

# CALITOO

## Photomètre solaire



### Manuel d'utilisation



**Septembre 2013**

21, avenue de Fondeyre - 31200 TOULOUSE CEDEX - FRANCE  
Tél. : 05 62 24 48 92 - Fax : 05 62 24 26 46 - email : [contact@tenum.fr](mailto:contact@tenum.fr)

Ce manuel n'est pas un document contractuel et les informations qu'il contient sont sujettes à des modifications sans préavis.

Veillez lire attentivement ce manuel avant d'utiliser votre photomètre.

Ce manuel ainsi que des informations techniques, des tutoriels et le logiciel de configuration du photomètre sont disponibles sur le site internet dédié :

<http://www.calitoo.fr>

# Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>5</b>
<b>1.Prise en main du Calitoo.....</b>	<b>6</b>
Les piles.....	6
Mise en marche.....	6
Premières mesures.....	7
Pointage du Soleil.....	7
Maximum.....	8
Mémorisation.....	8
Lecture des données.....	9
Changement de mode.....	10
Terminer son travail.....	11
Précautions.....	11
<b>2.Logiciel PC.....</b>	<b>12</b>
Téléchargement et Installation.....	12
Démarrer le programme.....	12
Gestion des données : Téléchargement des données.....	13
Gestion des données : Effacement des données.....	15
Paramètres scientifiques.....	15
Terminer son travail.....	16
<b>3.ANNEXES.....</b>	<b>17</b>
Calcul des épaisseurs optiques.....	18
Caractérisation des particules.....	20



## Introduction

Ce document vous permet de prendre en main le photomètre CALITOO et de réaliser des mesures présentant une valeur scientifique. Son utilisation est adaptée au terrain et à la manipulation par un public de jeunes scolaires dans le cadre de l'opération Calisph'air.

Calisph'Air<sup>(1)</sup> est un projet éducatif pour **l'étude de l'atmosphère et du climat** qui accompagne les **missions satellites** d'étude de l'atmosphère Parasol, Calipso, IASI...

Ce projet est développé dans le cadre du **programme international** éducatif et scientifique GLOBE<sup>(2)</sup> qui réunit des élèves, des enseignants et des scientifiques autour de l'observation et la collecte de données environnementales. GLOBE rassemble, par le biais d'Internet, plus de 15 000 établissements scolaires et 26 000 enseignants du monde entier.

Le programme comporte un volet d'étude des aérosols, avec les données Calipso mais aussi des mesures faites à partir du sol, avec un photomètre solaire.

(1) <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/7167-calisph-air.php>

(2) <http://globefrance.org/>

Dans la première partie, nous vous guidons dans l'utilisation du photomètre.

La seconde partie, présente l'utilisation du logiciel PC et le téléchargement des données.

La partie Annexe présente les caractéristiques techniques de l'appareil.

## 1. Prise en main du Calitoo

### *Les piles*

Le photomètre fonctionne avec 4 piles AA situées sous la trappe à l'arrière de l'appareil.

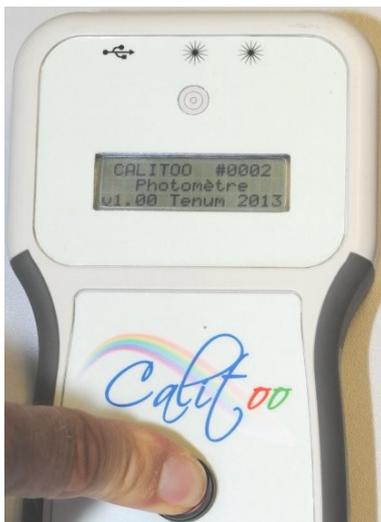


La mise en place est facilitée en plaçant en premier le côté '+' de la pile dans son logement.

Vous pouvez également utiliser des accumulateurs rechargeables AA.

### *Mise en marche*

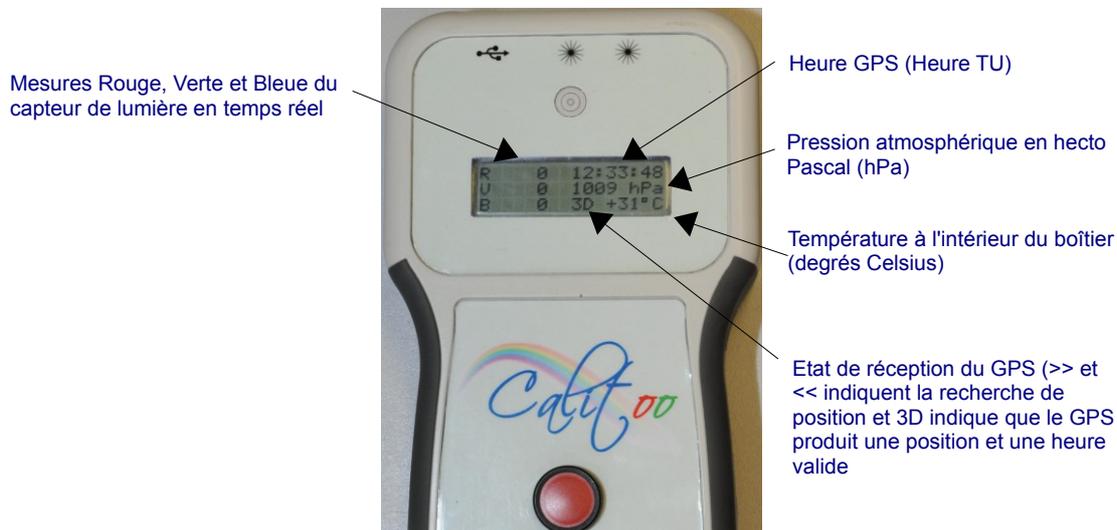
Le photomètre est mis sous tension en appuyant pendant au moins 2 secondes sur son bouton central.



Dès que le texte de présentation apparaît, vous pouvez relâcher le bouton : l'appareil est en fonctionnement.

## Premières mesures

Après la mise sous tension et la page de présentation passée, le photomètre indique qu'il est en mode mesure et affiche les informations de base :



Dès que le GPS du photomètre est en 3D, vous pouvez commencer les mesures.

**Si le GPS n'est pas en 3D, vous ne pouvez pas faire de mesure enregistrable**

## Pointage du Soleil

Le pointage du photomètre est manuel, il est facilité par le dispositif de visée situé au dessus de l'afficheur.



Vous devez vous positionner face au Soleil de manière stable et amener rapidement le point lumineux au milieu de la cible du pointeur et de l'y maintenir le temps des mesures.



Le Soleil est au centre de la cible :  
le photomètre est pointé.

## Maximum

Le but est d'obtenir la valeur maximale en RVB en environ 1 minute de pointage.

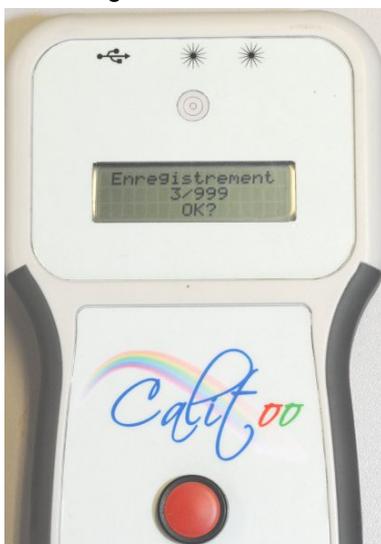


Cliquez sur le bouton du photomètre et vous passez à la page des maximums des mesures ( nous supposons bien sûr que vous étiez restés sur la page de base décrite précédemment ).

Tout en ayant un œil sur la cible, vous surveillez les valeurs numériques maximales mesurées sur l'afficheur. Lorsqu'elles ne changent plus, au bout d'environ une minute, vous procédez à la mémorisation des mesures.

## Mémorisation

Cliquez sur le bouton une nouvelle fois et vous voilà sur la troisième page qui est celle des enregistrements.



Le photomètre vous demande si vous voulez enregistrer (les mesures).



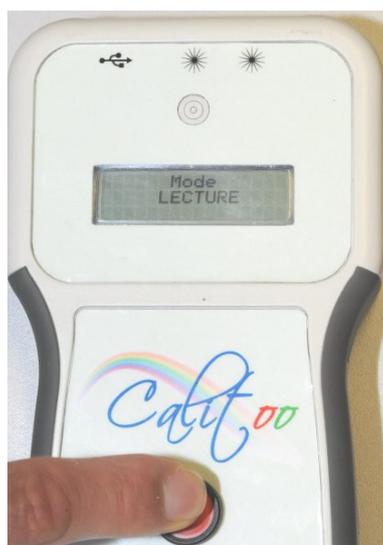
Si c'est la cas, il vous faudra appuyer toujours sur le bouton mais cette fois-ci en le maintenant enfoncé jusqu'à ce que le message **Enregistré !** apparaisse en bas de l'écran.

Vous relâchez alors le bouton et vous vous retrouvez sur la page de base pour un nouveau cycle de mesures.

Si vous n'êtes pas satisfait de votre mesure et que vous ne voulez pas l'enregistrer, un simple clic annule l'opération et vous vous retrouvez de nouveau sur la page de base pour un nouveau cycle de mesure.

## Lecture des données

Pour lire les dernières mesures effectuées, vous allez sur la page de base et faites un appuis long sur le bouton du photomètre.



Dès qu'il vous indique **Mode LECTURE** relâchez le bouton.

Chaque mesure, en commençant par la plus récente, est présentée en 3 pages :

Page 1/3

Mesures brutes Rouge,  
Verte, Bleue

Numéro de la mesure

Numéro de la page

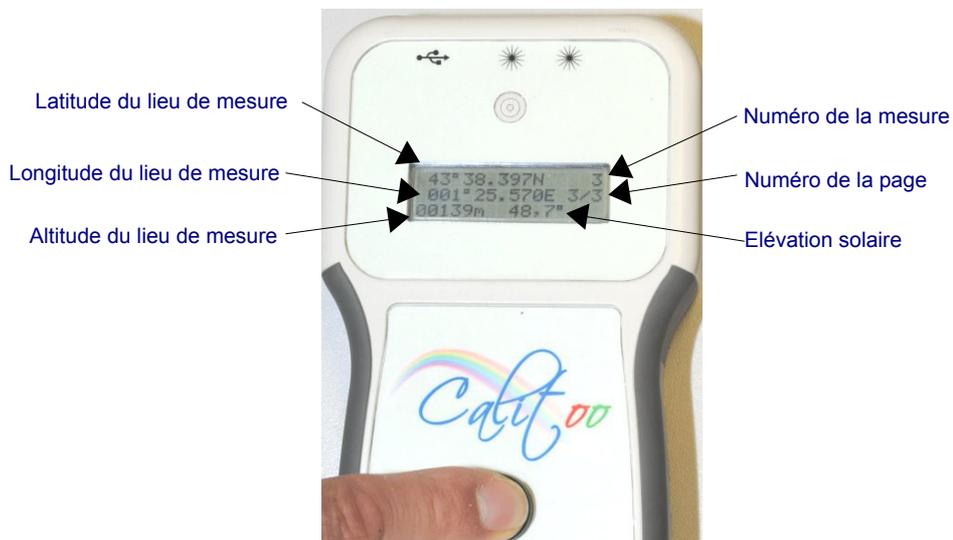
Epaisseurs optiques Rouge,  
Verte, Bleue



Page 2/3

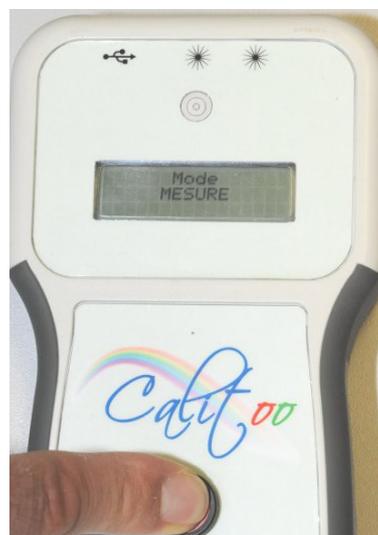


Page 3/3



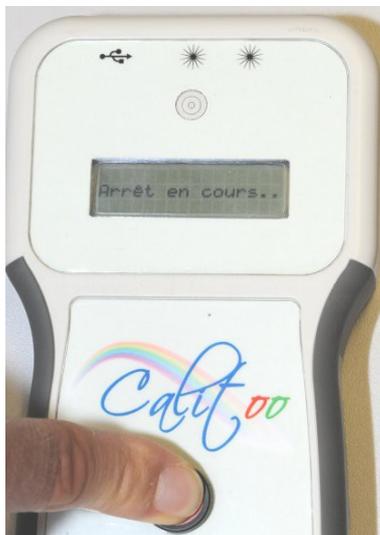
### Changement de mode

Pour passer du **Mode LECTURE** au **Mode MESURE**, il faut faire un appui long sur le bouton rouge. Relâcher le bouton quand le nouveau mode est affiché.



## Terminer son travail

Pour mettre hors tension le photomètre, il faut laisser appuyer longtemps le bouton jusqu'au message : **Arrêt en cours ..** Relâcher le bouton et le photomètre se met hors tension.



## Précautions

Votre photomètre est un instrument de mesure optique et il convient de ne pas entraver le chemin qui mène la lumière solaire au capteur.

Pour cela, nous vous le livrons avec un adhésif placé devant les trous du viseur et du capteur. Après toute utilisation, nous vous recommandons fortement de faire de même.



Ne pas oublier de retirer l'adhésif pour faire vos mesures 😎

## 2. Logiciel PC

### *Téléchargement et Installation*

Avant de connecter pour la première fois votre photomètre à votre PC, il est nécessaire d'installer un driver qui transforme le port USB en port série virtuel.

Il faut pour cela télécharger le fichier Driver FTDI(\*) et l'exécuter.

Cette opération doit se faire avant de brancher la prise USB au photomètre et avant de démarrer le programme Calitoo.

(\*)<http://www.calitoo.fr/index.php?page=logiciel-pc>

Le programme Calitoo est directement utilisable sans installation.

Nous vous recommandons de créer un dossier Calitoo à l'endroit qui vous convient le mieux sur le disque dur de votre PC et d'y copier le fichier Calitooxx.exe téléchargé.

Il existe une version 32bits et une version 64bits du programme. Si vous ne savez pas quel est le type de votre système, prenez la 32bits.

**Avant de démarrer le programme, il est impératif de brancher le photomètre au PC et de le mettre sous tension.**



### *Démarrer le programme*

Un double clic sur l'icône démarre le programme qui va commencer par rechercher à établir la connexion logicielle avec le photomètre. (Figure 1)

Dès que l'opération est réussie, l'écran du photomètre affiche **Mode CONFIG** et le programme indique le numéro de série du photomètre connecté (Figure 2).

Le programme propose à travers différents onglets les opérations suivantes :

**Identité** : Indication du numéro de série unique permettant d'identifier le photomètre. Il sera repris dans les fichiers de données produit.

**Données** : Gestion des données mémorisées (Téléchargement et effacement)

**No** : Paramètres d'étalonnage (No) des trois canaux de mesure.

**Rayleigh** : Paramètres pour le calcul du coefficient de diffusion moléculaire intervenant dans le calcul de l'épaisseur optique des trois canaux de mesure.

**Ozone** : Paramètres pour le calcul de la contribution de l'ozone dans le calcul de l'épaisseur optique du rouge et du vert (le bleu est négligeable).



Figure 1



Figure 2

## Gestion des données : Téléchargement des données

Le téléchargement des données est proposé dans l'onglet 2 du logiciel (Figure 3).

Un seul clic sur le dossier muni d'une flèche verte et l'opération est lancée (Figure 4).



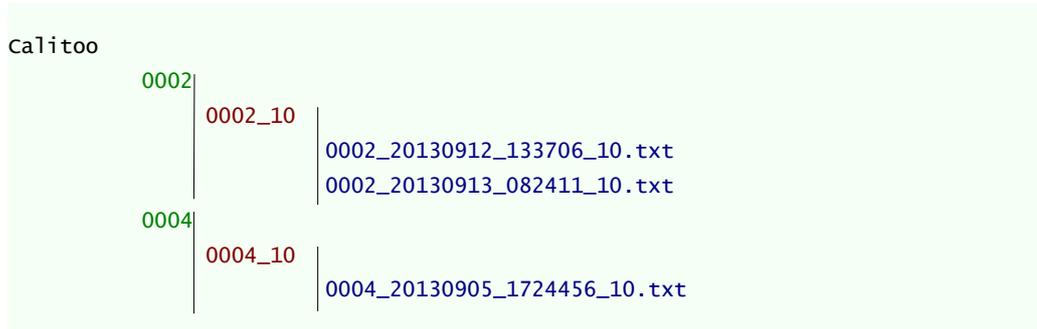
Figure 3



Figure 4

## Organisation des données dans le PC

Le dossier de travail ou de base est celui qui contient le programme Calitoo. Exemple d'arborescence :



**0002** : Numéro d'identification du photomètre qui a produit les données que contient ce dossier.

**0002\_10** : Dossier qui contient les données brutes, de type 1.0 selon la dénomination Aeronet :

1.0 = Données brutes + AOT calculées à bord du photomètre

1.5 = Les mesures aberrantes sont effacées (Nuages, mauvais pointage, filtres, etc ) + AOT Calculées à bord du photomètre + AOT calculées par l'utilisateur.

2.0 = les AOT ont été validées (correctifs apportés par un deuxième étalonnage)

[002\\_20130912\\_133706\\_10.txt](#)

Le nom du fichier de données est généré automatiquement par le programme.

Il comprend dans l'ordre :

Le numéro du photomètre.

Ici le n°2

La date de la première mesure contenue dans le fichier.

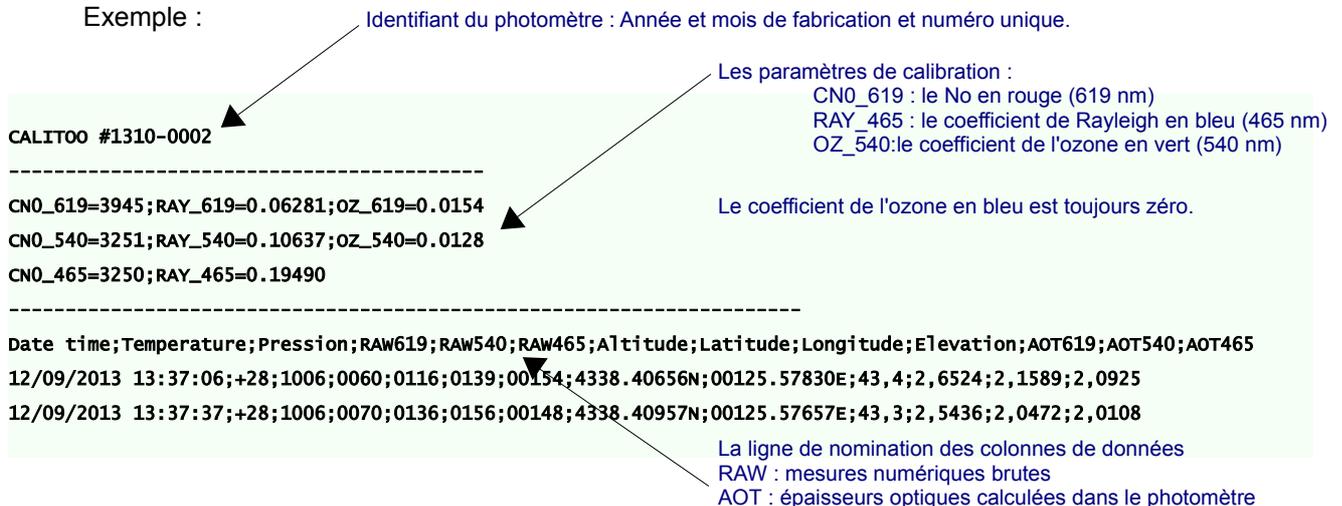
Ici le 12 septembre 2013 à 13h 37mn 06s TU

Le type des données.

Ici 10 signifiant 1.0 du type Aeronet.

## Format d'un fichier de données

Exemple :



Le fichier ci-dessus se nomme : [002\\_20130912\\_133706\\_10.txt](#)

## Gestion des données : Effacement des données

L'icône représentant un balais et une mémoire permet d'effacer la totalité des 999 mesures que peut contenir la mémoire du photomètre.

Le programme vous demande de confirmer (Figure 4). Si votre réponse est OK, l'effacement est réalisé et définitif.

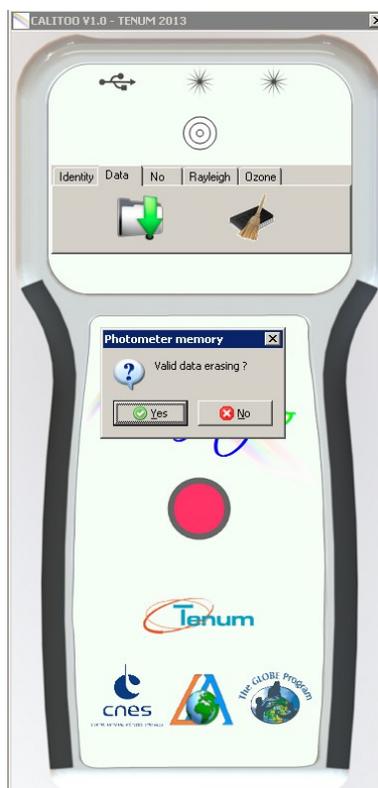


Figure 5

## Paramètres scientifiques

Votre Calitoo est livré calibré. Les paramètres d'étalonnages sont mémorisés dans le photomètre et sont visibles sur le site Calitoo.fr à l'onglet Calibration.

**Attention, si vous changez ces valeurs, c'est en connaissance de cause, soit après un nouvel étalonnage ou si vous constatez des différences avec les paramètres visibles en ligne.**

Pour transmettre les nouvelles valeurs au photomètre, après modification dans les éditeurs, il faut cliquer sur le bouton de validation.

Elles seront conservées dans le photomètre même après une mise hors tension et utilisées pour les calculs d'épaisseurs optiques des nouvelles mesures.

Les mesures réalisées avant ce changement resteront inchangées. Si ces dernières doivent être rectifiées, le seul moyen est de refaire les calculs avec un tableur après leur téléchargement dans un PC.

Ces paramètres sont :

- **No** : c'est la valeur numérique que donnerait votre photomètre s'il était sorti de l'atmosphère terrestre (Figure 6).
- **Rayleigh** : c'est un coefficient qui tient compte de la diffusion d'une lumière à une longueur d'onde précise par les molécules de l'air pur.
- **Ozone** : c'est la contribution de l'ozone stratosphérique à l'épaisseur optique. Elle est nulle pour le bleu.

Pour plus d'information voir en Annexes : **Calcul des épaisseurs optiques**



Figure 6



Figure 7



Figure 8

## Terminer son travail

Pour quitter la configuration et gestion des données, il suffit de fermer la fenêtre du programme en cliquant sur la croix dans le coin supérieur droit.

## 3.ANNEXES

## Calcul des épaisseurs optiques

### Loi de Beer-Lambert appliquée à l'atmosphère

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

[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 ( $CO_2$  et  $O_2$ )

$\tau_{NO_2}$  : 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)

$$m = \frac{1}{\sin(\theta)} \quad \text{avec } \theta \text{ l'angle de la position du Soleil avec l'horizon}$$

Dans le cas des mesures d'aérosols, l'équation sera simplifiée en considérant que l'épaisseur optique atmosphérique totale dépend uniquement de la dissipation de la lumière par les molécules (Rayleigh) par les molécules d'Ozone ( $O_3$ ) et par les aérosols. Nous distinguerons donc la contribution "naturelle" (moléculaire) et "contaminante" (aérosols + autres).

Les contributions dues à l'ozone (et peut-être d'autres gaz absorbants sous certaines conditions) et les aérosols peuvent être séparées après la mesure, soit en utilisant des données climatologiques et des valeurs moyennes d'ozone dépendant de la latitude par exemple, soit en utilisant des mesures réelles total de la colonne d'air avec le temps et lieu de la collecte des données. Les instruments montés sur satellite tels que le Total Ozone Mapping Spectrometer<sup>(4)</sup> (TOMS) fournissent ce type de données.

(4) <http://jwocky.gsfc.nasa.gov/>

L'équation [1] devient :  $I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot \exp(-m(\tau_a + \tau_r + \tau_{O_3}))$

Nous cherchons à déterminer  $\tau_a$ .

Le coefficient  $\tau_r$  est proportionnel au rapport de pression atmosphérique mesurée au point d'observation par celle mesurée au niveau de la surface de la mer :  $p/p_0$  et donc :

$$\tau_r = a_R \cdot \frac{p}{p_0}$$

Le coefficient  $\tau_{O_3}$ , est fournit par le LOA pour les longueurs d'onde verte et rouge. Dans le bleu, ce coefficient est nul.

Notre photomètre restitue une valeur directement proportionnelle à l'intensité lumineuse. Nous l'appellerons  $N$ .

$N_0$  est la valeur que donnerait notre photomètre, pour une mesure de l'intensité lumineuse hors atmosphère à 1 UA<sup>(5)</sup> du Soleil.

(5) Unité Astronomique. Elle est égale à la distance moyenne Terre-Soleil et vaut 150 millions de kilomètres.

$$N = N_0 \cdot \exp\left(-m\left(\tau_a + a_R \cdot \frac{P}{P_0} + \tau_{o3}\right)\right)$$

Nous allons introduire un terme correctif prenant en compte la distance Terre-Soleil qui varie en fonction du jour de l'année.

$$N = N_0 \cdot \left[\frac{r_0}{r}\right]^2 \cdot \exp\left(-m\left(\tau_a + a_R \cdot \frac{P}{P_0} + \tau_{o3}\right)\right)$$

Avec  $r_0$ , la distance de 1 UA et  $r$  la distance Terre-Soleil à la date de la mesure (en UA).

Nous allons maintenant exprimer  $\tau_a$ , l'épaisseur optique due aux aérosols, en fonction des autres termes.

$$\begin{aligned} \ln(N) - \ln\left(N_0 \cdot \left[\frac{r_0}{r}\right]^2\right) &= -m\left(\tau_a + a_R \cdot \frac{P}{P_0} + \tau_{o3}\right) \\ \tau_a &= \frac{[\ln(N_0 \cdot \left[\frac{r_0}{r}\right]^2) - \ln(N)]}{m} - a_R \cdot \frac{P}{P_0} - \tau_{o3} \quad [2] \end{aligned}$$

L'épaisseur optique de l'atmosphère (Atmospheric Optical Thickness) est notée AOT.

La part de cette épaisseur due aux aérosols est appelée Profondeur optique d'aérosol (Aerosol Optical Depth) notée AOD.

### Paramètres d'étalonnage

- Les paramètres  $N_0$  sont déterminés par calibration (No\_619 pour le rouge, No\_540 pour le vert et No\_465 pour le bleu)

- $a_R$  est calculé :

Pour CALITOO, ces paramètres sont :

longueur d'onde ( $\mu\text{m}$ )	$a_R$ calculé
0,465	0,19490
0,540	0,10637
0,619	0,06119

- $\tau_{O3}$  : est donnée par le LOA - Aeronet

longueur d'onde ( $\mu\text{m}$ )	T_Ozone
0,465	0,0000
0,540	0,0128
0,619	0,0154

## Caractérisation des particules.

Il est possible de déterminer la répartition en nombre et en taille des particules constituant les aérosols. Ces particules dont le diamètre est compris entre  $10^{-3}$  et 100 micromètres sont particulièrement concentrées au-dessus des régions industrialisées de l'hémisphère Nord.

**Le coefficient d'Ångström** est un indice sensible à la distribution en tailles des aérosols. Il est inversement lié à la taille moyenne des particules des aérosols : plus les particules sont petites, plus l'exposant est élevé.

Ce coefficient est également un bon indicateur de la proportion d'eau atmosphérique précipitable, où la concentration en aérosols joue un rôle maintenant reconnu comme très important. Il permet d'anticiper le volume des précipitations attendues dans une saison. En fonction de la concentration en eau présente dans l'atmosphère, un coefficient plus élevé favorisant la concentration des nuages et des précipitations plus importantes.

### Calcul :

Le coefficient d'Ångström  $\alpha$  est calculé à partir de données d'épaisseur optique ( $\tau_{a_n}$ ) prises à deux longueurs d'onde différentes  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  :

$$\tau_{a_1} = \beta \cdot \lambda_1^{-\alpha}$$

$$\tau_{a_2} = \beta \cdot \lambda_2^{-\alpha} \quad \Leftrightarrow \quad \tau_{a_1} / \tau_{a_2} = \lambda_1^{-\alpha} / \lambda_2^{-\alpha} \quad \Leftrightarrow \quad \ln(\tau_{a_1} / \tau_{a_2}) = -\alpha \cdot \ln(\lambda_1 / \lambda_2)$$

$$\Leftrightarrow \quad \ln(\tau_{a_1} / \tau_{a_2}) = \alpha \cdot \ln(\lambda_2 / \lambda_1)$$

$$\Leftrightarrow \quad \alpha = \ln(\tau_{a_1} / \tau_{a_2}) / \ln(\lambda_2 / \lambda_1)$$

La plage typique de valeur de  $\alpha$  est de 0,5 à 2,5 avec une moyenne pour l'atmosphère naturelle, de l'ordre de 1,3.

### Exemple :

Seysse, le 1 septembre 2010 à 12h11:19 TU

$$\lambda_1 = 0,675 \text{ } \mu\text{m} \quad \tau_{a_1} = 0,10$$

$$\lambda_2 = 0,532 \text{ } \mu\text{m} \quad \tau_{a_2} = 0,13$$

Calcul de  $\alpha$  :

$$\alpha = \ln(0,100 / 0,135) / \ln(0,532 / 0,675) = \underline{\underline{1,126}}$$