



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)



INSU
Observer & comprendre



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

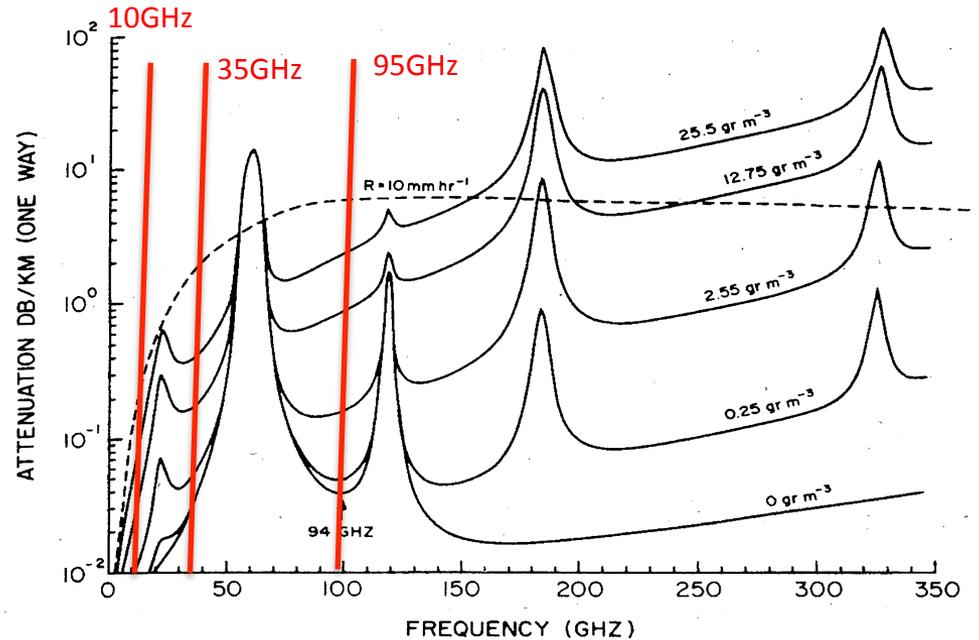


Figure 2.2: Atmospheric gases absorption spectrum at the ground for the humidity conditions indicated. The approximate signal attenuation due to a 10 mm hr^{-1} rainfall is shown for comparison (see Chapter4).

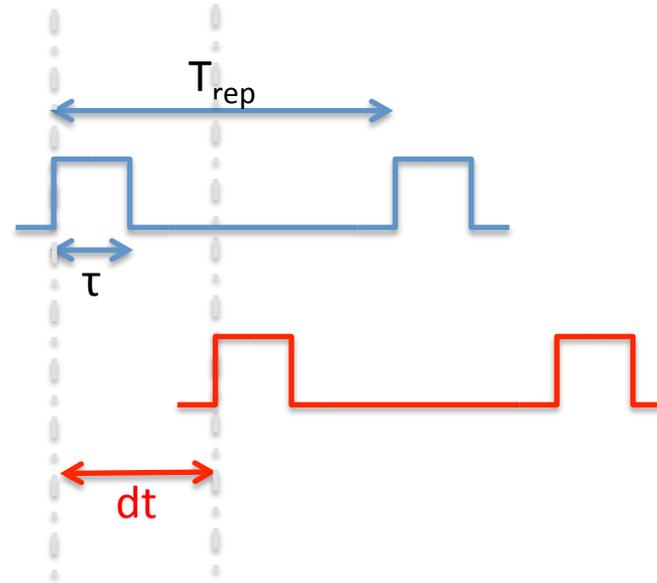
Radar, domaine radio (1 mm à qq m)

Mesure de distance

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

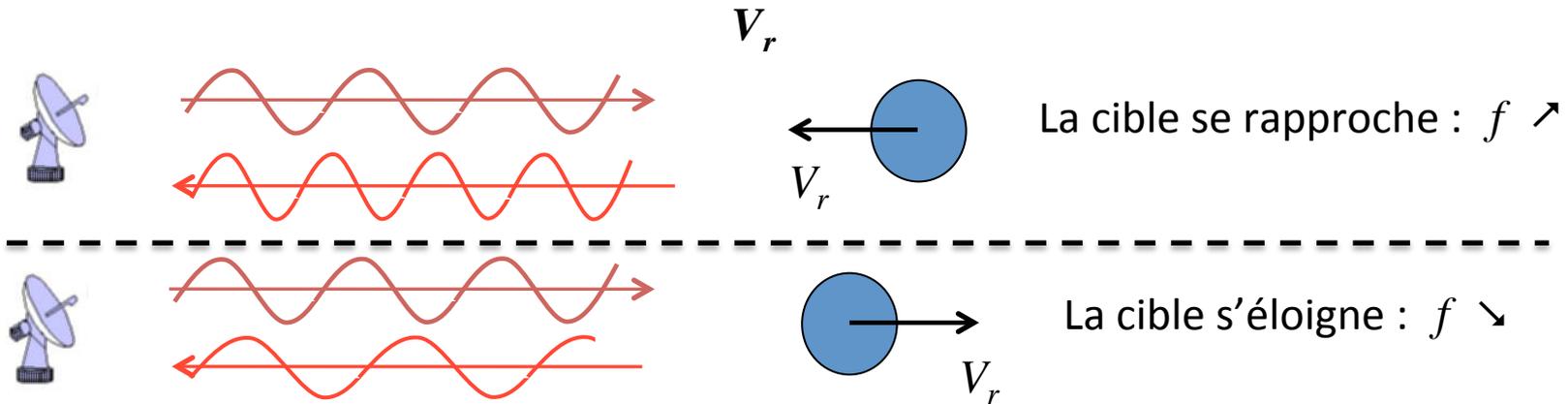
$$R = \frac{c dt}{2}$$

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



- 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 Δf

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

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

τ est la longueur temporelle de l'impulsion

θ 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

λ longueur d'onde du radar

R distance entre cible et le radar

η réflectivité radar

On utilise souvent Z pour définir la réflectivité en dBZ, $Z \approx 10 \log_{10}(\eta)$ avec η 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

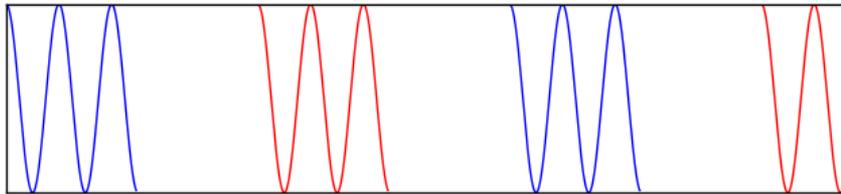
=> LE RADAR BASTA

Un radar FMCW ?

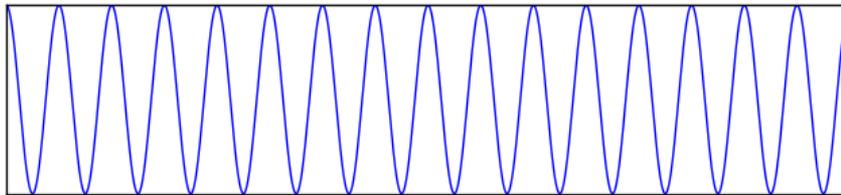
Frequency Modulated Continuous Waves

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

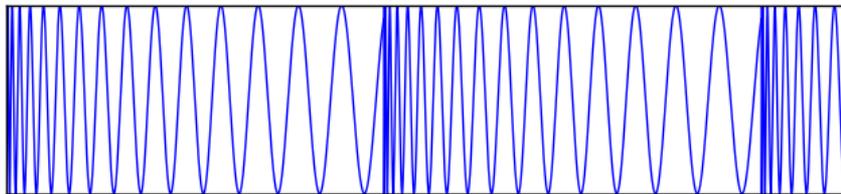
Au lieu d'émettre une grande quantité d'énergie sur une période très courte on émet de façon continue mais avec peu de puissance => même quantité d'énergie émise



Pulses



Continue

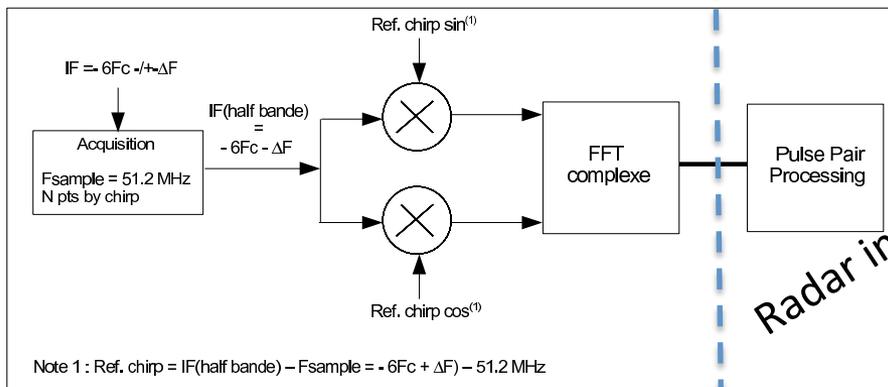
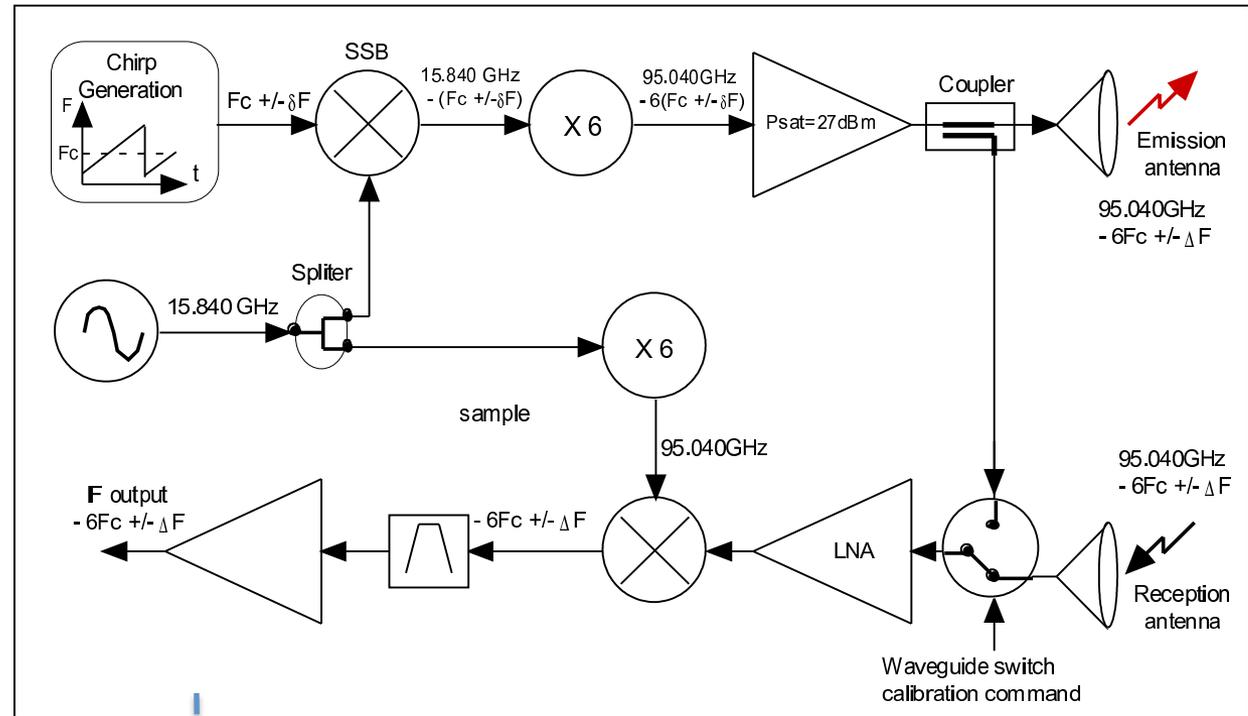


Continuous and frequency modulated

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

Rampe (chirp)

Le synoptique du radar, c'est quoi?



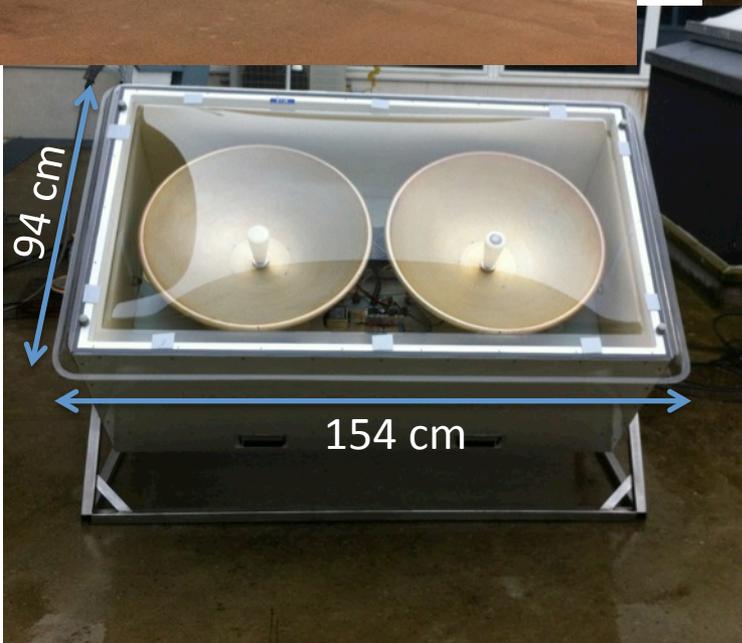
Radar impulsif



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 ~ 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	± 10	~ -38	brouillard, nuage bas et bruine
25 m	12	± 5	~ -44	brouillard, nuage bas et bruine, nuages de glace
100 m	12	± 5	~ -50	Cirrus
200 m	12	± 5	~ -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 ».

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

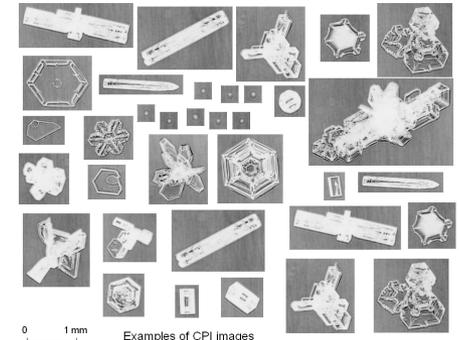
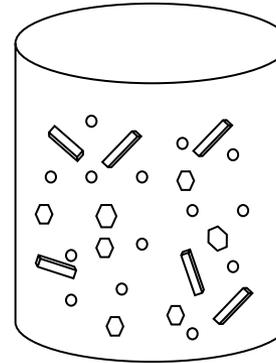
$\sigma_{\text{bsc}}(D, \lambda, \rho)$ coefficients de rétrodiffusion (Mie, 1908)

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

Approximation de Rayleigh

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

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

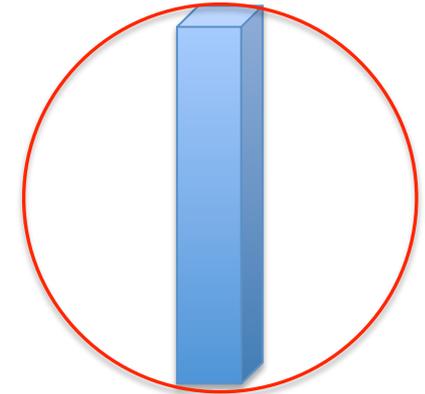


Crédits LaMP

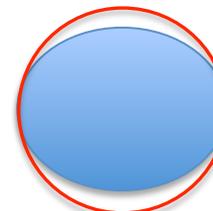
Plaquette hexagonale



Colonne



Goutte d'eau





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

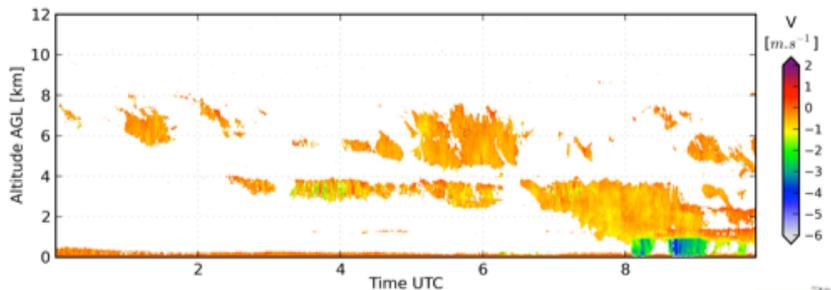
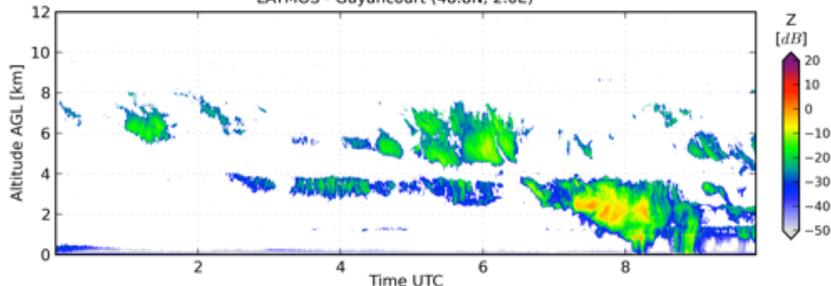
EXEMPLES DE MESURES

25m

95GHz Cloud Radar - Basta - LATMOS

2014/01/22

LATMOS - Guyancourt (48.8N, 2.0E)

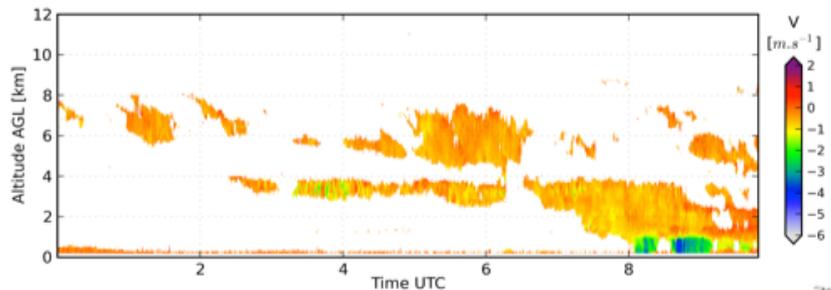
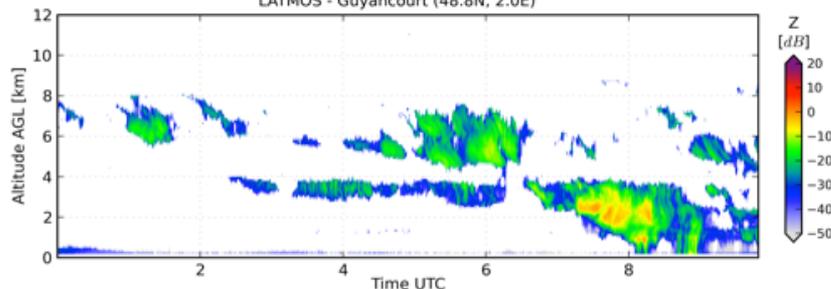


100m

95GHz Cloud Radar - Basta - LATMOS

2014/01/22

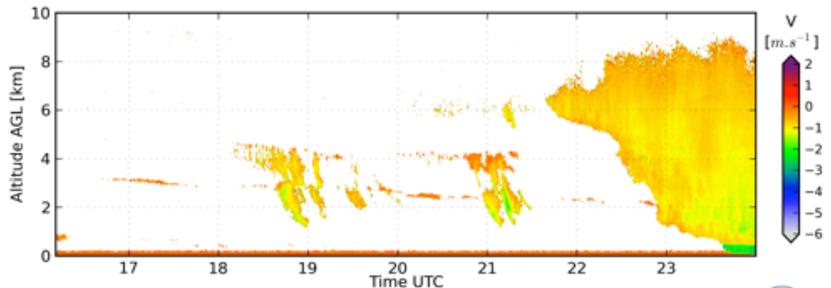
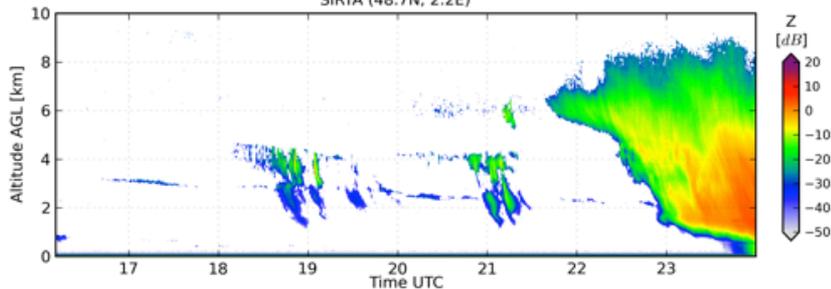
LATMOS - Guyancourt (48.8N, 2.0E)



95GHz Cloud Radar - Basta - LATMOS

2014/01/24

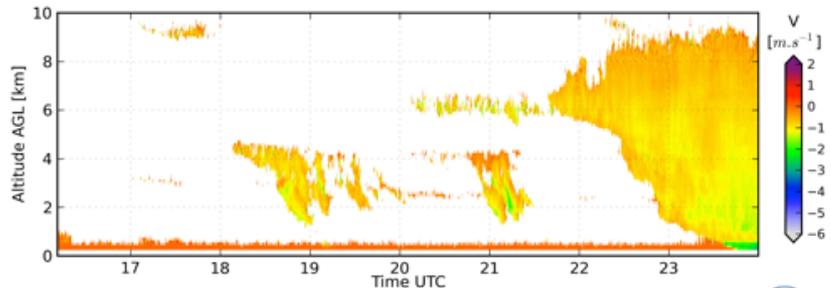
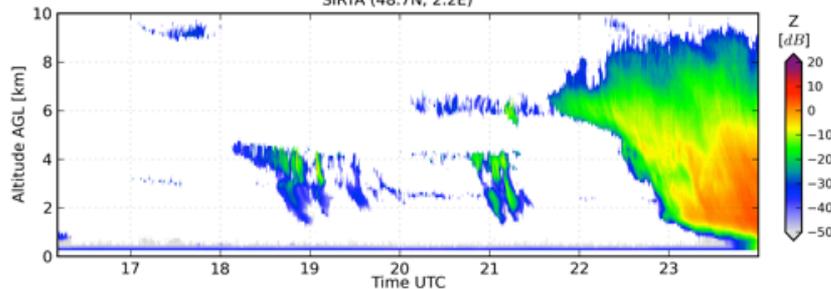
SIRTA (48.7N, 2.2E)



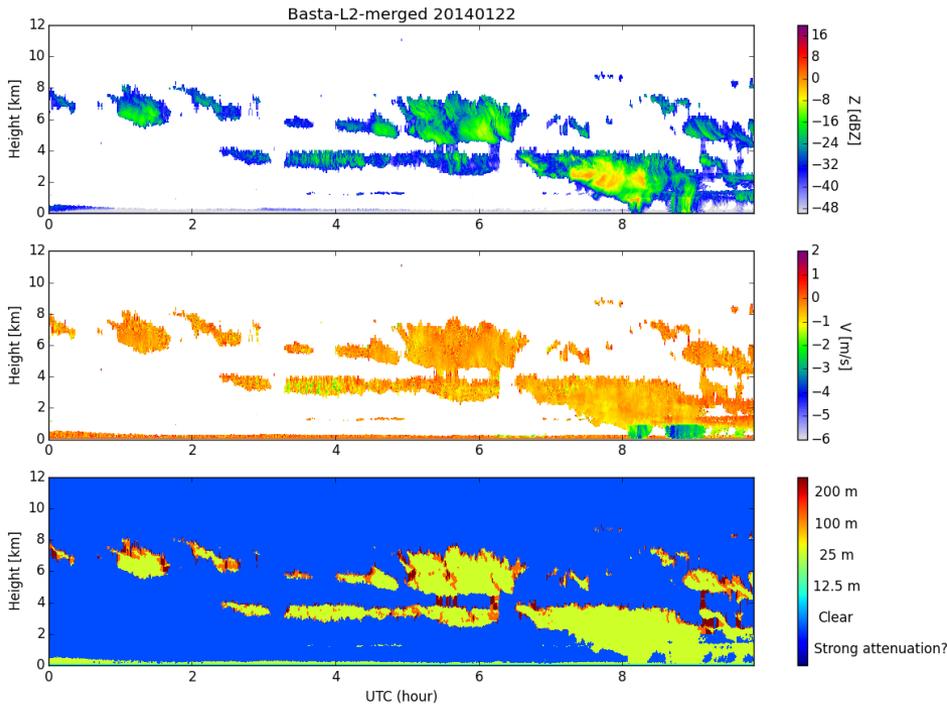
95GHz Cloud Radar - Basta - LATMOS

2014/01/24

SIRTA (48.7N, 2.2E)

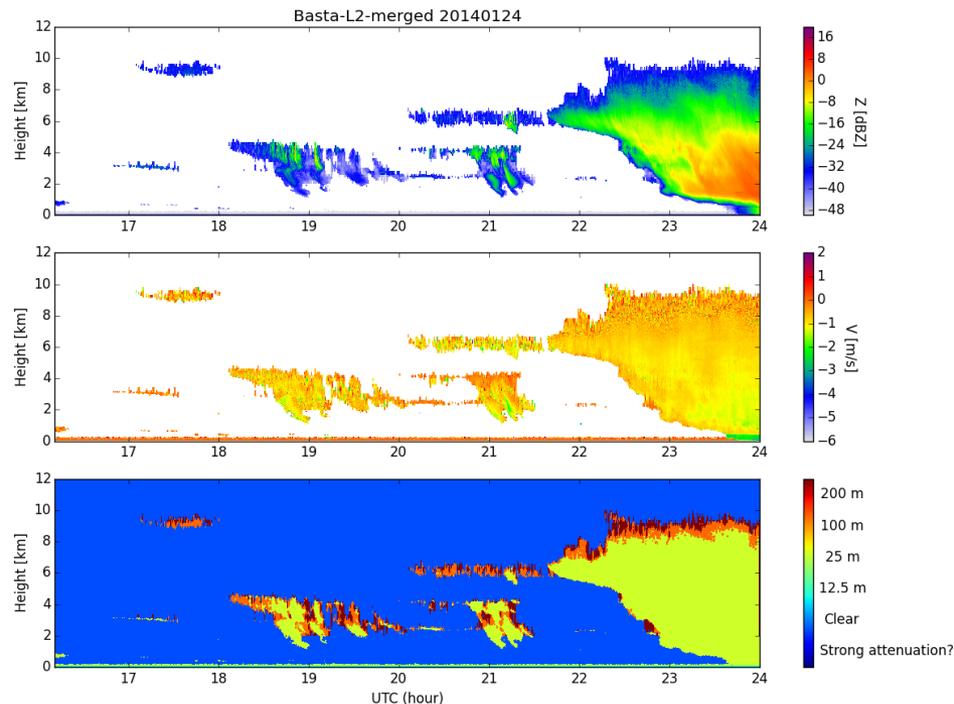


Produit "Merged" (post traitement)

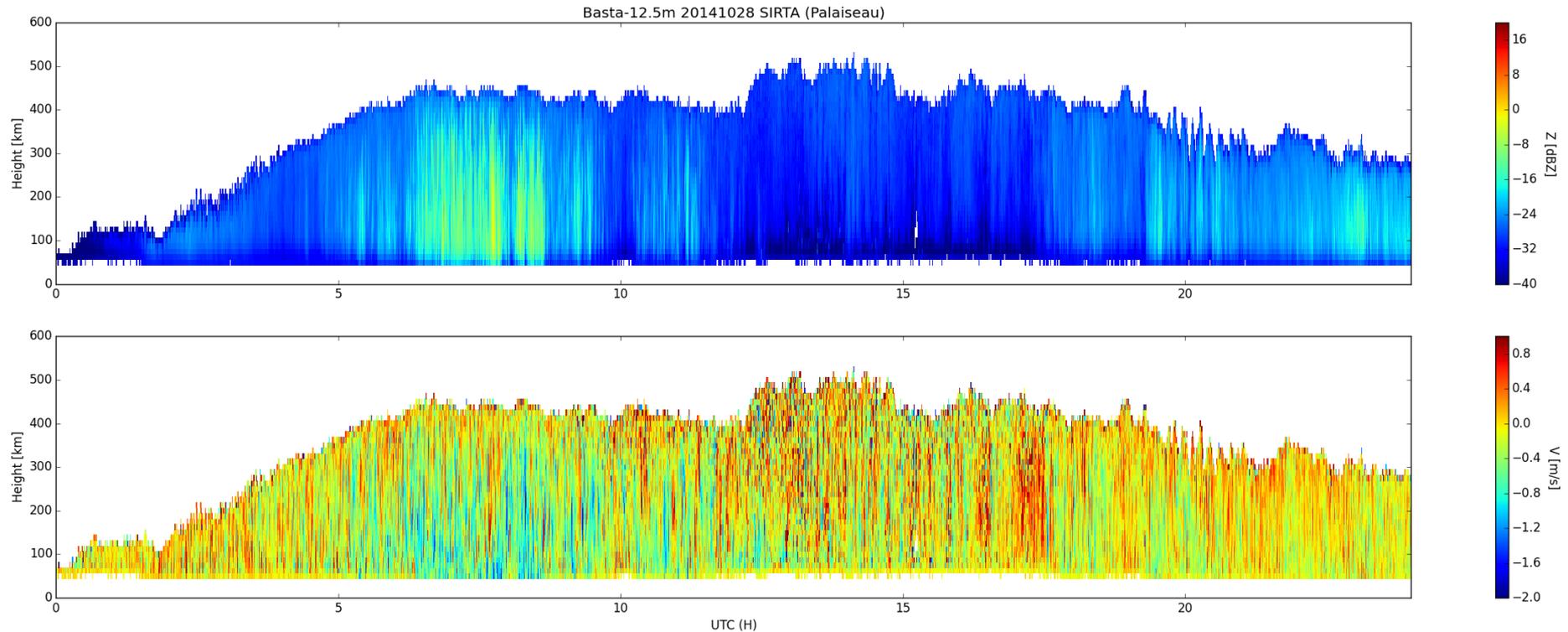


Quatre modes sont combinés:
=> résolution verticale 25m

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



Brouillard 28/10/2014

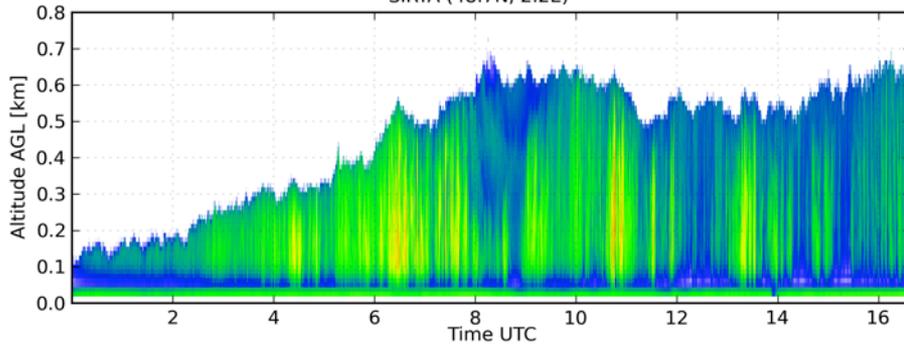


- Produit brouillard (SIRTA)

Low clouds 12.5m

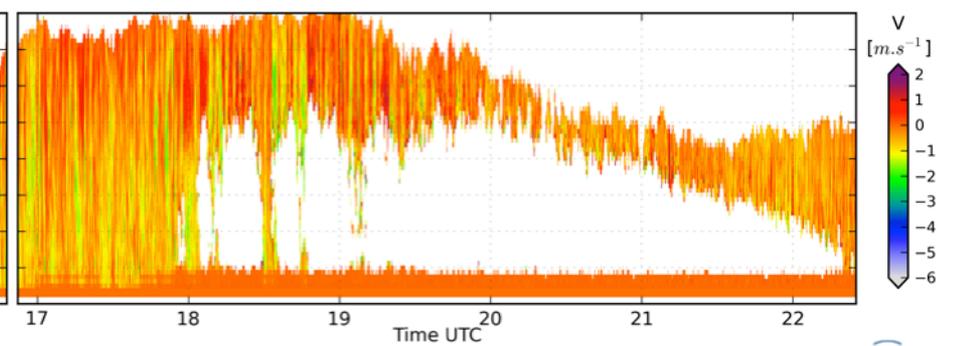
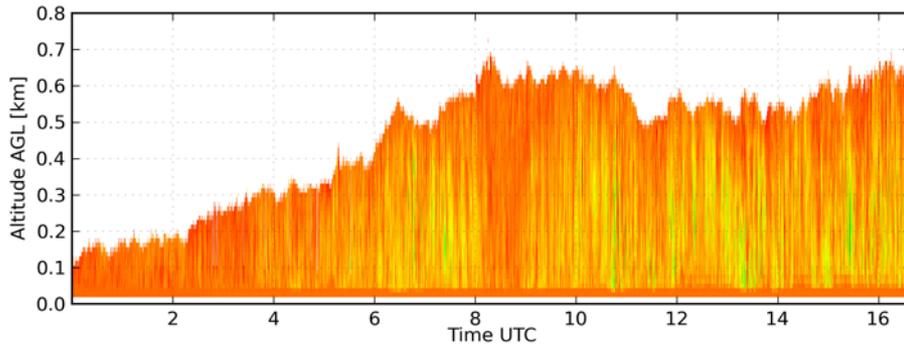
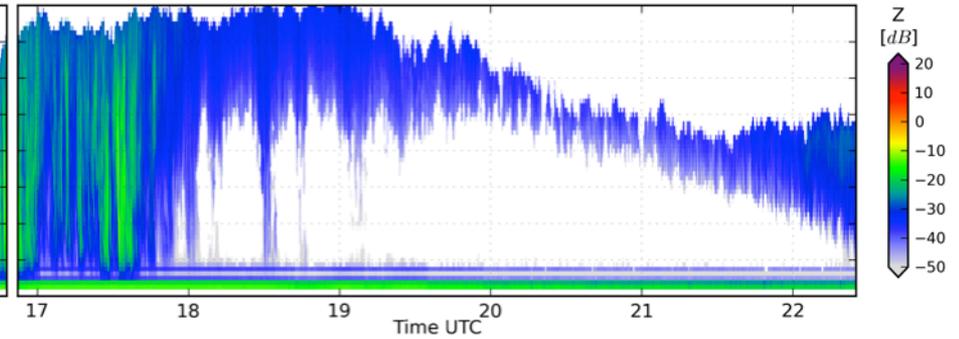
95GHz Cloud Radar - Basta - LATMOS

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



95GHz Cloud Radar - Basta - LATMOS

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



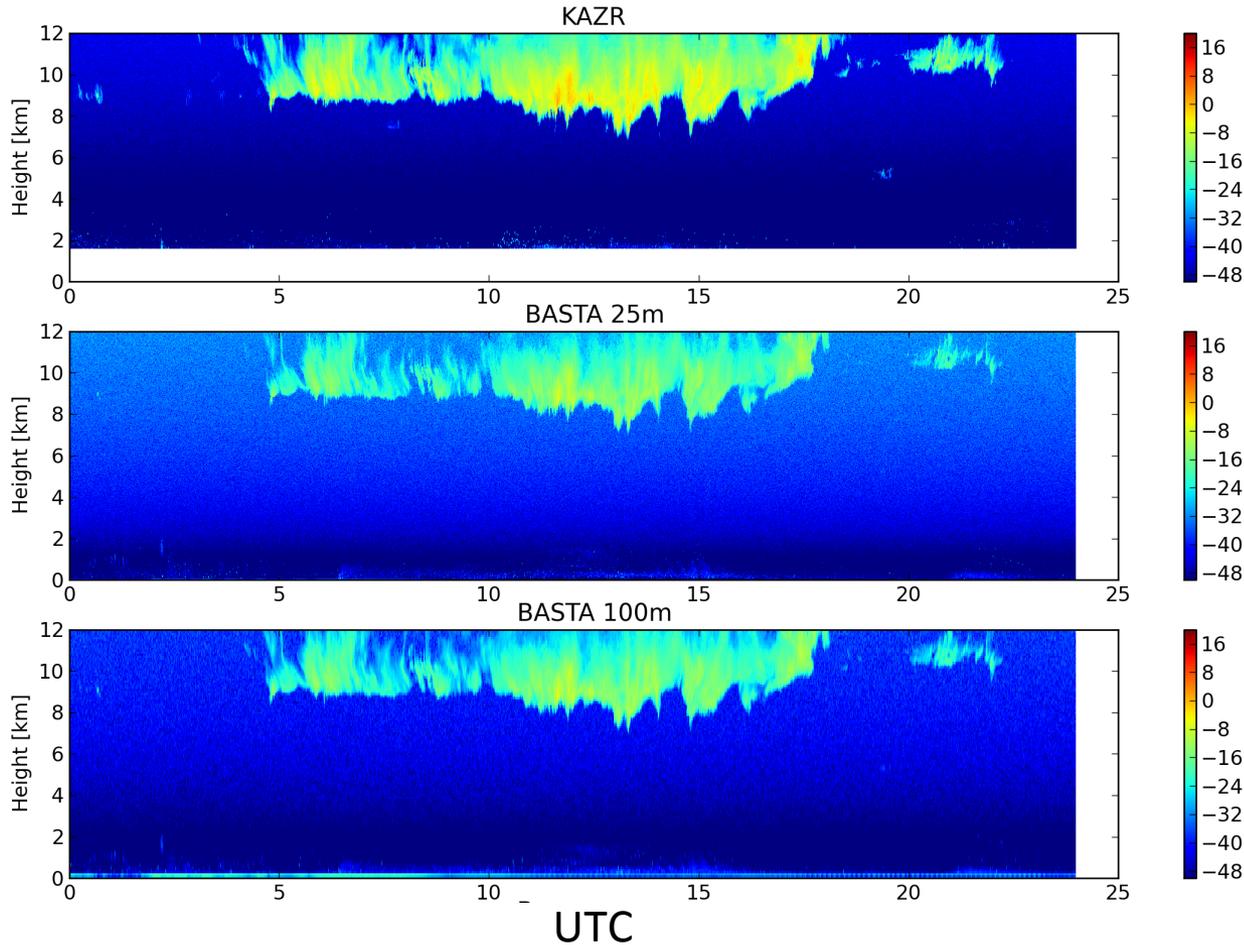
SIRTA

Nouveau prototype

BASTA vs KAZR (mode cirrus)

10-15dBZ de différence

DARWIN
17/03/2014





ETALONNAGE DU RADAR

Calibration (SIRTA)

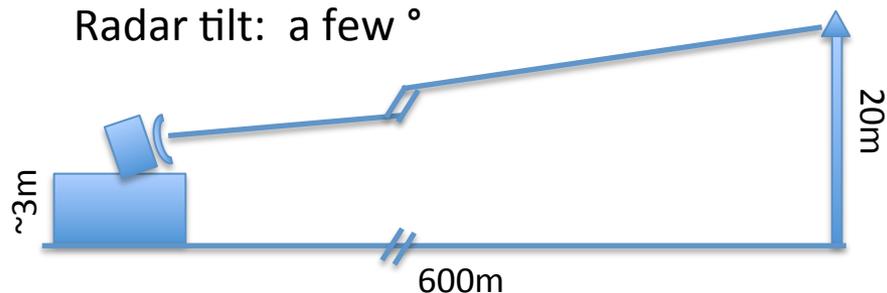
The calibration is done using a trihedral corner reflector.

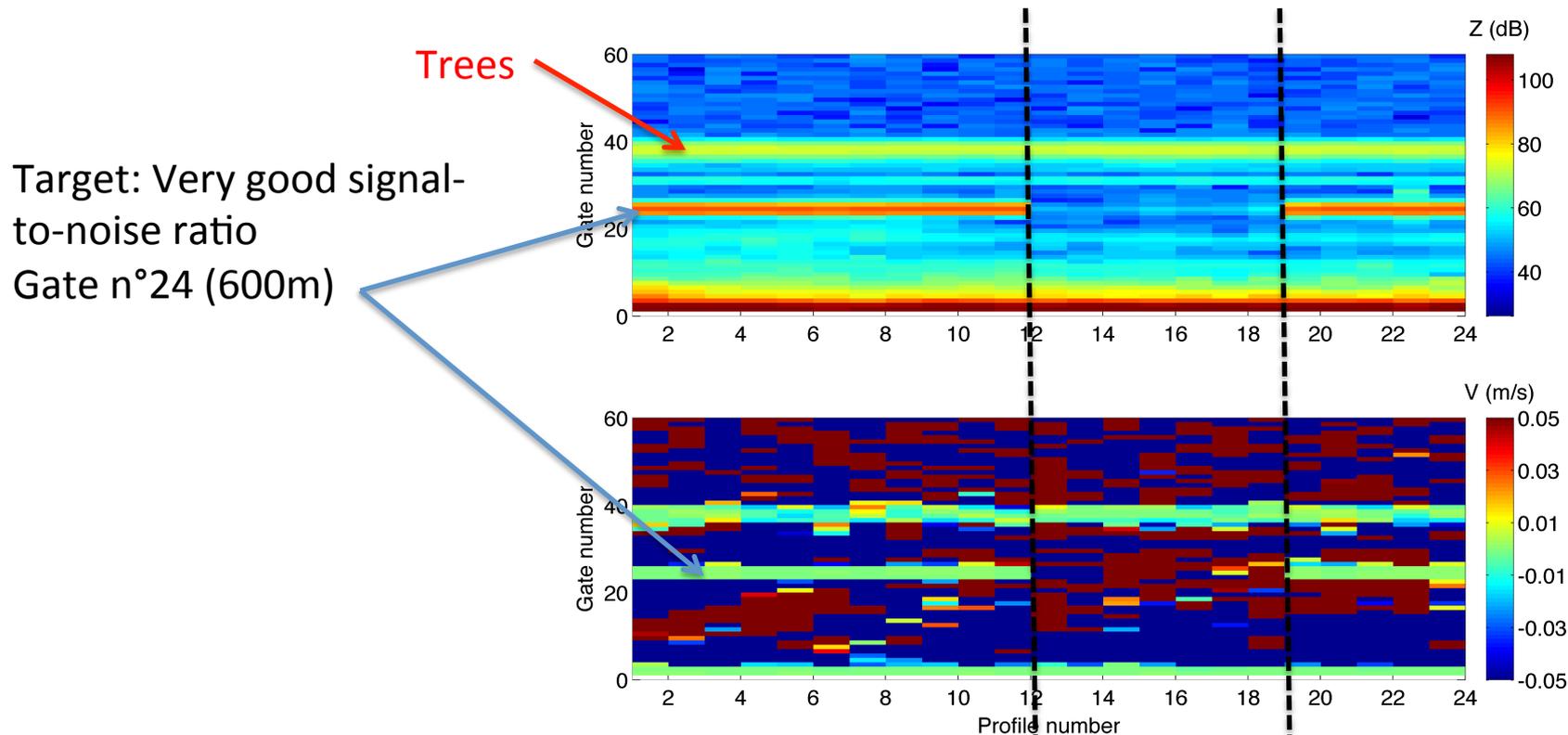
- Telescopic mast of 20 m.
- trihedral corner reflector (20 cm)
- Once the mast deployed:
 - 3m x 3m at the ground

Distance radar-mast : 600m

Antenna beam width 0.3°

Radar tilt: a few $^\circ$





Trees

Target: Very good signal-to-noise ratio
Gate n°24 (600m)

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

Target rotating
and mast has a
very weak echo

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

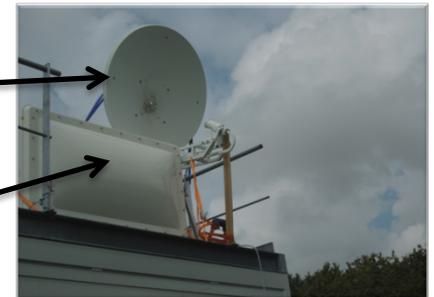
(Ruben Hallali/Jacques Parent du Chatelet : CNRM)

- 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)