

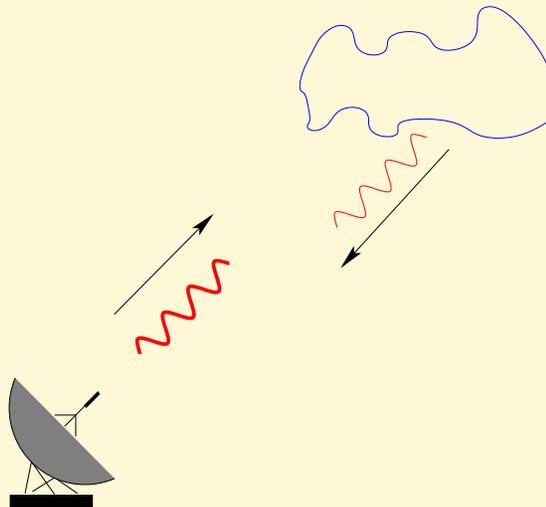
Introduction aux radars

Yves Pointin

LaMP/OPGC CNRS/UBP

<http://wwwobs.univ-bpclermont.fr/atmos/radar>

Y.Pointin@opgc.univ-bpclermont.fr



Radar météorologique

Radar météorologique

Généralités

Schéma d'ensemble

Radar à impulsions

Paramètres mesurés

Carte de réflectivité

Prévision immédiate

Obstacles à la propagation

Propagation anormale

Bande brillante

Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

FIN

- Un radar est un instrument de télédétection active qui génère des impulsions d'onde électromagnétique de fréquence donnée.

Radar météorologique

Généralités

Schéma d'ensemble

Radar à impulsions

Paramètres mesurés

Carte de réflectivité

Prévision immédiate

Obstacles à la propagation

Propagation anormale

Bande brillante

Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

FIN

- Un radar est un instrument de télédétection active qui génère des impulsions d'onde électromagnétique de fréquence donnée.

- En météorologie, il sert à :
 1. observer les nuages,
 2. estimer les précipitations,
 3. mesurer la vitesse du vent,
 4. estimer le spectre des gouttes de pluie.

Radar météorologique

Généralités

Schéma d'ensemble

Radar à impulsions

Paramètres mesurés

Carte de réflectivité

Prévision immédiate

Obstacles à la propagation

Propagation anormale

Bande brillante

Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

FIN

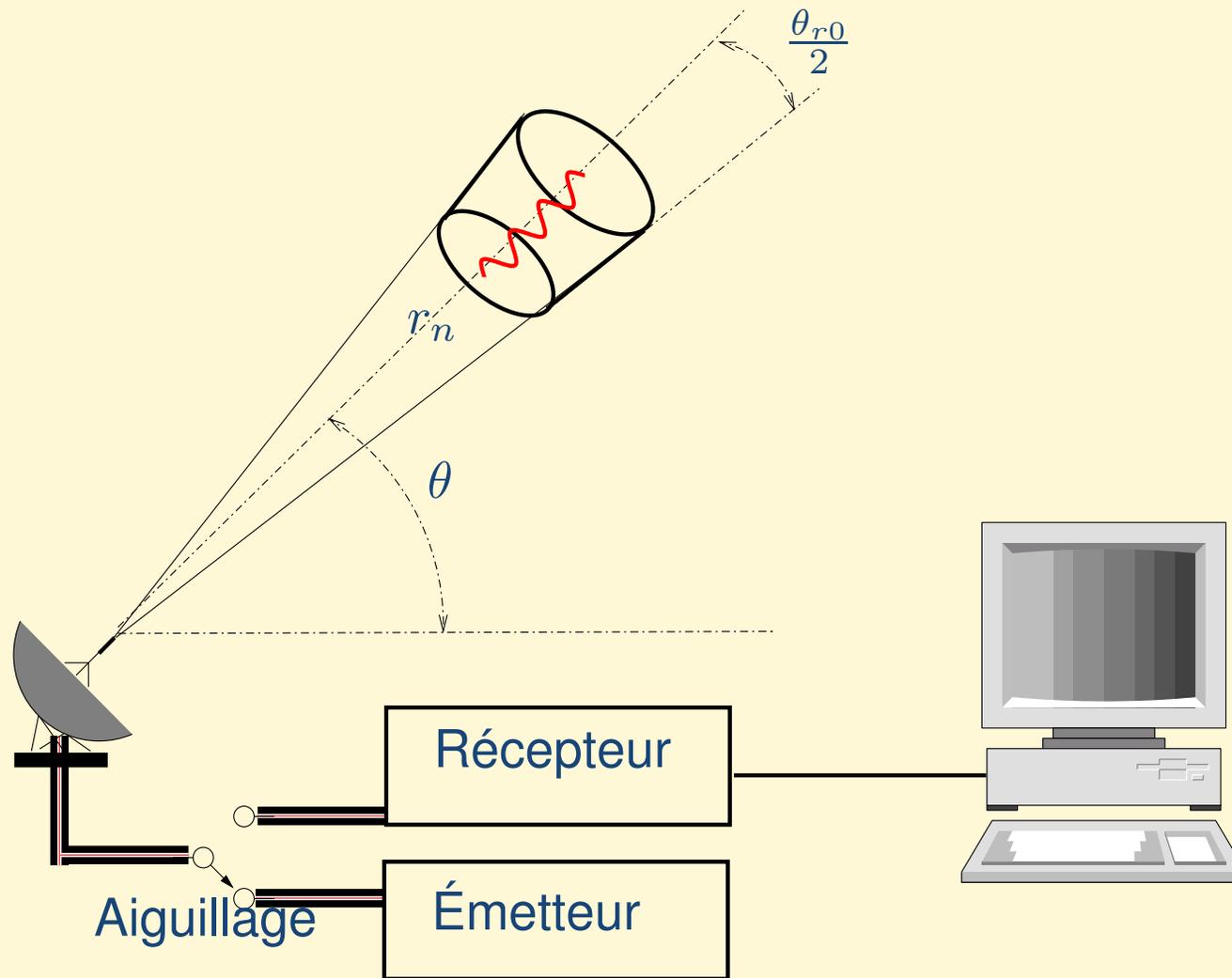
- Un radar est un instrument de télédétection active qui génère des impulsions d'onde électromagnétique de fréquence donnée.

- En météorologie, il sert à :
 1. observer les nuages,
 2. estimer les précipitations,
 3. mesurer la vitesse du vent,
 4. estimer le spectre des gouttes de pluie.

- Il est constitué :
 1. d'un émetteur,
 2. d'une antenne,
 3. d'un récepteur,
 4. d'un système d'acquisition et de visualisation des données,

Schéma d'ensemble

Un radar météorologique comprend :



Radar météorologique

Généralités

Schéma d'ensemble

Radar à impulsions

Paramètres mesurés

Carte de réflectivité

Prévision immédiate

Obstacles à la propagation

Propagation anormale

Bande brillante

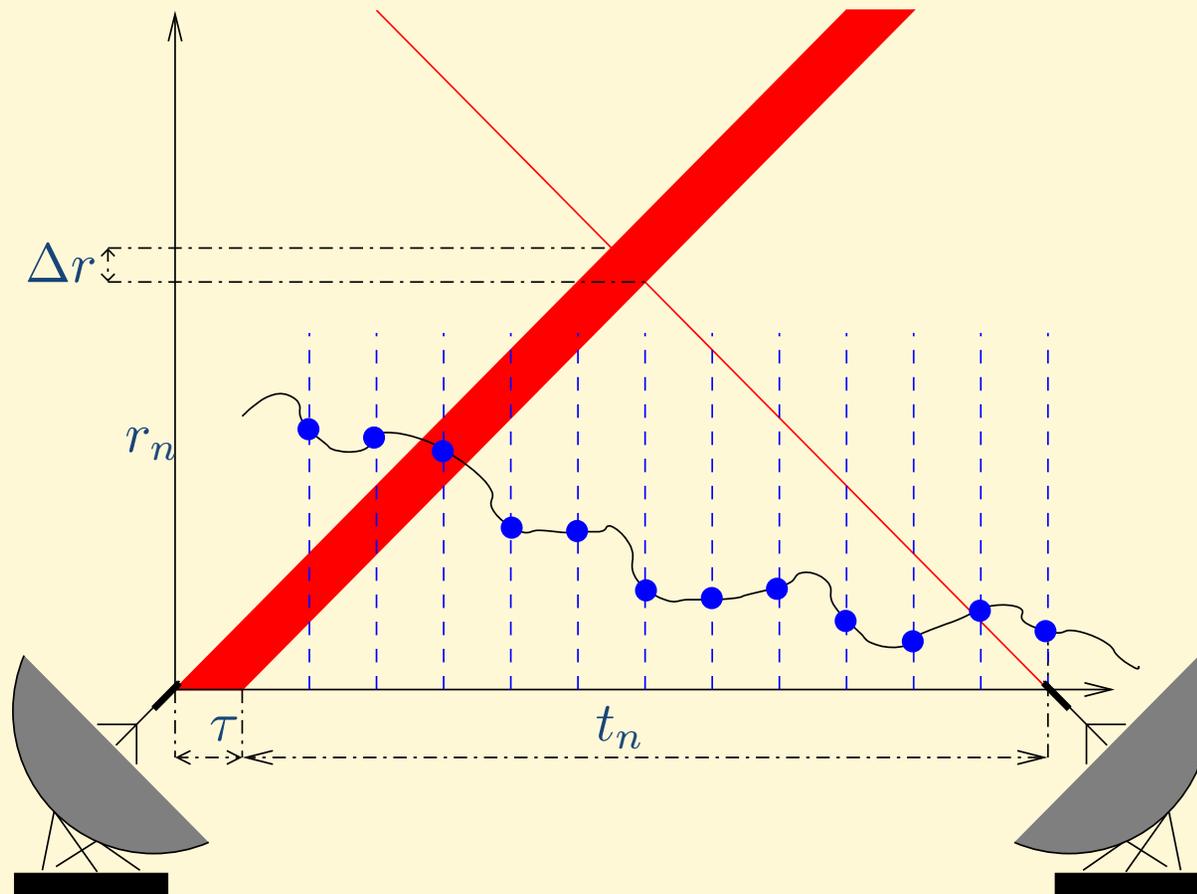
Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

FIN

Radar à impulsions

Le radar émet des impulsions brèves qui se propagent à la vitesse de la lumière, réagissent avec le milieu et une partie infime de l'énergie revient vers l'antenne. L'énergie reçue est mesurée dans plusieurs portes de distance (données par différents retards t_n par rapport à l'émission).



Radar météorologique

Généralités

Schéma d'ensemble

Radar à impulsions

Paramètres mesurés

Carte de réflectivité

Prévision immédiate

Obstacles à la propagation

Propagation anormale

Bande brillante

Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

FIN

Paramètres mesurés

- Un radar (RAdio Detection And Ranging) enregistre les deux angles de visée de l'antenne, l'heure et la date,
- et, suivant ses caractéristiques et pour plusieurs portes de distances situées entre 1 et 10 à 300 km du radar, mesure différents paramètres :
 1. l'intensité du signal, normalisée en réflectivité (dBZ),

[Radar météorologique](#)

[Généralités](#)

[Schéma d'ensemble](#)

[Radar à impulsions](#)

[Paramètres mesurés](#)

[Carte de réflectivité](#)

[Prévision immédiate](#)

[Obstacles à la propagation](#)

[Propagation anormale](#)

[Bande brillante](#)

[Hydrologie avec un radar](#)

[Radar Doppler](#)

[FIN](#)

Paramètres mesurés

- Un radar (RAdio Detection And Ranging) enregistre les deux angles de visée de l'antenne, l'heure et la date,
- et, suivant ses caractéristiques et pour plusieurs portes de distances situées entre 1 et 10 à 300 km du radar, mesure différents paramètres :
 1. l'intensité du signal, normalisée en réflectivité (dBZ),
 2. la polarisation de l'onde reçue (dB),

[Radar météorologique](#)

[Généralités](#)

[Schéma d'ensemble](#)

[Radar à impulsions](#)

[Paramètres mesurés](#)

[Carte de réflectivité](#)

[Prévision immédiate](#)

[Obstacles à la propagation](#)

[Propagation anormale](#)

[Bande brillante](#)

[Hydrologie avec un radar](#)

[Radar Doppler](#)

[FIN](#)

Paramètres mesurés

- Un radar (RAdio Detection And Ranging) enregistre les deux angles de visée de l'antenne, l'heure et la date,
- et, suivant ses caractéristiques et pour plusieurs portes de distances situées entre 1 et 10 à 300 km du radar, mesure différents paramètres :
 1. l'intensité du signal, normalisée en réflectivité (dBZ),
 2. la polarisation de l'onde reçue (dB),
 3. soit, le décalage Doppler moyen, donnant la vitesse radiale moyenne, et la largeur spectrale Doppler, donnant le niveau de turbulence, (m/s),

[Radar météorologique](#)

[Généralités](#)

[Schéma d'ensemble](#)

[Radar à impulsions](#)

[Paramètres mesurés](#)

[Carte de réflectivité](#)

[Prévision immédiate](#)

[Obstacles à la propagation](#)

[Propagation anormale](#)

[Bande brillante](#)

[Hydrologie avec un radar](#)

[Radar Doppler](#)

[FIN](#)

Paramètres mesurés

- Un radar (RADio Detection And Ranging) enregistre les deux angles de visée de l'antenne, l'heure et la date,
- et, suivant ses caractéristiques et pour plusieurs portes de distances situées entre 1 et 10 à 300 km du radar, mesure différents paramètres :
 1. l'intensité du signal, normalisée en réflectivité (dBZ),
 2. la polarisation de l'onde reçue (dB),
 3. soit, le décalage Doppler moyen, donnant la vitesse radiale moyenne, et la largeur spectrale Doppler, donnant le niveau de turbulence, (m/s),
 4. soit, le spectre Doppler du signal, donnant la répartition des vitesses radiales (dB).

[Radar météorologique](#)

[Généralités](#)

[Schéma d'ensemble](#)

[Radar à impulsions](#)

[Paramètres mesurés](#)

[Carte de réflectivité](#)

[Prévision immédiate](#)

[Obstacles à la propagation](#)

[Propagation anormale](#)

[Bande brillante](#)

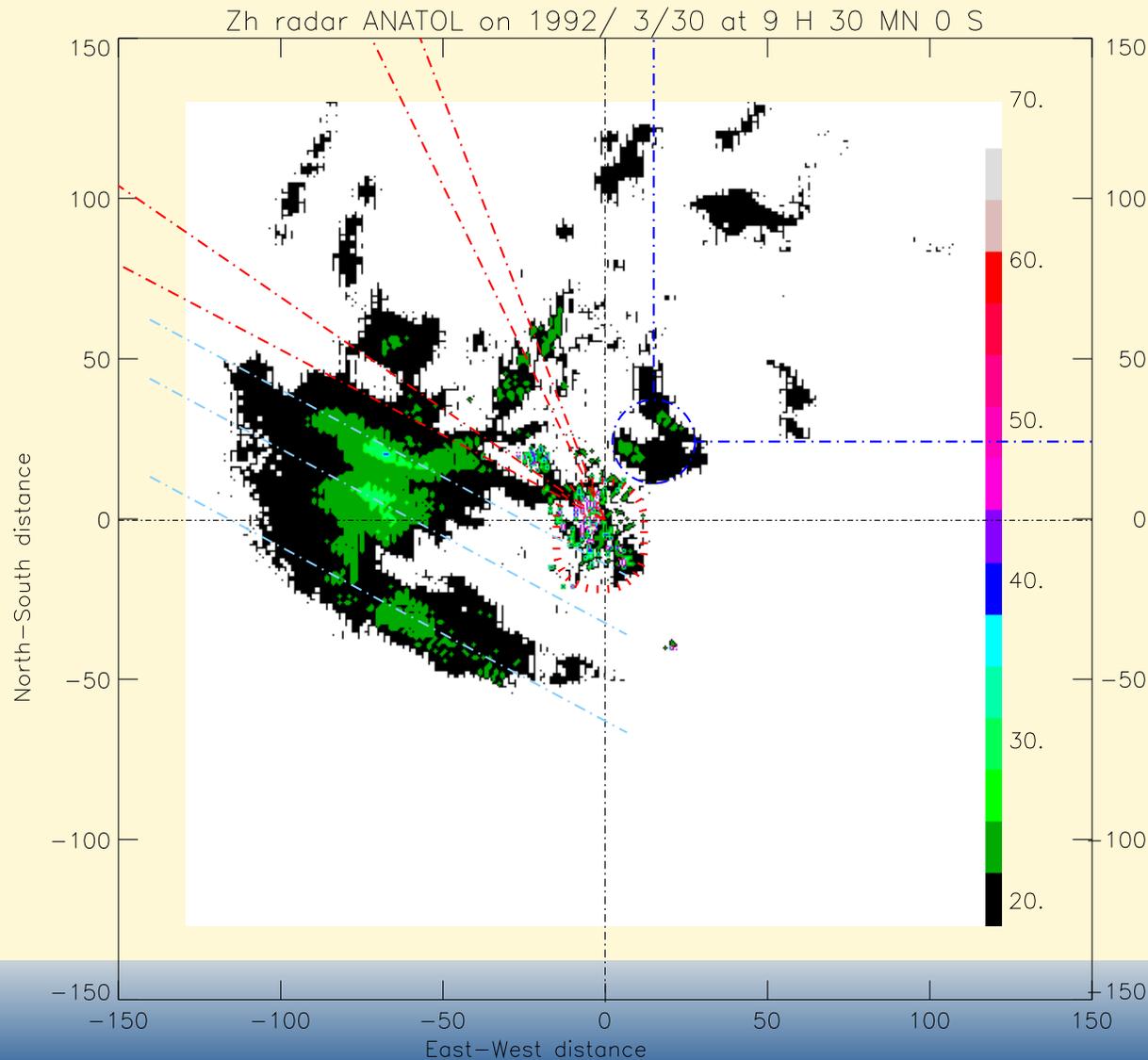
[Hydrologie avec un radar](#)

[Radar Doppler](#)

[FIN](#)

Carte de réflectivité

Lors de la rotation de l'antenne, le radar échantillonne des nuages et fournit une carte horizontale de la réflectivité mesurée :



Radar météorologique

Généralités

Schéma d'ensemble

Radar à impulsions

Paramètres mesurés

Carte de réflectivité

Prévision immédiate

Obstacles à la propagation

Propagation anormale

Bande brillante

Hydrologie avec un radar

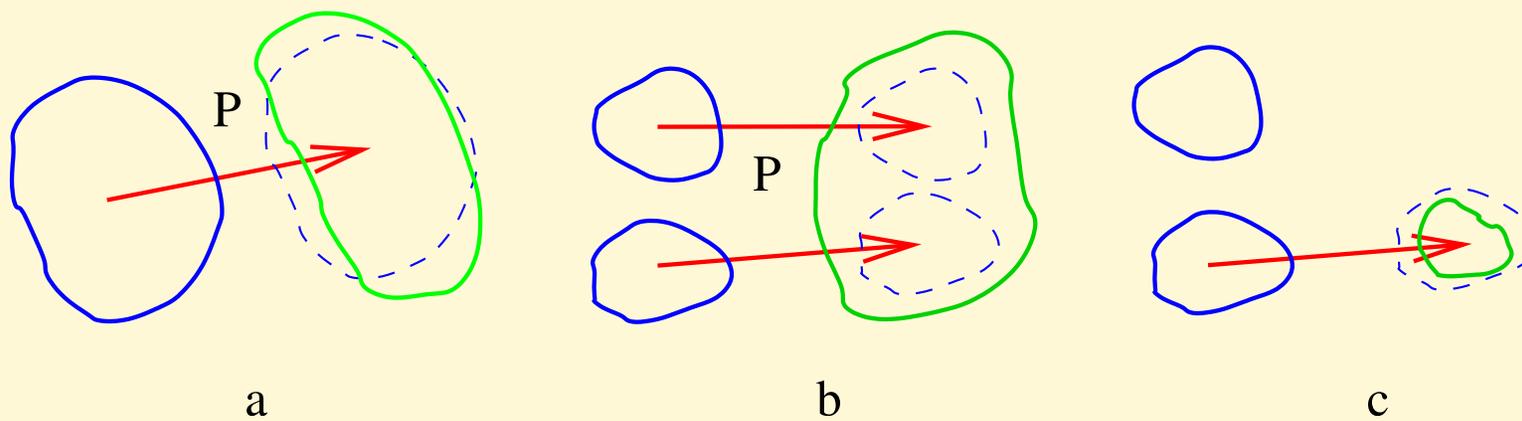
Radar Doppler

FIN

Prévision immédiate

Le déplacement des différentes cellules nuageuses est détecté grâce au changement de leur position entre deux images consécutives.

Ce déplacement est ensuite extrapolé pour les minutes suivant la dernière image enregistrée. Il faut tenir compte des créations, fusions, séparations, disparitions, *etc.* de cellules :



Radar météorologique

Généralités

Schéma d'ensemble

Radar à impulsions

Paramètres mesurés

Carte de réflectivité

Prévision immédiate

Obstacles à la propagation

Propagation anormale

Bande brillante

Hydrologie avec un radar

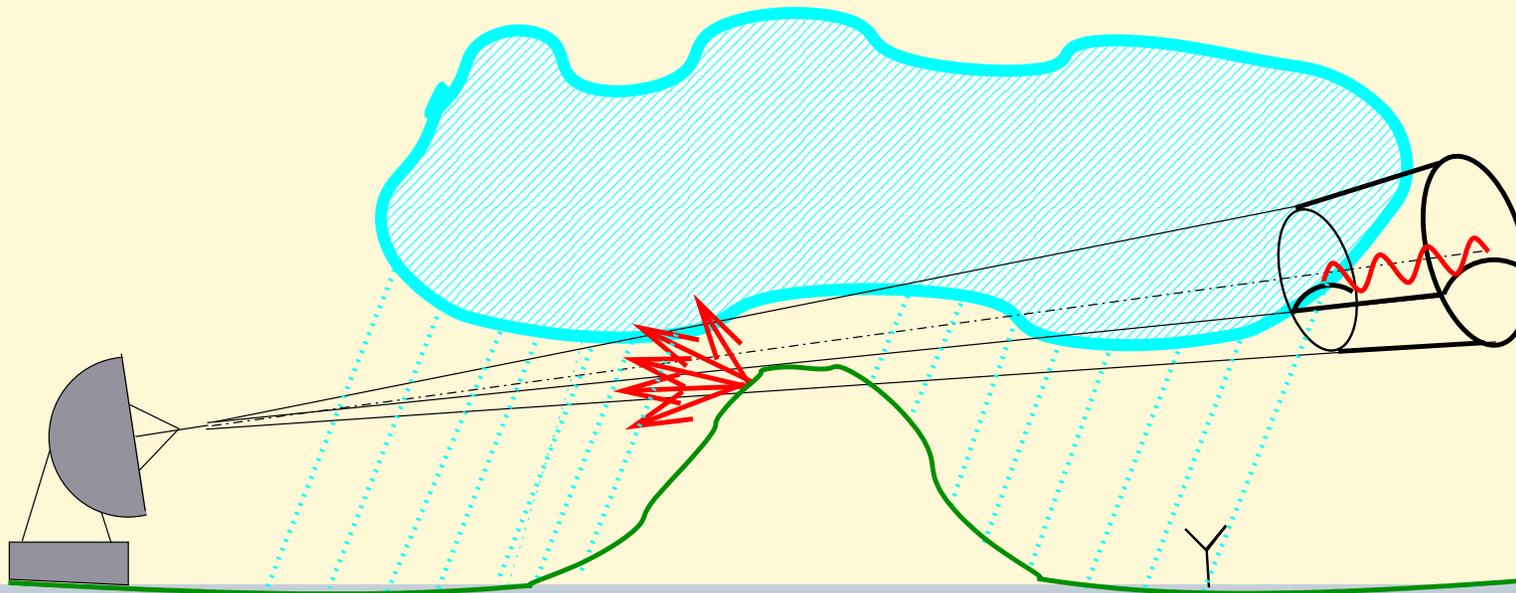
Radar Doppler

FIN

Obstacles à la propagation

Type d'obstacles pouvant gêner la propagation du faisceau et l'estimation des précipitations au sol :

1. échos de sol,
2. masques,
3. remplissage partiel,
4. profil vertical de réflectivité,
5. atténuation,
6. etc.



Radar météorologique

Généralités

Schéma d'ensemble

Radar à impulsions

Paramètres mesurés

Carte de réflectivité

Prévision immédiate

Obstacles à la propagation

Propagation anormale

Bande brillante

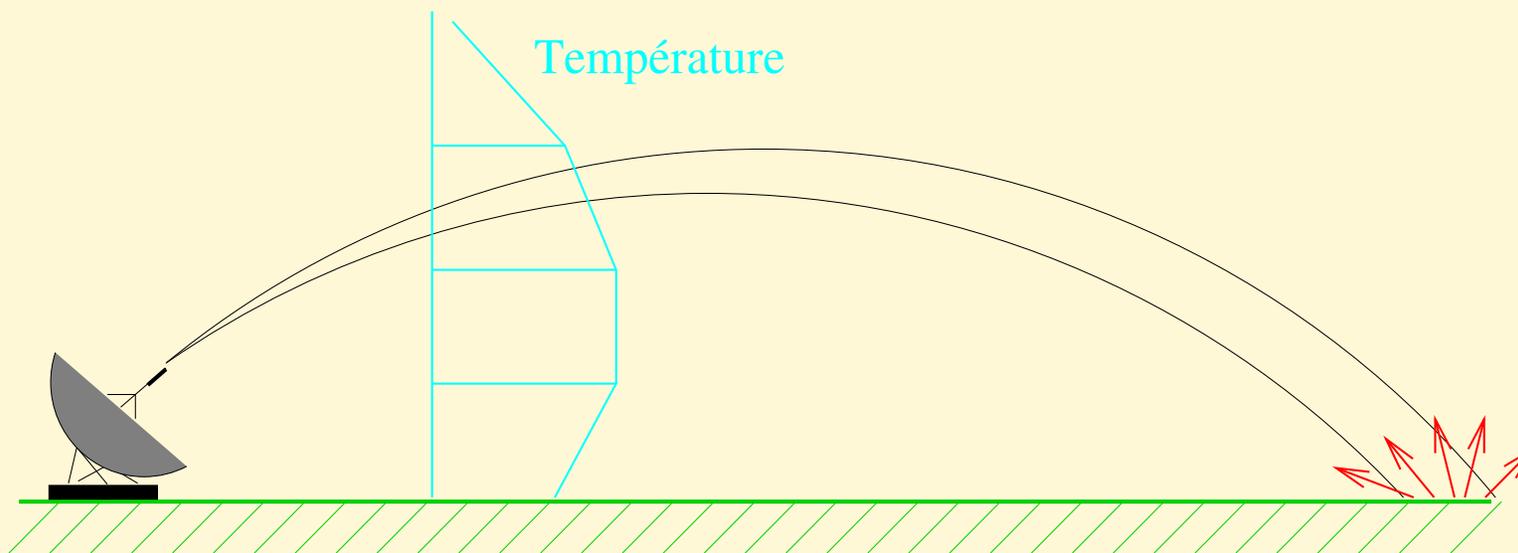
Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

FIN

Propagation anormale

En cas de fortes variations verticales de température, le faisceau radar est courbé vers le bas et touche le sol qui renvoie un fort écho inhabituel. Ceci est analogue aux mirages.



[Radar météorologique](#)

[Généralités](#)

[Schéma d'ensemble](#)

[Radar à impulsions](#)

[Paramètres mesurés](#)

[Carte de réflectivité](#)

[Prévision immédiate](#)

[Obstacles à la propagation](#)

[Propagation anormale](#)

[Bande brillante](#)

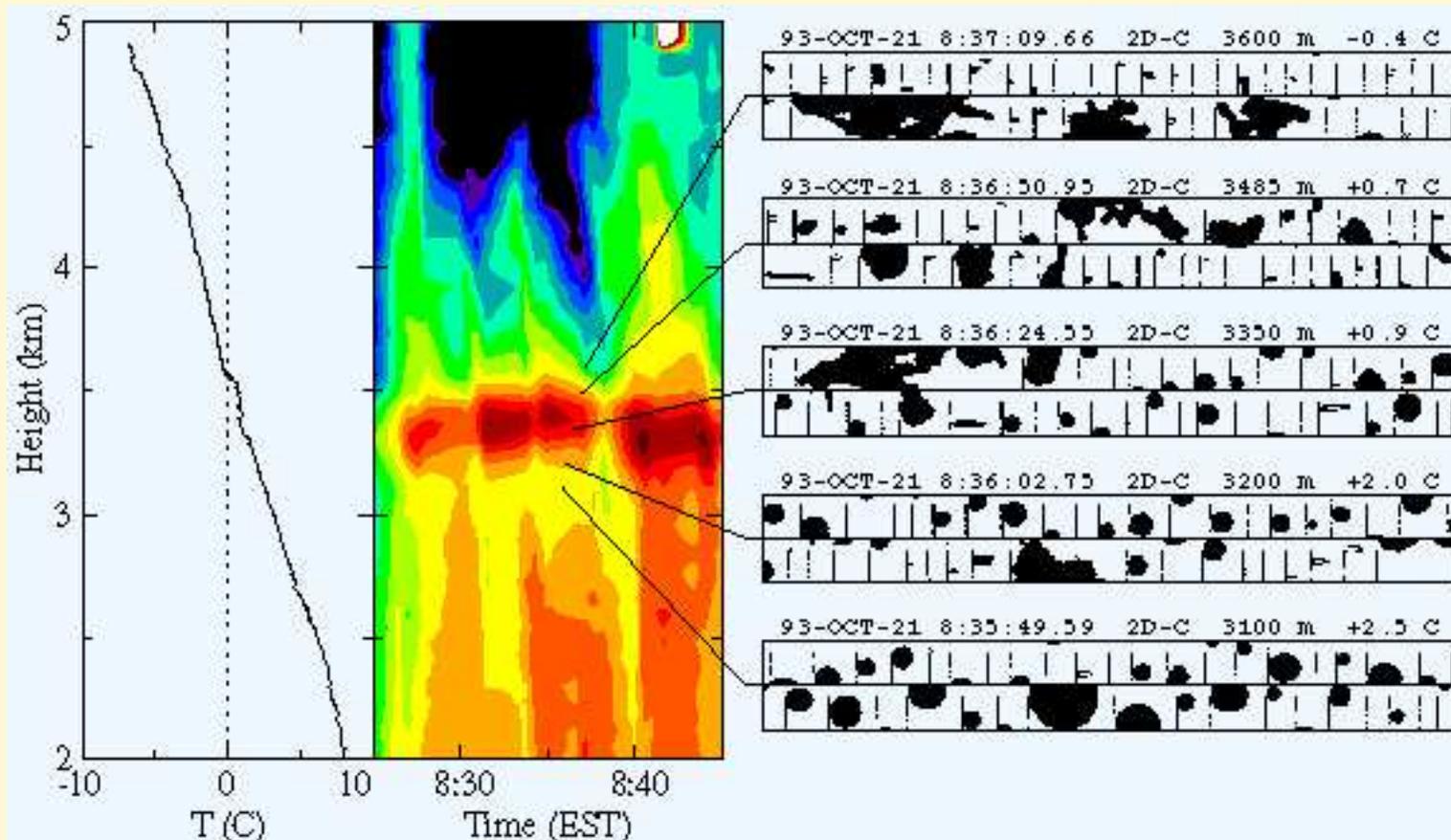
[Hydrologie avec un radar](#)

[Radar Doppler](#)

[FIN](#)

Bande brillante

Une bande brillante est due à une augmentation de la réflectivité radar au voisinage de l'isotherme 0°C , associée aux changements de forme des hydrométéores lors de leur fusion. http://www.radar.mcgill.ca/bright_band.html



Radar météorologique

Généralités

Schéma d'ensemble

Radar à impulsions

Paramètres mesurés

Carte de réflectivité

Prévision immédiate

Obstacles à la propagation

Propagation anormale

Bande brillante

Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

FIN

Hydrologie avec un radar

Radar météorologique

Hydrologie avec un radar

Mesure de la pluie

Pluviomètre

Disdromètre

Spectres de gouttes

Relation $Z - R_r$

Résultats du radar

Radar Doppler

FIN

La réflectivité Z mesurée par un radar est statistiquement reliée au taux de précipitations R_r par une relation empirique :

$$(1) \quad Z = a \cdot R_r^b \iff R_r = a' \cdot Z^{b'}$$

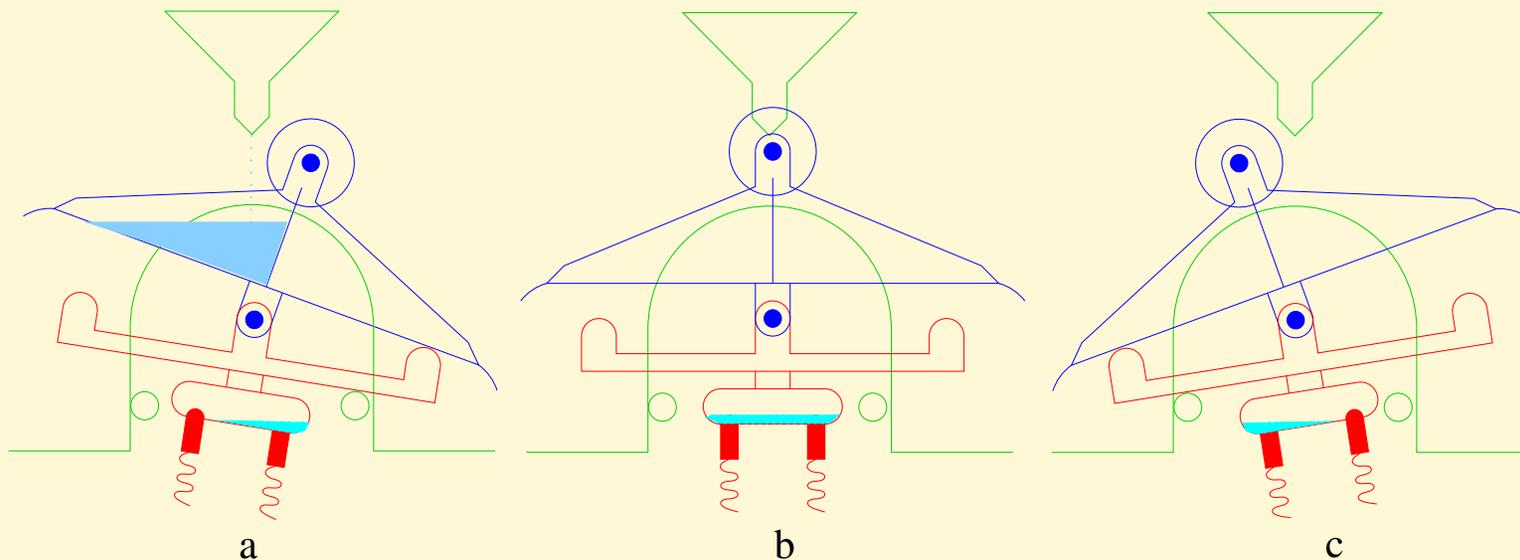
avec, par exemple pour des précipitations convectives, la correspondance entre Z et R_r est donnée par :

Z (dBZ)	10	20	30	40	50	60
R_r (mm·h ⁻¹)	0.15	0.65	2.73	11.5	48.6	205.0

Pluviomètre

Schéma de principe du pluviomètre à auget basculant.

- (a), l'eau collectée par le cône en haut tombe dans un premier auget dans lequel le niveau d'eau monte et décale le centre de gravité,



Radars météorologiques

Hydrologie avec un radar

Mesure de la pluie

Pluviomètre

Disdromètre

Spectres de gouttes

Relation $Z - R_r$

Résultats du radar

Radars Doppler

FIN

Pluviomètre

Radar météorologique

Hydrologie avec un radar

Mesure de la pluie

Pluviomètre

Disdromètre

Spectres de gouttes

Relation $Z - R_r$

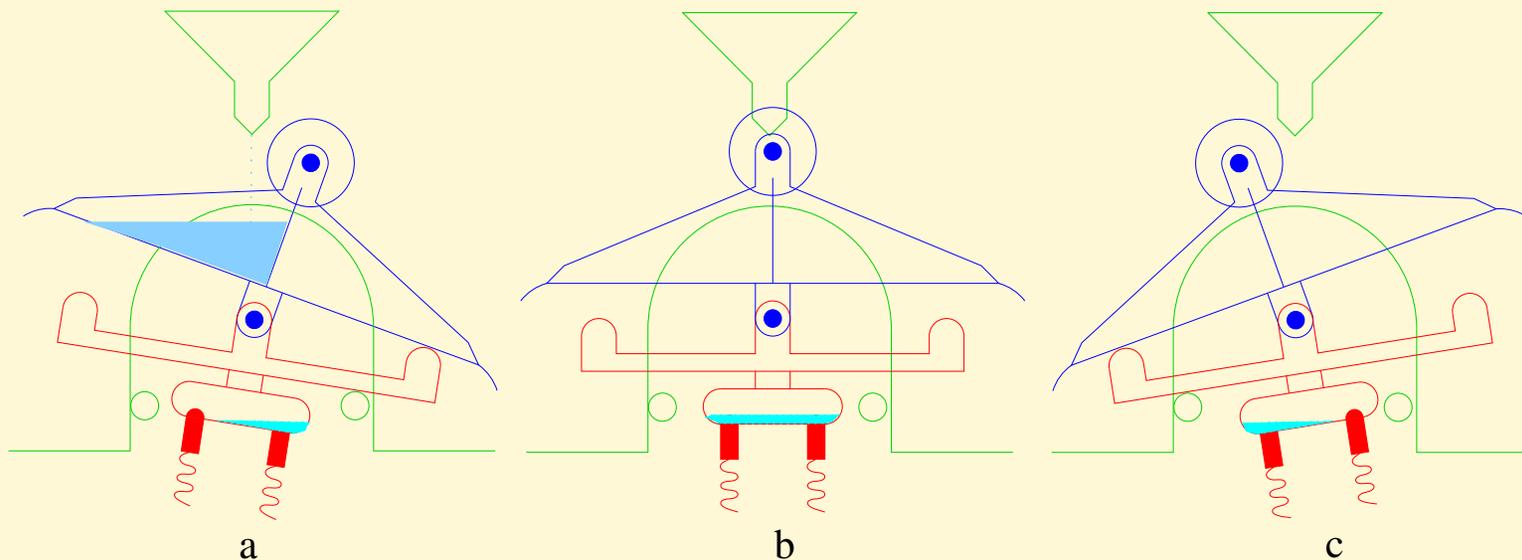
Résultats du radar

Radar Doppler

FIN

Schéma de principe du pluviomètre à auget basculant.

- (a), l'eau collectée par le cône en haut tombe dans un premier auget dans lequel le niveau d'eau monte et décale le centre de gravité,
- (b) il bascule en se vidant et l'ampoule de mercure en bas réalise un contact entre les deux fils électriques,



Pluviomètre

Radar météorologique

Hydrologie avec un radar

Mesure de la pluie

Pluviomètre

Disdromètre

Spectres de gouttes

Relation $Z - R_r$

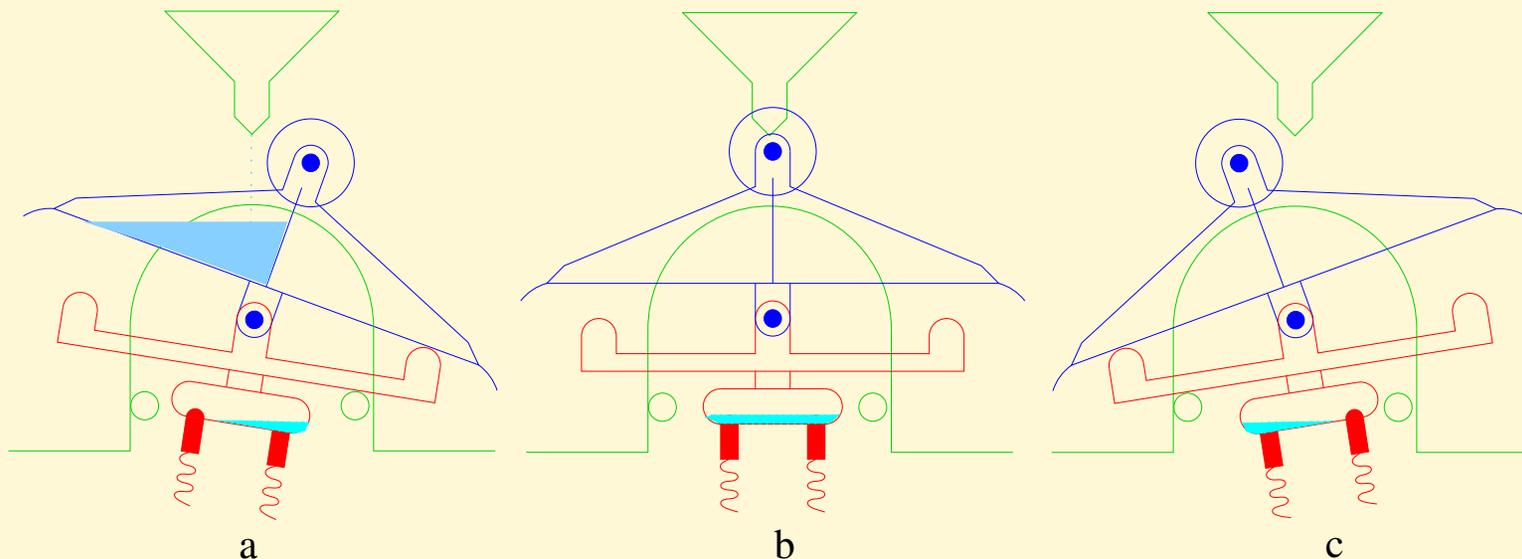
Résultats du radar

Radar Doppler

FIN

Schéma de principe du pluviomètre à auget basculant.

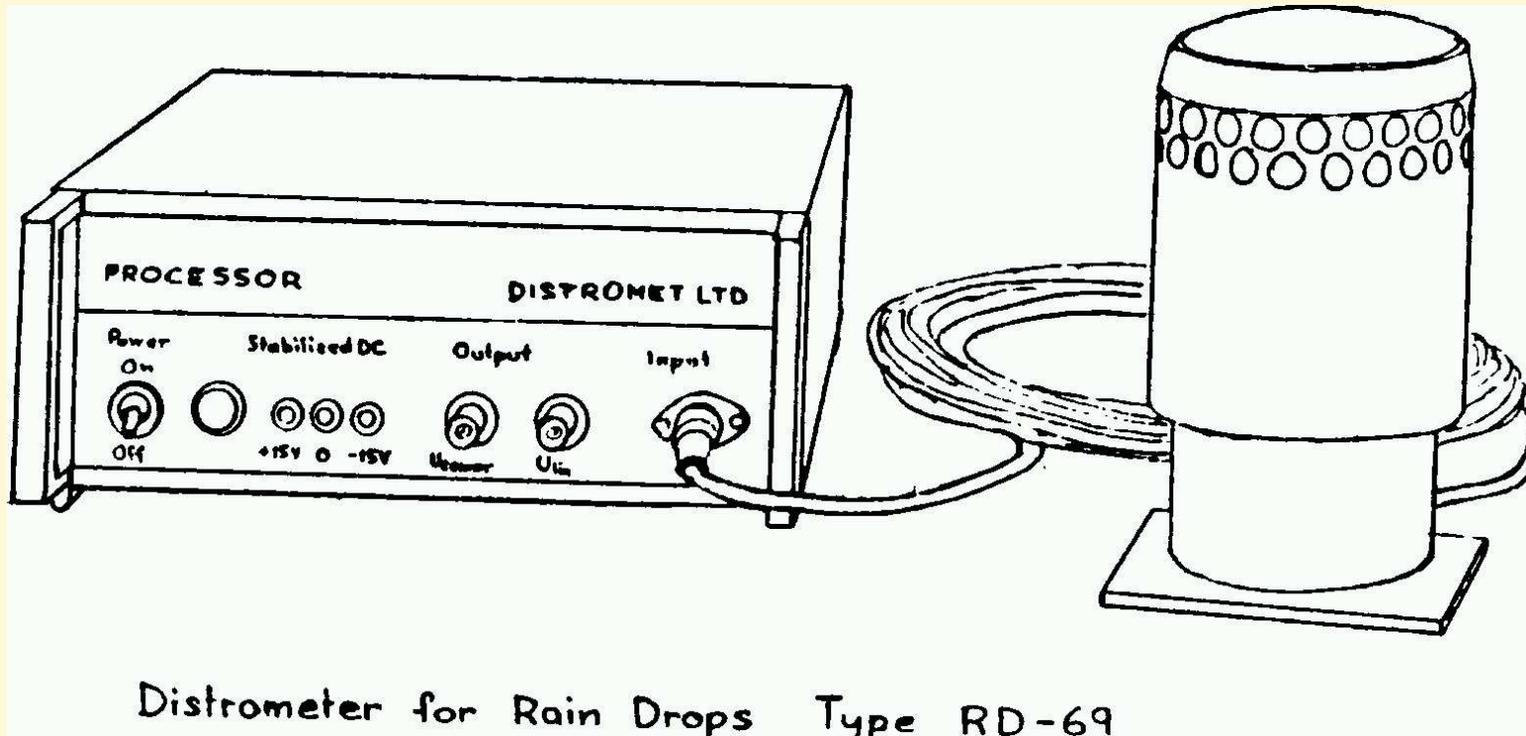
- (a), l'eau collectée par le cône en haut tombe dans un premier auget dans lequel le niveau d'eau monte et décale le centre de gravité,
- (b) il bascule en se vidant et l'ampoule de mercure en bas réalise un contact entre les deux fils électriques,
- (c) le pluviomètre se cale en position, prêt pour le remplissage du deuxième auget.



Disdromètre

Schéma de principe du disdromètre.

Cet appareil détermine le diamètre des gouttes qui tombent sur son cône en mesurant l'amplitude du « choc » individuel de chaque goutte.



Radars météorologiques

Hydrologie avec un radar

Mesure de la pluie

Pluviomètre

Disdromètre

Spectres de gouttes

Relation $Z - R_r$

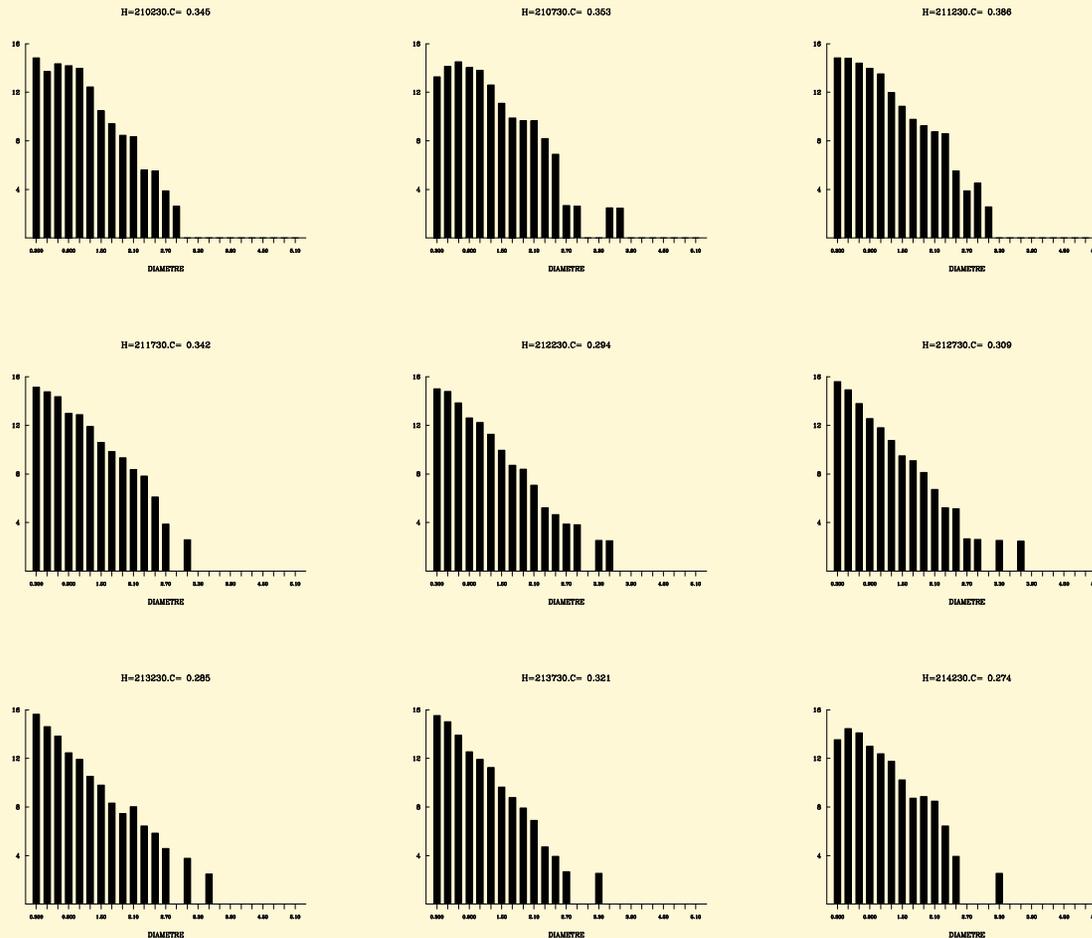
Résultats du radar

Radars Doppler

FIN

Spectres de gouttes

La correspondance entre Z et R_r dépend de la distribution des gouttes (nombre de gouttes par unité de volume d'air en fonction de leur diamètre) dans le nuage.



Radar météorologique

Hydrologie avec un radar

Mesure de la pluie

Pluviomètre

Disdromètre

Spectres de gouttes

Relation $Z - R_r$

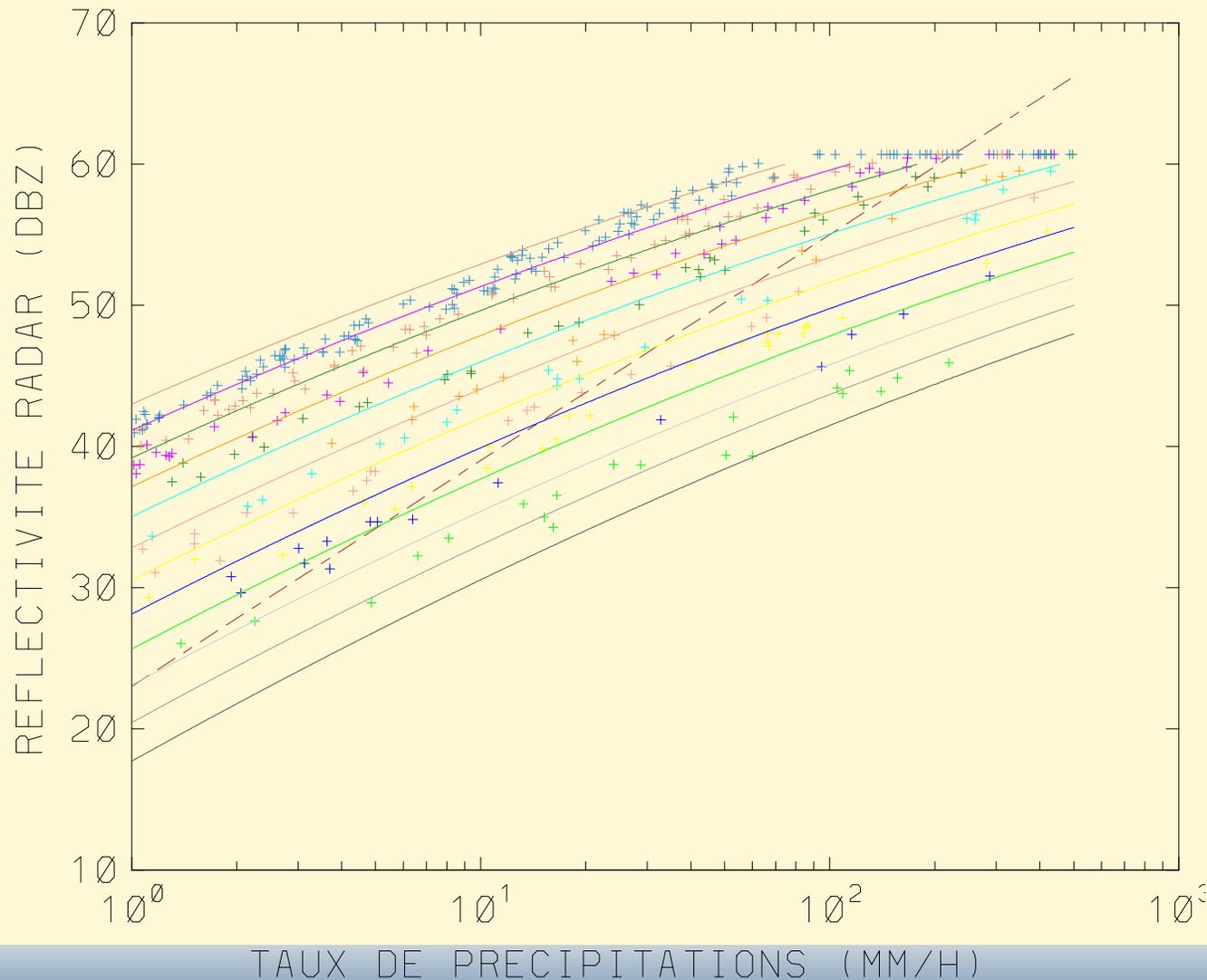
Résultats du radar

Radar Doppler

FIN

Relation $Z - R_r$

La valeur de la réflectivité Z est tracée en fonction du taux de précipitations R_r simultanément déduit de distributions de gouttes simulées par tirage aléatoire.



Radar météorologique

Hydrologie avec un radar

Mesure de la pluie

Pluviomètre

Disdromètre

Spectres de gouttes

Relation $Z - R_r$

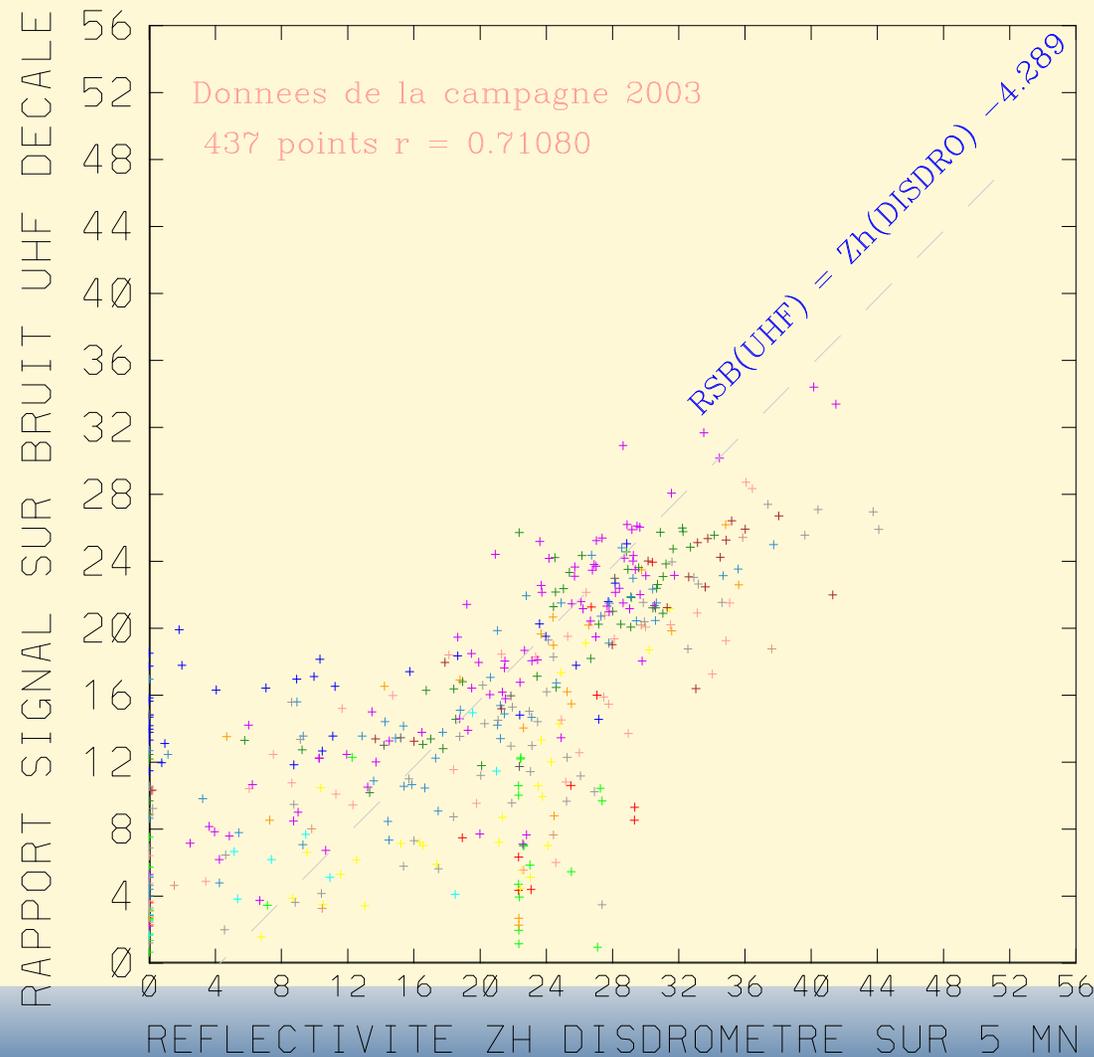
Résultats du radar

Radar Doppler

FIN

Résultats du radar

La valeur de la réflectivité Z mesurée par le radar est tracée en fonction du taux de précipitations R_r mesuré au sol par un disdromètre.



Radar météorologique

Hydrologie avec un radar

Mesure de la pluie

Pluviomètre

Disdromètre

Spectres de gouttes

Relation $Z - R_r$

Résultats du radar

Radar Doppler

FIN

Radar Doppler

Radar météorologique

Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

Effet Doppler

Spectres Doppler

Ajustement des spectres

Différents faisceaux

Vent horizontal

Vitesse verticale

Détection de la tropopause

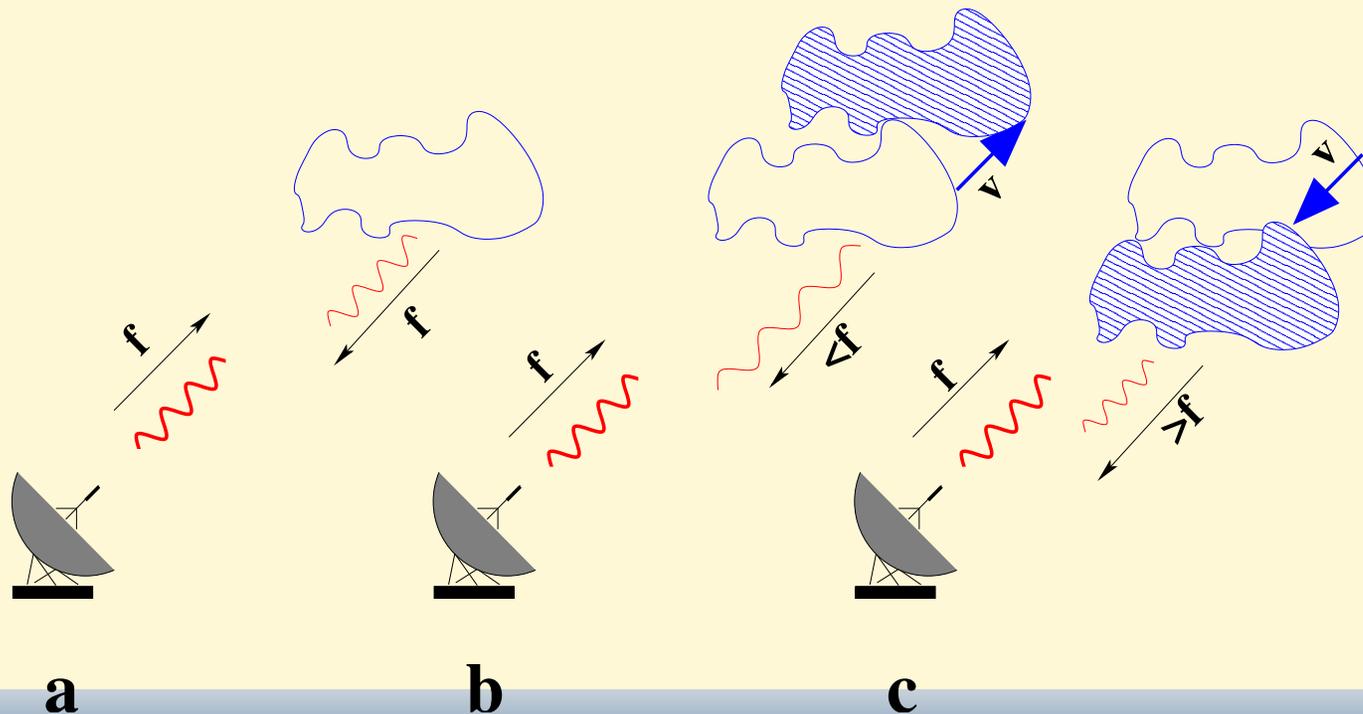
Variation du bruit cosmique

FIN

Effet Doppler

L'onde électromagnétique du radar subit un changement de fréquence lors de son interaction avec la « cible » dû au déplacement de celle-ci.

Ce changement est proportionnel à la vitesse radiale projetée.



Radar météorologique

Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

Effet Doppler

Spectres Doppler

Ajustement des spectres

Différents faisceaux

Vent horizontal

Vitesse verticale

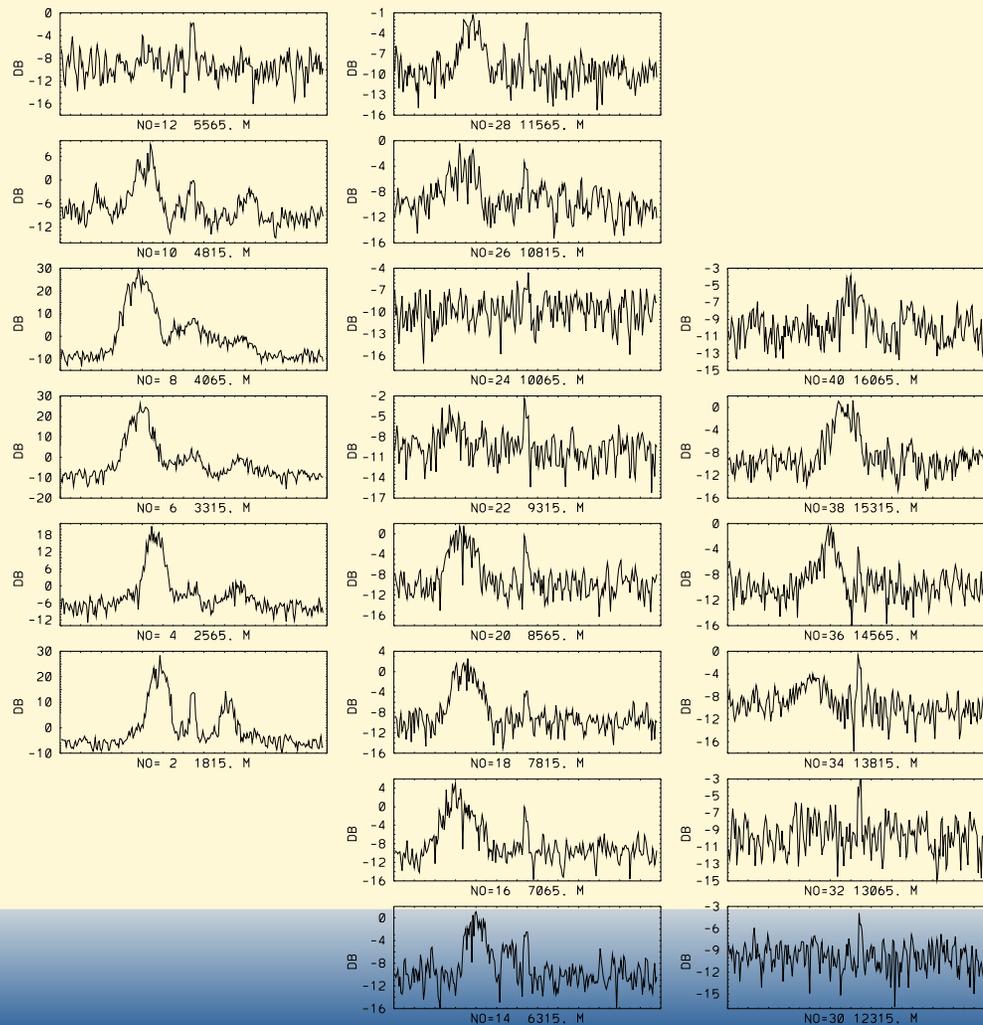
Détection de la tropopause

Variation du bruit cosmique

FIN

Spectres Doppler

Exemples de spectres en puissance du signal Doppler obtenus par le radar VHF, tous les 750 m d'altitude (une porte sur 2) et tracés en échelles semi-logarithmiques en fonction de la fréquence :



Radar météorologique

Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

Effet Doppler

Spectres Doppler

Ajustement des spectres

Différents faisceaux

Vent horizontal

Vitesse verticale

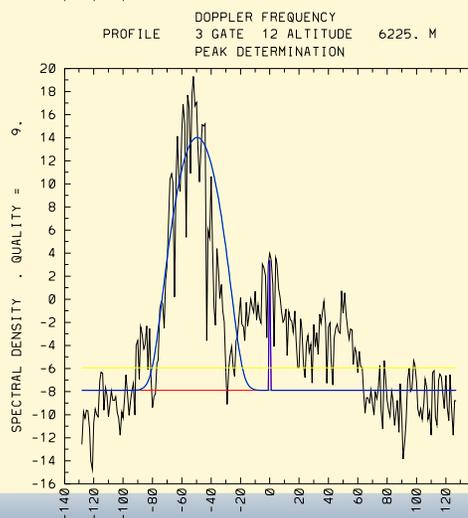
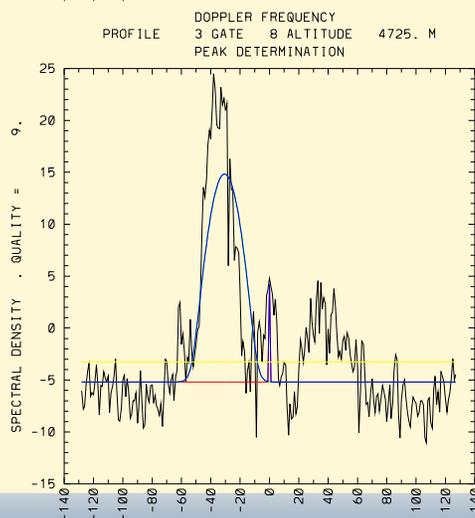
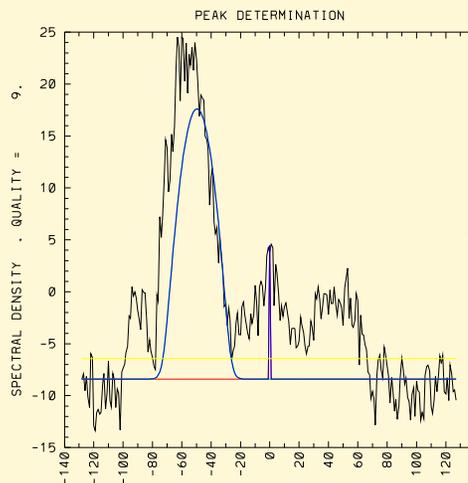
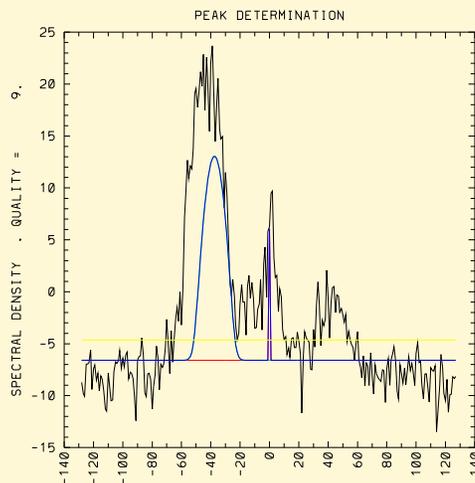
Détection de la tropopause

Variation du bruit cosmique

FIN

Ajustement des spectres

Ajustement des spectres en puissance par une parabole tracée en bleu, dont les caractéristiques donnent : la vitesse moyenne du vent, la réflectivité, et le niveau de turbulence.



Radar météorologique

Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

Effet Doppler

Spectres Doppler

Ajustement des spectres

Différents faisceaux

Vent horizontal

Vitesse verticale

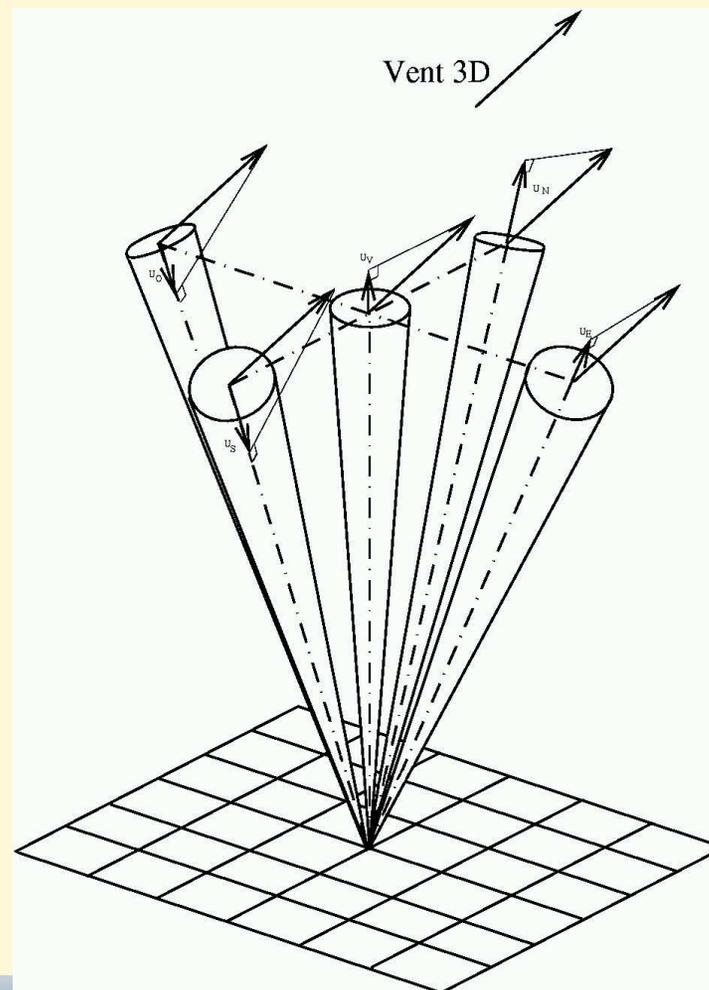
Détection de la tropopause

Variation du bruit cosmique

FIN

Différents faisceaux

L'énergie émise est focalisée successivement dans 5 faisceaux séparés, mesurant 5 valeurs de la vitesse radiale, permettant d'estimer les 3 composantes du vent.



Radars météorologiques

Hydrologie avec un radar

Radars Doppler

Effet Doppler

Spectres Doppler

Ajustement des spectres

Différents faisceaux

Vent horizontal

Vitesse verticale

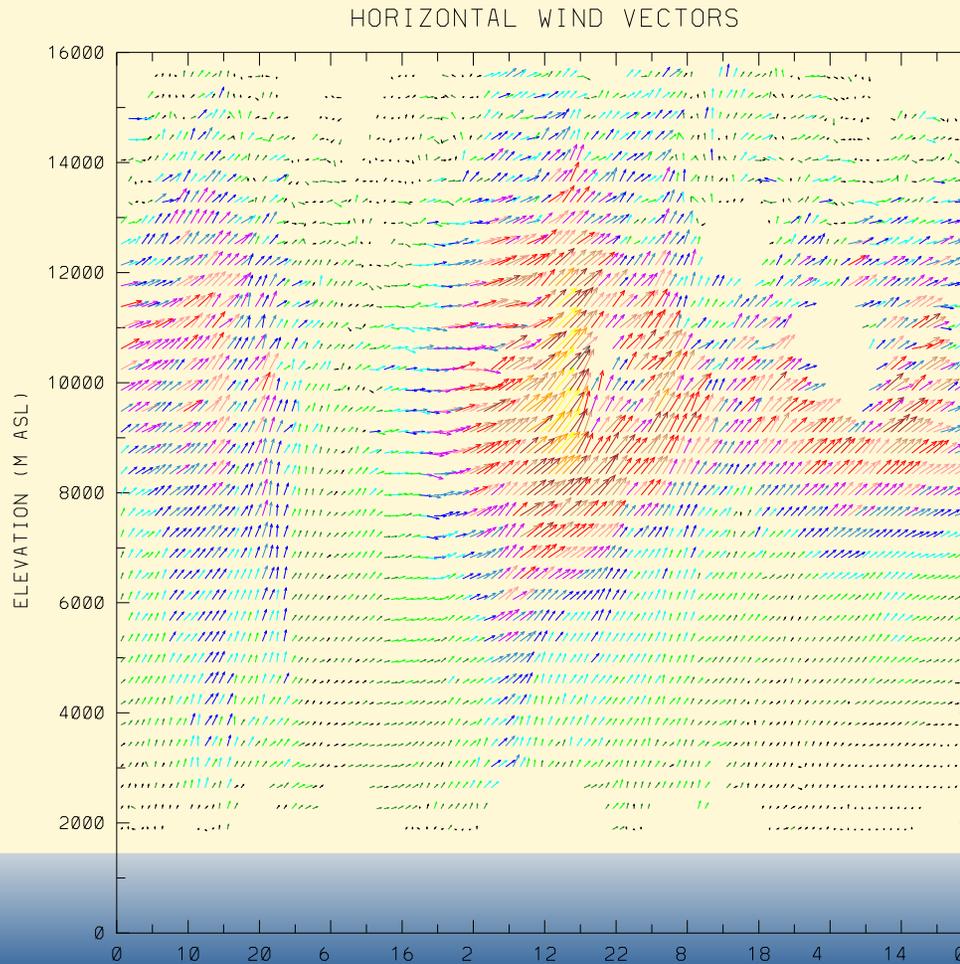
Détection de la tropopause

Variation du bruit cosmique

FIN

Vent horizontal

Chaque vecteur représente la force (longueur et couleur du vecteur) et la direction par rapport au nord (direction de la flèche) du vent horizontal au temps correspondant à l'abscisse du pied du vecteur, et à l'altitude correspondant à son ordonnée.



Radar météorologique

Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

Effet Doppler

Spectres Doppler

Ajustement des spectres

Différents faisceaux

Vent horizontal

Vitesse verticale

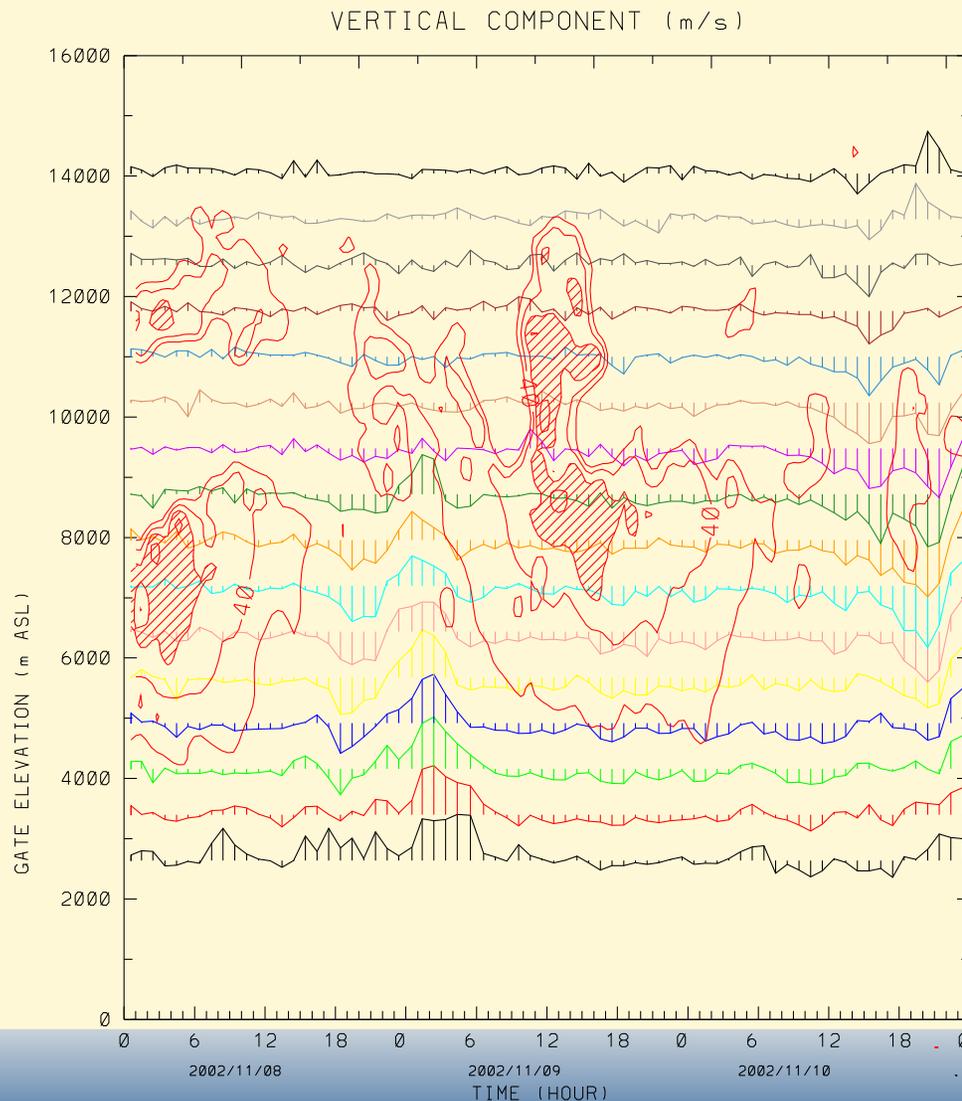
Détection de la tropopause

Variation du bruit cosmique

FIN

Vitesse verticale

Évolution temporelle de la vitesse verticale à différentes portes tracées à l'altitude correspondante :



Radar météorologique

Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

Effet Doppler

Spectres Doppler

Ajustement des spectres

Différents faisceaux

Vent horizontal

Vitesse verticale

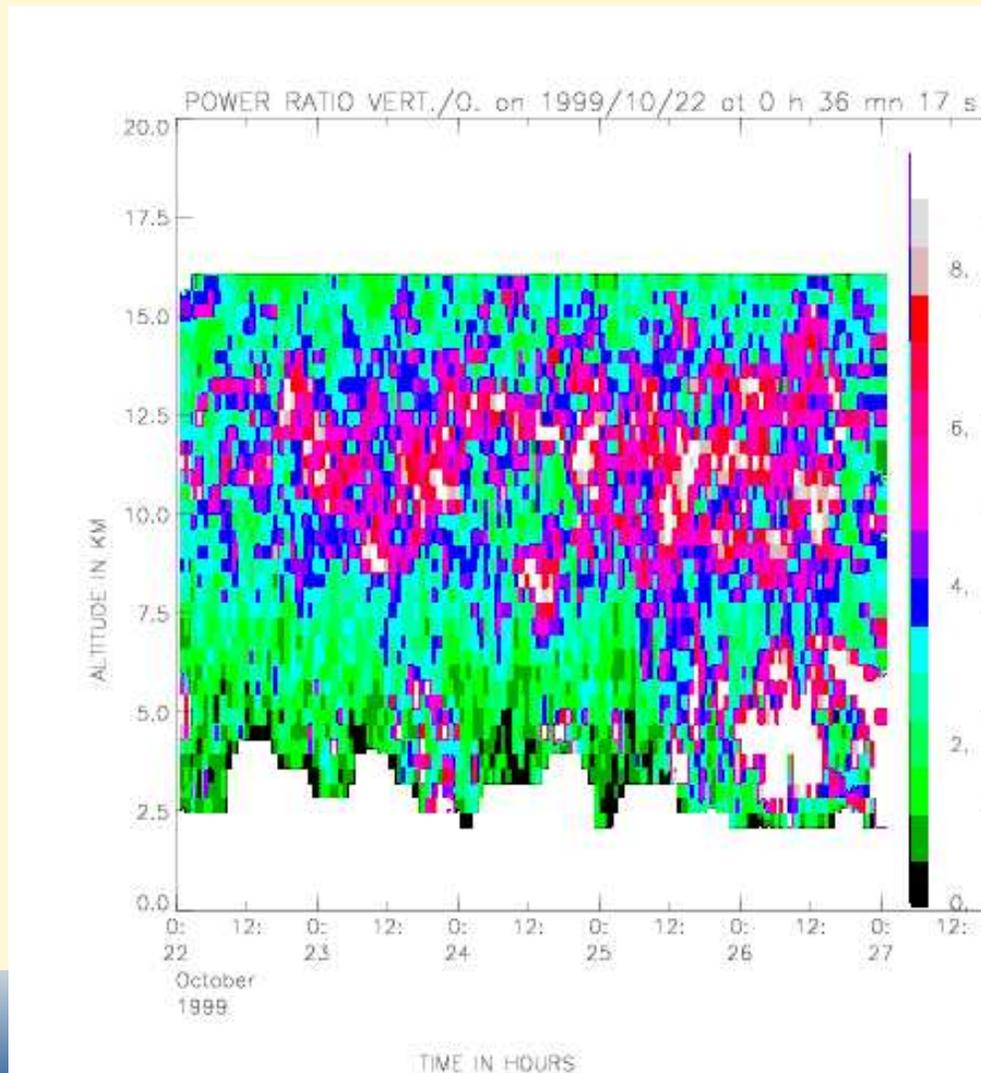
Détection de la tropopause

Variation du bruit cosmique

FIN

Détection de la tropopause

Le rapport $\frac{P_v}{P_o}$ (Puissance mesurée par l'antenne verticale sur celle des antennes obliques) indique l'air plus stable (généralement d'origine stratosphérique), en particulier le 26/10/1999 vers 12 h et 4 km.



Radar météorologique

Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

Effet Doppler

Spectres Doppler

Ajustement des spectres

Différents faisceaux

Vent horizontal

Vitesse verticale

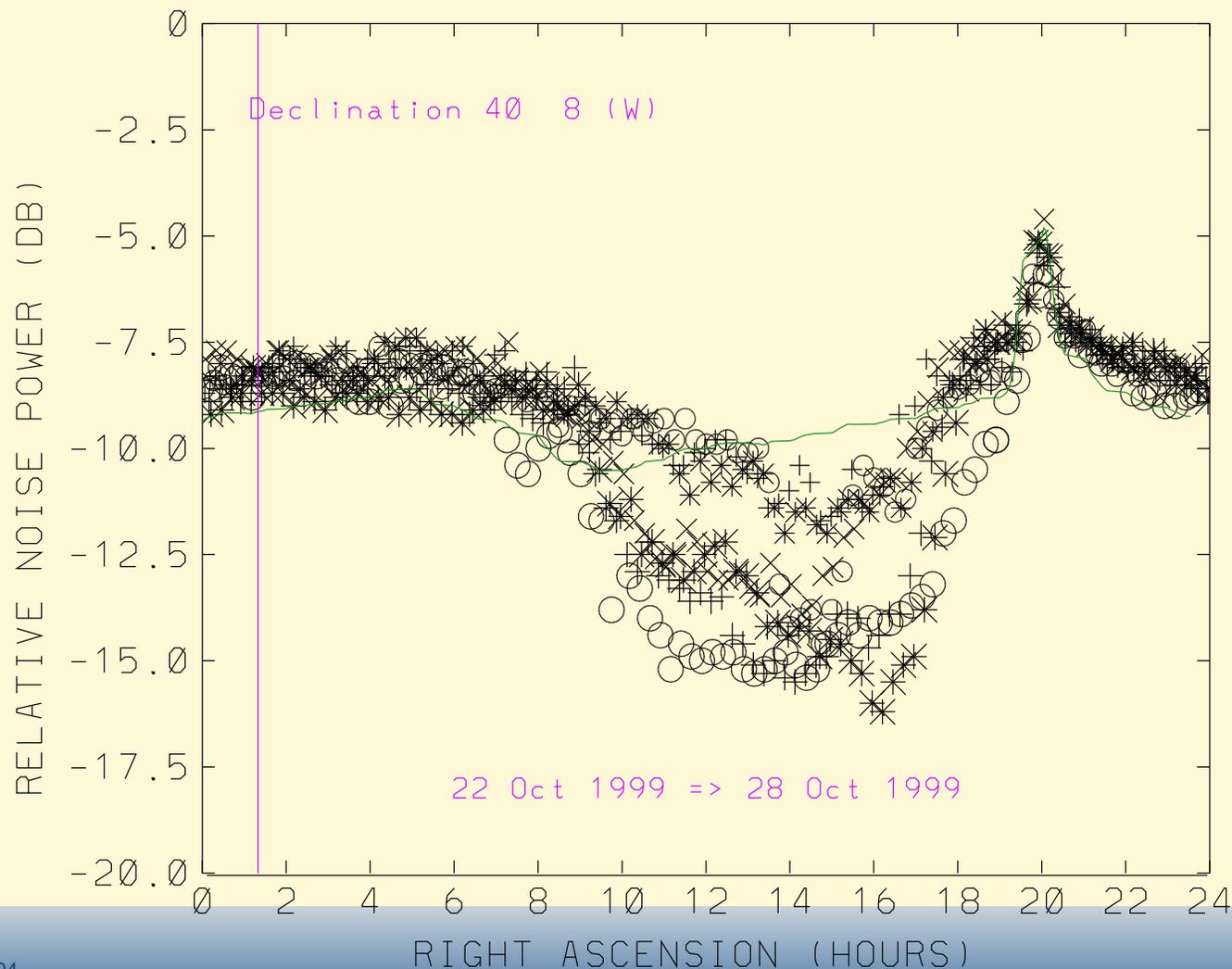
Détection de la tropopause

Variation du bruit cosmique

FIN

Variation du bruit cosmique

Le bruit mesuré par les antennes varie au cours de la rotation de la terre car des sources cosmiques émettent fortement à cette longueur d'onde. Ainsi, le Cygne augmente le bruit reçu par le faisceau ouest vers 20 h.



Radar météorologique

Hydrologie avec un radar

Radar Doppler

Effet Doppler

Spectres Doppler

Ajustement des spectres

Différents faisceaux

Vent horizontal

Vitesse verticale

Détection de la tropopause

Variation du bruit cosmique

FIN

FIN

[Radar météorologique](#)

[Hydrologie avec un radar](#)

[Radar Doppler](#)

FIN