

transfert radiatif lidar pour études de l'atmosphère

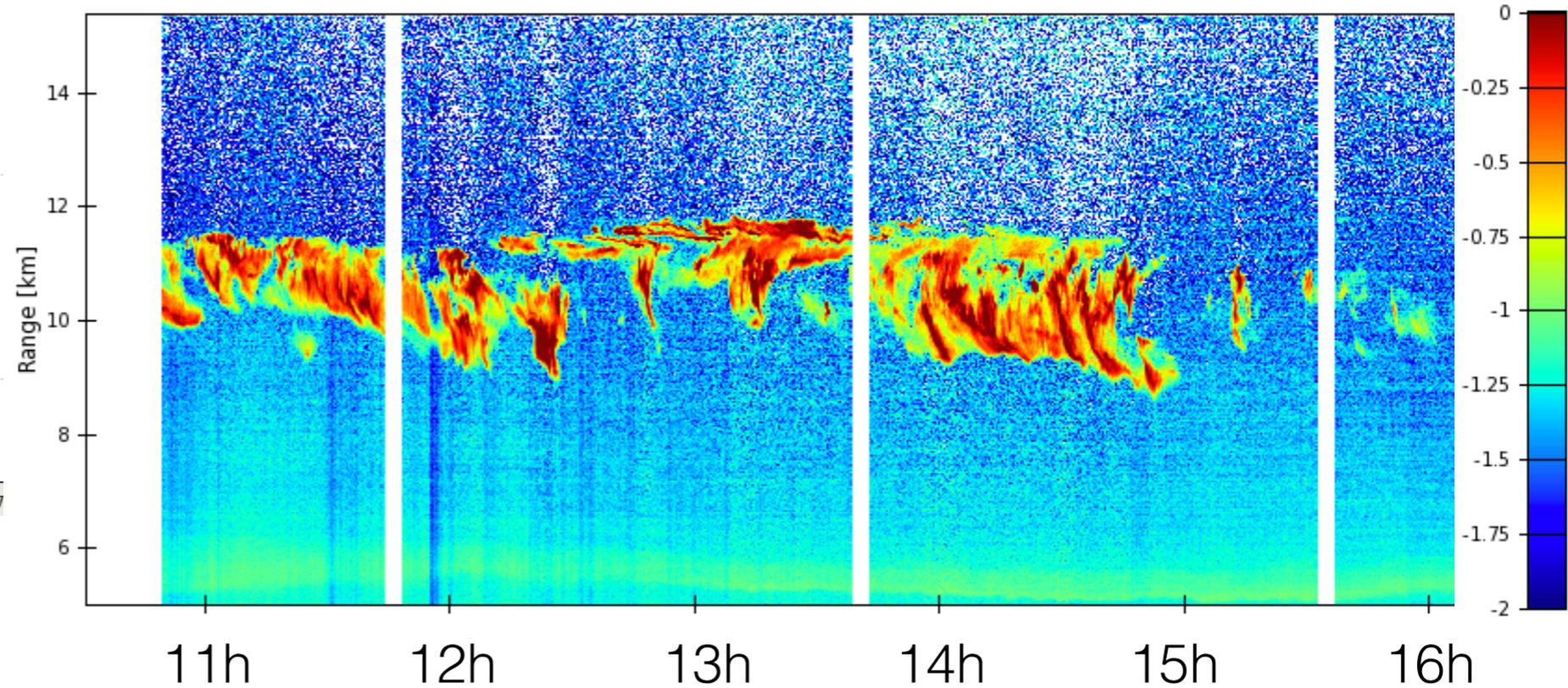
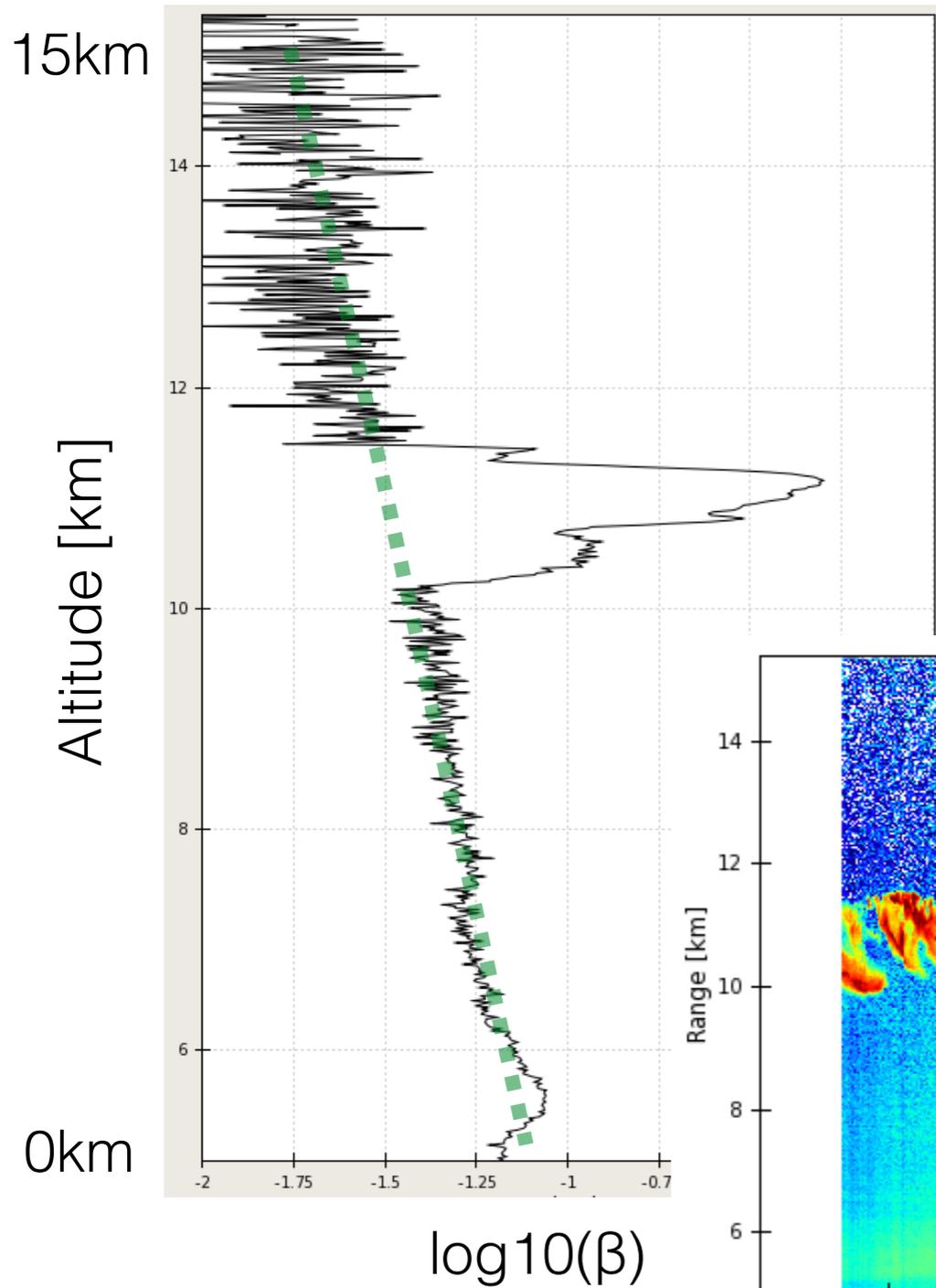
V. Noel (CNRS/LMD)

1. Rappels sur la mesure
2. La modélisation du signal, les points durs
3. Ce qui reste à faire

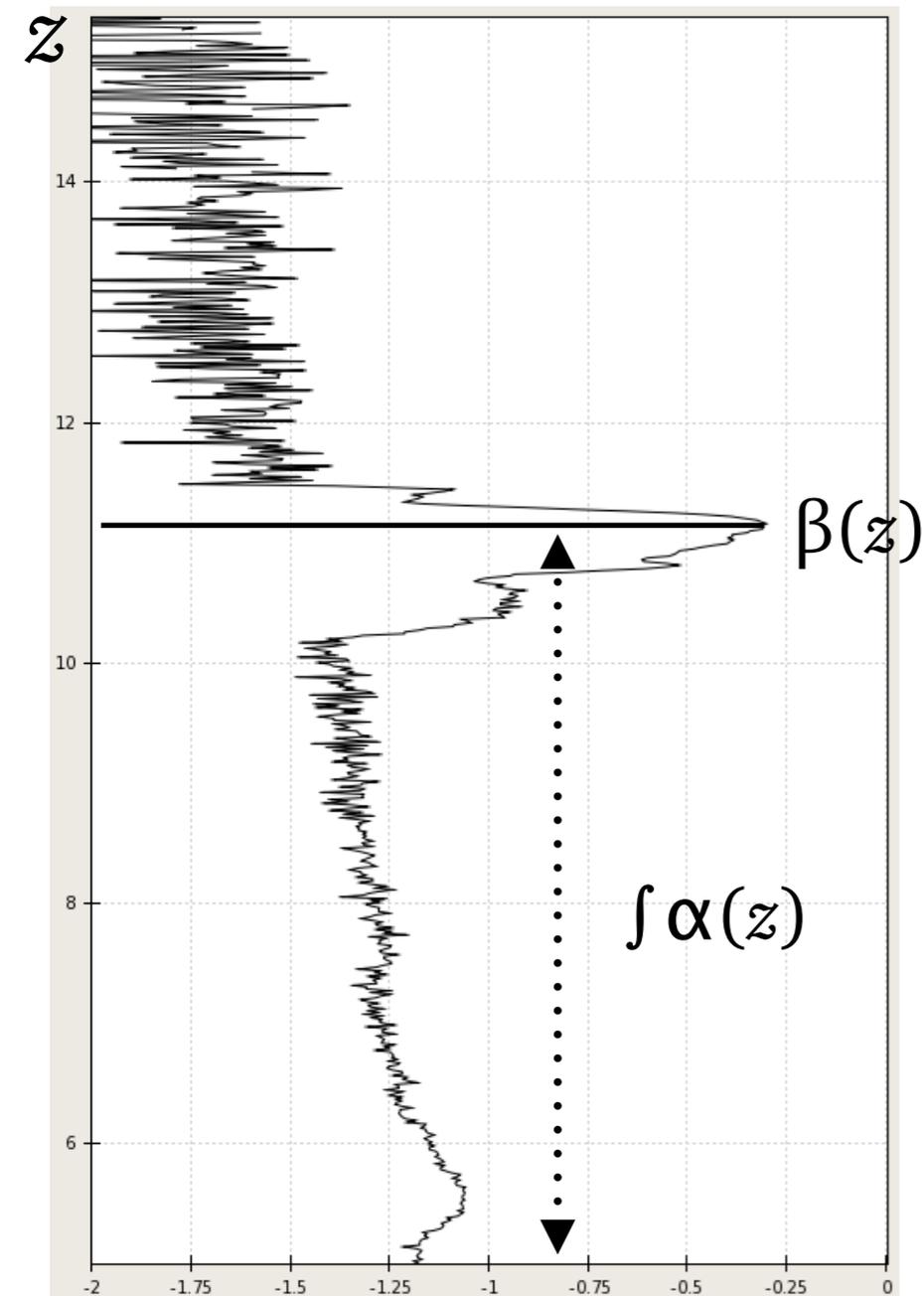
1.1 les mesures lidar

$P(\lambda, z)$ puissance rétrodiffusée

$\delta(\lambda, z)$ rapport de dépolarisation



1.2 L'équation lidar



- Puissance P rétrodiffusée depuis z

$$P(\lambda, z) = K F_0 \beta(\lambda, z) \frac{A}{z^2} \exp \left[-2 \int_0^z \alpha(z') dz' \right]$$

$\beta(\lambda, z)$ = coeff.
rétrodiffusion
à l'altitude z

$\int \alpha(\lambda, z') dz' =$
extinction entre
0 et z

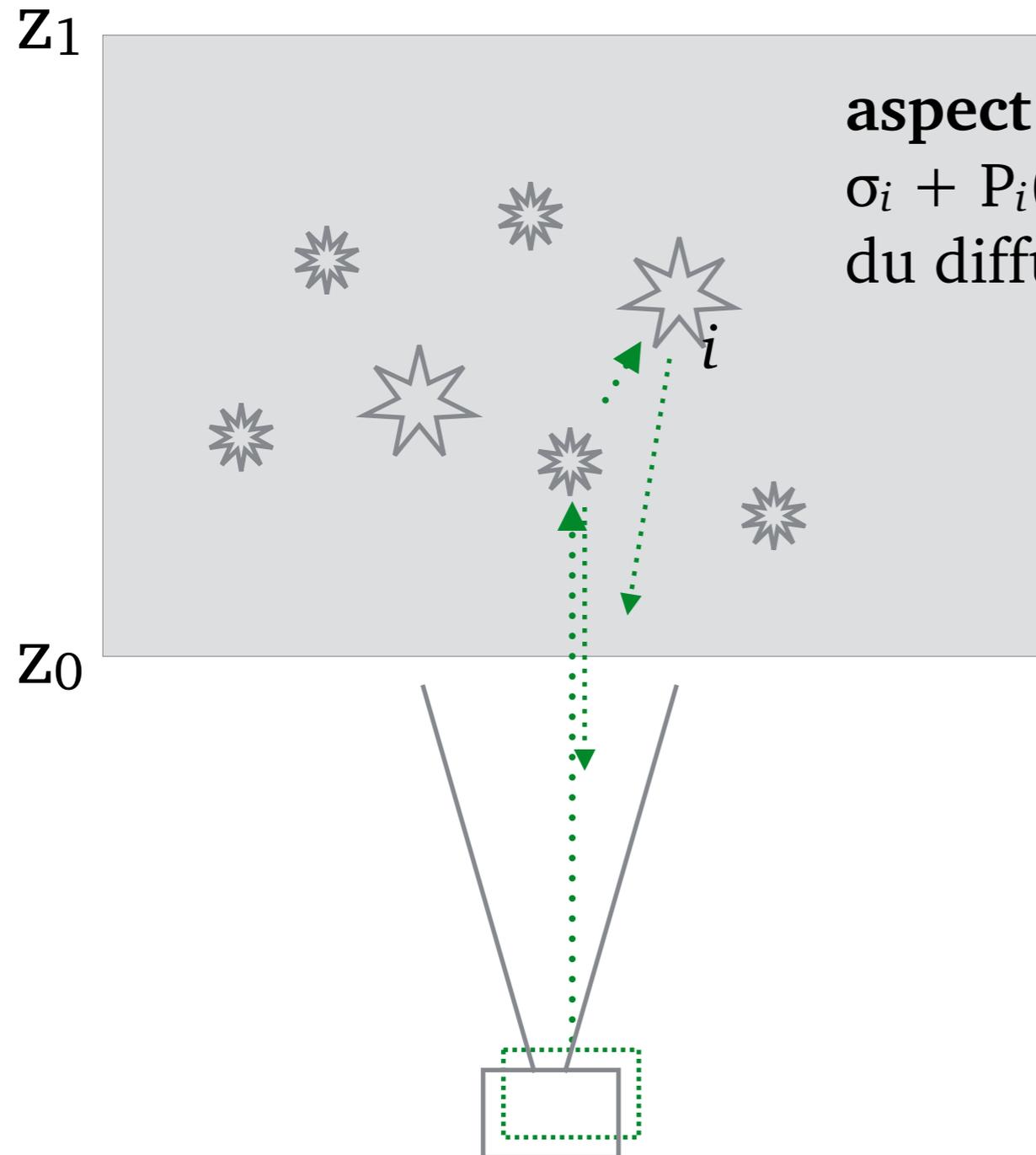
- On utilise souvent $\beta' = \beta e^{-2 \int \alpha(\lambda, z') dz'}$
coeff. rétrodiffusion atténué ou
apparent

$$P(\lambda, z) \sim \beta'(\lambda, z)$$

1.3 propriétés optiques locales

- $\beta(\lambda, z)$ et $\alpha(\lambda, z)$ fonctions de
 - $N(z)$ concentration de particules
 - $\sigma(\lambda, z)$ section efficace de diffusion ($\sim D^2$), fonction de la taille/forme/orientation des particules vs. longueur d'onde
 - $P(\theta)$ fonction de diffusion angulaire (pour β)
- Pour inverser on suppose (!) $\beta = k\alpha$ (fonction de phase homogène dans le milieu).
- Complications : $\beta = \beta_{\parallel} + \beta_{\perp}$

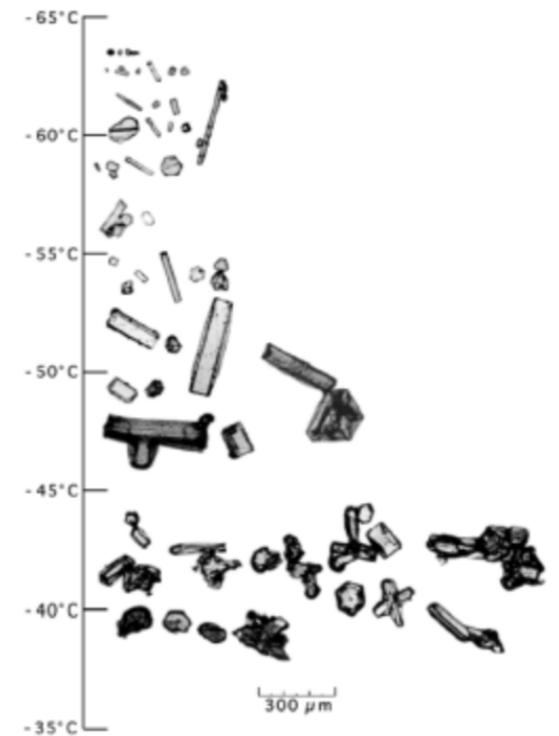
2.1 modélisation : problème direct



aspect 1 : diffusion
 $\sigma_i + P_i(\theta) =$ scattering model
du diffusant i

aspect 2 : géométrie
 n milieux (z_0, z_1), distance
moyenne entre diffusions (N),
divergence laser, reception cone
telescope, angle de visée...

aspect 3 : spectral
suivi spectral
(Doppler, HSRL, Dial)

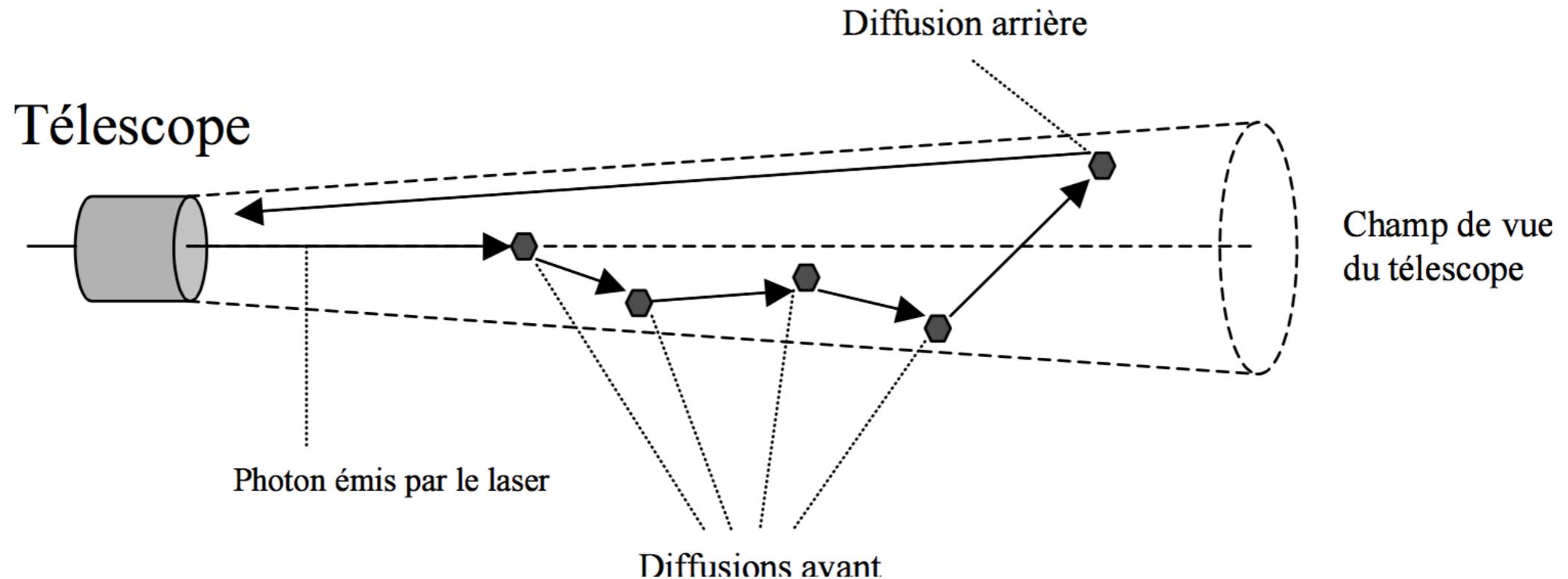


2.2 modélisation : problème inverse

- **Restitutions souhaitées**
 - sommet/base de nuages/aérosols (par seuillage du signal)
 - concentrations en particules
 - extinction (intégrée ou non)
 - microphysique particulière : forme, orientation, distribution en taille, phase... (par les propriétés optiques de diffusion)
 - spéciation d'aérosols, soit par les propriétés microphysiques ou directement par les propriétés optiques
- La possibilité de restituer une information spécifique dépend souvent de notre capacité à contraindre les autres informations, e.g. hypothèse de microphysique homogène

2.3 les diffusions multiples

- l'hypothèse de diffusion unique des photons est rarement valide
- photons souvent diffusés n fois vers l'avant + 1 fois vers l'arrière



- retarde l'arrivée des photons = signal qui "bave" vers l'opposé de l'instrument ("pulse stretching")
- dépolarise le faisceau dans les milieux denses comme les nuages liquides

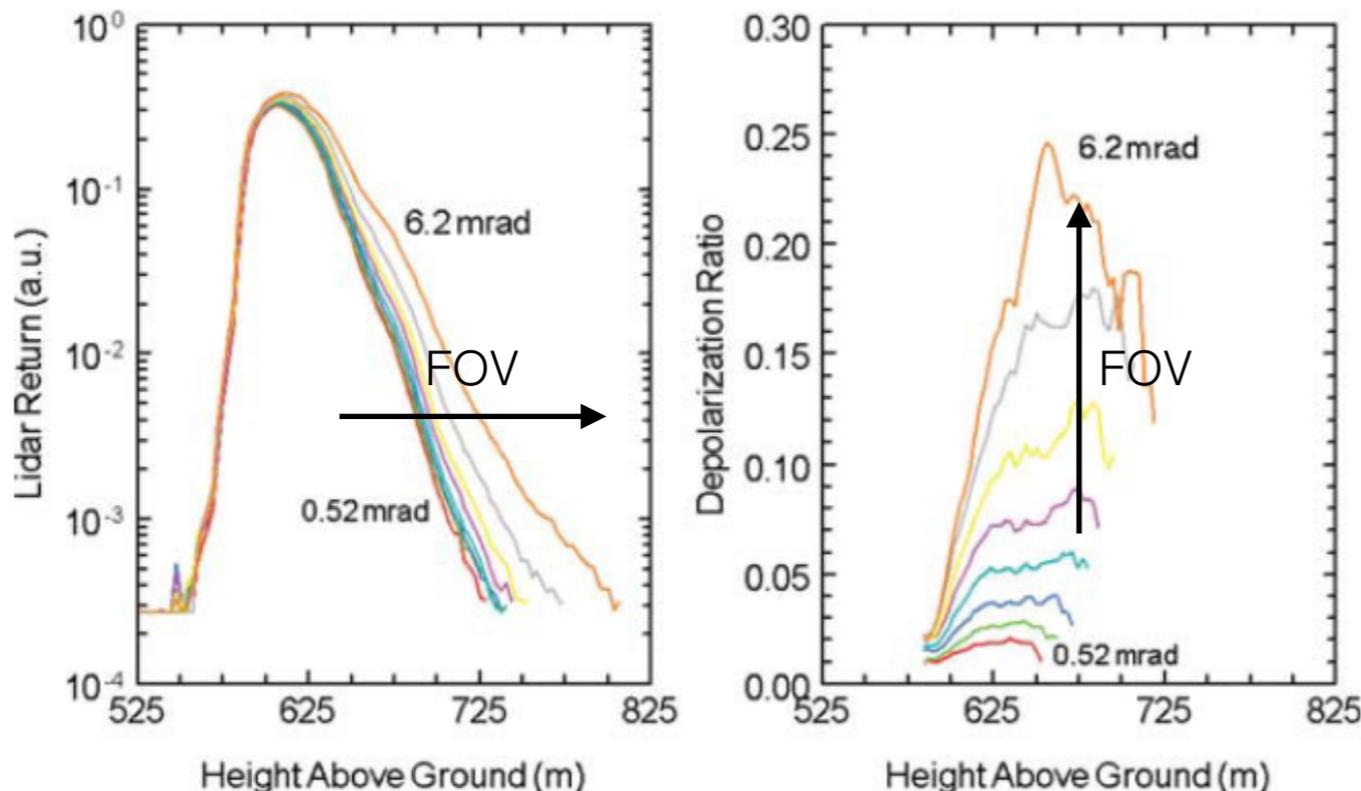
2.3 les diffusions multiples (2)

plus le volume diffusant est important,
plus le signal est affecté

- pire pour larges FOV et divergences laser, lidar spatiaux
- pour les grandes FOV, similaire au problème du NUBF radar

- plusieurs approches prennent en compte n diffusions, avec dépolarisation
 - modélisation statistique par ray-tracing Monte-Carlo. Lent mais très flexible (e.g. Flesia and Starkov 1996; avec Raman : Cheng et al., 2003; Winker, 2003; avec polar : Chaikovskaya, L, 2008).
 - modélisation analytique du ray-tracing (Oppel et al., 1995; Samoiloa, 2001). Solution simplifiée (Eloranta, 1998 : marche pas pour le spatial)
 - Quasi-Small Angle approximations : fast (e.g. Hogan, 2006)

Measurements at 1064nm from low stratus



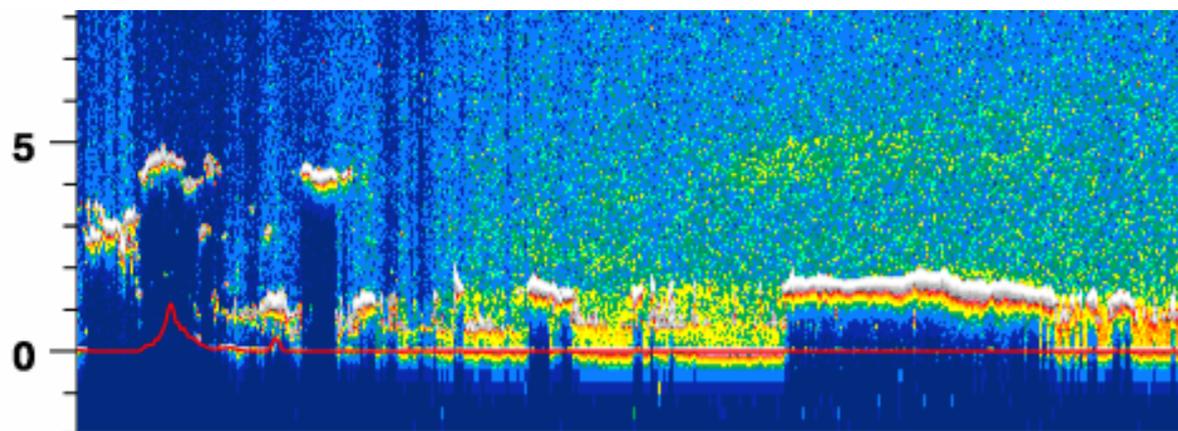
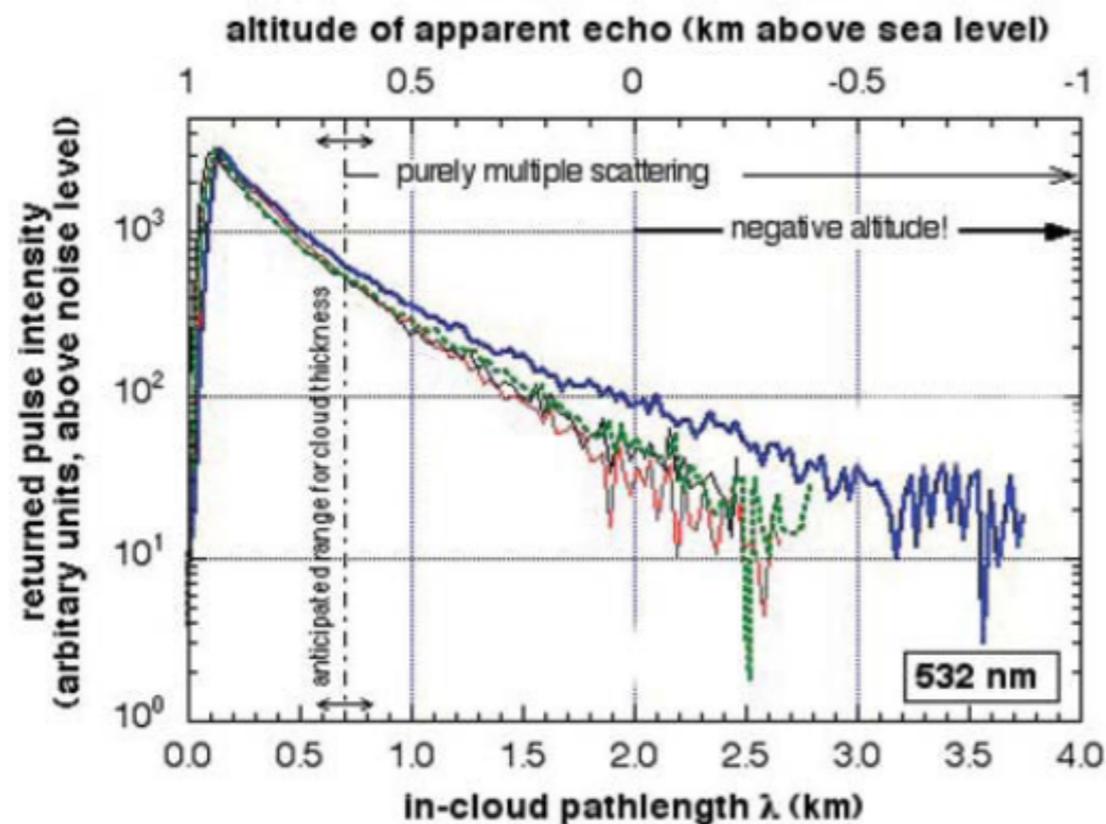
Measurements at 1064nm from low stratus

from "Lidar and Multiple Scattering" (L. R. Bissonnette) in "Lidar" (2005)

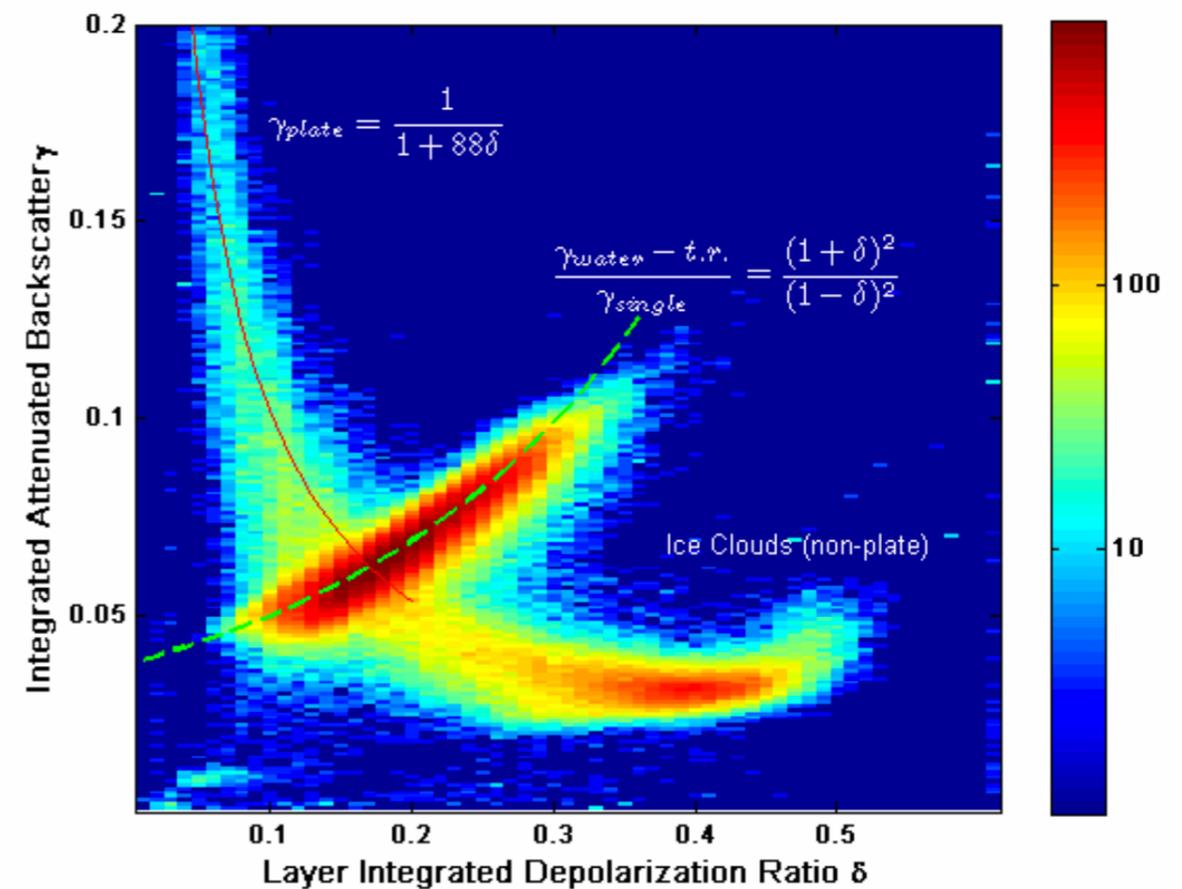
utiles pour évaluer les incertitudes
des inversions

2.3 les diffusions multiples (3)

- difficile à ignorer pour les lidars spatiaux (e.g. LITE, CALIPSO)



- dans les nuages d'eau liquide, la DM augmente la dépolarisation \sim linéairement avec la pénétration (Hu et al., 2001; Hu et al., 2007)



- effet \pm négligeable dans la glace

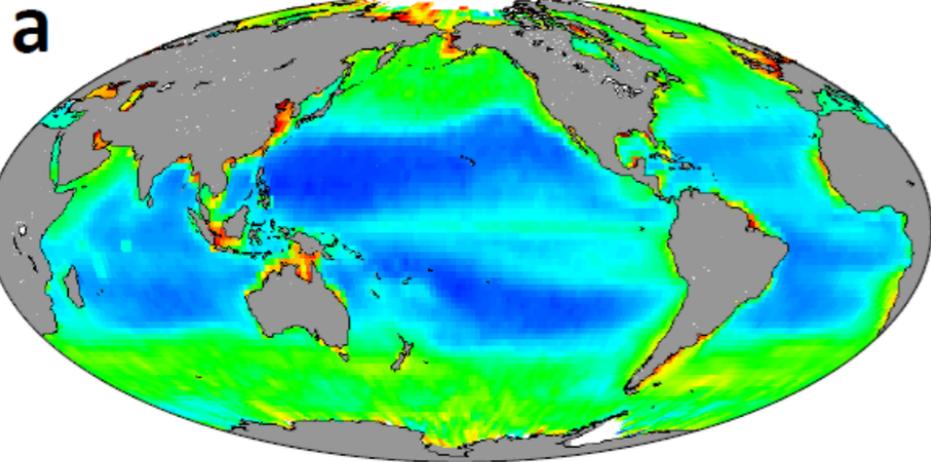
3.1 nouveaux milieux : nuages 3D

- résolutions fines : hypothèse plan parallèle invalide
- la structure nuageuse 3D fine doit être prise en compte (trous dans les nuages, etc.) : impact DM in-FOV et out-FOV (sources lumineuses secondaires)
- cf. Poster F. Szczap

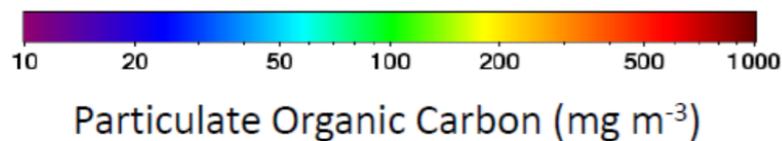
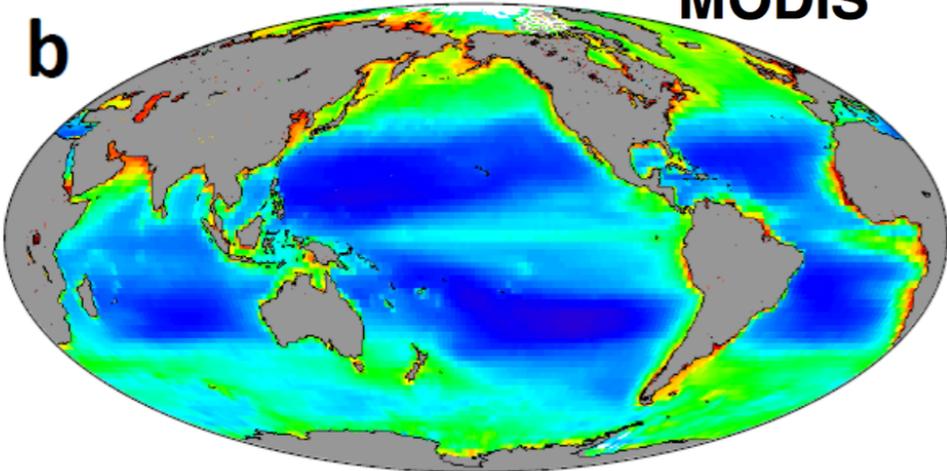
3.1 nouveaux milieux : l'océan

- *profils* de concentration en plancton/carbone organique.
- propriétés diffusantes, concentrations, déconvolution écho de sol...

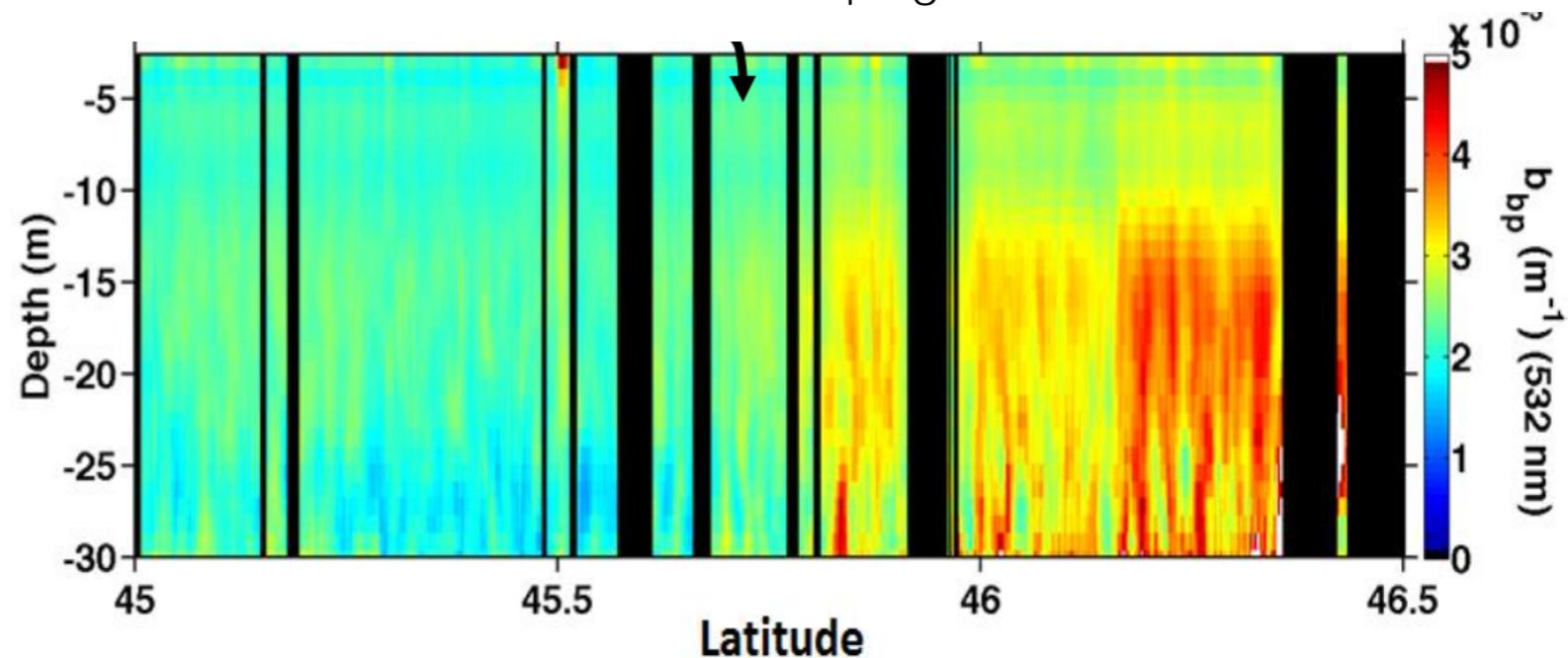
CALIPSO



MODIS



Langley airborne HSRL
Sabor campaign



3.2 lidars en orbite(s)

		wavelengths			bonus	beams
		355	532	1064		
CALIPSO	-2018		$\beta\delta$	β		1
CATS-ISS	2015-	$\beta\delta$	$\beta\delta$	$\beta\delta$	HSRL 532, 5kHz	2 (4 FOV)
ADM	2016-	β			Doppler	1
IceSAT-2	2017		β		10 kHz	6
EarthCARE	2018	$\beta\delta$			HSRL 355	1
GEDI	2019			β		14
OPAL	2019 ?	β	$\beta\delta$	$\beta\delta$	HSRL 532	1
MERLIN	2019	1645nm			DIAL	1
MESCAL	2022 ?		$\beta\delta$		MFOV ?	x ?
LIVE	2025 ?				?	?

3.2 lidars en orbite(s)

		wavelengths			bonus	beams
		355	532	1064		
CALIPSO	-2018		$\beta\delta$	β		1
CATS-ISS	2015-	$\beta\delta$	$\beta\delta$	$\beta\delta$	HSRL 532, 5kHz	2 (4 FOV)
ADM	2016-	β			Doppler	1
IceSAT-2	2017		β		10 kHz	6
EarthCARE	2018	$\beta\delta$			HSRL 355	1
GEDI	2019			β		14
OPAL	2019 ?	β	$\beta\delta$	$\beta\delta$	HSRL 532	1
MERLIN	2019	1645nm			DIAL	1
MESCAL	2022 ?		$\beta\delta$		MFOV ?	x ?
LIVE	2025 ?				?	?

3.3 nouvelles techno, nouveaux problèmes

- HSRL (EarthCare, CATS, OPAL) :
séparation Rayleigh/Mie, élimine
l'hypothèse du k constant pour les
inversions
 - Raman/DIAL (vapeur d'eau) :
décalages spectraux (par diffusion)
et sensibilité spectrale (à la
détection)
 - Multi-beams : IceSAT-2, GEDI,
CATS, MESCAL ?
 - High PRF : IceSAT-2 10kHz, CATS
5kHz
- effets spectraux
 - impact DM ?
 - diffusion inter-
faisceaux : “crossover”
 - “simultaneous pulse
signals” effect

3.4 three state of the art fwd models

	ECSIM (Donovan et al. 2015)	X (Szczap et al. 2013, poster)	Multiscatter (Hogan & Battaglia 2008)
type	Monte-Carlo		semi-analytique (QSA), rapide
input	scenes 3D (LES, meso-echelle, etc.)		profils 1D
DM	✓	✓	✓
depol	✓	✓	in dev
spectral (HSRL, Doppler, etc.)	✓	in dev	approx. HSRL

- to do : cross-over (high PRFs, multi-beam, multi-FOV), autres milieux (ocean)

Roadmap

- impact des hétérogénéités nuageuses 3D
- modélisation du crossover lumineux en plusieurs configurations instrumentales, impact sur les problèmes direct et inverse
- problème direct et inverse dans l'océan
- effets de DM + dépol pour inversions microphysiques
- effets spectraux pour inversions Doppler, wv...