



# RADIOASTRONOMIE

## Observations @ 21 cm

J-J. MAINTOUX – F1EHN

Seigy, Avril 2016

# Radioastronomie @ 21cm

- Types de signaux à recevoir
- RT @ 21 cm
- Traitements des signaux mis en œuvre
- Méthodes de mesure
- Résultats attendus
- L'hydrogène dans notre galaxie
  - Rayonnement H1 à 21 cm
  - Géométrie de la galaxie et effet Doppler-Fizeau
  - Vitesse de rotation dans la galaxie
  - Cartographies radio et 2D des masses d'hydrogène.
- M31 – Galaxie d'Andromède
- M33 – Galaxie du Triangle
- Pulsar B0329+54
- Bibliographie et sites web utilisés pour cette note

# Type de signaux à recevoir

## ■ Puissance des signaux

L'unité utilisée en radioastronomie est le Jansky (radioastronome)

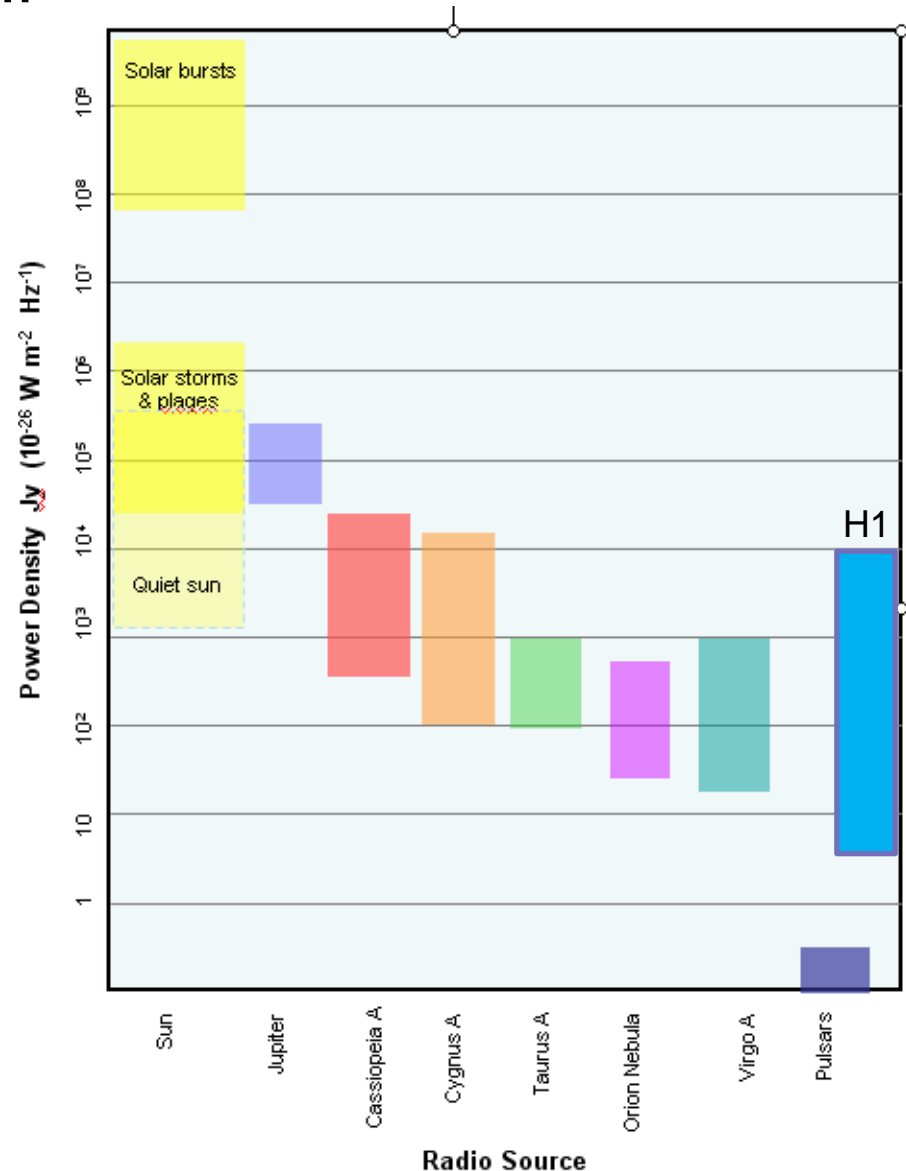
$$1 \text{ Jansky} = 1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W/m}^2/\text{Hz}$$

Le tableau ci-contre montre l'étendue des signaux pour quelques principales « radiosources » accessibles à une station amateur

Radiosources : définition Wikipedia

« En astrophysique, une radiosource est un objet céleste qui émet une grande quantité d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique dans la bande de fréquence des ondes radio.

Parmi les radiosources les plus notables, on trouve les quasars, les pulsars, les radiogalaxies, les rémanents de supernova, les centres galactiques. **L'étude des radiosources est la radioastronomie** »



# Type de signaux à recevoir

## ■ Mécanismes d'émission

- Bruit thermique – Corps noirs, Gaz ionisés...
- Non thermique – Rayonnement synchrotron, cyclotron
- Raies d'émission discrète (atomes/molécules)

**Émission radios**

**Sous forme de nuage de mots**

*Par chauffage*

# Corps Noir

Friction (vent solaire, plasma, humains...)

*Par transitions atomiques/moléculaires*

# HI

Les autres

*Par accélération/pompage*

# Synchrotron

cyclotron

MASERS

bizareries

Free-free

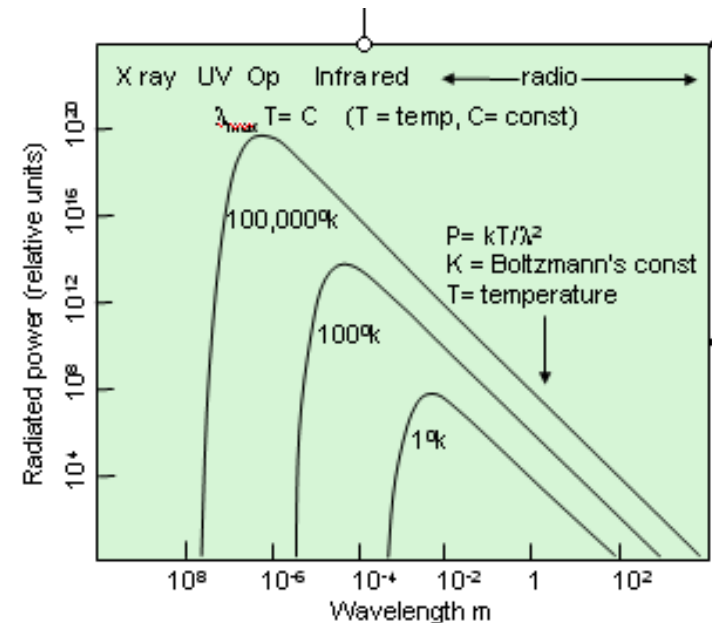
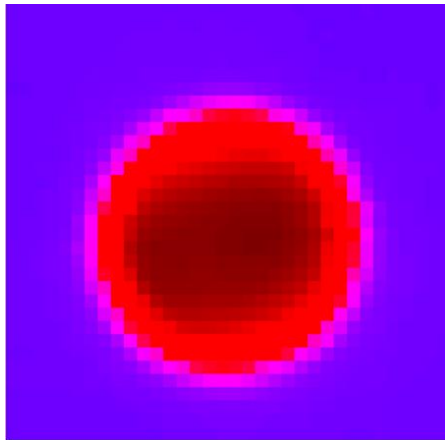
# Type de signaux à recevoir

## ■ Bruit thermique (par chauffage)

- Corps noir : loi de Planck et Rayleigh-Jeans pour les longueurs d'onde qui nous intéressent  $P = kT/\lambda^2$  ( $\lambda < \lambda_{max}$ )
  - Spectre continu (continuum)
  - => pas de raies discrètes

Corps noir proche :

La Lune (corps noir chaud à env 200K)

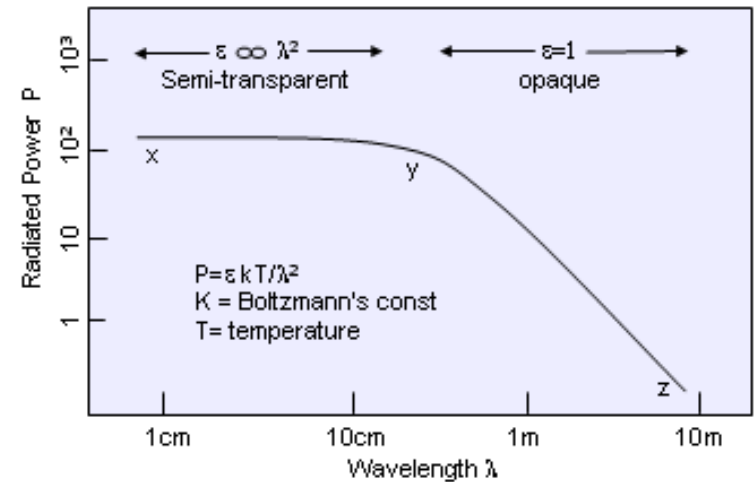
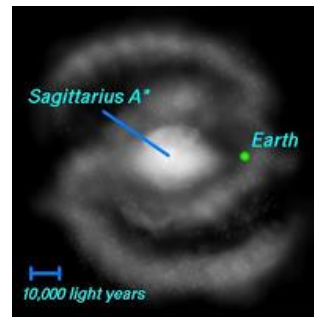


# Type de signaux à recevoir

## ■ Bruit thermique

- Gaz ionisés : Egalement décrit par la loi de Rayleigh-Jeans pour les longueurs d'onde qui nous intéressent  $P = \epsilon kT/\lambda^2$

- Spectre continu
- Sagittarius A =>
- Nébuleuse d'Orion



## ■ Bruit non-thermique (par accélération)

- Le rayonnement synchrotron est un rayonnement électromagnétique émis par une particule chargée qui se déplace dans un champ magnétique et dont la trajectoire est déviée par ce champ

- Spectre continu
- Nébuleuse du crabe =>
- Cassiopée
- Vierge

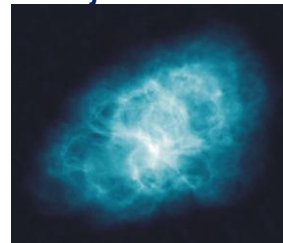
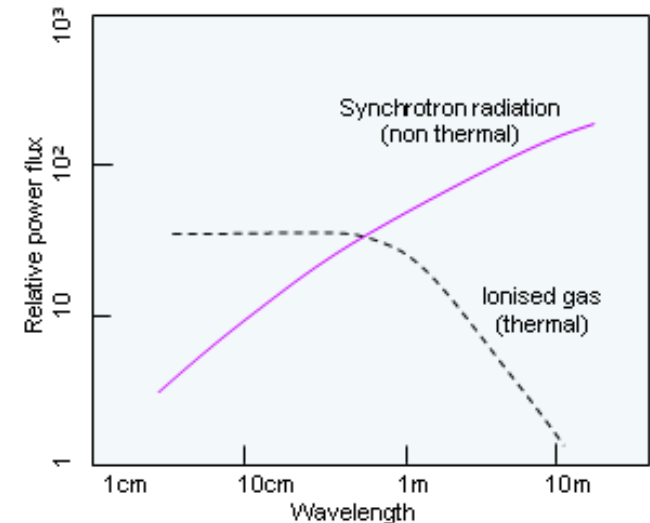


Image NRAO/AUI and M. Bietenholz @ 5GHz

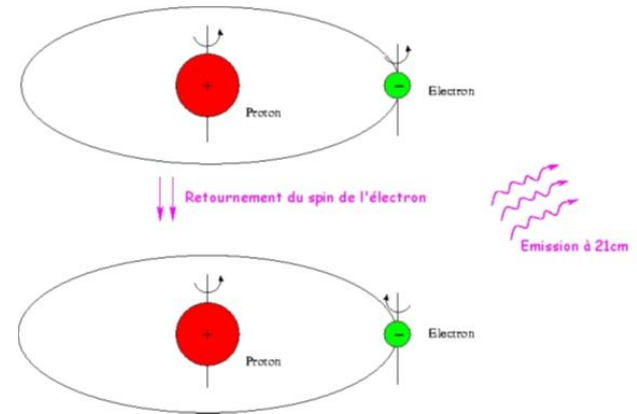


# Type de signaux à recevoir

- Raies discrètes

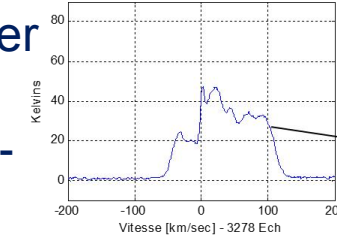
- 21 cm : le plus abondant
- Quelques raies spectrales

Atom/Molecule	Line Name	Rest frequency (GHZ)
HI	neutral hydrogen	1.420405752
OH	hydroxyl radical	1.6122310
OH	hydroxyl radical	1.6654018
OH	hydroxyl radical	1.6673590
OH	hydroxyl radical	1.7205300
H <sub>2</sub> CO	ortho-formaldehyde	4.829660
CH <sub>3</sub> OH	methanol	6.668518

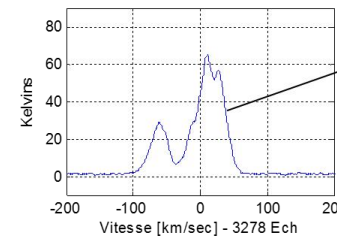


- L'analyse spectrale permet d'apporter une information complémentaire grâce à la mesure de l'effet Doppler-Fizeau

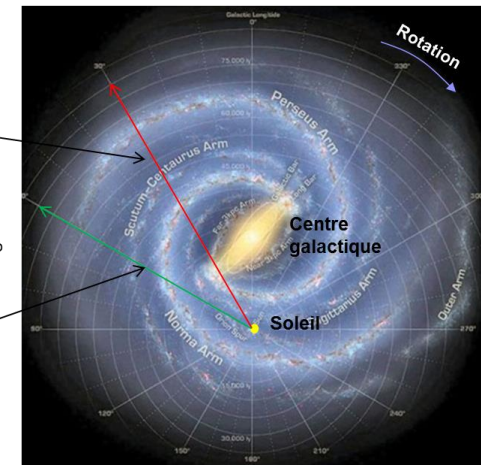
lde galactique28° - Spectre moyenné sur 4096 FFT, normalis



galactique60° - Spectre moyenné sur 4096 FFT, no



l = Longitude galactique

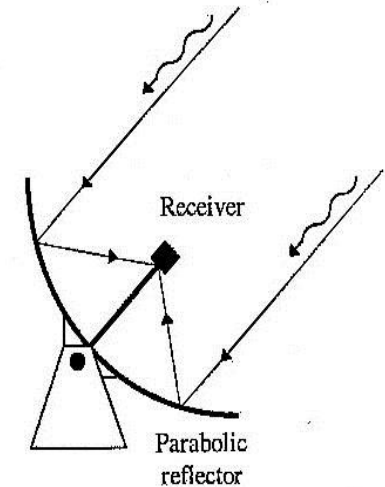


Lignes de visée : → →

# Quelques caractéristiques d'un radiotélescope

- Sensibilité proportionnelle à  $D^2$

- Résolution proportionnelle à  $\lambda/D$

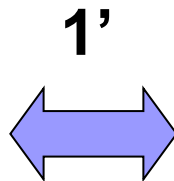


- Avec  $D$  = Diamètre du réflecteur et  $\lambda$  = longueur d'onde

- **En optique : Pupille humaine :**

- $\lambda \sim 10^{-3}$  mm

- $D = 5$  mm





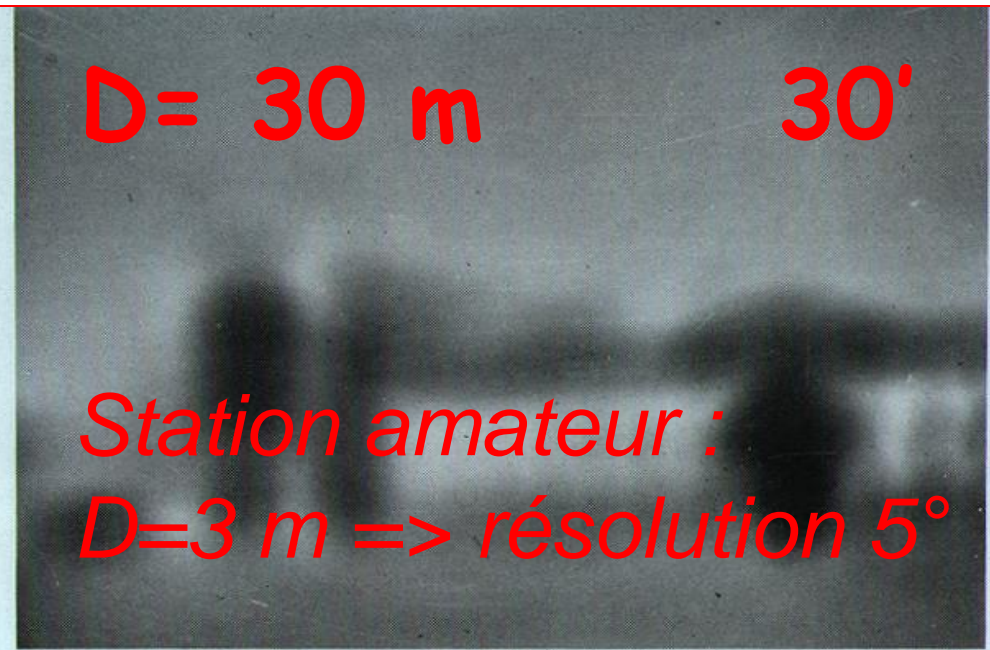
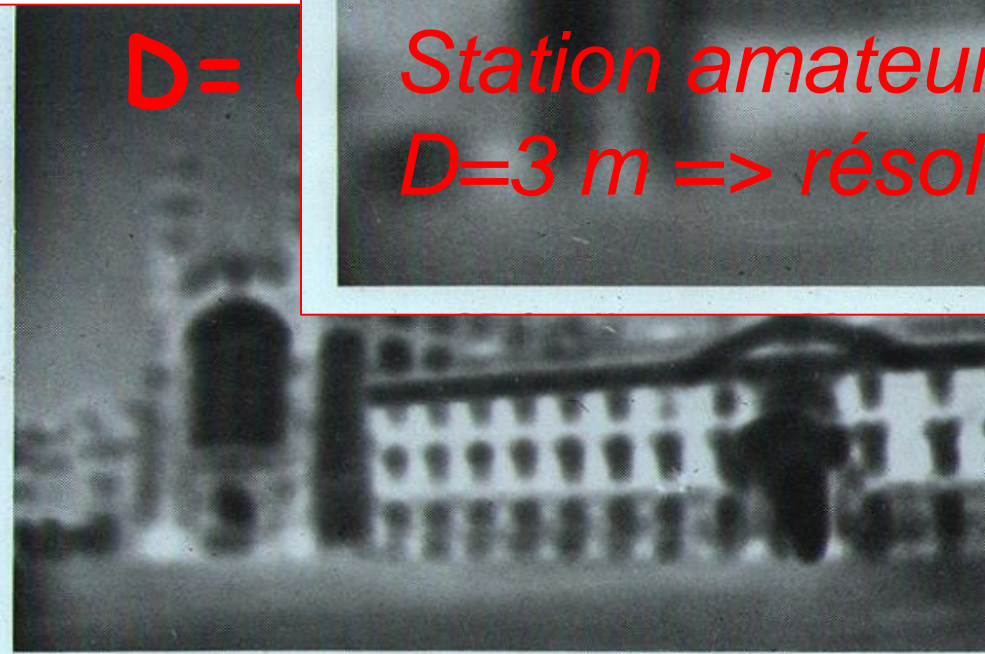
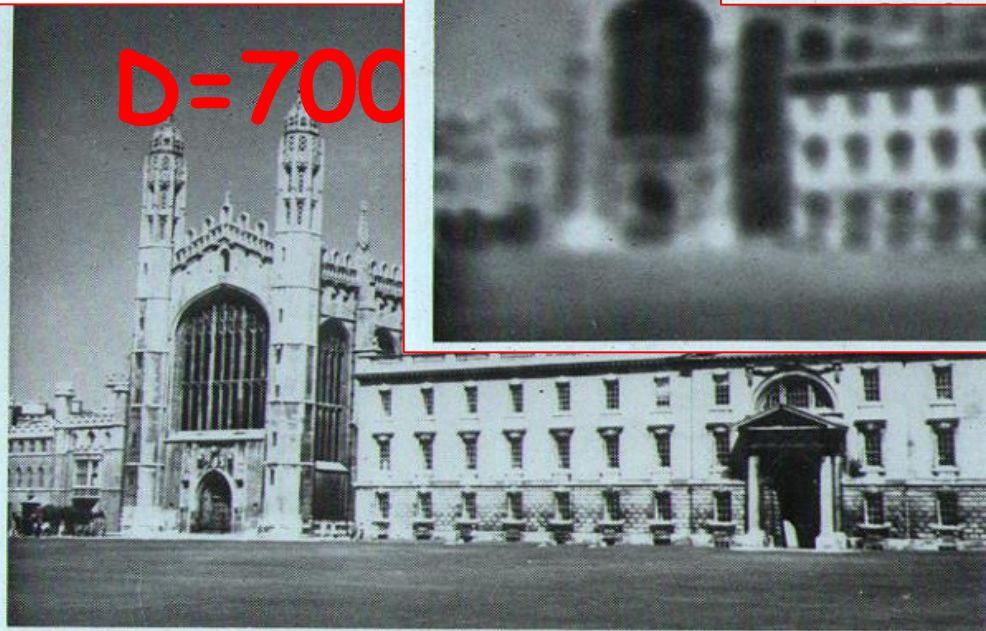
- En radio à 21 cm

$D = 30 \text{ m}$        $30'$

*Station amateur :*  
 $D = 3 \text{ m} \Rightarrow \text{résolution } 5^\circ$

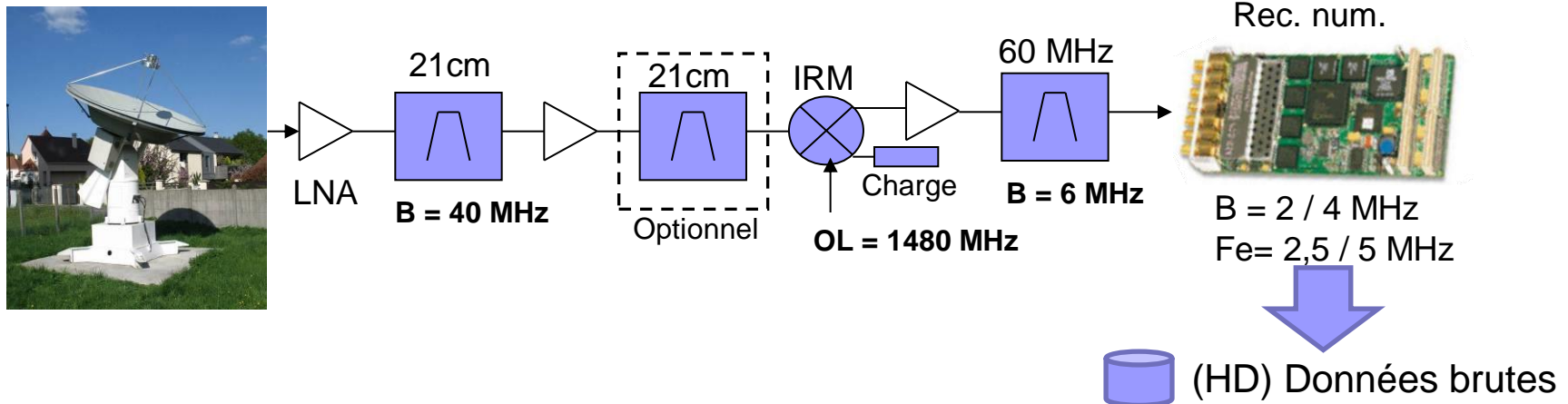
$D =$

$D = 700$



# Données brutes - exemple

- Chaîne de réception et d'acquisition de données (Exemple)
  - Acquisition des données selon différentes bandes passantes (B) en fonction de l'application.
  - La durée d'acquisition « T » est dépendante de l'objet observé selon la formule de sensibilité de détection couramment utilisée :  $Sd = \frac{T_{sys}}{\sqrt{Bw*T}}$
  - Bw est la bande passante finale nécessaire au traitement du signal reçu (dépend de l'information recherchée et du type de mesure)



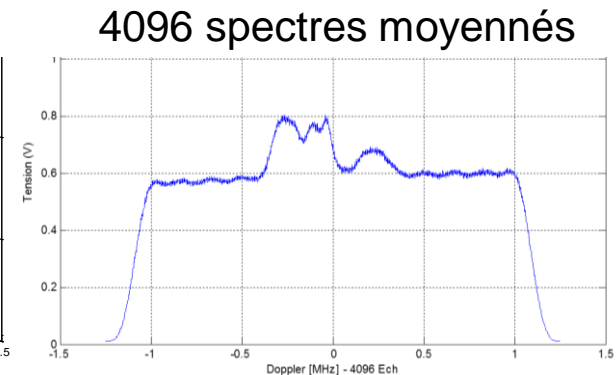
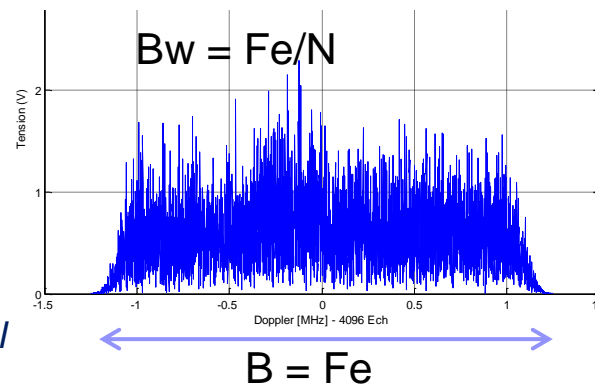
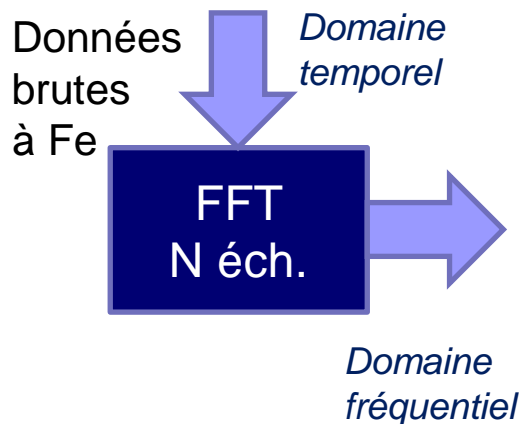
# Réduction et interprétation des données

## ■ Définition - Principe

- Les données brutes sont donc issues du récepteur du radiotélescope pour être stockées et leur appliquer les traitements souhaités.
- Ces données correspondent à différentes mesures effectuées suivant les méthodes employées (voir plus bas)
- Ces données contiennent donc des informations :
  - De calibration ou de référence en vue de corriger les biais et les défauts de réponse de l'instrument
  - De mesures qui permettront de délivrer alors les résultats recherchés
  - Ces données diffèrent suivant les signaux à analyser (en fonction de l'objet, de la précision recherchée, de la bande de fréquence observée...)
- La réduction de données consiste à extraire les informations d'intérêt à partir du flux de données brutes. Puis de les interpréter.
- Une réduction de données courantes consiste à comparer une nouvelle information (mesure) à une information mémorisée (référence)

# Traitements pour la réduction de données

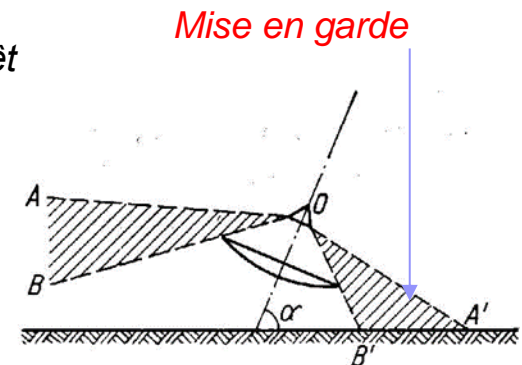
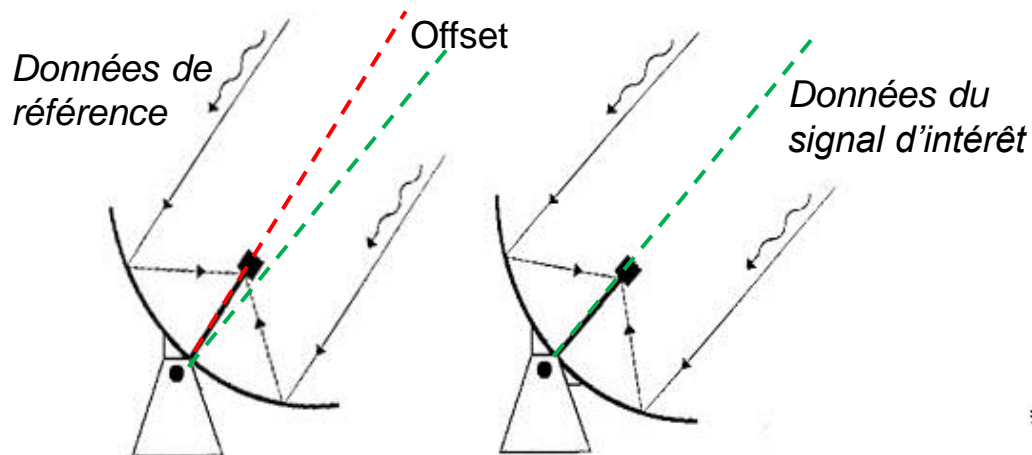
- Les signaux du type « continuum » sont généralement traités à partir des échantillons temporels des données brutes (comme par exemple pour une éclipse de soleil). L'amplitude des signaux est directement exploitée.
- Pour les signaux de type « raies discrètes », la résolution vitesse recherchée en fonction de l'objet est obtenue à l'aide d'un outil mathématique FFT (transformée de Fourier Rapide). Un spectre est issu de chaque bloc de données FFT. Un grand nombre de spectres permet d'obtenir la sensibilité recherchée (temps d'observation)
- Bw est alors la bande passante nécessaire à la résolution de la mesure vitesse telle que  $Bw = \frac{\text{résolution}}{\lambda}$  soit par exemple env 610 Hz pour une résolution de 128 m/s correspondant à une FFT N=4096pts (ou 4K) pour Fe= 2,5 MHz



# Méthode de mesures

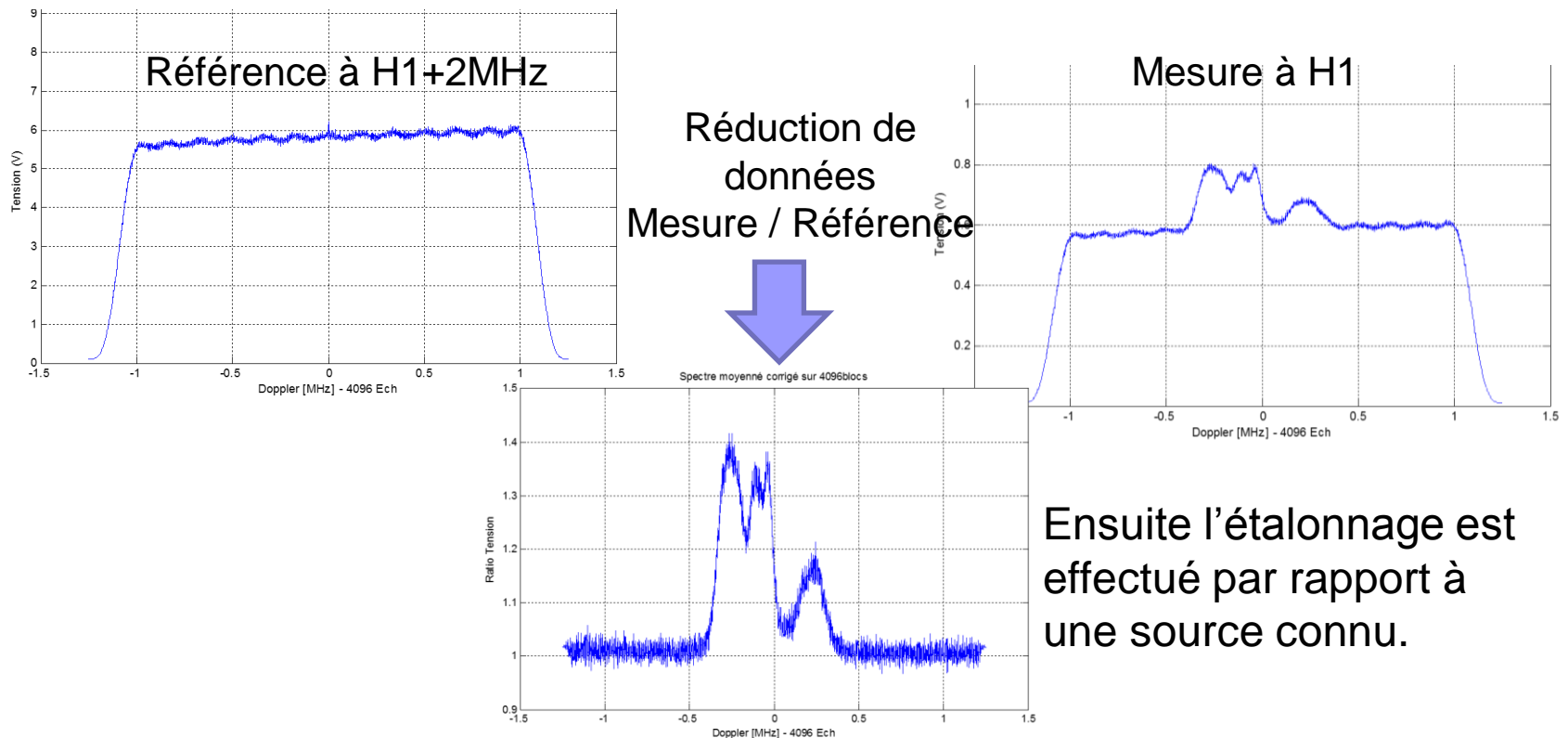
## ■ Principe

- En radioastronomie, les observations mettent couramment en œuvre une méthode de mesures différentielles ou double pesée, consistant à :
  - Mesure d'une référence (hors signal d'intérêt)
  - Mesure du signal d'intérêt
  - Différence ou Ratio des 2 mesures (réduction de données)
  - Interprétation des données pour analyser le phénomène observé.
- Cette méthode est applicable pour les signaux de type continuum (thermique ou non thermique) et pour les raies d'émissions discrètes :
- Pour les signaux de type continuum, les 2 mesures (référence / signal) sont effectuées par offset angulaire (2 positions angulaires différentes)



# Méthode de mesures

- Une variante de l'offset angulaire consiste à travailler antenne arrêtée en faisant une référence hors source d'intérêt et en relevant le signal lors du passage de la source d'intérêt devant l'antenne (Transit).
- Pour les signaux de raies discrètes, les 2 mesures (référence / signal) sont effectuées par offset fréquentiel (1 fréquence hors bande de la raie discrète et de son domaine Doppler, 1 fréquence à la fréquence d'intérêt).



Ensuite l'étalonnage est effectué par rapport à une source connue.

# Résultats visés après réduction de données

- Les mesures sont dédiées aux résultats visés. L'interprétation des données réduites conduisent à ces résultats.
- Rayonnements thermiques et non thermiques
  - Détection de radiosources
  - Détermination de leurs natures en fonction des mesures
    - Type de rayonnement en fonction de la fréquence (Corps noir, Synchrotron, ....)
  - Période de rotation
  - Eclipse
  - Mesures de la température d'un corps, d'un gaz
  - Etendue de l'objet analysé, Cartographie..
  - Etude de son évolution au fur et à mesure des observations
  - Informations complémentaires des autres observations (visibles, IR, UV, X...)

# Résultats visés après réduction de données

## ■ Raies d'émission discrètes

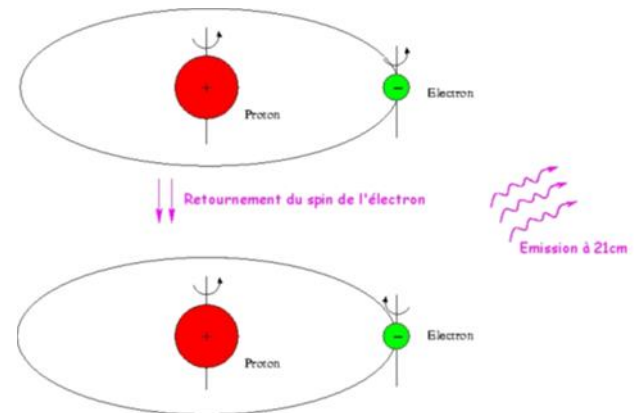
- Détermination de leurs natures en fonction de la longueur d'onde observée
- Ces raies discrètes permettent la mesure de vitesse de déplacement (relatives par effet Doppler-Fizeau)
- Mise en évidence de structures (La plus célèbre est notre Galaxie. Ces raies ont été imaginées par Jan OORT pour révéler notre Galaxie). Le rayonnement de l'hydrogène neutre H1 a été mis en évidence et exploité pour ces mesures. Par la suite cette méthode a été utilisée pour un grand nombre de galaxies avec des télescopes plus grands.
- Mesures de la température du gaz observé révélant les quantités de gaz présente durant l'observation
- Etendue de l'objet, Cartographie..
- Etude de son évolution au fur et à mesure des observations
- Résultats complémentaires d'autres observations (visibles, IR, UV, X...)



# Applications – 21cm

## ■ Notre Galaxie - But

- Mise en évidence de sa structure
- Jan OORT commença son analyse en optique mais les poussières amenaient d'importantes limitations. Il imagina que si un gaz rayonnait une raie discrète il serait possible de mettre en évidence son déplacement (vitesse) par analyse Doppler. En étudiant la rotation différentielle de ces nuages, il serait alors possible de révéler la structure de notre Galaxie).
- Prédiction théorique: H.C. van de Hulst (1944)
- Découverte observationnelle en 1951 (Ewen & Purcell – USA & Muller & Oort – Hollande)

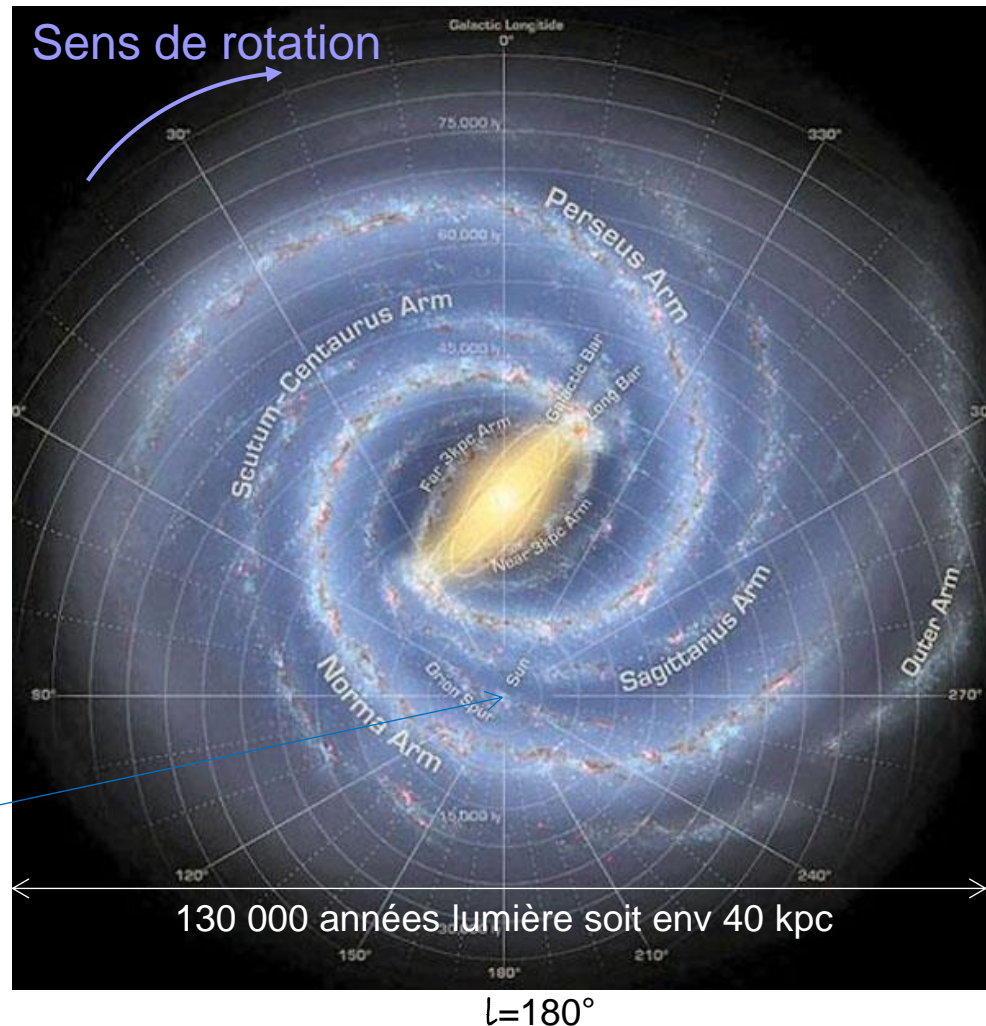


# Applications – 21cm

- Notre Galaxie - Structure
  - Aujourd'hui elle est connue.

$l$  = Longitude galactique

Sens de rotation

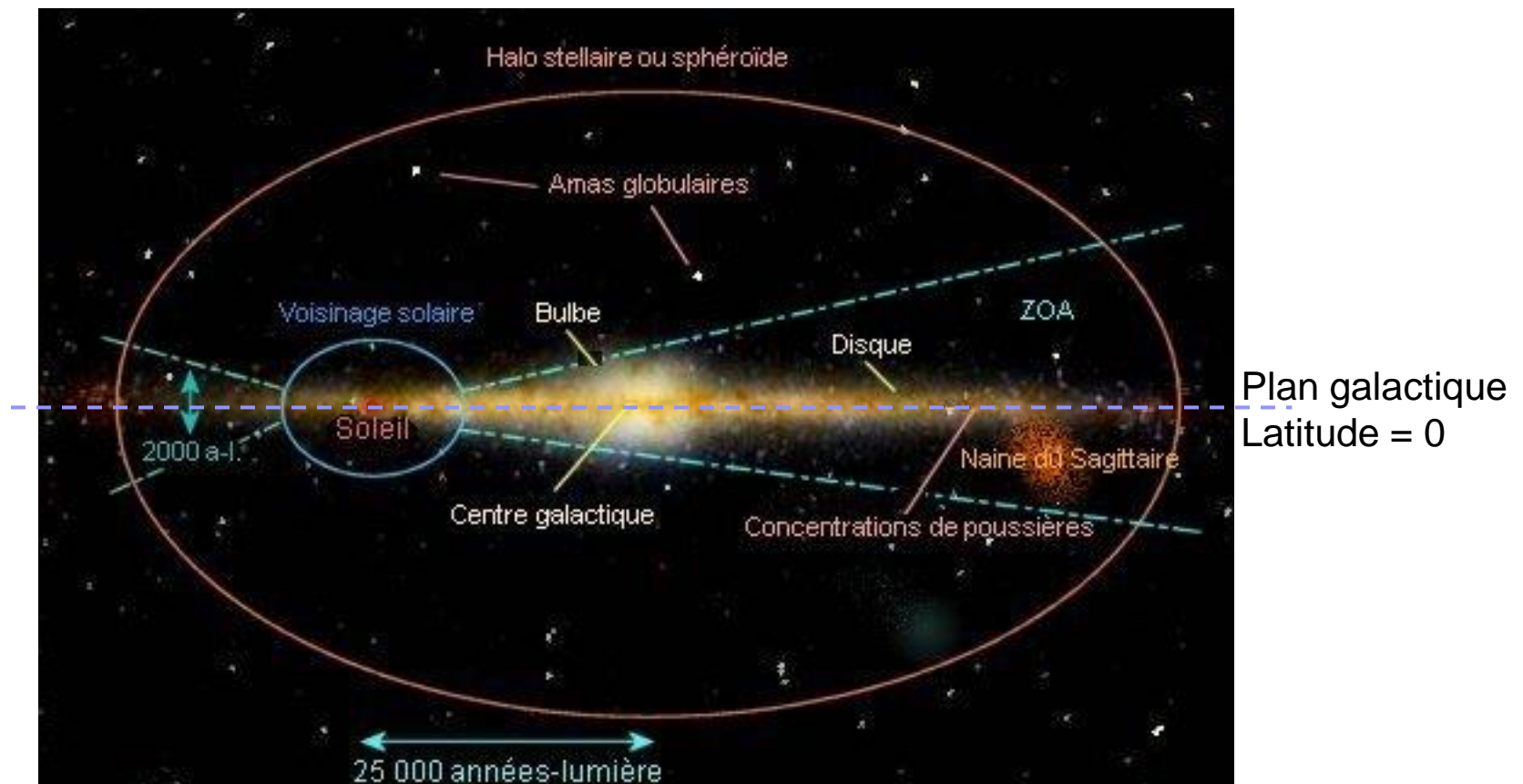


- Notre position dans la galaxie

# Applications – 21cm

## ■ Notre Galaxie - Structure

- Dans un 1<sup>er</sup> temps on se limite au plan galactique mais une étude autour de ce plan peut révéler un gauchissement.



# Applications – 21cm

## ■ Notre Galaxie - Géométrie

$R_o = \text{dist Soleil au Centre Galactique} = 8,5 \text{ kpc}$

$V_o = \text{vitesse du soleil} = 220 \text{ km/s}$

$l = \text{longitude galactique}$

$S = \text{position du soleil}$

$M = \text{Position du nuage de gaz}$

$T = \text{point tangentiel}$

$V_r = \text{vitesse radiale (sur l'axe de visée)}$

$V_r = \text{proj. Vit. } M - \text{proj. Vit. Soleil}$

$V_r = V * \cos(\alpha) - V_o * \sin(c)$

$V_r = V * \cos(\alpha) - V_o * \sin(l)$

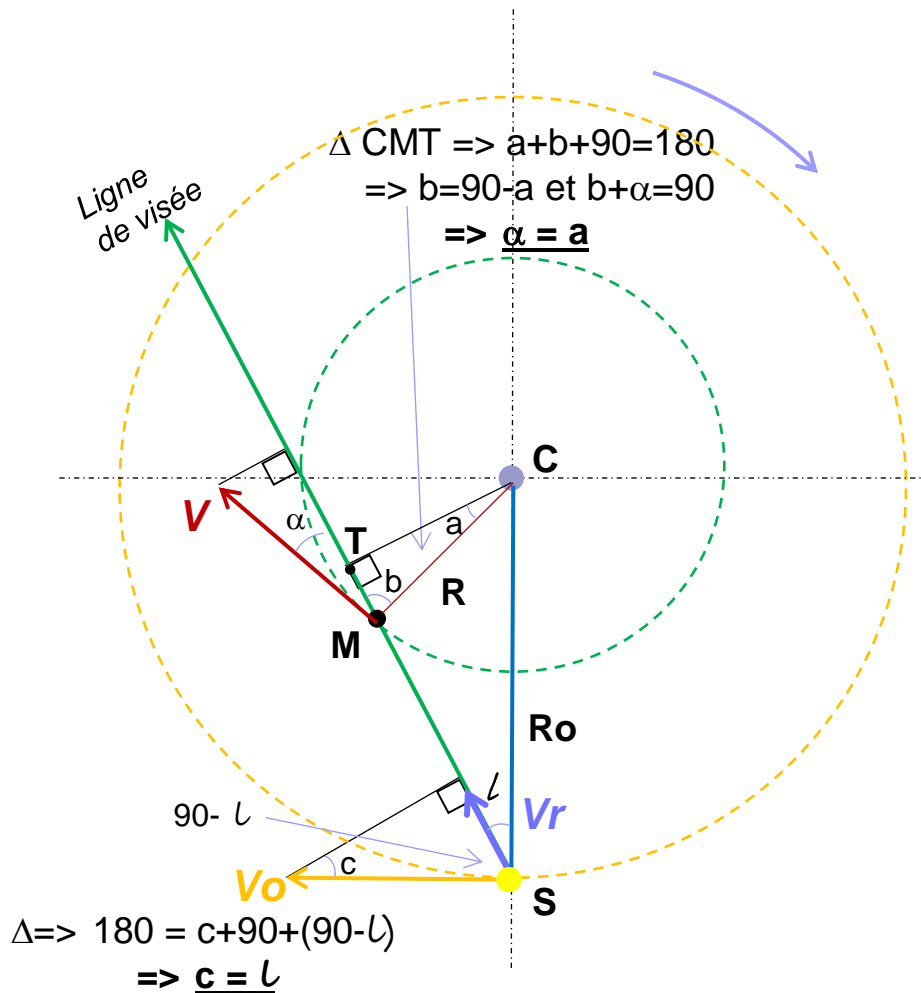
Ecrivons  $CT = R_o * \sin(l) = R * \cos(\alpha)$

soit  $\cos(\alpha) = \frac{R_o}{R} * \sin(l)$

$$\text{Eq1} \Rightarrow V_r = V * \frac{R_o}{R} * \sin(l) - V_o * \sin(l)$$

$V_r$ , la mesure, est exprimée en fonction de  $V$  et de  $R$ , les autres valeurs sont connues.

Certaines constantes  $R_o$ ,  $V_o$  sont apportées par d'autres observations.



# Applications – 21cm

## ■ Notre Galaxie - Rotation

Il peut y avoir de nombreux nuages d'hydrogène le long de la ligne de visée et ainsi obtenir plusieurs constituants spectraux. Le constituant ayant la plus grande vitesse radiale  $V_r$  max se trouve alors au point tangentiel « 3 » où nous observons le vecteur vitesse aligné sur la ligne de visée.

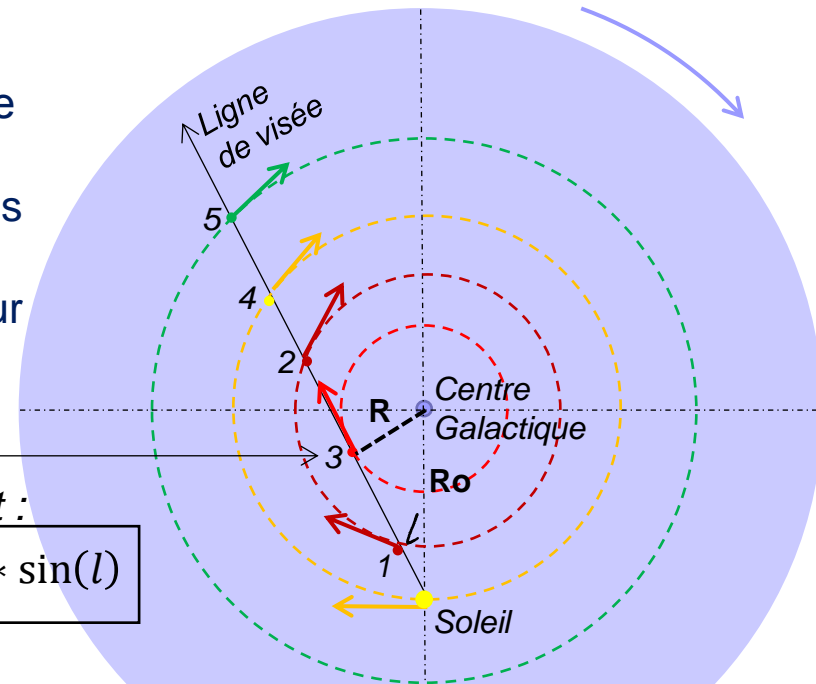
A ce point tangentiel nous avons :  $R = R_0 \cdot \sin(l)$

De Eq1  $\Rightarrow V_r = V \cdot \frac{R_0}{R} \cdot \sin(l) - V_0 \cdot \sin(l)$  on écrit :

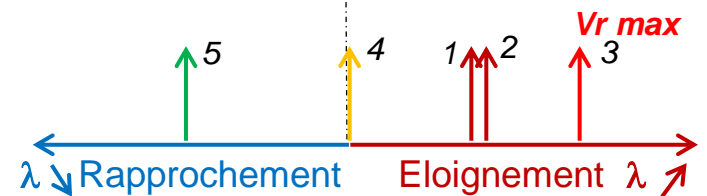
$$V_{r_{max}} = V - V_0 \cdot \sin(l) \Rightarrow \text{Eq2} \quad V = V_{r_{max}} + V_0 \cdot \sin(l)$$

Démarche à suivre :

- ✓ En observant à des longitudes galactiques différentes nous pouvons alors mesurer  $V_r$  max pour différentes valeurs de  $l$  et en déduire la vitesse de rotation  $V$  (courbe de rotation  $V(R)$ )
- ✓ Par la suite, connaissant  $R$  et  $V$  pour chaque  $l$ , nous pourrions localiser chaque nuage sur la ligne de visée et déterminer la structure de notre galaxie.



$$V_r = \text{proj. Vit. H1} - \text{proj. Vit. Soleil}$$

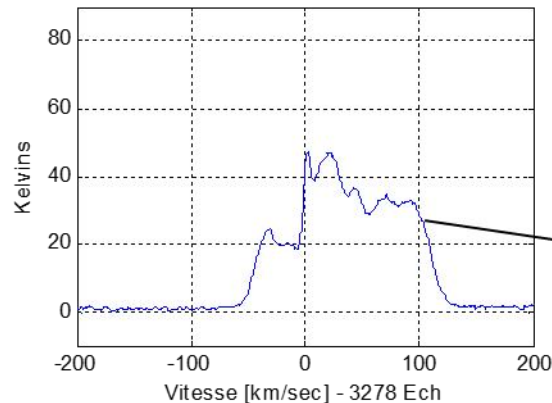


# Applications – 21cm

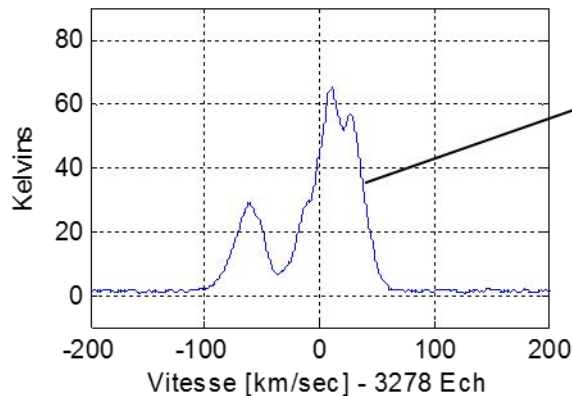
## ■ Notre Galaxie – Principe du relevé

- Le radiotélescope pointe des longitudes galactiques différentes de manière à couvrir le plan galactique visible depuis l'Ile de France

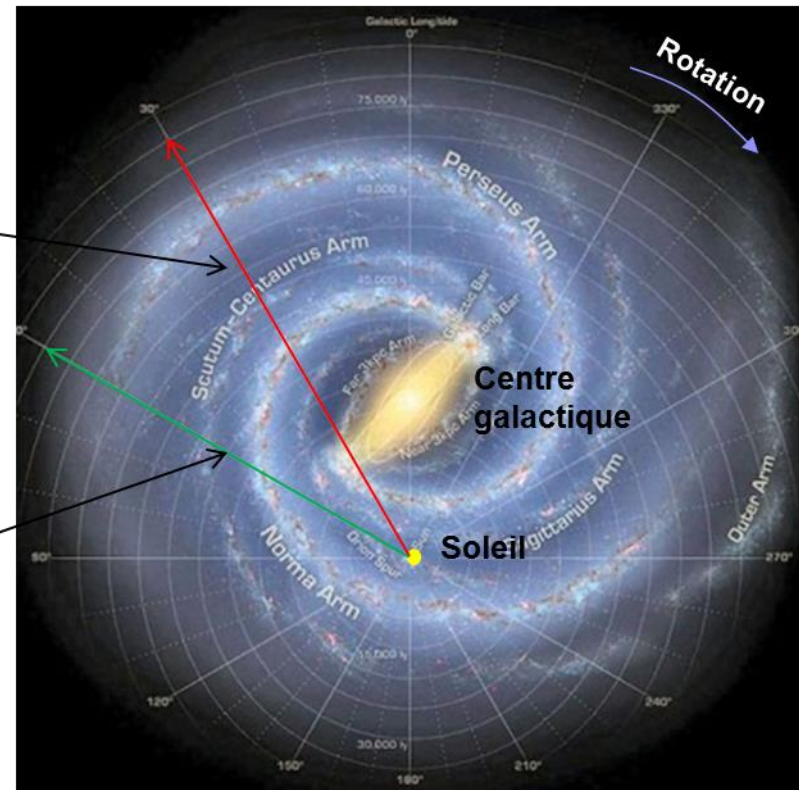
Longitude galactique 28° - Spectre moyenné sur 4096 FFT, normalisé



Longitude galactique 60° - Spectre moyenné sur 4096 FFT, normalisé



l = Longitude galactique

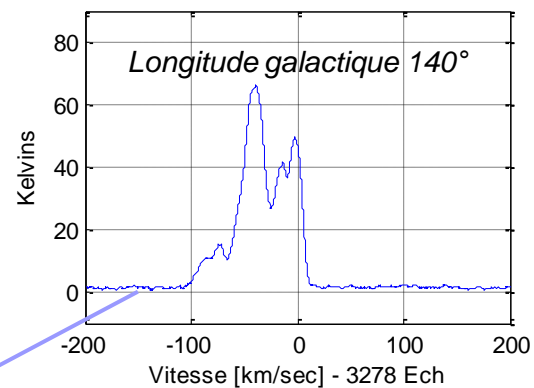
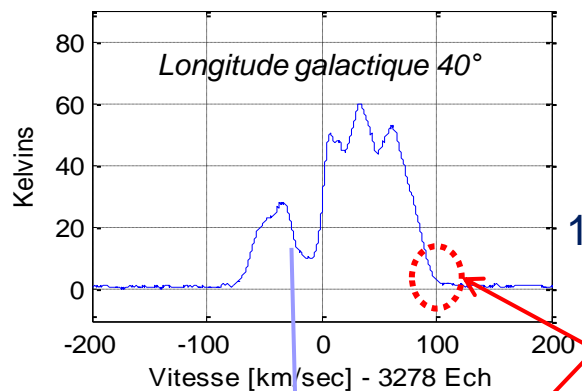


Lignes de visée : → →

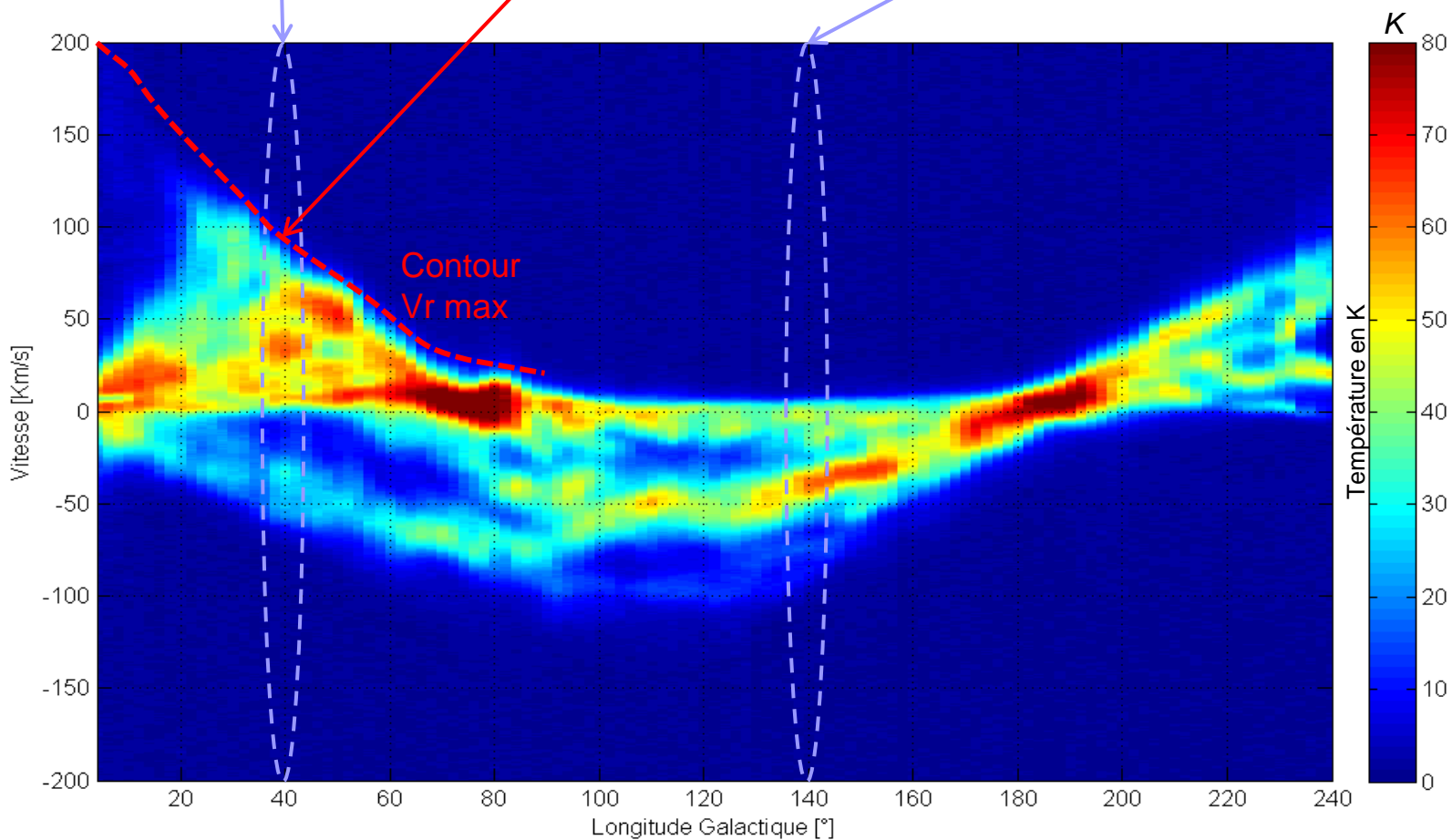
Illustration : voir vidéo => <http://www.youtube.com/watch?v=HGwkZY4E64k>

# Applications 21cm

Cartographie  
119 spectres juxtaposés



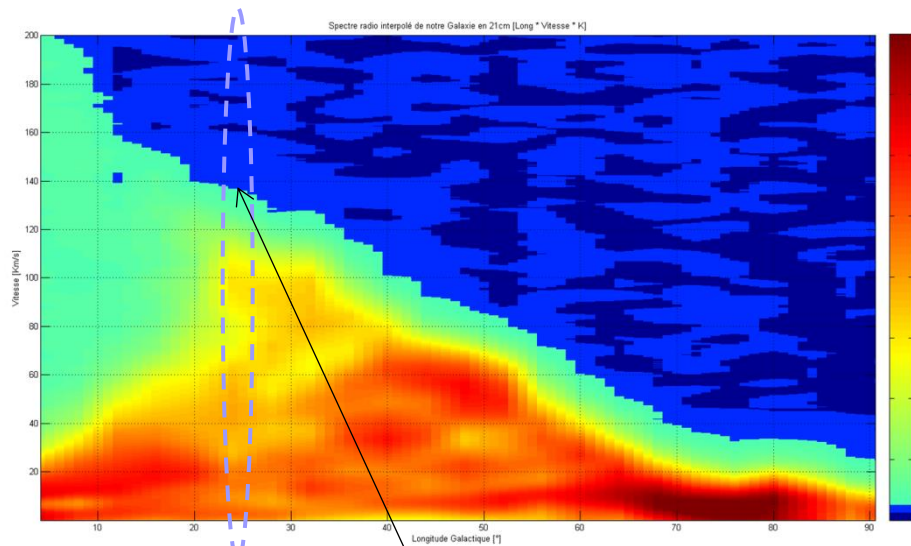
$Vr\_max$   
à  $l = 40^\circ$



# Applications – 21cm

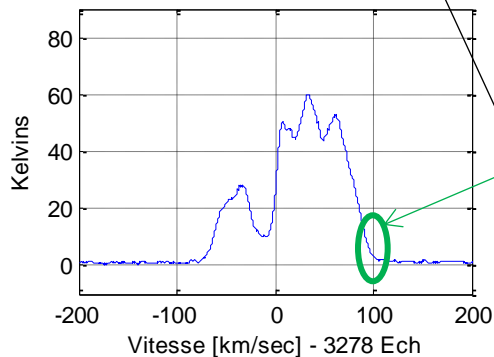
## ■ Notre Galaxie – Rotation

- En renforçant les contours de la carte Doppler / Longitude, il est possible de faire apparaître les vitesses radiales maximales mesurées.



Longitude Galactique	$V_0 \cdot \sin(l)$	$V_r_{max}$
5	19	195
10	38	167
15	57	150
20	75	137
25	93	133
30	110	124
35	126	118
40	141	99
45	156	90
50	169	83
55	180	74
60	191	58
65	199	48
70	207	37
75	213	33
80	217	32
85	219	31
90	220	24

galactique40° - Spectre moyenné sur 4096 FFT, no



$V_r_{max}$   
à  $l = 40^\circ$



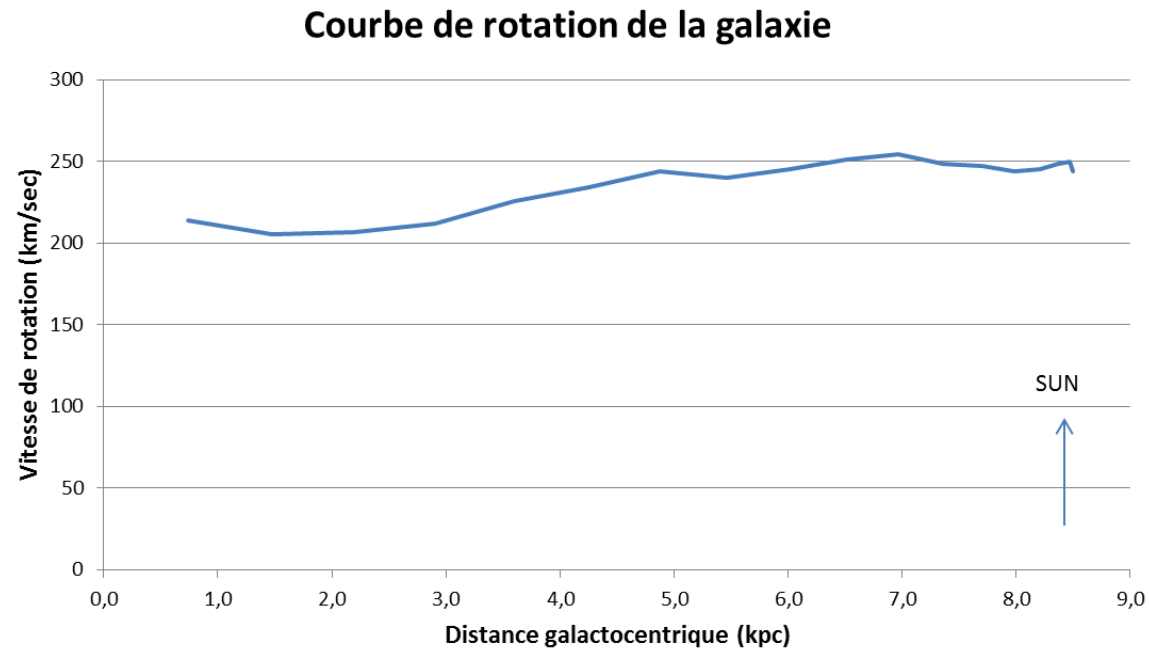
# Applications – 21cm

## ■ Notre Galaxie - Rotation

Des valeurs relevées sur la courbe précédente, on peut en déduire la courbe de rotation de la galaxie (voir géométrie). Sachant que :

$$V(R) = Vr\_max + Vo * \sin(l) , R = Ro * \sin(l) \text{ avec } Vo = 220 \text{ km/s}, Ro = 8,5 \text{ kpc}$$

Longitude Galactique	Vo*sin(l)	Vr_max	V (R) (km/sec)	R (kpc)
5	19	195	214	0,7
10	38	167	205	1,5
15	57	150	207	2,2
20	75	137	212	2,9
25	93	133	226	3,6
30	110	124	234	4,3
35	126	118	244	4,9
40	141	99	240	5,5
45	156	90	246	6,0
50	169	83	252	6,5
55	180	74	254	7,0
60	191	58	249	7,4
65	199	48	247	7,7
70	207	37	244	8,0
75	213	33	246	8,2
80	217	32	249	8,4
85	219	31	250	8,5
90	220	24	244	8,5



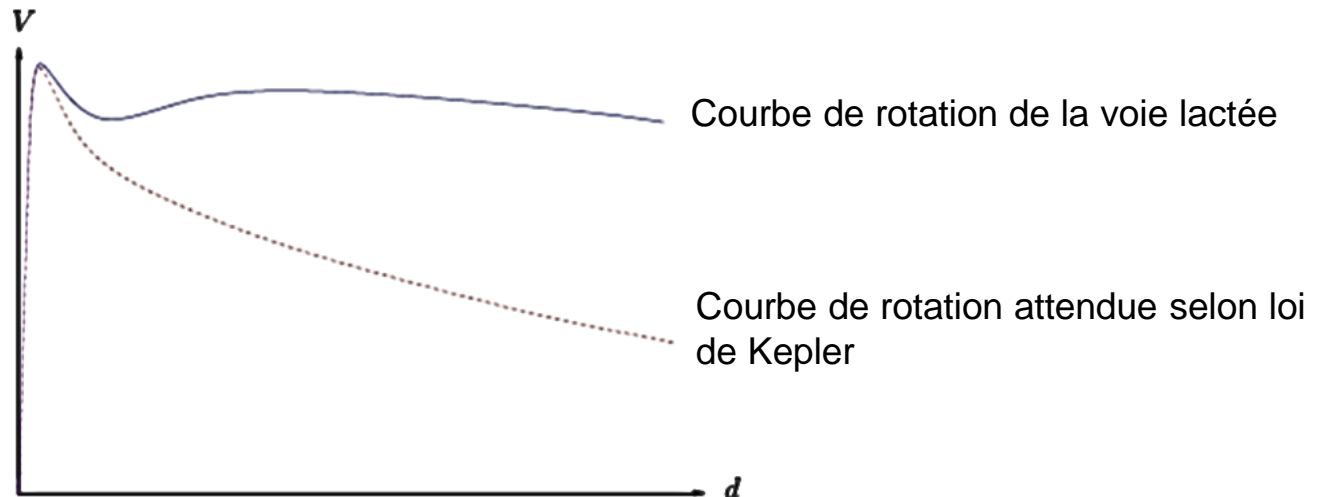
# Applications – 21cm

## ■ Notre Galaxie - Rotation

La courbe obtenue est proche de celle attendue. Contrairement à la courbe de rotation des systèmes comme le système solaire avec une grande masse centrale, la plupart des galaxies présente des courbes de rotation plates, où  $V(R)$  ne dépend pas de  $R$  au-delà d'un certain rayon.  $V(R) = \text{constante}$

La vitesse angulaire varie alors comme  $\Omega \propto 1/R$ . La matière près du centre est en rotation avec une vitesse angulaire plus grande que la matière plus éloignée.

Pour de grands rayons, les vitesses sont manifestement plus grandes que dans des cas Képlérien et cela est une preuve de l'existence de matière supplémentaire pour des grands rayons. Ce serait une voie indirecte pour montrer l'existence de la matière sombre dans la galaxie.



# Applications – 21cm

## ■ Notre Galaxie - Localisation

$V(R)$  est constante et  $V = V_0$

Eq1:  $V_r = V \cdot \frac{R_0}{R} \cdot \sin(l) - V_0 \cdot \sin(l)$  devient alors :

$V_r = V_0 \cdot \sin(l) \cdot \left( \frac{R_0}{R} - 1 \right)$  d'où :

**Eq3**  $R = R_0 \cdot V_0 \cdot \sin(l) / (V_0 \cdot \sin(l) + V_r)$

$R$  et  $V$  sont désormais connus

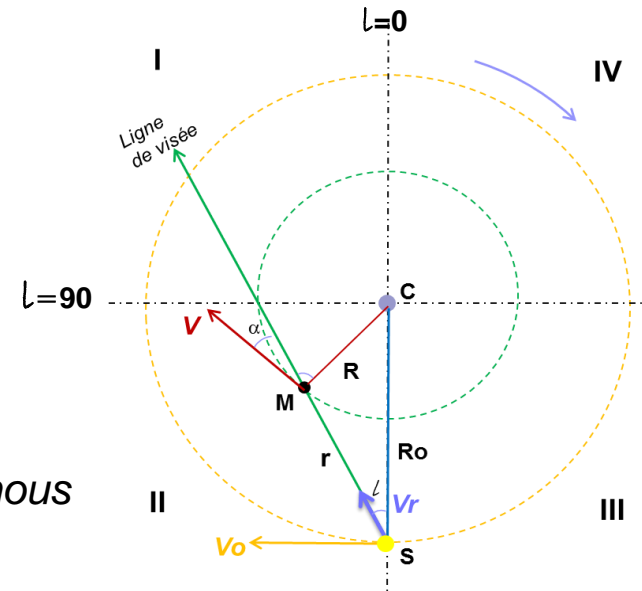
D'après le théorème d'Al-Kashi, dans le triangle CSM, nous avons :  $R^2 = R_0^2 + r^2 - 2 \cdot R_0 \cdot r \cdot \cos(l)$

C'est une équation du second degré en  $r$ , qui a deux solutions possibles  $r_+$  et  $r_-$  (voir remarques ci-dessous)

**Eq4**  $r_{\pm} = \pm \sqrt{R^2 - R_0^2 \cdot \sin^2(l)} + R_0 \cdot \cos(l)$

«  $r$  » étant la distance entre la station et la masse d'hydrogène  
Il est donc possible de positionner les nuages H1 sur la ligne de visée

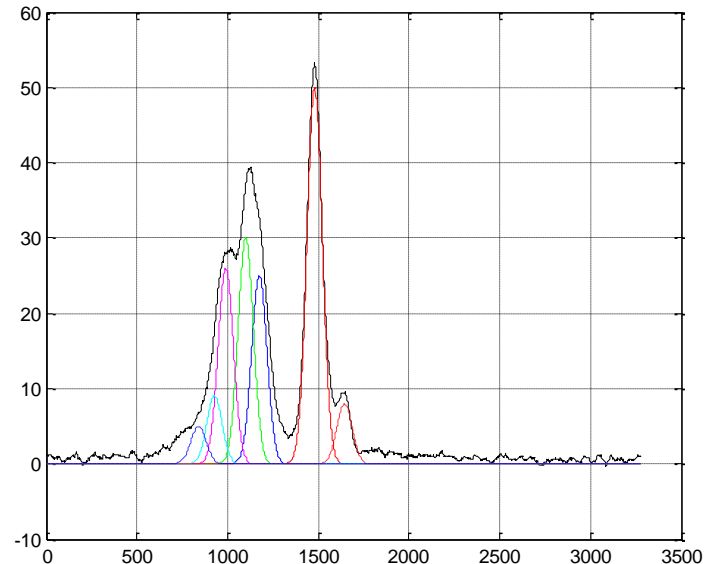
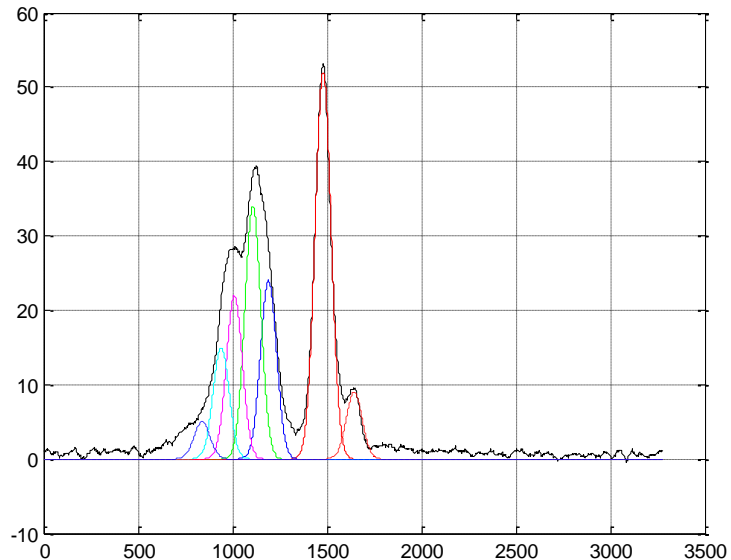
- Si  $\cos l < 0$  (quadrants II ou III), on peut montrer qu'il n'y a qu'une et une seule solution positive  $r_+$  car  $R$  est toujours plus grand que  $R_0$ .
- Dans les autres quadrants, il y a 2 solutions positives. Si on obtient deux solutions positives, on devra observer selon la même longitude galactique mais à une latitude différente afin de déterminer quelle solution est correcte.
- Les valeurs négatives de  $r$  sont éliminées car elles n'ont pas de réalité physique.



# Applications – 21cm

## ■ Notre Galaxie – Localisation

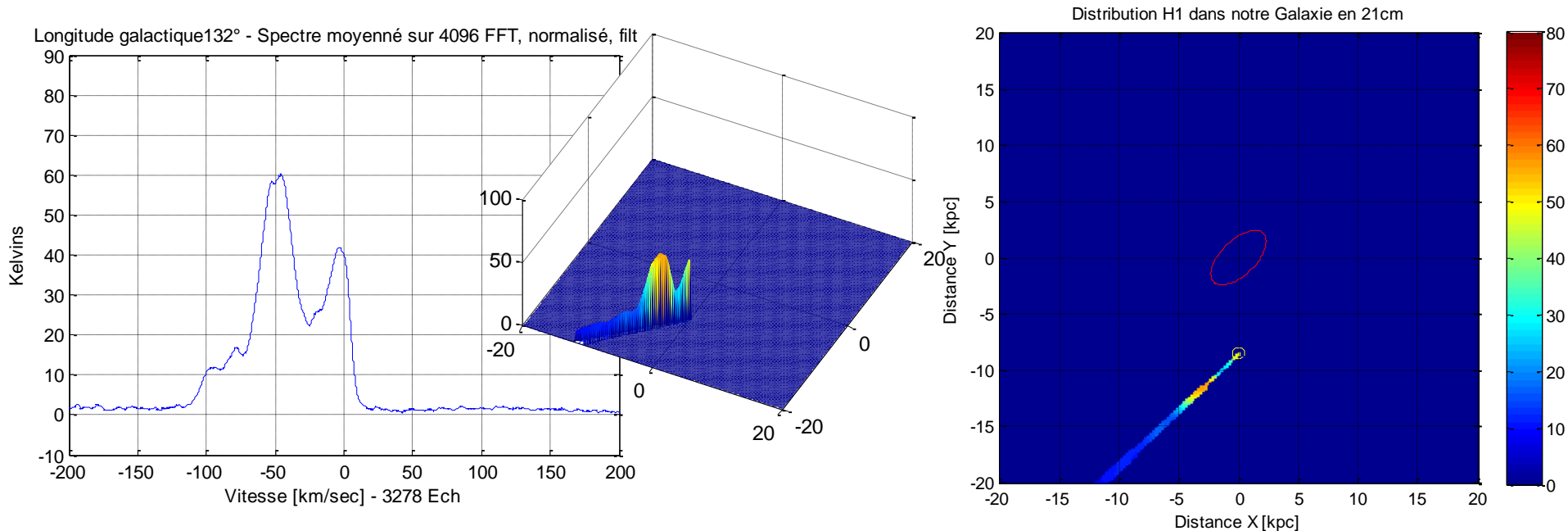
- Pour chaque direction visée dans le plan galactique, suivant une longitude galactique, nous avons obtenu un spectre composite.
- Il est démontré que chaque spectre inclut de multiples composantes et donc il faudrait le décomposer en un grand nombre de profils « gaussiens » correspondant à un grand nombre de nuages. Voir l'exemple ci-dessous mais la solution est complexe et pas unique.
- L'élargissement spectral observé est principalement dû aux mouvements internes aux nuages et l'incapacité de les résoudre.



# Applications – 21cm

## ■ Notre Galaxie – Localisation

- On observe que les nuages se déplacent suivant une vitesse principale due au moment de rotation autour du centre galactique.
- Ainsi, pour localiser les masses d'hydrogène, dans un 1<sup>er</sup> temps il est choisi de ne pas décomposer le nuage « composite » et de projeter le spectre mesuré sur l'axe de visée (suivant les formules présentées précédemment). Exemple pour long = 132°



# Applications – 21cm

## ■ Notre Galaxie – Localisation des nuages H1

- Pour l'ensemble des mesures effectuées suivant les longitudes galactiques allant de 4 à 240°

Nous appuyant sur les données connues, il est possible de distinguer 4 à 5 bras de notre galaxie :

- Le premier (**en jaune**), difficile à mettre en évidence, appelé Scutum-Crux
- Un second (**en rouge**) à l'intérieur de l'orbite solaire (Bras du Sagittaire).
- Un troisième (**en bleu**) correspond au bras de Persée
- Un quatrième (**en vert**), notre bras local (ou bras d'Orion) dans lequel se trouve le soleil difficile à séparer du bras de Persée
- Un cinquième (**en gris**) assez éloigné du centre galactique (env 12,5 kpc) et à l'extérieur de notre orbite (Bras du Cygne ou Extérieur)

Remarques :

- ✓ La carte représente l'amplitude des signaux reçus et non le volume d'hydrogène. Un calcul complémentaire doit être effectué pour tenir compte de la distance.
- ✓ Les risques d'ambiguïté pour les longitudes <90° ne sont pas traités.

Distribution H1 dans notre Galaxie en 21cm

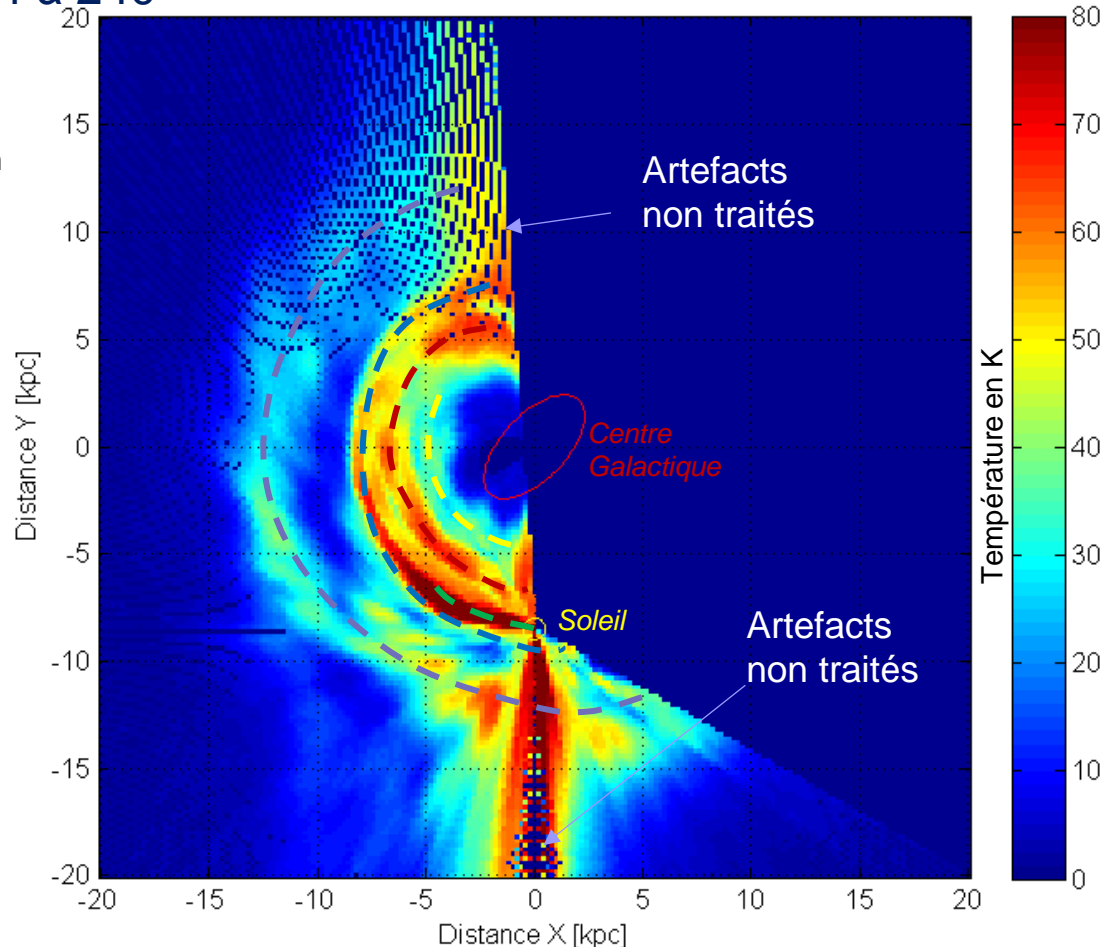


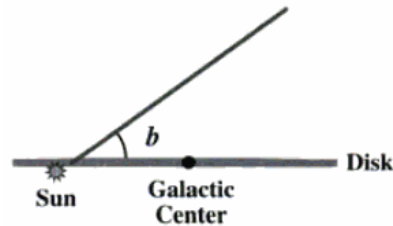
Illustration : voir vidéo => <http://www.youtube.com/watch?v=HGwkZY4E64k>

# Applications – 21cm

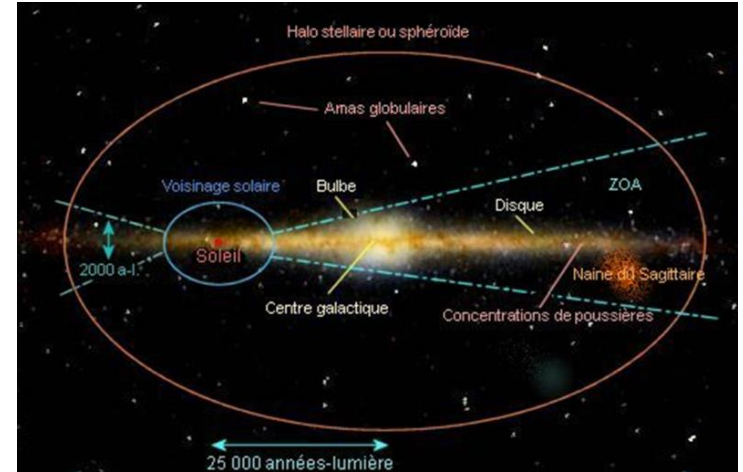
## ■ Notre Galaxie – Localisation des nuages H1

### □ Lasuite...

- Décomposer les différents spectres en composantes gaussiennes
- Traiter les artefacts et restituer le volume d'hydrogène neutre H1
- Observations en dehors du plan galactique pour :
  - Mesurer l'épaisseur du disque galactique en effectuant des relevés à différentes latitudes galactiques

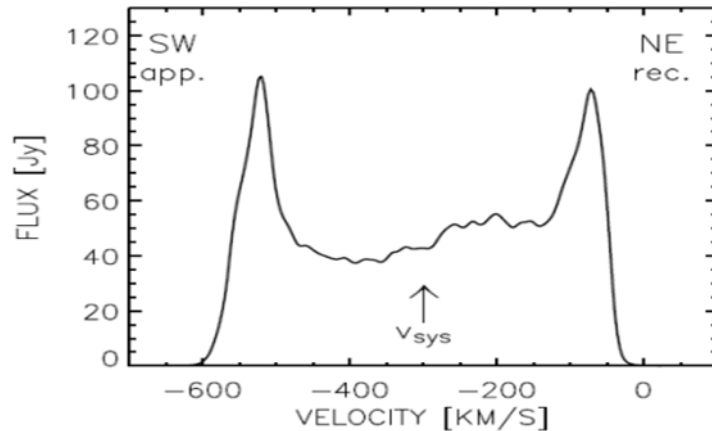


- A partir de ces mesures, mettre en évidence la déformation du plan galactique (WARP)



# Applications – 21cm

- M31 – Galaxie d'Andromède – Groupe Local – 2,5 millions d'AL
  - Beaucoup plus faibles que notre Galaxie : 200 fois moins
  - Signaux recherchés et critères de détection



Cette figure donne le profil du flux intégré de Messier 31 (M31) selon la référence "H1 kinetics and dynamics of M31" .

D'après cette courbe, le flux F attendu est donc de l'ordre de 50 à 100 Jy ( $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W/m}^2/\text{Hz}$ ).  
L'antenne utilisée présente une surface effective A<sub>eff</sub> :

Antenne : D=3.3m, Gain=31dBi => G=1260,

Surface effective : A<sub>eff</sub>=  $G \cdot \lambda^2 / 4\pi$  => 4.46m<sup>2</sup>

Ce qui conduit à :

- une densité spectrale de puissance reçue sur l'antenne de :

$$F * A_{\text{eff}} = 223 \text{ à } 446 \text{ } 10\text{E}^{-26} \text{ W/Hz}$$

- une température d'antenne T<sub>ant</sub> :

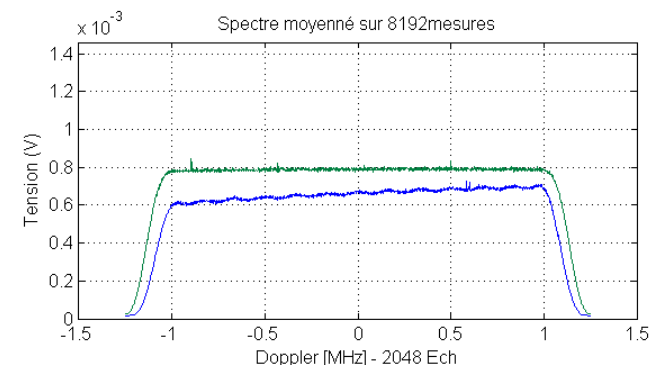
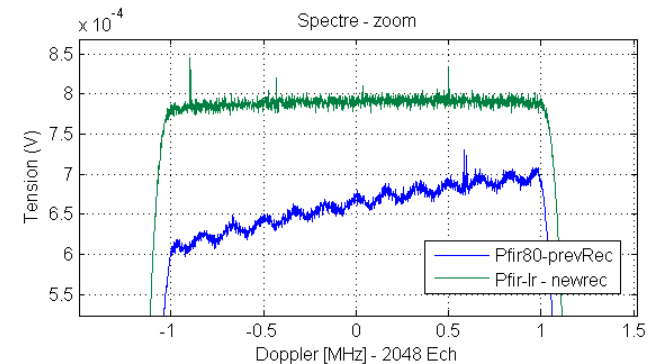
$$T_{\text{ant}} = F * A_{\text{eff}} / k = \underline{0,16 \text{ à } 0,32 \text{ K}} \text{ avec } k = \text{constante de Boltzmann}$$



# Applications – 21cm

## ■ Observation de M31 - Signaux attendus

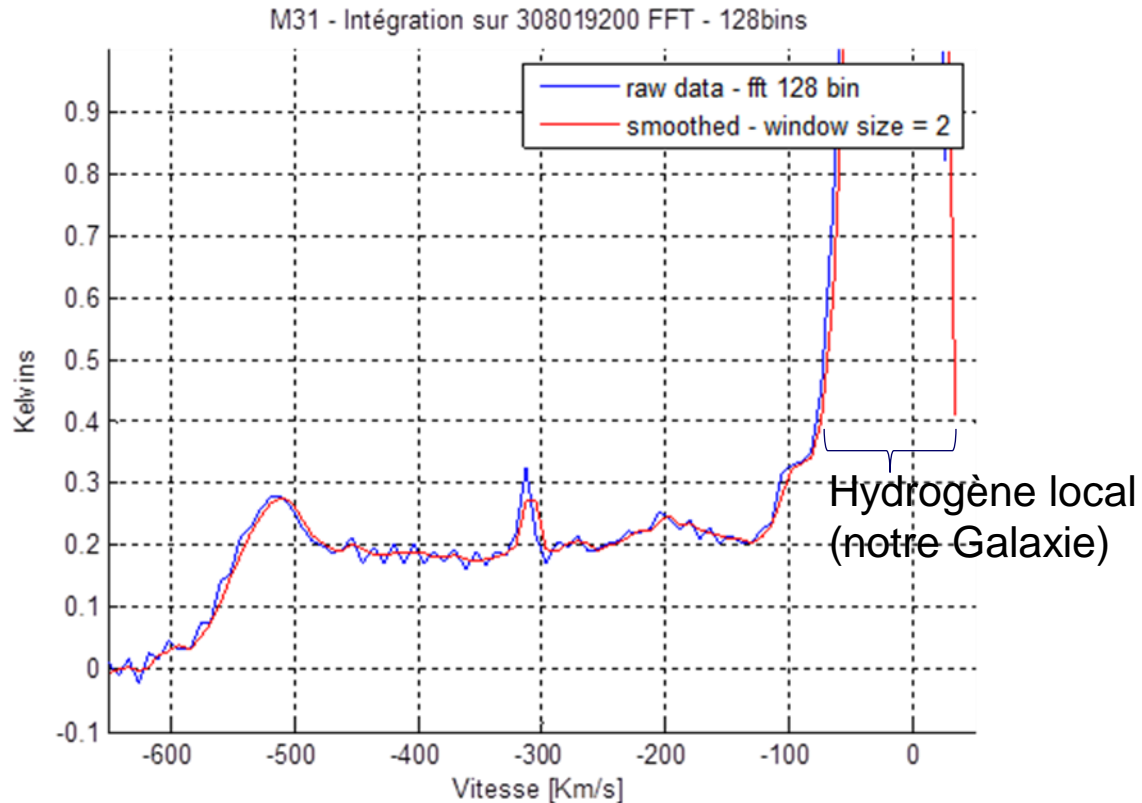
- Pour garantir une ligne de base plane ainsi qu'une calibration / correction précise de la chaîne de réception, la référence effectuée par offset de fréquence est complétée par une référence effectuée sur absorbant RF à température ambiante (env 290 K). Les filtres numériques ont également été modifiés afin de limiter leur ondulation dans la bande Doppler. Idem pour les filtres analogiques.



Comparaison ancien et nouveau récepteur

# Applications – 21cm

- M31 - Premiers résultats
  - Pointage de 2 heures au centre de M31

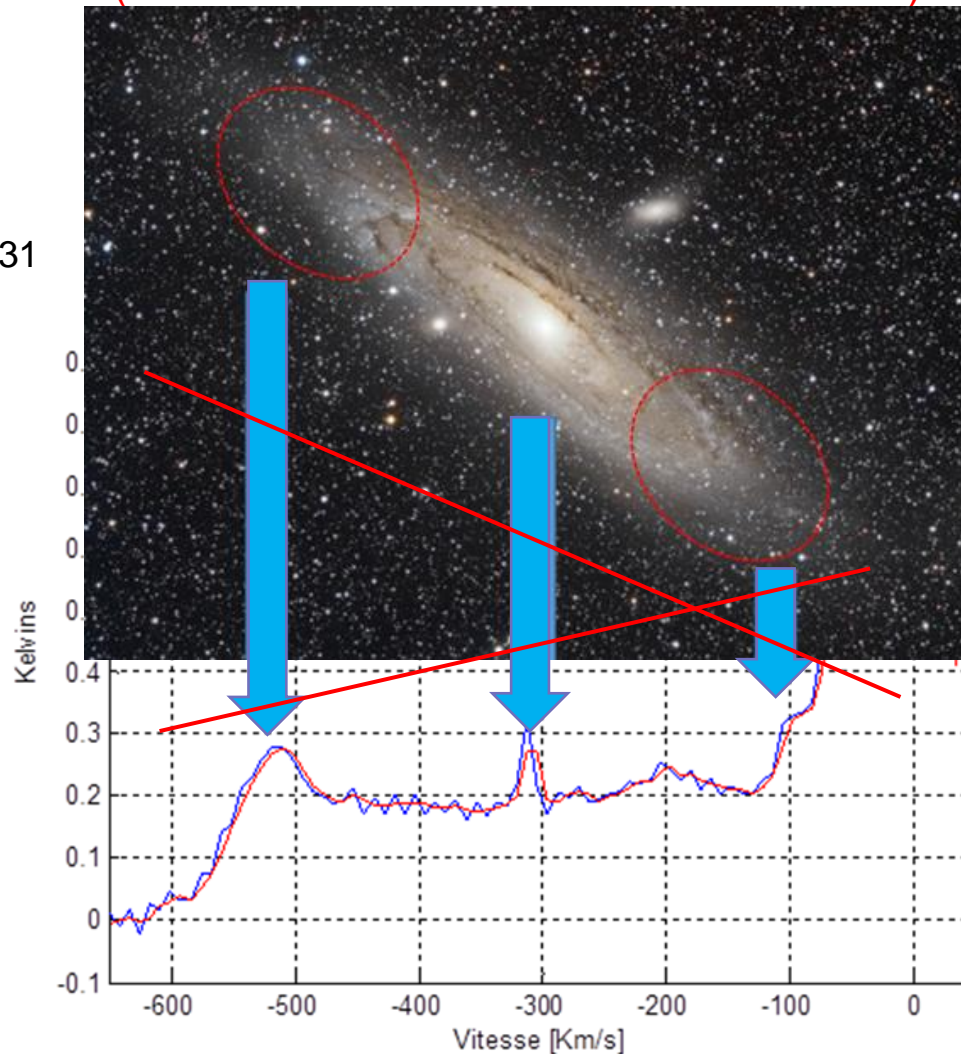


# Observation de M31

## ■ Premiers résultats

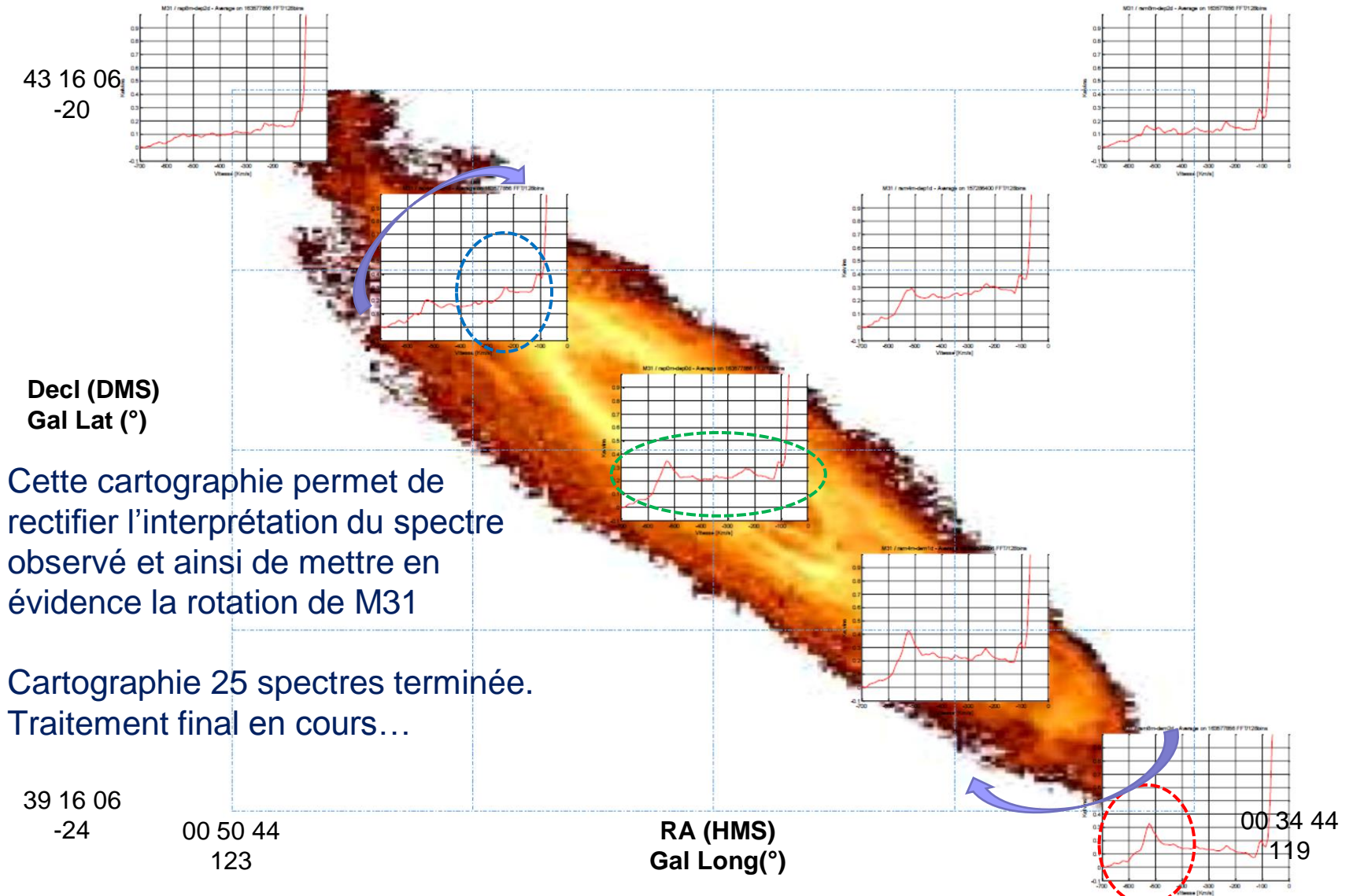
- 1<sup>ère</sup> interprétation (Faux – se méfier des conclusions hâtives)

On peut constater que M31 se rapproche de nous à une vitesse moyenne de l'ordre de 310 km/s. **Vrai**



# Observation de M31

- Essais en cours pour effectuer la cartographie complète

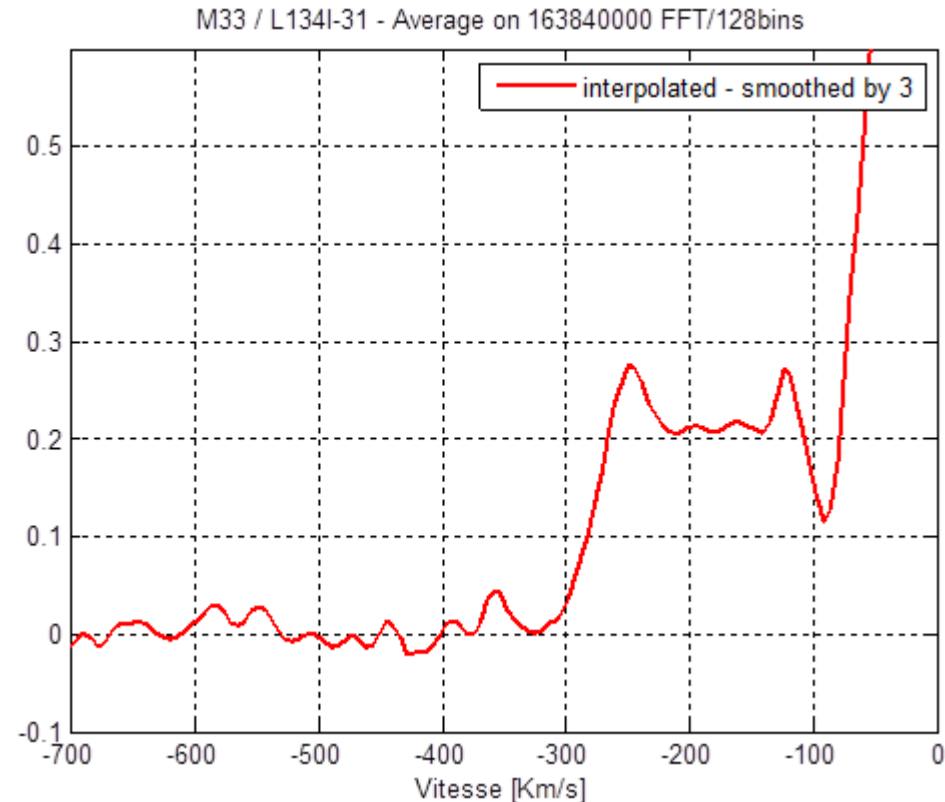


# Applications – 21cm

- M33 – Galaxie du triangle appartenant au groupe Local.
  - 2,4 à 3 millions d'AL.
  - Enregistrement d'une heure centré sur M33 (moins étendue que M31)

De ce spectre relevé, on peut retirer les informations suivantes :

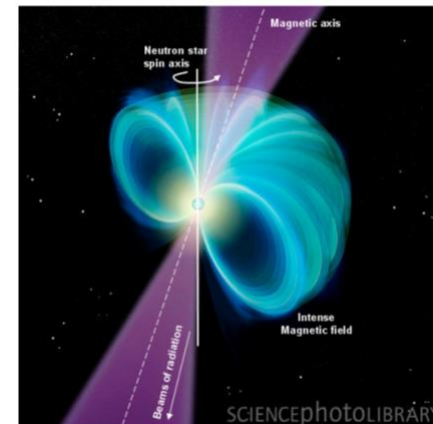
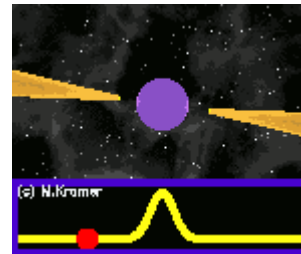
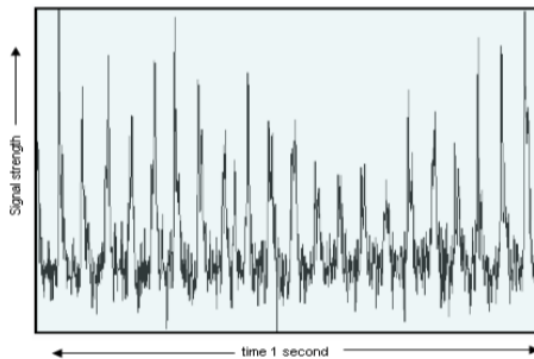
- ✓ L'étalement spectral entre env – 100 et – 300 km/sec révèle la rotation de la Galaxie.
- ✓ Les 2 pics à -246 et – 122 km/s donnent les vitesses prépondérantes de rapprochement et d'éloignement des nuages d'hydrogène appartenant à M33.
- ✓ La moyenne de ces 2 pics donne la vitesse de rapprochement de cette galaxie par rapport à nous soit -184 km/s.
- ❖ *De 0 à -80 km/s, ce signal puissant correspond au rayonnement H1 de notre Galaxie (probablement reçu par les lobes parasites de l'antenne)*



# Applications – 21cm

## ■ PULSAR

- Le pulsar est une étoile à neutron ayant un champ magnétique intense qui tourne sur elle même. Elle émet un fort rayonnement électromagnétique dans la direction de son axe magnétique. On peut faire l'analogie avec un phare lumineux sur les côtes maritimes.

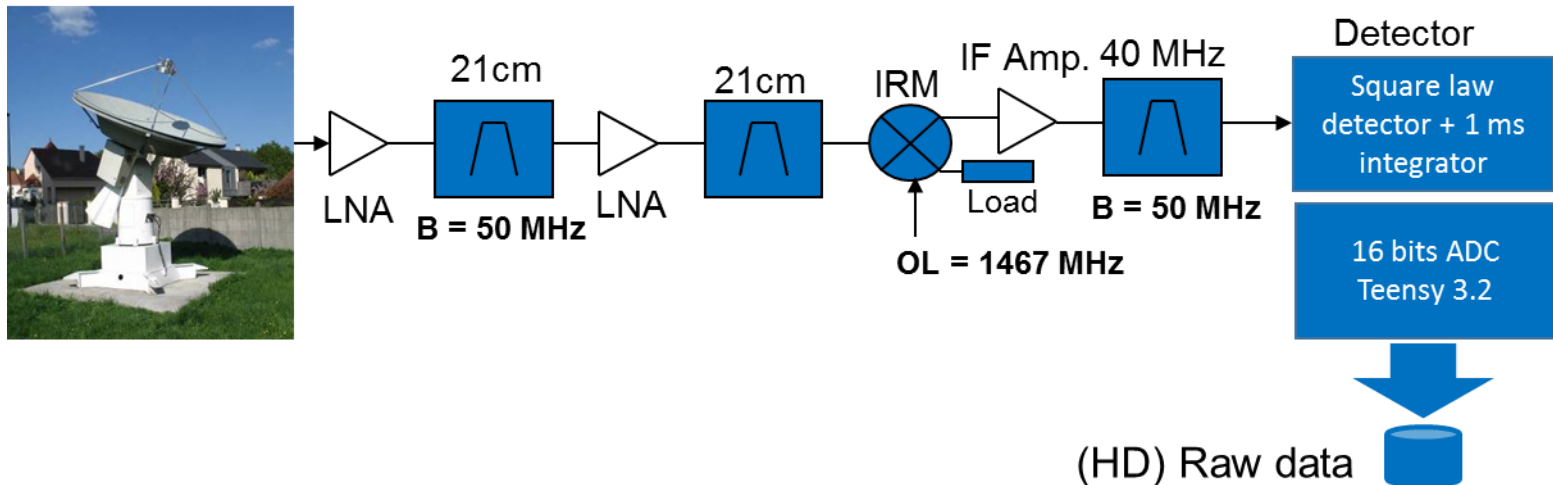


- Le 1er pulsar a été observé le 28 Novembre 1967, by Jocelyn Bell (PSR B1919+21).
- Les pulsars ont depuis permis le développement important de très nombreuses disciplines de l'astrophysique, allant de tests de la relativité générale et de la physique de la matière condensée, jusqu'à l'étude de la structure de la Voie lactée et bien sûr des supernovas. L'étude d'un pulsar binaire, PSR B1913+16, a pour la première fois permis de mettre en évidence la réalité du rayonnement gravitationnel prédit par la relativité générale, et a également été récompensée du prix Nobel de physique (Russell Alan Hulse et Joseph Hooton Taylor, en 1993).

# Applications – 21cm

## ■ PULSAR

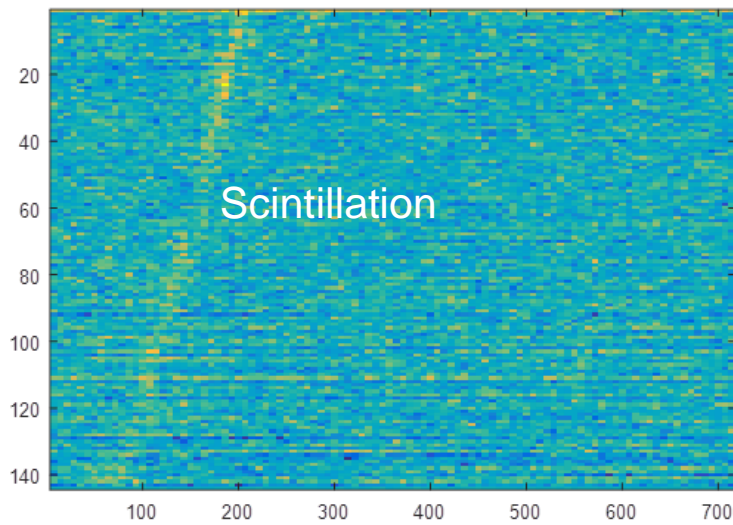
- Enregistrement de 2 heures en poursuite sur le pulsar
- Pulsar => spectre continu (continuum)
- Pour une station amateur, la détection n'est possible que pour les pulsars connus (traitement par intégration synchrone).
- Adaptation de la station : Bande large pour réduire le temps de mesure et éviter la scintillation des signaux



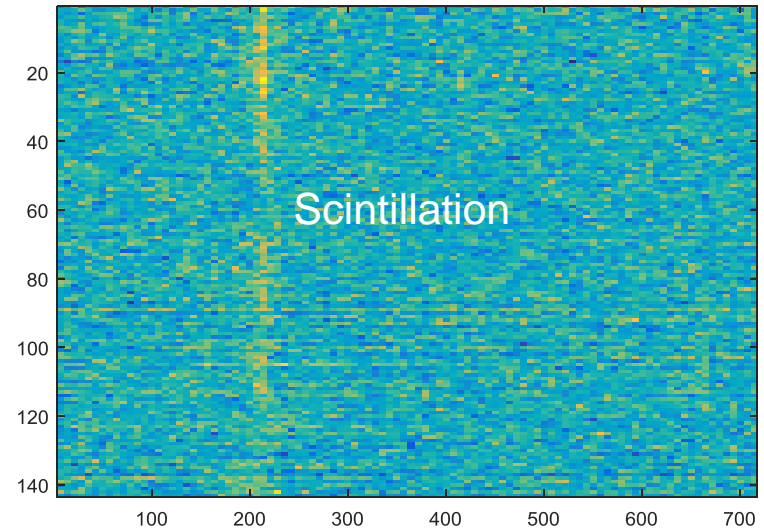
# Applications – 21cm

## ■ PSR B0329+54

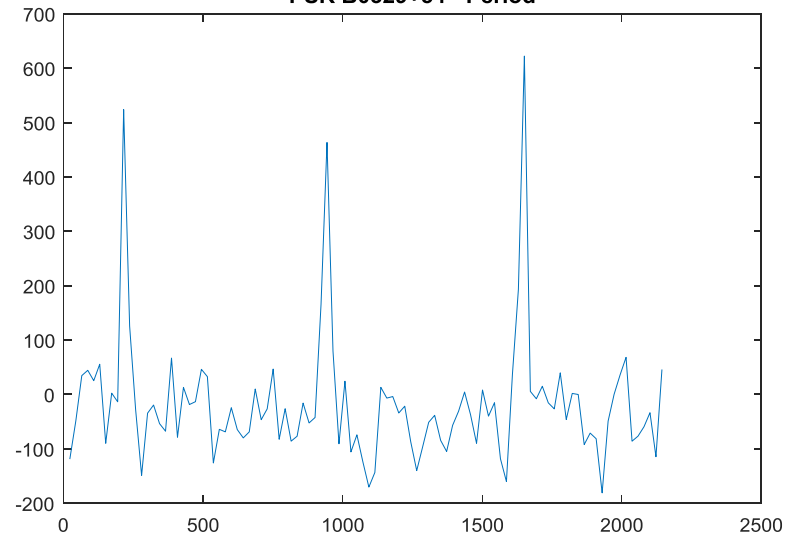
- 3460 AL – Flux crête 24Jy – 200mJy moyen
- Pulse w50 6,6ms / période 714,520 ms
- 1<sup>ère</sup> détection => ajustement de la période



Temps en ms



PSR B0329+54 - Period

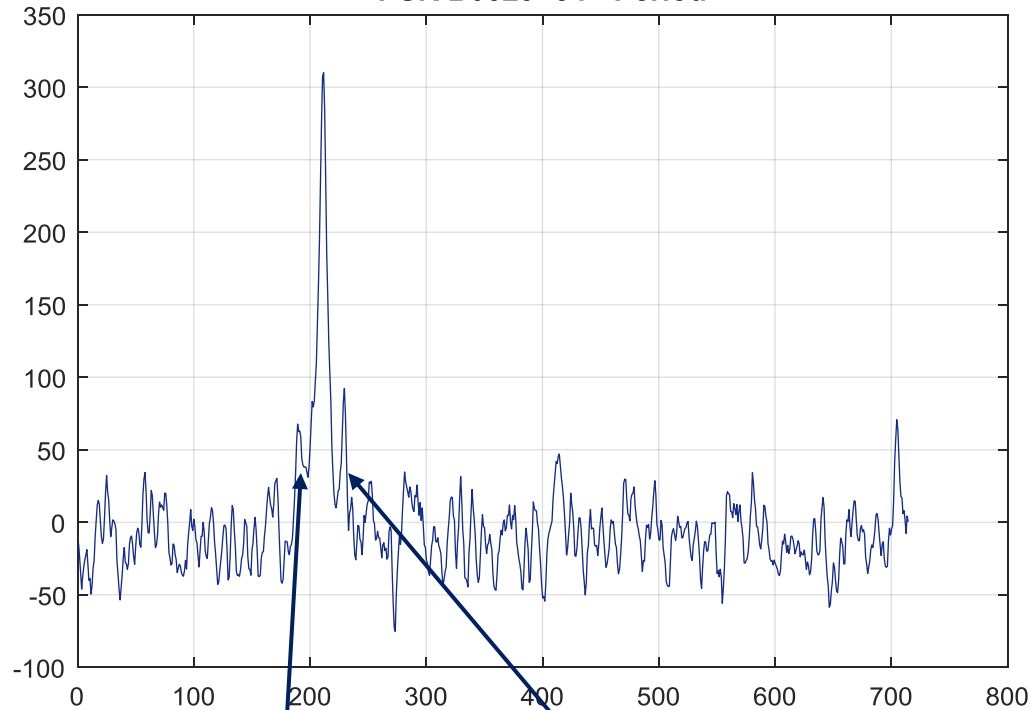




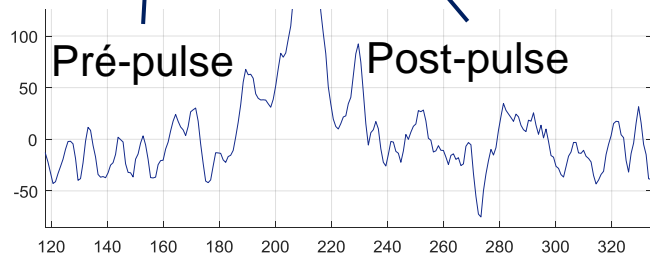
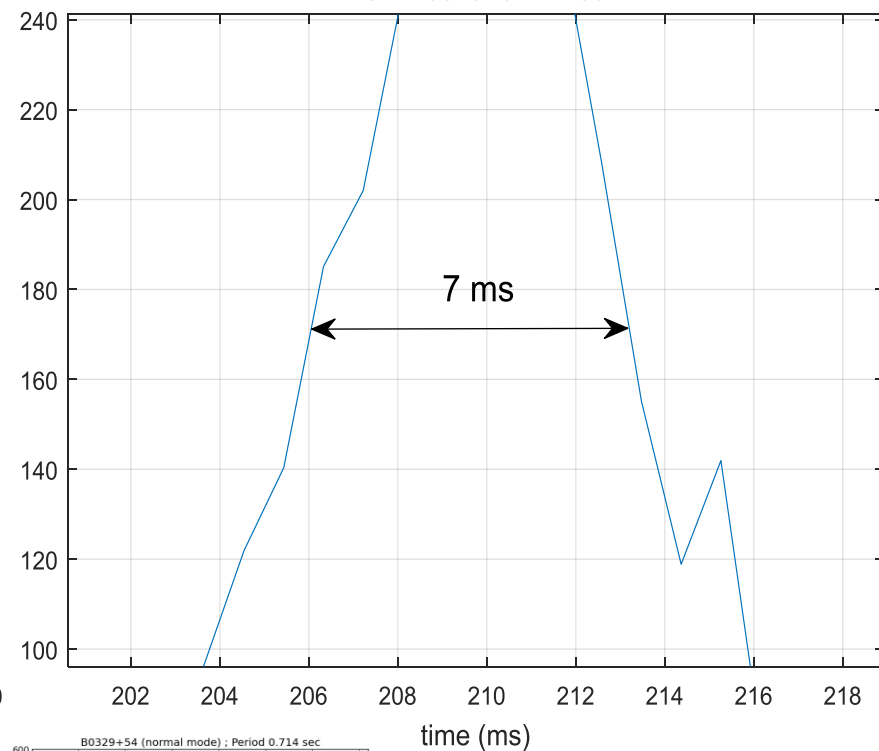
# Applications – 21cm

- PSR B0329+54 : <http://neutronstar.joataman.net/sites/f1ehn/index.html>
- W50 : 7ms (6,6ms attendu)

PSR B0329+54 - Period



PSR B0329+54 - W50



Normal mode

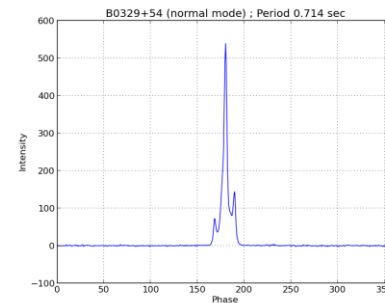


Image RT Stockert

# Informations et bibliographie

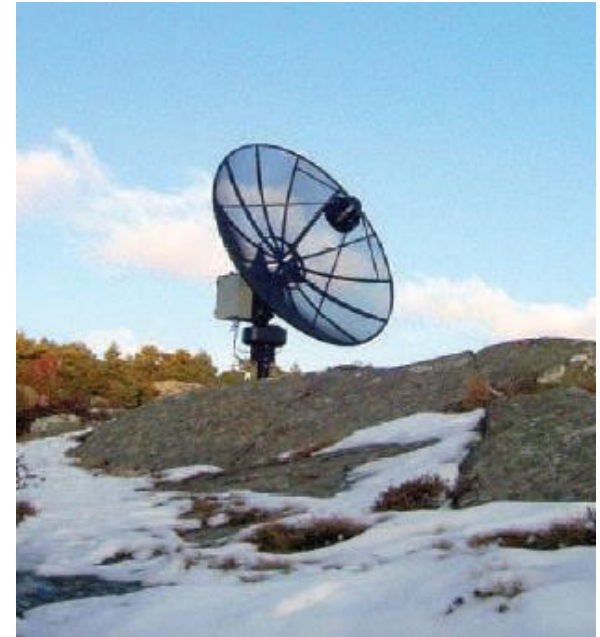
- Pour compléter cette présentation se reporter aux présentations suivantes :
  - Station de radioastronomie en 21cm
  - Récepteurs
  - Toutes les présentations concernant la radioastronomie sont sur le site Internet de JJ MAINTOUX - F1EHN <http://www.f1ehn.org> page « Radioastronomie ».
- Bibliographie :
  - Extraits de « Technical developments » at IRA-INAF (Présentation de [l'observatoire de Medicina \(Italie\)](http://www.med.ira.inaf.it/index_EN.htm) [http://www.med.ira.inaf.it/index\\_EN.htm](http://www.med.ira.inaf.it/index_EN.htm)
  - <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3265>
  - <http://radiometrie.free.fr/l-A.htm>
  - [Observatoire de Paris - Les antennes](http://www.lesia.obspm.fr/plasma/Goutelas2007/Presentations/Picard/Picard-Ant.pdf)  
<http://www.lesia.obspm.fr/plasma/Goutelas2007/Presentations/Picard/Picard-Ant.pdf>
  - **Radioastronomy** (2<sup>nd</sup> edition) par John D.Kraus
  - Extraits de **Astronomy – A Physical Perspective** par Marc L.Kutner (chapitre 16 – The Milky-Way galaxy)
  - Raie à 21cm – Wikipédia [http://fr.wikipedia.org/wiki/Raie\\_%C3%A0\\_21\\_centim%C3%A8tres](http://fr.wikipedia.org/wiki/Raie_%C3%A0_21_centim%C3%A8tres)

# Informations et bibliographie

## ■ Site Hands on universe

[http://www.fr.euhou.net/index.php?option=com\\_frontpage&Itemid=1](http://www.fr.euhou.net/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1)

- L'institut d'ONSALA a édité une note dont qq extraits ont été utilisés pour rédiger les planches précédentes.
- Des résultats de mesures effectuées avec le radiotélescope SALSA\* permettent de bien analyser et préparer l'observation de notre galaxie à 21cm.
- Retrouver cette note ici  
<http://www.fr.euhou.net/docupload/files/traductions/sources/radiosuede.pdf>
- Le Radiotélescope SALSA  
Such A Lovely Small Antenna =>



## ■ Le site de Joachim Köppen (très documenté)

<http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~koeppen/Haystack/index.html>

[Radio Astronomy with the 21 cm Hydrogen Line at the International Space University](#)

## ■ Neutron-star group : <http://neutronstar.joataman.net/>

## ■ Observatoire de Paris Meudon – Cours d'astronomie

<http://aramis.obspm.fr/~combes/fcombes/cours-astro/index.html>