



# Observations radioastronomiques avec le Radiotélescope F4KLO

FX Hugot (N5FXH)

Association Dimension Parabole

2024/03/16



# Plan

- Description technique de l'instrument
- Les transits
- Mosaïques
- Spectres
- Voie Lactée
- Éclipses

# F4KLO



Parabole de 10 m sur sa  
monture **équatoriale**  
(**Déclinaison**=-25..58°)

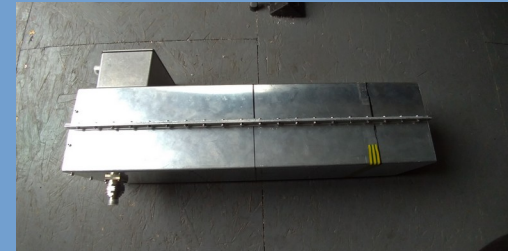
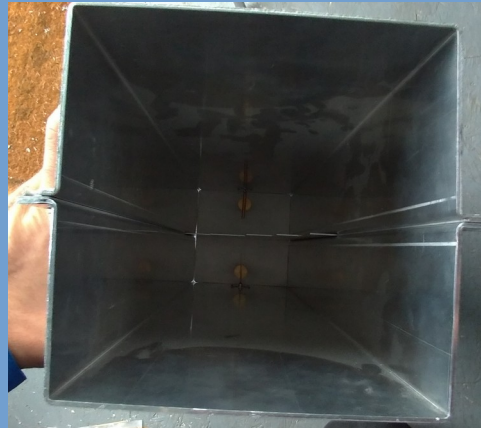
à 2 pas du dragon de la  
Villette



# Chaîne de réception (1/2)

Parabole: diam 10m (ouverture environ  $1.5^\circ$ )  
Source: 1400MHz Septum  
G/T : 165 NF: 0.56dB (40K) à 1420 MHz

Parabole (reflecteur)  
⇒ Source (Septum)  
⇒ Préamplis/filtres  
⇒ SDR (Adalm-Pluto)  
⇒ Ordinateurs  
(FFT/traitements)



Source Septum  
(2 polarisations).  
Réalisée en collaboration  
avec l'Electrolab



# Chaîne de réception (2/2)

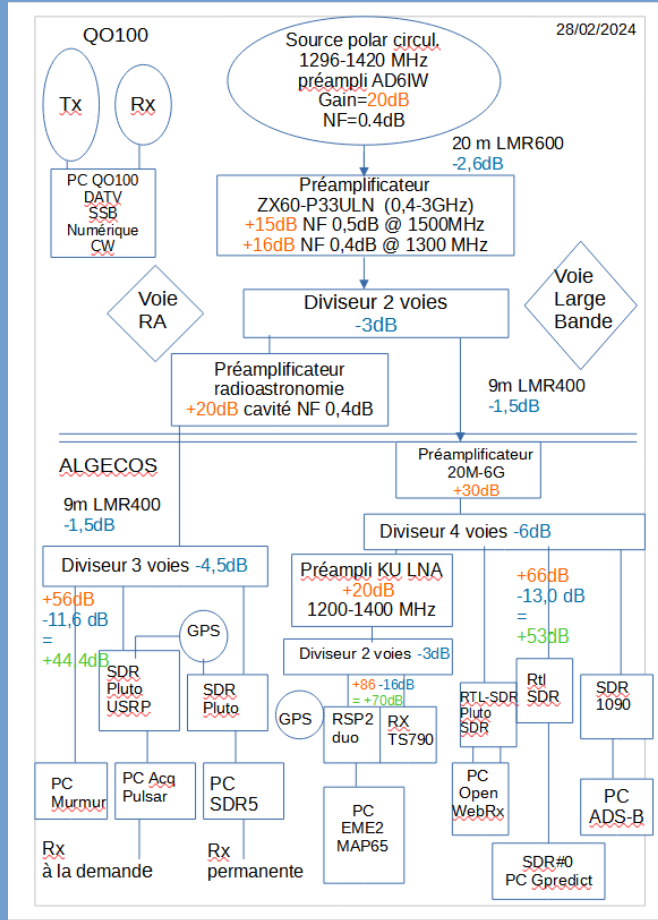
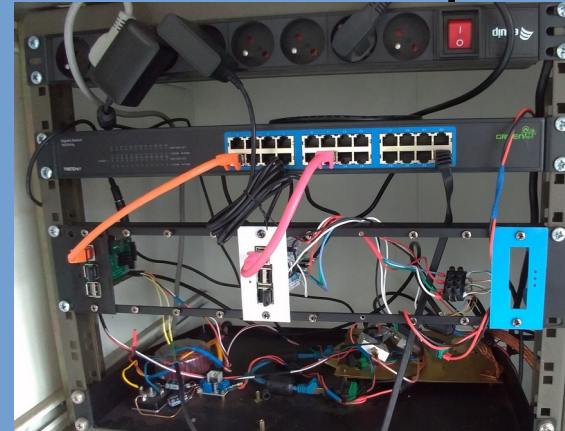
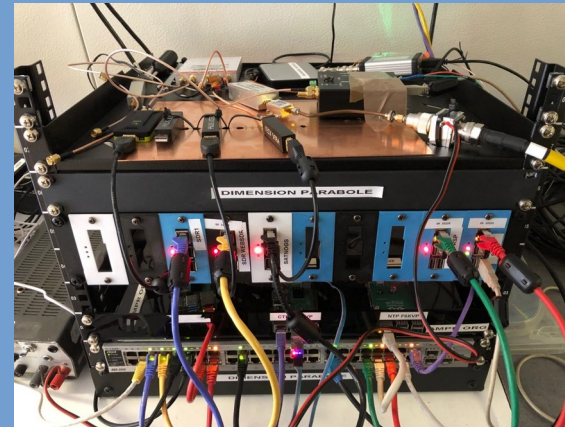


Figure F6BVP



Sur la plate-forme



Dans les algecos

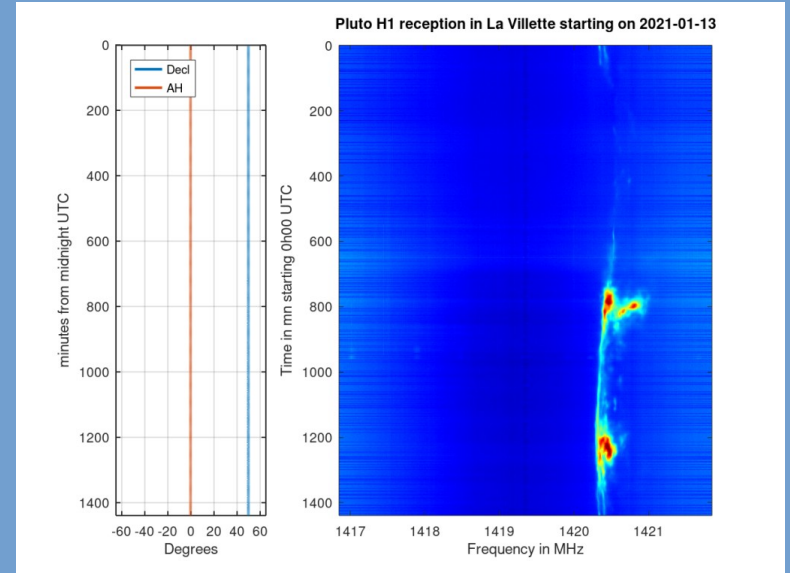
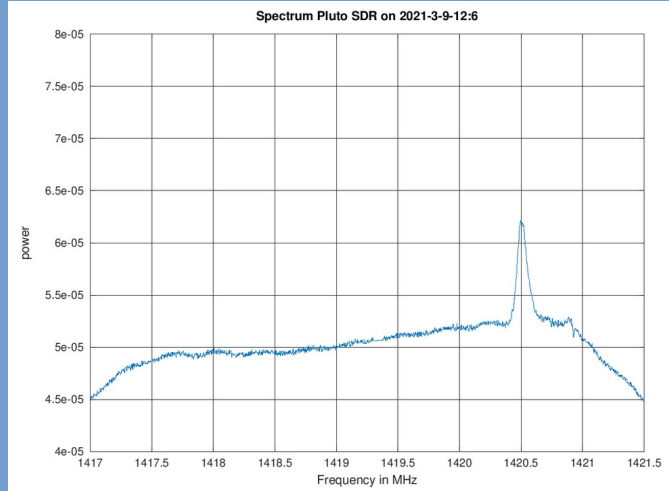
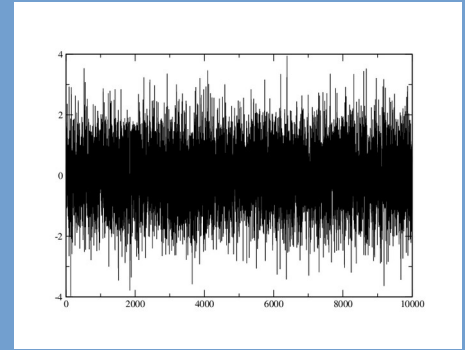
Un grand merci à Rémi (F6CNB)!

# Signal observé

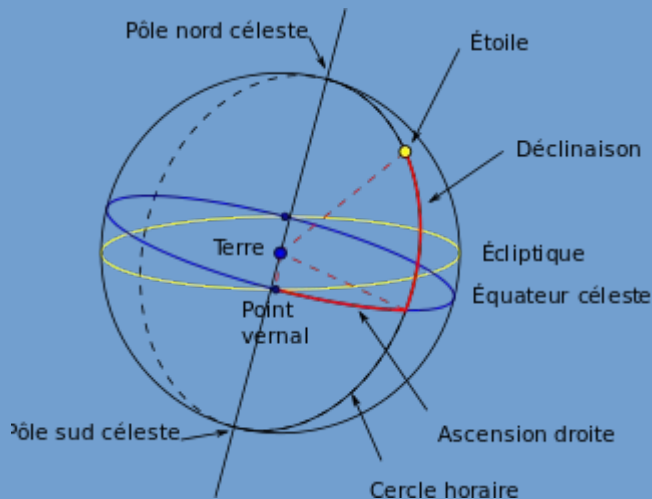
Seul le bruit naturel des objets astronomiques est observé

On réalise une FFT à 8192 canaux sur 1-5 MS/s  
(<https://acq.f4klo.ampr.org> mis en place par F6CNB)

Nettoyage et lissage

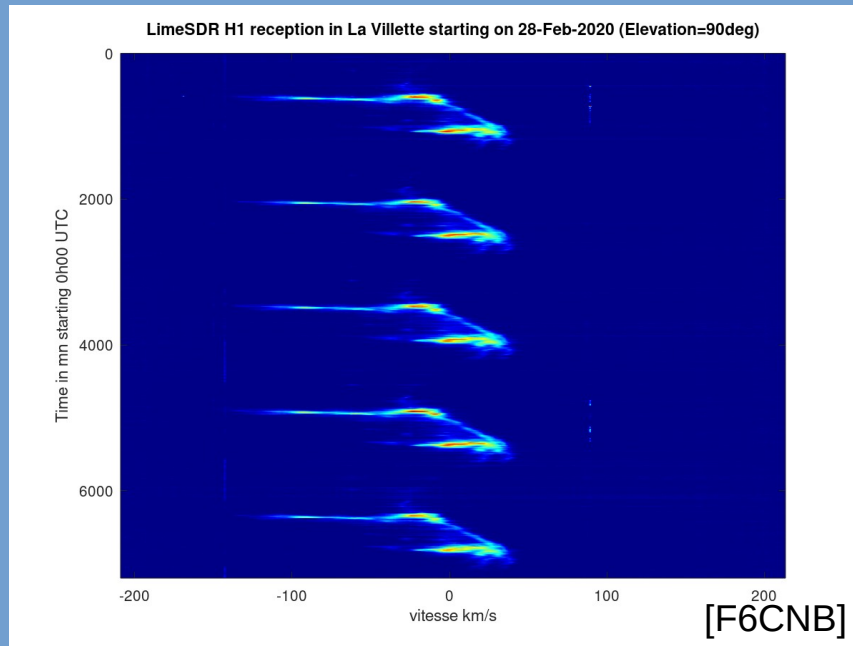


# Étoiles



On est dans un immense observatoire tournant.

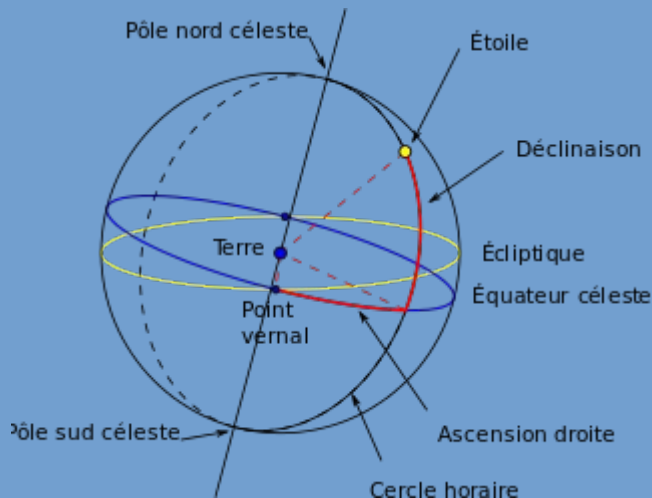
La Terre fait un tour sur elle-même en ...  
23h 56m 4s



Les signaux se reproduisent avec cette périodicité.

De cette façon on comprend **que le signal vient bien des étoiles**

# Systèmes de coordonnées



Conversion (approximative) facile en passant par les coordonnées horaires puis en utilisant le temps sidéral local (voir Skyfield, Astropy...)

$$\begin{aligned}\sin \delta &= \sin \varphi \sin h - \cos \varphi \cos h \cos Z \\ \cos \delta \sin A_H &= \cos h \sin Z \\ \cos \delta \cos A_H &= \cos \varphi \sin h + \sin \varphi \cos h \cos Z\end{aligned}$$

[cf Wiki, Système de coordonnées célestes]

- Coordonnées topocentriques:  
Azimuth – élévation
- Coordonnées horaires  
Angle horaire - Déclinaison
- coordonnées [géocentriques] équatoriales:  
Ascension Droite (AD/RA) - Déclinaison

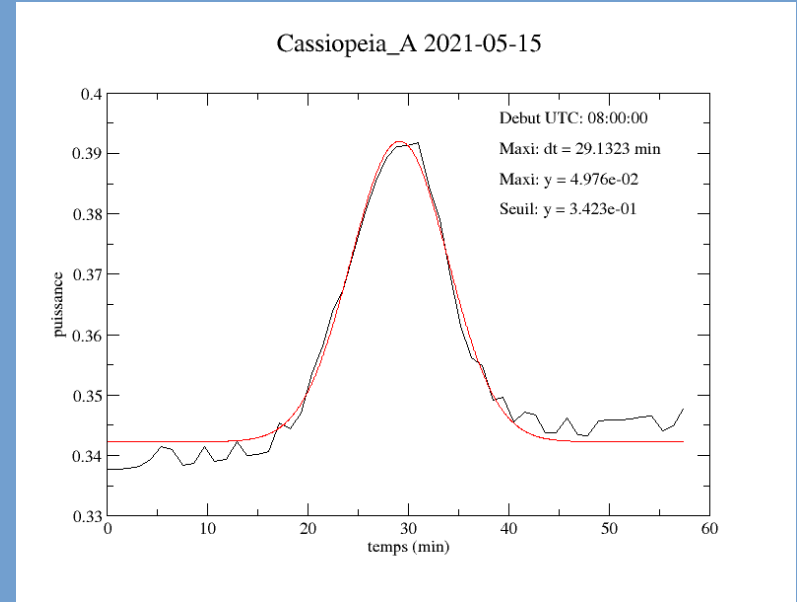
Sinon, utilisation de la librairie Indi (les débuts sont facilités mais nécessite des réglages sans fin) [cf indilib.org]



La Terre tournant, les  
étoiles défilent devant le  
téléscope, même tous  
moteurs éteints

L'observation dans ces  
conditions s'appelle un  
**Transit**

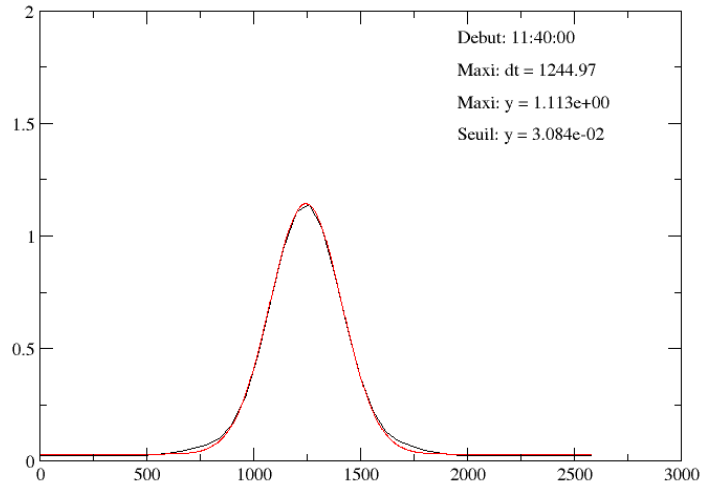
# Transits



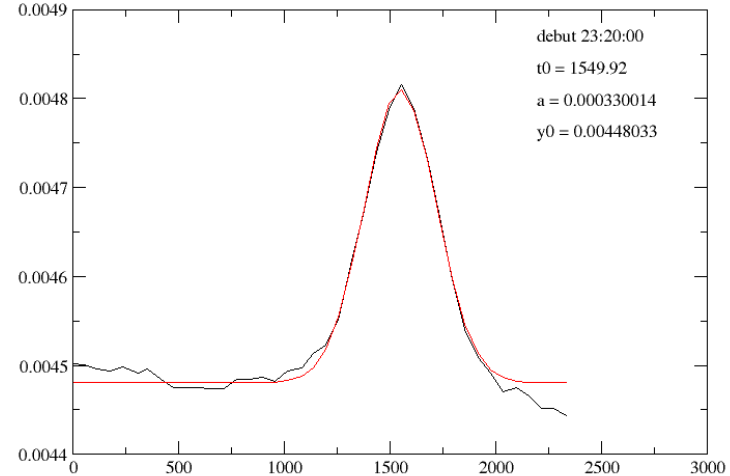
Transit de Cassiopée A le 15/05/2021

# Quelques transits système solaire

Soleil 2021-01-23

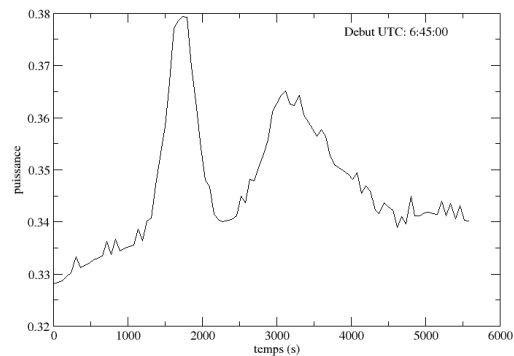


Lune 2020-12-29



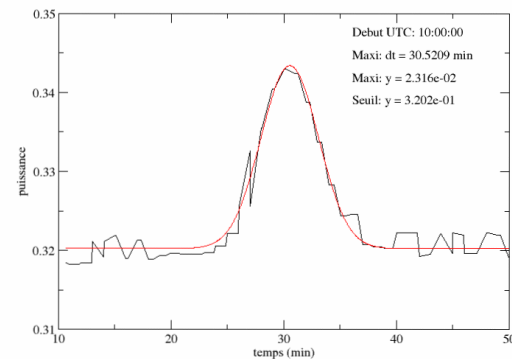
# Quelques transits - Étoiles

Cygnus\_AX 2021-05-16



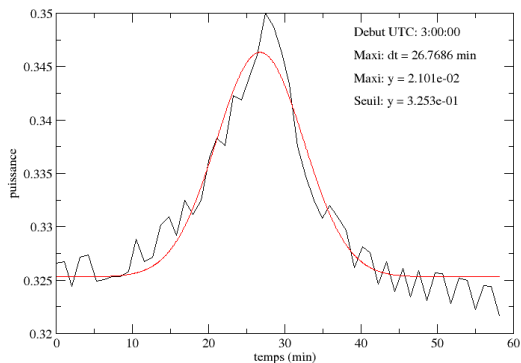
1900 Jy (Cyg A)

M1 2021-05-16



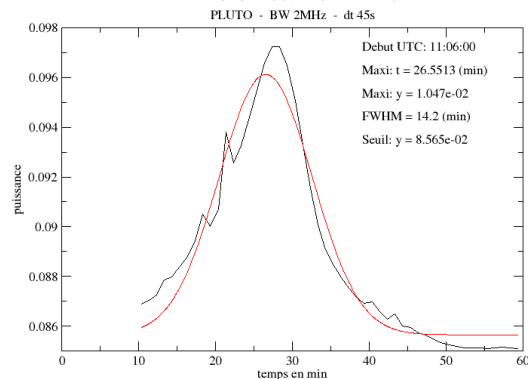
926 Jy

B1853+01 2021-05-23



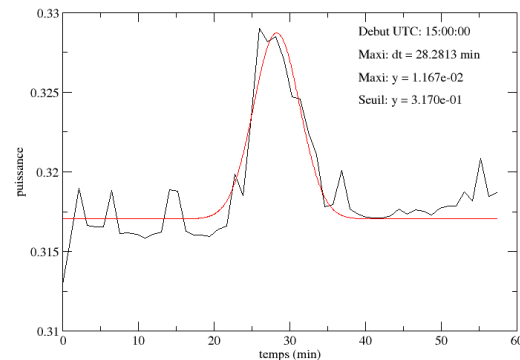
1100 Jy

ADG15.1-00.7 2021-11-20

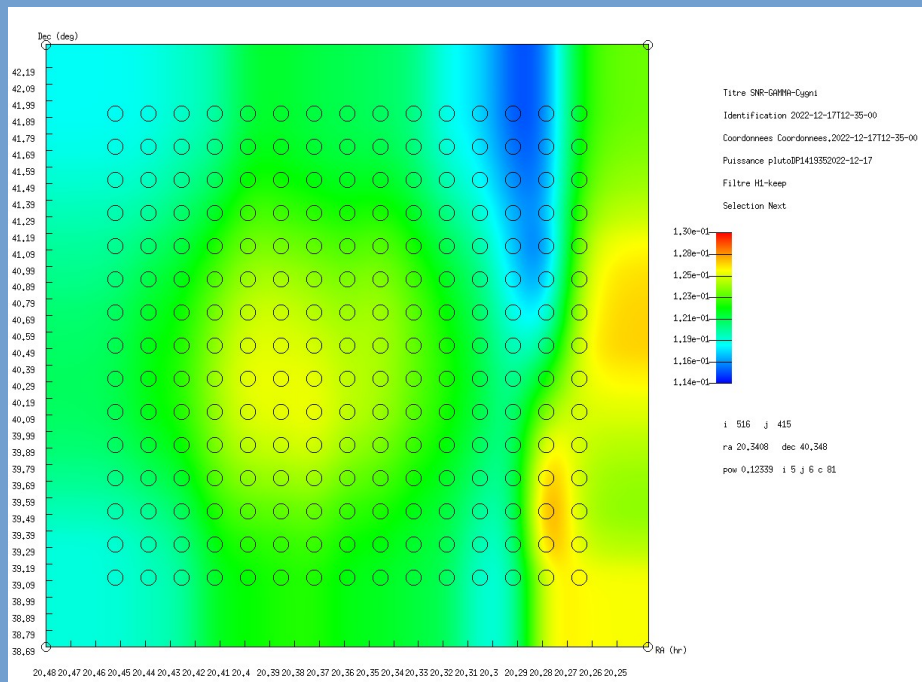


502 Jy

M42 2021-05-23



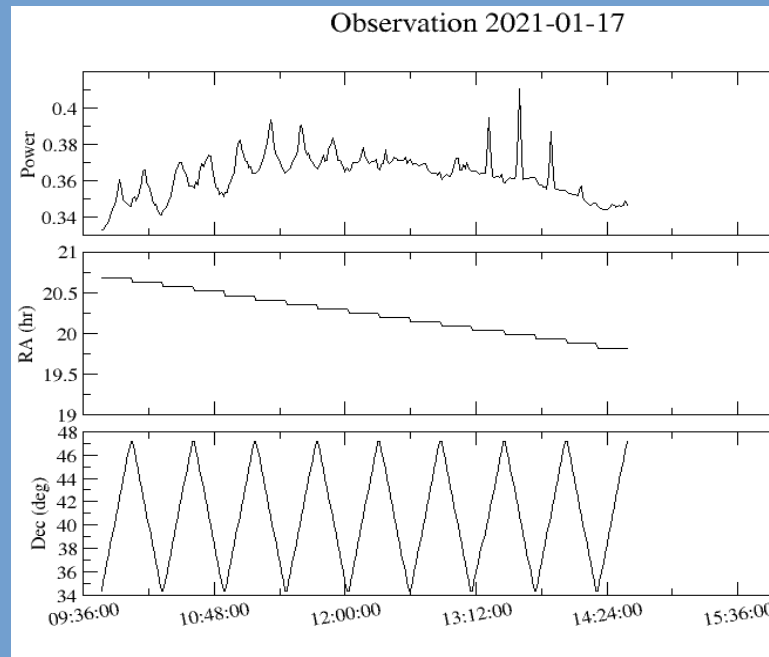
289 Jy



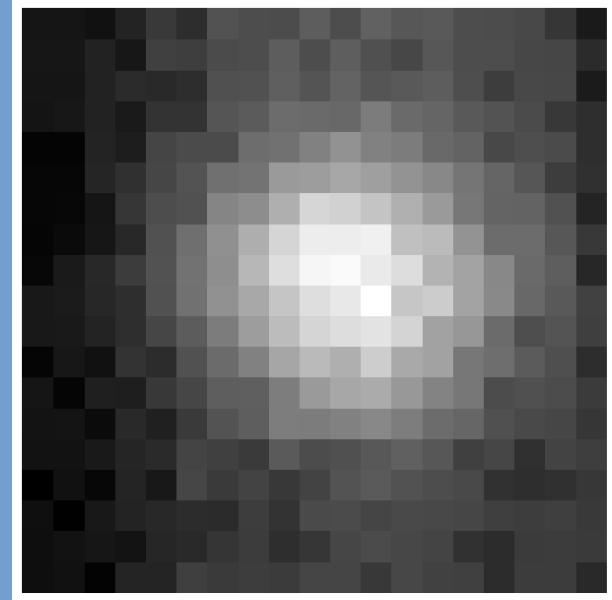
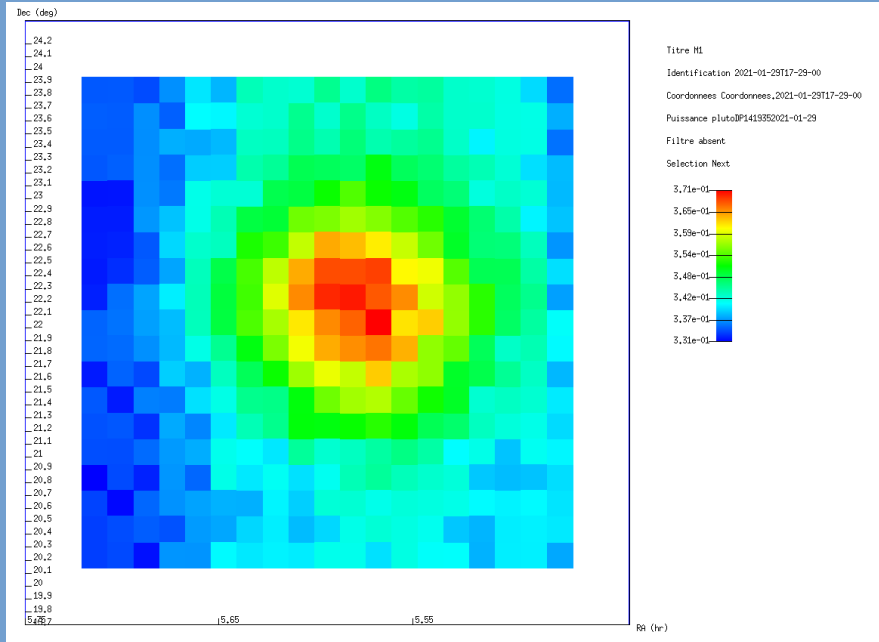
Cygnus A et Cygnus X  
 (points observés en tracking et  
 interpolation)

# Mosaïques

On peut aussi *patiemment*  
 réaliser des quadrillages



# Mosaïques



# Images de M1 29/01/2021



# Mosaïques

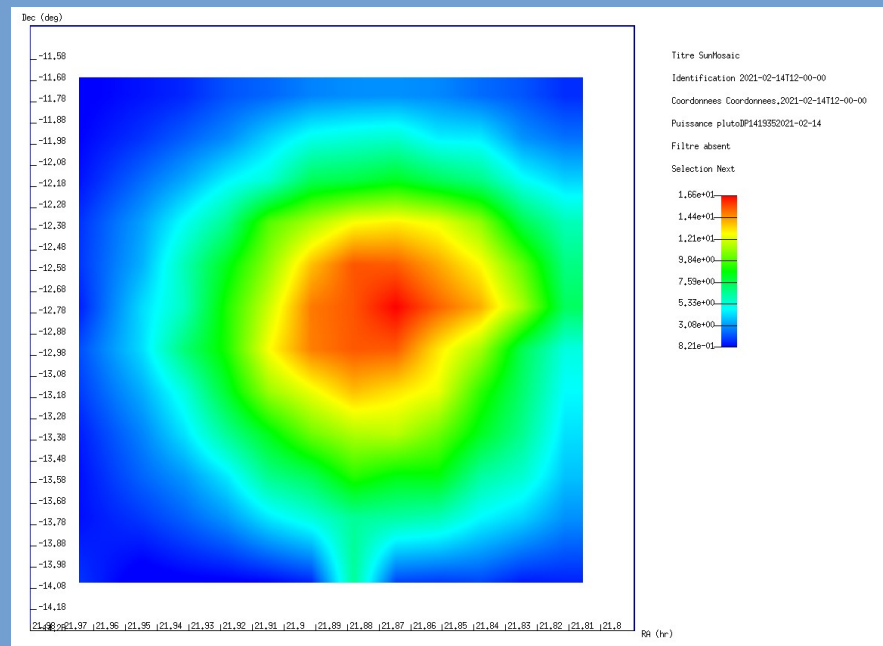
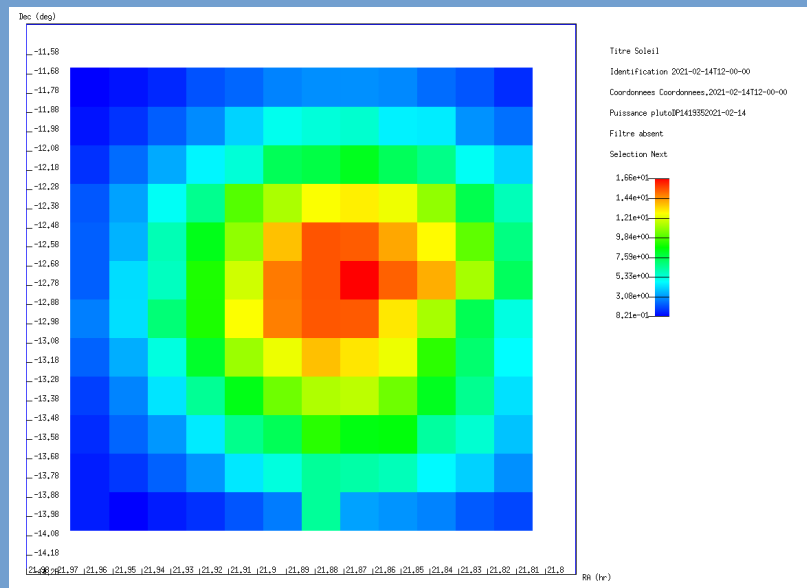
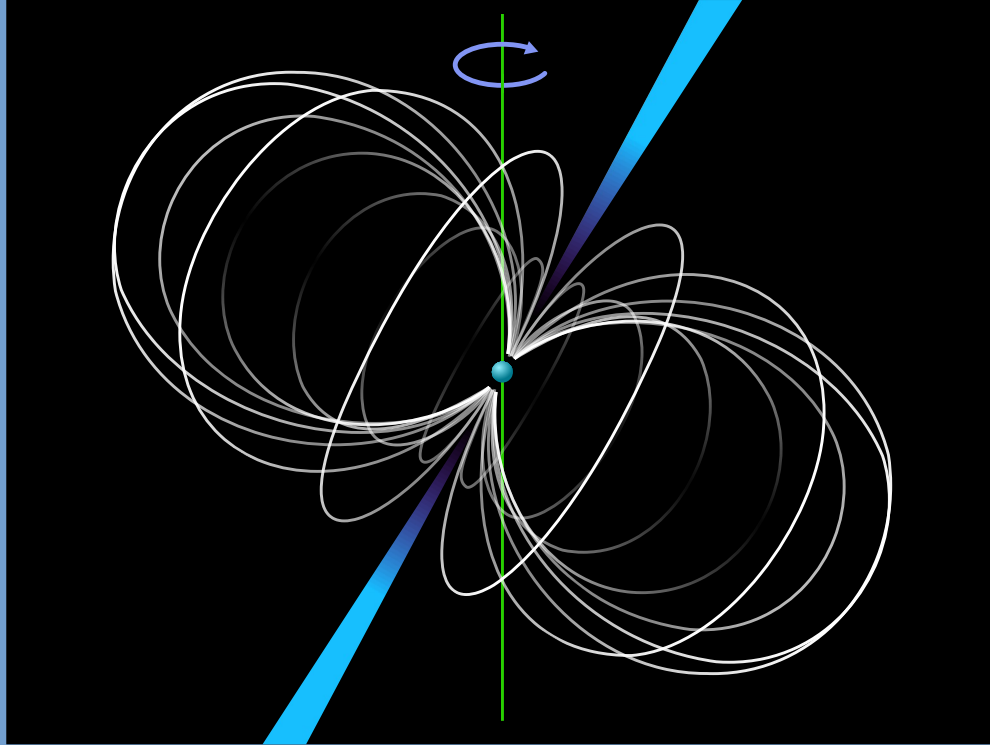


Image du soleil prise le 14/02/2021  
Sans et avec interpolation linéaire

# Pulsars



Étoiles à neutrons en rotation très rapide autour d'un axe et émettant un signal radio par ses pôles magnétiques

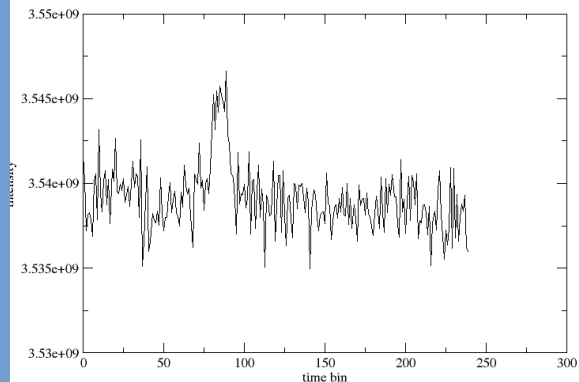
# Pulsars

Périodicité précise du signal  $\Rightarrow$

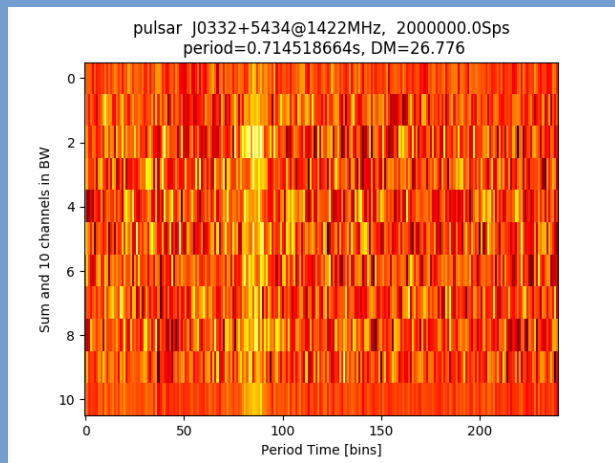
- période mesurées par des observatoires professionnels [EPN]
- on peut mettre en évidence le signal par intégration cohérente (répétée avec repliement périodique) autour de la fréquence connue
- pour de meilleurs résultats, on augmente la bande passante et on corrige la dispersion\*
- ajustement du Doppler

Dispersion : dépendance (légère) de la vitesse lumière en fonction de la fréquence

# Pulsars

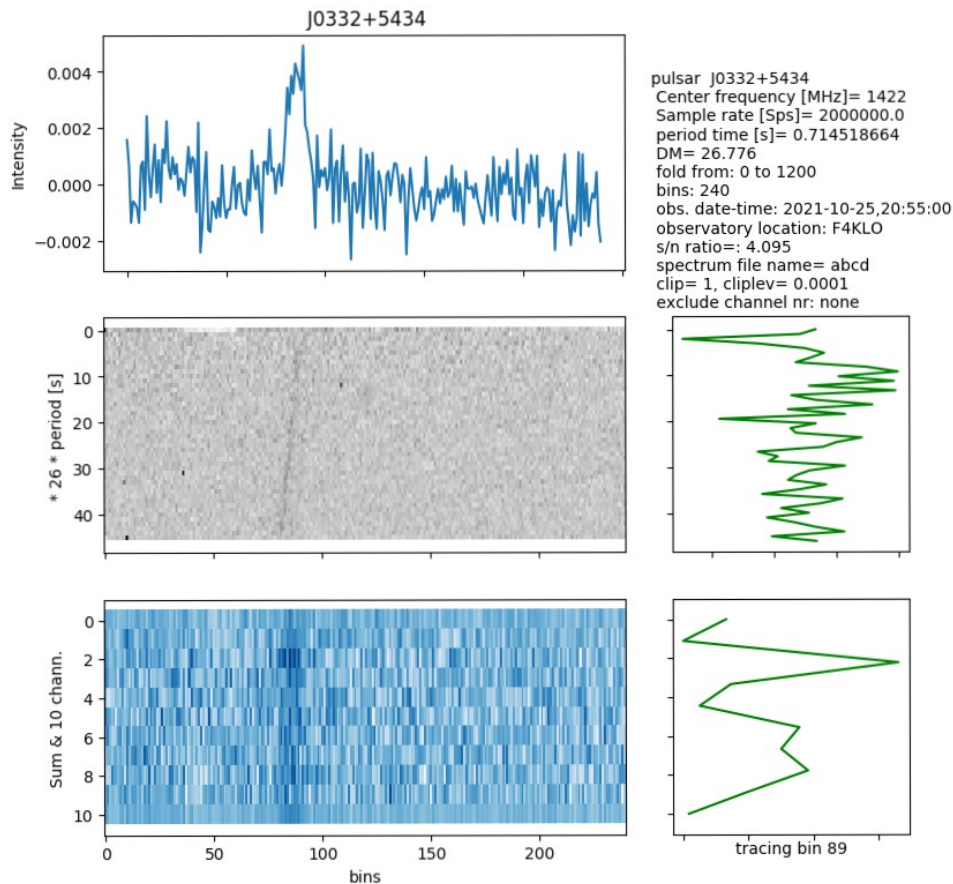


Algorithm d'intégration cohérente ou repliement du signal sur une unique période



Dispersion => déplacement du pic en fréquence en raison de la vitesse de groupe

# Pulsars



Pulsar J0332+5434 (constellation de la Girafe)

$T = 0.71452 \text{ s}$

Observation du 25/10/2021

Capture: RTLSDR – 1MS/s - 8bits

FFT + repliement: fftpack+ocaml (pas de correction de la dispersion)

Logiciel de post-traitement: 3pt  
<http://parac.eu/projectmk17b.htm>



# Pulsars

- \* Flux très faible  $< 5 \text{ Jy}$ 
  - => capture longue  $> 10 \text{ min}$  (845 périodes),  
bande passante importante => 8 bits
- \* Scintillation due à la longue traversée dans le milieu interstellaire  $> \text{minute}$ 
  - => refaire plusieurs captures à 15 minutes d'intervalle
- \* Dispersion: vitesse de propagation dépendante de la fréquence, faible pour J0332+5434
- \* Polarisation, dépendante du Pulsar, faible pour J0332+5434

\* nomenclature: B<RA1950>+<Dec> | J<RA2000>+<Dec>

# Spectres continus

Définissent la brillance des corps

\* Spectre de Planck (spectre du corps noir)

$$B_\nu(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{k_B T}\right) - 1}$$

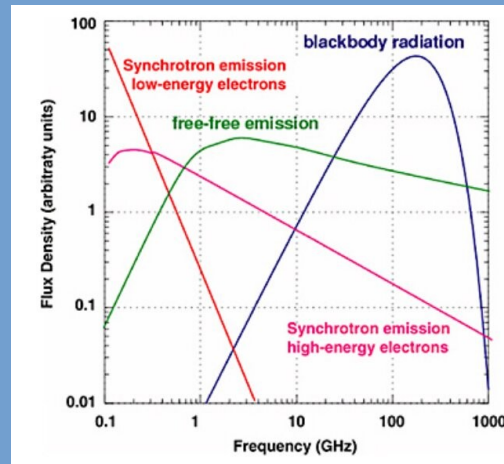
simplification de Rayleigh-Jeans

$$B_\nu(T) = \frac{2\nu^2 k_B T}{c^2}.$$

\* Free-Free (electrons accélérés autour des ions)

[cf Armentrout]

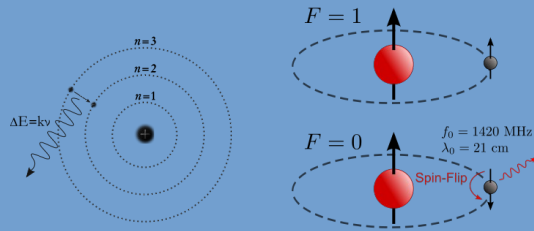
\* Synchrotrons (particules chargées accélérées par les champs magnétiques)



→ Celle ci est ensuite modifiée par la propagation

$$\frac{dI_\nu}{ds} = -\kappa_\nu I_\nu + \epsilon_\nu$$

Absorption                      Emission



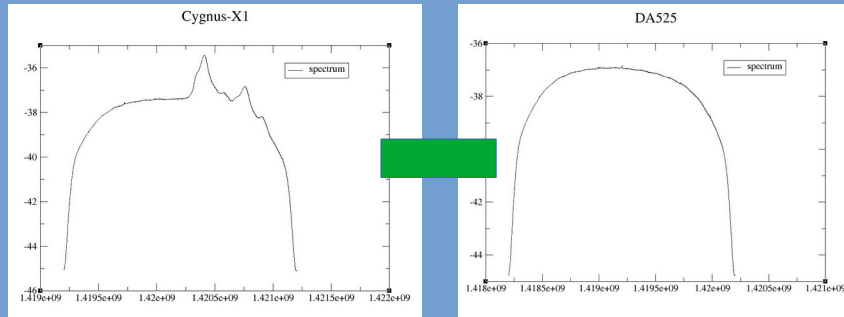
# Observation raie H1 à 21cm

La forme de la raie initialement très fine en raison de la durée très longue de desexcitation (inégalité de Planck) subit les changements suivants:

- Décalage Doppler désordonné: élargissement de la raie (→ bosse)
- Décalage Doppler dû à un mouvement de groupe : décalage de la raie
- Atténuation/augmentation due à la longue propagation dans le milieu interstellaire

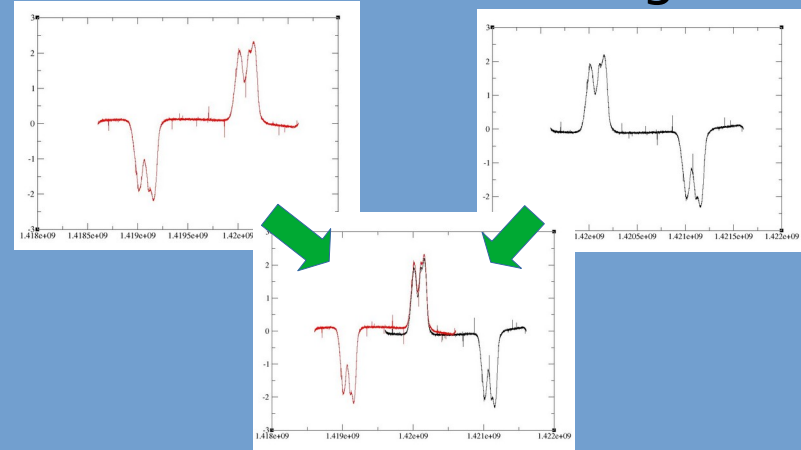
→ pour les distances faibles (dans la Voie Lactée, ou à redshift faible, ex M31,  $z$  proche de 0), la raie H1 se présente comme une série de bosses d'environ 50kHz de large proches de la fréquence 1420.4MHz et caractérisant en partie la propagation dans la direction de l'objet observé

# Redressement de la forme du spectre passe bande frequency switching : Out of band / In-band switching



On réalise 2 observations, 1 décalée de la raie H1 jusqu'à ne plus la voir et 1 sur la raie H1. La raie décalée est sur la partie du spectre de Planck variant très lentement. La forme du spectre vient donc principalement de la forme du filtre passe-bande du SDR. On soustrait le spectre décalé du spectre H1 pour observer la raie H1.

Note : on peut aussi changer de radio-source



On réalise 2 observations, décalées de la fréquence centrale en plus et en moins. On reconstitue le signal en faisant deux soustractions de chaque côté, puis 1 recentrage de chaque côté en enfin une moyenne.

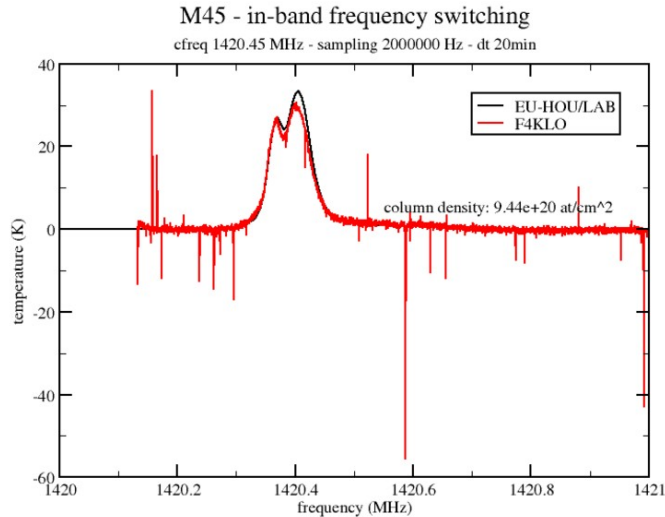
L'avantage de cette méthode est que les deux observations sont sur le signal utile (meilleur SNR)

# Parasites

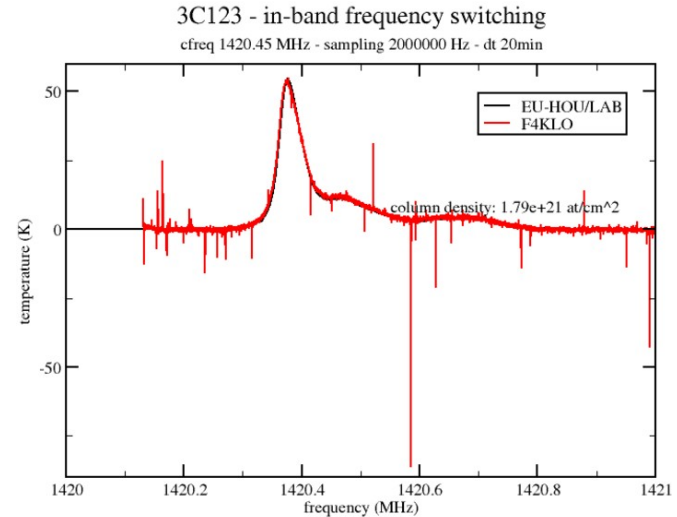
Sources :

- La Villette
- Moteurs
- Électronique
- Paris

F4KLO 2024-02-23



n5txh\_20240223171855\_32.0\_1420.95\_2\_1.5\_600.0



n5txh\_20240223174252\_32.0\_1420.95\_2\_1.5\_600.0

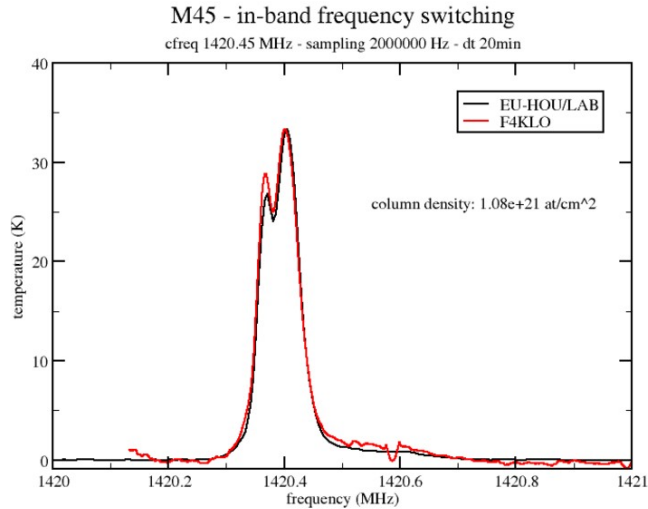


# Parasites

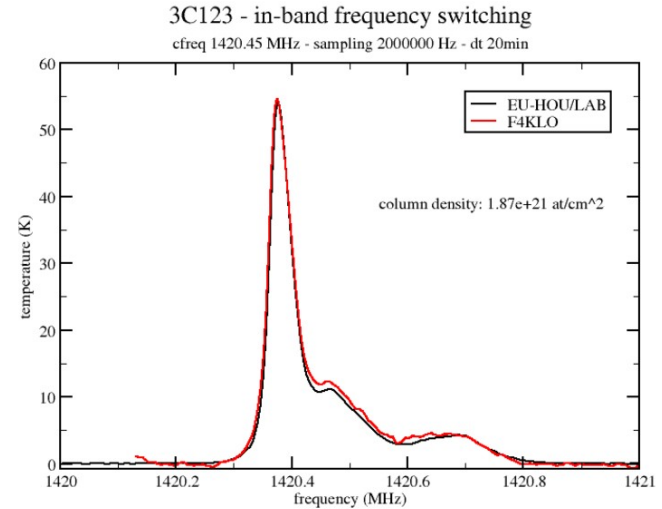
Nettoyage:

- filtre médian
- filtre Savitsky-Golay

F4KLO 2024-02-23



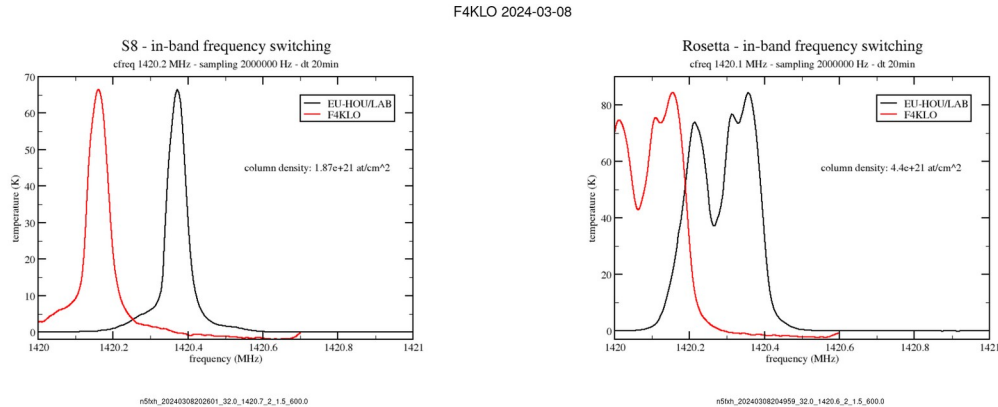
n5txh\_20240223171855\_32.0\_1420.95\_2\_1.5\_600.0



n5txh\_20240223174252\_32.0\_1420.95\_2\_1.5\_600.0

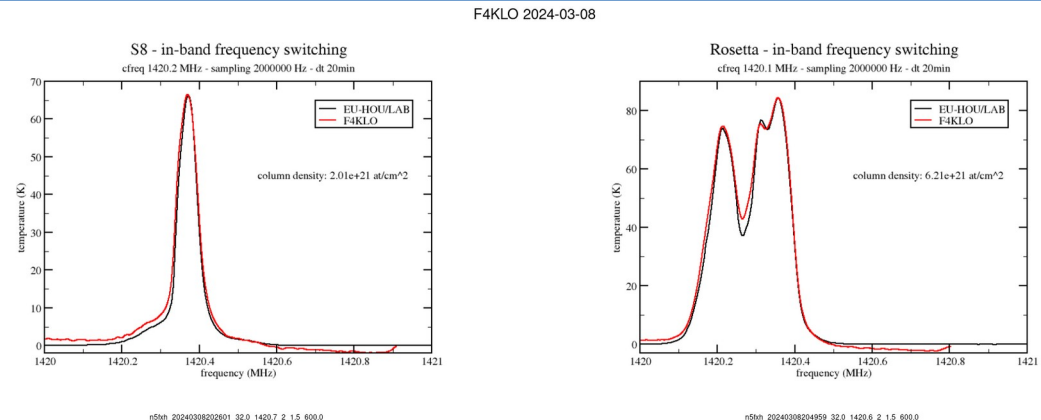
Comparaison des observations avec les spectres  
d'observatoires professionnels : Villa-Elisa, Dwingeloo  
[EU-HOU/Lab]

# Spectres



et correction du Doppler du mouvement  
orbital de la Terre et du mouvement  
galactique du soleil [Tobias Westmeier]

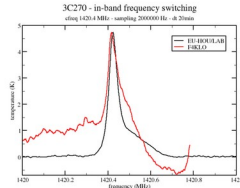
Note : le Doppler de rotation de la  
Terre sur elle-même a été négligé  
(et observation réalisée au sud)



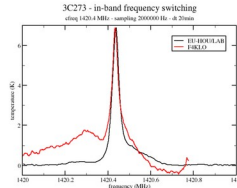
# Spectres

Quelques spectres  
du Week-End (scriptés)  
avec comparaison avec  
EU-HOU/Lab et  
Correction du Doppler  
orbital et galactique

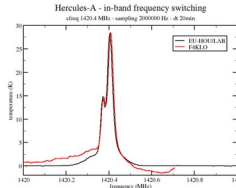
F4KLO 2024-02-03



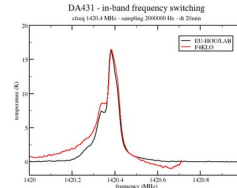
obsrv\_20000000706\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003



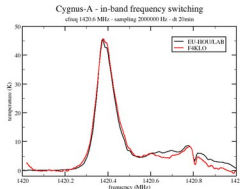
obsrv\_20000000002\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003



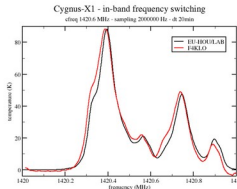
obsrv\_20000007047\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003



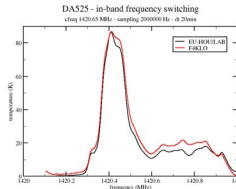
obsrv\_20000000046\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003



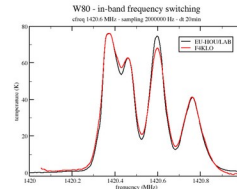
obsrv\_200000000706\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003



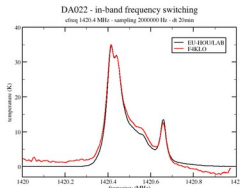
obsrv\_20000000002\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003



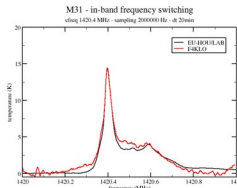
obsrv\_20000001000\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003



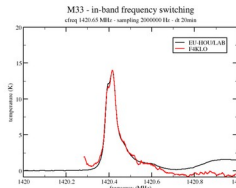
obsrv\_20000000046\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003



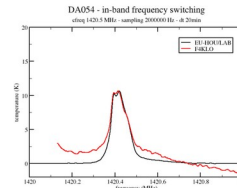
obsrv\_20000001000\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003



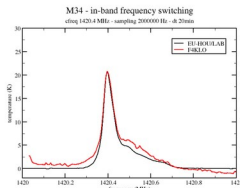
obsrv\_20000001000\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003



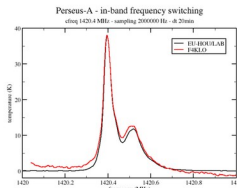
obsrv\_20000000002\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003



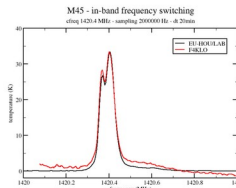
obsrv\_20000001000\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003



obsrv\_20000001000\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003



obsrv\_20000001000\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003



obsrv\_20000000002\_201\_1420.4\_2\_1.6\_0003

# Cartes de la Voie Lactée

## Différents modes de représentation

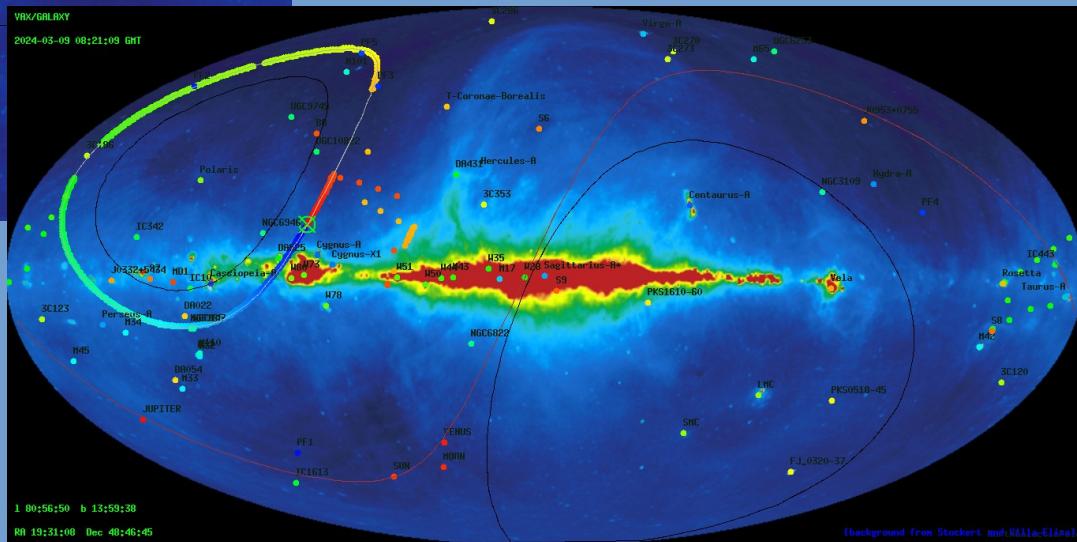
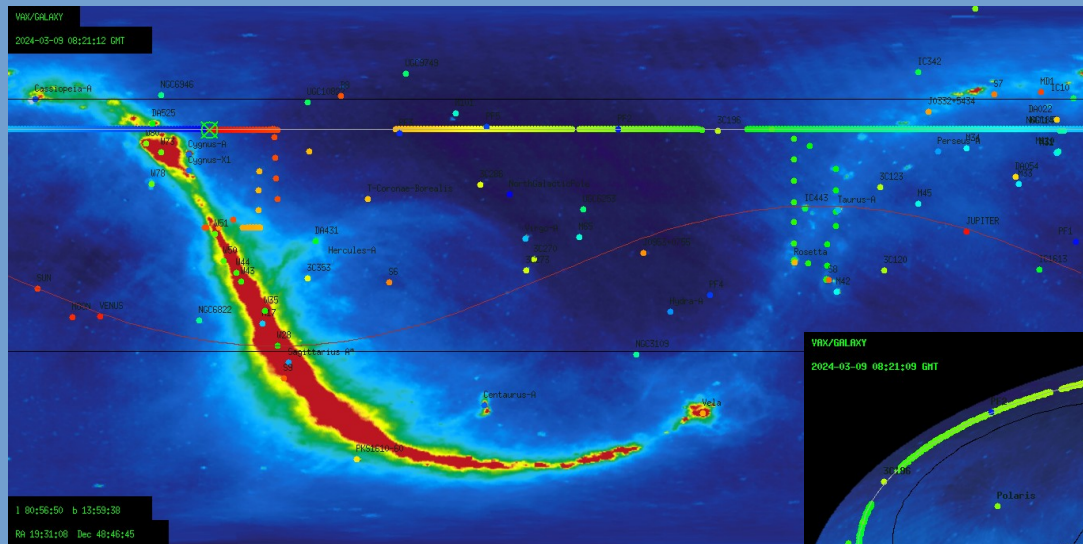
Représentation vue terrestre  
(équatorial: RA/Dec)

$$\begin{aligned}\cos(l_{NCP} - l) \cos(b) &= \sin(\delta) \cos(\delta_G) - \cos(\delta) \sin(\delta_G) \cos(\alpha - \alpha_G) \\ \sin(l_{NCP} - l) \cos(b) &= \cos(\delta) \sin(\alpha - \alpha_G) \\ \sin(b) &= \sin(\delta) \sin(\delta_G) + \cos(\delta) \cos(\delta_G) \cos(\alpha - \alpha_G)\end{aligned}$$

Wiki, Astronomical Coordinate systems

Représentation vue galactique  
(longitude gal  $\rightarrow l$ , latitude gal  $\rightarrow b$ )

On notera les 2 zones inaccessibles  
(dec > 58° et dec < -25°) et le chemin de  
l'écliptique



# Frise de la Voie Lactée

Frise longitudinale de la Voie Lactée (longitude galactique – fréquence)

On restera à latitude galactique nulle

- \* Redressement du spectre par position switching sur DA525

- \* 2 x 6 séries d'observations:

- 1 série du Cygne au Bouclier

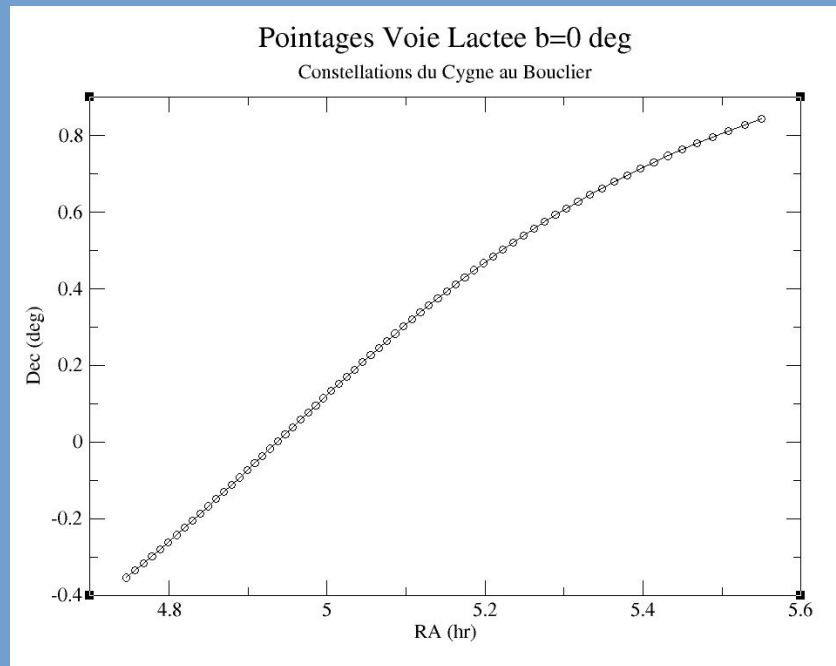
- ( $l=10..90^\circ$ , 66 points)

- 1 série de la Licorne à Auriga

- ( $l=150..230^\circ$ , 66 points)

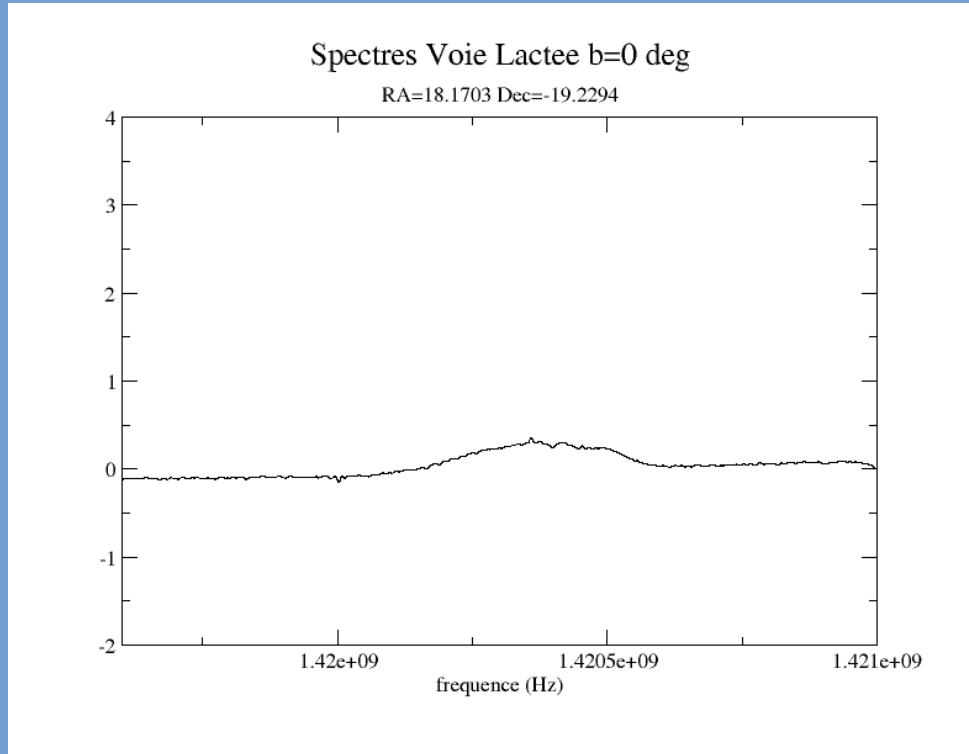
Chaque observation dure 2x4 minutes en mode frequency switching

17h d'observation réparties sur décembre 2023 – janvier 2024



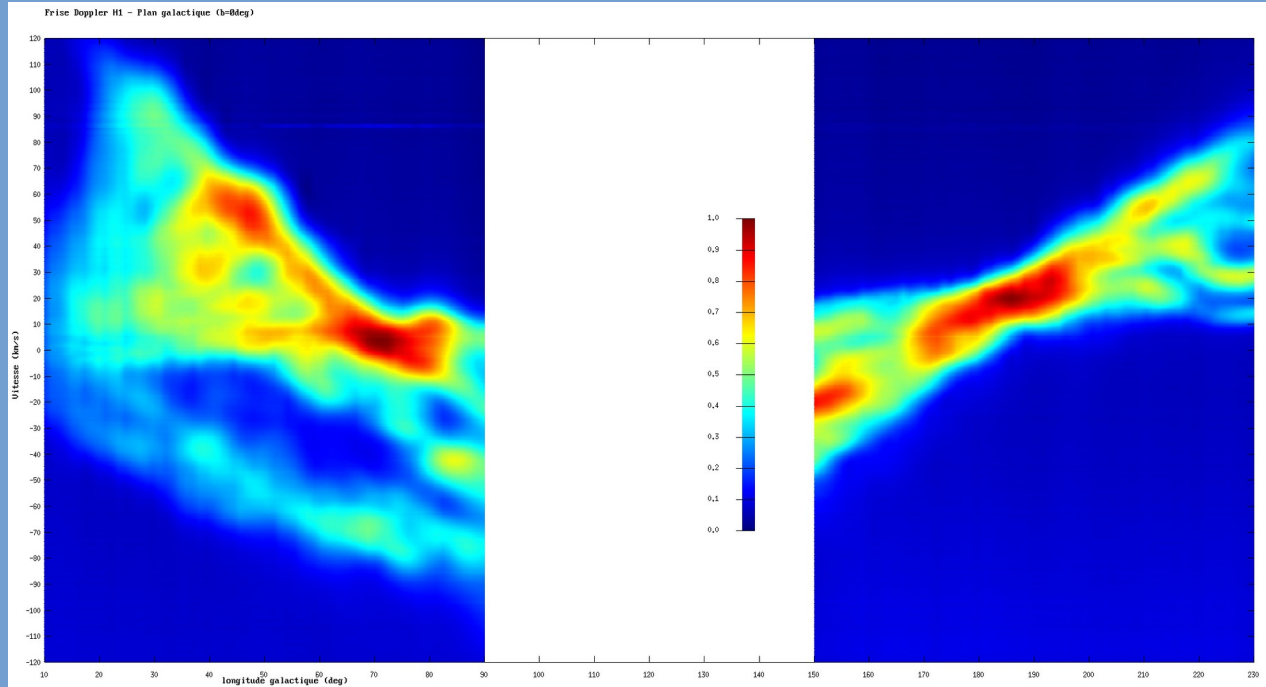


# Observation raie H1 de la Voie Lactée



Spectres → Intensité(fréquence, longitude)

# Frise de la Voie Lactée



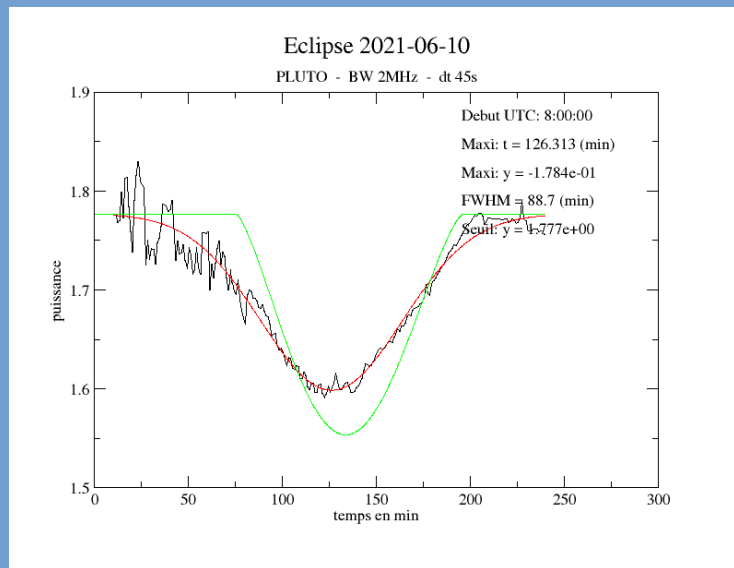
Frise longitudinale de la Voie Lactée  
(longitude galactique - fréquence)

# Eclipses de soleil

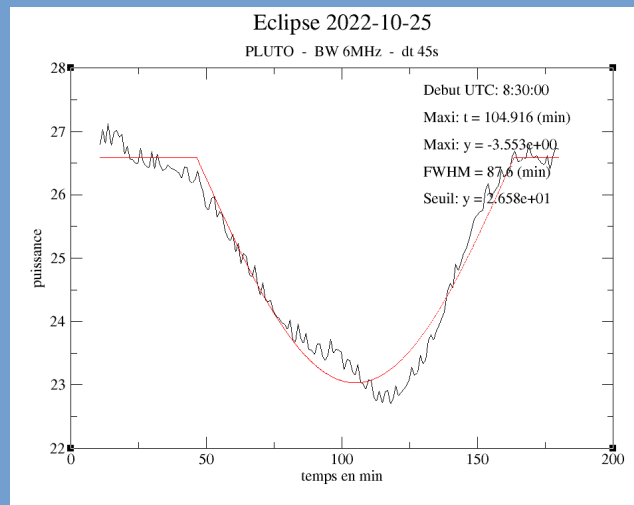
← Fluctuations avant 9H: arbres, immeubles ?

Courbe prévision absorption "optique" en vert, ajustement aux données en rouge

Les transitions dans le domaine radio sont censées être plus lisses en raison de l'ouverture de l'antenne.



→ encore beaucoup de bruit!  
(revisite en vue)



# “Le Chant des Etoiles” :

projet d'une équipe...  
multidisciplinaire...  
radioastronomie,  
radioamateur, EME, satellites  
ouvert à tous...

<http://radiotelescope-lavillette.fr>

Bernard F6BVP/AI7BG - Rémi F6CNB/N5CNB

Patrick F1EBK/W6NE - François-Xavier N5FXH

Guillaume F4JJJ – Bilal Ladjelate

en collaboration avec :

Electrolab (Yannick F4HDA...)

Michel Bourdon

F4KLO



Et merci de votre attention !

# Références

John D. Kraus, « Radioastronomy », 1986

Chadraskhar, « Radiative Transfer », 1960

Armentrout, « Observing Techniques », GBT

Wikipédia, Spectres Planck, Rayleigh-Jeans, Systèmes de coordonnées célestes (fr)

Stockert, Villa-Elisa, All-Sky 1420MHz Continuum Map

<https://indilib.org/>

[http://www.atnf.csiro.au/people/Tobias.Westmeier/tools\\_hihelpers.php](http://www.atnf.csiro.au/people/Tobias.Westmeier/tools_hihelpers.php)

<https://www.astro.uni-bonn.de/hisurvey/euhou/LABprofile/index.php>

<https://www.jb.man.ac.uk/research/pulsar/Resources/epn/browser.html>

<https://radiotelescopelavillette.wordpress.com/>

<http://www.f4klo.ampr.org/>

<http://parac.eu/projectmk17b.htm>

<https://sites.google.com/view/hawkrao/home/>