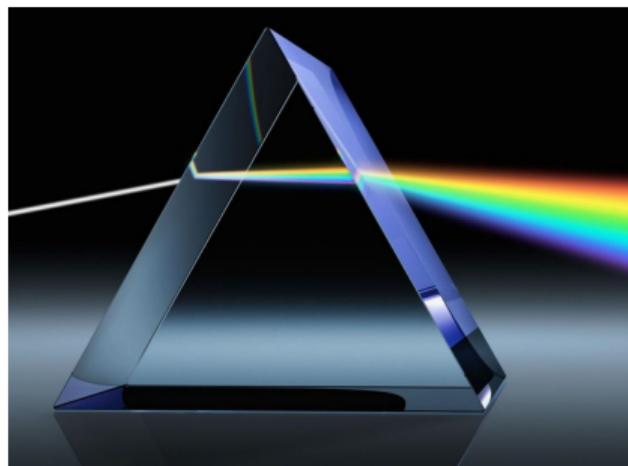
## Newton (1643-1727), à partir de 1666 :

- ▶ étude de la **dispersion** de la **lumière blanche** par un **prisme**
- ▶ nombreuses **expériences** avec **protocoles** et **mesures** précises et objectives
  - ⇒ **couleur liée** à « **disposition** » **intrinsèque** de la **lumière** avec **effet quantifiable (réfraction)**
  - ⇒ possibilité d'isoler une **couleur spectrale** (= réalité physique **reproductible**)
  - ⇒ « **couleurs spectrales** »  $\neq$  « **couleurs perçues** » (« *vibrations dans les nerfs optiques* »)
  - ⇒ **blanc**  $\neq$  couleur
  - ⇒ notion de **spectre lumineux**



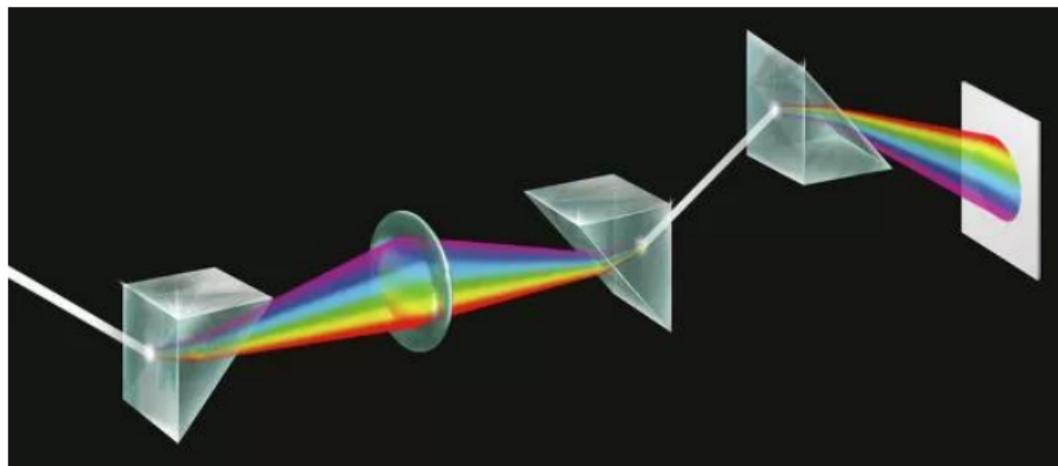
## Newton (1643-1727), à partir de 1666 :

- ▶ étude de la **dispersion** de la **lumière blanche** par un **prisme**
- ▶ nombreuses **expériences** avec **protocoles** et **mesures** précises et objectives
  - ⇒ couleur liée à « disposition » **intrinsèque** de la **lumière** avec **effet quantifiable (réfraction)**
  - ⇒ possibilité d'isoler une **couleur spectrale** (= réalité physique **reproductible**)
  - ⇒ « **couleurs spectrales** »  $\neq$  « **couleurs perçues** » (« vibrations dans les nerfs optiques »)
  - ⇒ **blanc**  $\neq$  couleur
  - ⇒ notion de **spectre lumineux**



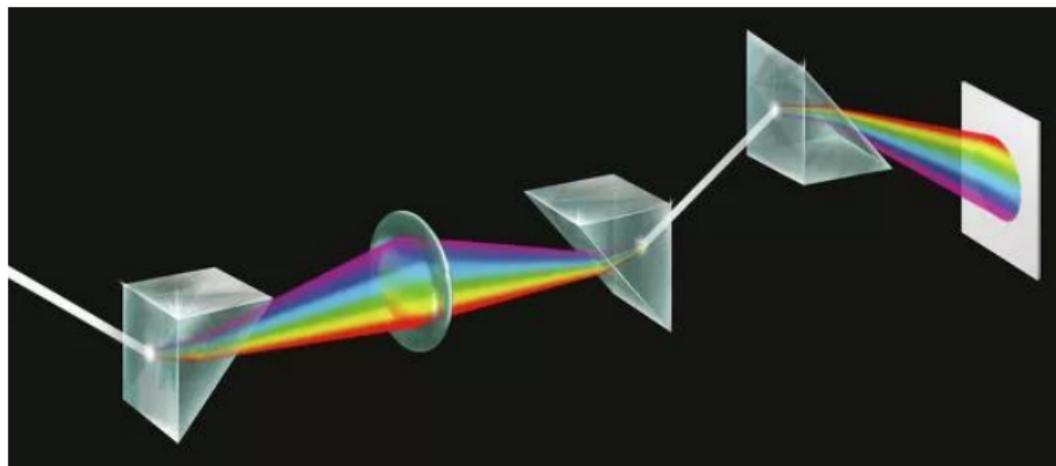
## Newton (1643-1727), à partir de 1666 :

- ▶ étude de la **dispersion** de la **lumière blanche** par un **prisme** et **recombinaison**
- ▶ nombreuses **expériences** avec **protocoles** et **mesures** précises et objectives
  - ⇒ couleur liée à « disposition » **intrinsèque** de la **lumière** avec **effet quantifiable (réfraction)**
  - ⇒ possibilité d'isoler une **couleur spectrale** (= réalité physique **reproductible**)
  - ⇒ « **couleurs spectrales** »  $\neq$  « **couleurs perçues** » (« vibrations dans les nerfs optiques »)
  - ⇒ **blanc**  $\neq$  couleur
  - ⇒ notion de **spectre lumineux**



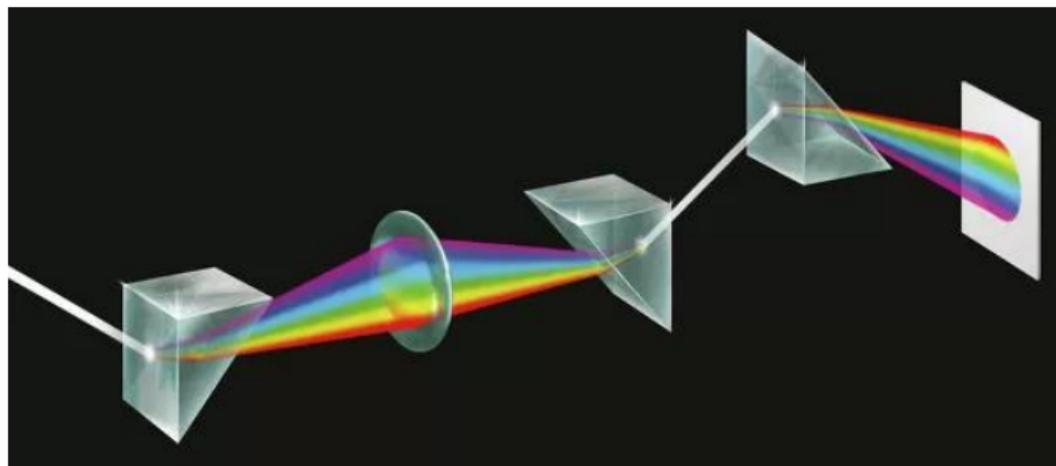
## Newton (1643-1727), à partir de 1666 :

- ▶ étude de la **dispersion** de la **lumière blanche** par un **prisme** et **recombinaison**
- ▶ nombreuses **expériences** avec **protocoles** et **mesures** précises et objectives
  - ⇒ couleur liée à « disposition » **intrinsèque** de la **lumière** avec **effet quantifiable (réfraction)**
  - ⇒ possibilité d'isoler une **couleur spectrale** (= réalité physique **reproductible**)
  - ⇒ « **couleurs spectrales** »  $\neq$  « **couleurs perçues** » (« vibrations dans les nerfs optiques »)
  - ⇒ **blanc**  $\neq$  couleur
  - ⇒ notion de **spectre lumineux**



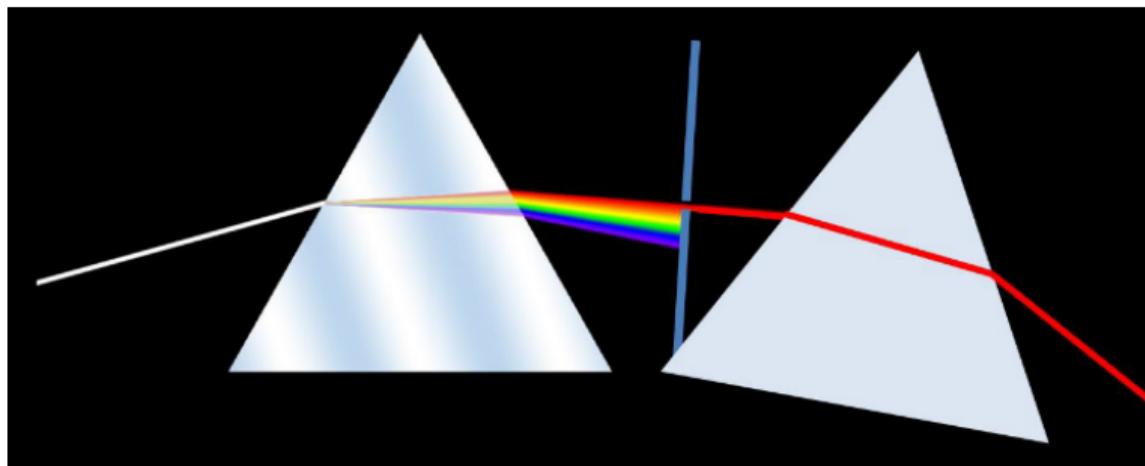
## Newton (1643-1727), à partir de 1666 :

- ▶ étude de la **dispersion** de la **lumière blanche** par un **prisme** et **recombinaison**
- ▶ nombreuses **expériences** avec **protocoles** et **mesures** précises et objectives
  - ⇒ **couleur liée** à « **disposition** » **intrinsèque** de la **lumière** avec **effet quantifiable (réfraction)**
  - ⇒ possibilité d'isoler une **couleur spectrale** (= réalité physique **reproductible**)
  - ⇒ « **couleurs spectrales** »  $\neq$  « **couleurs perçues** » (« *vibrations dans les nerfs optiques* »)
  - ⇒ **blanc**  $\neq$  couleur
  - ⇒ notion de **spectre lumineux**



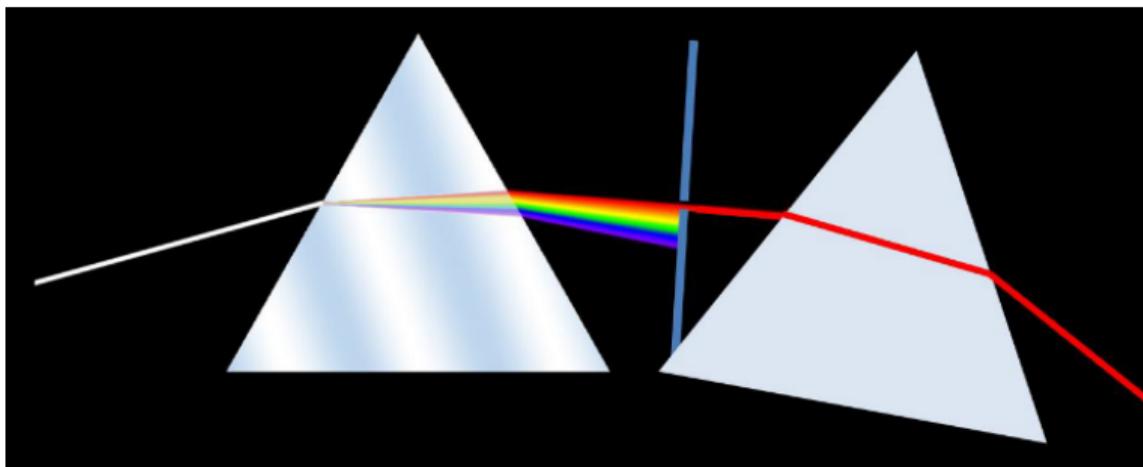
## Newton (1643-1727), à partir de 1666 :

- ▶ étude de la **dispersion** de la **lumière blanche** par un **prisme** et **recombinaison**
- ▶ nombreuses **expériences** avec **protocoles** et **mesures** précises et objectives
  - ⇒ **couleur liée** à « **disposition** » **intrinsèque** de la **lumière** avec **effet quantifiable (réfraction)**
  - ⇒ possibilité d'isoler une **couleur spectrale** (= réalité physique **reproductible**)
  - ⇒ « **couleurs spectrales** »  $\neq$  « **couleurs perçues** » (« *vibrations dans les nerfs optiques* »)
  - ⇒ **blanc**  $\neq$  couleur
  - ⇒ notion de **spectre lumineux**



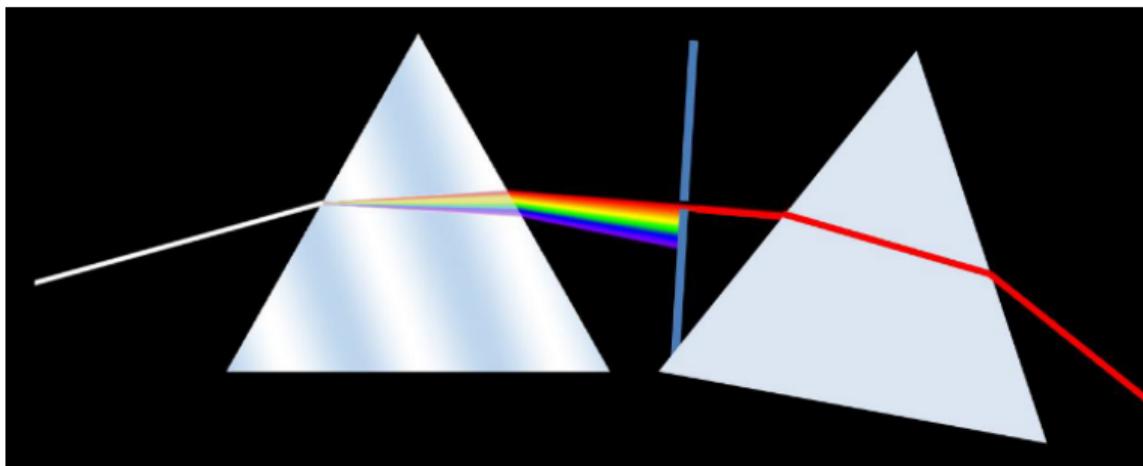
## Newton (1643-1727), à partir de 1666 :

- ▶ étude de la **dispersion** de la **lumière blanche** par un **prisme** et **recombinaison**
- ▶ nombreuses **expériences** avec **protocoles** et **mesures** précises et objectives
  - ⇒ **couleur liée** à « **disposition** » **intrinsèque** de la **lumière** avec **effet quantifiable (réfraction)**
  - ⇒ possibilité d'isoler une **couleur spectrale** (= réalité physique **reproductible**)
  - ⇒ « **couleurs spectrales** »  $\neq$  « **couleurs perçues** » (« *vibrations dans les nerfs optiques* »)
  - ⇒ **blanc**  $\neq$  couleur
  - ⇒ notion de **spectre lumineux**



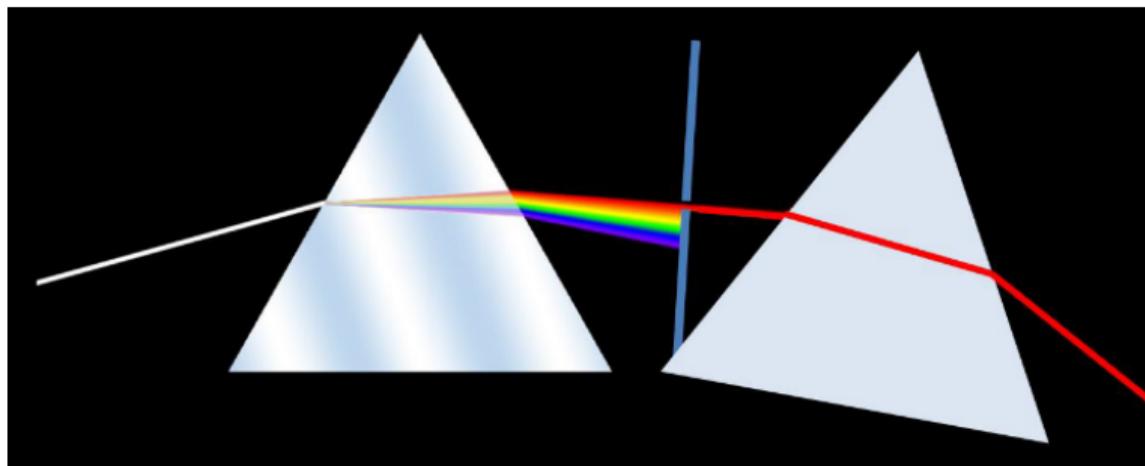
## Newton (1643-1727), à partir de 1666 :

- ▶ étude de la **dispersion** de la **lumière blanche** par un **prisme** et **recombinaison**
- ▶ nombreuses **expériences** avec **protocoles** et **mesures** précises et objectives
  - ⇒ **couleur liée** à « **disposition** » **intrinsèque** de la **lumière** avec **effet quantifiable (réfraction)**
  - ⇒ possibilité d'isoler une **couleur spectrale** (= réalité physique **reproductible**)
  - ⇒ « **couleurs spectrales** »  $\neq$  « **couleurs perçues** » (« *vibrations dans les nerfs optiques* »)
  - ⇒ **blanc**  $\neq$  couleur
  - ⇒ notion de **spectre lumineux**



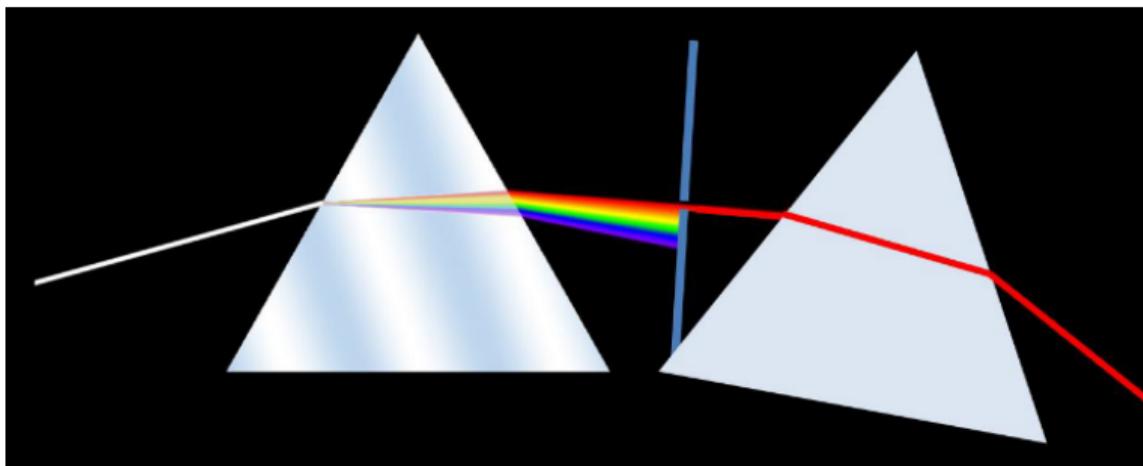
## Newton (1643-1727), à partir de 1666 :

- ▶ étude de la **dispersion** de la **lumière blanche** par un **prisme** et **recombinaison**
- ▶ nombreuses **expériences** avec **protocoles** et **mesures** précises et objectives
  - ⇒ **couleur liée** à « **disposition** » **intrinsèque** de la **lumière** avec **effet quantifiable (réfraction)**
  - ⇒ possibilité d'isoler une **couleur spectrale** (= réalité physique **reproductible**)
  - ⇒ « **couleurs spectrales** »  $\neq$  « **couleurs perçues** » (« *vibrations dans les nerfs optiques* »)
  - ⇒ **blanc**  $\neq$  couleur, mais **somme** de **toutes** les couleurs
  - ⇒ notion de **spectre lumineux**



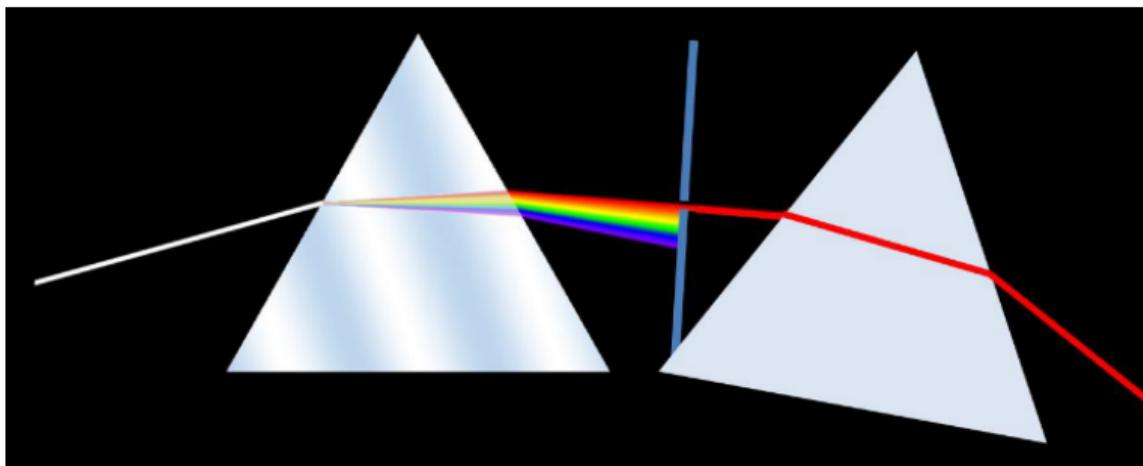
## Newton (1643-1727), à partir de 1666 :

- ▶ étude de la **dispersion** de la **lumière blanche** par un **prisme** et **recombinaison**
- ▶ nombreuses **expériences** avec **protocoles** et **mesures** précises et objectives
  - ⇒ **couleur liée** à « **disposition** » **intrinsèque** de la **lumière** avec **effet quantifiable (réfraction)**
  - ⇒ possibilité d'isoler une **couleur spectrale** (= réalité physique **reproductible**)
  - ⇒ « **couleurs spectrales** »  $\neq$  « **couleurs perçues** » (« *vibrations dans les nerfs optiques* »)
  - ⇒ **blanc**  $\neq$  couleur, mais **somme** de **toutes** les couleurs, et **noir** = **absence** de toute couleur
  - ⇒ notion de **spectre lumineux**



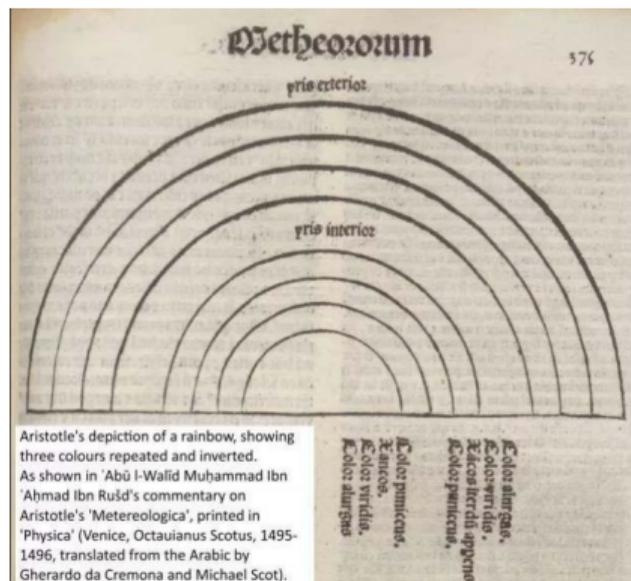
## Newton (1643-1727), à partir de 1666 :

- ▶ étude de la **dispersion** de la **lumière blanche** par un **prisme** et **recombinaison**
- ▶ nombreuses **expériences** avec **protocoles** et **mesures** précises et objectives
  - ⇒ **couleur liée** à « **disposition** » **intrinsèque** de la **lumière** avec **effet quantifiable (réfraction)**
  - ⇒ possibilité d'isoler une **couleur spectrale** (= réalité physique **reproductible**)
  - ⇒ « **couleurs spectrales** »  $\neq$  « **couleurs perçues** » (« *vibrations dans les nerfs optiques* »)
  - ⇒ **blanc**  $\neq$  couleur, mais **somme** de **toutes** les couleurs, et **noir** = **absence** de toute couleur
  - ⇒ notion de **spectre lumineux**



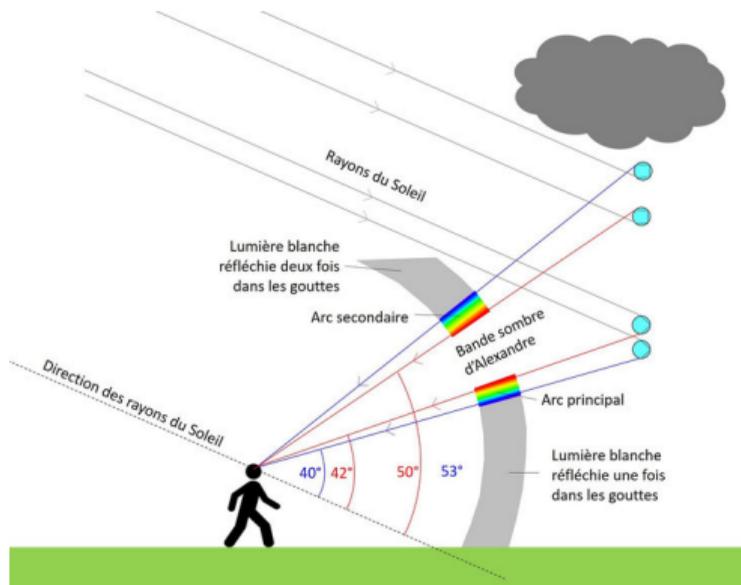
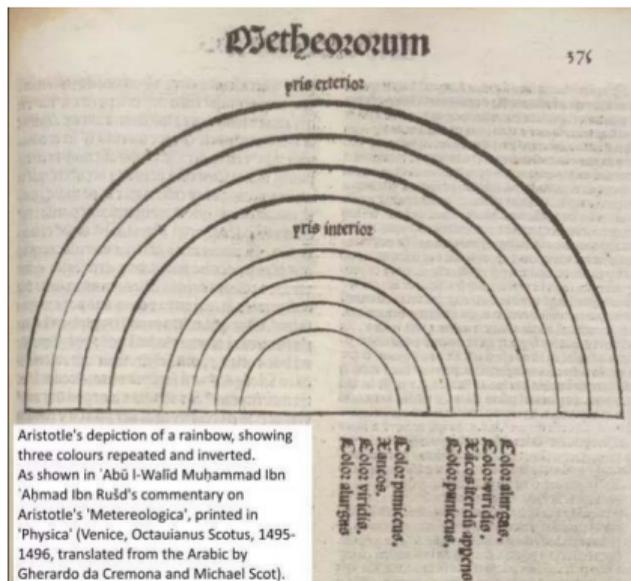
## Les couleurs de l'arc-en-ciel :

- ▶ avant Newton (cf. Aristote) : dues à l'interaction du **blanc solaire pur** et du **noir des nuages**
- ▶ Newton : dispersion par **réfraction** et **réflexion** (cf. prisme) avec explication précise des **angles**



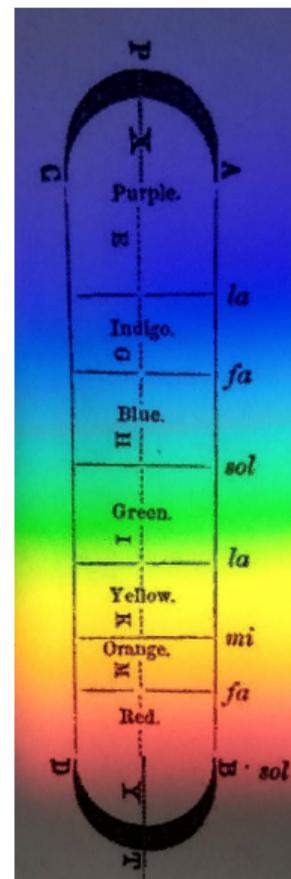
## Les couleurs de l'arc-en-ciel :

- ▶ avant Newton (cf. Aristote) : dues à l'interaction du **blanc solaire pur** et du **noir des nuages**
- ▶ Newton : **dispersion** par **réfraction** et **réflexion** (cf. prisme) avec explication précise des **angles**



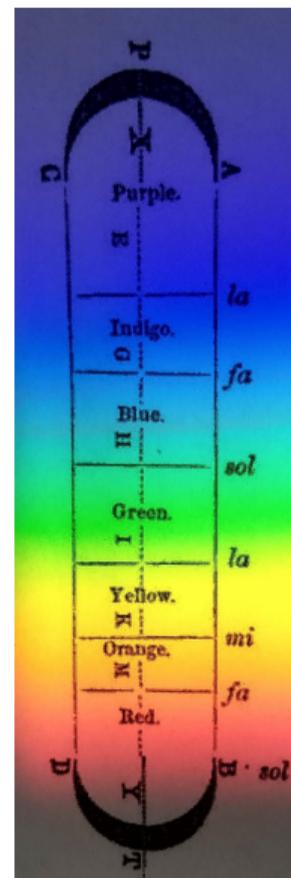
## Newton et les couleurs :

- ▶ **couleurs simples (spectrales)** : nombre **arbitraire** (4, 5 ou même  $\infty$ )
  - ⇒ fixé à 7 en 1704 pour **analogie avec la gamme musicale (dorienne)**
  - ⇒ rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet
  - ⇒ **ordre naturel** « **réfractif** » associé à des **numéros**
- ▶ **autres couleurs** : obtenues par **mélange** (ex. : magenta)
  - ⇒ remise en cause (apparente) de la notion de **3 couleurs primaires**



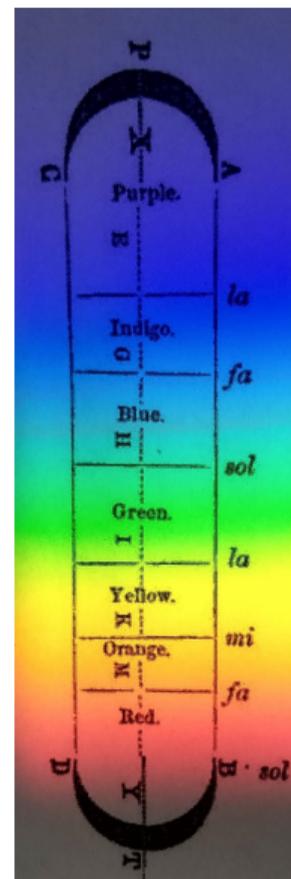
## Newton et les couleurs :

- ▶ **couleurs simples (spectrales)** : nombre **arbitraire** (4, 5 ou même  $\infty$ )
  - ⇒ fixé à **7** en 1704 pour **analogie avec la gamme musicale (dorienne)**
  - ⇒ rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet
  - ⇒ **ordre naturel** « **réfractif** » associé à des **nombre**s
- ▶ **autres couleurs** : obtenues par **mélange** (ex. : magenta)
  - ⇒ remise en cause (apparente) de la notion de **3 couleurs primaires**



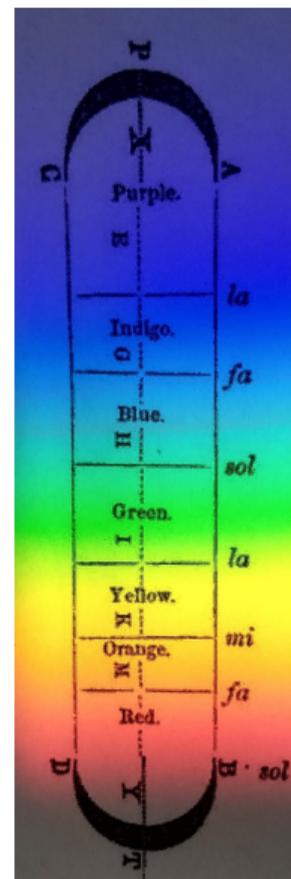
## Newton et les couleurs :

- ▶ **couleurs simples (spectrales)** : nombre **arbitraire** (4, 5 ou même  $\infty$ )
  - ⇒ fixé à **7** en 1704 pour **analogie avec la gamme musicale (dorienne)**
  - ⇒ rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet
  - ⇒ **ordre naturel** « **réfractif** » associé à des **nombre**s
- ▶ **autres couleurs** : obtenues par **mélange** (ex. : magenta)
  - ⇒ remise en cause (apparente) de la notion de **3 couleurs primaires**



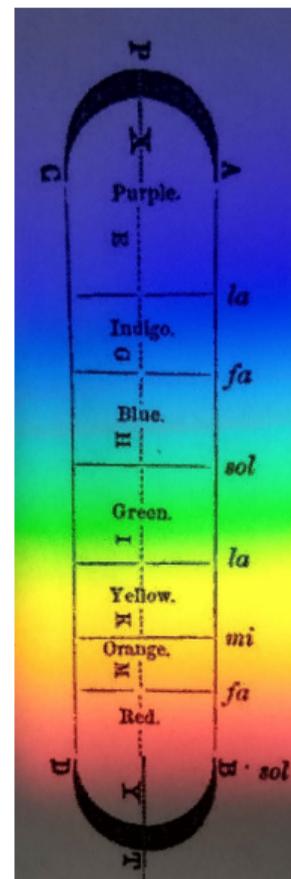
## Newton et les couleurs :

- ▶ **couleurs simples (spectrales)** : nombre **arbitraire** (4, 5 ou même  $\infty$ )
  - ⇒ fixé à **7** en 1704 pour **analogie avec la gamme musicale (dorienne)**
  - ⇒ rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet
  - ⇒ **ordre naturel** « **réfractif** » associé à des **numéros**
- ▶ **autres couleurs** : obtenues par **mélange** (ex. : magenta)
  - ⇒ remise en cause (apparente) de la notion de **3 couleurs primaires**



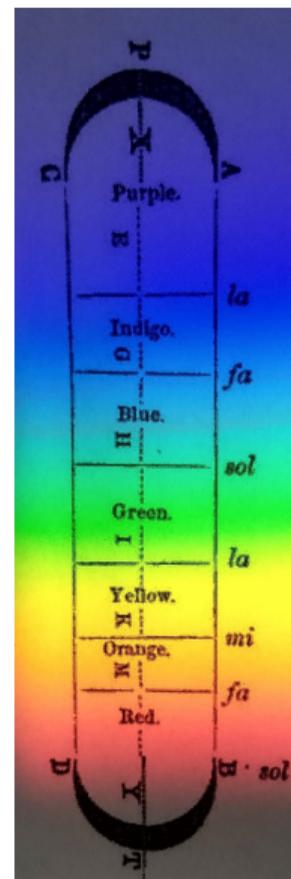
## Newton et les couleurs :

- ▶ **couleurs simples (spectrales)** : nombre **arbitraire** (4, 5 ou même  $\infty$ )
  - ⇒ fixé à **7** en 1704 pour **analogie avec la gamme musicale (dorienne)**
  - ⇒ rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet
  - ⇒ **ordre naturel** « **réfractif** » associé à des **numéros**
- ▶ **autres couleurs** : obtenues par **mélange** (ex. : magenta)
  - ⇒ remise en cause (apparente) de la notion de **3 couleurs primaires**



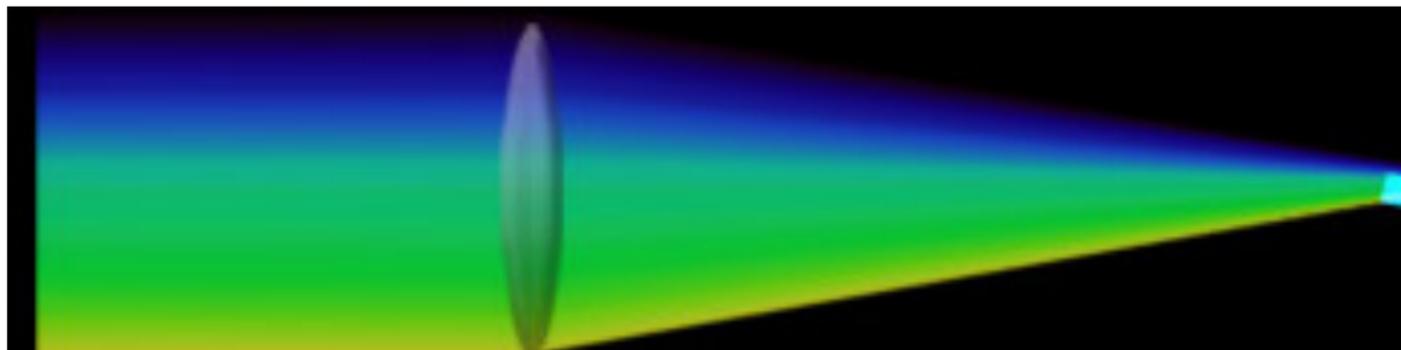
## Newton et les couleurs :

- ▶ **couleurs simples (spectrales)** : nombre **arbitraire** (4, 5 ou même  $\infty$ )
  - ⇒ fixé à **7** en 1704 pour **analogie avec la gamme musicale (dorienne)**
  - ⇒ rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet
  - ⇒ **ordre naturel** « **réfractif** » associé à des **numéros**
- ▶ **autres couleurs** : obtenues par **mélange** (ex. : magenta)
  - ⇒ remise en cause (apparente) de la notion de **3 couleurs primaires**



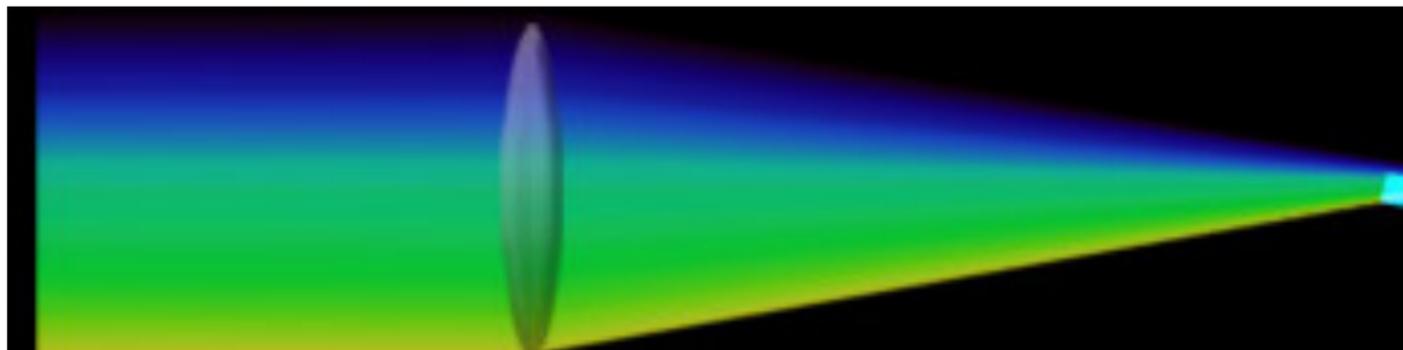
## Quelques observations de Newton :

- ▶ **couleurs pures** par **addition** de couleurs « équidistantes » sur l'arc-en-ciel
  - ⇒ notion de **couleurs métamères**
- ▶ **blanc** aussi par **addition partielle** de couleurs au **contraste maximal**
  - ⇒ notion de **complémentarité** (ex. : cyan/orange)
- ▶ « **proximité visuelle** » du rouge et du violet
  - ⇒ **cercle**
  - ⇒ règles de **calcul** précises pour prédire le **résultat de mélanges**



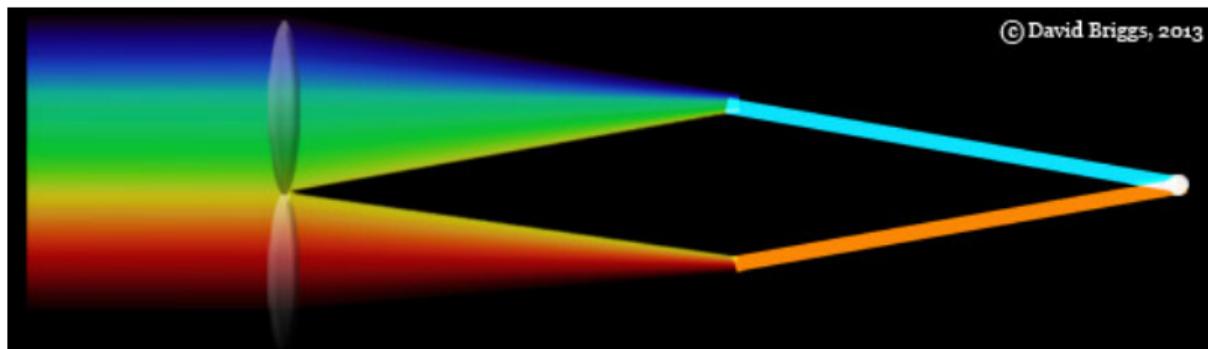
## Quelques observations de Newton :

- ▶ **couleurs pures** par **addition** de couleurs « équidistantes » sur l'arc-en-ciel  
⇒ notion de **couleurs métamères**
- ▶ **blanc** aussi par **addition partielle** de couleurs au **contraste maximal**  
⇒ notion de **complémentarité** (ex. : cyan/orange)
- ▶ « **proximité visuelle** » du rouge et du violet  
⇒ **cercle**  
⇒ règles de **calcul** précises pour prédire le **résultat de mélanges**



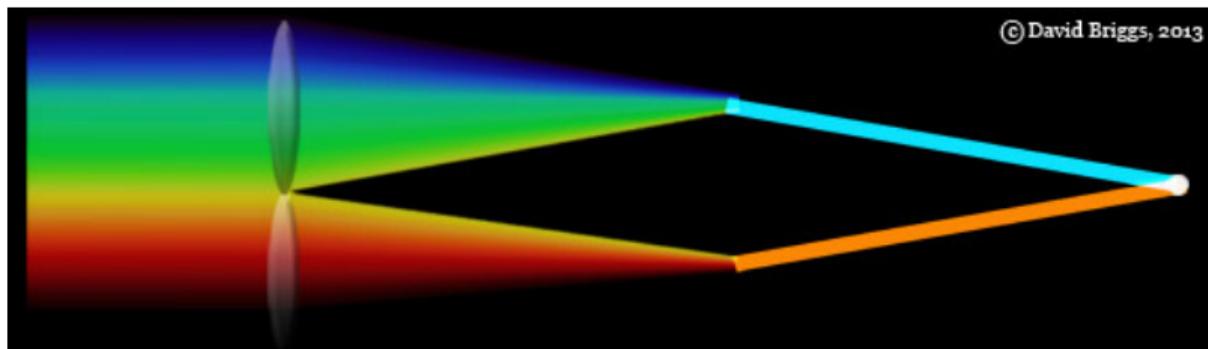
## Quelques observations de Newton :

- ▶ **couleurs pures** par **addition** de couleurs « équidistantes » sur l'arc-en-ciel  
⇒ notion de **couleurs métamères**
- ▶ **blanc** aussi par **addition partielle** de couleurs au **contraste maximal**  
⇒ notion de **complémentarité** (ex. : cyan/orange)
- ▶ « **proximité visuelle** » du rouge et du violet  
⇒ **cercle**  
⇒ règles de **calcul** précises pour prédire le **résultat de mélanges**



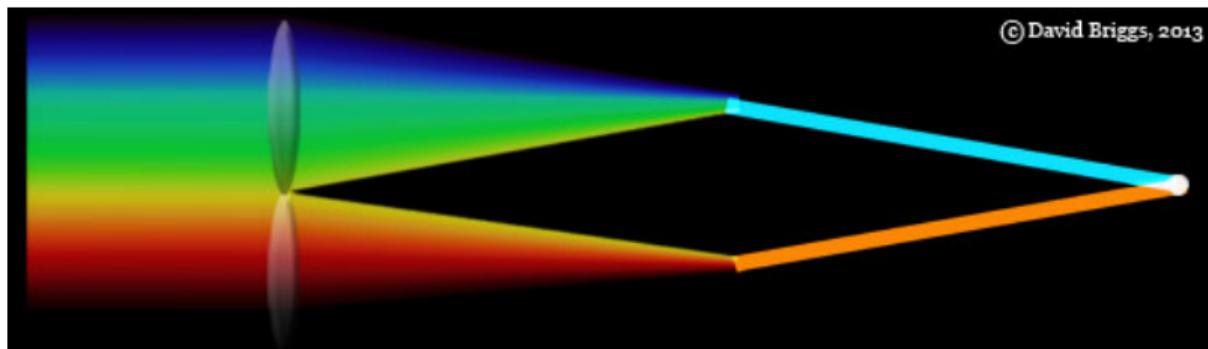
## Quelques observations de Newton :

- ▶ **couleurs pures** par **addition** de couleurs « équidistantes » sur l'arc-en-ciel  
⇒ notion de **couleurs métamères**
- ▶ **blanc** aussi par **addition partielle** de couleurs au **contraste maximal**  
⇒ notion de **complémentarité** (ex. : cyan/orange)
- ▶ « **proximité visuelle** » du rouge et du violet  
⇒ **cercle**  
⇒ règles de **calcul** précises pour prédire le **résultat de mélanges**



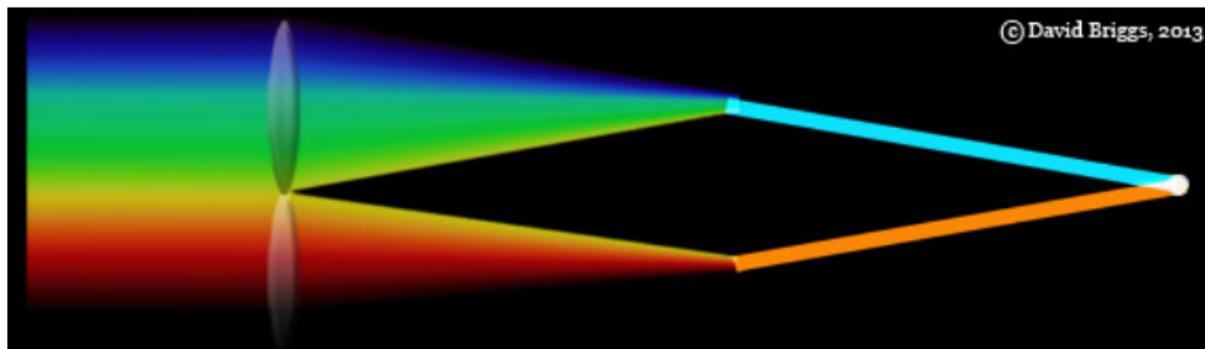
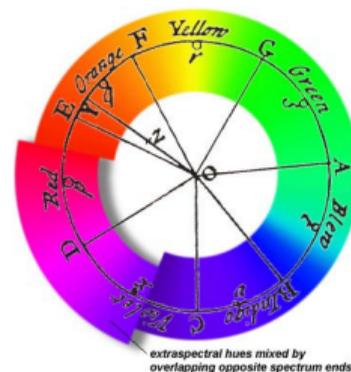
## Quelques observations de Newton :

- ▶ **couleurs pures** par **addition** de couleurs « équidistantes » sur l'arc-en-ciel  
 ⇒ notion de **couleurs métamères**
- ▶ **blanc** aussi par **addition partielle** de couleurs au **contraste maximal**  
 ⇒ notion de **complémentarité** (ex. : cyan/orange)
- ▶ « **proximité visuelle** » du rouge et du violet  
 ⇒ **cercle**  
 ⇒ règles de **calcul** précises pour prédire le **résultat de mélanges**



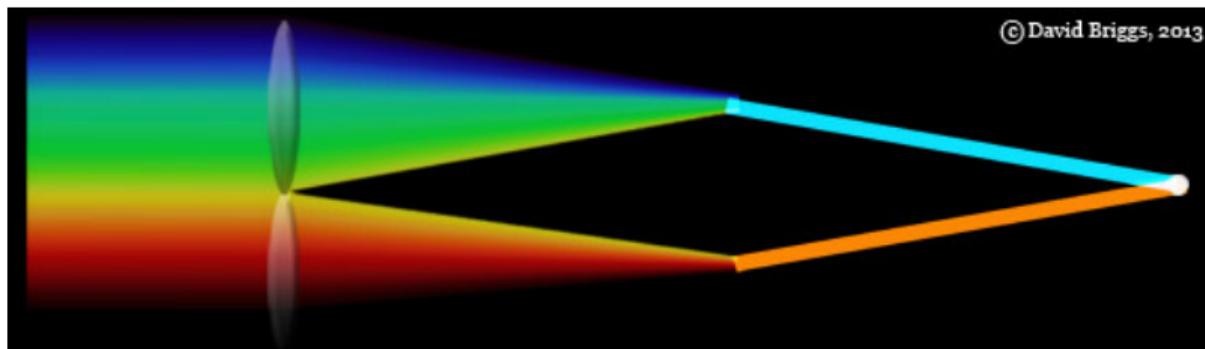
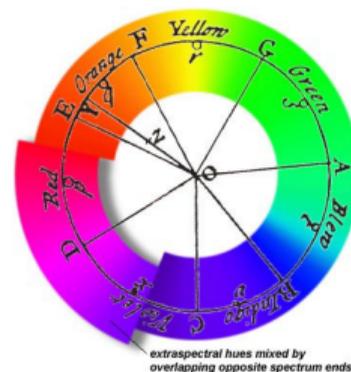
## Quelques observations de Newton :

- ▶ **couleurs pures** par **addition** de couleurs « équidistantes » sur l'arc-en-ciel  
 ⇒ notion de **couleurs métamères**
- ▶ **blanc** aussi par **addition partielle** de couleurs au **contraste maximal**  
 ⇒ notion de **complémentarité** (ex. : cyan/orange)
- ▶ « **proximité visuelle** » du rouge et du violet  
 ⇒ **cercle**  
 ⇒ règles de **calcul** précises pour prédire le **résultat de mélanges**



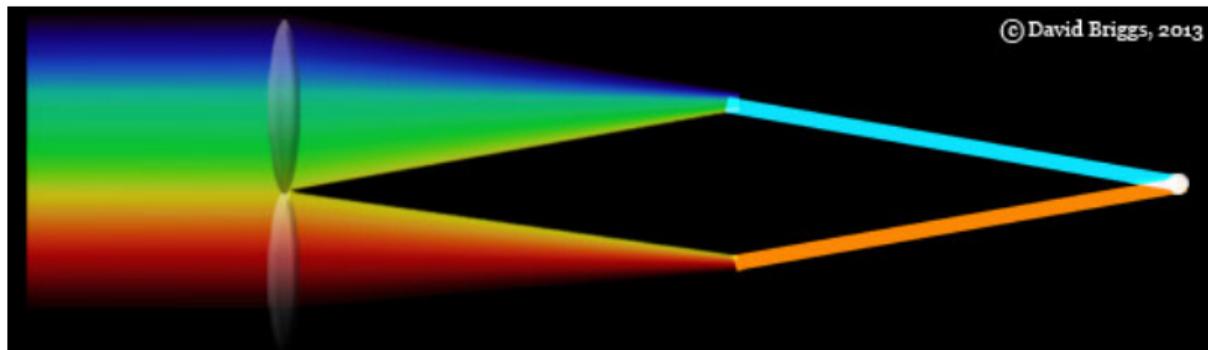
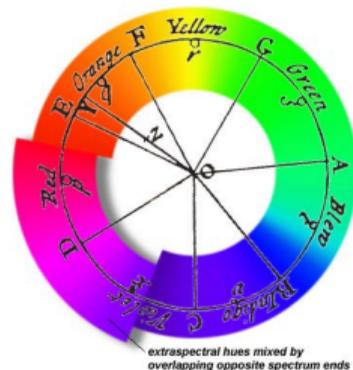
## Quelques observations de Newton :

- ▶ **couleurs pures** par **addition** de couleurs « équidistantes » sur l'arc-en-ciel  
 ⇒ notion de **couleurs métamères**
- ▶ **blanc** aussi par **addition partielle** de couleurs au **contraste maximal**  
 ⇒ notion de **complémentarité** (ex. : cyan/orange)
- ▶ « **proximité visuelle** » du rouge et du violet  
 ⇒ **cercle** (ajout de couleurs « **extraspectrales** ») et notion de **saturation**  
 ⇒ règles de **calcul** précises pour prédire le **résultat de mélanges**



## Quelques observations de Newton :

- ▶ **couleurs pures** par **addition** de couleurs « équidistantes » sur l'arc-en-ciel  
 ⇒ notion de **couleurs métamères**
- ▶ **blanc** aussi par **addition partielle** de couleurs au **contraste maximal**  
 ⇒ notion de **complémentarité** (ex. : cyan/orange)
- ▶ « **proximité visuelle** » du rouge et du violet  
 ⇒ **cercle** (ajout de couleurs « **extraspectrales** ») et notion de **saturation**)  
 ⇒ règles de **calcul** précises pour prédire le **résultat de mélanges**



## Quelques critiques/incompréhensions des travaux de Newton :

- ▶ **divers peintres** : désaccords avec le mélange de **pigments**
- exemple : **Goethe (1810)**, *Traité des couleurs* (s'intéresse avant tout à la **perception humaine**)
- exception : **Le Blon (1725)**, *Coloritto* (impression **trichromatique**)
- ▶ **aristoteliciens** : caractère « impur » du **blanc** (surprenant pour Newton lui-même)
- ▶ **scientifiques** : (**subtiles**) **expériences** difficiles à reproduire ; autres « idéologies » (**atomisme**) ; etc.

## Remarques chronologiques :

- ▶ **1672** : Newton a **29 ans** (mais entre à la *Royal Society* grâce à ses travaux mathématiques)
- ▶ **1704** : publie son *Optique* à **61 ans** et a, entre temps, révolutionné la Physique (1687)

## Quelques critiques/incompréhensions des travaux de Newton :

- ▶ **divers peintres** : désaccords avec le mélange de **pigments**  
( $\implies$  **synthèse additive**  $\neq$  **synthèse soustractive**, mais aussi chimie)
- exemple : **Goethe (1810)**, *Traité des couleurs* (s'intéresse avant tout à la **perception humaine**)
- exception : **Le Blon (1725)**, *Coloritto* (impression **trichromatique**)
- ▶ **aristoteliciens** : caractère « impur » du **blanc** (surprenant pour Newton lui-même)
- ▶ **scientifiques** : (**subtiles**) **expériences** difficiles à reproduire ; autres « idéologies » (**atomisme**) ; etc.

## Remarques chronologiques :

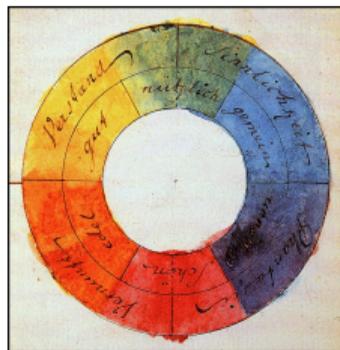
- ▶ **1672** : Newton a **29 ans** (mais entre à la *Royal Society* grâce à ses travaux mathématiques)
- ▶ **1704** : publie son *Optique* à **61 ans** et a, entre temps, révolutionné la Physique (1687)

## Quelques critiques/incompréhensions des travaux de Newton :

- ▶ **divers peintres** : désaccords avec le mélange de **pigments**  
 (  $\implies$  **synthèse additive**  $\neq$  **synthèse soustractive**, mais aussi chimie)
- **exemple** : **Goethe (1810)**, *Traité des couleurs* (s'intéresse avant tout à la **perception humaine**)
- **exception** : **Le Blon (1725)**, *Coloritto* (impression **trichromatique**)
- ▶ **aristoteliciens** : caractère « impur » du **blanc** (surprenant pour Newton lui-même)
- ▶ **scientifiques** : (**subtiles**) **expériences** difficiles à reproduire ; autres « idéologies » (**atomisme**) ; etc.

## Remarques chronologiques :

- ▶ **1672** : Newton a **29 ans** (mais entre à la *Royal Society* grâce à ses travaux mathématiques)
- ▶ **1704** : publie son *Optique* à **61 ans** et a, entre temps, révolutionné la Physique (1687)

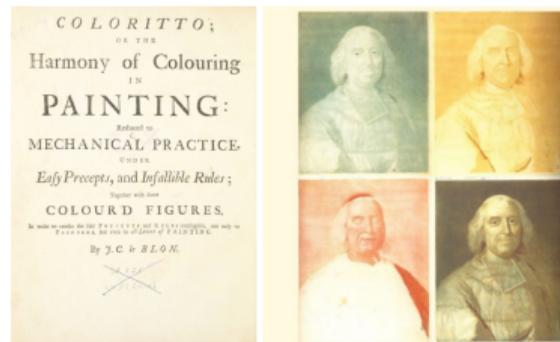
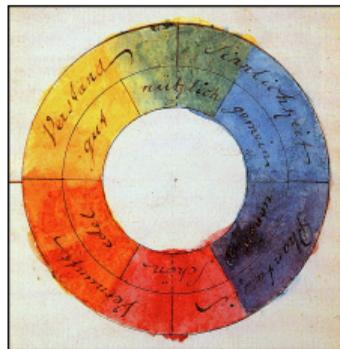


## Quelques critiques/incompréhensions des travaux de Newton :

- ▶ **divers peintres** : désaccords avec le mélange de **pigments**  
( $\implies$  **synthèse additive**  $\neq$  **synthèse soustractive**, mais aussi chimie)
- **exemple** : **Goethe (1810)**, *Traité des couleurs* (s'intéresse avant tout à la **perception humaine**)
- **exception** : **Le Blon (1725)**, *Coloritto* (impression **trichromatique**)
  - ▶ **aristoteliciens** : caractère « impur » du **blanc** (surprenant pour Newton lui-même)
  - ▶ **scientifiques** : (subtiles) **expériences** difficiles à reproduire ; autres « idéologies » (**atomisme**) ; etc.

## Remarques chronologiques :

- ▶ **1672** : Newton a **29 ans** (mais entre à la *Royal Society* grâce à ses travaux mathématiques)
- ▶ **1704** : publie son *Optique* à **61 ans** et a, entre temps, révolutionné la Physique (1687)

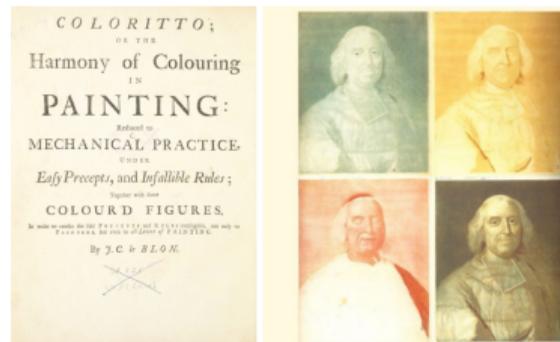
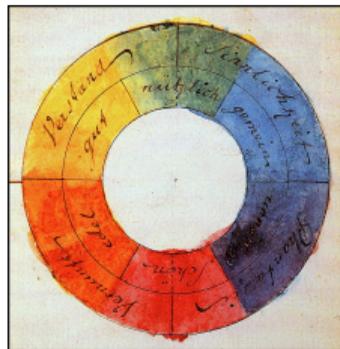


## Quelques critiques/incompréhensions des travaux de Newton :

- ▶ **divers peintres** : désaccords avec le mélange de **pigments**  
( $\implies$  **synthèse additive**  $\neq$  **synthèse soustractive**, mais aussi chimie)
- **exemple** : **Goethe (1810)**, *Traité des couleurs* (s'intéresse avant tout à la **perception humaine**)
- **exception** : **Le Blon (1725)**, *Coloritto* (impression **trichromatique**)
- ▶ **aristoteliciens** : caractère « impur » du **blanc** (surprenant pour Newton lui-même)
- ▶ **scientifiques** : (subtiles) expériences difficiles à reproduire ; autres « idéologies » (**atomisme**) ; etc.

## Remarques chronologiques :

- ▶ **1672** : Newton a **29 ans** (mais entre à la *Royal Society* grâce à ses travaux mathématiques)
- ▶ **1704** : publie son *Optique* à **61 ans** et a, entre temps, révolutionné la Physique (1687)

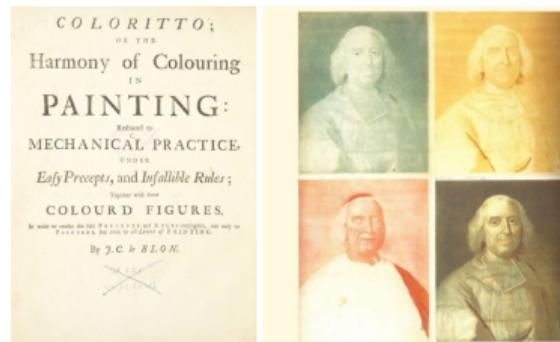
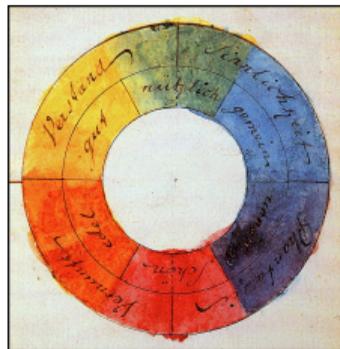


## Quelques critiques/incompréhensions des travaux de Newton :

- ▶ **divers peintres** : désaccords avec le mélange de **pigments**  
( $\implies$  **synthèse additive**  $\neq$  **synthèse soustractive**, mais aussi chimie)
- **exemple** : **Goethe (1810)**, *Traité des couleurs* (s'intéresse avant tout à la **perception humaine**)
- **exception** : **Le Blon (1725)**, *Coloritto* (impression **trichromatique**)
- ▶ **aristoteliciens** : caractère « impur » du **blanc** (surprenant pour Newton lui-même)
- ▶ **scientifiques** : (**subtiles**) **expériences** difficiles à reproduire ; autres « idéologies » (**atomisme**) ; etc.

## Remarques chronologiques :

- ▶ **1672** : Newton a **29 ans** (mais entre à la *Royal Society* grâce à ses travaux mathématiques)
- ▶ **1704** : publie son *Optique* à **61 ans** et a, entre temps, révolutionné la Physique (1687)

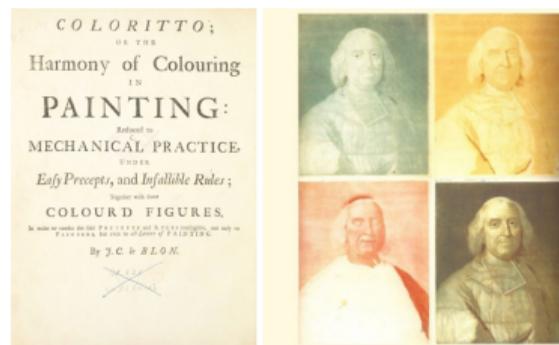
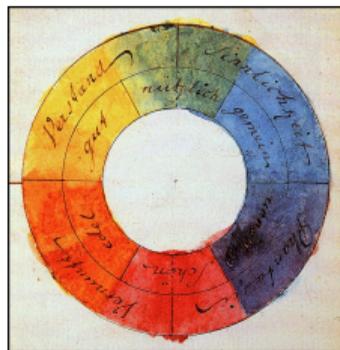


## Quelques critiques/incompréhensions des travaux de Newton :

- ▶ **divers peintres** : désaccords avec le mélange de **pigments**  
( $\implies$  **synthèse additive**  $\neq$  **synthèse soustractive**, mais aussi chimie)
- **exemple** : **Goethe (1810)**, *Traité des couleurs* (s'intéresse avant tout à la **perception humaine**)
- **exception** : **Le Blon (1725)**, *Coloritto* (impression **trichromatique**)
- ▶ **aristoteliciens** : caractère « impur » du **blanc** (surprenant pour Newton lui-même)
- ▶ **scientifiques** : (**subtiles**) **expériences** difficiles à reproduire ; autres « idéologies » (**atomisme**) ; etc.

## Remarques chronologiques :

- ▶ **1672** : Newton a **29 ans** (mais entre à la *Royal Society* grâce à ses travaux mathématiques)
- ▶ **1704** : publie son *Optique* à **61 ans** et a, entre temps, révolutionné la Physique (1687)

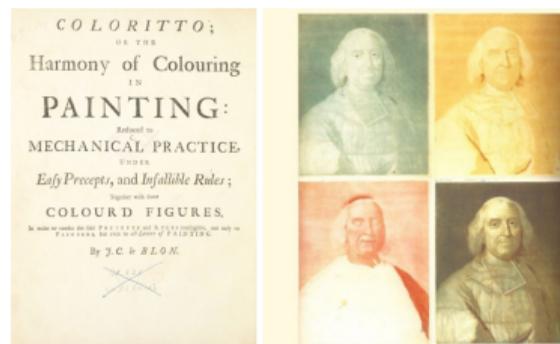
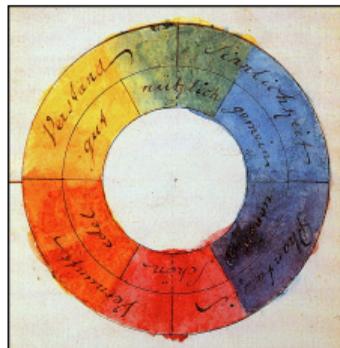


## Quelques critiques/incompréhensions des travaux de Newton :

- ▶ **divers peintres** : désaccords avec le mélange de **pigments**  
( $\implies$  **synthèse additive**  $\neq$  **synthèse soustractive**, mais aussi chimie)
- **exemple** : **Goethe (1810)**, *Traité des couleurs* (s'intéresse avant tout à la **perception humaine**)
- **exception** : **Le Blon (1725)**, *Coloritto* (impression **trichromatique**)
- ▶ **aristoteliciens** : caractère « impur » du **blanc** (surprenant pour Newton lui-même)
- ▶ **scientifiques** : (**subtiles**) **expériences** difficiles à reproduire ; autres « idéologies » (**atomisme**) ; etc.

## Remarques chronologiques :

- ▶ **1672** : Newton a **29 ans** (mais entre à la *Royal Society* grâce à ses travaux mathématiques)
- ▶ **1704** : publie son *Optique* à **61 ans** et a, entre temps, révolutionné la Physique (1687)

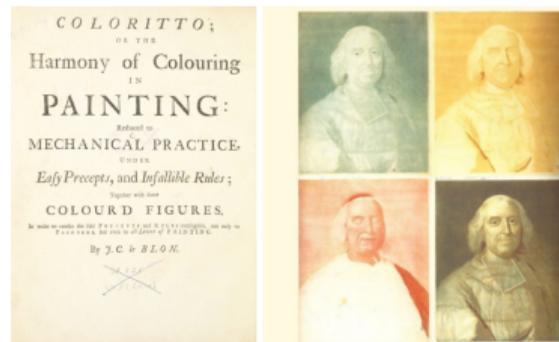
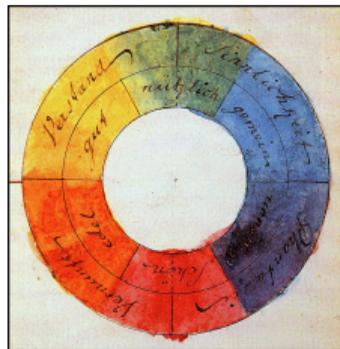


## Quelques critiques/incompréhensions des travaux de Newton :

- ▶ **divers peintres** : désaccords avec le mélange de **pigments**  
( $\implies$  **synthèse additive**  $\neq$  **synthèse soustractive**, mais aussi chimie)
- **exemple** : **Goethe (1810)**, *Traité des couleurs* (s'intéresse avant tout à la **perception humaine**)
- **exception** : **Le Blon (1725)**, *Coloritto* (impression **trichromatique**)
- ▶ **aristoteliciens** : caractère « impur » du **blanc** (surprenant pour Newton lui-même)
- ▶ **scientifiques** : (**subtiles**) **expériences** difficiles à reproduire ; autres « idéologies » (**atomisme**) ; etc.

## Remarques chronologiques :

- ▶ **1672** : Newton a **29 ans** (mais entre à la *Royal Society* grâce à ses travaux mathématiques)
- ▶ **1704** : publie son *Optique* à **61 ans** et a, entre temps, révolutionné la Physique (1687)



## Parenthèse sur la complémentarité (interprétation moderne) :

complémentarité **additive**  
des **lumières** :

(rouge, vert, bleu)

## Parenthèse sur la complémentarité (interprétation moderne) :

complémentarité **additive**  
des **lumières** :

(rouge, vert, bleu)

complémentarité **soustractive**  
des **filtres** :

(cyan, magenta, jaune)

# Parenthèse sur la complémentarité (interprétation moderne) :

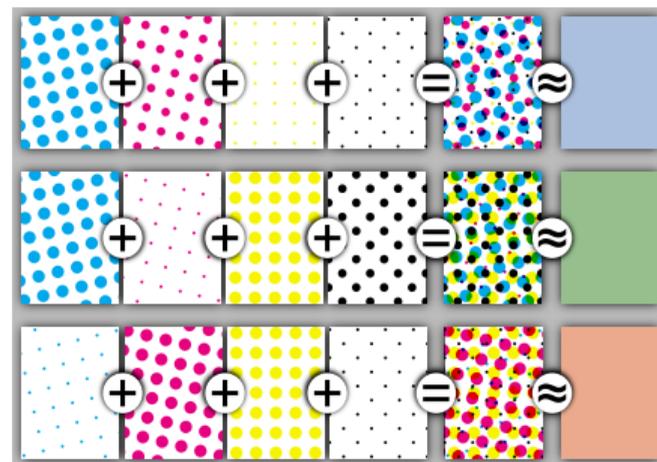
complémentarité **additive**  
des **lumières** :

(rouge, vert, bleu)

complémentarité **soustractive**  
des **filtres** :

(cyan, magenta, jaune)

complémentarité mixte :  
la **demi-teinte** (CMJK)



## Quelques « limitations » des idées/travaux de Newton :

- ▶ **complémentarité des couleurs monochromes** (ex. : bleu/jaune) :  
idée, mais **pas d'observation**
- ▶ passe à côté du caractère **trichromatique** de la **vue humaine**
- ▶ question de la **nature physique** de la couleur :  
à quelle **grandeur intrinsèque** correspond une **couleur spectrale** ?
- ▶ **hypothèse newtonienne** : modélisation **mécanique** et **corpusculaire** des phénomènes optiques  
 ⇒ **couleur spectrale** = **vitesse** ou **taille** variables de **boules lumineuses (néo-atomisme)**
- ▶ pas d'explication claire de la **biréfringence** (découverte en **1669**)  
 ⇒ émet l'idée d'une « lumière à deux visages » ?
- ▶ **remarque** : séparation claire entre **expériences (objectives)** et **interprétations/modèles (potentiellement subjectives)**

« *Hypotheses non fingo* »

## Quelques « limitations » des idées/travaux de Newton :

- ▶ **complémentarité des couleurs monochromes** (ex. : bleu/jaune) :  
idée, mais **pas d'observation**
- ▶ passe à côté du caractère **trichromatique** de la **vue humaine**
- ▶ question de la **nature physique** de la couleur :  
à quelle **grandeur intrinsèque** correspond une **couleur spectrale** ?
- ▶ **hypothèse newtonienne** : modélisation **mécanique** et **corpusculaire** des phénomènes optiques  
 ⇒ **couleur spectrale** = **vitesse** ou **taille** variables de **boules lumineuses (néo-atomisme)**
- ▶ pas d'explication claire de la **biréfringence** (découverte en **1669**)  
 ⇒ émet l'idée d'une « lumière à deux visages » ?
- ▶ **remarque** : séparation claire entre **expériences (objectives)** et **interprétations/modèles (potentiellement subjectives)**

« *Hypotheses non fingo* »

## Quelques « limitations » des idées/travaux de Newton :

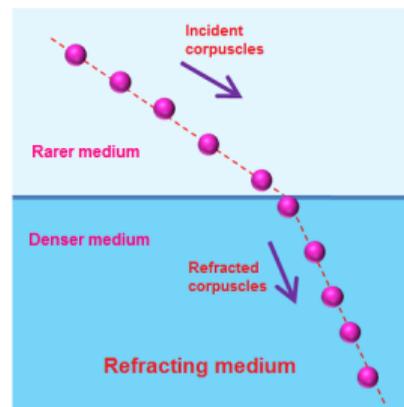
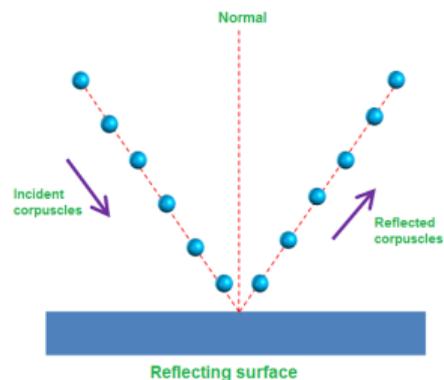
- ▶ **complémentarité des couleurs monochromes** (ex. : bleu/jaune) :  
idée, mais **pas d'observation**
- ▶ passe à côté du caractère **trichromatique** de la **vue humaine**
- ▶ question de la **nature physique** de la couleur :  
à quelle **grandeur intrinsèque** correspond une **couleur spectrale** ?
- ▶ **hypothèse newtonienne** : modélisation **mécanique** et **corpusculaire** des phénomènes optiques  
 ⇒ **couleur spectrale** = **vitesse** ou **taille** variables de **boules lumineuses (néo-atomisme)**
- ▶ pas d'explication claire de la **biréfringence** (découverte en **1669**)  
 ⇒ émet l'idée d'une « lumière à deux visages » ?
- ▶ **remarque** : séparation claire entre **expériences (objectives)** et **interprétations/modèles (potentiellement subjectives)**

« *Hypotheses non fingo* »

## Quelques « limitations » des idées/travaux de Newton :

- ▶ **complémentarité des couleurs monochromes** (ex. : bleu/jaune) : idée, mais **pas d'observation**
- ▶ passe à côté du caractère **trichromatique** de la **vue humaine**
- ▶ question de la **nature physique** de la couleur : à quelle **grandeur intrinsèque** correspond une **couleur spectrale** ?
- ▶ **hypothèse newtonienne** : modélisation **mécanique** et **corpusculaire** des phénomènes optiques
  - ⇒ **couleur spectrale** = **vitesse** ou **taille** variables de **boules lumineuses (néo-atomisme)**
- ▶ pas d'explication claire de la **biréfringence** (découverte en 1669)
  - ⇒ émet l'idée d'une « lumière à deux visages » ?
- ▶ **remarque** : séparation claire entre **expériences (objectives)** et **interprétations/modèles (potentiellement subjectives)**

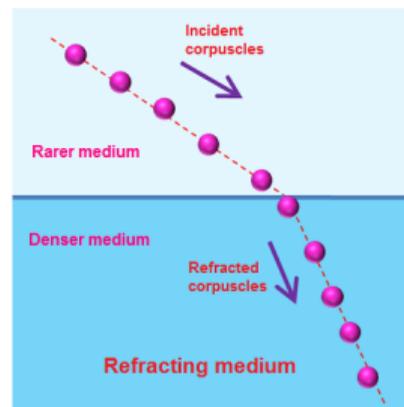
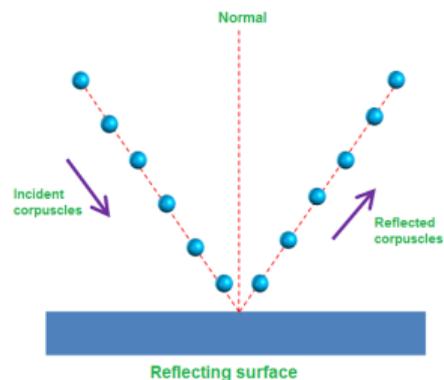
« *Hypotheses non fingo* »



## Quelques « limitations » des idées/travaux de Newton :

- ▶ **complémentarité des couleurs monochromes** (ex. : bleu/jaune) : idée, mais **pas d'observation**
- ▶ passe à côté du caractère **trichromatique** de la **vue humaine**
- ▶ question de la **nature physique** de la couleur : à quelle **grandeur intrinsèque** correspond une **couleur spectrale** ?
- ▶ **hypothèse newtonienne** : modélisation **mécanique** et **corpusculaire** des phénomènes optiques
  - ⇒ **couleur spectrale = vitesse** ou **taille** variables de **boules lumineuses (néo-atomisme)**
- ▶ pas d'explication claire de la **biréfringence** (découverte en 1669)
  - ⇒ émet l'idée d'une « lumière à deux visages » ?
- ▶ **remarque** : séparation claire entre **expériences (objectives)** et **interprétations/modèles (potentiellement subjectives)**

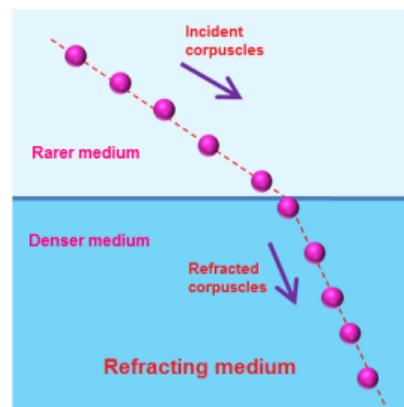
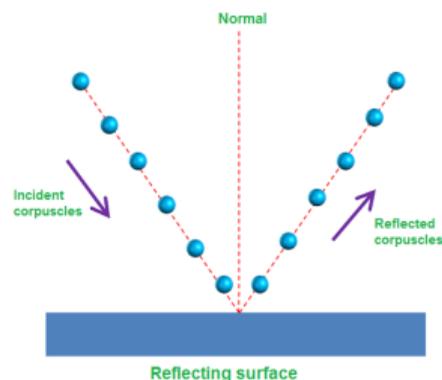
« *Hypotheses non fingo* »



## Quelques « limitations » des idées/travaux de Newton :

- ▶ **complémentarité des couleurs monochromes** (ex. : bleu/jaune) : idée, mais **pas d'observation**
- ▶ passe à côté du caractère **trichromatique** de la **vue humaine**
- ▶ question de la **nature physique** de la couleur : à quelle **grandeur intrinsèque** correspond une **couleur spectrale** ?
- ▶ **hypothèse newtonienne** : modélisation **mécanique** et **corpusculaire** des phénomènes optiques
  - ⇒ **couleur spectrale = vitesse** ou **taille** variables de **boules lumineuses (néo-atomisme)**
- ▶ pas d'explication claire de la **biréfringence** (découverte en **1669**)
  - ⇒ émet l'idée d'une « lumière à deux visages » ?
- ▶ **remarque** : séparation claire entre **expériences (objectives)** et **interprétations/modèles (potentiellement subjectives)**

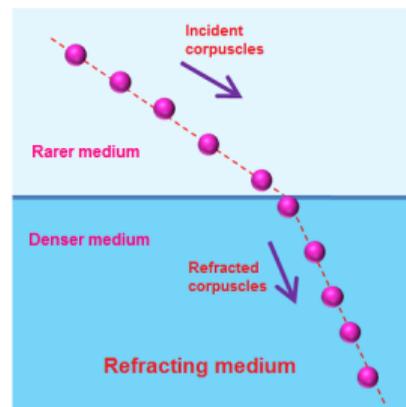
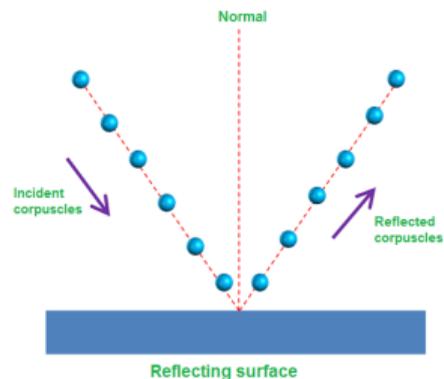
« *Hypotheses non fingo* »

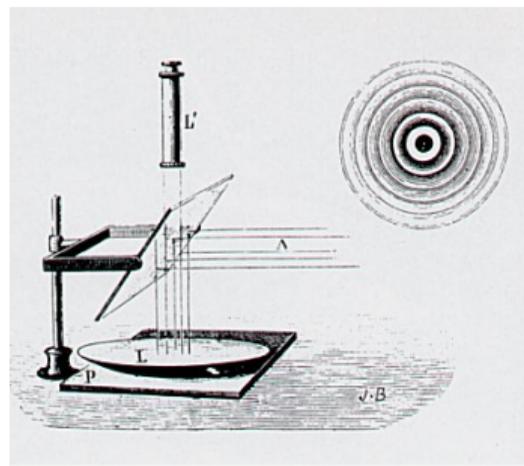
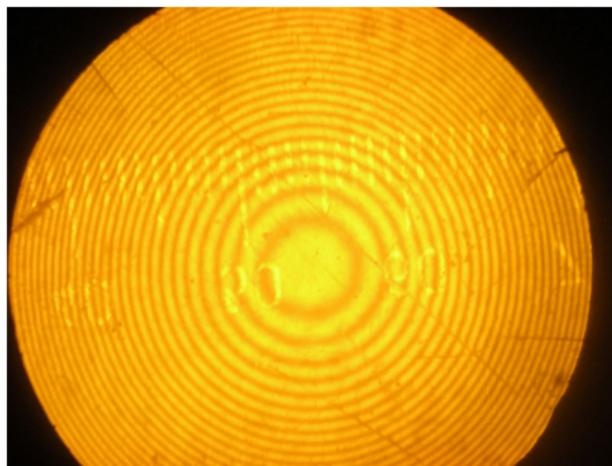


## Quelques « limitations » des idées/travaux de Newton :

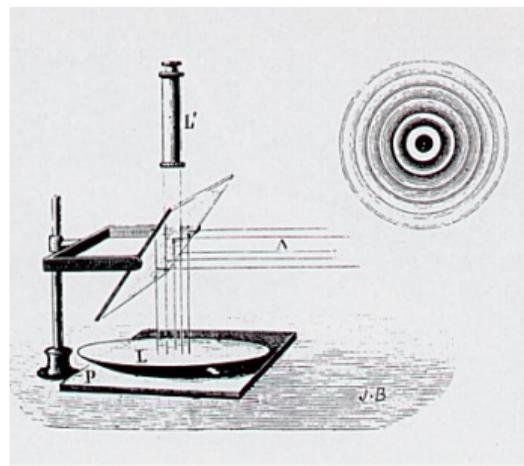
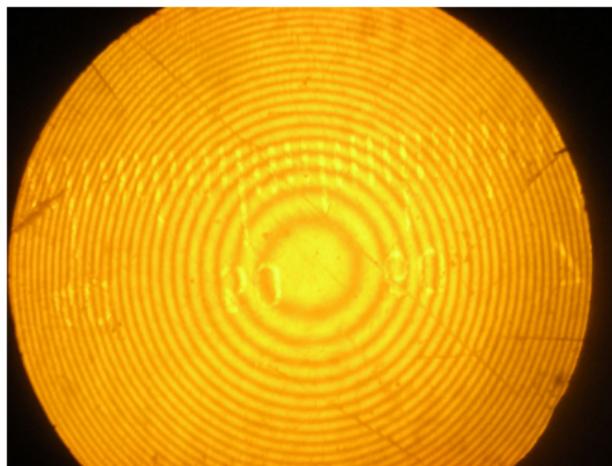
- ▶ **complémentarité des couleurs monochromes** (ex. : bleu/jaune) : idée, mais **pas d'observation**
- ▶ passe à côté du caractère **trichromatique** de la **vue humaine**
- ▶ question de la **nature physique** de la couleur : à quelle **grandeur intrinsèque** correspond une **couleur spectrale** ?
- ▶ **hypothèse newtonienne** : modélisation **mécanique** et **corpusculaire** des phénomènes optiques
  - ⇒ **couleur spectrale** = **vitesse** ou **taille** variables de **boules lumineuses (néo-atomisme)**
- ▶ pas d'explication claire de la **biréfringence** (découverte en **1669**)
  - ⇒ émet l'idée d'une « lumière à deux visages » ?
- ▶ **remarque** : séparation claire entre **expériences (objectives)** et **interprétations/modèles (potentiellement subjectives)**

« *Hypotheses non fingo* »

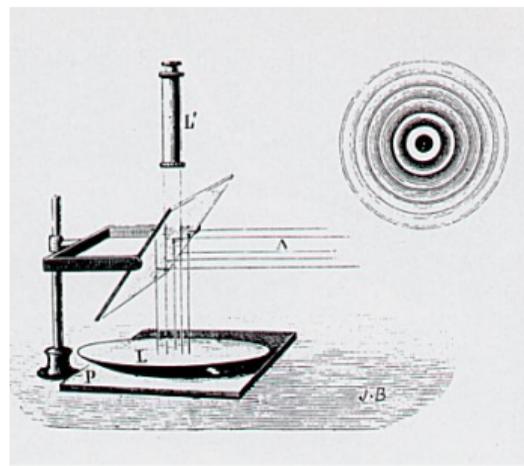
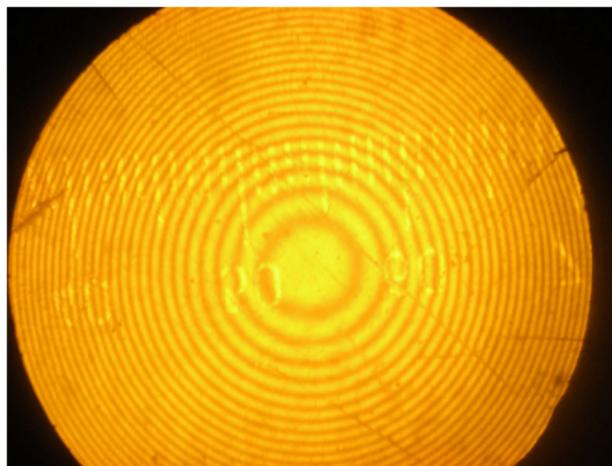


Autre difficulté pour le modèle « purement corpusculaire » de Newton : les **interférences**

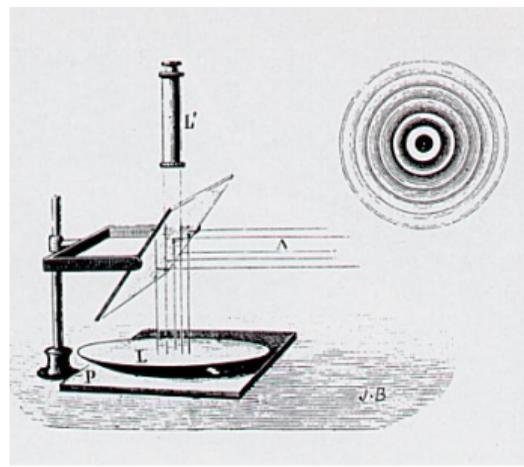
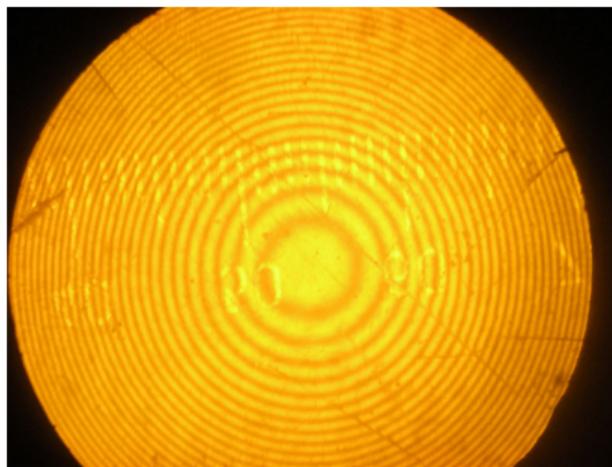
- ⇒ alternances de **bandes sombres** et **colorées** qu'il étudia **quantitativement** et **précisément**
- ⇒ **parfois**, « lumière + lumière = obscurité » ⇒ explication possible avec des **boules** ?
- ⇒ théorie(s) des **accès** (= **vibrations**)
- ⇒ sorte de « **dualité onde-corpuscule** » (cf. physique quantique) avant l'heure

Autre difficulté pour le modèle « purement corpusculaire » de Newton : les **interférences**

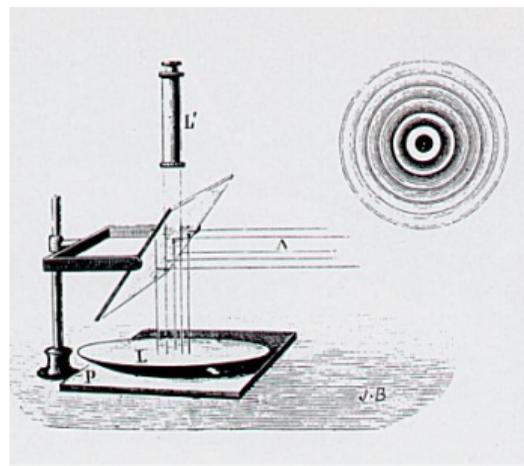
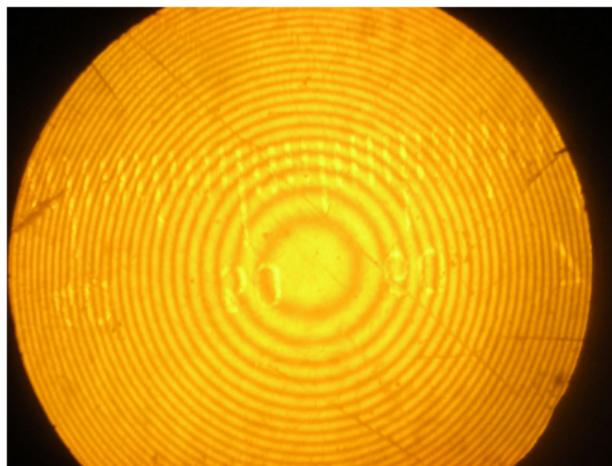
- ⇒ alternances de **bandes sombres** et **colorées** qu'il étudia **quantitativement** et **précisément**
- ⇒ **parfois**, « **lumière + lumière = obscurité** » ⇒ explication possible avec des **boules** ?
- ⇒ théorie(s) des accès (= **vibrations**)
- ⇒ sorte de « **dualité onde-corpuscule** » (cf. physique quantique) avant l'heure

Autre difficulté pour le modèle « purement corpusculaire » de Newton : les **interférences**

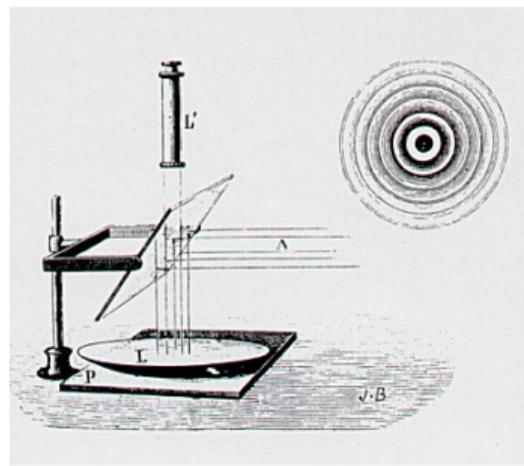
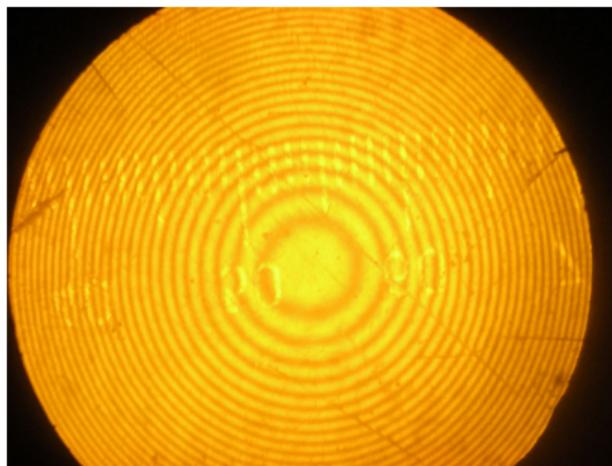
- ⇒ alternances de **bandes sombres** et **colorées** qu'il étudia **quantitativement** et **précisément**
- ⇒ **parfois**, « **lumière + lumière = obscurité** » ⇒ explication possible avec des **boules** ?
- ⇒ théorie(s) des **accès** (= **vibrations**)
- ⇒ sorte de « **dualité onde-corpuscule** » (cf. physique quantique) avant l'heure

Autre difficulté pour le modèle « purement corpusculaire » de Newton : les **interférences**

- ⇒ alternances de **bandes sombres** et **colorées** qu'il étudia **quantitativement** et **précisément**
- ⇒ **parfois**, « **lumière + lumière = obscurité** » ⇒ explication possible avec des **boules** ?
- ⇒ théorie(s) des **accès** (= **vibrations** d'une propriété interne des boules ?)
- ⇒ sorte de « **dualité onde-corpuscule** » (cf. physique quantique) avant l'heure

Autre difficulté pour le modèle « purement corpusculaire » de Newton : les **interférences**

- ⇒ alternances de **bandes sombres** et **colorées** qu'il étudia **quantitativement** et **précisément**
- ⇒ **parfois**, « **lumière + lumière = obscurité** » ⇒ explication possible avec des **boules** ?
- ⇒ théorie(s) des **accès** (= **vibrations** d'une propriété interne des boules ? de l'éther lumineux ?)
- ⇒ sorte de « **dualité onde-corpuscule** » (cf. physique quantique) avant l'heure

Autre difficulté pour le modèle « purement corpusculaire » de Newton : les **interférences**

- ⇒ alternances de **bandes sombres** et **colorées** qu'il étudia **quantitativement** et **précisément**
- ⇒ **parfois**, « **lumière + lumière = obscurité** » ⇒ explication possible avec des **boules** ?
- ⇒ théorie(s) des **accès** (= **vibrations** d'une propriété interne des boules ? de l'éther lumineux ?)
- ⇒ sorte de « **dualité onde-corpuscule** » (cf. physique quantique) avant l'heure

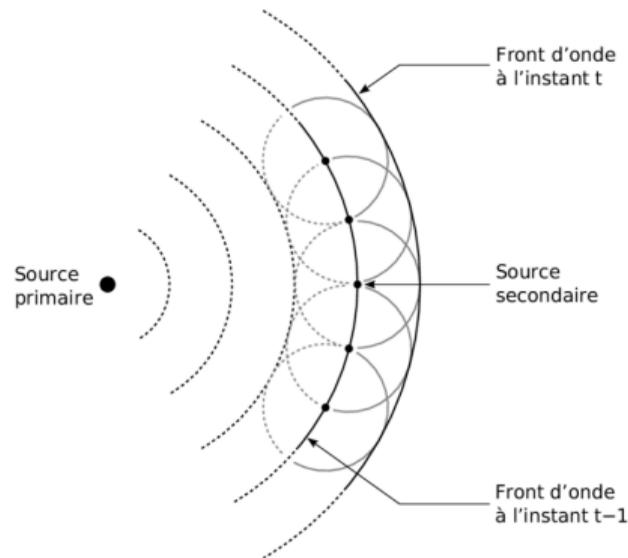
### III : Optique ondulatoire et couleurs



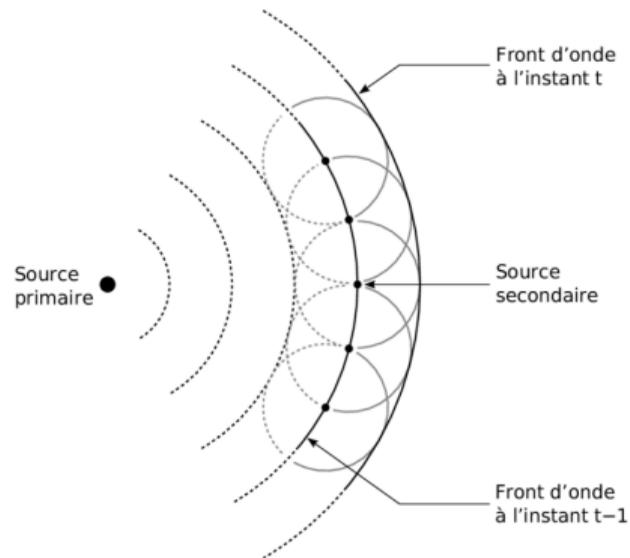
- ▶ **1678-1690, Huygens** : modèle « ondulatoire »  
(inspiré par ondes sonores et autres modèles similaires)
- ▶ lumière = impulsions dans l'« éther lumineux »  
(milieu continu et invisible, cf. accès de Newton)
- ▶ innovation par rapport aux précédents modèles  
« ondulatoires » : propagation de proche en proche à  
vitesse finie (Rømer, 1676)  
⇒ rupture avec la pensée d'Aristote
- ▶ faisceaux lumineux orthogonaux aux « fronts d'onde »  
( $\simeq$  direction des vagues)  
⇒ trajectoire rectiligne possible
- ▶ biréfringence : si vitesse dépend de la direction  
(mais uniquement pour certains cas)
- ▶ théorie assez incomplète : se concentre sur réflexion et  
réfraction, ne dit rien de la couleur ou des interférences

- ▶ **1678-1690, Huygens** : modèle « ondulatoire »  
(inspiré par **ondes sonores** et autres modèles similaires)
- ▶ lumière = **impulsions** dans l'« **éther lumineux** »  
(milieu **continu** et **invisible**, cf. **accès de Newton**)
- ▶ **innovation par rapport aux précédents modèles**  
« ondulatoires » : **propagation de proche en proche à**  
**vitesse finie** (Rømer, 1676)  
⇒ rupture avec la **pensée d'Aristote**
- ▶ **faisceaux lumineux orthogonaux** aux « fronts d'onde »  
( $\simeq$  direction des **vagues**)  
⇒ **trajectoire rectiligne** possible
- ▶ **biréfringence** : si **vitesse** dépend de la **direction**  
(mais uniquement pour certains cas)
- ▶ **théorie assez incomplète** : se concentre sur réflexion et  
réfraction, ne dit rien de la **couleur** ou des interférences

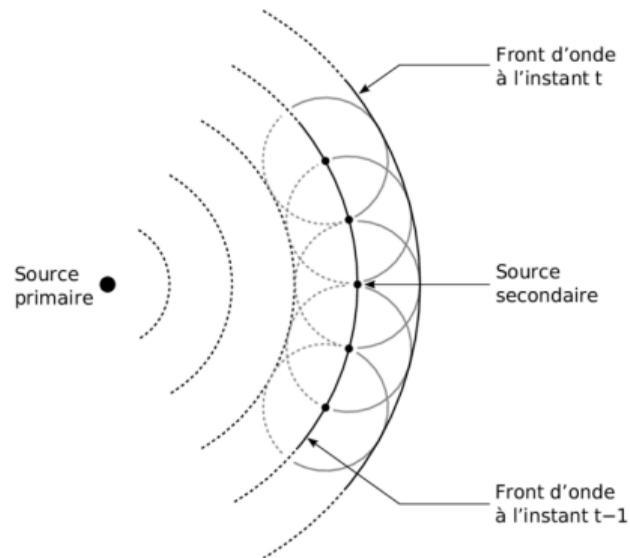
- ▶ **1678-1690, Huygens** : modèle « ondulatoire »  
(inspiré par **ondes sonores** et autres modèles similaires)
- ▶ lumière = **impulsions** dans l'« **éther lumineux** »  
(milieu **continu** et **invisible**, cf. **accès de Newton**)
- ▶ **innovation par rapport aux précédents modèles « ondulatoires »** : **propagation de proche en proche** à **vitesse finie** (Rømer, 1676)  
 ⇒ rupture avec la **pensée d'Aristote**
- ▶ **faisceaux lumineux orthogonaux** aux « fronts d'onde »  
( $\simeq$  direction des **vagues**)  
 ⇒ **trajectoire rectiligne** possible
- ▶ **biréfringence** : si **vitesse** dépend de la **direction**  
(mais uniquement pour certains cas)
- ▶ **théorie assez incomplète** : se concentre sur réflexion et réfraction, ne dit rien de la **couleur** ou des interférences



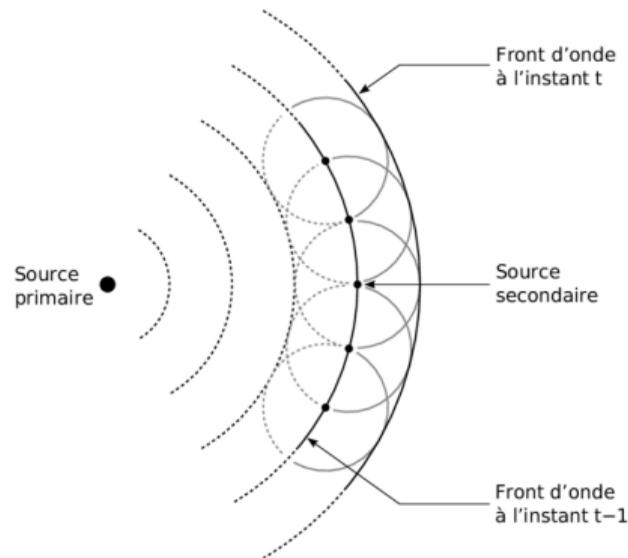
- ▶ **1678-1690, Huygens** : modèle « ondulatoire »  
(inspiré par **ondes sonores** et autres modèles similaires)
- ▶ lumière = **impulsions** dans l'« **éther lumineux** »  
(milieu **continu** et **invisible**, cf. **accès de Newton**)
- ▶ **innovation par rapport aux précédents modèles « ondulatoires »** : **propagation de proche en proche** à **vitesse finie** (Rømer, 1676)  
⇒ rupture avec la **pensée d'Aristote**
- ▶ **faisceaux lumineux orthogonaux** aux « fronts d'onde »  
( $\simeq$  direction des **vagues**)  
⇒ **trajectoire rectiligne** possible
- ▶ **biréfringence** : si **vitesse** dépend de la **direction**  
(mais uniquement pour certains cas)
- ▶ **théorie assez incomplète** : se concentre sur réflexion et réfraction, ne dit rien de la **couleur** ou des interférences



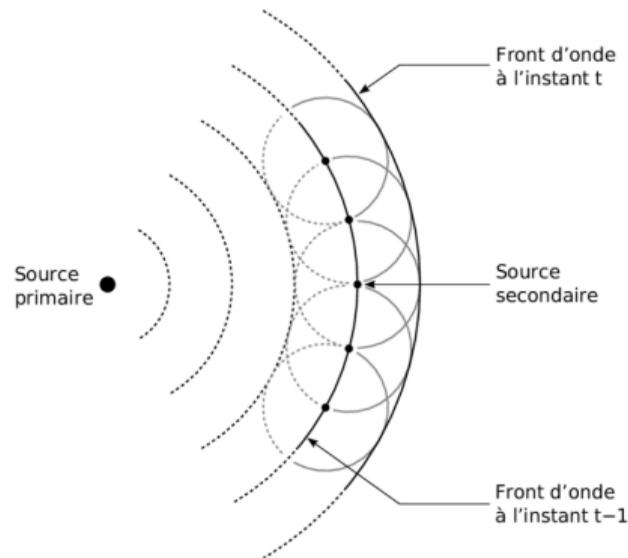
- ▶ **1678-1690, Huygens** : modèle « ondulatoire »  
(inspiré par **ondes sonores** et autres modèles similaires)
- ▶ lumière = **impulsions** dans l'« **éther lumineux** »  
(milieu **continu** et **invisible**, cf. **accès de Newton**)
- ▶ **innovation par rapport aux précédents modèles « ondulatoires »** : **propagation de proche en proche** à **vitesse finie** (Rømer, 1676)  
⇒ rupture avec la **pensée d'Aristote**
- ▶ **faisceaux lumineux orthogonaux** aux « fronts d'onde »  
( $\simeq$  direction des **vagues**)  
⇒ **trajectoire rectiligne** possible
- ▶ **biréfringence** : si **vitesse** dépend de la **direction**  
(mais uniquement pour certains cas)
- ▶ **théorie assez incomplète** : se concentre sur réflexion et réfraction, ne dit rien de la **couleur** ou des interférences



- ▶ **1678-1690, Huygens** : modèle « ondulatoire »  
(inspiré par **ondes sonores** et autres modèles similaires)
- ▶ lumière = **impulsions** dans l'« **éther lumineux** »  
(milieu **continu** et **invisible**, cf. **accès de Newton**)
- ▶ **innovation par rapport aux précédents modèles**  
« ondulatoires » : **propagation de proche en proche** à **vitesse finie** (Rømer, 1676)  
⇒ rupture avec la **pensée d'Aristote**
- ▶ **faisceaux lumineux orthogonaux** aux « fronts d'onde »  
( $\simeq$  direction des **vagues**)  
⇒ **trajectoire rectiligne** possible
- ▶ **biréfringence** : si **vitesse** dépend de la **direction**  
(mais uniquement pour certains cas)
- ▶ **théorie assez incomplète** : se concentre sur réflexion et réfraction, ne dit rien de la **couleur** ou des interférences



- ▶ **1678-1690, Huygens** : modèle « ondulatoire »  
(inspiré par **ondes sonores** et autres modèles similaires)
- ▶ lumière = **impulsions** dans l'« **éther lumineux** »  
(milieu **continu** et **invisible**, cf. **accès de Newton**)
- ▶ **innovation par rapport aux précédents modèles « ondulatoires »** : **propagation de proche en proche** à **vitesse finie** (Rømer, 1676)  
⇒ rupture avec la **pensée d'Aristote**
- ▶ **faisceaux lumineux orthogonaux** aux « fronts d'onde »  
( $\simeq$  direction des **vagues**)  
⇒ **trajectoire rectiligne** possible
- ▶ **biréfringence** : si **vitesse** dépend de la **direction**  
(mais uniquement pour certains cas)
- ▶ **théorie assez incomplète** : se concentre sur réflexion et réfraction, ne dit rien de la **couleur** ou des interférences

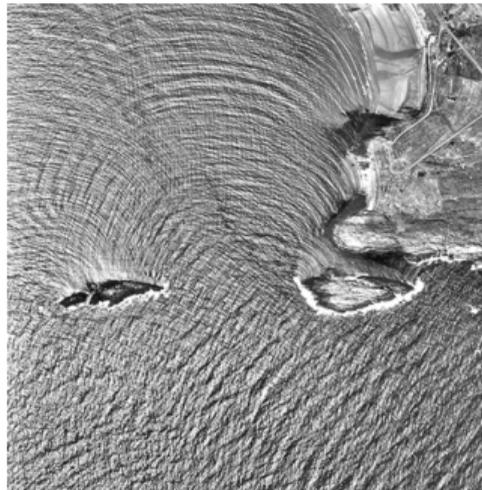


- ▶ **optique ondulatoire** délaissée face à l'**optique (principalement) corpusculaire** de **Newton**
- ▶ renaît et rencontre de **grands succès** avec **Young** (1801), puis **Fresnel** (vers 1815)
  - ⇒ explication des **interférences** (par Young, même si mérite reconnu bien plus tard)
  - ⇒ explication du phénomène de **diffraction** (par Fresnel, prix de l'Académie des sciences 1819)
- ▶ **atouts de Fresnel** : outils modernes de « **mathématiques non-géométriques** »
- ▶ **remarque** : Young inspiré par les **accès de Newton** (qui n'avait pas réussi à expliquer la diffraction)

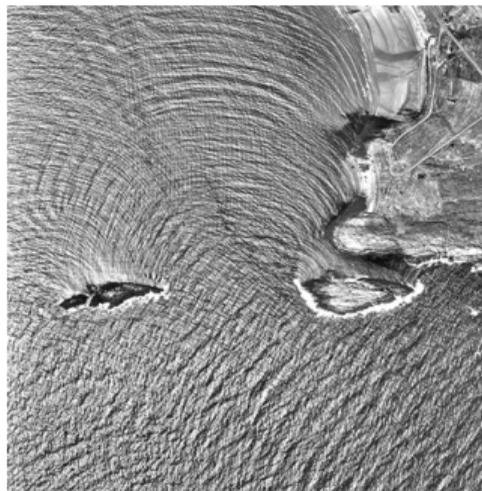
- ▶ **optique ondulatoire** délaissée face à l'**optique (principalement) corpusculaire** de **Newton**
- ▶ renaît et rencontre de **grands succès** avec **Young** (1801), puis **Fresnel** (vers 1815)
  - ⇒ explication des **interférences** (par Young, même si mérite reconnu bien plus tard)
  - ⇒ explication du phénomène de **diffraction** (par Fresnel, prix de l'Académie des sciences 1819)
- ▶ **atouts de Fresnel** : outils modernes de « **mathématiques non-géométriques** »
- ▶ **remarque** : Young inspiré par les **accès de Newton** (qui n'avait pas réussi à expliquer la diffraction)

- ▶ **optique ondulatoire** délaissée face à l'**optique (principalement) corpusculaire** de **Newton**
- ▶ renaît et rencontre de **grands succès** avec **Young** (1801), puis **Fresnel** (vers 1815)
  - ⇒ explication des **interférences** (par Young, même si mérite reconnu bien plus tard)
  - ⇒ explication du phénomène de **diffraction** (par Fresnel, prix de l'Académie des sciences 1819)
- ▶ **atouts de Fresnel** : outils modernes de « **mathématiques non-géométriques** »
- ▶ **remarque** : Young inspiré par les **accès de Newton** (qui n'avait pas réussi à expliquer la diffraction)

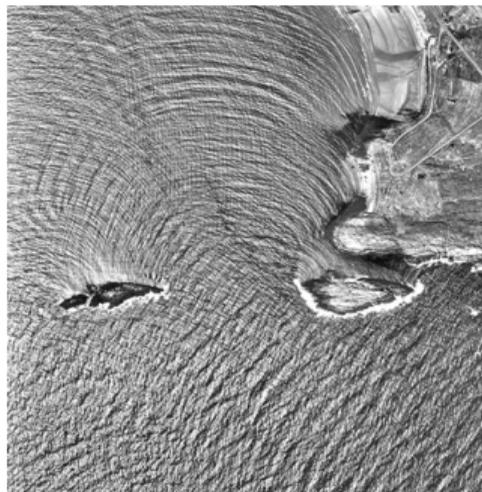
- ▶ **optique ondulatoire** délaissée face à l'**optique (principalement) corpusculaire** de **Newton**
- ▶ renaît et rencontre de **grands succès** avec **Young** (1801), puis **Fresnel** (vers 1815)
  - ⇒ explication des **interférences** (par Young, même si mérite reconnu bien plus tard)
  - ⇒ explication du phénomène de **diffraction** (par Fresnel, prix de l'Académie des sciences 1819)
- ▶ **atouts de Fresnel** : outils modernes de « **mathématiques non-géométriques** »
- ▶ **remarque** : Young inspiré par les **accès de Newton** (qui n'avait pas réussi à expliquer la diffraction)



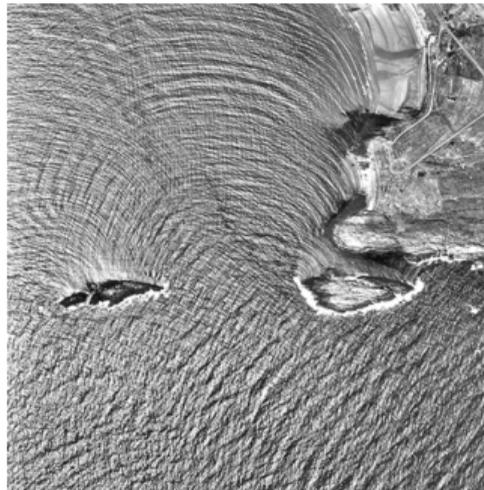
- ▶ **optique ondulatoire** délaissée face à l'**optique (principalement) corpusculaire** de **Newton**
- ▶ renaît et rencontre de **grands succès** avec **Young** (1801), puis **Fresnel** (vers 1815)
  - ⇒ explication des **interférences** (par Young, même si mérite reconnu bien plus tard)
  - ⇒ explication du phénomène de **diffraction** (par Fresnel, prix de l'Académie des sciences 1819)
- ▶ **atouts de Fresnel** : outils modernes de « **mathématiques non-géométriques** »
- ▶ **remarque** : Young inspiré par les **accès de Newton** (qui n'avait pas réussi à expliquer la diffraction)



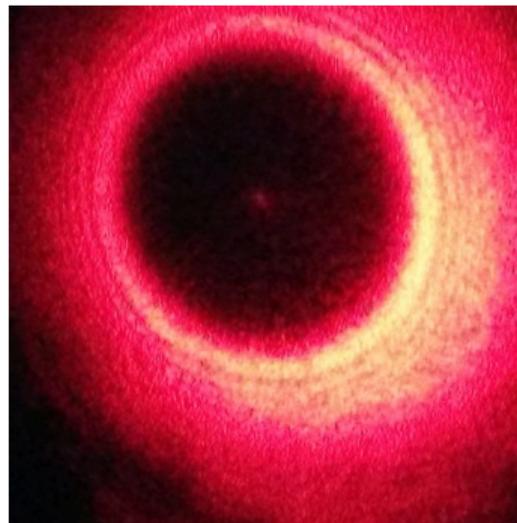
- ▶ **optique ondulatoire** délaissée face à l'**optique (principalement) corpusculaire** de **Newton**
- ▶ renaît et rencontre de **grands succès** avec **Young** (1801), puis **Fresnel** (vers 1815)
  - ⇒ explication des **interférences** (par Young, même si mérite reconnu bien plus tard)
  - ⇒ explication du phénomène de **diffraction** (par Fresnel, prix de l'Académie des sciences 1819)
- ▶ **atouts de Fresnel** : outils modernes de « **mathématiques non-géométriques** » et **Cent-jours**
- ▶ **remarque** : Young inspiré par les **accès de Newton** (qui n'avait pas réussi à expliquer la diffraction)



- ▶ **optique ondulatoire** délaissée face à l'**optique (principalement) corpusculaire** de **Newton**
- ▶ renaît et rencontre de **grands succès** avec **Young** (1801), puis **Fresnel** (vers 1815)
  - ⇒ explication des **interférences** (par Young, même si mérite reconnu bien plus tard)
  - ⇒ explication du phénomène de **diffraction** (par Fresnel, prix de l'Académie des sciences 1819)
- ▶ **atouts de Fresnel** : outils modernes de « **mathématiques non-géométriques** » et **Cent-jours**
- ▶ **remarque** : Young inspiré par les **accès de Newton** (qui n'avait pas réussi à expliquer la diffraction)



une prédiction surprenante de la théorie de Huygens-Fresnel : la **tache de Poisson**



- ▶ **1808, Malus** : découverte de la **polarisation** de la lumière
  - ⇒ lumière réfléchiée par vitre se comporte comme lumière **extra-ordinaire** de **biréfringence**
  - ⇒ idée de l'existence de **2 types de lumière** (deux « polarisations »)

remarque : Malus partisan de la théorie corpusculaire
- ▶ **1811, Arago** : **polarisation chromatique**
  - ⇒ biréfringence de lumière polarisée : deux images de **couleurs complémentaires**
- ▶ **1816, Young** : polarisation signifie que lumière = **onde transverse**
- ▶ **remarque** : même conclusion, indépendamment, par Fresnel en 1821

- ▶ **1808, Malus** : découverte de la **polarisation** de la lumière
  - ⇒ lumière réfléchiée par vitre se comporte comme lumière **extra-ordinaire** de **biréfringence**
  - ⇒ idée de l'existence de **2 types de lumière** (deux « polarisations »)

remarque : Malus partisan de la théorie corpusculaire
- ▶ **1811, Arago** : **polarisation chromatique**
  - ⇒ biréfringence de lumière polarisée : deux images de **couleurs complémentaires**
- ▶ **1816, Young** : polarisation signifie que lumière = **onde transverse**
- ▶ **remarque** : même conclusion, indépendamment, par Fresnel en 1821

- ▶ **1808, Malus** : découverte de la **polarisation** de la lumière
  - ⇒ lumière réfléchiée par vitre se comporte comme lumière **extra-ordinaire** de **biréfringence**
  - ⇒ idée de l'existence de **2 types de lumière** (deux « polarisations »)

remarque : Malus partisan de la théorie corpusculaire
- ▶ **1811, Arago** : **polarisation chromatique**
  - ⇒ biréfringence de lumière polarisée : deux images de **couleurs complémentaires**
- ▶ **1816, Young** : polarisation signifie que lumière = **onde transverse**
- ▶ **remarque** : même conclusion, indépendamment, par Fresnel en 1821

- ▶ **1808, Malus** : découverte de la **polarisation** de la lumière
  - ⇒ lumière réfléchiée par vitre se comporte comme lumière **extra-ordinaire** de **biréfringence**
  - ⇒ idée de l'existence de **2 types de lumière** (deux « polarisations »)
- remarque** : Malus partisan de la théorie corpusculaire
- ▶ **1811, Arago** : **polarisation chromatique**
  - ⇒ biréfringence de lumière polarisée : deux images de **couleurs complémentaires**
- ▶ **1816, Young** : polarisation signifie que lumière = **onde transverse**
- ▶ **remarque** : même conclusion, indépendamment, par Fresnel en 1821

- ▶ **1808, Malus** : découverte de la **polarisation** de la lumière
  - ⇒ lumière réfléchiée par vitre se comporte comme lumière **extra-ordinaire** de **biréfringence**
  - ⇒ idée de l'existence de **2 types de lumière** (deux « polarisations »)**remarque** : Malus partisan de la théorie corpusculaire
- ▶ **1811, Arago** : **polarisation chromatique**
  - ⇒ biréfringence de lumière polarisée : deux images de **couleurs complémentaires**
- ▶ **1816, Young** : polarisation signifie que lumière = **onde transverse**
- ▶ **remarque** : même conclusion, indépendamment, par Fresnel en 1821

- ▶ **1808, Malus** : découverte de la **polarisation** de la lumière
  - ⇒ lumière réfléchiée par vitre se comporte comme lumière **extra-ordinaire** de **biréfringence**
  - ⇒ idée de l'existence de **2 types de lumière** (deux « polarisations »)**remarque** : Malus partisan de la théorie corpusculaire
- ▶ **1811, Arago** : **polarisation chromatique**
  - ⇒ biréfringence de lumière polarisée : deux images de **couleurs complémentaires**
- ▶ **1816, Young** : polarisation signifie que lumière = **onde transverse**
- ▶ **remarque** : même conclusion, indépendamment, par Fresnel en 1821



- ▶ **1808, Malus** : découverte de la **polarisation** de la lumière
  - ⇒ lumière réfléchiée par vitre se comporte comme lumière **extra-ordinaire** de **biréfringence**
  - ⇒ idée de l'existence de **2 types de lumière** (deux « polarisations »)**remarque** : Malus partisan de la théorie corpusculaire
- ▶ **1811, Arago** : **polarisation chromatique**
  - ⇒ biréfringence de lumière polarisée : deux images de **couleurs complémentaires**
- ▶ **1816, Young** : polarisation signifie que lumière = **onde transverse**
- ▶ **remarque** : même conclusion, indépendamment, par Fresnel en 1821



- ▶ **1808, Malus** : découverte de la **polarisation** de la lumière
  - ⇒ lumière réfléchiée par vitre se comporte comme lumière **extra-ordinaire** de **biréfringence**
  - ⇒ idée de l'existence de **2 types de lumière** (deux « polarisations »)**remarque** : Malus partisan de la théorie corpusculaire
- ▶ **1811, Arago** : **polarisation chromatique**
  - ⇒ biréfringence de lumière polarisée : deux images de **couleurs complémentaires**
- ▶ **1816, Young** : polarisation signifie que lumière = **onde transverse**
- ▶ **remarque** : même conclusion, indépendamment, par Fresnel en 1821



## Parenthèse physique : propriétés d'une « onde pure »

- ▶ fréquence  $f$  = nombre de répétitions par seconde  
⇒ fréquence plus élevée à droite
- ▶ distance entre maxima = longueur d'onde  $\lambda$   
⇒ longueur d'onde plus petite à droite
- ▶ liées par la vitesse :  $c = \lambda f$   
⇒ même vitesse ici

(exemples : son dans l'air  $\simeq 330$  m/s;  
lumière dans le vide  $\simeq 300\,000$  km/s)

## Parenthèse physique : propriétés d'une « onde pure »

**onde monochromatique** caractérisée par :

- ▶ fréquence  $f$  = nombre de répétitions par seconde  
⇒ **fréquence plus élevée** à droite
- ▶ distance entre maxima = **longueur d'onde**  $\lambda$   
⇒ **longueur d'onde plus petite** à droite
- ▶ liées par la **vitesse** :  $c = \lambda f$   
⇒ **même vitesse** ici

(exemples : **son** dans l'air  $\simeq 330$  m/s;  
**lumière** dans le vide  $\simeq 300\,000$  km/s)

## Parenthèse physique : propriétés d'une « onde pure »

**onde monochromatique** caractérisée par :

- ▶ fréquence  $f$  = nombre de répétitions par seconde  
⇒ fréquence plus élevée à droite
- ▶ distance entre maxima = longueur d'onde  $\lambda$   
⇒ longueur d'onde plus petite à droite
- ▶ liées par la vitesse :  $c = \lambda f$   
⇒ même vitesse ici

(exemples : son dans l'air  $\simeq 330$  m/s;  
lumière dans le vide  $\simeq 300\,000$  km/s)

## Parenthèse physique : propriétés d'une « onde pure »

**onde monochromatique** caractérisée par :

- ▶ fréquence  $f$  = nombre de répétitions par seconde

⇒ **fréquence plus élevée** à droite

- ▶ distance entre maxima = longueur d'onde  $\lambda$

⇒ **longueur d'onde plus petite** à droite

- ▶ liées par la vitesse :  $c = \lambda f$

⇒ **même vitesse** ici

(exemples : son dans l'air  $\simeq 330$  m/s;

lumière dans le vide  $\simeq 300\,000$  km/s)

## Parenthèse physique : propriétés d'une « onde pure »

**onde monochromatique** caractérisée par :

- ▶ fréquence  $f$  = nombre de répétitions par seconde
  - ⇒ **fréquence plus élevée** à droite  
(son plus **aigu**, ou couleur plus **bleue**)
- ▶ distance entre maxima = longueur d'onde  $\lambda$ 
  - ⇒ **longueur d'onde plus petite** à droite
- ▶ liées par la vitesse :  $c = \lambda f$ 
  - ⇒ **même vitesse** ici

(exemples : son dans l'air  $\simeq 330$  m/s;  
lumière dans le vide  $\simeq 300\,000$  km/s)

## Parenthèse physique : propriétés d'une « onde pure »

**onde monochromatique** caractérisée par :

- ▶ fréquence  $f$  = nombre de répétitions par seconde
  - ⇒ **fréquence plus élevée** à droite  
(son plus **aigu**, ou couleur plus **bleue**)
- ▶ distance entre maxima = **longueur d'onde**  $\lambda$ 
  - ⇒ **longueur d'onde plus petite** à droite
- ▶ liées par la **vitesse** :  $c = \lambda f$ 
  - ⇒ **même vitesse** ici

(exemples : **son** dans l'air  $\simeq 330$  m/s;  
**lumière** dans le vide  $\simeq 300\,000$  km/s)

## Parenthèse physique : propriétés d'une « onde pure »

**onde monochromatique** caractérisée par :

- ▶ fréquence  $f$  = nombre de répétitions par seconde
  - ⇒ **fréquence plus élevée** à droite  
(son plus **aigu**, ou couleur plus **bleue**)
- ▶ distance entre maxima = **longueur d'onde**  $\lambda$ 
  - ⇒ **longueur d'onde plus petite** à droite
- ▶ liées par la **vitesse** :  $c = \lambda f$ 
  - ⇒ **même vitesse** ici

(exemples : **son** dans l'air  $\simeq 330$  m/s;  
**lumière** dans le vide  $\simeq 300\,000$  km/s)

## Parenthèse physique : propriétés d'une « onde pure »

**onde monochromatique** caractérisée par :

- ▶ fréquence  $f$  = nombre de répétitions par seconde
  - ⇒ **fréquence plus élevée** à droite  
(son plus **aigu**, ou couleur plus **bleue**)
- ▶ distance entre maxima = **longueur d'onde**  $\lambda$ 
  - ⇒ **longueur d'onde plus petite** à droite
- ▶ liées par la **vitesse** :  $c = \lambda f$ 
  - ⇒ **même vitesse** ici

(exemples : son dans l'air  $\simeq 330$  m/s;  
lumière dans le vide  $\simeq 300\,000$  km/s)

## Parenthèse physique : propriétés d'une « onde pure »

**onde monochromatique** caractérisée par :

- ▶ fréquence  $f$  = nombre de répétitions par seconde
  - ⇒ **fréquence plus élevée** à droite  
(son plus **aigu**, ou couleur plus **bleue**)
- ▶ distance entre maxima = **longueur d'onde**  $\lambda$ 
  - ⇒ **longueur d'onde plus petite** à droite
- ▶ liées par la **vitesse** :  $c = \lambda f$ 
  - ⇒ **même vitesse** ici

(exemples : son dans l'air  $\simeq 330$  m/s;  
lumière dans le vide  $\simeq 300\,000$  km/s)

## Parenthèse physique : propriétés d'une « onde pure »

**onde monochromatique** caractérisée par :

- ▶ fréquence  $f$  = nombre de répétitions par seconde
  - ⇒ **fréquence plus élevée** à droite  
(son plus **aigu**, ou couleur plus **bleue**)
- ▶ distance entre maxima = **longueur d'onde**  $\lambda$ 
  - ⇒ **longueur d'onde plus petite** à droite
- ▶ liées par la **vitesse** :  $c = \lambda f$ 
  - ⇒ **même vitesse** ici

(**exemples** : **son** dans l'air  $\simeq 330$  m/s;  
**lumière** dans le vide  $\simeq 300\,000$  km/s)

## Parenthèse physique : propriétés d'une « onde pure »

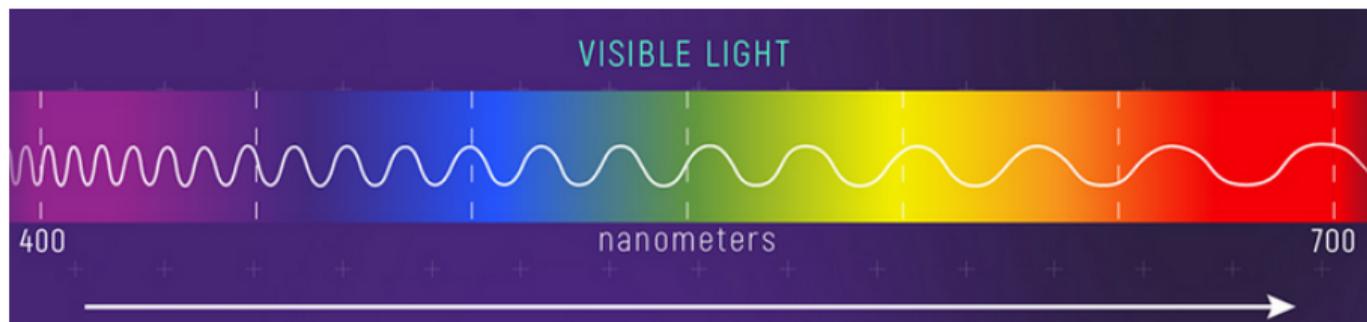
**onde monochromatique** caractérisée par :

- ▶ fréquence  $f$  = nombre de répétitions par seconde
    - ⇒ **fréquence plus élevée** à droite  
(son plus **aigu**, ou couleur plus **bleue**)
  - ▶ distance entre maxima = **longueur d'onde**  $\lambda$ 
    - ⇒ **longueur d'onde plus petite** à droite
  - ▶ liées par la **vitesse** :  $c = \lambda f$ 
    - ⇒ **même vitesse** ici
- (**exemples** : **son** dans l'air  $\simeq 330$  m/s;  
**lumière** dans le vide  $\simeq 300\,000$  km/s)

**remarque** : ondes sonores **longitudinales**, mais ondes lumineuses **transverses**

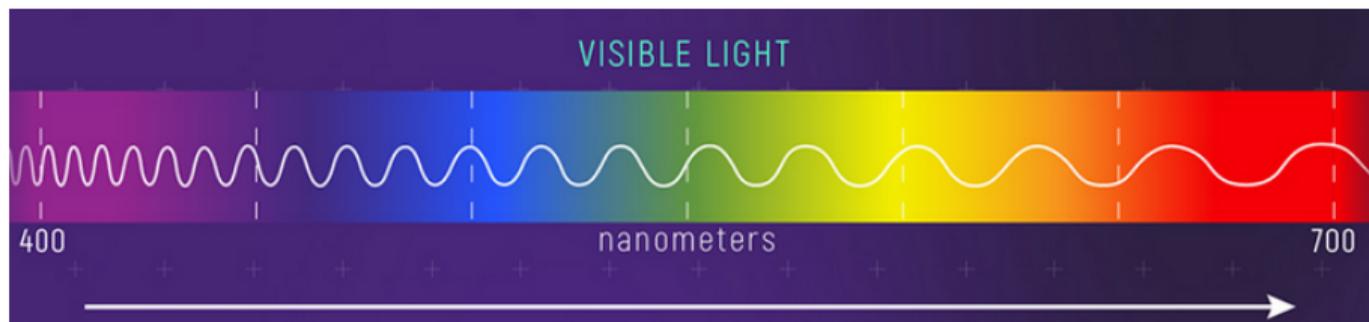
## Young et les couleurs (vers 1800) :

- ▶ **idée (inspirée par Newton)** : lien entre **couleur** et **longueur d'onde** (ou fréquence)
- ▶ **mesure** : **longueur d'onde** de lumière  $\implies$  **380** à **780** nm ( $< 0,001$  mm)  
 $\implies$  explication de la **directionnalité de la vue**
- ▶ **découverte** : **3 couleurs** suffisent pour faire du blanc : **rouge, vert et bleu** (primaires **additives**)  
 $\implies$  existence de **trois types de récepteurs** dans la **rétine** d'un **œil humain** ? (cf. **cônes**)
- ▶ **1802** : arrivée de la **Pierre de Rosette** au **British Museum** (premiers travaux de Young en 1813)



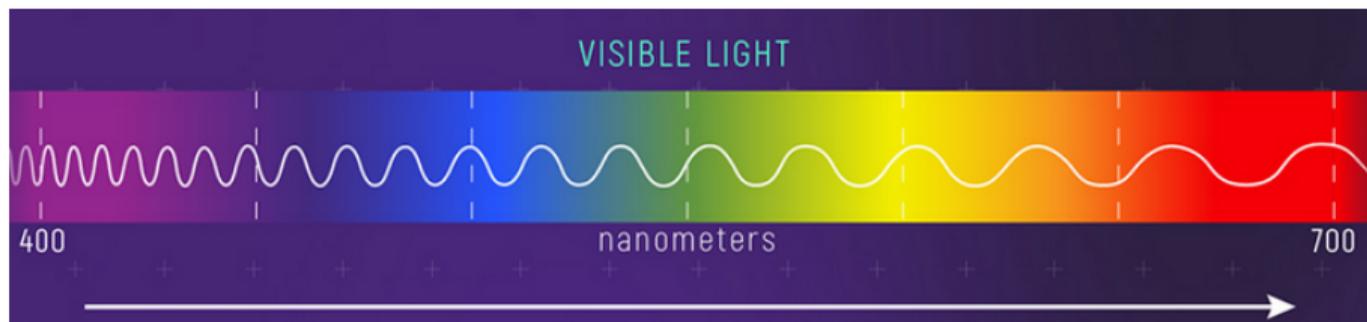
## Young et les couleurs (vers 1800) :

- ▶ **idée (inspirée par Newton)** : lien entre **couleur** et **longueur d'onde** (ou fréquence)
- ▶ **mesure** : **longueur d'onde** de **lumière**  $\implies$  **380** à **780** nm ( $< 0,001$  mm)
  - $\implies$  explication de la **directionnalité de la vue**
- ▶ **découverte** : **3 couleurs** suffisent pour faire du blanc : **rouge, vert et bleu** (primaires **additives**)
  - $\implies$  existence de **trois types de récepteurs** dans la **rétine** d'un **œil humain** ? (cf. **cônes**)
- ▶ **1802** : arrivée de la **Pierre de Rosette** au **British Museum** (premiers travaux de Young en 1813)



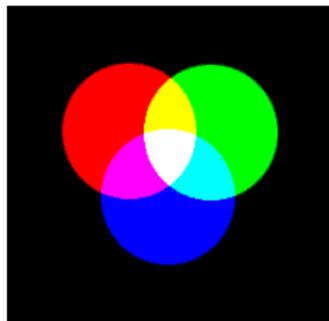
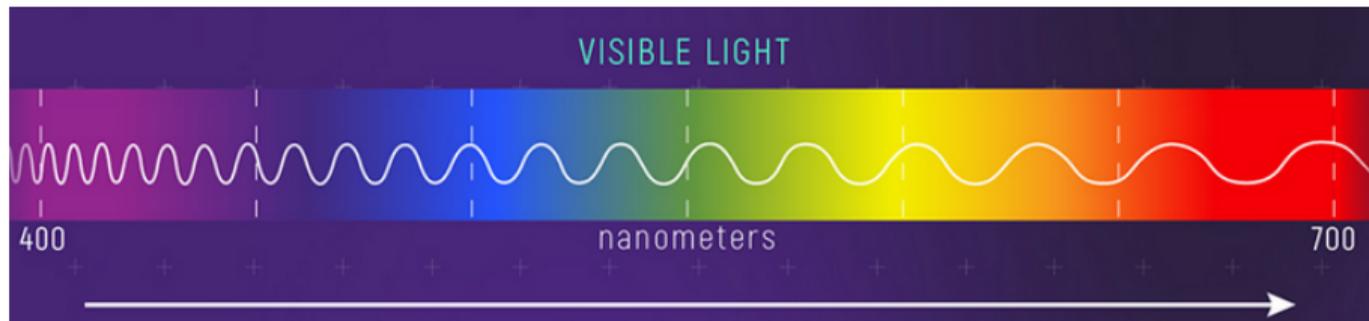
## Young et les couleurs (vers 1800) :

- ▶ **idée (inspirée par Newton)** : lien entre **couleur** et **longueur d'onde** (ou fréquence)
- ▶ **mesure** : **longueur d'onde** de **lumière**  $\implies$  **380** à **780** nm ( $< 0,001$  mm)
  - $\implies$  explication de la **directionnalité de la vue**
- ▶ **découverte** : **3 couleurs** suffisent pour faire du blanc : **rouge, vert et bleu** (primaires **additives**)
  - $\implies$  existence de **trois types de récepteurs** dans la **rétine** d'un **œil humain** ? (cf. **cônes**)
- ▶ **1802** : arrivée de la **Pierre de Rosette** au **British Museum** (premiers travaux de Young en 1813)



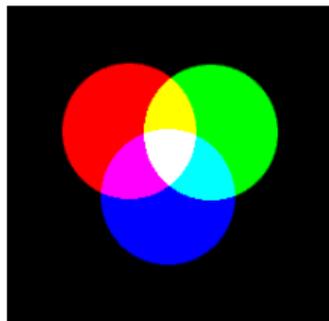
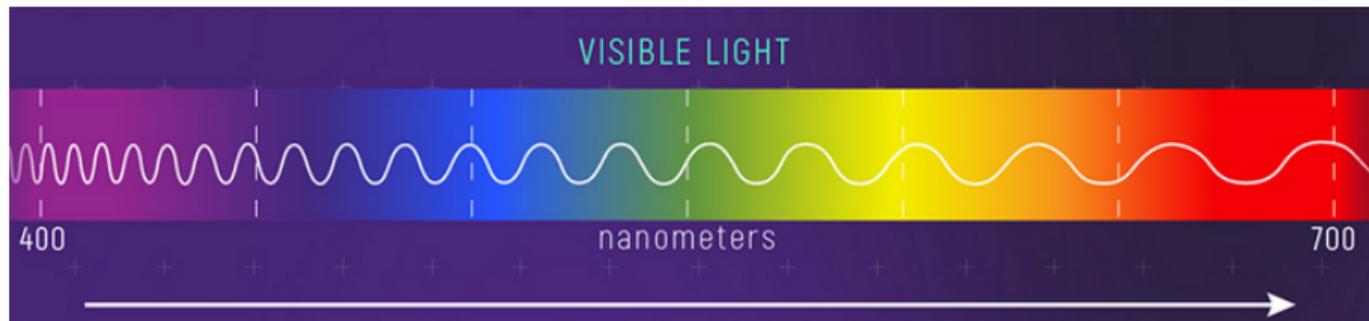
## Young et les couleurs (vers 1800) :

- ▶ **idée (inspirée par Newton)** : lien entre **couleur** et **longueur d'onde** (ou fréquence)
- ▶ **mesure** : **longueur d'onde** de **lumière**  $\implies$  **380** à **780** nm ( $< 0,001$  mm)  
 $\implies$  explication de la **directionnalité de la vue**
- ▶ **découverte** : **3 couleurs** suffisent pour faire du blanc : **rouge**, **vert** et **bleu** (primaires **additives**)  
 $\implies$  existence de **trois types de récepteurs** dans la **rétine** d'un **œil humain** ? (cf. **cônes**)
- ▶ **1802** : arrivée de la **pierre de Rosette** au **British Museum** (premiers travaux de Young en 1813)



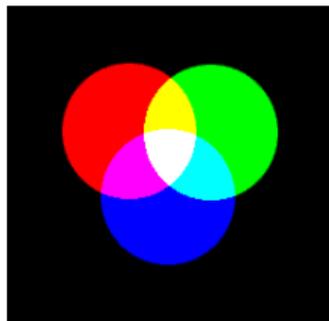
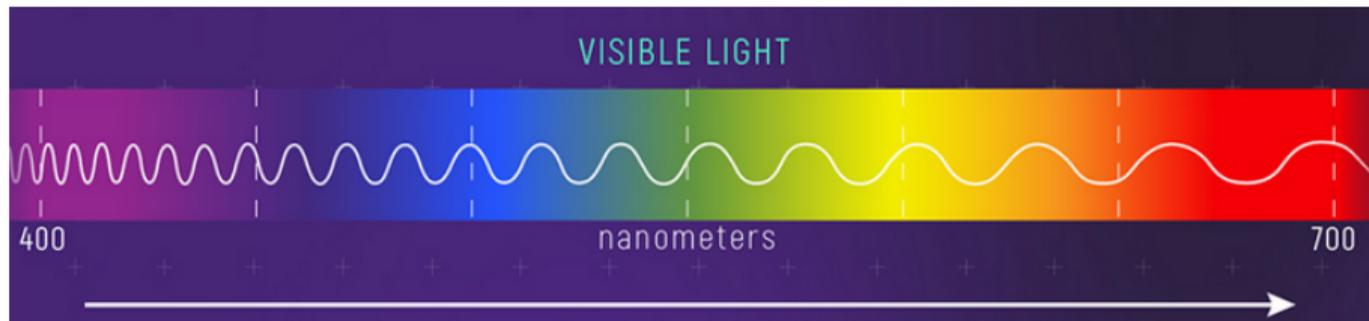
## Young et les couleurs (vers 1800) :

- ▶ **idée (inspirée par Newton)** : lien entre **couleur** et **longueur d'onde** (ou fréquence)
- ▶ **mesure** : **longueur d'onde** de **lumière**  $\implies$  **380** à **780** nm ( $< 0,001$  mm)  
 $\implies$  explication de la **directionnalité de la vue**
- ▶ **découverte** : **3 couleurs** suffisent pour faire du blanc : **rouge**, **vert** et **bleu** (primaires **additives**)  
 $\implies$  existence de **trois types de récepteurs** dans la **rétine** d'un **œil humain**? (cf. **cônes**)
- ▶ **1802** : arrivée de la **Pierre de Rosette** au **British Museum** (premiers travaux de Young en 1813)



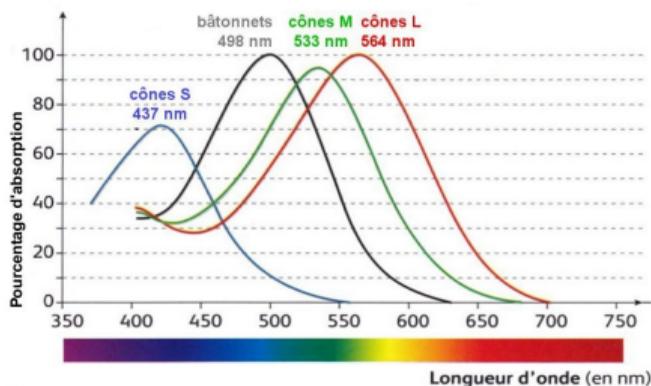
## Young et les couleurs (vers 1800) :

- ▶ **idée (inspirée par Newton)** : lien entre **couleur** et **longueur d'onde** (ou fréquence)
- ▶ **mesure** : **longueur d'onde** de **lumière**  $\implies$  **380** à **780** nm ( $< 0,001$  mm)  
 $\implies$  explication de la **directionnalité de la vue**
- ▶ **découverte** : **3 couleurs** suffisent pour faire du blanc : **rouge**, **vert** et **bleu** (primaires **additives**)  
 $\implies$  existence de **trois types de récepteurs** dans la **rétine** d'un **œil humain**? (cf. **cônes**)
- ▶ **1802** : arrivée de la **Pierre de Rosette** au **British Museum** (premiers travaux de Young en 1813)



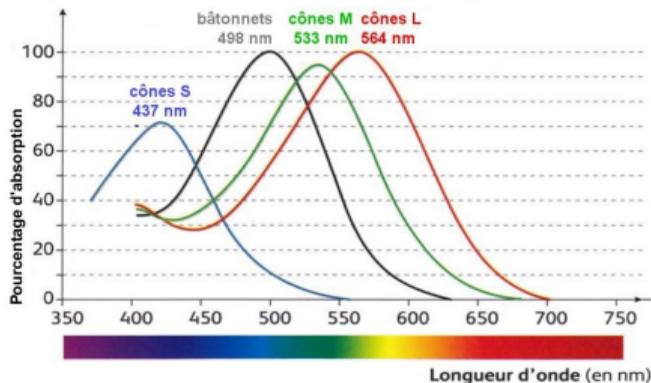
## Quelques développements ultérieurs (**biologie**) :

- ▶ **1850-60, Helmholtz** : amélioration du modèle de la **vision humaine**
  - ⇒ récepteurs à **courte, moyenne** et **grande** longueurs d'onde
  - ⇒ compréhension des notions de complémentarités **additive** et **soustractive**
- ▶ **1854, Bergmann** : observation des **cônes** (vision diurne) et des **bâtonnets** (vision nocturne)
- ▶ **1892, Hering** : théorie de l'opposition des paires rouge/vert ; jaune/bleu et blanc/noir
  - ⇒ **trichromatisme** des cônes et **opposition** lors de l'analyse ultérieure des signaux (xx<sup>e</sup> siècle)
- ▶ **années 1990** : **cellules ganglionnaires rétiniennes intrinsèquement photosensibles**
  - ⇒ **réflexes pupillaires** et **rythme circadien** (sensibilité au **bleu**)



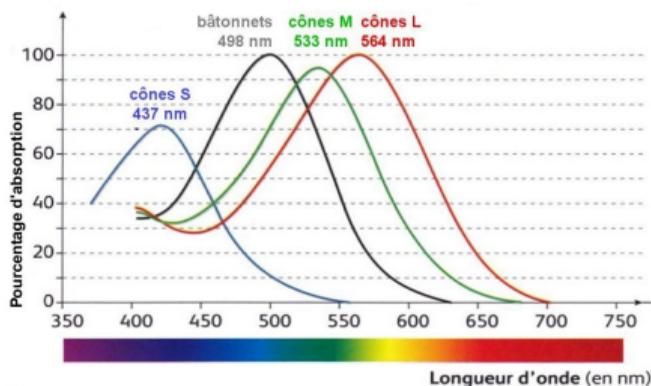
## Quelques développements ultérieurs (**biologie**) :

- ▶ **1850-60, Helmholtz** : amélioration du modèle de la **vision humaine**
  - ⇒ récepteurs à **courte, moyenne** et **grande** longueurs d'onde
  - ⇒ compréhension des notions de complémentarités **additive** et **soustractive**
- ▶ **1854, Bergmann** : observation des **cônes** (vision diurne) et des **bâtonnets** (vision nocturne)
- ▶ **1892, Hering** : théorie de l'opposition des paires rouge/vert ; jaune/bleu et blanc/noir
  - ⇒ **trichromatisme** des cônes et **opposition** lors de l'analyse ultérieure des signaux (xx<sup>e</sup> siècle)
- ▶ **années 1990** : **cellules ganglionnaires rétiniennes intrinsèquement photosensibles**
  - ⇒ **réflexes pupillaires** et **rythme circadien** (sensibilité au **bleu**)



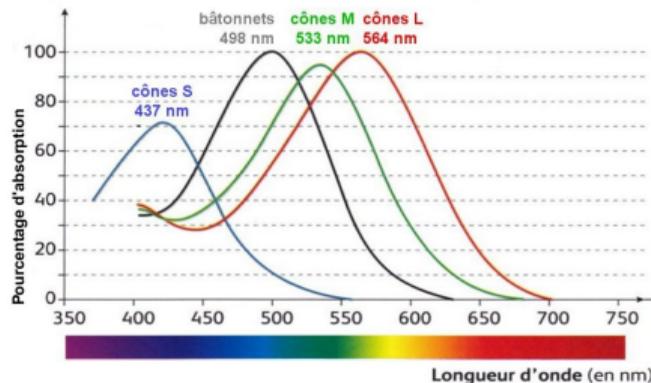
## Quelques développements ultérieurs (**biologie**) :

- ▶ **1850-60, Helmholtz** : amélioration du modèle de la **vision humaine**
  - ⇒ récepteurs à **courte, moyenne** et **grande** longueurs d'onde
  - ⇒ compréhension des notions de complémentarités **additive** et **soustractive**
- ▶ **1854, Bergmann** : observation des **cônes** (vision diurne) et des **bâtonnets** (vision nocturne)
- ▶ **1892, Hering** : théorie de l'opposition des paires rouge/vert ; jaune/bleu et blanc/noir
  - ⇒ **trichromatisme** des cônes et **opposition** lors de l'analyse ultérieure des signaux (xx<sup>e</sup> siècle)
- ▶ **années 1990** : **cellules ganglionnaires rétiniennes intrinsèquement photosensibles**
  - ⇒ **réflexes pupillaires** et **rythme circadien** (sensibilité au **bleu**)



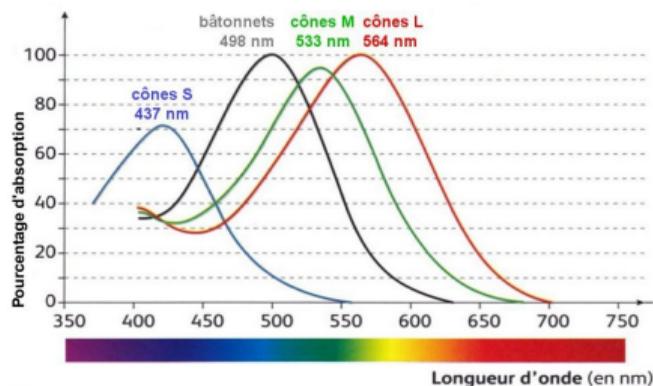
## Quelques développements ultérieurs (**biologie**) :

- ▶ **1850-60, Helmholtz** : amélioration du modèle de la **vision humaine**
  - ⇒ récepteurs à **courte**, **moyenne** et **grande** longueurs d'onde
  - ⇒ compréhension des notions de complémentarités **additive** et **soustractive**
- ▶ **1854, Bergmann** : observation des **cônes** (vision diurne) et des **bâtonnets** (vision nocturne)
- ▶ **1892, Hering** : théorie de l'opposition des paires rouge/vert ; jaune/bleu et blanc/noir
  - ⇒ **trichromatisme** des cônes et **opposition** lors de l'analyse ultérieure des signaux (xx<sup>e</sup> siècle)
- ▶ **années 1990** : **cellules ganglionnaires rétiniennes intrinsèquement photosensibles**
  - ⇒ **réflexes pupillaires** et **rythme circadien** (sensibilité au bleu)



## Quelques développements ultérieurs (**biologie**) :

- ▶ **1850-60, Helmholtz** : amélioration du modèle de la **vision humaine**
  - ⇒ récepteurs à **courte**, **moyenne** et **grande** longueurs d'onde
  - ⇒ compréhension des notions de complémentarités **additive** et **soustractive**
- ▶ **1854, Bergmann** : observation des **cônes** (vision diurne) et des **bâtonnets** (vision nocturne)
- ▶ **1892, Hering** : théorie de l'opposition des paires rouge/vert ; jaune/bleu et blanc/noir
  - ⇒ **trichromatisme** des cônes et **opposition** lors de l'analyse ultérieure des signaux (xx<sup>e</sup> siècle)
- ▶ **années 1990** : **cellules ganglionnaires rétiniennes intrinsèquement photosensibles**
  - ⇒ **réflexes pupillaires** et **rythme circadien** (sensibilité au **bleu**)

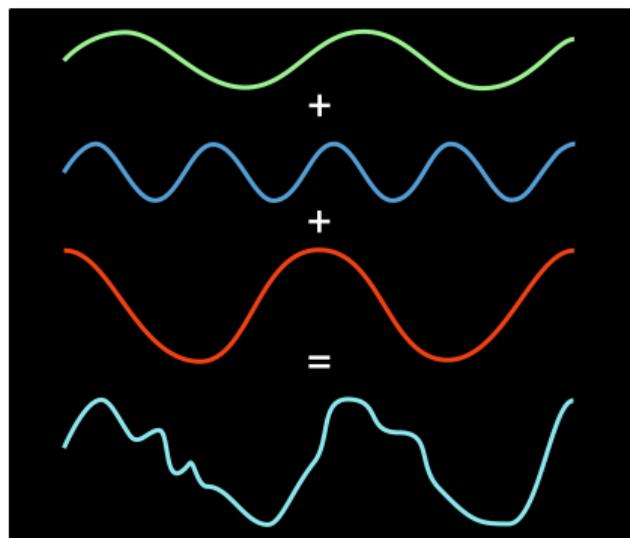


## Propriété mathématique :

« *Toute onde sophistiquée est la somme d'ondes élémentaires (pures)* »  
(cf. « analyse spectrale » ou « de Fourier »)

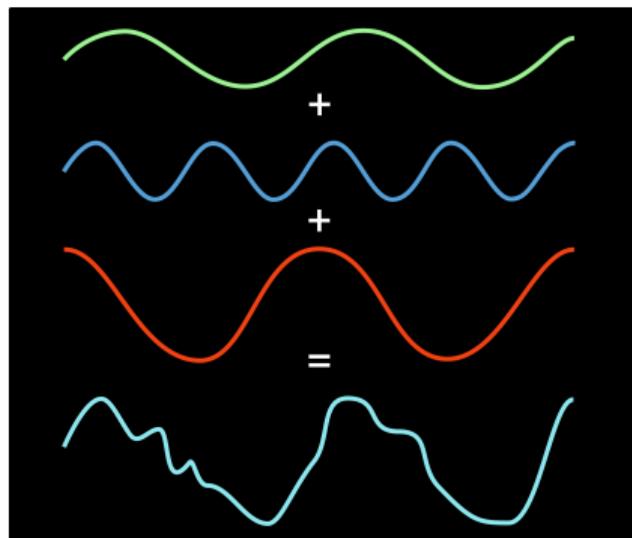
## Propriété mathématique :

« *Toute onde sophistiquée est la somme d'ondes élémentaires (pures)* »  
(cf. « analyse spectrale » ou « de Fourier »)



## Propriété mathématique :

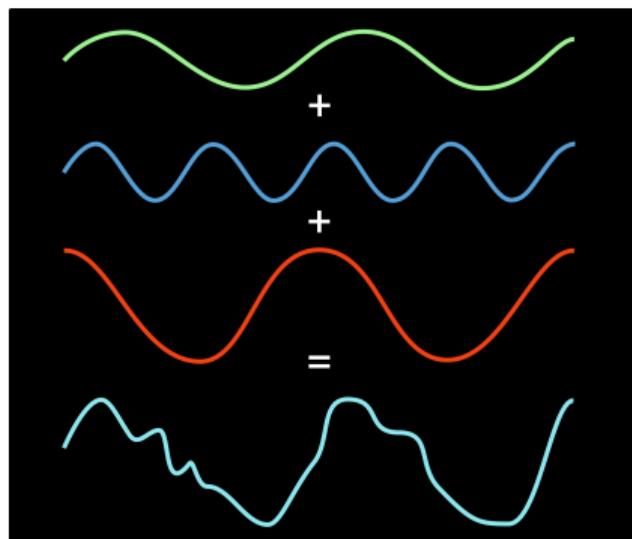
« *Toute onde sophistiquée est la somme d'ondes élémentaires (pures)* »  
(cf. « analyse spectrale » ou « de Fourier »)



⇒ notion de **spectre**

## Propriété mathématique :

« *Toute onde sophistiquée est la somme d'ondes élémentaires (pures)* »  
 (cf. « analyse spectrale » ou « de Fourier »)



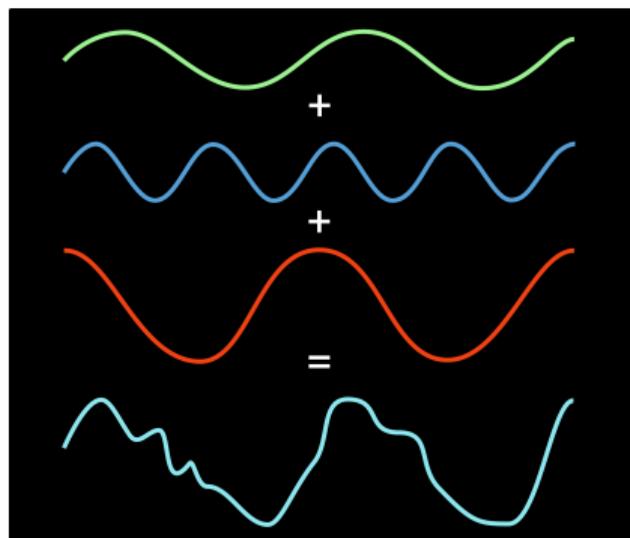
⇒ notion de **spectre**

### illustrations :

- ▶ **son/bruit** = somme de **notes pures** (et **harmoniques**)
- ▶ **lumière blanche** = somme de **couleurs spectrales**

## Propriété mathématique :

« *Toute onde sophistiquée est la somme d'ondes élémentaires (pures)* »  
 (cf. « analyse spectrale » ou « de Fourier »)

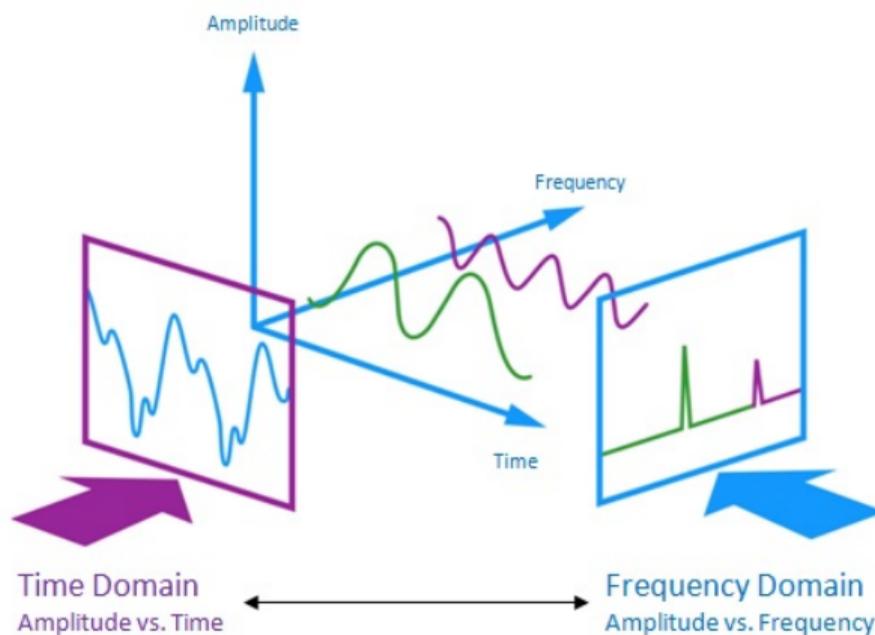


⇒ notion de **spectre**

### illustrations :

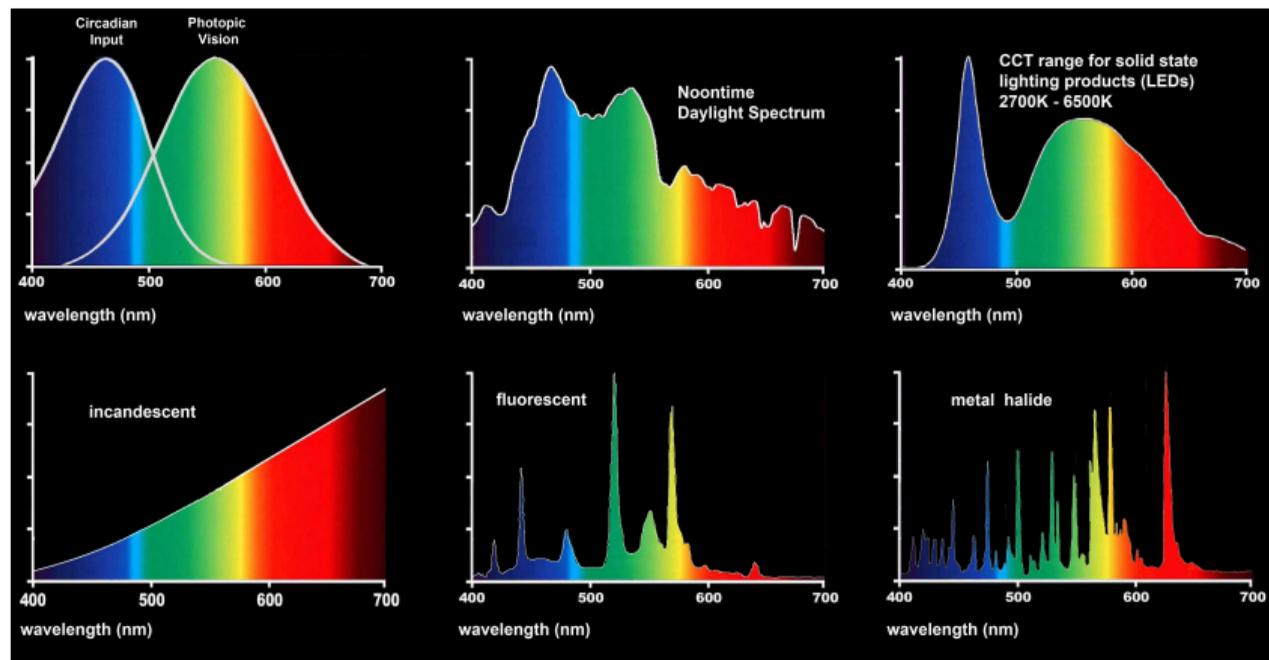
- ▶ **son/bruit** = somme de **notes pures** (et **harmoniques**)
- ▶ **lumière blanche** = somme de **couleurs spectrales**

représentation spectrale : amplitude en fonction de la fréquence (ou longueur d'onde)



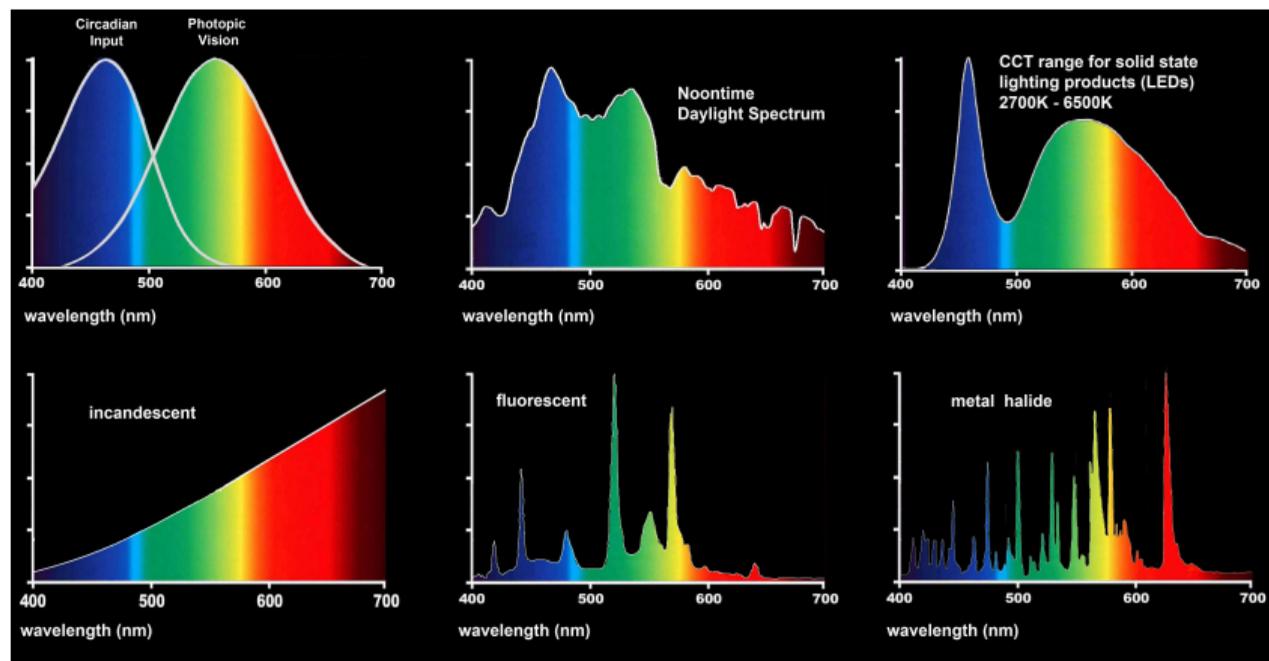
## Exemples de spectres lumineux (dont « spectres d'émission ») :

lumière naturelle (*noontime*), LED, ampoule à filament (*incandescent*), tube fluorescent (« néon ») et lampe HMI (*metal halide*)



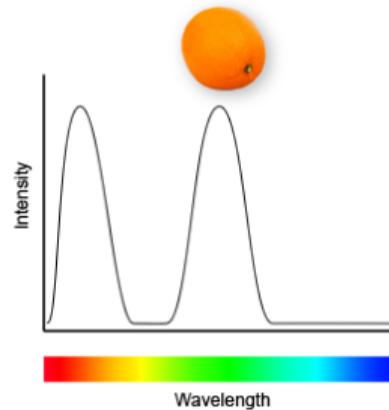
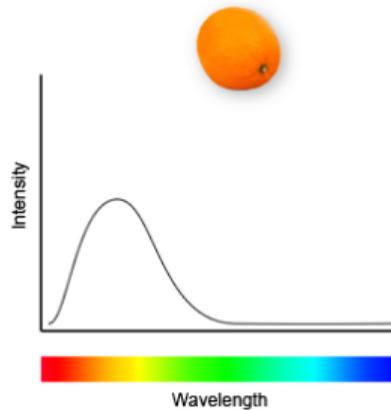
## Exemples de spectres lumineux (dont « spectres d'émission ») :

lumière naturelle (*noontime*), LED, ampoule à filament (*incandescent*), tube fluorescent (« néon ») et lampe HMI (*metal halide*)

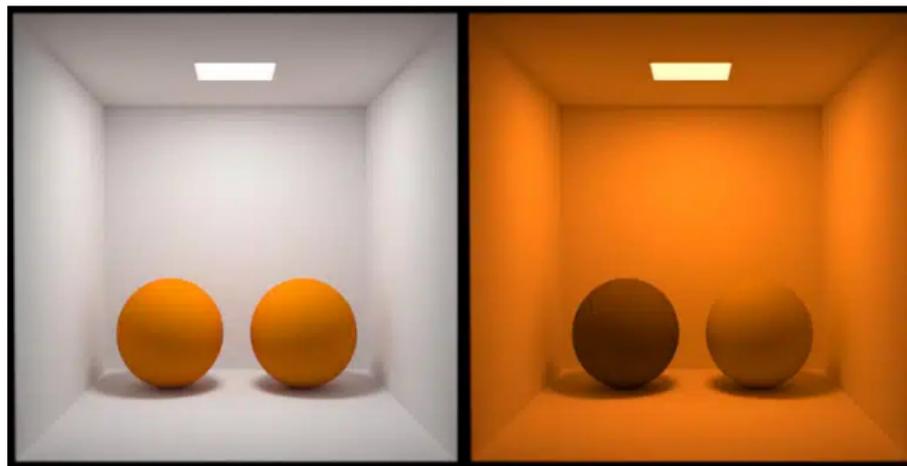


remarque : spectres **continus** ou **discontinus** (avec pics)

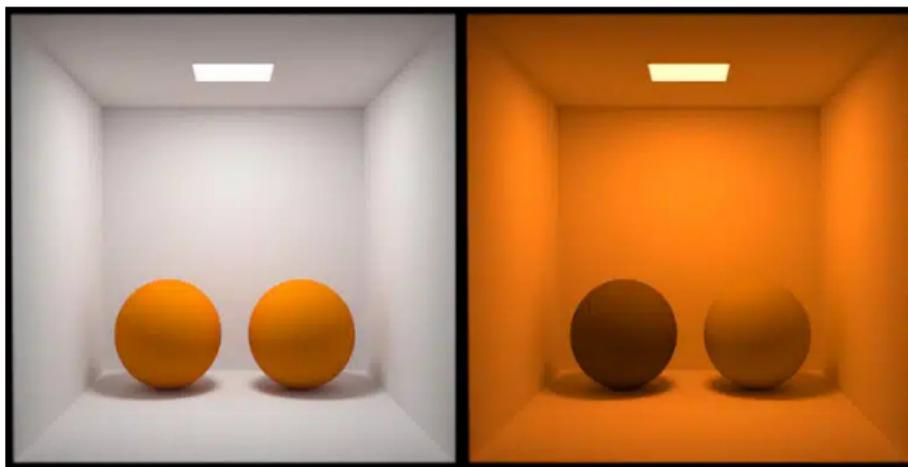
# Métamérisme : orange pur ou composé



## Métamérisme : orange pur ou composé



## Métamérisme : orange pur ou composé

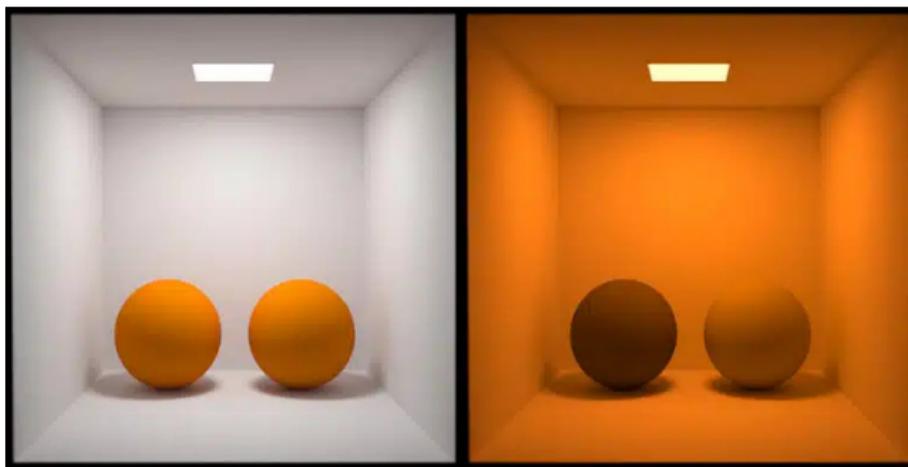


⇒ pour déterminer la **couleur observée d'un objet**, besoin de considérer :

- ▶ le **spectre lumineux** (« éclairage »)
- ▶ les **spectres de réflexion** ou/et d'**émission** de l'objet
- ▶ le **spectre d'absorption** d'un éventuel milieu intermédiaire
- ▶ la **sensibilité spectrale** d'un œil (ou du capteur)

⇒ nature de l'**interaction lumière/matière** ?

## Métamérisme : orange pur ou composé

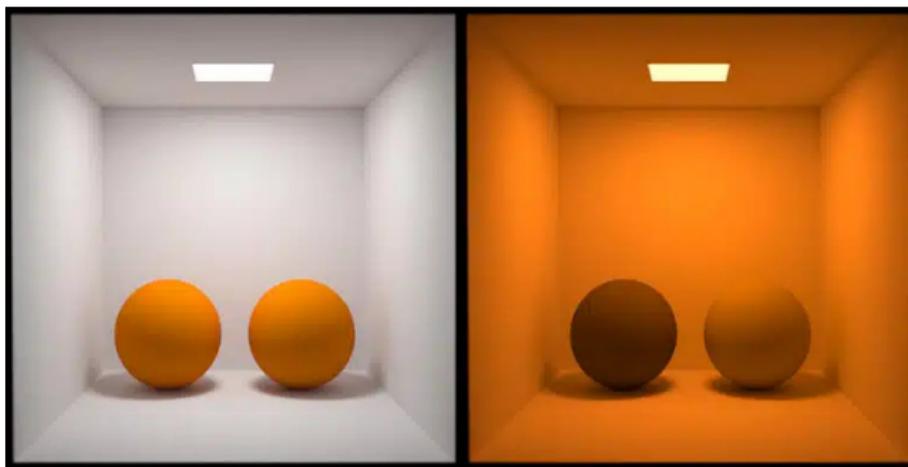


⇒ pour déterminer la **couleur observée d'un objet**, besoin de considérer :

- ▶ le **spectre lumineux** (« éclairage »)
- ▶ les **spectres de réflexion** ou/et d'**émission** de l'objet
- ▶ le **spectre d'absorption** d'un éventuel milieu intermédiaire
- ▶ la **sensibilité spectrale** d'un œil (ou du capteur)

⇒ nature de l'**interaction lumière/matière** ?

## Métamérisme : orange pur ou composé

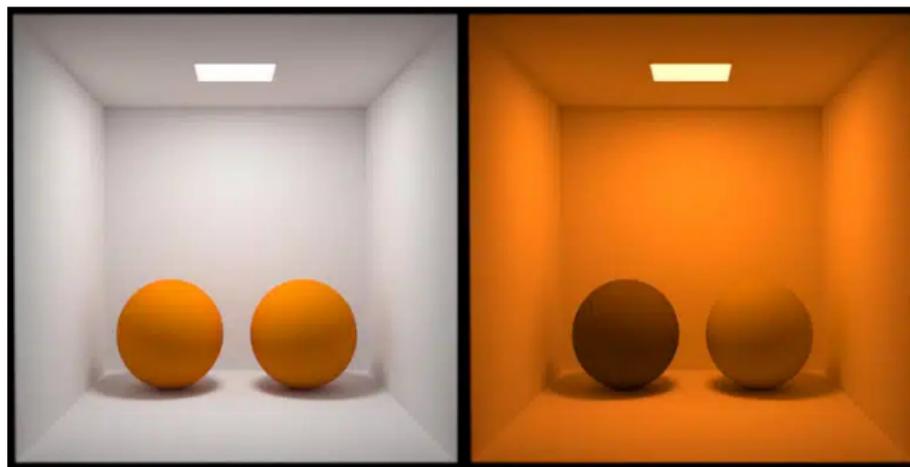


⇒ pour déterminer la **couleur observée d'un objet**, besoin de considérer :

- ▶ le **spectre lumineux** (« éclairage »)
- ▶ les **spectres de réflexion** ou/et d'**émission** de l'objet
- ▶ le **spectre d'absorption** d'un éventuel milieu intermédiaire
- ▶ la **sensibilité spectrale** d'un œil (ou du capteur)

⇒ nature de l'**interaction lumière/matière** ?

## Métamérisme : orange pur ou composé

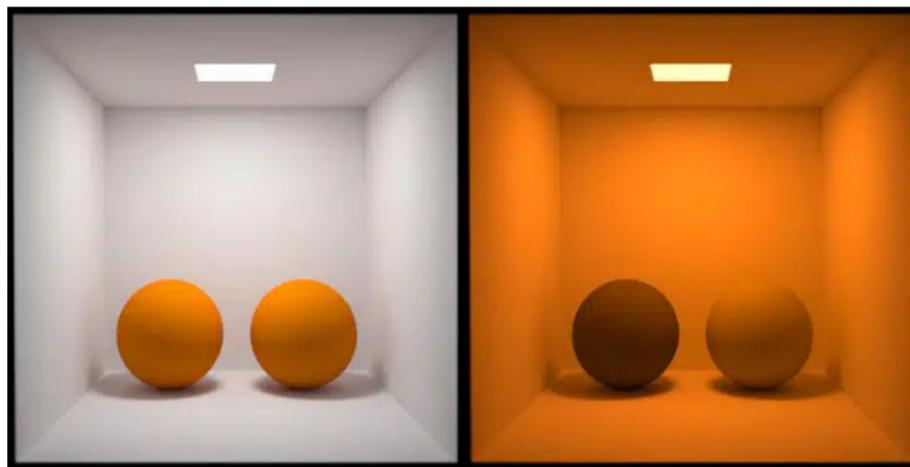


⇒ pour déterminer la **couleur observée d'un objet**, besoin de considérer :

- ▶ le **spectre lumineux** (« éclairage »)
- ▶ les **spectres de réflexion** ou/et d'**émission** de l'objet
- ▶ le **spectre d'absorption** d'un éventuel milieu intermédiaire
- ▶ la **sensibilité spectrale** d'un œil (ou du capteur)

⇒ nature de l'**interaction lumière/matière** ?

## Métamérisme : orange pur ou composé

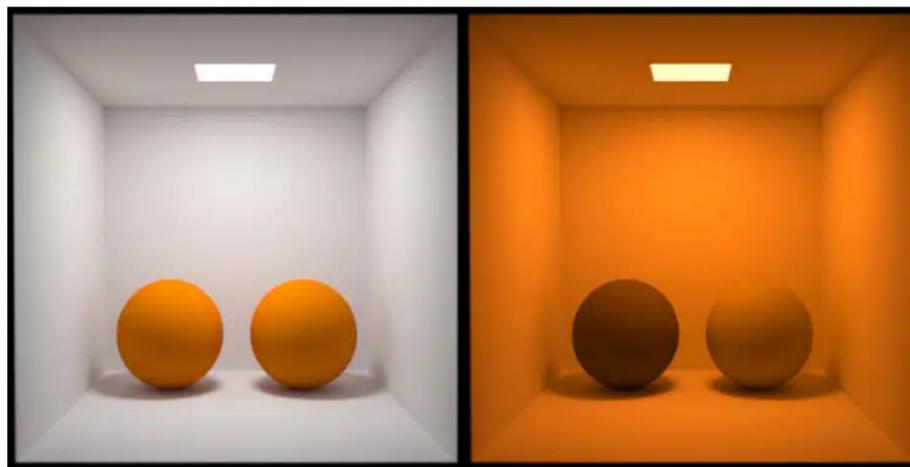


⇒ pour déterminer la **couleur observée d'un objet**, besoin de considérer :

- ▶ le **spectre lumineux** (« éclairage »)
- ▶ les **spectres de réflexion** ou/et d'**émission** de l'objet
- ▶ le **spectre d'absorption** d'un éventuel milieu intermédiaire
- ▶ la **sensibilité spectrale** d'un œil (ou du capteur)

⇒ nature de l'**interaction lumière/matière** ?

## Métamérisme : orange pur ou composé

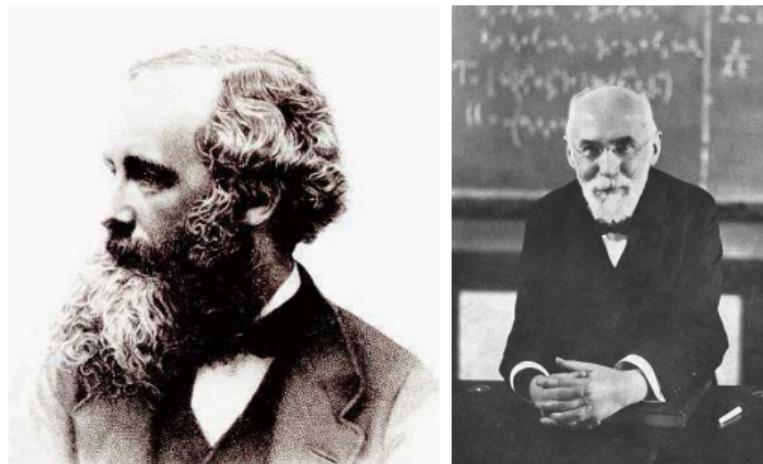


⇒ pour déterminer la **couleur observée d'un objet**, besoin de considérer :

- ▶ le **spectre lumineux** (« éclairage »)
- ▶ les **spectres de réflexion** ou/et d'**émission** de l'objet
- ▶ le **spectre d'absorption** d'un éventuel milieu intermédiaire
- ▶ la **sensibilité spectrale** d'un œil (ou du capteur)

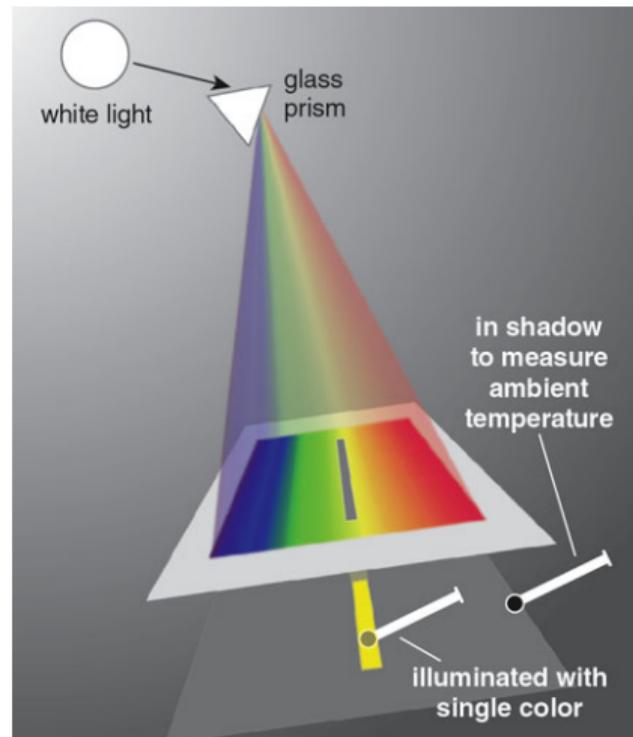
⇒ nature de l'**interaction lumière/matière** ?

## IV : Couleurs invisibles et ondes électromagnétiques



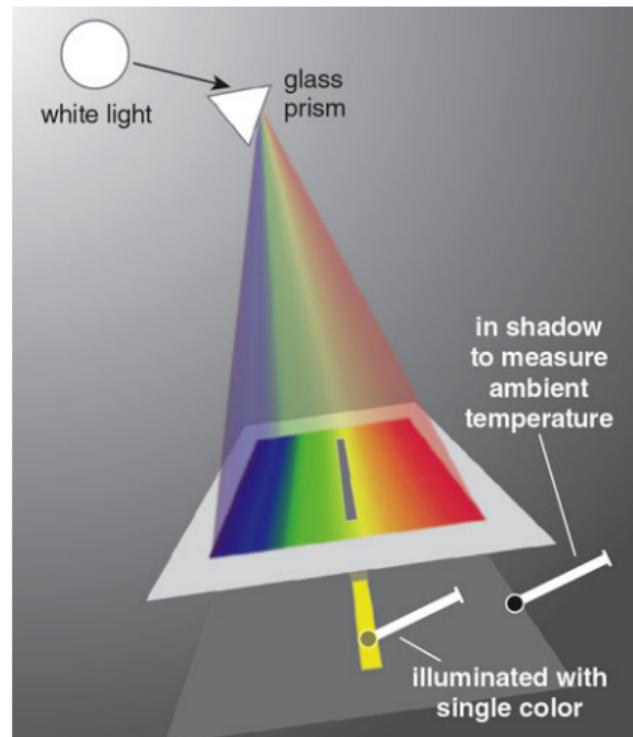
## Quelques surprises du prisme :

- ▶ **1800, Herschel** :  
étude de la « **température** du rayonnement » solaire  
  
⇒ « **rouge solaire plus chaud** que **bleu solaire** »  
  
⇒ découverte de la **lumière infrarouge**
- ▶ **1801, Ritter** : lumière invisible **au-delà du violet** mise en évidence par son **action chimique**  
  
⇒ **lumière ultraviolette**



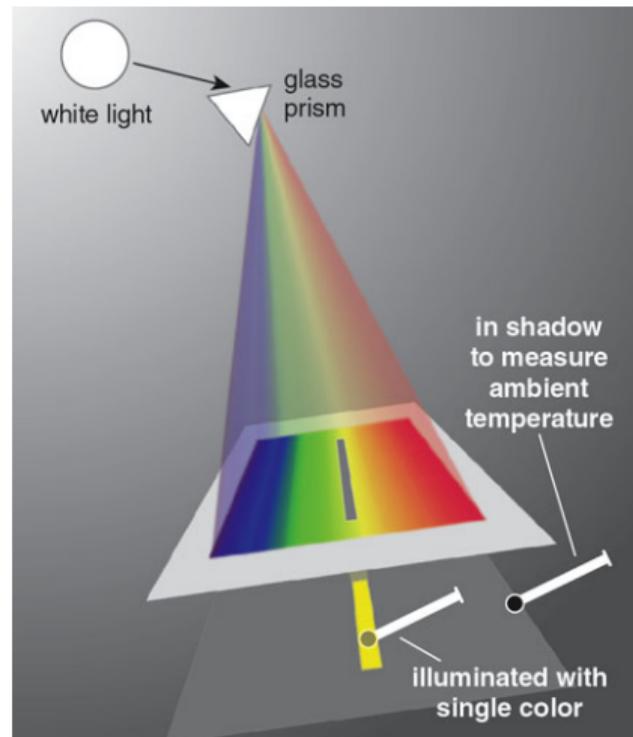
## Quelques surprises du prisme :

- ▶ **1800, Herschel** :  
étude de la « **température** du rayonnement » solaire,  
en fonction de la **couleur**  
⇒ « **rouge solaire plus chaud** que **bleu solaire** »
- ⇒ découverte de la **lumière infrarouge**
- ▶ **1801, Ritter** : lumière invisible **au-delà du violet** mise en  
évidence par son **action chimique**  
⇒ **lumière ultraviolette**



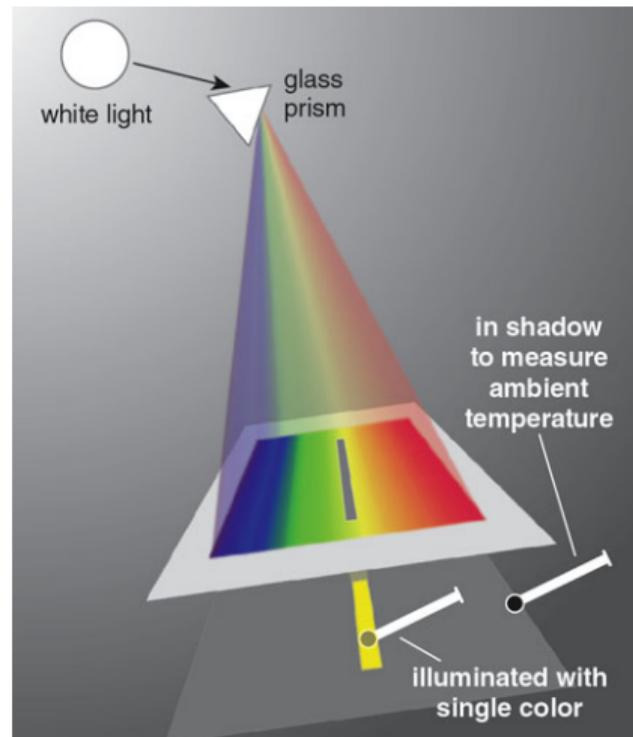
## Quelques surprises du prisme :

- ▶ **1800, Herschel** :  
étude de la « **température** du rayonnement » solaire,  
en fonction de la **couleur**  
⇒ « **rouge solaire plus chaud** que **bleu solaire** »
- ⇒ découverte de la **lumière infrarouge**
- ▶ **1801, Ritter** : lumière invisible **au-delà du violet** mise en  
évidence par son **action chimique**  
⇒ **lumière ultraviolette**



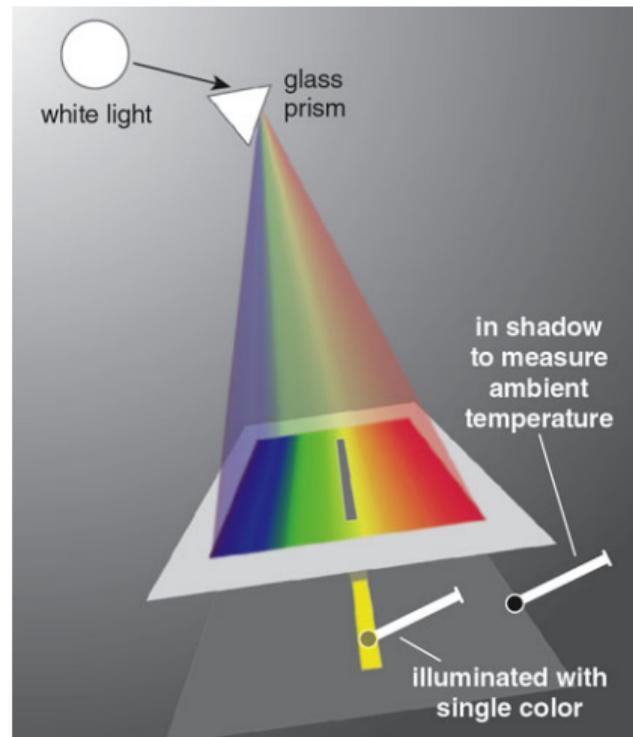
## Quelques surprises du prisme :

- ▶ **1800, Herschel** :  
étude de la « **température** du rayonnement » solaire,  
en fonction de la **couleur**  
⇒ « **rouge solaire plus chaud** que **bleu solaire** »,  
et **lumière invisible** (au-delà du rouge) encore **plus chaude** !  
⇒ découverte de la **lumière infrarouge**
- ▶ **1801, Ritter** : lumière invisible **au-delà du violet** mise en  
évidence par son **action chimique**  
⇒ **lumière ultraviolette**



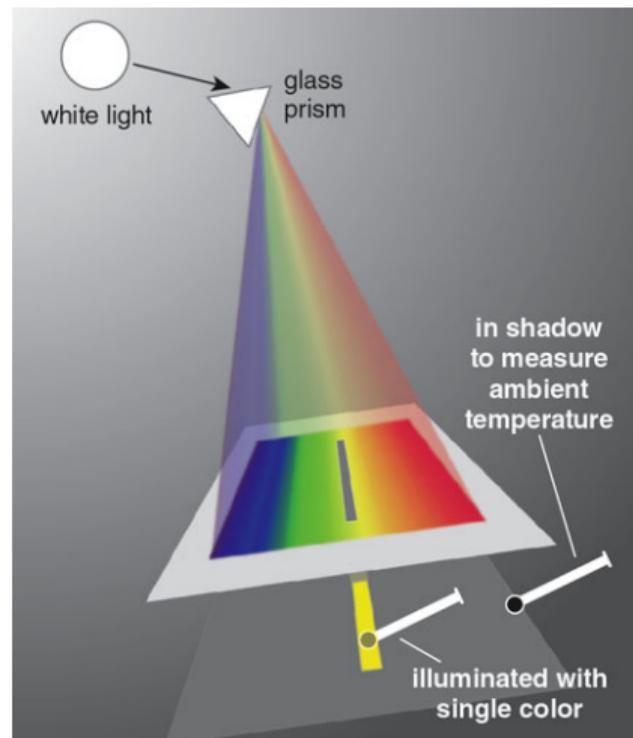
## Quelques surprises du prisme :

- ▶ **1800, Herschel** :  
étude de la « **température** du rayonnement » solaire,  
en fonction de la **couleur**  
⇒ « **rouge solaire plus chaud** que **bleu solaire** »,  
et **lumière invisible** (au-delà du rouge) encore **plus chaude** !  
⇒ découverte de la **lumière infrarouge**
- ▶ **1801, Ritter** : lumière invisible **au-delà du violet** mise en  
évidence par son **action chimique**  
⇒ **lumière ultraviolette**



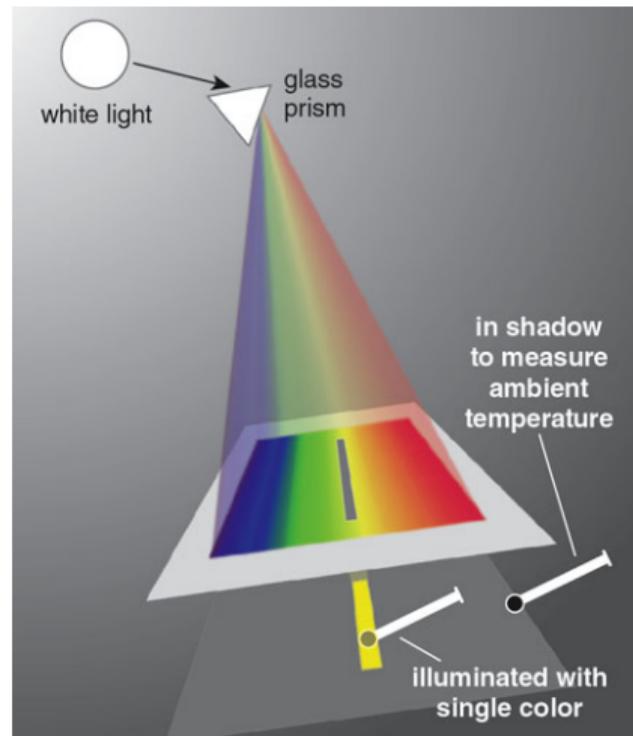
## Quelques surprises du prisme :

- ▶ **1800, Herschel** :  
étude de la « **température** du rayonnement » solaire,  
en fonction de la **couleur**  
⇒ « **rouge solaire plus chaud** que **bleu solaire** »,  
et **lumière invisible** (au-delà du rouge) encore **plus chaude** !  
⇒ découverte de la **lumière infrarouge**
- ▶ **1801, Ritter** : lumière invisible **au-delà du violet** mise en  
évidence par son **action chimique**  
⇒ **lumière ultraviolette**



## Quelques surprises du prisme :

- ▶ **1800, Herschel** :  
étude de la « **température** du rayonnement » solaire,  
en fonction de la **couleur**  
⇒ « **rouge solaire plus chaud** que **bleu solaire** »,  
et **lumière invisible** (au-delà du rouge) encore **plus chaude** !  
⇒ découverte de la **lumière infrarouge**
- ▶ **1801, Ritter** : lumière invisible **au-delà du violet** mise en  
évidence par son **action chimique**  
⇒ **lumière ultraviolette**



## Parenthèse électromagnétique :

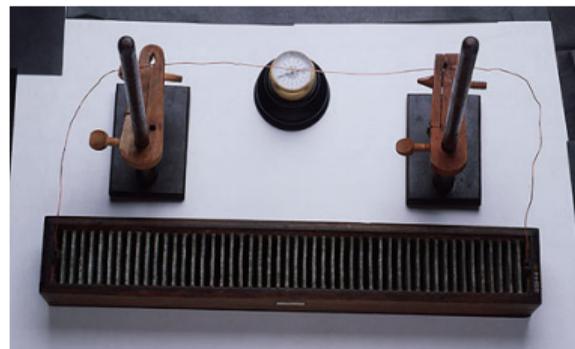
- ▶ 1820, Ørsted : courant électrique dévie une boussole

⇒ lien entre électricité et magnétisme

- ▶ 1831, Faraday : notion de champ magnétique

- ▶ 1864, Maxwell : théorie de l'électromagnétisme

⇒ existence d'un champ électromagnétique, milieu continu invisible dans lequel tout baigne (cf. éther)



## Parenthèse électromagnétique :

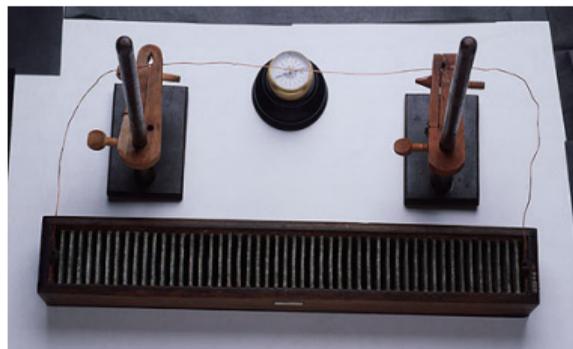
- ▶ 1820, Ørsted : courant électrique dévie une boussole

⇒ lien entre **électricité** et **magnétisme**

- ▶ 1831, Faraday : notion de **champ magnétique**

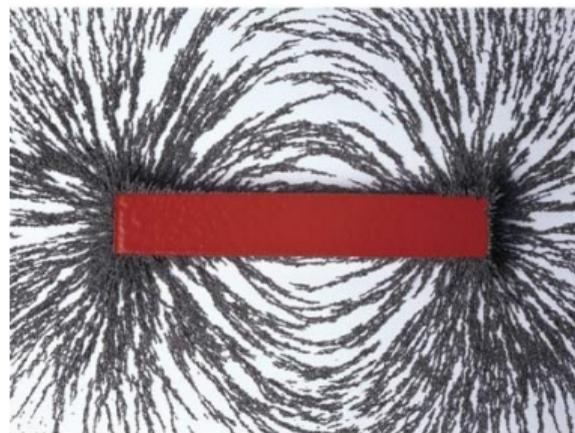
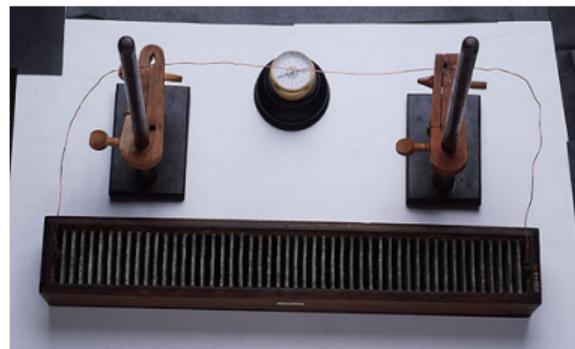
- ▶ 1864, Maxwell : théorie de l'**électromagnétisme**

⇒ existence d'un **champ électromagnétique**, milieu continu invisible dans lequel tout baigne (cf. **éther**)



## Parenthèse électromagnétique :

- ▶ 1820, Ørsted : courant électrique dévie une boussole  
 ⇒ lien entre **électricité** et **magnétisme**
- ▶ 1831, Faraday : notion de **champ magnétique**
- ▶ 1864, Maxwell : théorie de l'**électromagnétisme**  
 ⇒ existence d'un **champ électromagnétique**, milieu continu invisible dans lequel tout baigne (cf. **éther**)



## Parenthèse électromagnétique :

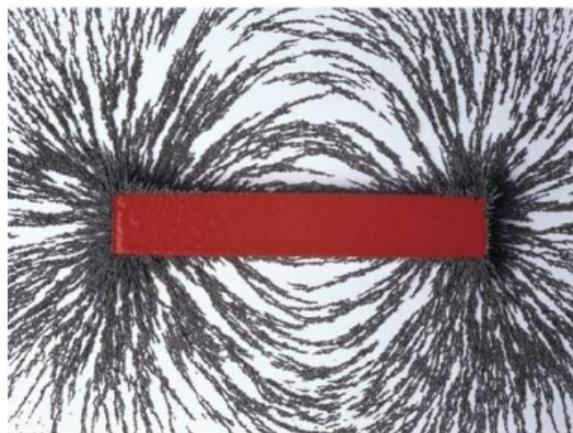
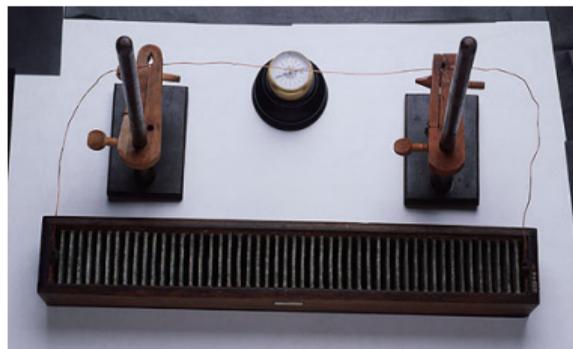
- ▶ 1820, Ørsted : courant électrique dévie une boussole

⇒ lien entre **électricité** et **magnétisme**

- ▶ 1831, Faraday : notion de **champ magnétique**

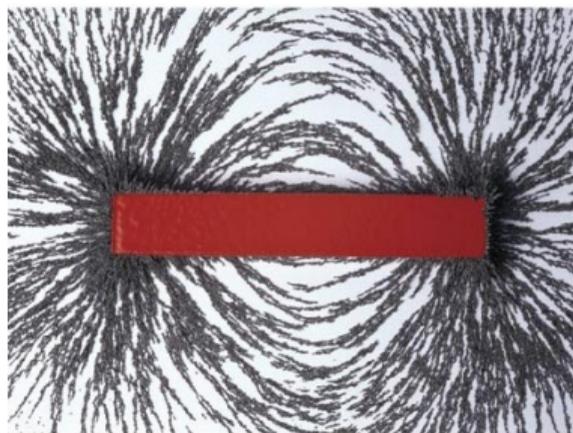
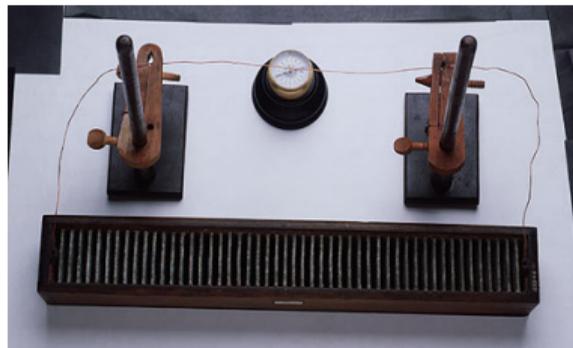
- ▶ 1864, Maxwell : théorie de l'**électromagnétisme**

⇒ existence d'un **champ électromagnétique**, milieu continu invisible dans lequel tout baigne (cf. **éther**)



## Parenthèse électromagnétique :

- ▶ 1820, Ørsted : courant électrique dévie une boussole  
 ⇒ lien entre **électricité** et **magnétisme**
- ▶ 1831, Faraday : notion de **champ magnétique**
- ▶ 1864, Maxwell : théorie de l'**électromagnétisme**  
 ⇒ existence d'un **champ électromagnétique**, milieu continu invisible dans lequel tout baigne (cf. **éther**)



- ▶ **1864, Maxwell** : prédiction de l'existence d'**ondes électromagnétiques**

vitesse théorique : environ 300 000 km/s

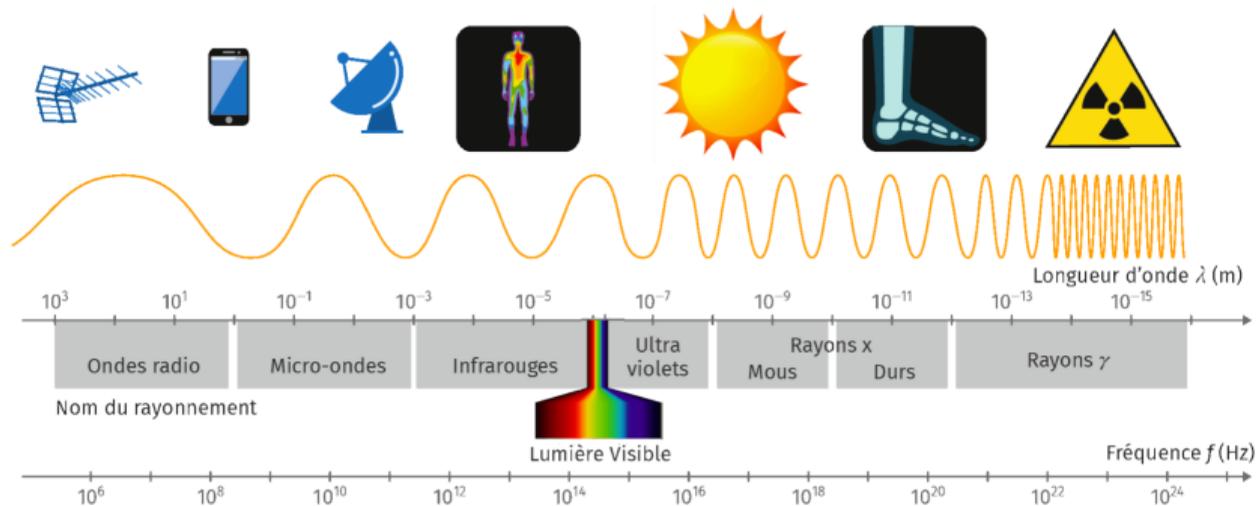
- ▶ **1888, Hertz** : vérification **expérimentale** (ondes radio produites et détectées dans un laboratoire)

- ▶ **1864, Maxwell** : prédiction de l'existence d'**ondes électromagnétiques**, émises « quand on secoue » le champ électromagnétique  
vitesse théorique : environ 300 000 km/s
- ▶ **1888, Hertz** : vérification **expérimentale** (ondes radio produites et détectées dans un laboratoire)

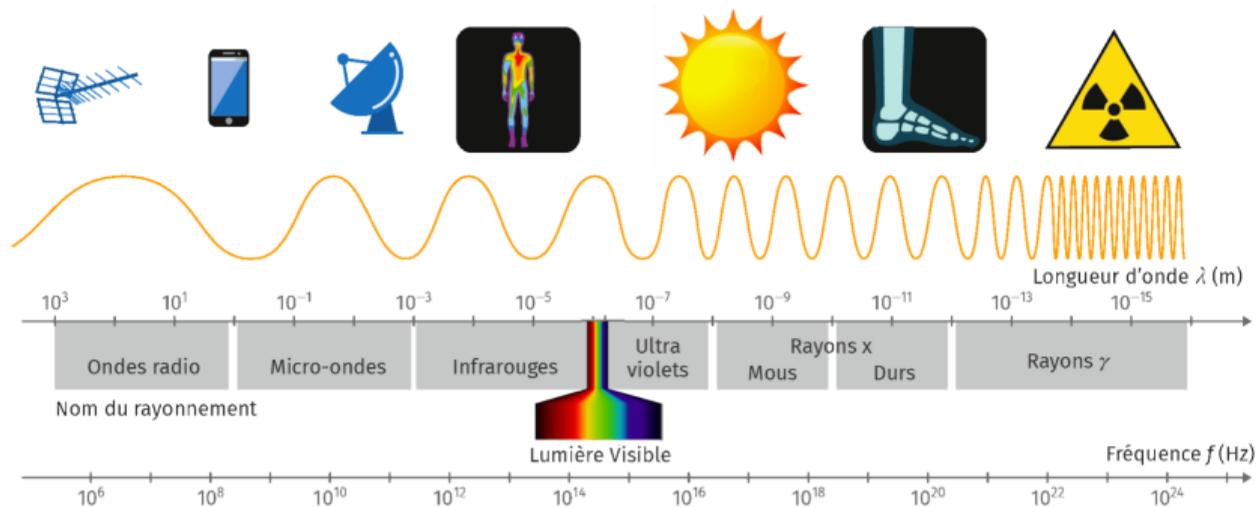
- ▶ **1864, Maxwell** : prédiction de l'existence d'**ondes électromagnétiques**, émises « quand on secoue » le champ électromagnétique (**exemple** : **antenne** et ondes radios)  
vitesse théorique : environ 300 000 km/s
- ▶ **1888, Hertz** : vérification **expérimentale** (ondes radio produites et détectées dans un laboratoire)

- ▶ **1864, Maxwell** : prédiction de l'existence d'**ondes électromagnétiques**, émises « quand on secoue » le champ électromagnétique (**exemple** : **antenne** et ondes radios)  
**vitesse théorique** : **environ 300 000 km/s**
- ▶ **1888, Hertz** : vérification **expérimentale** (**ondes radio** produites et détectées dans un laboratoire)

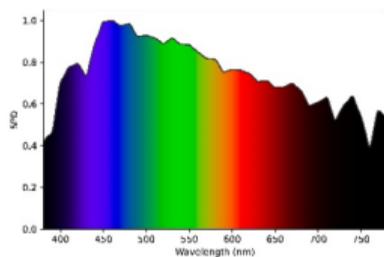
- ▶ **1864, Maxwell** : prédiction de l'existence d'**ondes électromagnétiques**, émises « quand on secoue » le champ électromagnétique (**exemple** : **antenne** et ondes radios)  
**vitesse théorique** : environ 300 000 km/s  $\implies$  **lumière** = cas particulier
- ▶ **1888, Hertz** : vérification **expérimentale** (ondes radio produites et détectées dans un laboratoire)



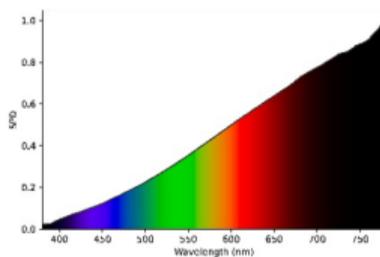
- ▶ **1864, Maxwell** : prédiction de l'existence d'**ondes électromagnétiques**, émises « quand on secoue » le champ électromagnétique (**exemple** : **antenne** et ondes radios)  
**vitesse théorique** : **environ 300 000 km/s**  $\implies$  **lumière** = cas particulier
- ▶ **1888, Hertz** : vérification **expérimentale** (**ondes radio** produites et détectées dans un laboratoire)



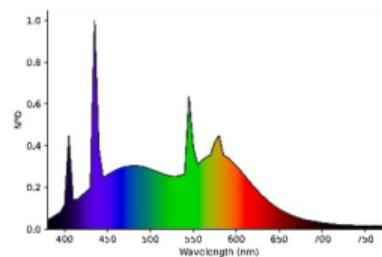
Parenthèse : exemples de spectres électromagnétiques et avantage énergétique des LED :



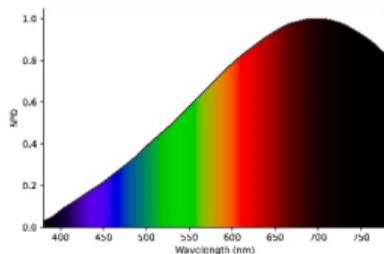
Daylight



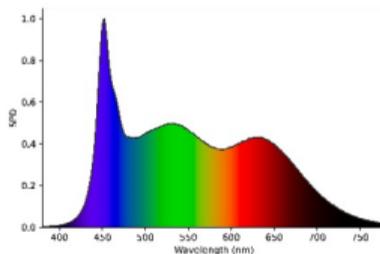
Incandescent



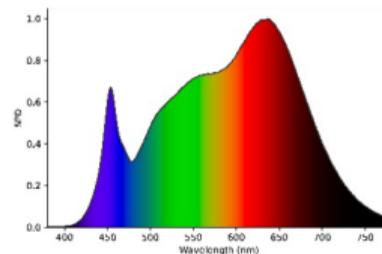
Fluorescent



Halogen

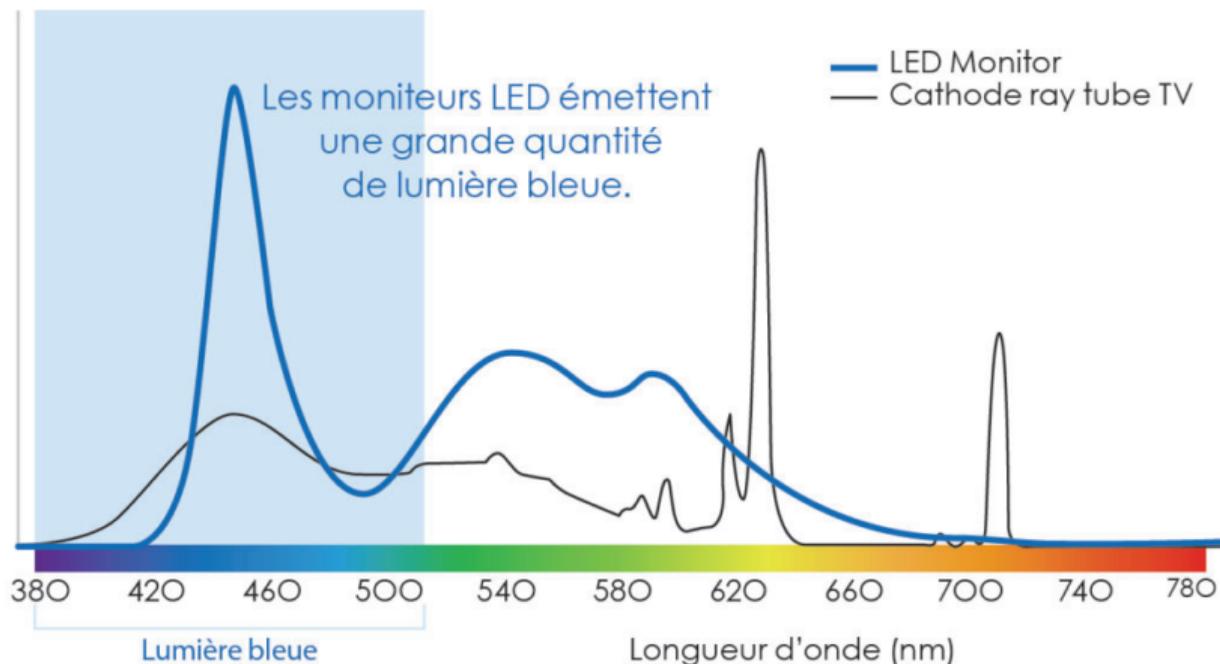


Cool White LED



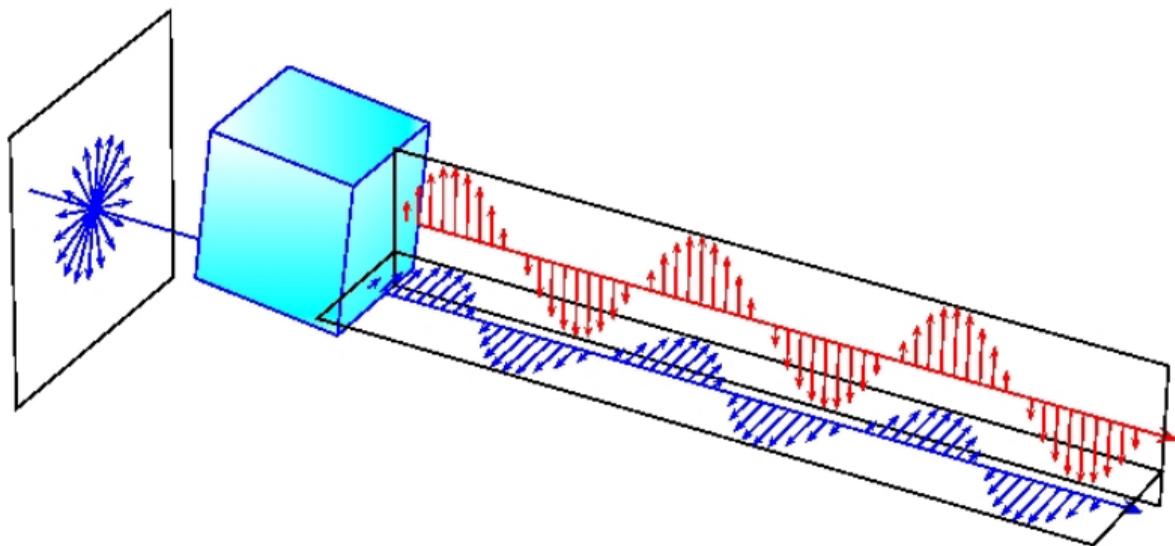
Warm White LED

## Parenthèse : désavantage **sanitaire** des écrans plats :

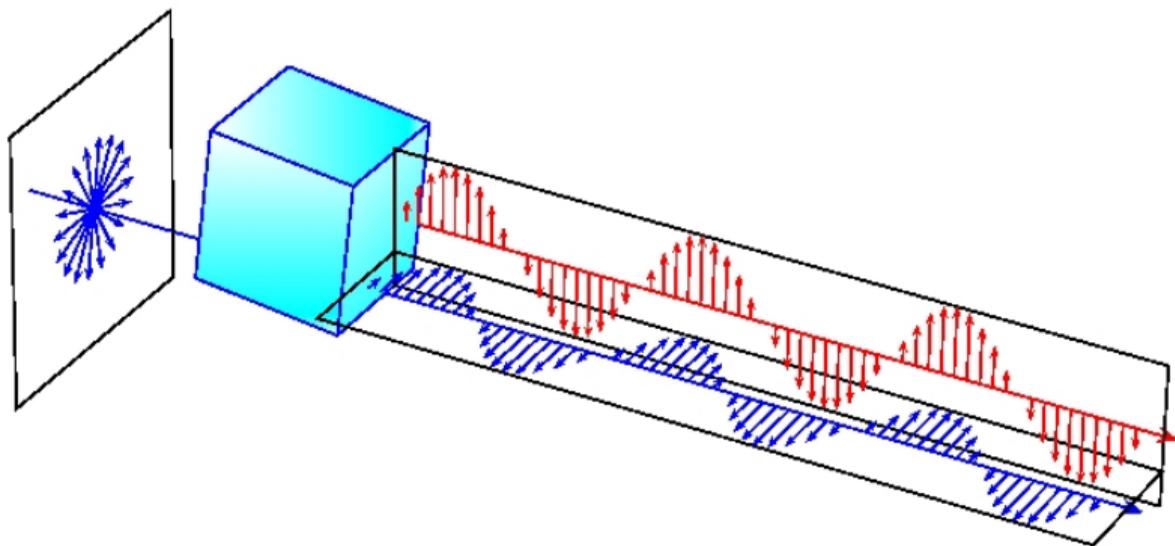


le bleu de longueur d'onde  $< 450 \text{ nm}$  est réputé comme « nocif »

Parenthèse : explication de la **polarisation** de la lumière et de la **biréfringence** :



Parenthèse : explication de la **polarisation** de la lumière et de la **biréfringence** :



les ondes électromagnétiques sont **vectérielles**

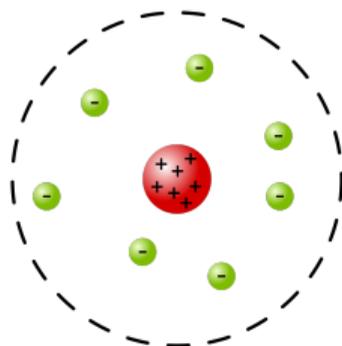
- ▶ **théorie de Maxwell**  $\implies$  **matière**  $\simeq$  corpuscules en **interaction électromagnétique**
  - $\implies$  compréhension des **réactions chimiques**, des **changements d'état**, etc.
  - $\implies$  explication **qualitative** des **observations quotidiennes** (**et même plus**) (sauf la gravitation)
- ▶ **1897, Thomson** : découverte expérimentale de l'**électron**, particule « **subatomique** »
- ▶ **1911-14, Rutherford** : expériences et **modèle atomique « planétaire »**
  - $\implies$  **atome** = **noyau atomique** entouré d'électrons
  - $\implies$  **émission** ou **absorption** de lumière = **processus électromagnétique**

- ▶ **théorie de Maxwell**  $\implies$  **matière**  $\simeq$  corpuscules en **interaction électromagnétique**
  - $\implies$  compréhension des **réactions chimiques**, des **changements d'état**, etc.
  - $\implies$  explication **qualitative** des **observations quotidiennes** (et même plus) (sauf la gravitation)
- ▶ **1897, Thomson** : découverte expérimentale de l'**électron**, particule « **subatomique** »
- ▶ **1911-14, Rutherford** : expériences et **modèle atomique « planétaire »**
  - $\implies$  **atome** = **noyau atomique** entouré d'électrons
  - $\implies$  **émission** ou **absorption** de lumière = **processus électromagnétique**

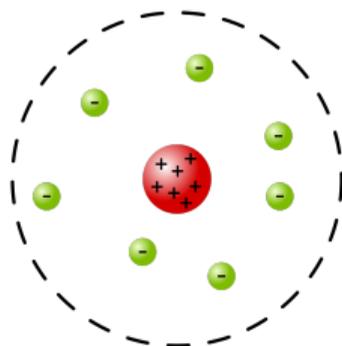
- ▶ **théorie de Maxwell**  $\implies$  **matière**  $\simeq$  corpuscules en **interaction électromagnétique**
  - $\implies$  compréhension des **réactions chimiques**, des **changements d'état**, etc.
  - $\implies$  explication **qualitative** des **observations quotidiennes (et même plus)** (sauf la gravitation)
- ▶ **1897, Thomson** : découverte expérimentale de l'**électron**, particule « **subatomique** »
- ▶ **1911-14, Rutherford** : expériences et **modèle atomique « planétaire »**
  - $\implies$  **atome** = **noyau atomique** entouré d'électrons
  - $\implies$  **émission** ou **absorption** de lumière = **processus électromagnétique**

- ▶ **théorie de Maxwell**  $\implies$  **matière**  $\simeq$  corpuscules en **interaction électromagnétique**
  - $\implies$  compréhension des **réactions chimiques**, des **changements d'état**, etc.
  - $\implies$  explication **qualitative** des **observations quotidiennes (et même plus)** (sauf la gravitation)
- ▶ **1897, Thomson** : découverte expérimentale de l'**électron**, particule « **subatomique** »
- ▶ **1911-14, Rutherford** : expériences et **modèle atomique « planétaire »**
  - $\implies$  **atome** = **noyau atomique** entouré d'électrons
  - $\implies$  **émission** ou **absorption** de lumière = **processus électromagnétique**

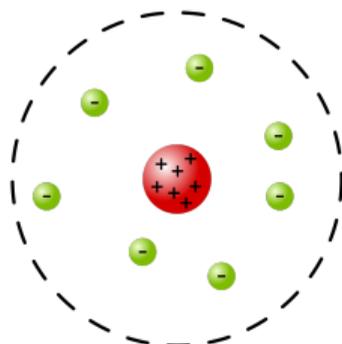
- ▶ **théorie de Maxwell**  $\implies$  **matière**  $\simeq$  corpuscules en **interaction électromagnétique**
  - $\implies$  compréhension des **réactions chimiques**, des **changements d'état**, etc.
  - $\implies$  explication **qualitative** des **observations quotidiennes (et même plus)** (sauf la gravitation)
- ▶ **1897, Thomson** : découverte expérimentale de l'**électron**, particule « **subatomique** »
- ▶ **1911-14, Rutherford** : expériences et **modèle atomique « planétaire »**
  - $\implies$  **atome** = **noyau atomique** entouré d'**électrons**
  - $\implies$  **émission** ou **absorption** de lumière = **processus électromagnétique**

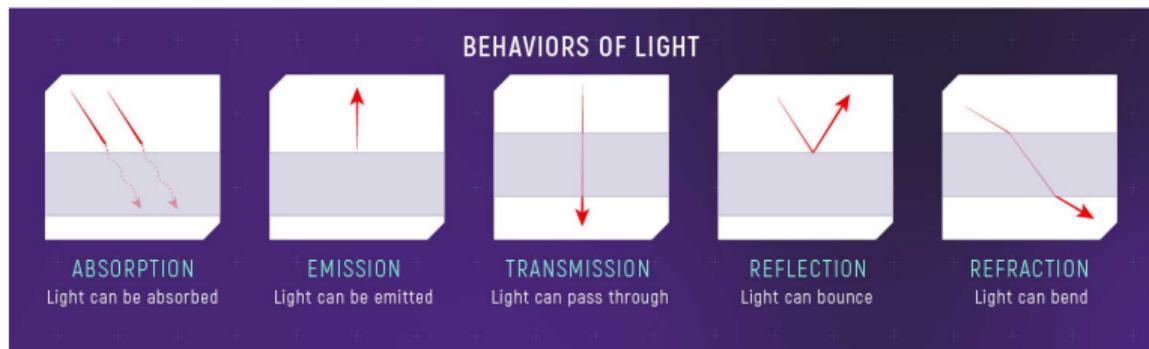


- ▶ **théorie de Maxwell**  $\implies$  **matière**  $\simeq$  corpuscules en **interaction électromagnétique**
  - $\implies$  compréhension des **réactions chimiques**, des **changements d'état**, etc.
  - $\implies$  explication **qualitative** des **observations quotidiennes (et même plus)** (sauf la gravitation)
- ▶ **1897, Thomson** : découverte expérimentale de l'**électron**, particule « **subatomique** »
- ▶ **1911-14, Rutherford** : expériences et **modèle atomique « planétaire »**
  - $\implies$  **atome** = **noyau atomique** entouré d'**électrons**
  - $\implies$  **émission** ou **absorption** de lumière = processus électromagnétique



- ▶ **théorie de Maxwell**  $\implies$  **matière**  $\simeq$  corpuscules en **interaction électromagnétique**
  - $\implies$  compréhension des **réactions chimiques**, des **changements d'état**, etc.
  - $\implies$  explication **qualitative** des **observations quotidiennes (et même plus)** (sauf la gravitation)
- ▶ **1897, Thomson** : découverte expérimentale de l'**électron**, particule « **subatomique** »
- ▶ **1911-14, Rutherford** : expériences et **modèle atomique « planétaire »**
  - $\implies$  **atome** = **noyau atomique** entouré d'**électrons**
  - $\implies$  **émission** ou **absorption** de lumière = **processus électromagnétique**





Les possibles interactions entre lumière et matière

V : D'où vient...

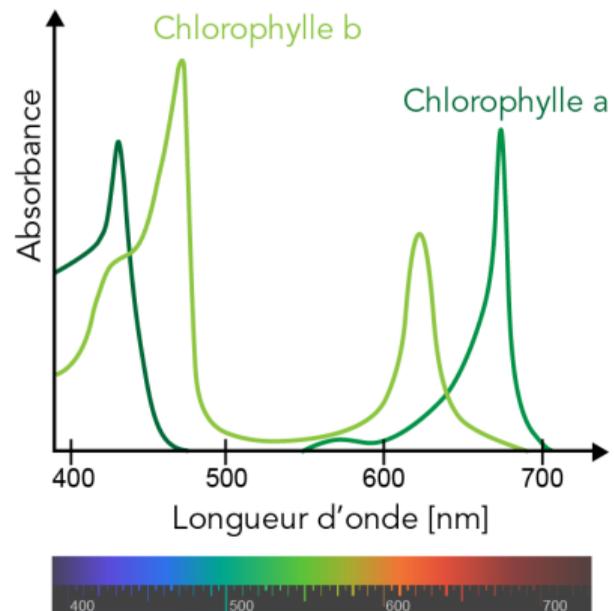
V : D'où vient...



... la couleur d'une plante verte ?



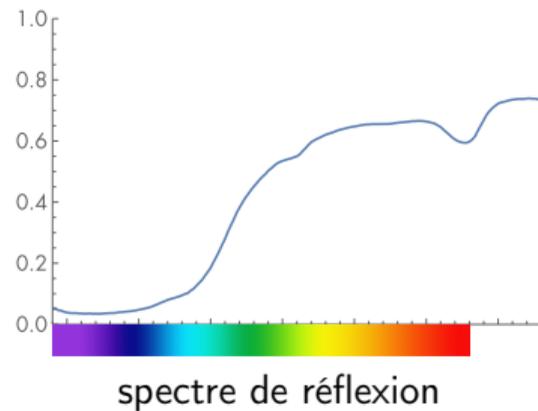
- ▶ principe physique : réflexion du vert



... la couleur d'un citron ?



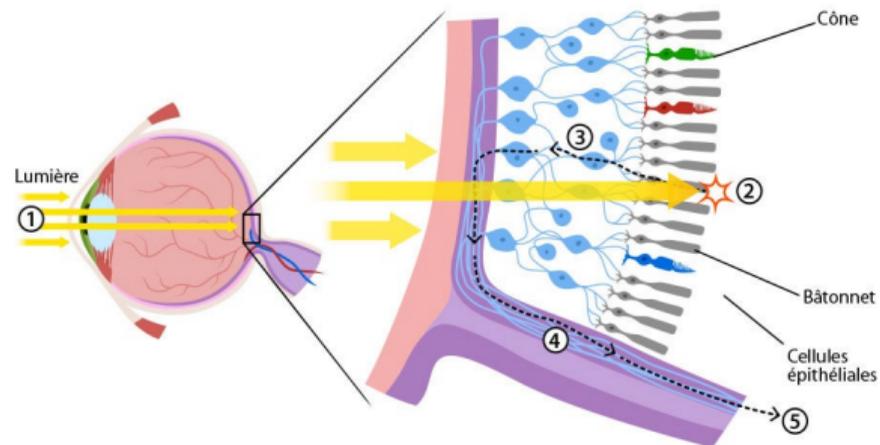
- ▶ principe physique : absorption du bleu



... le gris nocturne des chats ?



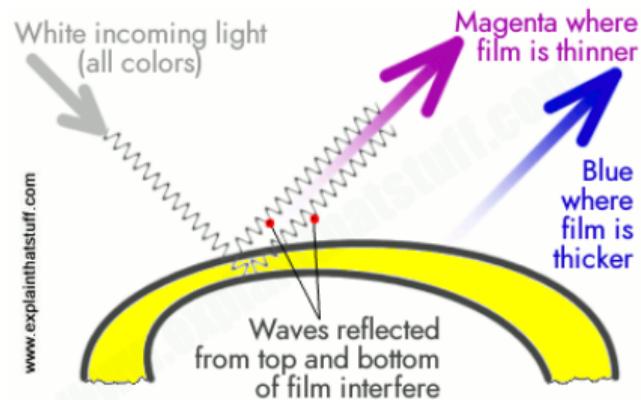
- ▶ **principe biologique** : un seul type de **bâtonnet**, apte à capter de **faibles luminosités**



... la couleur des bulles de savon ?



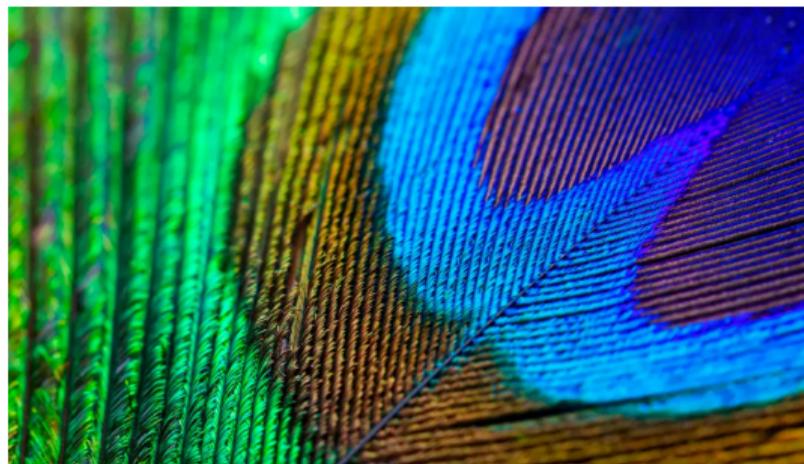
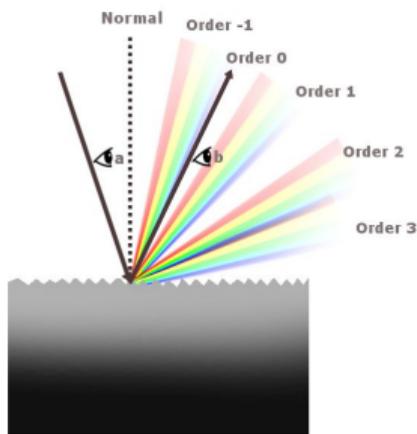
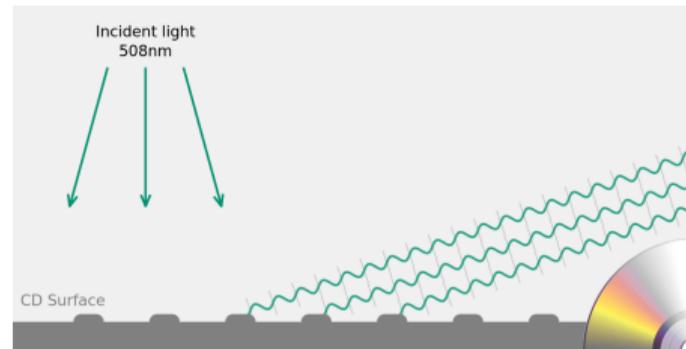
- ▶ **principe physique** : interférences provoquées par une **couche mince**
- ▶ **remarques** : observable dans diverses autres situations (flaque d'huile, produit sur vitre, etc.), mais aussi, parfois, rôle de la **polarisation**



... la couleur à la surface d'un CD ?



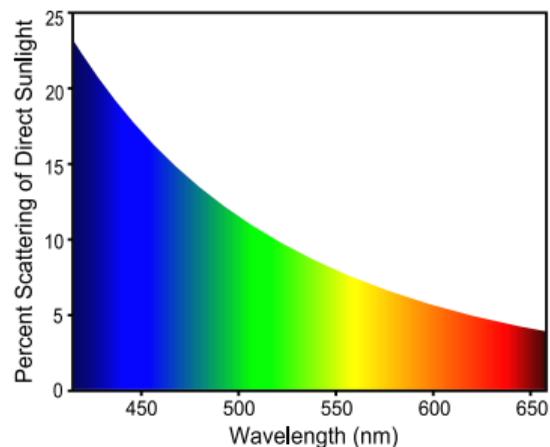
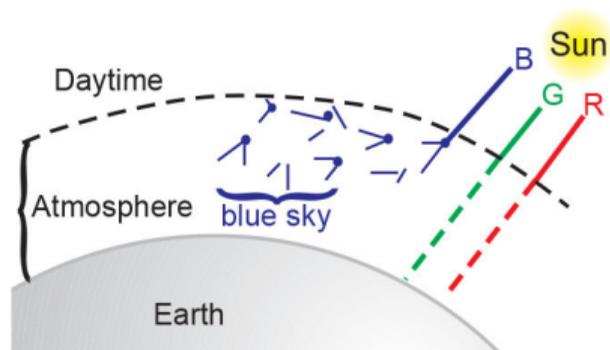
- ▶ **principe physique** : interférences et diffraction provoquées par les gravures
- ▶ **analogie** : ailes d'un paon ou d'un papillon, etc.



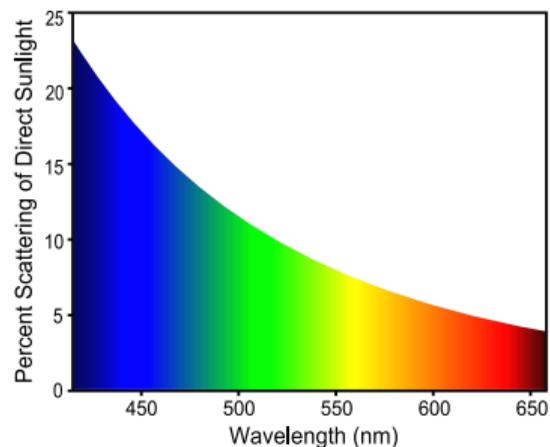
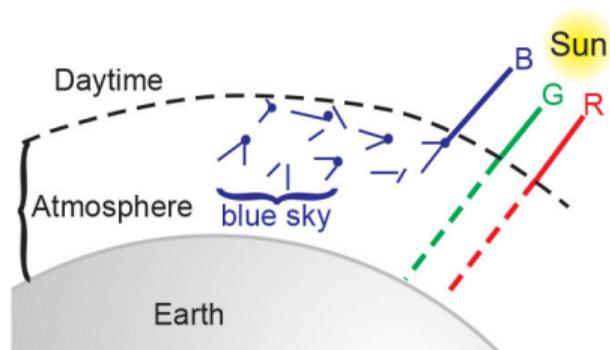
... la couleur violette du ciel ?



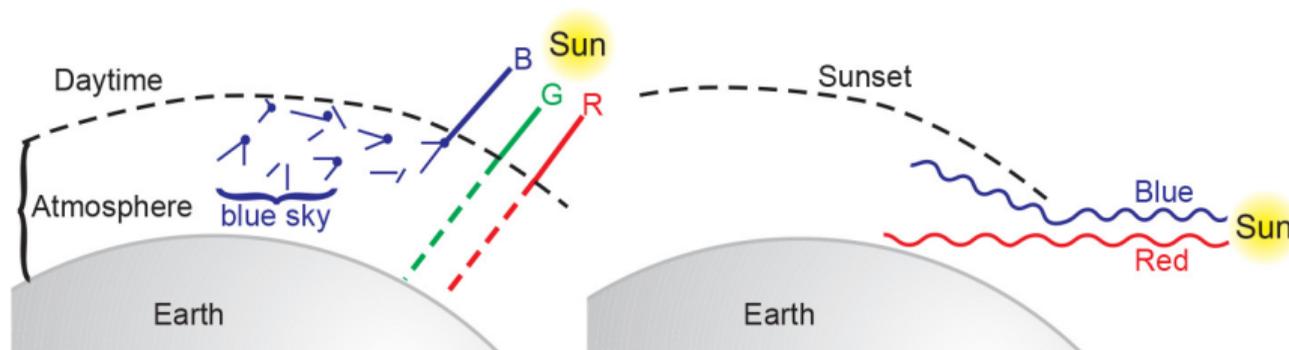
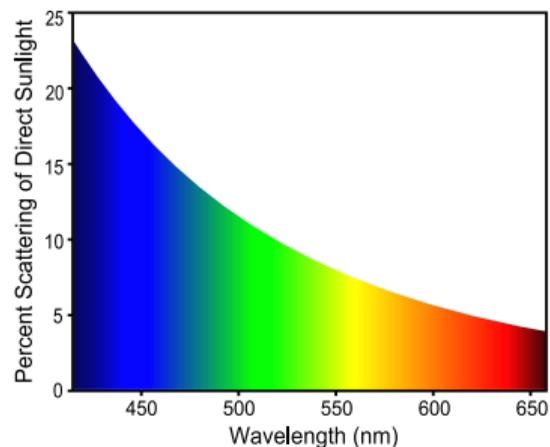
- ▶ **principe physique** : diffusion de Rayleigh  
(molécules très petites  $\iff$  « mini-antennes »)  
 $\implies$  rôle de nos yeux
- ▶ autre conséquence : soleil couchant rouge
- ▶ remarque : la lumière du ciel est polarisée



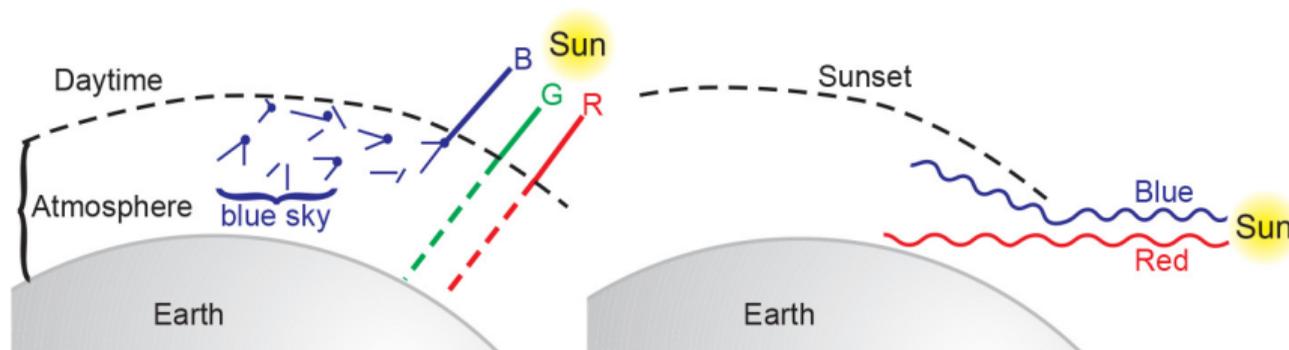
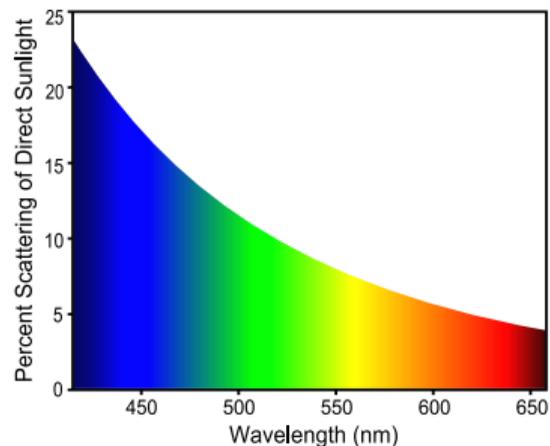
- ▶ **principe physique** : diffusion de Rayleigh  
(molécules très petites  $\iff$  « mini-antennes »)  
 $\implies$  rôle de nos yeux
- ▶ autre conséquence : soleil couchant rouge
- ▶ remarque : la lumière du ciel est polarisée



- ▶ **principe physique** : diffusion de Rayleigh  
(molécules très petites  $\iff$  « mini-antennes »)  
 $\implies$  rôle de nos yeux
- ▶ **autre conséquence** : soleil couchant rouge
- ▶ **remarque** : la lumière du ciel est polarisée



- ▶ **principe physique** : diffusion de Rayleigh  
(molécules très petites  $\iff$  « mini-antennes »)  
 $\implies$  rôle de nos yeux
- ▶ **autre conséquence** : soleil couchant rouge
- ▶ **remarque** : la lumière du ciel est polarisée

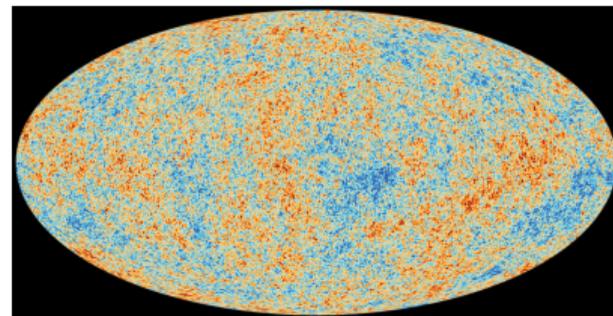
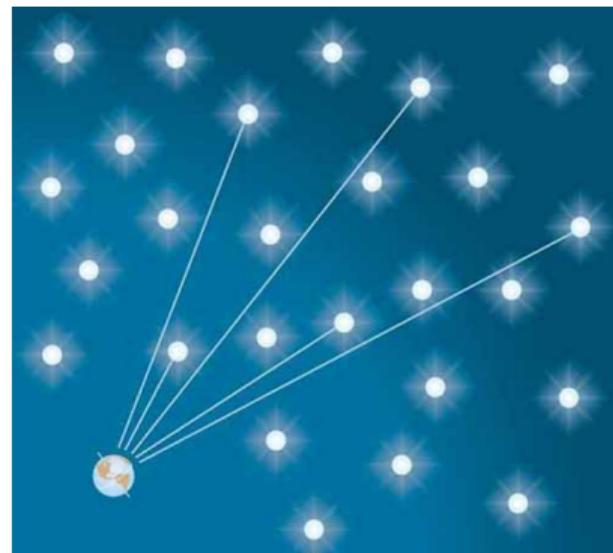


... le ciel noir sur la Lune ?



- ▶ **principe physique** : pas d'atmosphère !
- ▶ **remarque** : paradoxe d'**Olbers** et rayonnement de fond cosmologique  
⇒ couleur micro-onde et pas noir

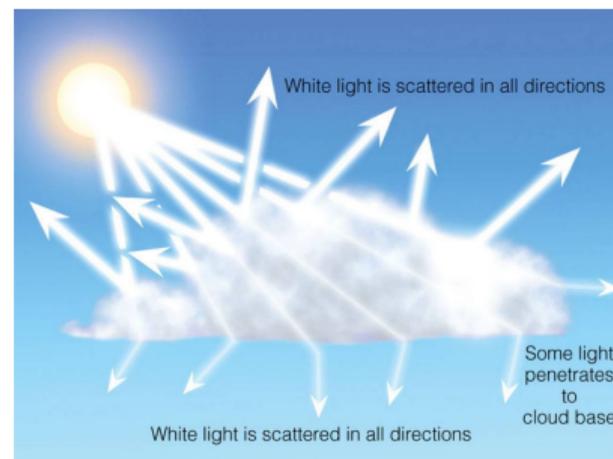
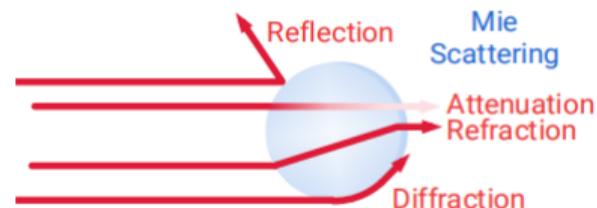
- ▶ **principe physique** : pas d'atmosphère !
- ▶ **remarque** : paradoxe d'**Olbers** et **rayonnement de fond cosmologique**  
⇒ **couleur micro-onde** et pas noir



... la couleur blanc-gris des nuages ?

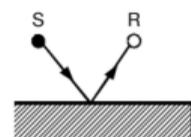
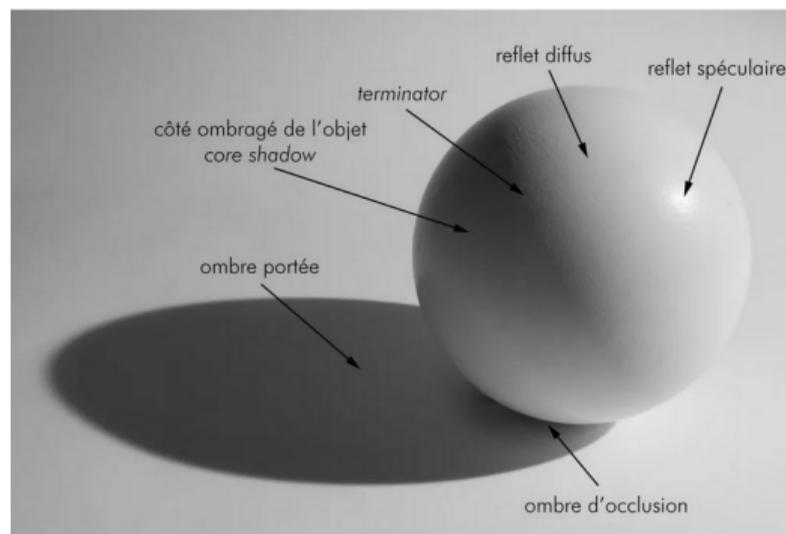


- ▶ **principe physique** : diffusion de Mie (molécules moyennes  $\implies$  gris)
- ▶ **analogues** : brouillard, nuages de pollution, etc.
- ▶ **autre possibilité** : diffusion géométrique (grosses gouttes d'eau  $\implies$  blanc)

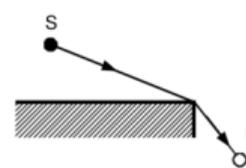


© 2007 Thomson Higher Education

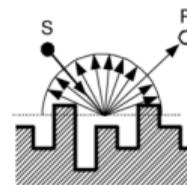
- ▶ **remarque physique** : rôle de la **réflexion diffuse** dans la vision des objets
- ▶ **manifestation** : aspect **mat** ou **brillant**



(a) Réflexion spéculaire



(b) Diffraction

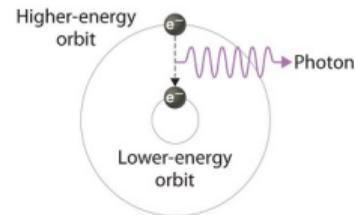


(c) Diffusion

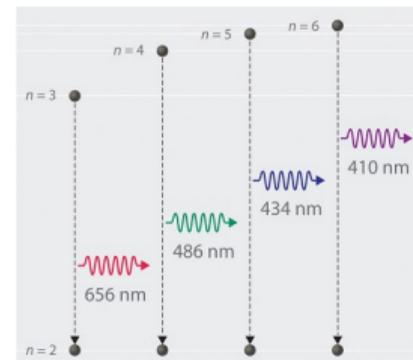
## ... la couleur des aurores polaires ?



- ▶ **principe physique** : **transitions quantiques** dans un milieu **froid** et **peu dense**
- ▶ **photon** (1905) et **atome de Bohr** (1913)  
 ⇒ **codes-barres des éléments chimiques**
- ▶ **aurore** : **azote** (bleu/rouge) et **oxygène** (vert/bleu) de l'air
- ▶ **remarque** : composition varie avec l'altitude ; rayonnement cosmique (électrons) d'énergies variables absorbés par les molécules  
 ⇒ **lumière réémise**

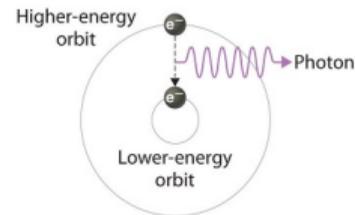


(a) Electronic emission transition

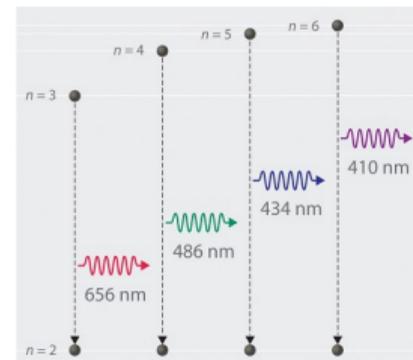


(b) Balmer series transitions

- ▶ **principe physique** : **transitions quantiques** dans un milieu **froid** et **peu dense**
- ▶ **photon** (1905) et **atome de Bohr** (1913)
  - ⇒ **codes-barres des éléments chimiques**
- ▶ **aurore** : **azote** (bleu/rouge) et **oxygène** (vert/bleu) de l'air
- ▶ **remarque** : composition varie avec l'altitude ; rayonnement cosmique (électrons) d'énergies variables absorbés par les molécules
  - ⇒ **lumière réémise**

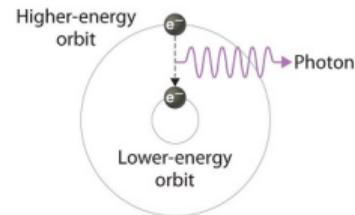


(a) Electronic emission transition

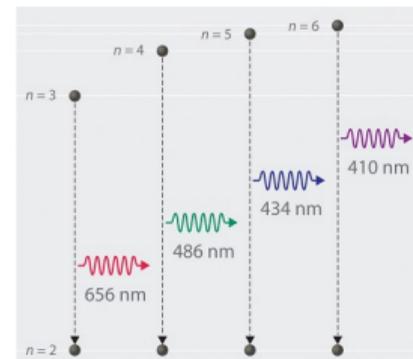


(b) Balmer series transitions

- ▶ **principe physique** : **transitions quantiques** dans un milieu **froid** et **peu dense**
- ▶ **photon** (1905) et **atome de Bohr** (1913)
  - ⇒ **codes-barres** des **éléments chimiques**
- ▶ **aurore** : **azote** (bleu/rouge) et **oxygène** (vert/bleu) de l'air
- ▶ **remarque** : composition varie avec l'altitude ; rayonnement cosmique (électrons) d'énergies variables absorbés par les molécules
  - ⇒ **lumière réémise**

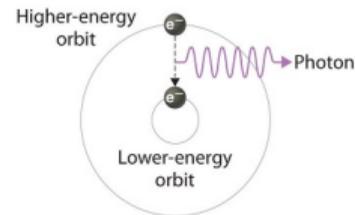


(a) Electronic emission transition

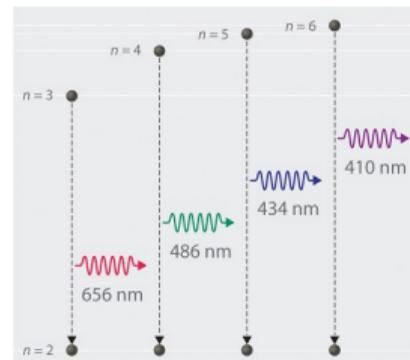


(b) Balmer series transitions

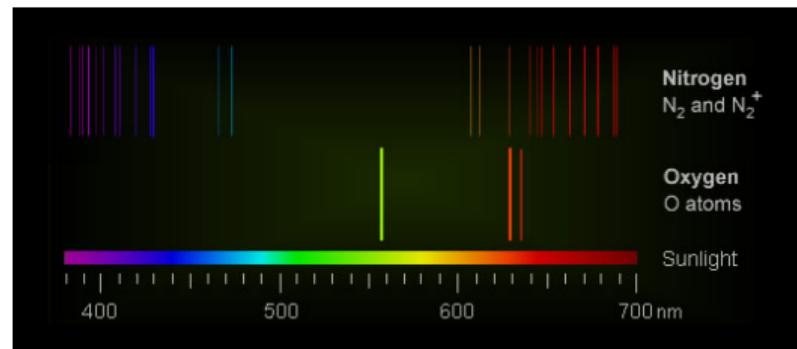
- ▶ **principe physique** : **transitions quantiques** dans un milieu **froid** et **peu dense**
- ▶ **photon** (1905) et **atome de Bohr** (1913)  
 ⇒ **codes-barres** des **éléments chimiques**
- ▶ **aurore** : **azote** (bleu/rouge) et **oxygène** (vert/bleu) de l'air
- ▶ **remarque** : composition varie avec l'altitude ; rayonnement cosmique (électrons) d'énergies variables absorbés par les molécules  
 ⇒ **lumière réémise**



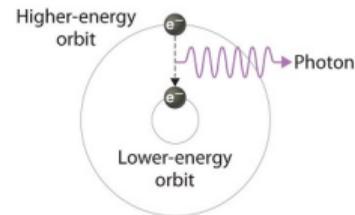
(a) Electronic emission transition



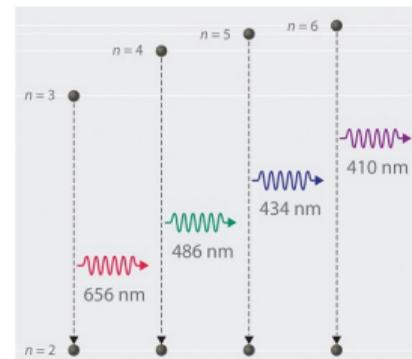
(b) Balmer series transitions



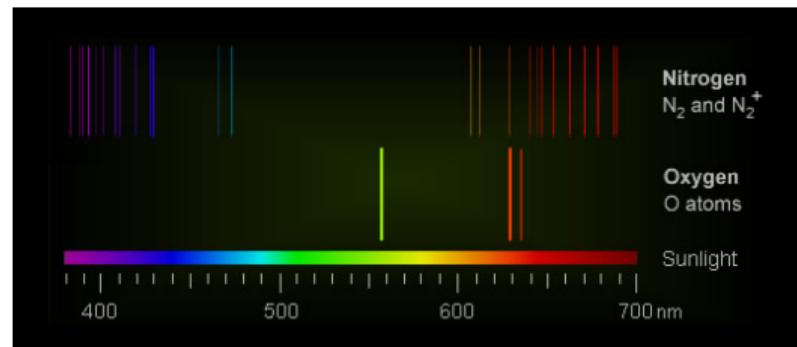
- ▶ **principe physique** : **transitions quantiques** dans un milieu **froid** et **peu dense**
- ▶ **photon** (1905) et **atome de Bohr** (1913)  
 ⇒ **codes-barres** des **éléments chimiques**
- ▶ **aurore** : **azote** (bleu/rouge) et **oxygène** (vert/bleu) de l'air
- ▶ **remarque** : composition varie avec l'altitude ; rayonnement cosmique (électrons) d'énergies variables absorbés par les molécules  
 ⇒ **lumière réémise**



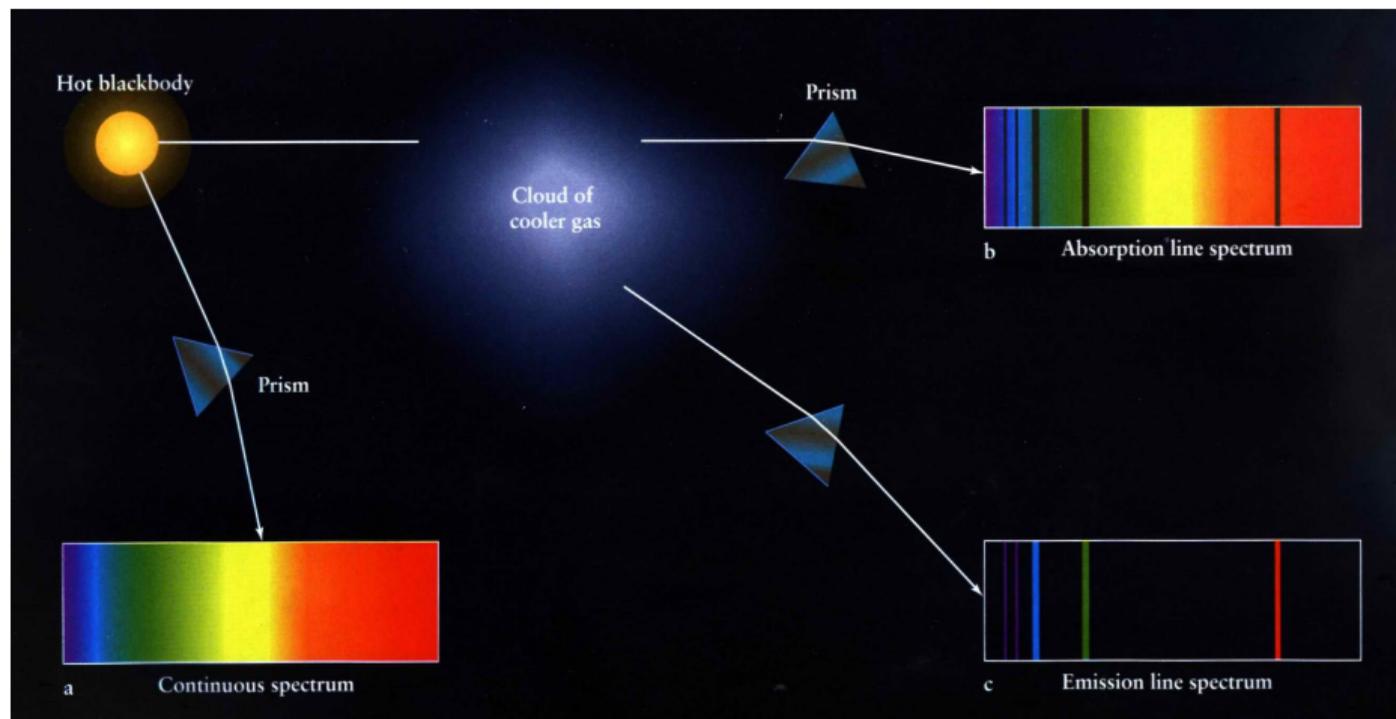
(a) Electronic emission transition



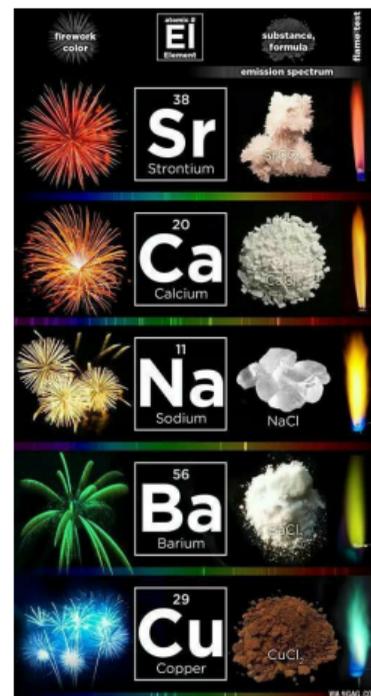
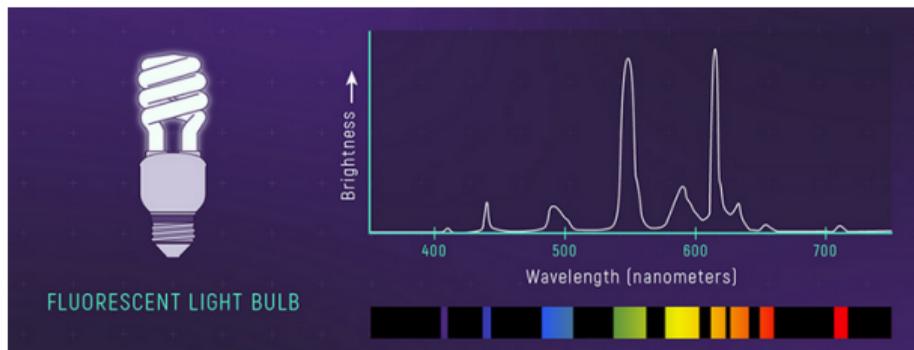
(b) Balmer series transitions



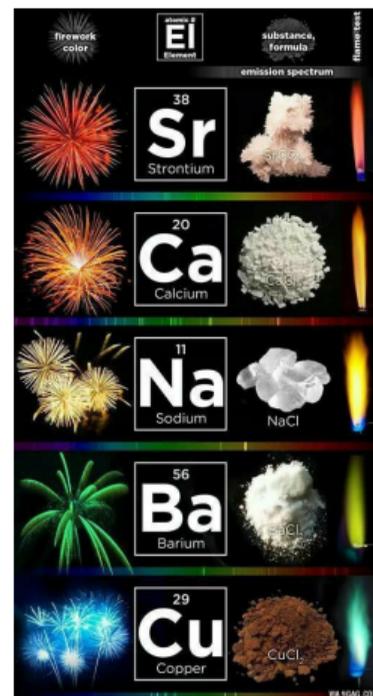
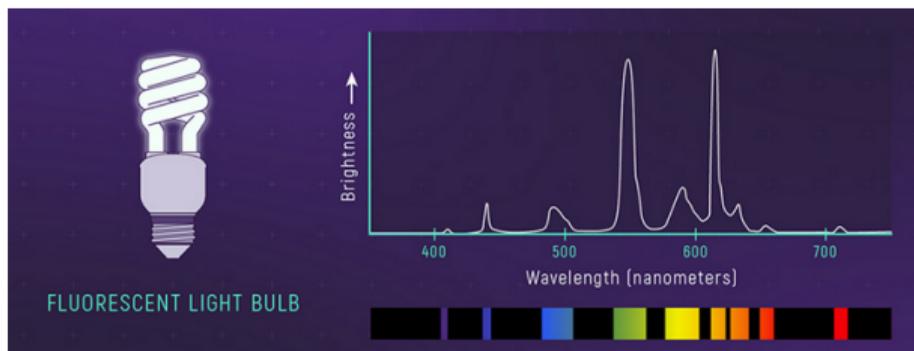
absorption et émission par un gaz pur froid :



- ▶ **analogues** : pics dans les spectres des LED, feux d'artifice, lampes fluorescentes, laser, etc.

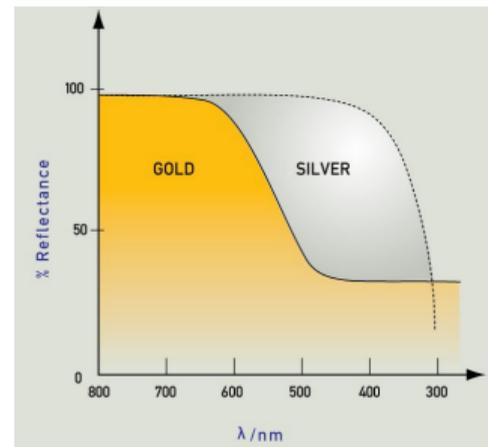
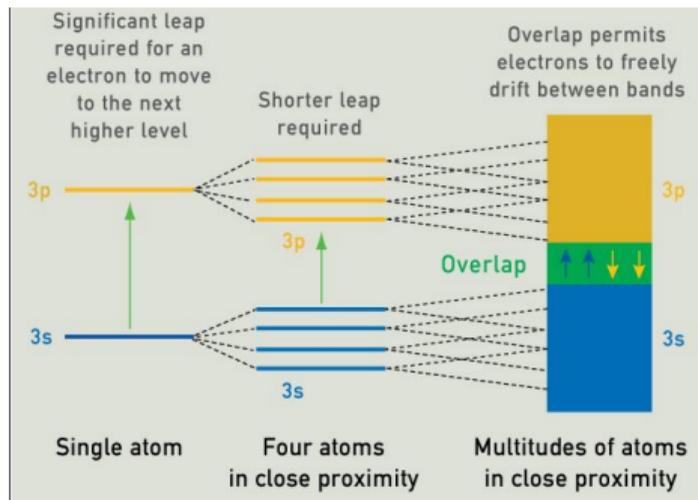


- ▶ **analogues** : pics dans les spectres des LED, feux d'artifice, lampes fluorescentes, laser, etc.

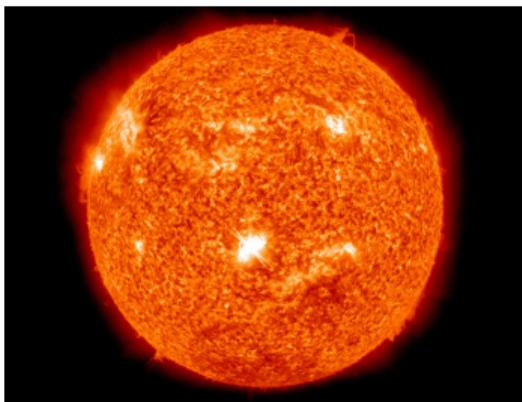


mais aussi : origine des **spectres d'absorption** (  $\implies$  vert des feuilles, jaune du citron, etc.)

► **extension** : couleurs et propriétés des **métaux**

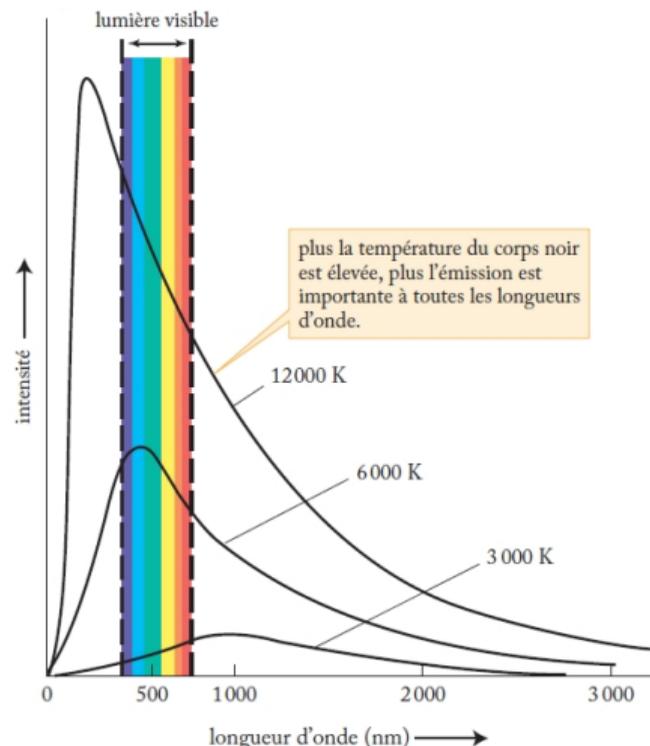


... le spectre continu du Soleil ?

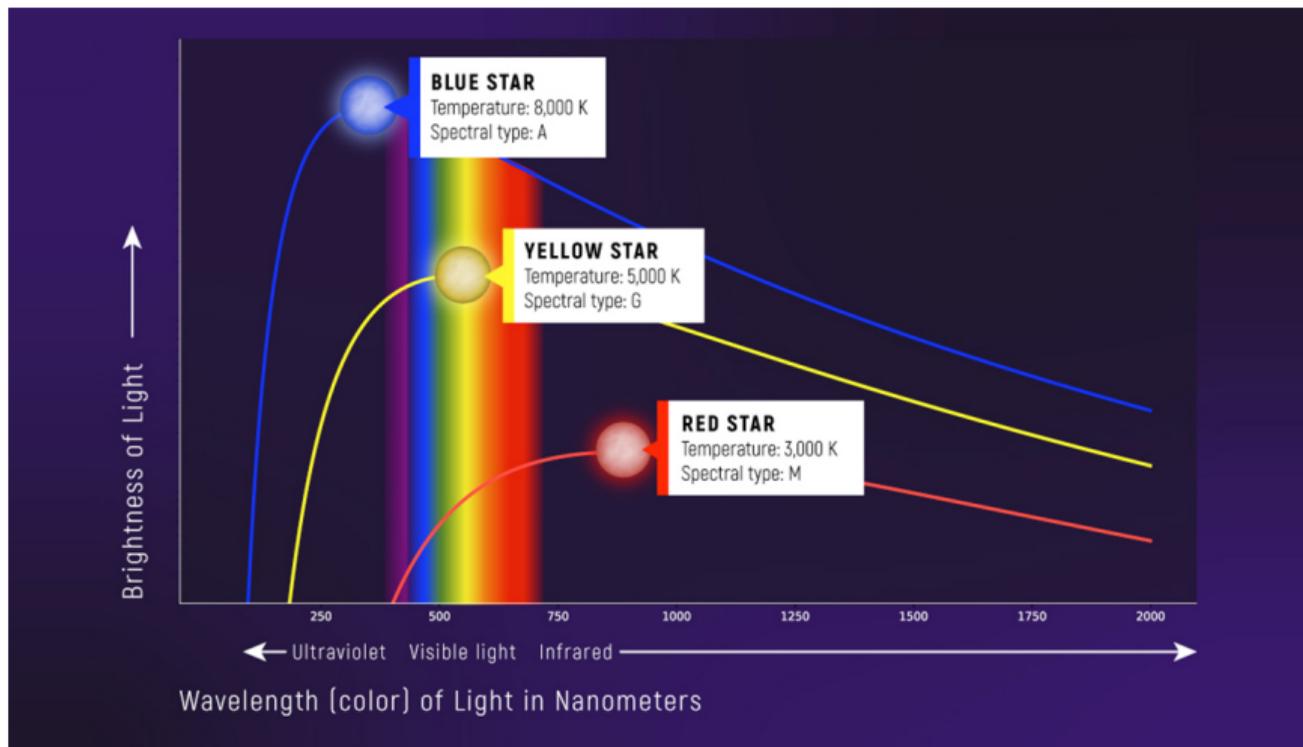


## Loi de Planck (1900) :

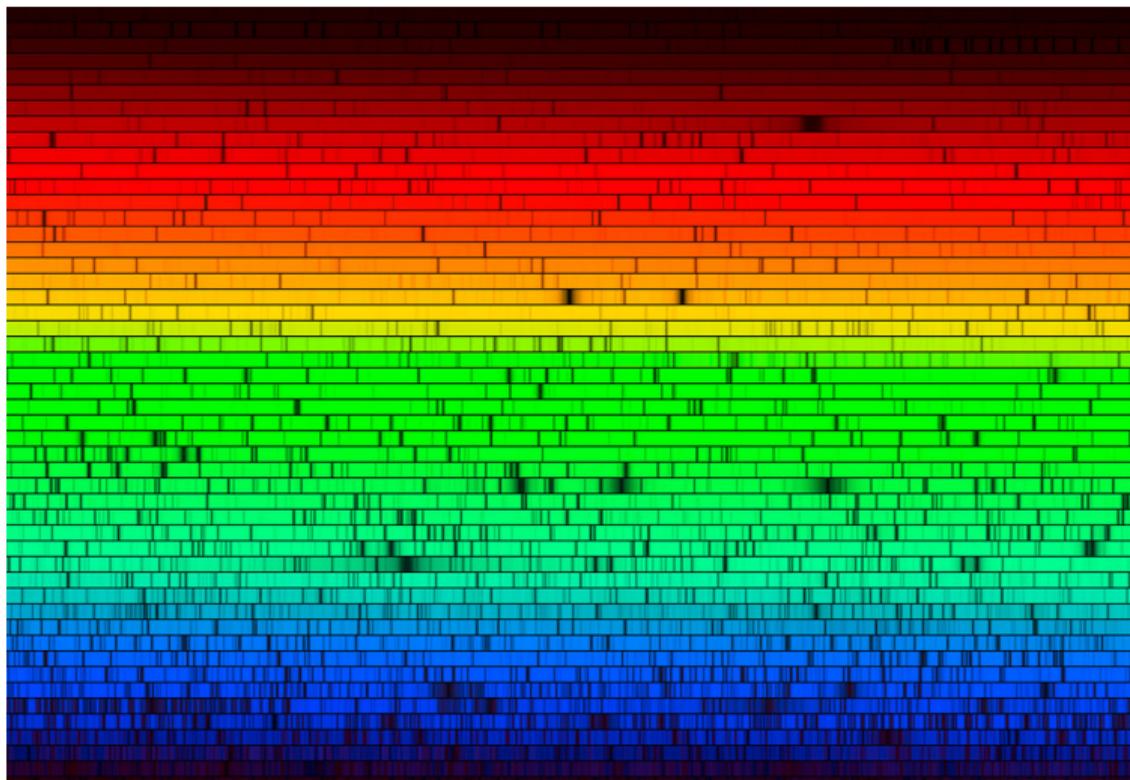
- ▶ **corps chaud** : une **couleur dominante** (selon **température**), mais émet **toutes les couleurs**  
 ⇒ **spectre** (continu)
- ▶ **origine physique** : **paquets** d'énergie lumineuse (**photon**)  
 (≠ vibration d'un champ continu)  
 ⇒ **description quantique de la lumière**
- ▶ **énergie minimale** :  $E = hf$   
 (pour un paquet de fréquence  $f$ )  
 avec  $h =$  « **constante de Planck** »



- ▶ **analogies** : fer chauffé, couleurs des étoiles, flamme (partie interne), lampe à filaments, etc.
- ▶ **explications** : imagerie infrarouge et couleurs visibles
- ▶ **remarque** : Soleil vert... et étoiles invisibles ?



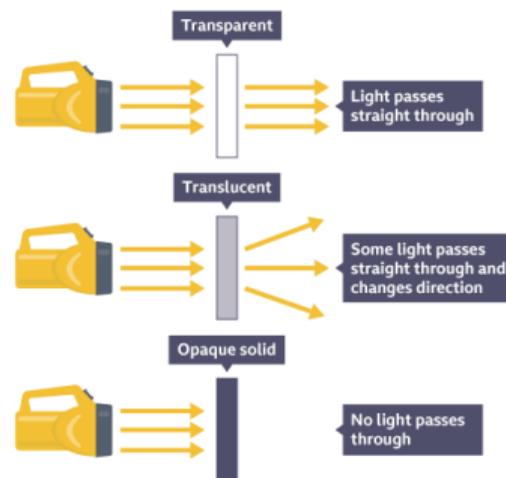
code-barres du Soleil : un cœur chaud entouré d'une atmosphère (relativement) froide



... la cécité de l'homme invisible ?



- ▶ **principe physique** : s'il est **parfaitement « transparent »**, la lumière n'interagit pas avec ses yeux...



il resterait beaucoup à dire (**exemples** : fluorescence, phosphorescence, ciel de Mars, matière et énergie noires, taches solaires, effet Doppler, décalage vers le rouge cosmologique, couleurs des quarks, etc.)

mais il est largement temps de s'arrêter !

il resterait beaucoup à dire (**exemples** : fluorescence, phosphorescence, ciel de Mars, matière et énergie noires, taches solaires, effet Doppler, décalage vers le rouge cosmologique, couleurs des quarks, etc.)

mais il est largement temps de s'arrêter !

Merci de votre attention !

### Quelques sites web (en français ou anglais) :

- <https://www.123couleurs.fr/>
- <https://www.radiofrance.fr/franceculture/les-theories-de-la-lumiere-6046054>
- <https://www.synchrotron-soleil.fr/fr/videos/histoire-de-la-lumiere-ondes-et-photons>
- <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/serie-de-la-couleur>
- <https://www.webexhibits.org/causesofcolor/index.html>
- <http://www.huevaluechroma.com/index.php>
- <https://www.handprint.com/HP/WCL/color6.html>