



**Program**

## Samedi 19 Novembre

**Rendez vous à 9h au Laboratoire d'Optique Atmosphérique**

Adresse : P5, Département de Physique, 59650 Villeneuve-d'Ascq

<https://goo.gl/maps/x2bL2Trpoj9rGgEA>

**8h30-9h30** : Accueil, Badges, Prêt de Calitoo.

**9h30-10h** : Mots d'accueil

*Philippe Dubuisson, directeur du LOA – Bertrand Pajot, Inspecteur Général – Estelle Raynal, CNES*

**10h-11h** : Conférence

*Philippe Goloub, enseignant chercheur LOA*

**11h-12h** : Visite de la salle des machines ICARE

*Jacques Descloitres, ingénieur ICARE/AERIS et al.*

**12h-13h** : Plateau-repas sur place

**13h-15h** : Visite des plateformes photomètres, lidars, in-situ

*Philippe Goloub, enseignant chercheur LOA; Luc Blarel, ingénieur d'études, LOA et al.*

**15h-16h30** : TP et outils Calitoo

*Philippe Goloub, enseignant chercheur LOA; Luc Blarel, ingénieur d'études, LOA;*

*Frédéric Bouchar, ingénieur Tenum*

**16h30-17h30** : Utilisation de la données satellites et Calinet

*Jacques Descloitres, ingénieur ICARE/AERIS*

**Toute la journée** : mesures Calitoo en fonction de la météo.

**TRANSFERT vers ST OMER** : Gare TER Lille Flandres 18h23 – 19h23 St Omer, Covoiturage.

## Samedi 19 Novembre - soirée

**Rendez-vous au restaurant La Ducasse**

Adresse : 33 Place de la Ghière, 62500 SAINT-OMER

<https://goo.gl/maps/8M8RYq6TKq7cEBR17>



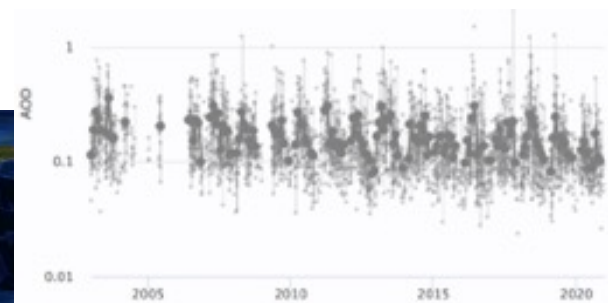
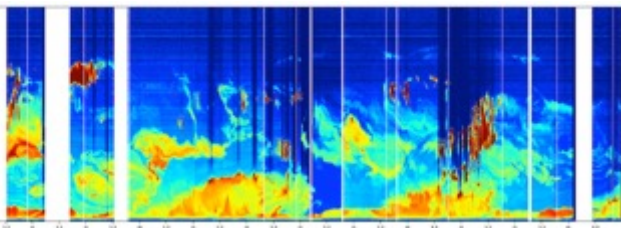
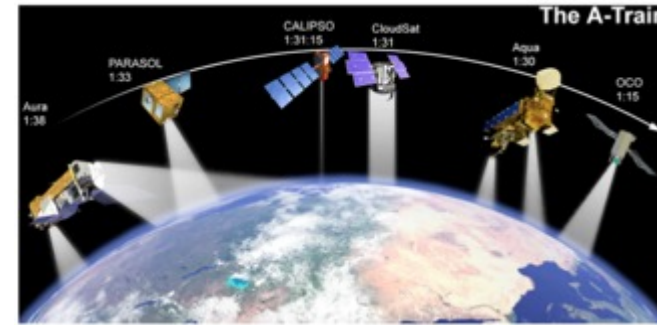
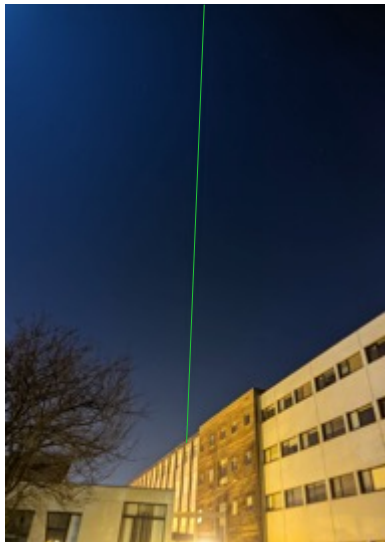
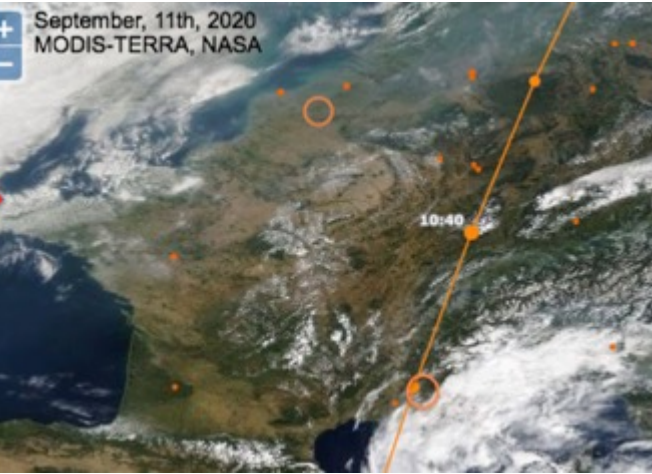
CALISPHYAIR 2022 - LOA-Lille



La Ducasse, 2021

# Laboratoire d'Optique Atmosphérique

Université de Lille – CNRS –



# Activités de recherche du LOA

**Qui sommes-nous ?** : physicien.ne de l'atmosphère (télédétection et in situ)

- ~65 personnes (Ens., Cher., Tech., Admin., Post-doc., Etud.)
- 2 Equipes de recherche (Aérosols & Nuages)
- Equipe technique (Méca., Electr., Optique, Informatique)
- Services Nationaux et Européens d'Observation (PHOTONS-**AERONET**, NDACC)
- Plateforme d'Observation de l'atmosphère (ATOLL), à l'OHP (Observatoire de Haute Provence), Mauna Loa (Hawai), au Sénégal (Dakar), sur le Marion Dufresne (Océan Indien), MAMS
- Intégration dans des réseaux internationaux d'observation (EARILNET, AERONET, NDACC), dans une infrastructure de recherche atmosphérique Européenne (ACTRIS)

**Que faisons-nous ? (les thèmes de recherche)**

- Modélisation (transfert rayonnement électromagnétiques dans l'atmosphère)
- Observations (Espace (missions), surface (plateforme et réseaux), aéroportée (campagne))
- Développement de méthodes inverses en télédétection  
(restitution des propriétés des particules atmosph., en interprétant les caractéristiques du rayonnement ayant interagit avec elles)
- Mesures des impacts des particules atmosphériques (climat, qualité de l'air)
- Développement instrumental (surface et prototype pour mission spatiale)

**Où trouvez des informations ?**

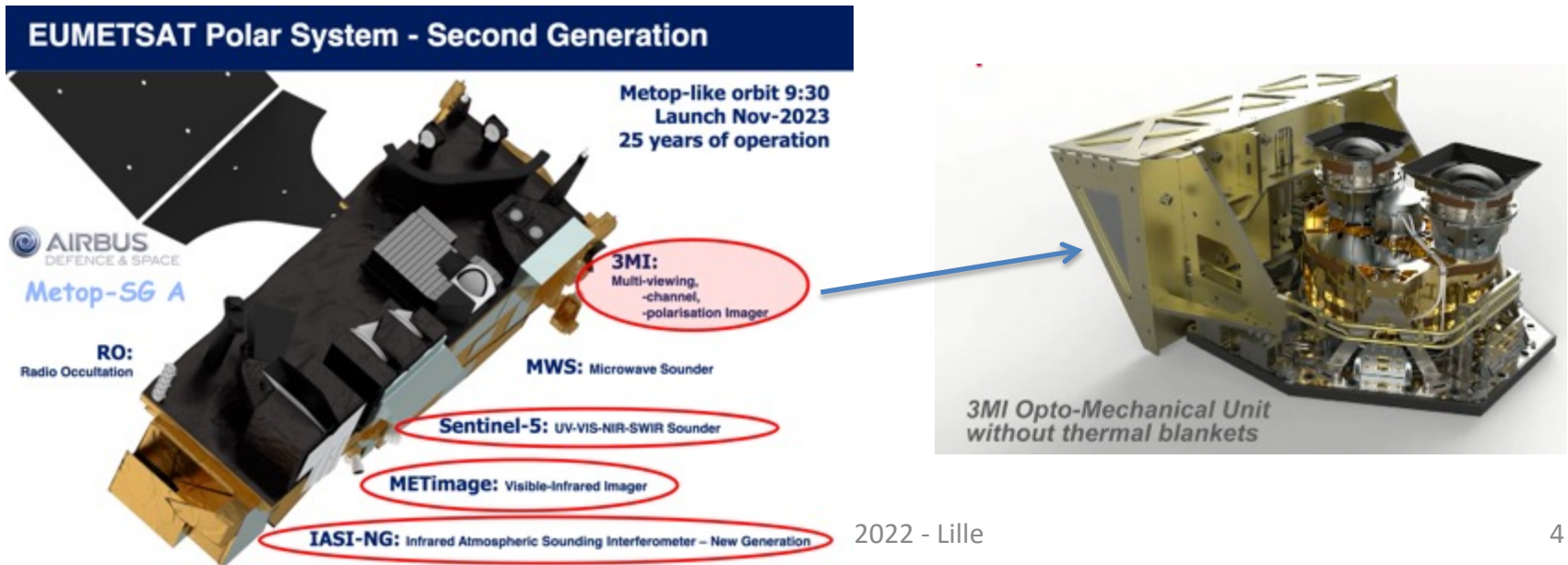
Site www du laboratoire

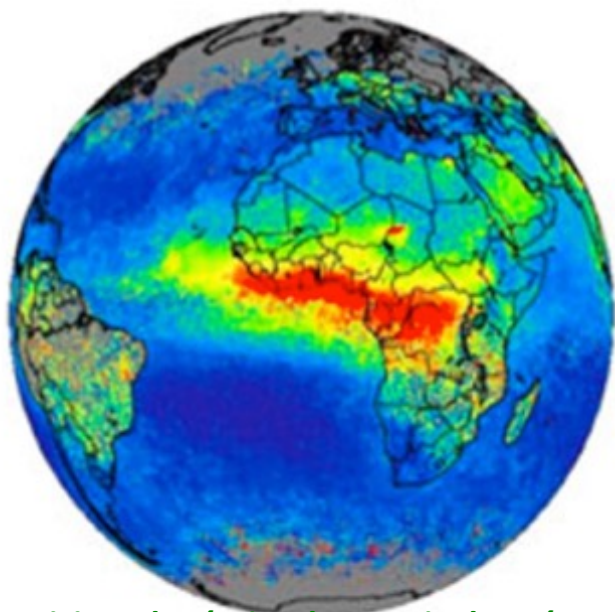
Plaquette du laboratoire : [https://loa.univ-lille.fr/documents/LOA/laboratoire/Plaquette\\_LOA.pdf](https://loa.univ-lille.fr/documents/LOA/laboratoire/Plaquette_LOA.pdf)

Pendant votre visite, de nombreux posters tapissent les murs du laboratoire

# Polarimétrie spatiale

- Mission-s de recherche POLDER / PARASOL pour l'étude des aérosols et des nuages (1996-2013)
- Mission spatiale 3MI (mission opérationnelle, ~25 ans, à partir de ~2024)



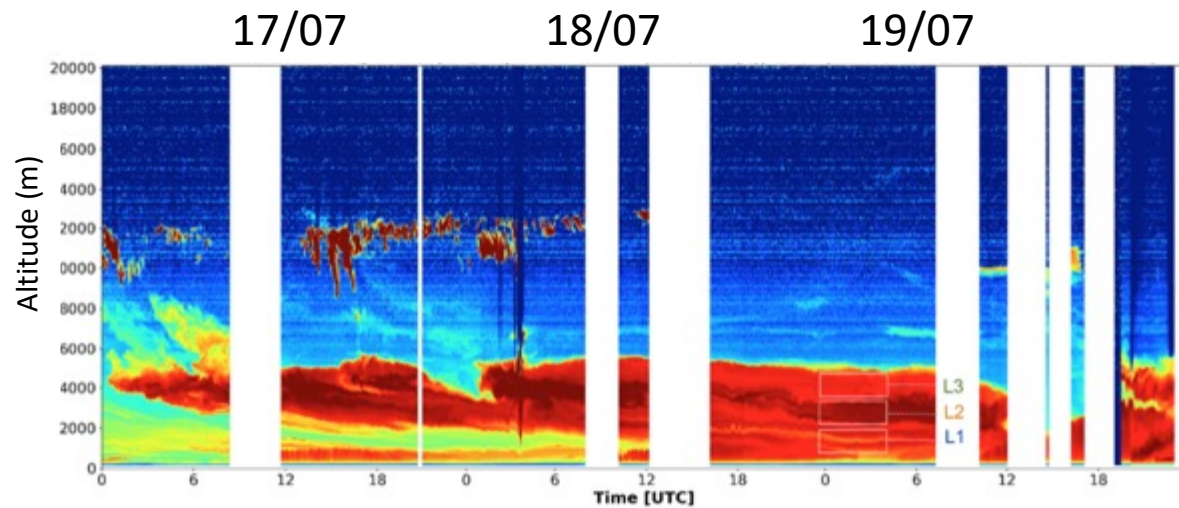


### Vision planétaire des particules aérosols

Instrument : PARASOL (satellite)

Epaisseur Optique Aérosols (AOD)

0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0



Faible Concentration Forte

### Vision locale des particules aérosols (radiographie laser)

Instrument : Lidar,  $\lambda=1064$  nm

Observatoire : ATOLL (Lille), Juillet 2022

- Atmosphère, un compartiment/réservoir (matière/énergie) terrestre
- Rôles multiples le climat (radiatif, cycle de l'eau, cycles bio-géo-chimiques)
- Aérosols et nuages contribuent / réduisent l'effet de serre
- Surveillance de sa composition et son évolution
- Qualité de l'air

# Les interactions entre le rayonnement et l'atmosphère

**Spectre Electromagnétique (UV-VIS-NIR-MIR-IRT-MO)**

**Sources : naturelle (soleil, lune, surface terrestre, atmosphère) + artificielle (ex : laser )**

**Interactions (diffusion-s, absorption, émission)**

- Échelle d'une particule / d'une molécule (taille, forme, comp. chimique)
- Echelle d'un volume élémentaire (conc. avec distribution-s de taille, forme, comp. Chimique)
- Echelle d'une couche atmosphérique (distribution verticale de ses propriétés)
- Echelle de toute la colonne d'atmosphère (distribution verticale de ses propriétés, diffusions multiple et inter-actions diffusion-absorption)

**Modélisations**

- Une **atmosphère sans nuage** (atmosphère « claire », particules aérosols + molécules atmosphérique)
- Une **atmosphère nuageuse** (nuages ~couche plane, homogène, mais aussi morphologie plus complexe)
- Une **atmosphère réaliste** avec des aérosols, des molécules, des nuages

# Les aérosols atmosphériques

Philippe Goloub

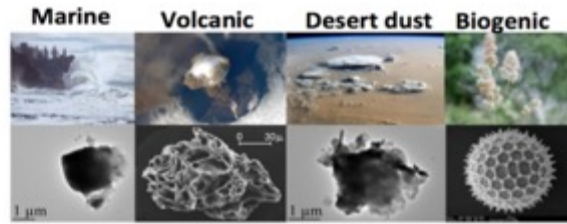
Université de Lille – CNRS  
Laboratoire d'Optique Atmosphérique

Service d'Observation AERONET

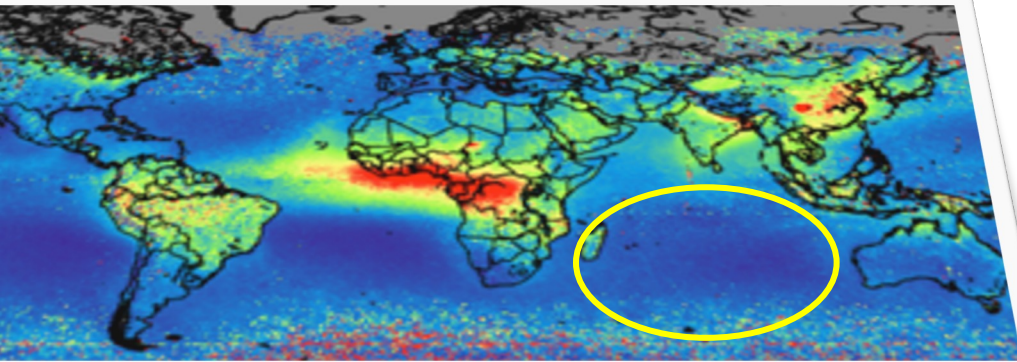
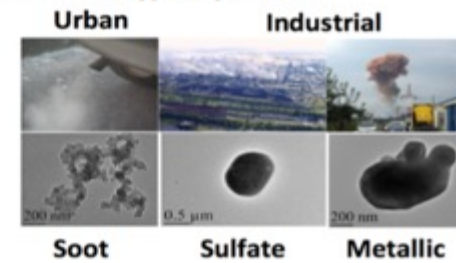


# Les Aérosols Atmosphériques

• Natural sources and typical particles



Anthropogenic sources and typical particles



Satellite  
(colonne)

## Climat

Impacts radiatifs (diff., abs.,.)  
Impacts sur les nuages  
Cycles bio-géochimiques  
(prod. primaire, acidification,..)

## Santé

Impacts sur la qualité de l'air

## Méthode d'Observation

« Télédétection »

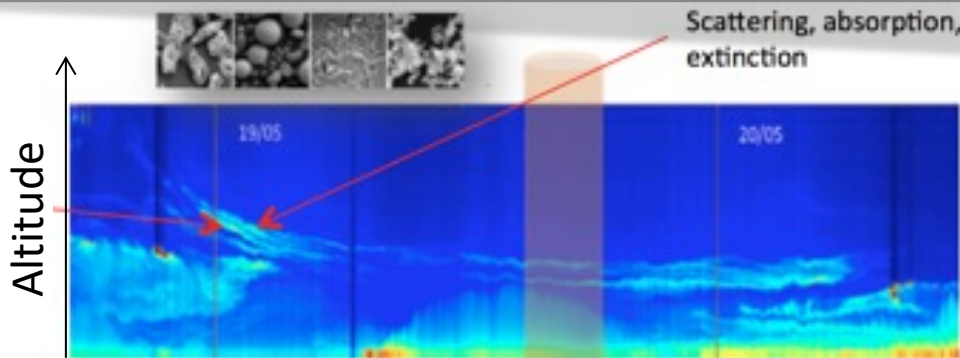
## Type de variables

(colonne / profil vertical)

## Variables Aérosols

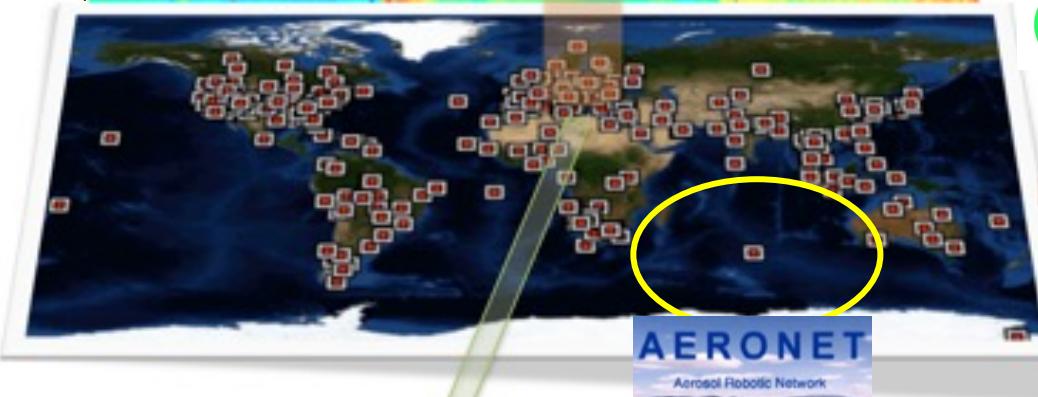
AOD, AE, Absorption,  
distribution en taille, indice  
de réfraction, forme

Propriétés ambiantes



Satellite  
et  
réseaux  
sol  
(profils)

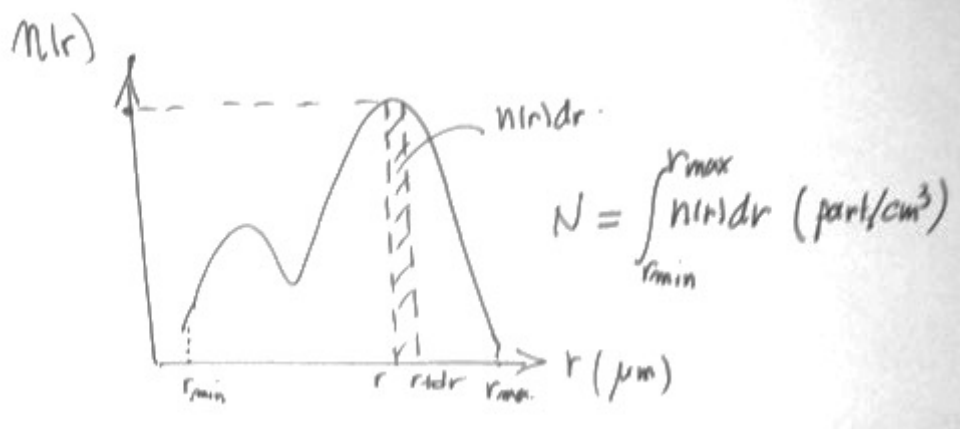
Réseaux sol  
(col/profil)





# Les particules qu'on respire

À ~50 %, ce qui est émis (**primaire**, combustion, mécanique), crée (**secondaire**, chimie)  
a une origine locale

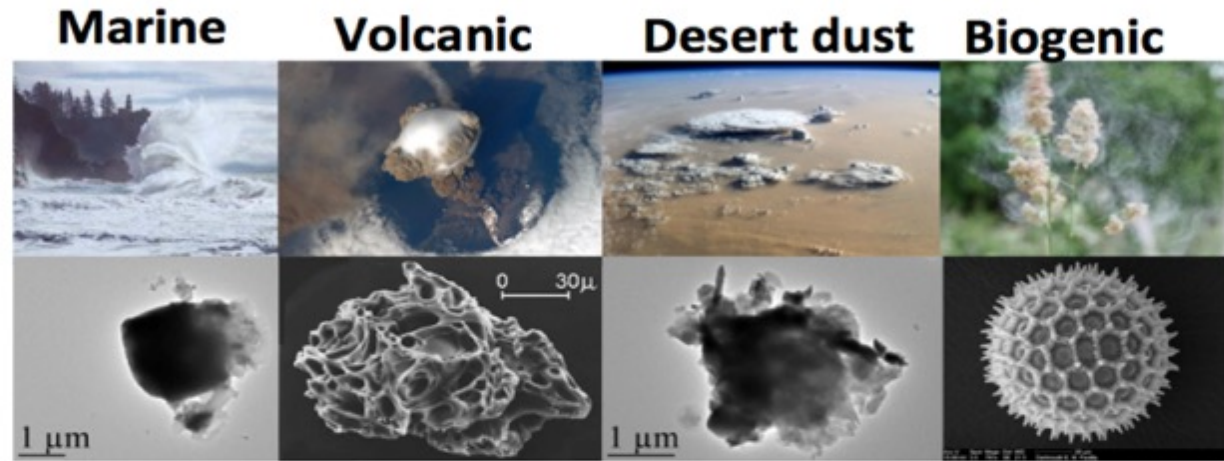


	Concentration massique ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Concentration en nombre (particules. $\text{cm}^{-3}$ )
Atmosphère urbaine	10-100	50 000-1 000 000
Atmosphère rurale	1-10	5 000-40 000
Troposphère libre (> 2 km d'altitude)	0,5-5	100-10 000
Atmosphère marine	1-100	100-1 000
Atmosphère arctique	1-10	10-10 000
Atmosphère antarctique	0,1-1	1-10

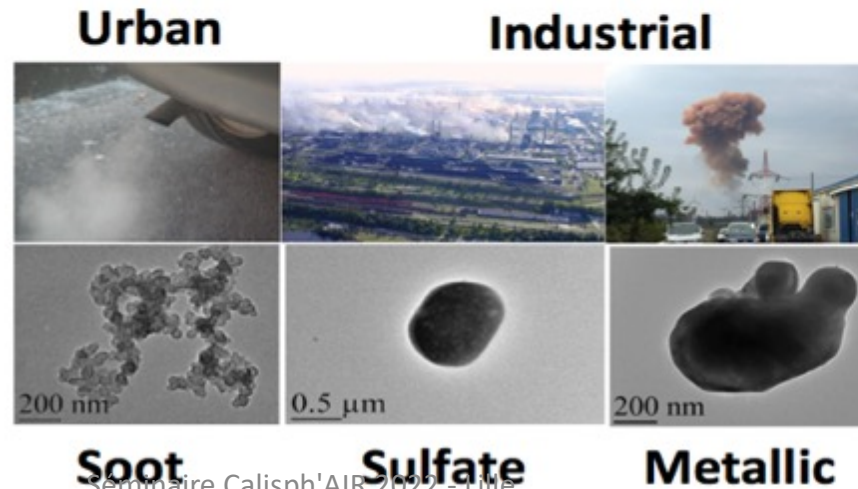
A ~50 %, vient du « voisin » (proche et lointain)

# Les particules en suspension dans l'air et qu'on peut inhaler

- **Natural sources and typical particles**



- **Anthropogenic sources and typical particles**



Séminaire Calisp'hAIR 2022 - Lille

# Les particules atmosphériques (hors nuages)

- **Particules inorganiques**

- Poussières désertiques, aérosols marins

- Sulfates, Nitrates, Ammonium

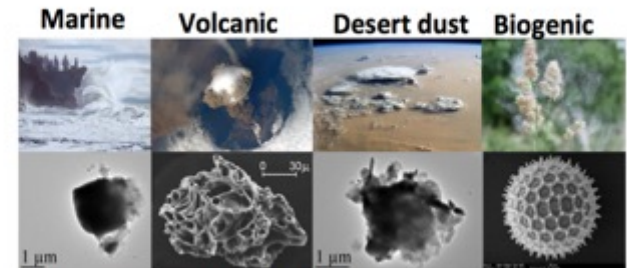
- (gaz précurseurs, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>)

- (« micro-gouttelettes acide sulfurique, nitrique, d'ammoniac)

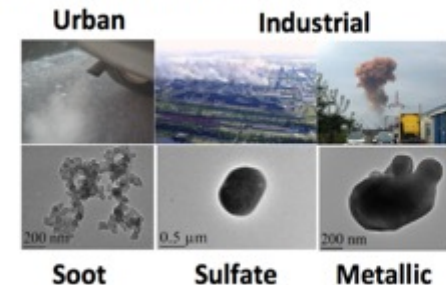
- Métaux lourds

- Pesticides

- **Natural sources and typical particles**



- **Anthropogenic sources and typical particles**



Courtesy to: NOAA, NASA, Carsten Ambelas Skjæth, A.M. Sarna-Wojcick and Louisa Howard, viata-libera.ro

# Les particules atmosphériques (hors nuages)

- **Particules organiques**

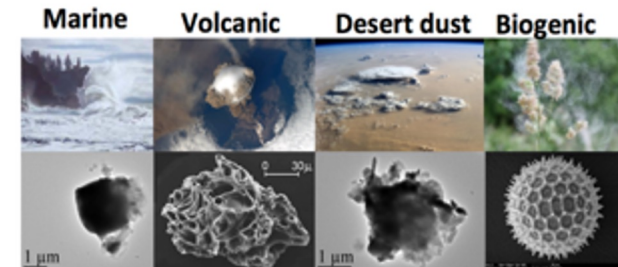
- **Carbone Élémentaire (EC) ou « Black Carbon » (BC)**

- Carbone suie (couleur noire), réfractaire (résiste haute T)
- Traceur de combustion (Anthropique, Primaire)
  - Inerte chimiquement

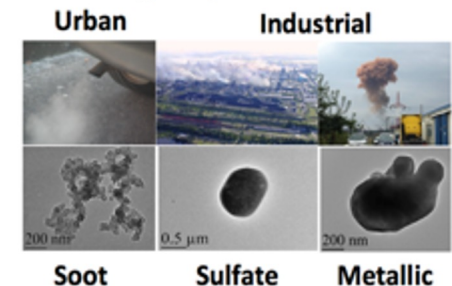
- **Carbone Organique (OC)**

- Primaire (combustion pétrole, bois, cuissons, BBQ, Biomasse)
- Secondaire (condensation espèces gazeuses, SOA)
- Chimie complexe

- **Natural sources and typical particles**



- **Anthropogenic sources and typical particles**



Courtesy to: NOAA, NASA, Carsten Ambelas Skjeth, A.M. Sarna-Wojcick and Louisa Howard, [viata-libera.ro](http://viata-libera.ro)

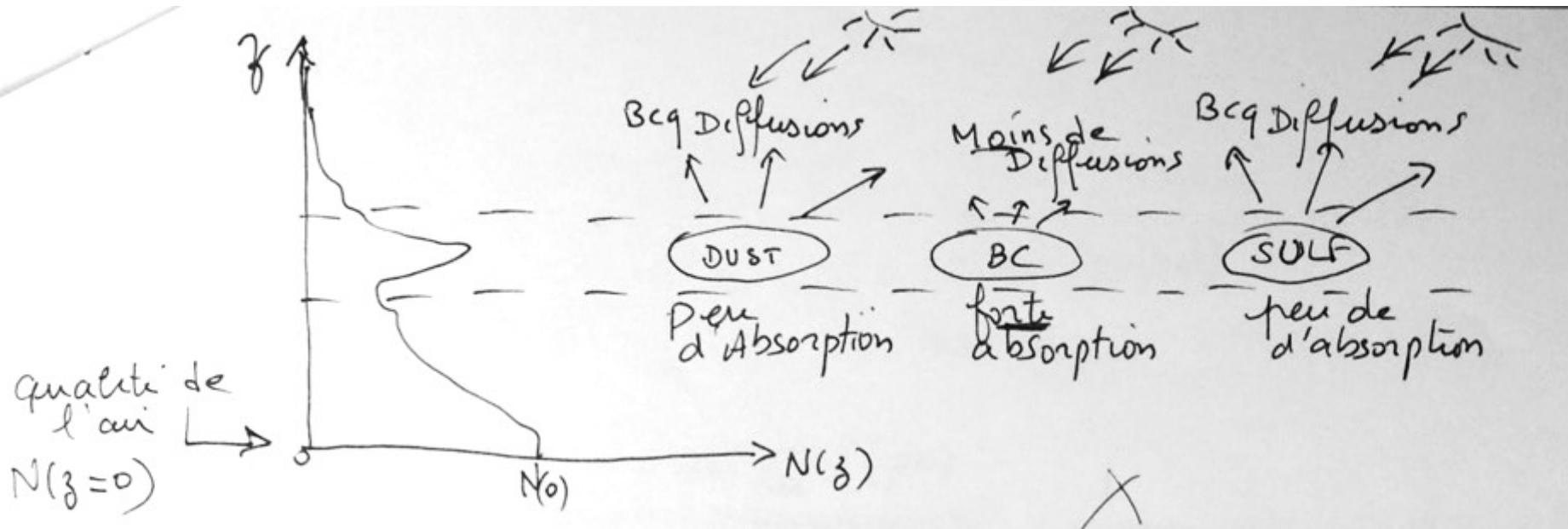
# • Impact sur climat (impacts possibles à toutes les altitudes )

- ✓ BC absorbe du rayonnement solaire
- ✓ BC, en retour, relâche de la chaleur (IR), échauffe la couche qui le contient
- ✓ Sulfates (SUL), Poussières minérales (DUST) absorbent beaucoup moins, elles sont qualifiées de particules « diffusantes »

Le rapport « énergie diffusée » / « énergie diffusée + énergie absorbée » est une variable atmosphérique (climatique) essentielle très recherchée

1 -> atmosphère totalement diffusante (refroidissement)

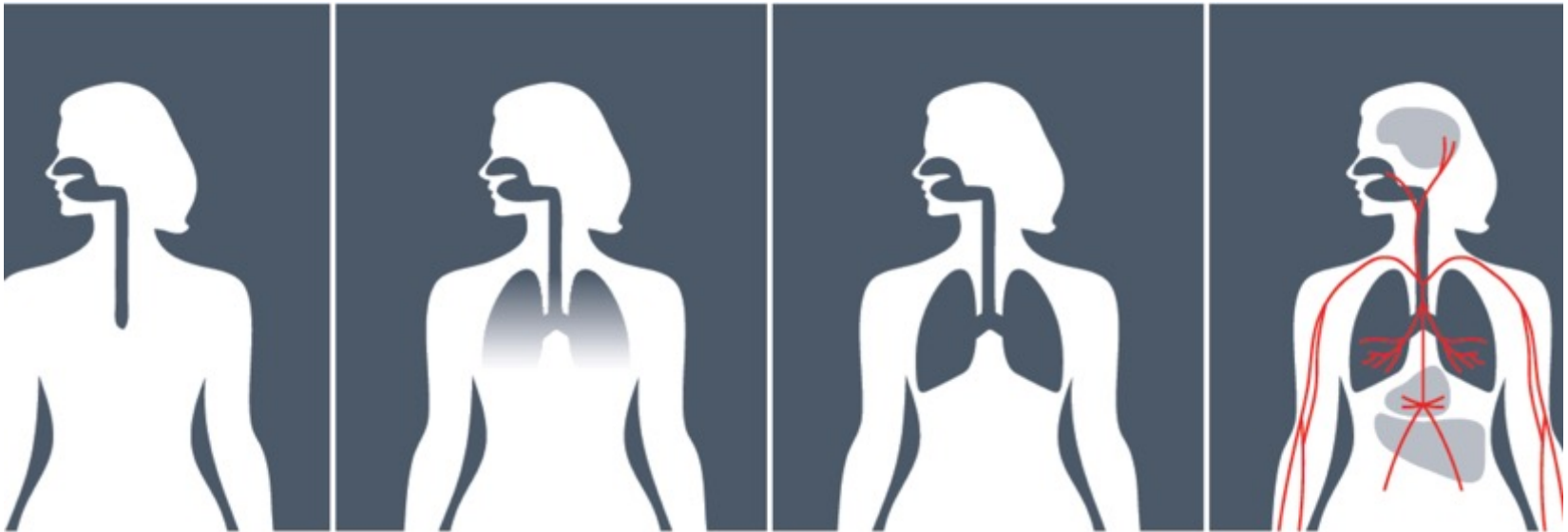
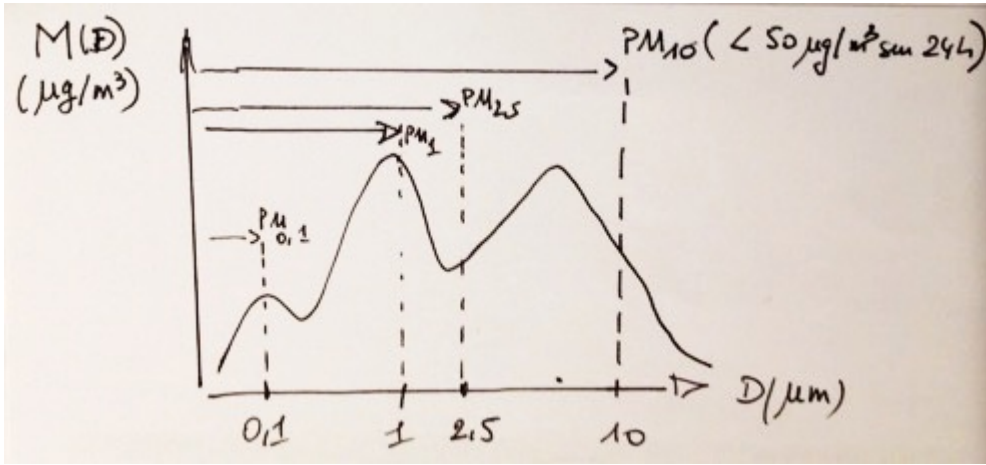
0 -> atmosphère totalement absorbante (réchauffement)



- Qualité de l'air (en surface,  $z=0$ )

# Les « PM »

Mauvaise qualité de l'air = pollution atmosphérique a des conséquences :  
 7 millions de morts chaque année  
 (0.5 million en Europe)  
 ~ 50 000 chaque année, en France



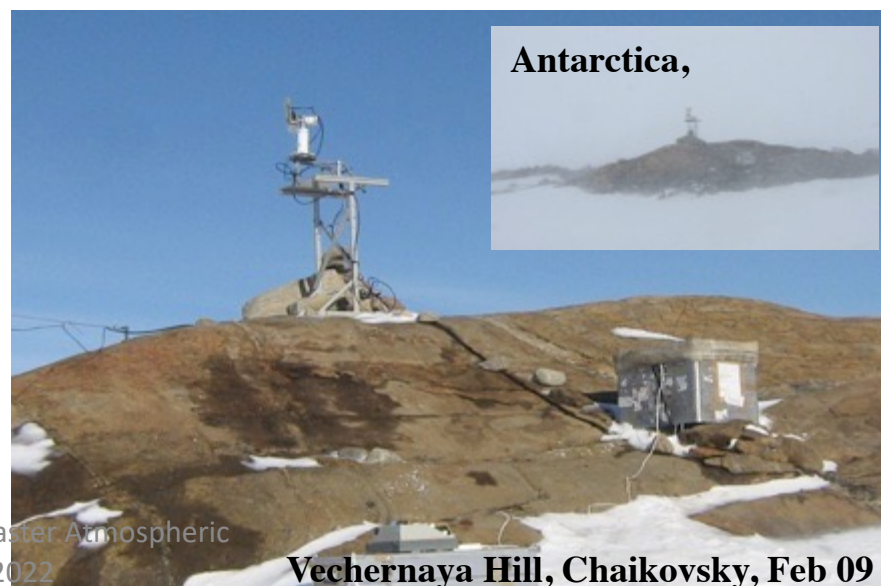
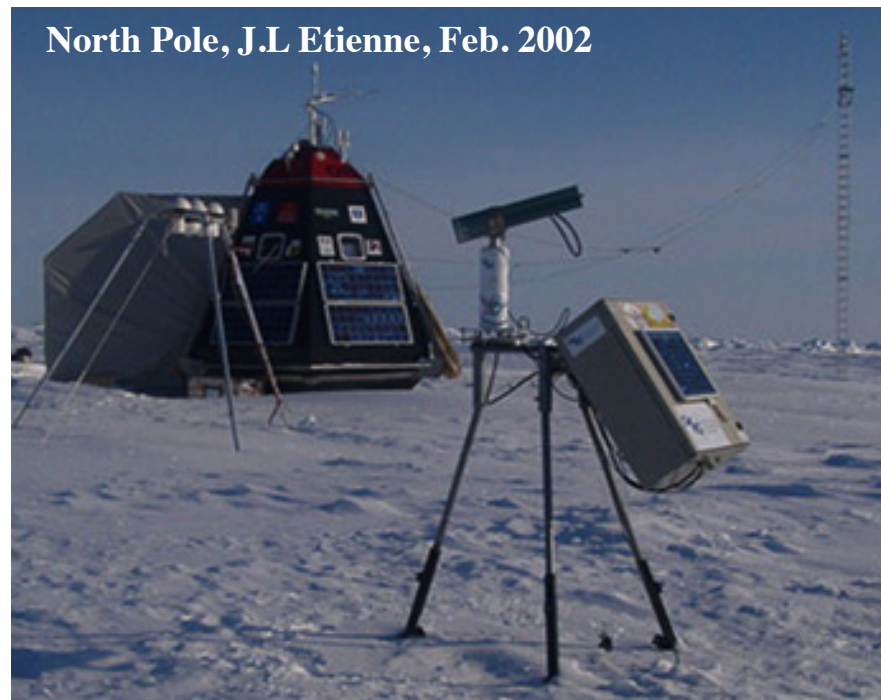
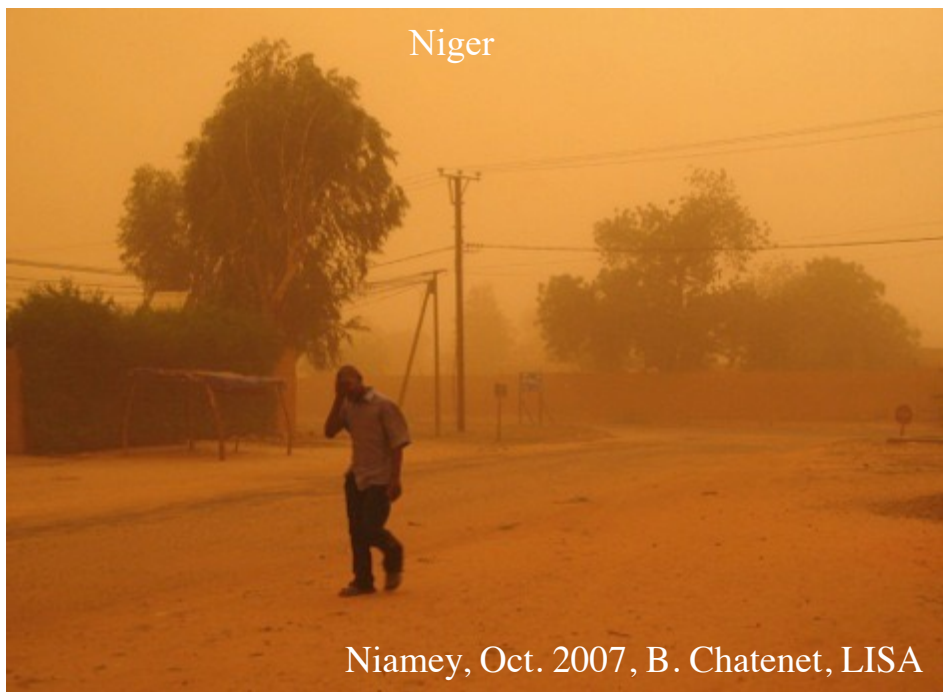
**10**  
**LE < 10µm**  
 SSES PARTICULES  
 ↳ respiratoires supérieures  
**0 = 0.01mm**  
 - pollen  
 - poussières

**PM2.5**  
**TAILLE < 2.5µm**  
 PARTICULES FINES  
 Voies respiratoires inférieures  
**PM2.5 = 0.0025mm**  
 - bactéries  
 - champignons  
 - pollen  
 - poussières

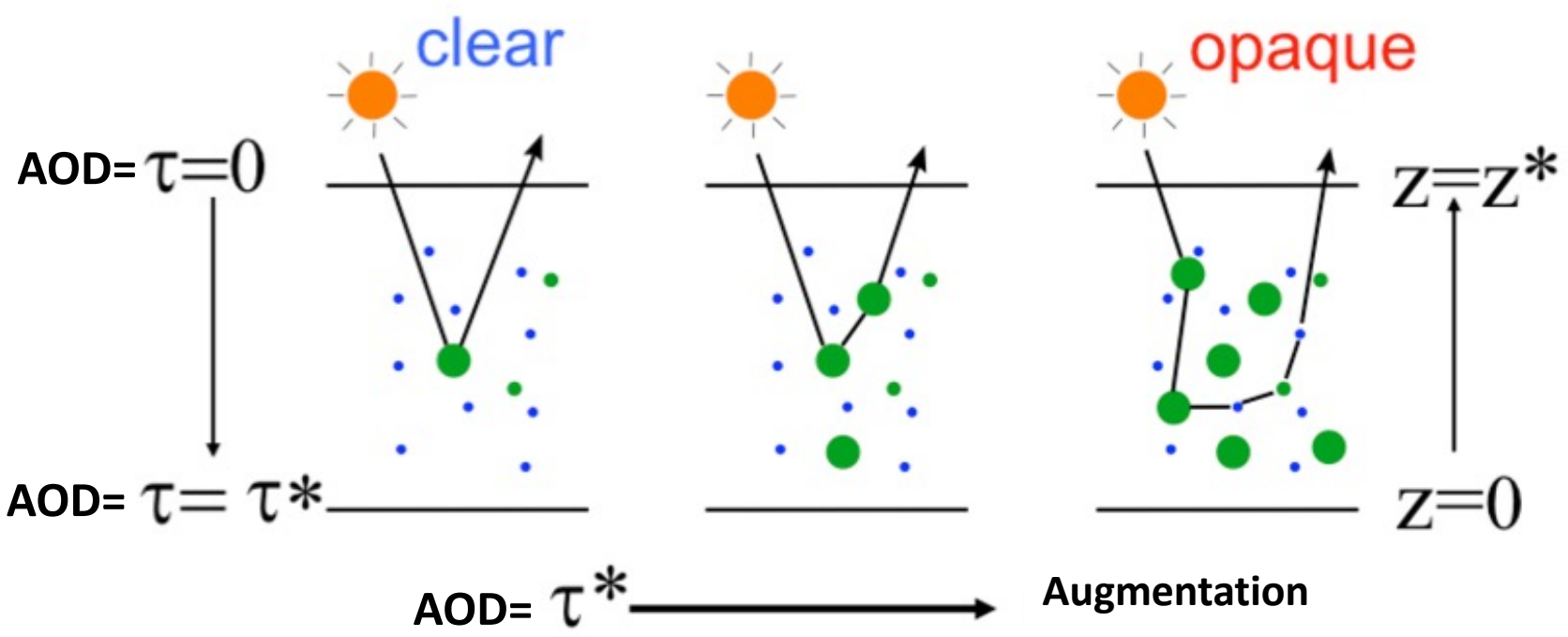
**PM1**  
**TAILLE < 1µm**  
 PARTICULES INHALABLES  
 Alvéoles  
**PM1 = 0.001mm**  
 - gaz d'échappement

**PM0.1**  
**TAILLE < 0.1µm**  
 PARTICULES ULTRAFINES  
 Sang / corps entier  
**PM0.1 = 0.0001mm**  
 - nanoparticules

# Apparence de l'atmosphère terrestre dans différentes régions



# Diffusion atmosphérique et Epaisseur optique atmosphérique





# Transmission atmosphérique (extinction, atténuation)

$$E = E(\lambda, \theta_S) = E_s(\lambda) \exp\left[-\frac{\tau(\lambda)}{\cos\theta_S}\right]$$

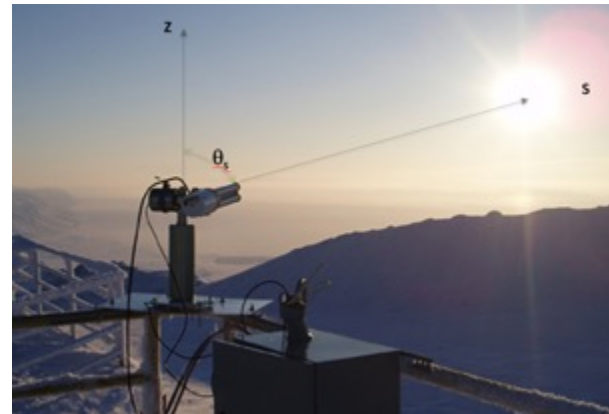
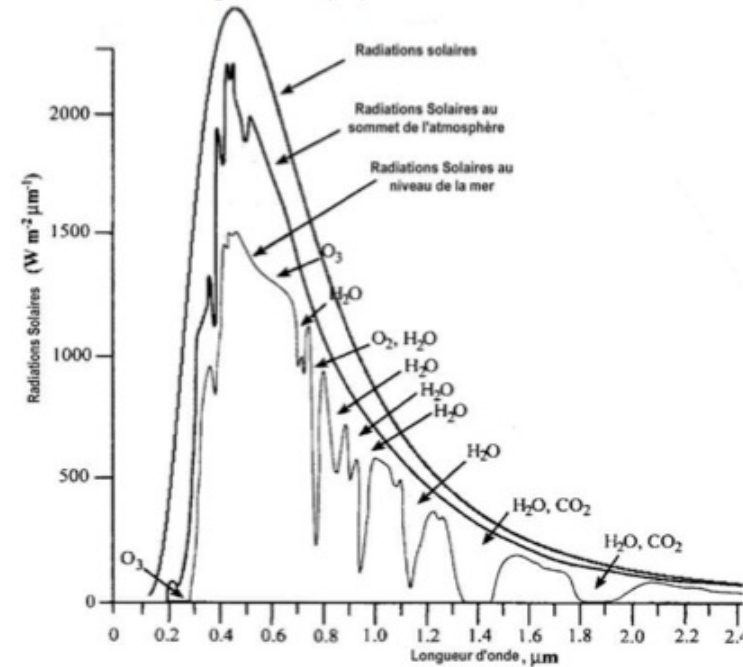
$$\tau(\lambda) = \tau_{aer,ext}(\lambda) + \tau_{mol,sca}(\lambda) + \tau_{mol,abs}(\lambda)$$

Si  $E_s$  connu, la mesure de  $E$  au sol, par visée de la source solaire directe, permet de déterminer l'AOD ( $\tau$ )



$$\tau_{aer,ext}(\lambda) = \cos\theta_S \ln\left[\frac{E}{E(\lambda, \theta_S)}\right] - \tau_{mol,sca}(\lambda) - \tau_{mol,abs}(\lambda)$$

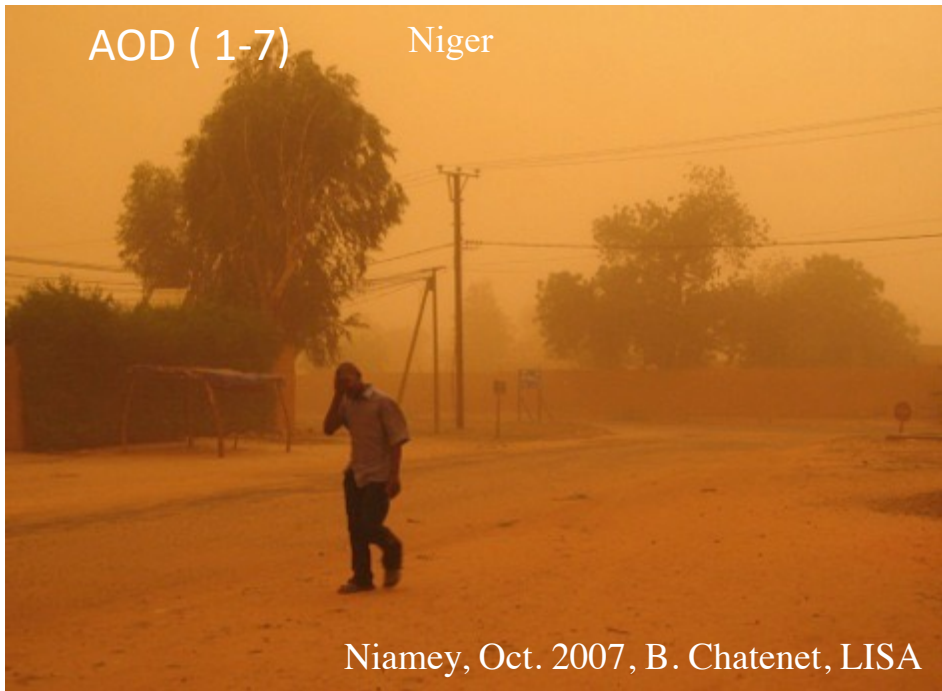
Spectre solaire  
Solar Irradiance Spectrum ( $E_s$ ) at TOA



# Epaisseur optique typique mesurée dans plusieurs régions du monde

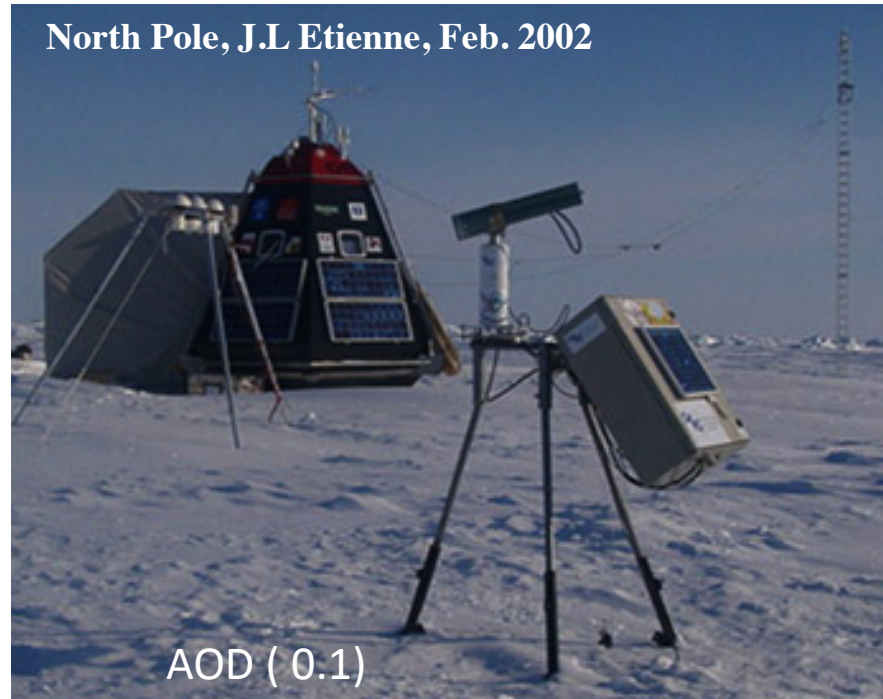
AOD ( 1-7)

Niger



Niamey, Oct. 2007, B. Chatenet, LISA

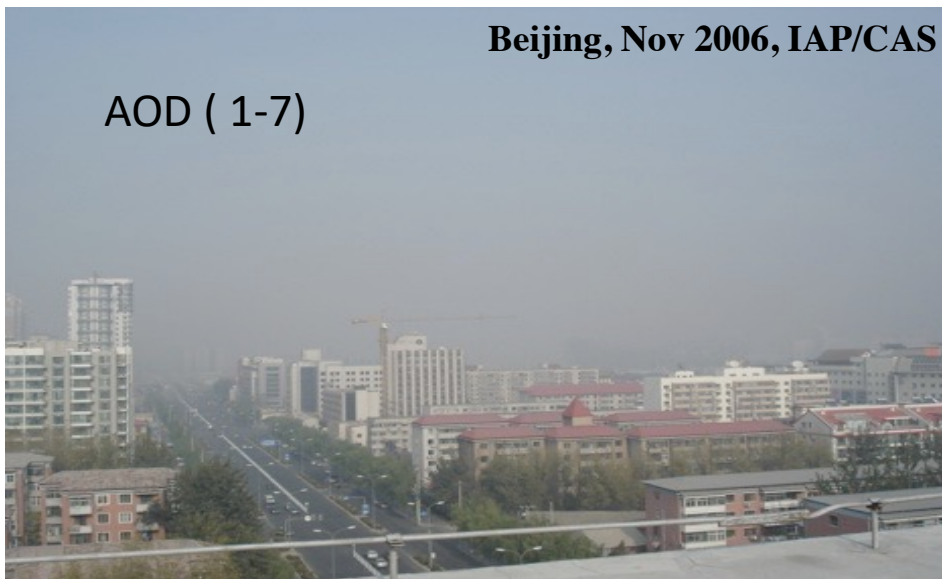
North Pole, J.L Etienne, Feb. 2002



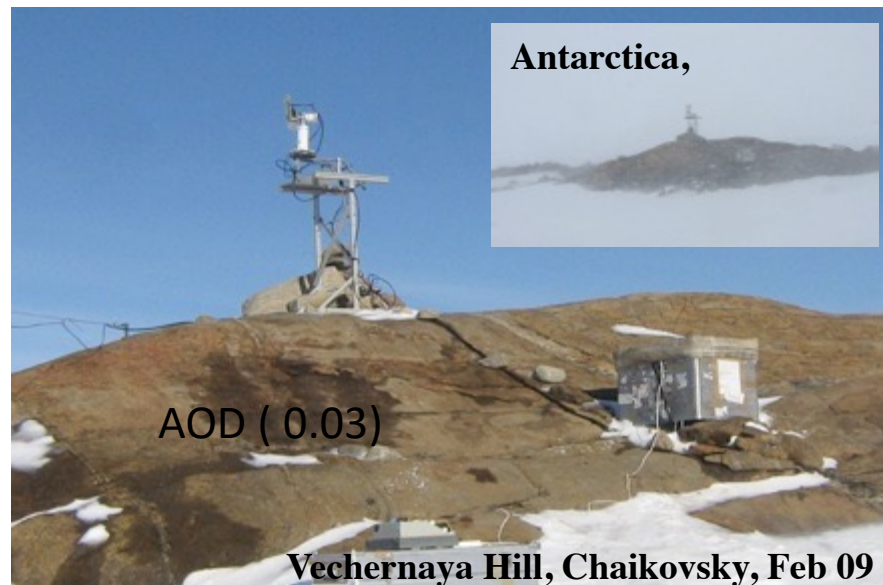
AOD ( 0.1)

AOD ( 1-7)

Beijing, Nov 2006, IAP/CAS



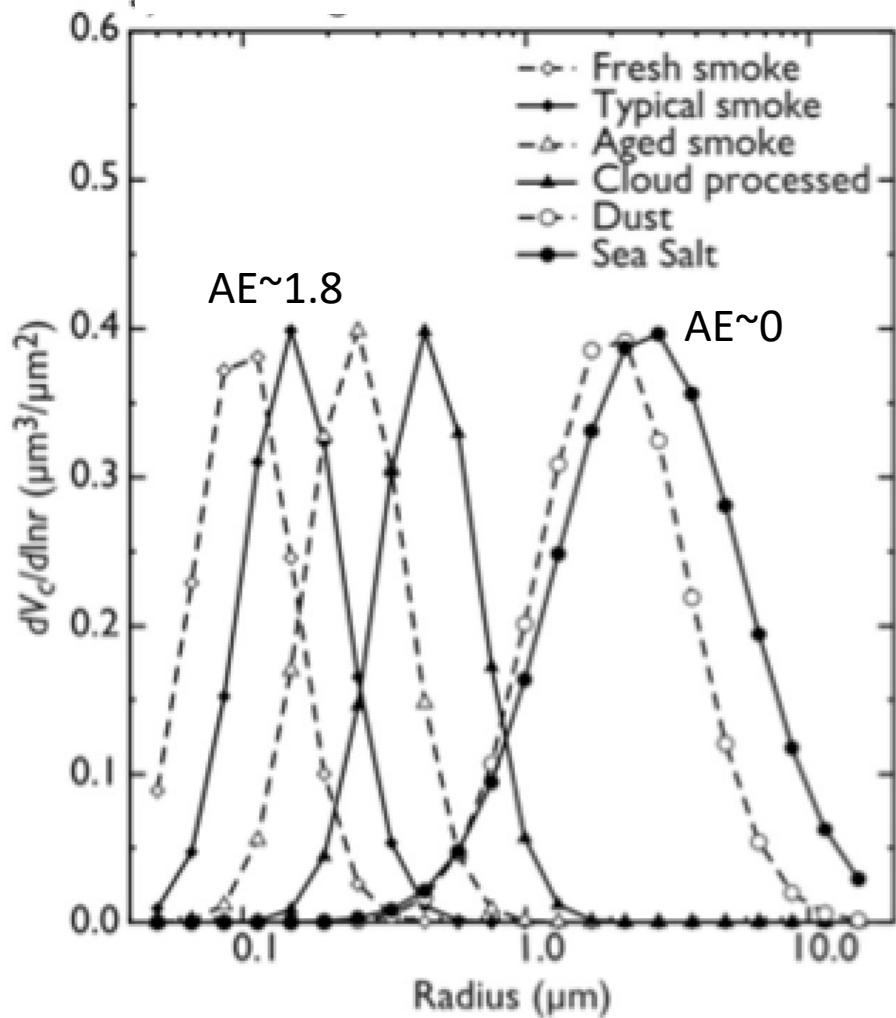
Antarctica,



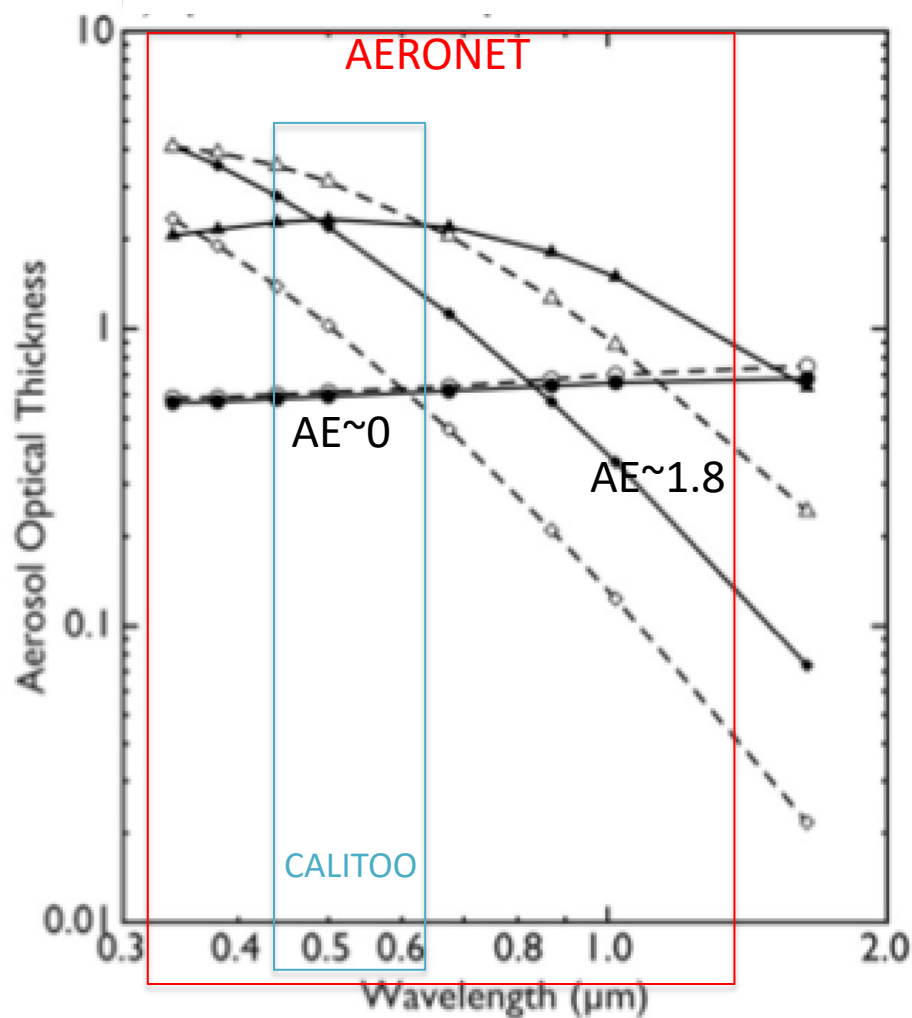
AOD ( 0.03)

Vechernaya Hill, Chaikovsky, Feb 09

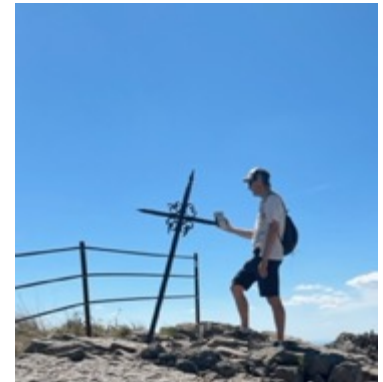
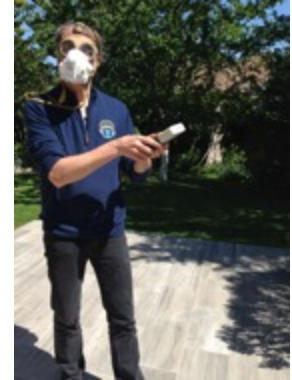
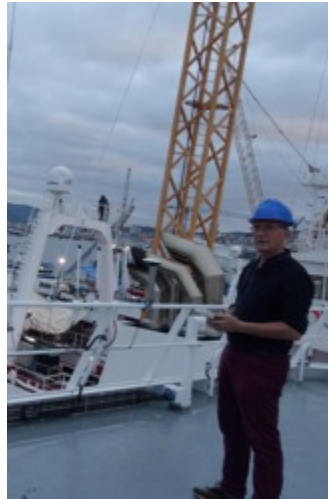
### Distribution en taille des aérosols



### Epaisseur Optique Spectrale AOD ( $\lambda$ )



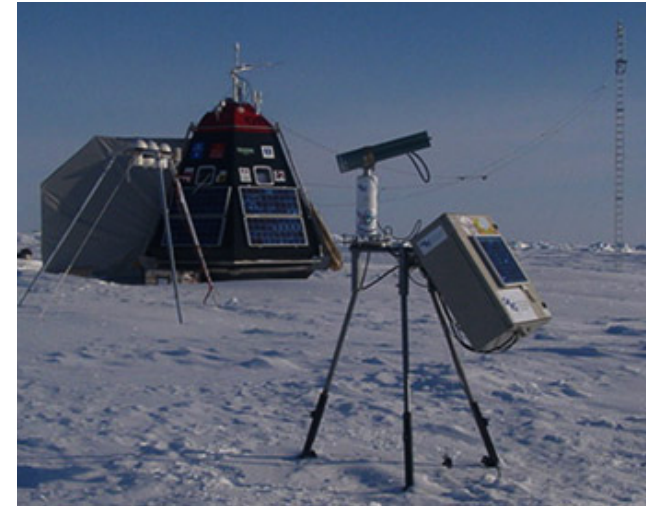
# CALITOO .... Pour mesurer facilement les AOD



## CALITOO :

- AOD à 3 longueurs d'onde 465, 540, 620 nm. Incertitude attendue = 0.02 *(voir POSTER)*
- Coefficient de variation spectrale (AE) : faible pour les grosses particules, fort pour les petites particules (coefficient d'Angström = AE)

# Réseau de photomètres automatiques : AERONET



AERONET à la COP26

<https://www.youtube.com/watch?v=2oxtCOBa3wU&t=306s>

# Quelques évènements atmosphériques de 2022

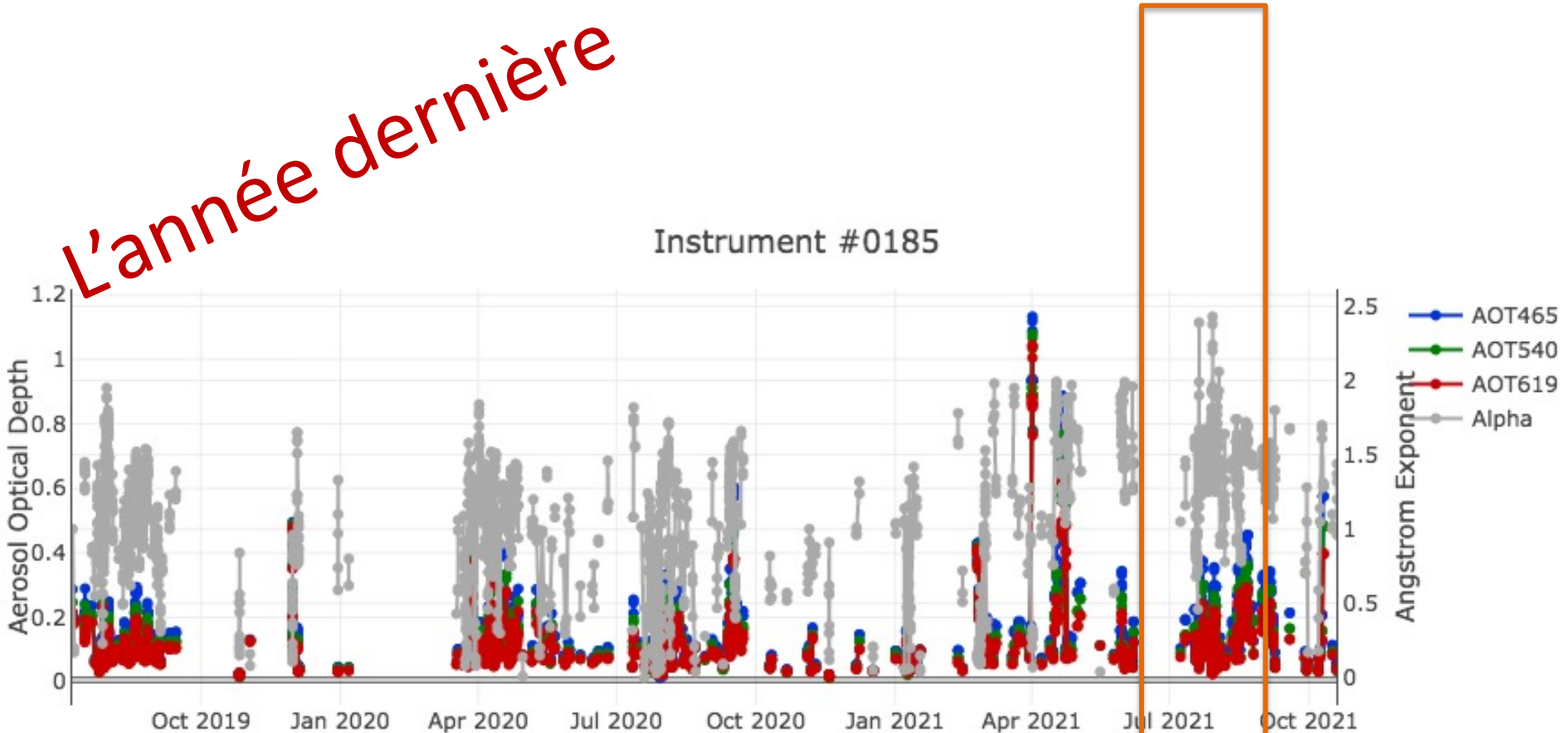
vus par AERONET, CALINET, ATOLL  
et satellites

# L'année dernière, 2021, une année brulante ...

- Mega & Giga-feux
- Finlande, Suède, Belgique, Grèce, France, Chypre, Russie, Californie, ...
- Smoke Californien
- Smoke transporté en France / Europe (été 2021)

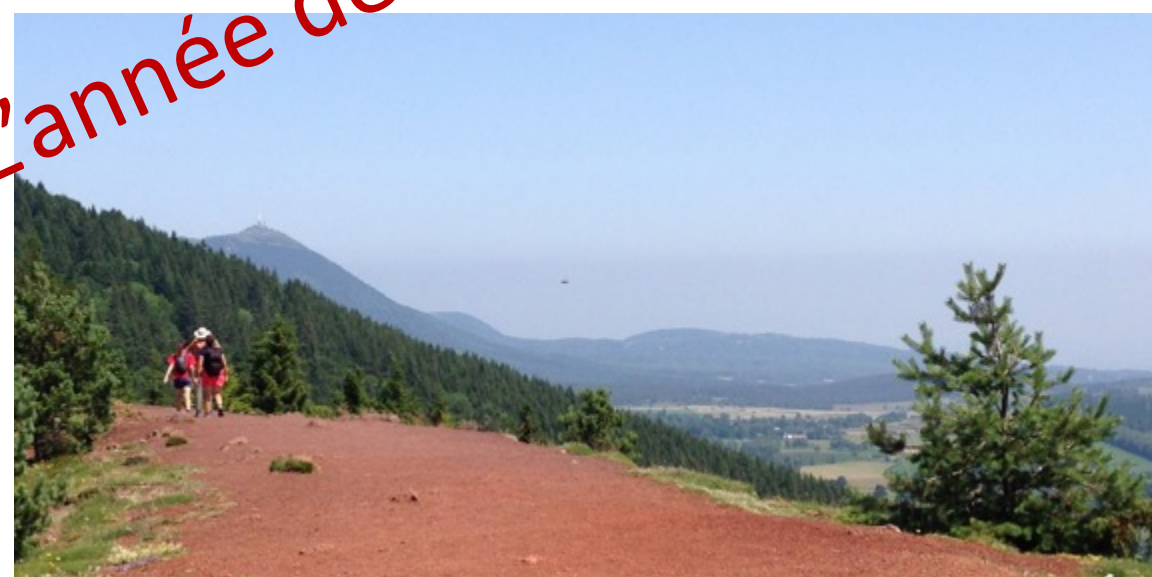
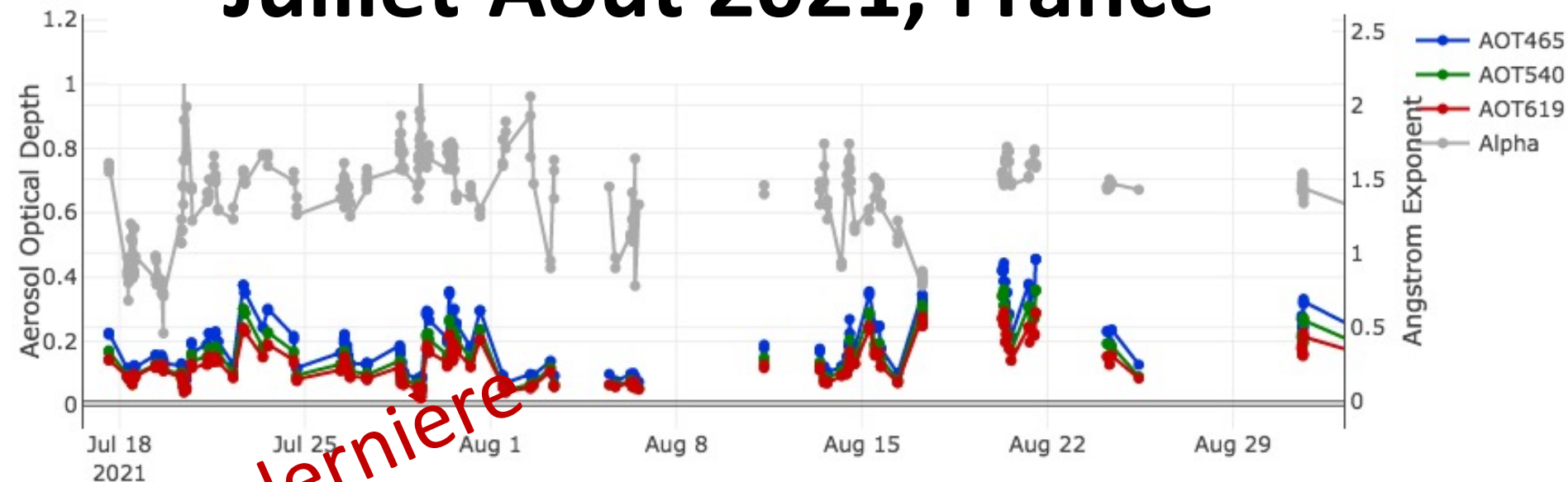
L'année dernière

# Smoke en métropole (été 2021)





# Juillet-Aout 2021, France



Proximité Puy de Dôme, 21/07/2021

0.20

1.45

Séminaire Calisph'AIR 2022 - Lille

Mont Mézenc (1750 m), 29/07/2021

Matin (9h30) AOD = 0.04; (AE = 1.50)

Après-midi (16h) AOD=0.30, AE=1.67



# L'été atmosphérique métropolitain 2021 en quelques AOD

L'année dernière

Lieu                      Date                      AOD (465 nm)      AE

## Auvergne

### Puy de Dôme

20/21-JUIL              0.20                      1.45  
 22/                      0.37                      1.50  
 23/                      0.30                      1.55  
 24/                      0.20                      1.55  
 29/                      0.04                      1.50  
 29/                      0.30                      1.67

Orcival (rural)

Besse (1000m)

St Anastaise (850 m, après orage/pluie)

Mont Mézenc (9h30, 1750m))

Mont Mézenc (16h).

### Bordeaux

22/                      0.40                      1.50

Record !

### Haute-Marne

(zone rurale, 300 m)

20/08                      0.42                      1.52  
 21/08                      0.46                      1.61

### Alpes-Maritimes

30/07                      0.25                      1.40  
 01/08                      0.10                      1.70

## Climato AERONET (JUIL/AOUT)

AOD / AE

Lille : 0.20 / 1.34

Clermont : 0.17 / 1.41

Bordeaux : 0.25 / 1.31

Villefranche/mer : 0.24 / 1.45

Ersa : 0.19 / 1.40

(valeur à 440 nm)

# Année 2022

# *En balade dans le Cantal...*

02/08/2022

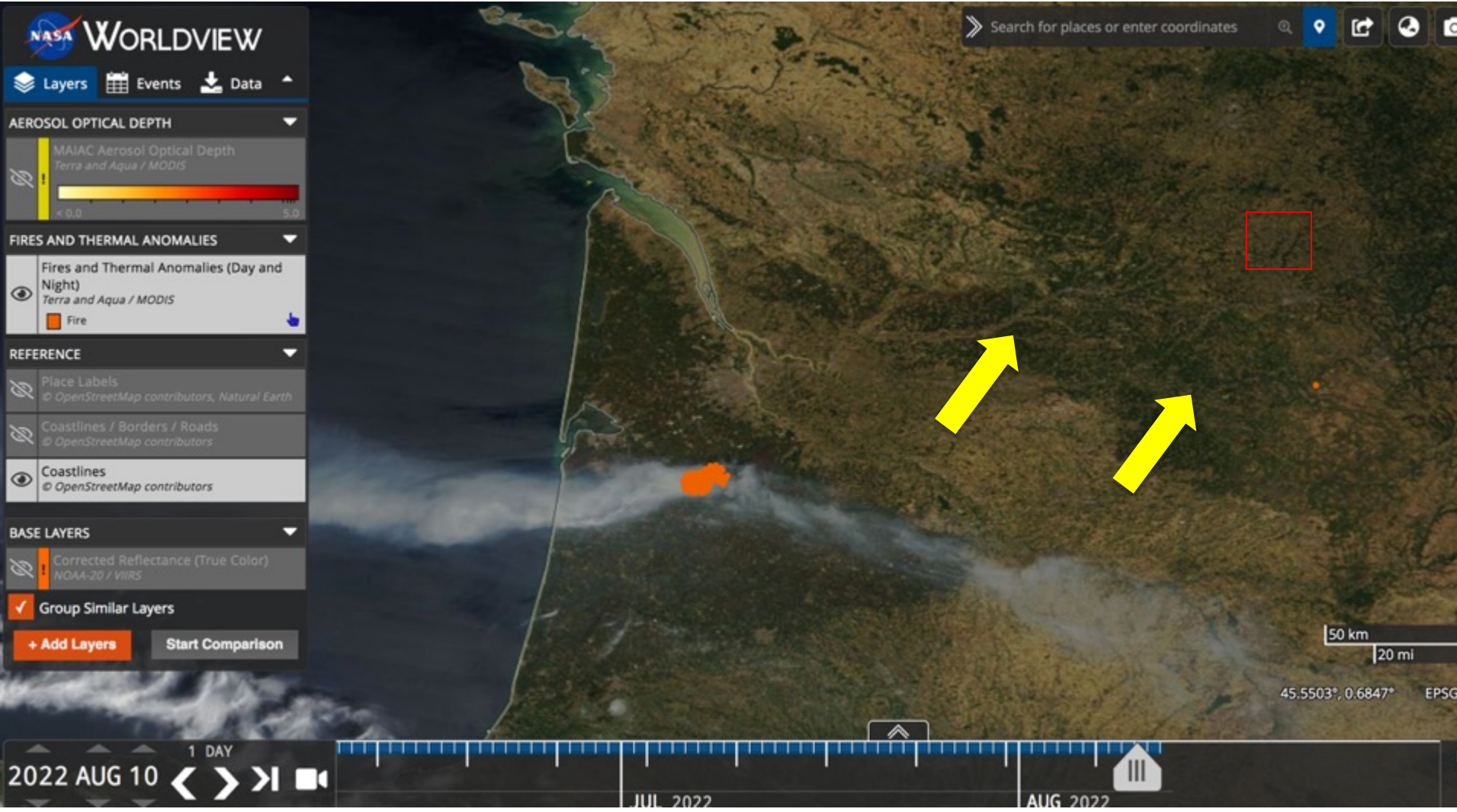
AOD = 0.02

Orientation Ouest





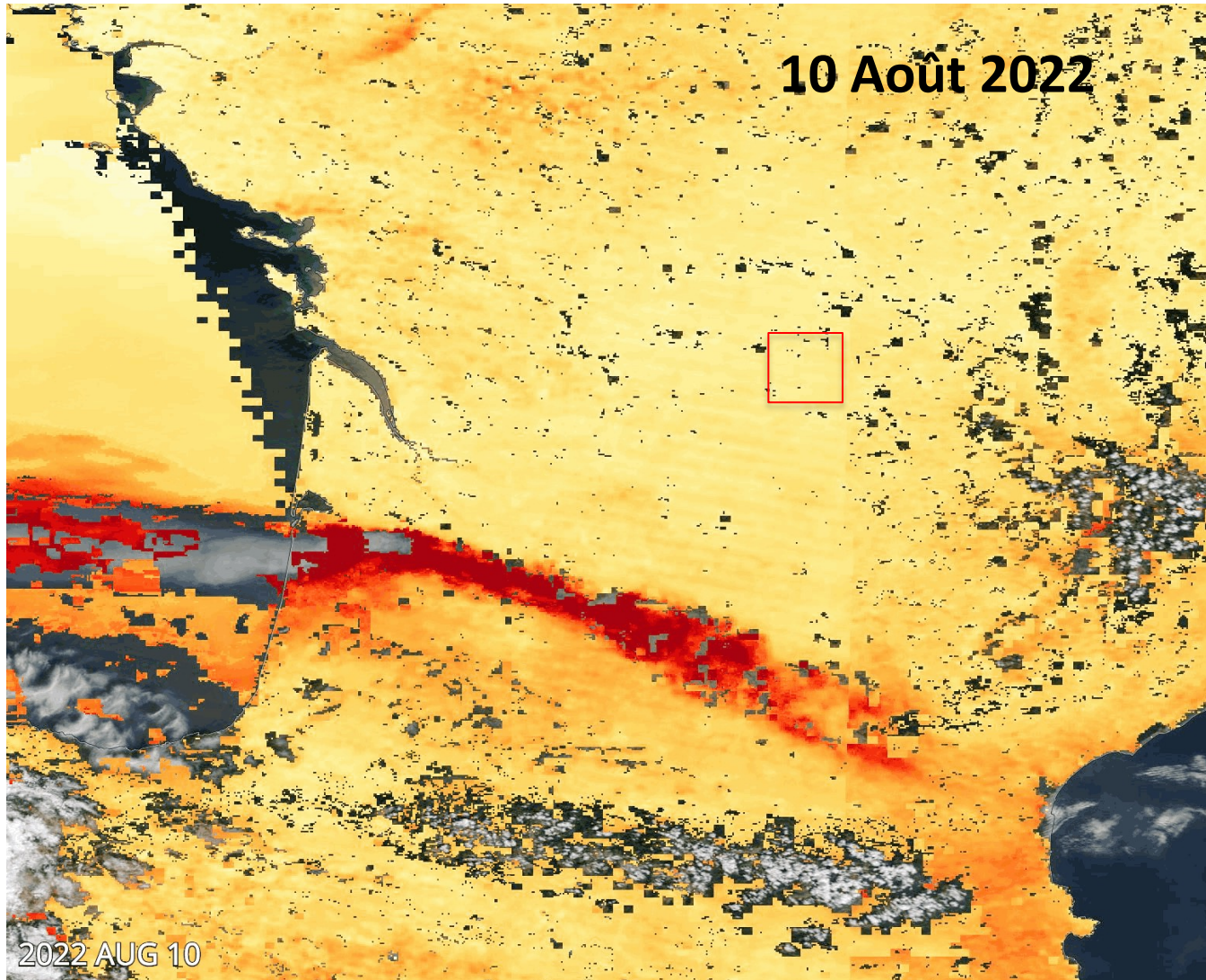
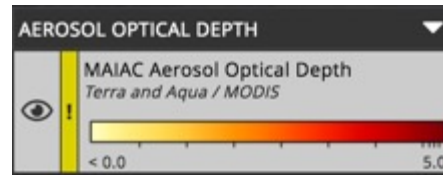
## *Eté 2022, Incendies en France (Gironde, Juillet et Août)*



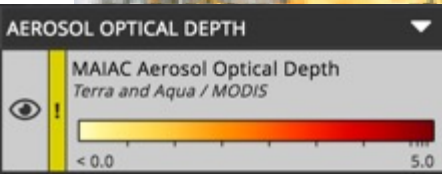
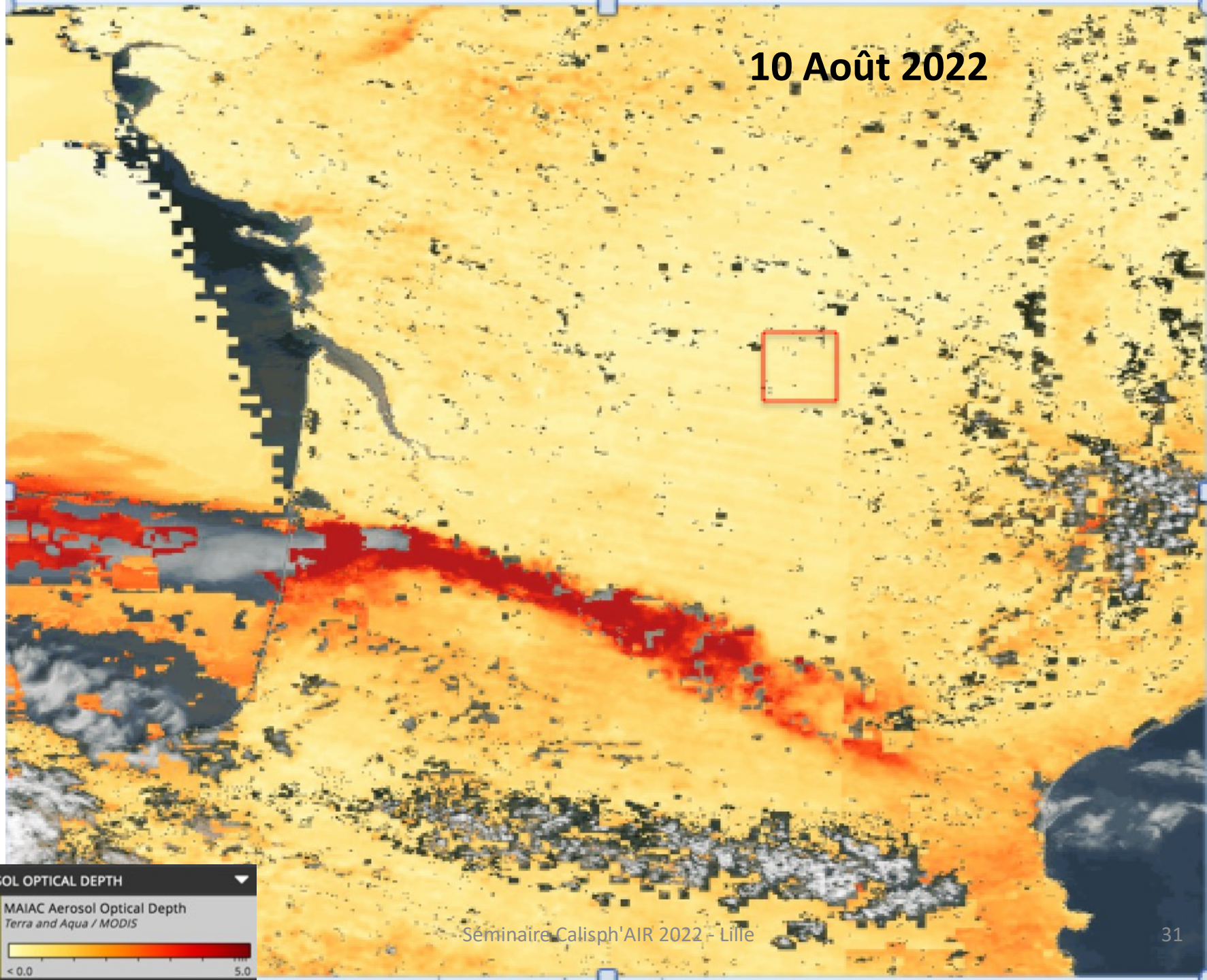


# Prés de Brive-la-Gaillarde, 10-13 Aout 2022

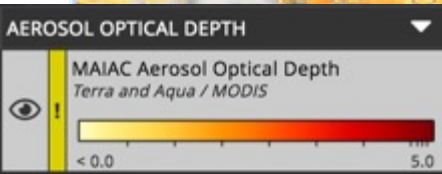
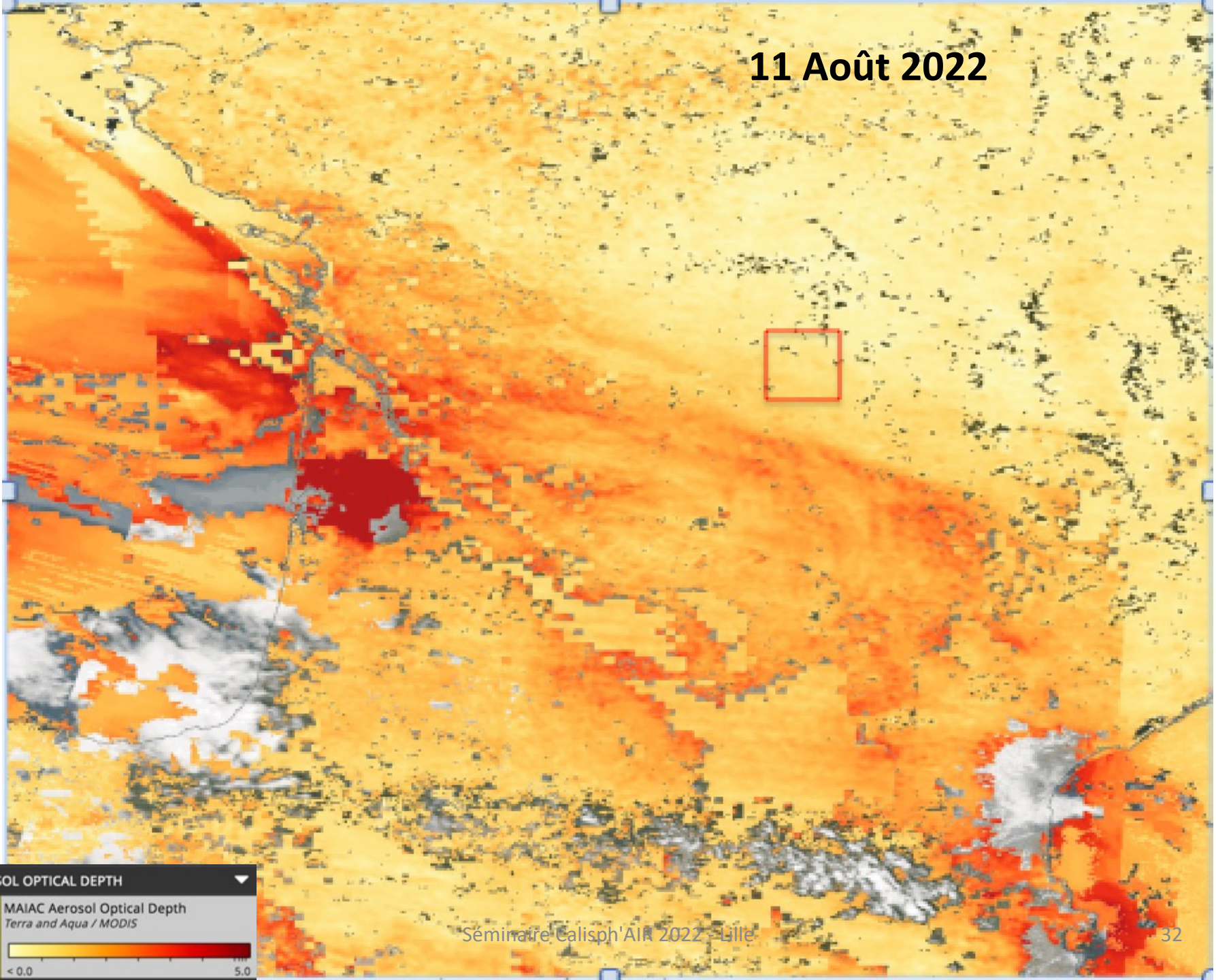
Epaisseur optique  
satellitaire (MODIS)



10 Août 2022

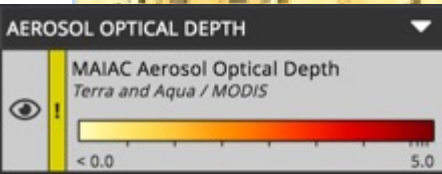
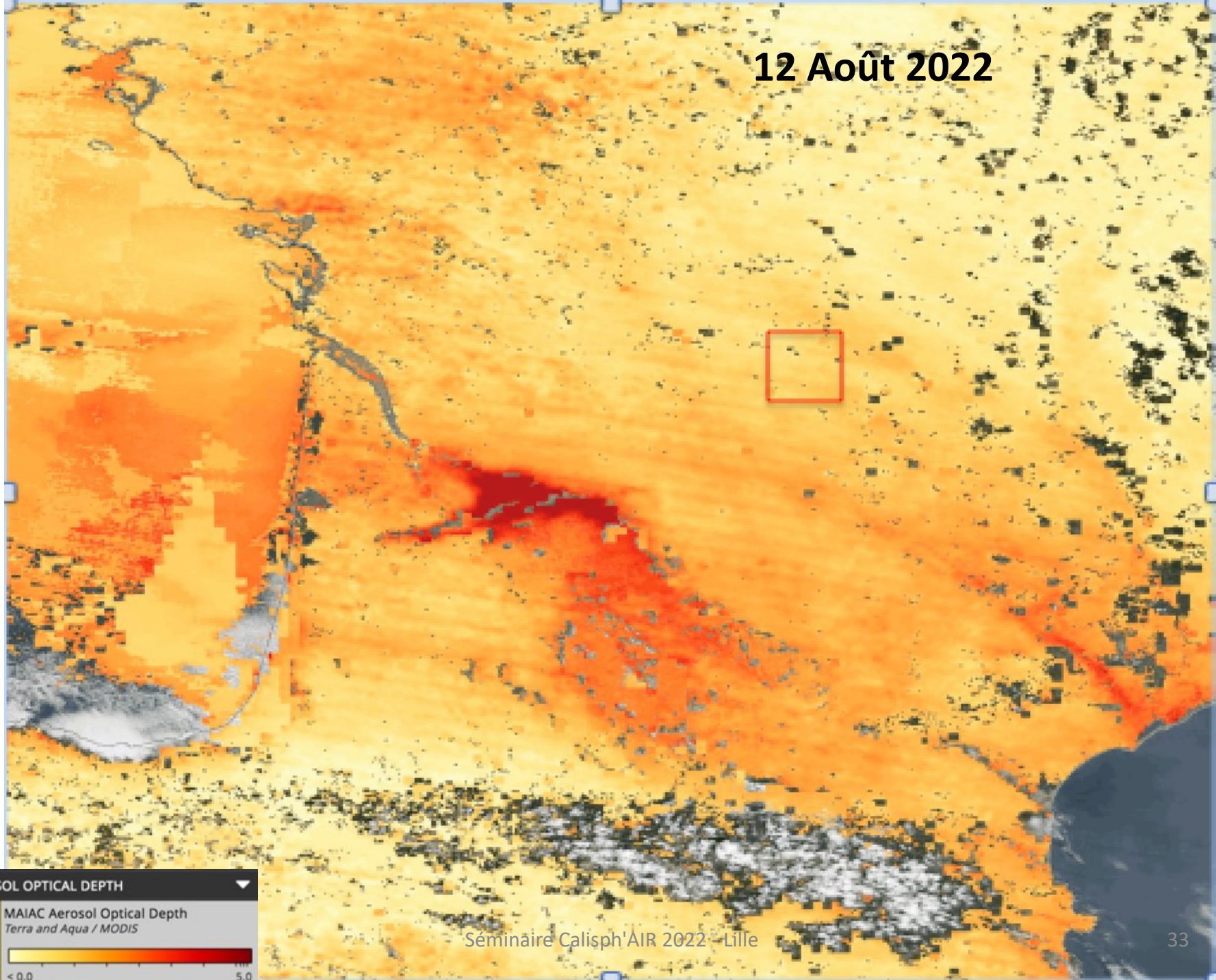


11 Août 2022

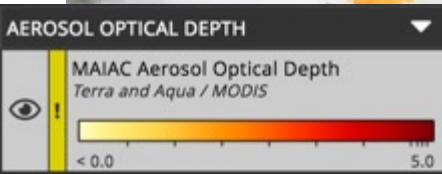
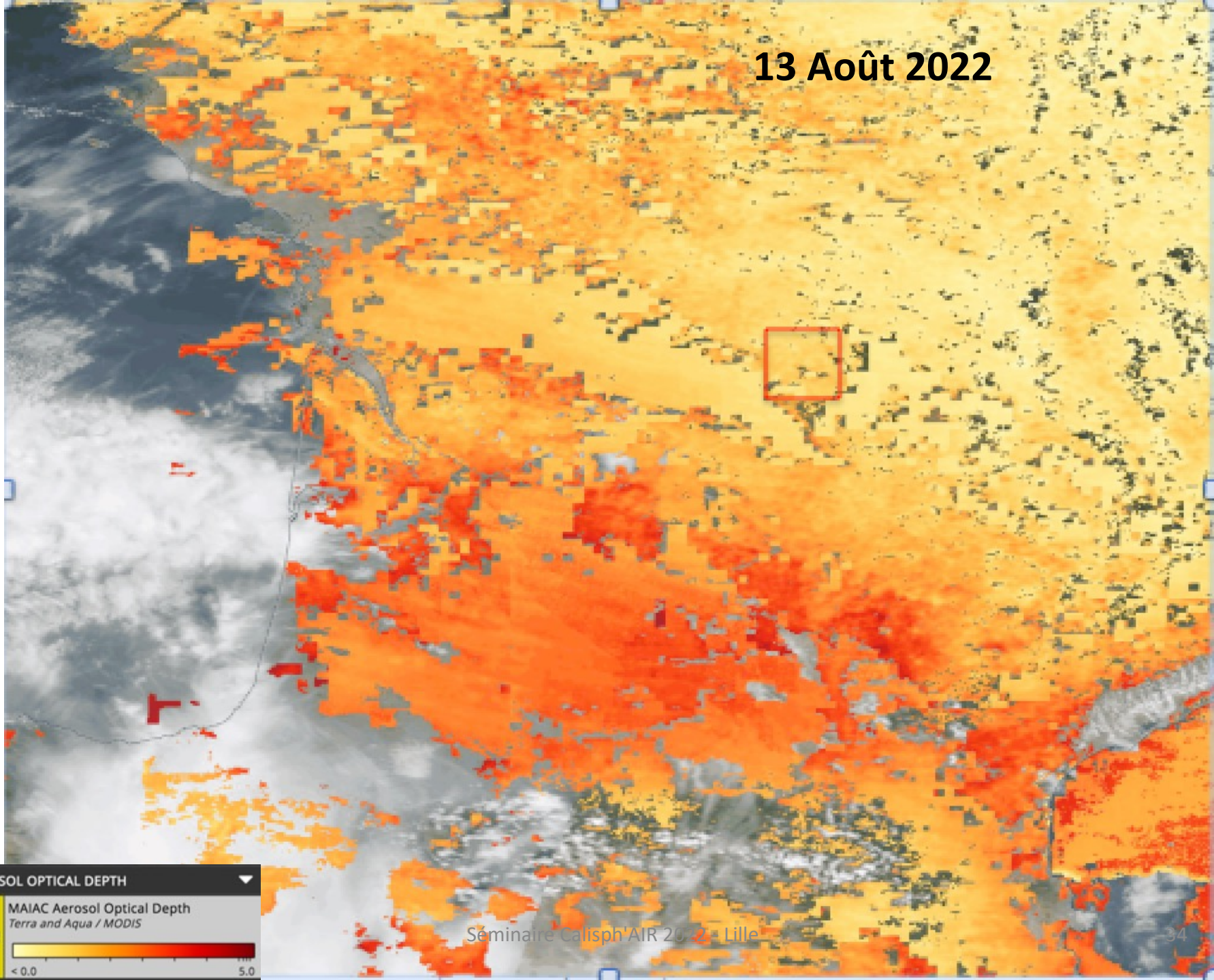




12 Août 2022



13 Août 2022

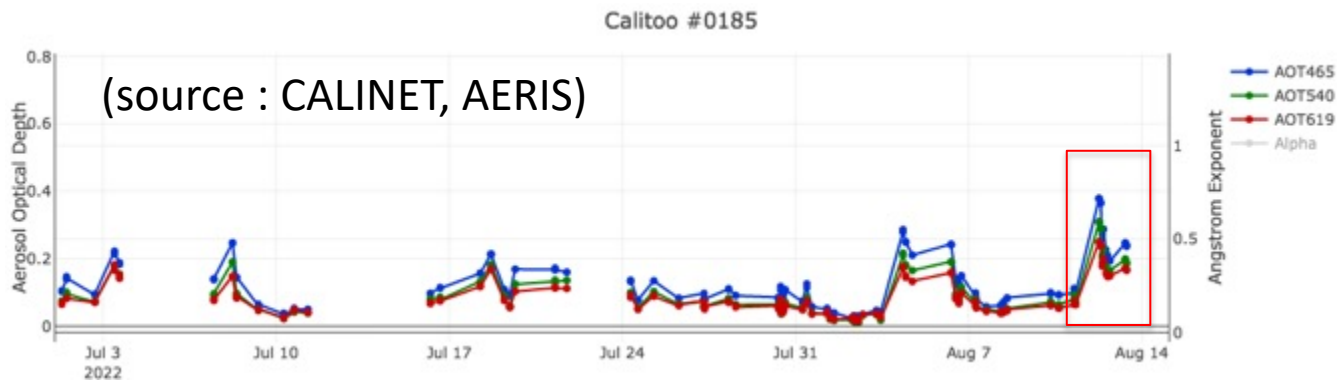


# A proximité de Brive



date	AOD	AE
10/08 ~ avant Brive	0.09	
11/08 ~ Brive, fin d'aprm	0.10+/-0.01	1.40+/-0.1
12/08 ~ Brive, matinée	0.38+/-0.01	1.45+/-0.1
12/08 ~ 100 km	0.27+/-0.06	1.3+/-0.4
13/08 ~ 100 km	0.24	1.25

Calitoo Data (# 185, Calitoo nomade)

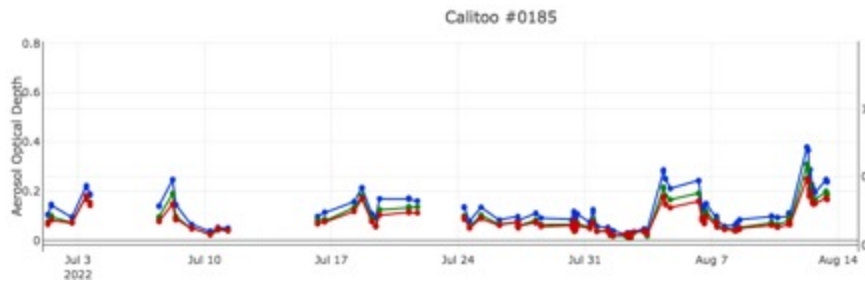


# CALINET

Select a marker on the map to plot data from that instrument

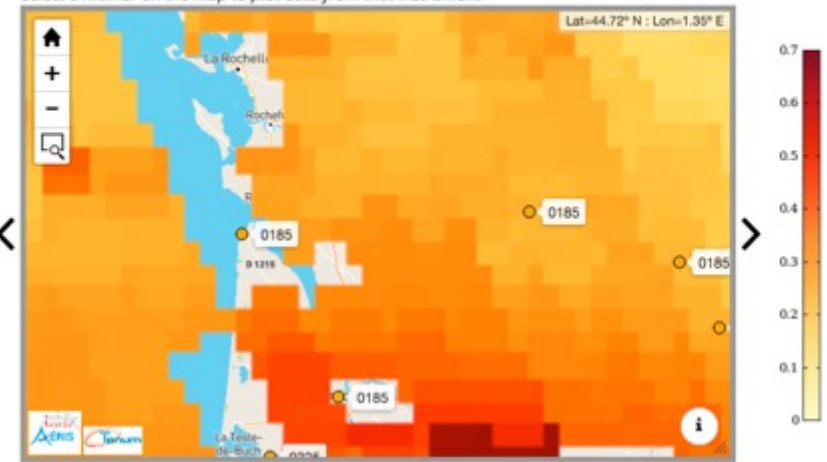


Select a marker on the map to plot data from that instrument



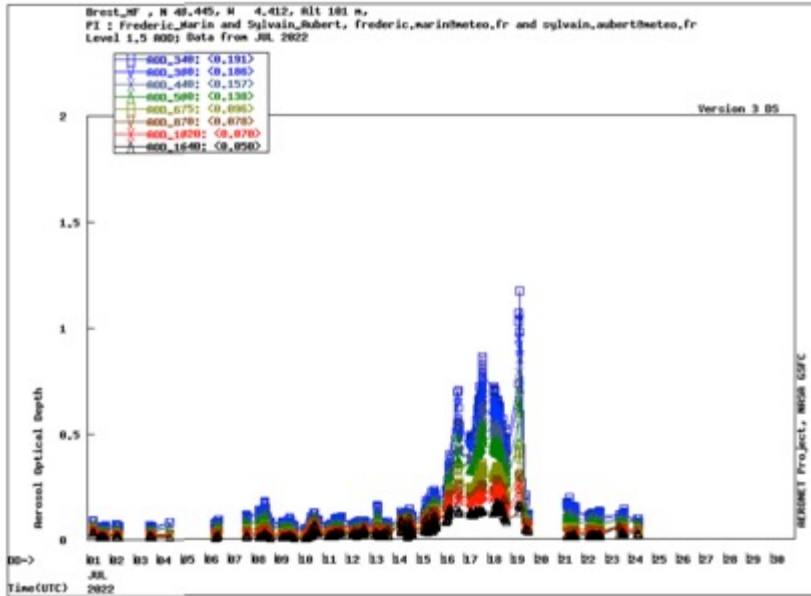
Aqua/MODIS AOD   Overlay opacity

Select a marker on the map to plot data from that instrument

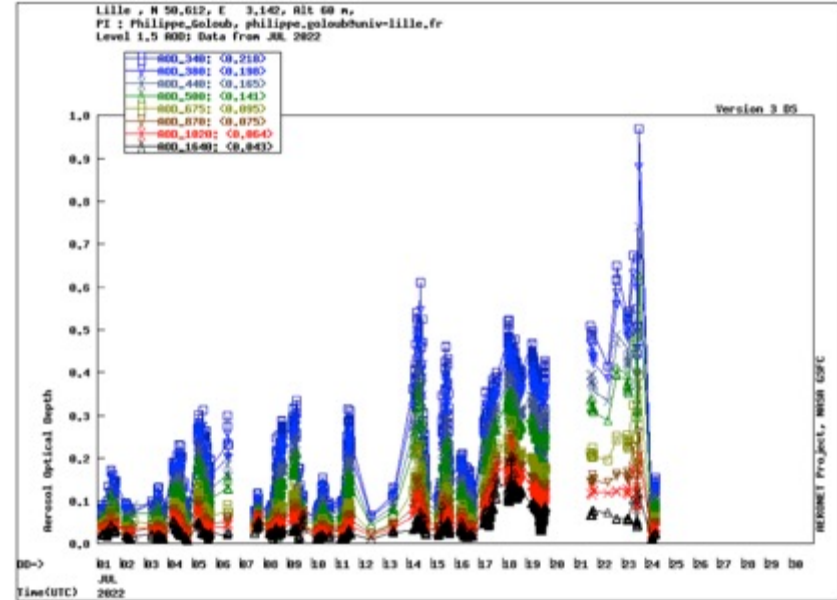


**Que mesurait-on ailleurs, en France,  
pendant ces périodes ?**

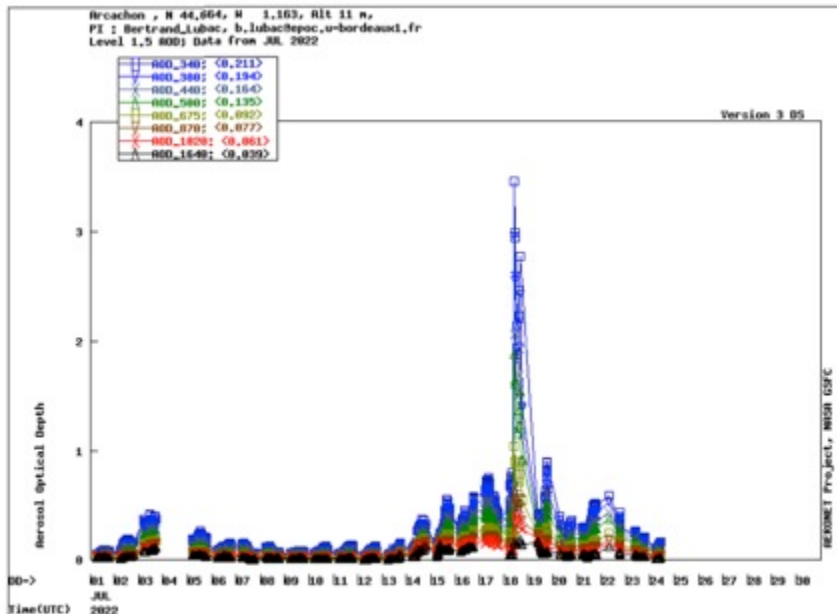
# AERONET (en juillet et Aout)



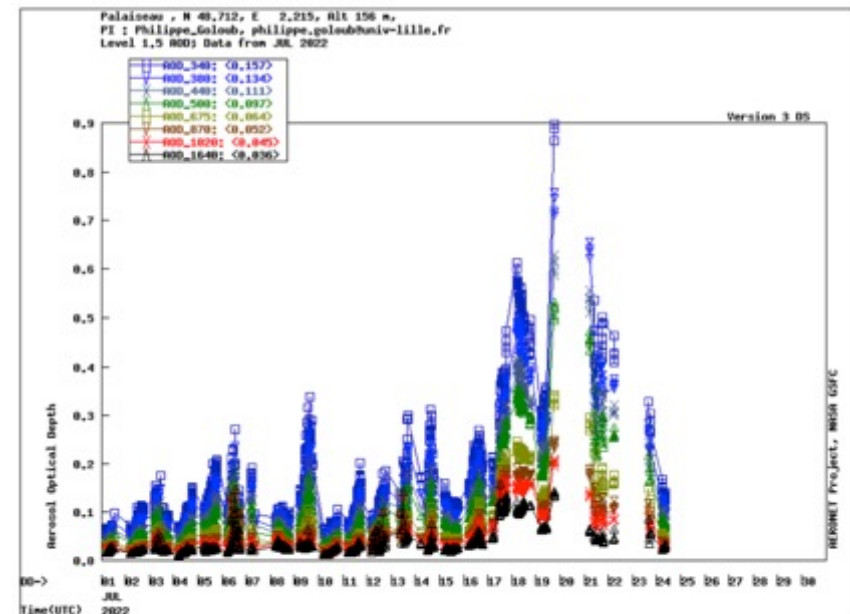
Brest (MF)



Lille (ATOLL)



Arcachon

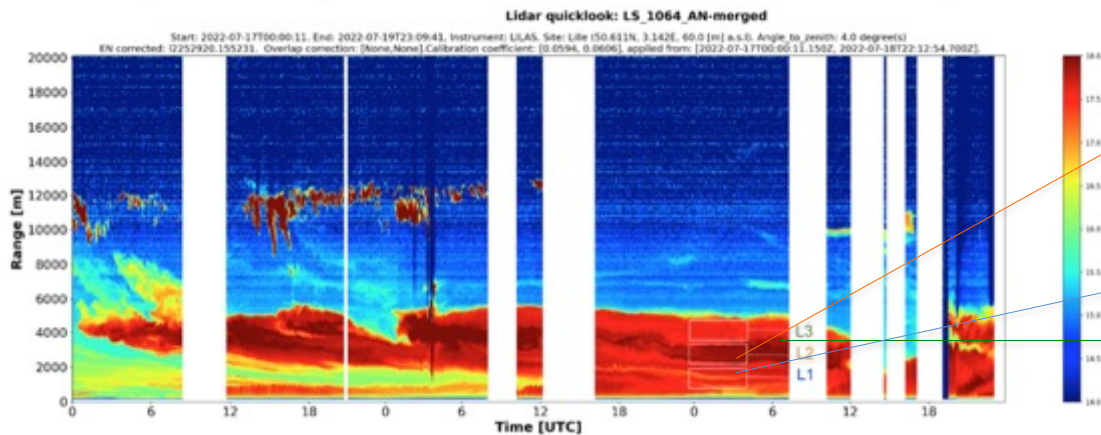


Palaiseau (SIRTA)

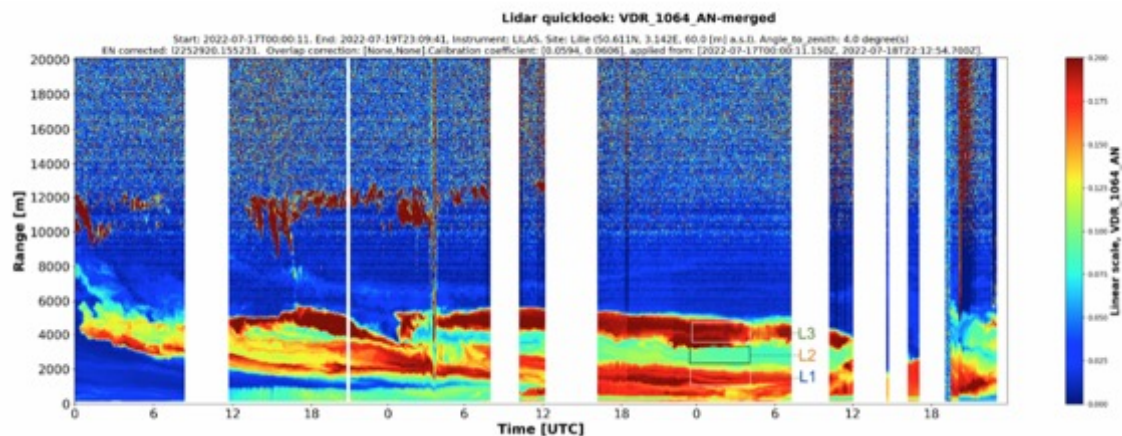
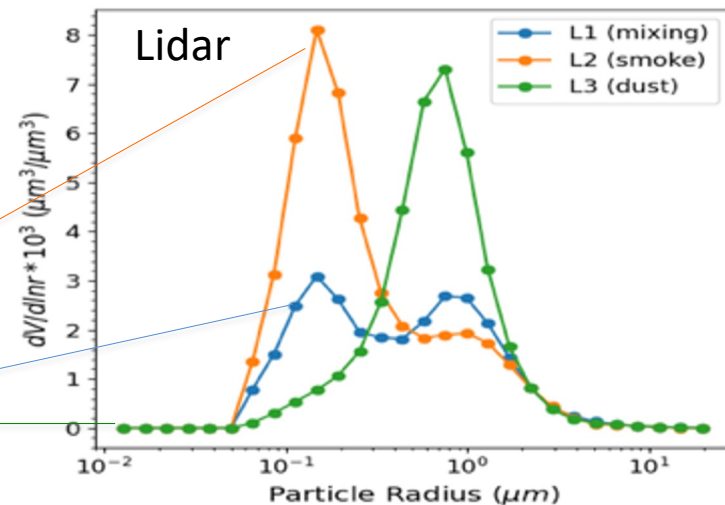
# Lille (17/18 Juillet 2022, ATOLL)

## Radiographie atmosphérique (sondage vertical)

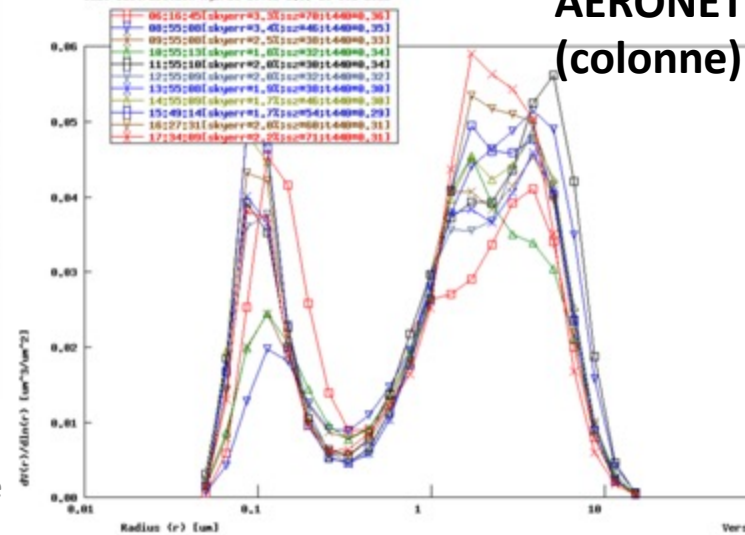
Lidar LILAS : rétrodiffusion élastique du faisceau laser par l'atmosphère



3 couches distinctes identifiées



Lille, N 50.612, E 3.142, Alt 60 m,  
PI : Philippe\_Guioab, philippe.guioab@univ-lille.fr  
Site Distribution Hybrid Level 1,9; 10\_Air\_2022



# Ailleurs dans le monde,

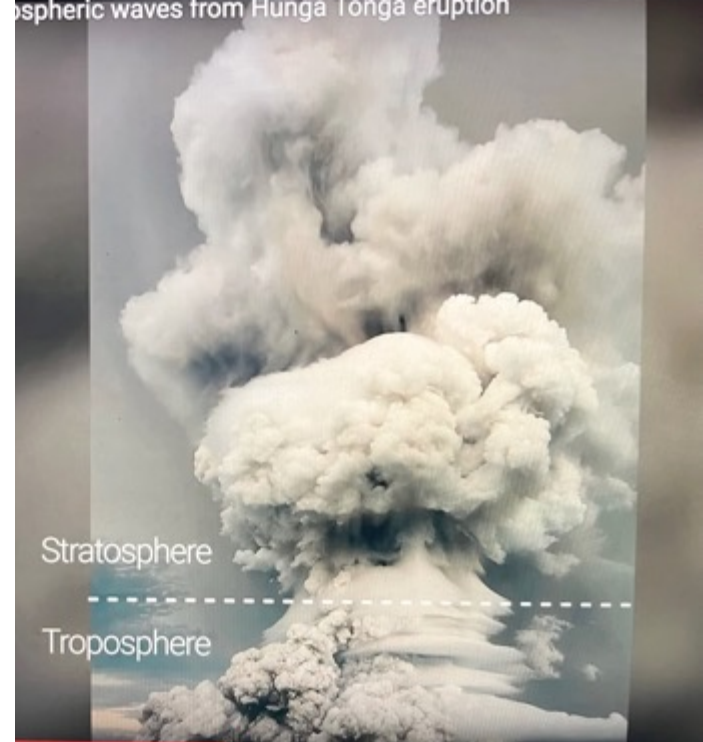
**Un événement d'impact planétaire débutait mi janvier 2022 ...**



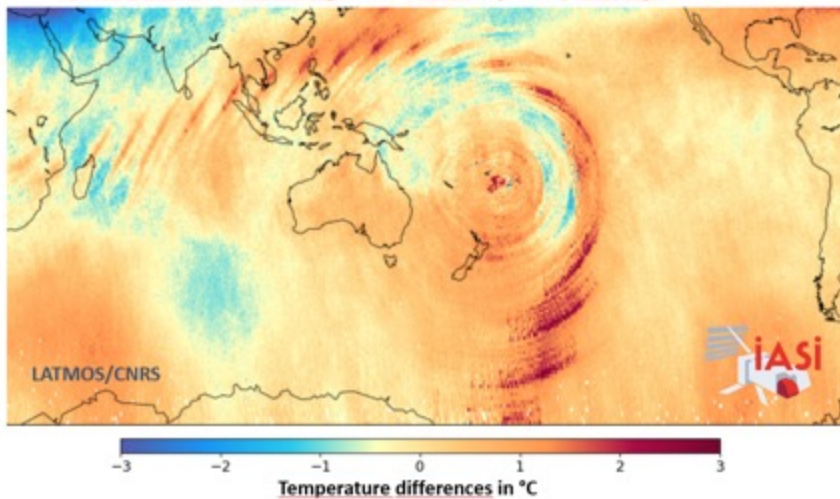
# Eruption du Hunga Tonga

(volcan sous-marin, Océan Pacifique)

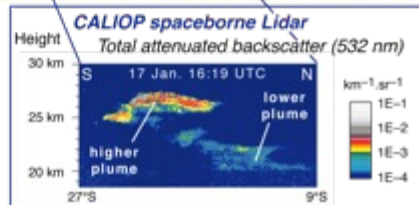
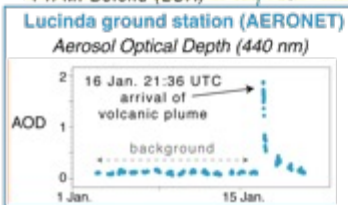
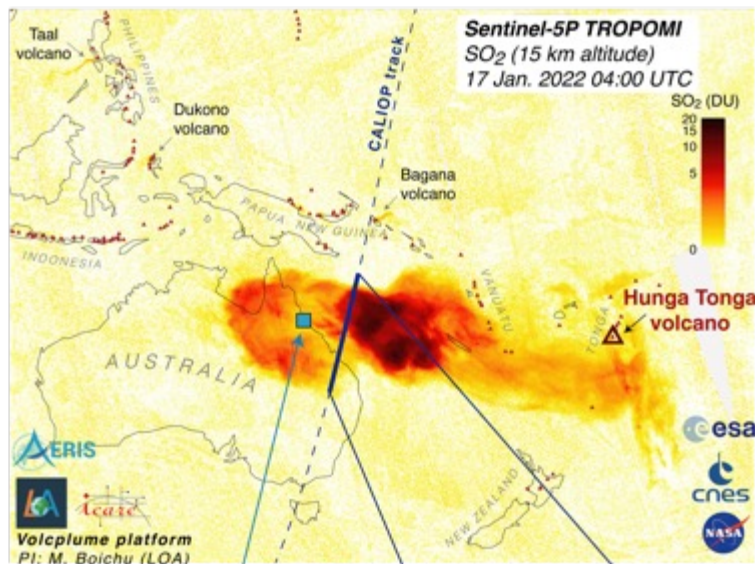
**Janvier 2022**



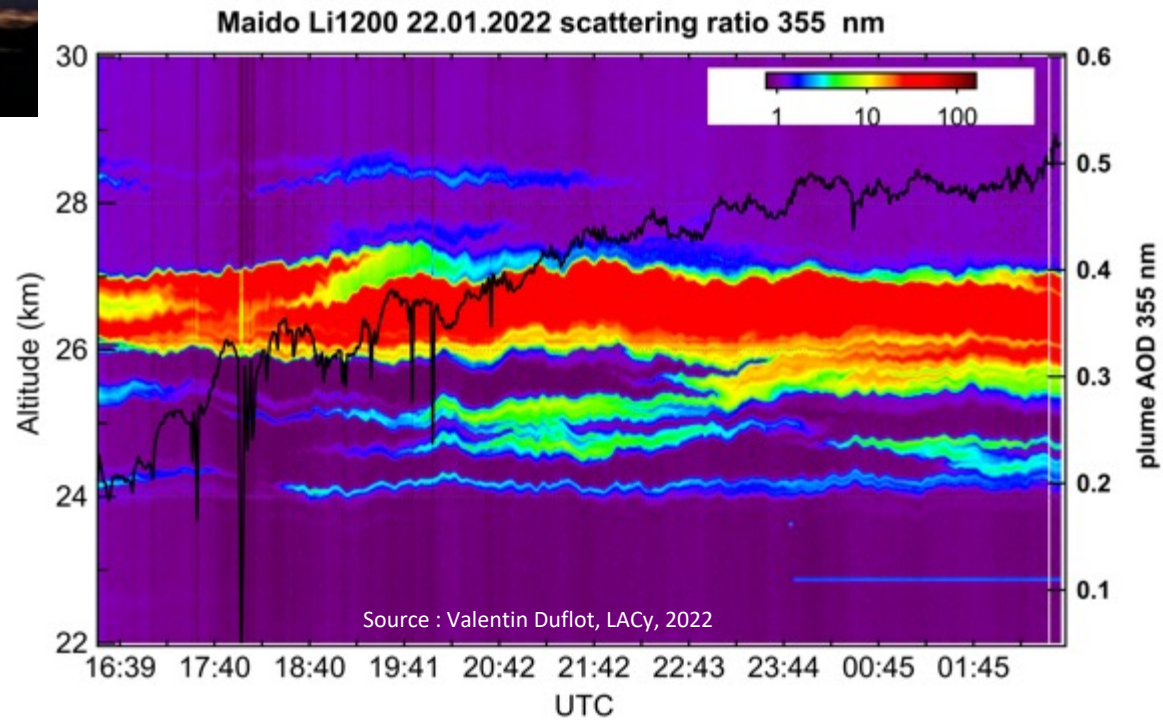
Shockwave on January 15 as seen by IASI/Metop B+C



Hunga Tonga volcano eruption – 15 Jan. 2022  
Satellite and ground-based observations of volcanic plumes



# Lidar à l'affût au Maïdo, Ile de la Réunion



- Toujours des traces d'aérosols dans la stratosphère (en décroissance)
- Mais, augmentation de 13 % du contenu en vapeur d'eau de la stratosphère à l'issue de l'explosion !!

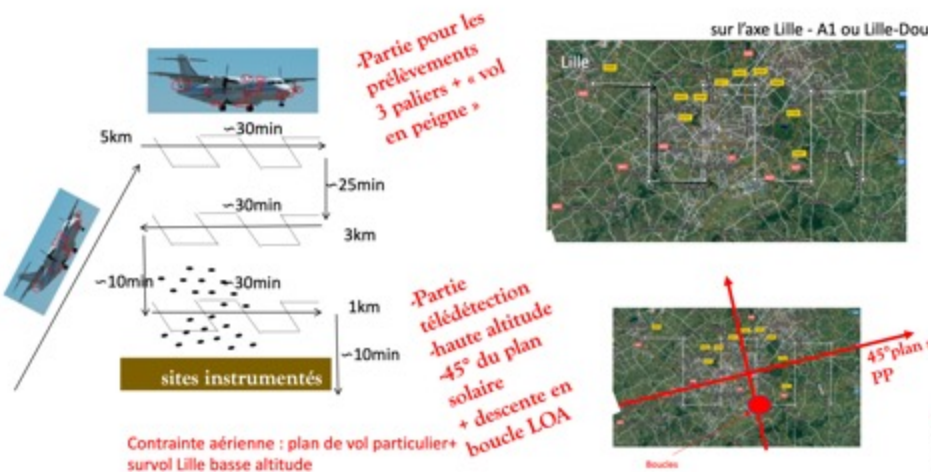
# 2023 ?

- **Campagne de mesures Calitoo, printemps**
- **Campagne scientifique AERO-HDF (été)**
- **Etre à l'affût dès qu'un rayon de soleil (sans nuage) apparaît ...**

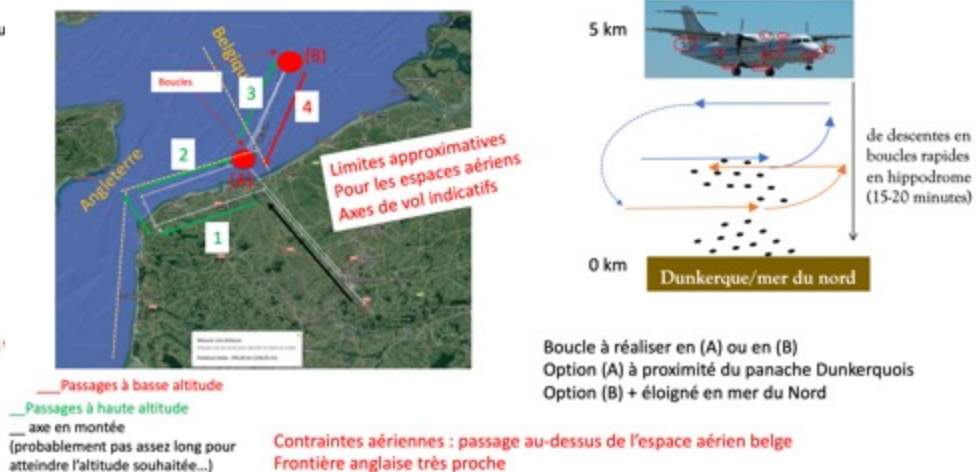
# Campagne scientifique en Hauts-de-France, été 2023

- Etude de la pollution en région HDF
- Campagne AERO-HDF

Vol type 2 : région lilloise

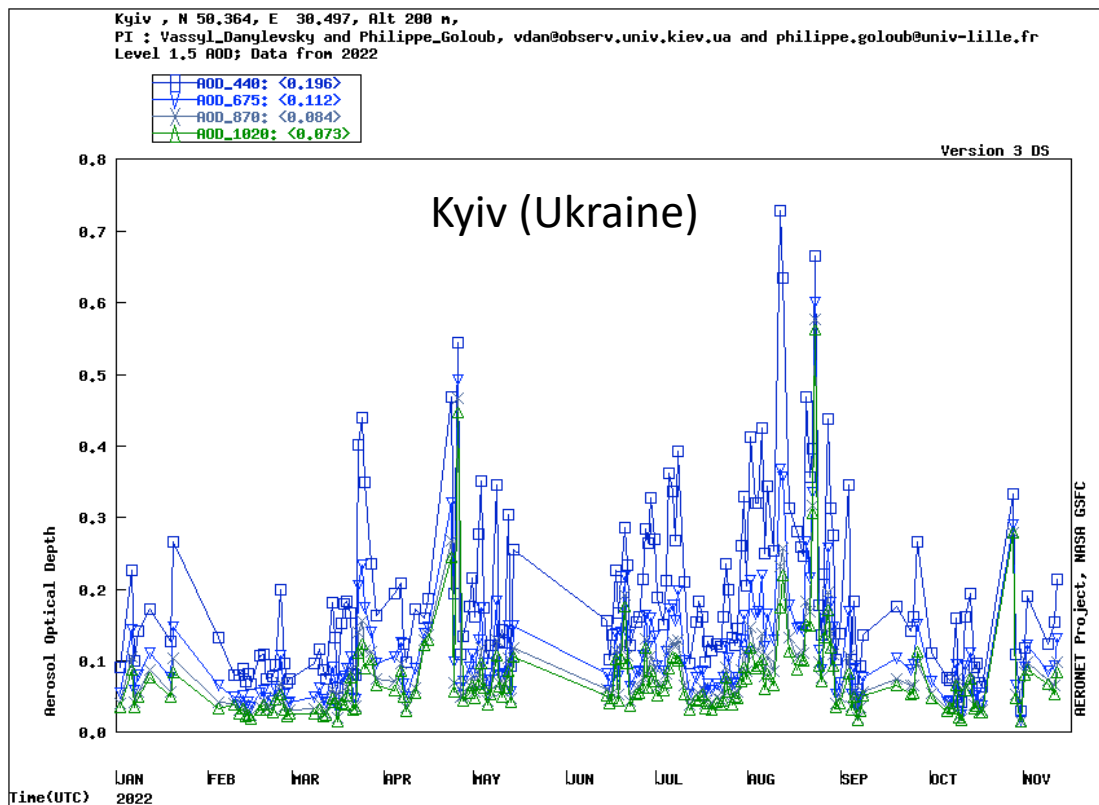


Vol type 3 : région dunkerquoise + mer du nord  
-partie télédétection-



**Idée :** Contribution du réseau Calitoo HDF ? pour évaluer la variabilité des AOD sur les Hauts-de-France pendant la campagne (juin/juillet 2023)

# Pour terminer cette présentation, un hommage



-----

2023 ...