

Complémentarité et représentativité des observations  
atmosphériques effectuées par instrumentation active et  
passive sur les nouvelles plates-formes spatiales

Sébastien BERTHIER

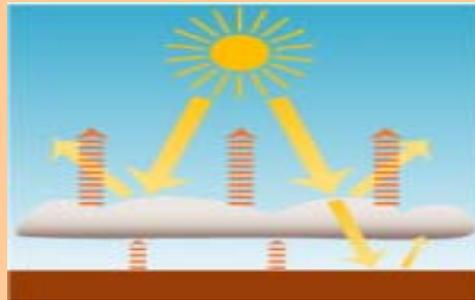
Soutenance de thèse de  
doctorat  
de l'université de  
Versailles Saint Quentin en  
Yvelines

Directeurs de thèse :  
Patrick CHAZETTE,  
Jacques PELON  
Le 22 février 2007



# Nuages et aérosols : principaux acteurs du Bilan Radiatif

## Nuages (e.g. $T_{\downarrow}$ )



## Aérosols

Effet direct ( $T_{\downarrow}$ )



Effet semi-direct ( $T_{\uparrow}$ )



Effet indirect

• Noyaux de condensation :  
+ gouttelettes petites  $\rightarrow$  +  
réfléchissant ( $T_{\downarrow}$ )

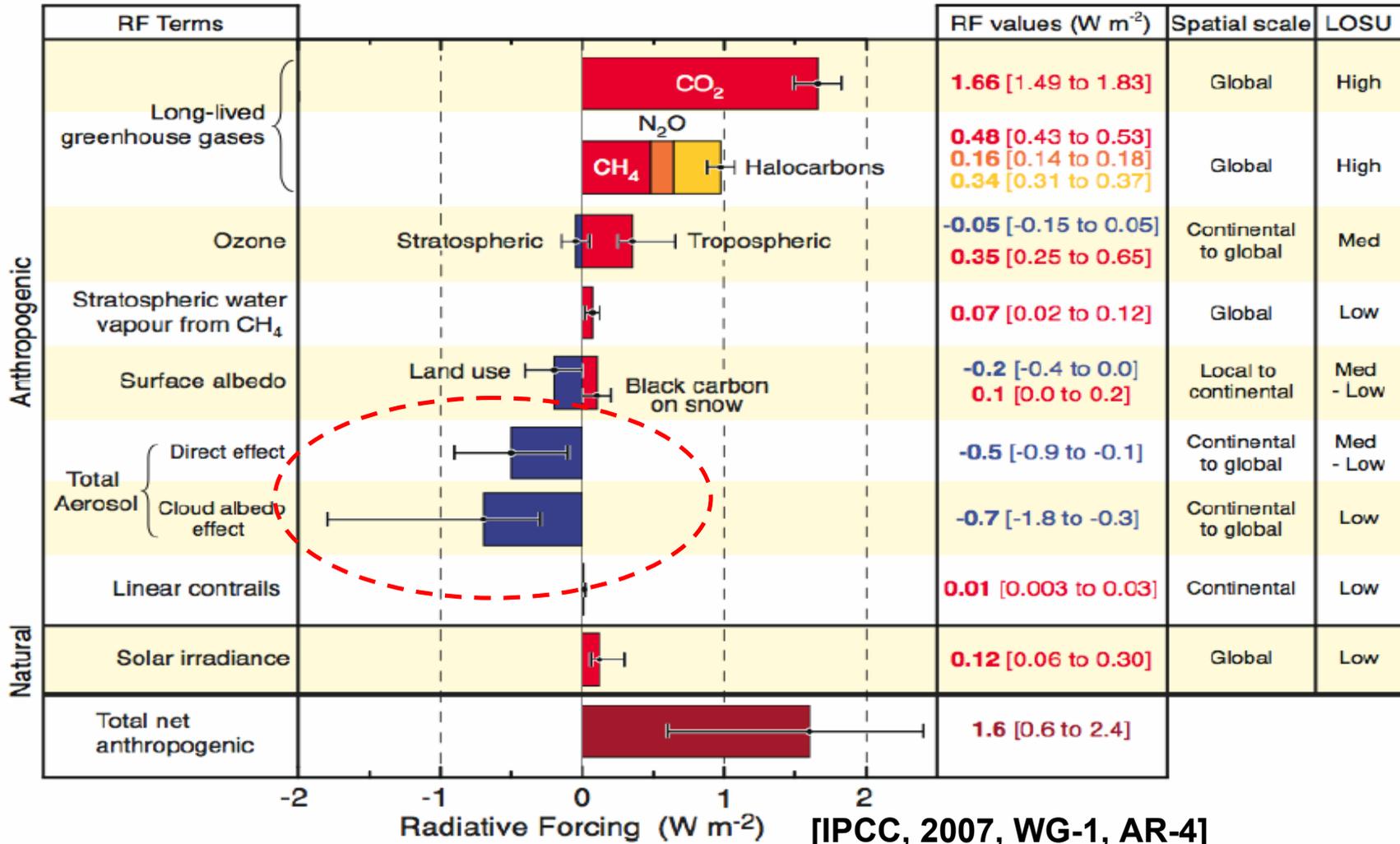
• Gouttelettes + petites :  
pas de précipitation et  
couverture + importante

( $T_{\downarrow}$ ) ou ( $T_{\uparrow}$ )

# Notre connaissance de l'incertitude sur le forçage radiatif additionnel : 1) les aérosols



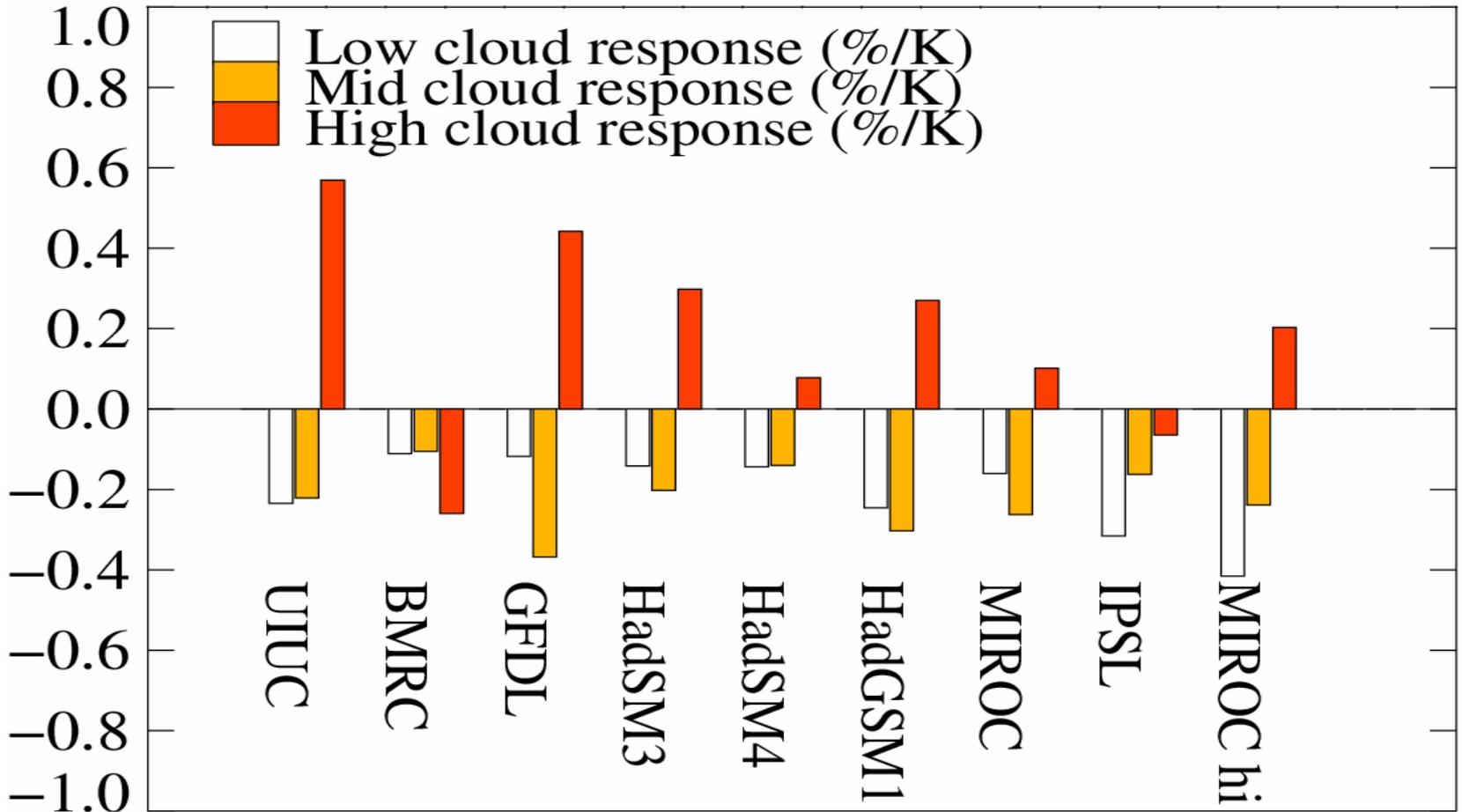
## Radiative Forcing Components



# Notre connaissance de l'incertitude sur le forçage radiatif additionnel : 2) les nuages



## Global Mean



(Webb et al., *Climate Dynamics*, 2006 – CFMIP models)

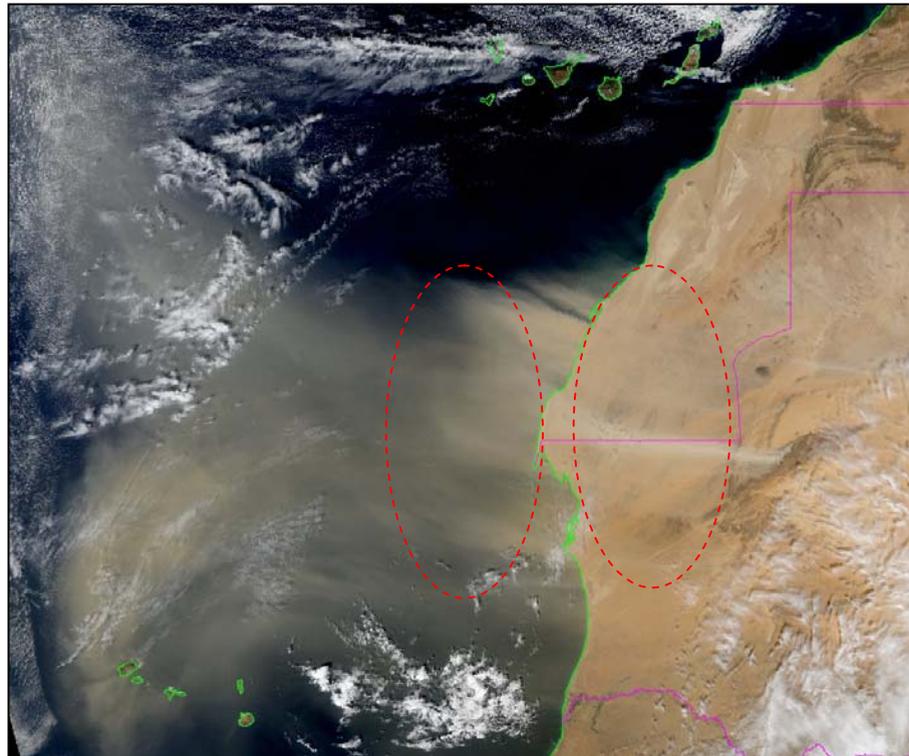


Pour résoudre ces problèmes, une précision requise de l'ordre de 300 à 500 m !

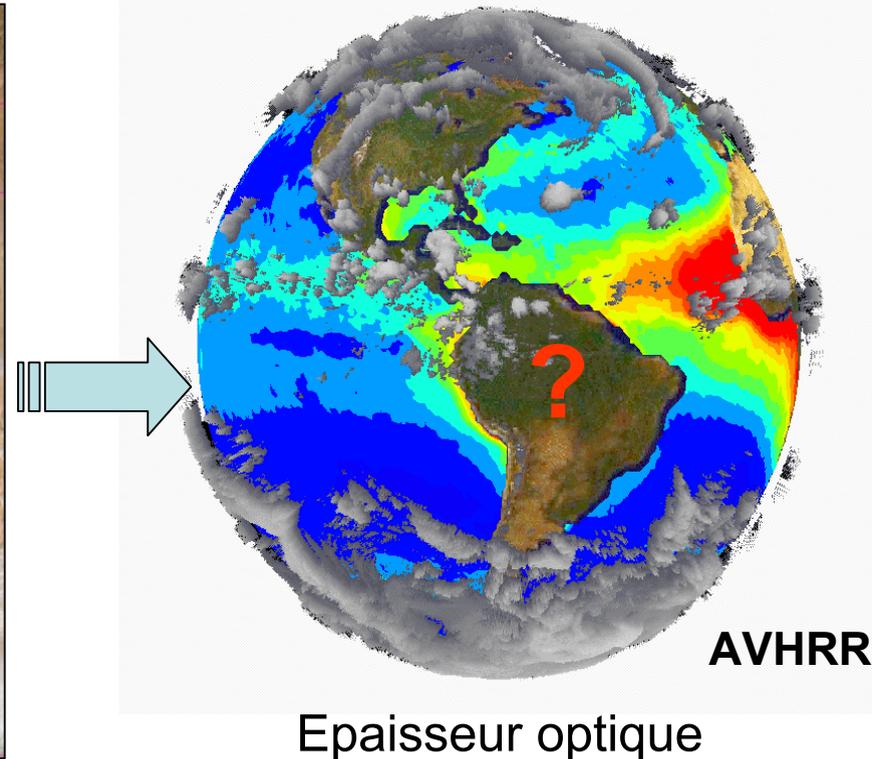
# Limitations de la télédétection passive : l'aérosol au dessus des continents

Une forte variabilité des BRDF au dessus des surfaces continentales

➔ Masque sur le signal atmosphérique, et principalement pour les régions désertiques



Modis

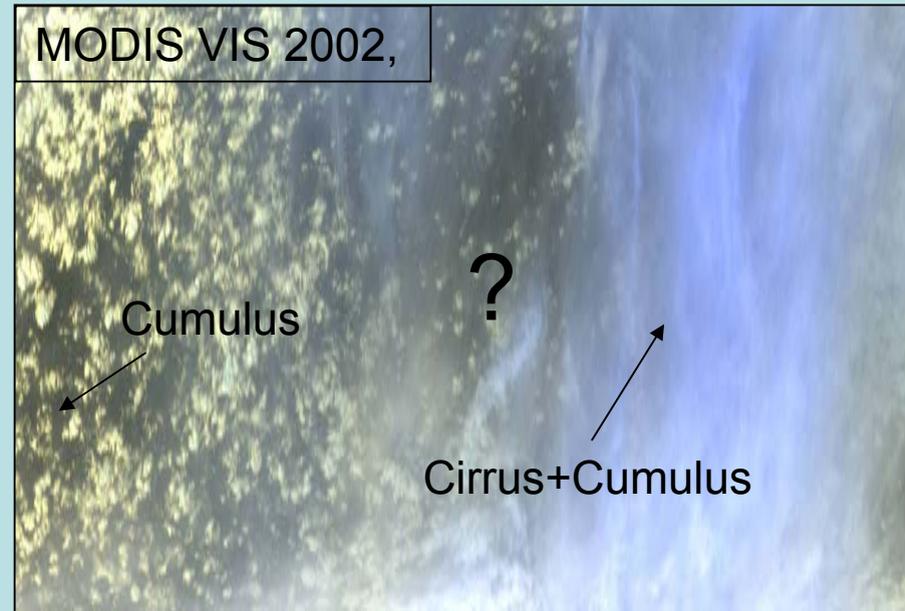
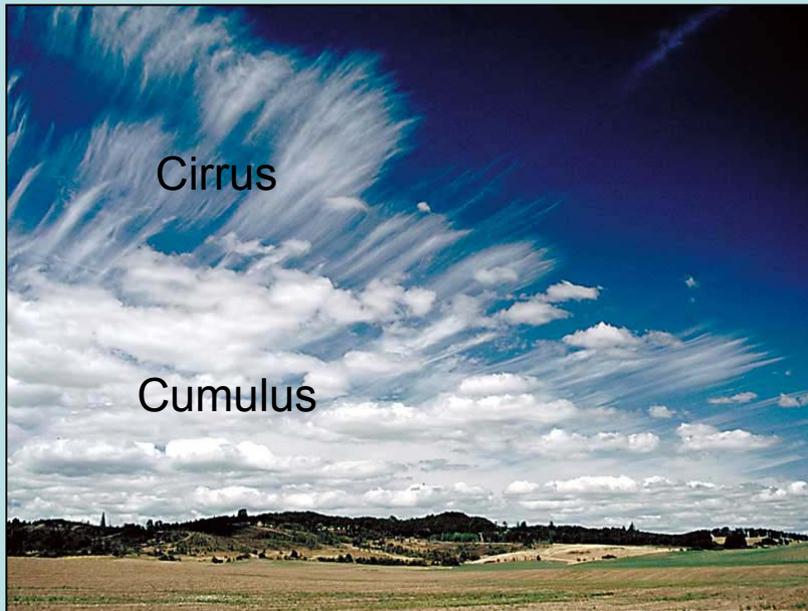


AVHRR

Epaisseur optique

# Limitations de la télédétection passive : la répartition verticale des nuages

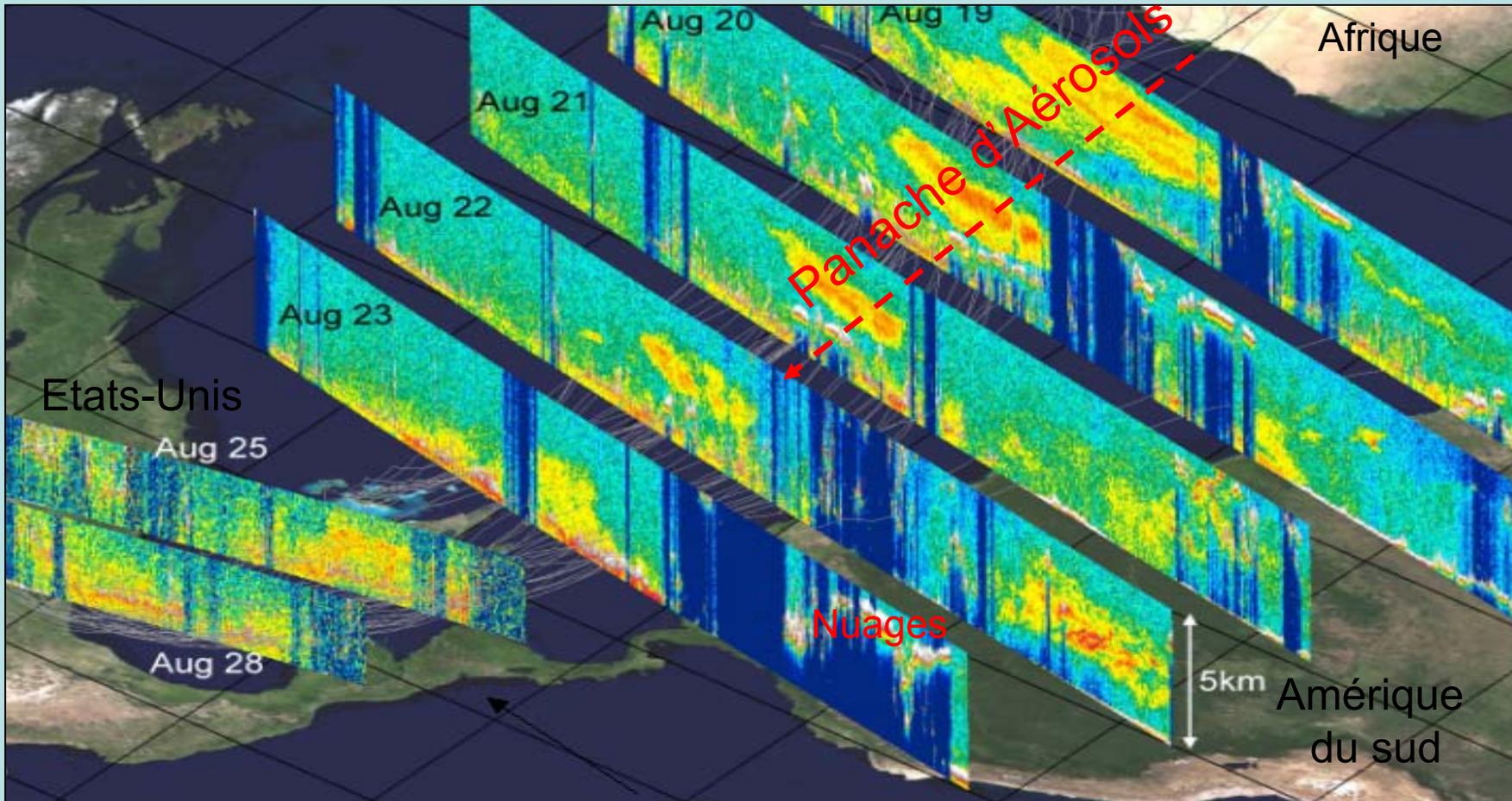
- De bonnes connaissances pour les nuages bas
- Plus de problèmes pour les nuages moyens et haut  
(Incertitudes : 500 m en bas, 1 à 2 km en haut)
- Multicouches non accessibles au passif (ex: Ci + Cu, etc ...)



# Solution ? : L'apport du lidar

Le lidar fait une mesure directe et résolue des structures sur la verticale !

Données CALIPSO

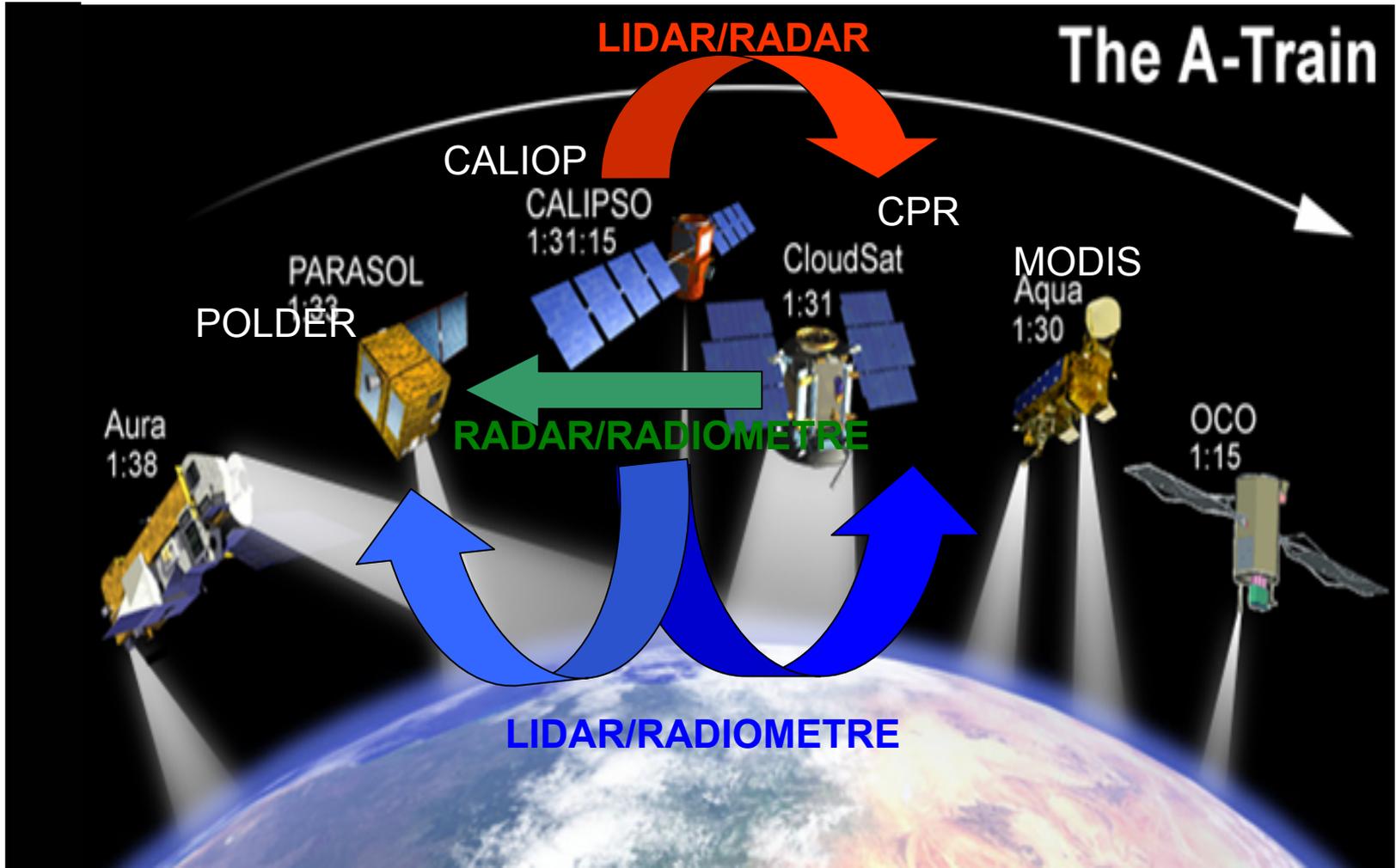


# *Buts et apports de mon travail de thèse*

- 
- ✓ Utiliser ce nouvel outil afin d'améliorer notre connaissance sur les distributions spatiales des nuages et des aérosols (3D).
  - ✓ Coupler les instruments de détection actif et passif, afin d'améliorer la restitution des propriétés optiques et radiatives des aérosols.

# Solution à l'échelle globale

Observation multi plates-formes : synergie  
LIDAR/RADAR/radiomètres de l'AQUA-TRAIN



# Les premiers lidar dans l'espace

**LITE (NASA, 1994)**



10 jours de mesures

**GLAS (NASA, 2003)**



1 mois de mesures

# PLAN

« Le couplage actif / Passif pour l'étude des aérosols et des nuages à l'échelle globale »

## 1. Problématique scientifique

2. Couplage actif/passif pour la restitution des propriétés optiques des aérosols de manière résolue dans la colonne d'air  
(LITE/METEOSAT)

3. A) Statistiques sur les couvertures nuageuses à partir d'observations lidar spatiales GLAS et LITE

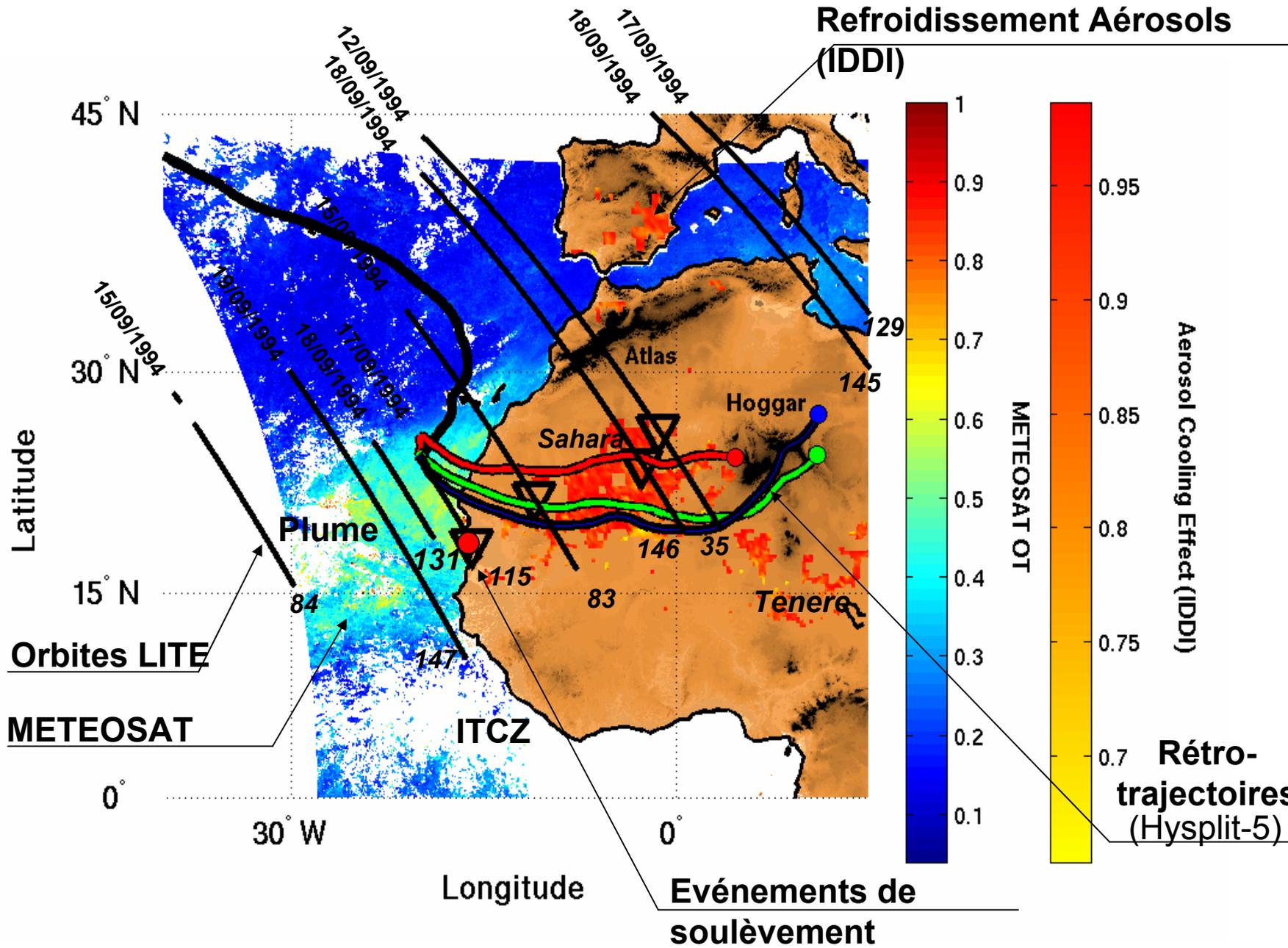
B) L'objet nuage

4. Conclusion Générale/Perspectives

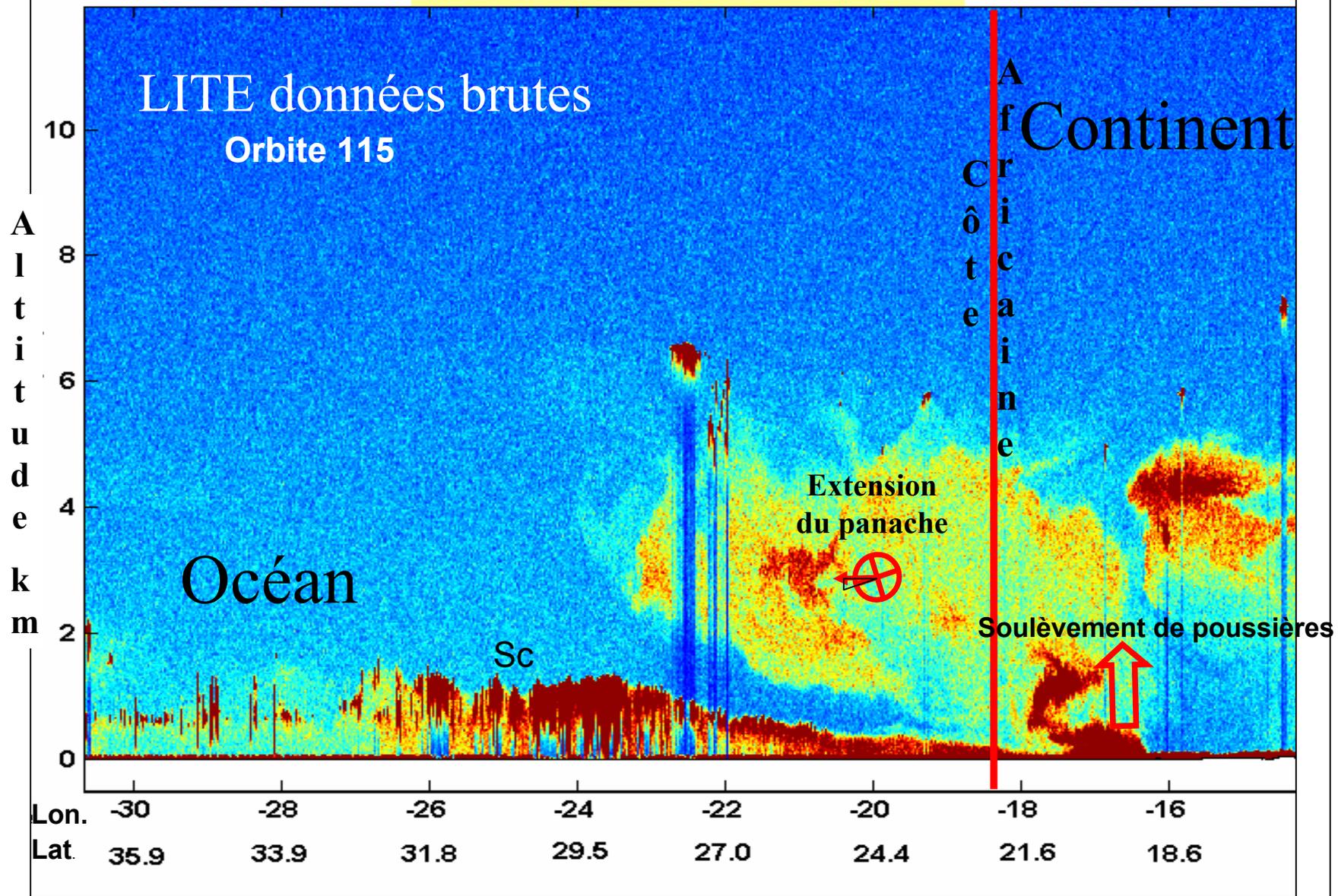
# Les outils et leur utilisations

- **LITE** : donnée active : profils verticaux
- **METEOSAT** :
  - Donnée passive :  $\tau$
  - Refroidissement aérosols IR (**IDDI**)
- Modélisation à l'échelle globale :
  - Transport  **Hysplit-4**
  - Les sources  champs de **vents ECMWF**





# Cas d'un soulèvement



# Inversion des données lidar : intérêt de la synergie active/passive

Normalisation du signal Rayleigh

Diffusion multiple

Rétrodiffusion

*L'équation générale lidar*

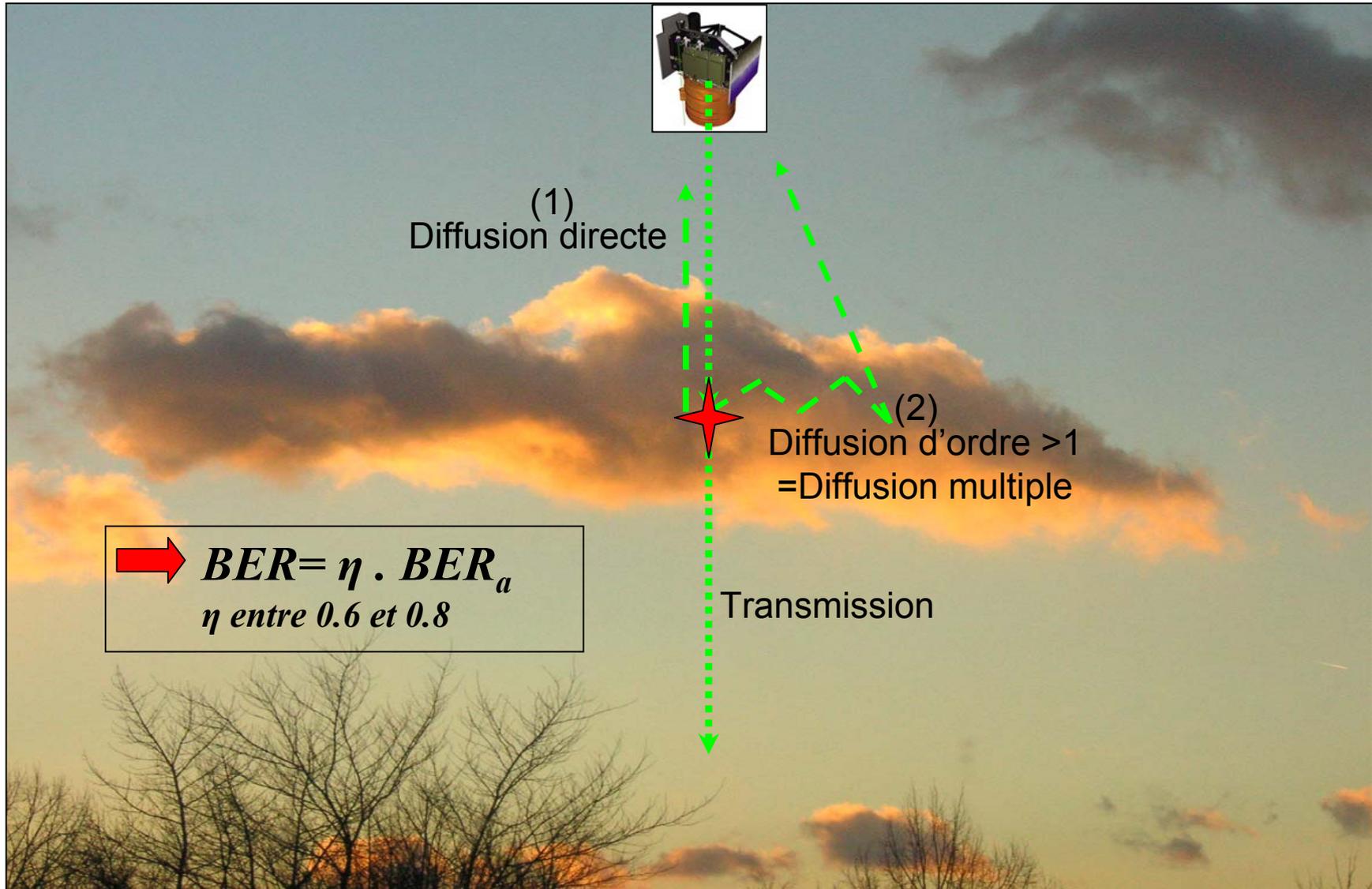
Terme de Transmission

$$S_2(z) = C \cdot \beta(z) \cdot \exp \left[ -2 \int_0^z \eta \cdot \frac{\beta}{\alpha} \cdot BER \cdot dz' \right]$$

Mesure passive =  $\tau$

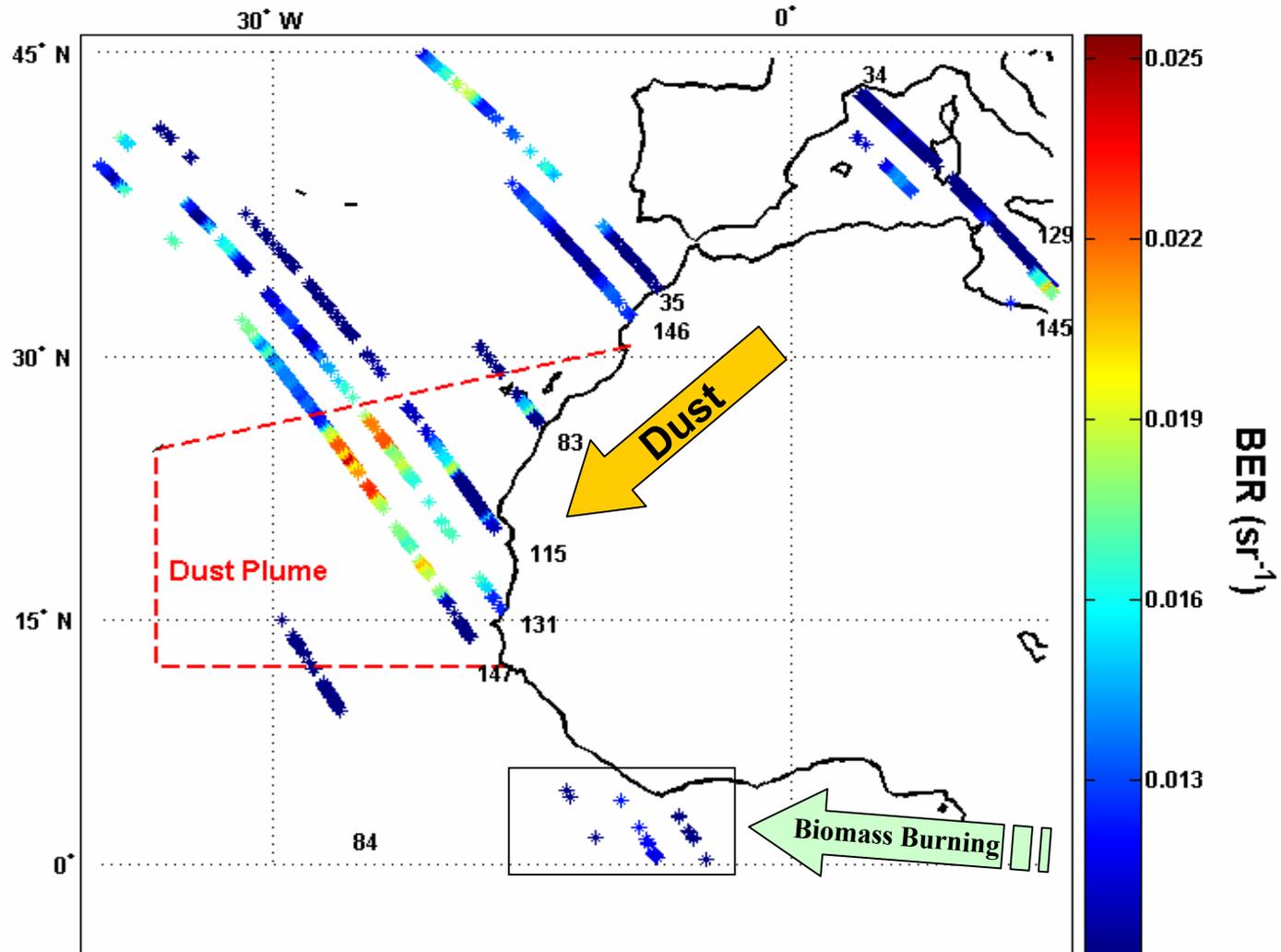
$$BER = \beta / \alpha = \omega_0 \cdot P_\pi$$

# La diffusion multiple



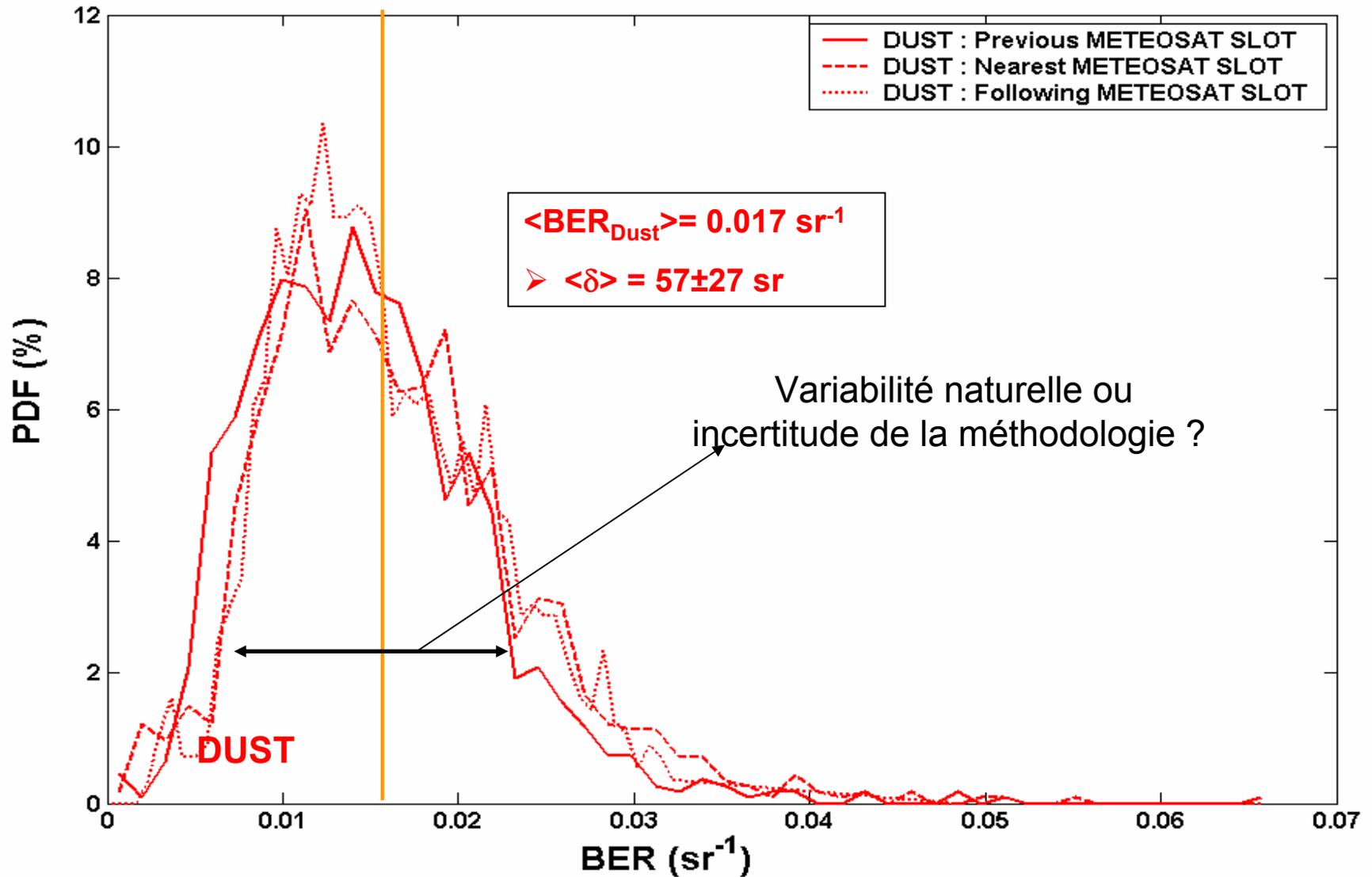
# Inversion LITE au-dessus des continents

## BER des poussières désertiques



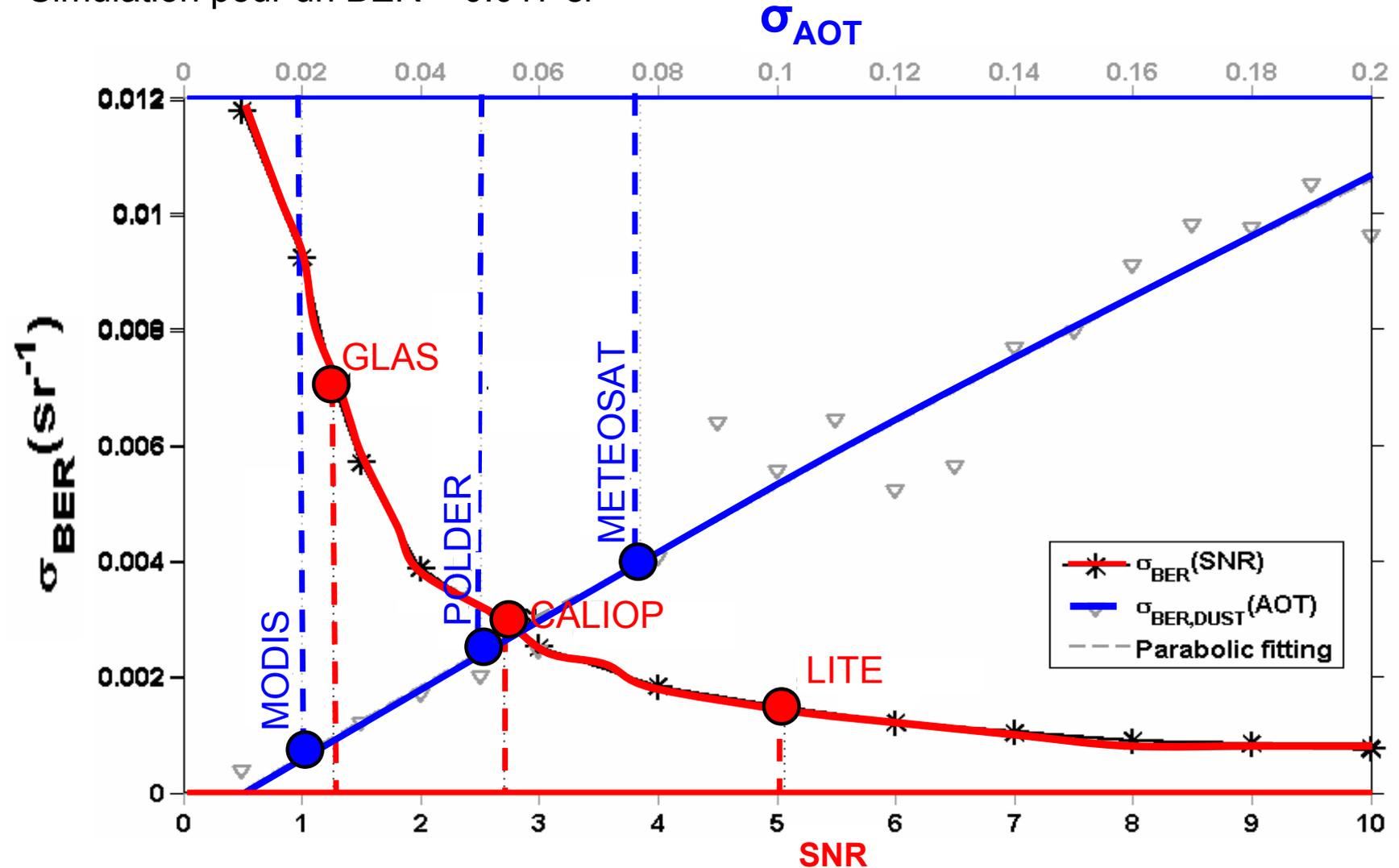
# Histogramme du BER

Résultats en accord avec ceux de la campagne AMMA 2006 (au Niger)

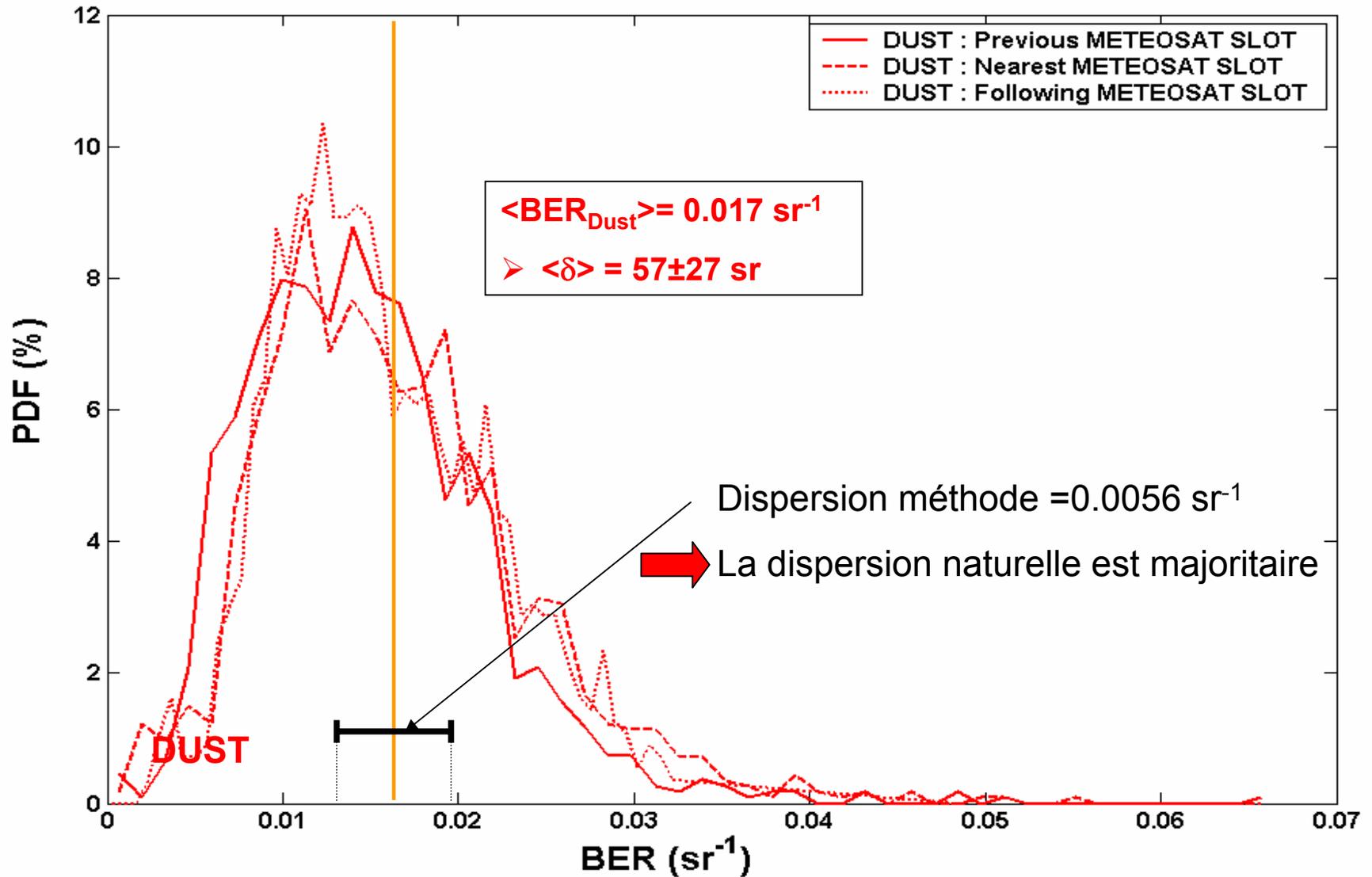


# Incertitudes sur le BER liées aux SNR et aux erreurs sur l'inversion du passif

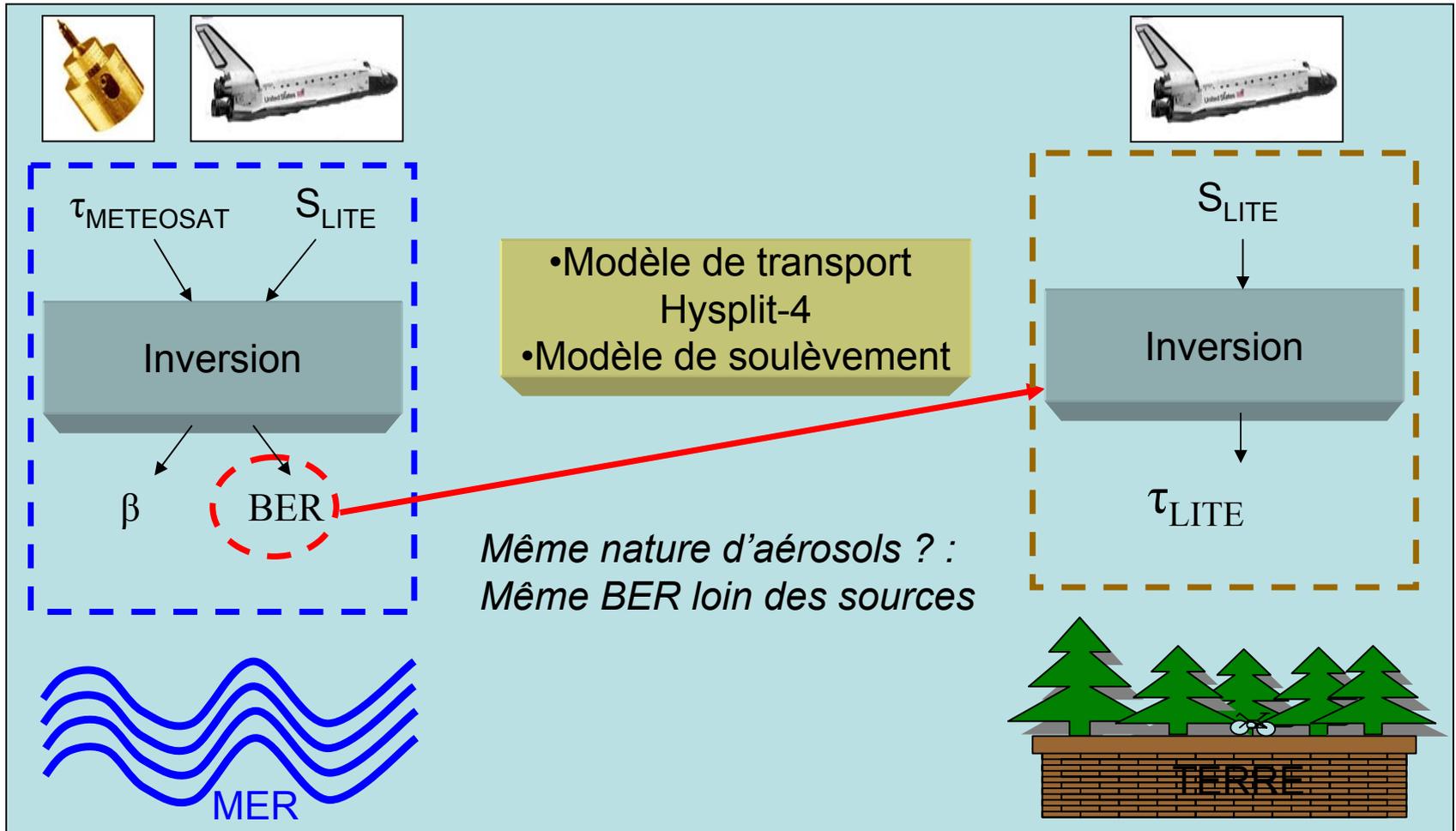
Simulation pour un BER = 0.017 sr<sup>-1</sup>



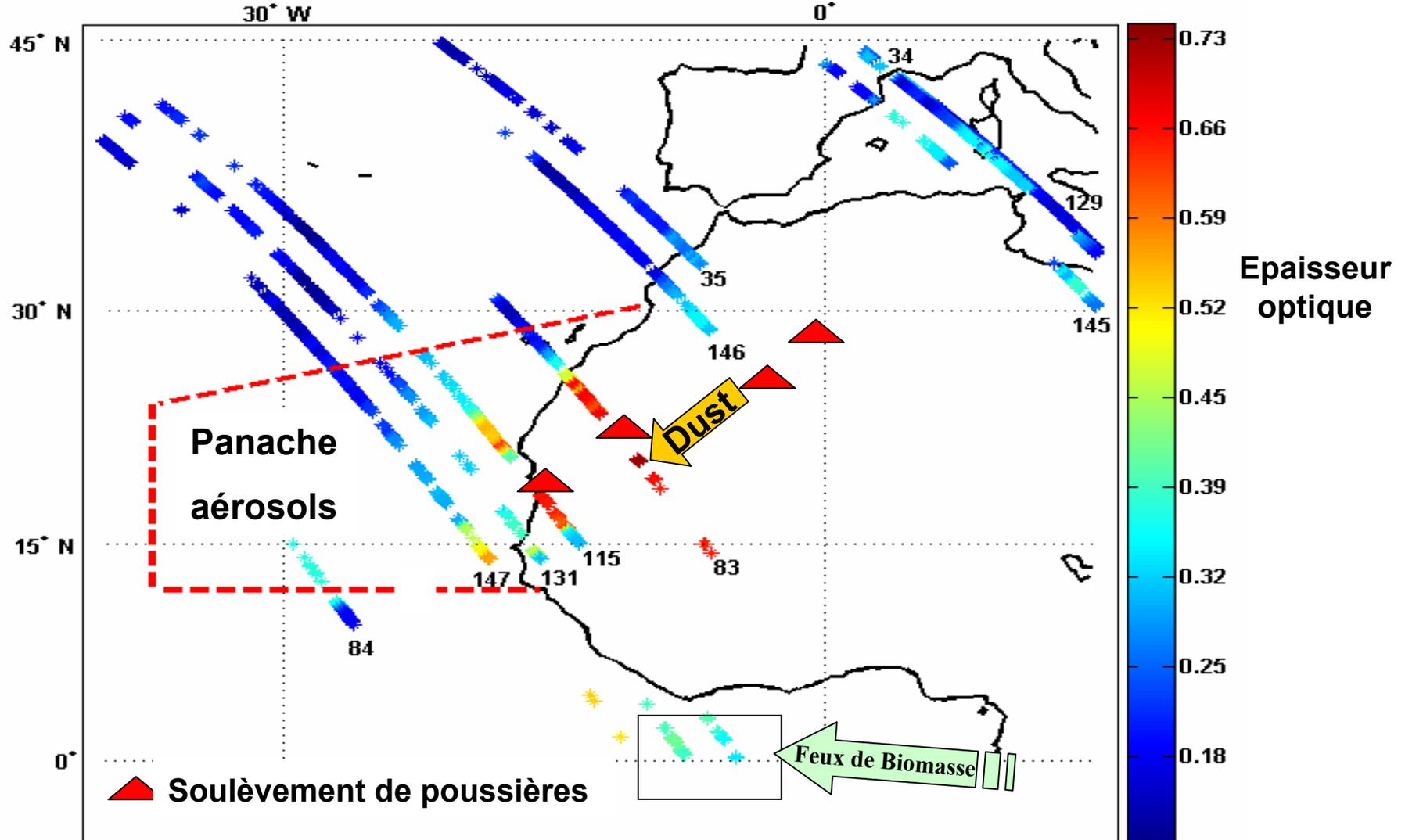
# Histogramme du BER



# Inversion sur le continent à partir du BER



# Inversion LITE au-dessus des océans et des continents



# Analyse de l'impact radiatif aérosols

Profils  $\alpha_{LITE}$

Modèle STREAMER

Impact radiatif aérosol

Incertitudes liées au couplages potentiels

Nécessité d'une étude de l'aérosol séparée sur terre et sur mer :



Forçage =  $-46 \text{ Wm}^{-2}$

Soleil

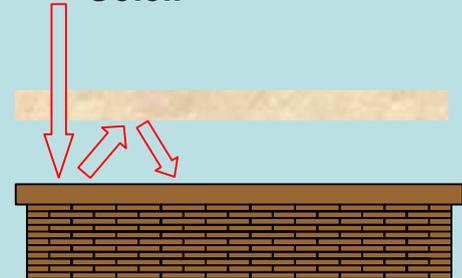


•Albedo<sub>oc</sub> = 0.024



Forçage =  $-40 \text{ Wm}^{-2}$

Soleil

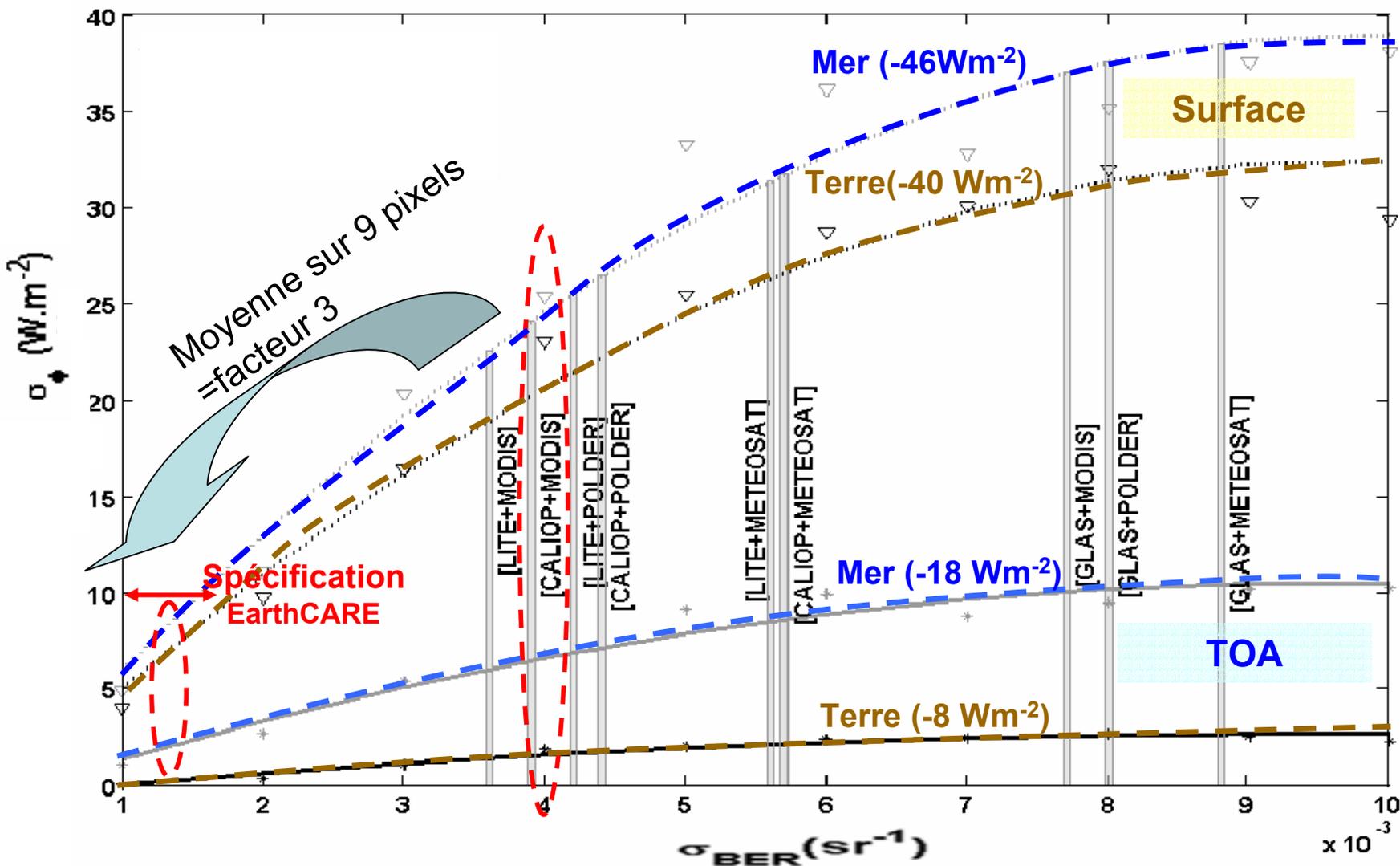


Albedo<sub>terre</sub> = 0.229

# La précision sur l'impact radiatif aérosol est fonction du couplage instrumental

Calcul pour un pixel Meteosat.

Fort rms :  Nécessité de moyenner. Condition ? : un panache homogène



# Conclusion sur le couplage actif/passif aérosol

- Ce travail constitue le premier couplage actif/passif **spatial** permettant de déterminer les propriétés optiques et radiatives des aérosols.
- Il nous a permis d'effectuer l'inversion de données lidar spatiales au dessus du continent.
- Après avoir moyenné les résultats sur plusieurs pixels du passifs, nous arrivons à une précision qui nous permet d'atteindre une incertitude sur l'évaluation de l'impact radiatif de l'aérosol inférieure à  $10 \text{ W.m}^{-2}$

# PLAN

« Le couplage actif / Passif pour l'étude des aérosols et des nuages à l'échelle globale »

**1. Problématique scientifique**

**2. Couplage actif/passif pour la restitution des propriétés optiques des aérosols de manière résolue dans la colonne d'air (LITE/METEOSAT)**

**3. A) Statistiques sur les couvertures nuageuses à partir d'observations lidar spatiales GLAS et LITE**

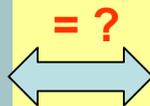
**B) L'objet nuage**

**4. Conclusion Générale/Perspectives**

# 3A Statistiques sur les couvertures nuageuses à partir d'observations lidar spatiales

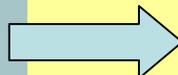
## DEMARCHE

1) Création d'un algorithme de seuillage sur les données GLAS



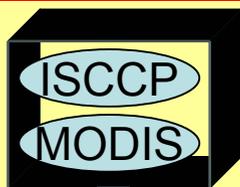
2) Comparaison aux extractions de l'algorithme opérationnel GLAS

3) Adaptation de l'algorithme au cas des données LITE



4) Comparaison du produit GLAS et des extractions LITE

5) Comparaison des statistiques nuageuses actives et passives

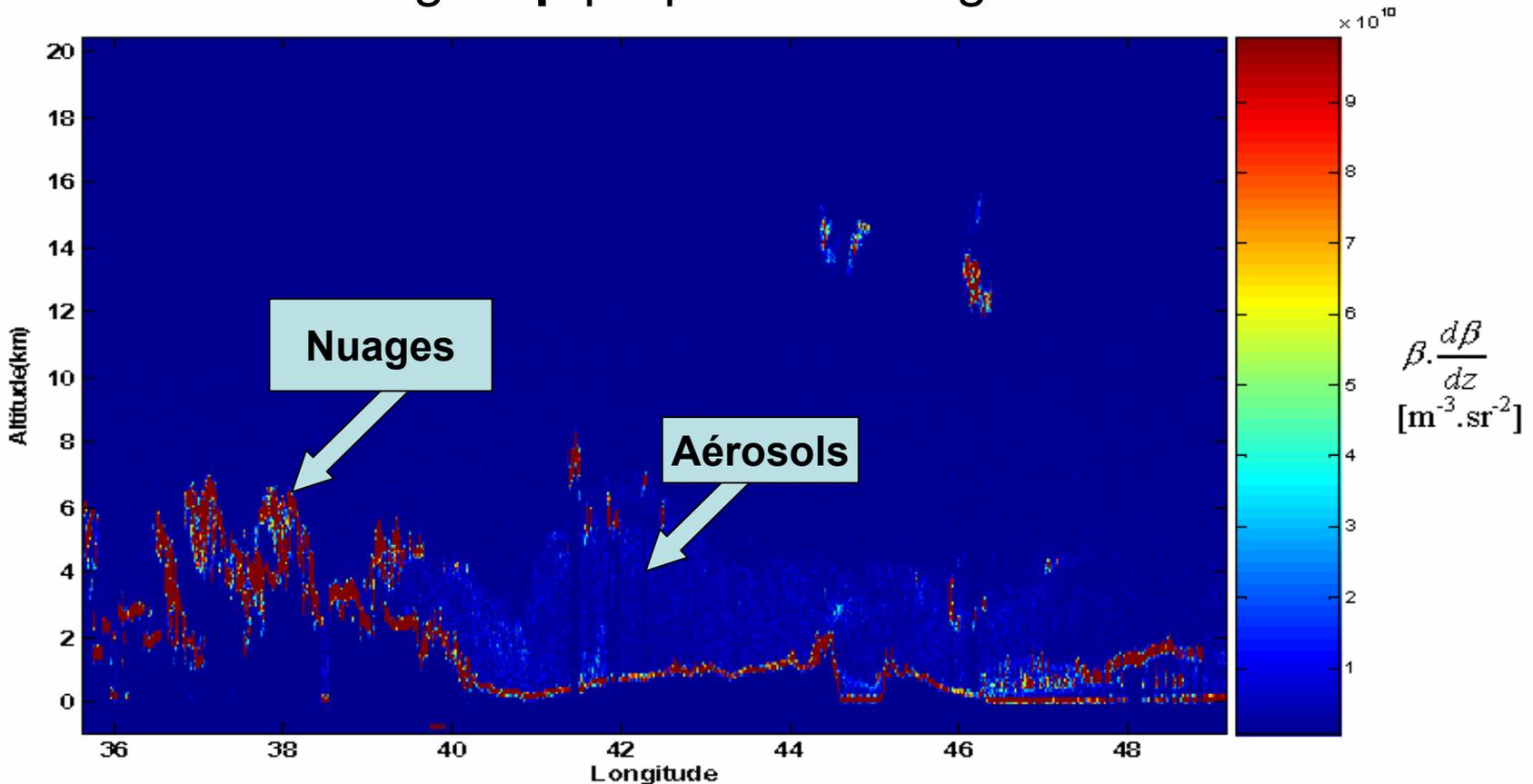


Auto cohérence des données lidar et des algorithmes d'extractions

Caractérisation de la mesure active et passive de la couverture nuageuse

# Discrimination des nuages et des aérosols

- seuillage du produit  $\beta \cdot (d\beta/dz)$  (Algo. op. de GLAS):
  - Homogénéité des aérosols > nuage  $\rightarrow d\beta/dz$
  - Un fort signal  $\beta$  propre aux nuages



# Algorithme de détection des nuages

Mise en place d'une  
méthode  
de seuillage

**Etape 1 :** Utilisation d'une  
fenêtre de filtrage adaptative sur  
le signal lidar  $S$  afin d'obtenir le  
signal de variance  $S_f$  :

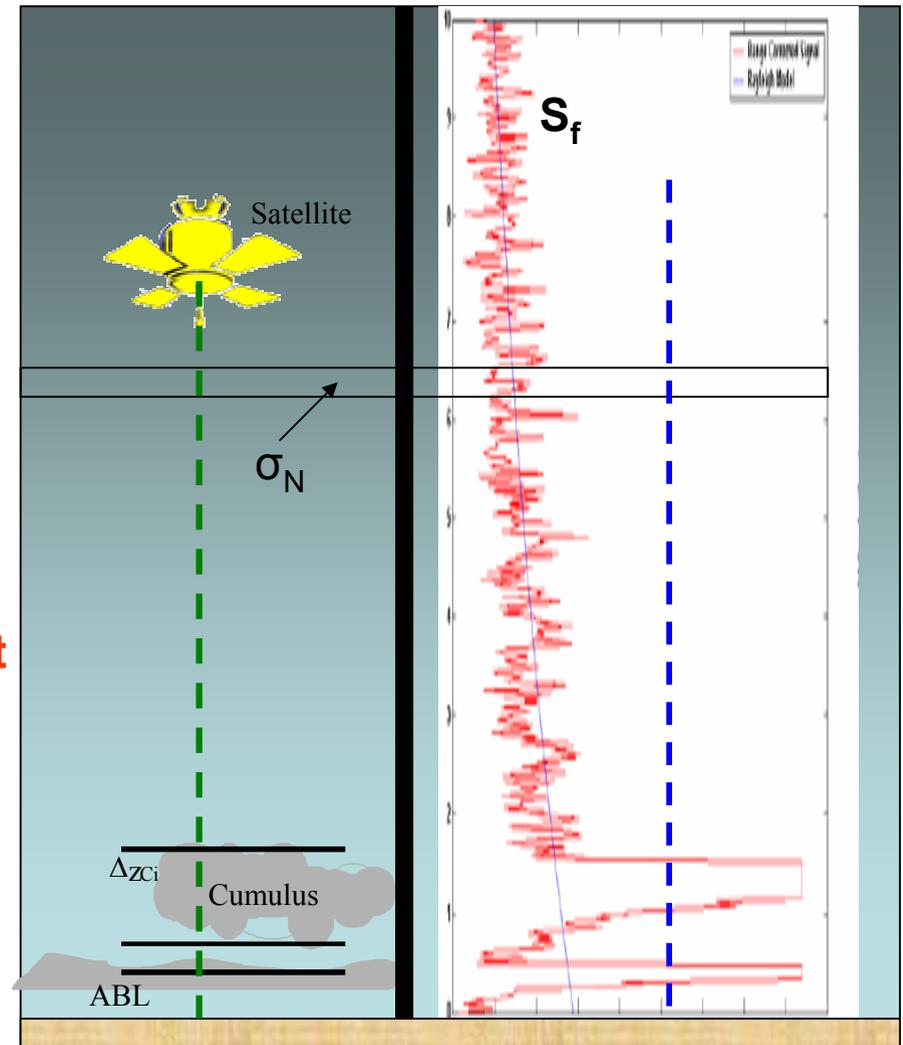
$$S_f[k] = \frac{1}{(2n+1)} \sum_{i=k-n}^{k+n} \left[ \frac{S[i] - \bar{S}}{\sigma_N} \right]^2$$

**Bruit** →

(Chazette et al. 2001)

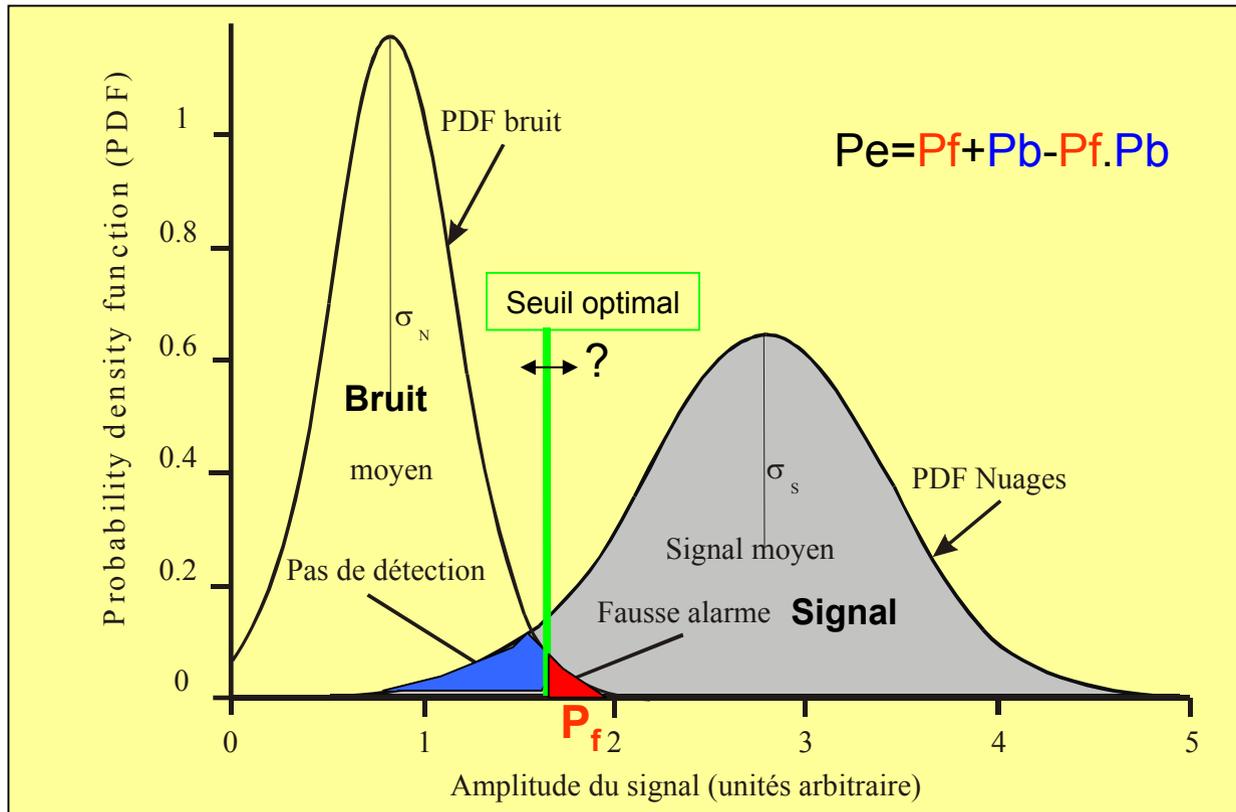
**Etape 2 :** Déterminer la valeur  $F$   
du seuil à appliquer

$$S_{th} = \sigma_N \cdot F$$



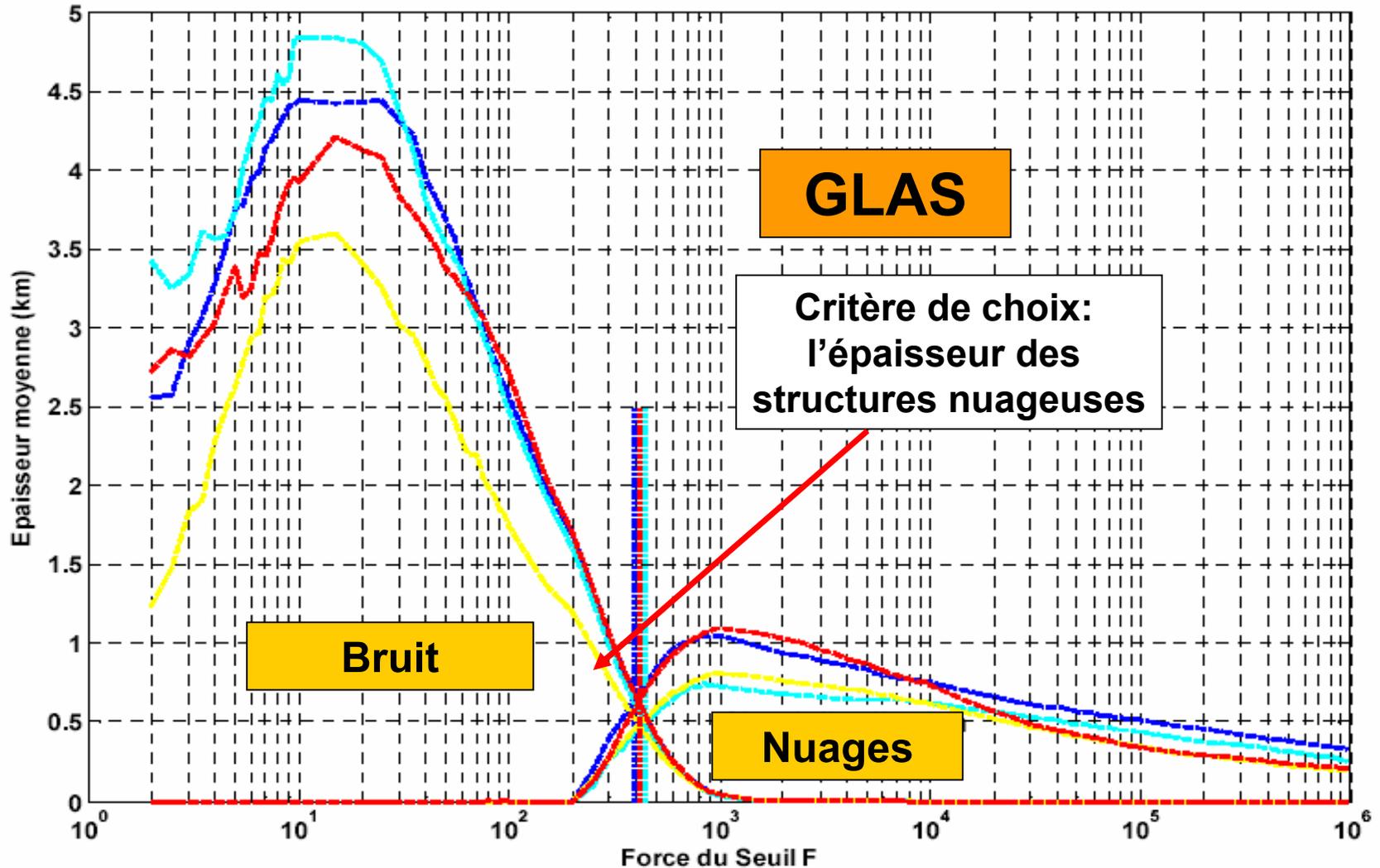
# Optimisation des seuils

Définition du seuil optimal  $F$  pour minimiser la probabilité d'erreur



- On peut faire cette évaluation de différentes manières :
  - Une évaluation de Monte-Carlo
  - Tester l'erreur sur un grand jeu de données (travail effectué ici)

# Choix du seuil

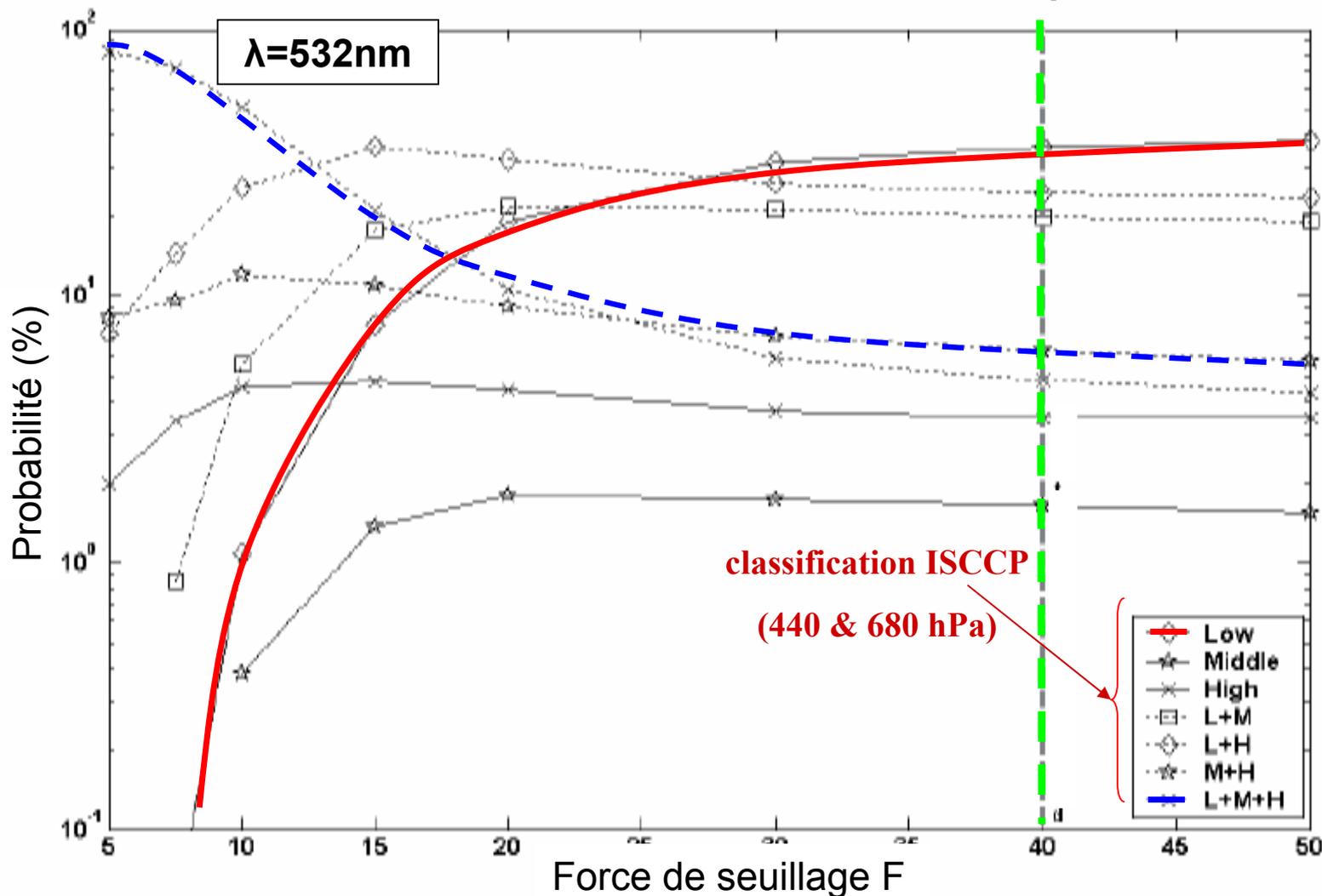


# Choix du seuil

Critère de choix:  
Répartition des classes  
d'altitude nuageuses

LITE

Seuil optimal

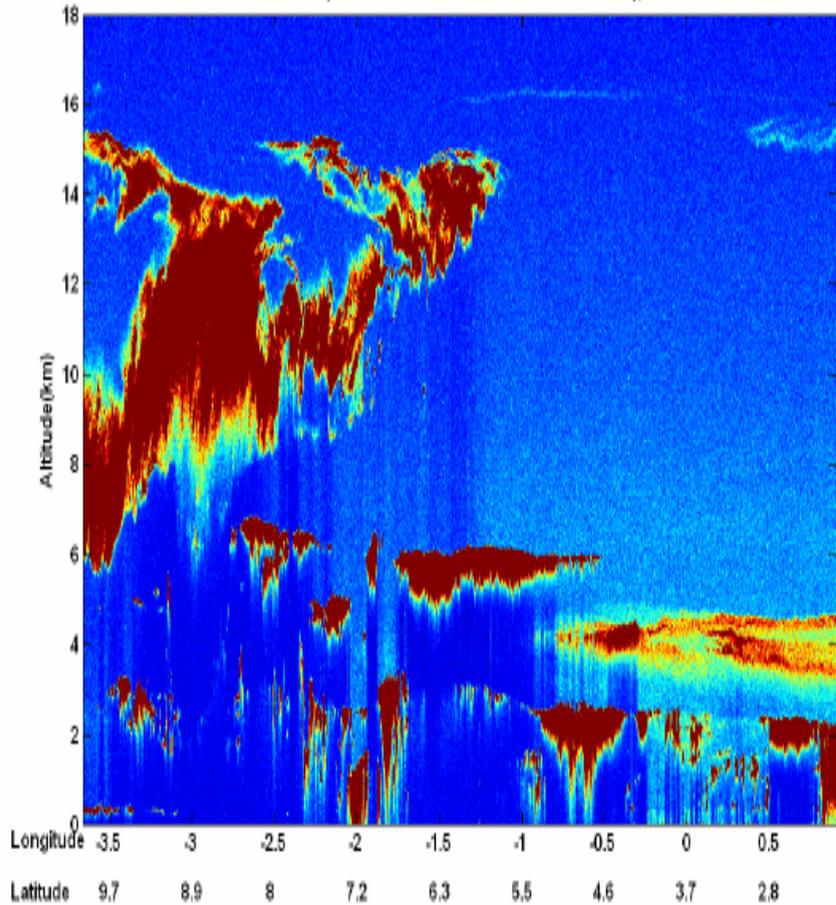


# Classification des structures nuageuses

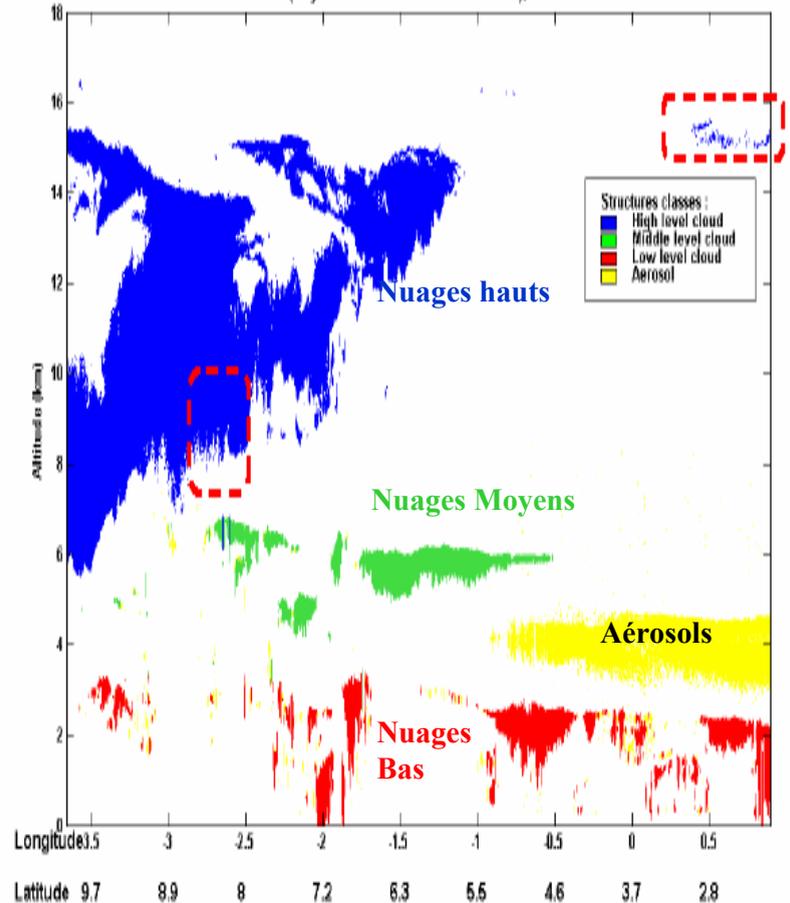
Exemple de classification sur une orbite LITE

Orbite 115

LITE Raw Data (Date : 15/09/94 Hour : 01:34:06 - 01:36:25), Orbit 83

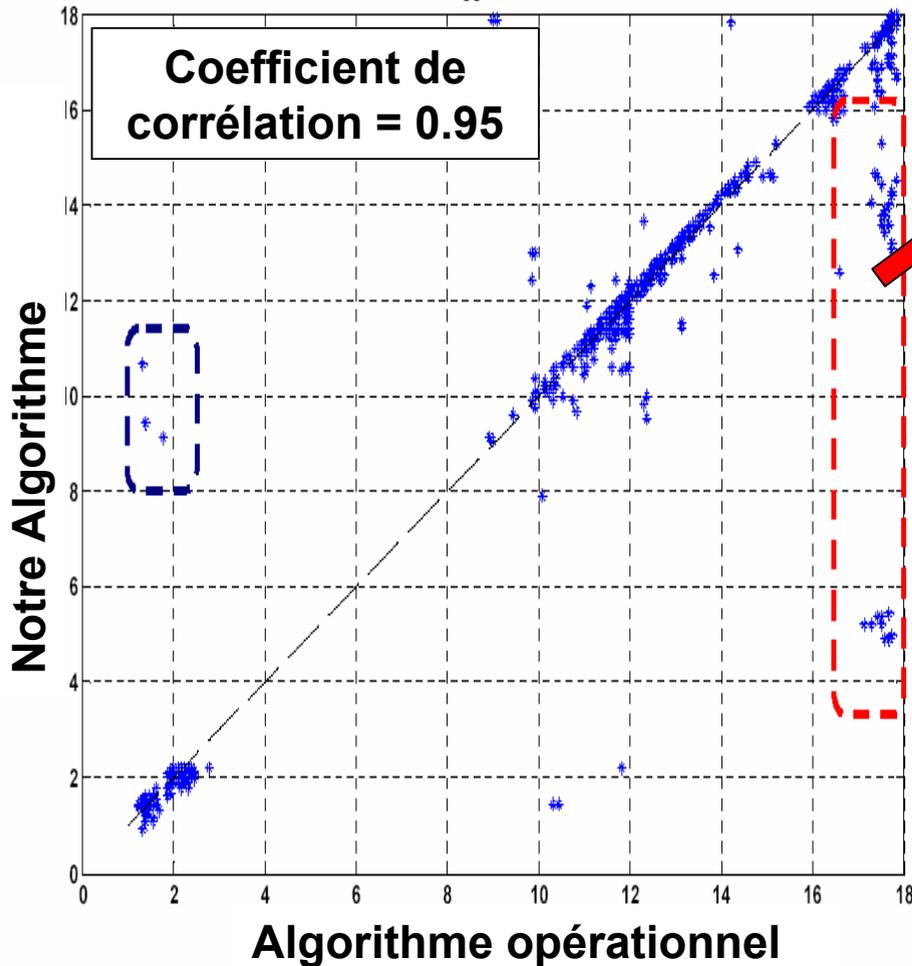


LITE (Day : 15/09/94 Hour : 01:34:06 - 01:36:25), Orbit 83

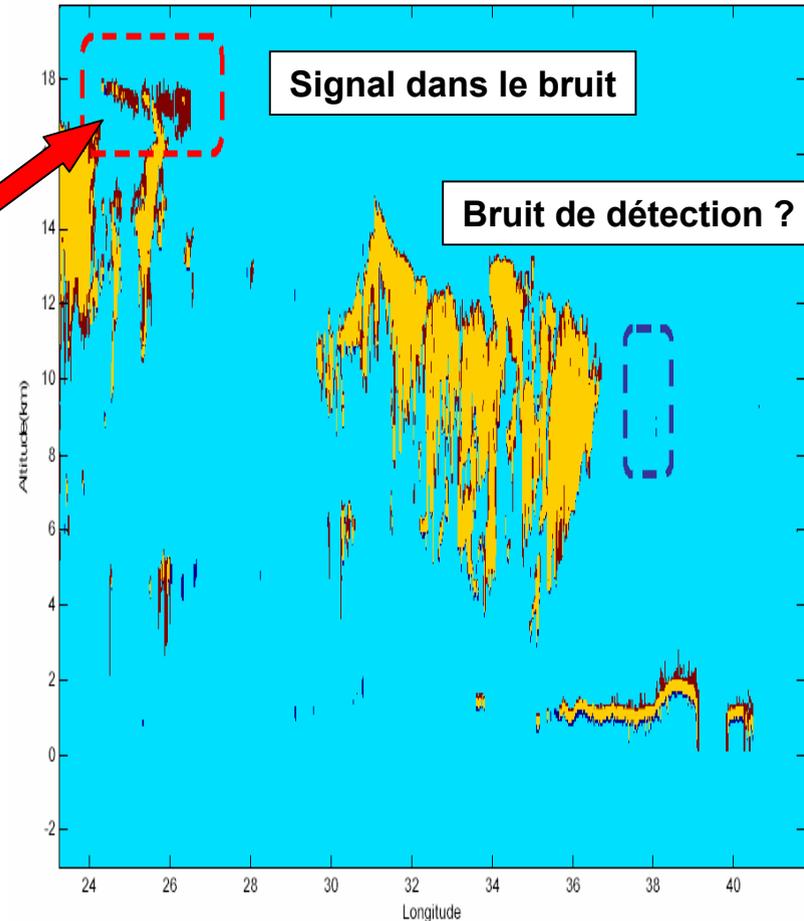


# Comparaison à l'algorithme opérationnel GLAS

Corrélation de l'altitude des sommets de structures



Inverser le discours correl/pbm

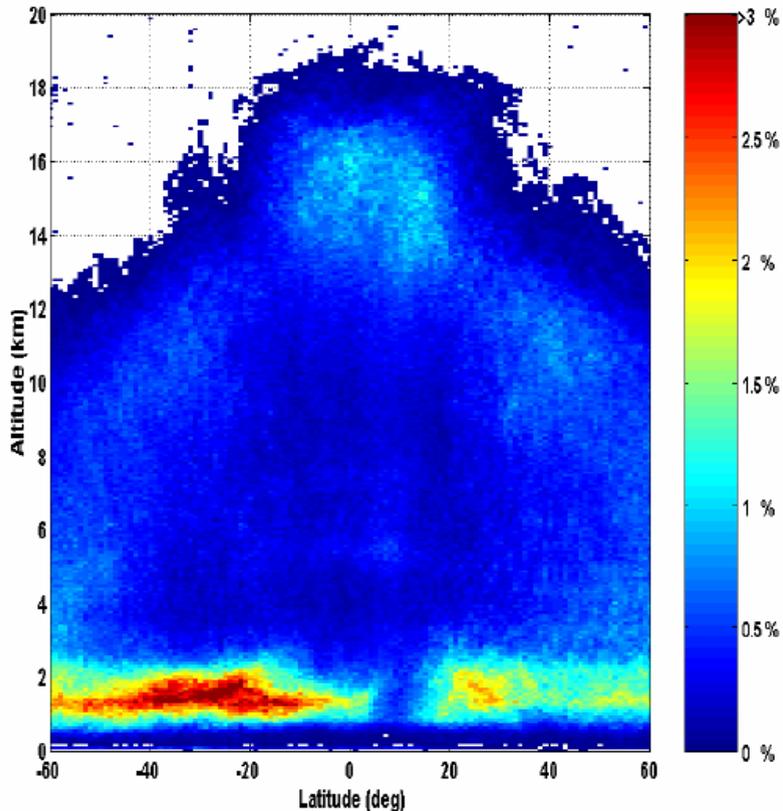


Cet algorithme sera proposé comme un algorithme de traitement au centre opérationnel ICARE !

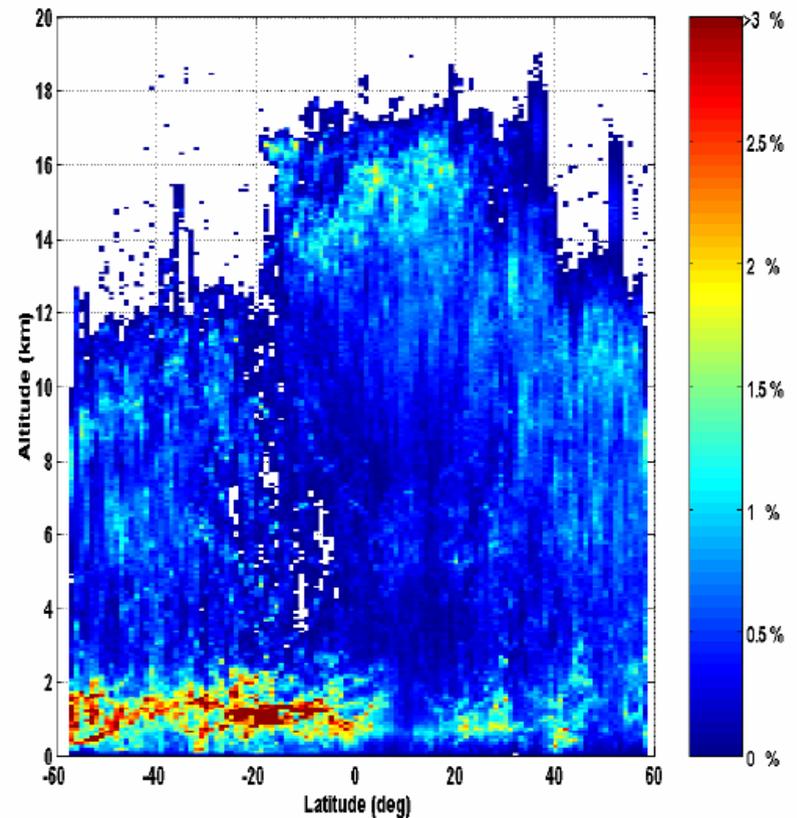
# Comparaison GLAS / LITE

Répartition latitudinale des sommets de structures nuageuses

**GLAS** (Sept.-Oct. 2003)

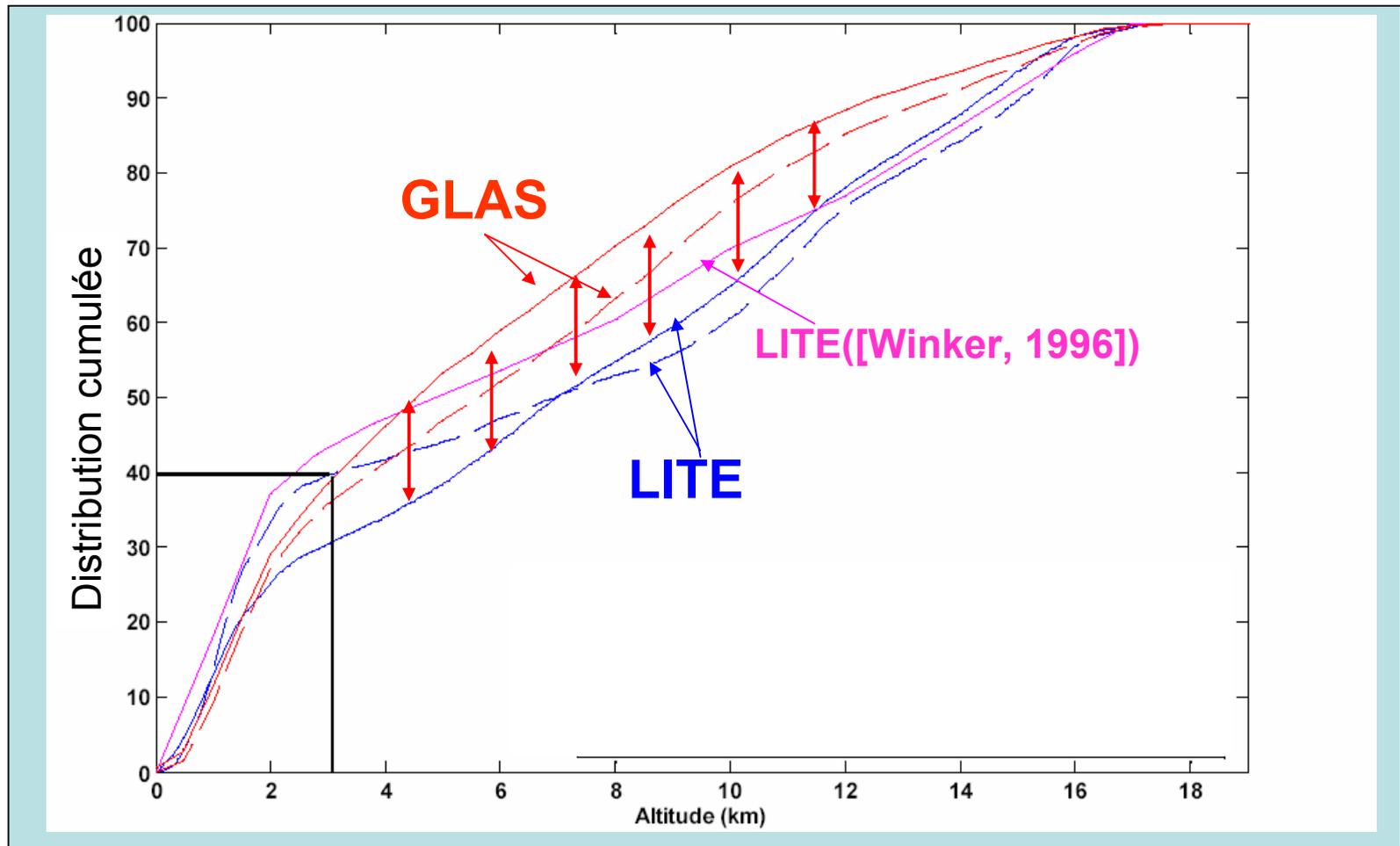


**LITE** (10-19 Septembre 1994)



Mêmes distributions latitudinales retrouvées

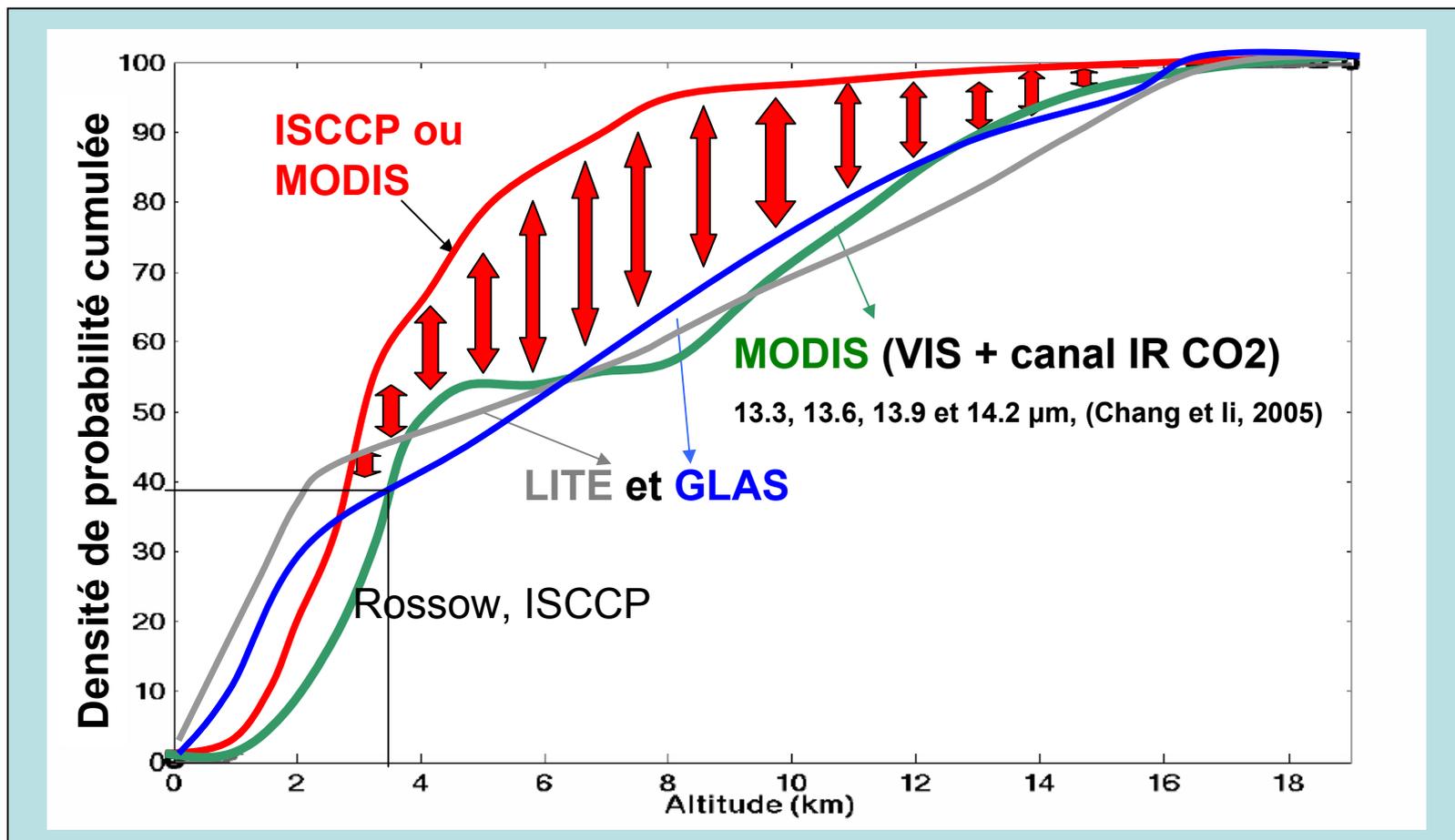
# Distribution cumulée des sommets de structures nuageuses



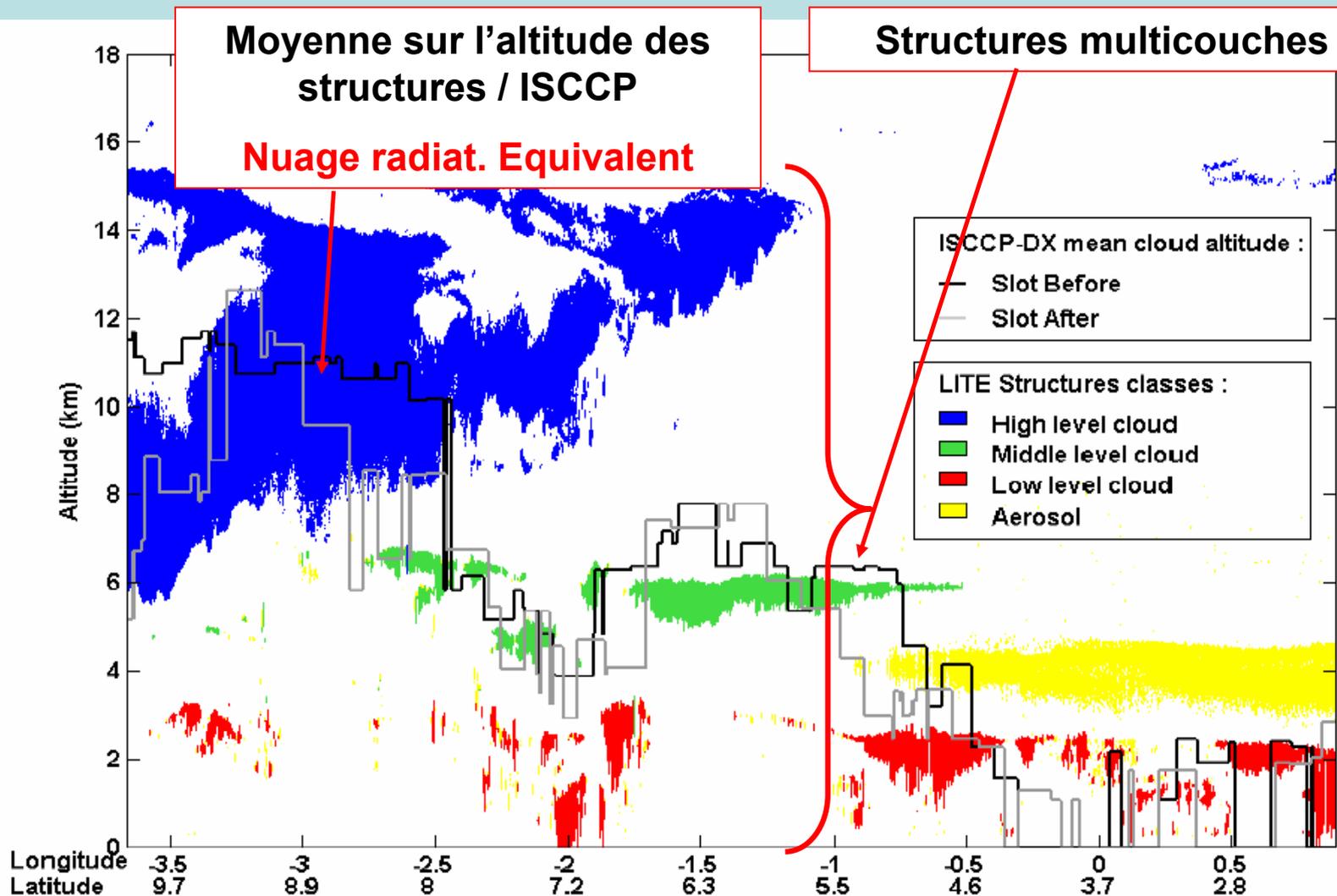
On a clairement mis en évidence l'autocohérence des algorithmes

# Comparaison des statistiques globales obtenues par les instrumentations Actives et Passives

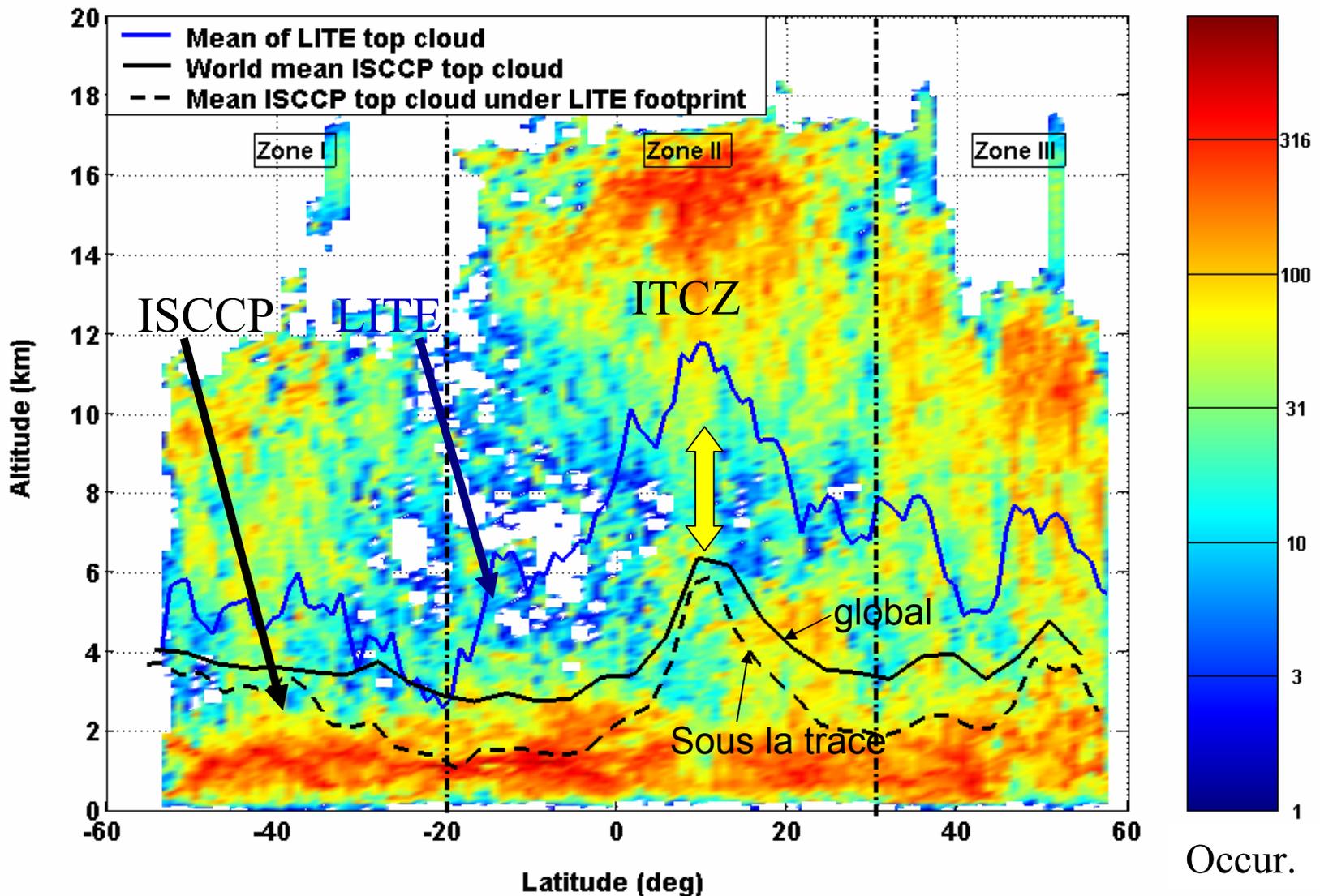
On prend en compte les données **MODIS** et **ISCCP**



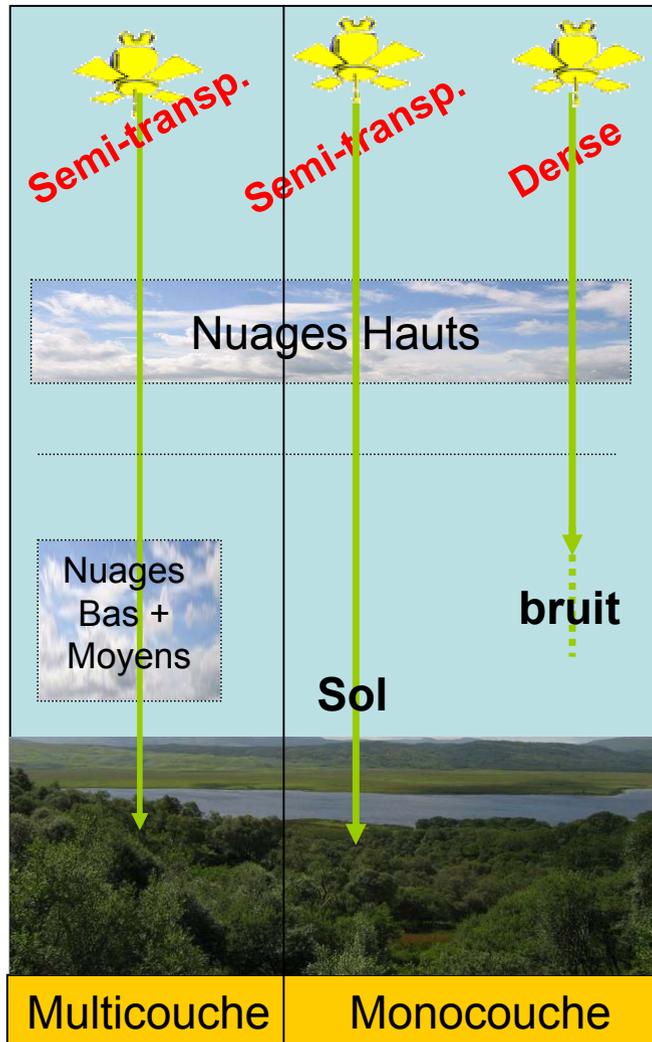
# Zoom sur une situation LITE/ISCCP-DX



# Distribution latitudinale des sommets de structures nuageuses



# Proportions nuages hauts Semi-transparent/Denses



	Semi-transp des nuages hauts
MODIS (VIS + IR)	73,80 % [Chang et li, 2005]
LITE	70,76 %

**Un très bon accord entre les conclusions obtenues à partir de LITE et MODIS (VIS+IR)**

# Comparaisons statistiques (suite)

## Couvertures nuageuses globales

	All latitude range
<b>LITE Cover Ratio (T-à-T)</b>	69.8 % 69.0 %
<b>GLAS Cover Ratio</b>	69.2
<b>ISCCP Cover Ratio</b>	57.9 % 57.8 %
<b>MODIS Cover Ratio</b>	59.2 %

Ecart > 10%

## Répartitions des classes nuageuses

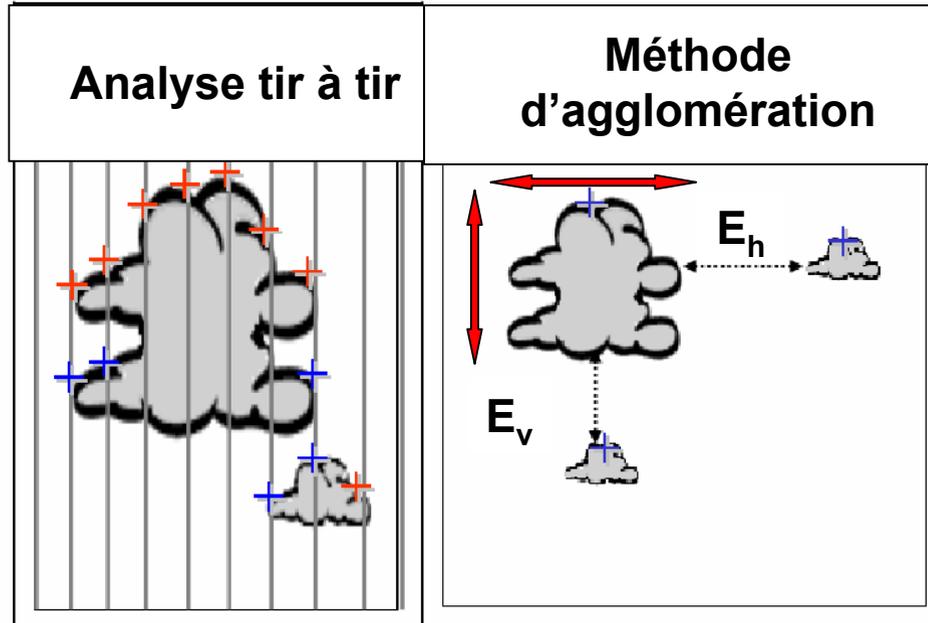
Highest	All latitude range	
	GLAS	ISCCP
High	46.5(46.7;45.7) %	19.8 %
Middle	18.8(18.7;19.2) %	31.4 %
Low	34.7(34.6;35.1) %	48.8 %

Déséquilibre ISCCP en défaveur des nuages hauts

**3(B) Une nouvelle vision de l'objet  
nuage !**

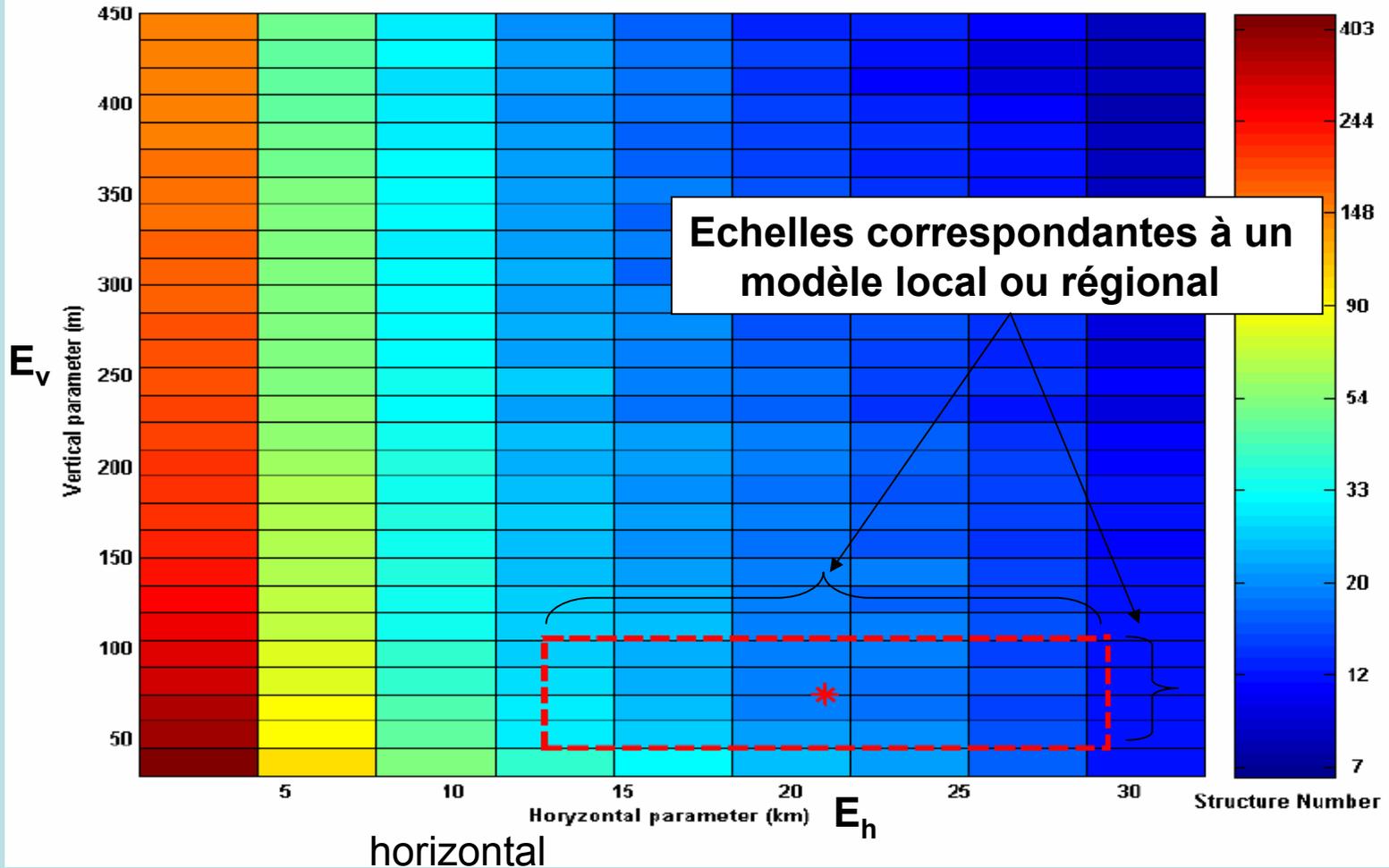
# L'objet nuage

- On cherche à caractériser l'objet nuage sur sa dimension horizontale

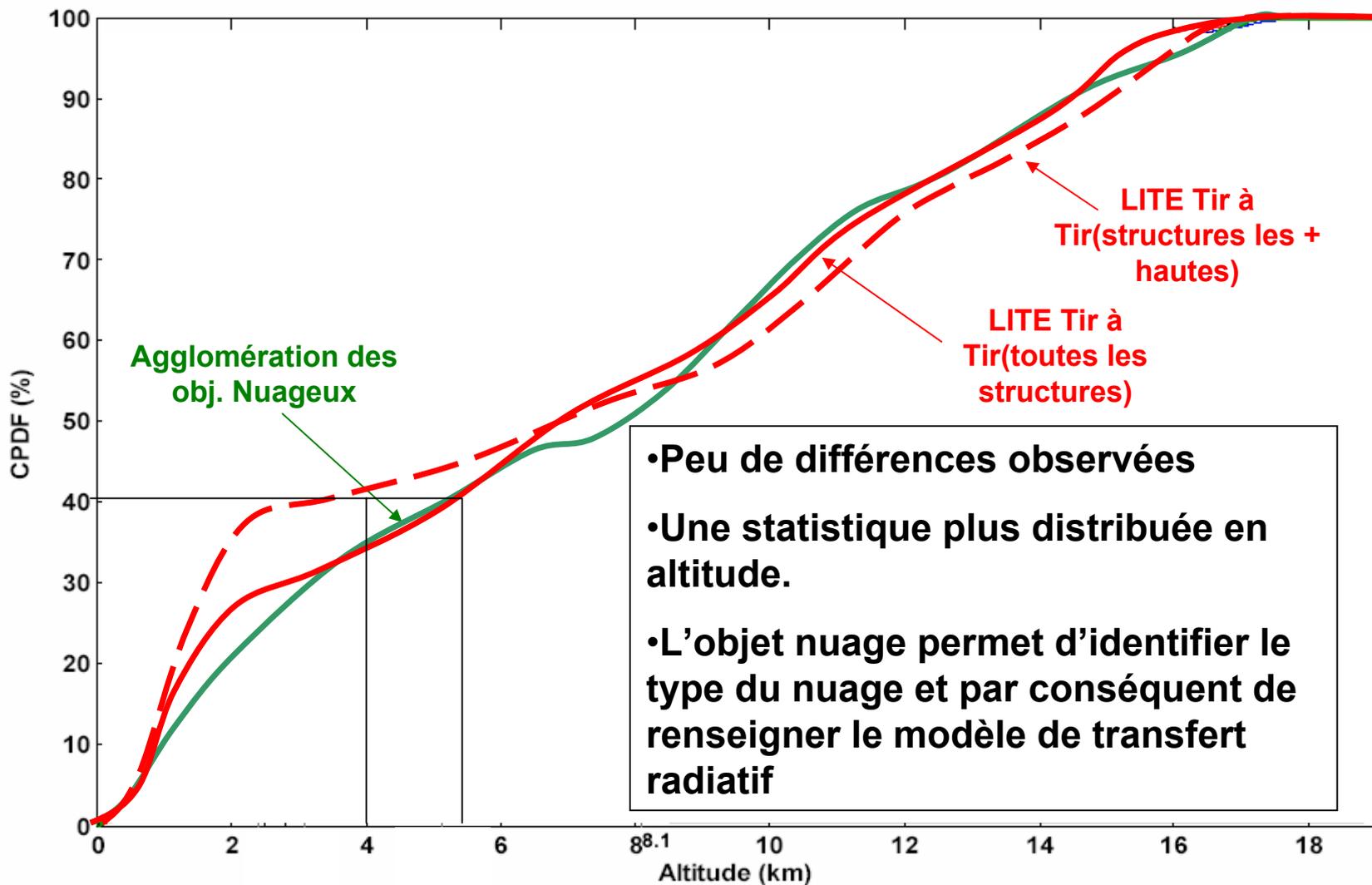


- Mise en place d'une méthode permettant l'agglomération des structures nuageuses
- Application aux données LITE

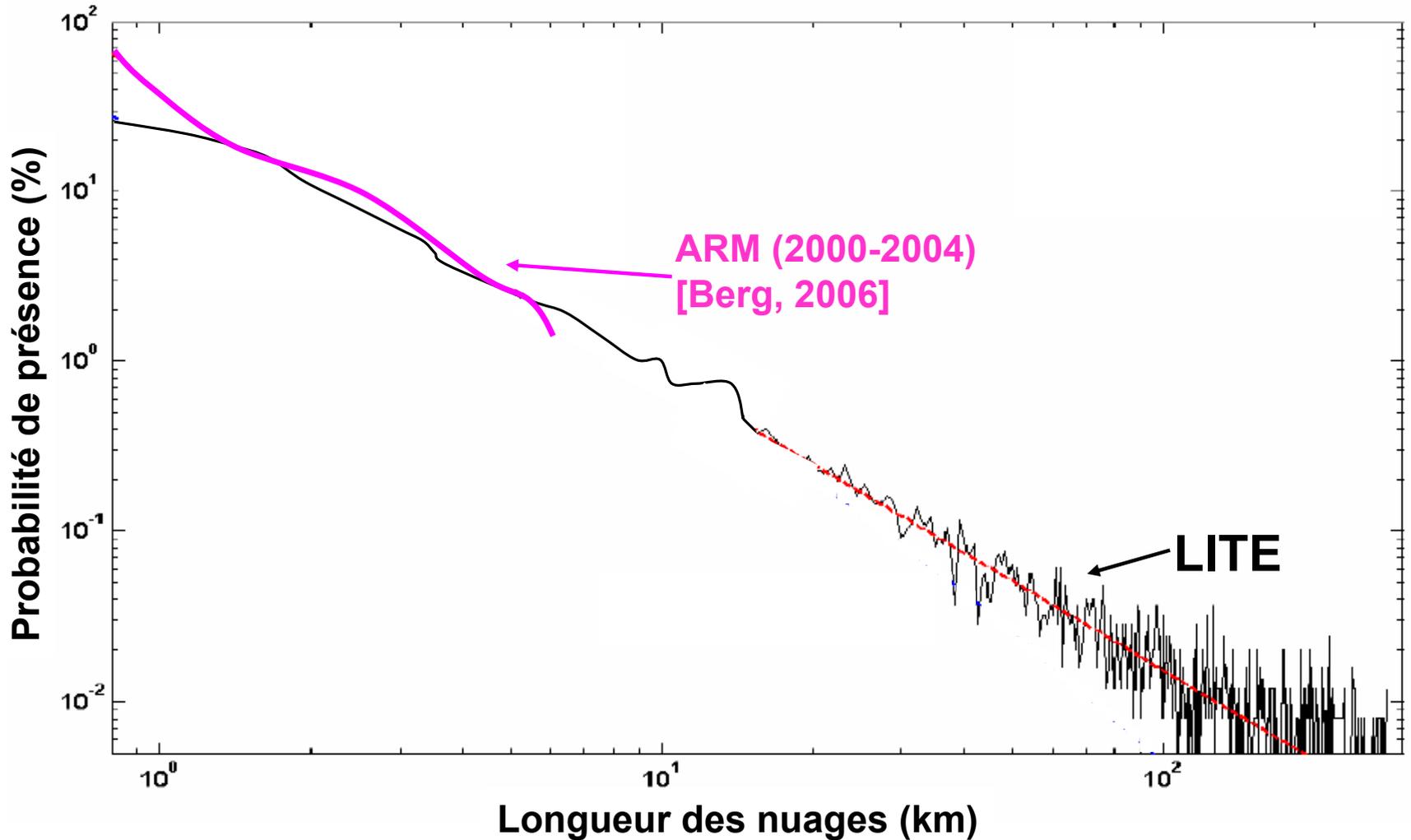
# Effet d'échelles



# Nouvelle évaluation des distributions cumulées



# Statistiques sur la dimension du nuage: un nouveau produit L2 disponible



# PLAN

« Le couplage actif / Passif pour l'étude des aérosols et des nuages à l'échelle globale »

**1. Problématique scientifique**

**2. Couplage actif/passif pour la restitution des propriétés optiques des aérosols de manière résolue dans la colonne d'air (LITE/METEOSAT)**

**3. A) Statistiques sur les couvertures nuageuses à partir d'observations lidar spatiales GLAS et LITE**

**B) L'objet nuage**

**4. Conclusion Générale/Perspectives**

# Conclusion générale : Les aérosols

J'ai mis en place une méthode novatrice reposant sur la synergie instrumentale active/passive. Cette méthode a permis la restitution des AOT au-dessus du continent, et d'effectuer ainsi l'analyse de son impact radiatif. J'ai pu aussi faire l'évaluation des performances potentielles des couplages entre instruments actifs et passifs.



**[Berthier et al., JGR, 2006]**

# Conclusion générale : Les Nuages

J'ai aussi développé un algorithme permettant l'extraction des structures nuageuses. Les extractions ont permis la construction d'une statistique nuageuse à partir des données LITE et GLAS. Ces statistiques obtenues ont été comparées à celles des données Passives ISCCP et MODIS. Nous avons alors mis en évidence une sous-estimation de l'altitude des sommets de structures par ISCCP.



**Article en cours**

# Perspectives (1/3)

- Phase de validation des produits CALIPSO de niveaux 2A(structure nuageuse) et 2B (épaisseur optique)
- Opération expérimentale planifiée sur 2007: Mesures effectuées par:
  - l'EZL (CEA/Léosphère) sur ULM
  - MicroLidar (MLI) -> SA
  - Lidar LNG (Leandre Nouvelle Génération)

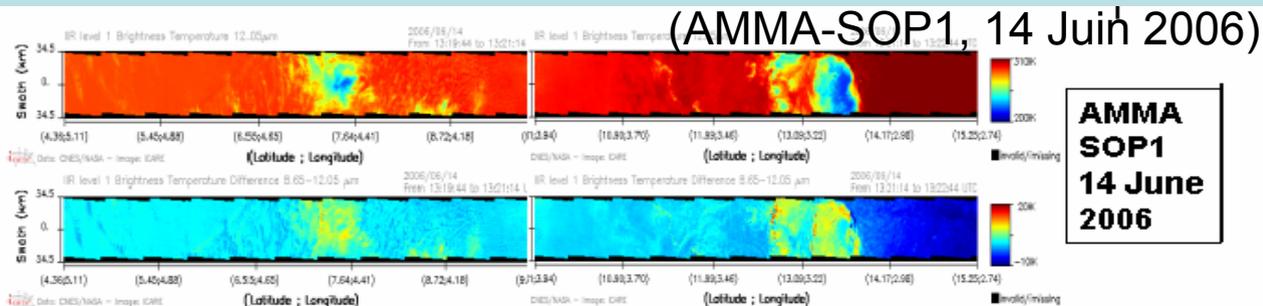
# Perspectives (2/3) : Le traitement des données CALIPSO

Un jeu de données inégalées !

Observation des aérosols désertiques au-dessus de l'Afrique

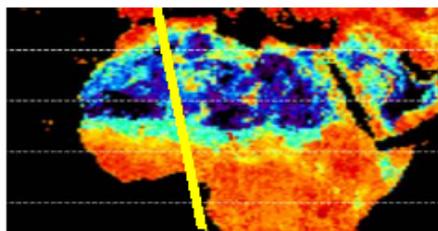
IIR

BT 12  $\mu\text{m}$

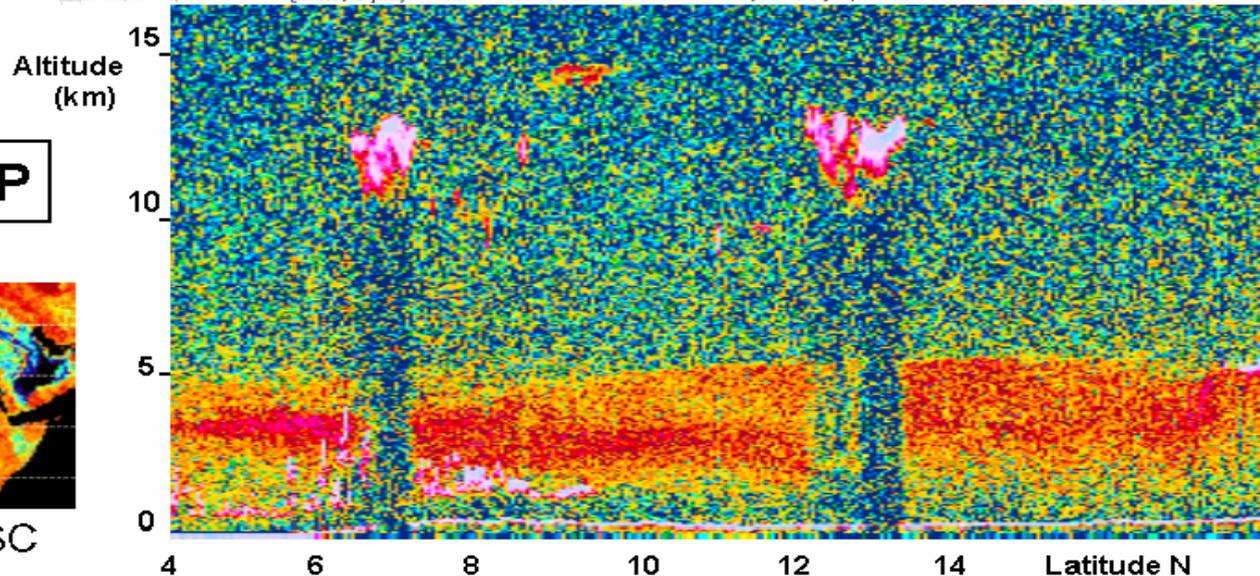


BTD 8 - 12  $\mu\text{m}$

CALIOP



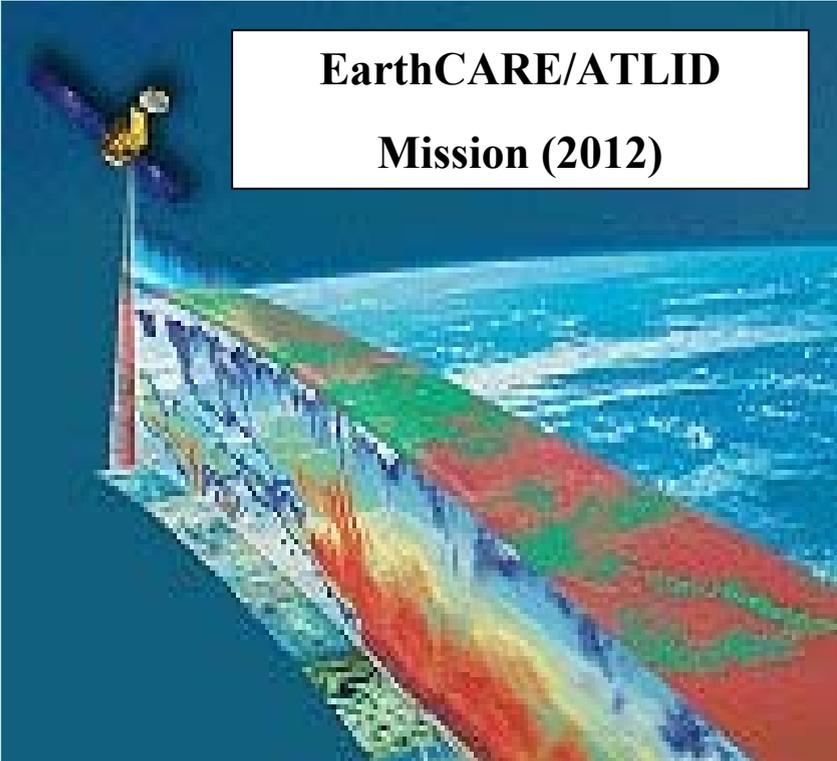
MODIS U-WISC



Les + : Une base de données + importante  $\rightarrow$  Une plus grande représentativité des estimations optiques et radiatives des aérosols

# Perspectives (3/3)

Préparer les algorithmes mis en place dans cette thèse en vue des futures missions d'observation de la Terre



**EarthCARE/ATLID  
Mission (2012)**

## Spécifications EarthCARE pour l'ESA

Property	Detectability Threshold	Accuracy
Ice cloud top/base <sup>1)</sup>	N/A	300 m
Fractional cloud cover	5%	5%
Vertical Résolution		100 m

Erreur sur le radiatif < 10 W.m<sup>-2</sup>

# ANNEXES A LA SOUTENANCE

# Références citées

- **Berg et al. (2006), *Sixteenth ARM Science Team Meeting Proceedings, Albuquerque, NM, March 27 - 31, 2006.***
- **Berthier et al. (2006), Berthier, S., P. Chazette, P. Couvert, J. Pelon, C. Moulin, F. Thieuleux and T. Pain, "Atmospheric dust aerosols columnar properties from LITE and METEOSAT Synergy", *J. Geophys. Res.*, Vol. 111, N°. 21, D21202, doi:10.1029/2005JD006999, Nov. 2006.**
- **Chazette et al. (2001), Chazette P., et al., Determination by spaceborne backscatter lidar of the structural parameters of atmospheric scattering layers," *Appl. Opt.*, 40, 3428- 3440, 2001.**
- **Dufresne et al. (2006):Simulation de l'évolution récente et future du climat par les modèles du CNRM et de l'IPSL. Soumis à la revue « La Météorologie » (D'après Bony et al., *J. Climate*, 2006 after Colman 2003; Soden and Held, 2006; Winton 2006).**
- **The IPCC Working Group I Fourth Assessment Report Summary for Policymakers (SPM).**
- **Prospero et al. (2002), Prospero, J. M., P. Ginoux, O. Torres, and S. E. Nicholson (2002), Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product, *Rev. Geophys.*, 40(3), 1002, doi:10.1029/2000RG000095.**
- **Webb et al, (2006), On the contribution of local feedback mechanisms to the range of climate sensitivity in low GCM ensembles, *Climate dynamics*, 0930-7575, 1432-0894, Vol 27, Number 1/July, 2006, DOI 10.1007/s00382-006-0111-2, pp 17-38, Springer Berlin/Heidelberg.**
- **Winker D. M., M. P. McCormick, and R. Couch (1996), An Overview of LITE: NASA's Lidar In-space Technology Experiment, *Proc. IEEE* 84, 164-180.**