

# Propriétés microphysiques des nuages par inversion des observations radars ROXI et BASTA

*Y. Lemaître, N. Pauwels, C. Le Gac*



LATMOS

Sciences de  
l'environnement  
Institut  
Pierre  
Simon  
Laplace

UNIVERSITÉ DE  
VERSAILLES  
ST-QUENTIN-EN-YVELINES



OVSQ

climat - environnement - société

université PARIS-SACLAY

cnrs  
dépasser les frontières

UPMC  
SORBONNE UNIVERSITÉS

# Introduction

Objectif de la présentation

Décrire les travaux de **développement méthodologique en cours**

sur

**l'inversion des données de radars** Doppler profileur à visée verticale

pour

documenter

les propriétés et processus microphysiques des nuages précipitants

# Paramètres microphysique et applications

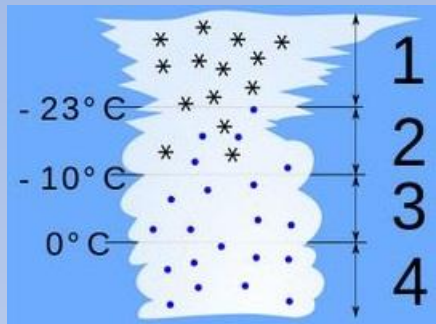
## Evolution temporelle du profil de

- Réflectivité
- Vitesse Doppler  $V_d$
- Spectre Doppler
- Distribution en taille des hydrométéores liquides ou glacés (PSD/DSD)
- **Contenu en eau ou glace**
- **Vitesse de sédimentation  $V_{hy}$**
- **Rayon médian, moyen, équivalent, effectif**
- Extinction
- **Type d'hydrométéore**
- Altitude de l'eau surfondue.
- **Vitesse verticale de l'air  $W_{air}$**
- **Processus microphysiques**

Documentation des **processus** dynamiques, de la microphysique et des processus radiatifs liés aux nuages

- Amélioration de la **représentation des nuages glacés** et des processus associés dans les **CRMs** exploités pour améliorer les paramétrisations des **GCM** ou utilisés comme super-**paramétrisation** dans les GCM.
- **Climatologie et variabilités** de la couverture nuageuse et des propriétés microphysiques des nuages
- **Propriétés statistiques et descente d'échelle**
- **Processus d'interaction** entre nuages précipitant et **aérosols/gaz réactifs**
- Contribution au développement de stations d'observation des nuages dans la perspective de leur **assimilation**
- **Validation** des observations spatiales radars et lidars (EarthCARE, GPM).

# Principe de la mesure microphysique

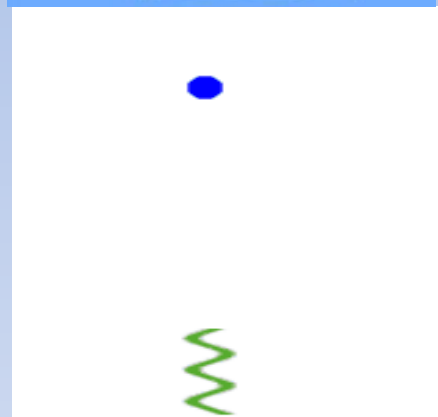


1 Cristaux de glace

2 Neige et gouttelettes surfondues

3 Gouttelettes surfondues

4 Gouttelettes de pluie



Visée verticale  $\rightarrow V_d = W_{\text{air}} + V_{\text{hydro}} + V_{\text{horizontal}}$   ~~$\rightarrow$~~

## Contraintes:

1. Pointage vertical optimal

Dépointage de  $1^\circ \rightarrow \sim 18 \text{ cms}^{-1}$  sur  $V_d$  pour vent horizontal  $10 \text{ ms}^{-1}$

2. Lobe étroit

Largeur du Lobe à 3 dB:

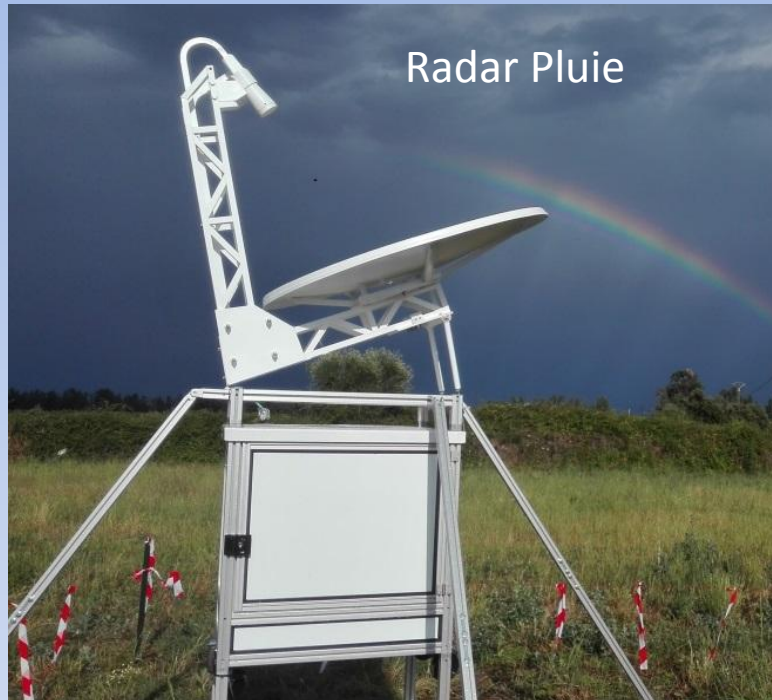
$1.86^\circ \rightarrow$  élargissement du spectre Doppler  $\sim 3 \text{ cms}^{-1}$  (écart type)

3. Spectres Doppler de très bonne qualité



# Radar ROXI

## Rain Observation with an X-band Instrument



- Radar Doppler 9.42 GHz (bande X,  $\lambda=3.18$  cm) pulsé avec émetteur à état solide (70W)
- Antenne 1.2m de diamètre
- Résolution 100m (0 à 12.8 km)
- Vitesse ambigüe  $11.7 \text{ ms}^{-1}$
- Ouverture antenne  $1.86^\circ$
- Intégrations cohérentes (4096 échantillons)
- Temps d'intégration  $\sim 3\text{s}$
- Acquisition haut débit du signal complexe temporel (12 Mo/s)
- Traitement PPP et FFT temps réel
- Traitement PPP et FFT temps différés (**stockage séries temporelles**) → **test nouvelles méthodes**
- Documentation de la microphysique liquide/glace
- Très faible atténuation selon la verticale
- Peu d'effet de Mie
- Zone d'observation commune avec BASTA (95 GHz)

Développements actuels: Chirp/FMCW, Monostatique (**GT Monostatique**)

# Radar BASTA



- Radar Doppler BASTA 95 GHz (bande W,  $\lambda=3.16$  mm) FMCW bistatique avec émetteur à état solide (0.5-1W)
  - 2 Antennes 60/30 cm de diamètre
  - Résolution 12.5-100m (6-12 km-24 km)
  - Vitesse ambiguë 5-10 ms<sup>-1</sup>
  - Ouverture antenne 0.4-0.8°
  - Temps d'intégration 0.25-10s
  - Acquisition haut débit du signal complexe temporel (12 Mo/s)
  - Traitement PP temps réel
- 
- Documentation des systèmes nuageux ou faiblement précipitant
  - Atténuation et effet de Mie importants en présence de pluie
  - Zone d'observation commune avec ROXI (9.4 GHz)

Développements actuels: Spectre Doppler, Monostatique



# Campagne d'inter-validation instrumentale

## ATMOS-Precip

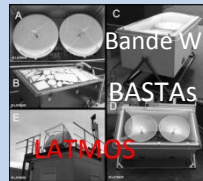
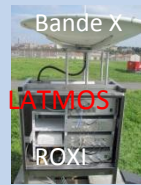
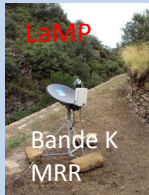
réalisée par le « GT Précipitation » du SIRT/IPSIL  
(15 septembre 2016 au 15 Janvier 2017)

### Instrumentation:

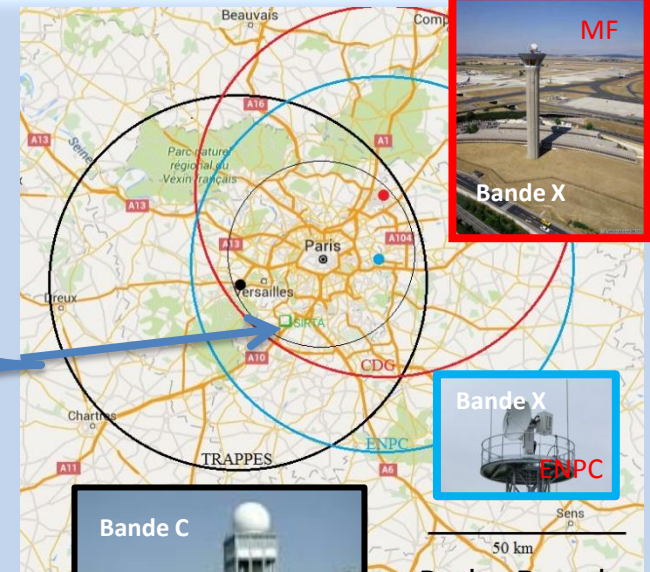
Radar  
Volumique



Radars Profileur  
vertical



Disdromètres



Radar Doppler  
Polarimétrique  
Volumique



# Méthodes d'inversion Microphysique

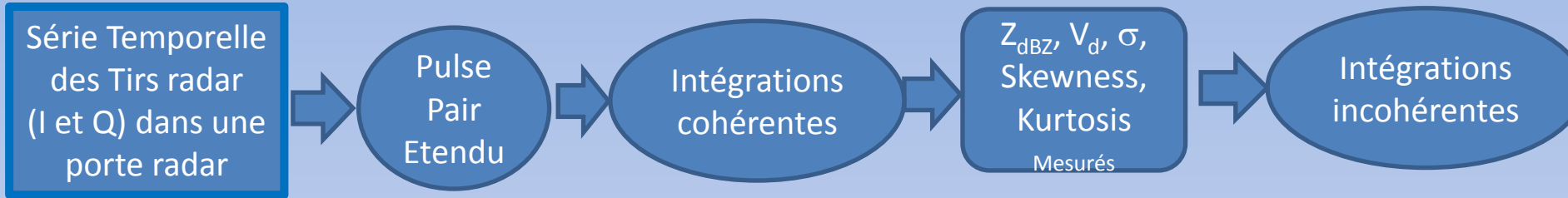
- **RADON** (Delanoë et al, 2005) → Nuages  
Exploite **Réfectivités** et **Vitesse Doppler** radar Limitation: Hypothèse faibles vitesses de l'air
- **Multi-Fréquence** (Matrasov, 1998; Hogan et al, 2005, Tridon et al , 2013) → Nuages  
Exploite **Différences de réflectivité et de vitesse Doppler** à deux fréquences  
Limitation: faibles précipitations
- **HYSDIVARME-FFT** (Lemaître et al., 2018) → Précipitation liquide et glacée  
Exploite **Spectres Doppler** obtenu par FFT Limitation: simple et idéale mais temps de calcul important
- **VAMOS** (Mercier et al., 2016) → Précipitation liquide  
Exploite **Spectres Doppler, mesures au sol disdromètre** et **équation d'évolution temporelle de la DSD**  
Limitation: précipitations liquides uniquement
- **HYSDIVARME-PPP\*** → Précipitation liquide et glacée  
Exploite **Réfectivité, Vitesse Doppler, Ecart Type et Coefficients d'asymétrie et d'aplatissement** obtenu par **Pulse Pair étendu** (Moments d'ordre 0 , 1 et 2)



# Méthode HYSDIVARME-PPP\*

(HYdrometeor-Size DIstribution and Vertical Air Retrieval MEthod by « Pulse Pair Processing »)

## ETAPE 1: Traitement du signal temps réel



**Autocorrélation**  $R(0)$ ,  $R(\tau)$ ,  $R(2\tau)$

$$R(n\tau) = \frac{1}{N} \sum S_t S_{t+n\tau}^*$$

avec  $S_t = Z_t + N_t$  Mesure = Signal Physique + Bruit

$$R(0) = \langle Z_t Z_t^* \rangle + \langle \underset{\sim 0}{Z_t N_t^*} \rangle + \langle \underset{\sim 0}{N_t Z_t^*} \rangle + \langle N_t N_t^* \rangle \rightarrow$$

$$\|Z\| = R(0) - \|N\|$$

$$R(\tau) = \langle Z_t Z_{t+\tau}^* \rangle + \langle \underset{\sim 0}{Z_t N_{t+\tau}^*} \rangle + \langle \underset{\sim 0}{N_t Z_{t+\tau}^*} \rangle + \langle \underset{\sim 0}{N_t N_{t+\tau}^*} \rangle$$

$$R(2\tau) = \langle Z_t Z_{t+2\tau}^* \rangle$$


---

Rapport signal sur bruit  $SNR = \frac{\|S\|}{\|N\|} = \frac{R(\tau)^{\frac{4}{3}}}{R(0) R(2\tau)^{\frac{1}{3}} - R(\tau)^{\frac{4}{3}}}$

*Srivastava et al (1978)*

$$R(\tau) = TF[S(v)]$$

$$R(\tau) = h(\tau) e^{-ig(\tau)}$$

Complexe avec h module et g argument

$$h(\tau) = h_0/0! + h'_0\tau/1! + h''_0\tau^2/2!$$

$$Z \propto \int S(v) dv$$

$$V_d \propto \int v S(v) dv$$

Moment d'ordre n  $\propto \int (v - \bar{v})^n S(v) dv$

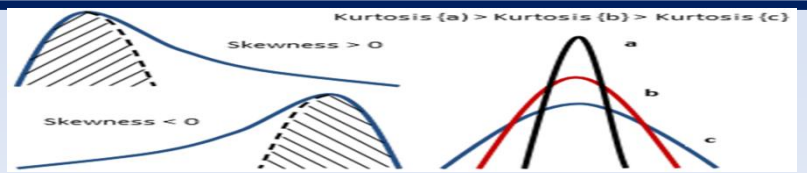
*Passarelli and Siggia (1983)*

$$Z = R(0) / (1 + SNR^{-1})$$

$$V_d = \frac{1}{4\pi\tau V} [8 \arg(R(\tau)) - \arg(R(2\tau))]$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{16\pi^2\tau^2 V^2} \left[ \frac{2}{5} - \frac{1}{\|Z\|} \left( \frac{8\|R(\tau)\|}{3} - \frac{\|R(2\tau)\|}{6} \right) \right]$$

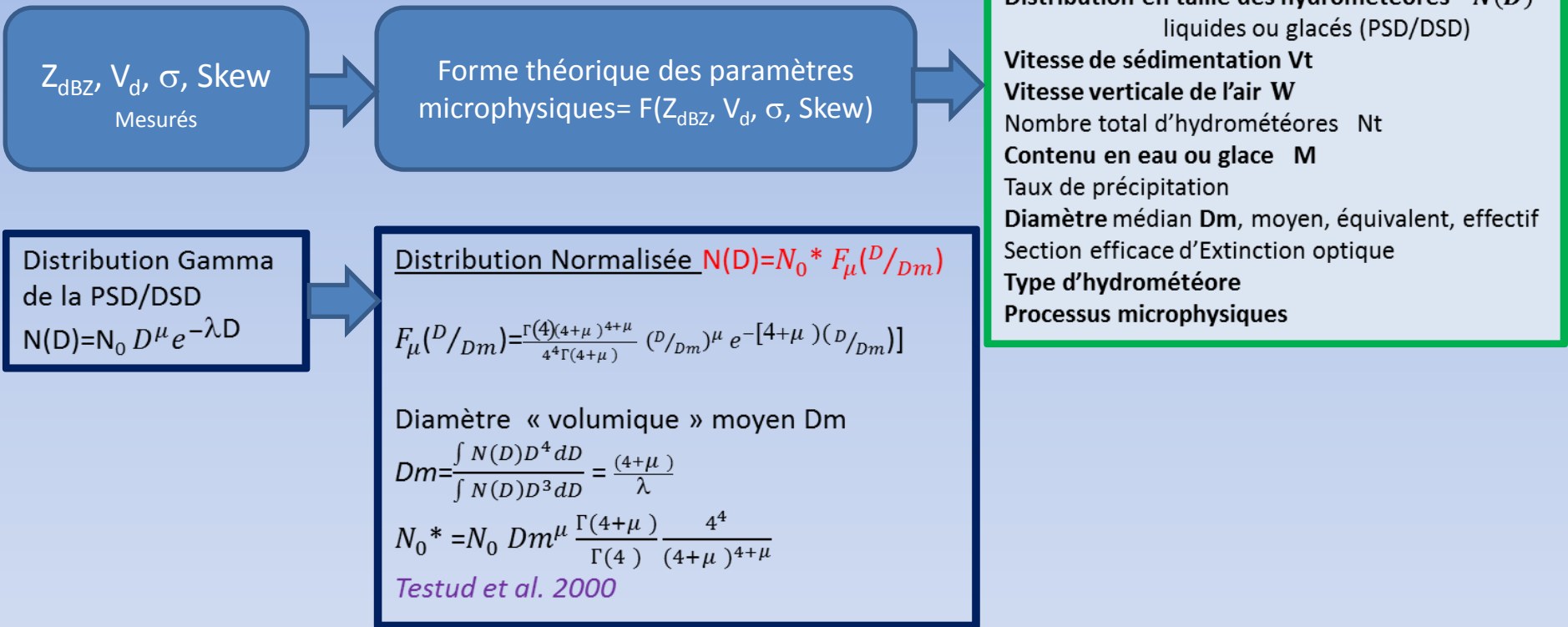
$$\text{Skewness} = \frac{1}{64\pi^3\tau^3 V^3} [2 \arg(R(\tau)) - \arg(R(2\tau))]$$

$$\text{Kurtosis} = \frac{1}{256\pi^4\tau^4 V^4} \left[ 6 - \frac{1}{\|Z\|} (8\|R(\tau)\| - 2\|R(2\tau)\|) \right]$$


# Méthode HYSDIVARME-PPP\*

(HYdrometeor-Size Distribution and Vertical Air Retrieval METHOD by « Pulse Pair Processing »)

## ETAPE 2 : Inversion



### Signification Physique

$N_0$  et  $\lambda$  mélange des effets de  $M$ ,  $D_m$ , et  $\mu$  et forte variabilité de la distribution

$N_0^*$  paramètre d'interception de la distribution exponentielle de même  $M$  et  $D_m$  et pas de forte variabilité

Distribution  $F_\mu(D/D_m)$  indépendante de  $M$  et  $D_m$

$\mu$  caractérise uniquement la forme

$$(1) Z = \int Z(D)dD = \int N(D)D^6 dD = N_0^* \cdot \frac{\Gamma(4)(4+\mu)^4}{4^4\Gamma(4+\mu)} \Gamma(7+\mu) \left(\frac{Dm}{(4+\mu)}\right)^7$$

  Mesuré

$$(2) V_t = \frac{\int Z(D)V(D)dD}{\int Z(D)dD} = C_p \cdot \frac{\Gamma(7+\mu+b)}{\Gamma(7+\mu)} \left(\frac{Dm}{(4+\mu)}\right)^b$$

  Recherché

$$(3) \sigma^2 = \frac{\int Z(D)(V_t - V(D))^2 V(D)dD}{\int Z(D)dD} = C_p^2 \cdot \frac{\Gamma(7+\mu+2b)\Gamma(7+\mu) - \Gamma(7+\mu+b)^2}{\Gamma(7+\mu)^2} \left(\frac{Dm}{(4+\mu)}\right)^{2\alpha}$$

$V(D) = C_p(b) \cdot D^b$   
pour un type de particule  $p$

$$(4) \text{Skewness} = \frac{\int Z(D)(V_t - V(D))^3}{\int Z(D)dD} = C_p^3 \cdot \left[ \frac{\Gamma(7+\mu+3b)}{\Gamma(7+\mu)} - 3 \frac{\Gamma(7+\mu+b)\Gamma(7+\mu+2b)}{\Gamma(7+\mu)^2} + 2 \frac{\Gamma(7+\mu+b)^3}{\Gamma(7+\mu)^3} \right] \left(\frac{Dm}{(4+\mu)}\right)^{3\alpha}$$

(5)

$$\text{Kurtosis} = \frac{\int Z(D)(V_t - V(D))^4 dD}{\int Z(D)dD} = C_p^4 \cdot \left[ \frac{\Gamma(7+\mu+4b)}{\Gamma(7+\mu)} - 4 \frac{\Gamma(7+\mu+b)\Gamma(7+\mu+3b)}{\Gamma(7+\mu)^2} + 6 \frac{\Gamma(7+\mu)\Gamma(7+\mu+2b)\Gamma(7+\mu+b)^2}{\Gamma(7+\mu)^4} - 3 \frac{\Gamma(7+\mu+b)^4}{\Gamma(7+\mu)^4} \right] \left(\frac{Dm}{(4+\mu)}\right)^{4\alpha}$$

$$(6) W = V_d - V_t$$

$$(7) M = \frac{\pi\rho_w N_0^* Dm^4}{4^4}$$

$$\lambda = \frac{4+\mu}{Dm}$$

### Principe de résolution

$$\frac{\text{Skewness}}{\sigma^3} = f(\mu, b)$$

$$\frac{\text{Kurtosis}}{\sigma^4} = G(\mu, b)$$

→  $\mu$  et  $b$  soit →  $C_p$  pour un type de particule donné (Khvorostyanov and Curry, 2001)

$$(3) + (\mu, b, C) + \sigma \rightarrow Dm$$

$$(2) + (\mu, b, C) + Dm \rightarrow V_t$$

$$(6) + V_t + V_d \rightarrow W$$

$$(1) + \mu + Dm + Z \rightarrow N_0^*$$

$$(7) + N_0^* + Dm \rightarrow M$$

Particules solutions dans gamme  $Dm$ ,  $N_0^*$ ,  $M$  attendue

# Obtention de $C_p$ de la relation $V(D) = C_p \cdot D^b$ à partir de $b$

(Khvorostyanov and Curry, 2001)

Force de trainée = force de gravité  $\rightarrow V(D) = C_p \cdot D^b$  avec

$$C_p = A_{Re} \cdot v^{1-2BRe} \left( \frac{2\alpha g}{\rho_a \gamma} \right)^{BRe}$$

$$\alpha = B_{Re}(\beta - \sigma + 2) - 1$$

$$A_{Re} = f(X)$$

$$B_{Re} = g(X)$$

$$X = \frac{2mgD^2}{S\rho_a}$$

$$m = \alpha D^\beta$$

$$S = \gamma D^\sigma$$

$\nu$  Viscosité cinématique (T,P)

Type	Size (cm)		Mass (g)	
	From	To	$\alpha$	$\beta$
Plates	0.0015	0.3	0.00739	2.45
Dendrites	0.03	0.4	0.003	2.3
Aggregates	0.05	0.8	0.003	2.1
Graupel	0.2	0.8	0.049	3.06
Hail	0.5	2.5	0.466	3

Type	Size (cm)		Area (cm <sup>2</sup> )	
	From	To	$\gamma$	$\sigma$
Plates	0.0015	0.01	0.24	1.85
Plates	0.01	0.3	0.65	2
Dendrites	0.03	0.4	0.21	1.76
Aggregates	0.05	0.8	0.2285	1.88
Graupel	0.2	0.8	0.5	2
Hail	0.5	2.5	0.625	2

(Spek et al., 2008)

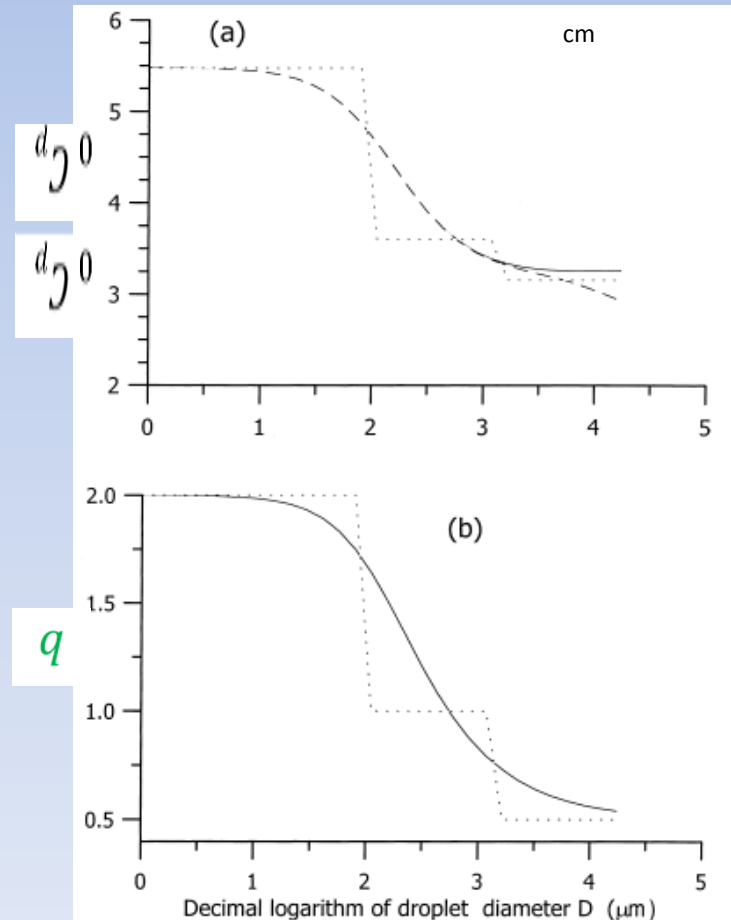


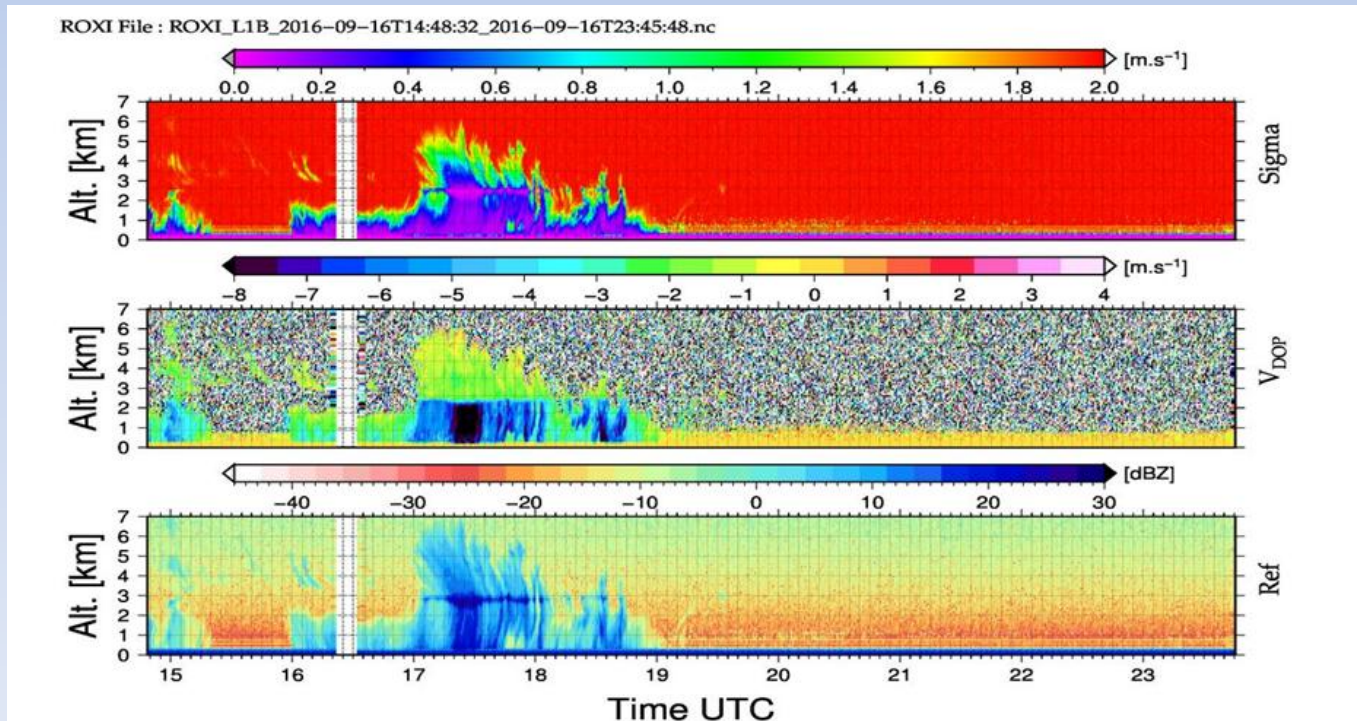
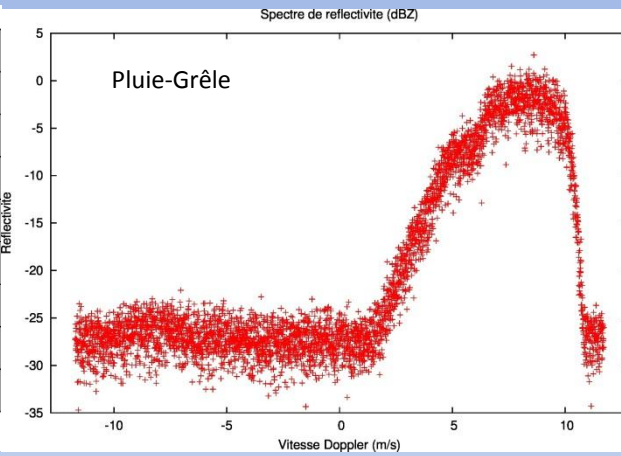
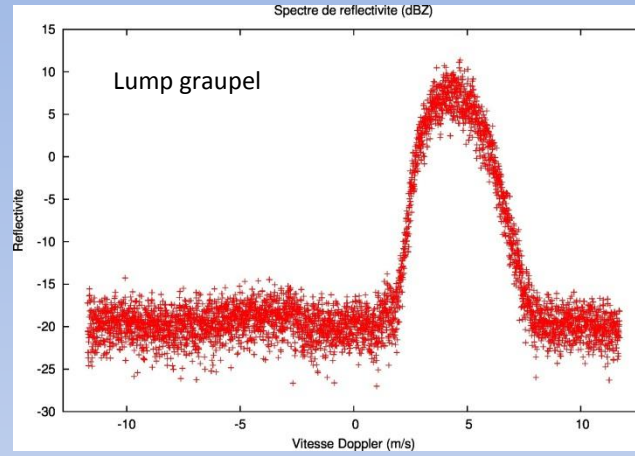
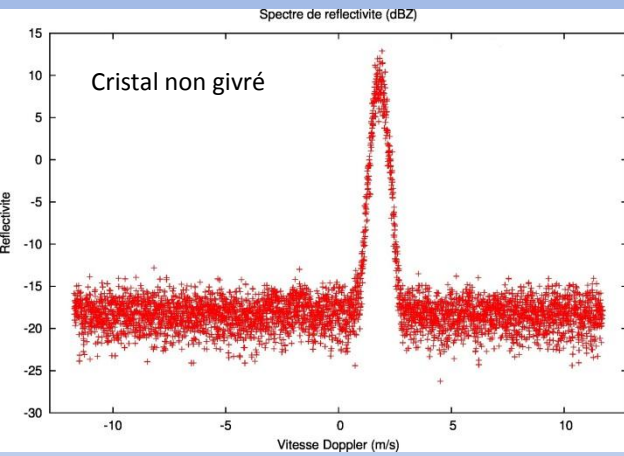
TABLE 1. Coefficients of mass and area power laws for drops and crystals used in calculations of  $a_v$ ,  $b_v$ . Those for crystals are from Mitchell (1996) with some data from Locatelli and Hobbs (1974), Heymsfield and Kajikawa (1987), and Heymsfield and Iaquinta (2000).

Particle type	Mass		Area		Remark
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$	
Spherical drops	$(\pi/6)\rho_w = 0.524$	3	$\pi/4 = 0.785$	2	
Nonspherical drops	$(\pi/6)\rho_w \times \zeta(D)$	3	$\pi/4 = 0.785$	2	
Hexagonal plates (P1a)					
$15 \mu\text{m} < D < 100 \mu\text{m}$	0.00739	2.45	0.24	2.00	$\alpha = 0.0376$ , $\beta = 3.31$ , $A_v = 297$ , $B_v = 0.86$ (HK87)
$100 \mu\text{m} < D < 3000 \mu\text{m}$	0.00739	2.45	0.65	1.85	
Hexagonal Columns					
$30 \mu\text{m} < D < 100 \mu\text{m}$	0.1677	2.91	0.684	2.00	
$100 \mu\text{m} < D < 300 \mu\text{m}$	0.00166	1.91	0.0696	1.50	
$D > 300 \mu\text{m}$	0.000907	1.74	0.0512	1.414	
Rimmed long columns					
$200 \mu\text{m} \leq 2400 \mu\text{m}$	0.00145 (old) 0.00125 (new)	1.8	0.0512	1.414	
Crystal with sector-like branches (P1b)					
$10 \mu\text{m} < D < 40 \mu\text{m}$	0.00614	2.42	0.24	1.85	
$40 \mu\text{m} < D < 2000 \mu\text{m}$	0.00142	2.02	0.55	1.97	
Broad-branched crystal (P1c)					
$10 \mu\text{m} < D < 100 \mu\text{m}$	0.00583	2.42	0.24	1.85	
$100 \mu\text{m} < D < 1000 \mu\text{m}$	0.000516	2.02	0.21	1.76	
Stellar crystal with broad arms (P1d)					
$10 \mu\text{m} < D < 90 \mu\text{m}$	0.00583	2.42	0.24	1.85	
$90 \mu\text{m} < D < 1500 \mu\text{m}$	0.00027	1.67	0.11	1.63	
Densely rimmed dendrites (R2b)					
$1800 \mu\text{m} < D < 4000 \mu\text{m}$	0.030 (old) 0.015 (new)	2.3	0.21	1.76	$A_v = 62$ , $B_v = 0.33$ (LH74)
Bullet rosettes, five branches					
$200 \mu\text{m} < D < 1000 \mu\text{m}$	0.00308	2.26	0.0869	1.57	$A_v = 2150$ , $B_v = 1.225$ ( $D < 0.06 \text{ cm}$ ) $A_v = 492$ , $B_v = 0.7$ ( $D > 0.06 \text{ cm}$ ) (Heyms- field and Iaquinta 2000)

(Khvorostyanov and Curry, 2001)

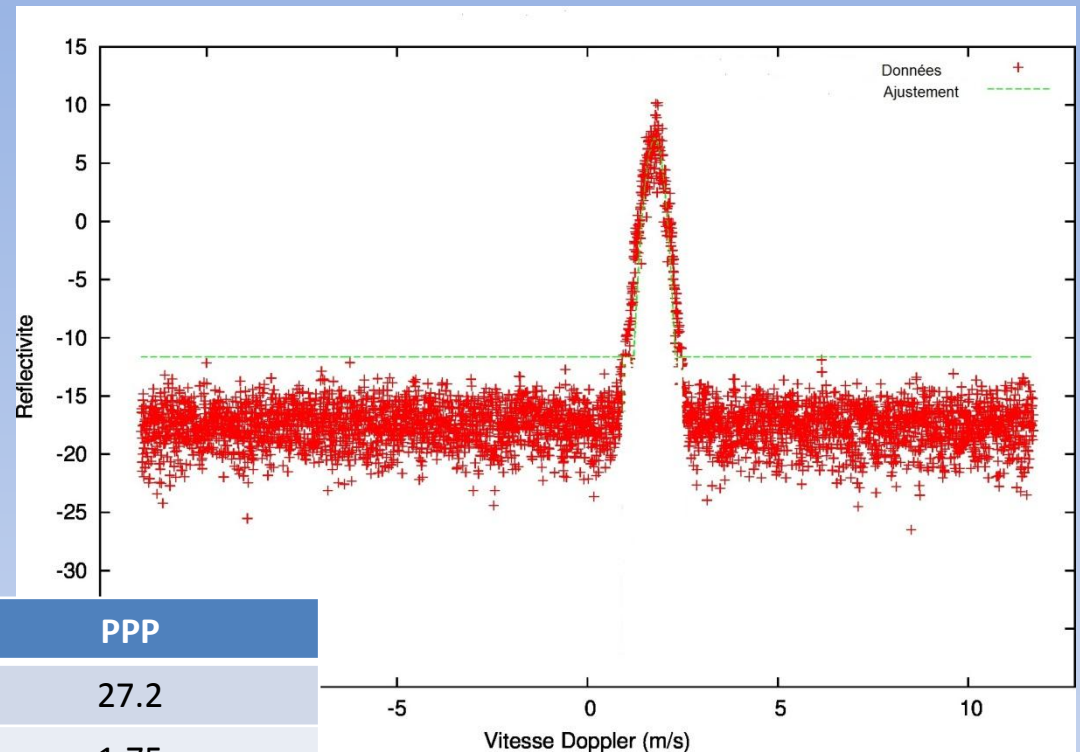


# Exemples d'observations



# Intercomparaison avec HYSDIVARM-FFT\*

16 Septembre 2016 17h25

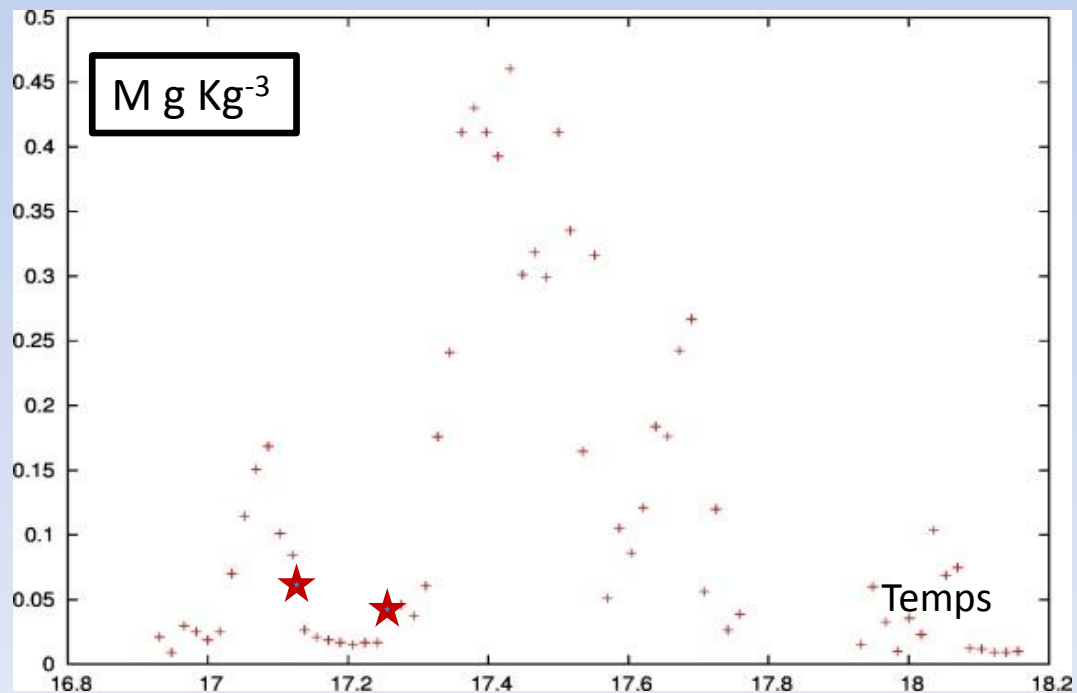
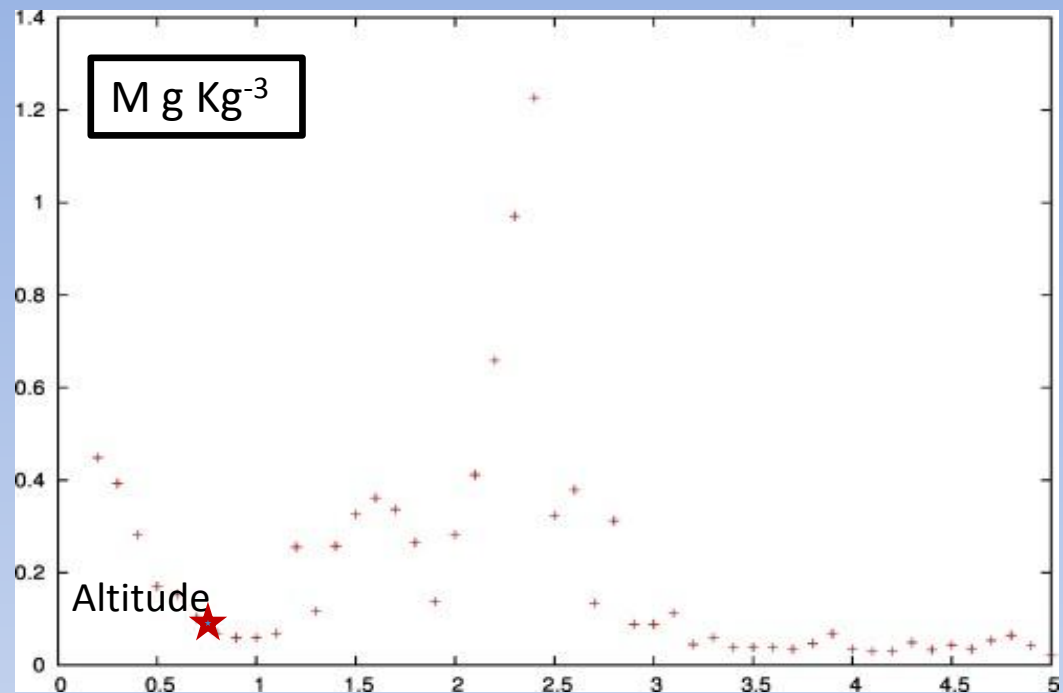


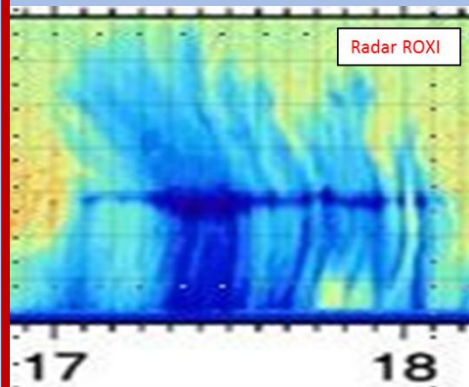
Paramètre	FFT	PPP
Z (dBZ)	26.1	27.2
$V_d$ ( $ms^{-1}$ )	1.77	1.75
$\sigma$ ( $ms^{-1}$ )	0.175	0.185
$\lambda$ ( $cm^{-1}$ )	32	31.8
$N_0$ ( $cm^{-4}$ )	0.020	0.023
$V_t$ ( $ms^{-1}$ )	1.57	1.58
$W$ ( $ms^{-1}$ )	0.20	0.18
Dm (mm)	1.36	1.26
M ( $g Kg^{-1}$ )	0.05	0.06
$F(\alpha)=Skew/\sigma^3$		-15.
Type	Neige (Flocon)	Neige (Flocon)
SNR (dB)		15.6

$F(\alpha)=Skew/\sigma^3$	Type
-4.1	Pluie
-1.4	Lump Graupel
-6.8	Cristal non givré face plate
-16.7	Neige (Flocon)
-4.8	Grêle

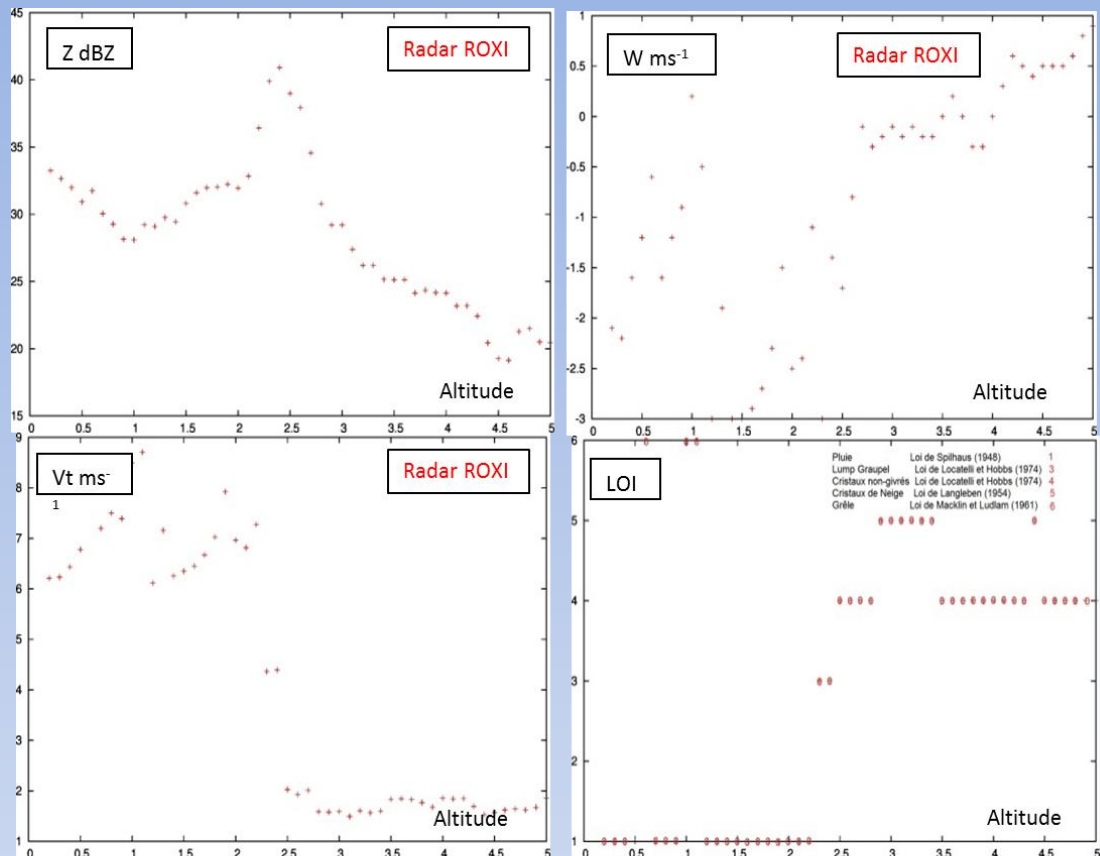


Intercomparaison  
avec  
HYSDIVARM-FFT\*

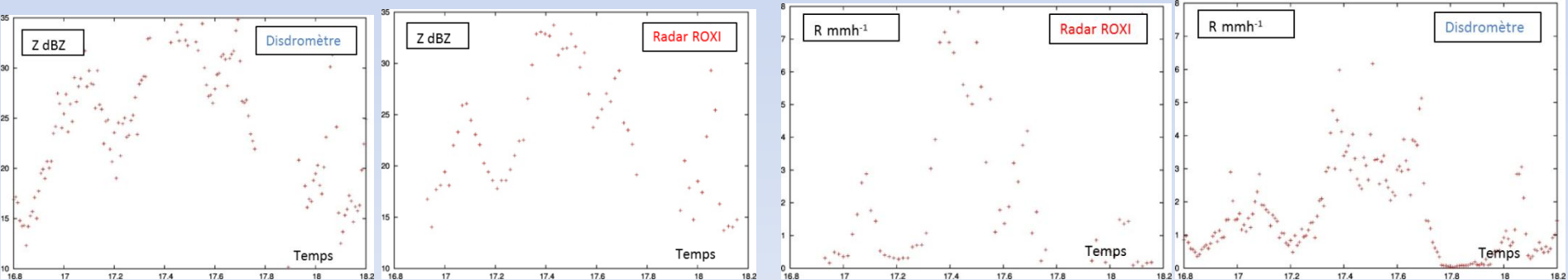




Coupe altitude-temps de la réflectivité



Profil vertical de la réflectivité ( $Z$ ), de la vitesse verticale ( $W$ ), de la vitesse de sédimentation ( $Vt$ ) et du type d'hydrométéore (LOI) à 17.42 TU



l'évolution temporelle de la réflectivité et du taux précipitant à 300m. Comparaison ROXI – Disdromètre

# Identification des processus microphysiques

## Règles d'identification de processus microphysiques

Selon une altitude décroissante (en suivant l'hydrométéore dans sa chute):

- Nombre de petites particules  $\nearrow$  si  $N_0 \nearrow \lambda \nearrow D_m \searrow$
- Nombre de grosses particules  $\nearrow$  si  $\lambda \searrow D_m \nearrow$

$$N(D) = N_0 \cdot D^\mu \cdot e^{-\lambda \cdot D}$$

$$D_m = \frac{\int N(D) \cdot D^4 \cdot dD}{\int N(D) \cdot D^3 \cdot dD}$$

- **Evaporation** si  $D_m \nearrow M \searrow$  et  $Z \sim \text{constant}$
- **Coalescence/Agrégation** si  $D_m \nearrow M \text{ constant}$  et  $Z \nearrow$
- **Breakup** si  $D_m \searrow M \text{ constant}$  et  $Z \searrow$

$$M = \frac{\pi \rho}{6} \int N(D) \cdot D^3 \cdot dD$$

$$Z = \int N(D) \cdot \sigma(D) \cdot dD$$

$$N_t = \int N(D) \cdot dD$$



## Exemple d'application au cas du 16 septembre 2016

### Entre 5 km et 3.5 km:

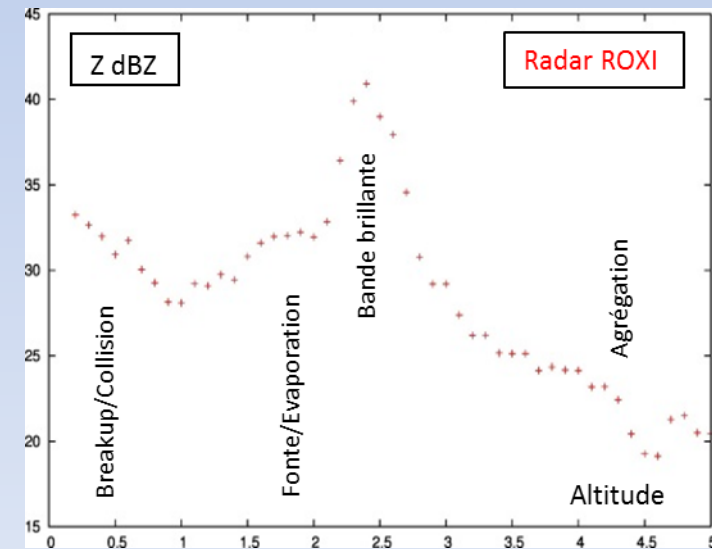
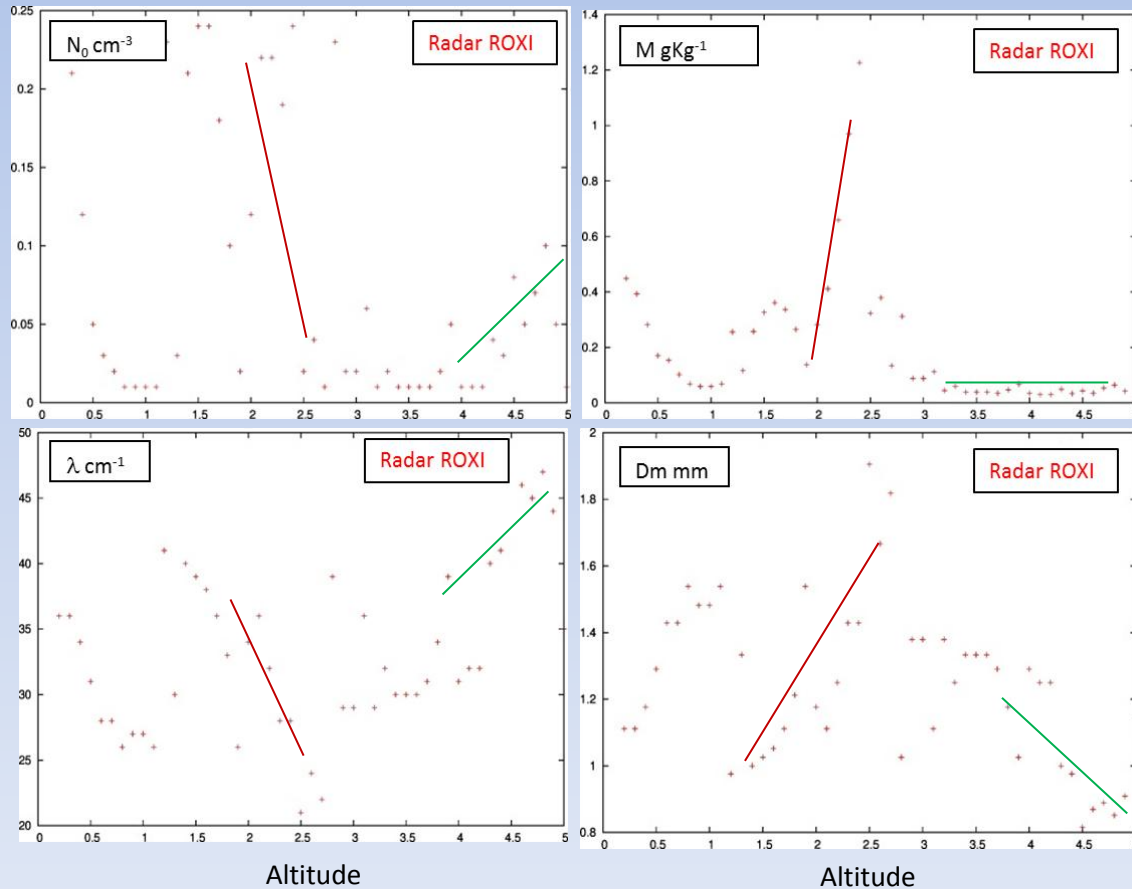
$N_0 \searrow \lambda \searrow \rightarrow$  grosses particules  $\nearrow$  et  $Dm \nearrow M$  constant  $Z \nearrow \rightarrow$  **Agrégation**

### Entre 1km et 300m:

$N_0 \nearrow \lambda \nearrow \rightarrow$  petites particules  $\nearrow$  et  $Dm \searrow M \nearrow Z \nearrow \rightarrow$  **Breakup/Collision**

### Au-dessous bande brillante (2.5km-1km):

$N_0 \nearrow \lambda \nearrow \rightarrow$  petites particules  $\nearrow$  et  $Dm \searrow M \searrow Z \searrow \rightarrow$  **Fonte/Evaporation**



# Perspectives

- Intercomparaison systématique des méthodes **multifréquences** avec les méthodes **HYSDIVARME** sur les données de la campagne **ATMOS-Precip** (*15 septembre 2016 au 15 Janvier 2017*)
- Validation par les mesures in situ de l'expérience **EXAEDRE** (*Août-octobre 2018*)

# RADON

Pour BASTA où seuls Z et Vd disponibles

- Obtention de la relation  $V_t=f(Z)$  à partir de  $V_d=(V_t+W)=f(Z) \rightarrow$  Approche statistique où **W supposé nul en moyenne sur un certain laps de temps**
- Etablissement de relations théoriques  $V_t-Z$  pour différents types de particules c.a.d relations densité–diamètre  $\rho=aD^b$  et surface projetée-Diamètre  $A=\gamma D^s$

$$Z_e = \frac{\lambda^4}{|K_w|^2 \pi^5} 10^{18} \int N(D) \sigma_{\text{bsc}}(\rho, D, \lambda) dD \text{ (mm}^6 \text{ m}^{-3}\text{)},$$

$S_{\text{bsc}}$  Coefficient de rétro-diffusion de Mie

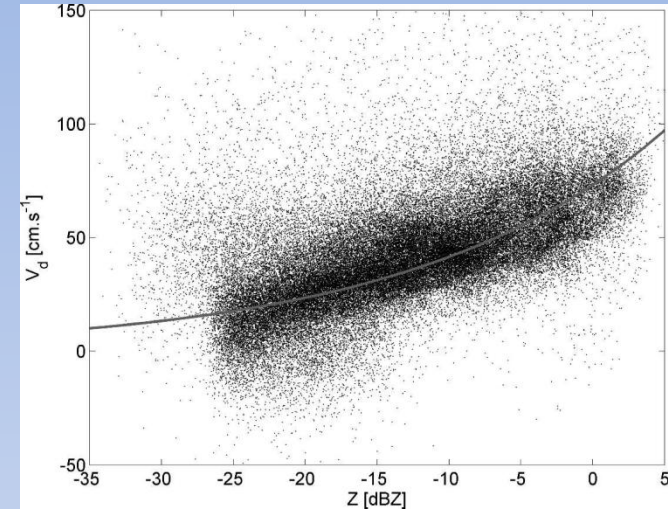
$$v(D) = \frac{a_d(D)v}{D} \left( \frac{2gD^2}{\rho_a v^2} \right)^{b_d(D)} \left[ \frac{m(D)}{A(D)} \right]^{b_d(D)} \text{ (cm s}^{-1}\text{)}$$

$\rightarrow$  Meilleur ajustement donne type d'hydrométéore et densité

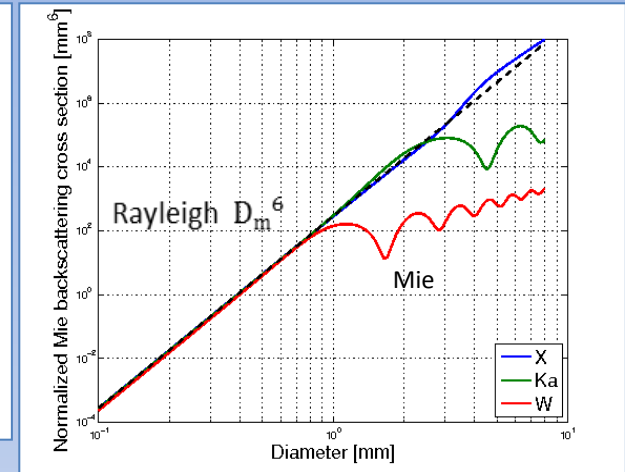
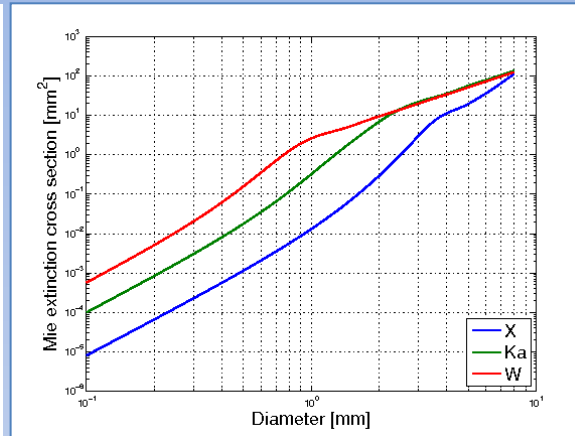
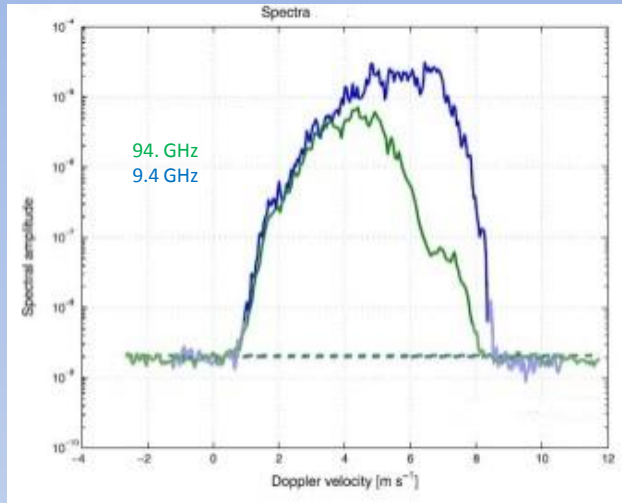
$$V_t = f(D_m) = gD_m^f$$

$$N_0^* = \frac{|K_w|^2 \pi^5 10^{-18}}{\lambda^4} Z_e I(D_m)^{-1} \text{ (m}^{-4}\text{)}$$

$$I(D_m) = \int F(D/D_m) \sigma_{\text{bsc}} dD$$



# METHODE MULTI-FREQUENCE



$$DWR(r) = Z_{\lambda_1}(r) - Z_{\lambda_2}(r) \neq 0 \text{ avec } (\lambda_1 > \lambda_2)$$

*Dual-Wavelength Ratio (dBZ)*

$$\text{avec } Z(D) = 10 \cdot \text{Log}_{10} \left( \int N(D) \cdot \sigma(D) \cdot dD \right) \quad \text{mm}^6 \text{m}^{-3}$$

*Réfectivité radar (dBZ)*

Hogan et al. (2005):

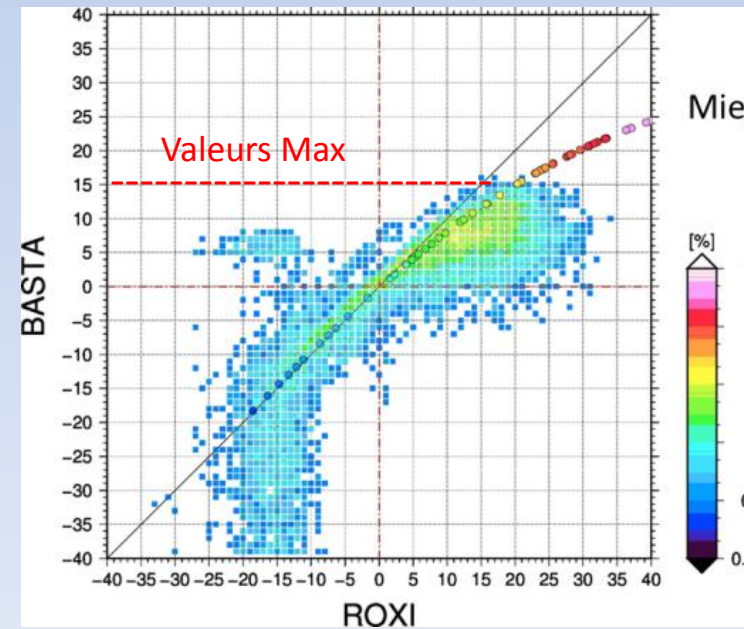
$$\text{Atténuation} \rightarrow DWR(r) \neq 0 \text{ et } M = A \cdot (DWR(r_2) - DWR(r_1))$$

*Contenu en eau/glace (g/kg)* (10 dBZ ↔ 1 mm)

Matrasov (1998):

$$\text{Effets de Mie-} \rightarrow DWR(r) \neq 0 \text{ et } DWR(r) = 58 \cdot D_m^{1.66}$$

*Diamètre Médian (cm)* (20 dBZ ↔ 0.8 cm)



# Méthode Multifréquence: **Prétraitement**

Atténuation par la pellicule d'eau sur radôme BASTA

Différenciation périodes

1. Atténuation par la pluie (BASTA)
2. Effets de Mie (BASTA)

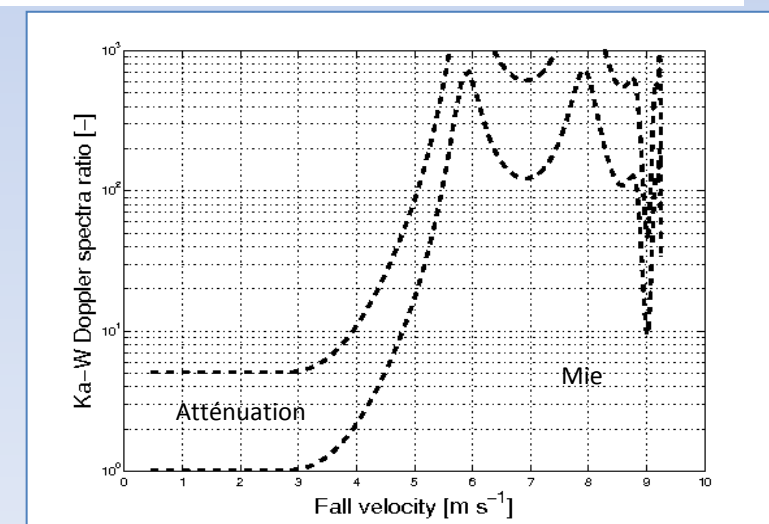
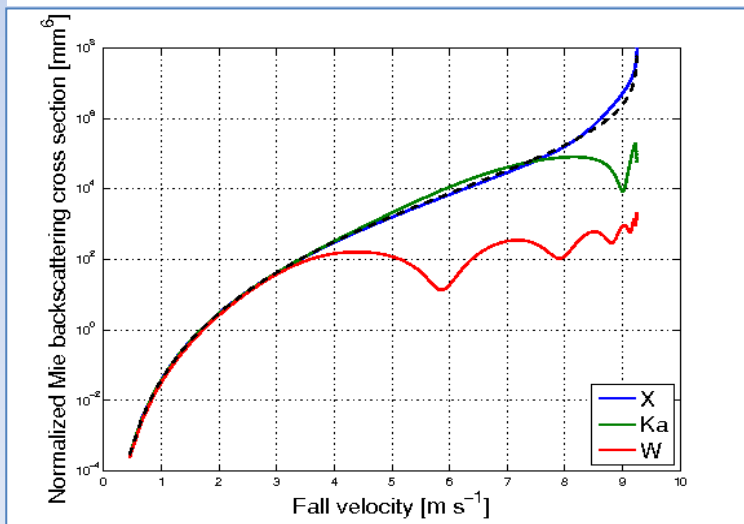
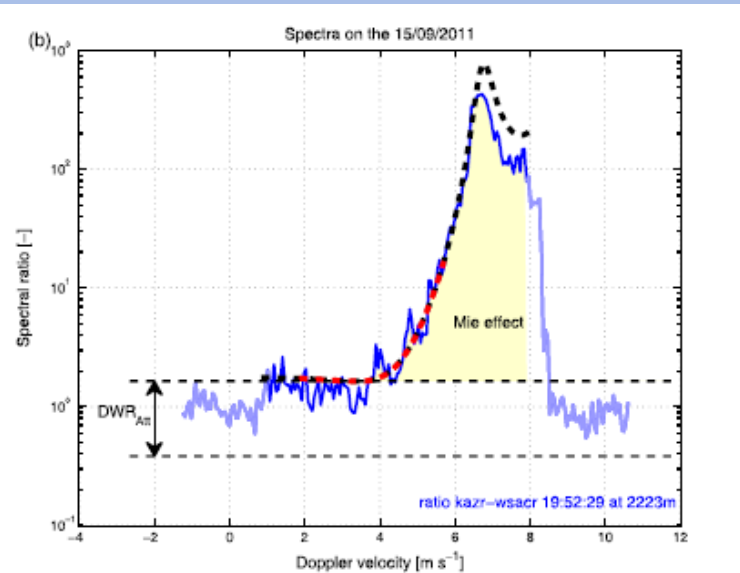
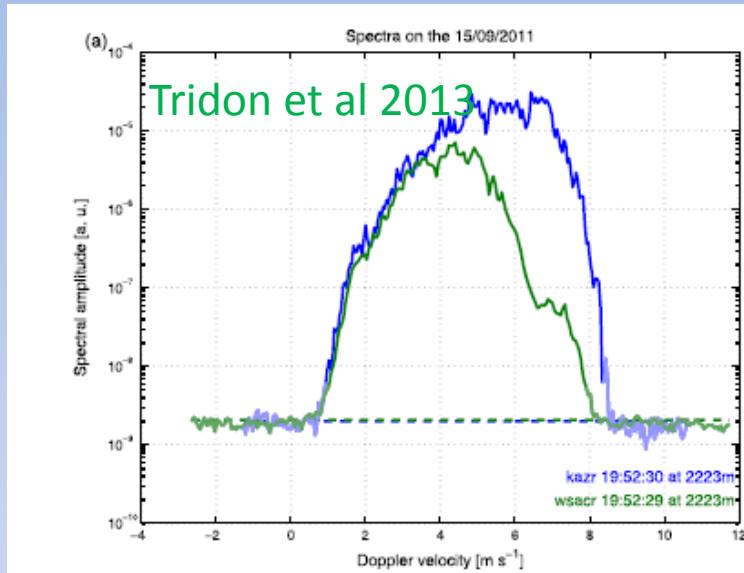
Prétraitement exploitant les **réflectivité et vitesse Doppler des deux radars**

Exploite l'impact différencié de ces effets

1. proche des radars les effets d'atténuation par la pluie sont faibles
2. atténuation par le radome affecte de la même façon l'ensemble d'un tir radar
3. erreur d'étalonnage affecte de la même façon l'ensemble des tirs radar
4. Effets de Mie affecte la vitesse Doppler



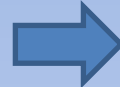
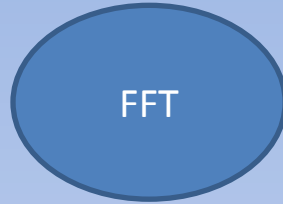
# Séparation Atténuation/Effet de Mie



# HYSDIVARME-FFT

(HYdrometeor-Size Distribution and Vertical Air Retrieval Method by « Fast Fourier Transform »)

Série Temporelle  
des Tirs radar  
(I et Q) dans une  
porte radar



Spectre Doppler  
 $Z(V_d)$



Intégrations  
incohérentes

Spectre Doppler théorique

$$Z(D) = N(D) \cdot \sigma(D) \cdot dD \text{ avec}$$

$$N(D) = N_0 \cdot D^\mu \cdot e^{-\lambda \cdot D}$$

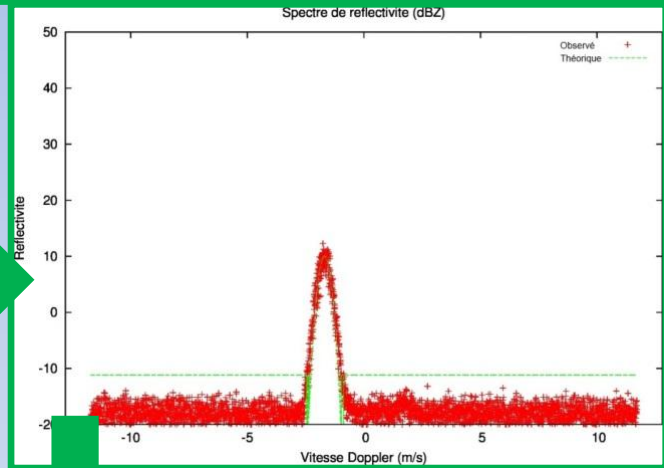
$$V_d = V_t + W$$

$$V_t(D) = C \cdot D^\alpha \text{ selon Type d'hydrométéore}$$

$D$  diamètre,  $\sigma$  section efficace de rétrodiffusion

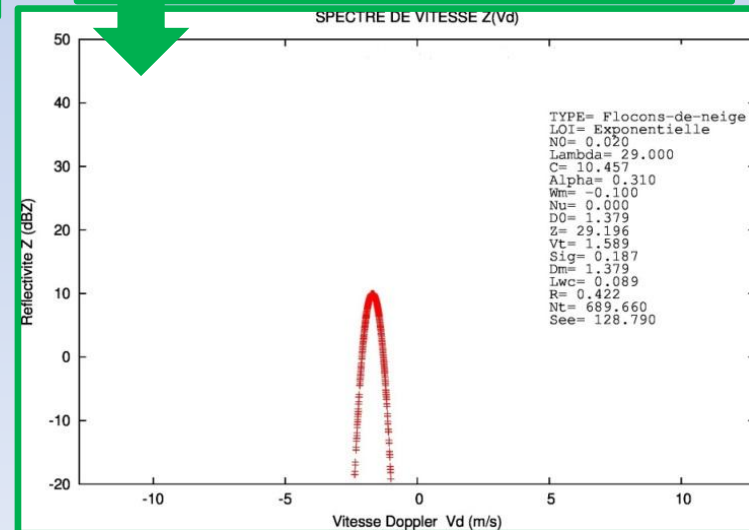


Ajustement  
entre  
spectre Doppler mesuré  
et  
spectre théorique  
pour  
différent types  
d'hydrométéores  
(liquide, glacé)



Evolution temporelle du profil vertical de:

- Distribution en taille des hydrométéores  $N(D)$   
liquides ou glacés (PSD/DSD)
- Vitesse de sédimentation  $V_t$
- Vitesse verticale de l'air  $W$
- Nombre total d'hydrométéores  $N_t = \int N(D) \cdot dD$
- Contenu en eau ou glace  $M = \pi \rho / 6 \int N(D) \cdot D^3 \cdot dD$
- Taux de précipitation  $R = \pi / 6 \int V_t(D) \cdot N(D) \cdot D^3 \cdot dD$
- Diamètre médian  $D_m$ , moyen, équivalent, effectif
- Section efficace d'Extinction optique
- Type d'hydrométéore
- Réflectivité  $Z = \int N(D) \cdot \sigma(D) \cdot dD$



# Méthode VAMOS

Méthode 4D Var:

- Disdromètre  $N(D, Alt=0, t)$   $v_t(D, altitude=0, t)$

- Radar Spectre Doppler  $Z(v_t + w, alt, t) = N(D, Alt, t) \cdot \sigma(D) \cdot \left(\frac{dD}{dv_t}\right)$

- Equation d'évolution  $\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial alt} [(v_t + w)N] + \frac{\partial}{\partial D} (\beta_D N)$

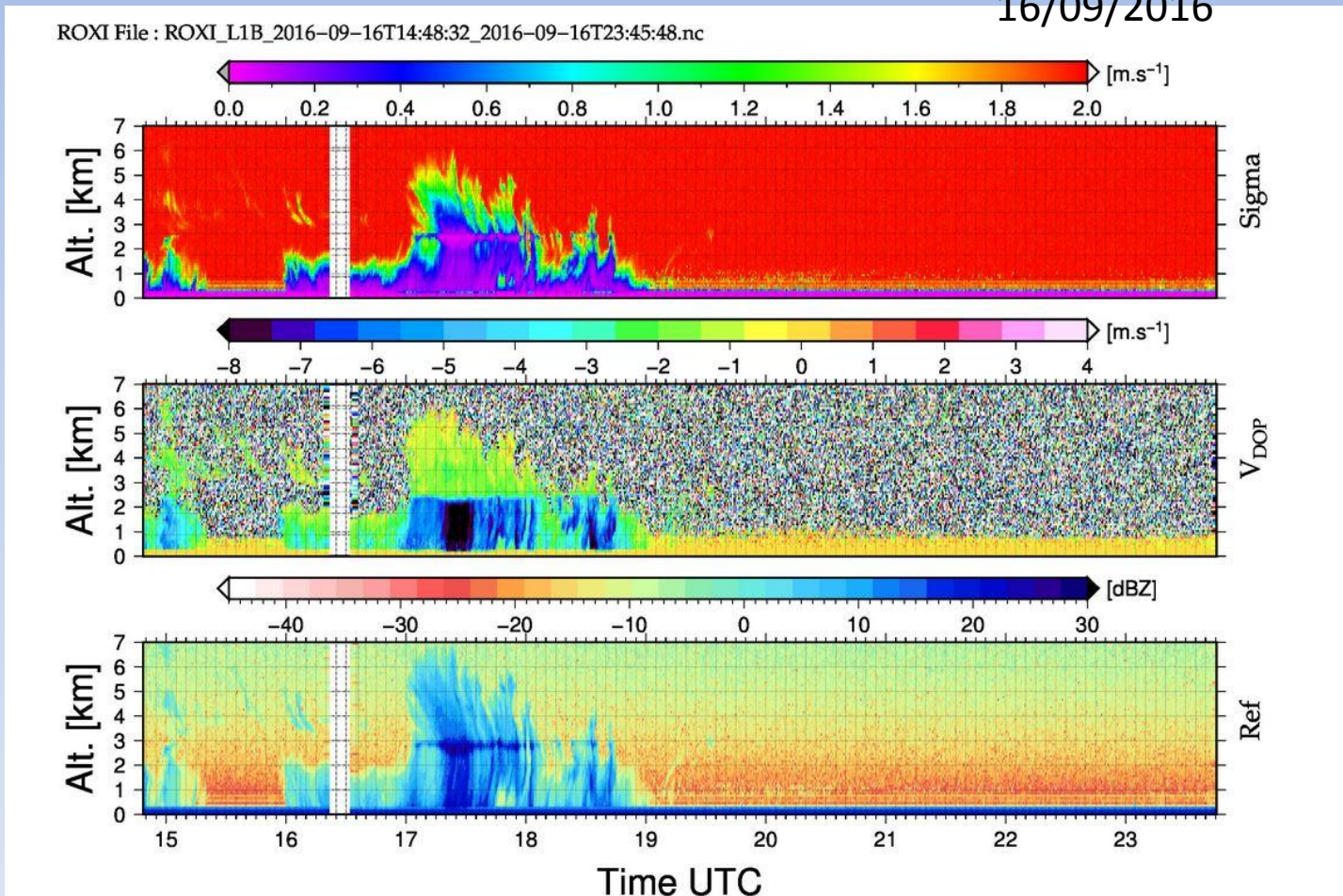
Evaporation



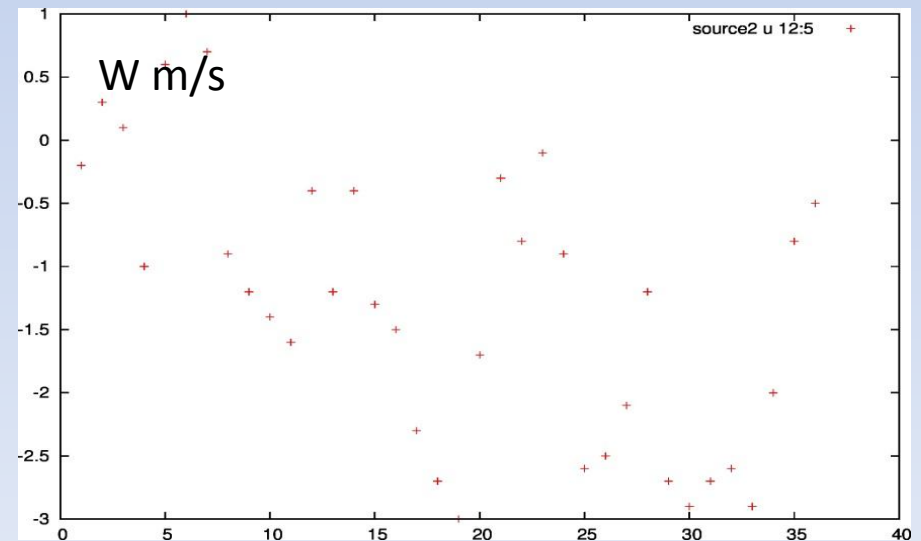
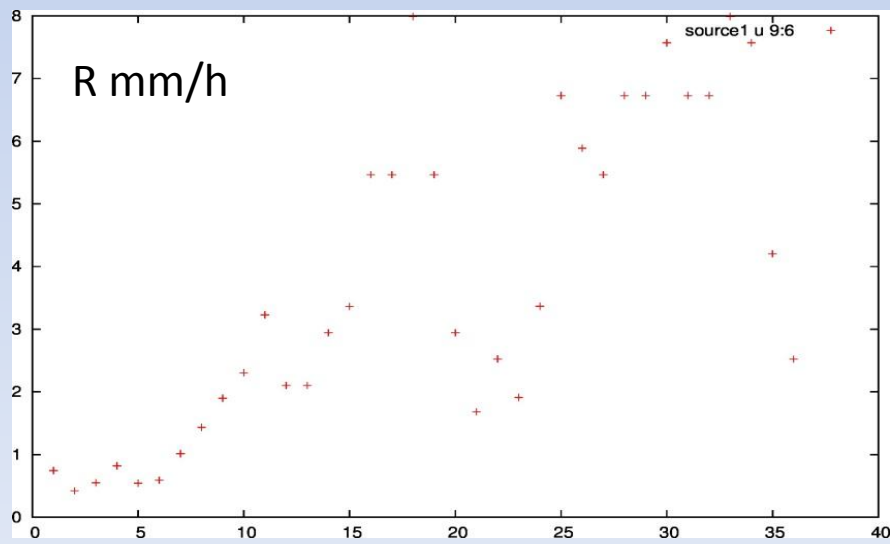
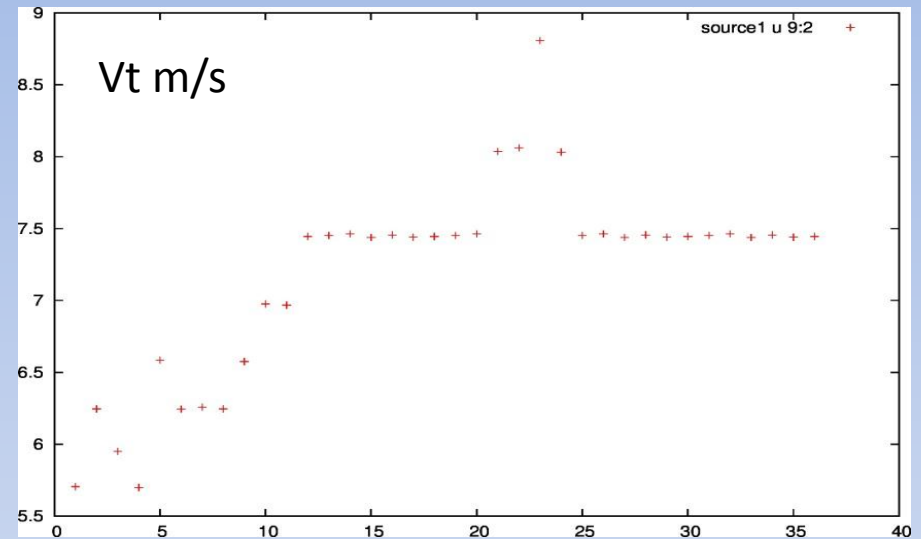
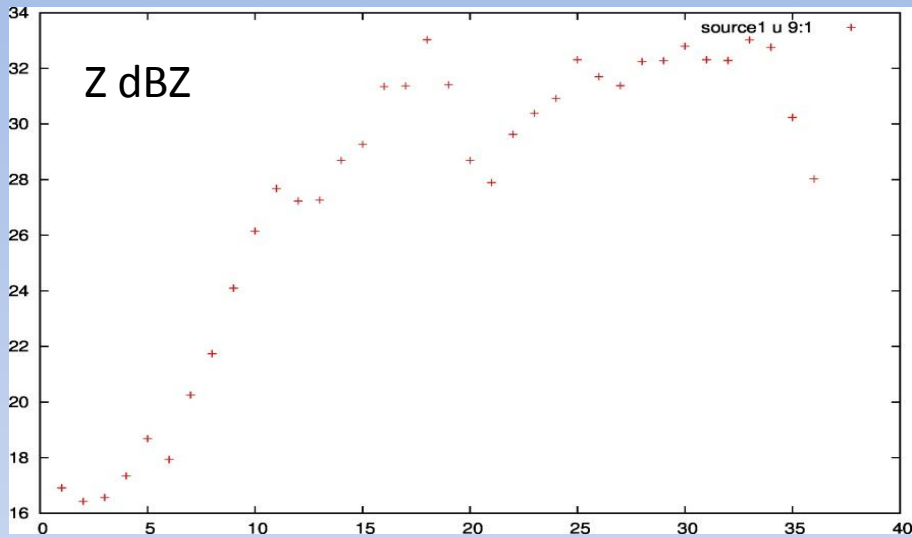
# Méthode HYSDIVARME

(HYdrometeor-Size Distribution and Vertical Air Retrieval MEthod)

16/09/2016

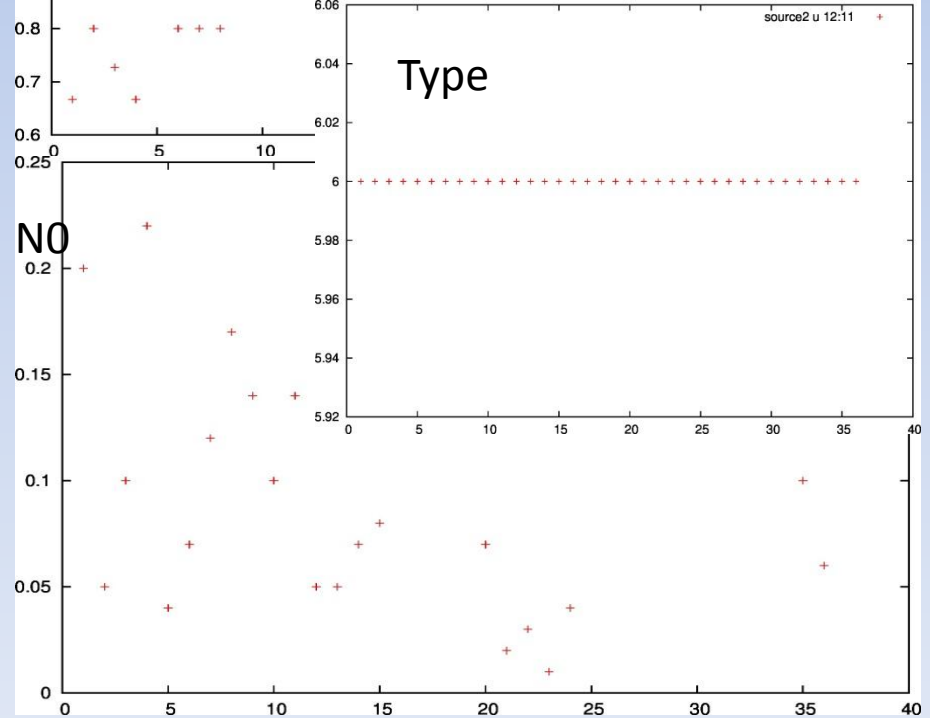
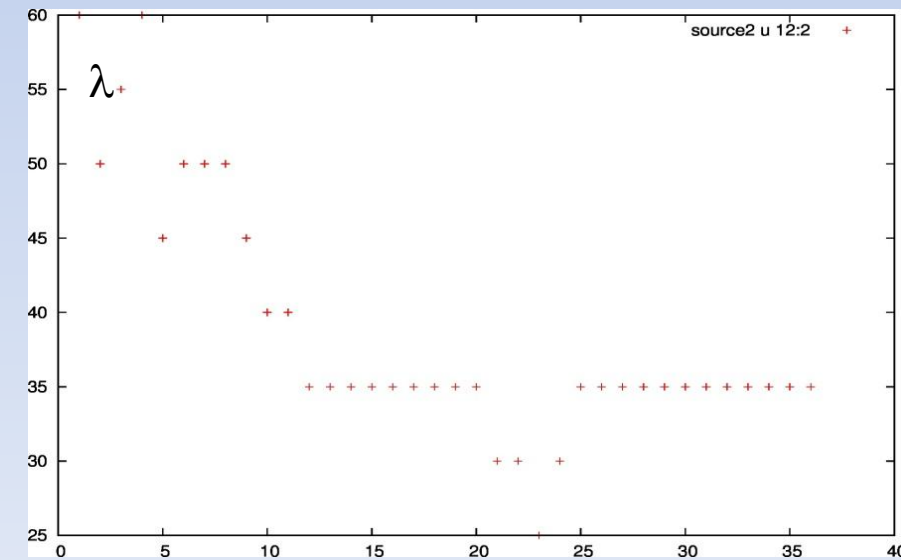
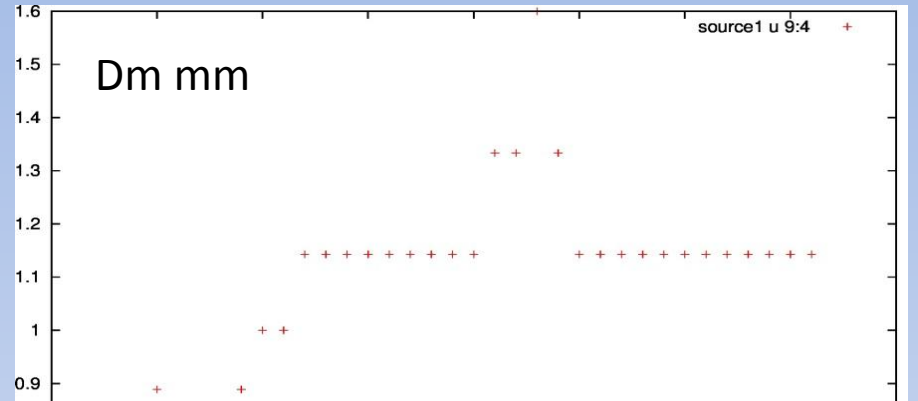
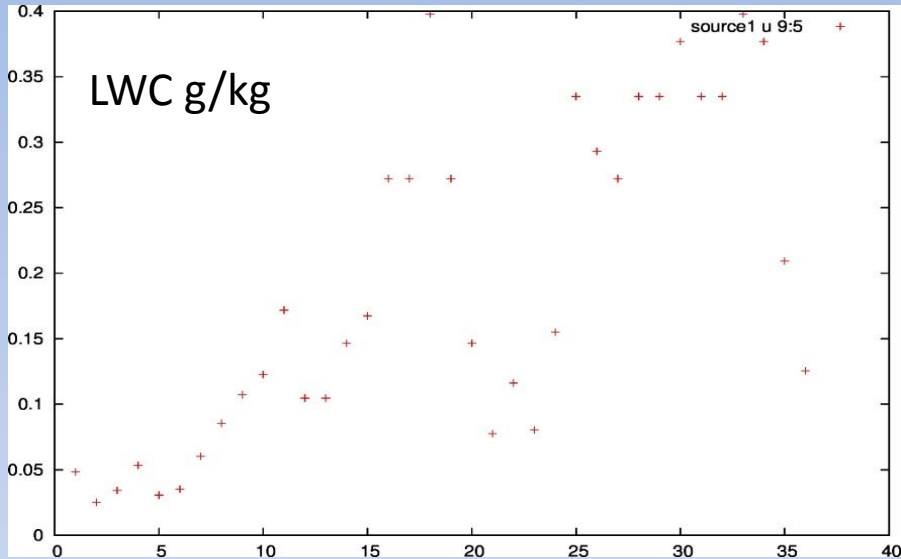


# Evolution temporelle de la microphysique





# Evolution temporelle de la microphysique



# Obtention N(D)

Direct problem : from DSD to spectrum

## Theoretical simple case

$$\eta_{theory}(v) = N(D)\sigma(D)\frac{\partial D}{\partial v}$$

$\eta_{theory}$  : hydrological spectrum

$N(D)$  : DSD ( $m^{-3}mm^{-1}$ )

$\sigma(D)$  : backscattering cross-section (Mie theory)

$v(D)$  : velocity / diameter relationship

## A not so simple real case

$$\eta(v+w) = [\eta_{theory}(v)e^{-Att(z)}] * \eta_{air}(v) + \eta_{noise}$$

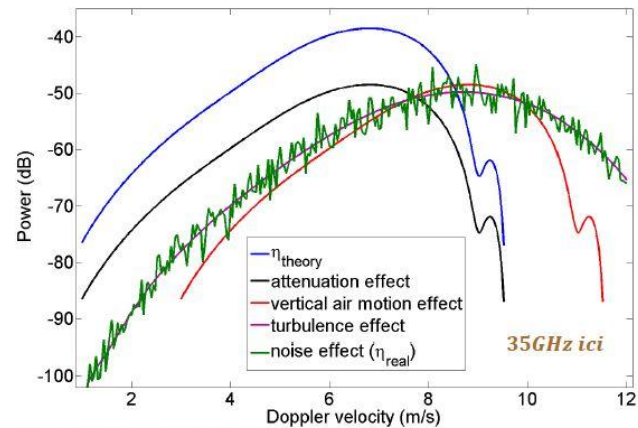
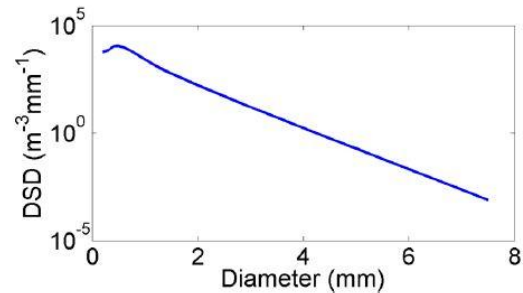
$\eta$  : actual (measurement-like) spectrum

$Att$  : path-integrated attenuation

$w$  : vertical air motion

$\eta_{air}(v)$  : turbulence effect

$\eta_{noise}(v)$  : **noise effect**



$\eta$  ( $m^2/m^3/(m/s)$ ) proportionnel à la puissance reçue (W) à la constante radar près.

return