



# Calitoo un instrument pour le climat

Samedi 19 et Dimanche 20 Novembre 2022  
Université de Lille / LOA



Luc BLAREL ingénieur CNRS

Notre empreinte carbone...

Un « cube » d'air



Test de vision

Presque Rien....

# Notre empreinte carbone...

**0,04% de CO<sub>2</sub> -----> 400ppm**

**0,002% de Méthane CH<sub>4</sub>**

**0,002% de protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O**

Durée de séjour dans l'atmosphère

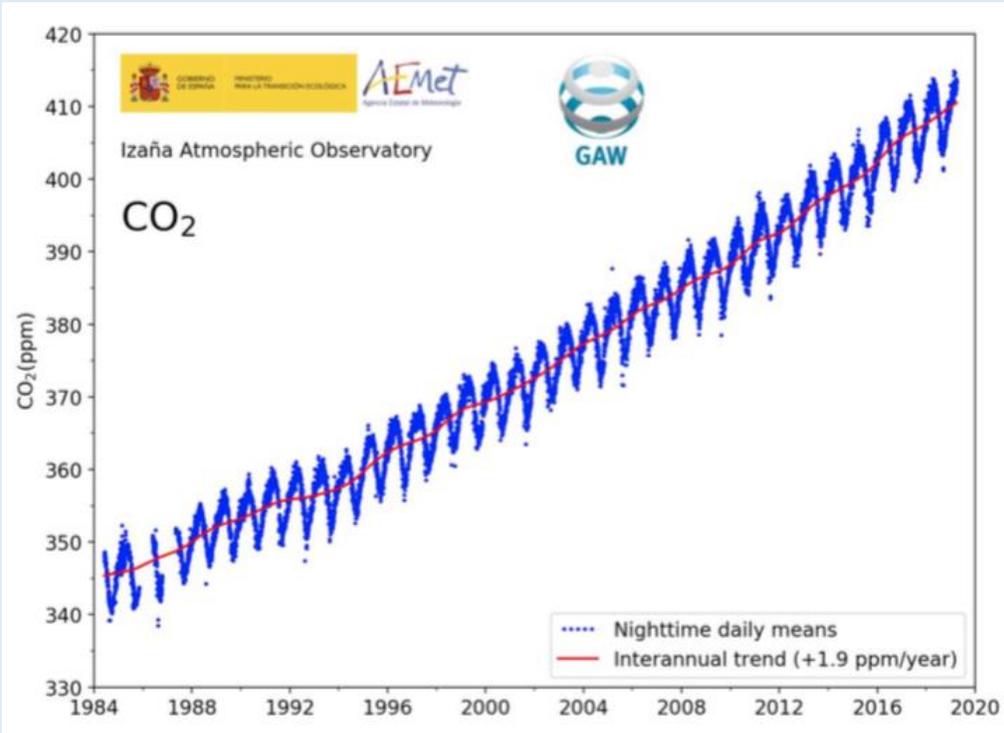
CO<sub>2</sub> → 100ans

CH<sub>4</sub> → 12 ans

N<sub>2</sub>O → 120 ans

**BONPOTE**

**le climat  
en questions**



L'atmosphère est **formée à 99 % d'azote (N<sub>2</sub>) et d'oxygène (O<sub>2</sub>)**.

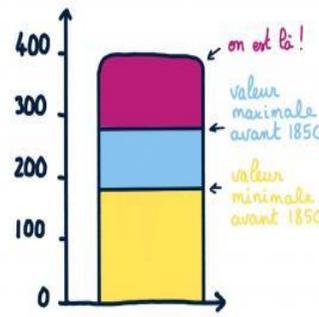
Ces molécules diatomiques n'absorbent pas le rayonnement infrarouge. Les « **gaz à effet de serre** », **dotés de trois atomes ou plus, absorbent l'infrarouge**.

Ils comprennent : la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O), le gaz carbonique ou dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), l'ozone (O<sub>3</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>) et quelques autres gaz (oxydes d'azote, CFC, etc.).

**Les gaz à effet de serre sont présents en quantité infime** : au total, ils représentent moins de 1 % des gaz dans l'atmosphère terrestre.

LE CO<sub>2</sub> ATMOSPHÉRIQUE EST PASSÉ DE 280 ppm (parties par million) EN 1850 À 400 ppm AUJOURD'HUI. IL A DONC AUGMENTÉ DE 42% EN 170 ANS.

AVANT 1850, SUR DES CENTAINES DE MILLIERS D'ANNÉES, LES CONCENTRATIONS DE CO<sub>2</sub> OSCILLAIENT ENTRE 180 ET 280 ppm.



# Rapide comparaison gaz aerosols nuages

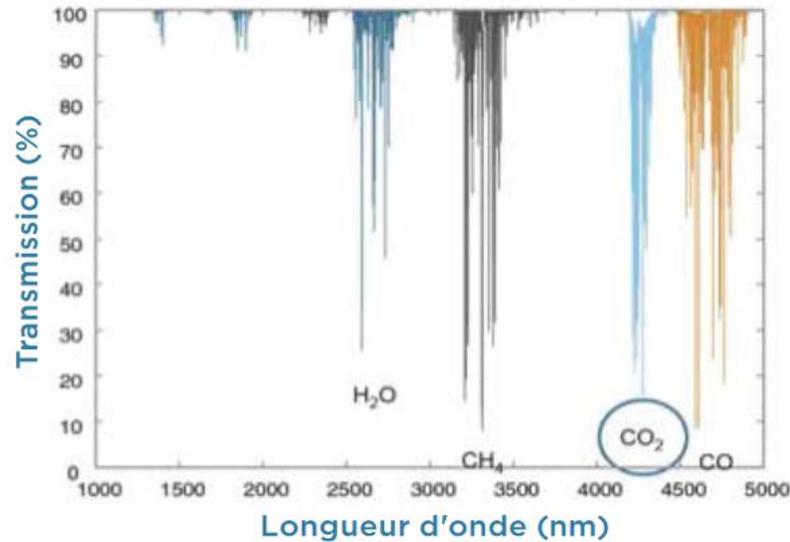
## Les Gaz effet de serre

Pas simple de les mesurer...

Ils sont invisibles.

En très très faible quantité.

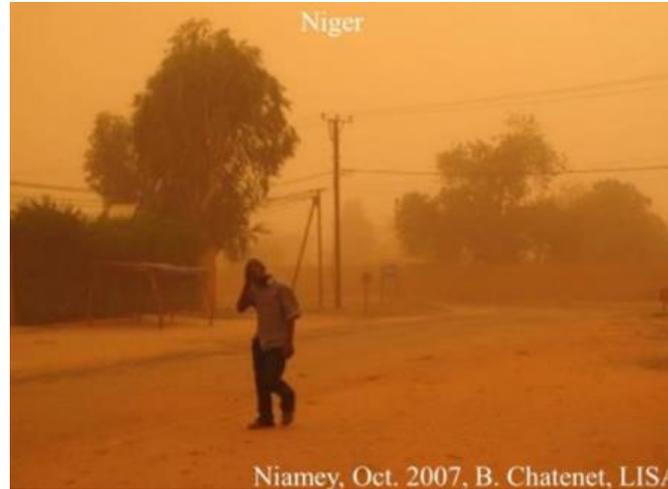
Capteurs spectroscopiques IR



## Les Aérosols

Impactent **tout le spectre**

Mesure possible dans le visible



Répartition planétaire hétérogène.

Durée de vie très variable (QqH, PIJ).

Variété de natures

Impact sur le climat et la santé

**Le forçage radiative 3,3 W/m<sup>2</sup> (Watt par m<sup>2</sup>) pour l'effet de serre et -1 W/m<sup>2</sup> pour les aérosols, soit 2,3 W/m<sup>2</sup> en tout.**

## Les Nuages

Impacte **toutes le spectre**

Variété très importante de types

Evaluation complexe par photo et radar depuis le sol et par satellite.

Les nuages ont deux effets

opposés, refroidissant et

réchauffant, sur le climat de la

Terre. Les mesures par satellites

indiquent que, **en moyenne, les**

**nuages refroidissent le climat**

La mesure des nuages

demande beaucoup de

moyens. Ils sont responsables

de la **principale incertitude**

**pour la prévision du climat**

futur

**Interaction entre l'H<sub>2</sub>O, les aérosols et les nuages...**

Figure 1. Absorption par IR du CO<sub>2</sub> et d'autres gaz.

Peu de mesures planétaires

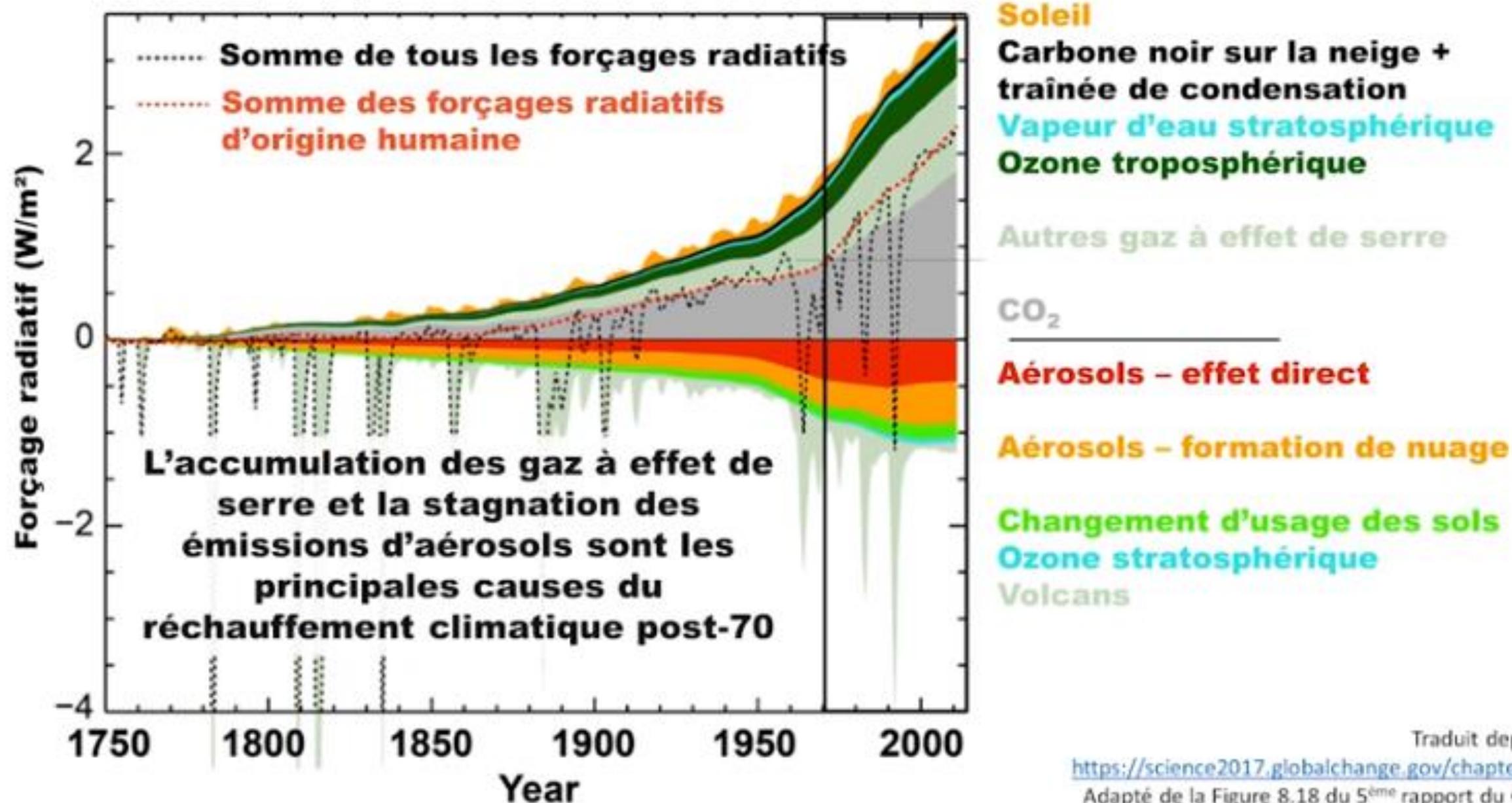
Mais assez représentatif.

Les gaz sont homogènes dans

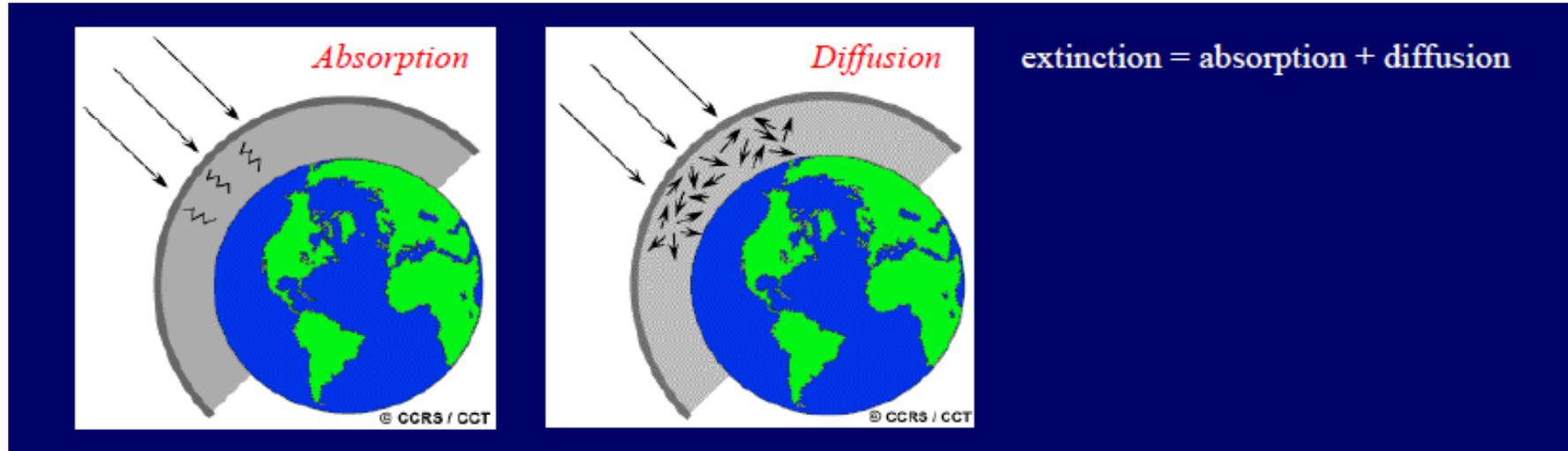
l'atmosphère et à durée de vie

très longue.

# Évolution temporelle des forçages radiatifs

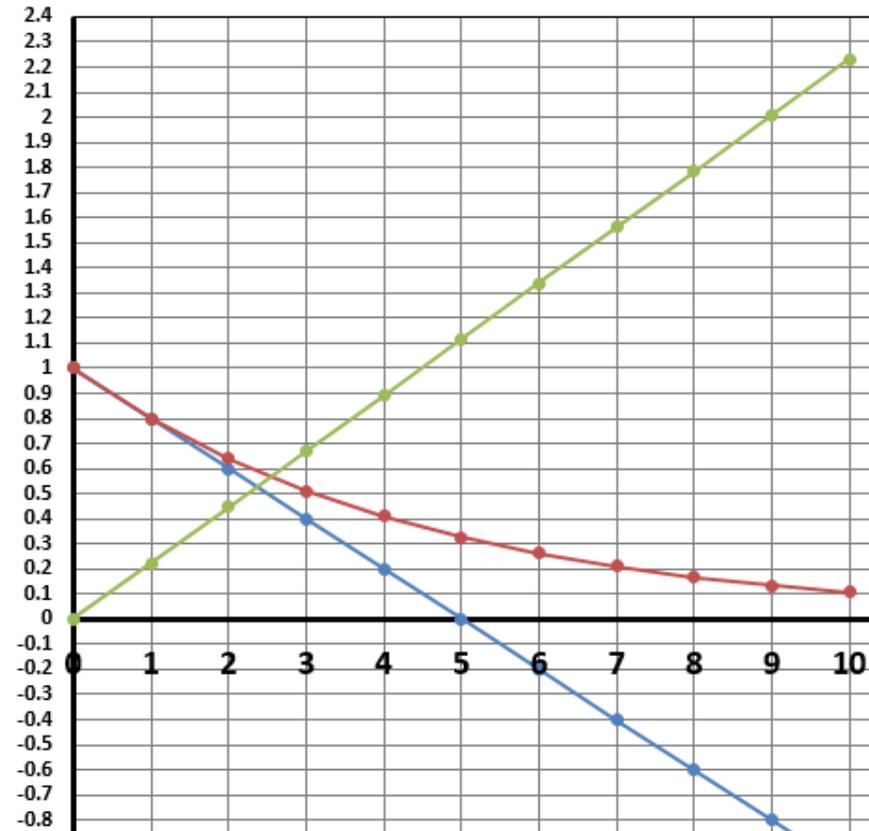
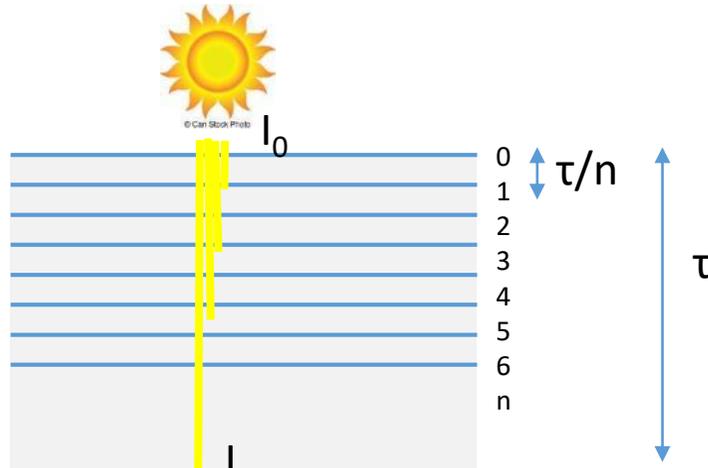


# La signature optique des aérosols



**Epaisseur  
Optique Aérosol  
Ou AOD  
Aerosol Optical  
Depth**

# La signature optique des aérosols



$$I_1 = I_0 \cdot (1-X) \text{ avec } X = \tau/n$$

$$I_2 = I_1 \cdot (1-X) = I_0 \cdot (1-X) \cdot (1-X)$$

....

$$I_n = I_{n-1} \cdot (1-X) = I_0 \cdot (1-X)^n = I_0 \cdot (1 - \tau/n)^n$$

$$I = I_0 \cdot e^{-\tau} \text{ ou } T(\text{transmission}) = I/I_0 = e^{-\tau}$$

$$\tau = -\ln(T)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = e$$

# $\mathcal{L}$ 'épaisseur optique (OD/AOD) *Optical depth*

- $\tau_{\text{total}} = \tau_{\text{aérosol}} + \tau_{\text{moléculaire}}$  (Moléculaire = de l'air)

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot \exp(-m(\tau_a + \tau_g + \tau_{NO_2} + \tau_w + \tau_{O_3} + \tau_r)) \quad [1]$$

- **$I_0$  : intensité de la lumière solaire hors atmosphère**
  - **$I$  : lumière reçue au sol**
  - **$\lambda$  est la longueur d'onde de la lumière**
  - $\tau_a$  : coefficient de transparence des aérosols
  - $\tau_g$  : coefficient de transparence des gaz (CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>)
  - $\tau_{NO_2}$  : coefficient de transparence du dioxyde d'azote (pollution)
  - $\tau_w$  : coefficient de transparence de la vapeur d'eau
  - $\tau_{O_3}$  : coefficient de transparence de l'ozone
  - **$\tau_r$  : coefficient de la diffusion Rayleigh**
  - **$m$  : coefficient de la masse d'air traversée par la lumière (chemin optique)**
  - **$m = \frac{1}{\sin(\theta)}$  avec  $\theta$  l'angle de la position du Soleil avec l'horizon**
  - **$R$  : Coefficient de correction de la distance terre soleil**
  - **$P$  : pression atmosphérique**
- $$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{a\lambda} = -\frac{1}{m} \cdot \ln(T_\lambda \cdot R^2) - \tau_{r\lambda} \left(\frac{P}{P_0}\right) - \tau_{O_3\lambda} \\ T_\lambda = \frac{I_\lambda}{I_{O\lambda}} \end{array} \right.$$

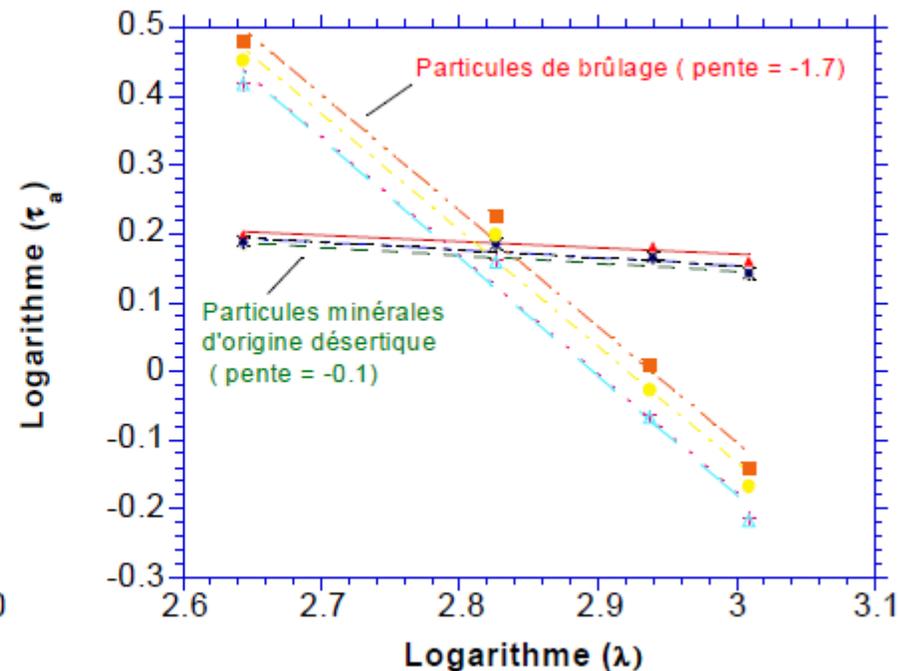
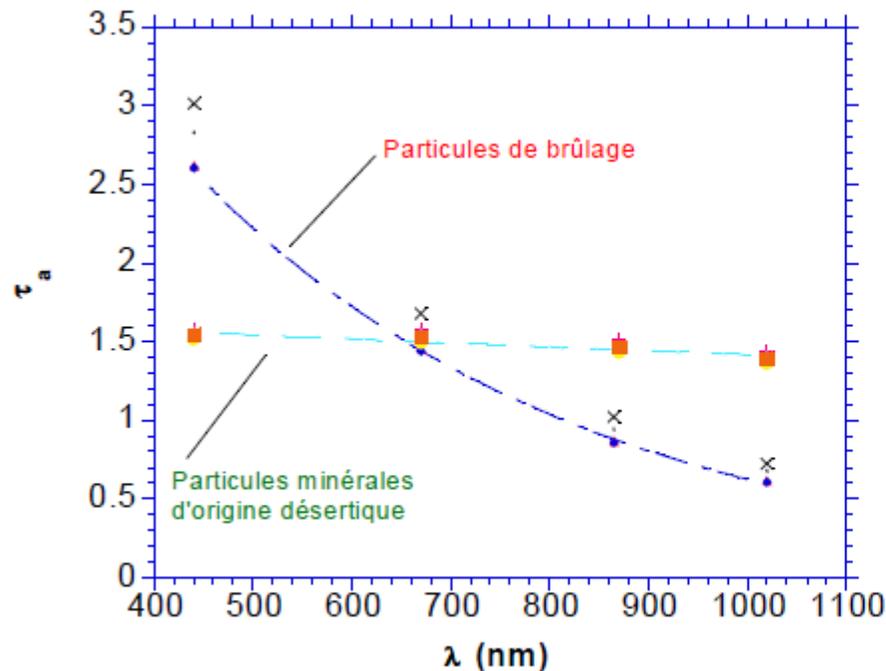
# Coefficient d'Angström

Le comportement spectral de l'AOD peut être décrit à l'aide du coefficient d'Angström

Ici,  $\tau_1$  et  $\tau_2$  sont respectivement les mesures de l'épaisseur optique réalisées aux longueurs d'ondes  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ . Le coefficient d'Angström, comme l'épaisseur optique à deux longueurs d'ondes, peut **donc être considéré comme un indicateur de la taille moyenne** de la distribution de taille des aérosols.

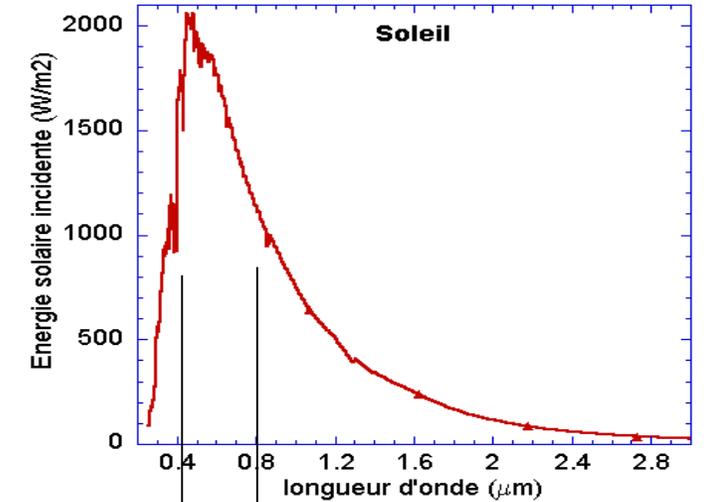
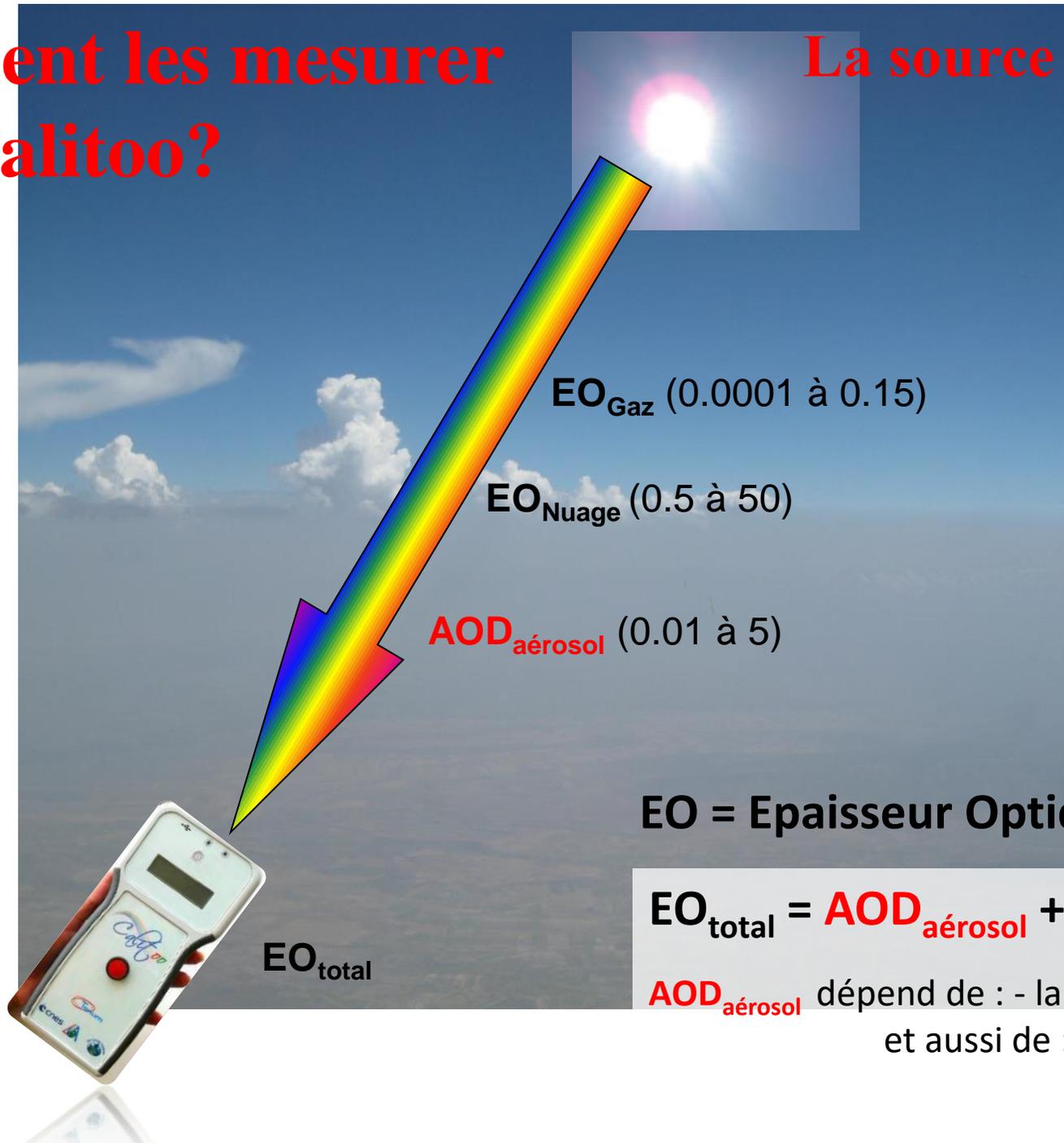
$$\alpha = - \frac{\ln\left(\frac{\tau_1}{\tau_2}\right)}{\ln\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)}$$

- **$\alpha$  est grand, la distribution de taille est petite et inversement**



# Comment les mesurer avec Calitoo?

## La source d'énergie : le soleil



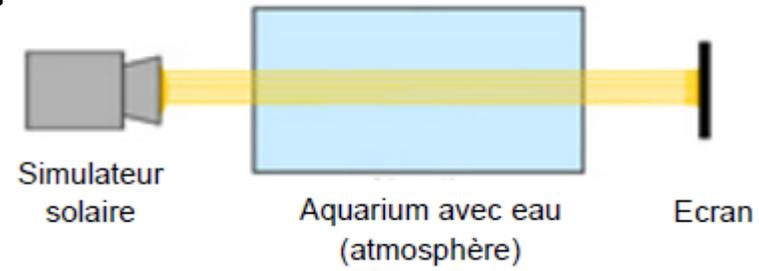
L'intégrale sur tout le spectre donne ~ 1367 W/m<sup>2</sup> (au sommet de l'atmosphère)

**EO = Epaisseur Optique = extinction**

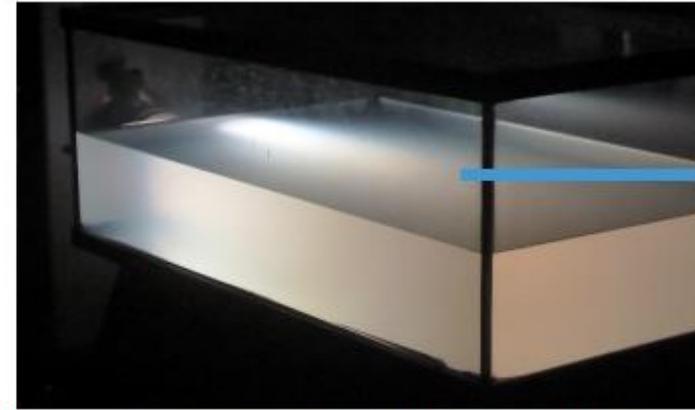
$$EO_{\text{total}} = AOD_{\text{aérosol}} + EO_{\text{Gaz + vapeur d'eau}} + EO_{\text{Nuage}}$$

$AOD_{\text{aérosol}}$  dépend de : - la quantité de particules (nombre)  
et aussi de : - la taille des particules  
- la nature des particules

# Un arc en ciel d'aérosols



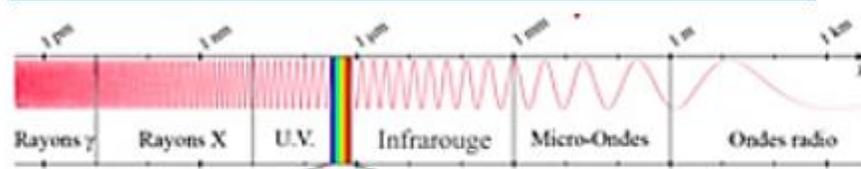
Expérience après avoir ajouté le lait



On ajoute du lait dans l'eau.

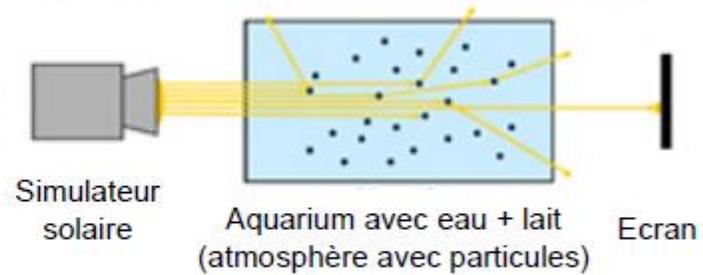
Le lait représente les particules dans l'atmosphère.

## Ordre des couleurs présentes dans la lumière blanche

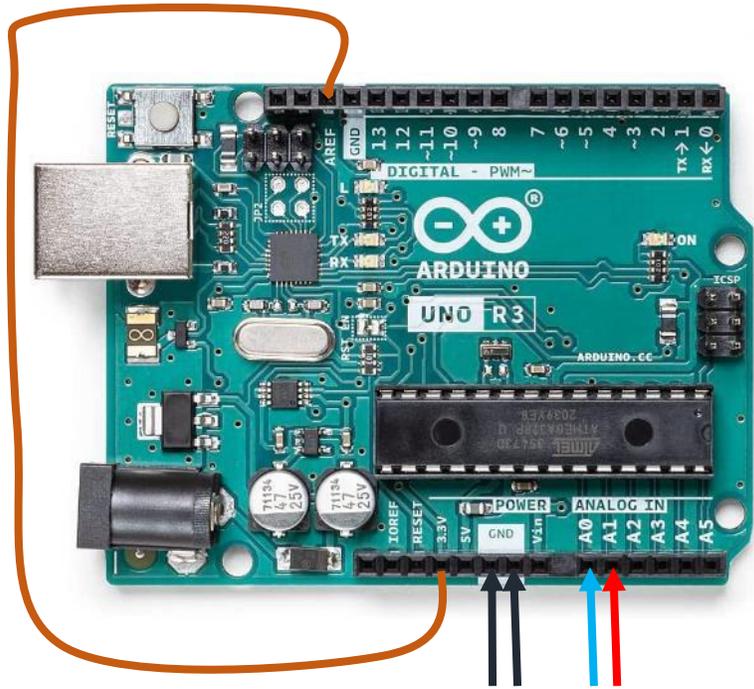
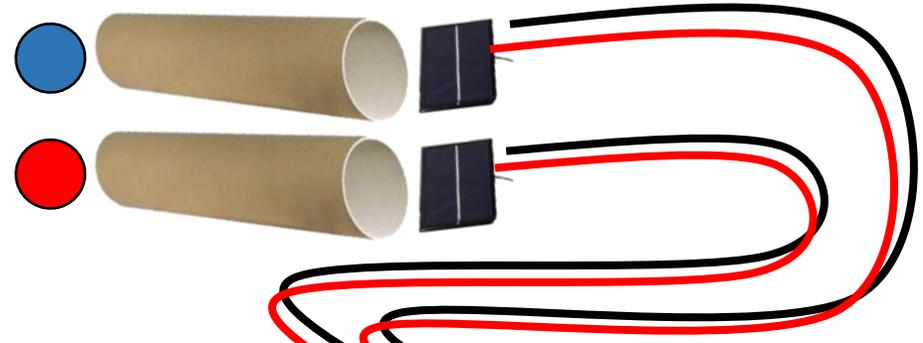
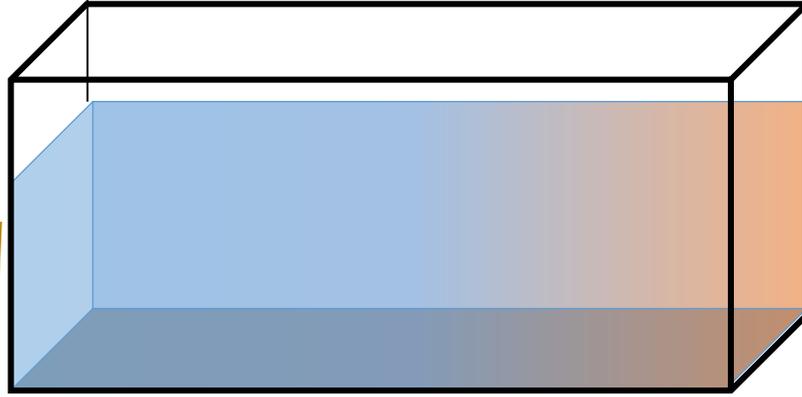
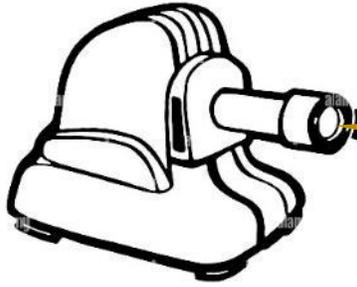


Le rayonnement que nous percevons (visible) n'est qu'une infime partie du rayonnement total émis par le Soleil

## Diffusion de la lumière par les particules



# Plan mainp photomètre "Low-tech"



```
int analogPin = A0; // potentiometer wiper (middle terminal) connected to analog pin 3
int analogPin2 = A1; // potentiometer wiper (middle terminal) connected to analog pin 3
// outside leads to ground and +5V

int val = 0; // variable to store the value read
int val2 = 0; // variable to store the value read

void setup() {
  // permet de choisir une tension de référence externe à la carte
  analogReference(EXTERNAL);

  Serial.begin(9600); // setup serial
  Serial.println("CLEARDATA"); // on efface les données déjà présentes, s'il y a lieu
  Serial.println("LABEL, Temps, Mesure"); // titre des colonnes, dans Excel
}

void loop() {
  delay(300); // wait for a second - Ajouter sinon le prog Excel plante - sans doute un pb de buffer saturé
  val = analogRead(analogPin); // read the input pin
  val2 = analogRead(analogPin2); // read the input pin
  Serial.print("DATA, TIME, "); // envoi du temps et la mesure à Excel
  Serial.println(float(val)/1023*3.3); // debug value passage en 3.3v Octobre 2022
  Serial.println("ROW, SET, 3");
  Serial.print("DATA, TIME, "); // envoi du temps et la mesure à Excel
  Serial.println(float(val2)/1023*3.3); // debug value passage en 3.3v Octobre 2022
}
```

# Matériel et cout pour la manip (fabrication) d'un Photomètre « Low tech »

**Inwa - Aquarium Start 35 pack pur Noir - 13 Litres**

<https://www.jardiland.com/inwa-aquarium-start-35-pack-pur-noir-13-litres-1487310.html> **31E**

Choisir un des 2 modèles mais c'est mieux 50x50 pour 5V:

**Cellule solaire TRU COMPONENTS POLY-PVZ-4949-2V 1389147**

<https://www.conrad.fr/fr/p/cellule-solaire-tru-components-poly-pvz-4949-2v-1389147-1-pc-s-1569022.html> **2x7.5E**

**Cellule solaire TRU COMPONENTS POLY-PVZ-3070-5V (L x l) 70 mm x 30 mm**

<https://www.conrad.fr/fr/p/cellule-solaire-tru-components-poly-pvz-3070-5v-1389155-1-pc-s-1565766.html> **2x9E**

**Module d'acquisition Carte Arduino UNO 65139 ATmega328**

<https://www.conrad.fr/p/carte-arduino-uno-65139-atmega328-191789> **27E**

**Dichroic or Color Filters Edmund**

**Mounted M49 x 0.75 Threaded - Blue Filter**

<https://www.edmundoptics.fr/p/mounted-m49-x-075-threaded-blue-filter/11489> **53.50E**

**Mounted M49 x 0.75 Threaded - Red Filter**

<https://www.edmundoptics.fr/p/mounted-m49-x-075-threaded-red-filter/11471/> **53.5E**

**Total 185Euros**

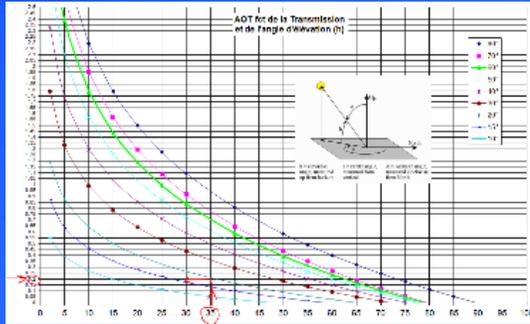
**Soft et plan de montage Arduino**

<https://tribu.phm.education.gouv.fr/toutatice-portail-cms-nuxeo/binary/Entr%C3%A9es+Analogique.pdf?type=FILE&path=%2Fdefault-domain%2Fworkspaces%2Finterface-arduino-excel%2Fdocuments%2Fg%2Fentrees-analogique-pdf&portalName=foad&liveState=true&fieldName=file:content&t=1564046307>

# Plan mainp aquarium avec le Calitoo



# Les Aérosols une multitude d'approches



Calculs de l'AOD avec abaque

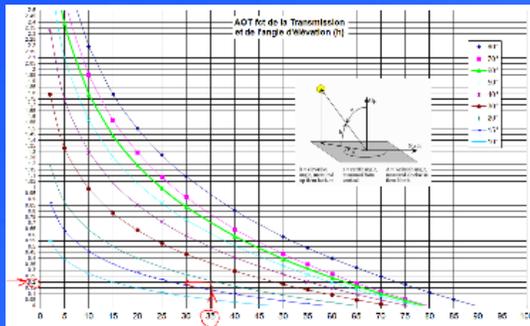


Observation mesure sur papier

Two screenshots of software interfaces. The left one shows a data table with columns for 'Date', 'AOD', 'AODmax', and 'AODmin' for various dates in May. The right one is a 'Etude de l'atmosphère' interface with a grid for data entry and several small image thumbnails.



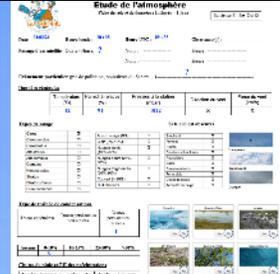
# Les Aérosols une multitude d'approches



Calculs de l'AOD avec abaque



Observation mesure sur papier



Approche de l'équation + Tableur

Calculateur d'épaisseur optiques AOD (t) + AE

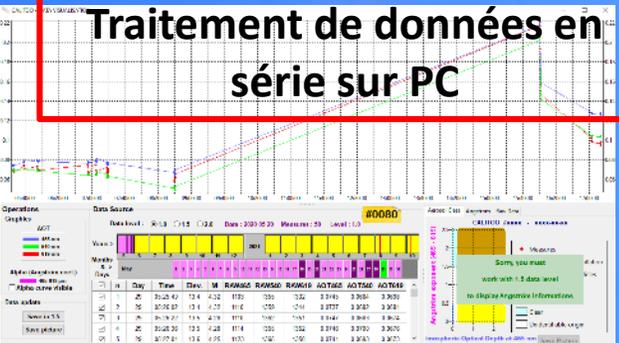
$$T_{02} = \frac{CNR_{02} \times P_2}{CNO_2}$$

$$T_{01} = \frac{1}{m} \ln(T_1 \cdot R^2) \cdot T_{02} \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \cdot T_{02} \cdot R = \frac{(1 - \epsilon^2)}{[1 - \epsilon \cos(2\theta) / 265]} \cdot \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)$$

AE	019/505	019/505
10/01/2015 06:21:15	1017	15.3
10/01/2015 06:24:19	1017	22.4
10/01/2015 06:27:23	1017	22.5
10/01/2015 06:30:27	1017	24.3
10/01/2015 06:33:31	1017	54.8
10/01/2015 06:36:35	1016	35.3
10/01/2015 06:39:39	1016	41.4



Traitement de données en série sur PC



Maïs sur un terrain en classe





