



# Le radar BASTA, une alternative aux radars pulsés à 95GHz avec de multiples applications

Julien Delanoë, Jean-Paul Vinson, Williams Brett, Fabrice Bertrand, Christophe Caudoux  
LATMOS (France)

Jacques Parent du Chatelet, Ruben Hallali  
Météo-France/LATMOS (France)

Alain Protat

CAWCR (Australia)

Martial Haeffelin, Jean-Charles Dupont  
IPSL (France)



# De quoi vais-je parler?

- Motivations
- Un peu de radar
- Caractéristiques du radar
- La mesure nuage/brouillard
- Exemples de mesures
- Etalonnage du radar
- Évolutions techniques du radar: mesures nuages/brouillard
- Les applications supplémentaires
- Industrialisation



# MOTIVATIONS



Un radar (pas trop onéreux) pour étudier les nuages et le brouillard => radar Doppler à 95GHz

- Observation continue des nuages et du brouillard
- Un prix raisonnable ~ 150k€ (80-100k€ de coût composant)
- Robuste, qui ne nécessite pas d'interventions trop régulières
- Facile à déployer et à utiliser

Hélas les radars nuages conventionnels (du commerce/recherche) coûtent extrêmement chers. (> 500k€)



# UN PEU DE RADAR

# Notions de base du RADAR

Instrument de télédétection actif:

RADAR = Radio Detection And Ranging

Principe:

Émission d'une onde électromagnétique qui interagît avec le milieu à échantillonner, l'onde émise est ensuite récupérée et analysée.

Plus la Fréquence est élevée et plus le radar est sensible aux petites cibles

Attention: plus F augmente et plus le radar subira d'atténuation

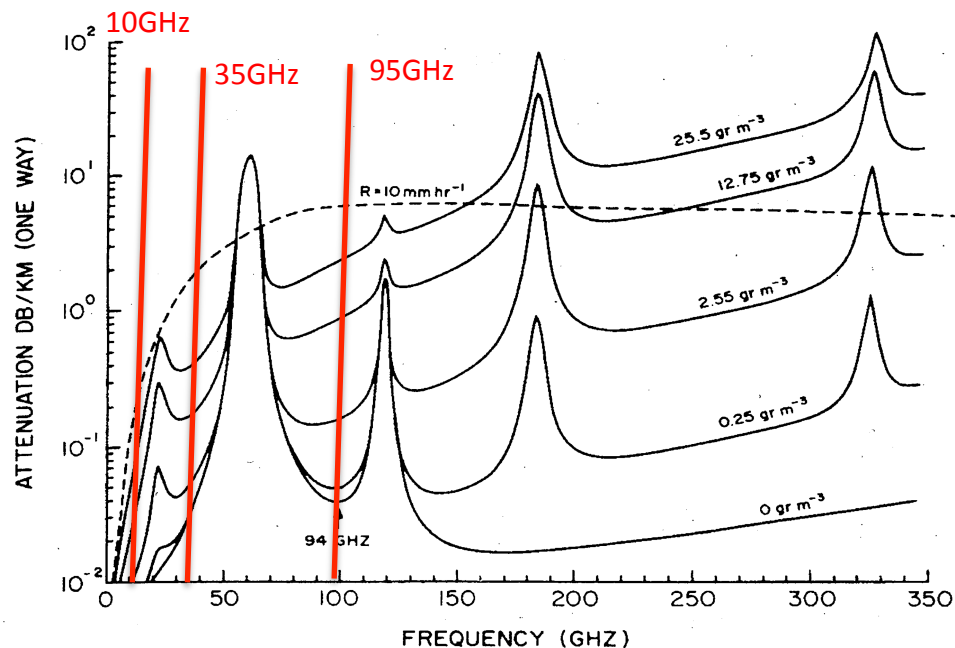


Figure 2.2: Atmospheric gases absorption spectrum at the ground for the humidity conditions indicated. The approximate signal attenuation due to a  $10 \text{ mm hr}^{-1}$  rainfall is shown for comparison (see Chapter4).

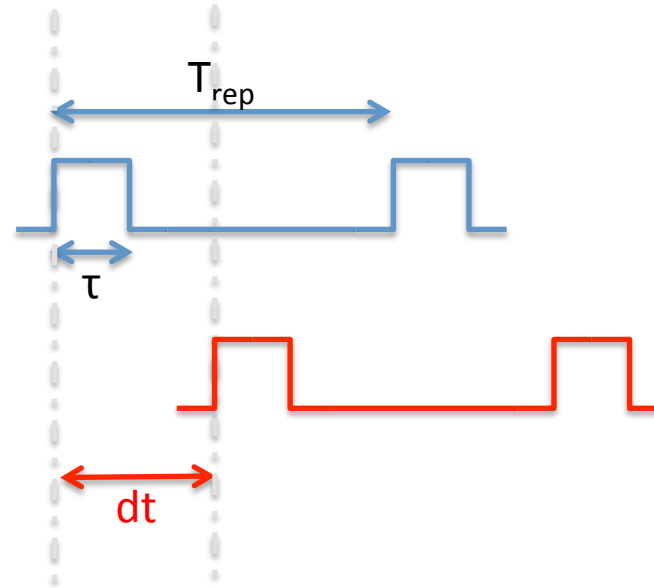
Radar, domaine radio (1 mm à qq m)

# Mesure de distance

- On émet et on écoute: on mesure le temps entre deux impulsions

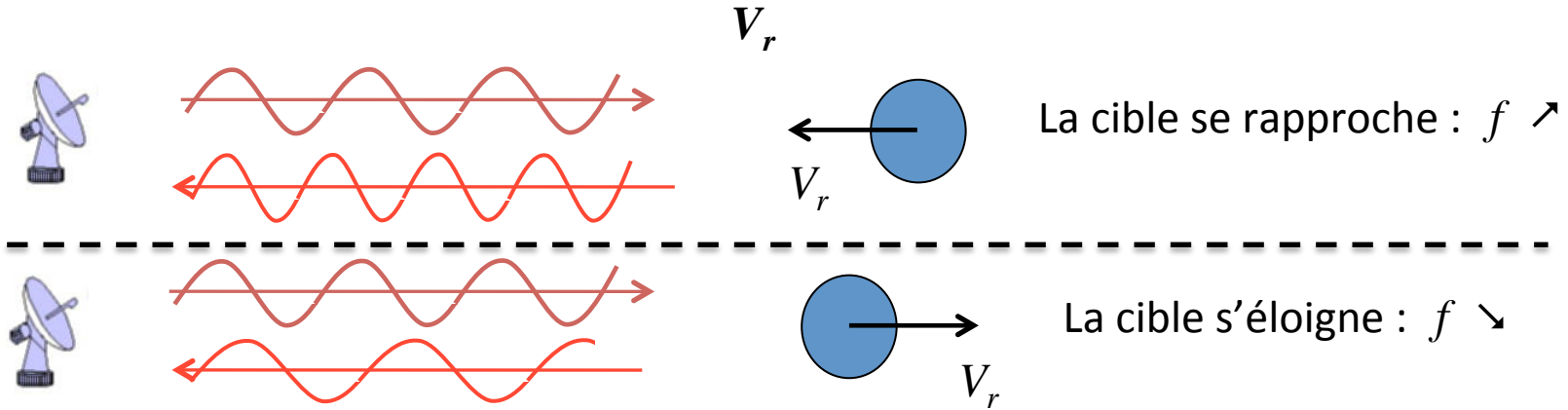
$$R = \frac{c dt}{2}$$

$c \approx 310^8 \text{m/s}$



- Le temps entre deux impulsions limite la distance maximale à sonder...
- La durée de l'impulsion  $<$  temps entre deux impulsions

## Effet Doppler: la cible est mobile selon l'axe de propagation avec une vitesse



La fréquence de l'onde est modifiée selon  
=> accès à  $V_r$  par la mesure de  $\Delta f$

$$\Delta f = \frac{2V_r}{\lambda_{init}}$$

## Equation radar pour un volume (nuage)

$$P_r = P_t G^2 \lambda^2 \theta^2 \times \frac{c\tau}{4^4 2\pi^2} \times \frac{1}{2 \ln 2} \times \frac{\eta}{R^2}$$

$c$  est la vitesse de la lumière

$\tau$  est la longueur temporelle de l'impulsion

$\theta$  est l'ouverture du faisceau radar en radian

$P_r$  est la puissance reçue

$P_t$  est la puissance transmise

$G$  est le gain de l'antenne émettrice

$\lambda$  longueur d'onde du radar

$R$  distance entre cible et le radar

$\eta$  réflectivité radar

On utilise souvent  $Z$  pour définir la réflectivité en dBZ,  $Z \approx 10 \log_{10}(\eta)$  avec  $\eta$  en  $\text{mm}^6 \text{m}^{-3}$

- Les radars conventionnels « impulsionnels »
  - Permettent de détecter les cibles à distance grâce à la séparation entre deux impulsions
  - Nécessitent d'émettre beaucoup d'énergie pendant un temps très court => émetteur très/trop cher.
- On propose d'utiliser une technique différente

=> LE RADAR BASTA

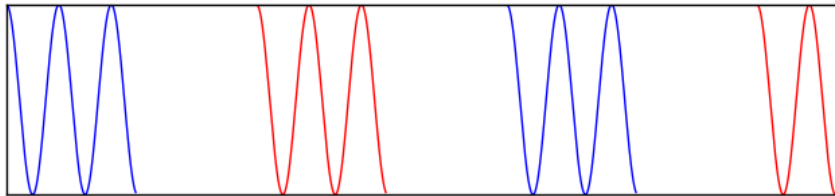


# Un radar FMCW ?

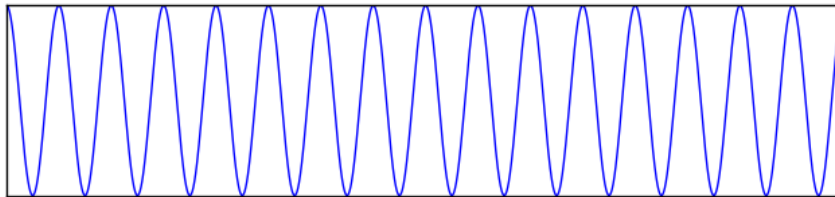
## Frequency Modulated Continuous Waves

- Amplificateur de puissance (1W vs 1-2kW pour un radar impulsif) => cher!

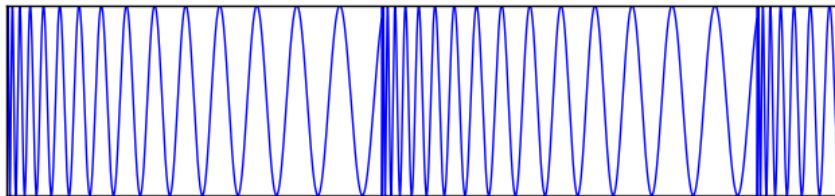
Au lieu d'émettre une grande quantité d'énergie sur une période très courte on émet de façon continue mais avec peu de puissance => même quantité d'énergie émise



Pulses



Continue

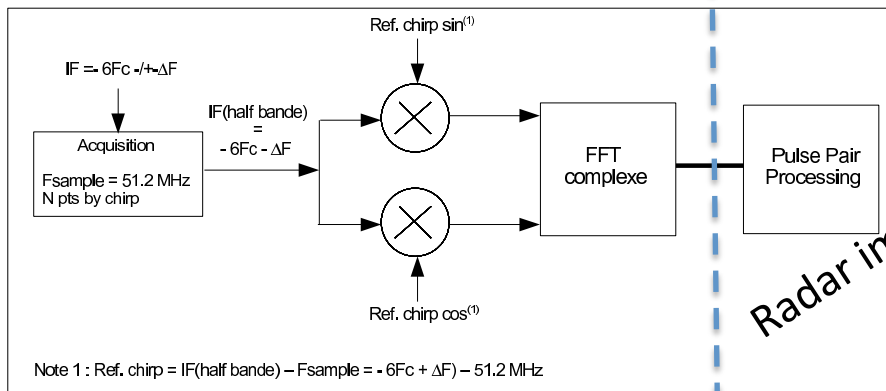
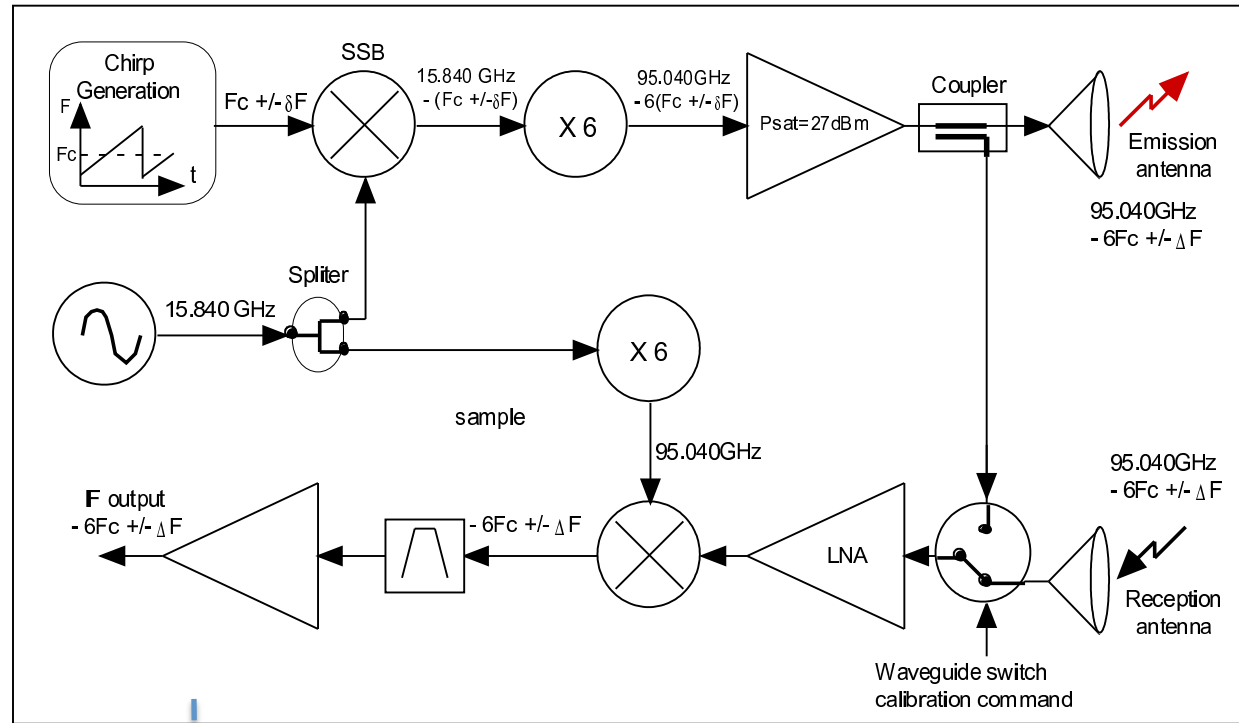


Continuous and frequency modulated

Problème : le traitement du signal est plus compliqué...

Rampe (chirp)

# Le synoptique du radar, c'est quoi?



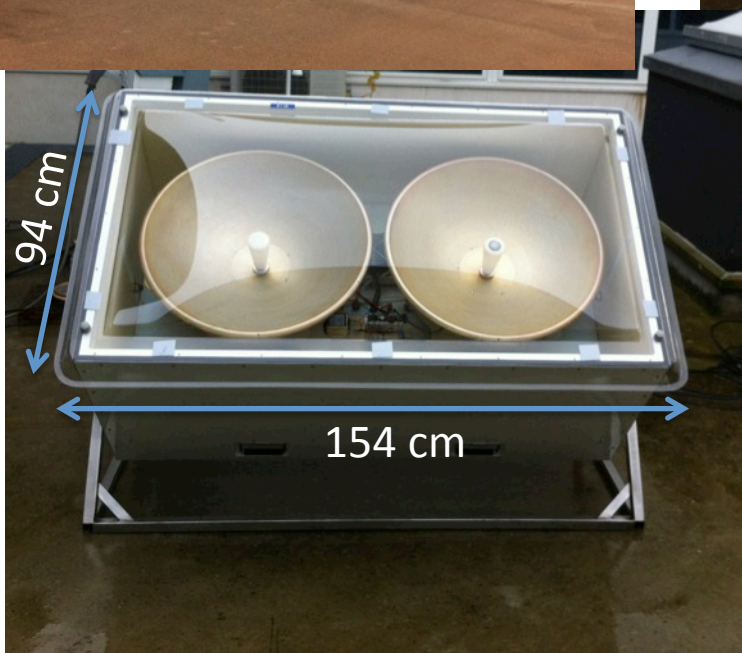
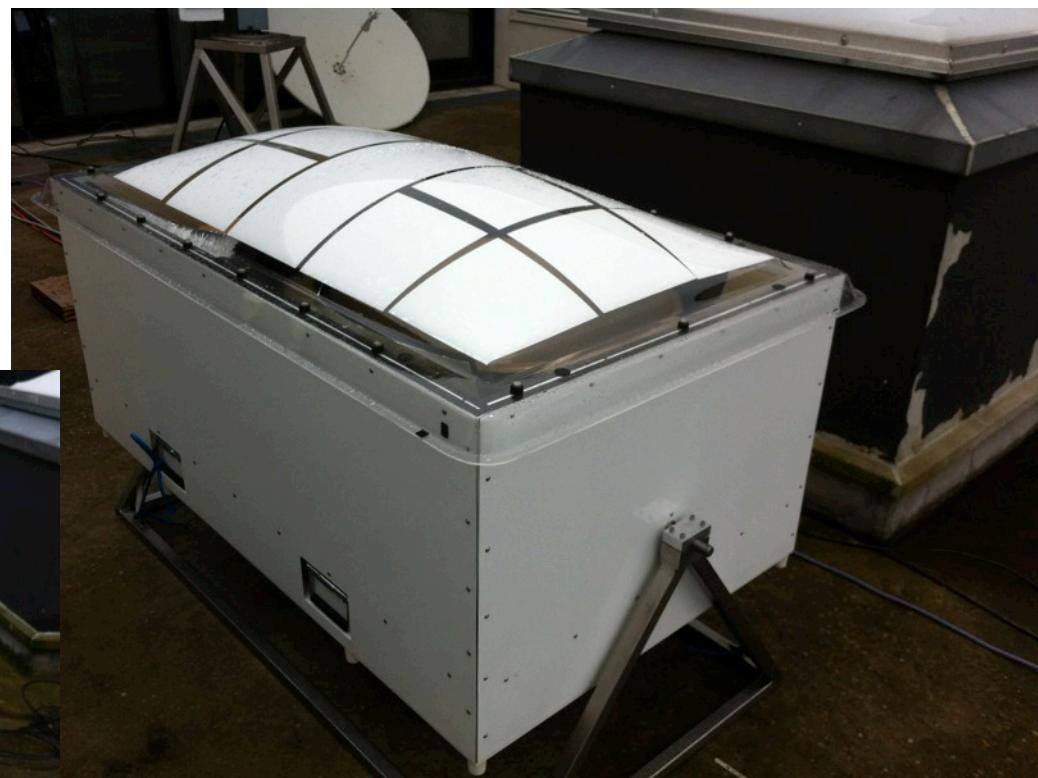
Radar impulsif



# CARACTÉRISTIQUES DU RADAR

# A quoi ressemble-t-il?

BOM (DARWIN) Mars 2014



Masse: environ 70kg  
L x w x h : 154 x 94 x 62 cm

# BASTA – Caractéristiques (v2)

- ★ Diamètre de l'antenne 60 cm
- ★ Puissance  $\sim 1$  W
- ★ Temps d'intégration 1-10 s
- ★ Pointage vertical, bistatique, pas de polarisation.

Modes	Range (km)	Doppler max (m/s)	Sensibilité dBZ@1km (3s)	Cibles
12.5 m	6	$\pm 10$	$\sim -38$	brouillard, nuage bas et bruine
25 m	12	$\pm 5$	$\sim -44$	brouillard, nuage bas et bruine, nuages de glace
100 m	12	$\pm 5$	$\sim -50$	Cirrus
200 m	12	$\pm 5$	$\sim -53$	Cirrus haut

Le 1er prototype fonctionne au SIRTA depuis plusieurs années

**BASTA mesure: Z et V pour le moment**

Lien entre les gouttes/cristaux et le signal?

# LA MESURE NUAGE/BROUILLARD

# Application aux nuages

Le radar donne des informations sur un volume échantillonné

Relier les mesures aux constituants:

A partir de la distribution dimensionnelles des particules «  $N(D)$  » et de leur diamètre «  $D$  ».

$$Z = \frac{\lambda^4}{|K_W|^2 \pi^5} 10^{18} \int N(D) \sigma_{\text{bsc}}(\lambda, D, \rho) dD$$

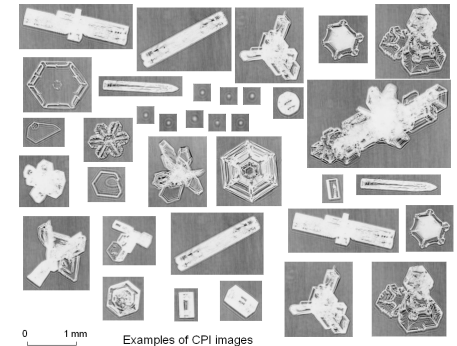
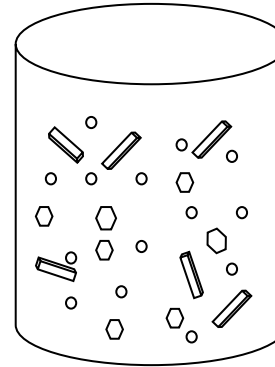
$\sigma_{\text{bsc}}(D, \lambda, \rho)$  coefficients de rétrodiffusion (Mie, 1908)

$$Z = 10^{18} \int N(D) D^6 dD$$

Approximation de Rayleigh

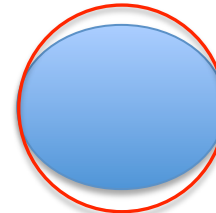
$$V_{\text{tZ}} = \frac{\int v(\rho, A, D) \sigma_{\text{bsc}}(\lambda, D, \rho) N(D) dD}{\int \sigma_{\text{bsc}}(\lambda, D, \rho) N(D) dD}$$

$$V_d = V_{\text{tZ}} + W$$



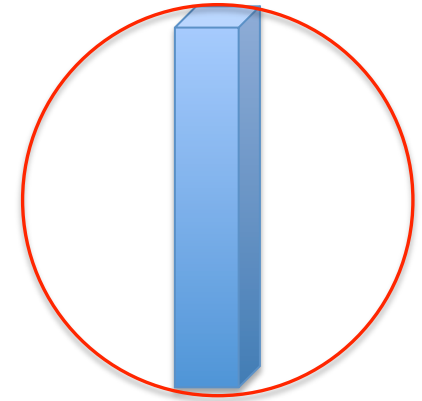
Crédits LaMP

Plaquette hexagonale



Goutte d'eau

Colonne





3s intégration X 4 modes=12s résolution pour un mode

# EXEMPLES DE MESURES

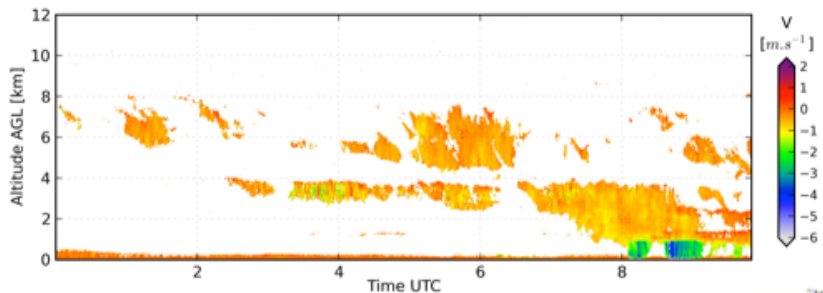
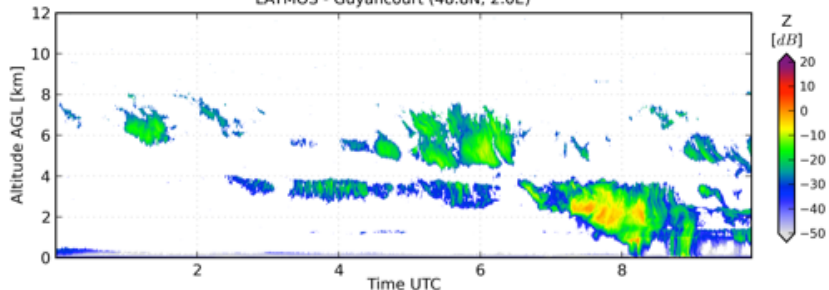


25m

### 95GHz Cloud Radar - Basta - LATMOS

2014/01/22

LATMOS - Guyancourt (48.8N, 2.0E)

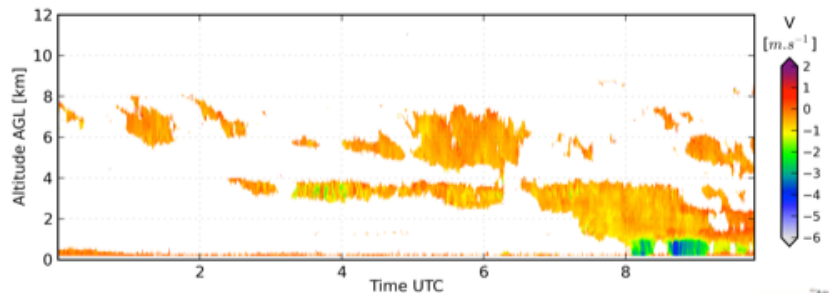
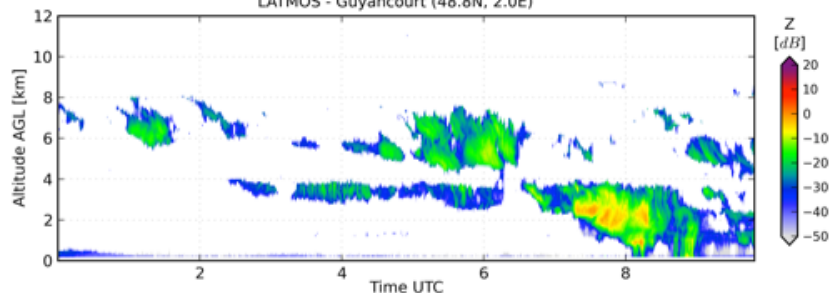


100m

### 95GHz Cloud Radar - Basta - LATMOS

2014/01/22

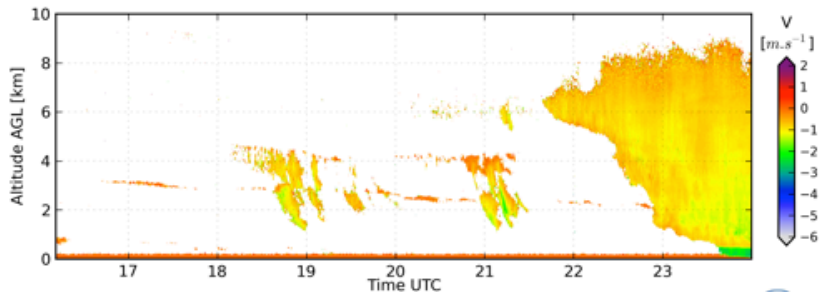
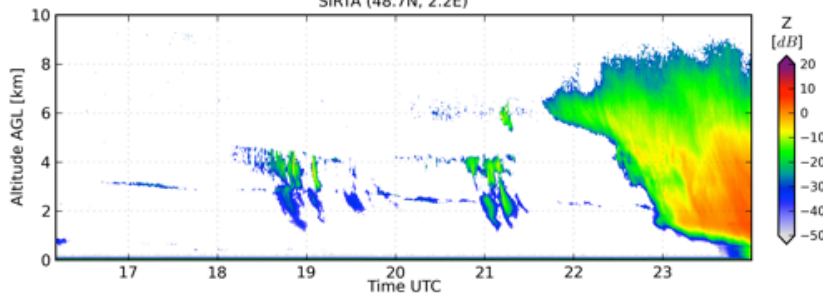
LATMOS - Guyancourt (48.8N, 2.0E)



### 95GHz Cloud Radar - Basta - LATMOS

2014/01/24

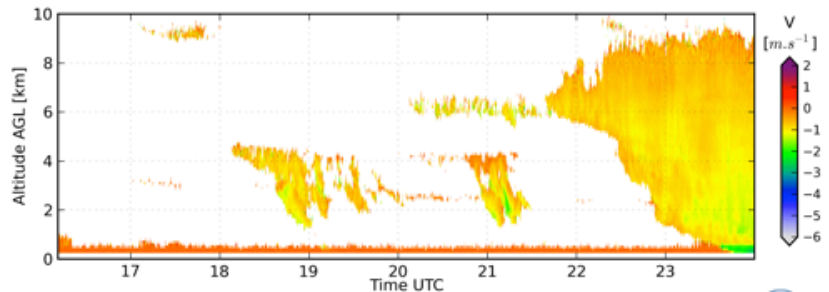
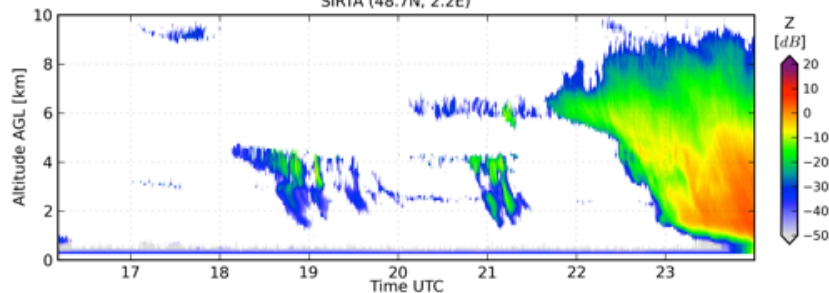
SIRTA (48.7N, 2.2E)



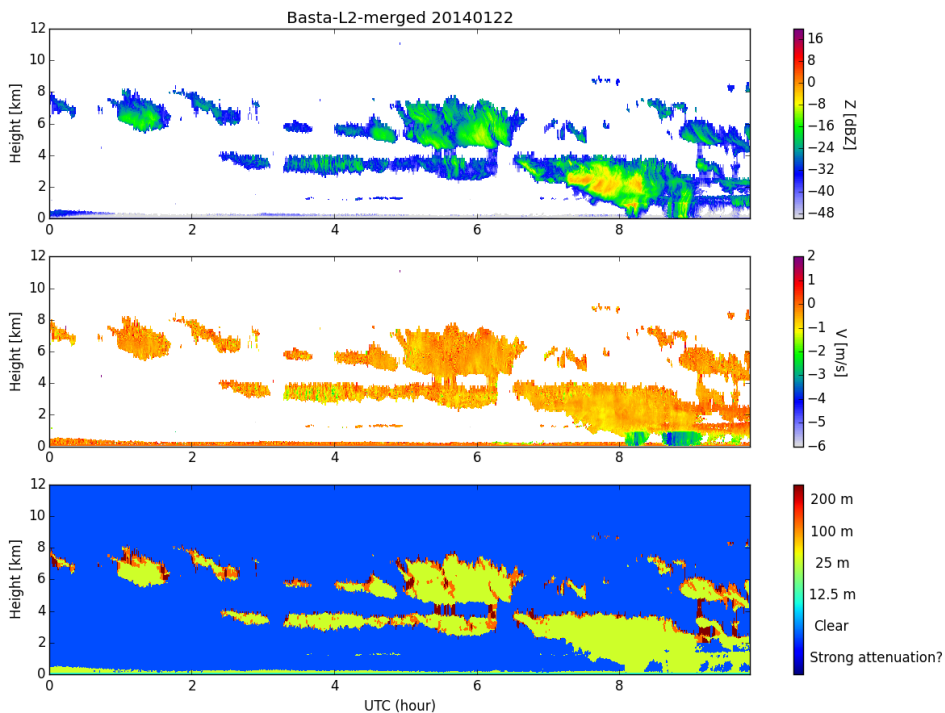
### 95GHz Cloud Radar - Basta - LATMOS

2014/01/24

SIRTA (48.7N, 2.2E)

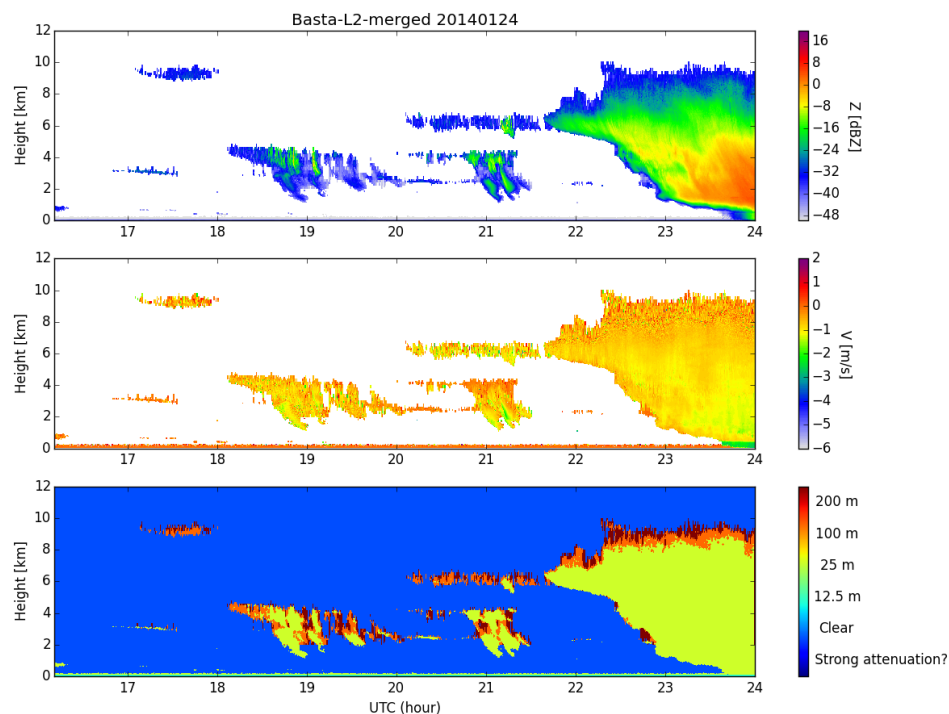


# Produit "Merged" (post traitement)

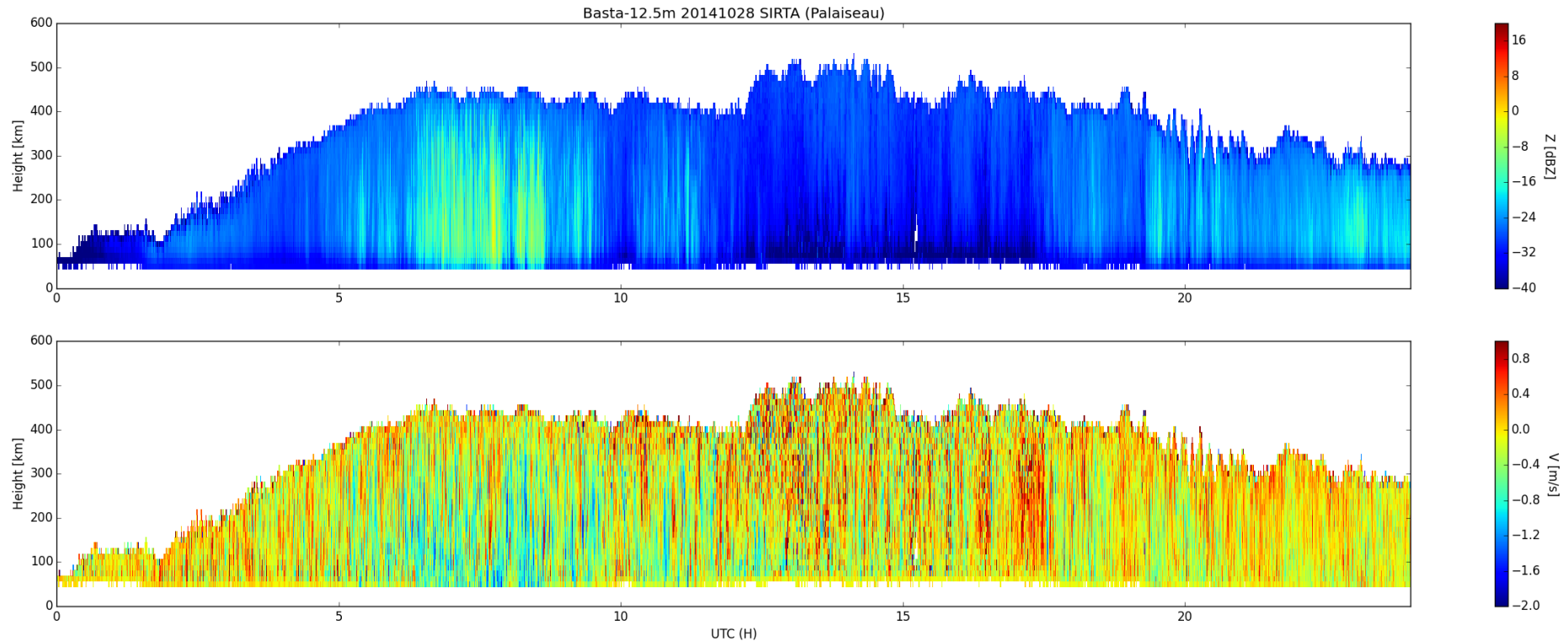


Quatre modes sont combinés:  
=> résolution verticale 25m

+ Produit orienté brouillard (12.5m  
jusqu'à 1.5km)



# Brouillard 28/10/2014

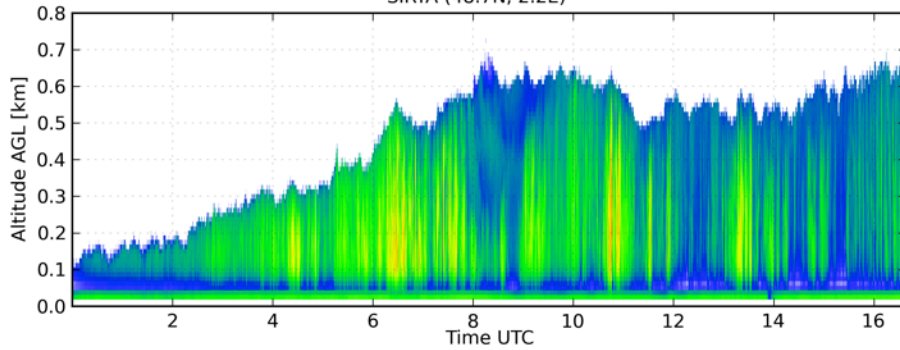


- Produit brouillard (SIRTA)

# Low clouds 12.5m

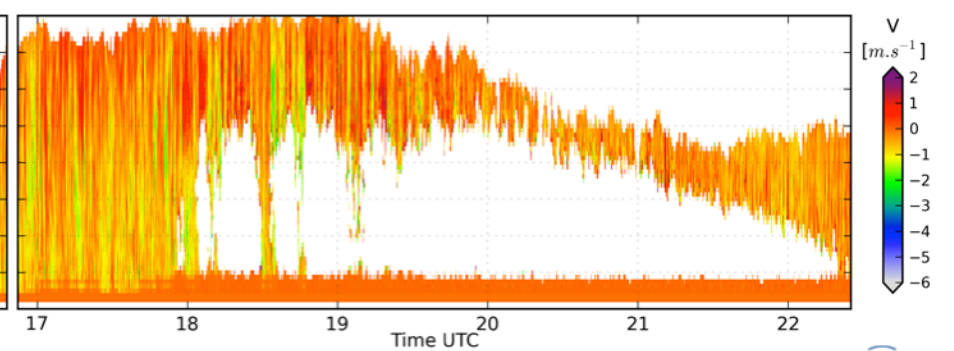
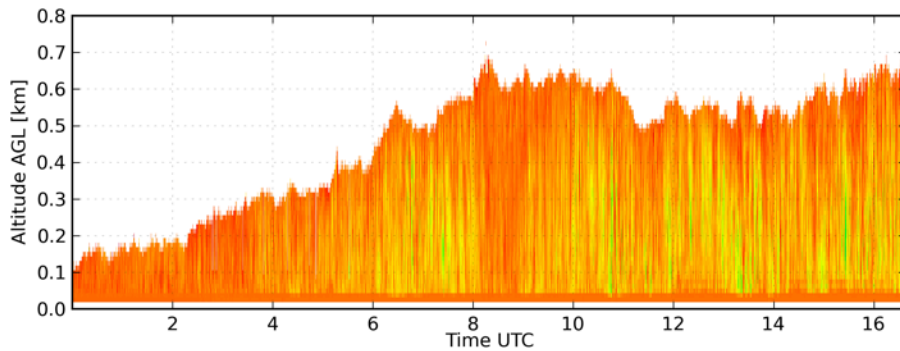
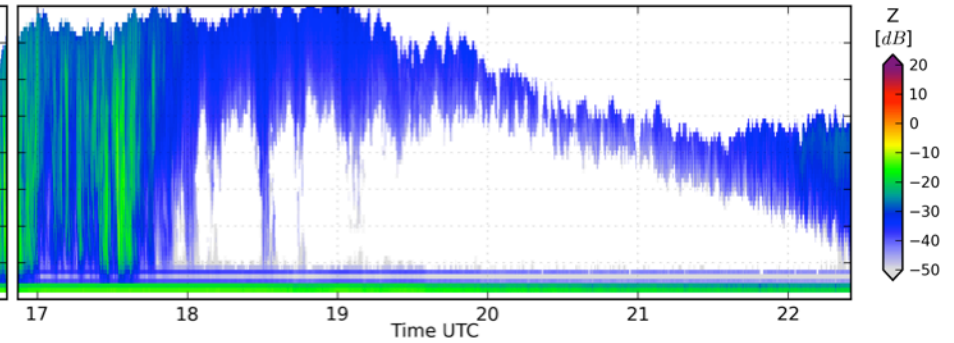
95GHz Cloud Radar - Basta - LATMOS

2014/01/21  
SIRTA (48.7N, 2.2E)



95GHz Cloud Radar - Basta - LATMOS

2014/01/21  
SIRTA (48.7N, 2.2E)



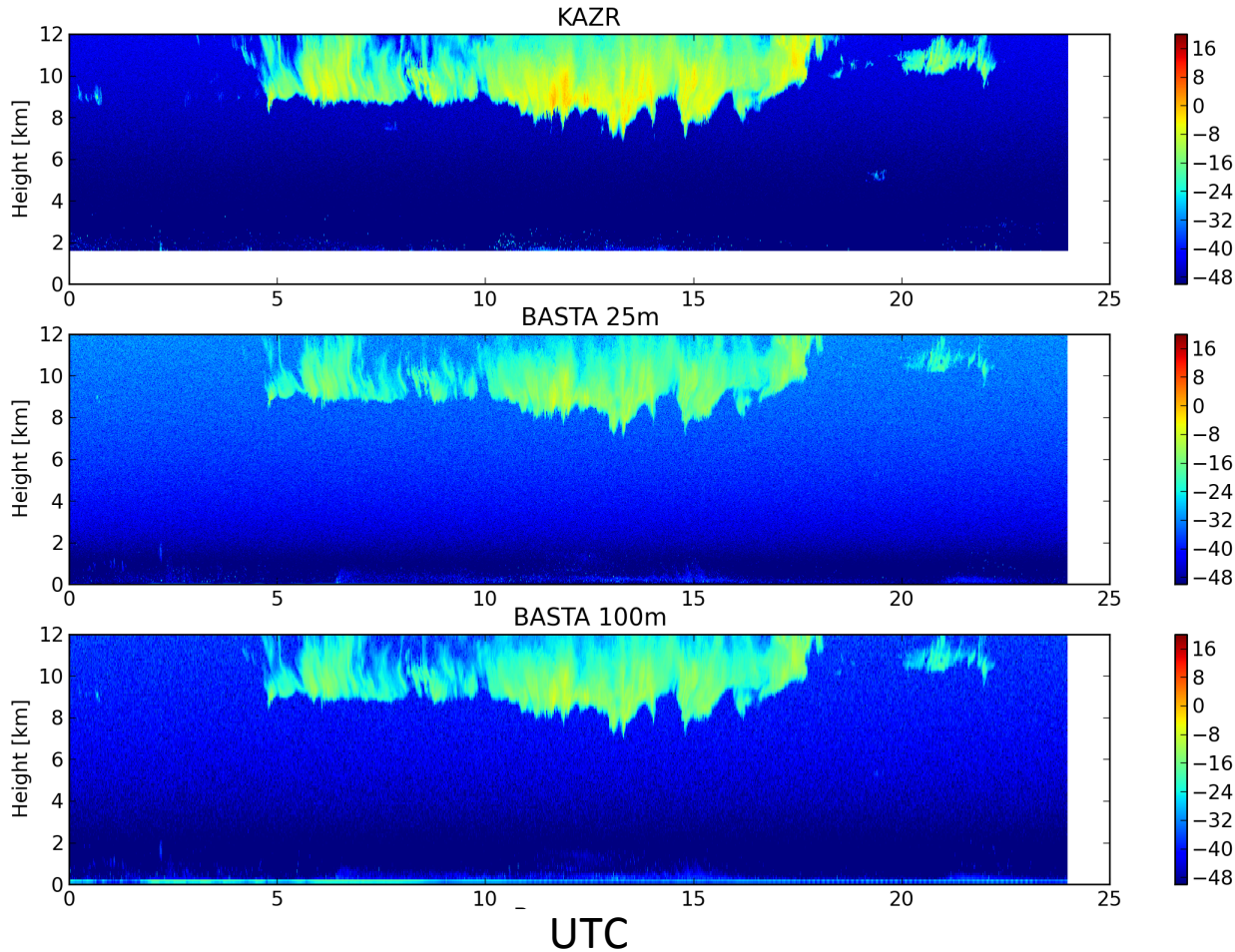
SIRTA

Nouveau prototype

# BASTA vs KAZR (mode cirrus)

10-15dBZ de différence

DARWIN  
17/03/2014





# ETALONNAGE DU RADAR

# Calibration (SIRTA)

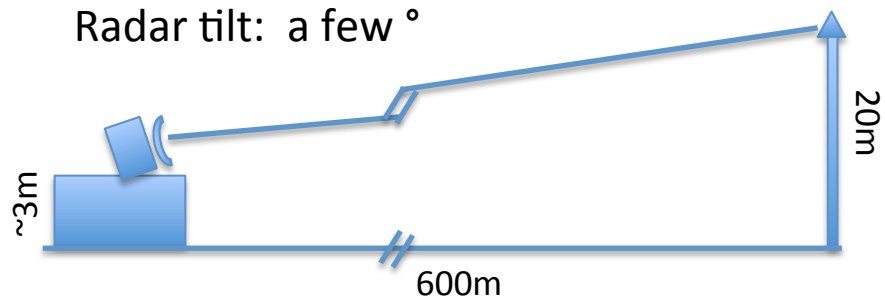
The calibration is done using a trihedral corner reflector.

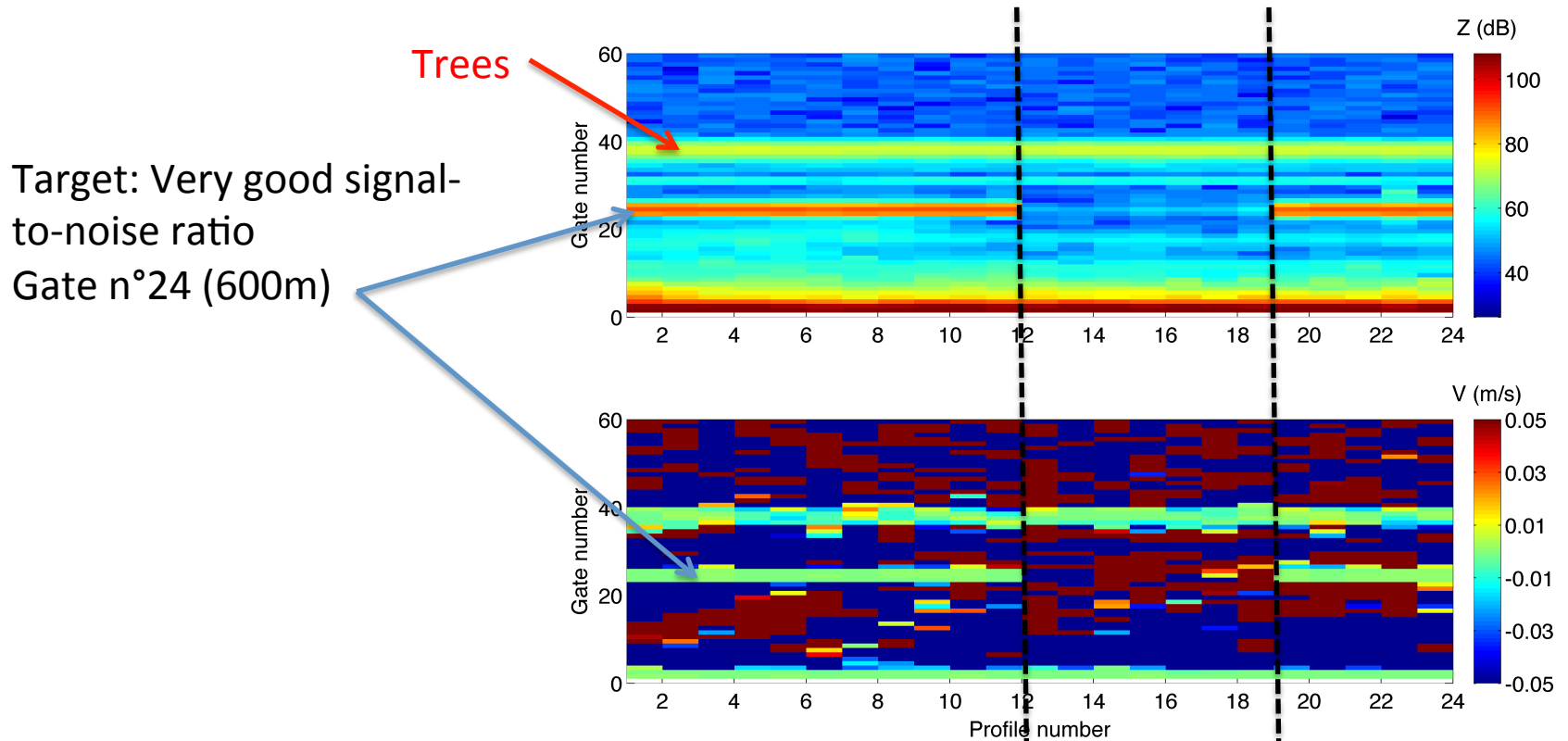
- Telescopic mast of 20 m.
- trihedral corner reflector (20 cm)
- Once the mast deployed:
  - 3m x 3m at the ground

Distance radar-mast : 600m

Antenna beam width  $0.3^\circ$

Radar tilt: a few  $^\circ$





The target backscatter value is well known,  
it is therefore possible to calibrate the radar  
using the radar equation

We could envision to use this radar to calibrate other cloud radars  
=> Deploy the calibrated radar on different sites





# ÉVOLUTIONS TECHNIQUES DU RADAR: MESURES NUAGES/BROUILLARD



- Faire des mesures de spectre Doppler (i.e. avant le pulse-pair)
- Modification de la fréquence intermédiaire pour réduire les artefacts lors de fortes précipitations
- Altitude maximale portée à 18 km



# LES APPLICATIONS SUPPLÉMENTAIRES

# La mesure de réfractivité

(Ruben Hallali/Jacques Parent du Chatelet : CNRM)

- La réfractivité atmosphérique  $N$  dépend de la: pression, température, humidité,
- La cartographie de cette variable permet de mieux représenter: l'humidité atmosphérique. Pour mesurer les variations de réfractivité autour d'un radar, les variations de la phase provenant de cibles fixes sont utilisées.

Instruments à l'horizontale:

CURIE (9.4GHz)

BASTA (95GHz)



## Expérimentation TEMERAIRE:

- Mesurer les variations à petite échelle temporelle et spatiale de la réfractivité.
- A long terme l'enjeu opérationnel est d'obtenir une cartographie de l'humidité à l'échelle hectométrique autour des radars.



# La mesure des cendres volcaniques

- La mesure des cendres volcaniques
  - Portée?
  - Taille des diffuseurs?
  - Application?
  - Instrument facile à déployer?

# Paramètres clés

- Si la puissance est multipliée par 2: 3dB
- Si la taille des antennes est multipliée par 2: 6dB
- Si on veut réduire la taille du dispositif:
  - Antennes 30 cm (-6dB en sensibilité) mais on obtient un caisson 1mx0.7m et  $M < 50\text{kg}$ .

# Partenariat avec un industriel: MODEM

- <http://www.meteomodem.com>



- Transfert de la technologie:
  - Collaboration sur le traitement temps réel
  - Collaboration sur le post-traitement (applications supplémentaires)