



# Les aérosols atmosphériques observés par lidar et ses synergies instrumentales

Juan CUESTA

Collaborations:

Pierre H. Flamant, Fabien Gibert, Patrick Chazette, François Ravetta  
Dimitri Edouart, Cyrille Flamant, Jean-Christophe Raut, Jacques Pelon, ...

## Plan du cours

1. L'aérosol atmosphérique : pour quoi l'observer?
2. Un lidar aérosol: quelle sont les variables observées?
3. Restitution des propriétés optiques et microphysiques des aérosols par synergie lidar:
  - Lidar + Photomètre solaire
  - Lidar + Lidar
  - Lidar + Capteur In situ
4. Estimation de l'impact radiatif des aérosols
5. Sources de particules tracées par lidar
6. Perspectives: réseaux lidar aérosols et satellite

# 1. L'aérosol atmosphérique : comment et pour quoi l'observer?

# Pour quoi observe-t-on les aérosols atmosphériques?

## ➤ Qualité de l'air

**Concentration  
en surface**

- Exposition des populations aux polluants:  
Pendant de courtes et longues périodes  
Émissions locales / **Dilution Verticale** & Horizontal

- Antécédents catastrophiques

[Wilkins, 1953]

- Augmentation du risque de mortalité:  
 $+10 \mu\text{g}/\text{m}^3 \Rightarrow +2\%$

## ➤ Bilan radiatif

**Épaisseur optique AOD  
Albédo de diff. simple**

- **Direct :**  
**Diffusion + Absorption + Émission (IR)**

- Indirect :  
Cycle de vie des nuages (CCN, IN)

- Semi-direct :  
Profil Température / humidité

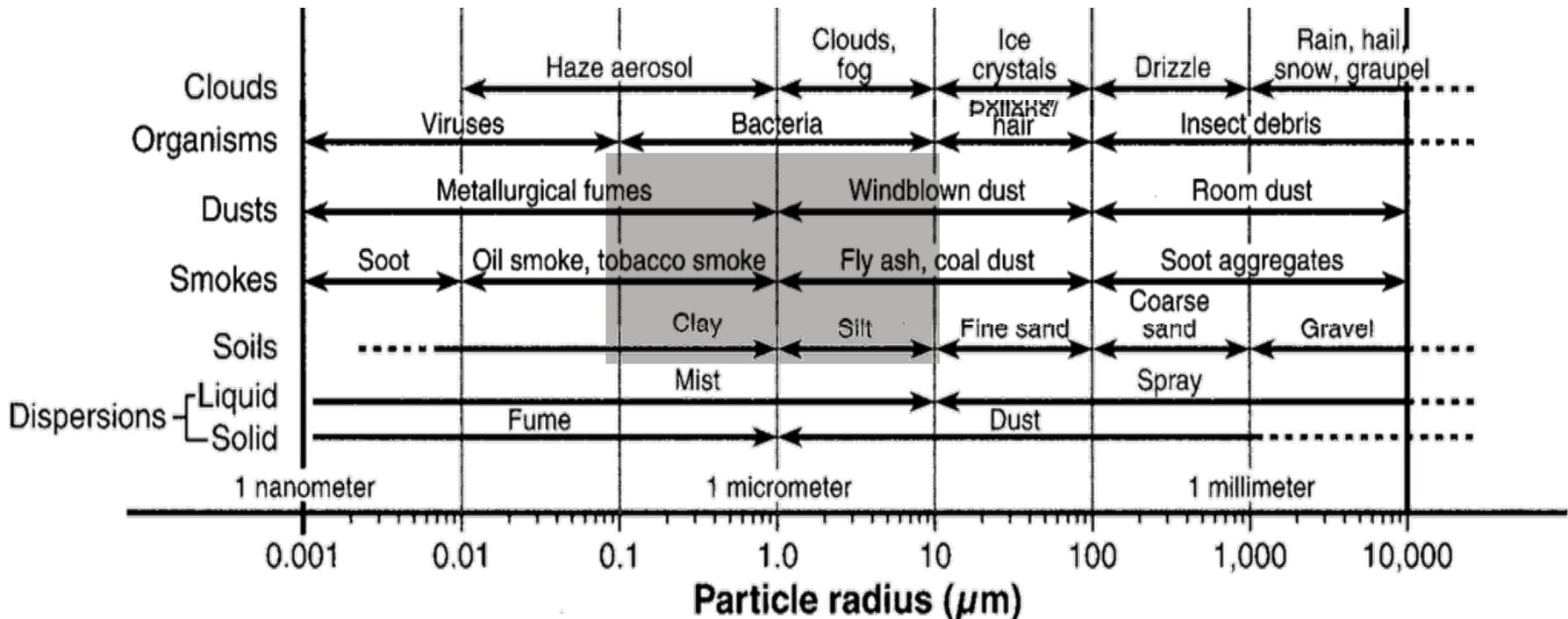
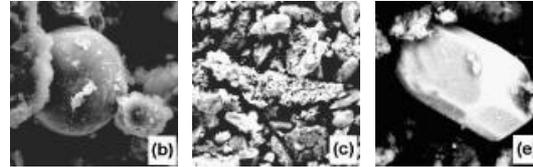
- Connaissance scientifique faible

- Forçage climatique, avec les gaz à effet de serre

[GIEC, 2007]

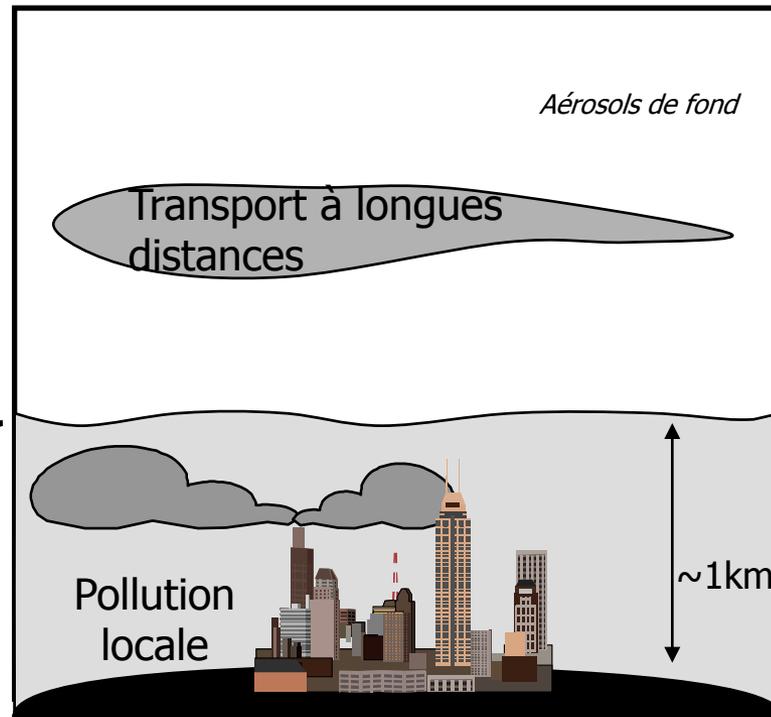
# Qu'est-ce que c'est que l'aérosol ?

Particules en suspension dans l'air qu'on appelle aérosols



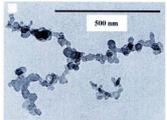
# Où se trouvent les aérosols dans l'atmosphère?

Aux latitudes moyennes (ex. Paris):



*Couche Limite Atmosphérique (CLA)*

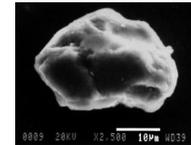
- L'aérosol urbain



(sulfate, nitrate, suie, ...)

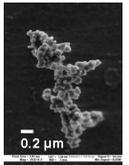
*Troposphère Libre (TL)*

- L'aérosol désertique



(minéraux)

- L'aérosol de feux de biomasse

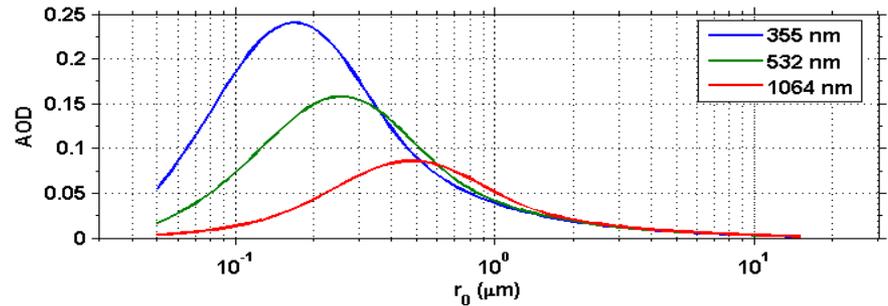


(carboné)

# Rappel: propriétés optiques des aérosols

## Epaisseur optique des aérosols

$$AOD \Rightarrow \tau = \int_0^{z_{top}} \alpha_p(z).dz$$



## Profil d'extinction des aérosols

$$\alpha_p(z) = \int_{r_{min}}^{r_{max}} \pi \cdot r^2 Q_{ext}(2\pi r/\lambda, m, z) \frac{dN}{d \ln r}(r, z).d \ln r$$

## Profil de rétrodiffusion des aérosols

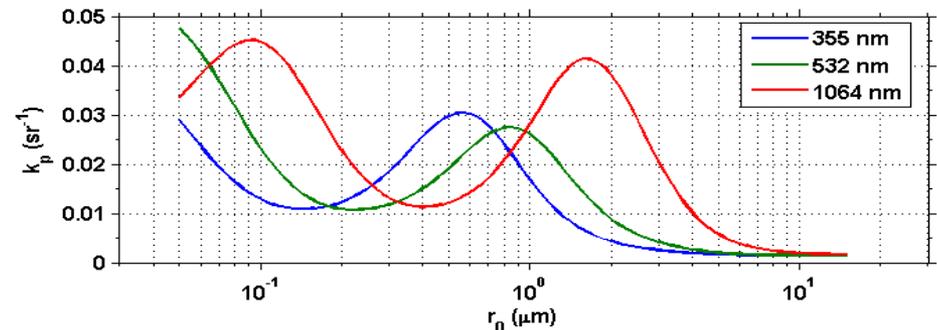
$$\beta_p(z) = \int_{r_{min}}^{r_{max}} \pi \cdot r^2 Q_{back}(2\pi r/\lambda, m, z) \frac{dN}{d \ln r}(r, z).d \ln r$$

Section efficace

Répartition en taille

## Rapport rétrodiffusion / extinction

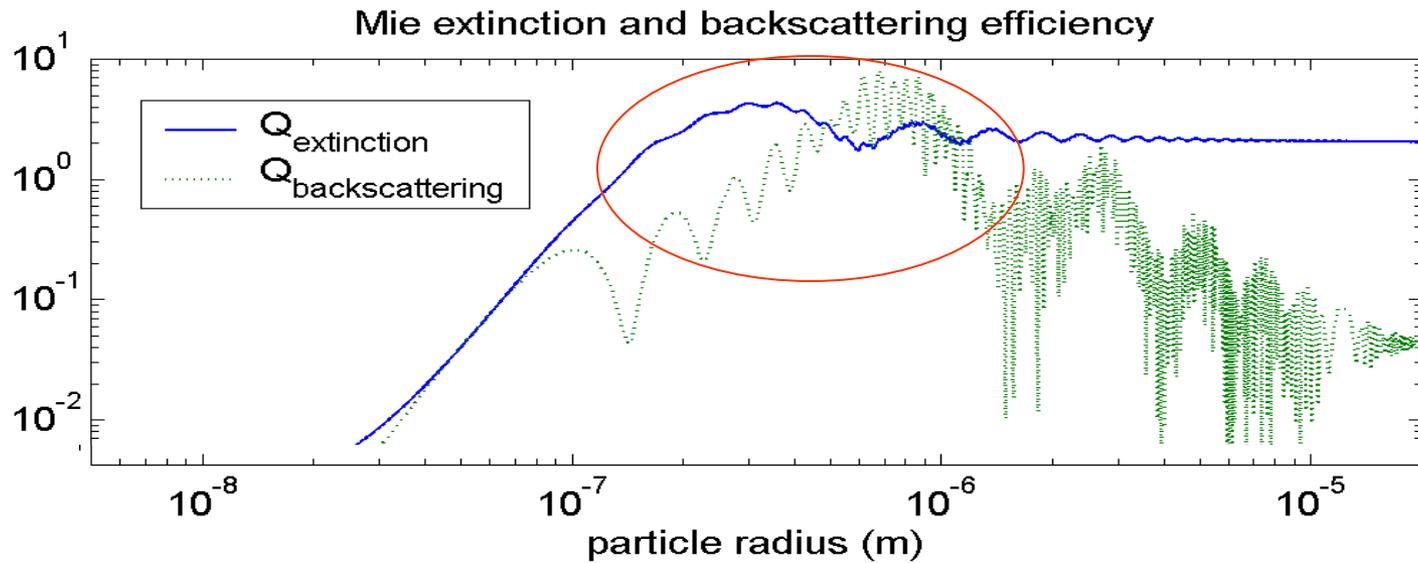
$$k_p(z) = \frac{\beta_p(z)}{\alpha_p(z)}$$



# Diffusion de Mie et diffusion de Rayleigh

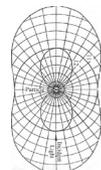
$$\lambda_{\text{light}} = 532 \text{ nm}$$

$$m = 1.53 + 6 \cdot 10^{-3} i \text{ (water-soluble urban aerosols)}$$



Rayleigh      Mie      Géométrique

Diagramme de diffusion



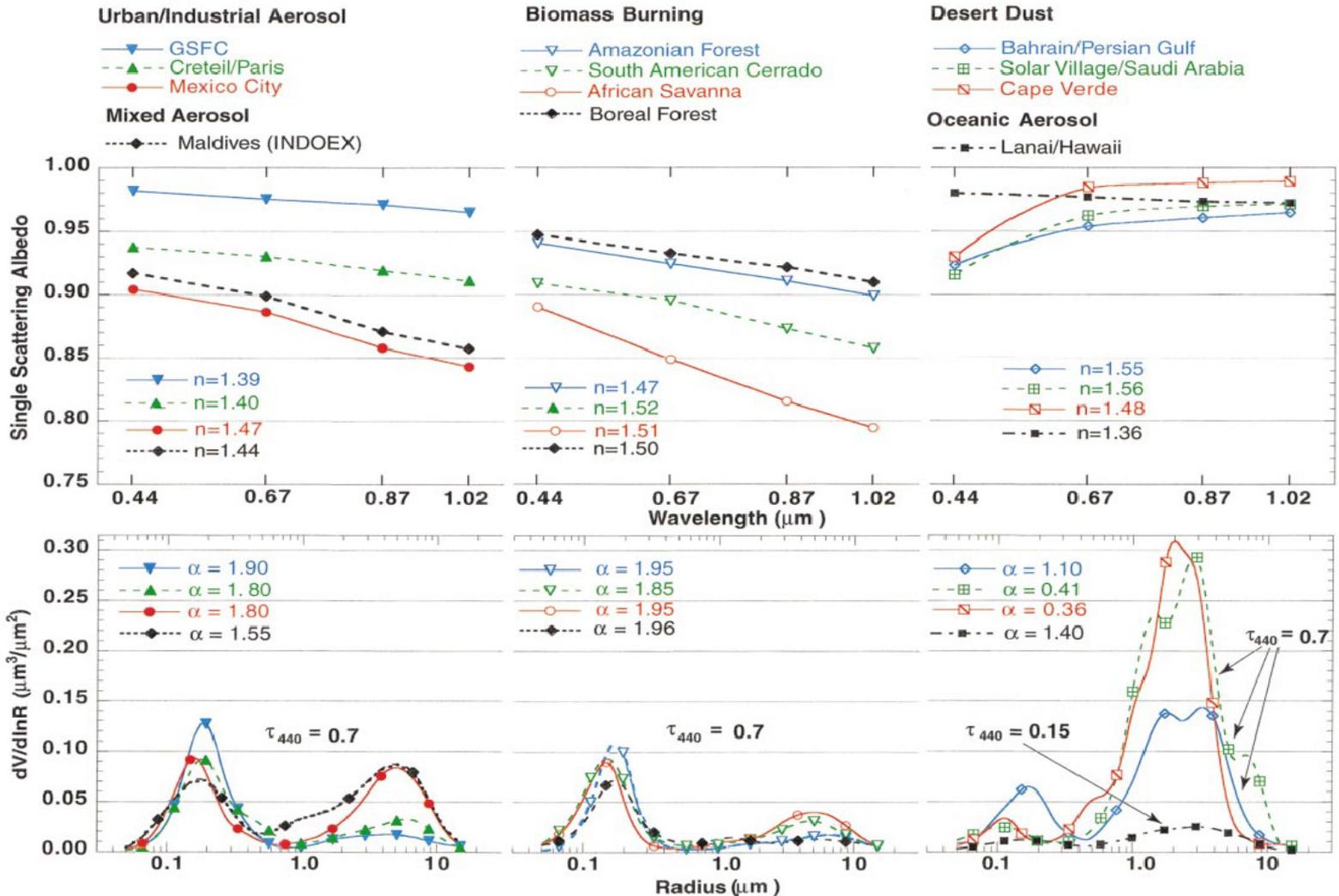
$r = 0,1 \mu\text{m}$



$r = 1 \mu\text{m}$

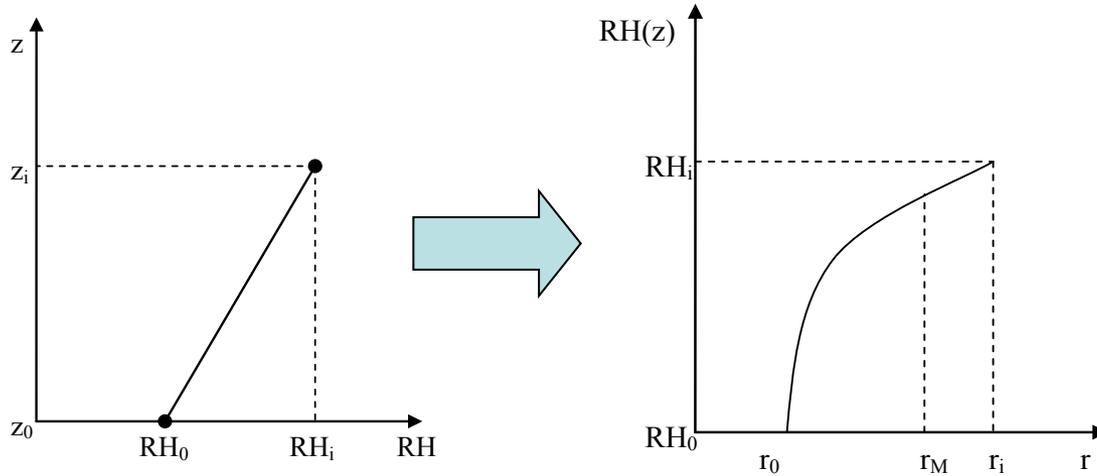
# Propriétés optiques et microphysiques de chaque type d'aérosol ?

$$\omega_0 = \frac{\tau_{sca}}{\tau_{sca} + \tau_{abs}}$$



$$\frac{dV}{d \ln R} \left( \frac{\mu m^3}{\mu m^2} \right)$$

# Une autre source de variabilité: Propriétés hygroscopiques



$$r = r_d \left(1 - RH / 100\right)^{-\varepsilon}$$

$$m = m_W + (m_d - m_W) \left(\frac{r_d}{r}\right)^3$$

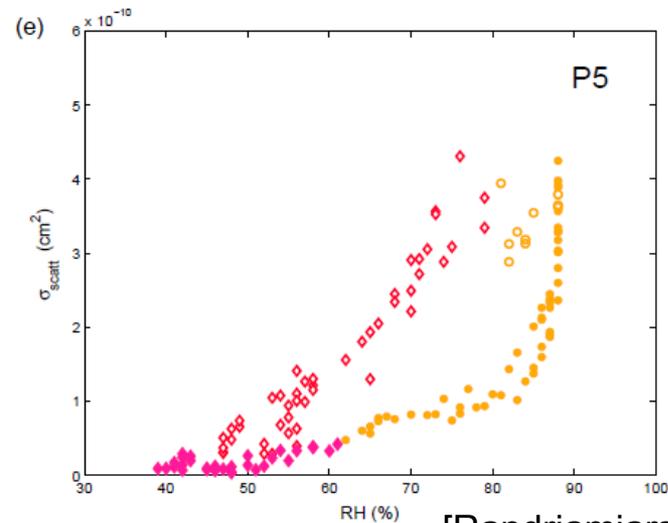
Coefficient de Hänel  $\varepsilon$  :

0  $\rightarrow$  0,2

Désertiques Urbains

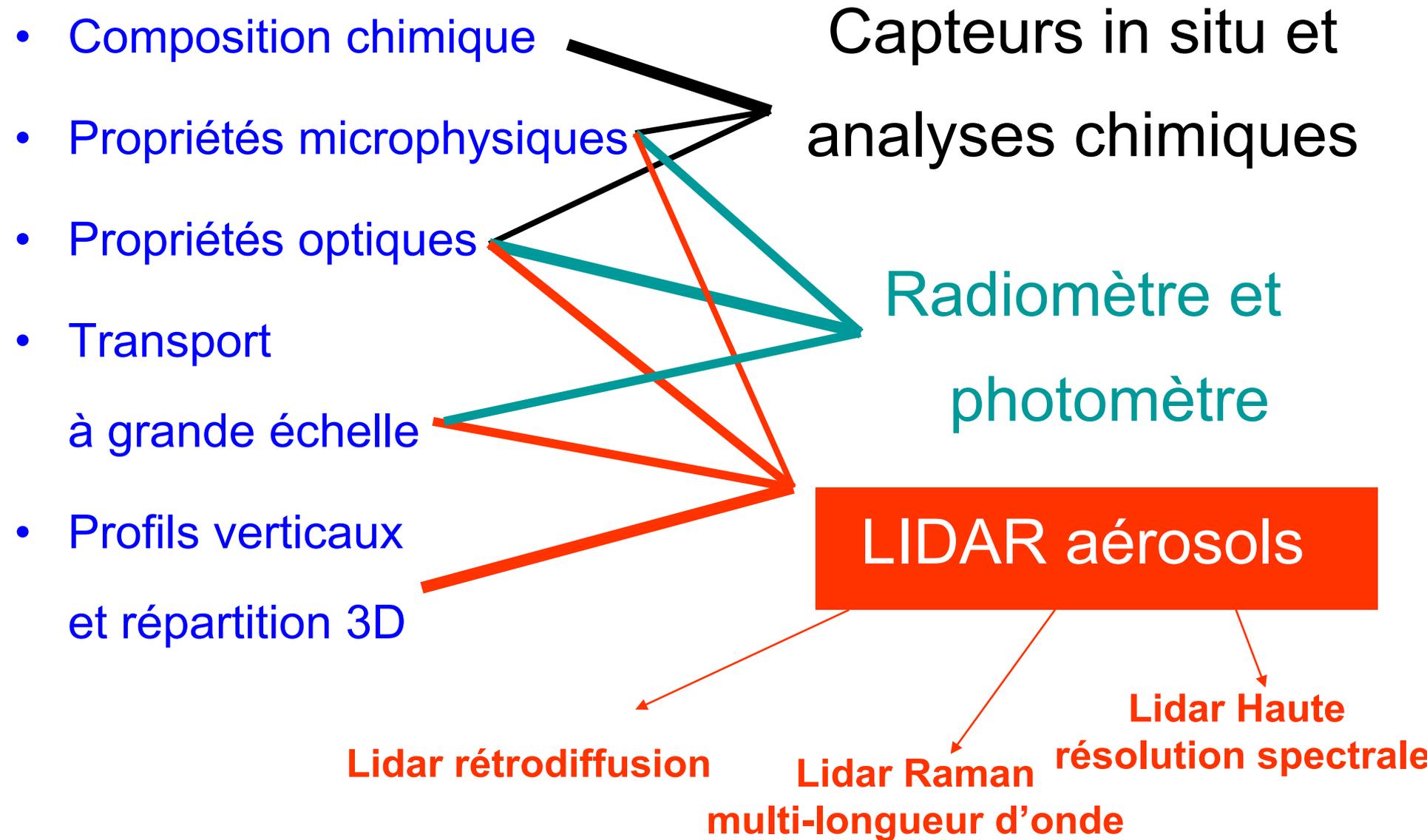
Variabilité des propriétés optiques

Et cycle d'hystérésis  $\sigma_{sca} = \pi \cdot r^2 Q_{sca}$



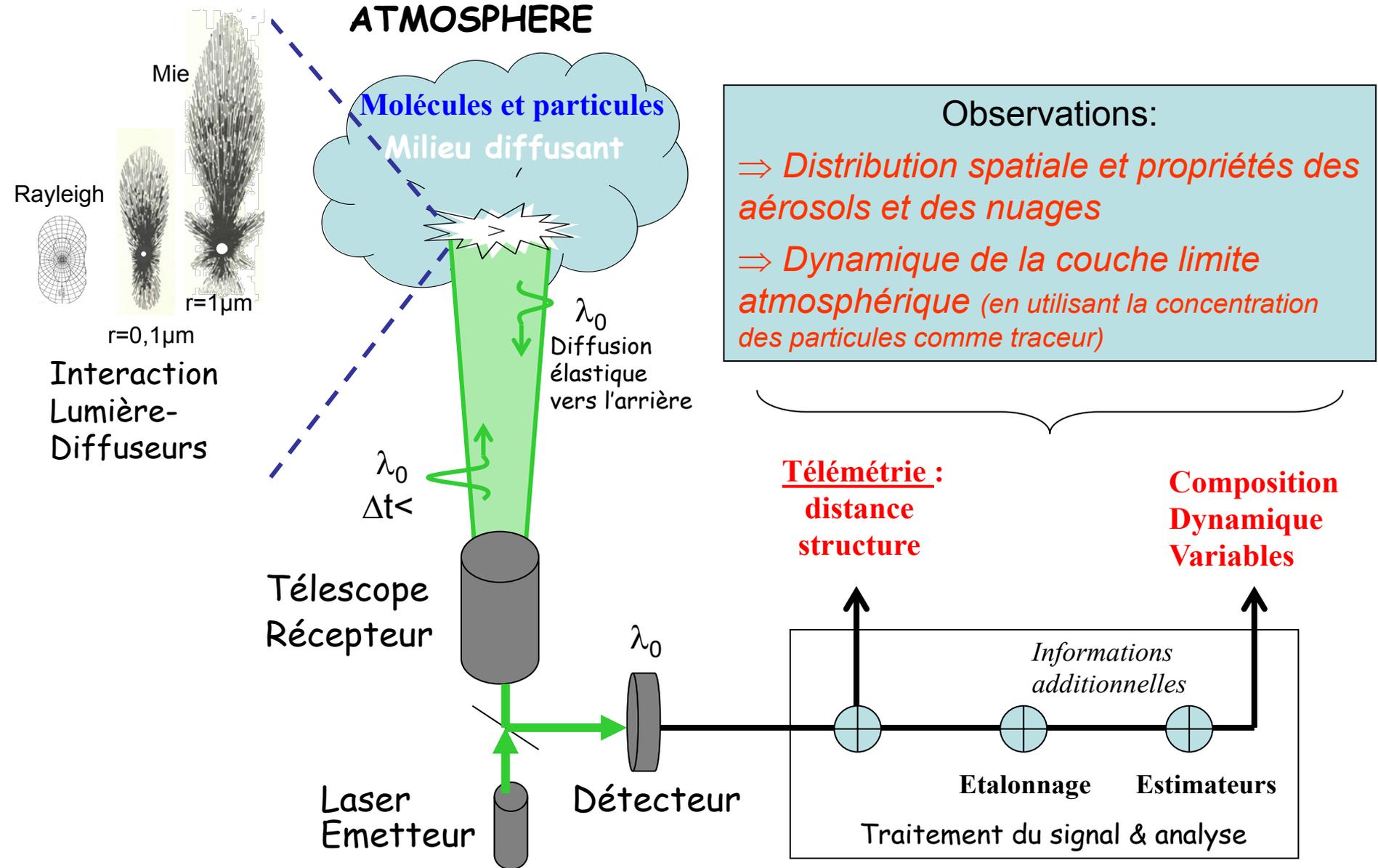
[Randriamiarsoa et al ., 2005]

# Comment observer les aérosols?



## 2. Les lidars aérosols

# Lidar rétrodiffusion élastique



# L'équation lidar rétrodiffusion

$$P(z) = \frac{K}{z^2} (\beta_p(z) + \beta_m(z)) \cdot \exp\left(-2 \int_0^z (\alpha_p(z') + \alpha_m(z')) dz'\right)$$

$T(0, z)^2$

Une équation

Deux inconnues

Lidar seul:

Indices de concentration, taille et forme

Par synergie avec une autre mesure et/ou hypothèse sur  $k_p$ :

Profils géophysiques  $\beta(z)$  et  $\alpha(z)$

Par radiosondage

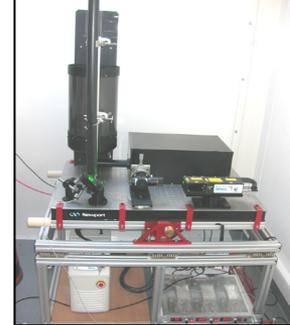
$$\alpha_m(z) \cong 1,66 \left(\frac{550nm}{\lambda}\right)^{4,09} \left(\frac{p(z)}{1013Pa} \frac{288K}{T(z)}\right) 10^{-5} m^{-1}$$

$$\beta_m(z) \cong \frac{3}{8\pi} \alpha_m(z)$$

Après normalisation à  $z_0$

$$\beta^{app}(z) \Big|_{z_0} = \frac{\beta_p(z) + \beta_m(z)}{\beta_m(z_0)} T(z_0, z)^2 \quad \text{Ou } \beta T^2$$

# Le Lidar "MOBILIS": Voies de rétrodiffusion élastique

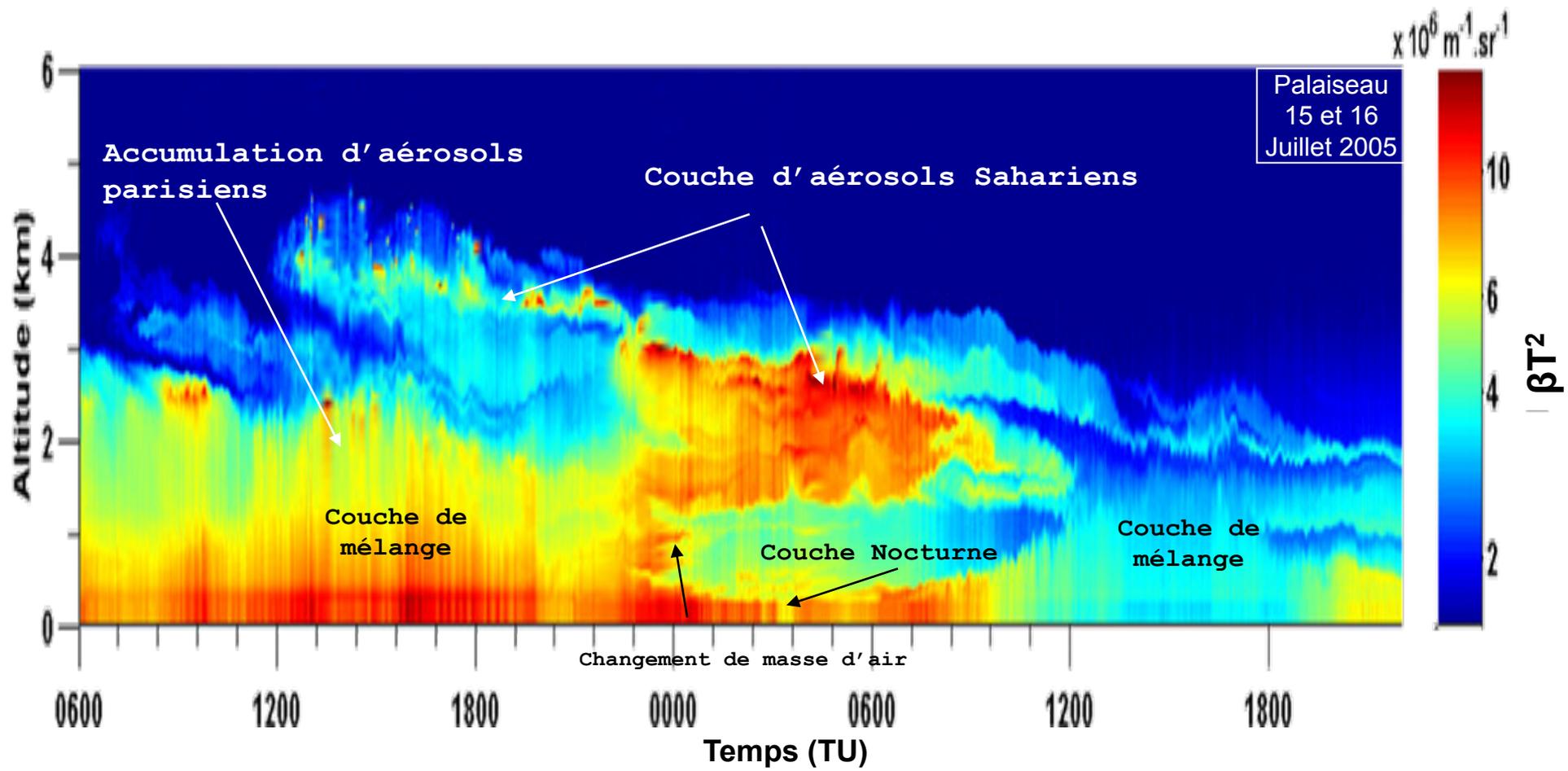


## 1) Coefficient de rétrodiffusion apparente

*Distribution spatiale*

*Identification de couches (études qualitatives en concentration)*

(J. Cuesta, P.H. Flamant)

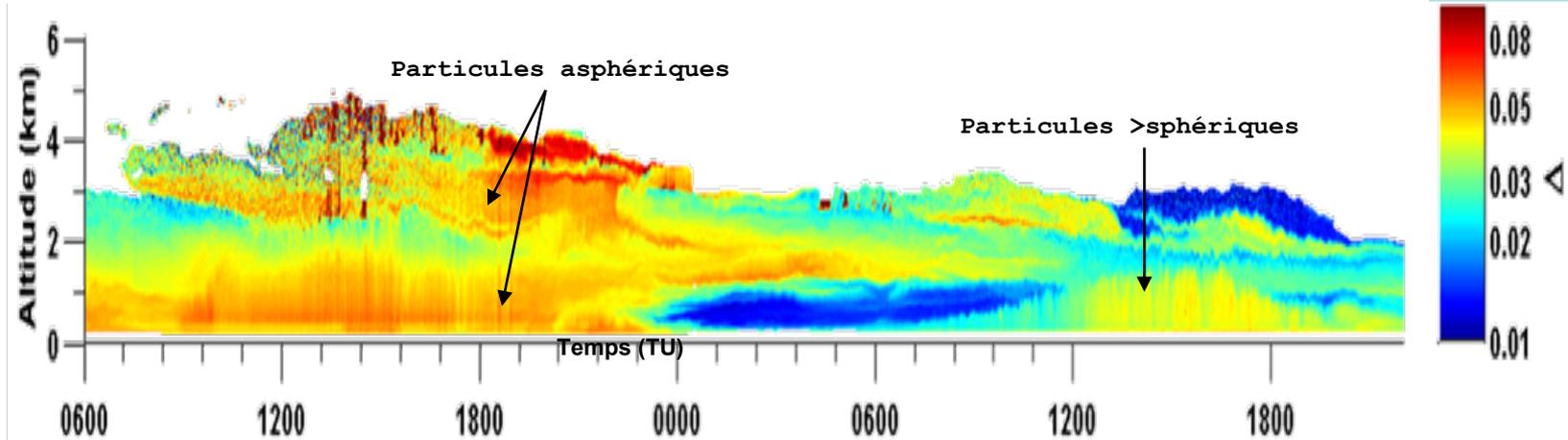


# Le Lidar rétrodiffusion élastique "MOBILIS"

## 2) Rapport de dépolarisation

Indice de forme et de changement de type de particules

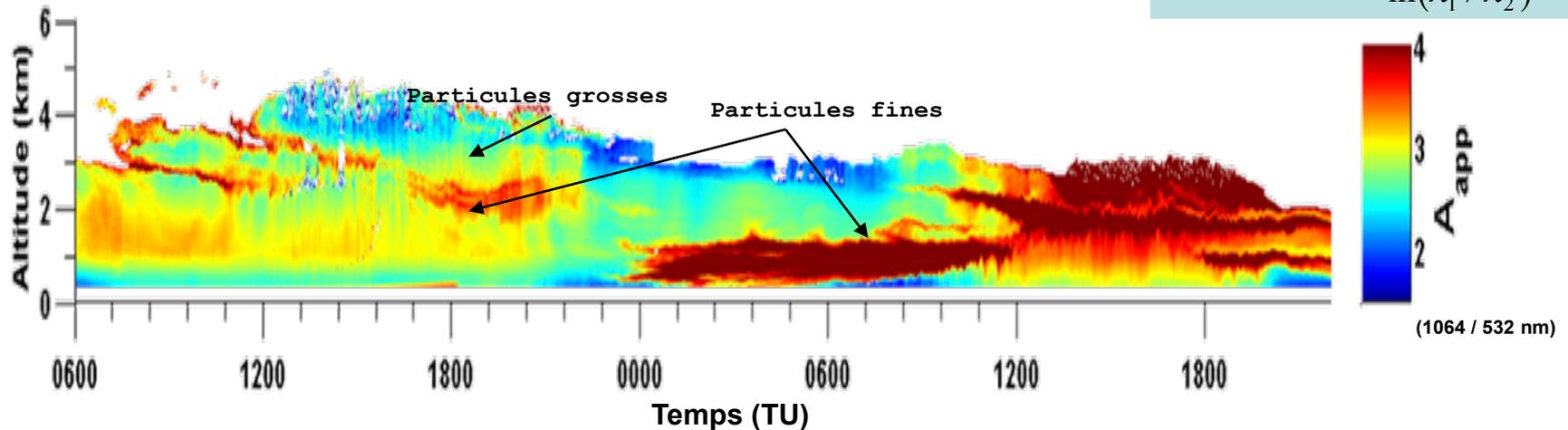
$$\Delta(z) = \frac{\beta^{app}_{\perp}(z)}{\beta^{app}_{\parallel}(z)}$$



## 3) Rapport de couleurs 532 / 1064 nm

Indice de taille

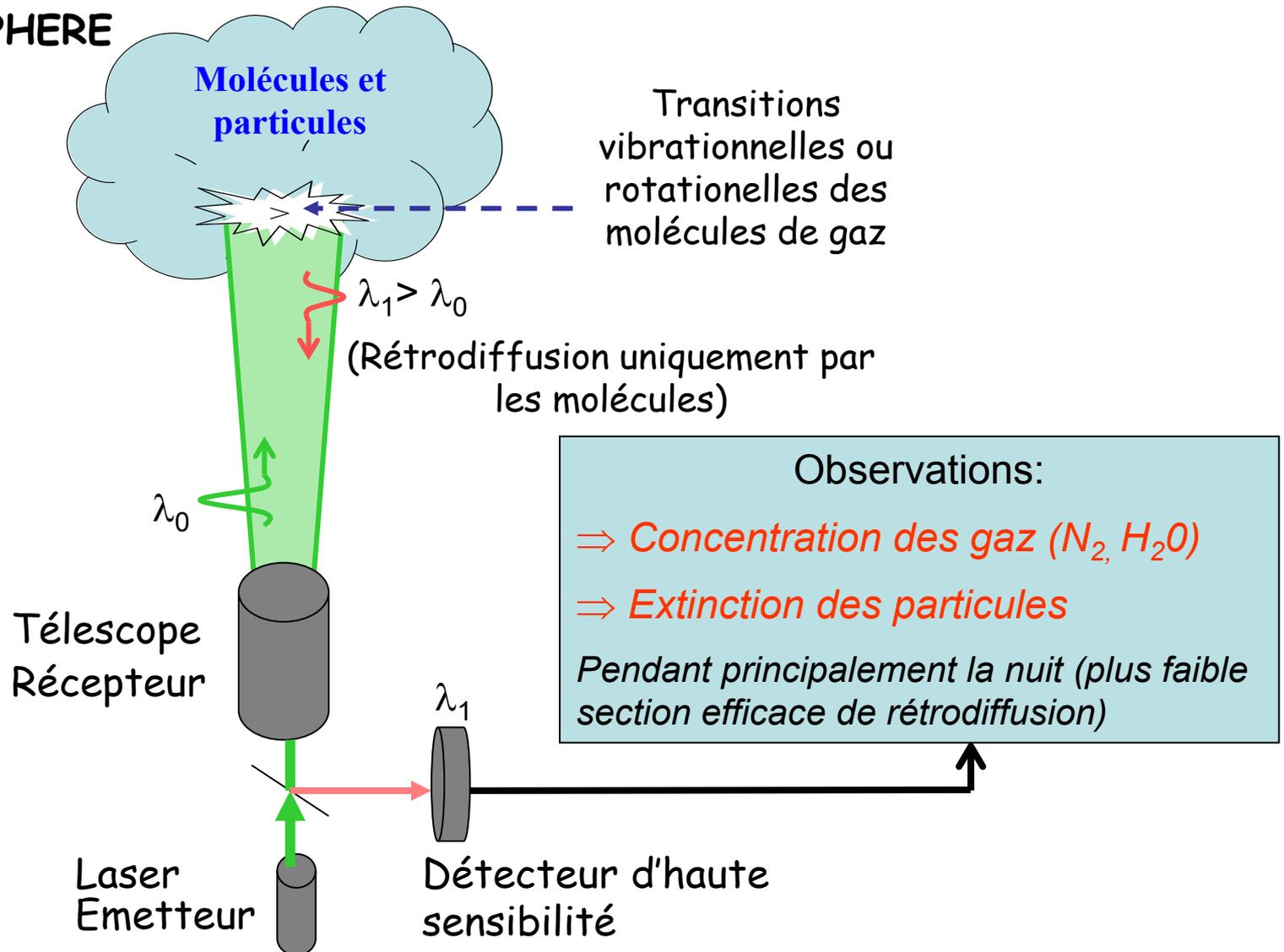
$$\chi_{2/1}(z) = \frac{\ln(\beta^{app}_2(z) / \beta^{app}_1(z))}{\ln(\lambda_1 / \lambda_2)}$$



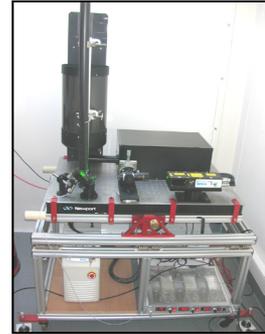
AUTRES EXEMPLE: CALIPSO

# Le Lidar Raman:

ATMOSPHERE



# Les voies Raman aérosols MOBILIS:



$$\tau_p^{607nm}(z_0, z) = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{\beta_{N_2}(z) \cdot T_m^{607nm}(z_0, z)^2}{\beta_{N_2}^{app}(z)} \right)$$

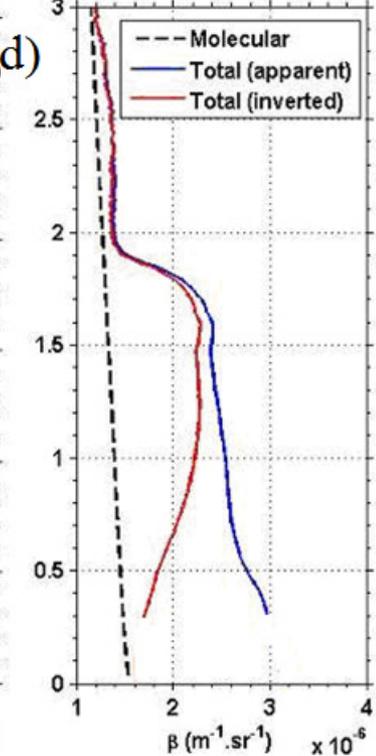
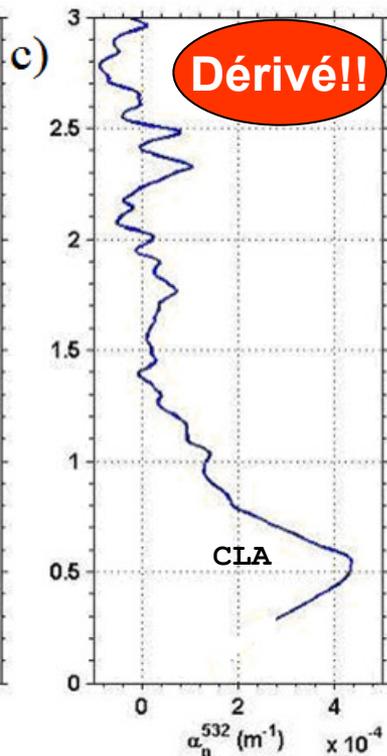
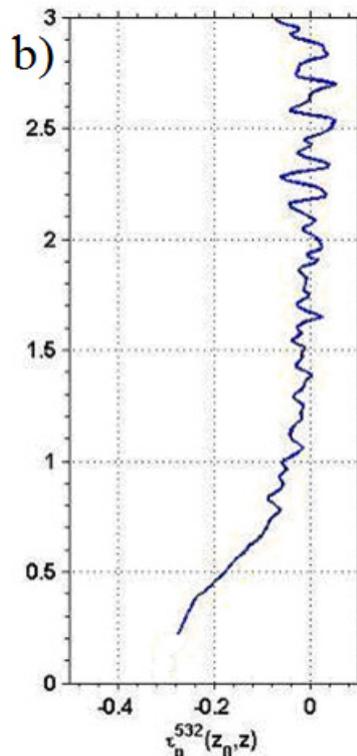
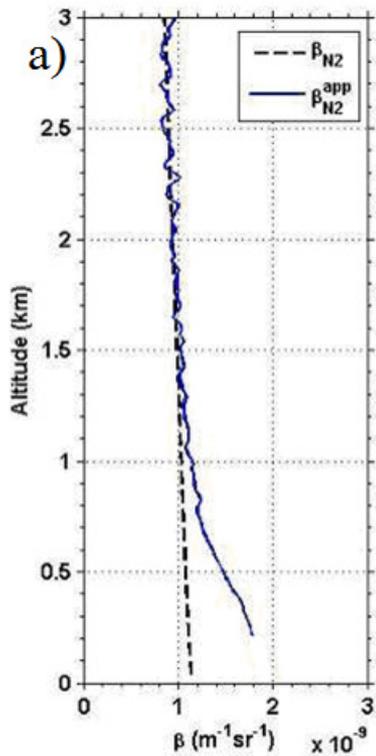
Par radiosondage

Lidar Raman N<sub>2</sub>

⇒ Profil d'extinction des particules

<< Robustesse au bruit de mesure

08/06/04



### 3. Restitution des propriétés et microphysiques des aérosols par synergies lidar

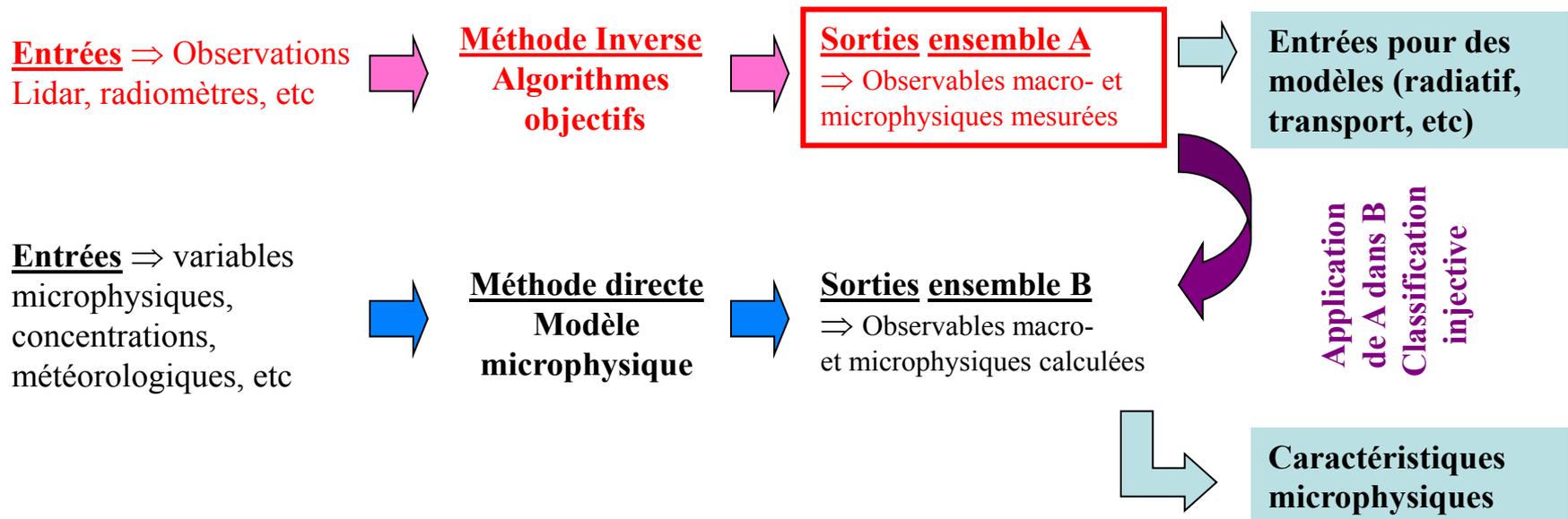
- Lidar rétrodiffusion seul ?
- Lidar + Photomètre solaire
- Lidar sol + Lidar spatial/aéroporté
- Lidar + Capteur In situ
- Lidar Raman multi-longueur d'onde



# ⇒ Principe pour les méthodes inverses

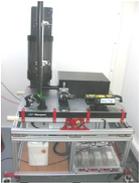
**Principe conceptuel retenu quant à l'utilisation des observations et des modèles dans les processus d'inversion qui conduisent des observations aux observables**

- (1) Développement parallèle des méthodes directe et inverse
- (2) Application des observations mesurées dans l'ensemble des observations calculées  
→ classification injective → caractéristiques optiques et microphysiques



### 3. Restitution des propriétés et microphysiques des aérosols par synergies lidar

- Lidar rétrodiffusion seul ?
- Lidar + Photomètre solaire

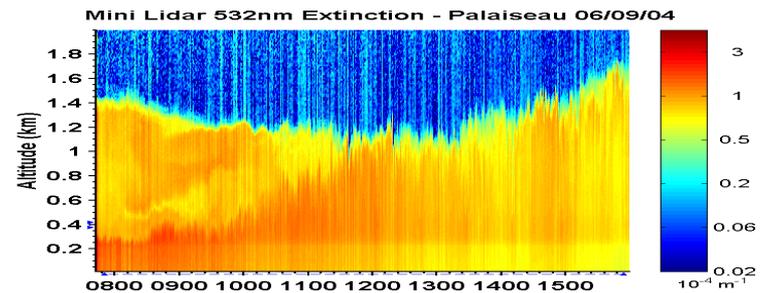
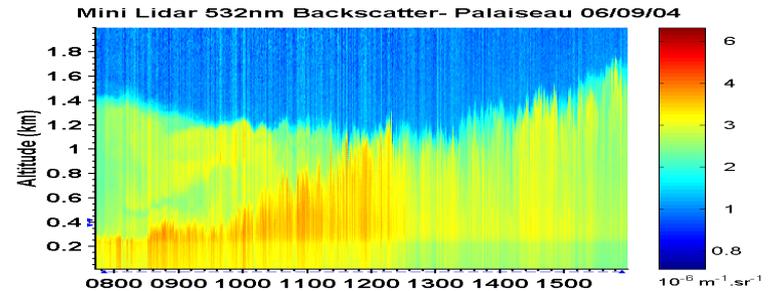
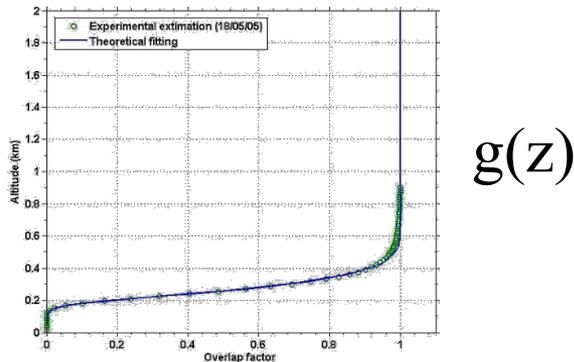
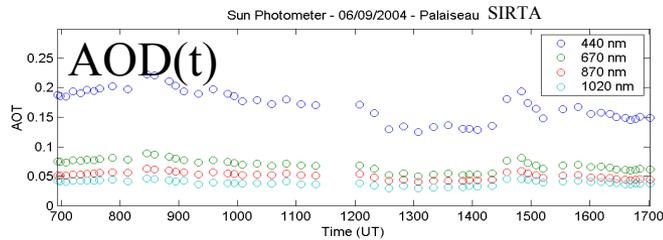
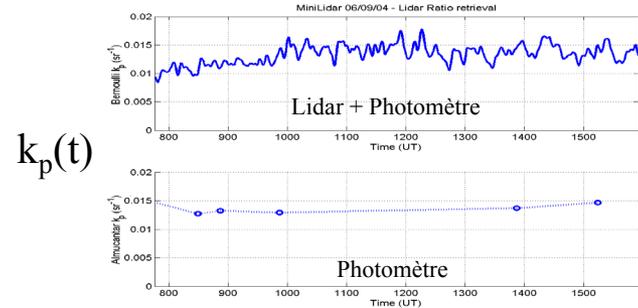
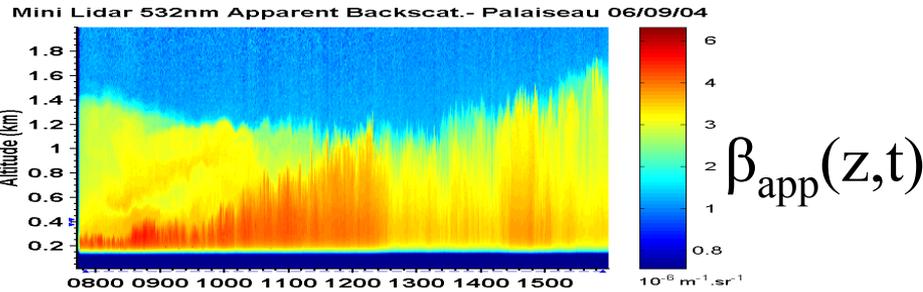


- Lidar sol + Lidar spatial/aéroporté
- Lidar + Capteur In situ
- Lidar Raman multi-longueur d'onde

# Lidar + Photomètre: contrainte AOD pour obtenir $\alpha(z)$

## Solution de l'équation de Bernoulli contrainte AOD

Ciel clair, de jour



Mais  $k_p(z)$ ???, déjà variable avec RH(z)

# Lidar + Photomètre: La méthode de synergie « Lidar & Almucantar »

[Cuesta et al., 2008, AO]

- Plusieurs contributions d'aérosols atmosphériques dans la couche limite (CLA) et la troposphère libre (TL):

Synergie de deux informations incomplètes

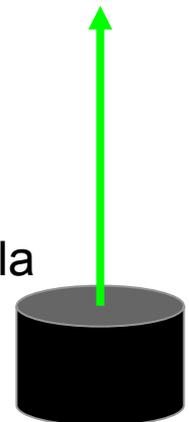
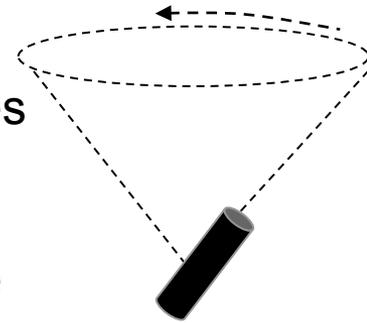
## Inversion Almucantar:

- **Spectre en taille** et propriétés optiques en fonction de la longueur d'onde
- Mais intégrée sur la colonne

+

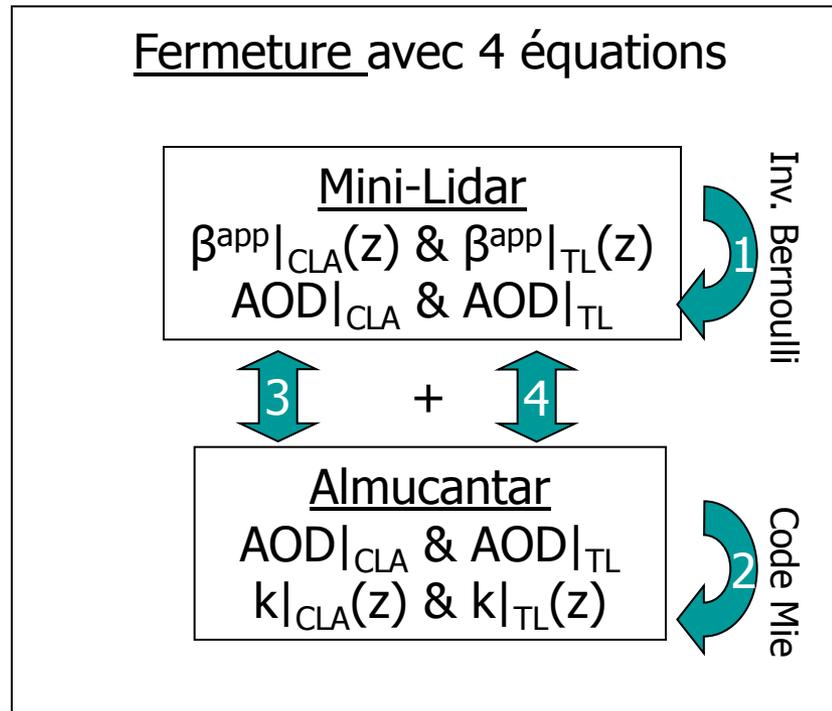
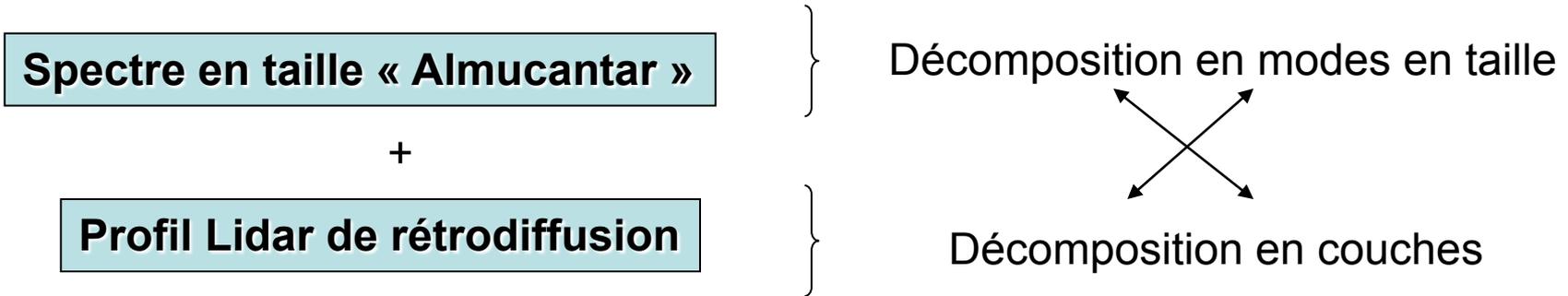
## Lidar de rétrodiffusion:

- **Distribution verticale** des propriétés optiques
- Mais apparente et intégrées sur la taille

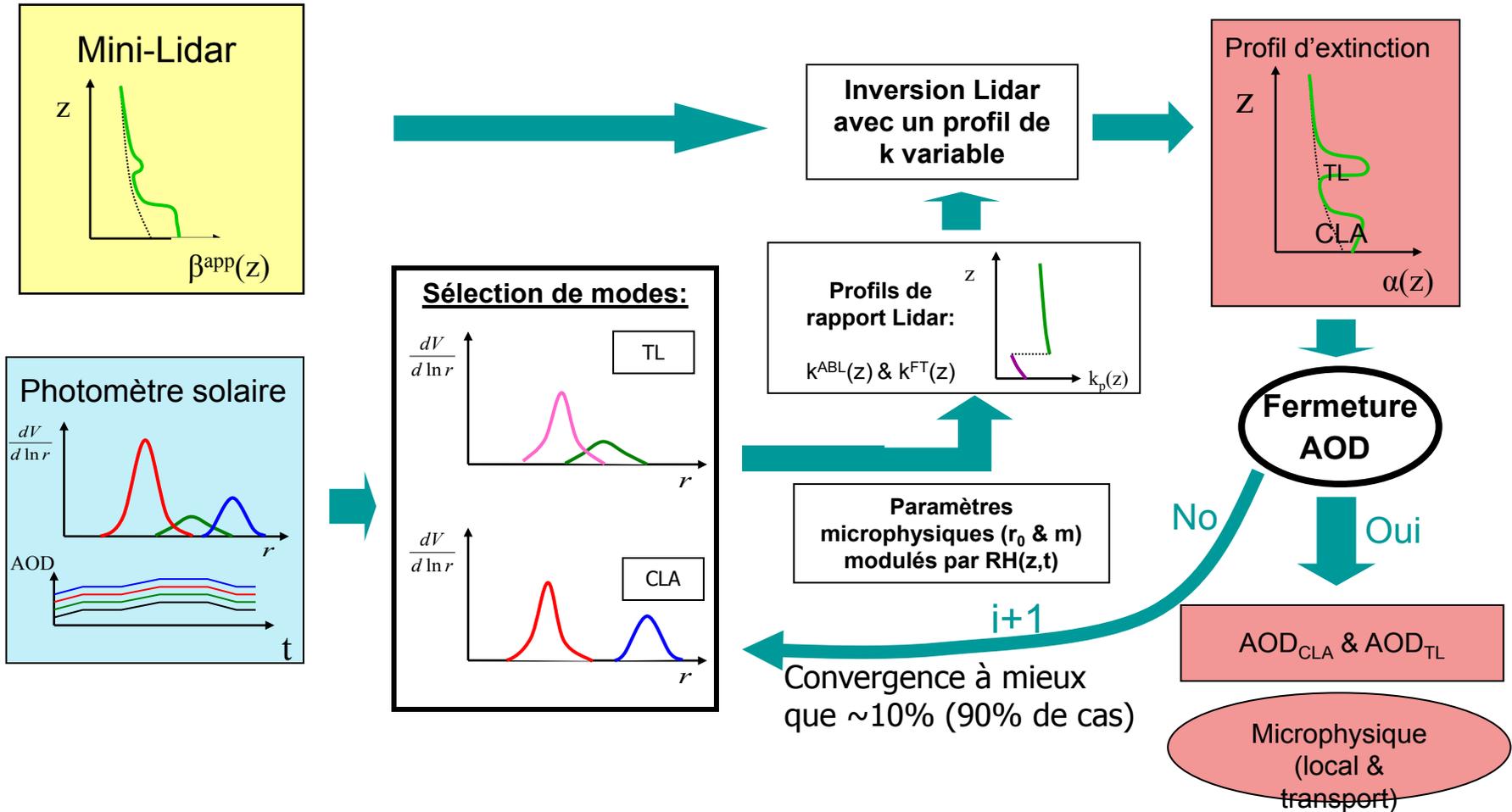


# Le principe « Lidar & Almucantar »

- Comment combiner ces informations?



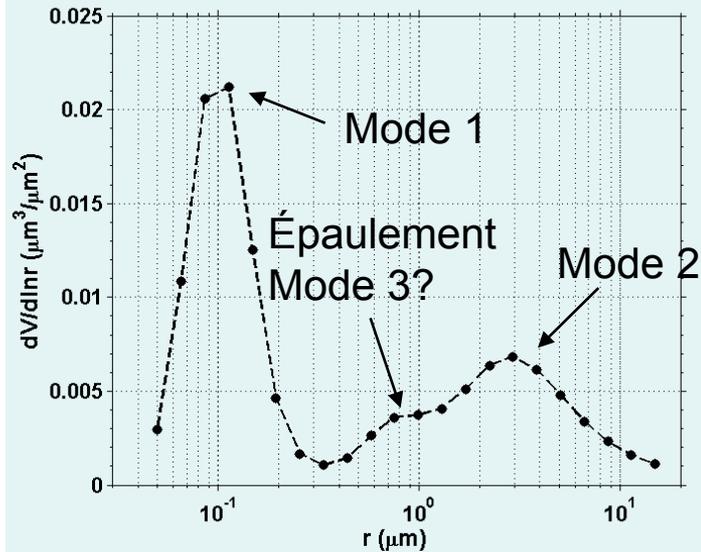
# Schéma de la méthode «Lidar&Almucantar»



# Spectre en taille: mesure Almucantar

Sortie de l'inversion Almucantar:

$$\frac{dV}{d \ln r}(r_i)$$



Post-traitement

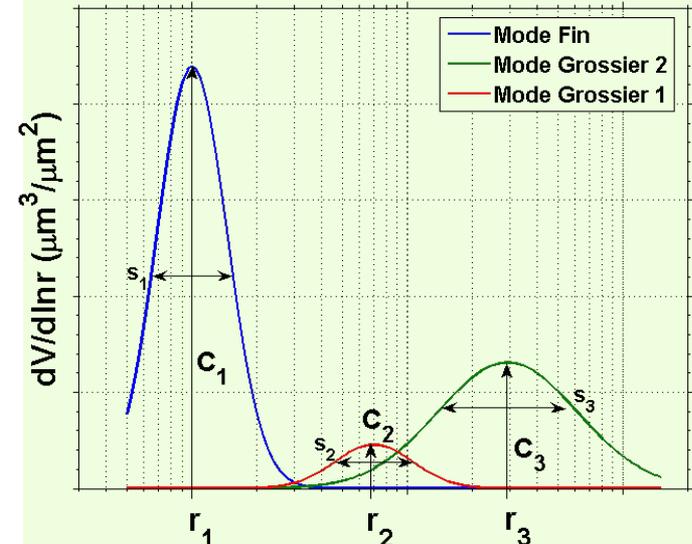


Décomposition en modes log-normaux

(Aucune contrainte en position, en amplitude et en largeur)

Hypothèse:

Chaque épaulement indique un mode log-normal

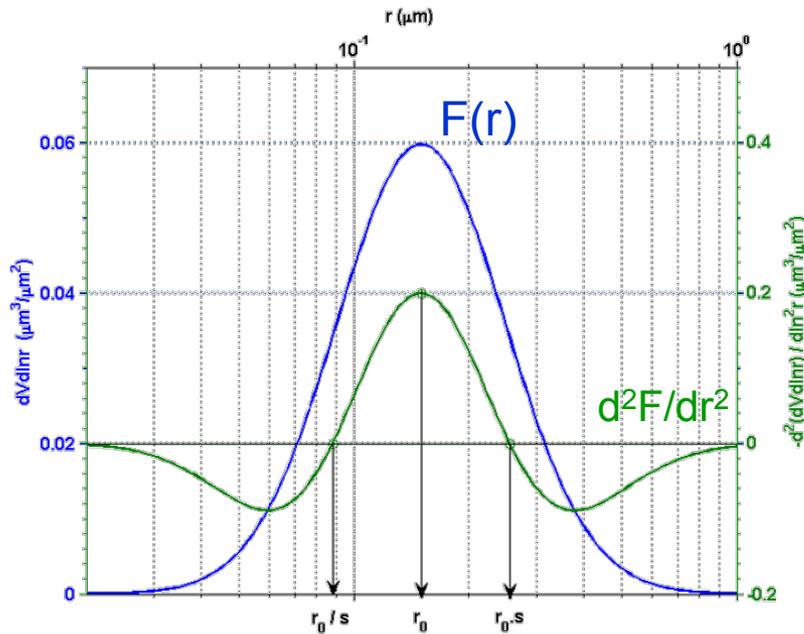


- Signatures des nouveaux modes par la contribution de la TL ?

Répartition verticale?  
Type d'aérosol?

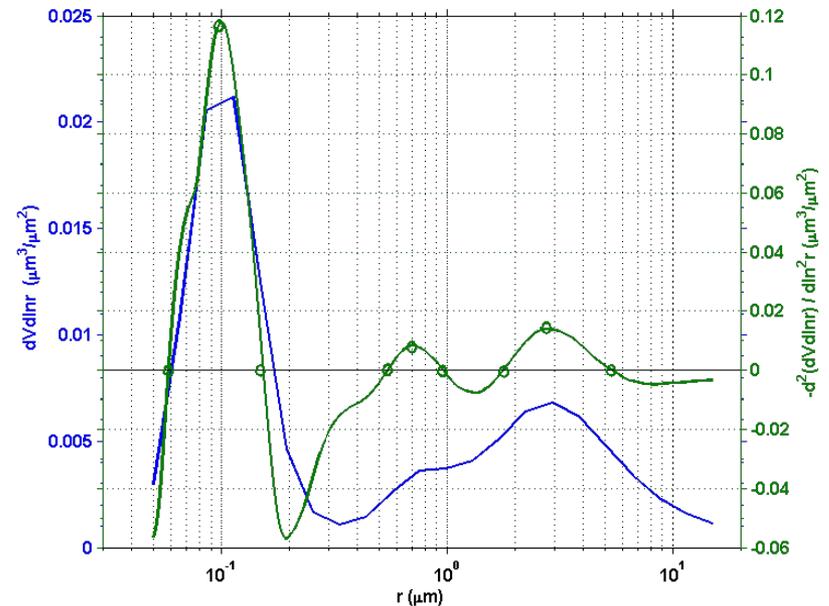
# Décomposition en modes log-normaux

- En utilisant la dérivée seconde



- $\max(d^2 F / dr^2) = M_0(r_0)$
- $C_0 = M_0 \sqrt{2\pi} \ln s_0$
- $s_0 = \sqrt{r_a / r_b}$

## Sur un exemple réel



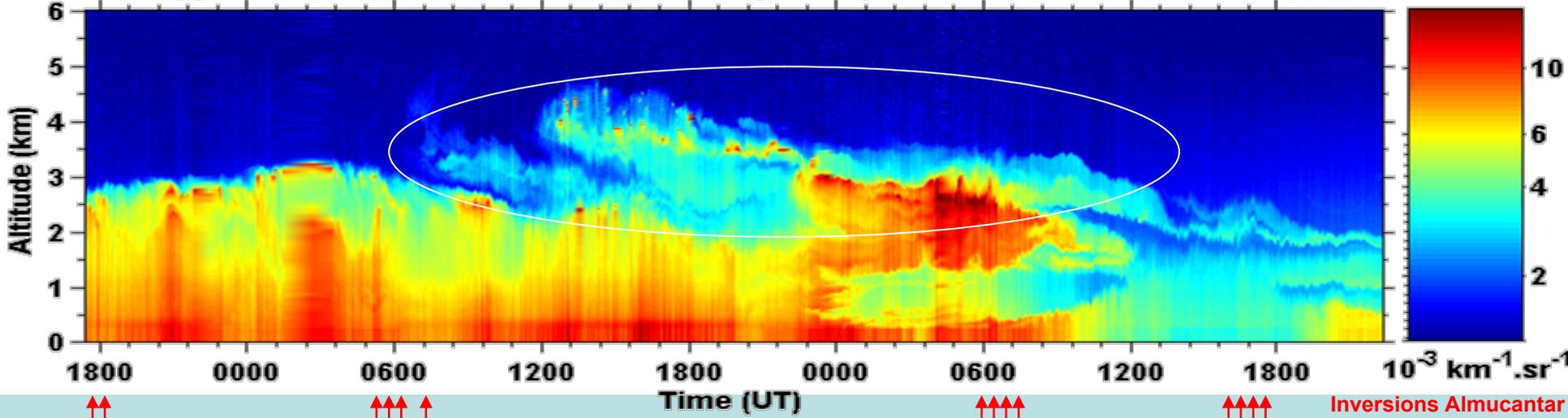
Détection successive de plusieurs modes (3 ou 4).



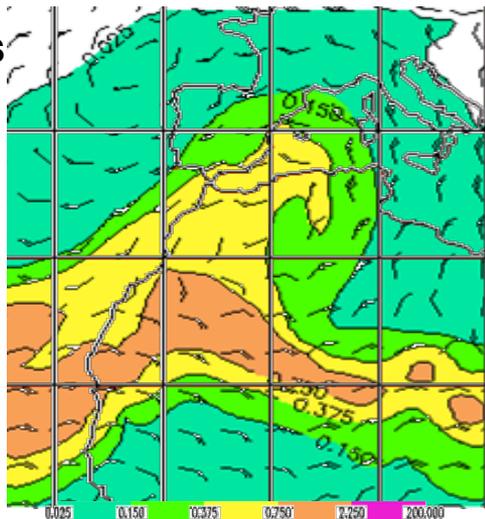
# « Lidar & Almuquantar »

## Exemple du: 14 au 16 Juillet 2005 (1/4)

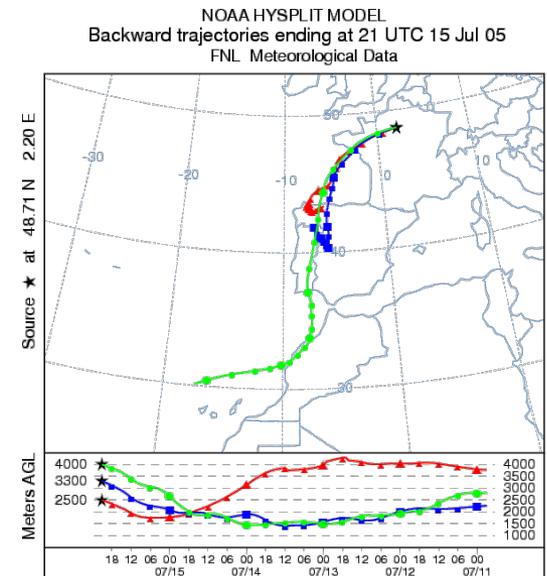
Apparent Backscatter 532 nm - MiniLidar (TReSS) - Palaiseau 14/07/05 - 16/07/05



Simulation NAAPS  
0000 UT 16/07/05



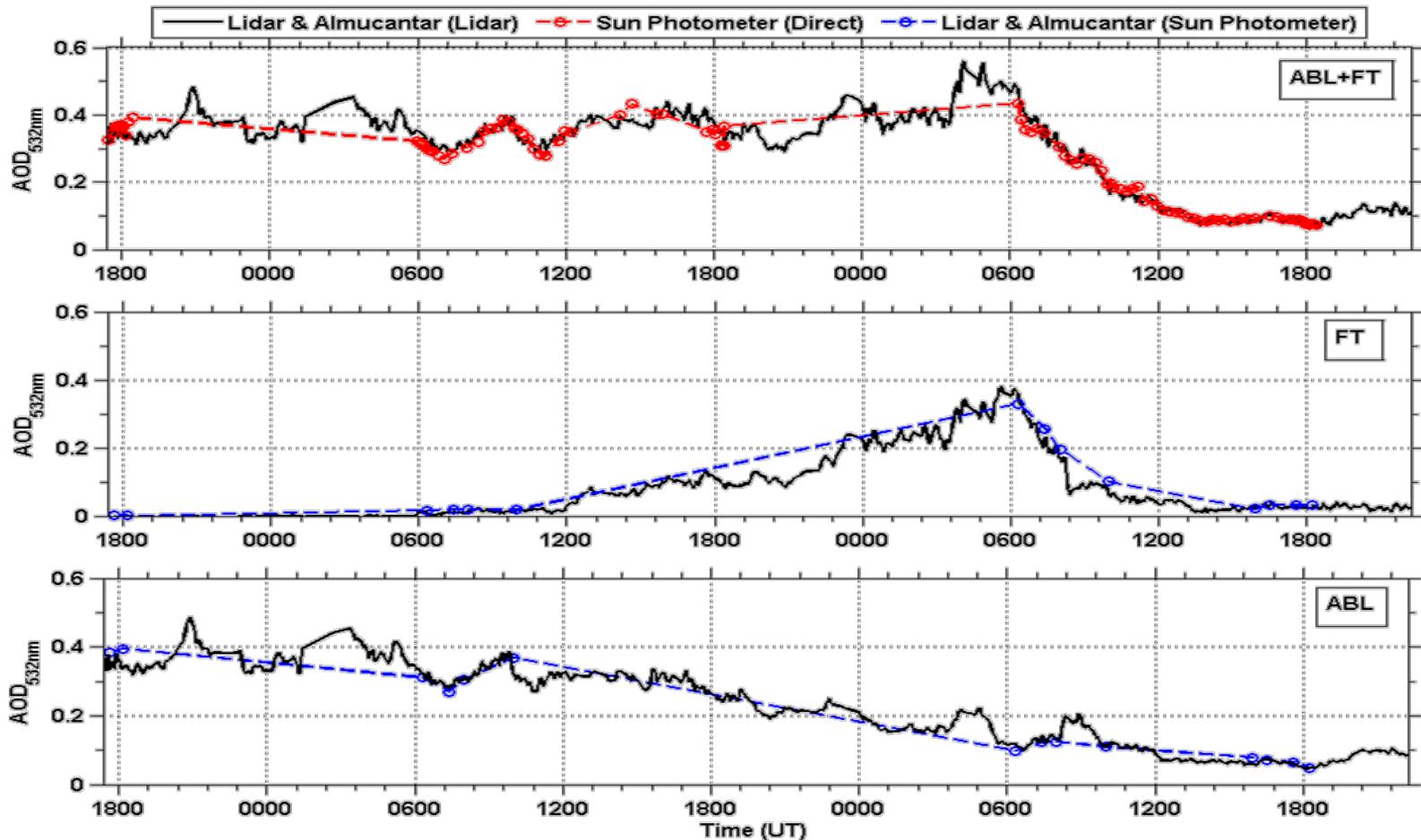
Rétrotrajectoires  
HYSPLIT / NCEP



# « Lidar & Almucantar »

## Exemple du: 14 au 16 Juillet 2005 (2/4)

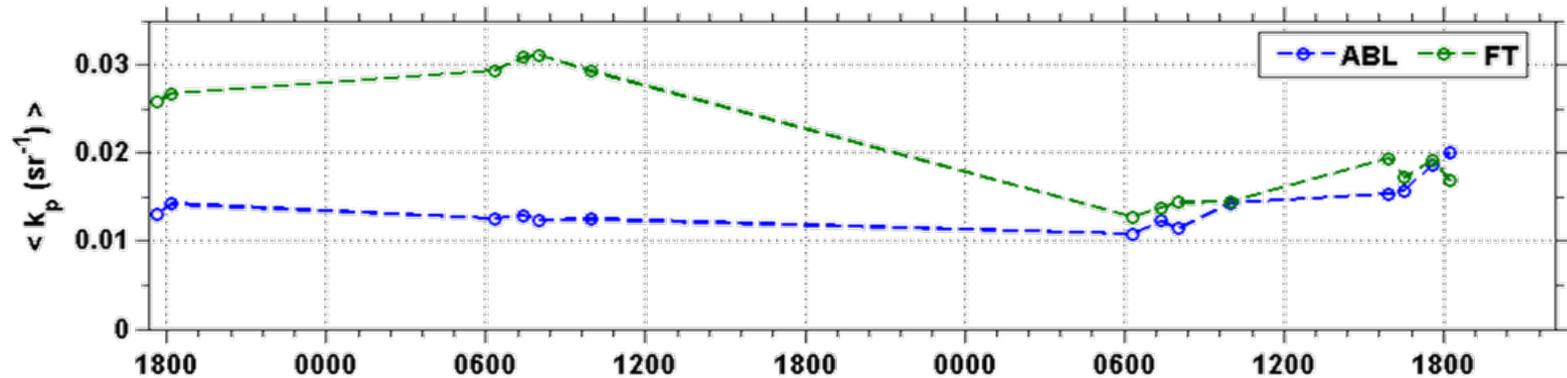
➤ Fermeture en AOD:



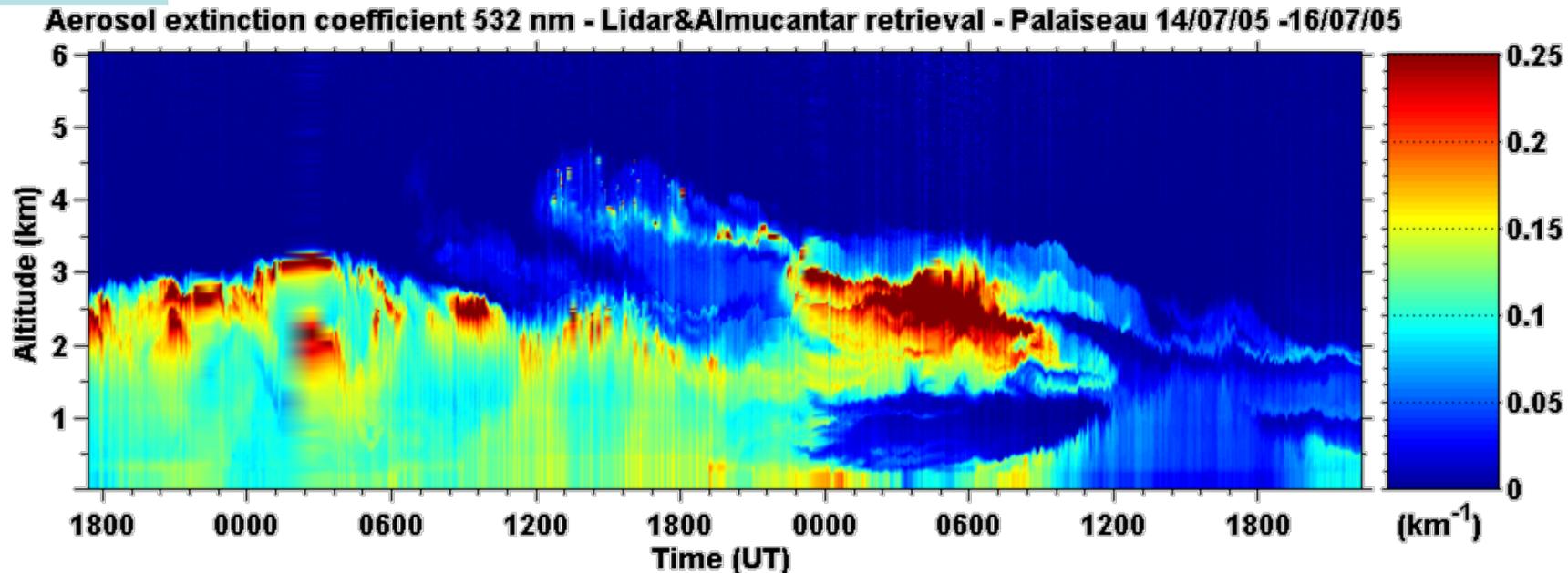
# « Lidar & Almuquantar »

## Exemple du: 14 au 16 Juillet 2005 (3/4)

### ➤ Rapport Lidar:



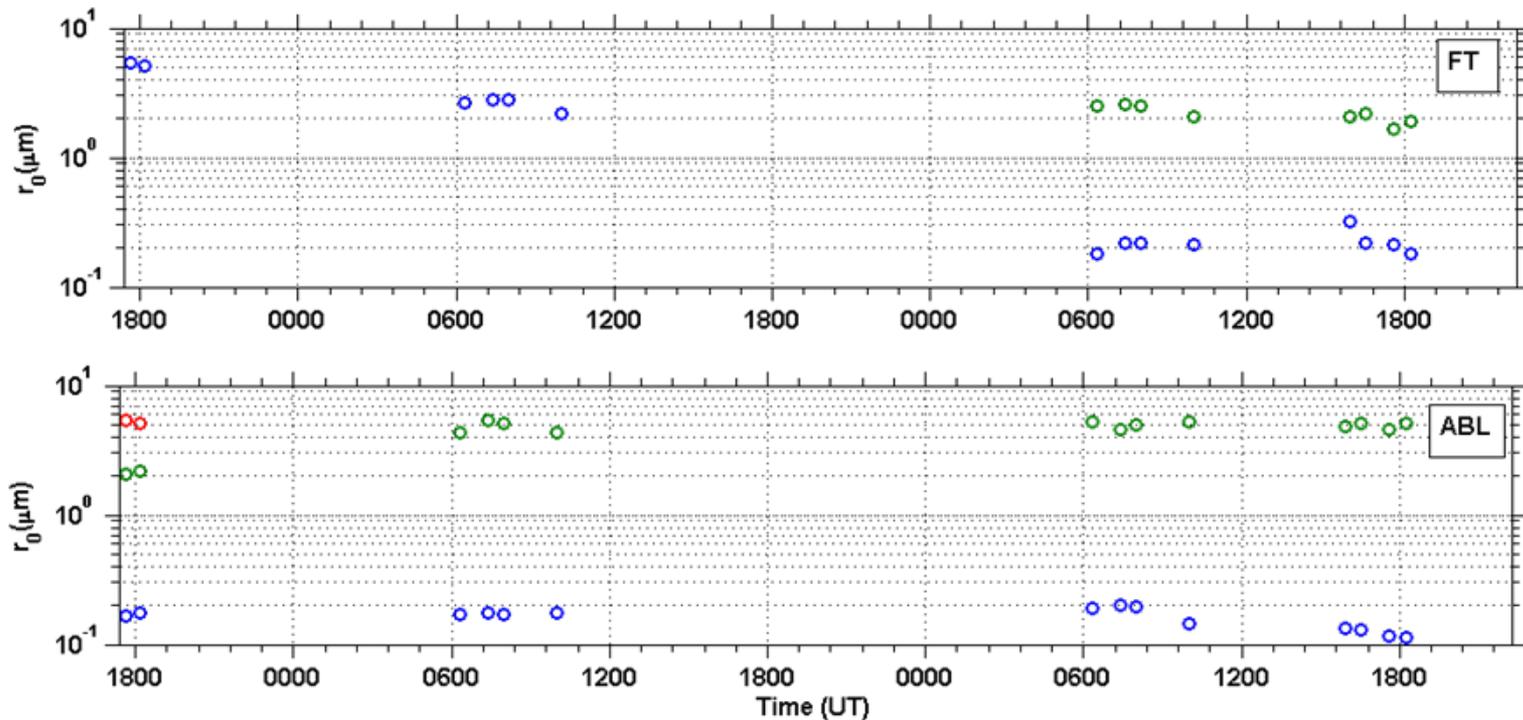
### ➤ Extinction :



# « Lidar & Almuquantar »

## Exemple du: 14 au 16 Juillet 2005 (4/4)

➤ Spectre en taille:



### 3. Restitution des propriétés et microphysiques des aérosols par synergies lidar

- Lidar rétrodiffusion seul ?
- Lidar + Photomètre solaire
- Lidar sol + Lidar spatial/aéroporté

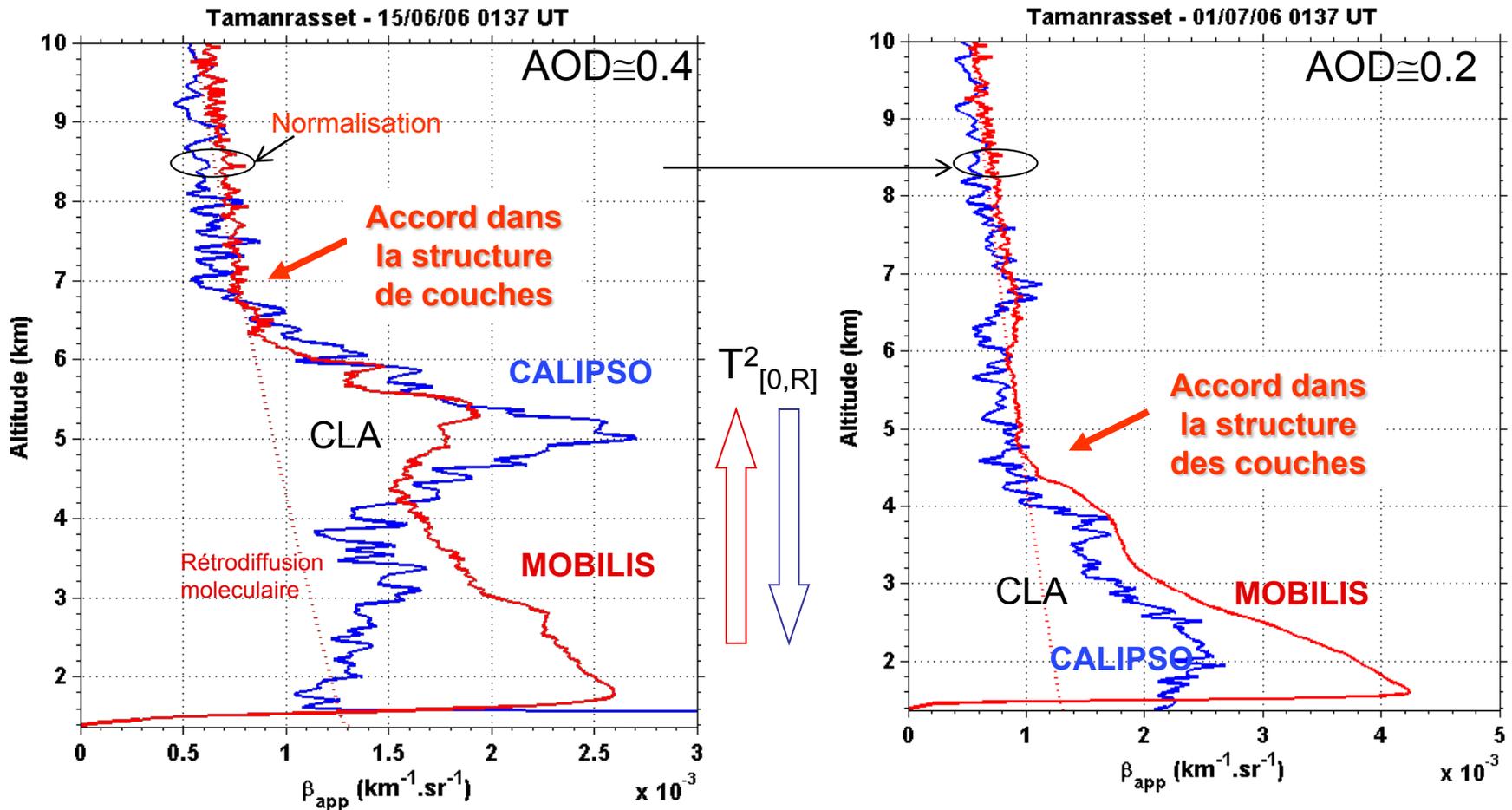


- Lidar + Capteur In situ
- Lidar Raman multi-longueur d'onde

# Lidar sol (MOBILIS) vs Lidar spatial (CALIPSO) au Sahara

## Profils de retrodiffusion atténué $\beta T_2$ , Nuit

CALIOP  $\Delta z= 30$  m,  $\Delta x= 33$  km MOBILIS  $\Delta z= 30$  m,  $\Delta t= 30$  min

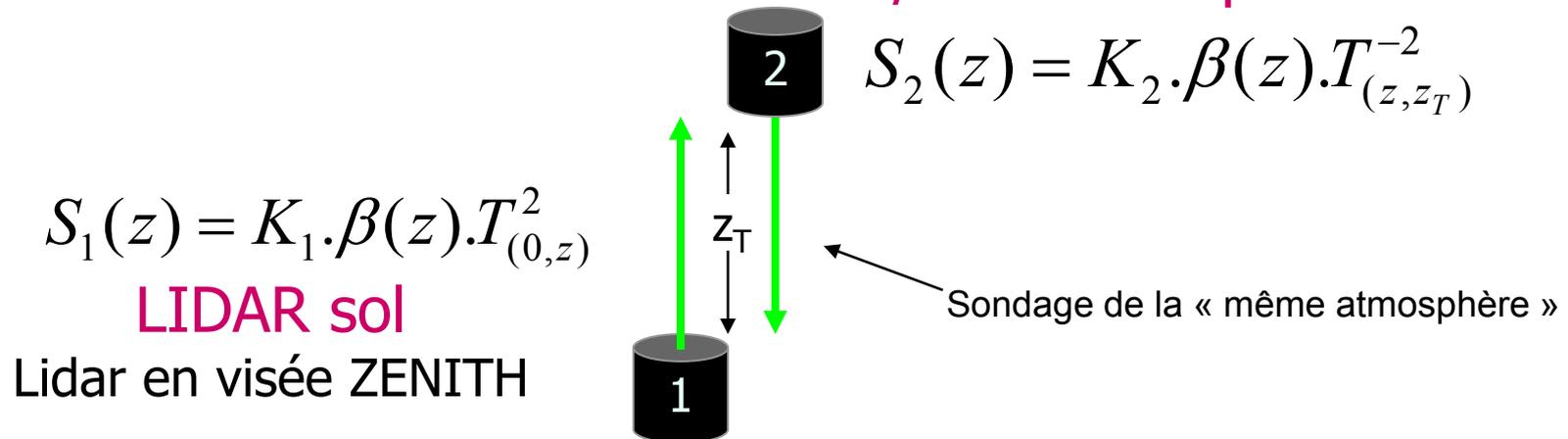


**Mais, comment comparer / valider les profils lidar?**

# Premier objectif: comparer les profils lidar de niveau 1 => La technique à Deux flux (1/3)

[Cuesta and Flamant, 2010, AO]

Lidar en visée NADIR CALIPSO / Lidar Aéroporté



**Pour valider / vérifier la qualité des profils de niveau 1:**

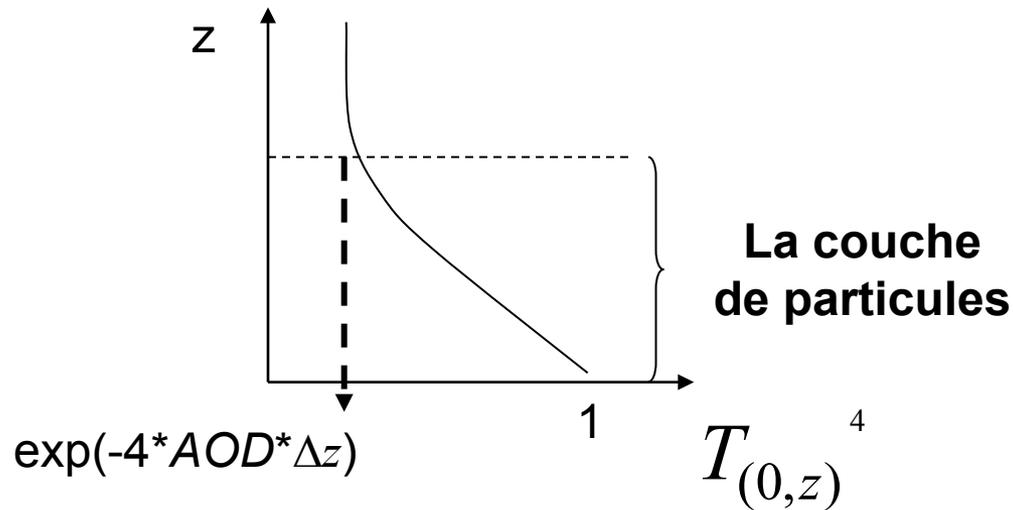
Le rapport

$$\rightarrow \frac{S_1(z)}{S_2(z)} = K \left( T_{(0,z)} \right)^4 \left. \vphantom{\frac{S_1(z)}{S_2(z)}} \right\} \text{ Nous obtenons la transmission accumulée}$$

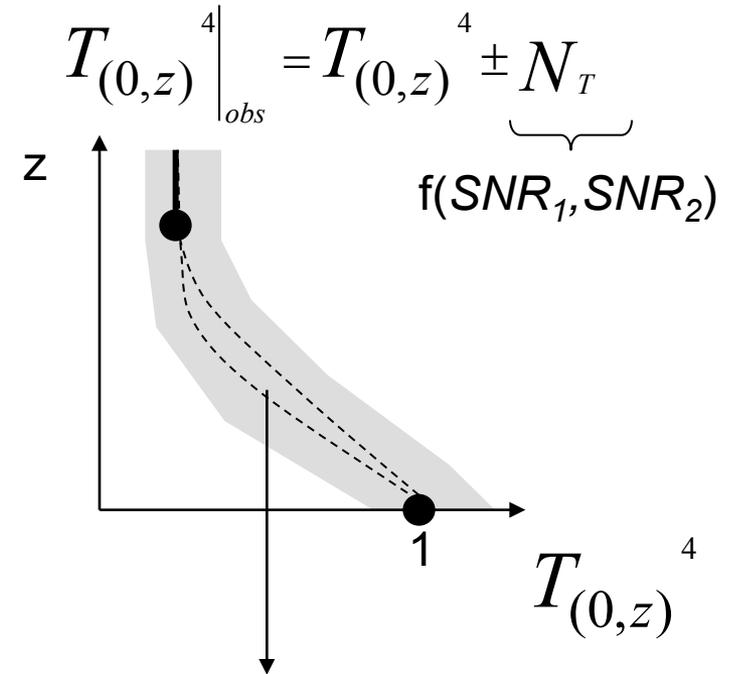
*Pas besoin de traitement ou inversion de profils*

# Premier objectif: comparer les profils lidar de niveau 1 => Les contraintes de la transmission accumulée

La transmission accumulée:



Pour des signaux bruités

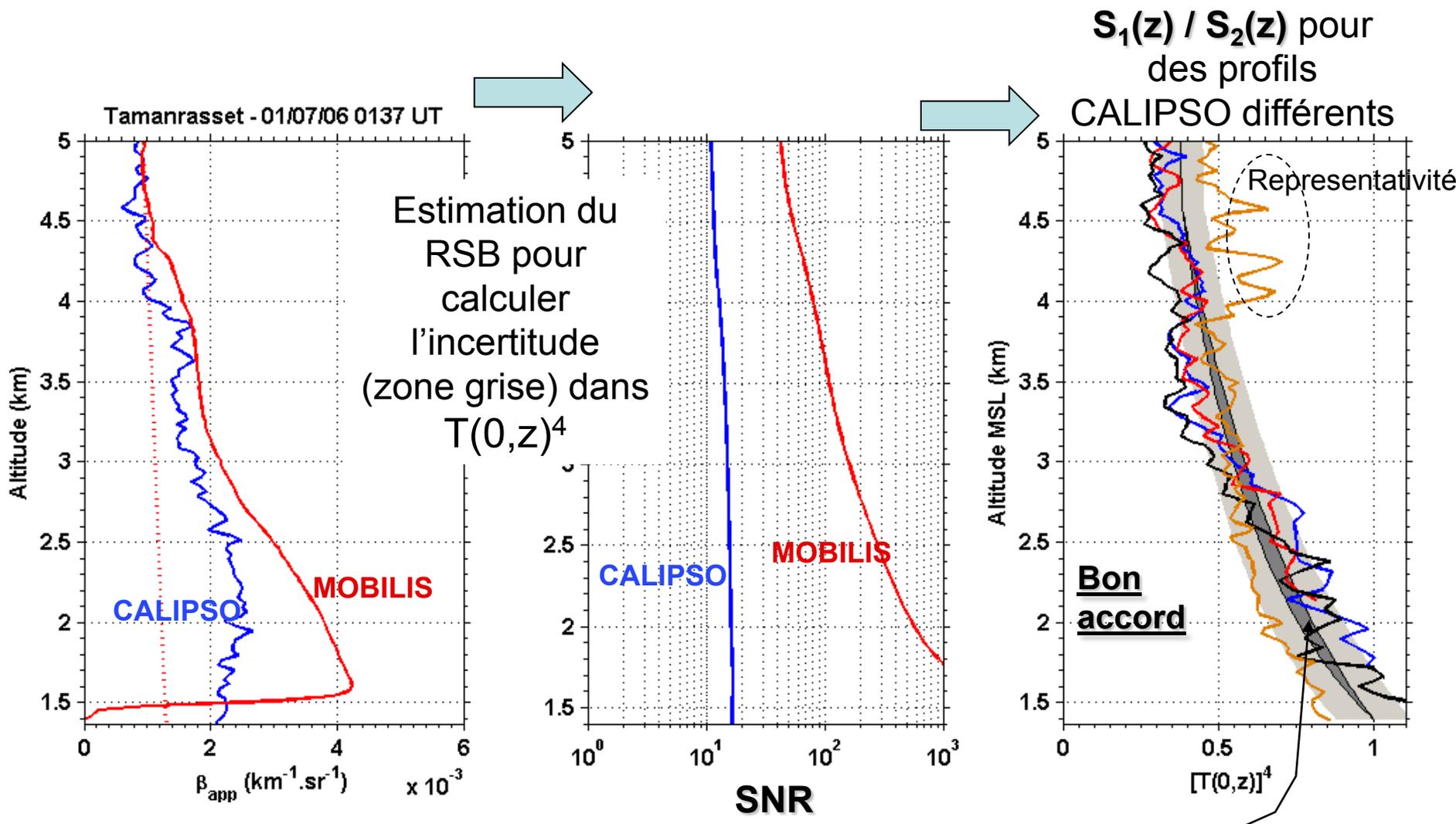


Fonction du profils d'extinction  $\alpha_p(z)$

Contraints inherents forts:

- **Fonction monotone**
- L'AOD determine les points **en bas et en haut** de la couche de particules

# Premier objectif: comparer les profils lidar de niveau 1 => Exemple d'application

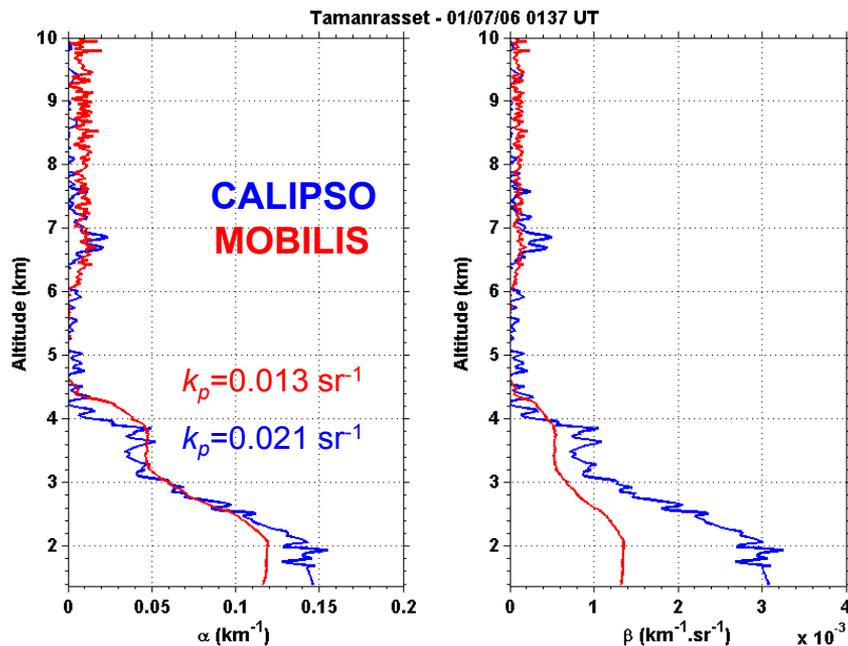


Considérant  $T(0,z)^4$  pour un grand nombre des fonctions de  $\alpha_p(z)$

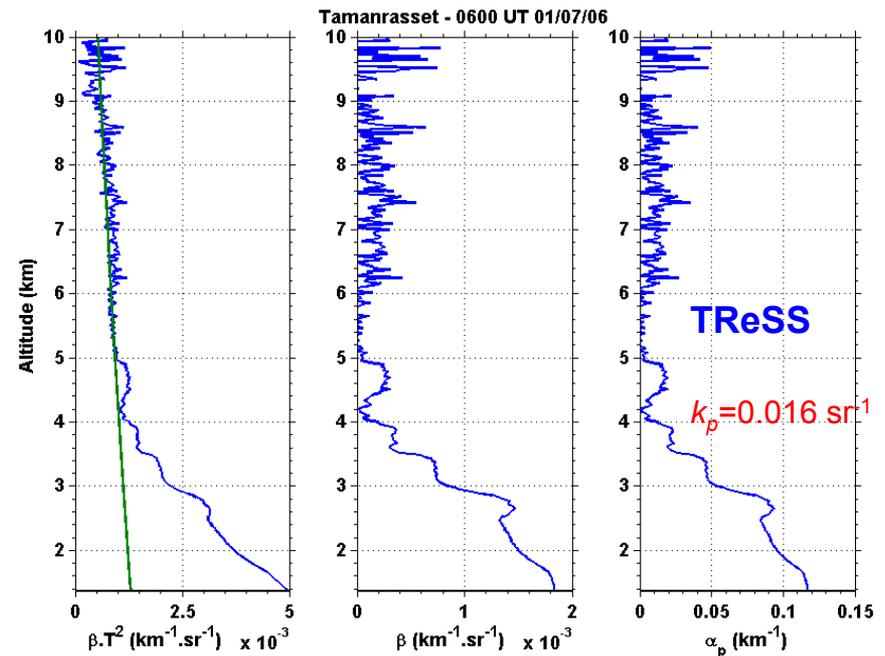
# Deuxième objectif: Réstitution des profils inversés de niveau 2

Bernoulli Constrained solution:  
Solution Bernoulli AOD-constraint: CALIPSO vs. MOBILIS

0137 TU



0600 TU



*Le deux AOD = 0.20 lidar sont égales à l'AOD du photomètre solaire, extrapolé dans le temps*

*Utilisant la première mesure de l'AOD par photomètre*

# Deuxième objectif: Réstitution de niveau 2 ⇒ La technique à deux flux

[Cuesta and Flamant, 2010, AO]

Lidar en visée vers le bas

**CALIPSO / Avion**



$$S_2(z) = K_2 \cdot \beta(z) \cdot T_{[z_T, z]}^2$$



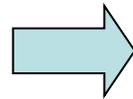
$$S_1(z) = K_1 \cdot \beta(z) \cdot T_{[0, z]}^2$$

**LIDAR AU SOL**

Lidar en visée vers le haut



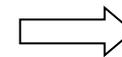
2 équations  
indépendantes



$$\begin{cases} \beta(z) = \beta(z_{\text{ref}}) \cdot \sqrt{S_1(z)|_{z_{\text{ref}}} \cdot S_2(z)|_{z_{\text{ref}}}} \\ \alpha(z) = \frac{1}{4} \cdot \frac{d}{dz} \left( \ln \left( \frac{S_2(z)}{S_1(z)} \right) \right) \end{cases}$$

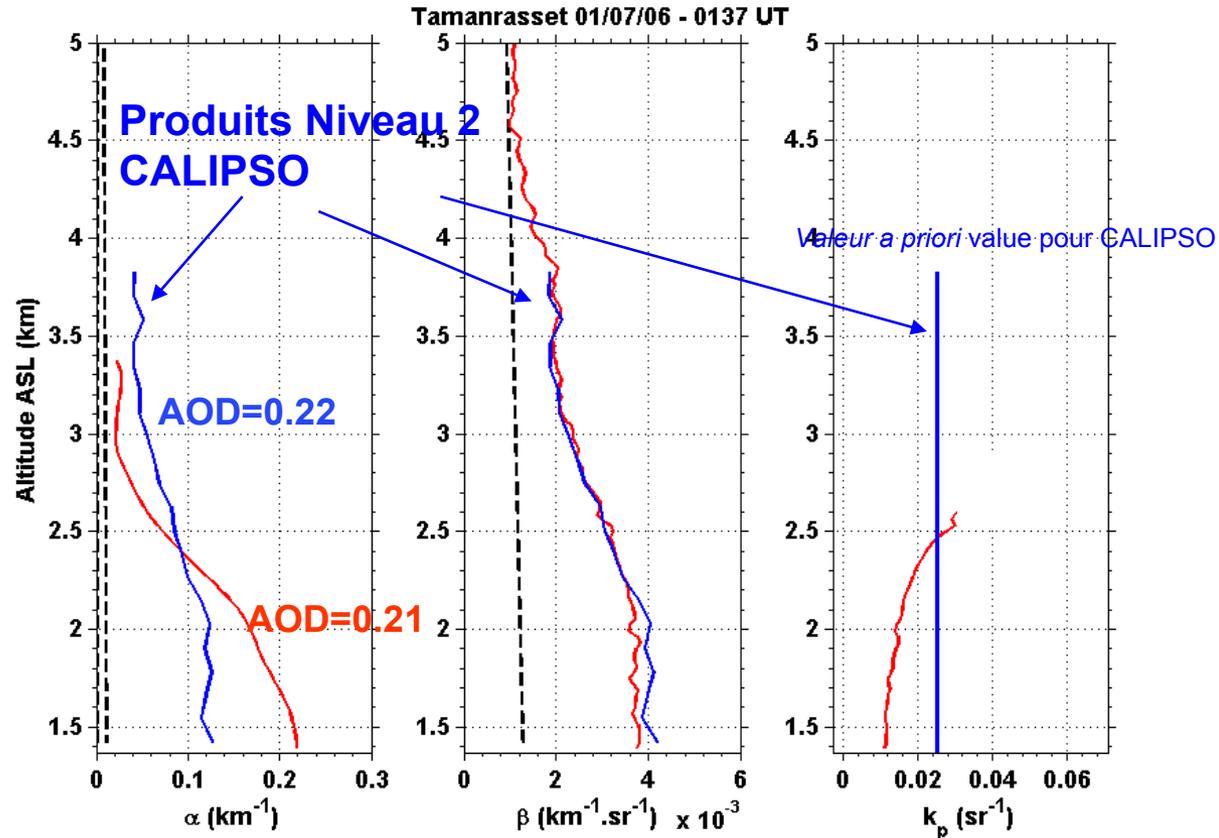
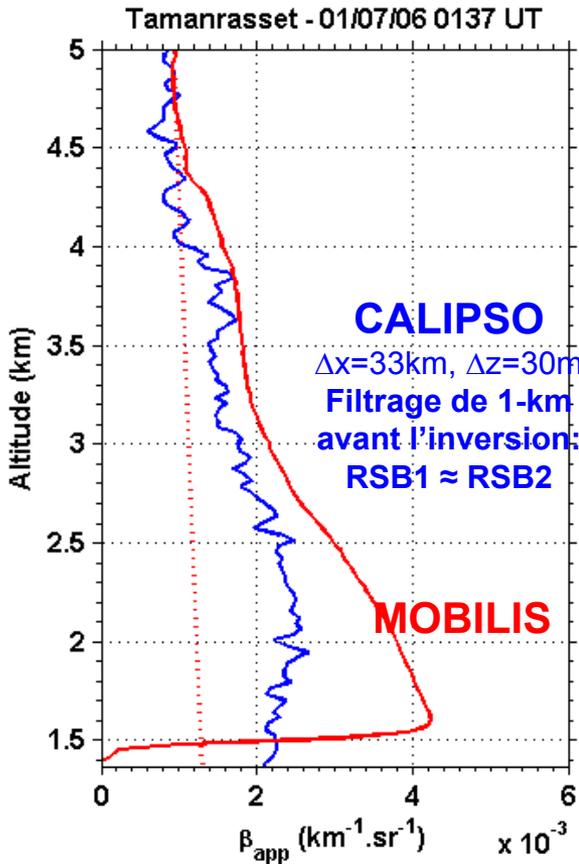
Condition:

$$RSB_1(z) \approx RSB_2(z)$$



Réduction des  
oscillations

# Deuxième objectif: Profils d'extinction et rétrodiffusion ⇒ La technique à deux flux



L'AOD est assez proche mais les profils d'extinction sont assez différents!

**OK!!!**

**Algo à Deux flux en combinant les mesures CALIPSO et MOBILIS (!)**

### 3. Restitution des propriétés et microphysiques des aérosols par synergies lidar

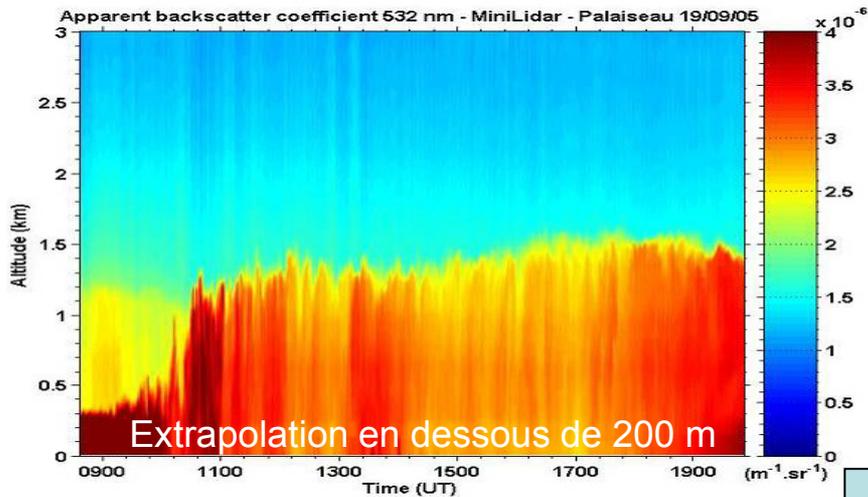
- Lidar rétrodiffusion seul ?
- Lidar + Photomètre solaire
- Lidar sol + Lidar spatial/aéroporté
- Lidar + Capteur In situ



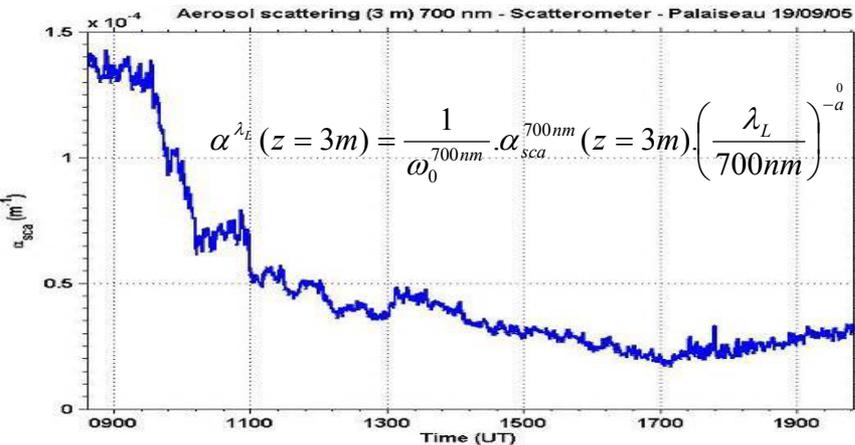
- Lidar Raman multi-longueur d'onde

# 1. Lidar + Capteur in situ: Solution Bernoulli contraint par une mesure $\alpha(z=\text{surface})$

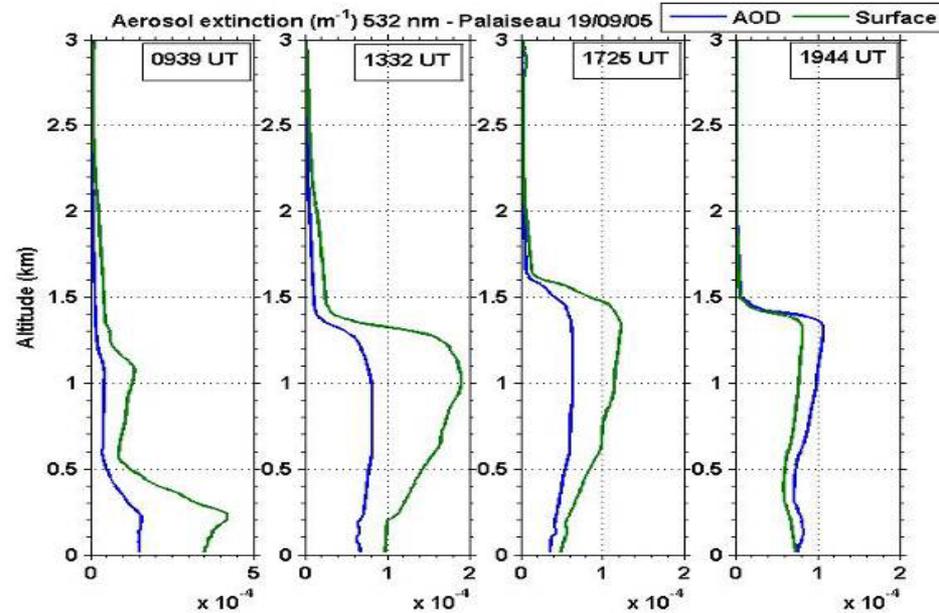
Rétrodiffusion atténuée à 532 nm



Coefficient de diffusion à 700 nm



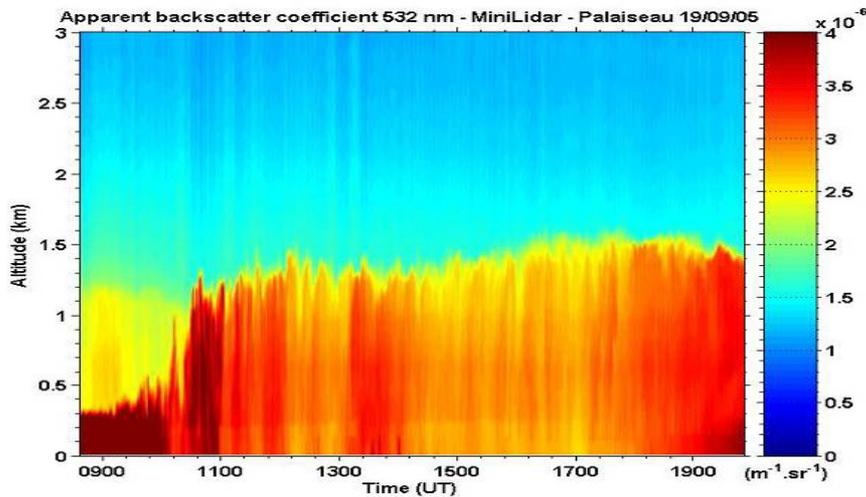
Profils d'extinction de particules à 532 nm avec  $k_p$  constant en altitude



Profils d'extinction de particules à 532 nm

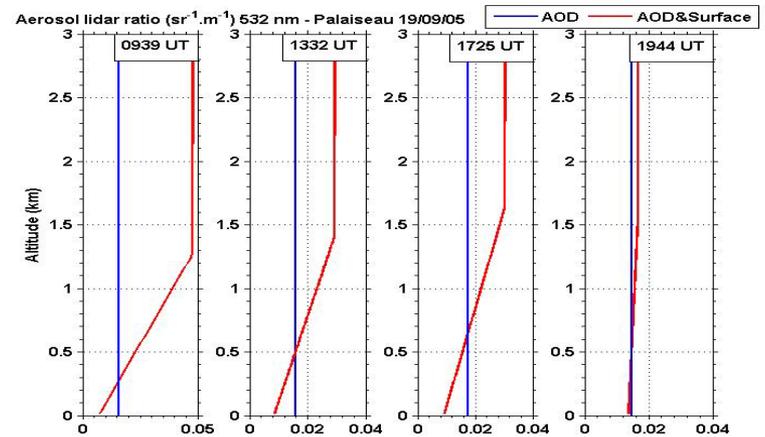
# 2. Lidar + Capteur in situ + AOD: Solution Bernoulli contraint en surface et dans la colonne totale

Rétrodiffusion atténuée à 532 nm

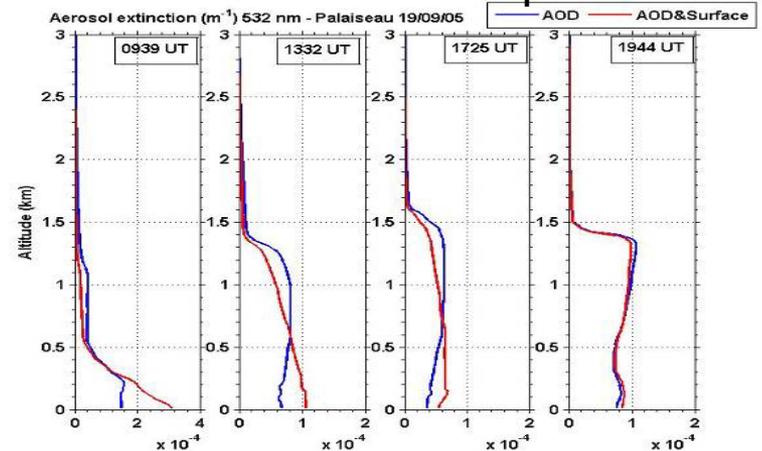


+  
Coefficient de diffusion à 700 nm  
+  
AOD

Profils linéaire de  $k_p(z)$  restitué:  
avec deux contraintes

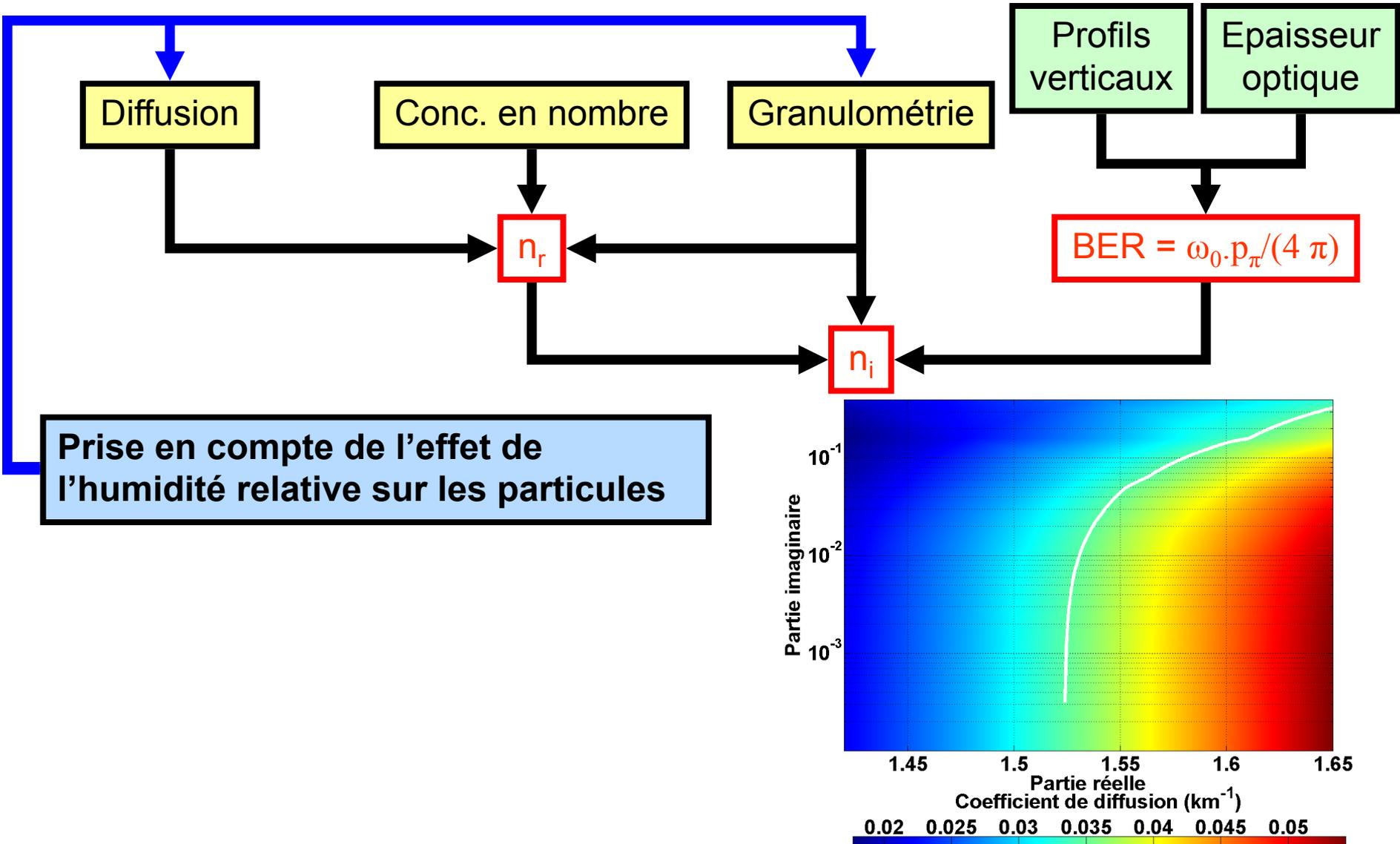


Profils d'extinction des particules



# 3. Lidar + Capteur In situ: Indice de réfraction

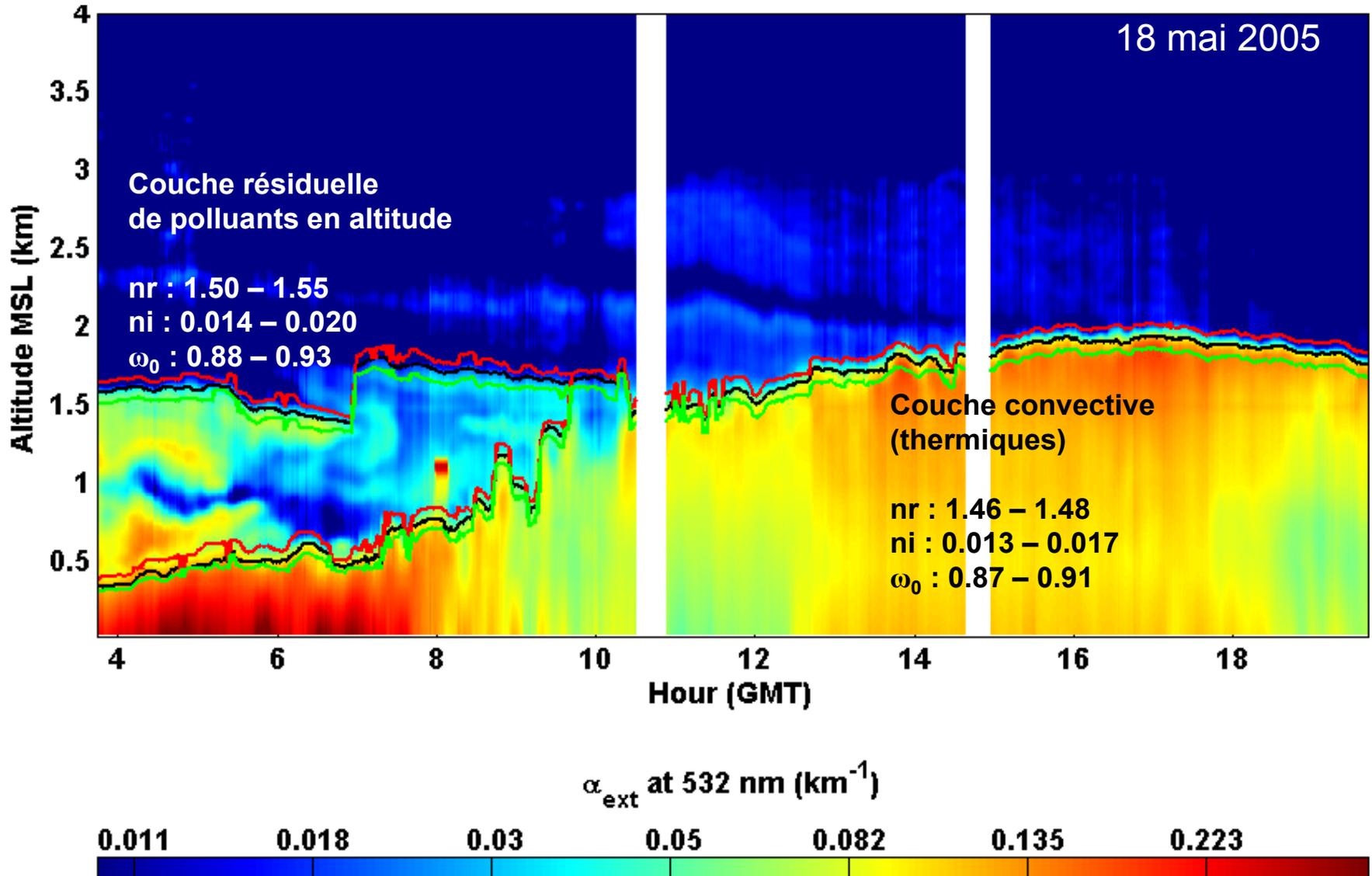
[Raut and Chazette, ACP, 2007]



# 3. Lidar + Capteur In situ: Indice de réfraction

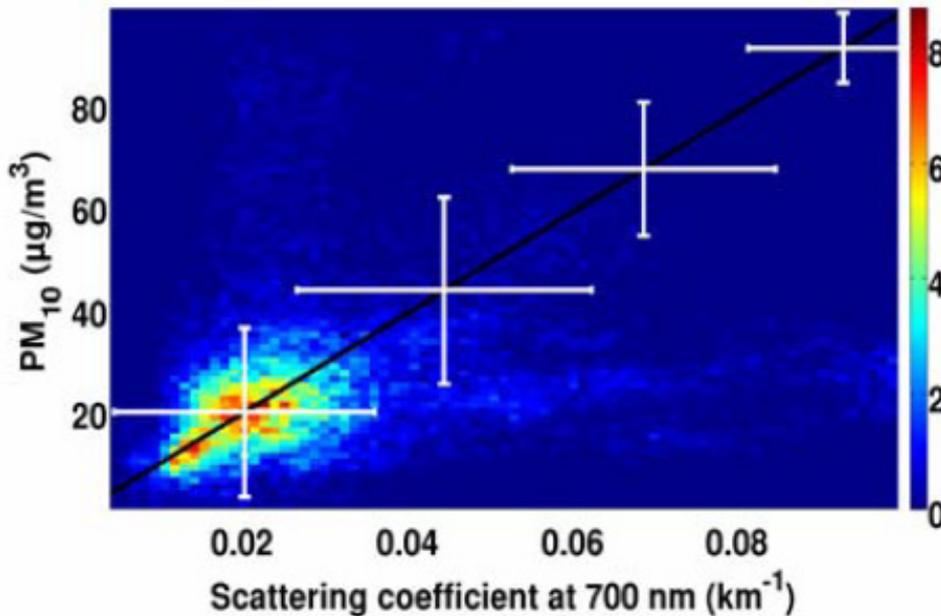
## Aérosol anthropique : la mégalopole parisienne (12 MH)

[Raut and Chazette, ACP, 2007, 2008]



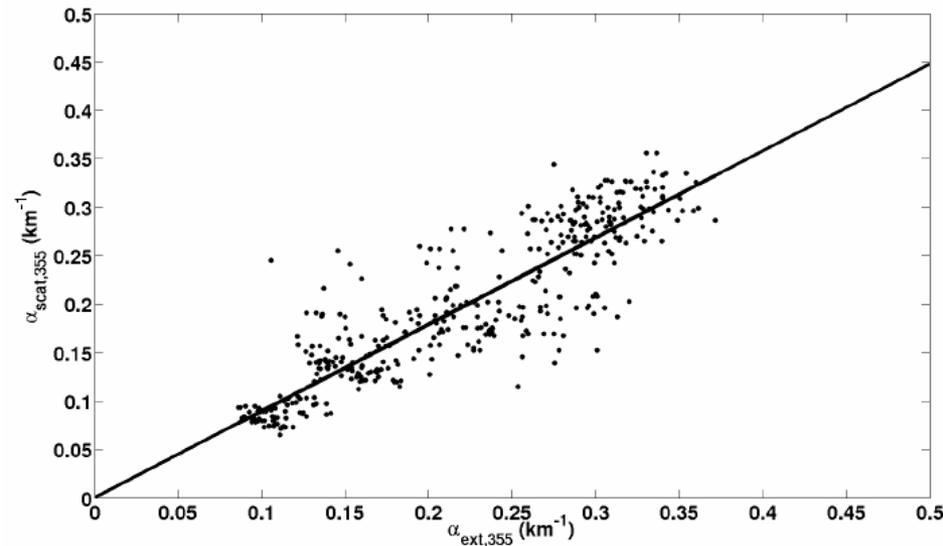
# 4. Lidar + Capteur In situ: Restitution de la masse par LIDAR

## 1. Corrélation masse-optique en surface



$$PM_{10} = \frac{k_1}{\omega_{0,355}} \cdot \left(\frac{355}{700}\right)^{-a} \cdot \alpha_{\text{scat},700}$$

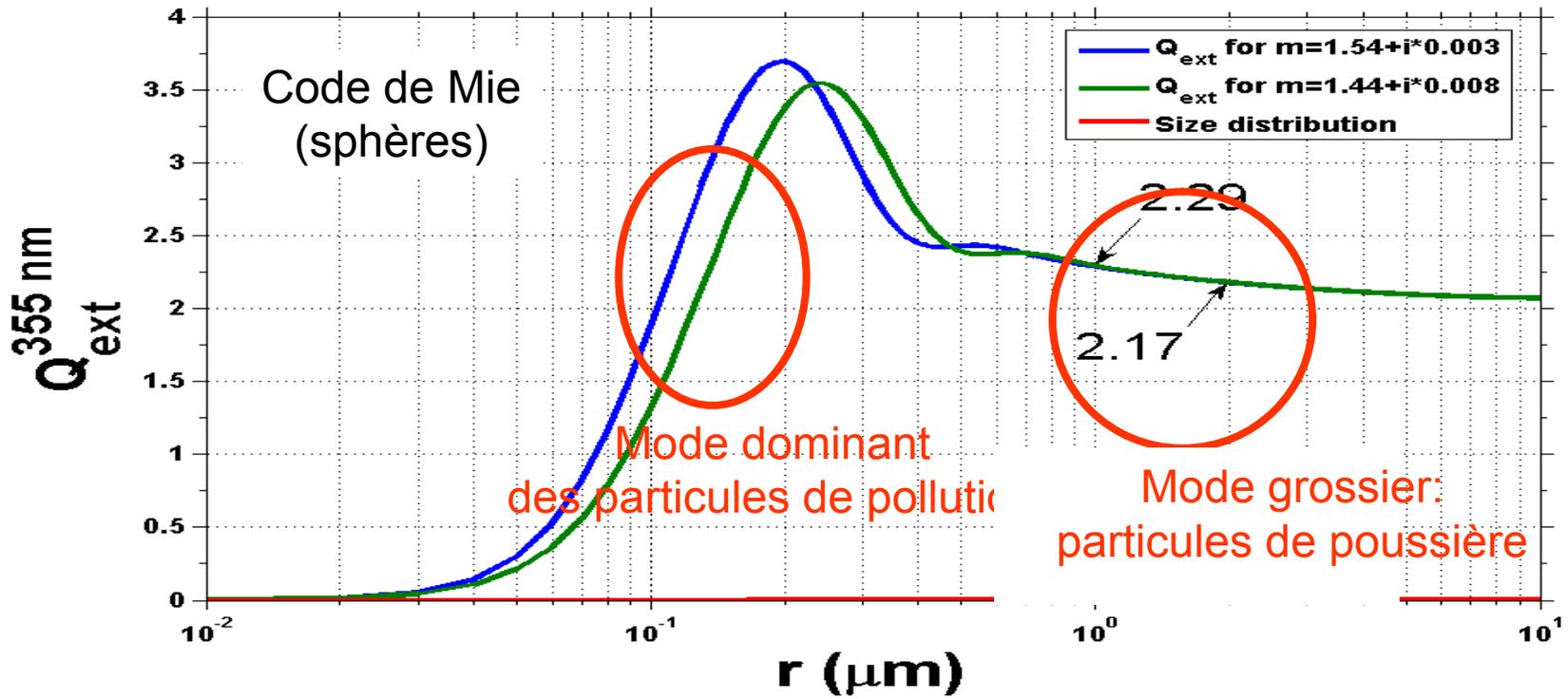
## 2. Lien surface (coefficient diffusion) avec lidar horizontal (extinction)



# 4. Lidar + Capteur In situ: Restitution de la masse par LIDAR

$$M = \frac{4}{3} \pi r_e^3 N_e \rho$$

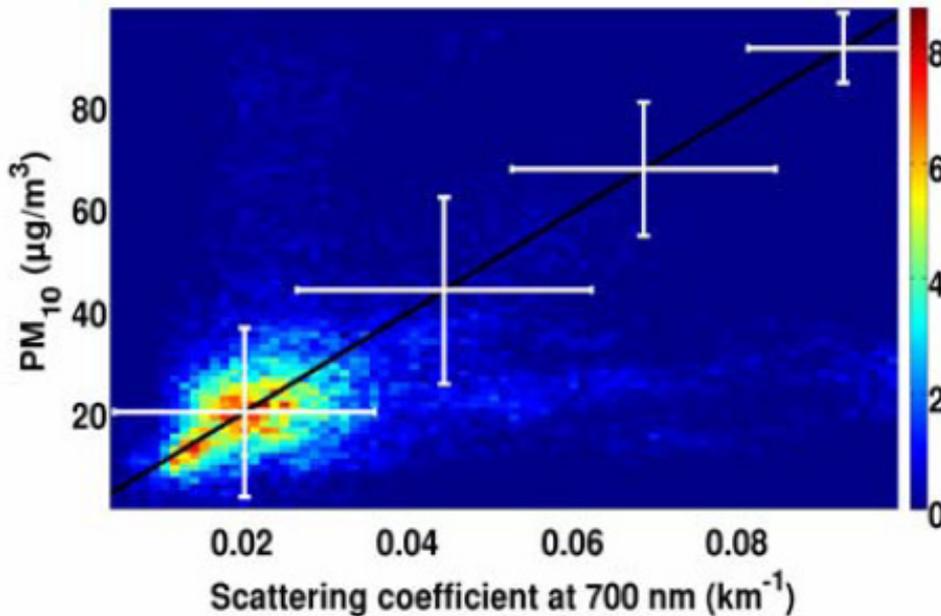
$$\alpha = N_e \pi r_e^2 Q_{ext} \quad N_e = \text{nombre de particules par m}^{-3}$$



# 4. Lidar + Capteur In situ: Profil vertical de PM10 (1/2)

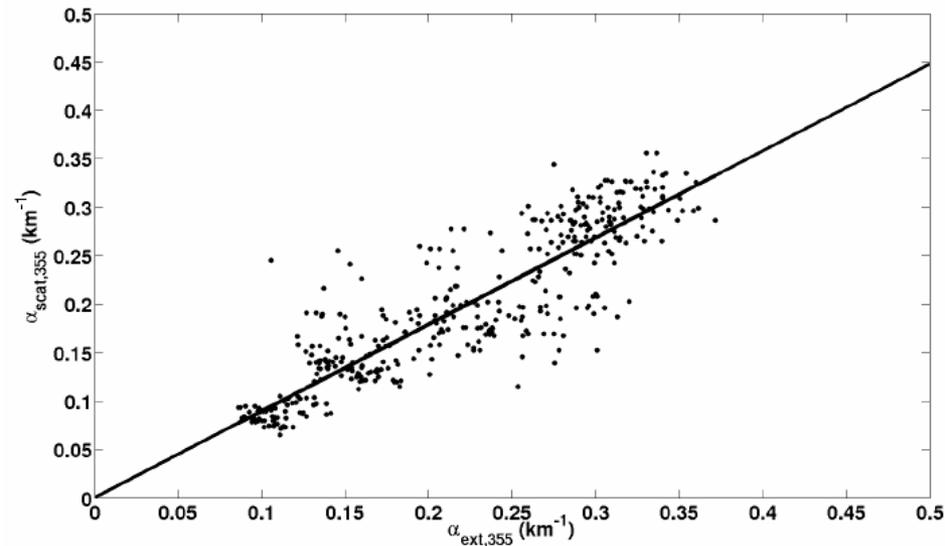
[Raut and Chazette, ACP 2010]

1. Corrélation masse-optique en surface



$$PM_{10} = \frac{k_1}{\omega_{0,355}} \cdot \left(\frac{355}{700}\right)^{-a} \cdot \alpha_{\text{scat},700}$$

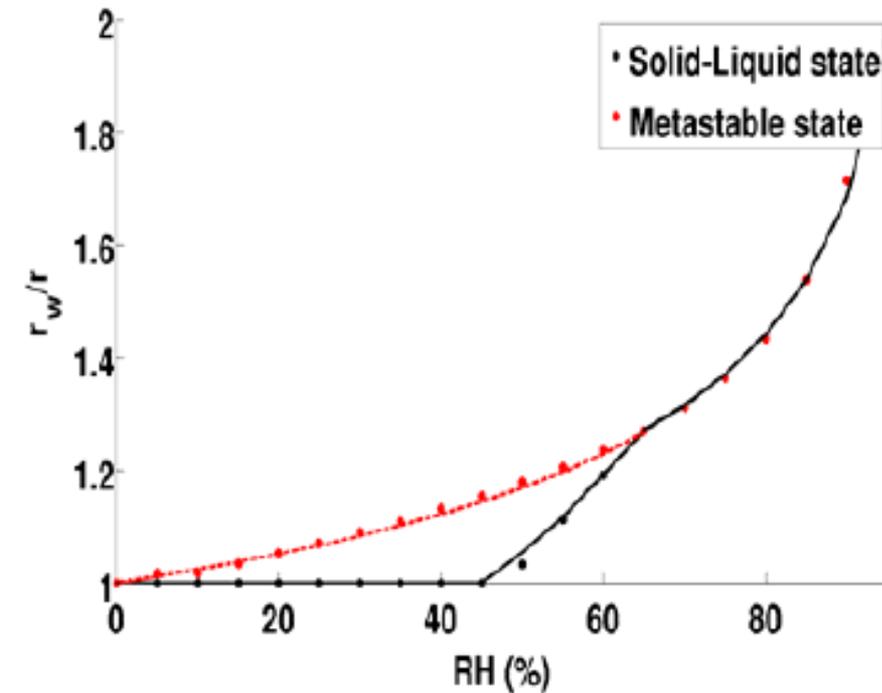
2. Lien surface (coefficient diffusion) avec lidar horizontal (extinction)



# 4. Lidar + Capteur In situ: Profil vertical de PM10 (1/2)

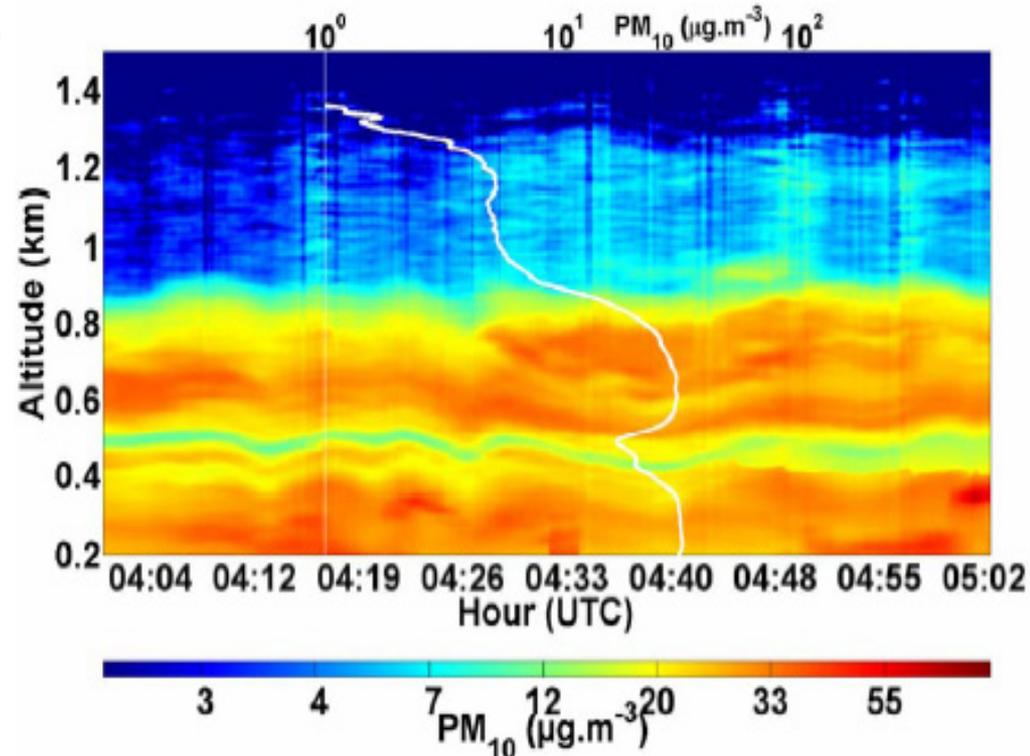
[Raut and Chazette, ACP 2010]

## 3. BER en fonction de RH et zone de la ville



## 4. Profil Extinction → Profil PM10

$$PM_{10} = k_1 \cdot \alpha_{ext,355}$$



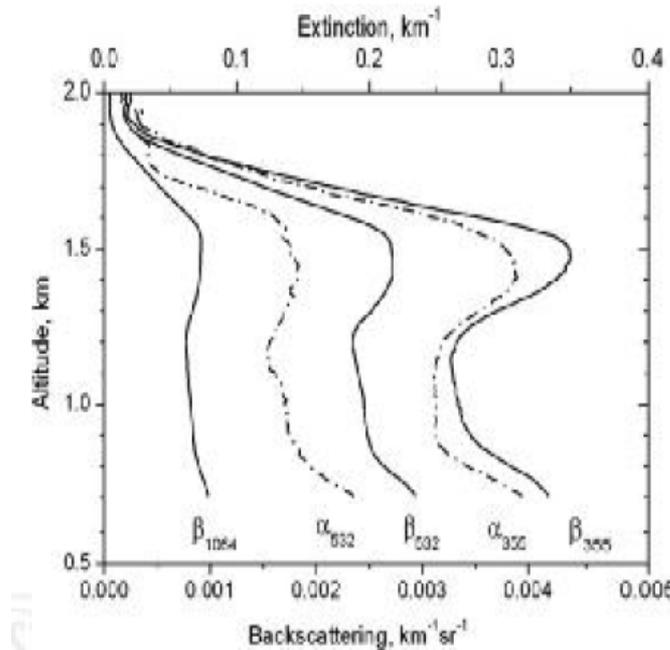
Mesures dans le périphérique de PARIS!

### 3. Restitution des propriétés et microphysiques des aérosols par synergies lidar

- Lidar rétrodiffusion seul ?
- Lidar + Photomètre solaire
- Lidar sol + Lidar spatial/aéroporté
- Lidar + Capteur In situ
- Lidar Raman multi-longueur d'onde

# Lidar multi-longueur d'onde: La synergie $3\beta(z) + 2\alpha(z)$

e.g. [Veselovski et al., 2009, JAOT]



Look-up table  
de propriétés optiques

$$A_{ij} = \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} K_i(m, \lambda, r) B_j(z) dr$$

+

Méthode de régularisation

$$C = (A^T A + \gamma H)^{-1} A^T G$$

Itération: Kernel de Mie  
et distributions en taille

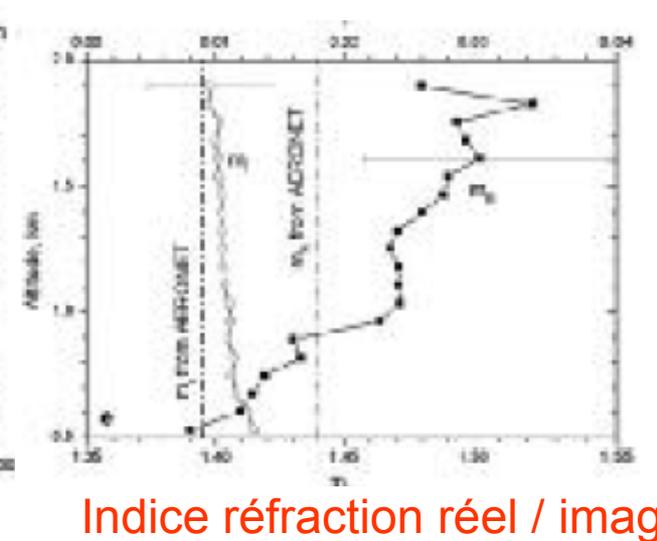
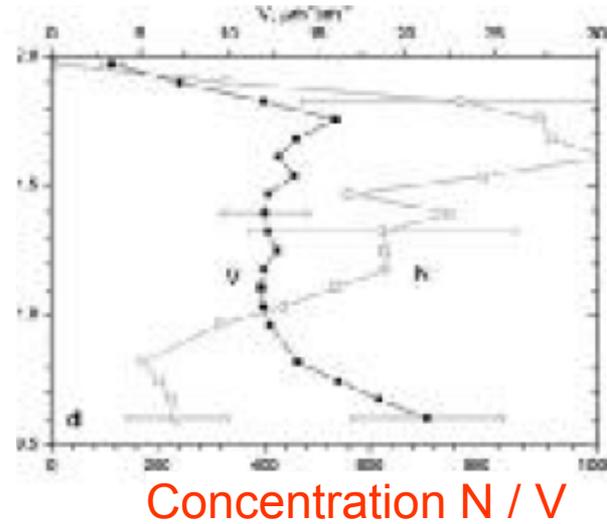
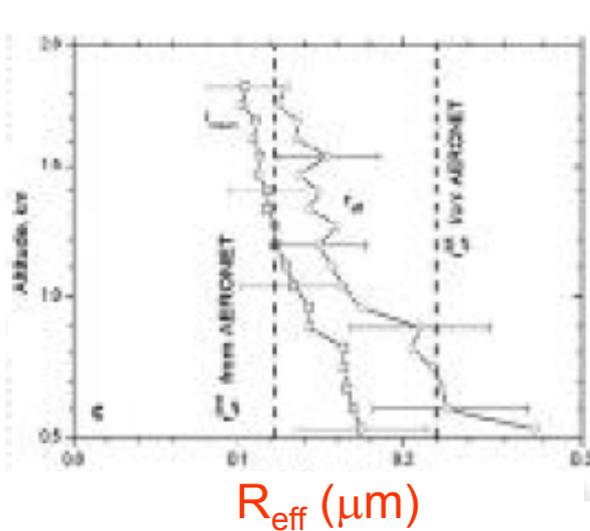
$3\beta(z) + 2\alpha(z)$

Erreur des mesures

# Lidar multi-longueur d'onde: La synergie $3\beta(z) + 2\alpha(z)$

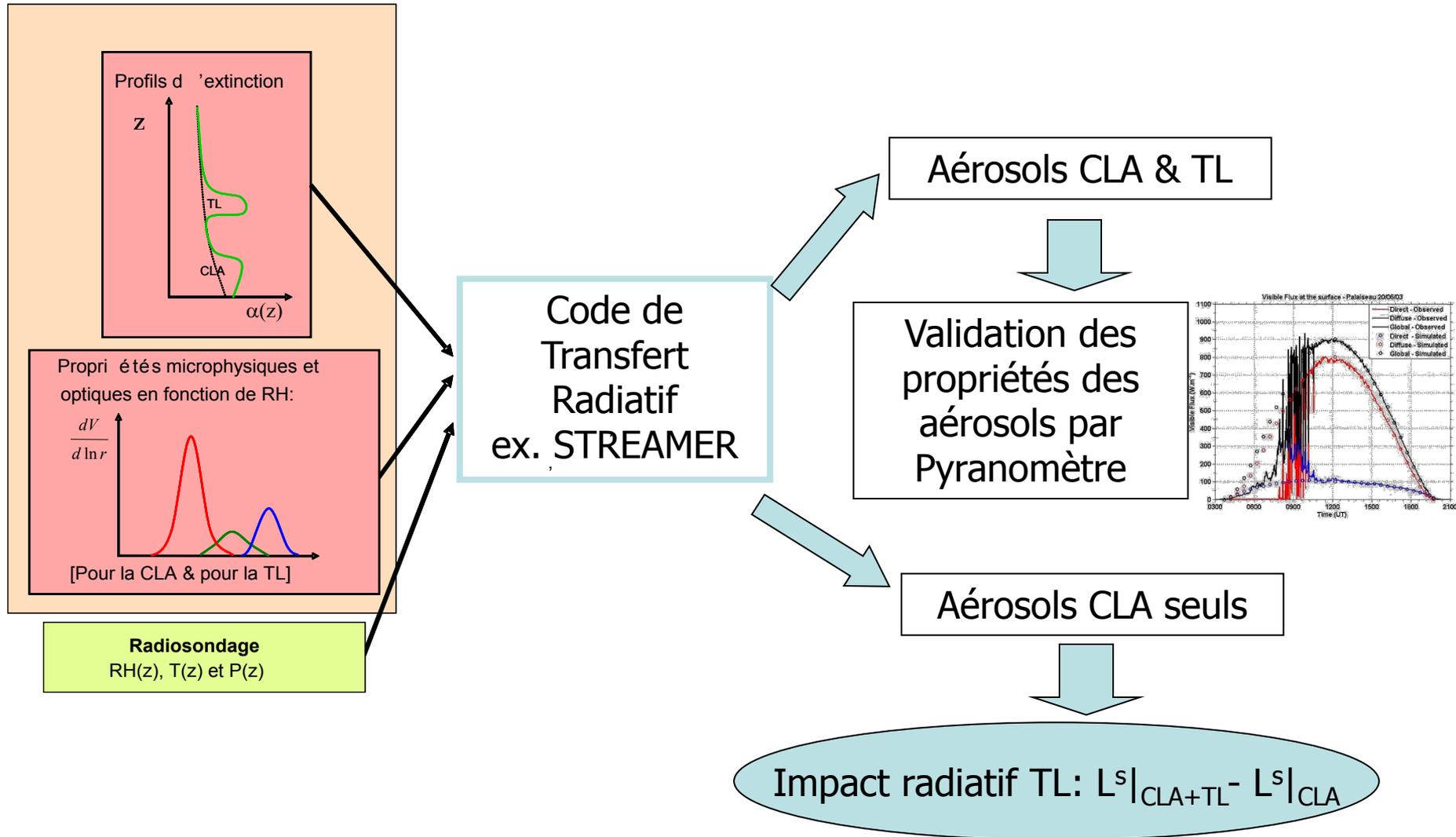
e.g. [Veselovski et al., 2009, JAOT]

Itération pour Restitution simultanée  
de trois profils microphysiques:



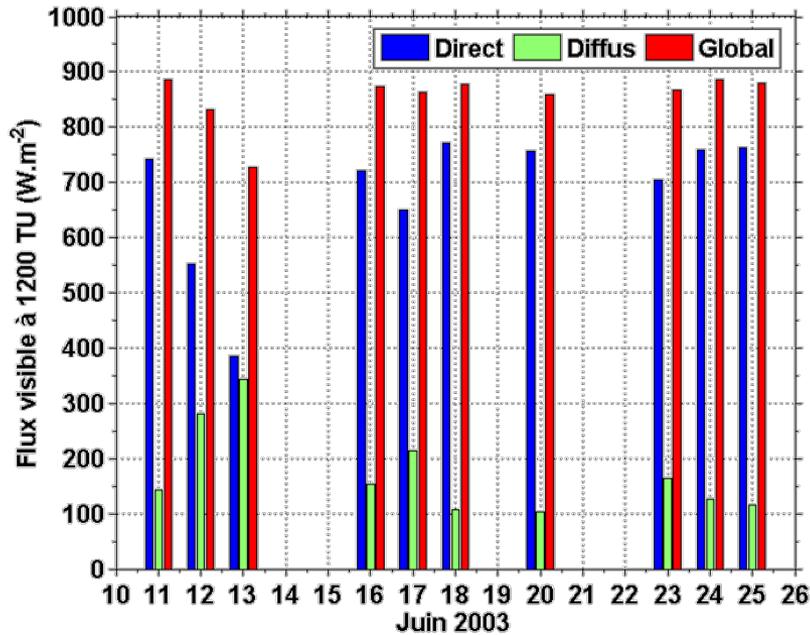
## 4. Estimation de l'impact radiatif des aérosols

# Entrées nécessaires pour estimer de l'impact radiatif des aérosols

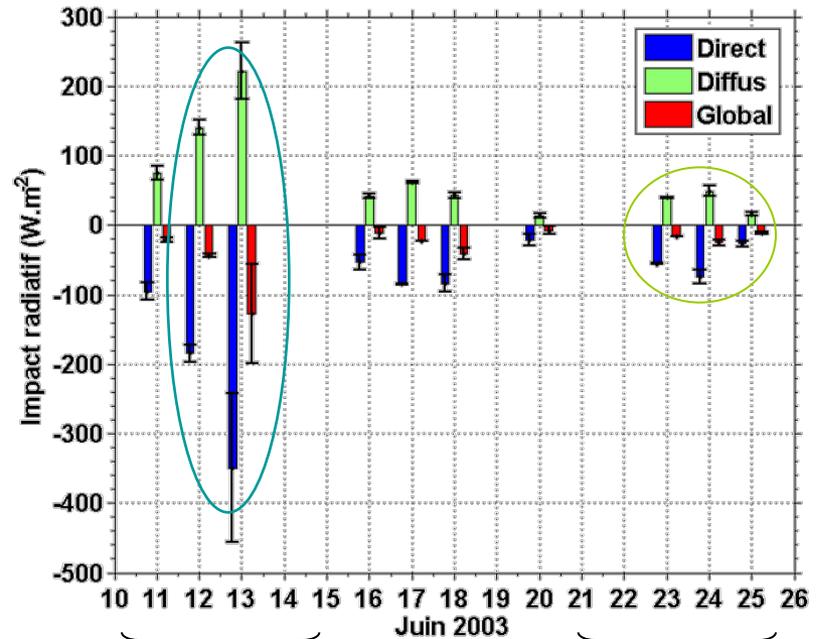


# Exemple d'estimation de l'impact radiatif pour une série d'intrusions de poussières désertiques en IdF [Cuesta, 2006]

- Bilan radiatif visible (surface)
- Impact radiatif des aérosols désertiques



- Forte variabilité des trois flux

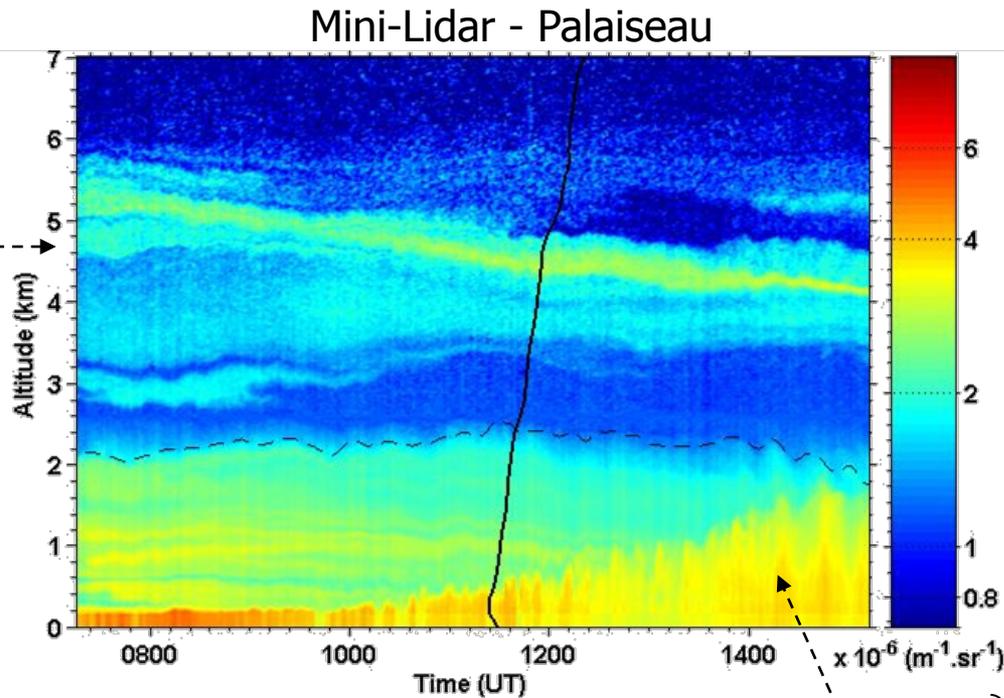


Fort impact sur les 3 flux

Transfert direct ⇒ diffus

# Exemple d'estimation de l'impact radiatif due à un panache de fumée provenant du Portugal, durant la CANICULE 2003

Le 5 Août 2003

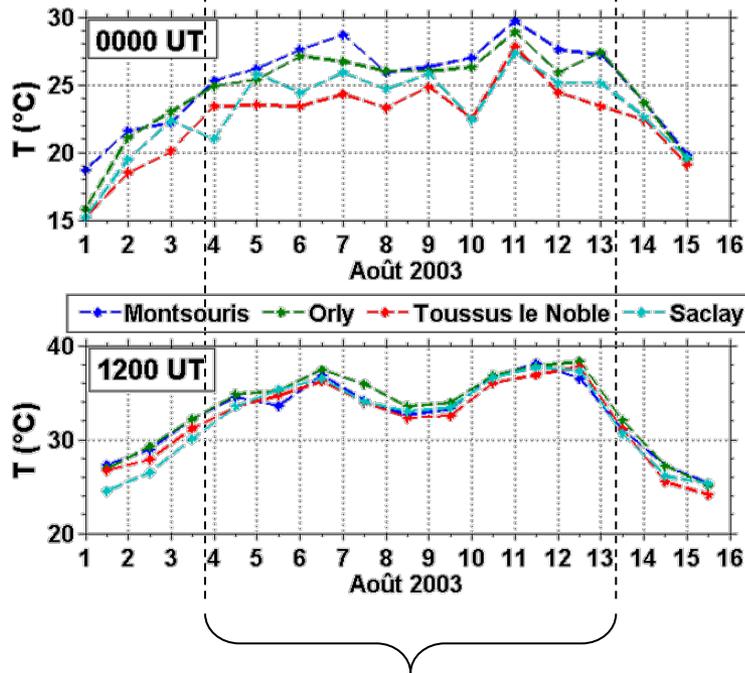


- 1. Développement de la couche de mélange lent et tardif**
- 2. Panache d'aérosols de feux de biomasse dans la TL**

Lien entre les deux phénomènes?

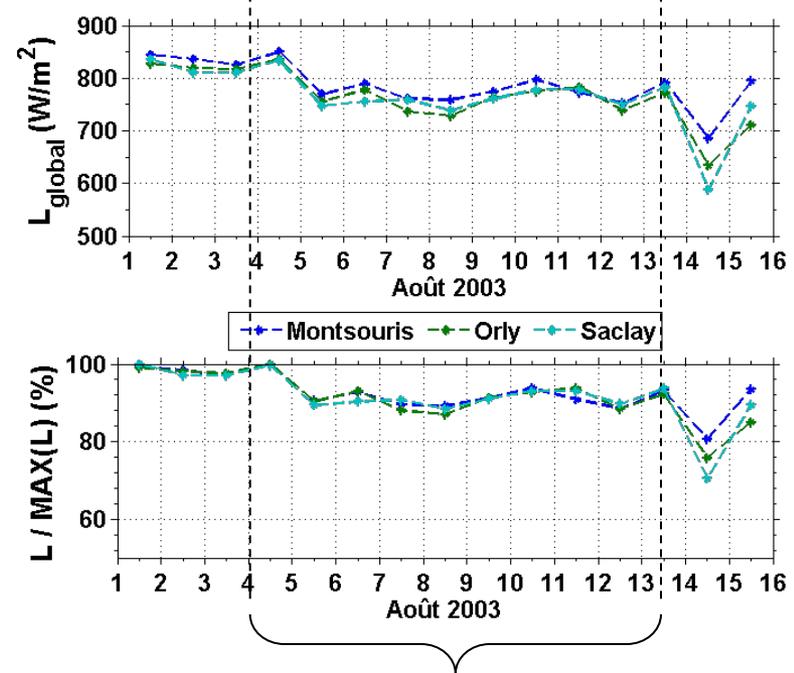
# L'arrivée de la vague de chaleur

- La température en surface :



- Vague de chaleur le jour et la nuit .
- Refroidissement relatif du 7 au 9 Août.

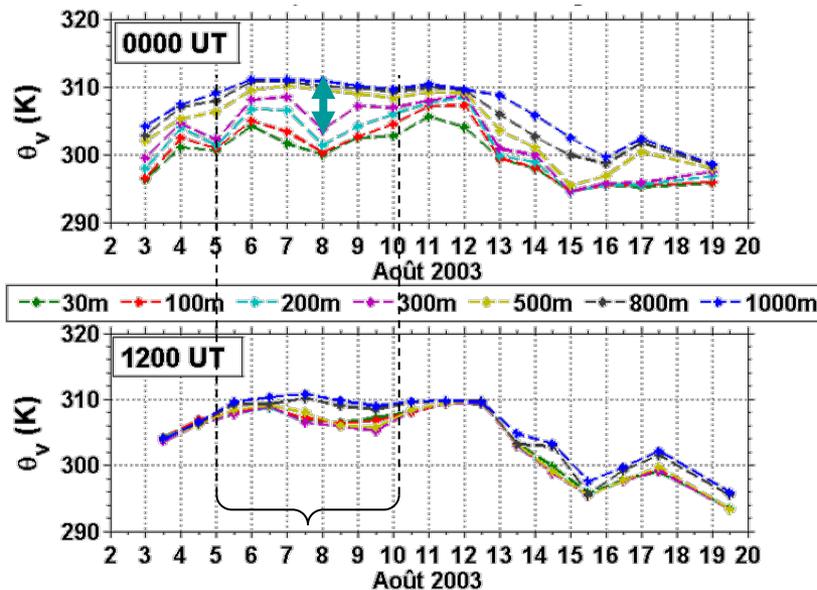
- Le flux radiatif global en surface :



- Réduction de 10% du flux global visible

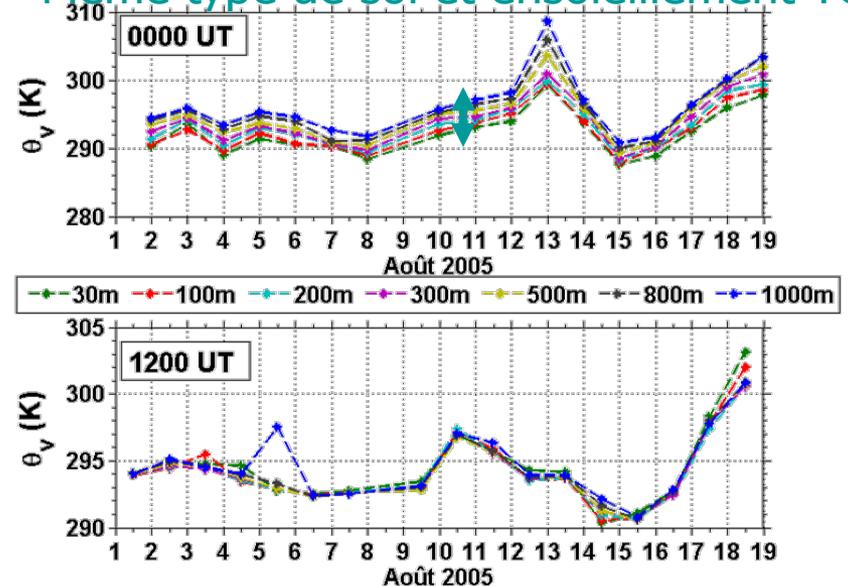
# Les conditions de stabilité de la CLA

- En Août 2003: Cas de canicule + Aérosols dans la TL



- Refroidissement localisé dans les basses couches  
⇒ Forte augmentation de la stratification la nuit entre le 5 et le 10 Août : jusqu'à 20/25 C/km

- En Août 2005 (bien documenté): Cas normal  
Même type de sol et ensoleillement TOA



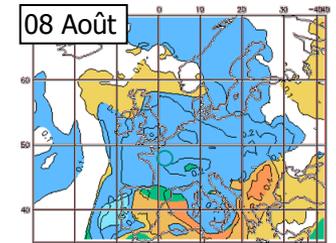
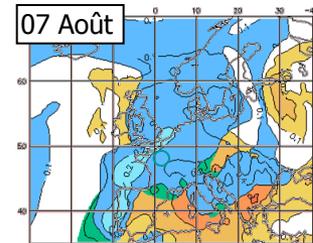
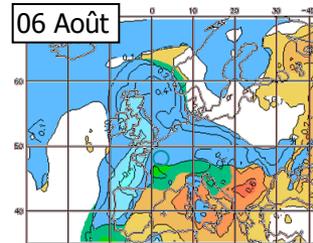
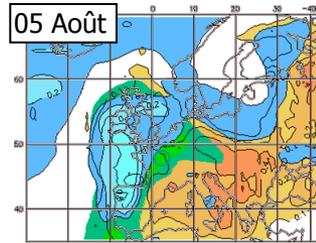
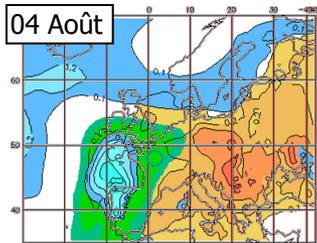
- Stratification la nuit : < 7 C / km

# L'arrivée du panache d'aérosols dans la TL

- RapidFire MODIS:

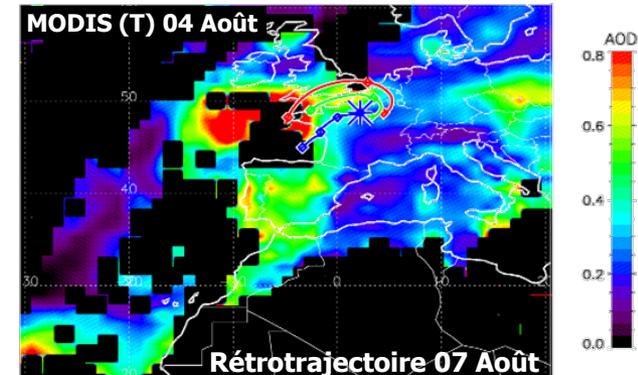
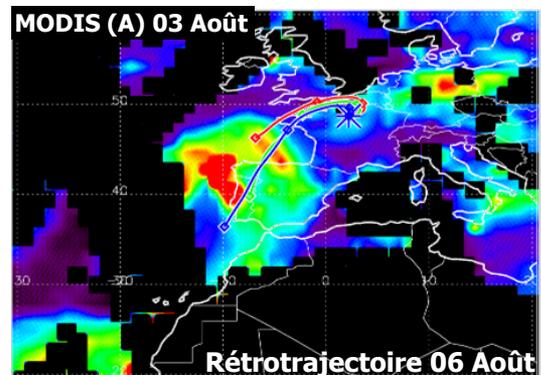
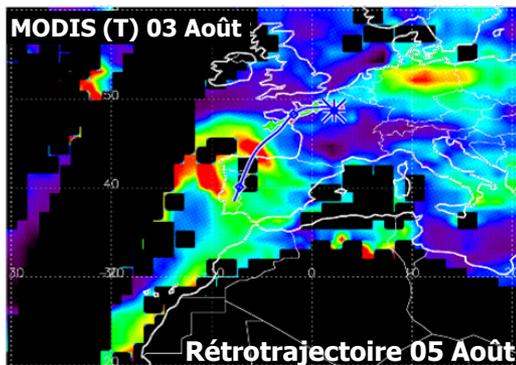
⇒ Feux intenses au Portugal le 3 et 4 Août

- Modèle NAAPS:



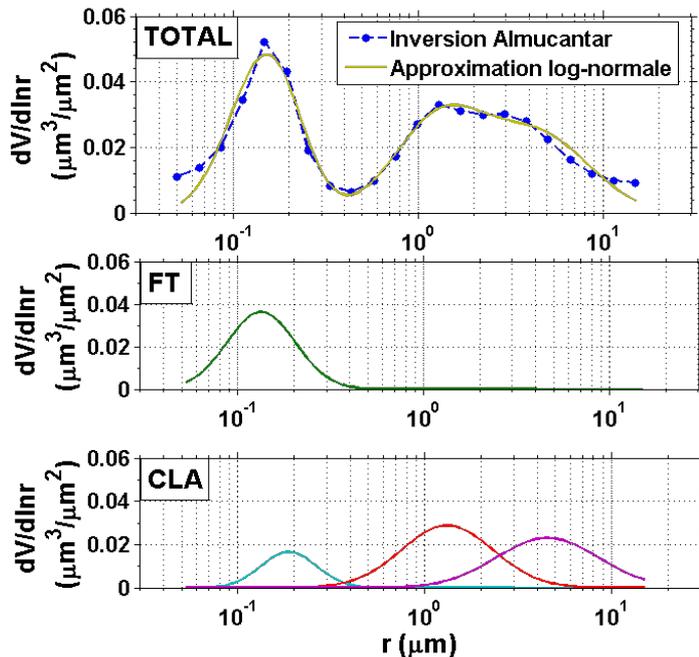
⇒ Permanence du panache du 5 Août au >8 Août

- AOD MODIS + HYSPLIT:



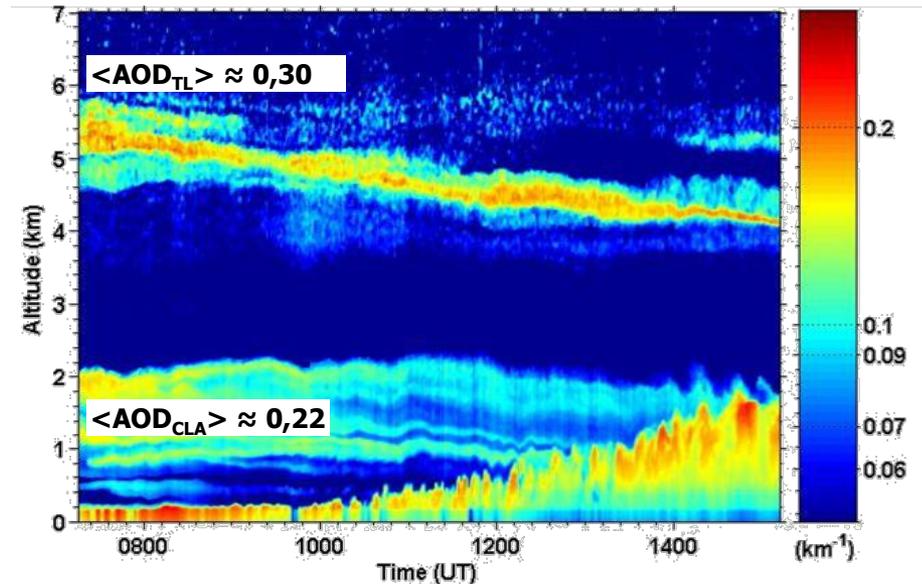
# Le panache d'aérosols de feux de Portugal

- Décomposition de la répartition en taille :



- Panache de la TL  $\Rightarrow$  Mode Fin 1
- Dans la CLA  $\Rightarrow$  Mode Fin 2, Grossier 1 et 2

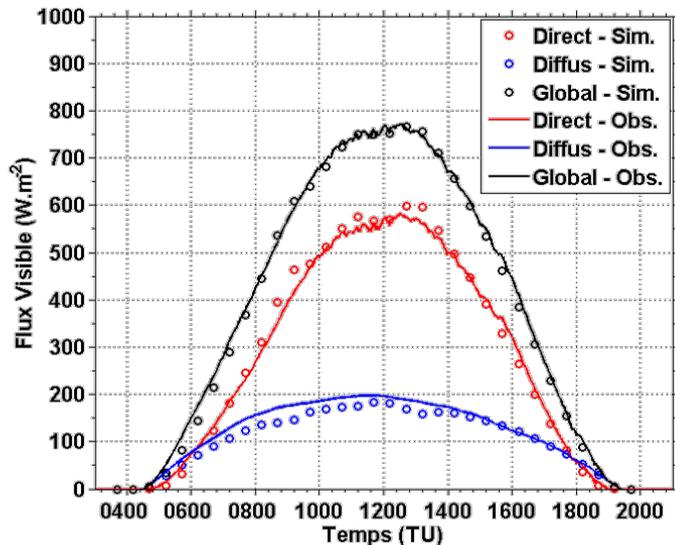
- Profils d'extinction restitués par L&A :



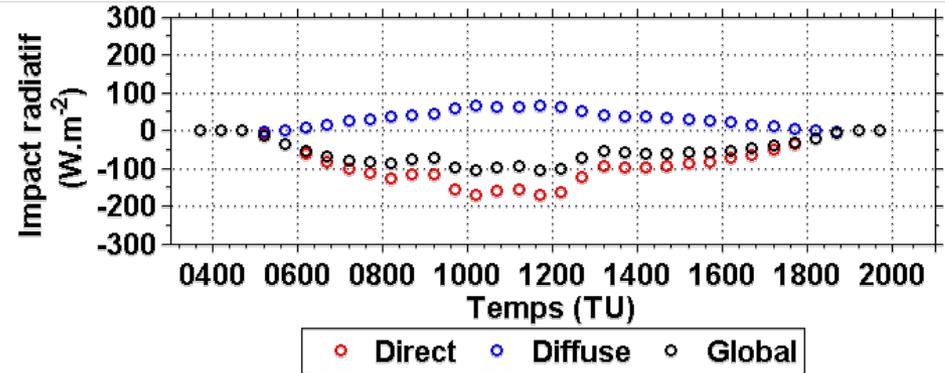
- Indice de réfraction de la CLA :  
80 % aérosols soluble en eau et 20 % Carbone de suie  
[D'Almeida et al, 1991; Petzhold et al., 2002]

# Le bilan radiatif au sol (le 05 Août)

- Simulation STREAMER / Observations des flux radiatifs en surface :



- **Impact radiatif** produit par les aérosols de feux de biomasse :



⇒ Jusqu'à  $-180 W.m^{-2}$  (direct),  $+80 W.m^{-2}$  (diffus) et  $-100 W.m^{-2}$  (global) -> absorption

⇒  $-10\%$  du flux global (coïncident avec la réduction à partir de 5 Août)

⇒ Dans l'IR ( $4-40\mu m$ ) l'impact des aérosols CLA et/ou TL est  $< 2 W.m^{-2}$

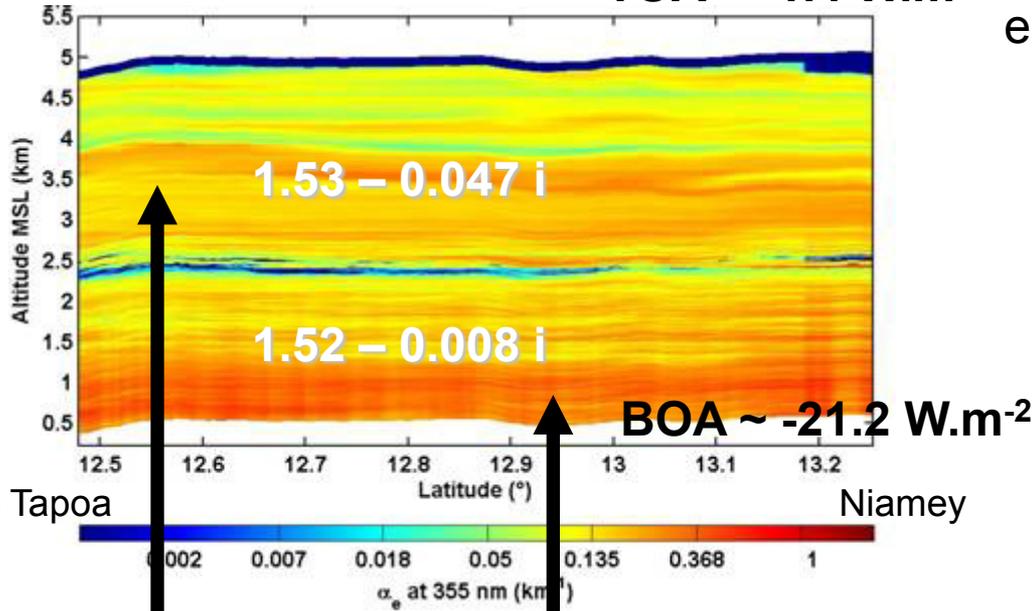
# Un autre exemple dans la zone sahélienne

[Raut and Chazette, ACP, 2009]



TOA ~ -1.4 W.m<sup>-2</sup>

Meilleur ajustement des flux solaires en surface obtenu par complémentarité des plateformes d'observation

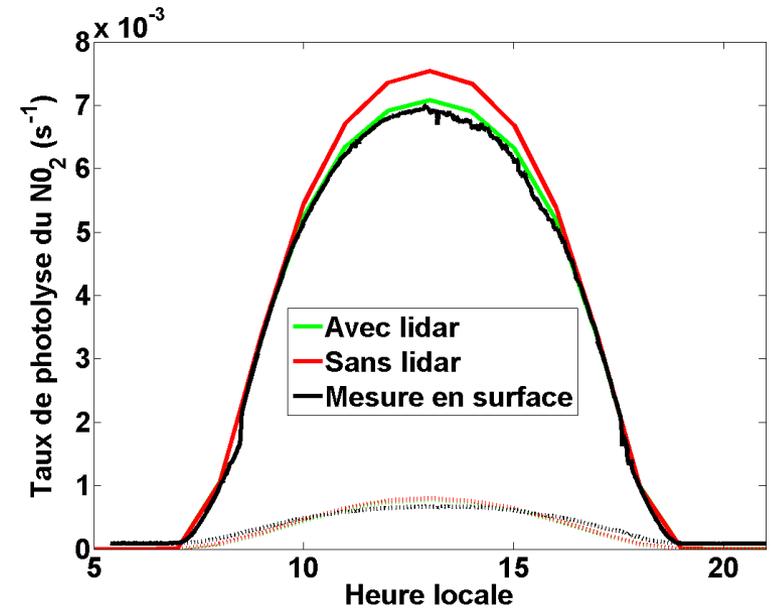


La Tapoa

Niamey

Aérosols de feux de biomasse du Bénin/Nigeria

Poussières désertiques du Sahara

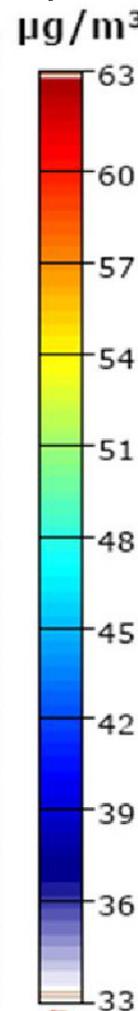
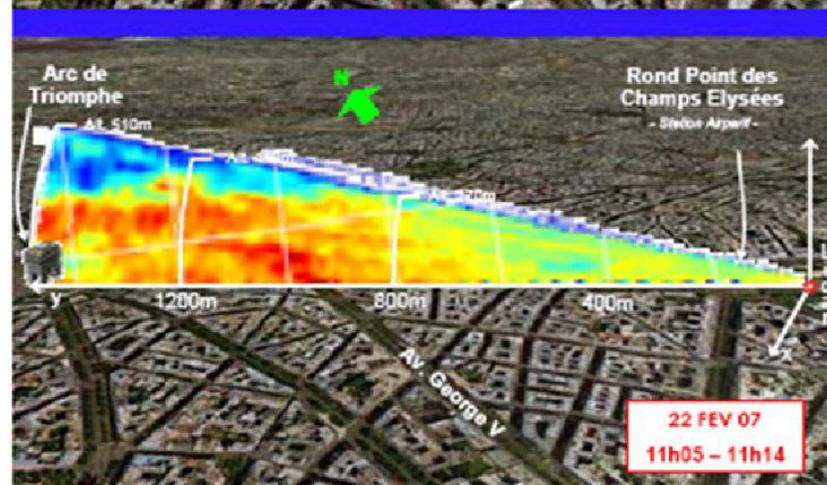
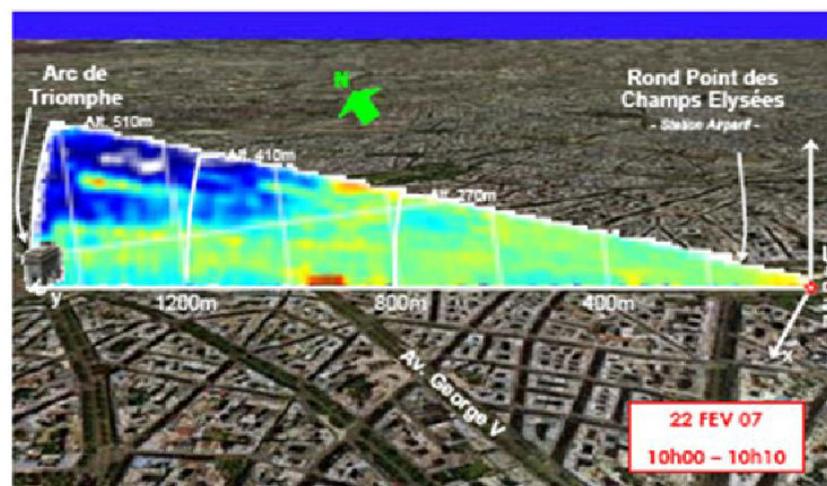
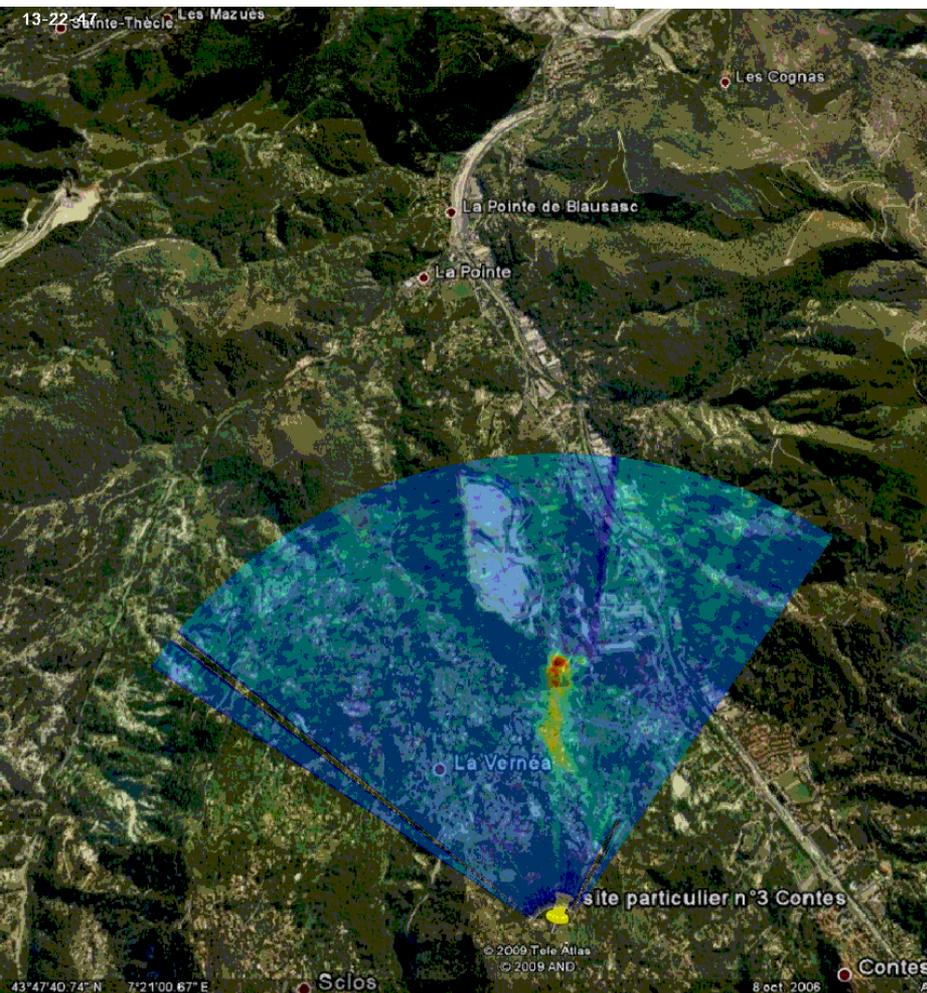


## 5. Traceurs de sources de particules par lidar

# Lidars rétrodiffusion compacts à balayage 3D



LEOSPHERE  
Lidar Environmental Observations

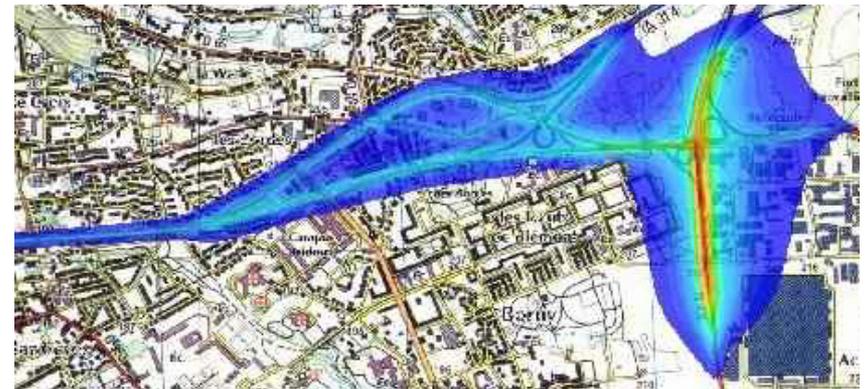
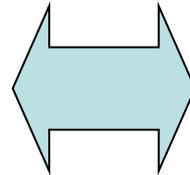
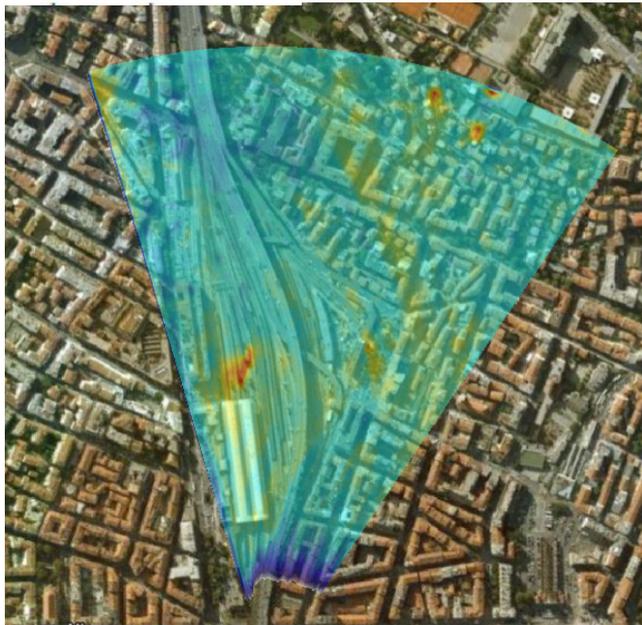


In collaboration with AIRPARIF

# Lidars rétrodiffusion compacts à balayage: synergie avec la modélisation

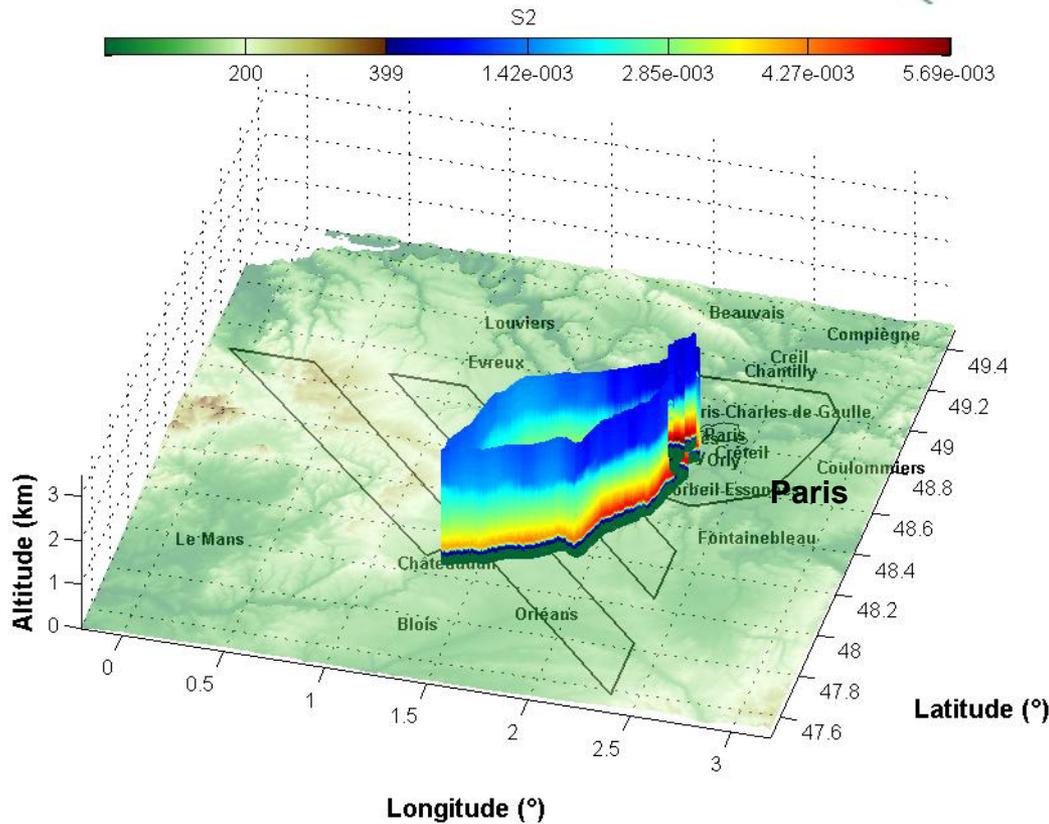


Modèle de qualité de  
l'air



- Validation et raffinement spatiale et temporelle des **cadastre** des émissions de particules
- **Assimilation** des profils verticaux en masse: technique prometteuse pour améliorer les prévisions

# Macrostructure du panache de pollution urbaine: lidar mobile

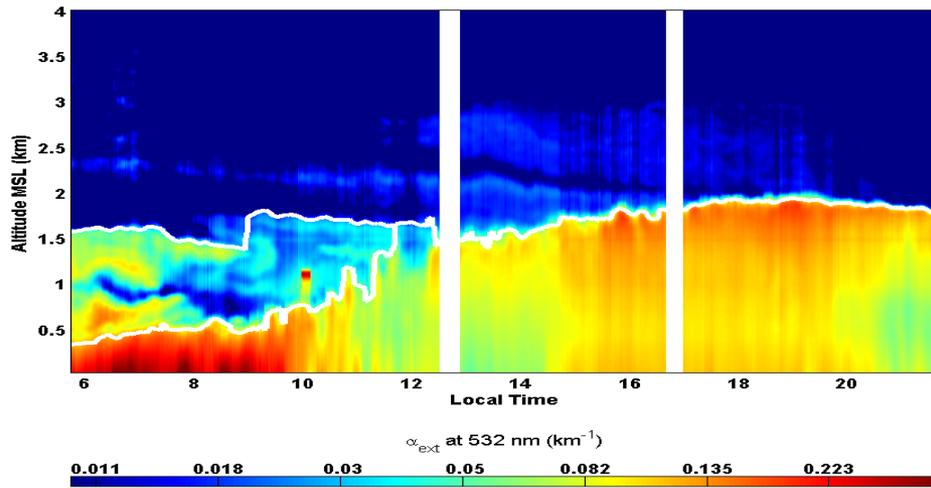


*En surface (in situ)*  
*Optique ↔ Masse*

# Une autre application du lidar pour la qualité de l'air: facteurs d'émission des polluants

[Chazette et al., 2008, ILRC]

## Structure de la CLA

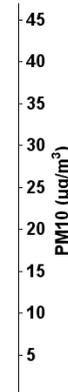
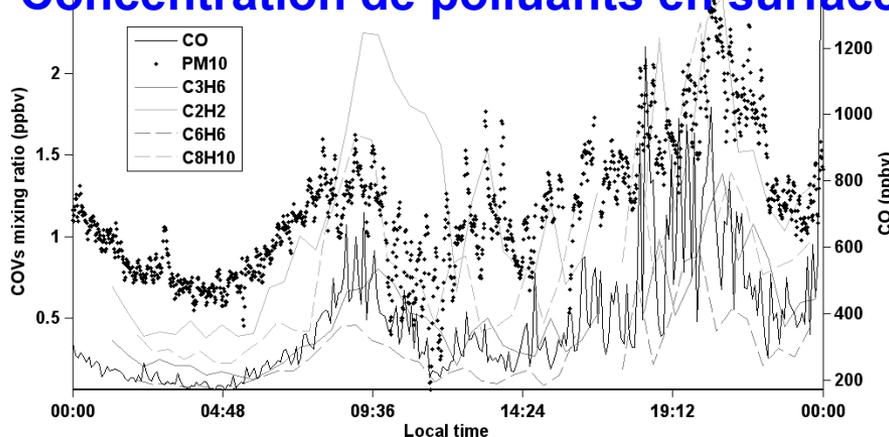


## Facteur d'émission: par bilan de masse dans le réservoir de la CLA



| Pollutant       | EF ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ ) | Observations (LISAIR) |       |       |       | EF register       |                    |       |                   |                    |       |
|-----------------|--|-----------------------|-------|-------|-------|-------------------|--------------------|-------|-------------------|--------------------|-------|
|                 |  | a. m.                 |       | p. m. |       | a. m.             |                    |       | p. m.             |                    |       |
|                 |  | Moy                   | rms   | Moy   | rms   | 1 km <sup>2</sup> | 10 km <sup>2</sup> | rms   | 1 km <sup>2</sup> | 10 km <sup>2</sup> | rms   |
| Particles       | PM10 <sub>(50°C)</sub>                   | 0.43                  | 0.29  | 0.82  | 0.19  | 0.52              | 0.73               | 0.76  | 0.40              | 0.52               | 0.51  |
| Black carbon    | BC                                       | 0.21                  | 0.12  | 0.22  | -     | 0.10              | 0.13               | 0.12  | 0.08              | 0.08               | 0.07  |
| Carbon monoxide | CO                                       | 27.1                  | 8.7   | 28.3  | 10.3  | 47.9              | 27.4               | 12.4  | 39.2              | 21.7               | 10.1  |
| Ethylene        | C2H4                                     | 0.11                  | 0.04  | 0.12  | 0.06  | 0.41              | 0.29               | 0.14  | 0.33              | 0.23               | 0.10  |
| Propane         | C3H8                                     | 0.09                  | 0.07  | 0.056 | 0.05  | 0.014             | 0.015              | 0.013 | 0.011             | 0.010              | 0.007 |
| Propene         | C3H6                                     | 0.073                 | 0.027 | 0.11  | 0.052 | 0.19              | 0.12               | 0.056 | 0.15              | 0.098              | 0.045 |
| Iso butane      | iC4H10                                   | 0.16                  | 0.18  | 0.085 | 0.035 | 0.18              | 0.17               | 0.077 | 0.14              | 0.13               | 0.06  |
| Acetylene       | C2H2                                     | 0.20                  | 0.093 | 0.094 | 0.089 | 0.21              | 0.14               | 0.065 | 0.17              | 0.11               | 0.051 |
| Iso pentane     | iC5H12                                   | 0.45                  | 0.24  | 0.77  | 0.27  | 0.49              | 0.30               | 0.14  | 0.39              | 0.24               | 0.11  |
| Hexane          | C6H14                                    | 0.057                 | 0.018 | 0.20  | 0.15  | 0.18              | 0.15               | 0.085 | 0.14              | 0.11               | 0.057 |
| Benzene         | C6H6                                     | 0.11                  | 0.026 | 0.22  | 0.11  | 0.22              | 0.16               | 0.072 | 0.18              | 0.13               | 0.056 |
| Toluene         | C7H8                                     | 0.64                  | 0.16  | 0.68  | 0.31  | 0.75              | 0.51               | 0.23  | 0.61              | 0.40               | 0.18  |

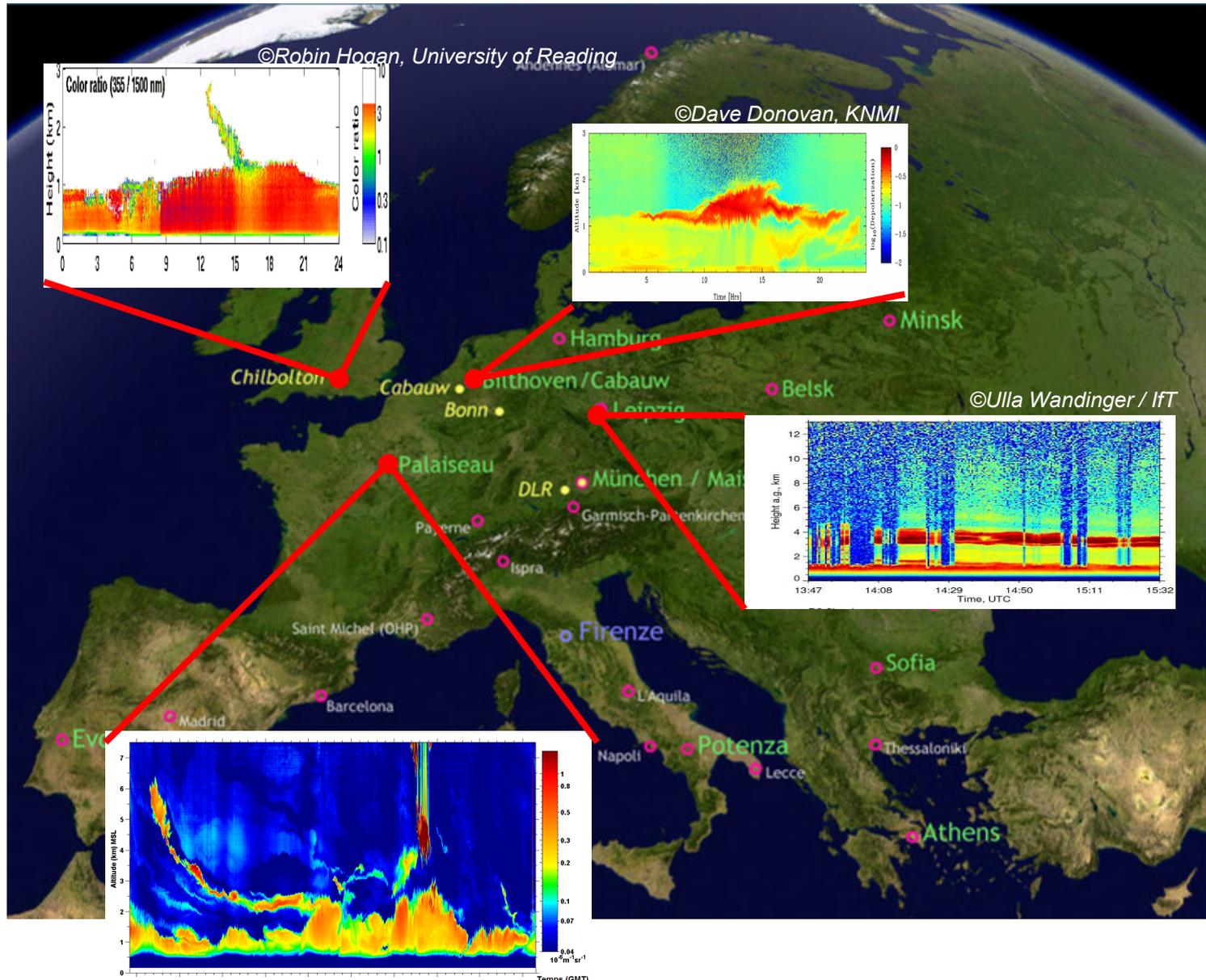
## Concentration de polluants en surface



## 6. Perspectives:

Réseaux de lidar et  
Nouveaux lidars aérosols spatiaux

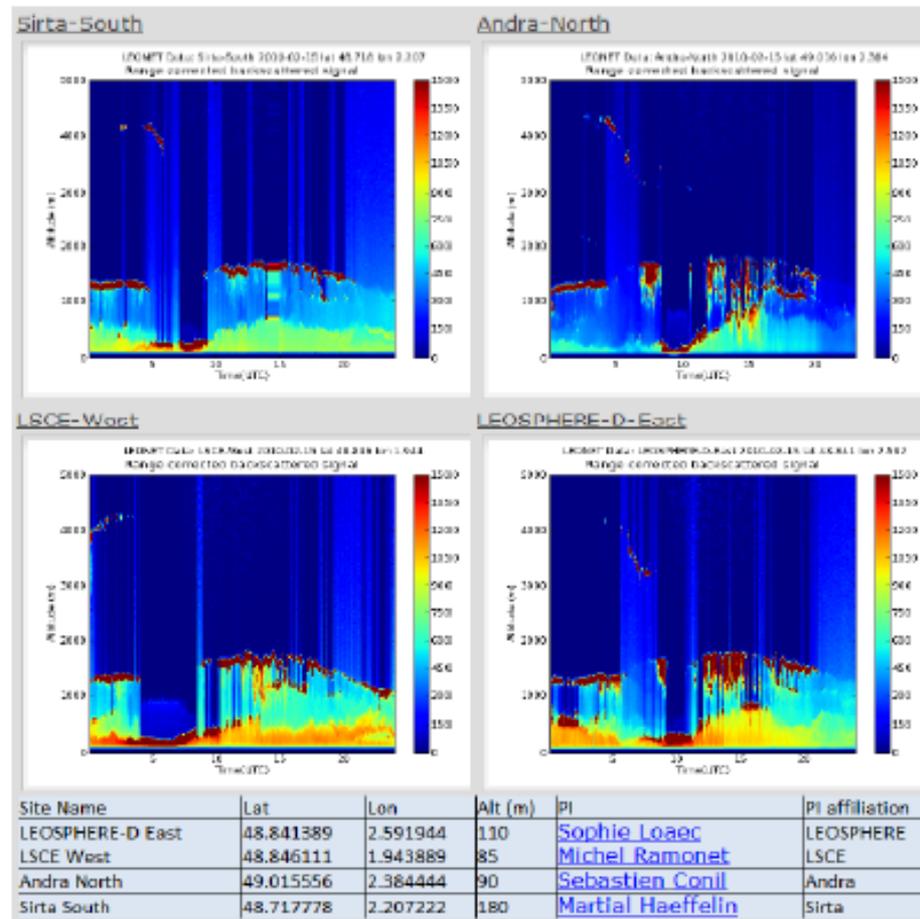
# Réseau Lidar aérosol Européen: EARLINET



# Le réseau LEONET durant MEGAPOLI



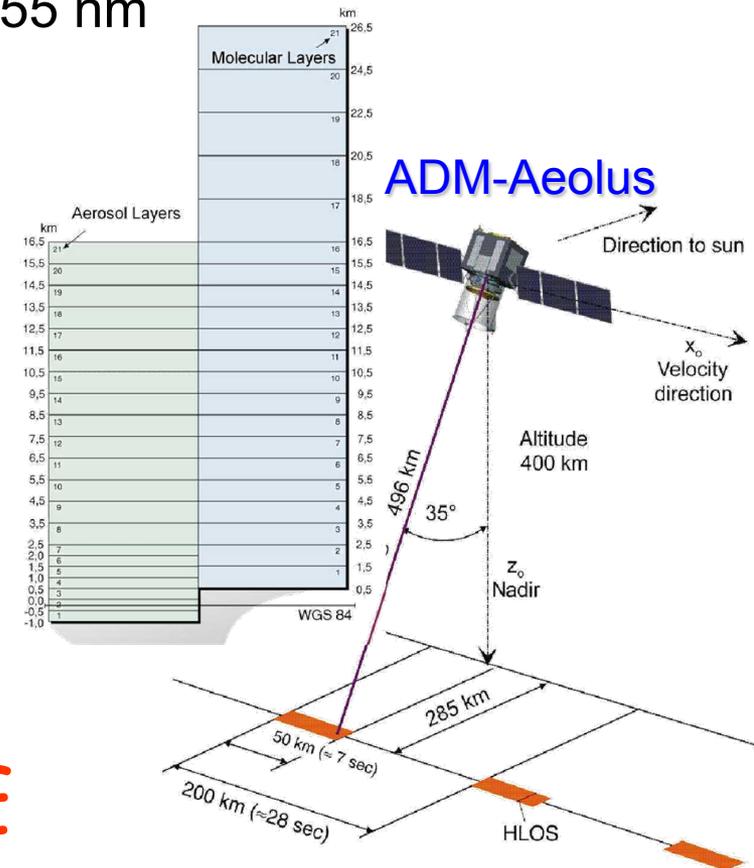
Figure 1 : ALS Lidar deployed around Paris.



# Perspectives: Lidar spatial ADM-Aeolus ⇒ Doppler and HSRL

- ADM-AEOLUS est un lidar Doppler à Haute Resolution Spectrale (**HSRL**) providing two (none independent) pieces of information at one single wavelength (355 nm):
  - on molecules: Rayleigh channel at 355 nm
  - on particles: Mie channel at 355 nm

▪ **But to obtain reliable wind retrievals, raw data are integrated Lidar signals in 23 vertical range bins** of 500 m to 2 km of depth



## Perspectives: EarthCARE

Voir les cours P.H. Flamant et J. Pelon

# Quelques conclusions générales:

- L'impact des aérosols sur la qualité de l'air (concentration et sources à proximité des populations) et le climat (forçages radiatifs) est étroitement lié à leur répartition spatiale et ses propriétés physiques.
- Pour les étudier, le lidar s'avère un outil incontournable: il est utilisé pour les observations locales (petite échelle) et régionale (aéroporté) et il a un bon avenir pour la moyenne et grande échelle par les systèmes satellites et les réseaux
- Mais pour l'utiliser quantitativement (coefficient d'extinction, masse, taille), il est nécessaire soit des lidars complexes (multi-longueur d'onde Raman ou Haute résolution spectrale) ou de le combiner avec d'autres techniques radiométriques (photomètres solaires) ou in situ (néphélomètres et granulomètres).