

A photograph of a double rainbow over a landscape. The sky is overcast with grey clouds. The rainbow is vibrant with colors from red to violet. In the foreground, there are dark green evergreen trees and bare deciduous trees. In the background, there are buildings and a body of water.

# Lumière et couleur

Jacques Derouard

Université de Grenoble

Laboratoire Interdisciplinaire de Physique

Lumières « blanches »

# Lumières « blanches »

- Soleil
- lampe incandescence
- tubes fluo (« néons »)
- écran plat
- « LED »

# Lumières « blanches »

- Diffèrent en fait par leur « spectre »
- Spectre=composition suivant les différentes couleurs

# Perception de la couleur

- Un rayonnement qui apparaît « blanc » est composé de plusieurs couleurs = plusieurs longueurs d'onde
- L'œil est sensible aux rayonnements « électromagnétiques » de longueur d'onde comprise entre environ  $0,4\mu\text{m}$  et  $0,75\mu\text{m}$

# Perception de la couleur

- L'œil est sensible aux rayonnements « électromagnétiques » de longueur d'onde comprise entre environ  $0,4\mu\text{m}$  et  $0,75\mu\text{m}$
- longueurs d'onde un peu plus petites: « ultraviolet »
- longueurs d'onde un peu plus grandes: « infrarouge »

# Perception de la couleur

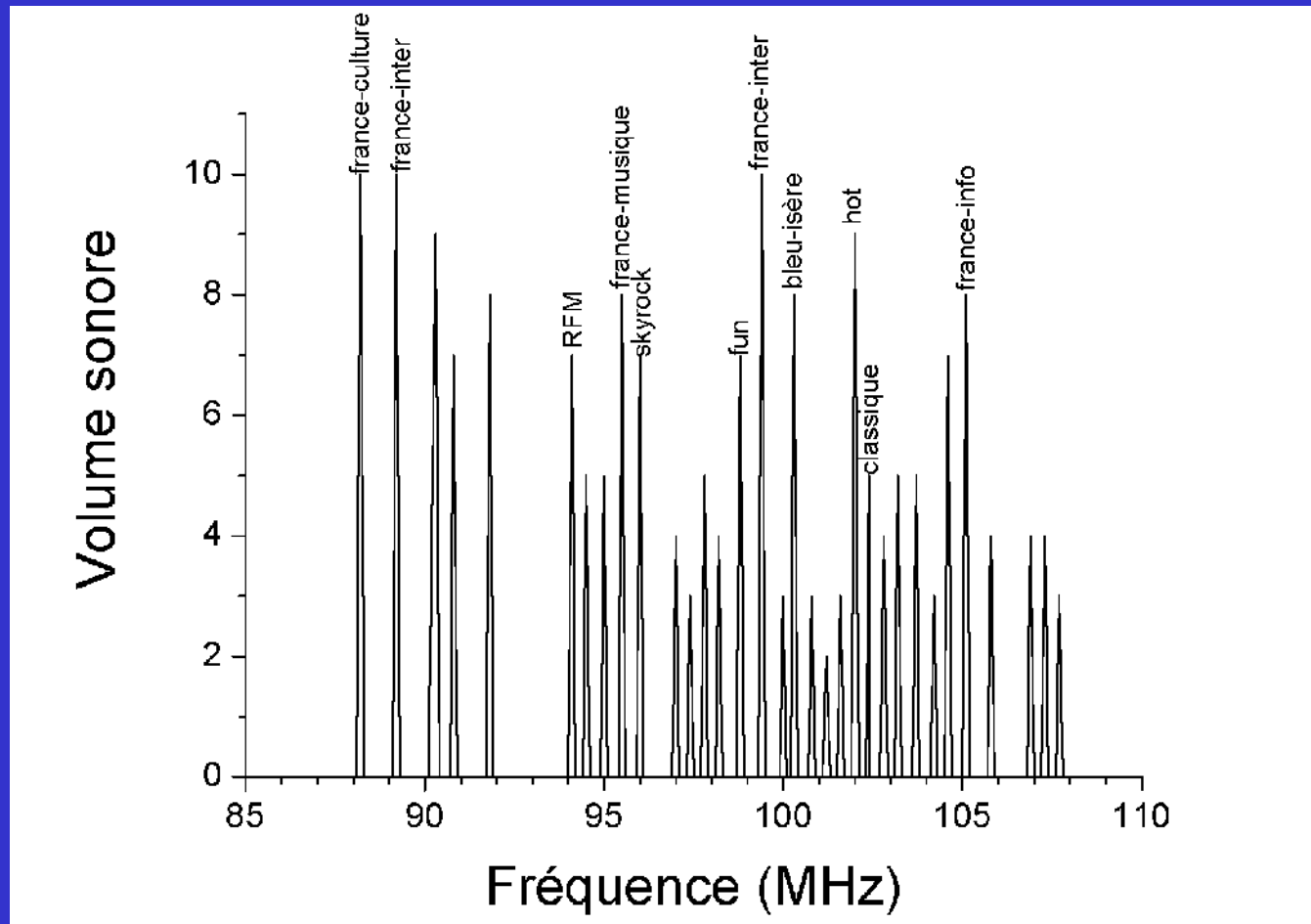
- Quantités physiques associée à la couleur:
  - Longueur d'onde (violet  $\sim 0,4-0,45\mu\text{m}$ ;  
rouge  $\sim 0,6-0,75\mu\text{m}$ ...)
  - Fréquence = vitesse de la lumière/longueur d'onde
    - NB ondes radio de même nature que lumière visible,  
mais fréquence et longueur d'onde différente

# Spectre de la lumière

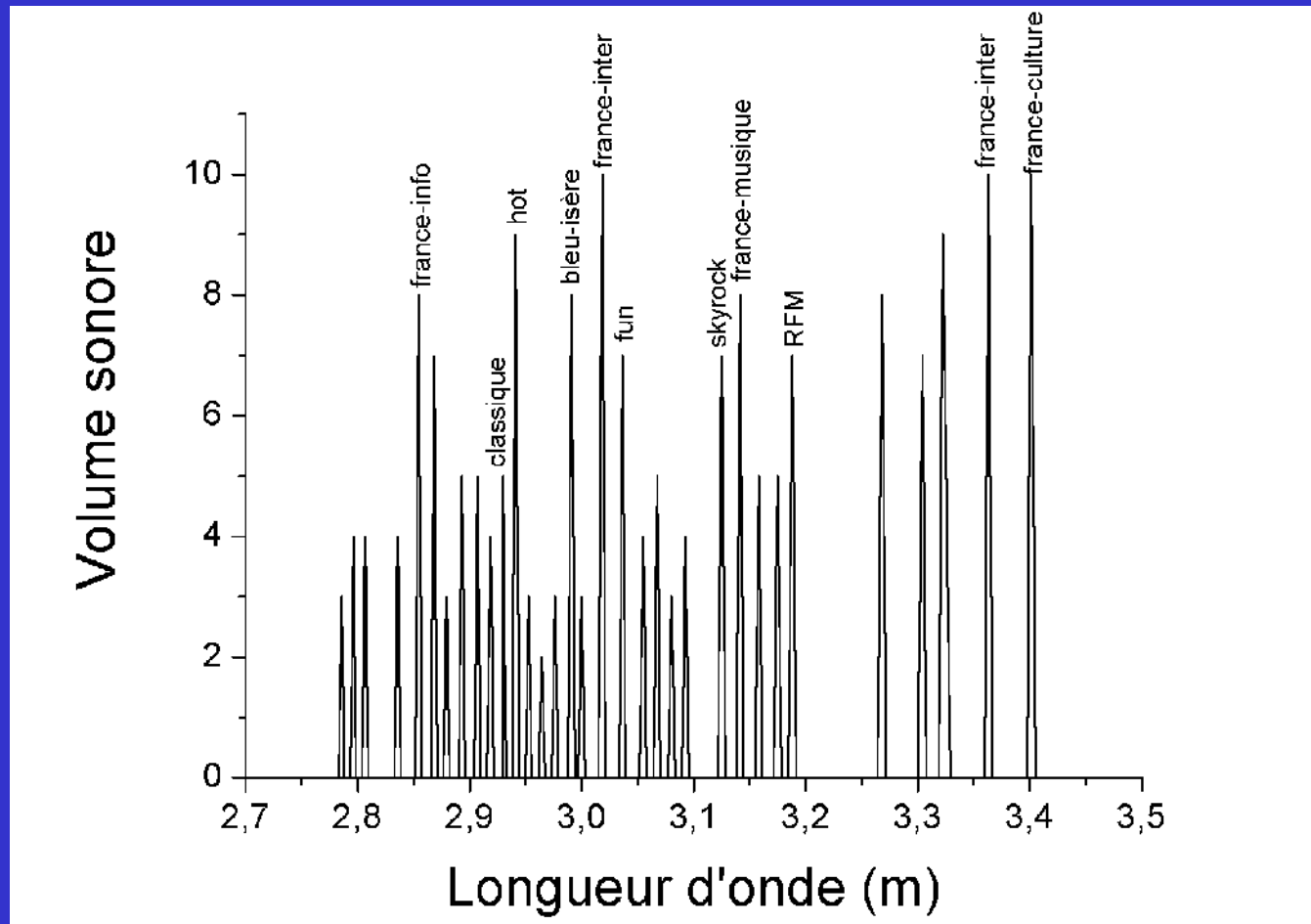
- Spectre=composition suivant les différentes longueurs d'onde, ou les différentes fréquences
- Spectre s'observe avec un « spectromètre »



# Un spectromètre des ondes radio: le poste de radio FM

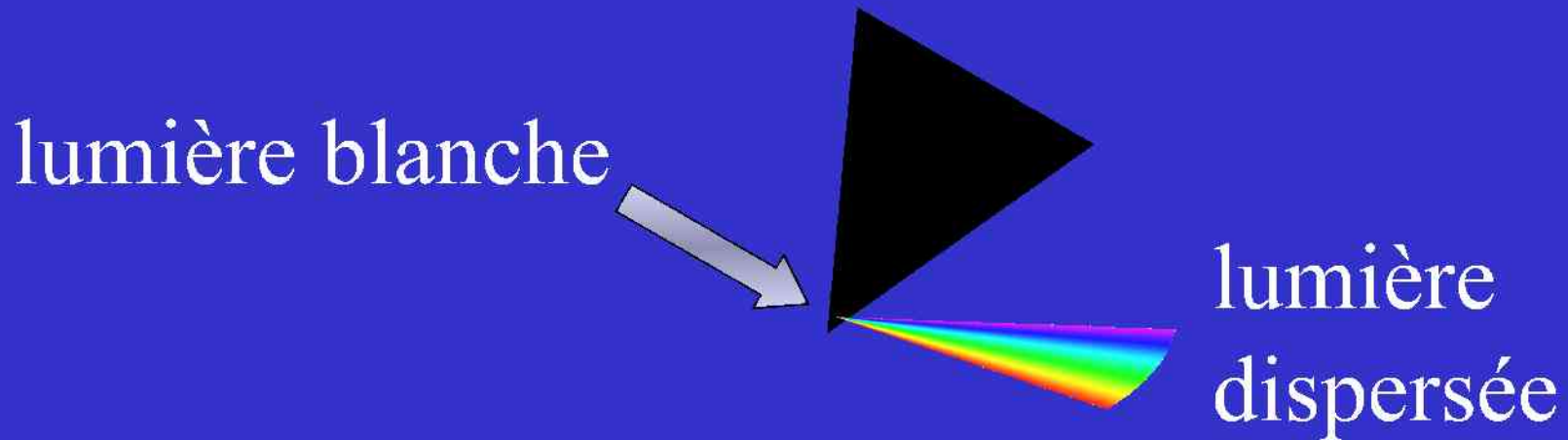


# Un spectromètre des ondes radio: le poste de radio FM



# Spectromètres pour la lumière

- Plusieurs modèles
  - **dispersion** des couleurs avec un prisme (effet semblable avec gouttes d'eau dans arc en ciel)

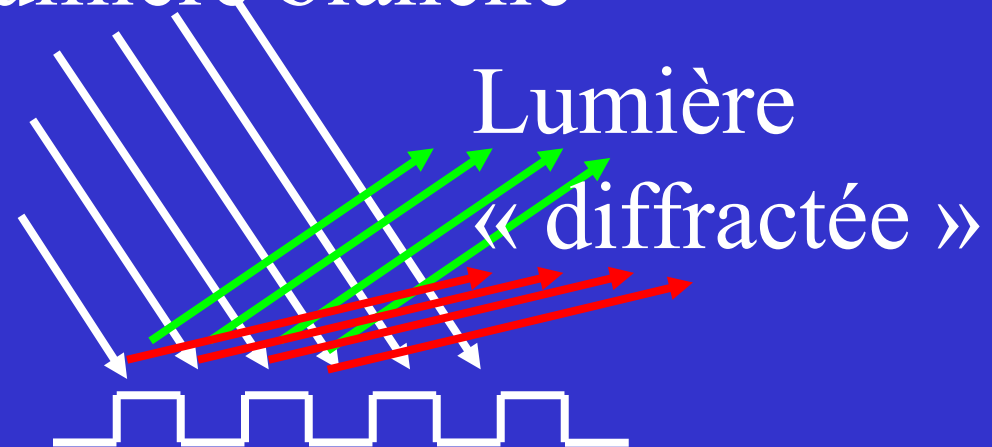


# Spectromètres pour la lumière

- Plusieurs modèles
  - dispersion des couleurs par un « réseau de diffraction » (effet semblable avec CD-ROM)



lumière blanche



Structure de la surface du CD

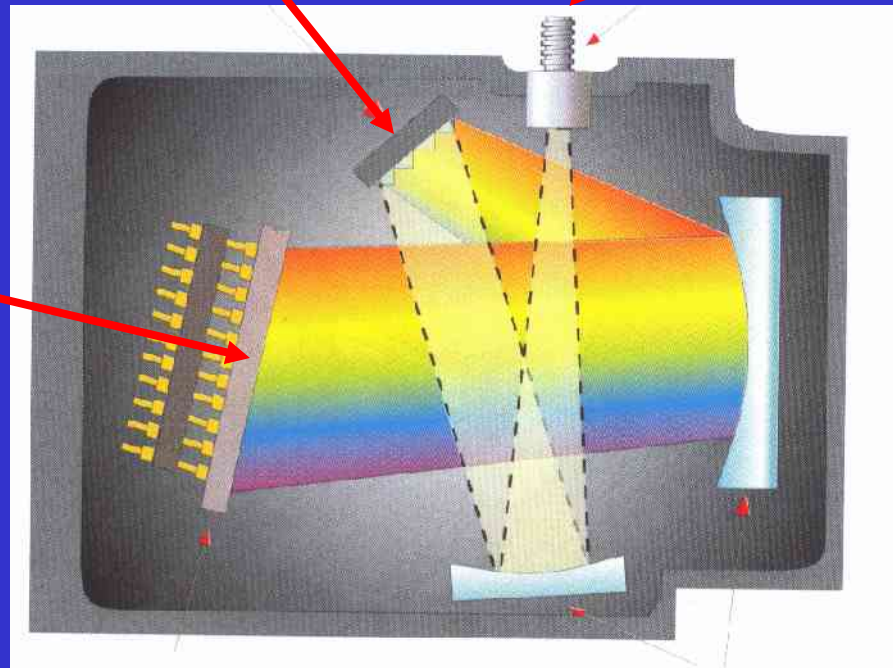
# Spectromètres pour la lumière

- Plusieurs modèles
  - Notre appareil

Connexion fibre  
optique

Réseau de  
diffraction

Barrette CCD  
photographiant le  
spectre



# Perception de la couleur

- Œil analyse la lumière en comptant la quantité de lumière répartie suivant 3 catégories non disjointes:
  - entre  $0,4\mu\text{m}$  et  $0,54\mu\text{m}$
  - entre  $0,48$  et  $0,6\mu\text{m}$
  - entre  $0,55$  et  $0,75\mu\text{m}$

# Perception de la couleur

- Œil analyse la lumière en comptant la quantité de lumière répartie suivant 3 catégories non disjointes:
  - entre  $0,4\mu\text{m}$  et  $0,5\mu\text{m}$
  - entre  $0,45$  et  $0,62\mu\text{m}$
  - entre  $0,5$  et  $0,75\mu\text{m}$
- La teinte perçue est donnée par la répartition de la lumière suivant ces 3 paquets

# Perception de la couleur

- La teinte perçue est donnée par la répartition de la lumière suivant ces 3 paquets
- Ceci explique pourquoi des rayonnements de « spectres » différents sont perçus de la même façon
- Phénomène largement utilisé (éclairage, imprimerie, photo, écrans TV et ordinateurs...)



## Manipes...

Observation de la lumière d'une lampe blanche diffractée par un CD-ROM posé par terre

Observation du spectre de plusieurs sources « blanches »

(Si on a le temps projection sur un écran du spectre d'une lampe halogène décomposé par prisme, et vérification avec spectro de la correspondance couleur-longueur d'onde)

Synthèse couleur jaune par superposition lasers vert + rouge

Observation du spectre des luminophores d'un écran PC (cathodique ou LCD) et synthèse des couleurs (cf panneau de configuration > affichage > bureau > autres couleurs). Observation directe des luminophores avec une loupe

# Couleurs des objets

- Les objets sont visibles par la lumière qu'ils diffusent lorsqu'on les éclaire
- Leur couleur est donnée par la couleur de la lumière qu'ils nous renvoient lorsqu'on les éclaire

# Couleurs des objets

- Leur couleur est donnée par la couleur de la lumière qu'ils nous renvoient ou transmettent lorsqu'on les éclaire
- Fonction de la couleur du rayonnement qui les éclaire. Supposons que ce soit « blanc ». Alors...

# Couleurs des objets

- Leur couleur est donnée par la couleur de la lumière qu'ils nous renvoient ou transmettent lorsqu'on les éclaire
- Fonction de la couleur du rayonnement qui les éclaire. Supposons que ce soit « blanc ». Alors...
- ...Fonction de la « réflectance » ou de la « transparence » en fonction de la longueur d'onde

# Couleur des objets opaques

- Objet blanc: rediffuse tout ce qu'il reçoit
- Objet rouge: rediffuse surtout le rouge (la lumière d'autres couleurs est davantage absorbée)
- Objet bleu: rediffuse surtout le bleu (la lumière d'autres couleurs est davantage absorbée)
- ...

# Couleur des objets opaques

- Mesure: « réflectance » en fonction de la longueur d'onde:
  - « réflectance » = quantité de lumière diffusée / quantité de lumière reçue
  - = quantité de lumière diffusée / quantité de lumière diffusée par objet blanc

## Manipes...

Enregistrement comme spectre de référence du spectre de la lumière diffusée par une surface blanche éclairée par lampe blanche, puis observation en mode réflectance (ou transmittance) du spectre diffusé par surfaces colorées.

# Couleur des objets transparents

- Mesure: « transparence » en fonction de la longueur d'onde:
  - « transparence » = quantité de lumière reçue / quantité de lumière transmise
- Objet rouge: transparence plus grande pour le rouge que pour le vert
- Objet vert: transparence moins grande pour rouge



## Manipes...

Enregistrement comme spectre de référence du spectre d'une lampe blanche transmis à travers verre rempli d'eau, puis observation en mode transmission du spectre lorsque on a ajouté du sirop de menthe (ou autre)

# Exemples d'applications

- Filtrage UV
- Analyse=mesure de la composition de l'objet
- Couleur du verre; couleur de l'air??

## Manipes...

Enregistrement comme spectre de référence du spectre émis par lampe blanche puis observer en mode transmission

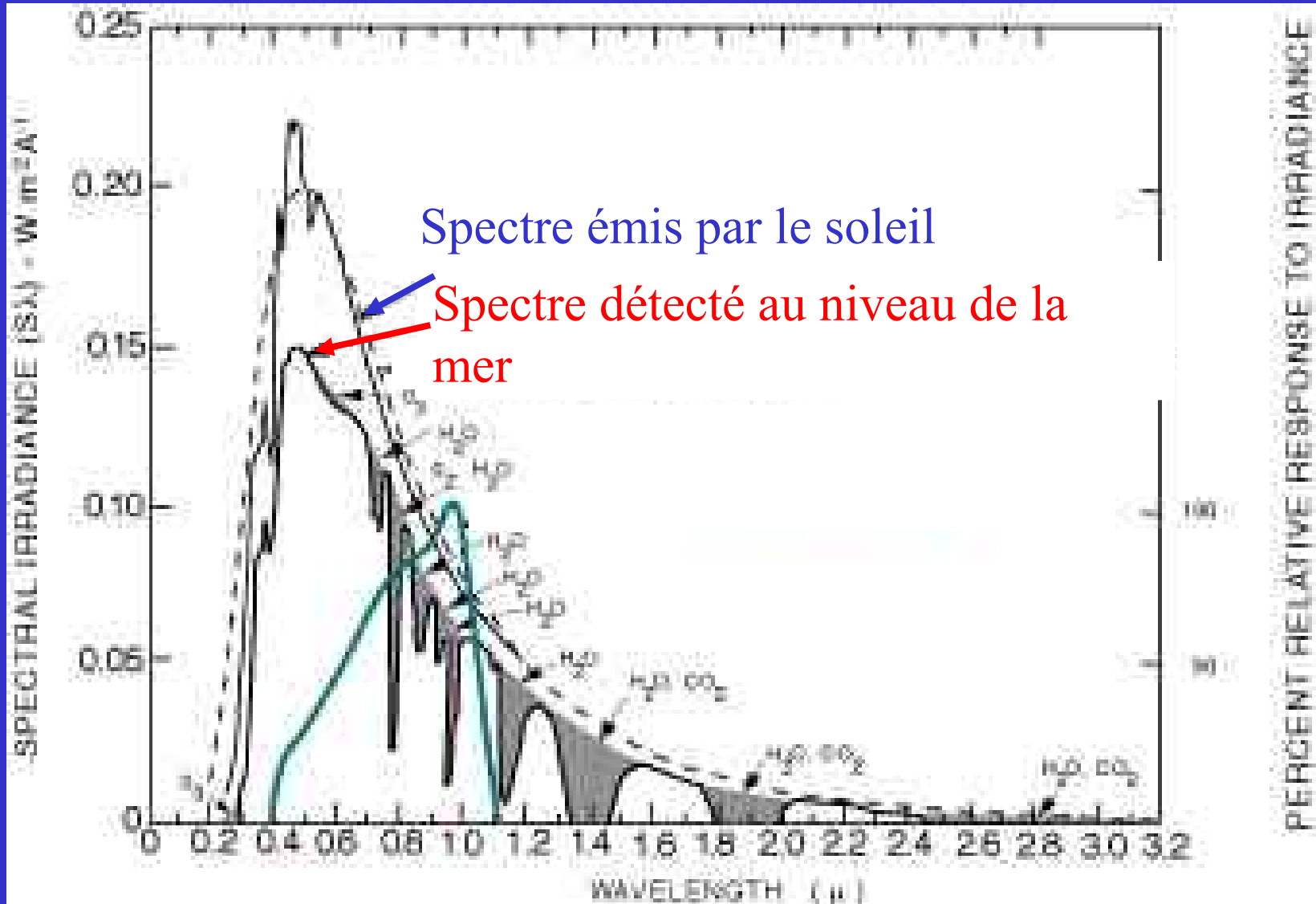
-le spectre de transmission d'un verre de lunette de soleil

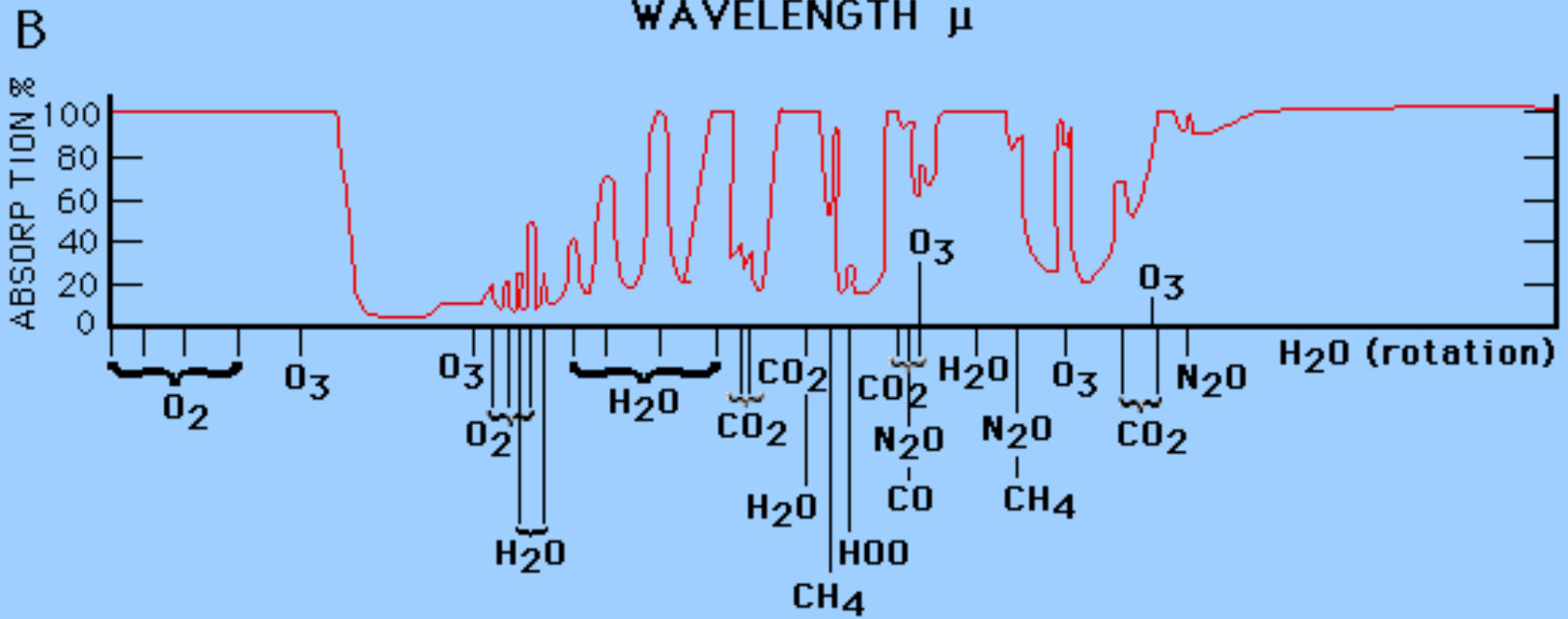
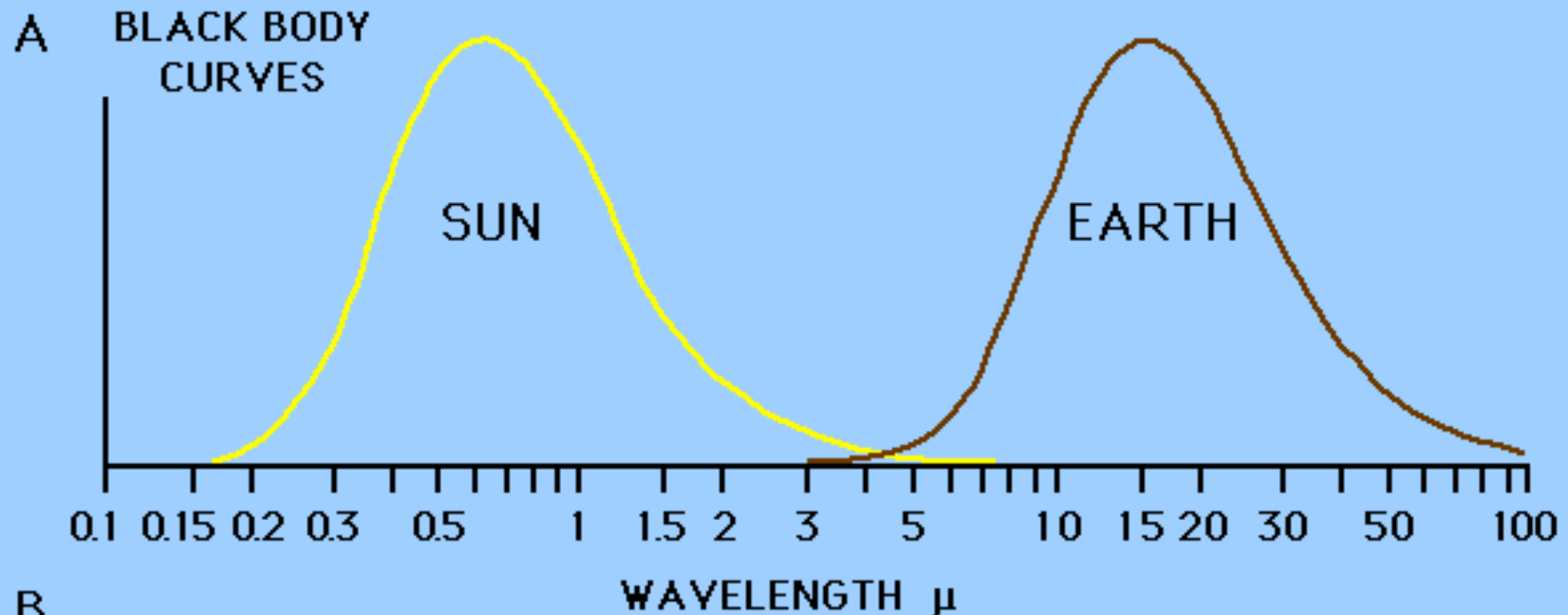
-le spectre de la transparence d'une vitre épaisse, comparer avec couleur du verre vu sur la tranche

-le spectre en transmission de la lumière transmise et diffusée par suspension diffusante

-Observer le spectre de la lumière solaire et ses bandes d'absorption

# Mise en évidence de l'absorption de la lumière par les composants de l'atmosphère terrestre





Exemple de recherches menées à Grenoble au  
Laboratoire Interdisciplinaire de Physique:

Mesure de la transparence du gaz  
méthane à basse température  
à ultra haute sensibilité

# Les satellites de la planète Saturne



Titan



Rhéa



Iapétus



Dioné



Thétys



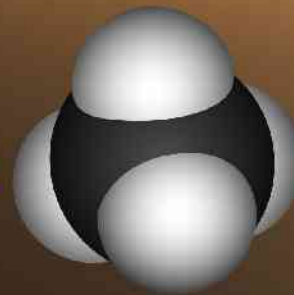
Encelade



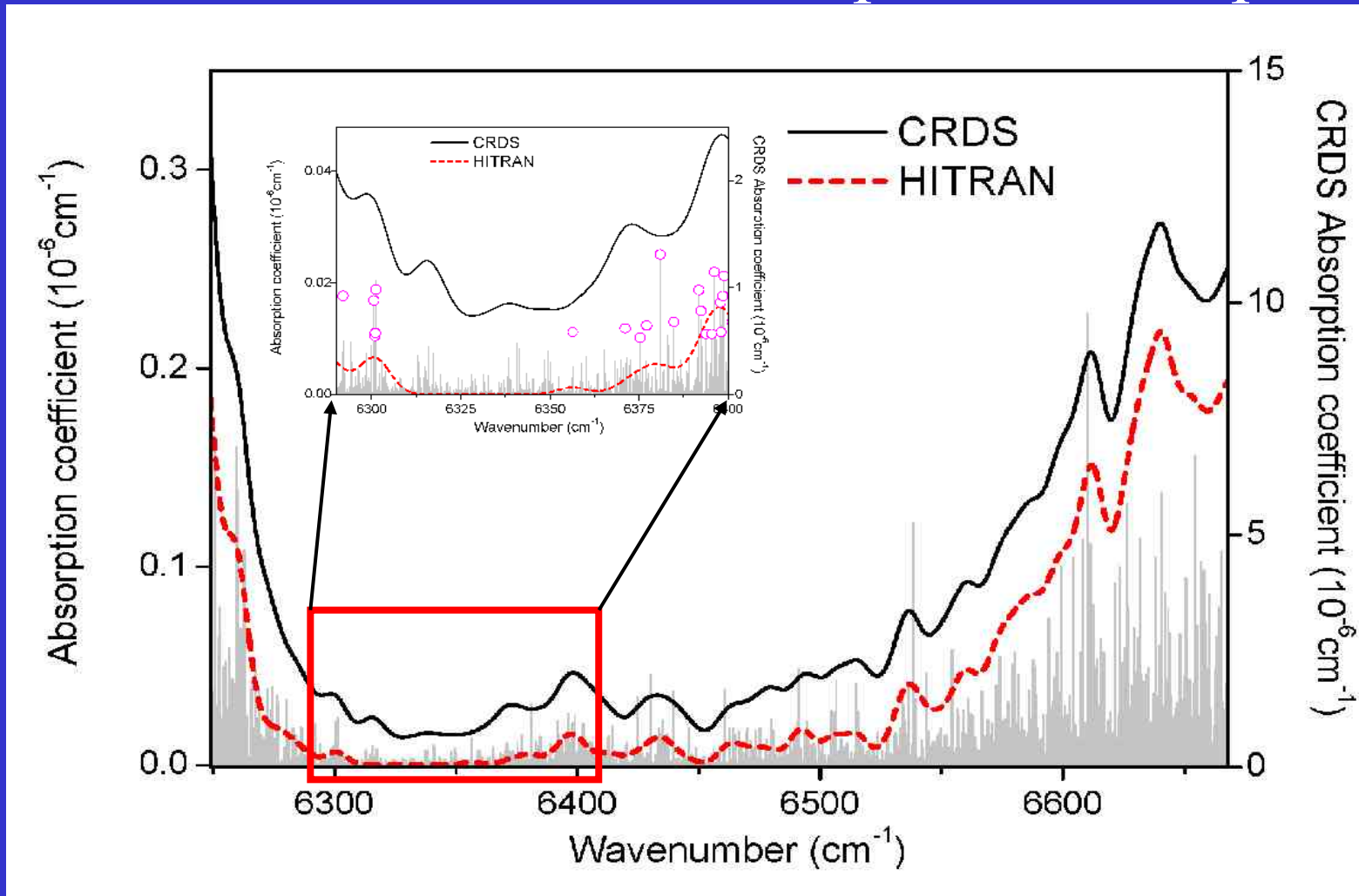
Mimas

**Titan** : T ~ -188°C  
Pression CH<sub>4</sub> ~ 75 mbar  
Atmosphère ~ 20 km

*Méthane: CH<sub>4</sub>*



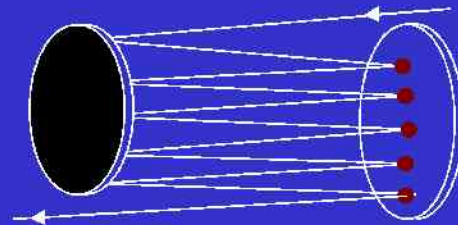
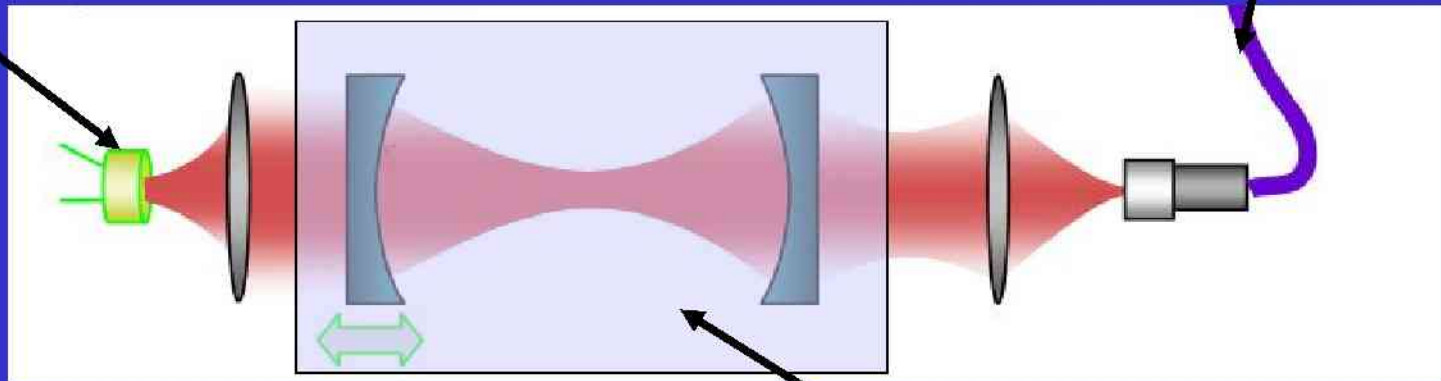
# Nécessité de mesurer la transparence de CH<sub>4</sub> à ultra-haute sensibilité pour analyser la composition du sol de Titan observé à travers son épaisse atmosphère





Détection de la quantité de lumière transmise en fonction de la longueur d'onde

Source laser de longueur d'onde variable



Enceinte contenant le gaz et 2 miroirs de très haute réflectivité

Distance parcourue par la lumière dans l'enceinte avant de sortir  $\sim 10\text{km}$

# Phénomènes de fluorescence

- Absorption de la lumière éclairant l'objet
- Réémission de l'énergie absorbée sous forme de lumière de longueur d'onde différente

## Manipes...

Observation de la fluorescence d'un flacon rempli de rhodamine éclairé par la lumière ambiante: rose ou jaune?

Observation sur un écran de la couleur de la lumière transmise en éclairant par source blanche, et de la fluorescence dans la bouteille

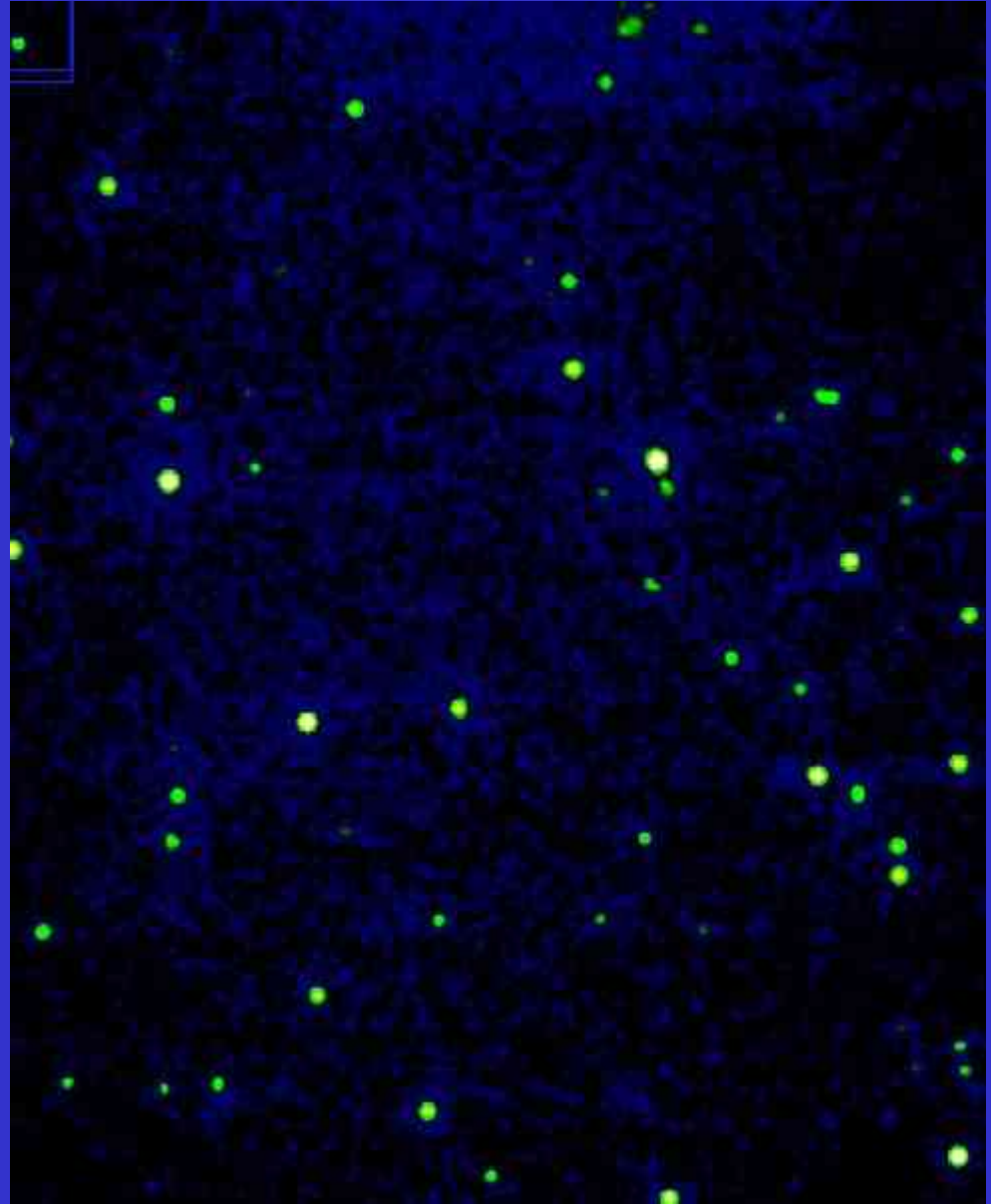
Observation de la fluorescence induite par faisceau laser dans la bouteille (et atténuation sur le trajet)

# Exemple d'applications

- Détection de molécules à très faible concentration
  - Très nombreuses applications en biologie moléculaire après incorporation de molécules fluorescentes aux molécules que l'on veut détecter (ADN, protéines...)

# Exemple de recherches menées à Grenoble au Laboratoire Interdisciplinaire de Physique:

Détection par leur  
fluorescence de molécules  
individuelles (cyanine)  
déposées sur une lame de  
verre



# Le prix Nobel de chimie 2008

- Décerné à M. Chalfie, O. Shimomura et R.Y. Tsien « pour la découverte et le développement de la protéine fluorescente verte »

(« GFP », « Green Fluorescent Protein »)

[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/2008/](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2008/)

# Le prix Nobel de chimie 2008

- Molécule GFP présente naturellement chez certaines méduses



# Le prix Nobel de chimie 2008

- Organismes peuvent être génétiquement modifiés pour fabriquer cette protéine fluorescente





# Le prix Nobel de chimie 2008

- Organismes peuvent être génétiquement modifiés pour fabriquer cette protéine fluorescente... ou d'autres de la même famille et de couleur différente.
- On peut aussi modifier génétiquement des organismes pour que certaines protéines que l'on veut détecter soient fusionnées à GFP ou autres...

Vidéo de division de cellules épithéliales de rein de porc génétiquement modifiées de telle sorte que la tubuline (cytosquelette) et l'histone 2B (ADN) soient fusionnées par des protéines fluorescentes respectivement verte et rouge.