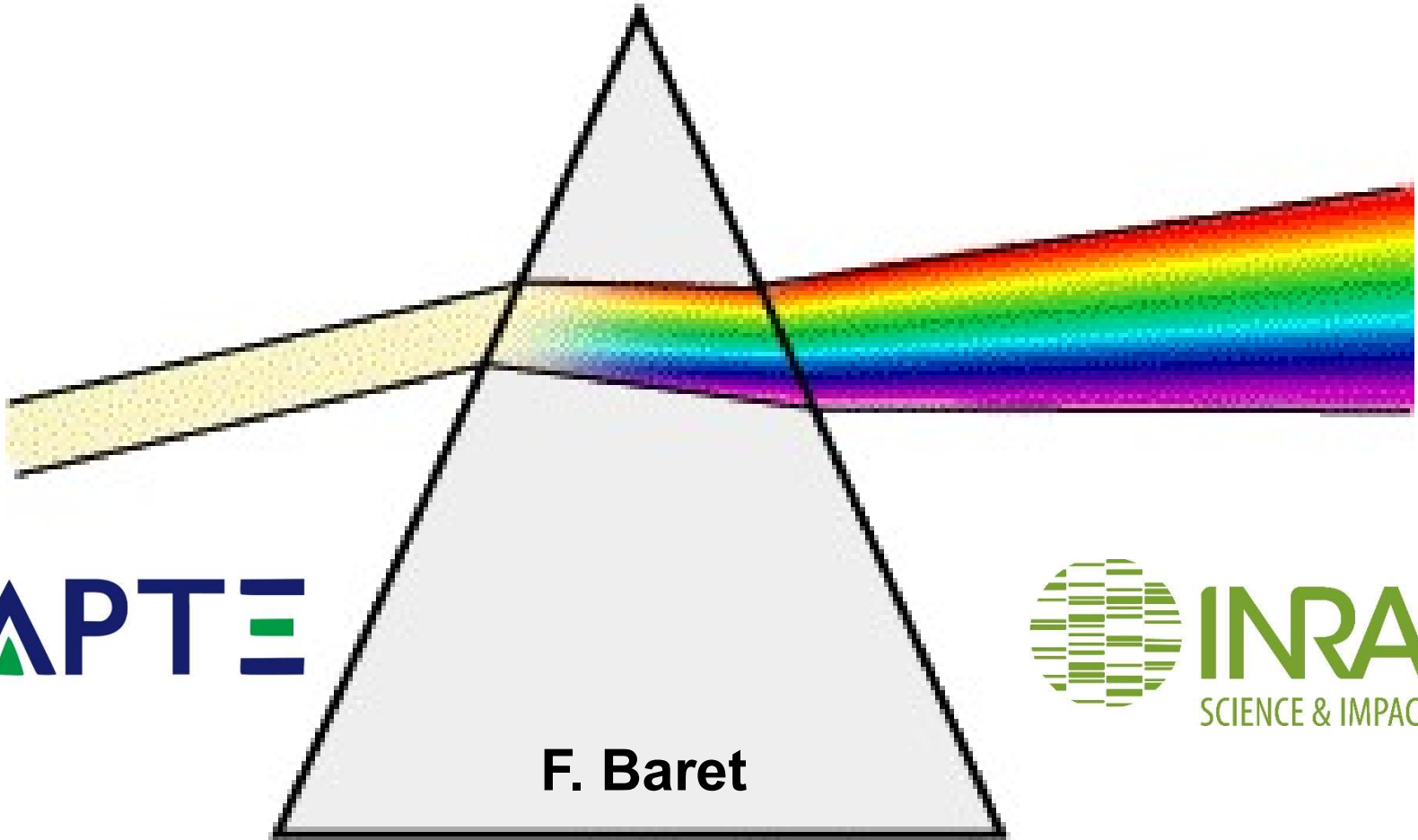


# Bases de la Radiometrie



*InnObs, Montpellier, 19/11/2019*

# Plan: Introduction

## Definitions

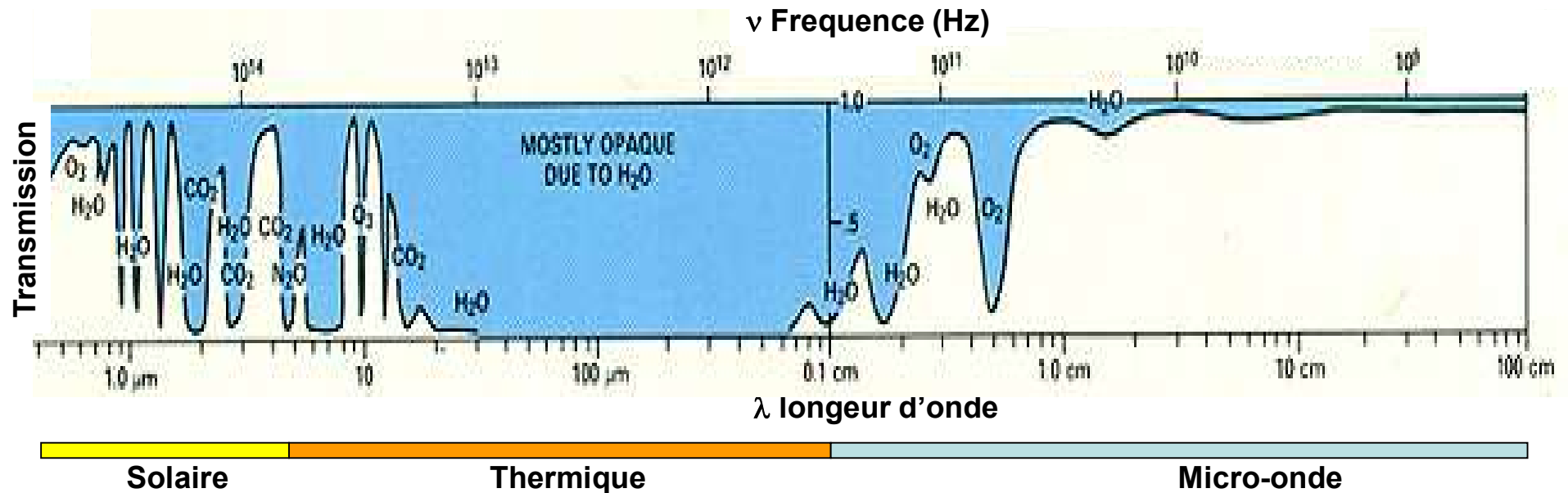
- Les domaines spectraux
- Réflectance: définition
- Directionnalité

## Processus Physiques

- Diffusion
- Absorption

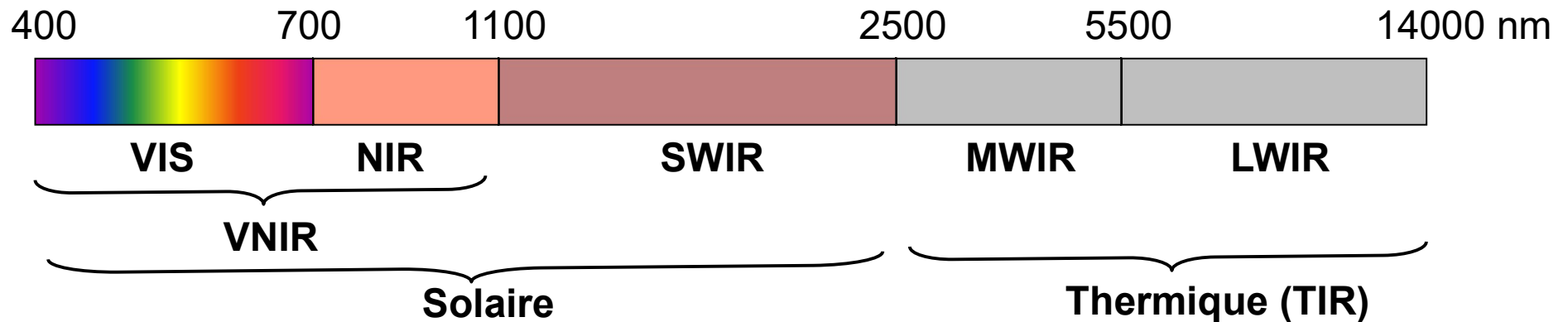
# Les domaines spectraux

$$c = \lambda \nu$$



On se concentre dans le domaine solaire réfléchif:  $0.4\text{-}2.5 \mu\text{m}$

# Domaine solaire réfléchif

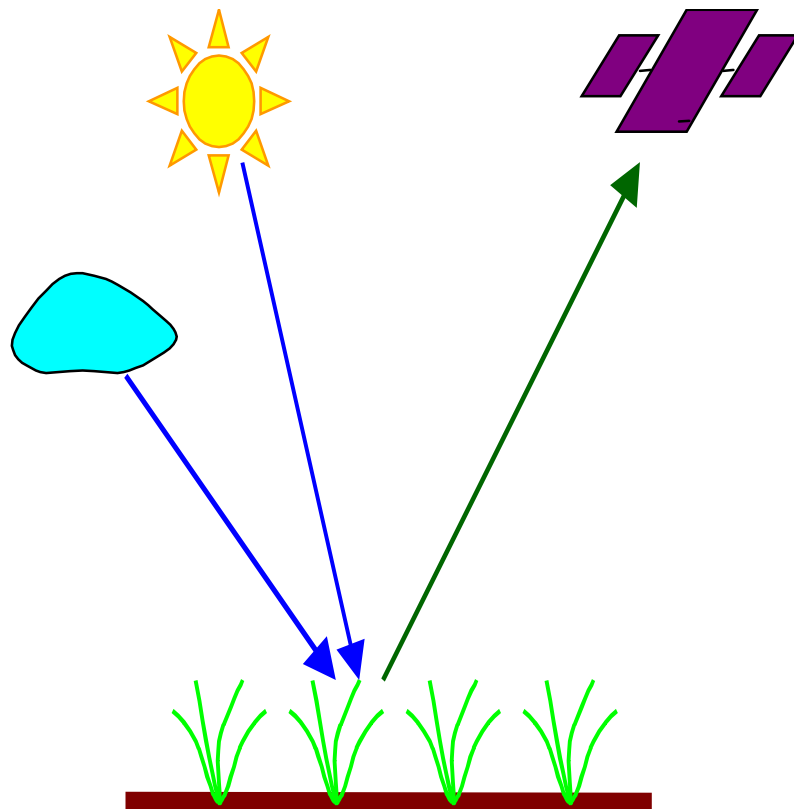


## Différents types d'instruments

|                      | bands   | $\Delta\lambda/\lambda$ | VNIR   | SWIR    | TIR       |
|----------------------|---------|-------------------------|--------|---------|-----------|
| Multispectral        | 5-10    | 0.1                     | 50-100 | 100-200 | 1000-2000 |
| Superspectral        | 10-20   | 0.05                    | 20-50  | 50-100  | 500-1000  |
| <b>Hyperspectral</b> | 100-200 | 0.01                    | 5-20   | 10-50   | 100-500   |
| Ultraspectral        | -       | 0.001                   | 0.1-5  | 0.2-10  | 20-100    |

**Continuité entre bandes**

# Mesure dans le domaine visible - proche IR (0.4 - 2.5 $\mu\text{m}$ )

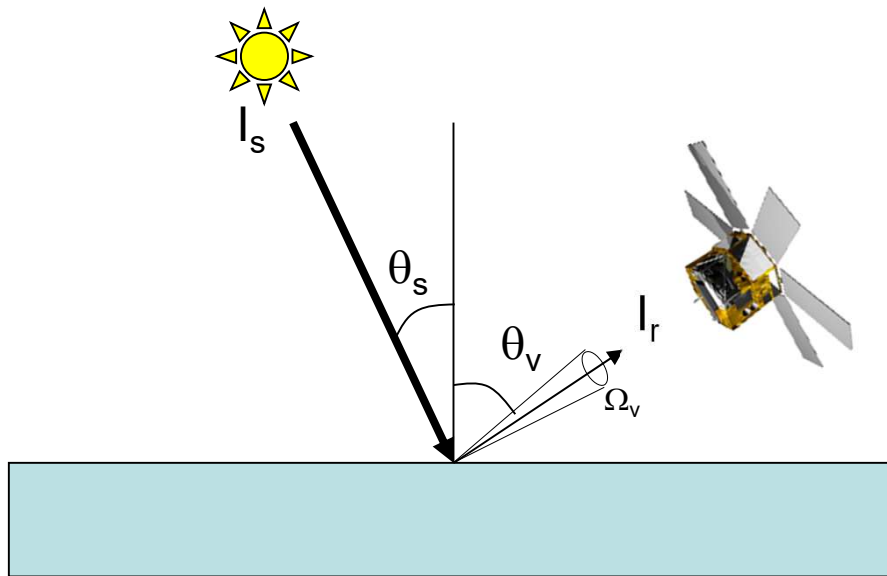


Rayonnement réfléchi :

$$L_R = \rho(\lambda) E_i$$

$\rho(\lambda)$  : reflectance

# Reflectance: définition



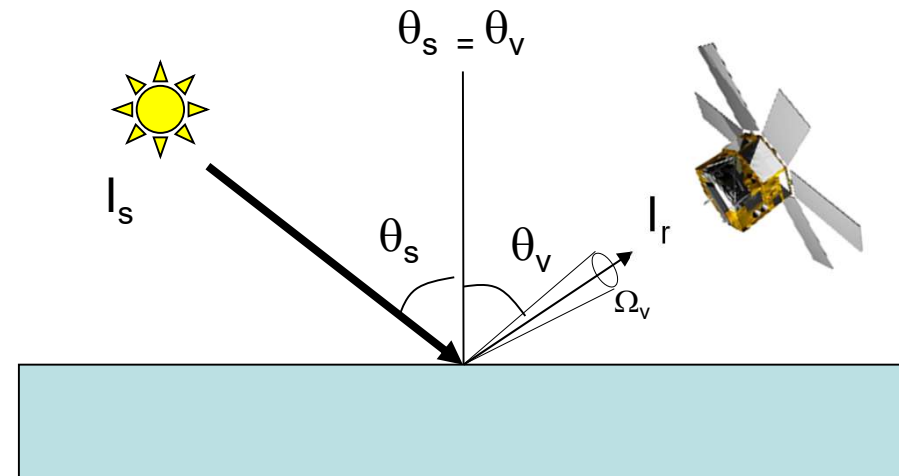
$$\text{Reflectance} = \frac{\int_{\Omega_v} I_v(\theta_v, \phi) \cdot \cos \theta_v \cdot d\Omega_v}{I_s}$$

Facteur de réflectance: ratio entre le flux réfléchi et celui réfléchi par un diffuseur parfait (blanc, lambertien)

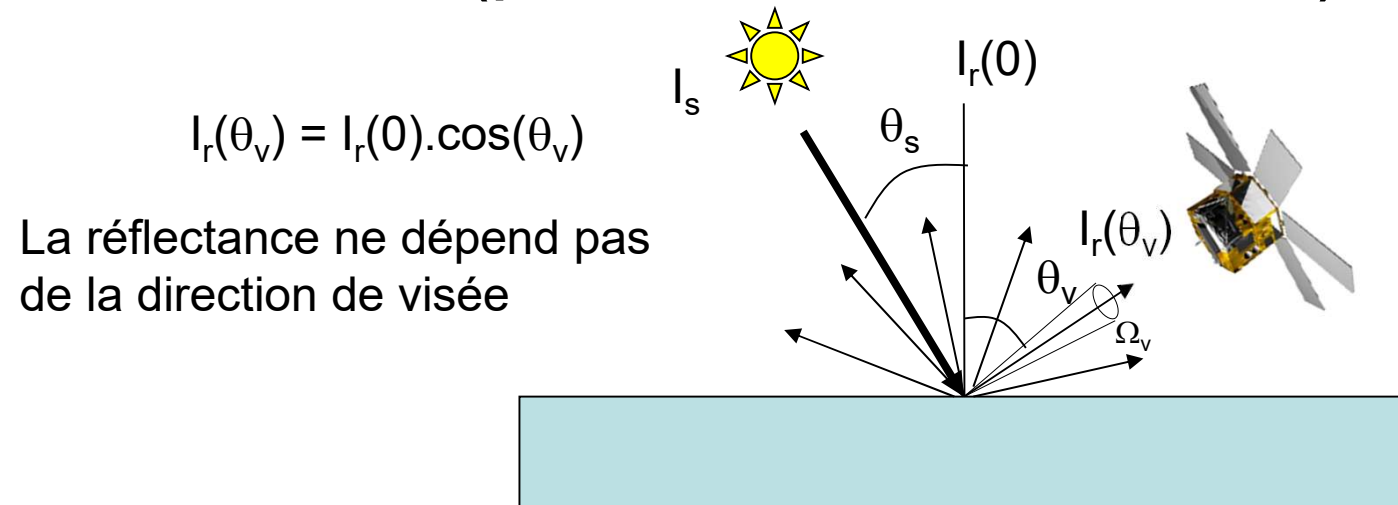
$$\text{facteur de reflectance} = R = \pi \frac{\int_{\Omega_v} I_v(\theta_v, \phi) \cdot \cos \theta_v \cdot d\Omega_v}{I_s}$$

# Différents types de diffusion

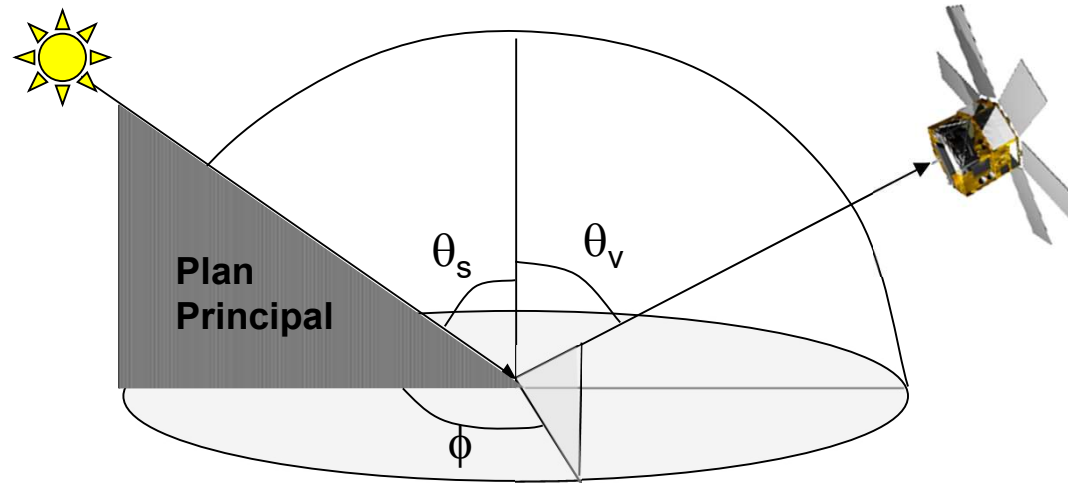
## □ Réflectance spéculaire (miroir)



## □ Réflectance diffuse (parfaite, lambertienne)



# Géométrie de la mesure

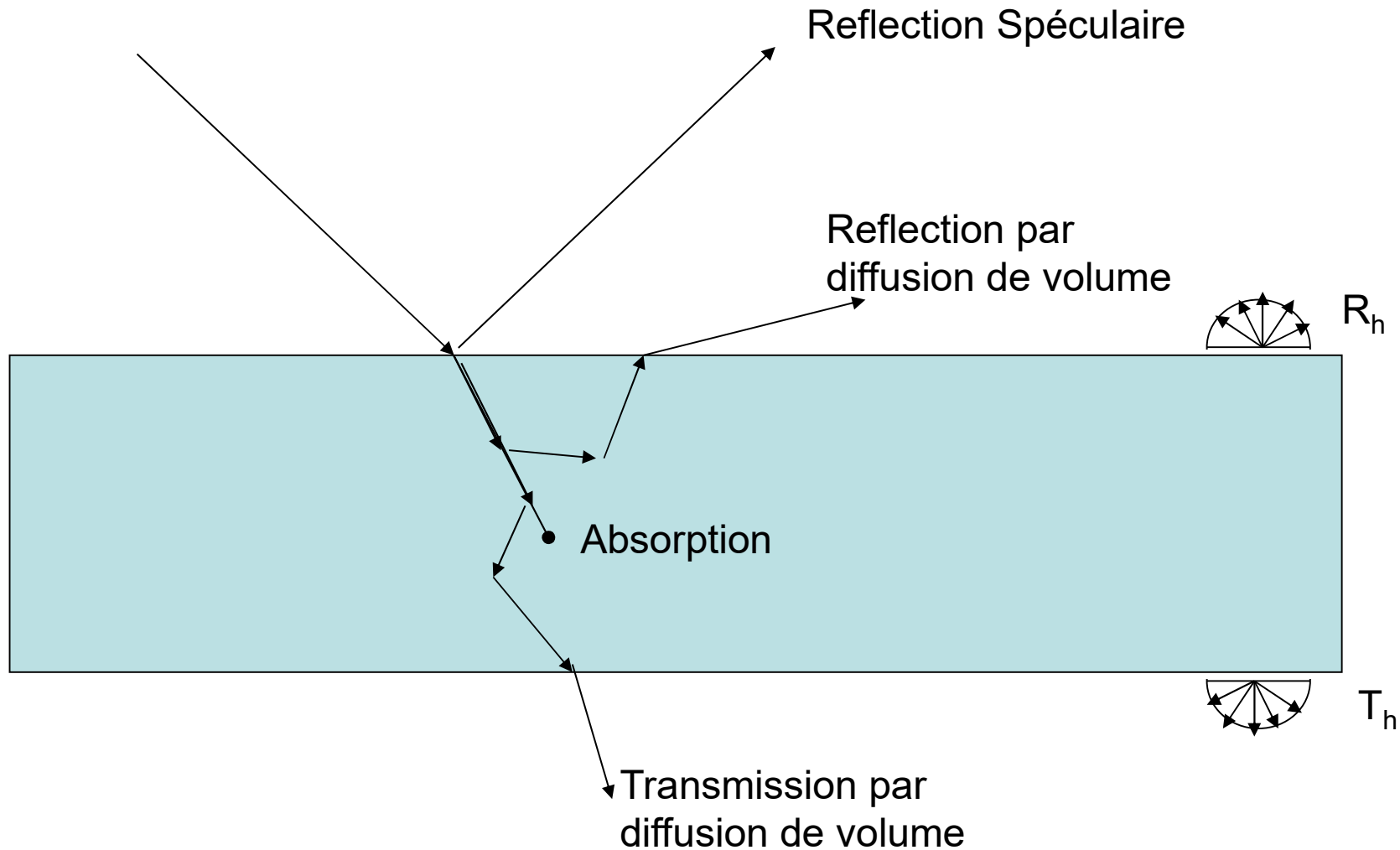


BRDF: Bi-directional Reflectance Distribution Function

|                      |  |                                |
|----------------------|--|--------------------------------|
| visée<br>incidence   | <b>Directionnel</b>                    | Hémisphérique                  |
| Directionnel         | Bi-directionnel                        | Hemispherique-<br>directionnel |
| <b>Hémisphérique</b> | <b>Directionnel-<br/>hémisphérique</b> | Bi-hémisphérique               |



# Processus physiques: Diffusion et Absorption



conservation de l'énergie pour les flux hémisphériques:  $R_h + T_h + A = 1$

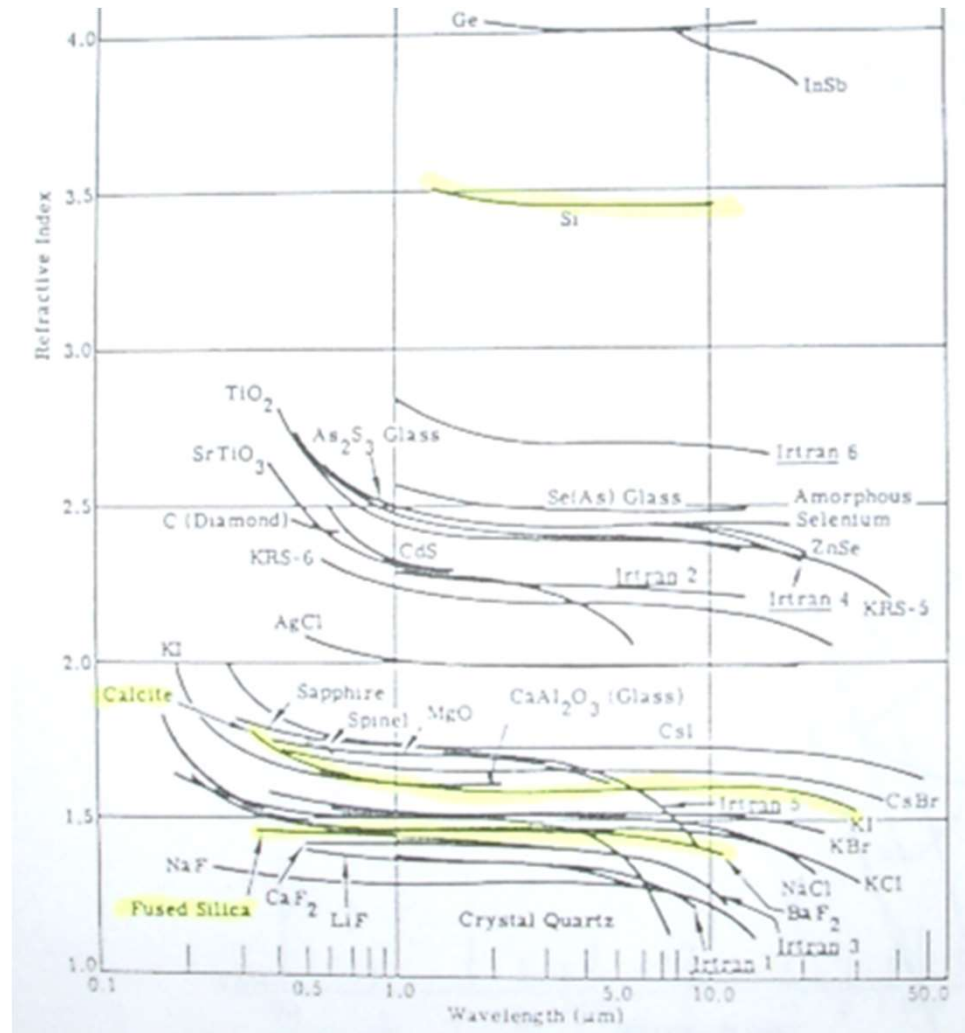
# Processus élémentaires

absorption et diffusion sont décrits  
par l'indice de réfraction complexe du milieu ( $N$ )

$$N = \begin{array}{|c|} \hline \text{Diffusion} \\ \hline n \\ \hline \text{Partie réelle} \\ \hline 0.02 < \frac{dn}{d\lambda} < 0.1 \mu\text{m}^{-1} \\ \hline \text{Dépendance} \\ \text{spectrale} \\ \text{faible} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Absorption} \\ \hline iK \\ \hline \text{Partie imaginaire} \\ \hline k = 4 \frac{K}{\lambda} \\ \hline \text{Dépendance} \\ \text{spectrale} \\ \text{forte} \\ \hline \end{array}$$

Indice de réfraction complexe

# Indice de réfraction des matériaux



From Wolfe and Zissis, 1978

L'indice de réfraction varie assez spectralement peu dans le domaine solaire

# Processus de diffusion: fonction de phase

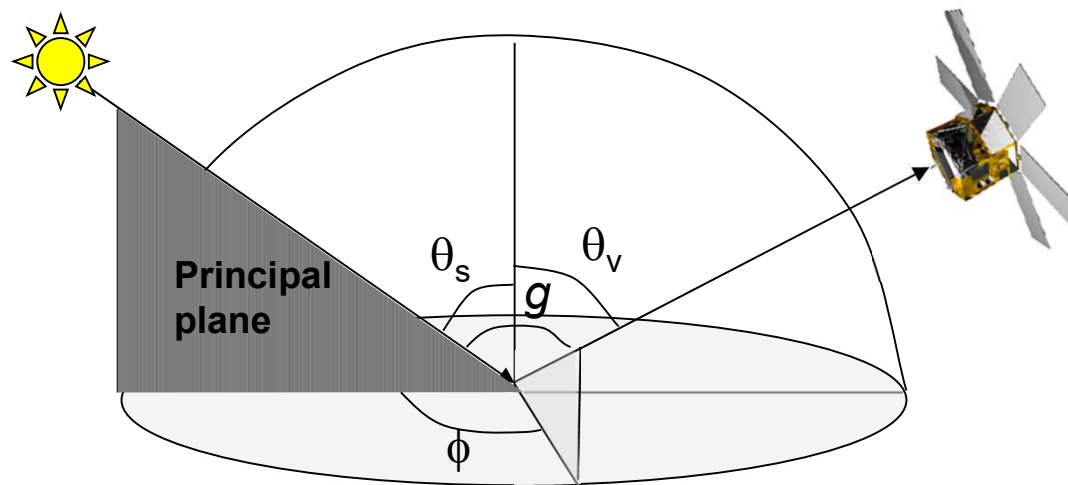
La diffusion dépend principalement de:

- La partie réelle de l'indice de réfraction ( $n$ )
- La taille des particules:  $\pi.D/\lambda$

La fonction de phase,  $\Phi(g)$ , décrit la probabilité de diffusion dans une direction donnée par l'angle de phase ( $g$ ) entre direction d'incidence et de visée

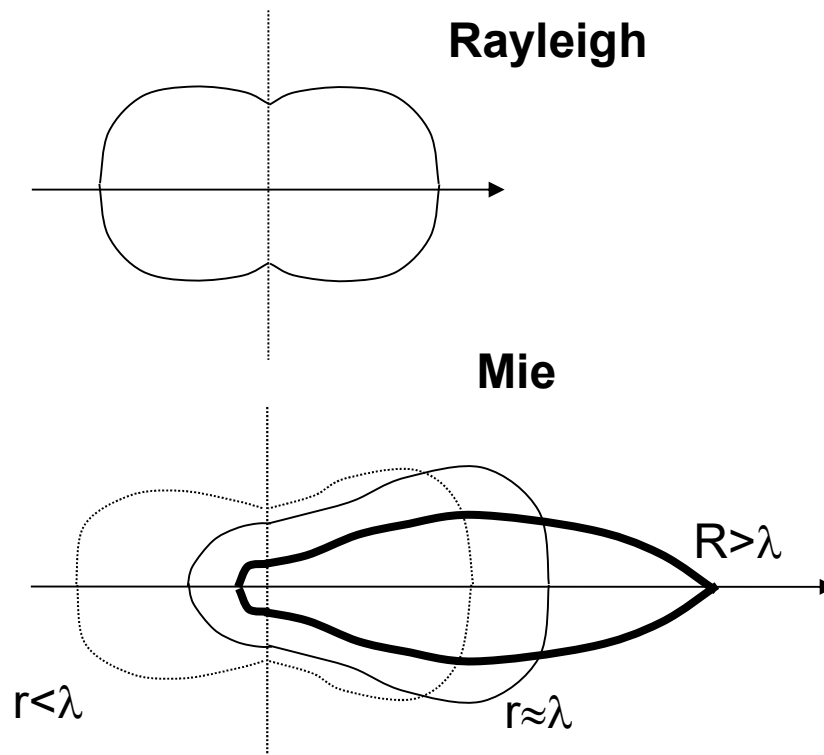
$$g = \text{phase angle} = \arccos(\cos(\theta_s) \cdot \cos(\theta_v) + \sin(\theta_s) \cdot \sin(\theta_v) \cdot \cos(\phi))$$

$$\int_{4\pi} \Phi(g) dg = 1$$

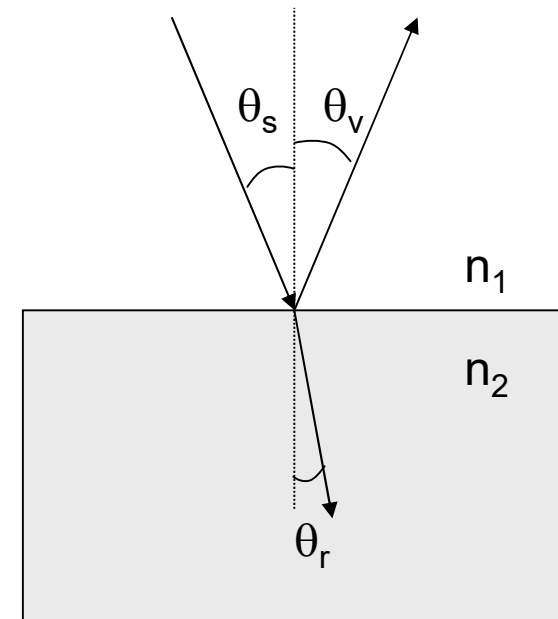


# Processus de diffusion

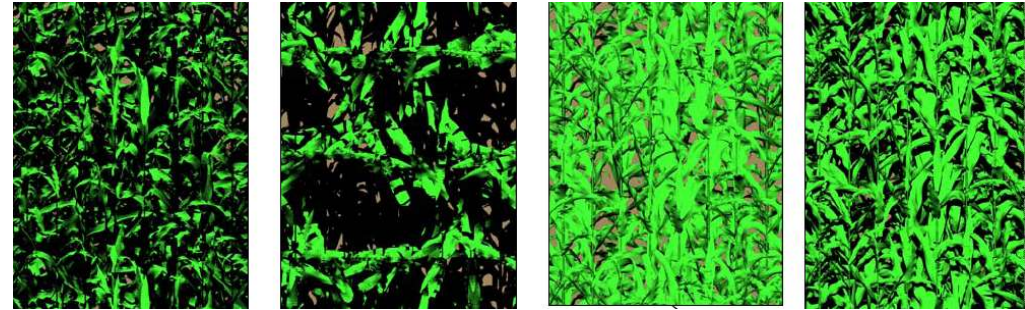
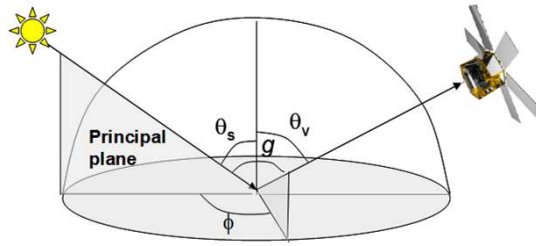
| Type of scattering            |          | Relative diameter                                 | Spectral dependance  | Phase function  | Elements                              |
|-------------------------------|----------|---|--|---|---------------------------------------|
| Volume scattering             | Rayleigh | $\frac{\pi \cdot D}{\lambda} < \frac{0,6}{n}$     | $\tau(\lambda) = \tau(\lambda_0) (\lambda / \lambda_0)^{-4}$ | symmetrical   | Molecules<br>(Water, atmosphere, ...) |
|                               | Mie      | $5 < \frac{\pi \cdot D}{\lambda} < \frac{0,6}{n}$ | $\tau(\lambda) = \tau(\lambda_0) (\lambda / \lambda_0)^{-1}$ | forward   | Aerosols                              |
| Surface reflection/refraction |          | $\frac{\pi \cdot D}{\lambda} > 5$                 | $\rho(\lambda) \approx \rho(\lambda_0)$                      | $\theta_s = \theta_v / n_1 \cdot \sin \theta_s = n_2 \cdot \sin \theta_r$ | Leaf or background facets             |



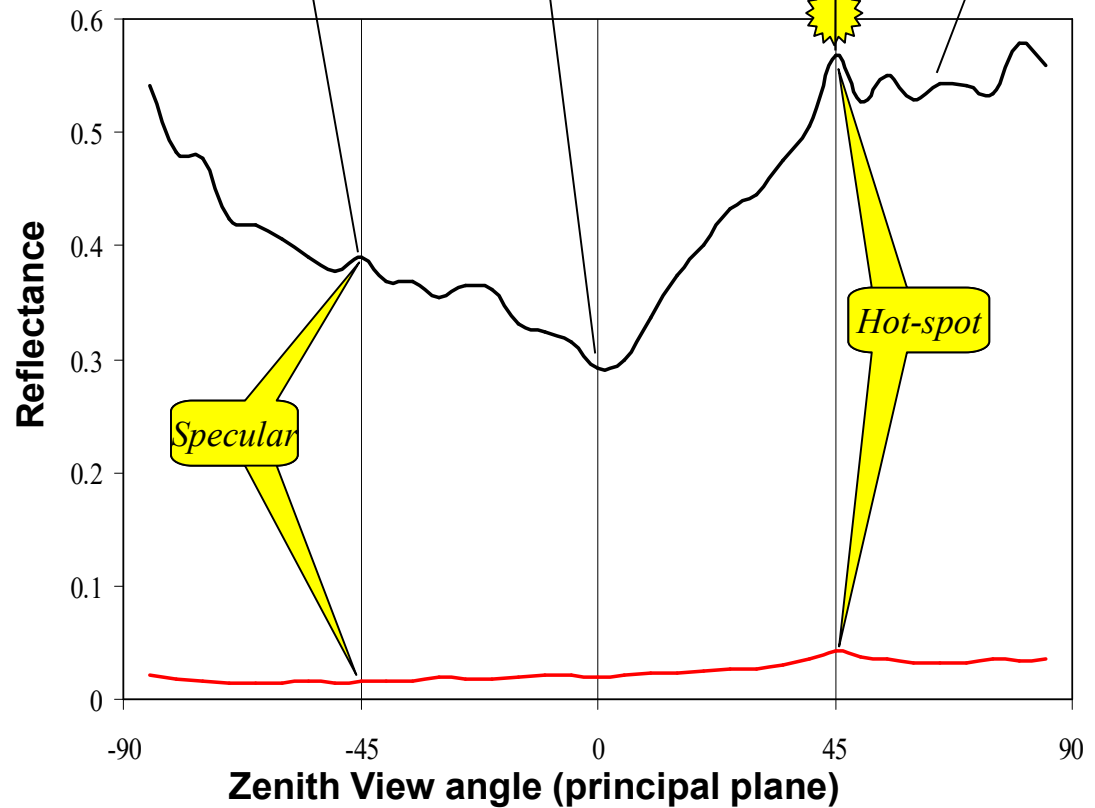
## Réflexion et réfraction



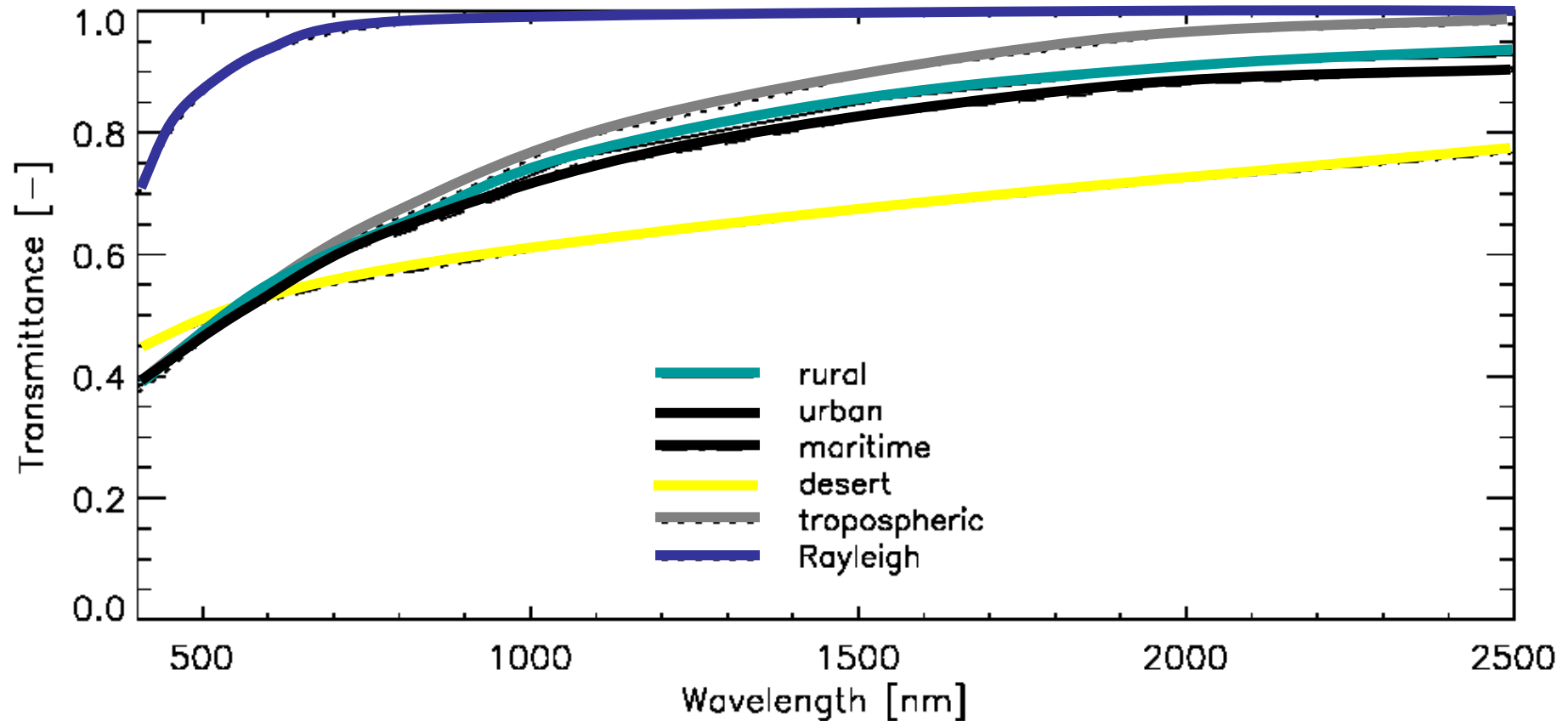
# BRDF Typique



- ombrage
- Contraste entre sol/feuilles
- Diffusion multiple



# Diffusion par l'atmosphère

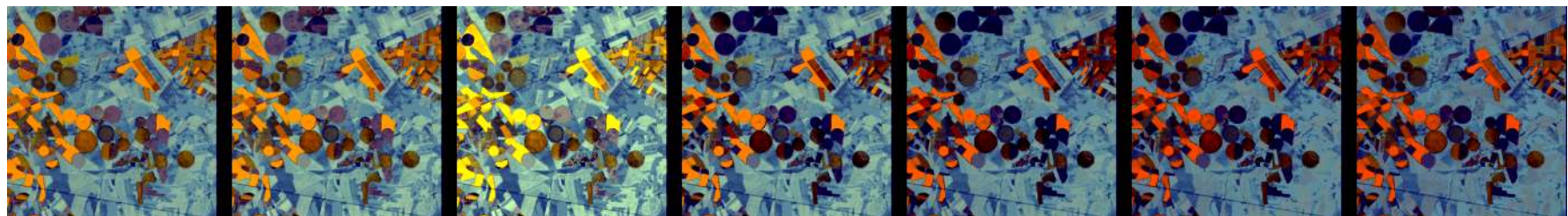


MODTRAN simulations of the transmittance of aerosol for a 10km visibility atmosphere  
From Schaepman et al., 2002



# Exemple de mesures directionnelles

TOC: sommet du couvert



-60°

-45°

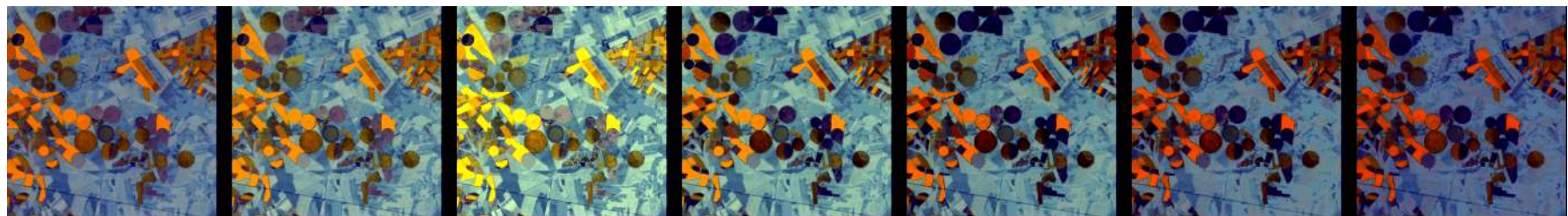
hot spot

nadir view

+22°

+45°

+60°



TOA: sommet de l'atmosphère

atmospheric visibility = 40 km

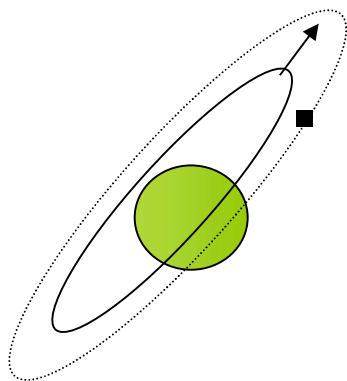
660 nm, 730 nm, 840 nm



# Processus Élémentaires d'absorption

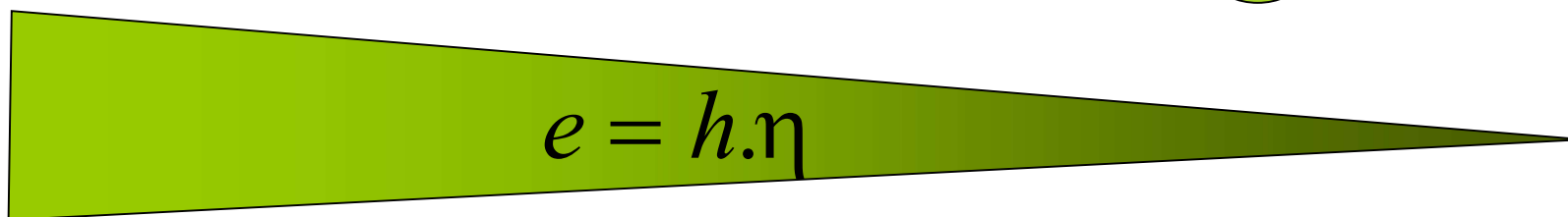
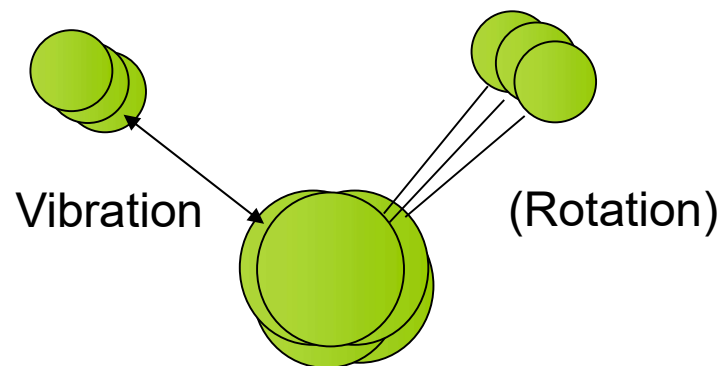
## Absorption Atomique

transitions électroniques



## Absorption Moléculaire

Vibration & rotation

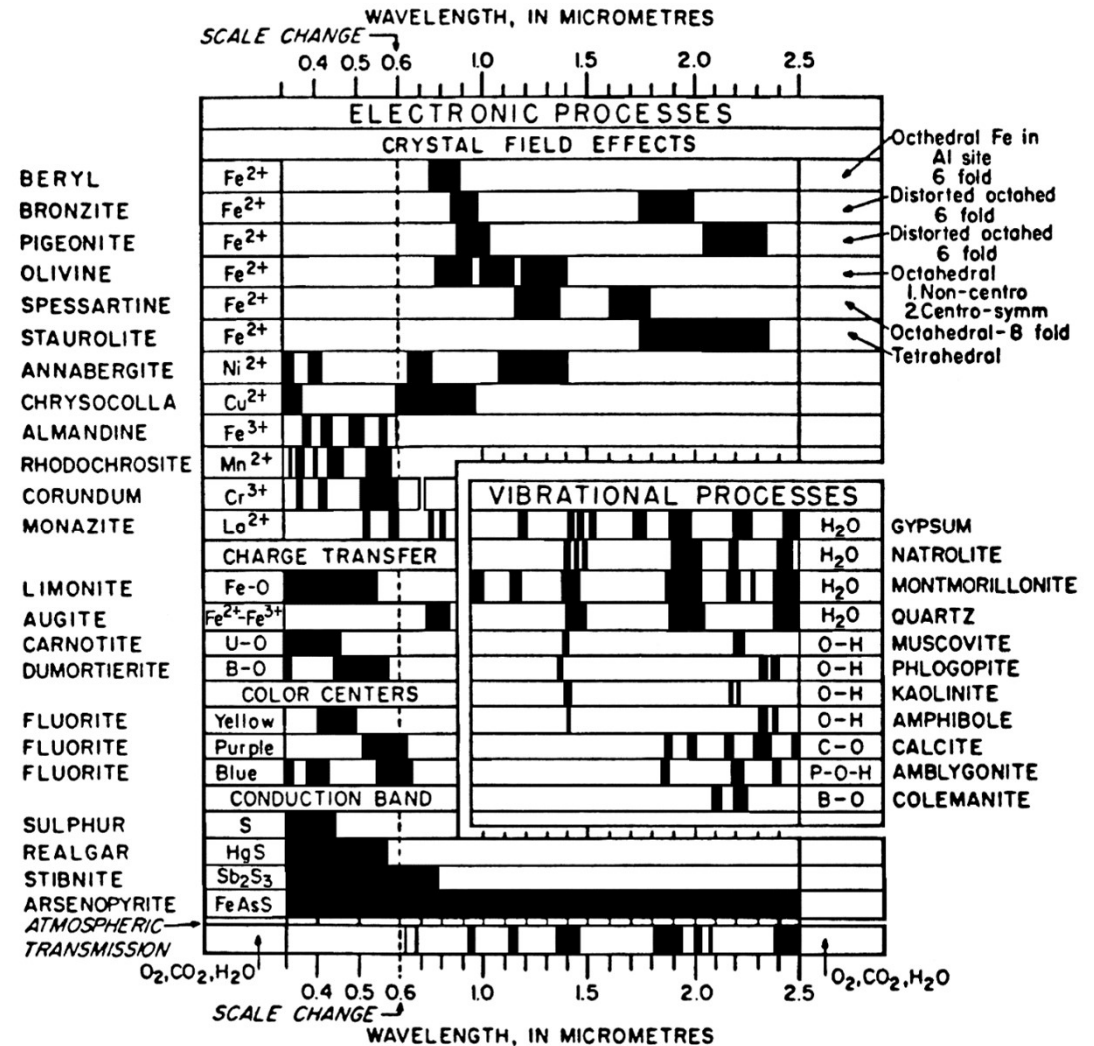


forte energie  
domaines **Vis-PIR**

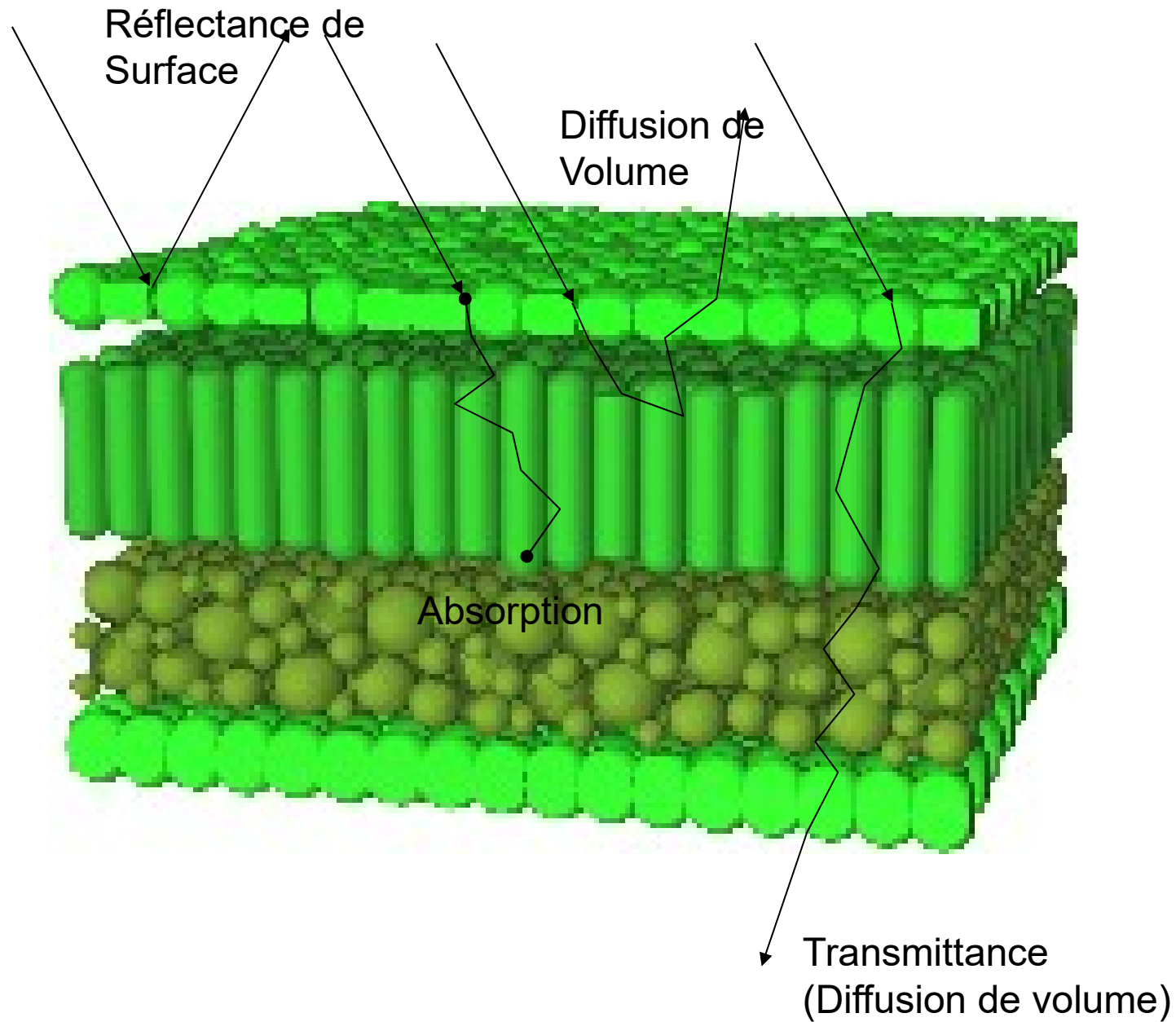
faible energie  
domaines **SWIR-TIR**

# Processus Élémentaires d'absorption

- processus Electroniques
  - effets de champs cristallins
  - **Transfert de Charge**
  - bandes de Conduction
  - centres Colorés
- processus Vibratoires

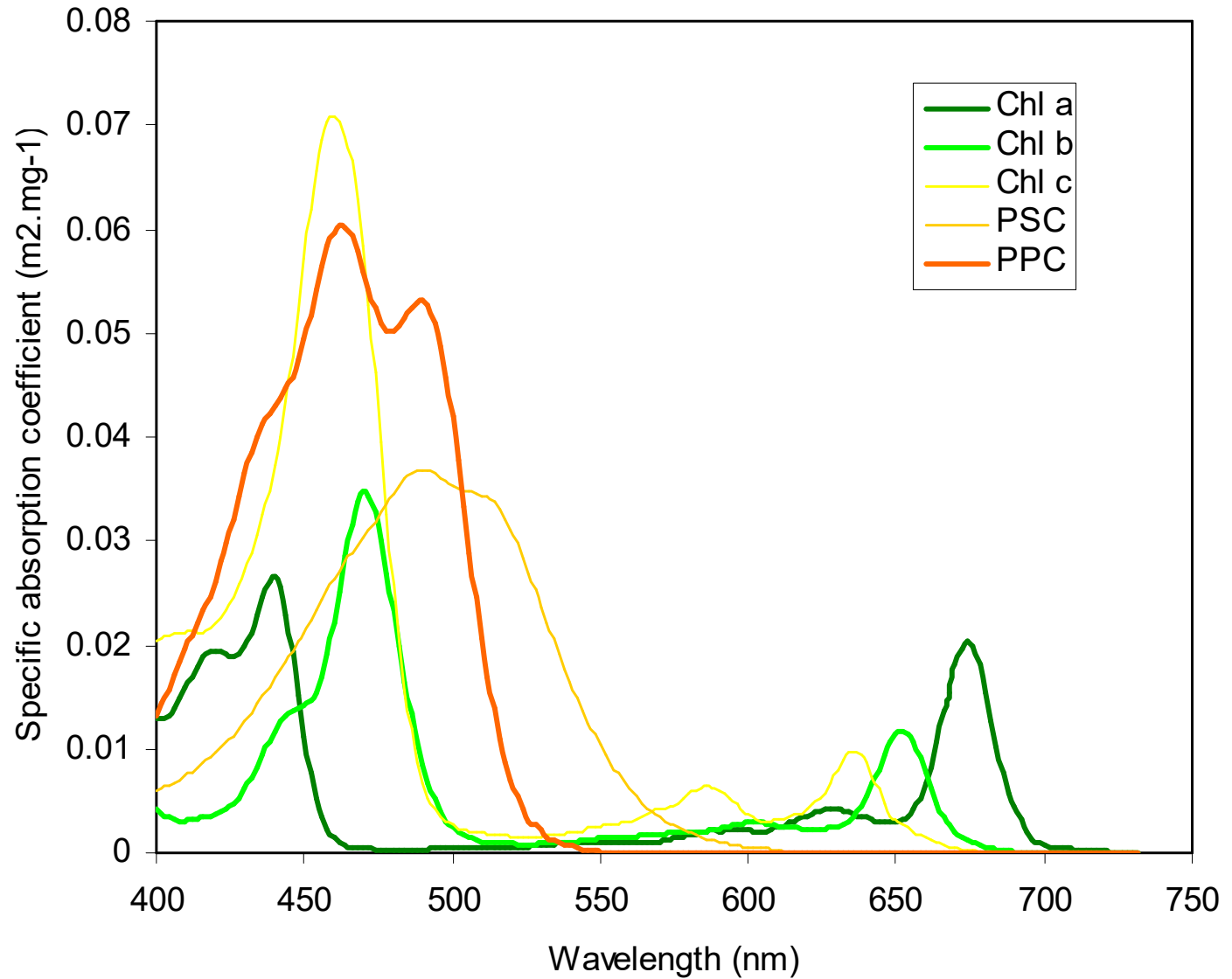


# Structure de la feuille

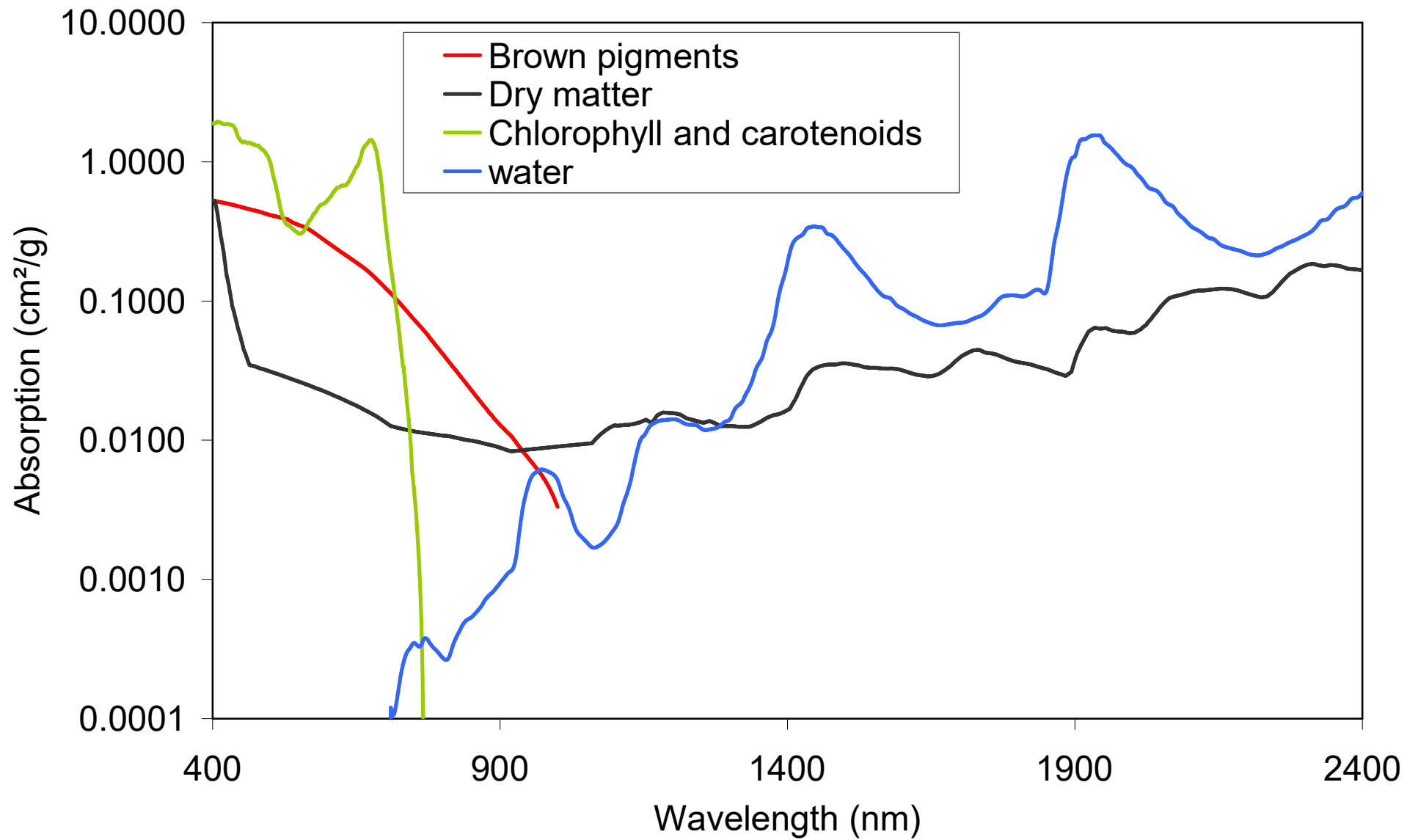


# Pigments (transitions électroniques)

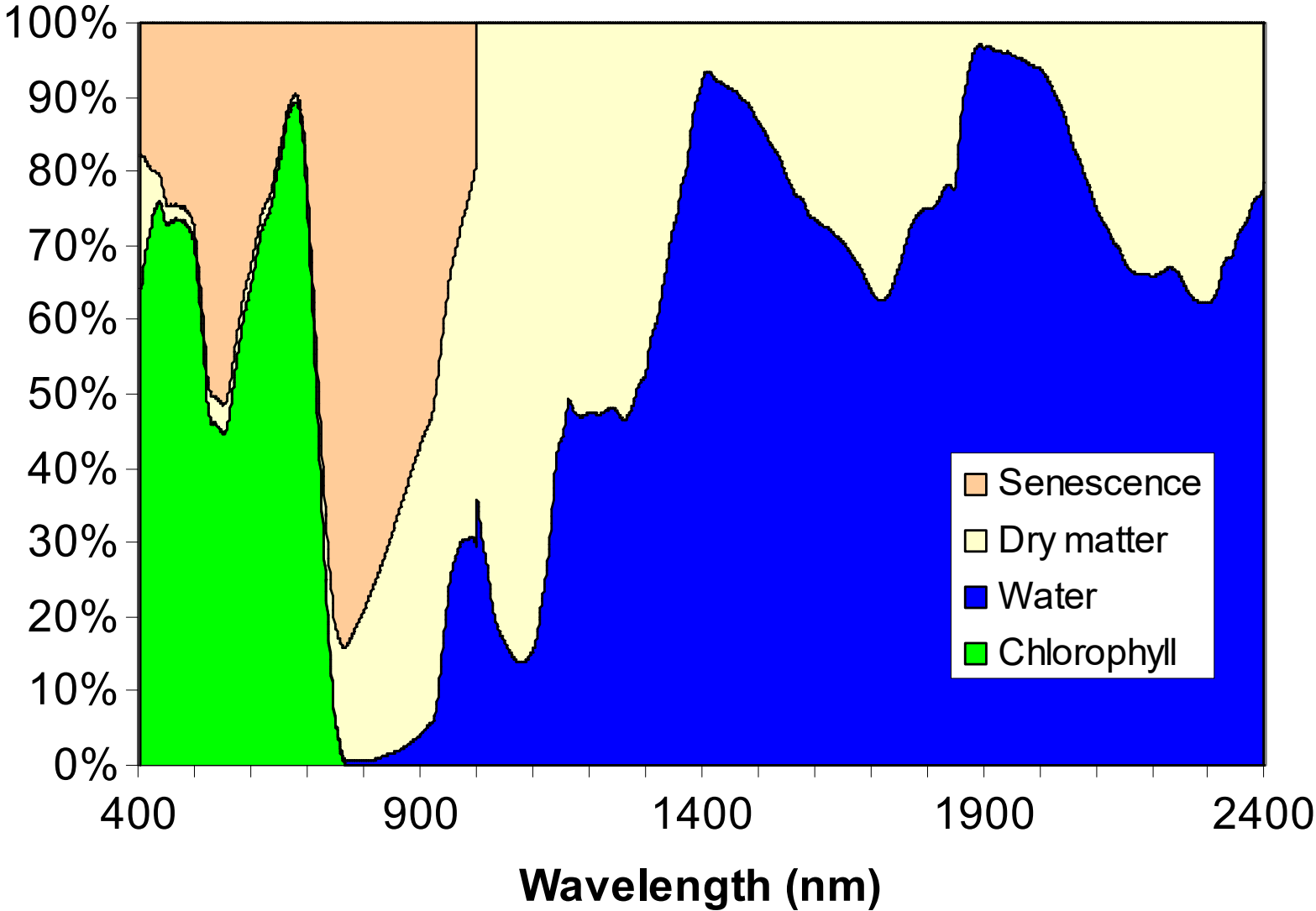
Chlorophyll a  
Chlorophyll b  
Carotenoids  
Xanthophylls  
...



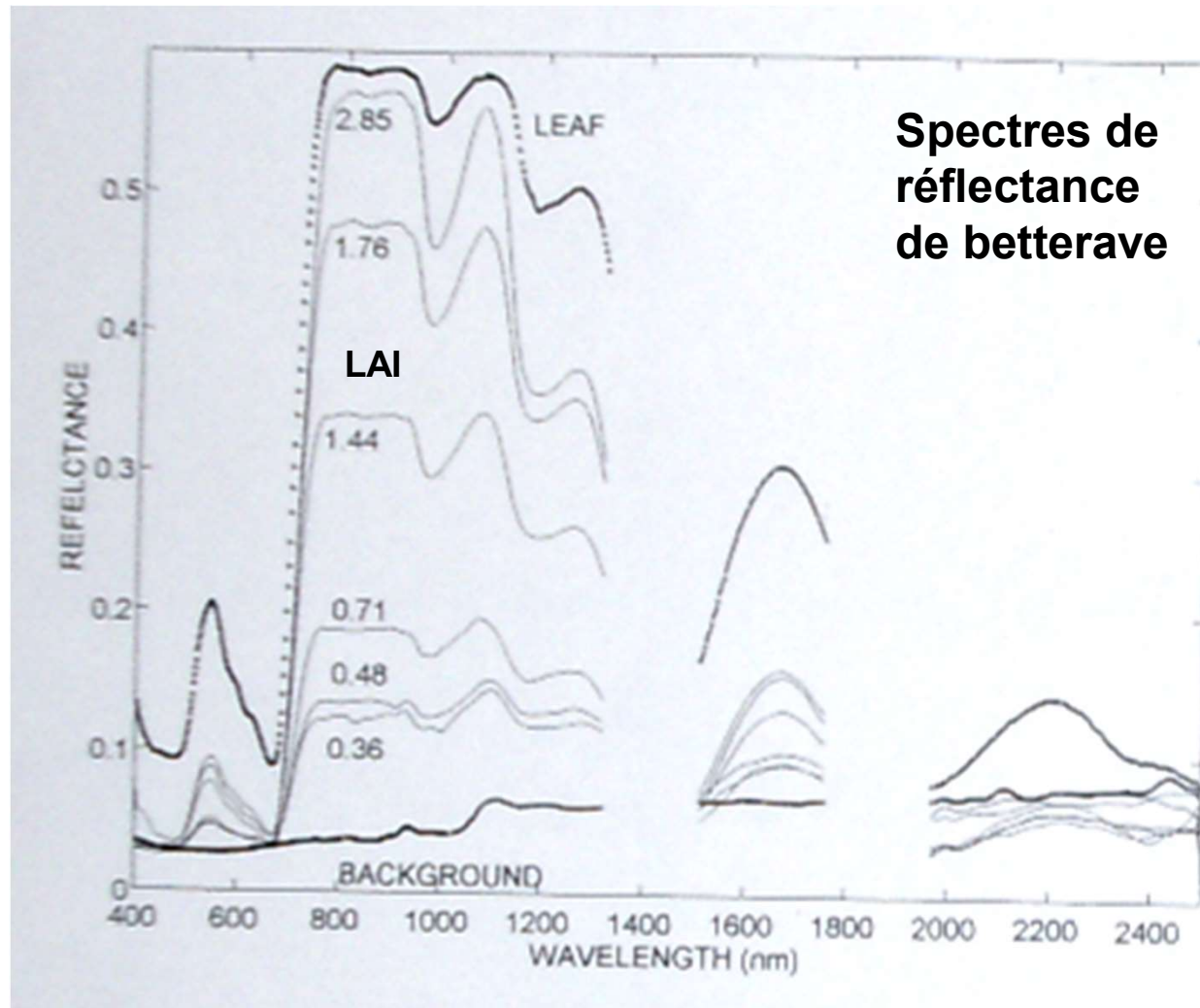
# Absorption par les matériaux foliaires



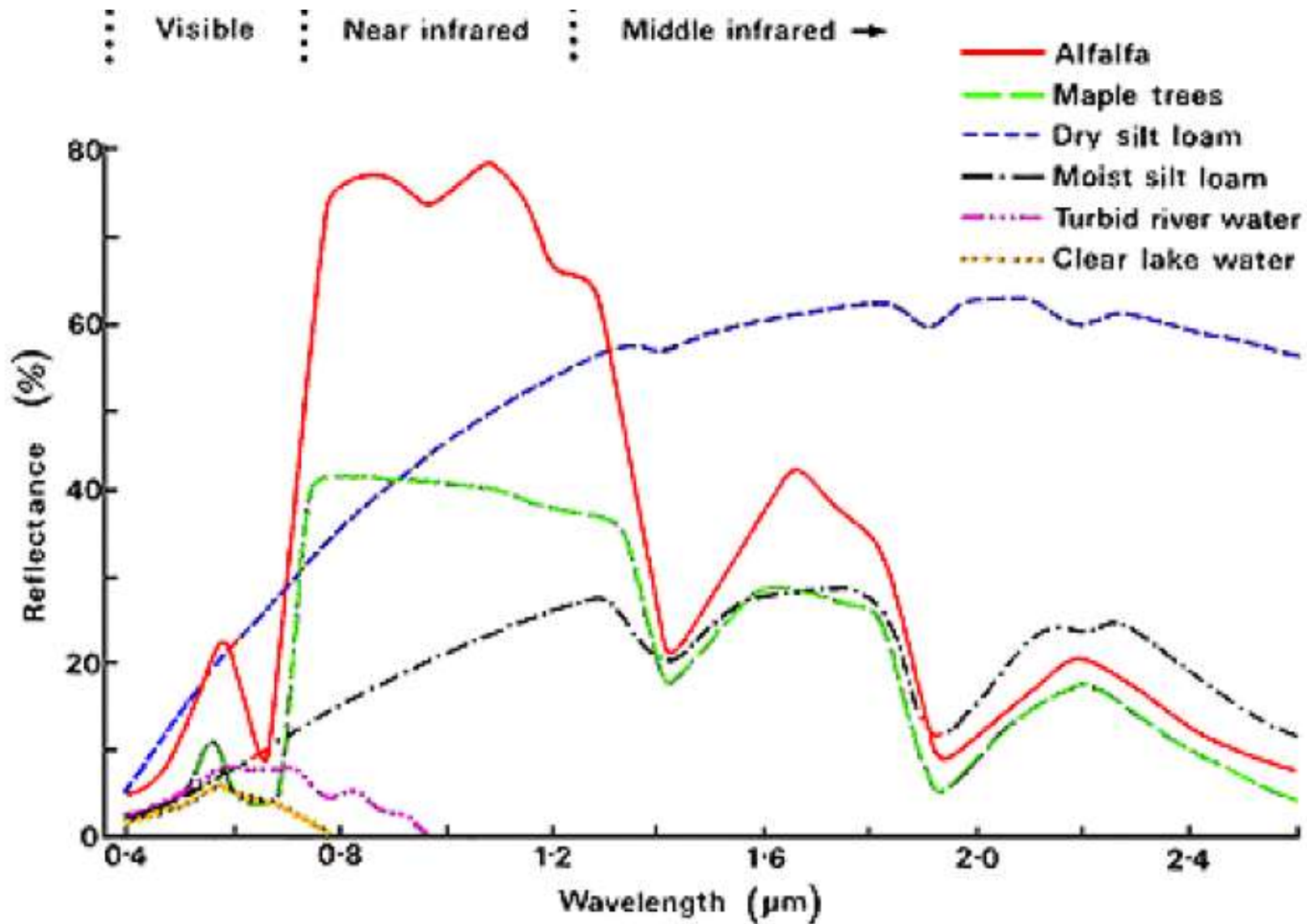
# Contribution à l'absorption



# De la feuille au couvert

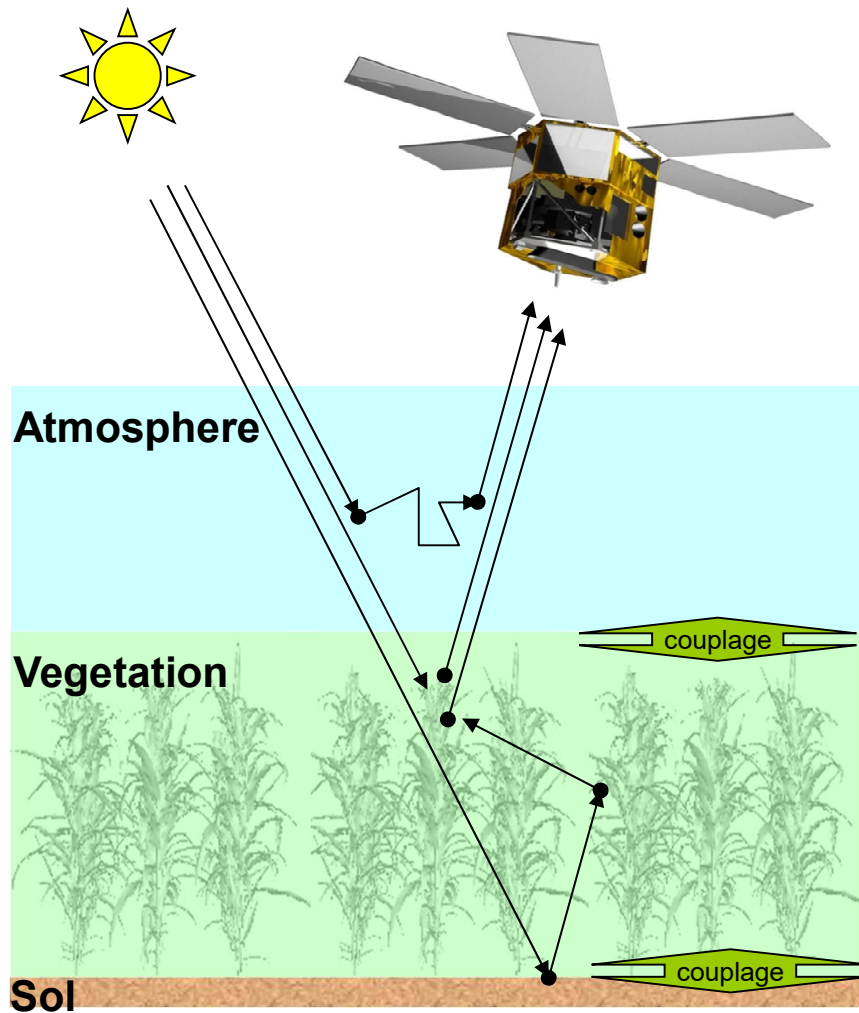


# Spectre de réflectance de la surface





# Les éléments du transfert radiatif



The flux radiatif enregistré par les capteurs dépend du couplage entre

**Atmosphere:** Pression, Aerosol, absorption gazeuse ( $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $O_3$ )

**Vegetation:** Structure, composition, propriétés optiques

**Sol:** rugosité, texture, structure, humidité et composition.