



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**

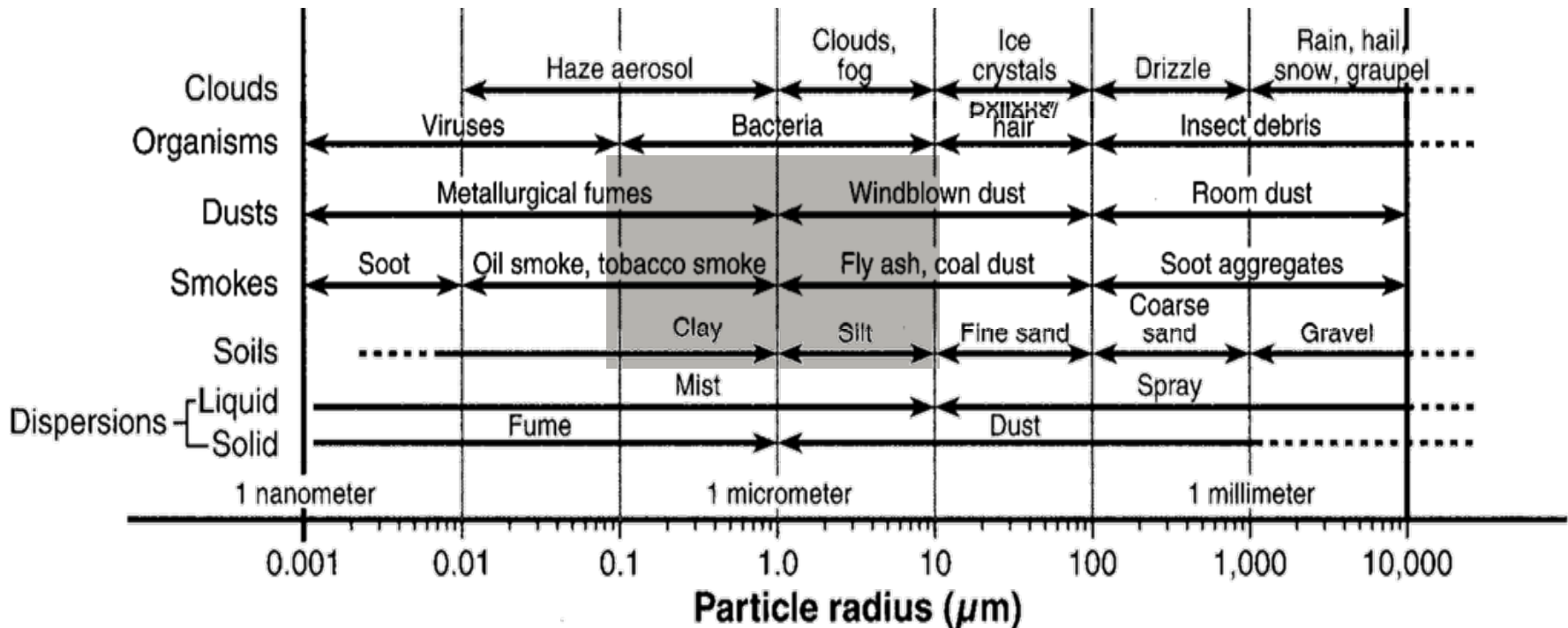
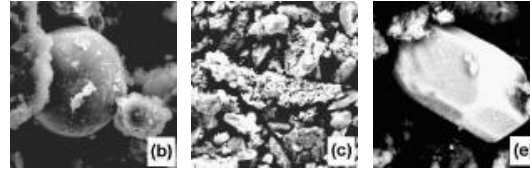
- **Direct :**
Diffusion + Absorption + Émission (IR)
- Indirect :
Cycle de vie des nuages (CCN, IN)
- Semi-direct :
Profil Température / humidité

- Connaissance scientifique faible
- Forçage climatique, avec les gaz à effet de serre

[GIEC, 2007]

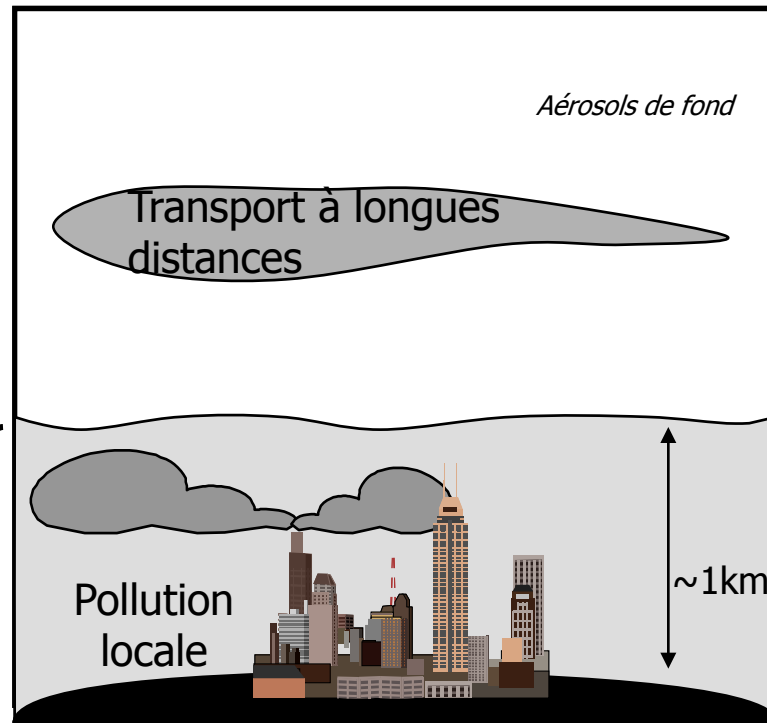
Qu'est-ce que c'est que l'aérosol ?

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



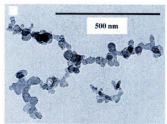
Où se trouvent les aérosols dans l'atmosphère?

Aux latitudes moyennes (ex. Paris):



Couche Limite Atmosphérique (CLA)

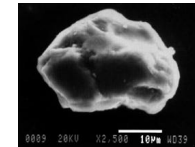
- L'aérosol urbain



(sulfate, nitrate, suie, ...)

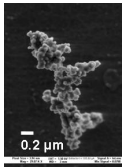
Troposphère Libre (TL)

- L'aérosol désertique



(minéraux)

- L'aérosol de feux de biomasse

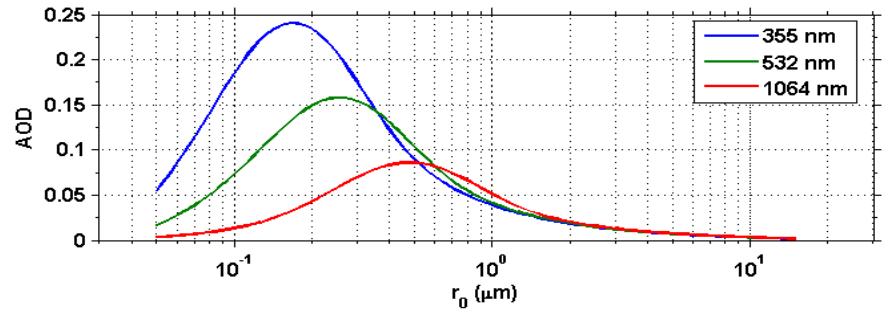


(carboné)

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

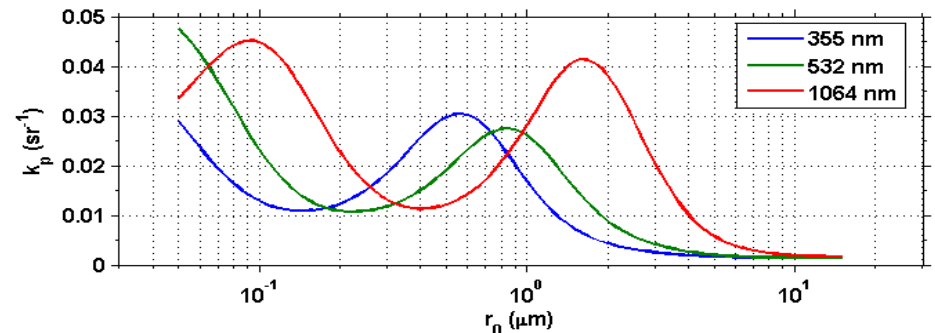
$$\beta_p(z) = \int_{r_{min}}^{r_{max}} \pi \cdot r^2 Q_{back}(2\pi r/\lambda, m, z) \frac{dN}{d \ln r}(r, z).d \ln r$$

Section efficace

Répartition en taille

Rapport rétrodiffusion / extinction

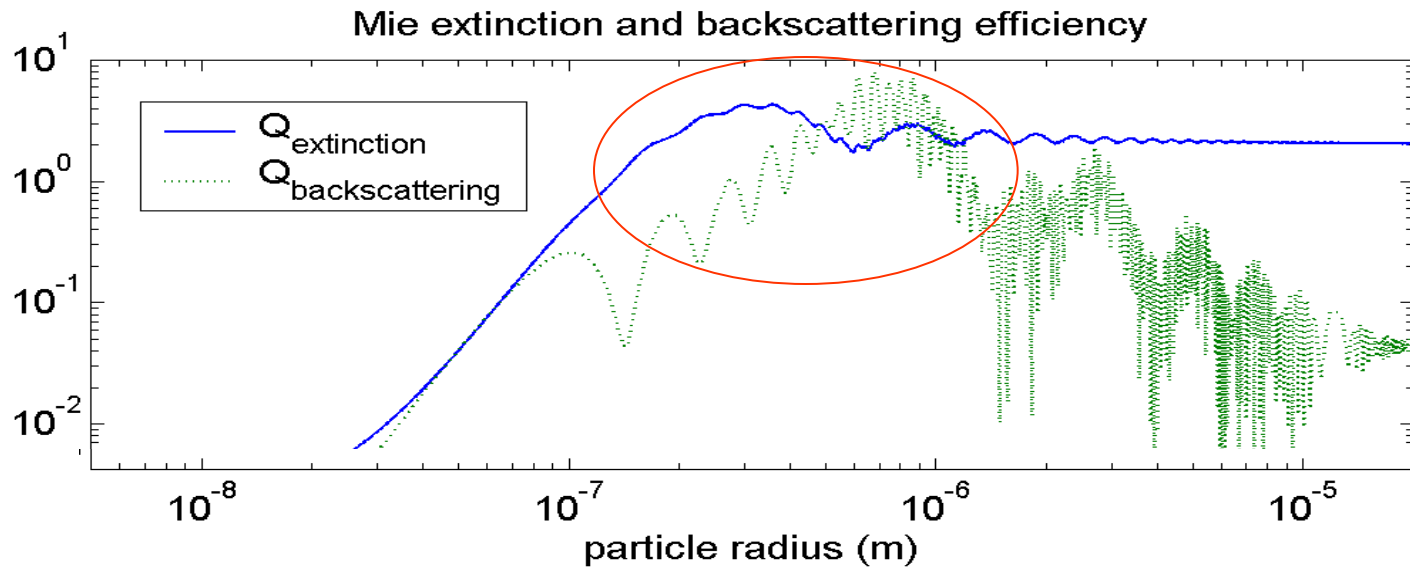
$$k_p(z) = \frac{\beta_p(z)}{\alpha_p(z)}$$



Diffusion de Mie et diffusion de Rayleigh

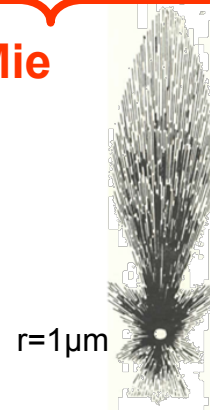
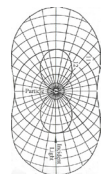
$$\lambda_{\text{light}} = 532 \text{ nm}$$

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



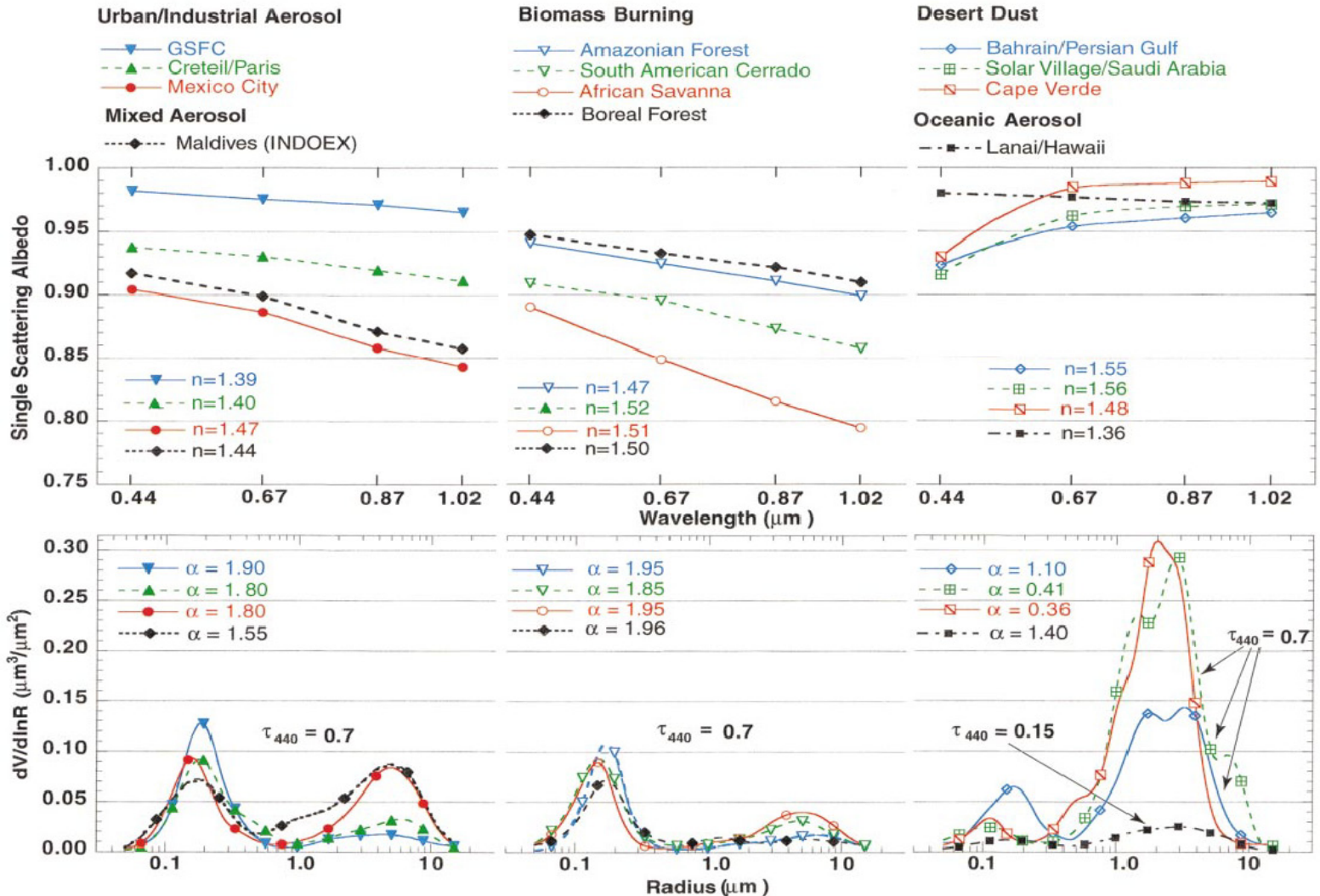
Rayleigh Mie Géométrique

Diagramme de diffusion



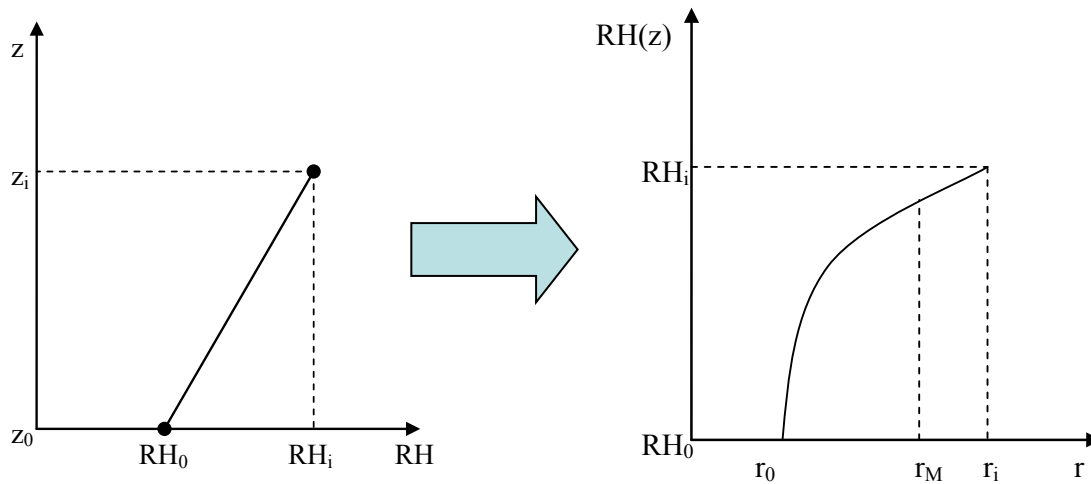
Propriétés optiques et microphysiques de chaque type d'aérosol ?

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



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

Une autre source de variabilité: Propriétés hygroscopiques



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

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

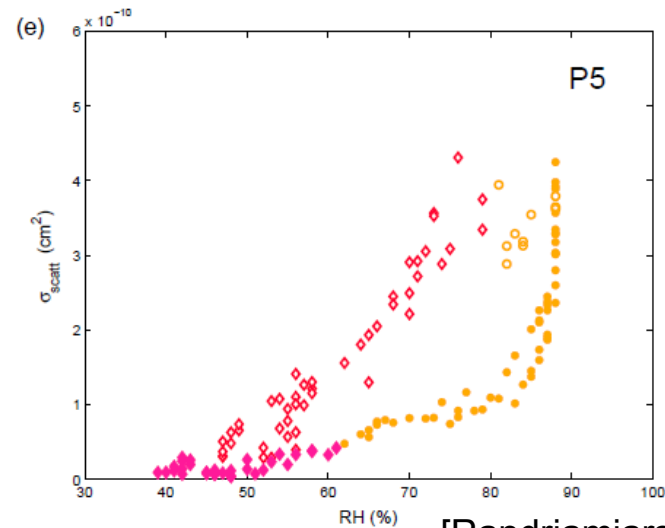
Coefficient de Hänel ε :

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?

- Composition chimique
- Propriétés microphysiques
- Propriétés optiques
- Transport à grande échelle
- Profils verticaux et répartition 3D

Capteurs in situ et analyses chimiques

Radiomètre et photomètre

LIDAR aérosols

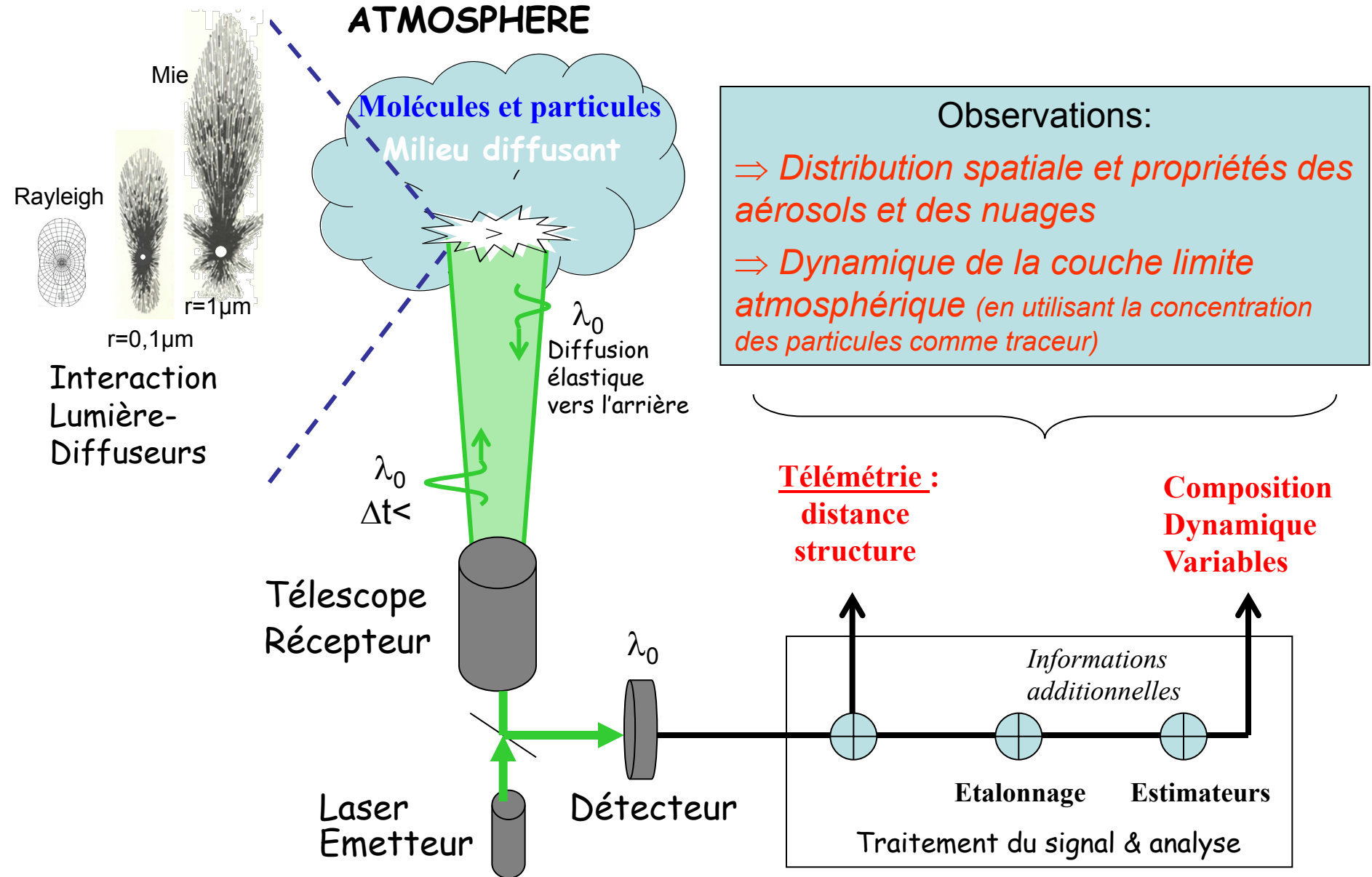
Lidar rétrodiffusion

Lidar Raman multi-longueur d'onde

Lidar Haute résolution spectrale

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

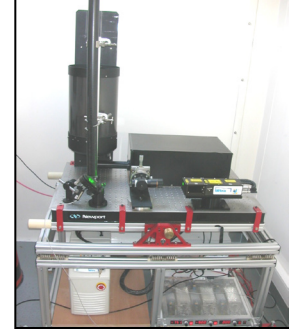
$$\alpha_m(z) \cong 1,66 \left(\frac{550nm}{\lambda}\right)^{4,09} \left(\frac{p(z)}{1013Pa} \frac{288K}{T(z)}\right) 10^{-5} m^{-1}$$

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

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

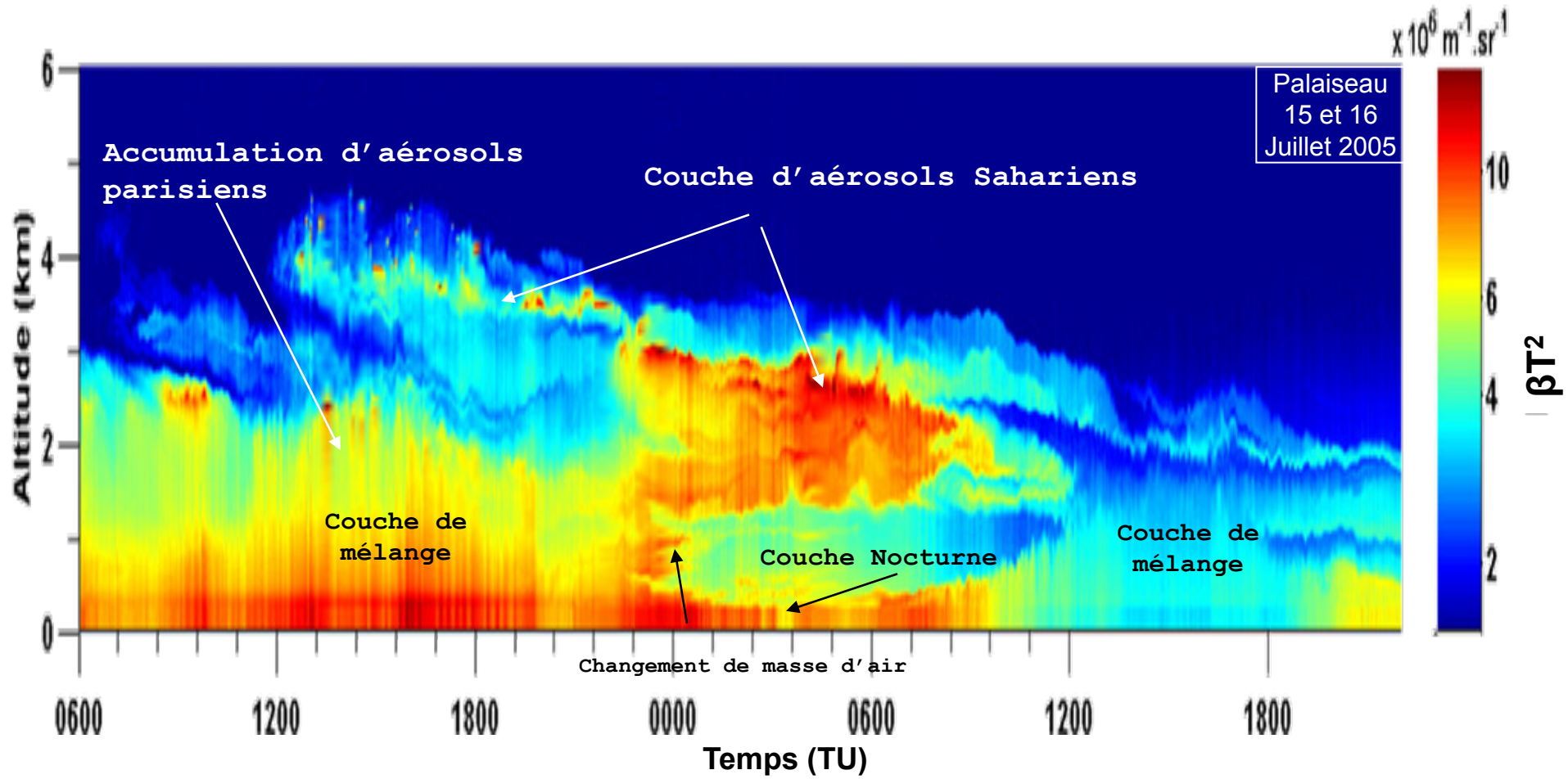


1) Coefficient de rétrodiffusion apparente

Distribution spatiale

Identification de couches (études qualitatives en concentration)

(J. Cuesta, P.H. Flamant)

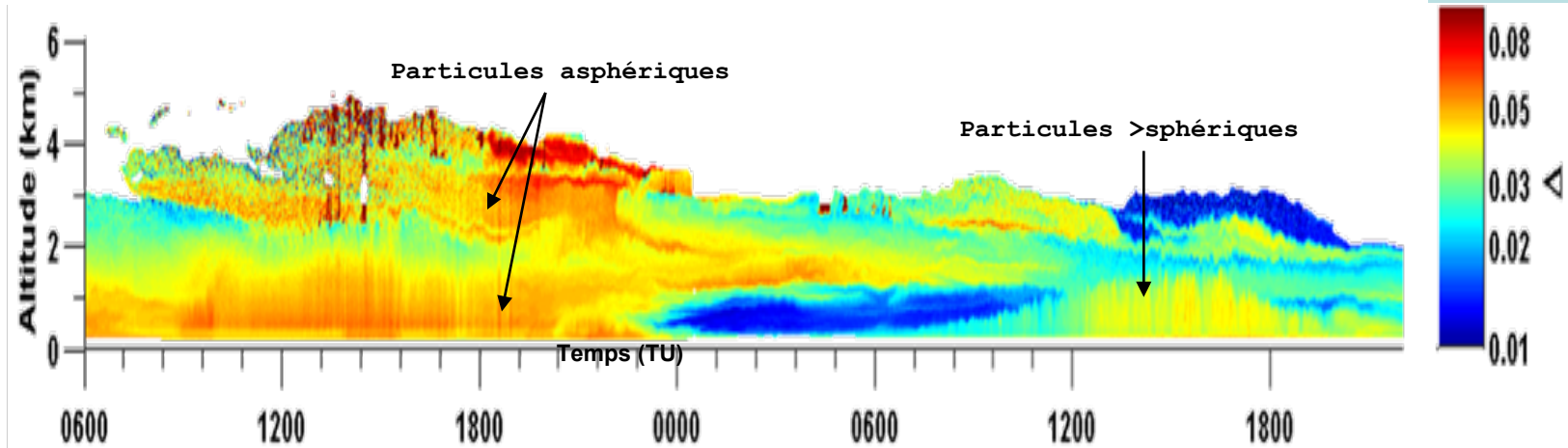


Le Lidar rétrodiffusion élastique "MOBILIS"

2) Rapport de dépolarisation

Indice de forme et de changement de type de particules

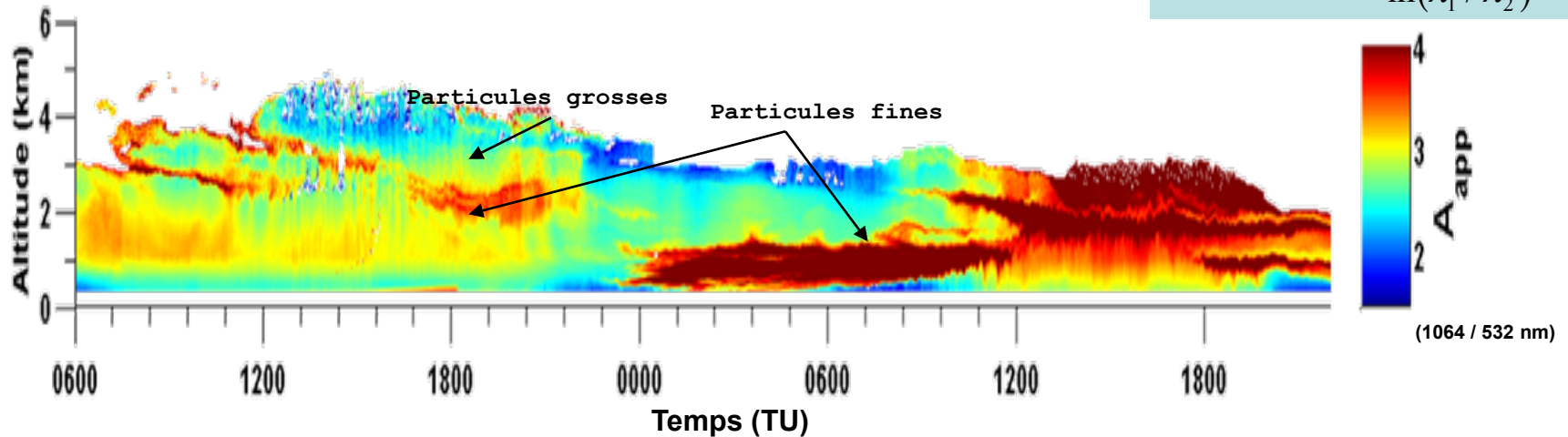
$$\Delta(z) = \frac{\beta^{app}_{\perp}(z)}{\beta^{app}_{\parallel}(z)}$$



3) Rapport de couleurs 532 / 1064 nm

Indice de taille

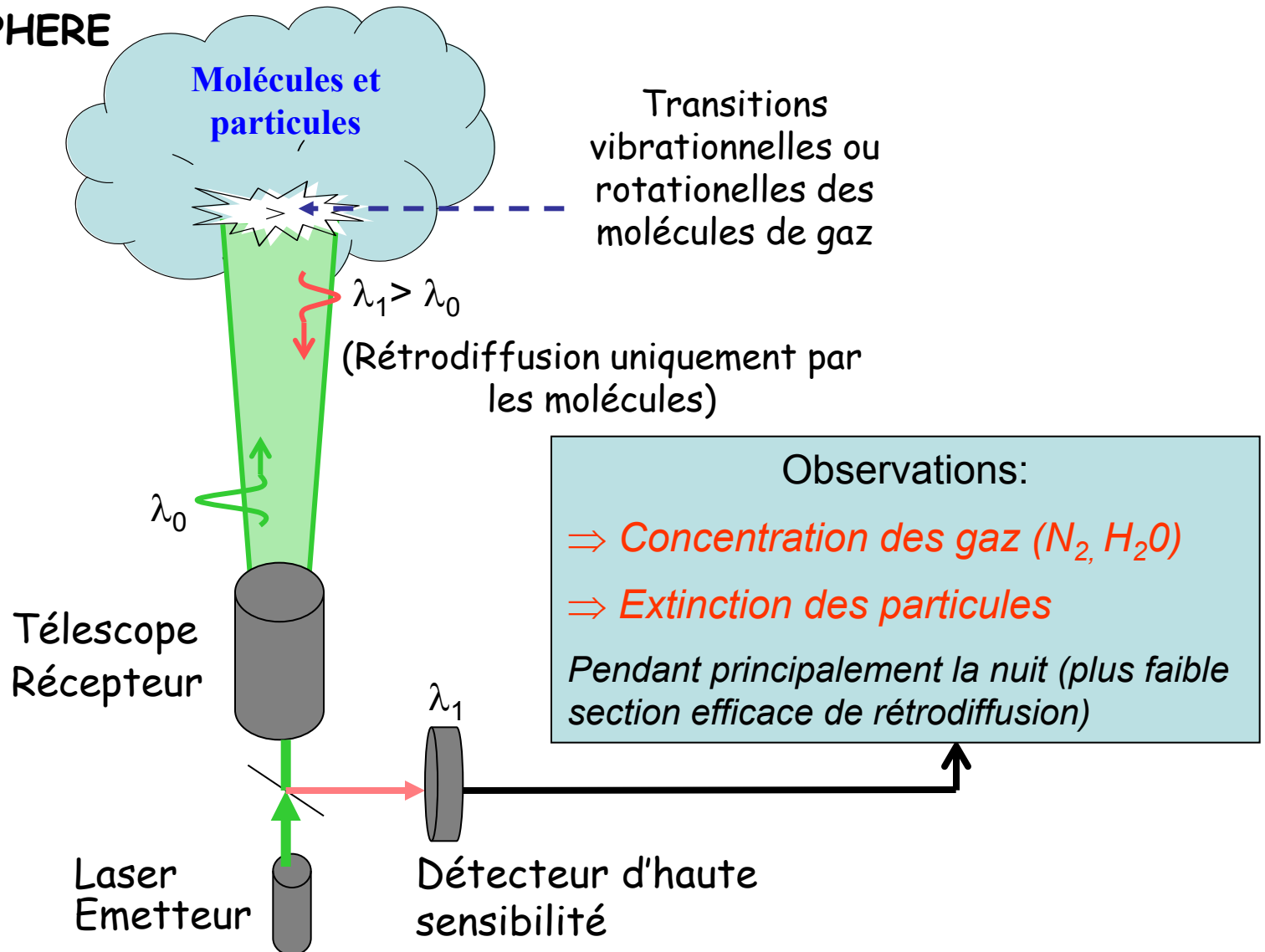
$$\chi_{2/1}(z) = \frac{\ln(\beta^{app}_2(z) / \beta^{app}_1(z))}{\ln(\lambda_1 / \lambda_2)}$$



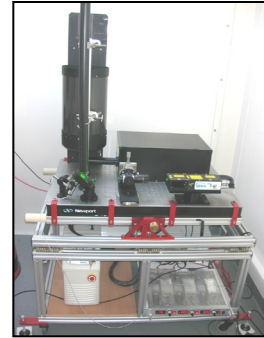
AUTRES EXEMPLE: CALIPSO

Le Lidar Raman:

ATMOSPHERE



Les voies Raman aérosols MOBILIS:



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

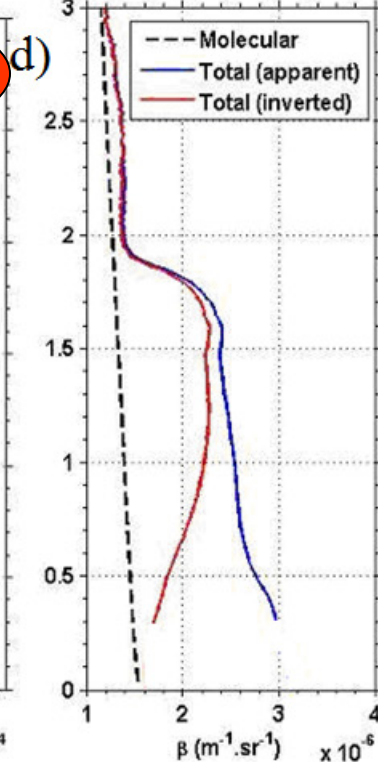
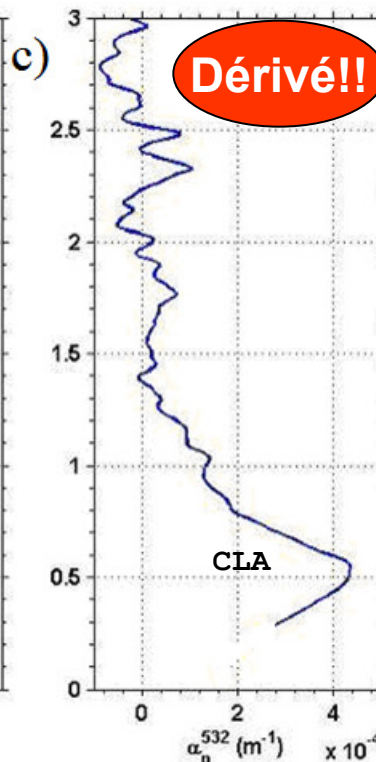
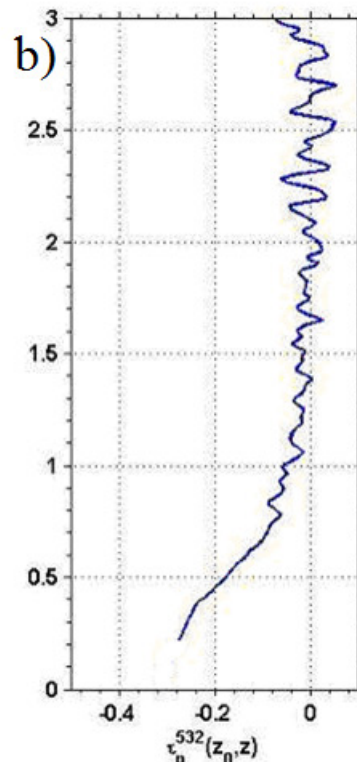
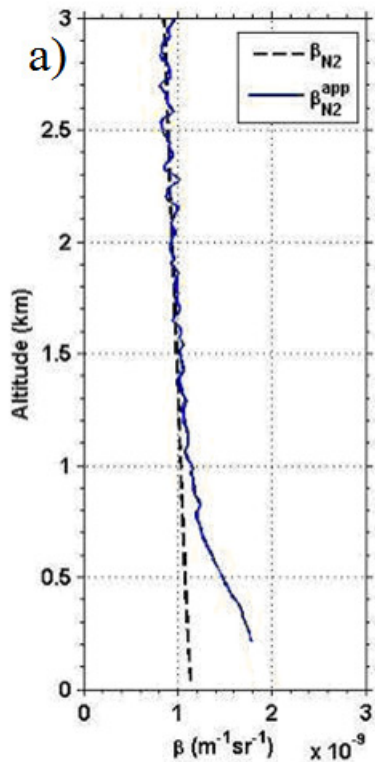
Par radiosondage

Lidar Raman N₂

⇒ Profil d'extinction des particules

<< Robustesse au bruit de mesure

08/06/04



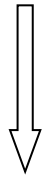
3. Restitution des propriétés et microphysiques des aérosols par synergies lidar

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

Lidar rétrodiffusion seul ?

L'inversion Lidar Bernoulli $\Rightarrow \alpha(z)$

$$\left\{ \begin{array}{l} S(z) \propto \beta^{app}(z) \Big|_{z_0} = \beta(z) \cdot T(z_0, z)^2 \\ \quad + \\ \beta(z) = \beta_m(z) + \beta_p(z) \quad \beta_m(z) = k_m \cdot \alpha_m(z) \end{array} \right.$$



Avec la nouvelle équation \Rightarrow

$$\beta_p(z) = k_p(z) \cdot \alpha_p(z)$$

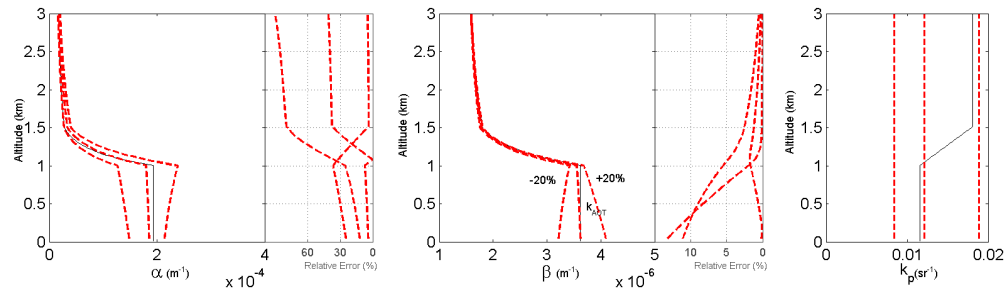
Solution analytique de
l'équation différentielle de type
Bernoulli
(Fernald, 1976 ; Klett, 1981)

$$\beta(z) = \frac{\beta^{app}(z) \Big|_{z_0} \cdot \exp(-\Phi(z))}{\frac{1}{\beta(z_0)} + 2 \int_z^{z_0} \frac{1}{k_p(z')} \beta^{app}(z') \Big|_{z_0} \cdot \exp(-\Phi(z')) \cdot dz'}$$

avec $\Phi(z) = 2 \int_{z_0}^z \frac{k_m - k_p(z')}{k_p(z')} \alpha_m(z') dz'$

$$\alpha_p(z) = (\beta(z) - \beta_m(z)) / k_p(z)$$

Inconvénients: 2 paramètres inconnus: k_p et β_0



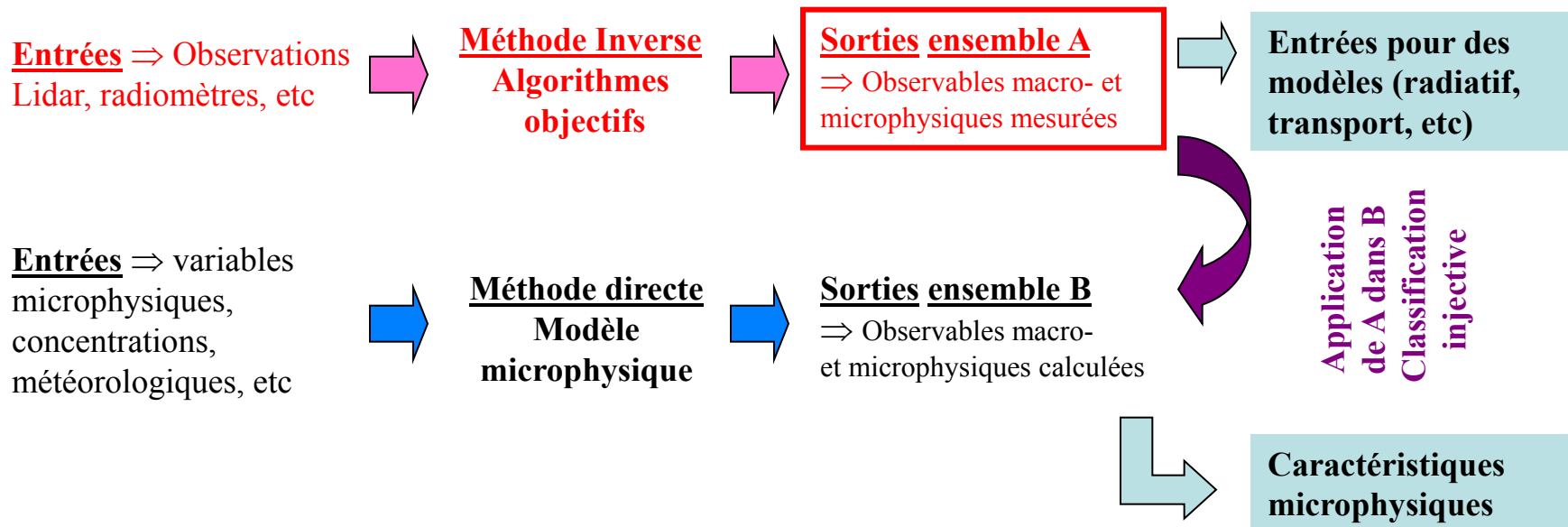
Exemple:

20% AOT \Rightarrow 30% α_T et 10% β_T

⇒ Principe pour les méthodes inverses

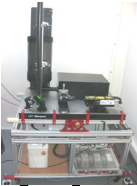
Principe conceptuel retenu quant à l'utilisation des observations et des modèles dans les processus d'inversion qui conduisent des observations aux observables

- (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

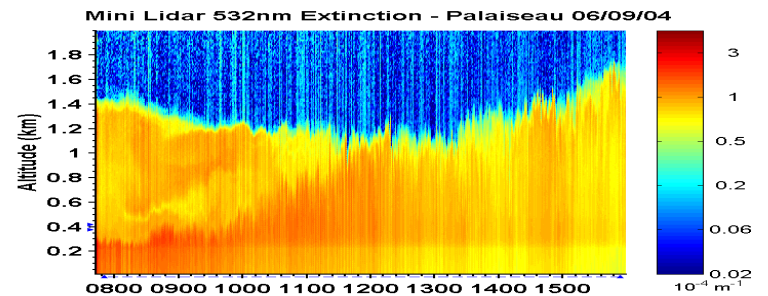
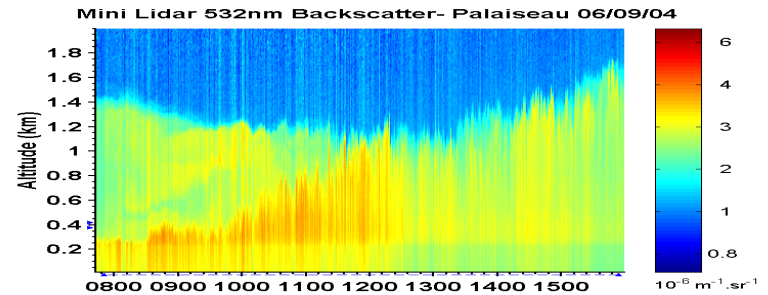
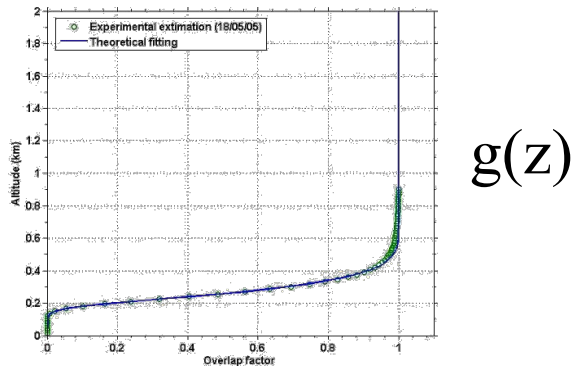
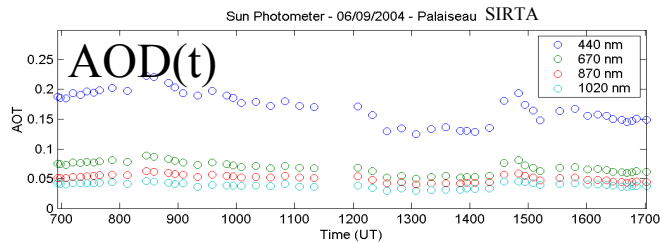
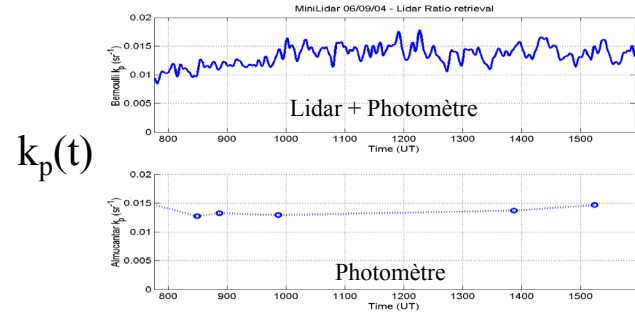
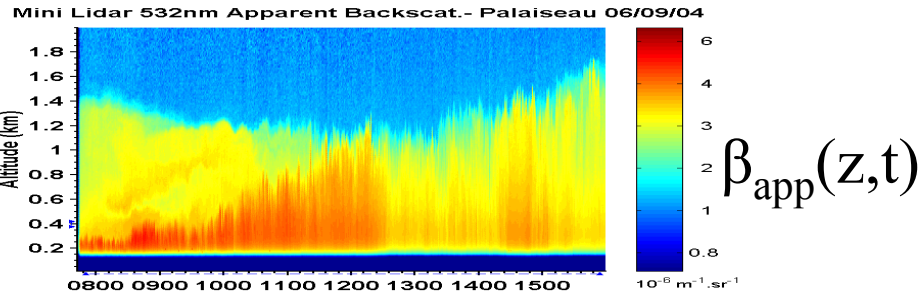


- Lidar sol + Lidar spatial/aéroporté
- Lidar + Capteur In situ
- Lidar Raman multi-longueur d'onde

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

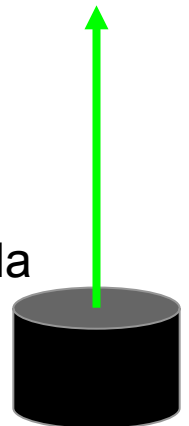
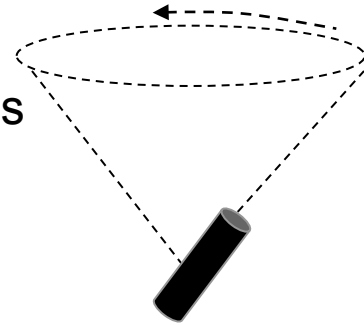
Inversion Almucantar:

- **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?

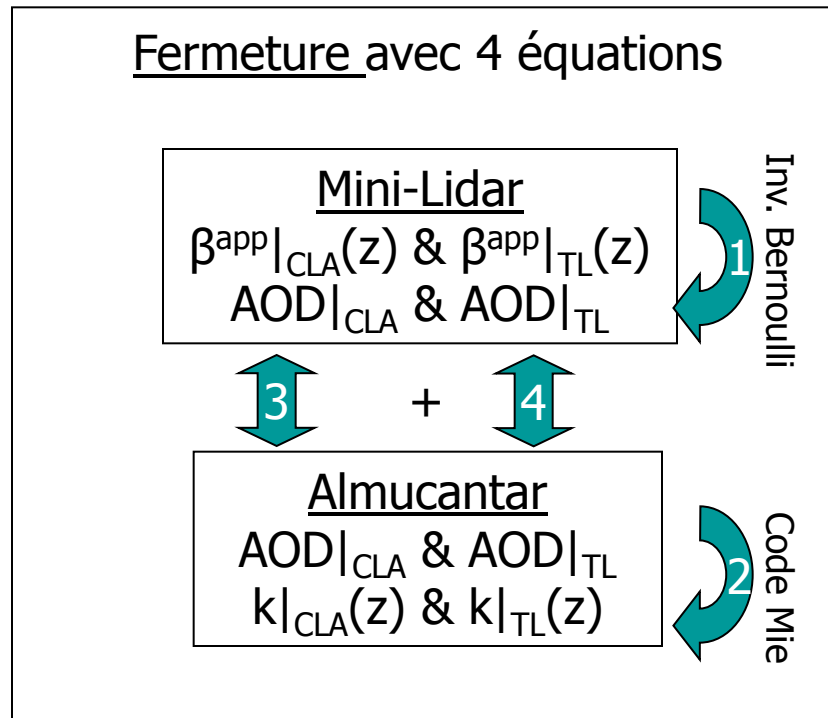
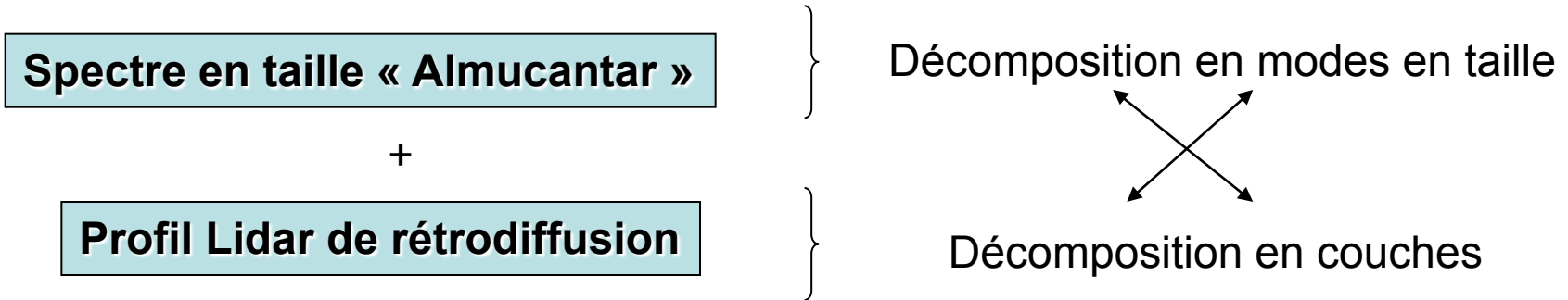
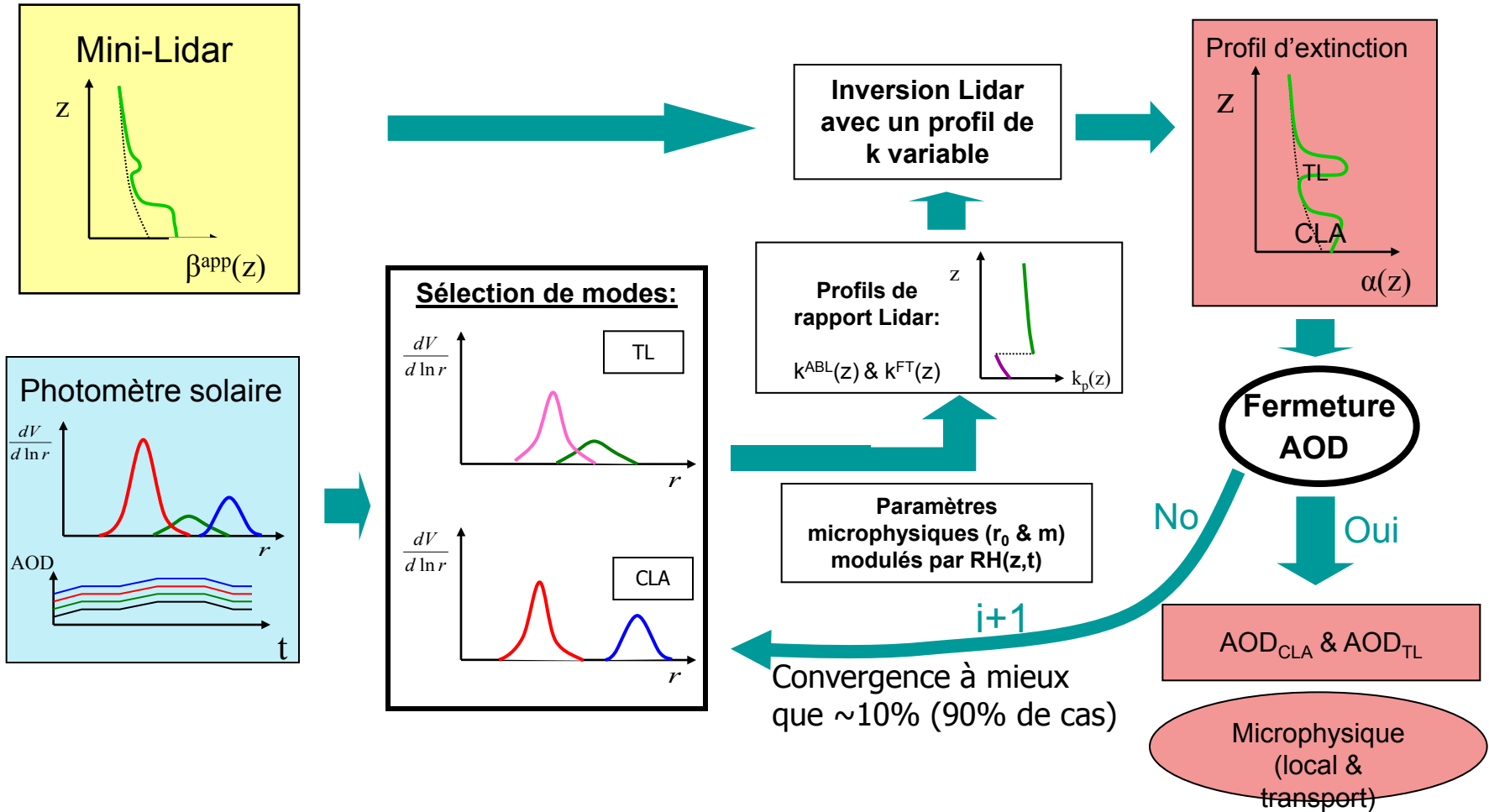


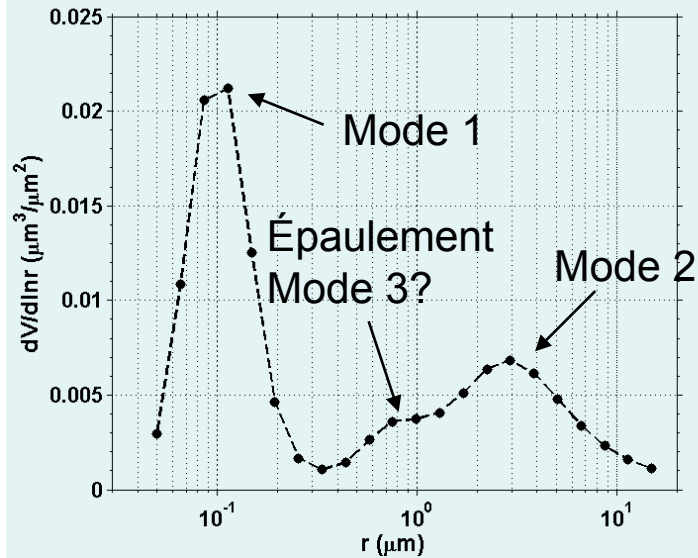
Schéma de la méthode «Lidar&Almucantar»



Spectre en taille: mesure Almucantar

Sortie de l'inversion Almucantar:

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



Post-traitement

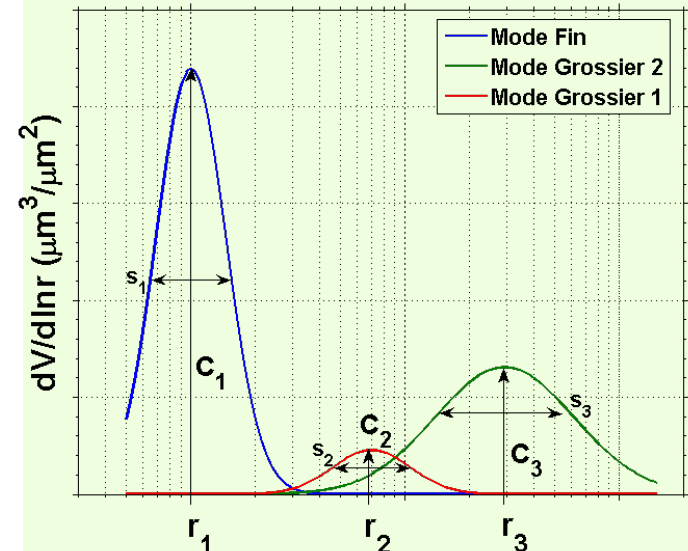


Décomposition en modes log-normaux

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

Hypothèse:

Chaque épaulement indique un mode log-normal

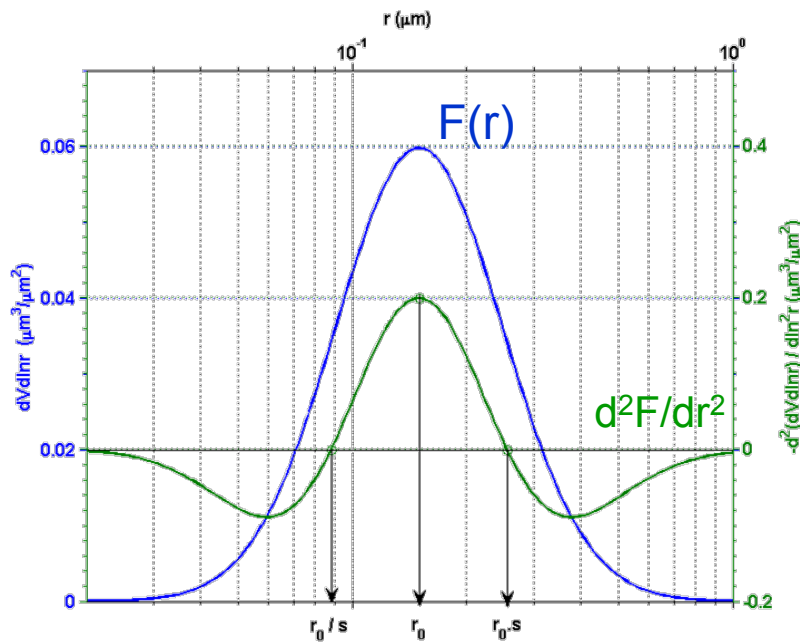


- Signatures des nouveaux modes par la contribution de la TL ?

Répartition verticale?
Type d'aérosol?

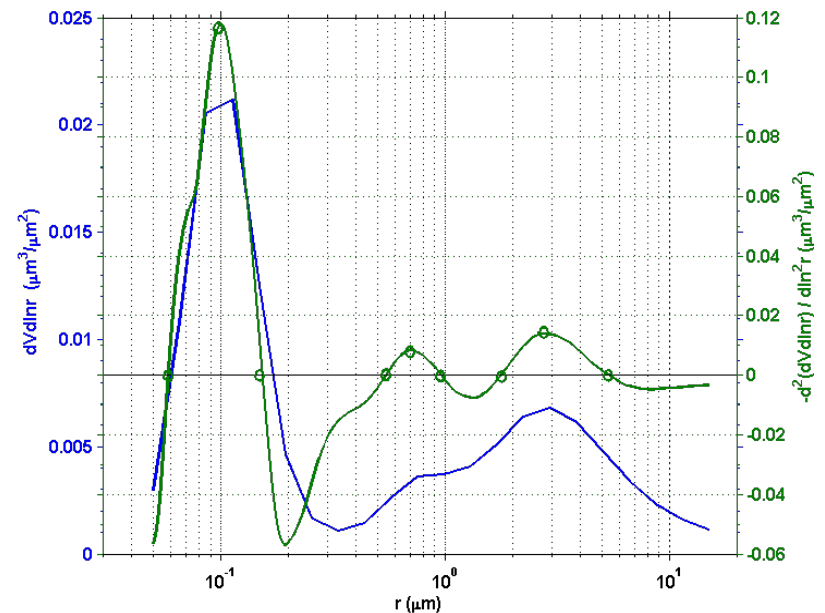
Décomposition en modes log-normaux

- En utilisant la dérivée seconde



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

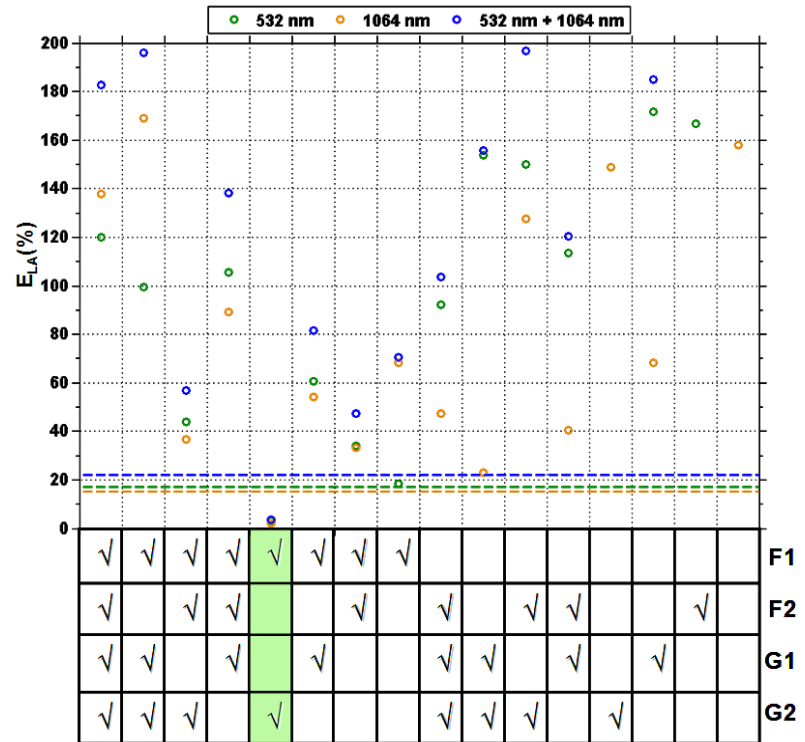
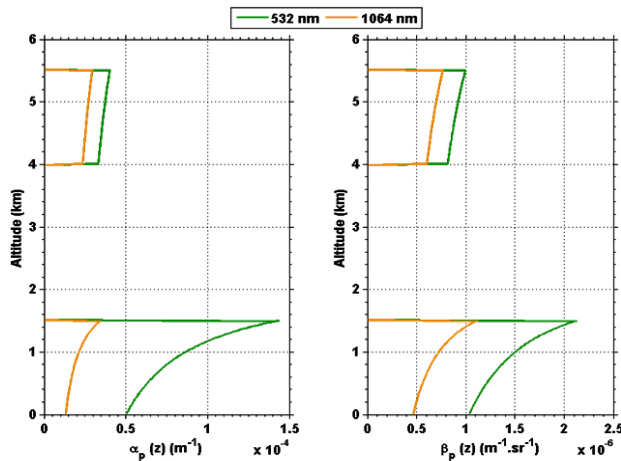
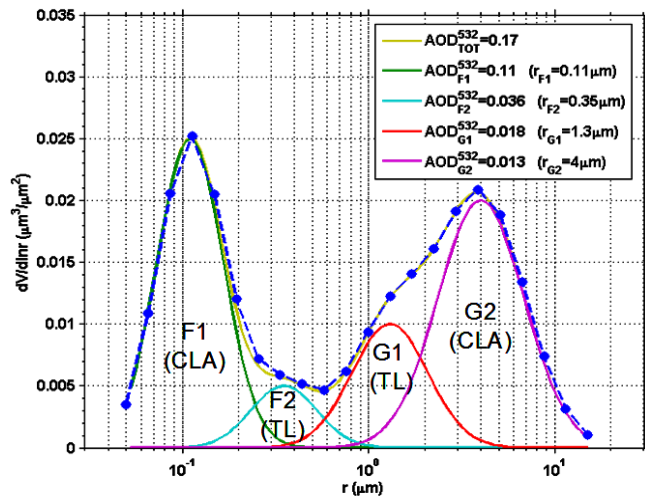
Sur un exemple réel



Détection successive de plusieurs modes (3 ou 4).

La convergence de la méthode «Lidar&Almucantar»

$$E_{LA} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{CLA}^L - \tau_{CLA}^A}{\tau_{CLA}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{TL}^L - \tau_{TL}^A}{\tau_{TL}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{TOT}^L - \tau_{TOT}^A}{\tau_{TOT}}\right)^2}$$



Modes dans la CLA (le complément est dans la TL)

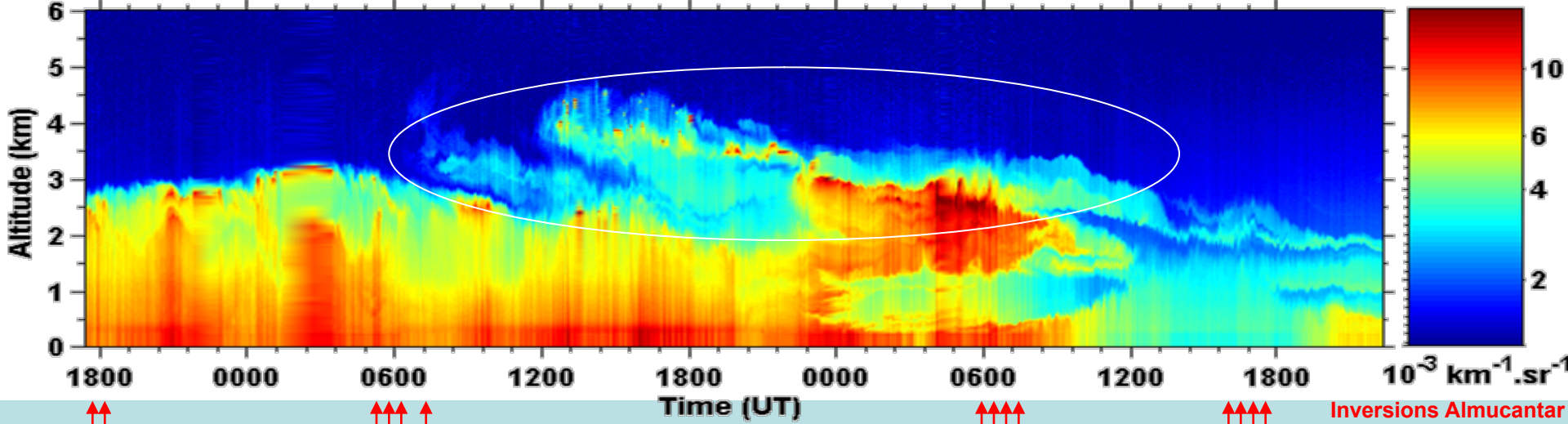
F1
F2
G1
G2

✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓													
✓		✓	✓		✓		✓		✓	✓					✓				
✓	✓		✓		✓			✓	✓		✓			✓					
✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓						

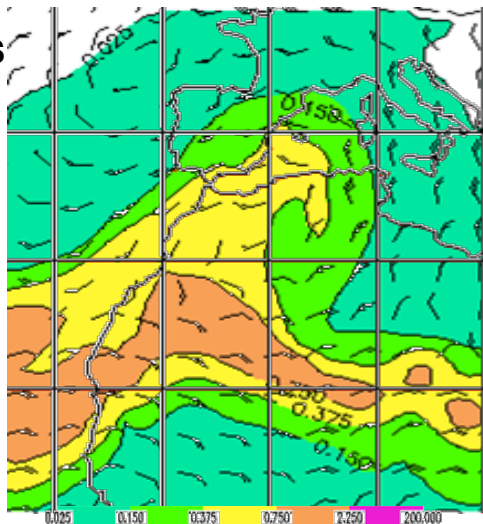
« Lidar & Almuquantar »

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

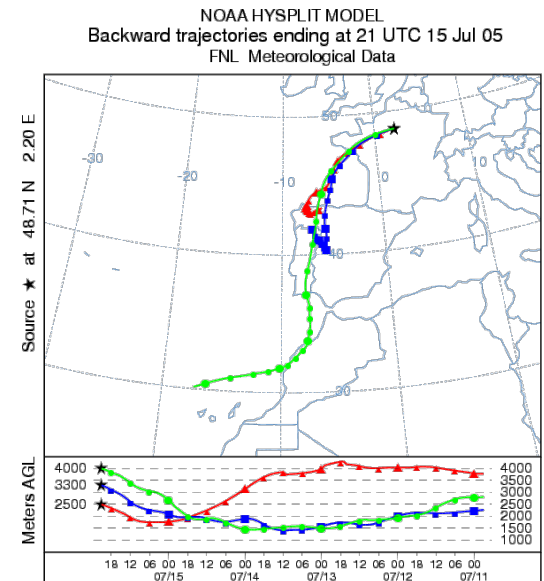
Apparent Backscatter 532 nm - MiniLidar (TReSS) - Palaiseau 14/07/05 - 16/07/05



Simulation NAAPS
0000 UT 16/07/05



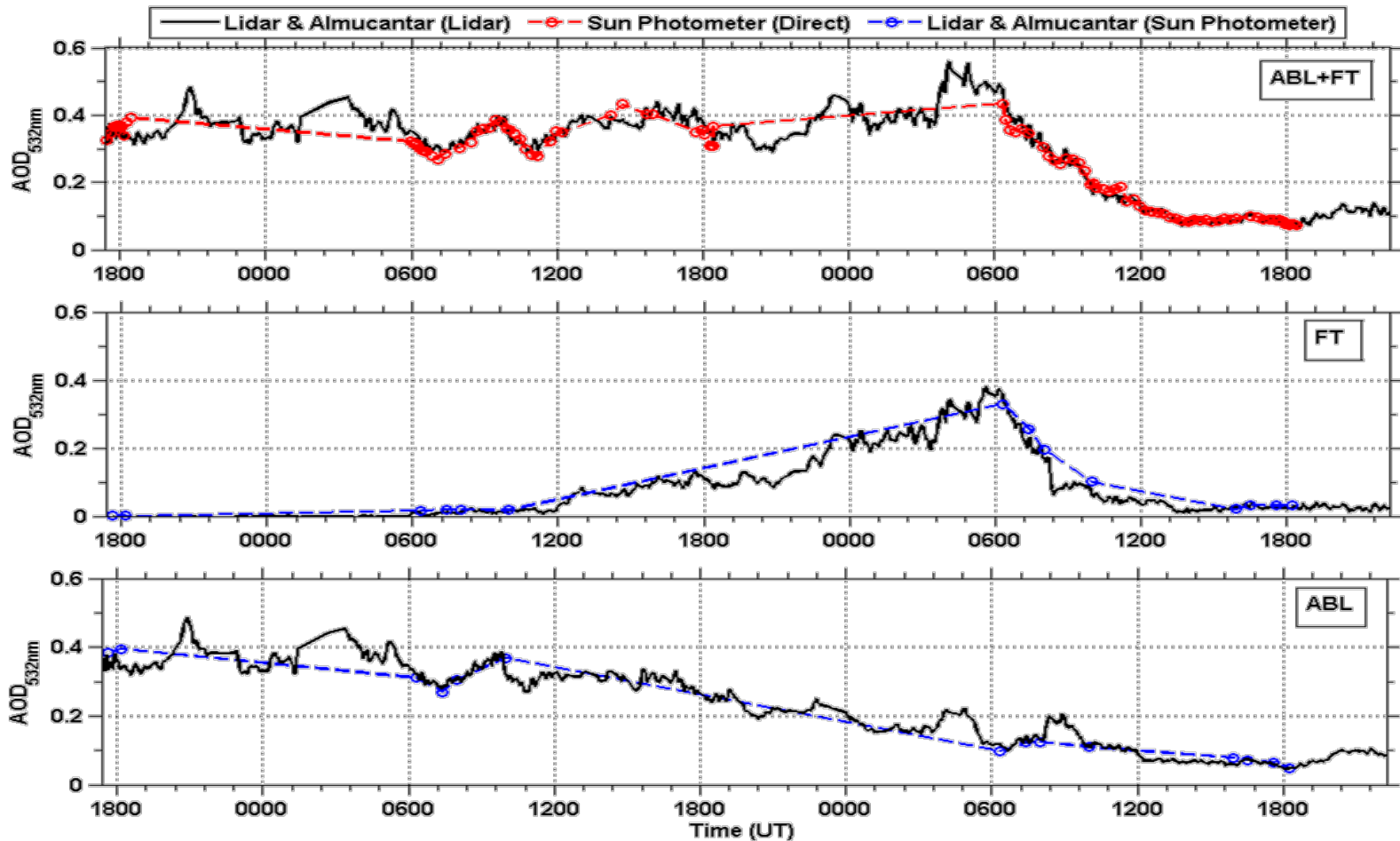
Rétrotrajectoires
HYSPLIT / NCEP



« Lidar & Almuquantar »

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

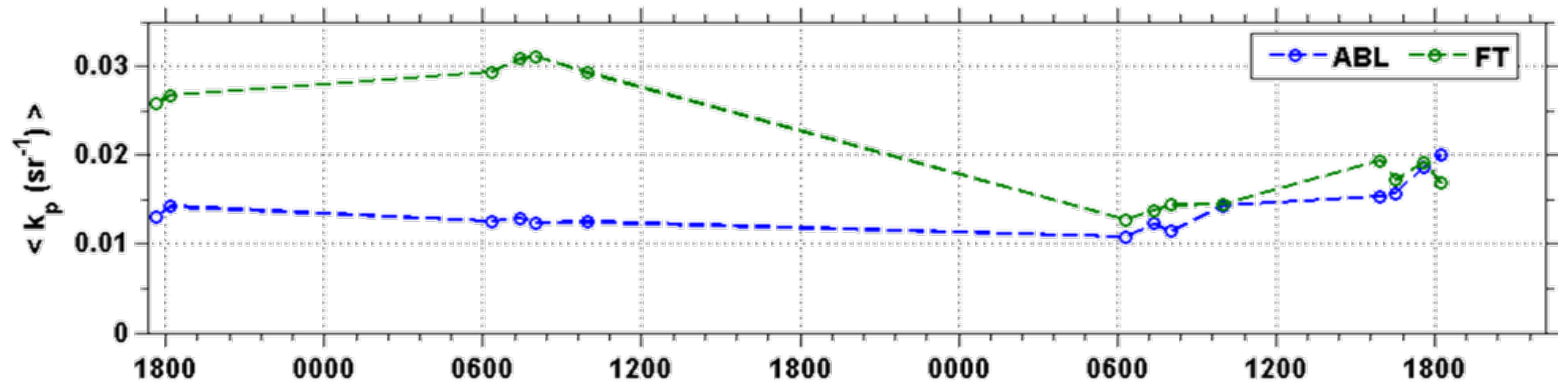
➤ Fermeture en AOD:



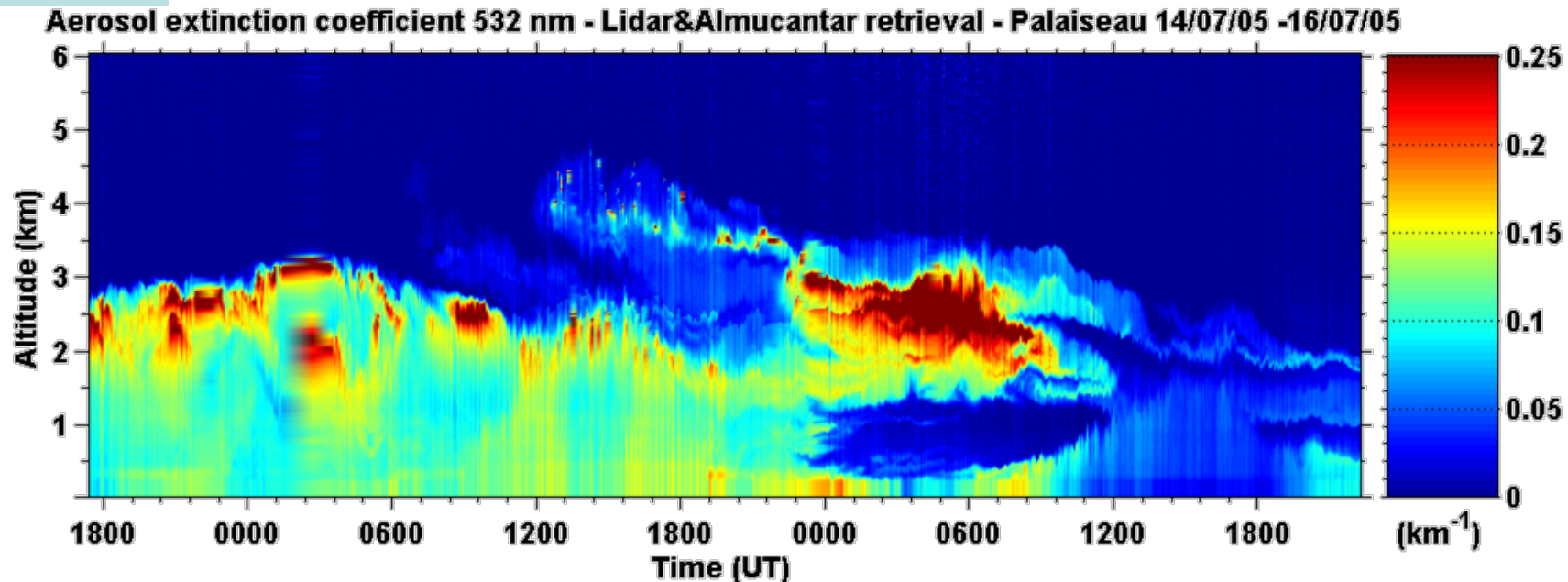
« Lidar & Almuquantar »

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

➤ Rapport Lidar:



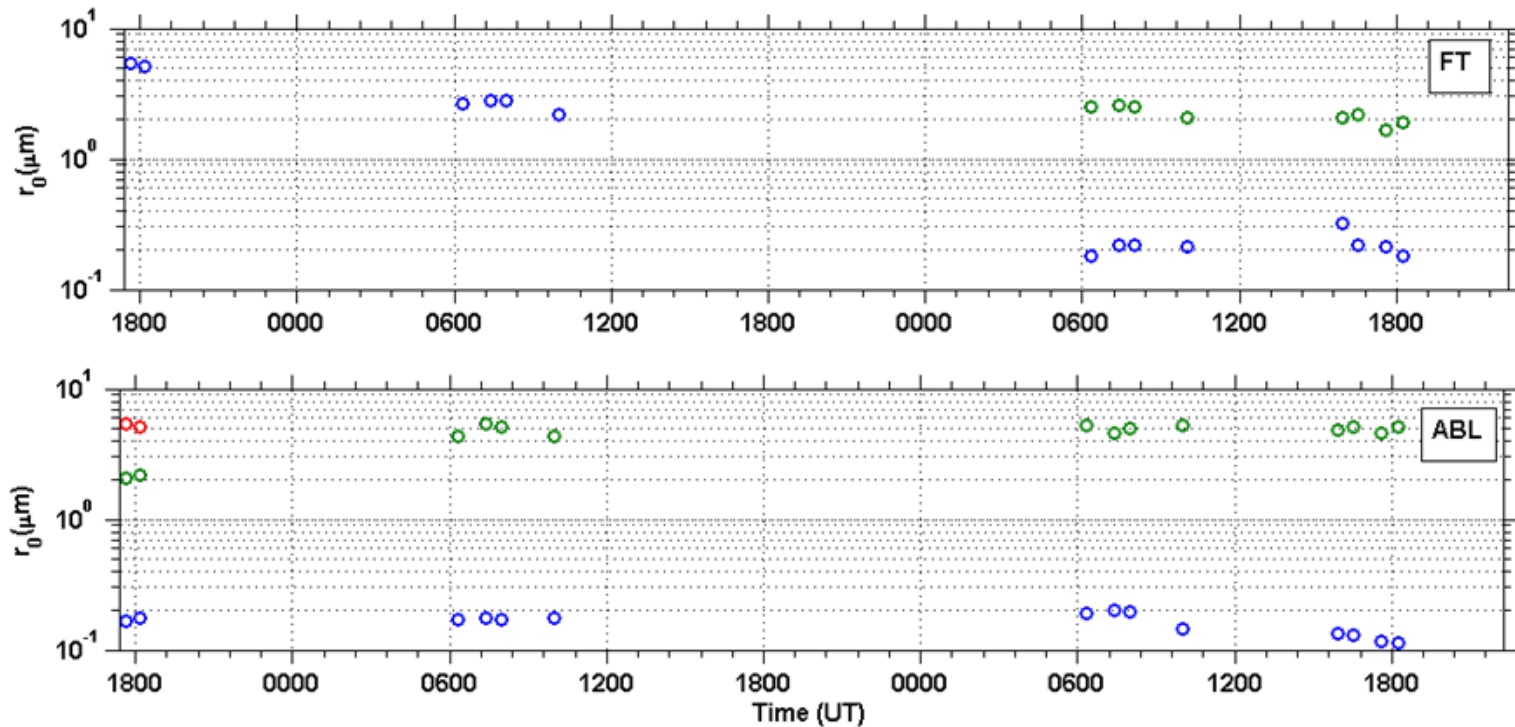
➤ Extinction :



« 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

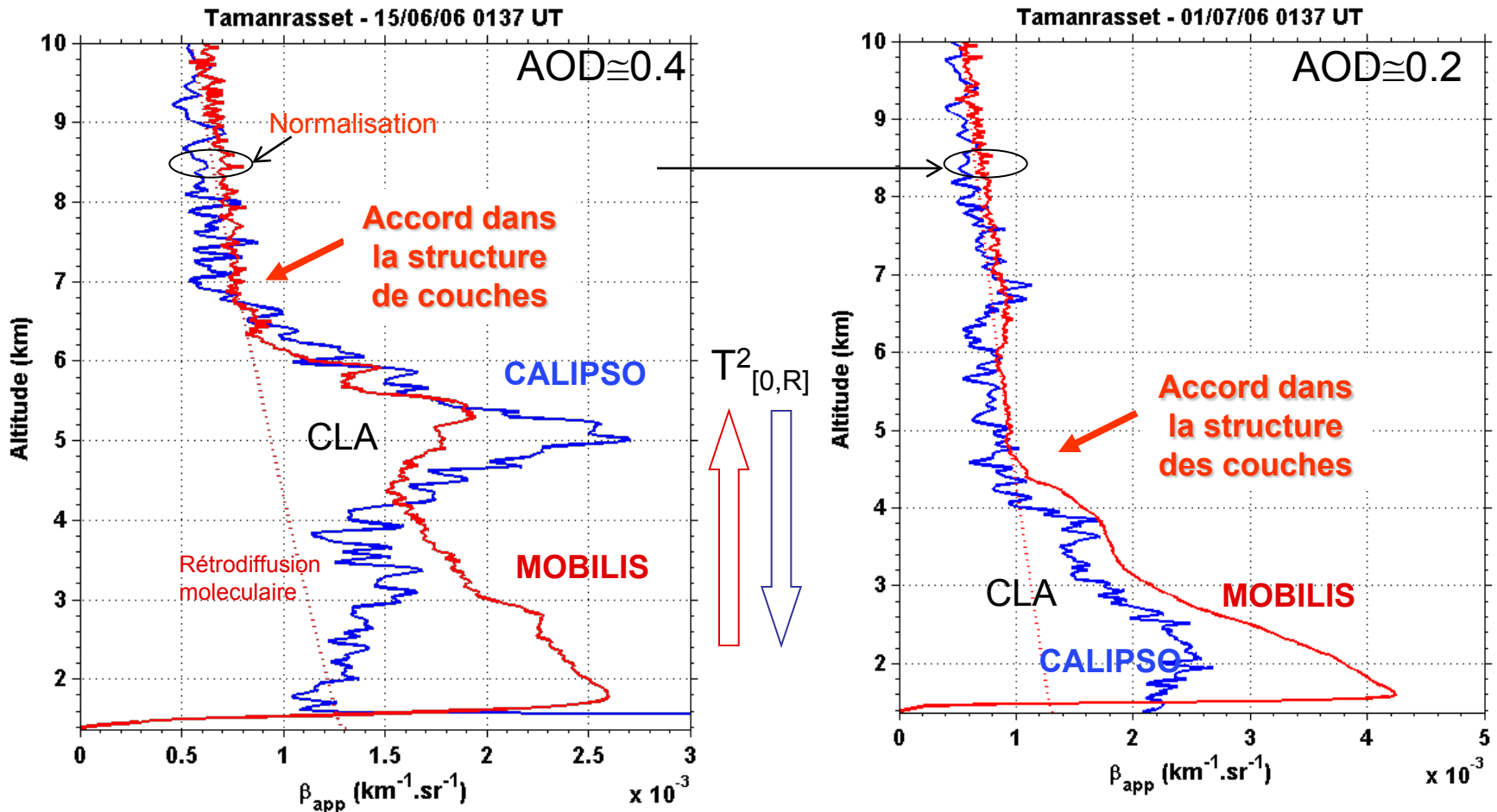


- Lidar + Capteur In situ
- Lidar Raman multi-longueur d'onde

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

Profils de retrodiffusion atténué βT_2 , Nuit

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

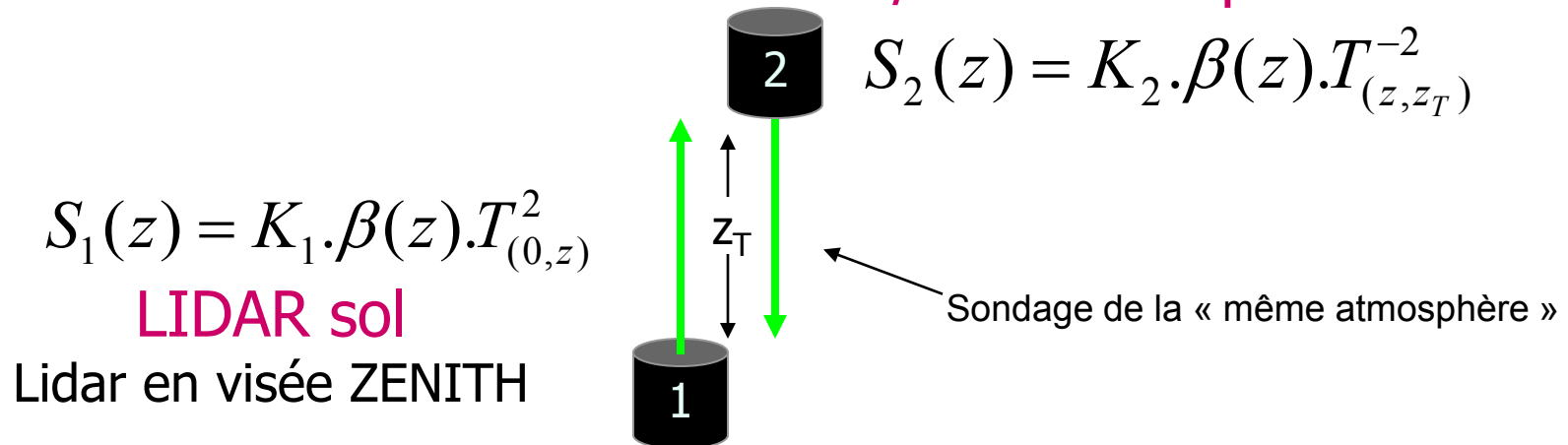


Mais, comment comparer / valider les profils lidar?

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



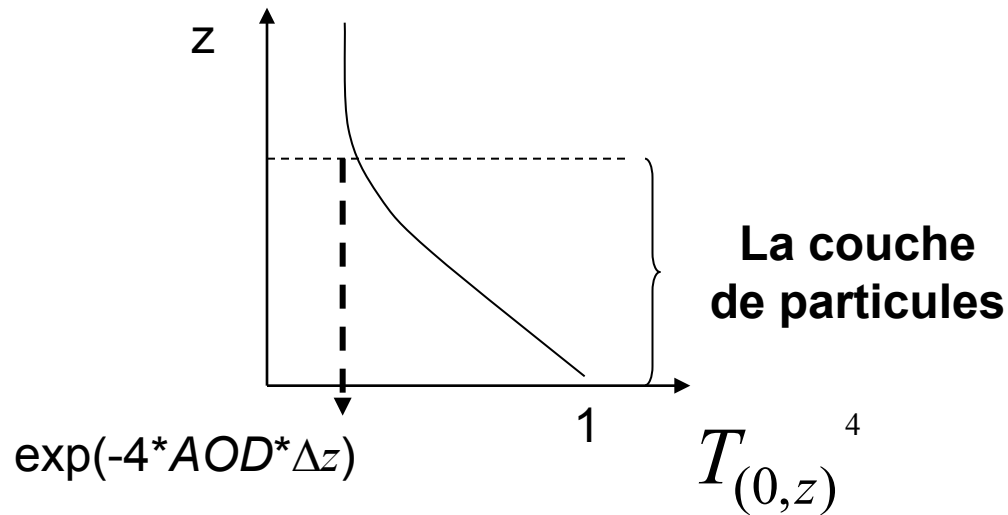
Pour valider / vérifier la qualité des profils de niveau 1:

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

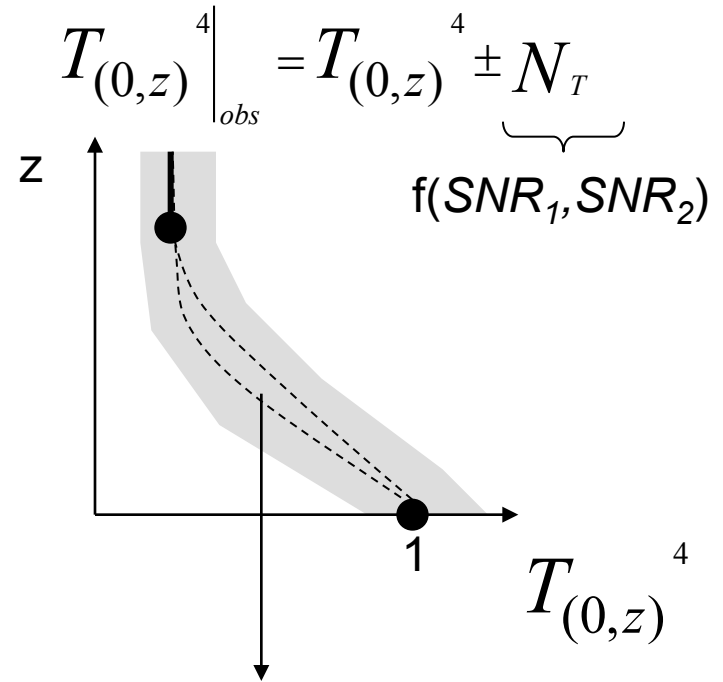
Pas besoin de traitement ou inversion de profils

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

La transmission accumulée:



Pour des signaux bruités

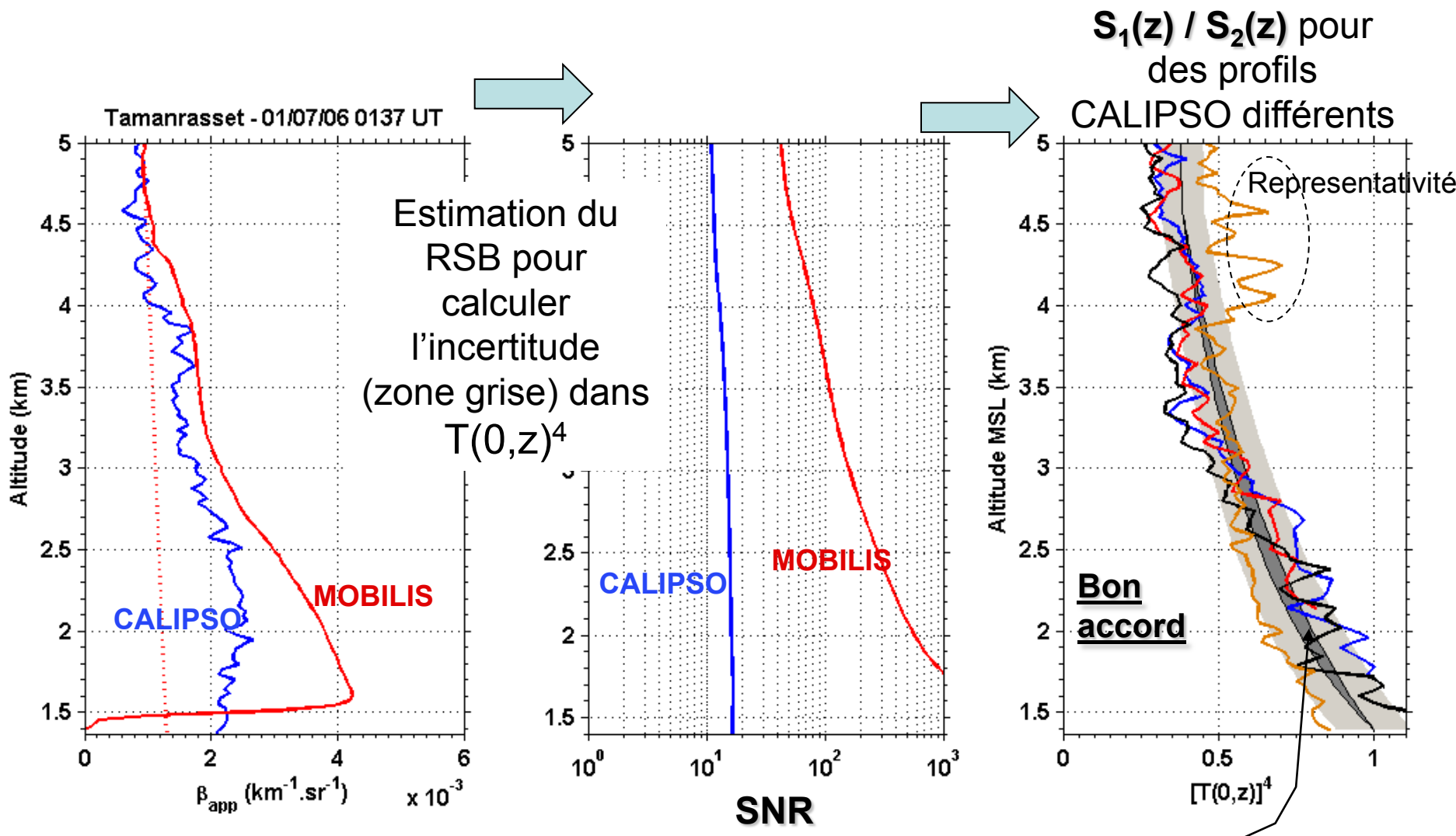


Contraints inherents forts:

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

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

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

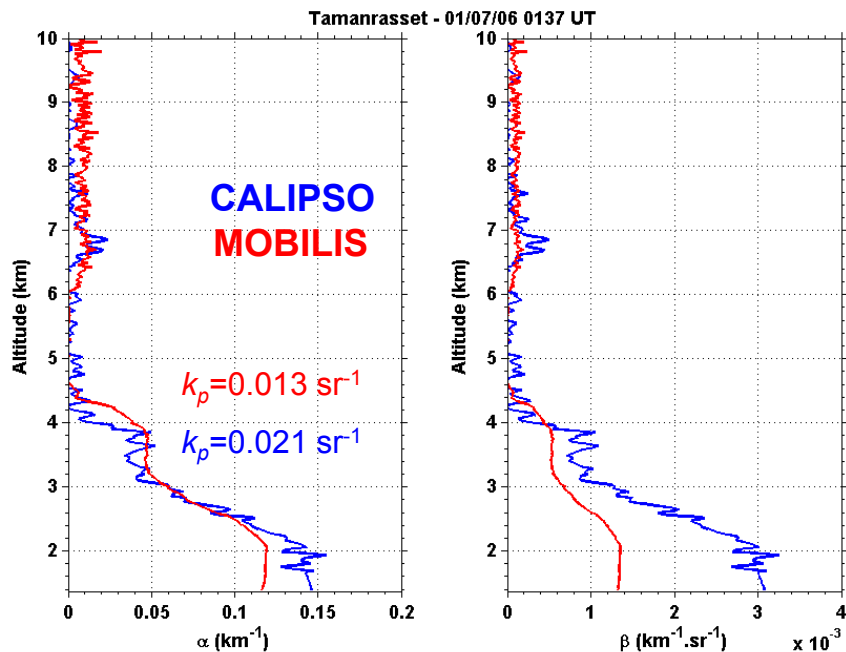


Considérant $T(0,z)^4$ pour un grand nombre des fonctions de $\alpha_p(z)$

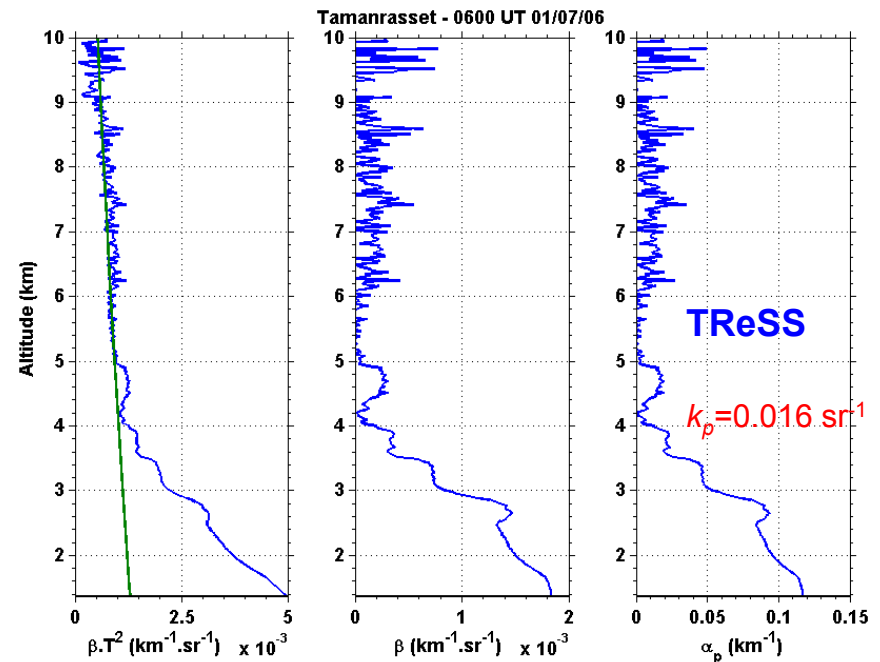
Deuxième objectif: Réstitution des profils inversés de niveau 2

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



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

z_T

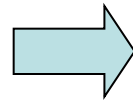
$$S_1(z) = K_1 \cdot \beta(z) \cdot T_{[0, z]}^2$$



LIDAR AU SOL

Lidar en visée vers le haut

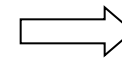
2 équations
indépendantes



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

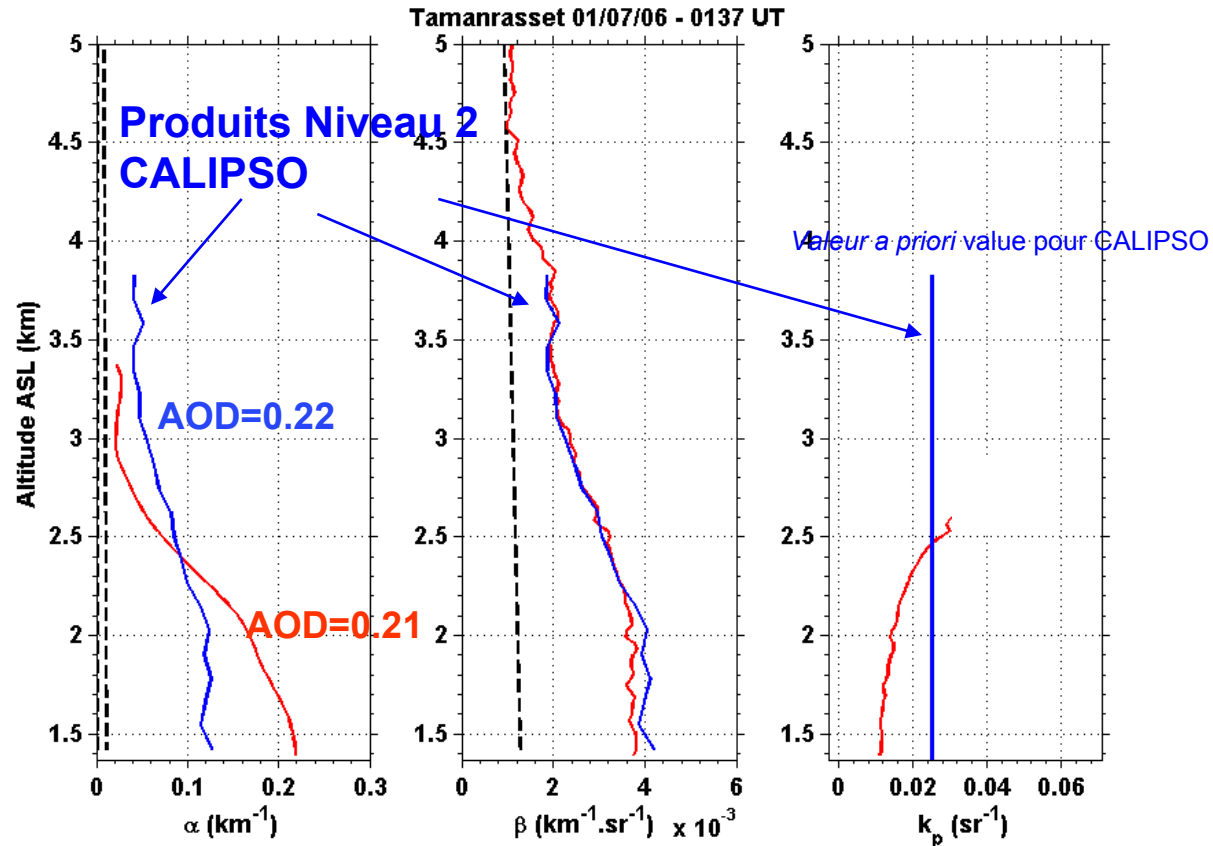
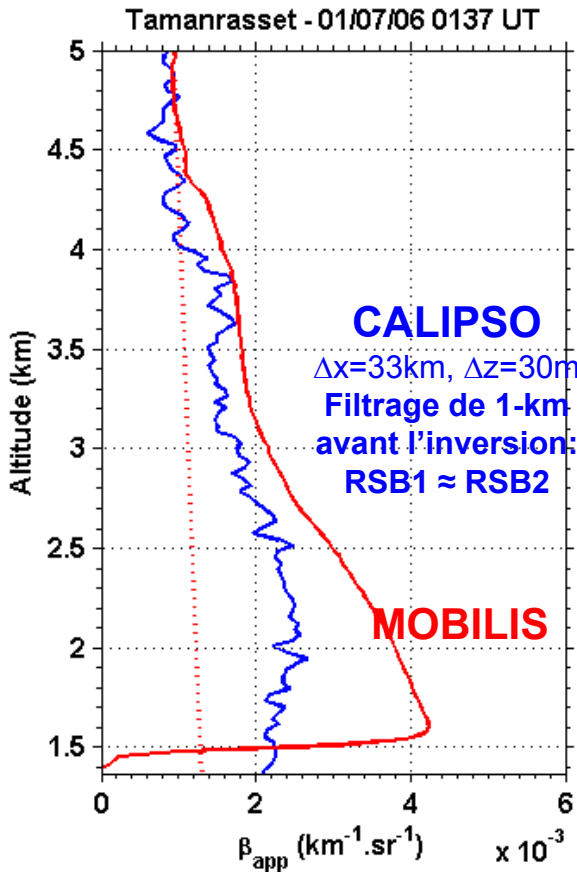
Condition:

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



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

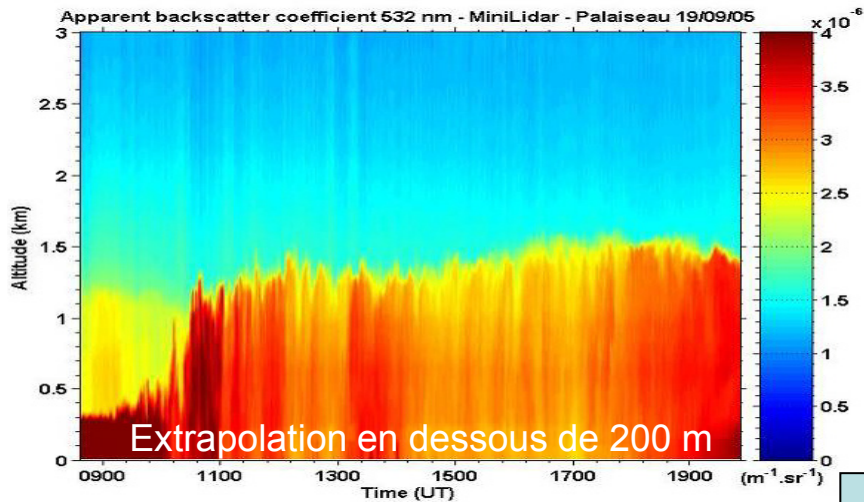
- Lidar rétrodiffusion seul ?
- Lidar + Photomètre solaire
- Lidar sol + Lidar spatial/aéroporté
- Lidar + Capteur In situ



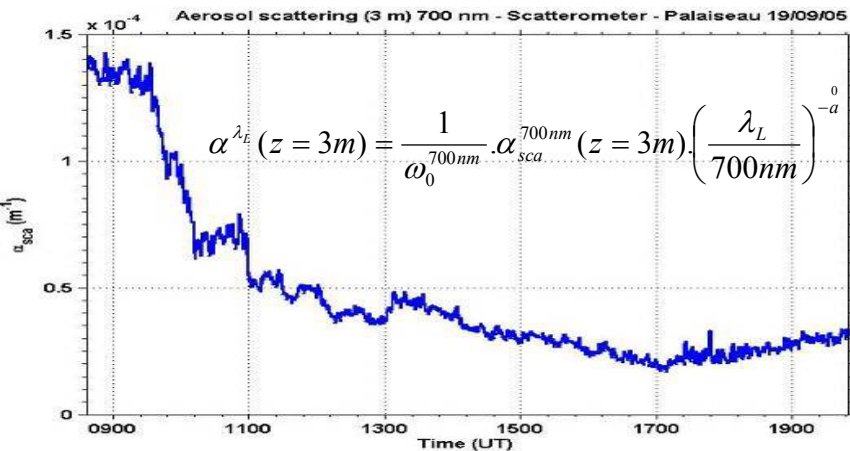
- Lidar Raman multi-longueur d'onde

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

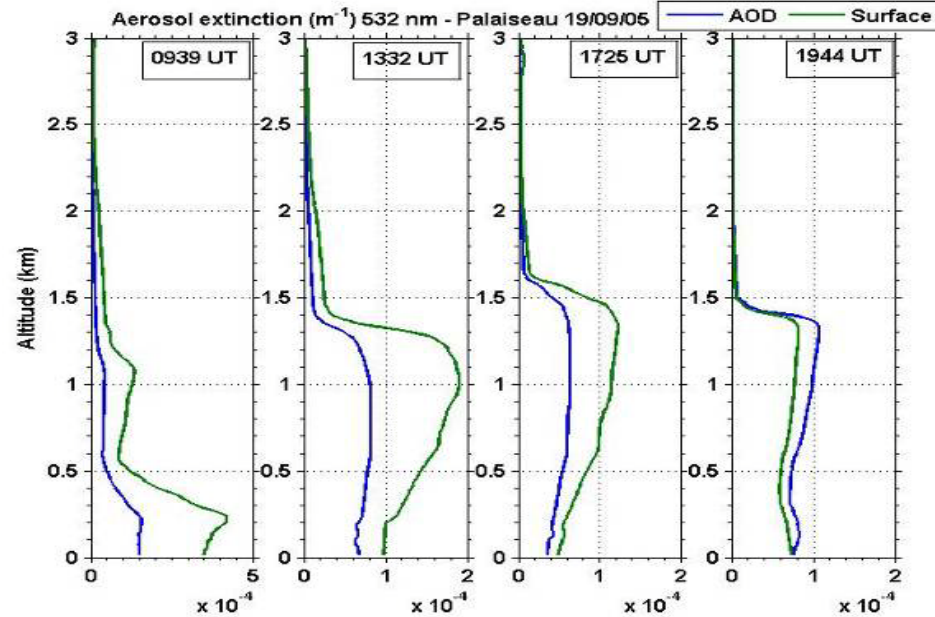
Rétrodiffusion atténuée à 532 nm



Coefficient de diffusion à 700 nm



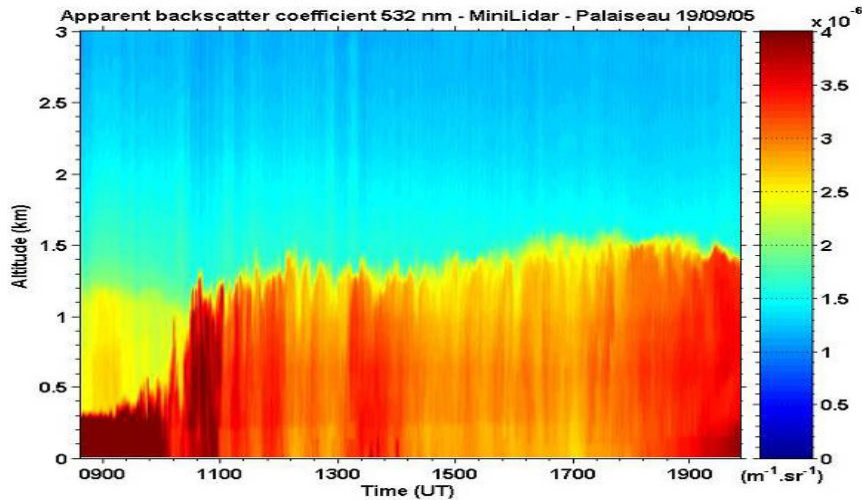
Profils d'extinction de particules à 532 nm avec k_p constant en altitude



Profils d'extinction de particules à 532 nm

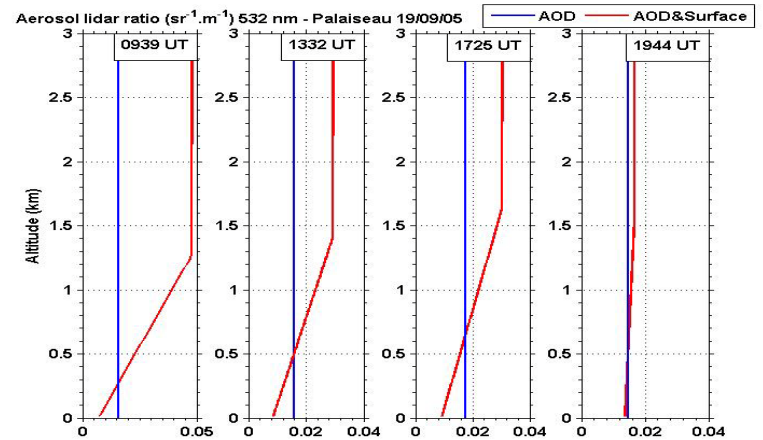
2. Lidar + Capteur in situ + AOD: Solution Bernoulli contraint en surface et dans la colonne totale

Rétrodiffusion atténuée à 532 nm

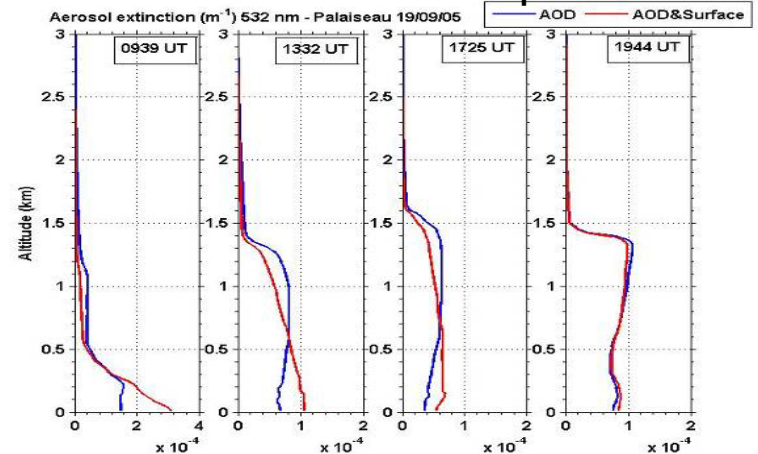


+
Coefficient de diffusion à 700 nm
+
AOD

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

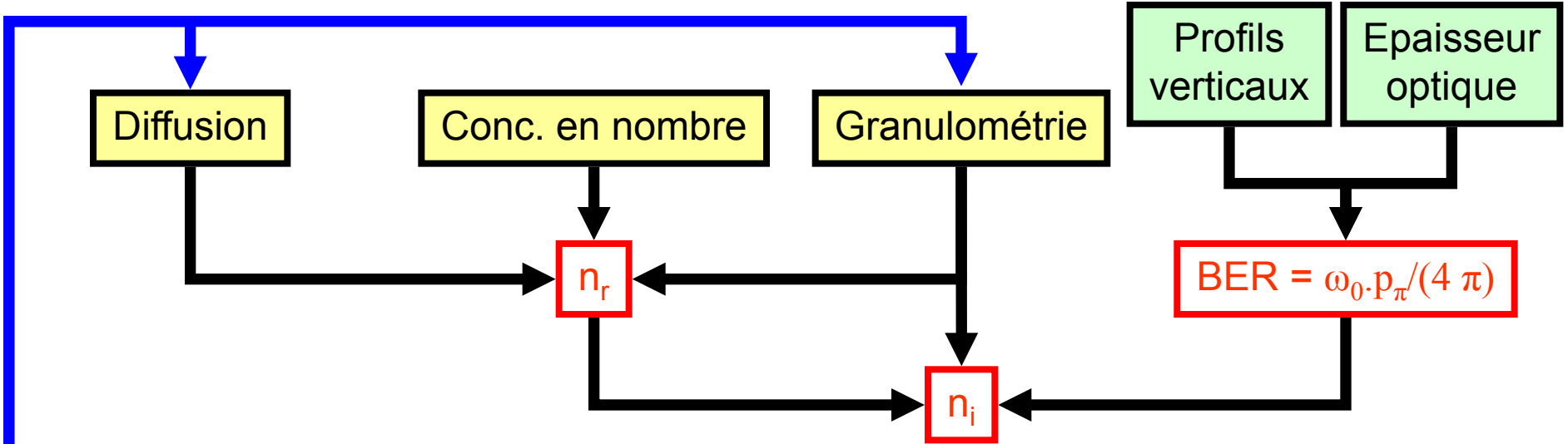


Profils d'extinction des particules

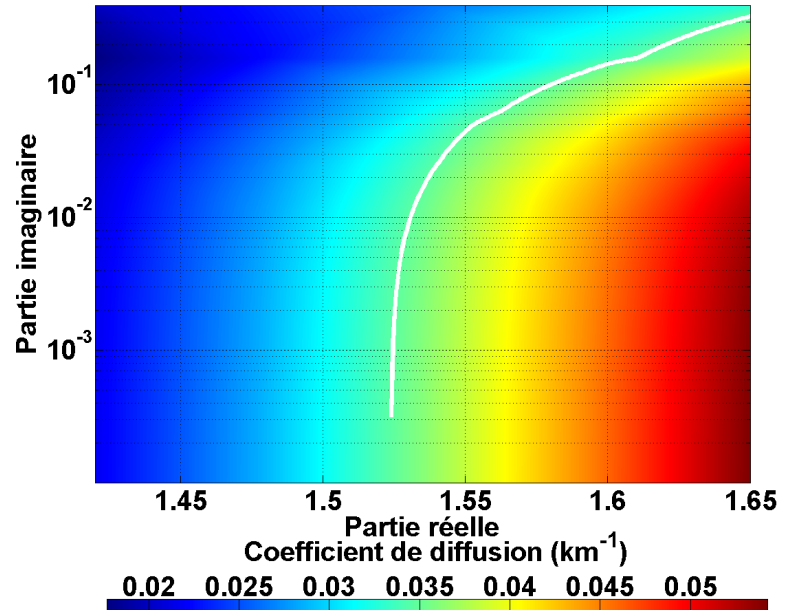


3. Lidar + Capteur In situ: Indice de réfraction

[Raut and Chazette, ACP, 2007]



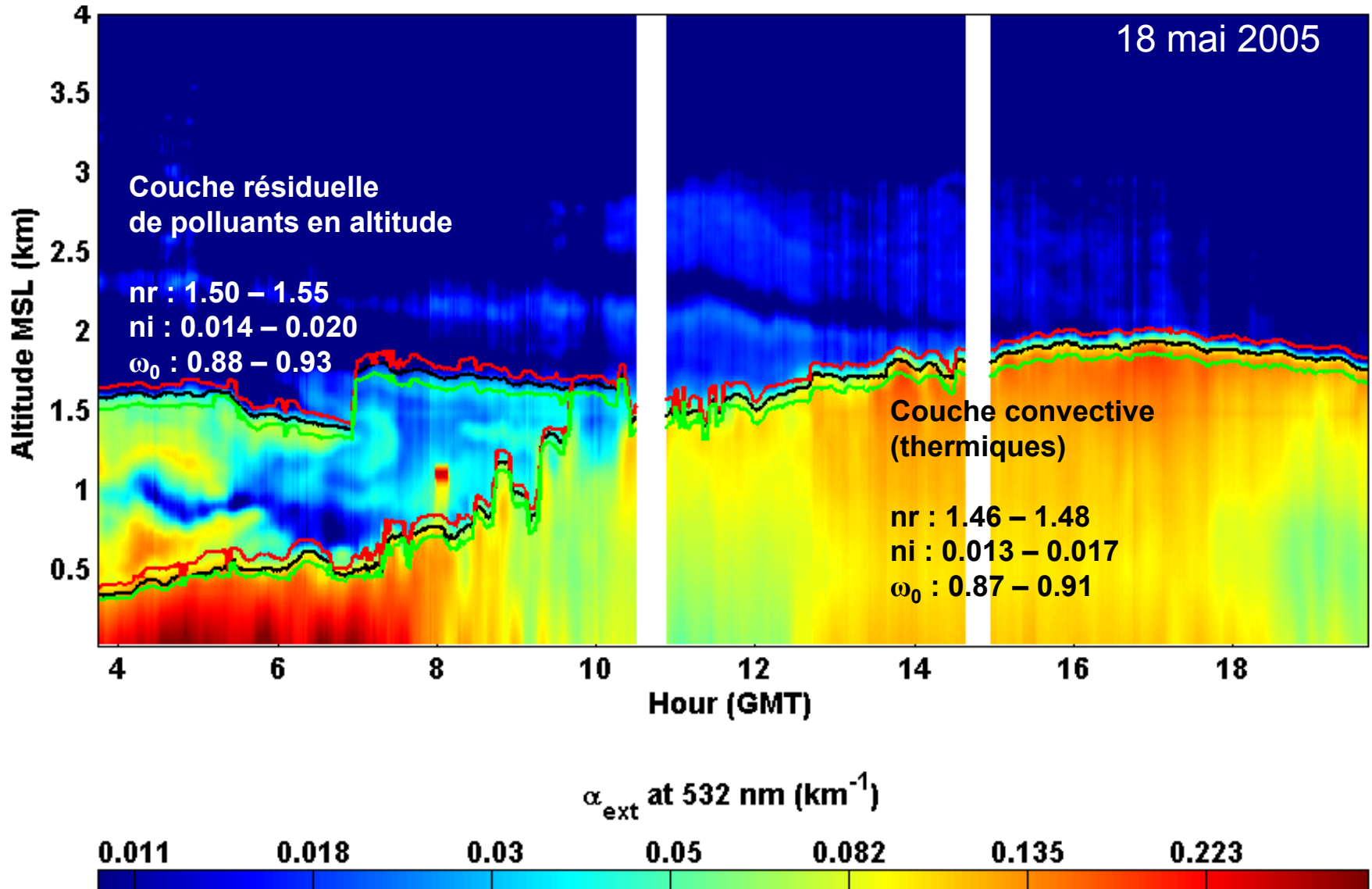
Prise en compte de l'effet de l'humidité relative sur les particules



3. Lidar + Capteur In situ: Indice de réfraction

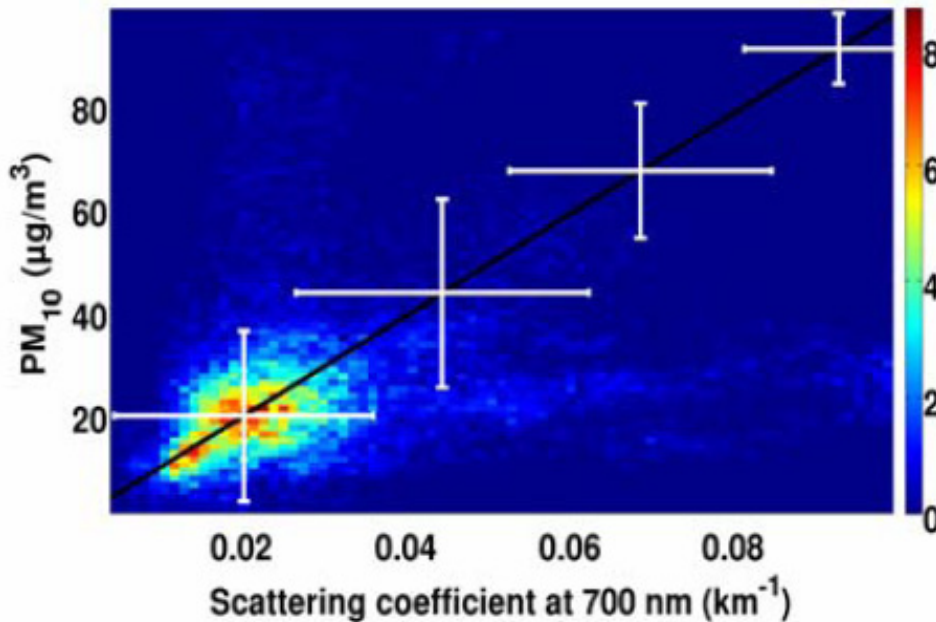
Aérosol anthropique : la mégalopole parisienne (12 MH)

[Raut and Chazette, ACP, 2007, 2008]



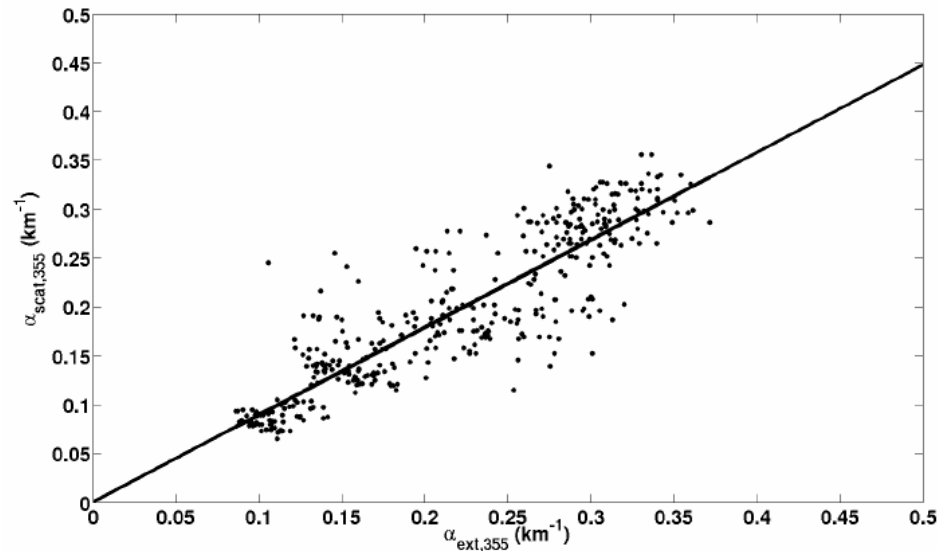
4. Lidar + Capteur In situ: Restitution de la masse par LIDAR

1. Corrélation masse-optique en surface



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

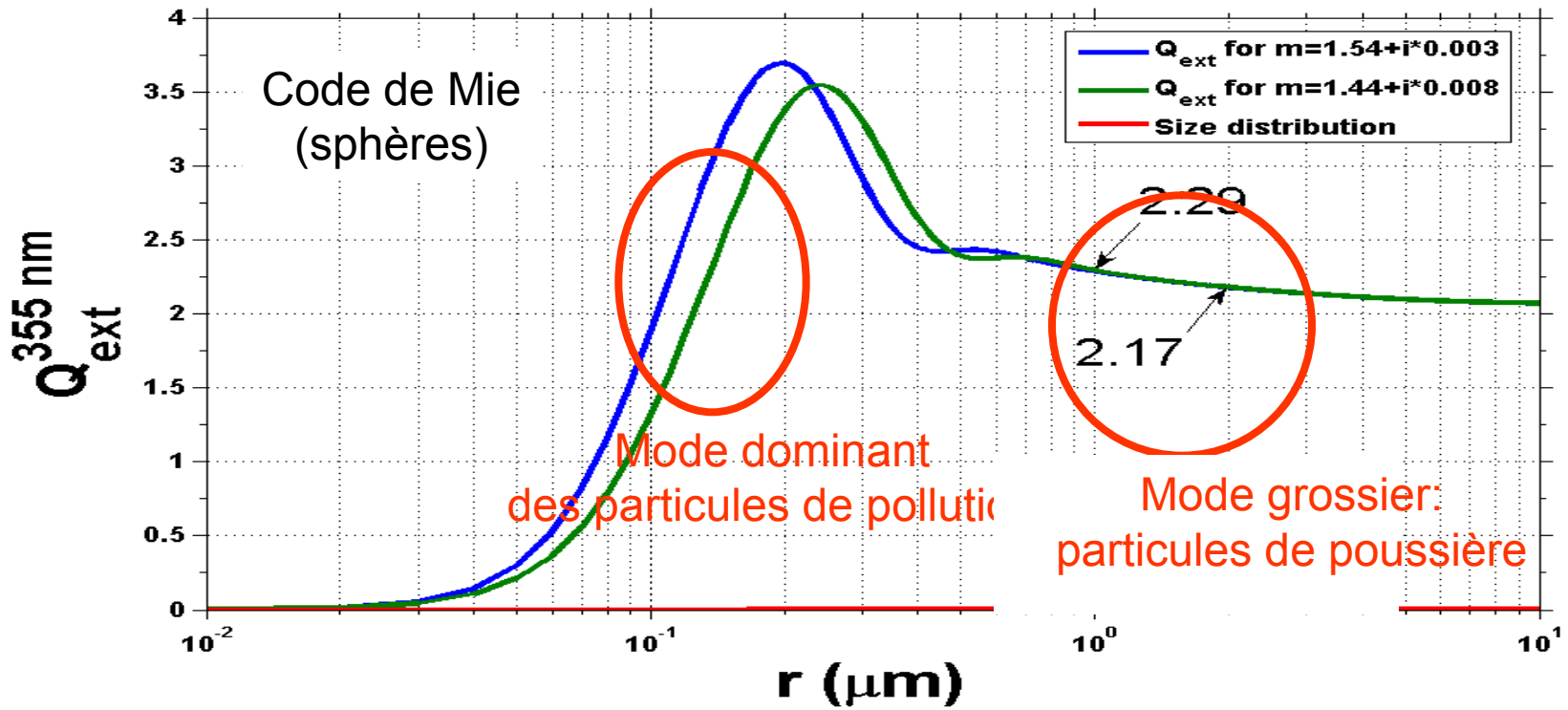
2. Lien surface (coefficient diffusion) avec lidar horizontal (extinction)



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

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

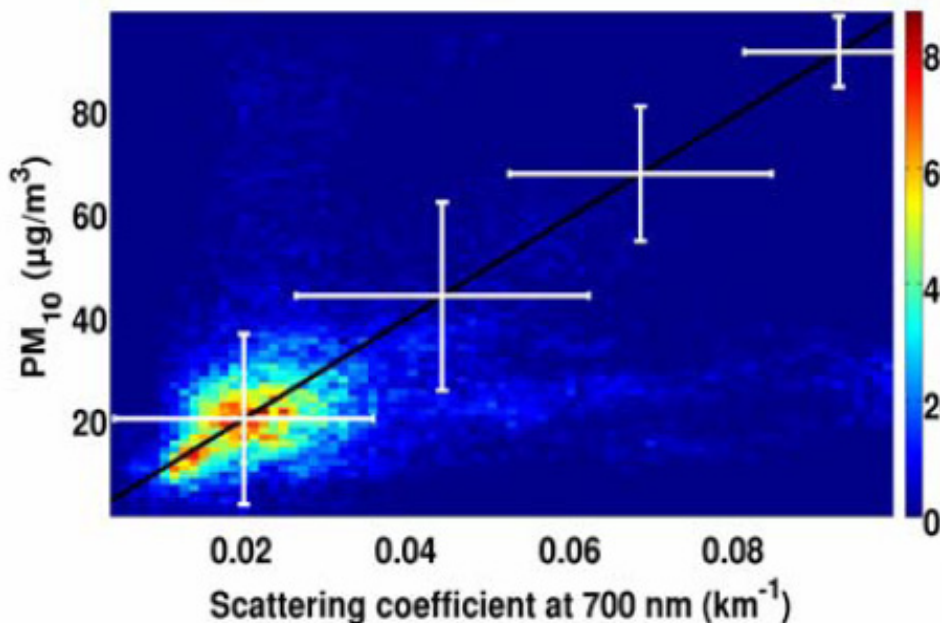
$$\alpha = N_e \pi r_e^2 Q_{ext} \quad N_e = \text{nombre de particules par m}^{-3}$$



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

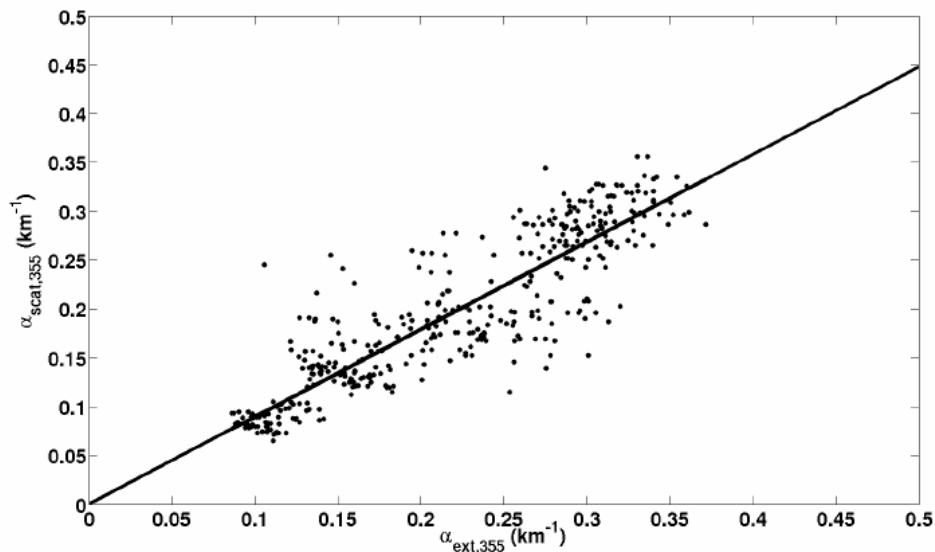
[Raut and Chazette, ACP 2010]

1. Corrélation masse-optique en surface



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

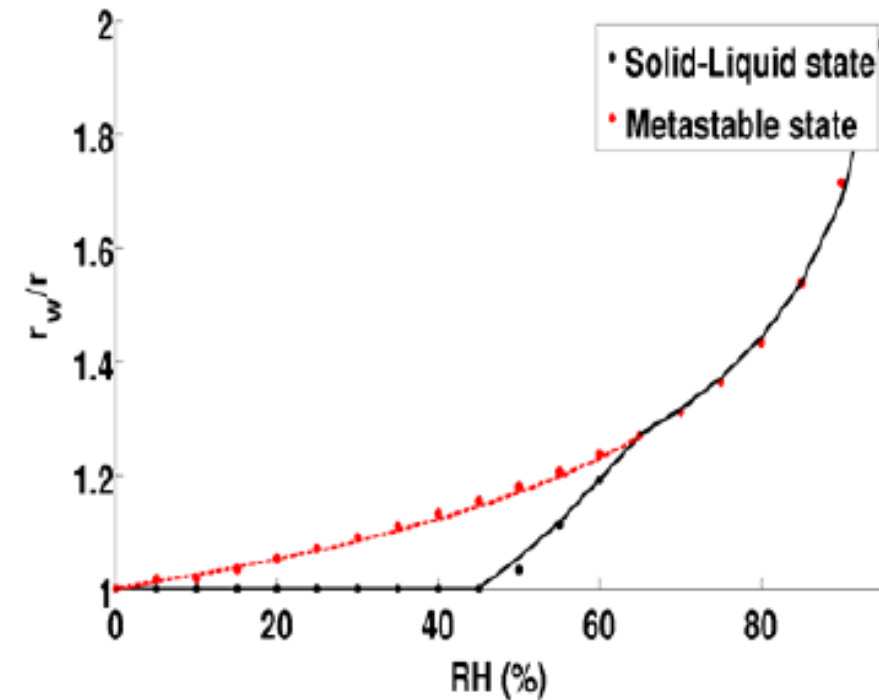
2. Lien surface (coefficient diffusion) avec lidar horizontal (extinction)



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

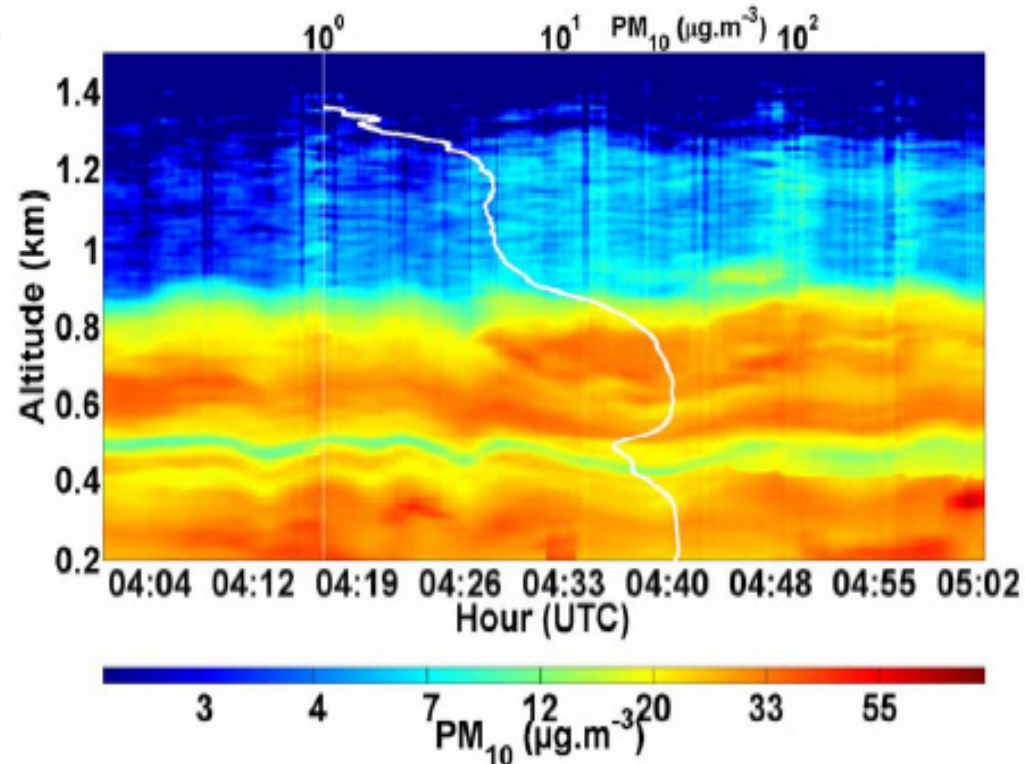
[Raut and Chazette, ACP 2010]

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



4. Profil Extinction → Profil PM10

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



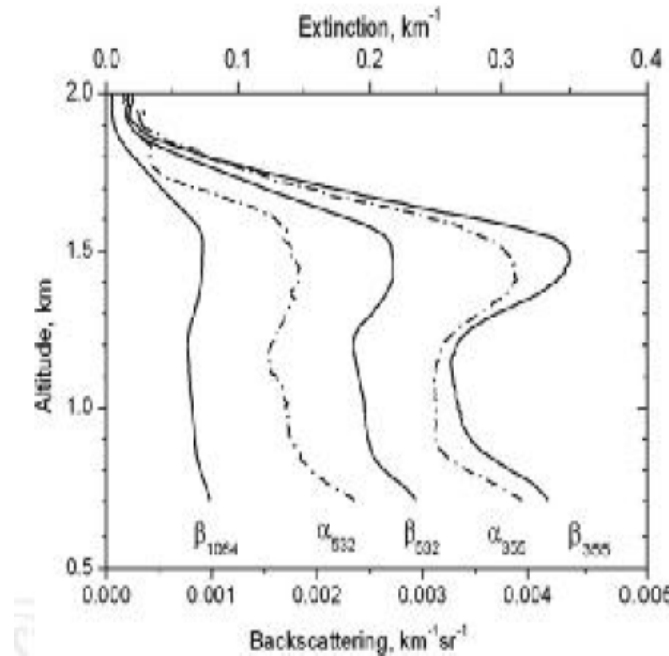
Mesures dans le périphérique de PARIS!

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

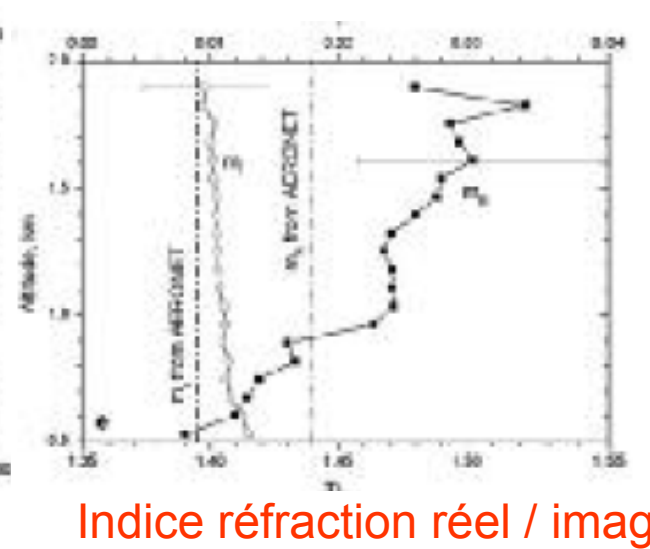
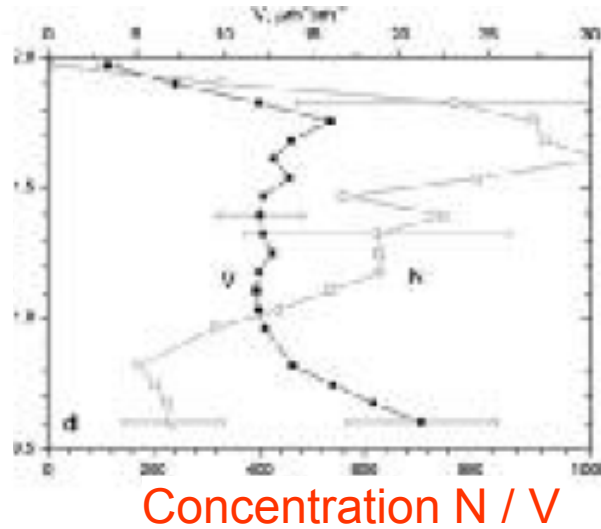
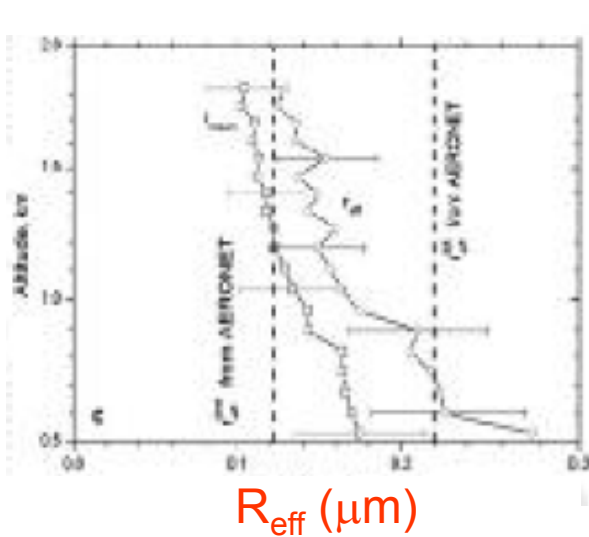
$3\beta(z) + 2\alpha(z)$

Erreur des mesures

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

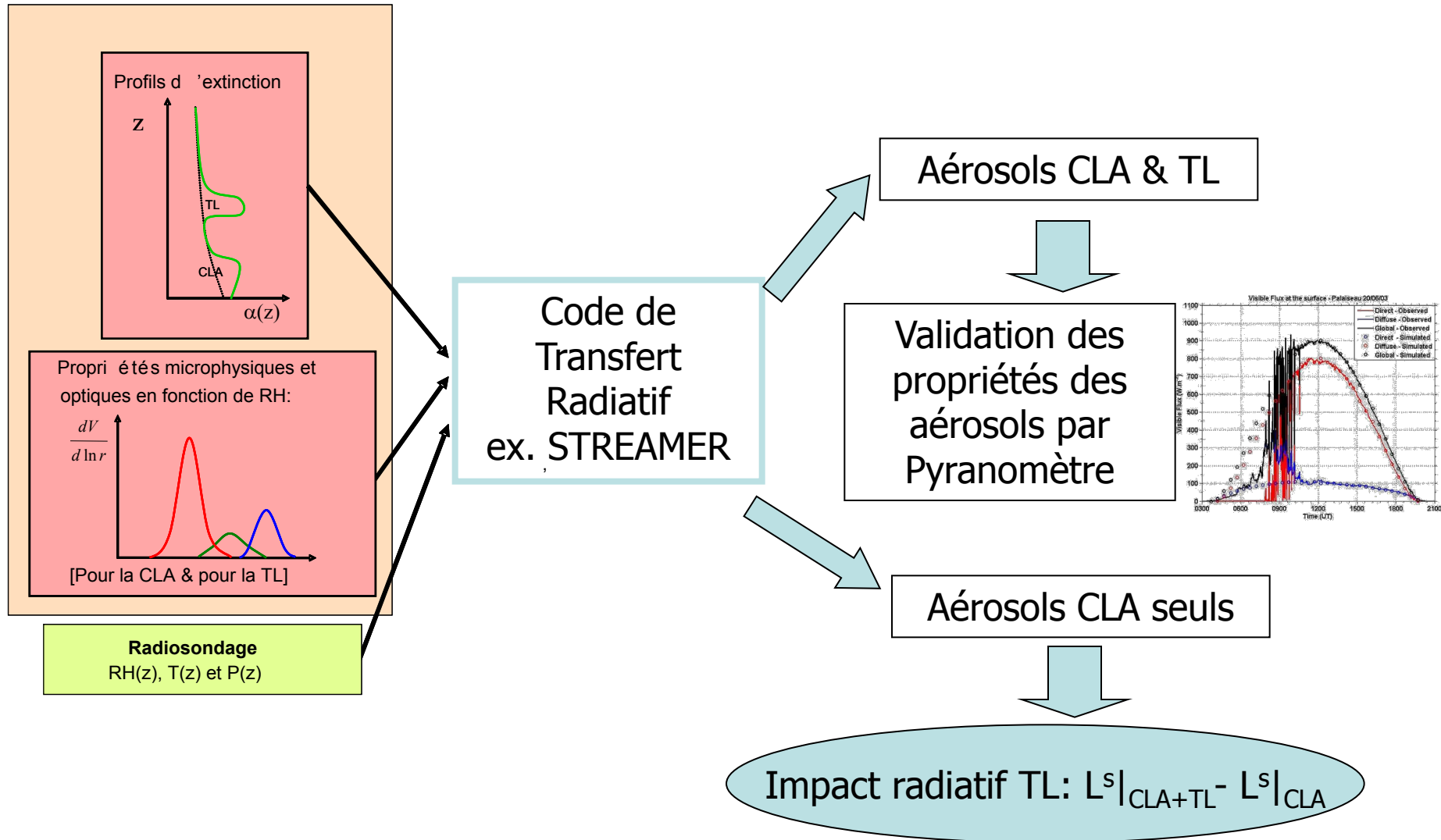
e.g. [Veselovski et al., 2009, JAOT]

Itération pour Restitution simultanée
de trois profils microphysiques:



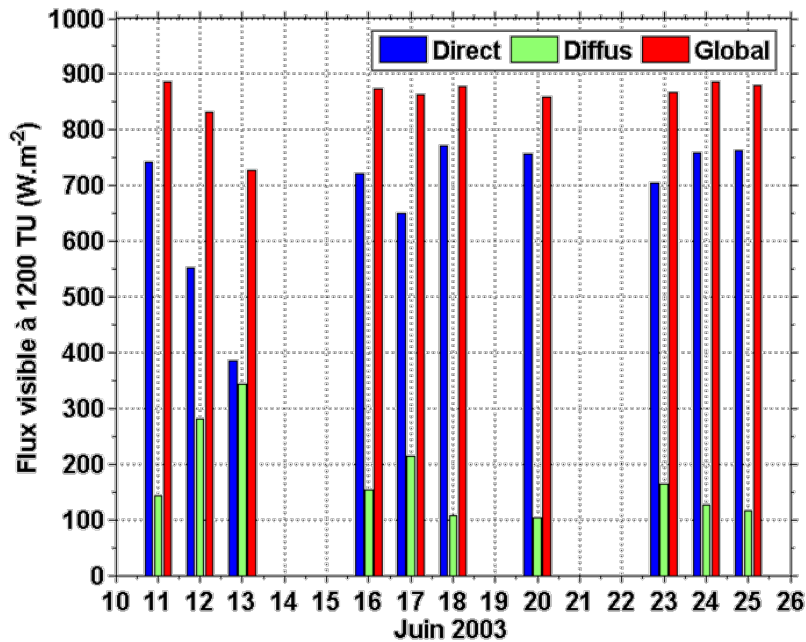
4. Estimation de l'impact radiatif des aérosols

Entrées nécessaires pour estimer de l'impact radiatif des aérosols

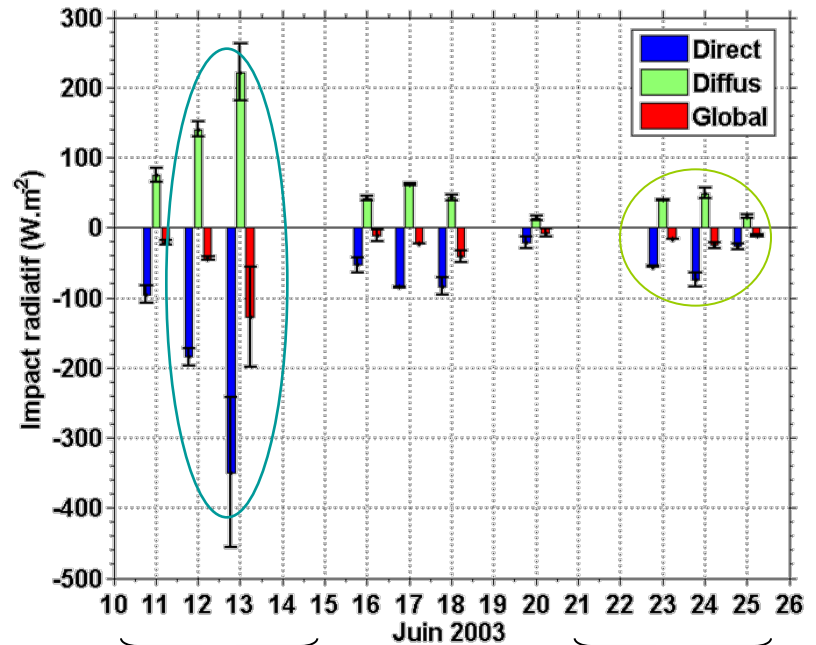


Exemple d'estimation de l'impact radiatif pour une série d'intrusions de poussières désertiques en IdF [Cuesta, 2006]

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



- Forte variabilité des trois flux

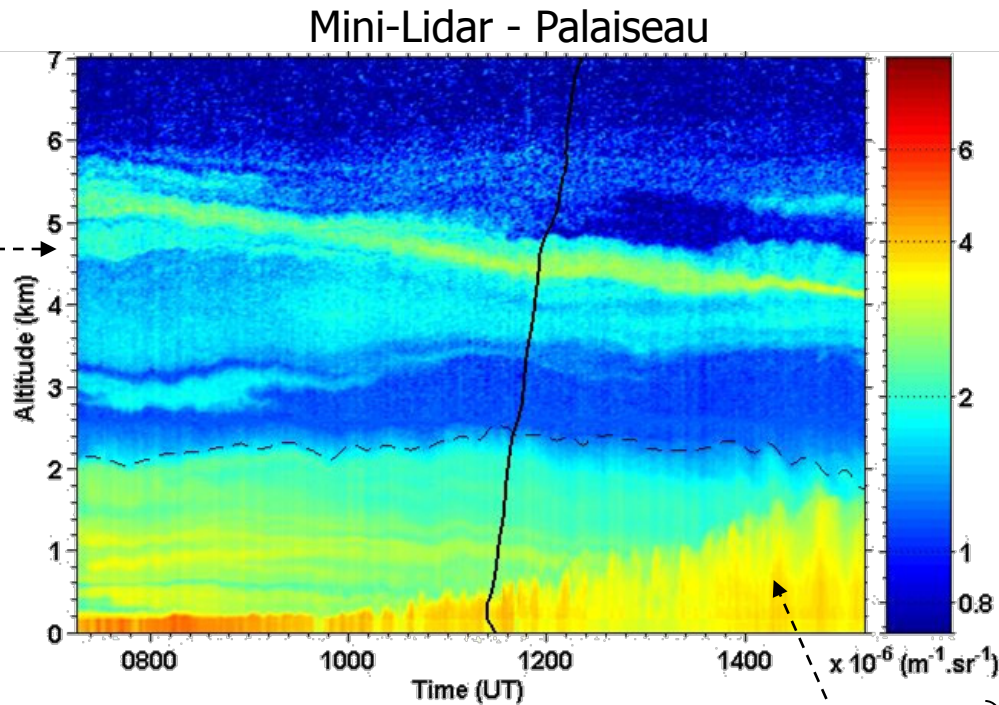


Fort impact sur les 3 flux

Transfert direct \Rightarrow 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

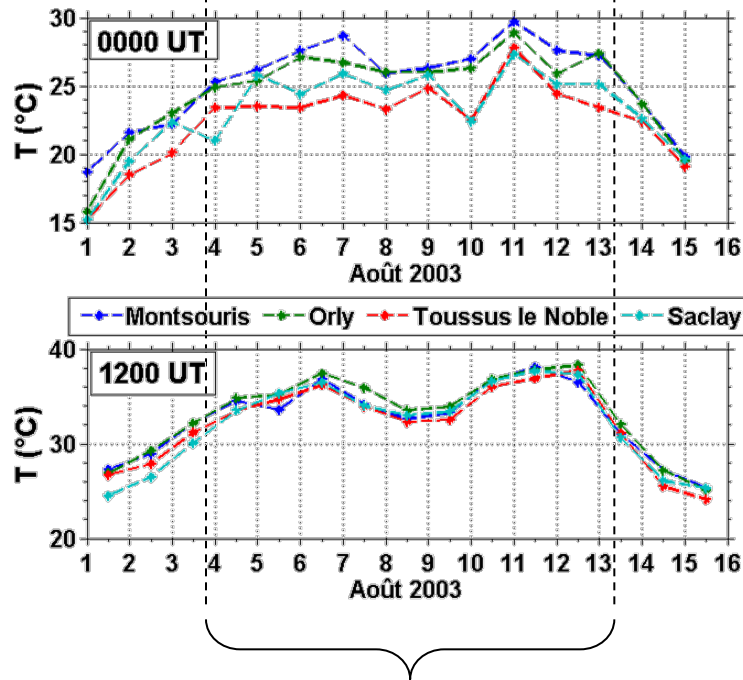


- 1. Développement de la couche de mélange lent et tardif**
- 2. Panache d'aérosols de feux de biomasse dans la TL**

Lien entre les deux phénomènes?

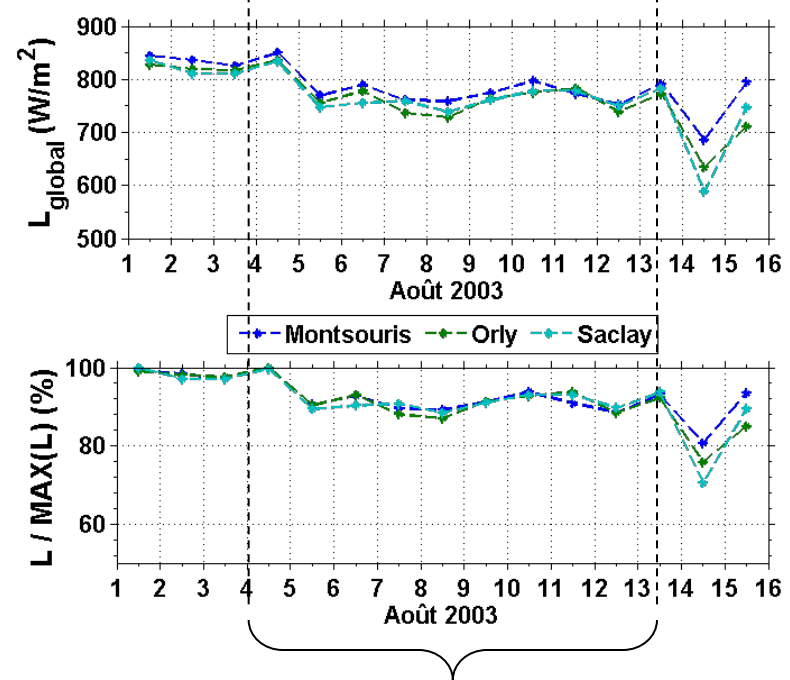
L'arrivée de la vague de chaleur

- La température en surface :



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

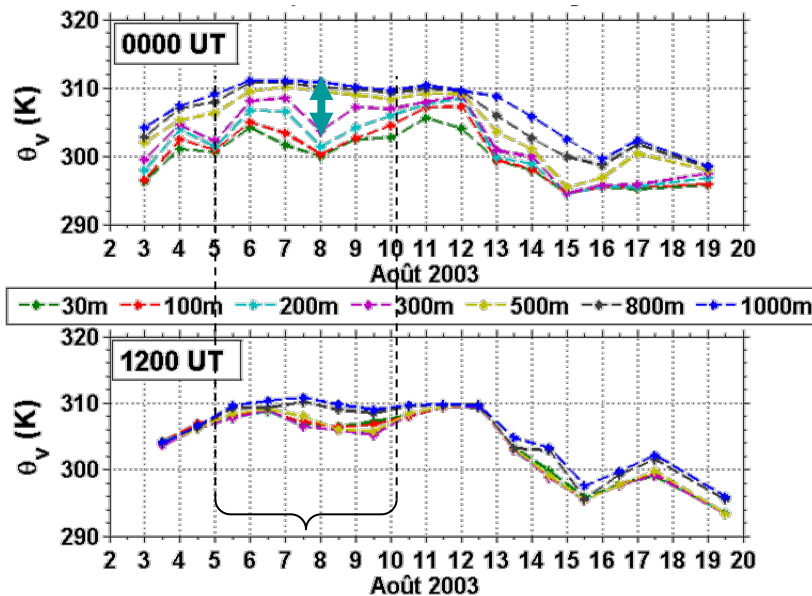
- Le flux radiatif global en surface :



- Réduction de 10% du flux global visible

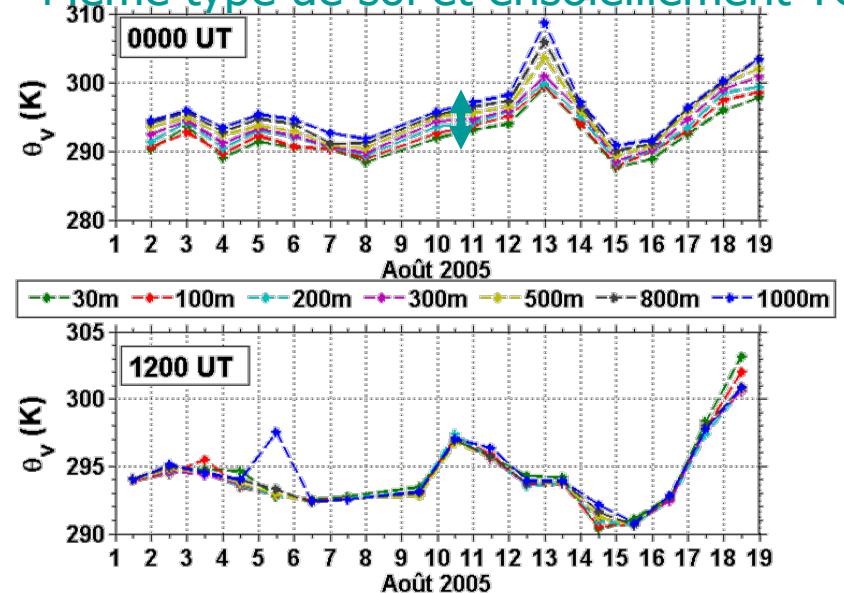
Les conditions de stabilité de la CLA

- 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



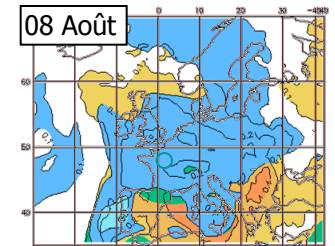
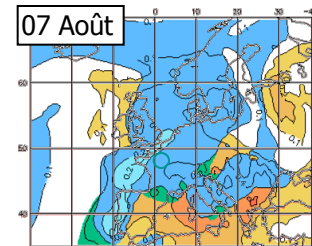
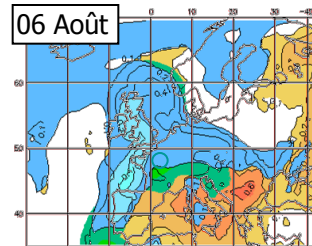
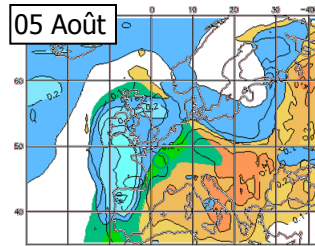
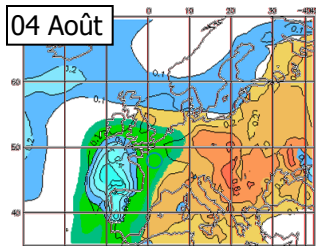
- Stratification la nuit : < 7 C / km

L'arrivée du panache d'aérosols dans la TL

- RapidFire MODIS:

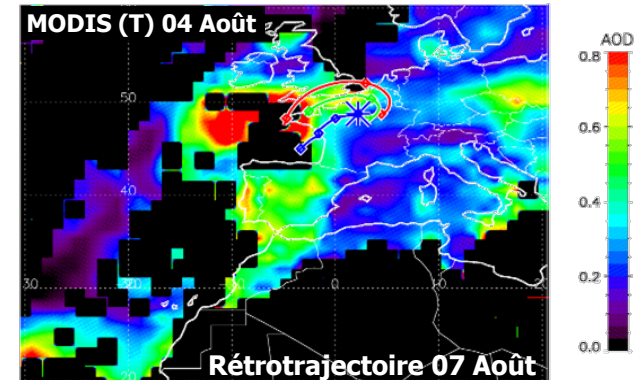
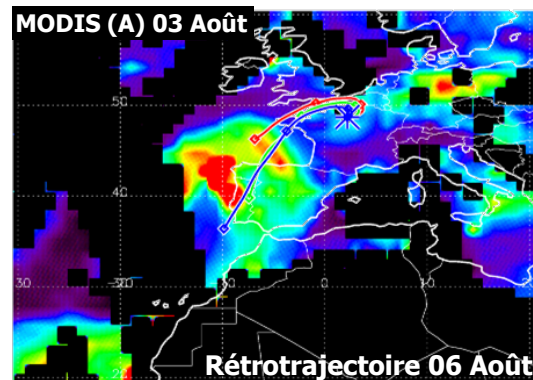
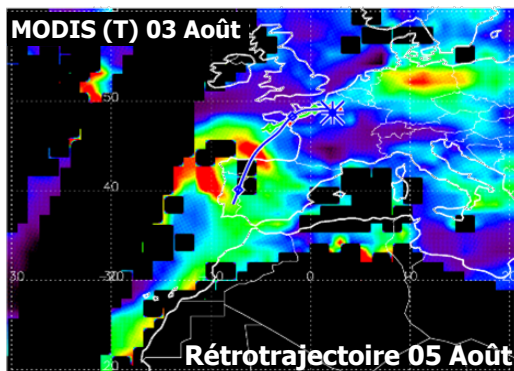
⇒ Feux intenses au Portugal le 3 et 4 Août

- Modèle NAAPS:



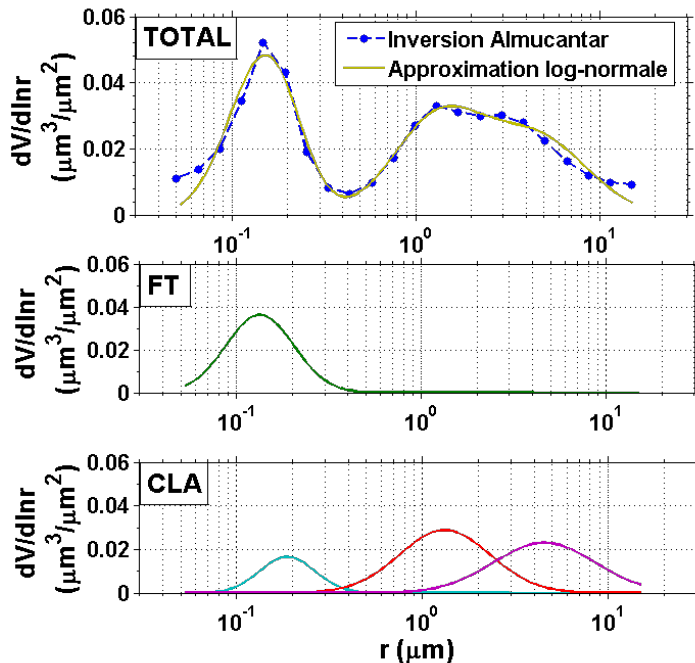
⇒ Permanence du panache du 5 Août au >8 Août

- AOD MODIS + HYSPLIT:



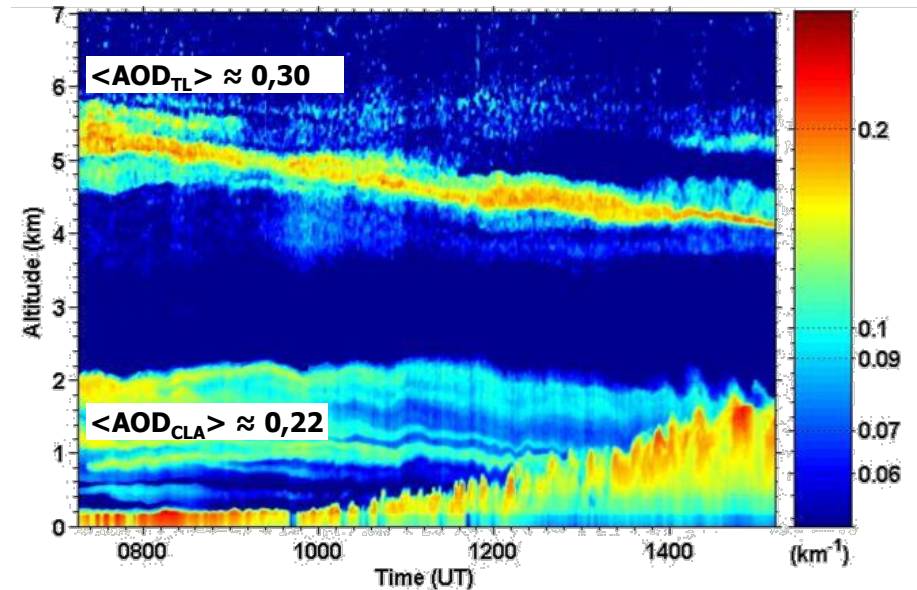
Le panache d'aérosols de feux de Portugal

- 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

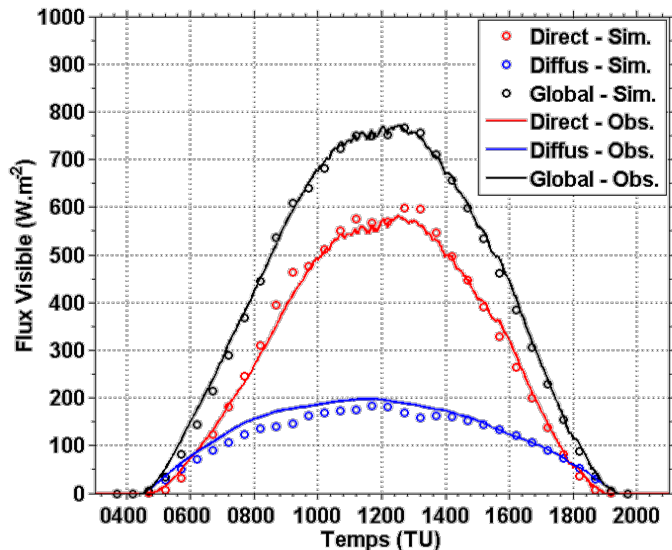
- Profils d'extinction restitués par L&A :



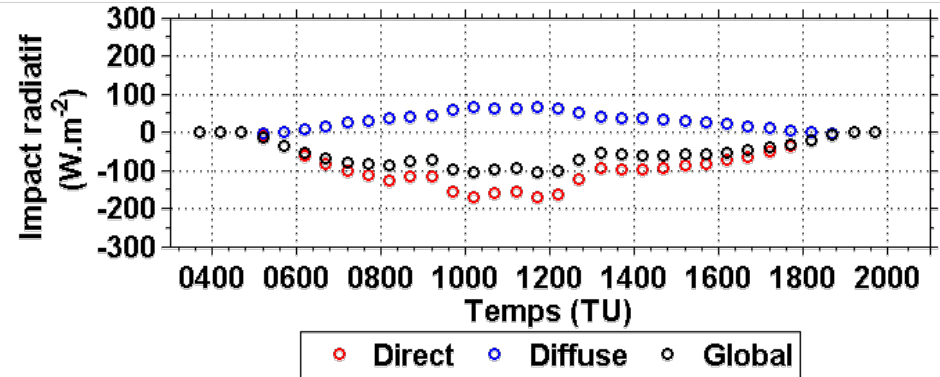
- Indice de réfraction de la CLA :
80 % aérosols soluble en eau et 20 % Carbone de suie
[D'Almeida et al, 1991; Petzhold et al., 2002]

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), $+80 \text{ W.m}^{-2}$ (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 μm) l'impact des aérosols CLA et/ou TL est $< 2 \text{ W.m}^{-2}$

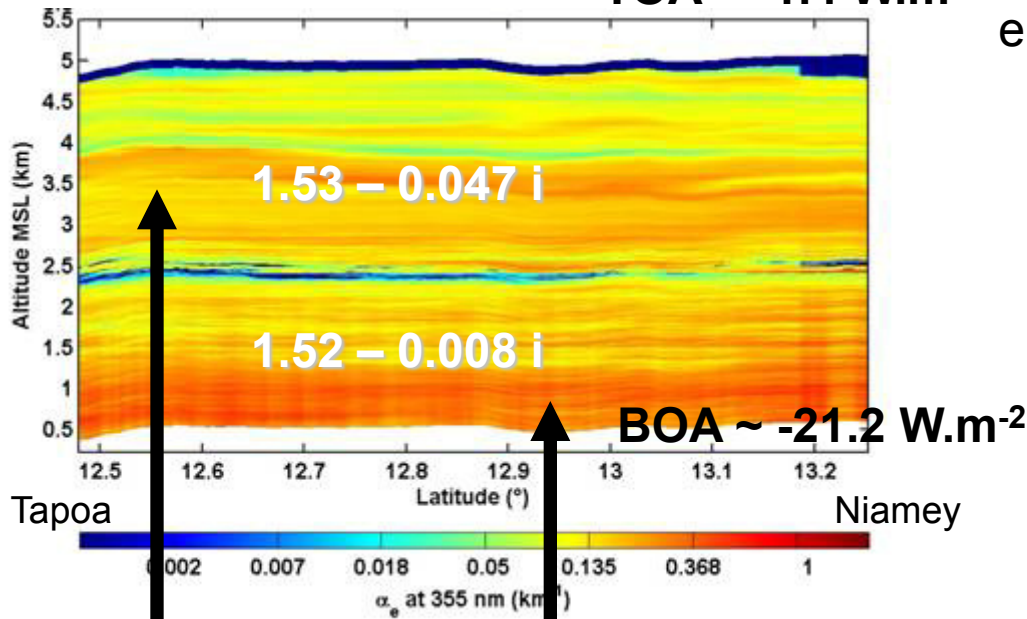
Un autre exemple dans la zone sahélienne

[Raut and Chazette, ACP, 2009]



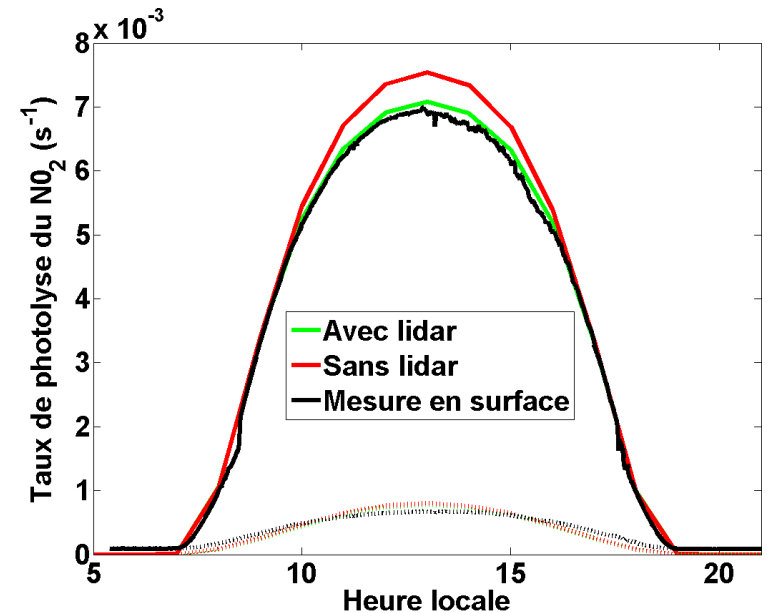
TOA ~ -1.4 W.m⁻²

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



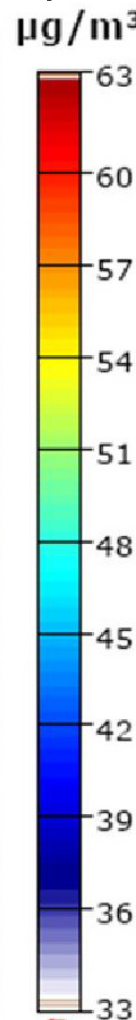
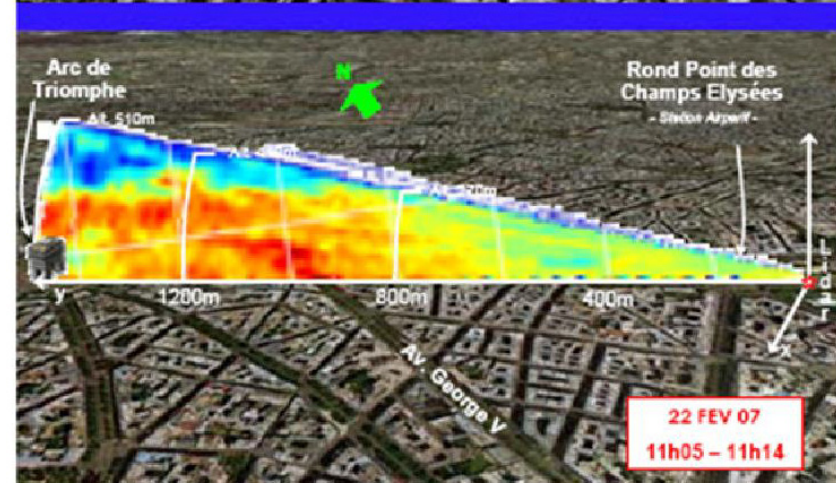
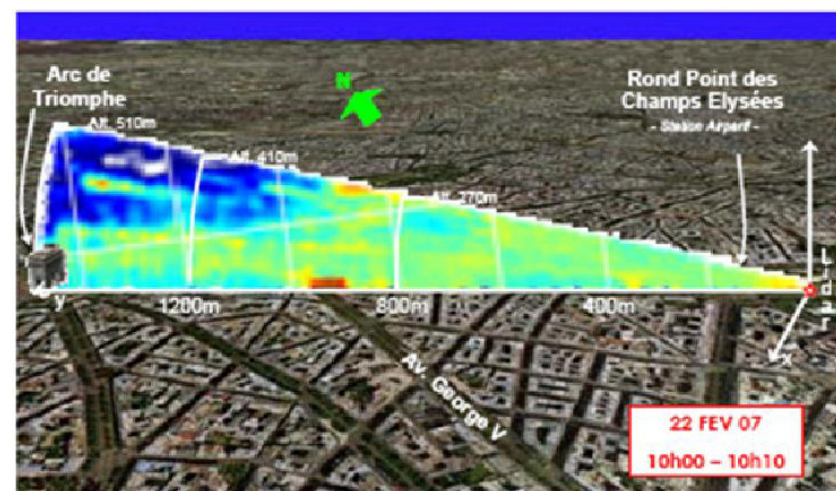
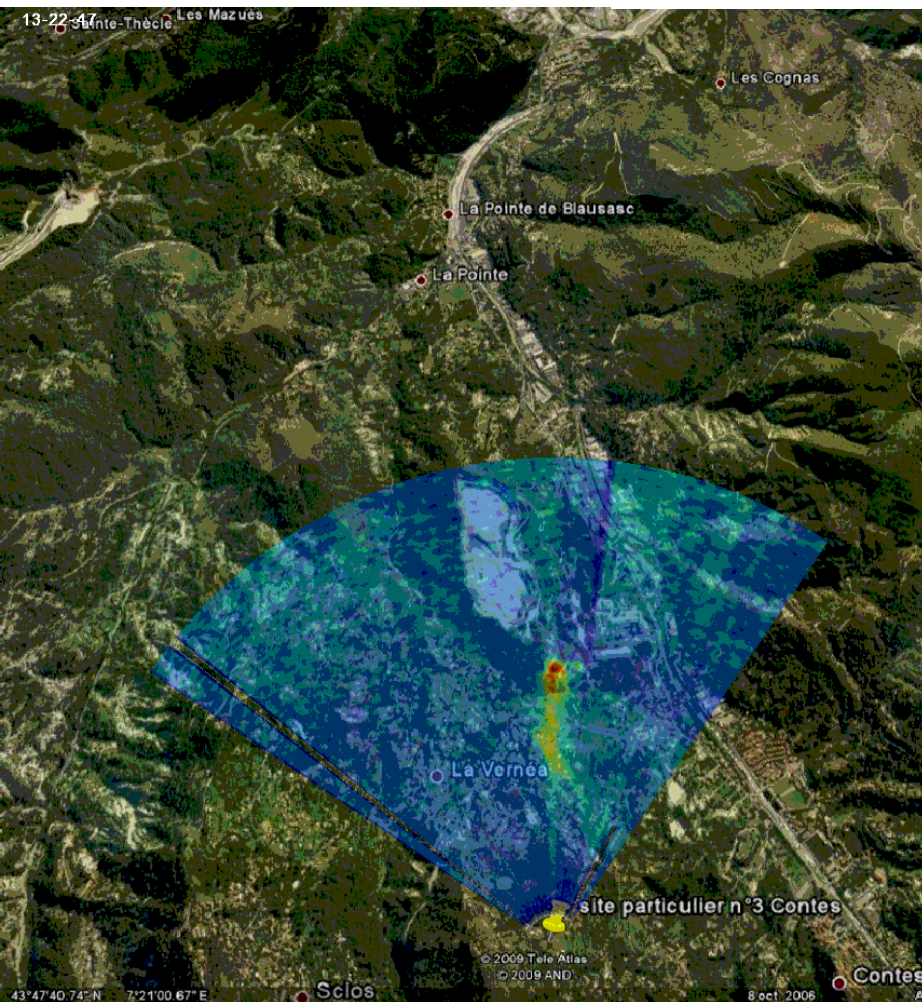
Aérosols de feux de biomasse du Bénin/Nigeria

Poussières désertiques du Sahara



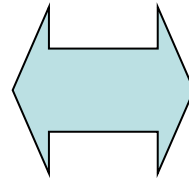
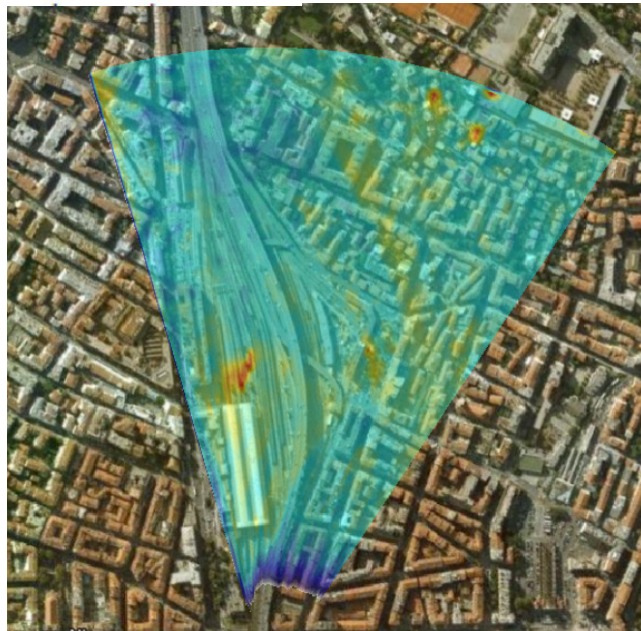
5. Traceurs de sources de particules par lidar

Lidars rétrodiffusion compacts à balayage 3D

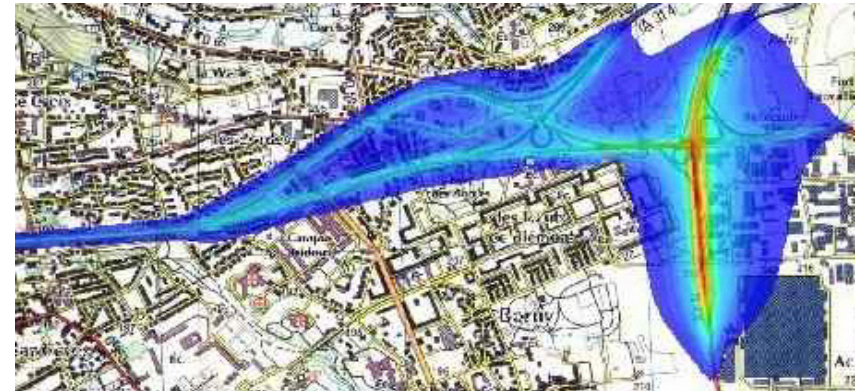


In collaboration with AIRPARIF

Lidars rétrodiffusion compacts à balayage: synergie avec la modélisation

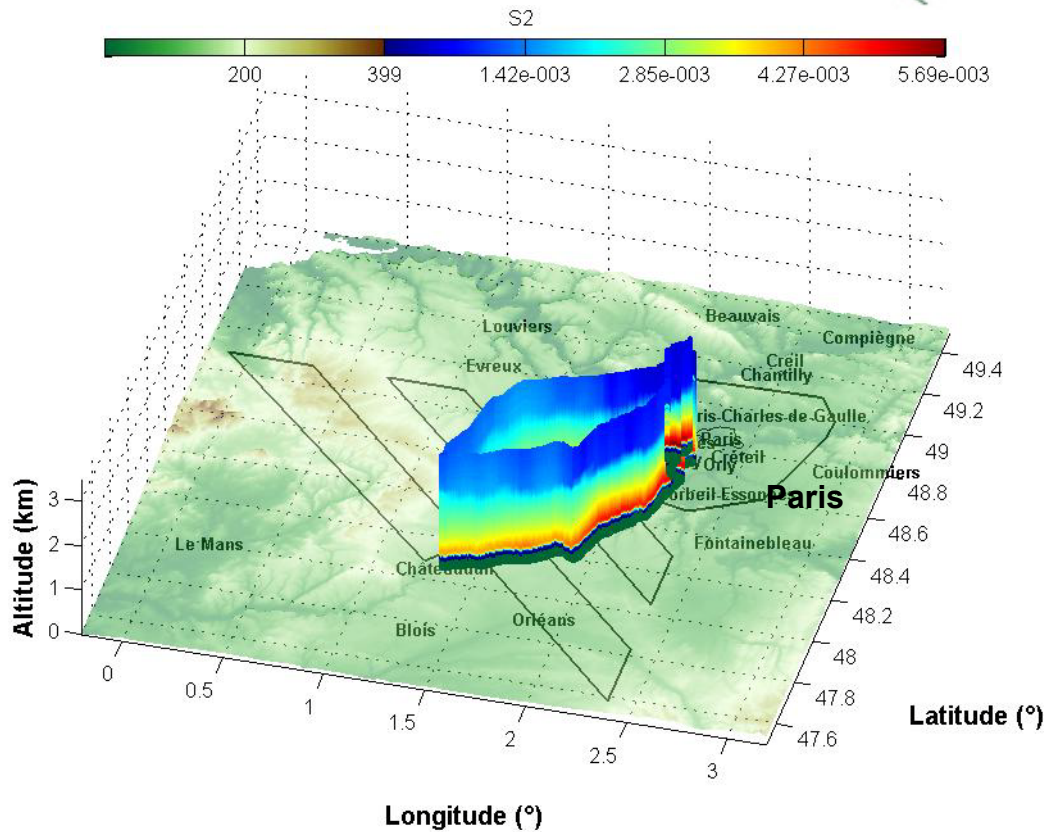


Modèle de qualité de
l'air



- 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

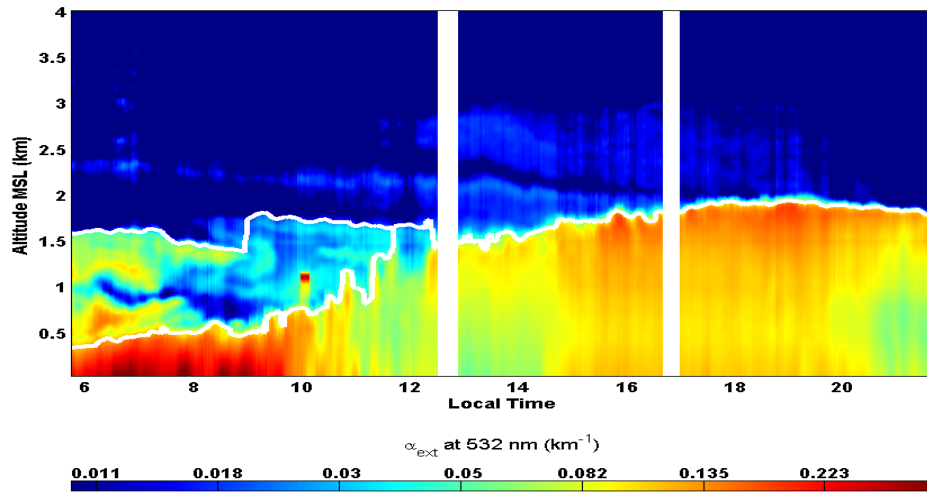


En surface (in situ)
Optique ↔ Masse

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

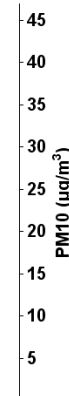
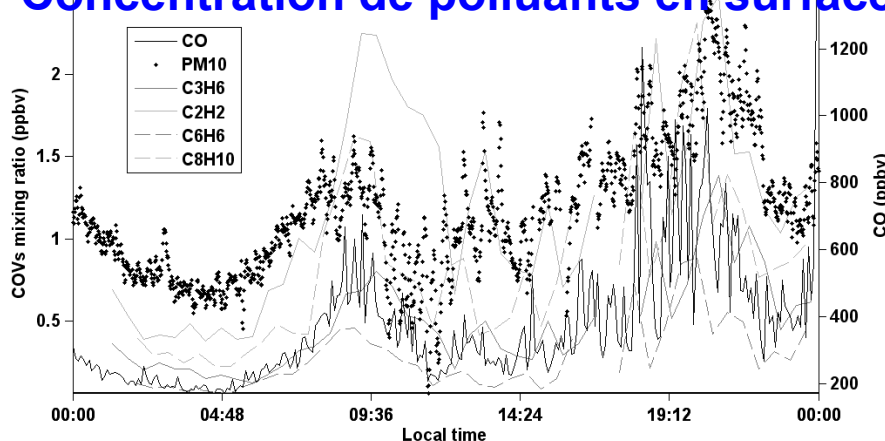


Facteur d'émission: par bilan de masse dans le réservoir de la CLA



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 ²	10 km ²	rms	1 km ²	10 km ²	rms
Particles	PM10 _(50°C)	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

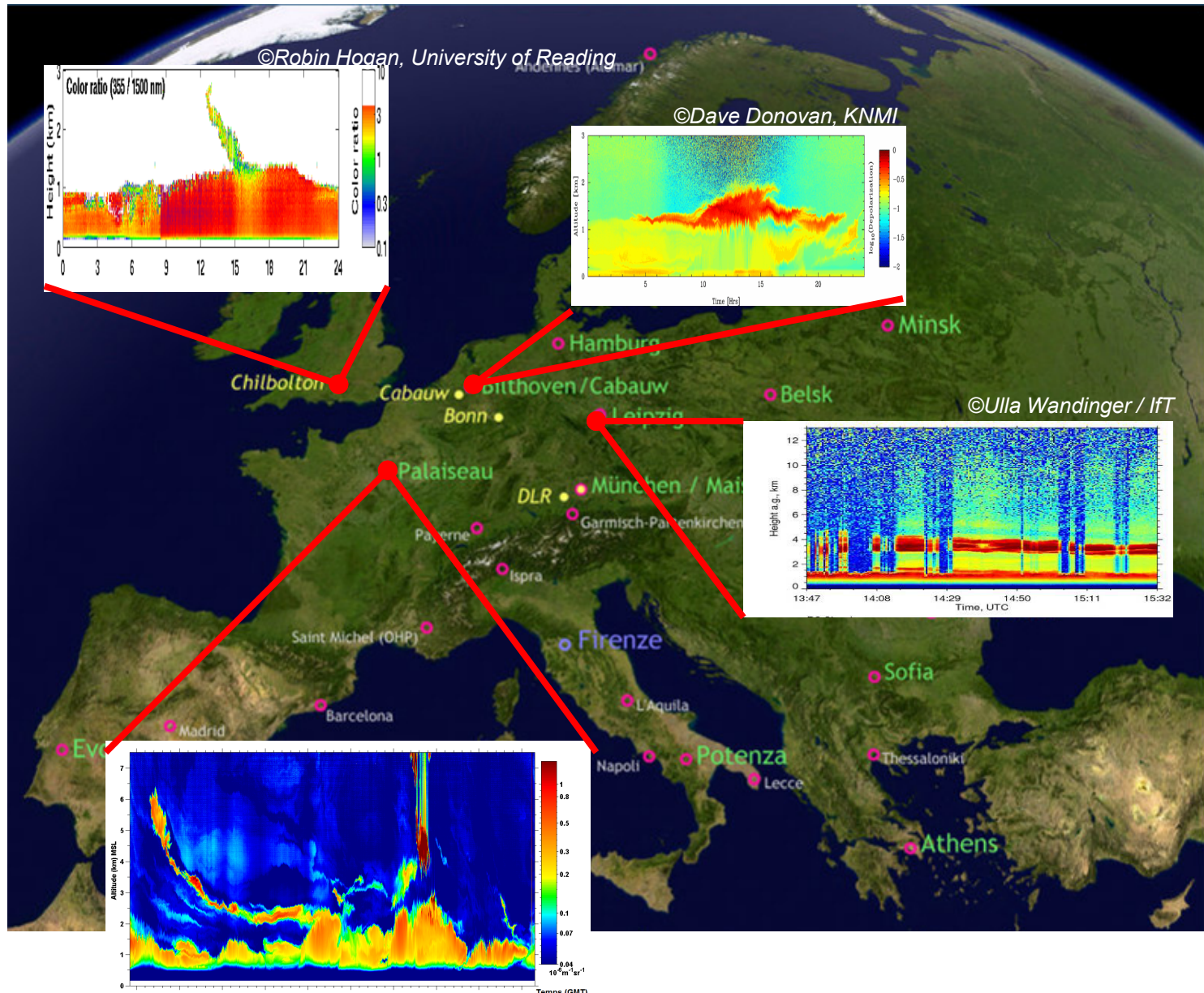
Concentration de polluants en surface



6. Perspectives:

Réseaux de lidar et
Nouveaux lidars aérosols spatiaux

Réseau Lidar aérosol Européen: EARLINET



Le réseau LEONET durant MEGAPOLI

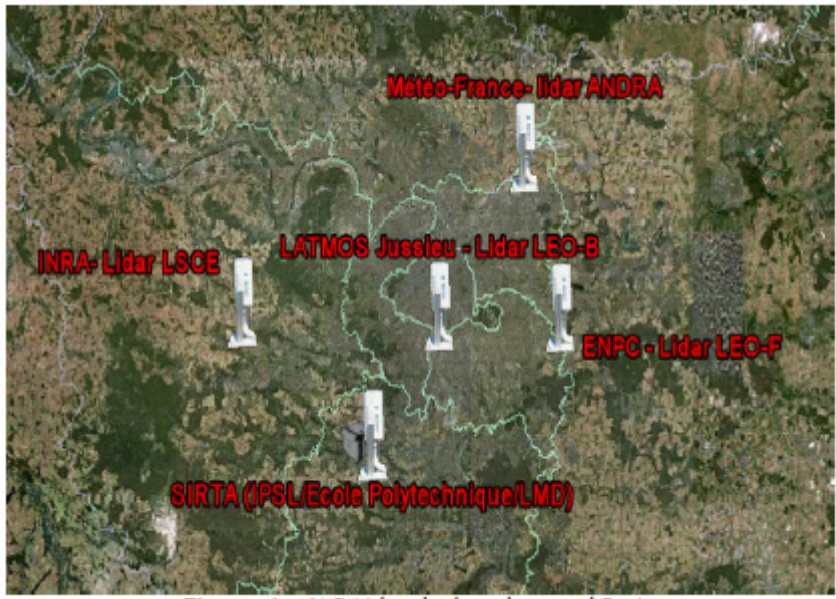
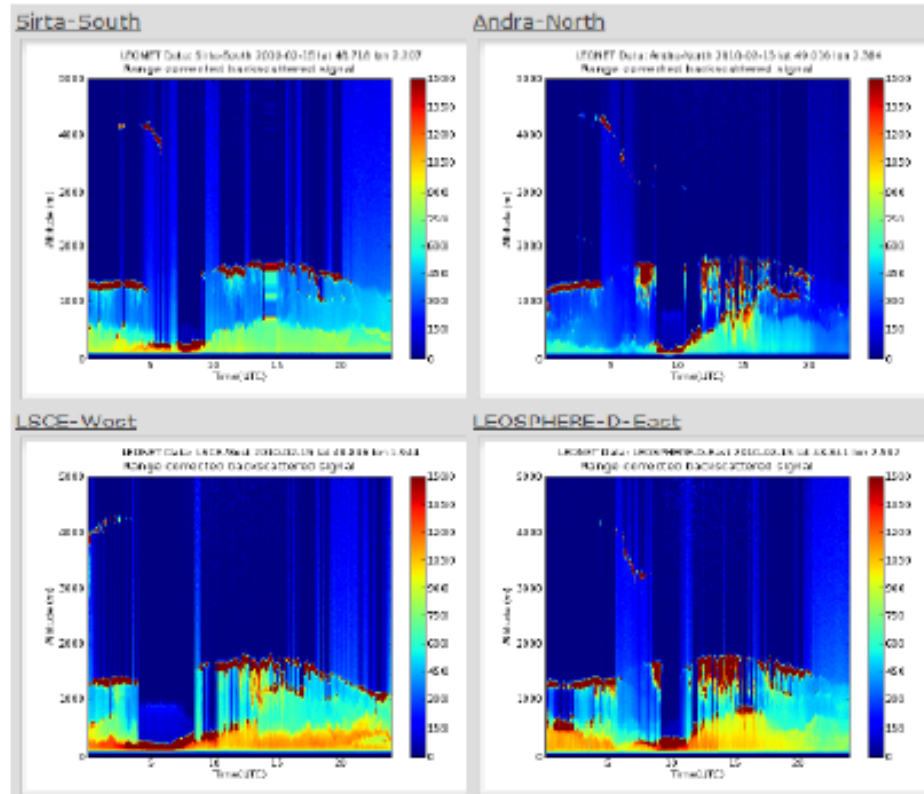


Figure 1 : ALS Lidar deployed around Paris.

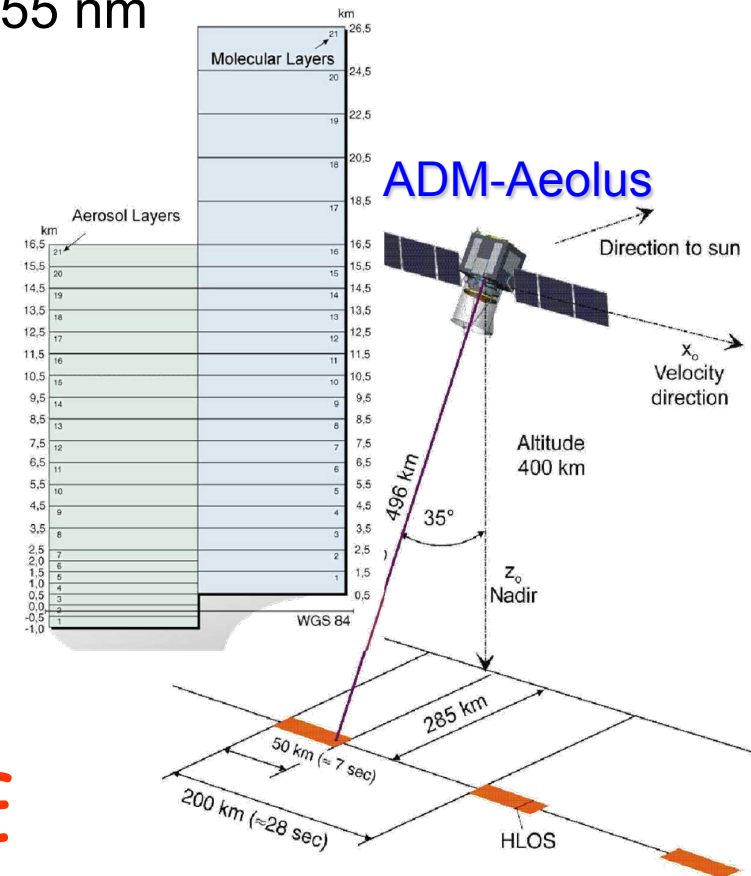


Site Name	Lat	Lon	Alt (m)	PI	PI affiliation
LEOSPHERE-D East	48.841389	2.591944	110	Sophie Loaec	LEOSPHERE
LSCE West	48.846111	1.943889	85	Michel Ramonet	LSCE
Andra North	49.015556	2.384444	90	Sebastien Conil	Andra
Sirta South	48.717778	2.207222	180	Martial Haeffelin	Sirta

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).