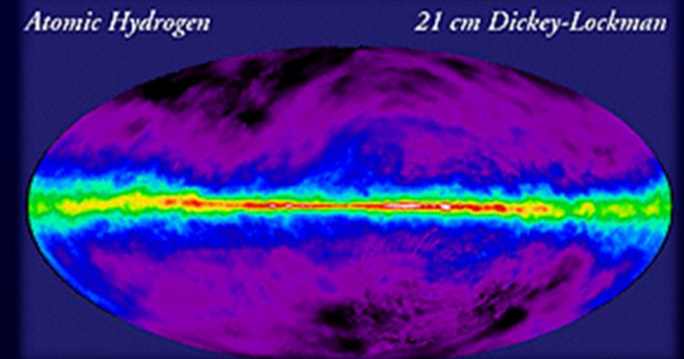


# Projet « Hydrogène »

Radiotélescope à 1420 MHz

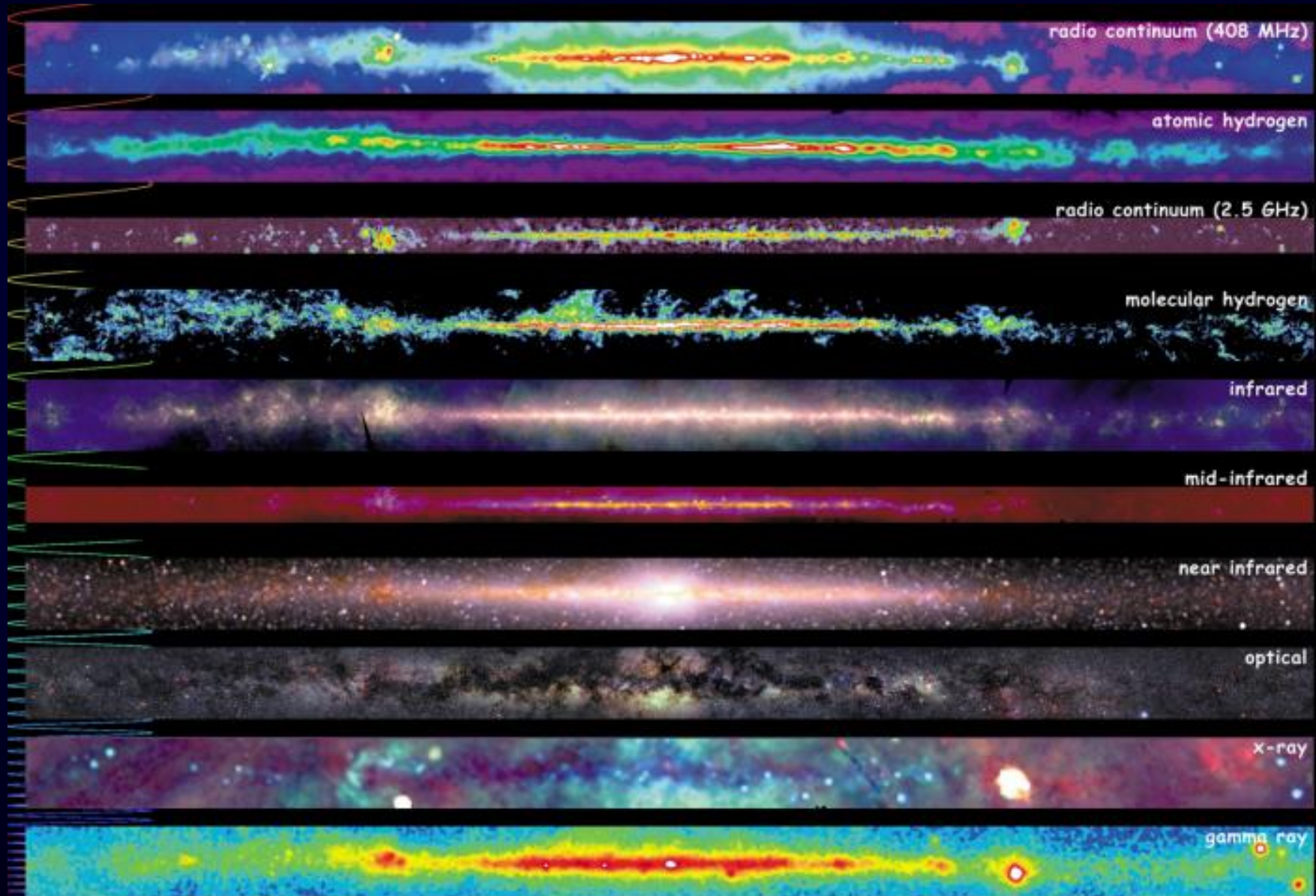


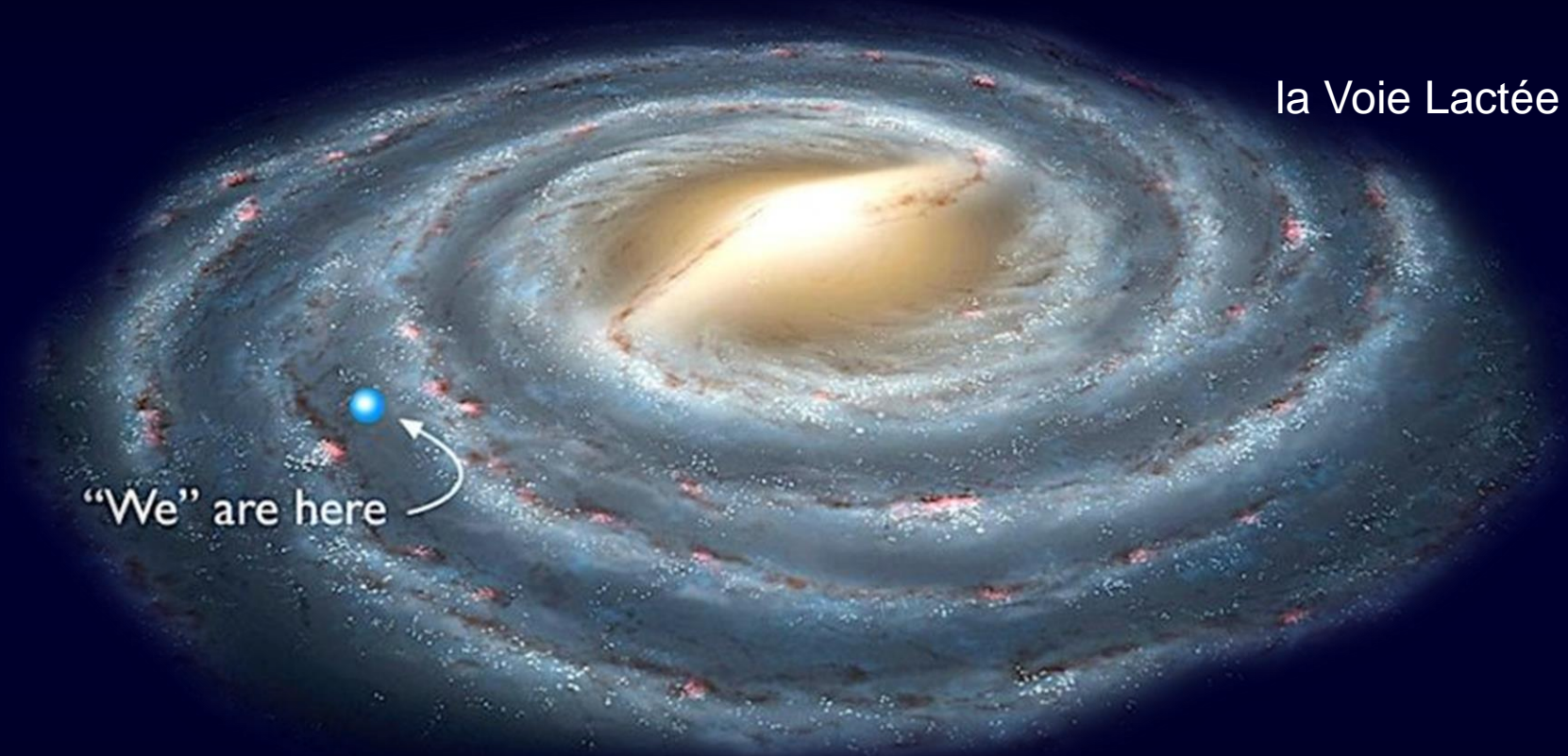
- le signal à recevoir
- le système de réception
- le signal reçu
- Annexe : tests et mesures

# ➤ émissions de la Voie Lactée

Hydrogène  
à 1420 MHz

visible





5 à 10% de la masse de notre Galaxie est de l'hydrogène présent partout entre les étoiles  
Ces grands nuages d'hydrogène atomique produisent une émission radio à 1420,405 MHz  
L'étude de ces signaux a permis de comprendre la structure en spirale de notre galaxie

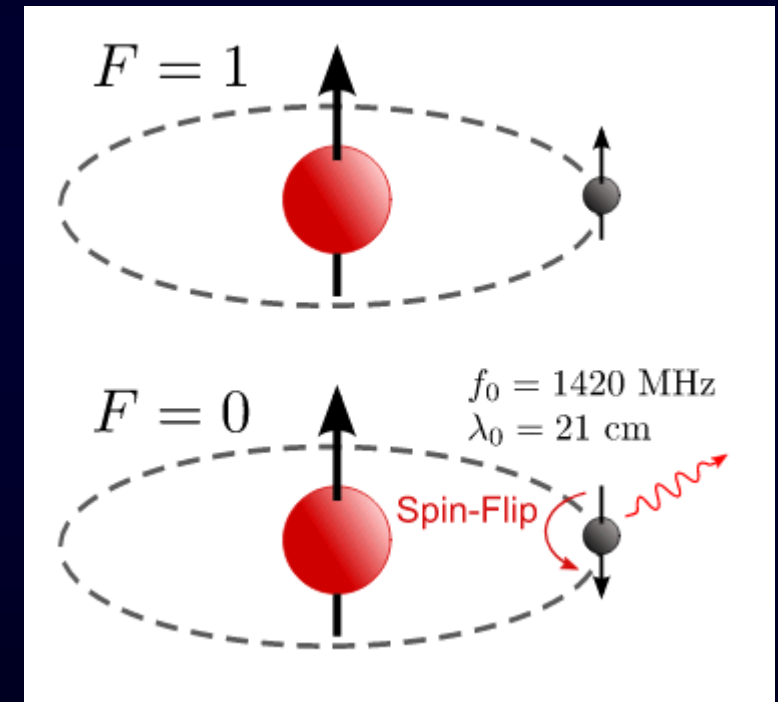


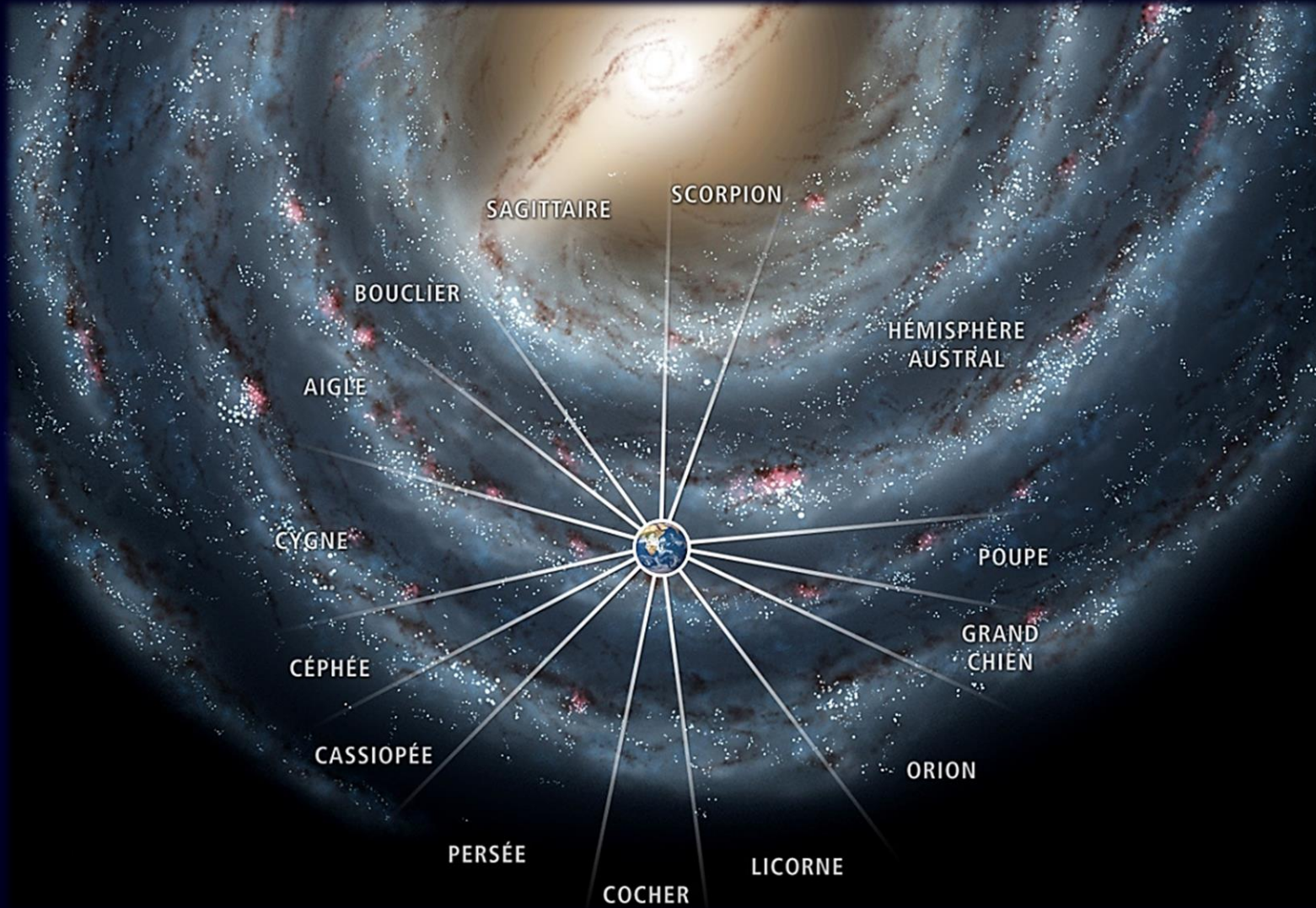
Ces grands nuages d'hydrogène atomique produisent un rayonnement électromagnétique particulier.

**Processus physique** : transition atomique entre les deux sous-niveaux de la structure hyperfine du niveau fondamental de l'atome d'hydrogène.

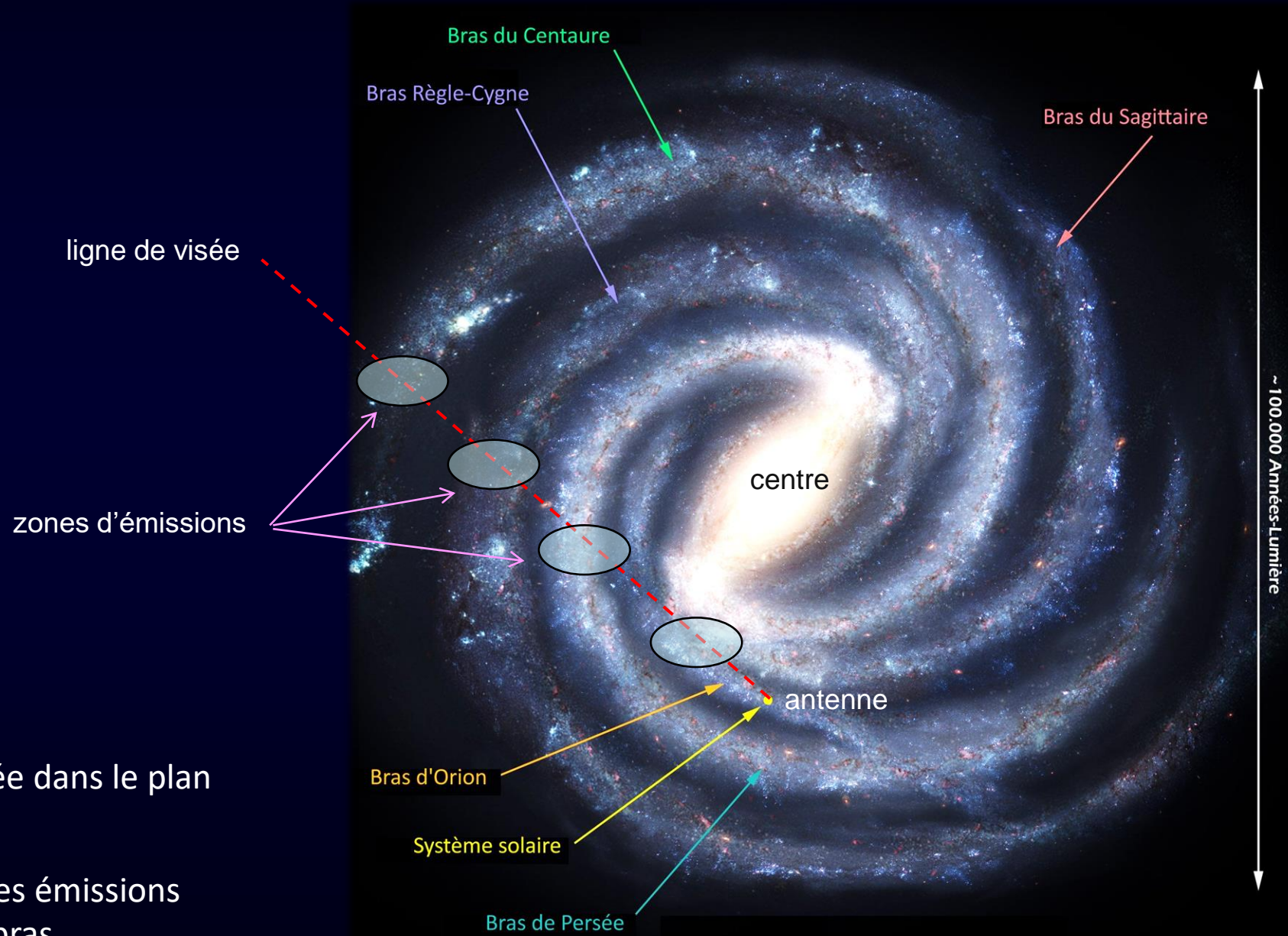
L'expression « raie 21 cm » désigne la raie spectrale en émission de l'hydrogène présent dans la galaxie

- longueur d'onde  $\lambda = 21 \text{ cm}$  dans le vide
- fréquence :  $f = 1420,40575 \text{ MHz}$





Directions galactiques associées à différentes constellations.



- antenne pointée dans le plan galactique
- elle va capter les émissions des différents bras



## ➤ l'arc de la Voie Lactée

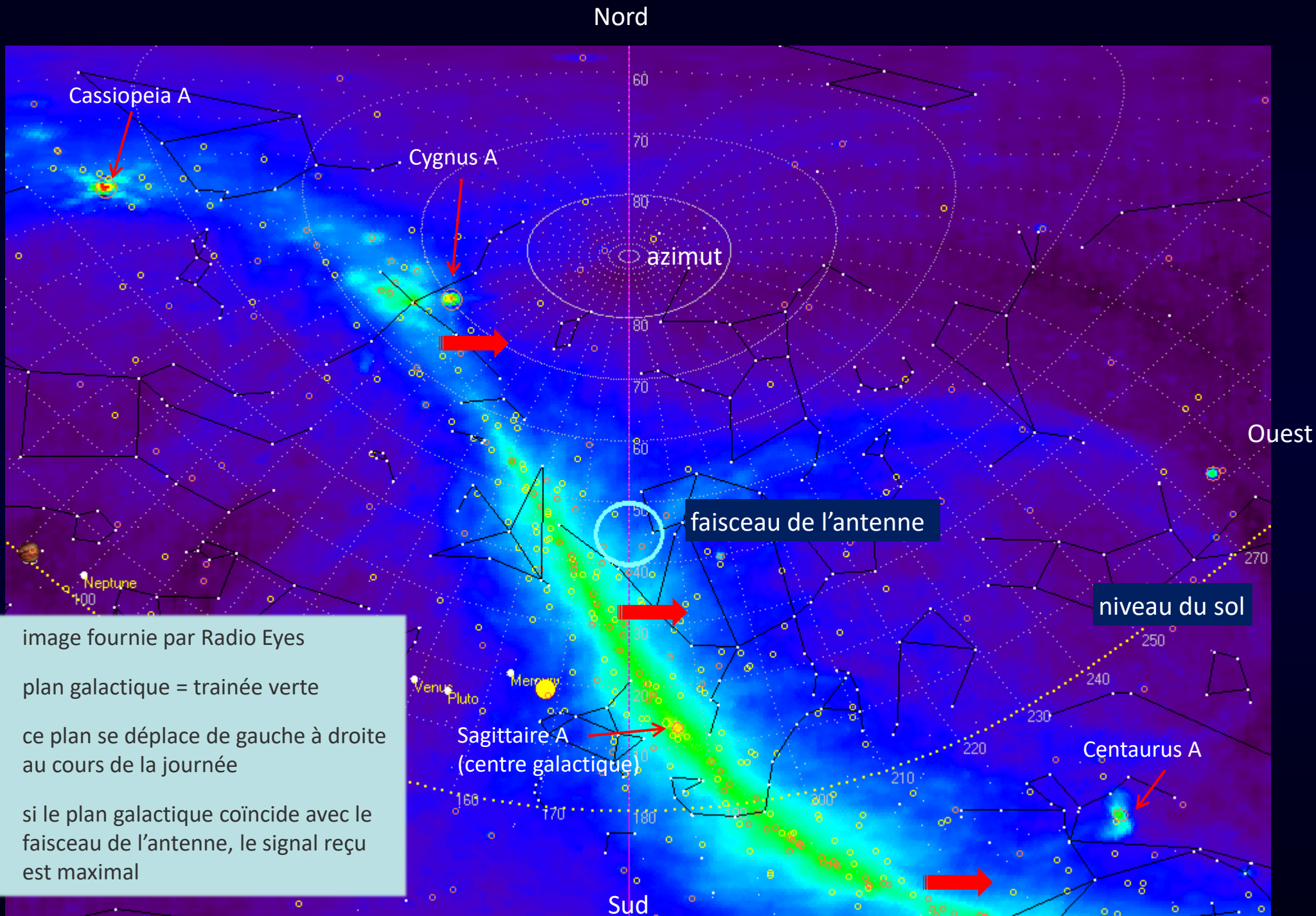


Le plan galactique est incliné de  $60^\circ$  par rapport à l'écliptique (plan de l'orbite terrestre).

À cause de cela, la Voie lactée apparaît comme un arc dans le ciel nocturne.

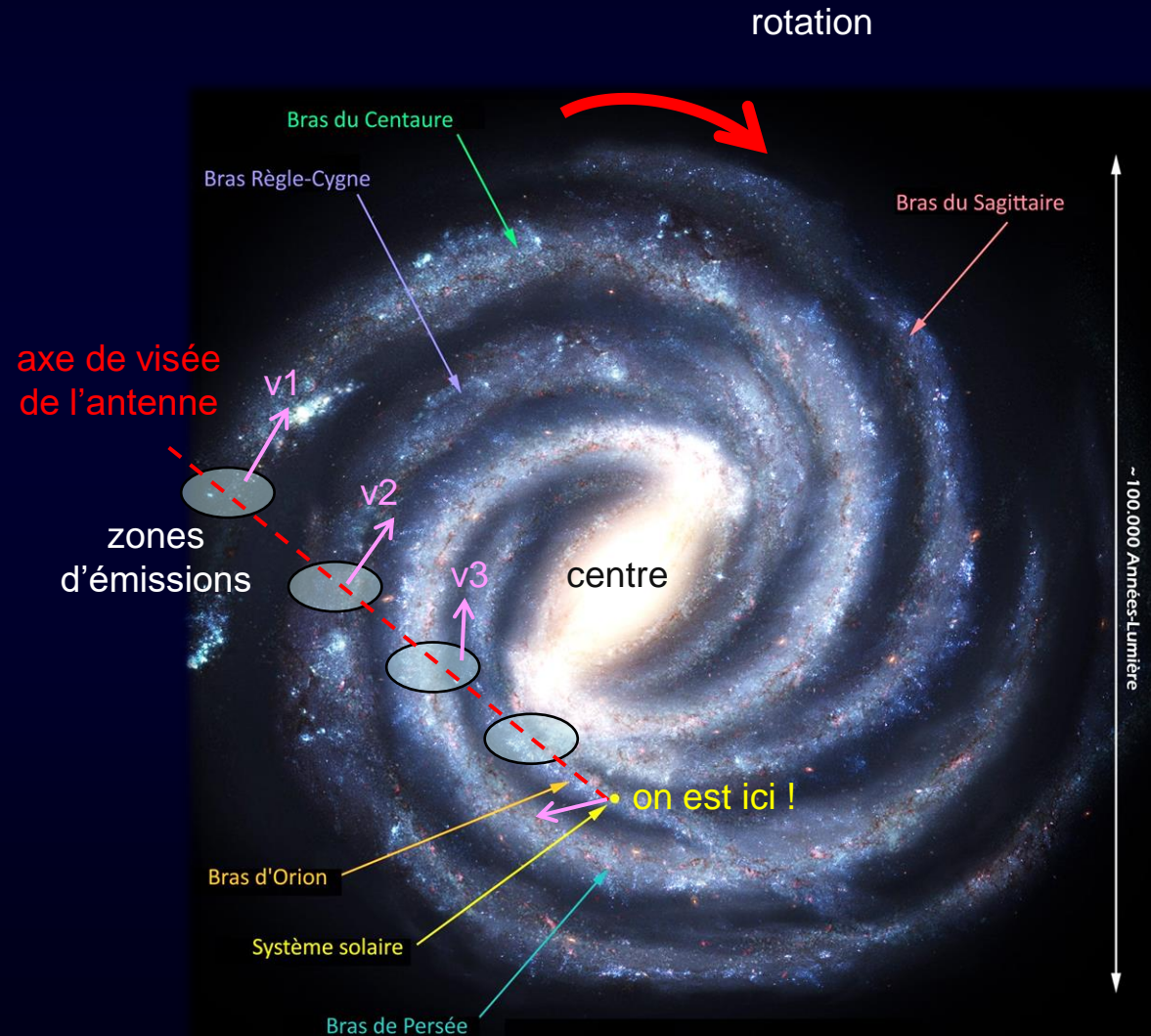
Cet arc se déplace dans le ciel, et passe deux fois par jour au-dessus de la tête d'un observateur.



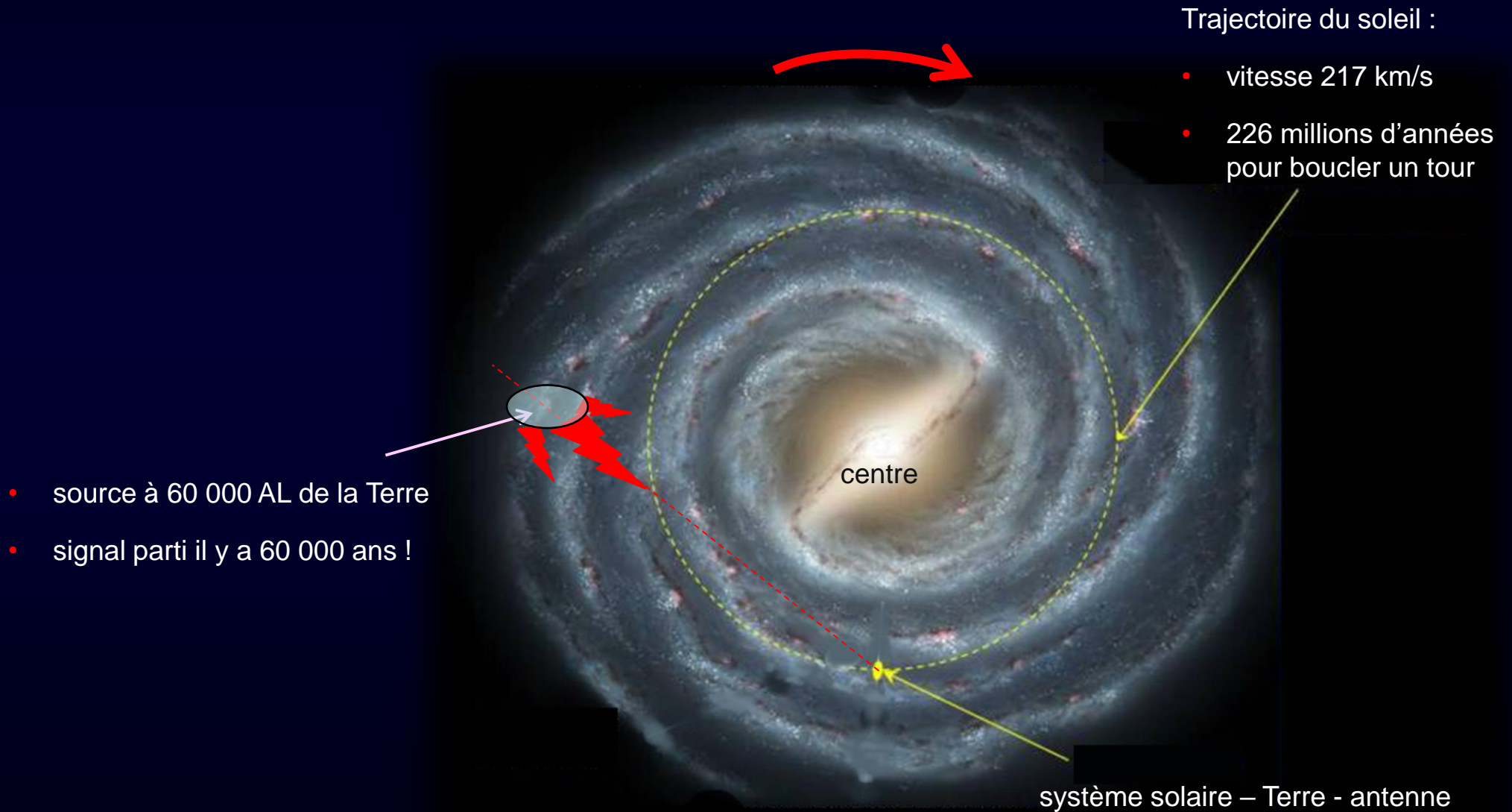


# ➤ galaxie en mouvement

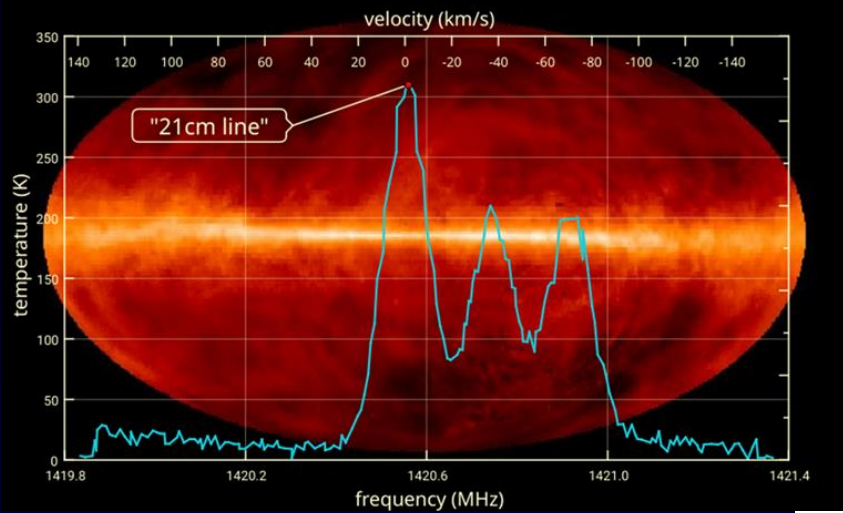
- la galaxie tourne sur elle-même
- le soleil se déplace dans le bras d'Orion
- les zones d'émissions des bras sont en mouvement / Terre
- les fréquences émises sont donc modifiées par effet Doppler
- le signal reçu ne sera pas une raie à 1420,405 MHz mais un paquet spectral
- ce paquet sera la superposition des émissions des différents bras
- ces signaux viennent de loin (10 000 à 100 000 AL) > ils ont donc été émis il y a longtemps (10 000 à 100 000 ans)



## ➤ à des années-lumière







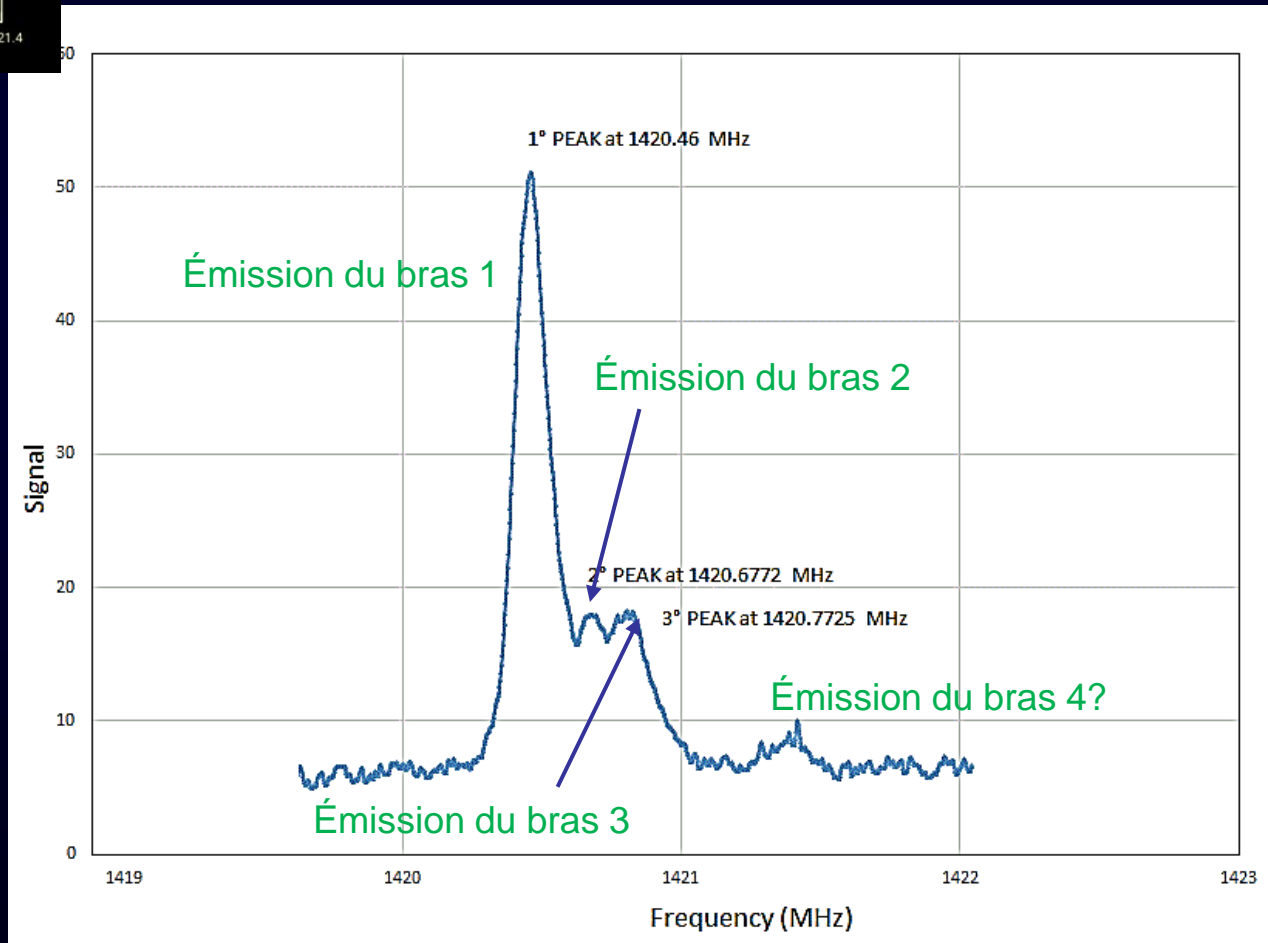
➤ paquet spectral reçu

Le spectre élargi par effet Doppler va de :

- $F_{\min} = 1420 \text{ MHz}$  à
- $F_{\max} = 1421,5 \text{ MHz}$

Soit un encombrement spectral de :

- $B = 1,5 \text{ MHz}$  mini autour de
- $F_0 = 1420,75 \text{ MHz}$



## ➤ décalage Doppler

Le décalage Doppler produit par une vitesse radiale  $V_r$  est donné par :

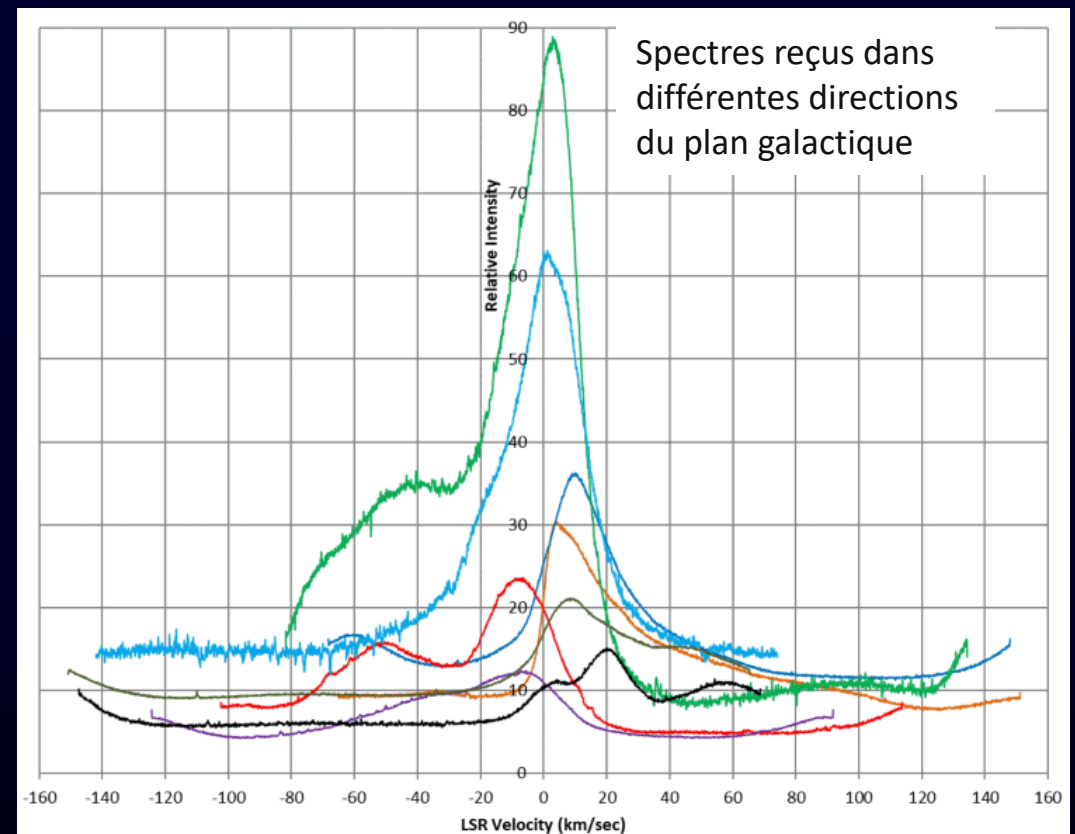
$$\Delta f/f = V_r/c$$

AN :  $f = 1420,40575$  MHz,  $\Delta f = 0,1$  MHz  $\Rightarrow V_r = 21,1$  km/s.

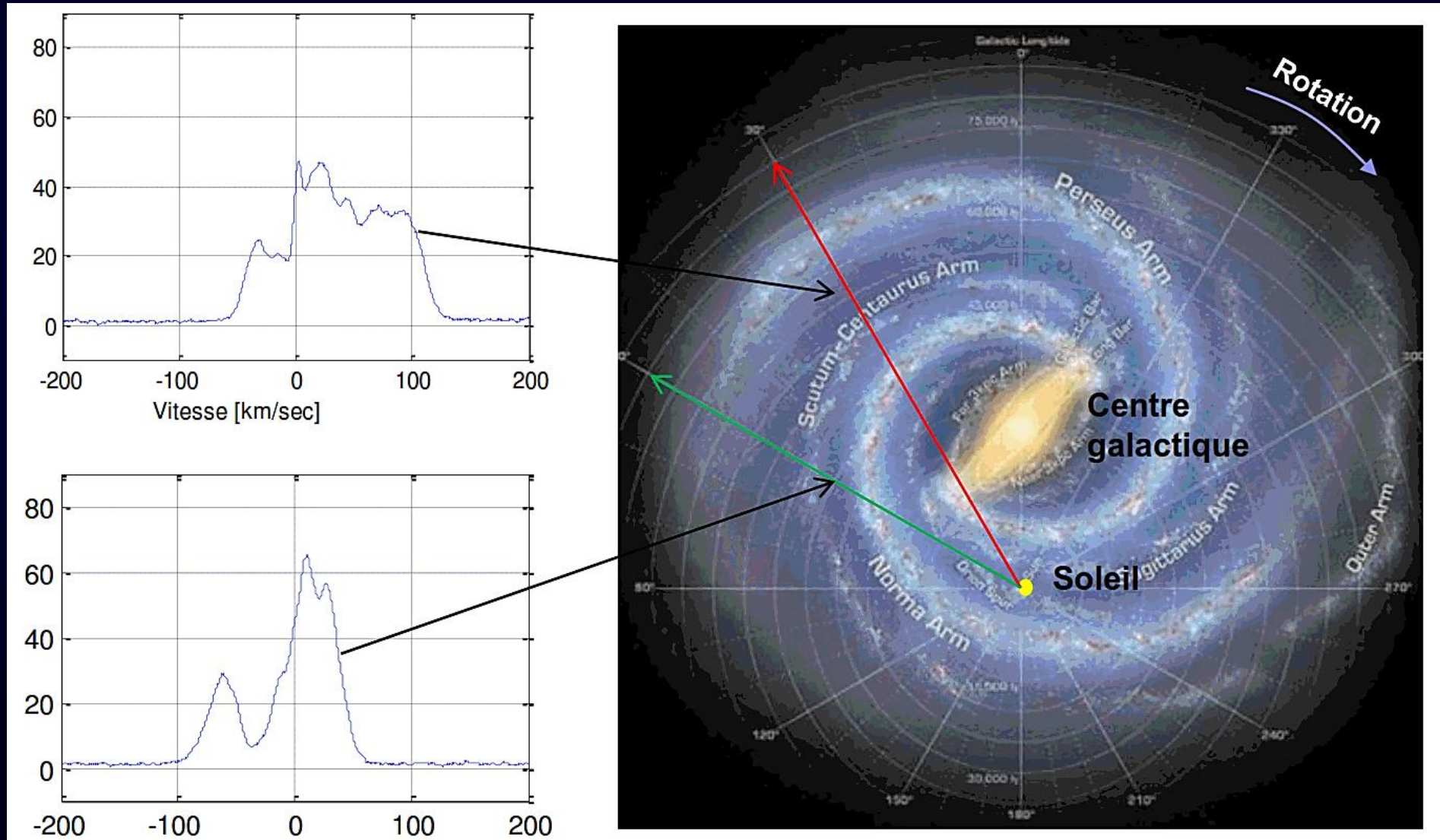
On peut donc graduer l'abscisse du spectre du signal reçu en MHz ou en km/s

NB : pour une bande passante  $B = 2$  MHz du système de réception, la plage de vitesses couverte est de 420 km/s.

Cela suffit pour la plupart des observations de raies d'hydrogène intra-galactiques.



Vitesses radiales des sources d'émissions

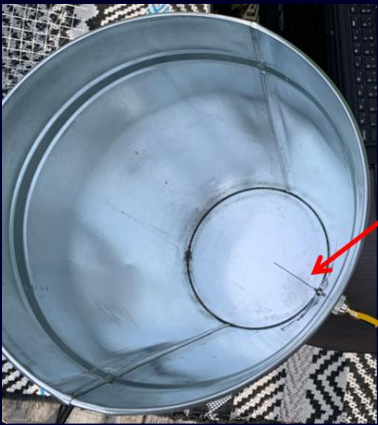




- le signal à recevoir
- le système de réception
- le signal reçu
- Annexe : tests et mesures

# ➤ la chaîne complète

cornet récepteur



antenne  $\lambda/4$

3x cordon SMA – 15 cm\*



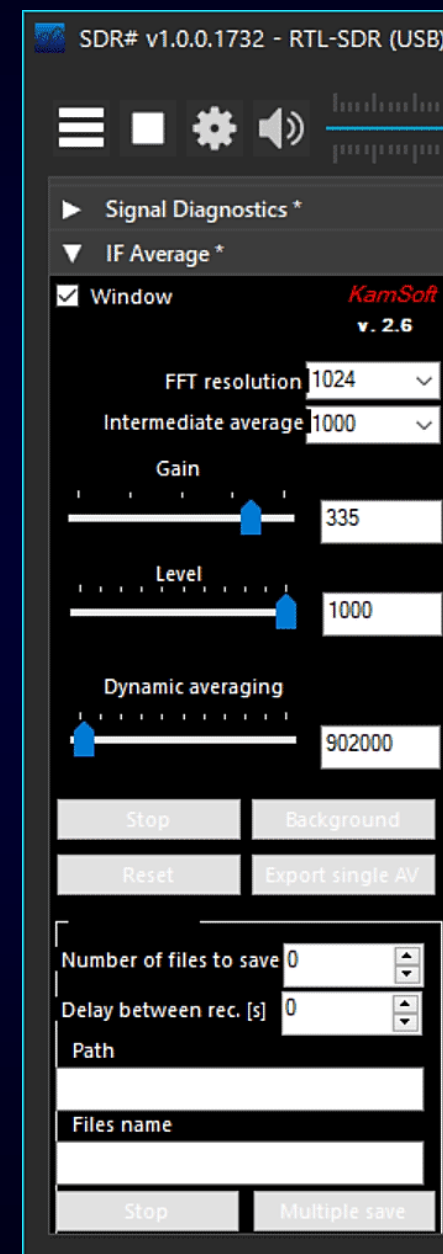
\* disponible entre autres chez Amazon

Partie logicielle

- SDR# muni de son plugin « IF average » (gratuit)
- Stellarium pour repérer la Voie lactée (gratuit)

## ➤ paramétrage de SDR#

1. Ouvrez SDR #, sélectionnez le RTL-SDR, démarrer
2. Ajustez le curseur RF Gain au maximum
3. Accordez le récepteur sur 1420,405 MHz
4. Activer le plug-in « IF Average »
5. Régler les paramètres comme ci-contre >
6. Étalonnage : connectez votre LNA à la charge 50 ohms
7. Cochez la case « Fenêtre » et appuyez immédiatement sur le bouton « Background » afin de générer l'arrière-plan de référence (qqes minutes)
8. Une fois l'analyse terminée, « Corrected background » est affiché en jaune
9. Reconnecter l'antenne.
10. Ajuster besoin les Gain et Niveau pour obtenir la FFT à l'écran.
11. Attendre que la Voie lactée entre dans le faisceau de l'antenne





# ➤ paramétrage de SDR#

AIRSPY SDR# Studio v1.0.0.1901 - RTL-SDR USB

00 1.420.405.000

**IF Average \*** *KamSoft v. 2.6*

Window

FFT resolution: 1024

Intermediate average: 1000

Gain: 389

Level: 1000

Dynamic averaging: 1803000

Stop Background

Reset Export single AV

**Multiple files**

Number of files to save: 1

Delay between rec. [s]: 0

Path: D:\Dropbox\T-Raie

Files name: Spectres

Stop Multiple save

**Radio**

NFM  AM  LSB  USB

WFM  DSB  CW  RAW

Shift: 0

Filter: Blackman-Harris 4

Bandwidth: 1 503 Order: 1 000

Squelch: 50 CW Shift: 1 000

Quadrature  Snap to Grid

Lock Carrier  Correct IQ

Anti-Fading  Invert Spectrum

**Spectrum Plot**

dBFS: -40 to -50

Frequency: 1,420 000 G to 1,420 750 G

Zoom

Contrast

Range

Offset

The screenshot displays the AIRSPY SDR# Studio software interface. The top bar shows the current frequency as 1.420.405.000. The interface is divided into several panels. On the left, the 'IF Average' panel is active, showing settings for FFT resolution (1024), intermediate average (1000), gain (389), level (1000), and dynamic averaging (1803000). Below these are buttons for 'Stop', 'Background', 'Reset', and 'Export single AV'. A 'Multiple files' section allows saving 1 file with a 0-second delay to the path 'D:\Dropbox\T-Raie' with the filename 'Spectres'. The central 'Radio' panel shows 'CW' mode selected, with a 'Blackman-Harris 4' filter, a bandwidth of 1503, and an order of 1000. Other options like 'Correct IQ' and 'Snap to Grid' are checked. On the right, a spectrum plot shows a signal level around -47 dBFS. Below the plot is a spectrogram. On the far right, there are vertical sliders for 'Zoom', 'Contrast', 'Range', and 'Offset'.

## ➤ test chaine complète

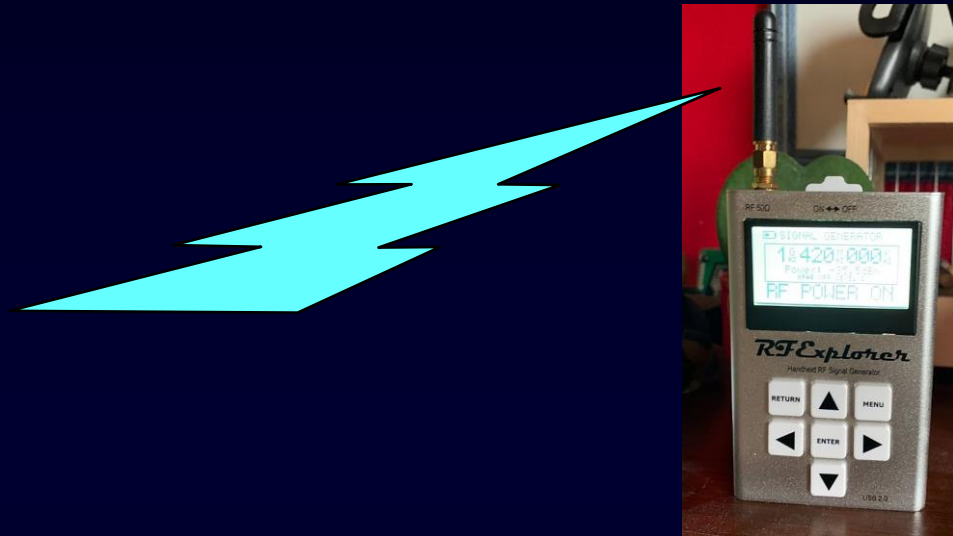


antenne

préampli LaNA

Bias Tee

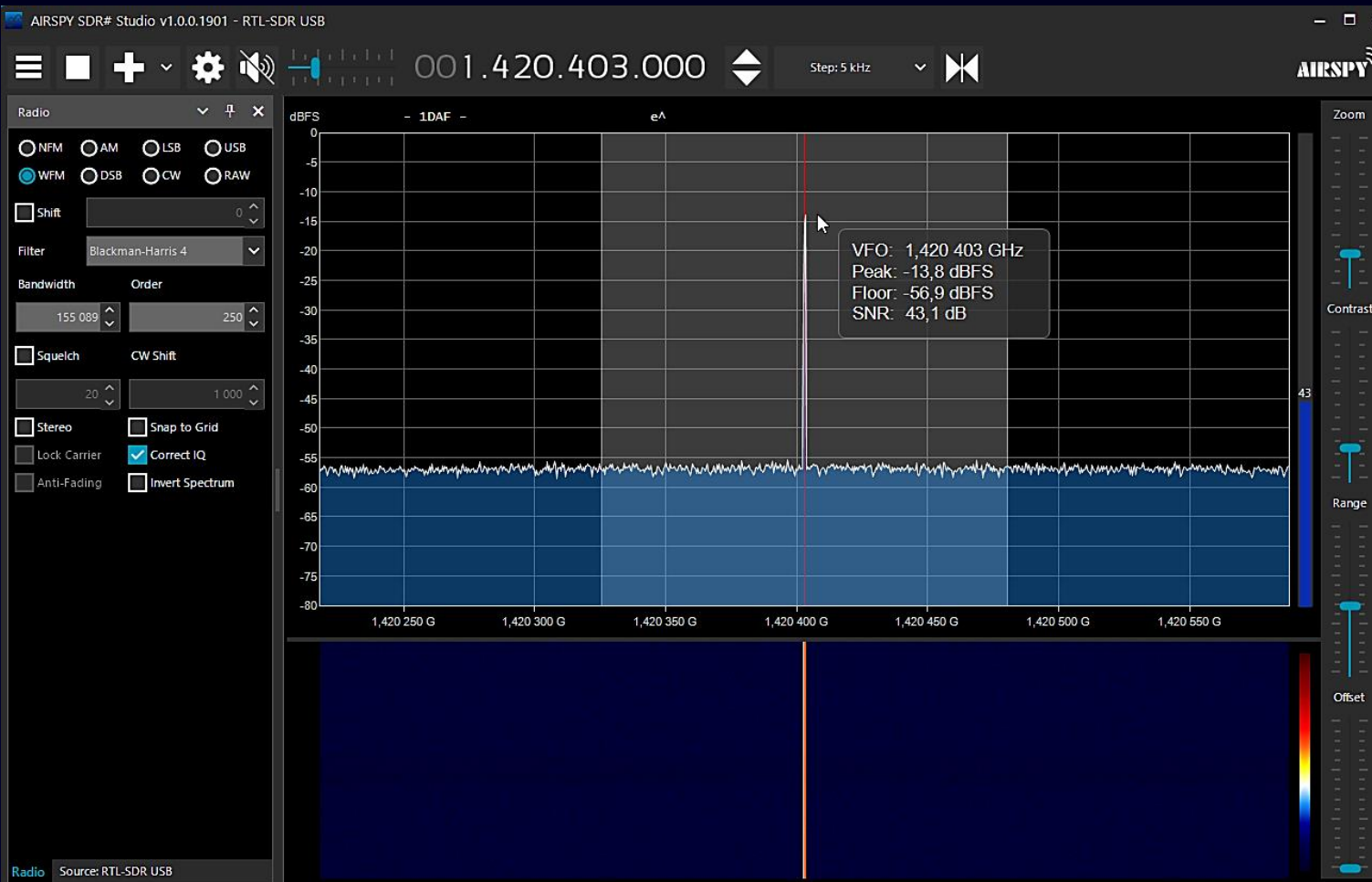
préampli SAW



émetteur 1420 MHz -35,5 dBm

- la chaine de réception a un gain très élevé
- l'émetteur sera donc réglé à sa puissance mini
- l'intensité du signal reçu doit rester importante même avec un émetteur éloigné et sans antenne

# ➤ test chaîne complète

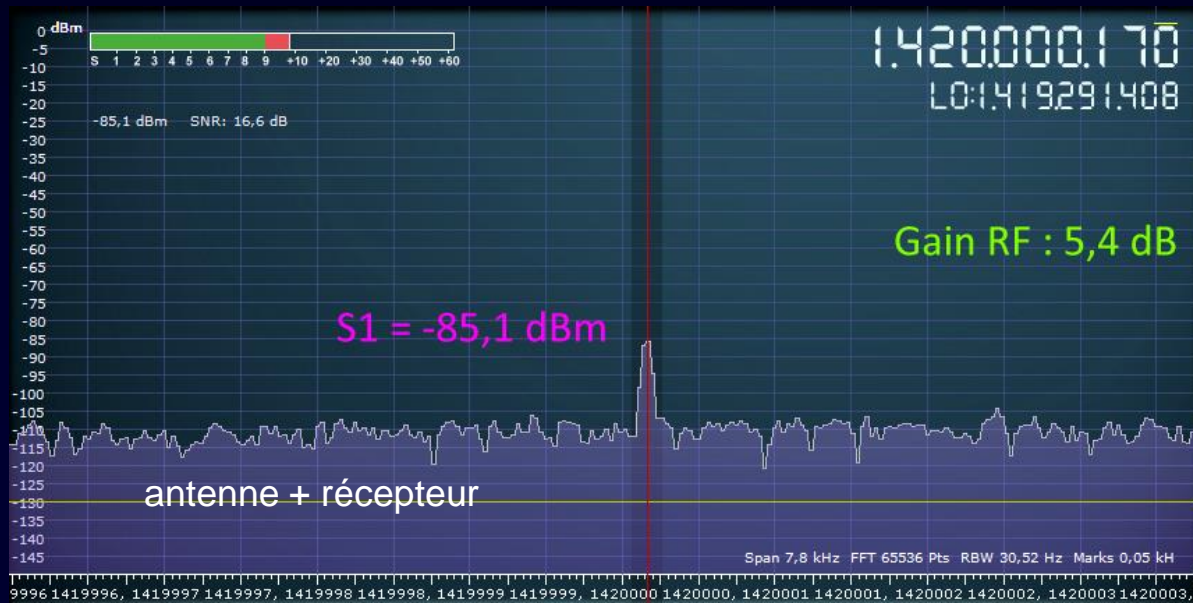


- émetteur 1420 MHz
- niveau -35,5 dBm
- sans antenne
- distance > 10m

L'intensité du signal reçu reste importante : S/N > 43 dB



# ➤ test chaine complète

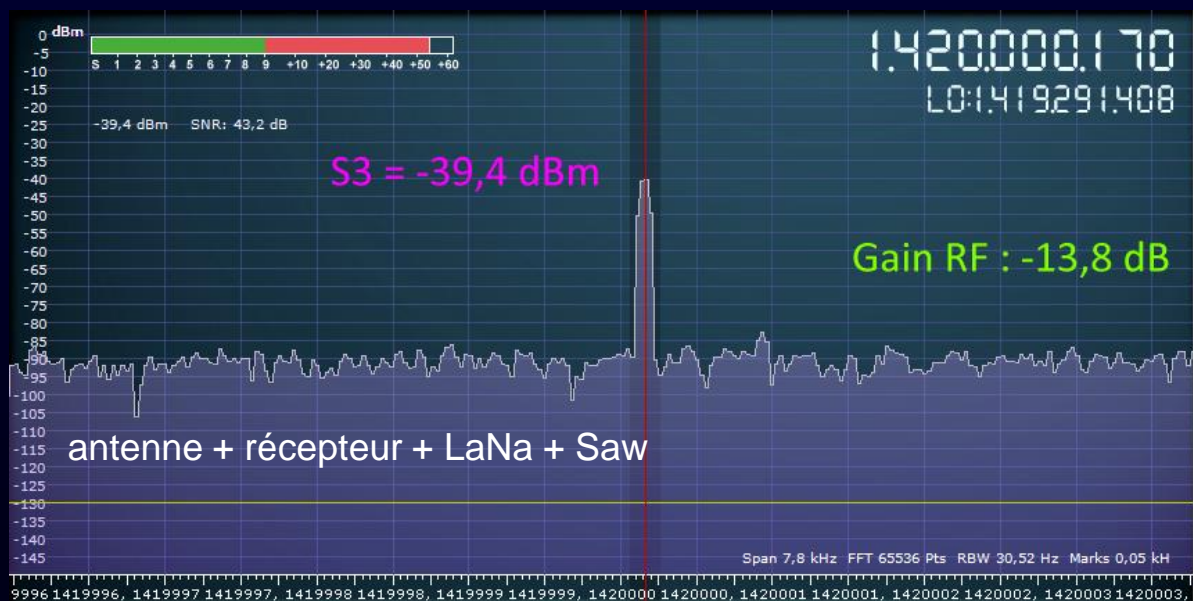


Niveau à l'antenne :

$$-85,1 \text{ dBm} - 5,4 = -90,5 \text{ dBm}$$

Gain total de la chaine :

$$-39,4 \text{ dBm} + 13,8 + 90,5 \text{ dBm} = 64,9 \text{ dB}$$



Gain LaNA + SAW :

- mesuré  $27,3 + 25,6 = 52,9 \text{ dB}$
- fabricant :  $18 + 40 = 58 \text{ dB}$

- le signal à recevoir
- le système de réception
- le signal reçu
- Annexe : tests et mesures



# ➤ le récepteur complet

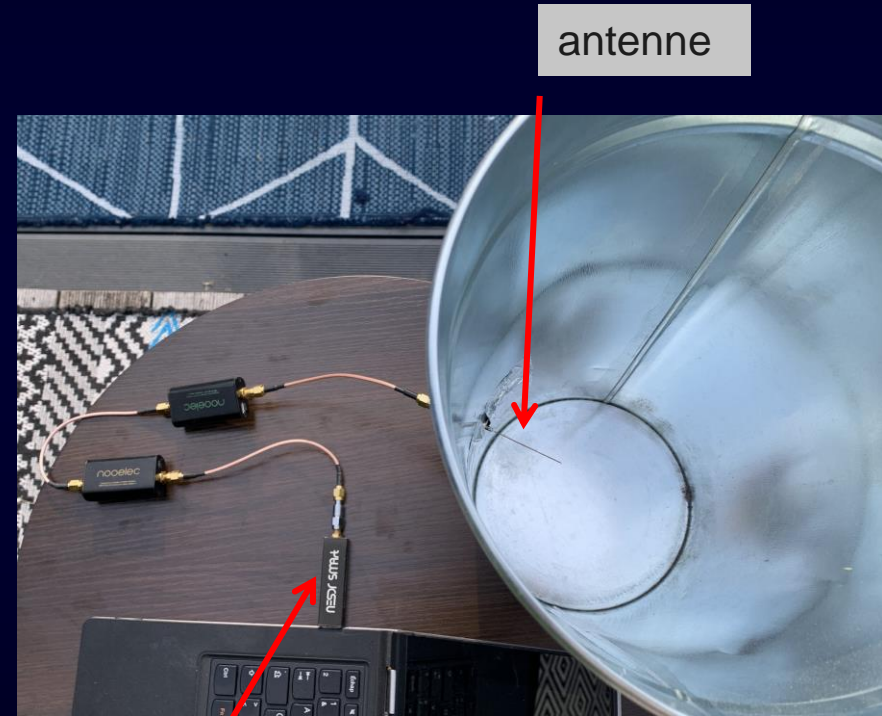
à l'écoute des bras galactiques



logiciel  
SDR#

préampli à  
faible bruit

préampli + filtre SAW  
pour la raie Hydrogène

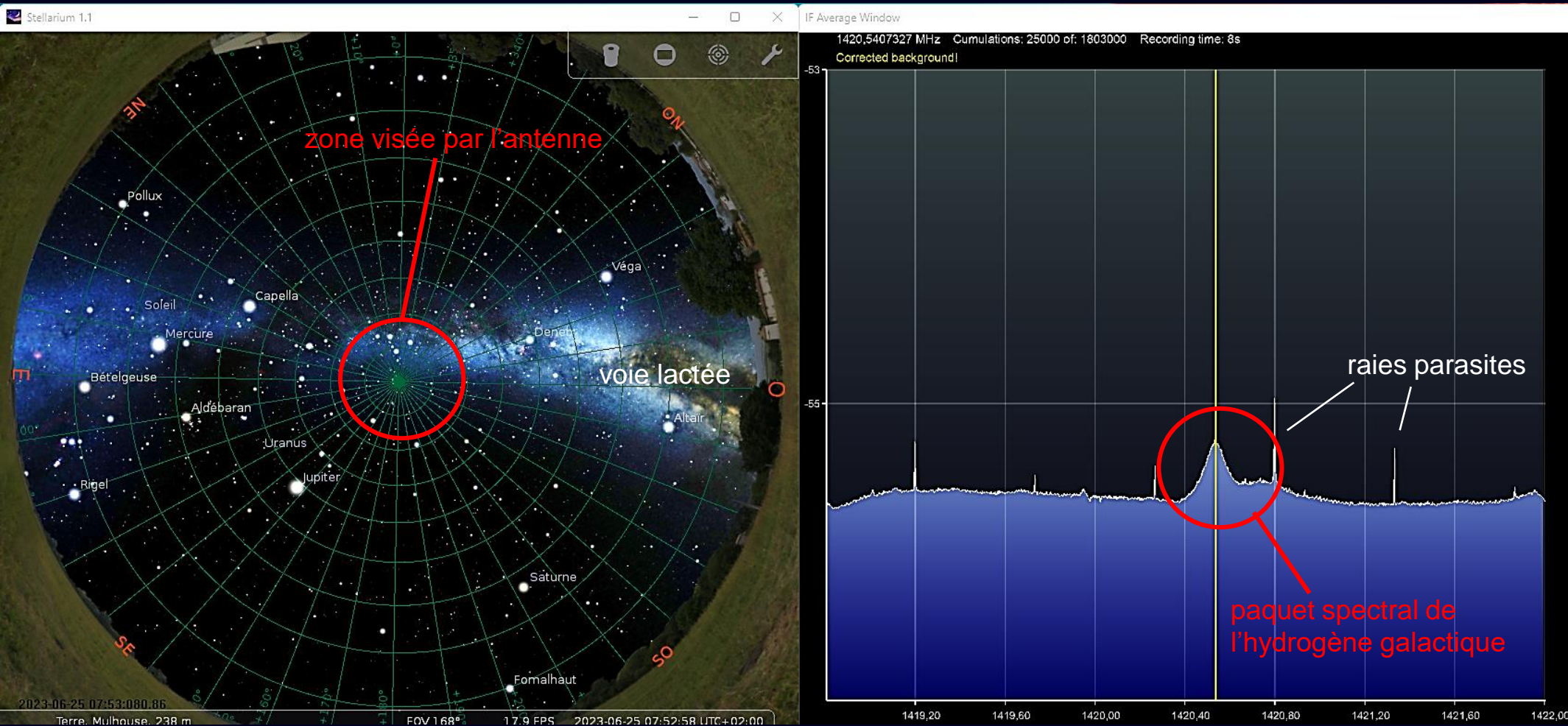


antenne

récepteur  
numérique  
SDR



# ➤ premiers signaux reçus



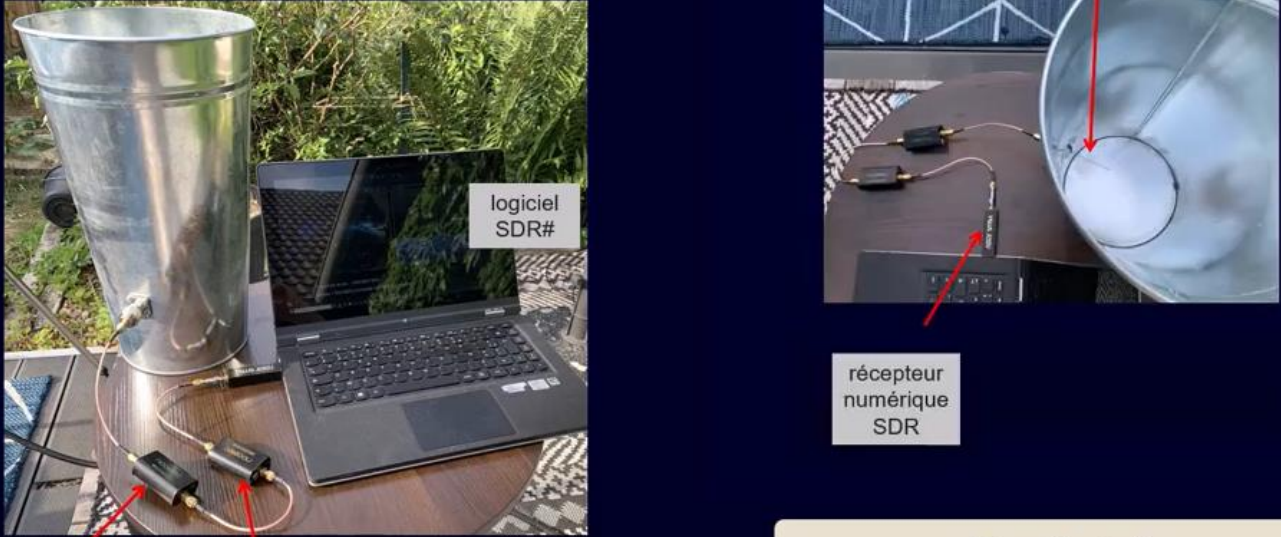
Fréquence du pic : 1420,5407 MHz

Vitesse =  $300\,000 \cdot ((14204058 - 14205407) / 14204058) = -28,5 \text{ km/s}$

## ➤ time-lapse de réception

à l'écoute des bras galactiques

↑



logiciel SDR#

antenne

récepteur numérique SDR

préampli à faible bruit

préampli + filtre SAW pour la raie Hydrogène

Radiotélescope 1420 MHz

jean-philippe muller juin 2023

0:09 / 2:25



<https://www.youtube.com/watch?v=Rfu8MKwqlgQ>

- il est possible de capter les émissions de l'hydrogène des bras galactiques
- c'est réalisable avec des éléments du commerce peu coûteux (< 200€)
- mais distinguer les contributions des différents bras nécessite une antenne plus performante





Cette réalisation n'aurait jamais vu le jour sans les conseils de [Christoph Ernst](#).  
Je le remercie pour son extraordinaire travail !

La [page en anglais](#) où on trouvera tout ce qui est nécessaire pour cette réalisation.

# RTL-SDR.COM

RTL-SDR (RTL2832U) and software defined radio news and projects. Also featuring Airspy, HackRF, FCD, SDRplay and more.

HOME
ABOUT RTL-SDR
QUICK START GUIDE
FEATURED ARTICLES ▾
SOFTWARE ▾
SIGNAL ID WIKI
FORUM
RTL-SDR STORE
GUIDE BOOK
CONTACT

---

JANUARY 31, 2020

## CHEAP AND EASY HYDROGEN LINE RADIO ASTRONOMY WITH AN RTL-SDR, WIFI PARABOLIC GRID DISH, LNA AND SDRSHARP

We've recently been testing methods to help budding amateur radio astronomers get into the hobby cheaply and easily. We have found that a low cost 2.4 GHz 100 cm x 60 cm parabolic WiFi grid antenna, combined with an RTL-SDR and LNA is sufficient to detect the hydrogen line peak and doppler shifts of the galactic plane. This means that you can create backyard hydrogen line radio telescope for less than US\$200, with no complicated construction required.

If you don't know what the hydrogen line is, we'll explain it here. Hydrogen atoms randomly emit photons at a wavelength of 21cm (1420.4058 MHz). Normally a single hydrogen atom will only very rarely emit a photon, but the galaxy and even empty space is filled with many hydrogen atoms, so the average effect is an observable RF power spike at ~1420.4058 MHz. By pointing a radio telescope at the night sky and averaging the RF power over time, a power spike indicating the hydrogen line can be observed in a frequency spectrum plot. This can be used for some interesting experiments, for example you could measure the size and shape of our galaxy. Thicker areas of the galaxy will have more hydrogen and thus a larger spike, whereas the spike will be significantly smaller when pointing at empty space. You can also measure the rotational speed of our galaxy by noting the frequency doppler shift.

The 2.4 GHz parabolic WiFi grid dishes can be found for a cheap at US\$49.99 on eBay and for around [US\\$75 on Amazon](#). Outside of the USA they are typically carried by local wireless communications stores or the local eBay/Amazon equivalent. If you're buying one, be sure to get the 2.4 GHz version and NOT the 5 GHz version. If you can find 1.9 GHz parabolic grid dish, then this is also a good choice. Although we haven't tested it, this [larger 2.4 GHz grid dish](#) would probably also work and give slightly better results. WiFi grid antennas have been commonly used for GOES and GK-2A geosynchronous weather satellite



5-Channel Coherent RTL-SDR  
Radio Direction Finding  
Available directly and on  
CrowdSupply now!

FOLLOW US






WEEKLY NEWSLETTER + PRODUCT UPDATES

SEARCH

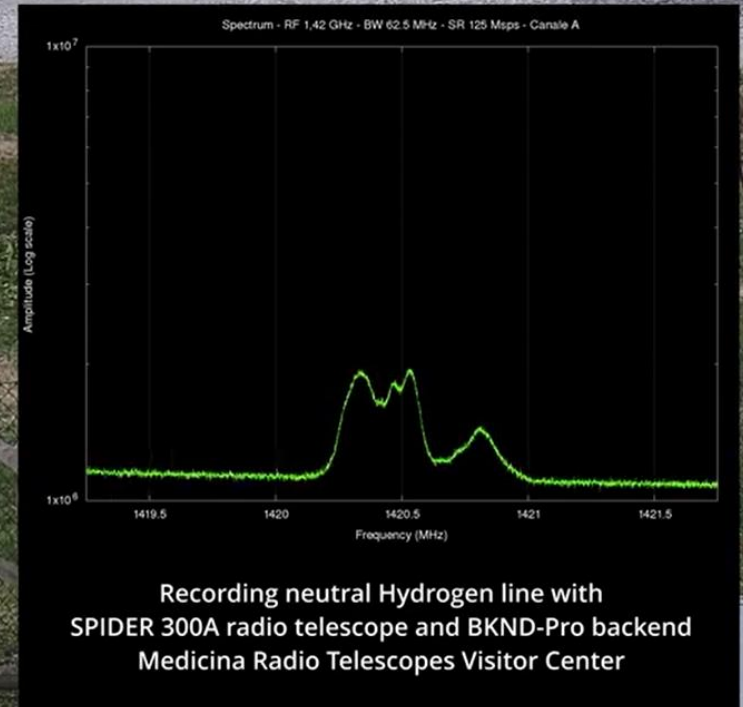


Neutral hydrogen line on Milky Way with SPIDER 300A radio telescope



 **SPIDER**  
300A

3 meter diameter radio telescope  
for radio astronomy

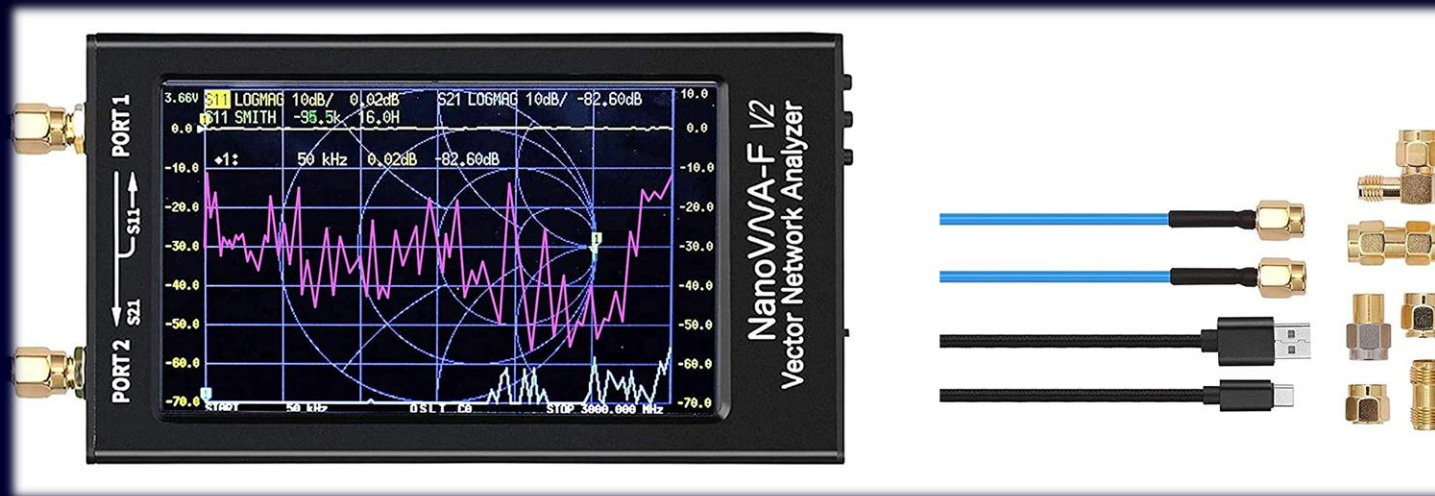


**FIN**

- le signal à recevoir
- le système de réception
- le signal reçu
- Annexe : tests et mesures

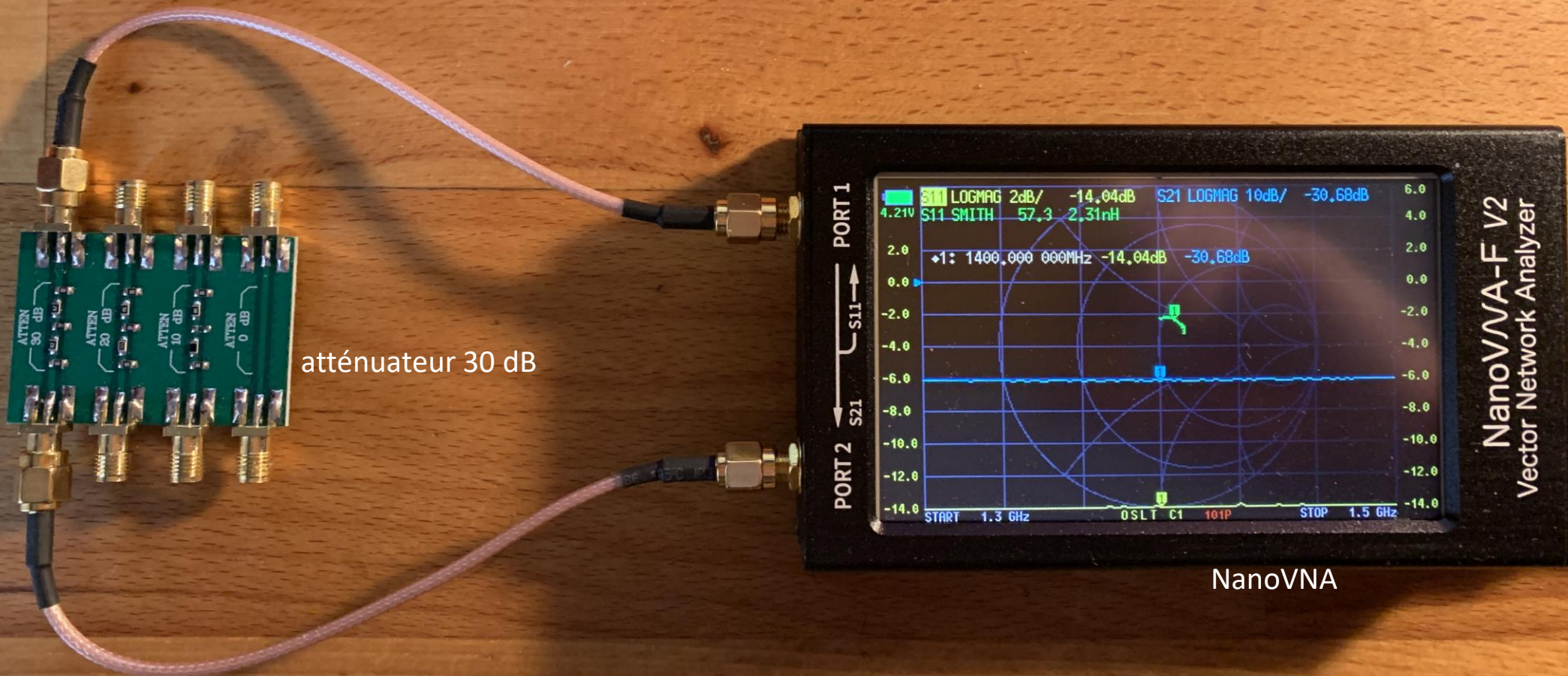
- analyseur de réseau vectoriel NanoVNA-F V2
- antenne quart-d'onde
- antenne cornet
- antenne Yagi
- le préamplificateur à faible bruit LaNa
- le filtre à onde de surface Sawbird + H1





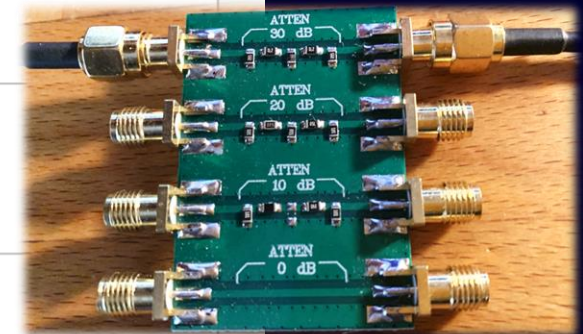
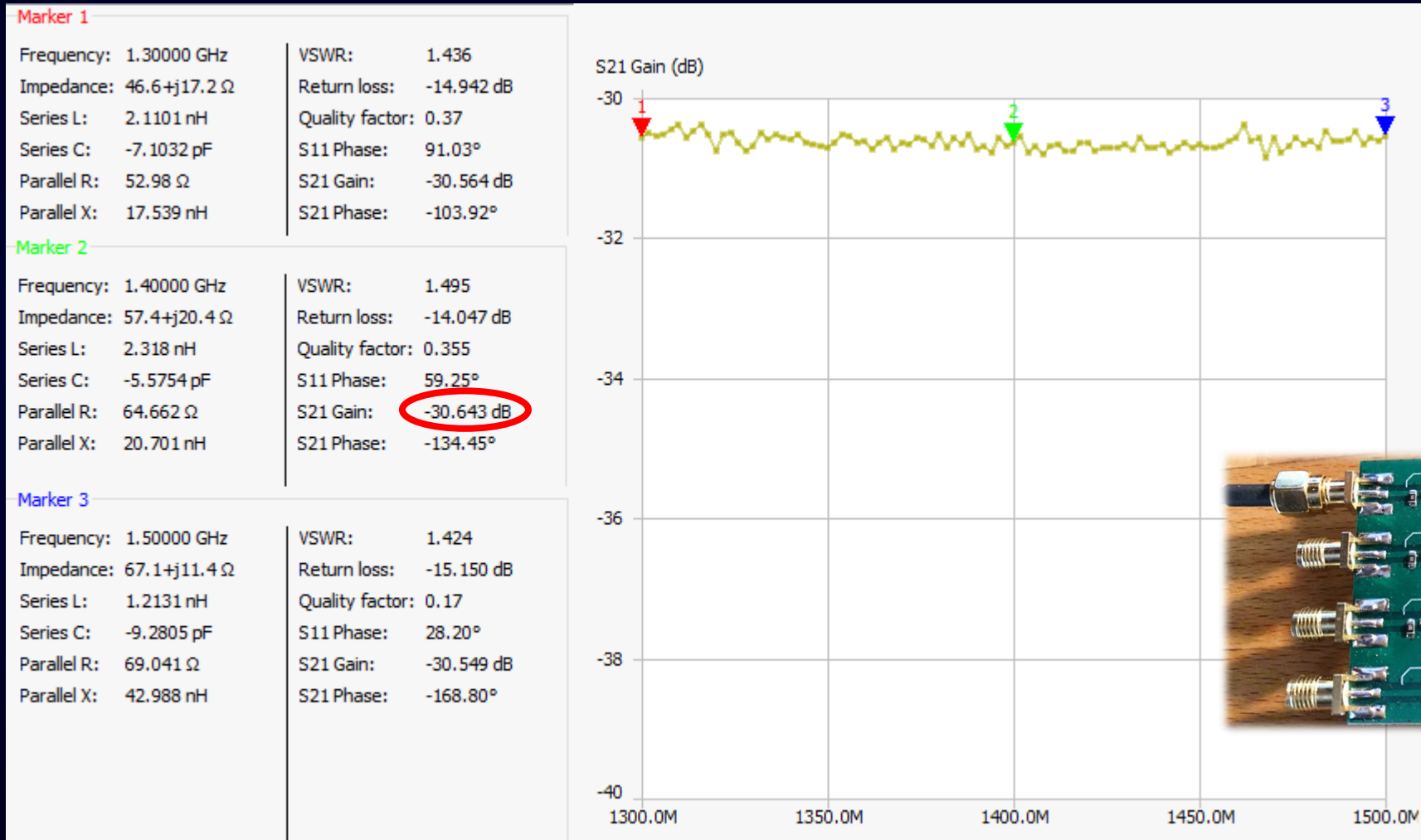
- c'est un **analyseur de réseau vectoriel** qui permet d'effectuer des mesures variées sur des modules HF, des câbles et des antennes entre 50 kHz et 3 GHz
- la mesure des principales caractéristiques des antennes, filtres, câbles, circuits oscillants et autres assemblages est aisée
- les deux ports permettent de mesurer les paramètres S11 et S21, cad la réflexion sur un port (S11) et la transmission (transmission) du port 1 au port 2 (S21).
- le processus de mesure doit être calibré avec le kit de calibrage (Open, Short, Load) fourni.

## ➤ test atténuateur 30 dB



La courbe de réponse a été relevée à l'aide du Nano VNA (voir diapo suivante)

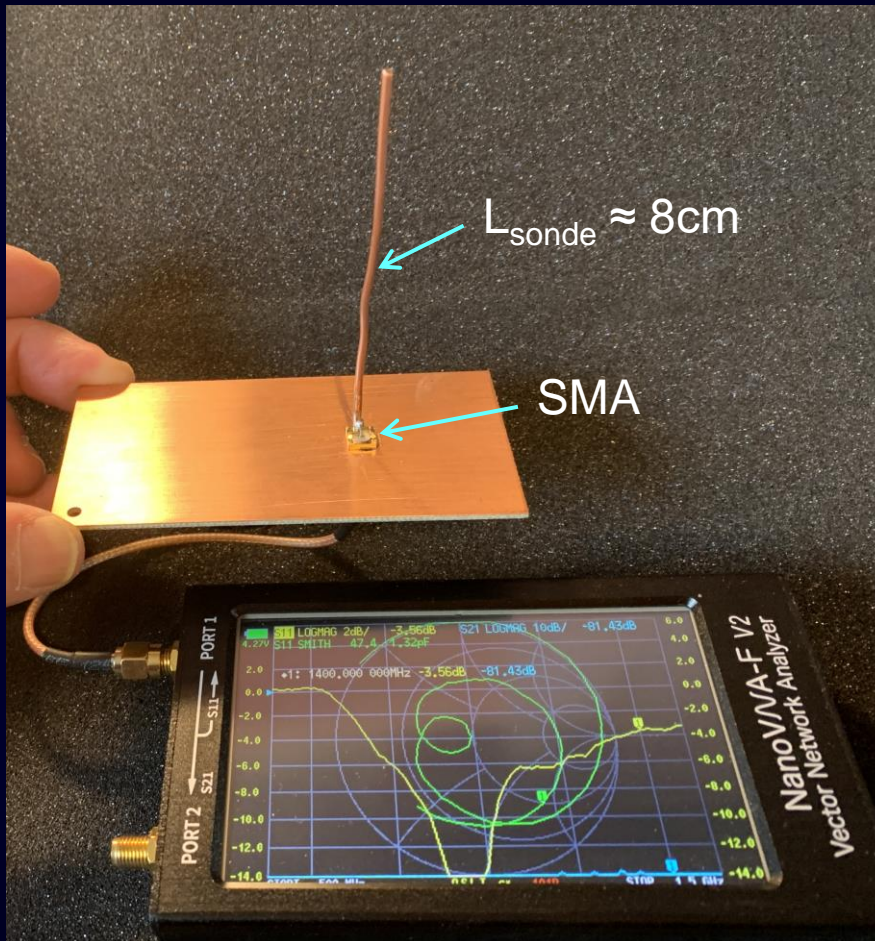
# ➤ test atténuateur 30 dB



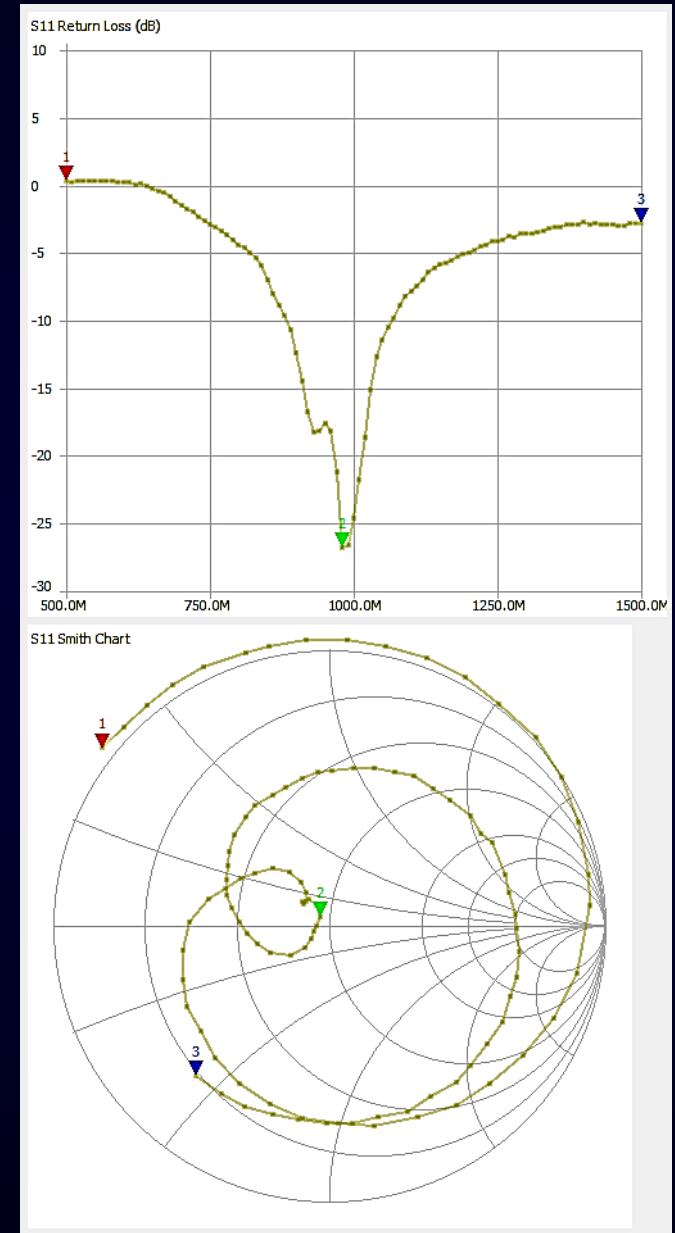
Atténuation : **30,6 dB** à 1400 MHz



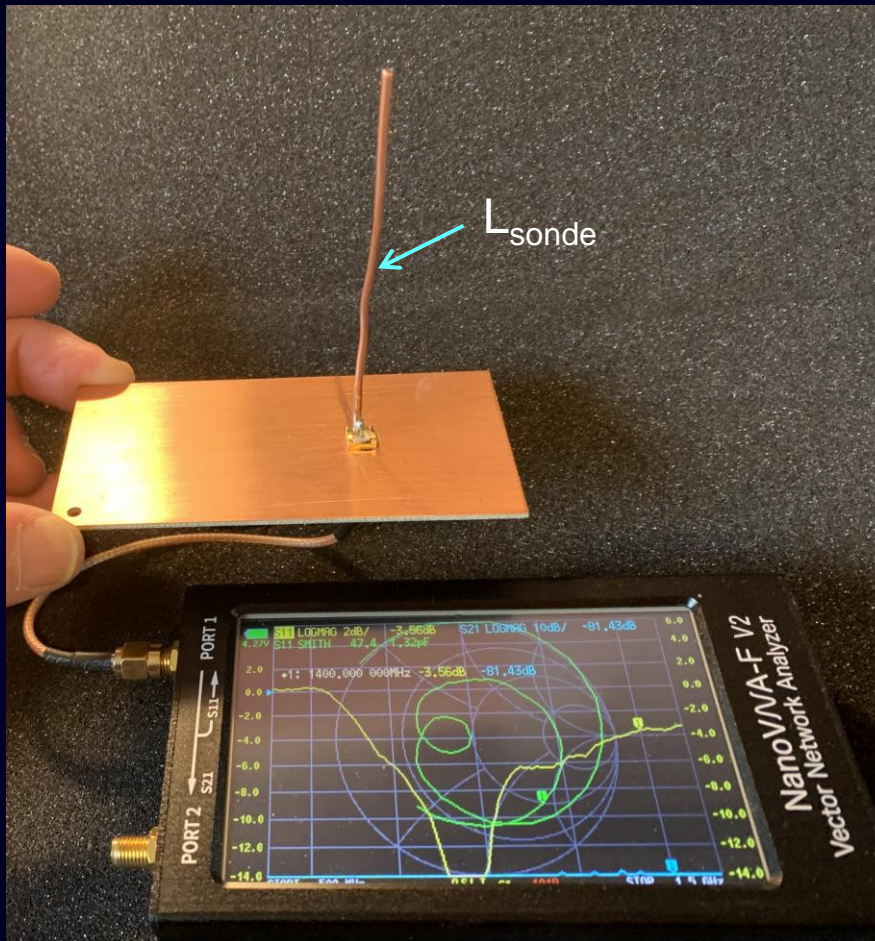
# ➤ antenne quart d'onde



résonance : 980 MHz  
 $\lambda/4 = 7,65\text{ cm}$



## ➤ quart d'onde : longueur

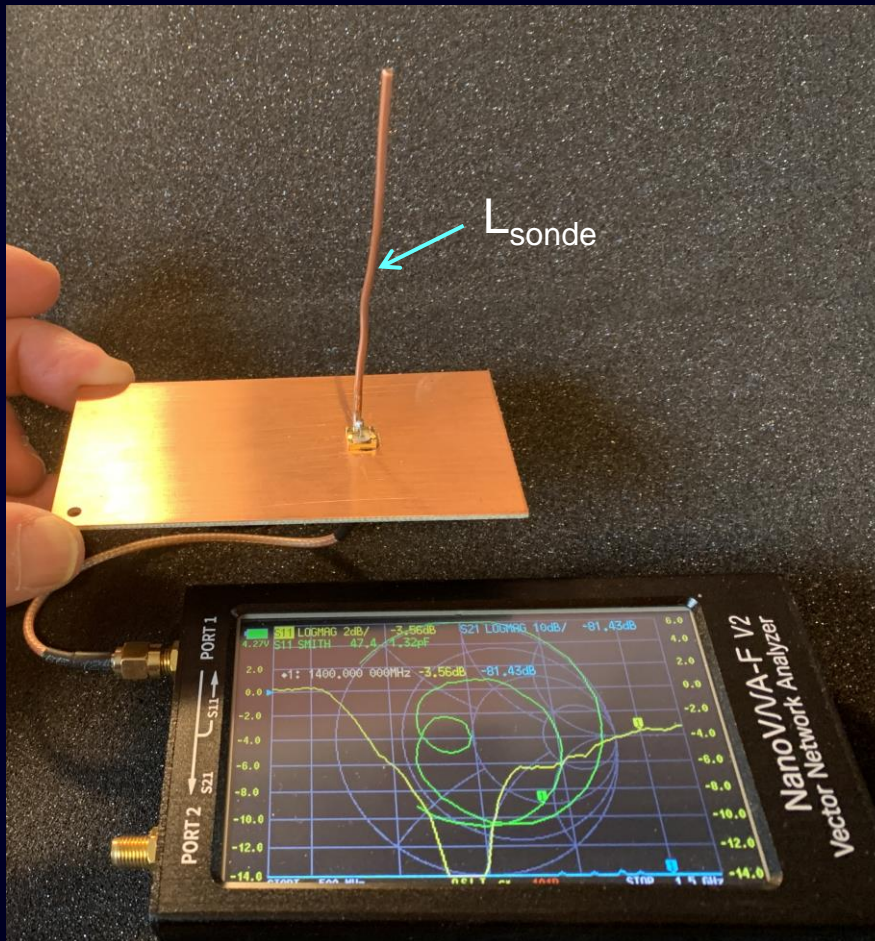


Fil  $\Phi = 1,8$  mm

$L_{\text{sonde}}$	résonance	
8 cm	980 MHz	
7 cm	1110 MHz	
6 cm	1270 MHz	
5,5 cm	1320 MHz	
5 cm	1640 MHz	

À 6 cm,  $B \approx 200$  MHz

## ➤ quart d'onde : diamètre



Fil  $\Phi = 0,4$  mm

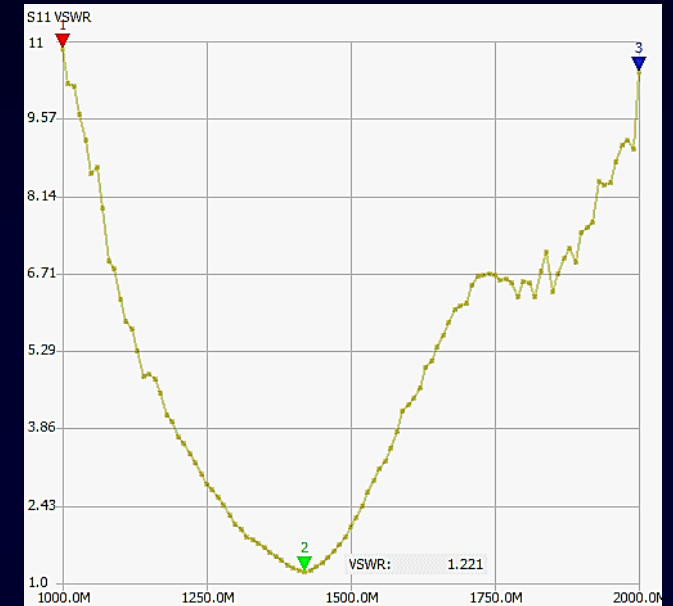
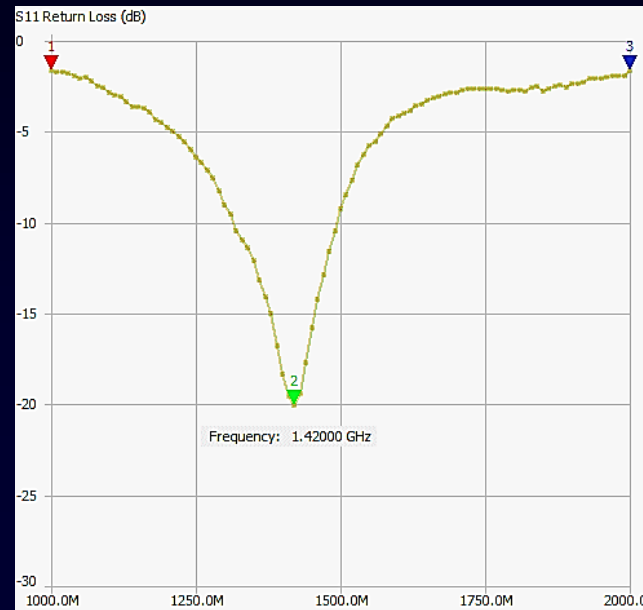
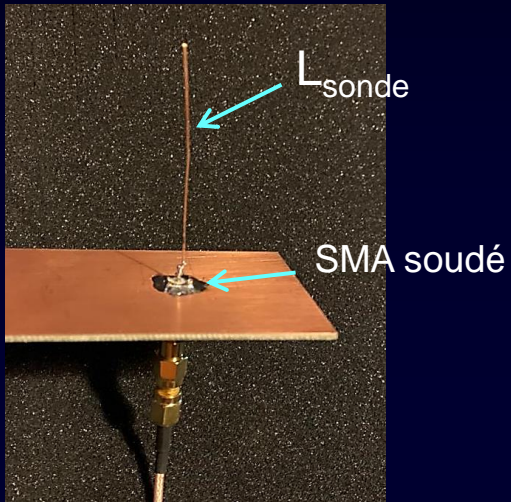
$L_{\text{sonde}}$	résonance	
8 cm		
7 cm	1200 MHz	
6 cm	1270 MHz	
5,5 cm	1360 MHz	
5,2 cm	1520 MHz	
5 cm		

À 6 cm,  $B \approx 100$  MHz

L'antenne est plus sélective avec une sonde de faible diamètre



# ➤ quart d'onde : optimum



Fil  $\Phi = 0,4$  mm

$L_{\text{sonde}} = 5,3$  cm

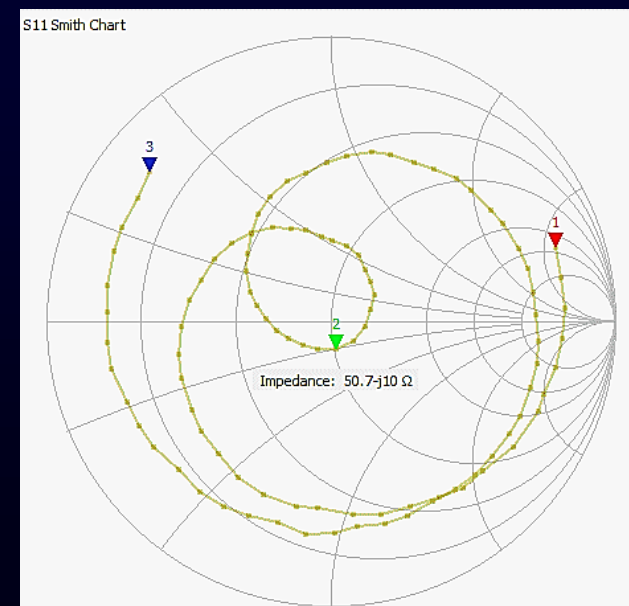
Résonance à 1,42 GHz

Impédance  $\approx 50 \Omega$

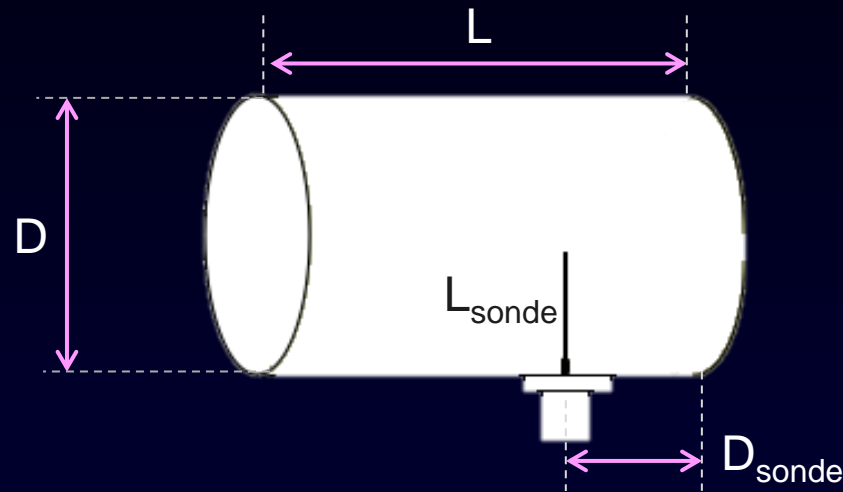
Bande passante  $B \approx 50$  MHz

VSWR = 1,22

Important : bon contact entre SMA et plan de masse !



## ➤ antenne cornet : calculs



Fréquence de travail :  
1,42 GHz

Le diamètre interne minimum est :  $D_{\min} = 190 \div F = 134 \text{ mm}$  (D en mm, F en GHz)

Et le diamètre maximal est :  $D_{\max} = 230 \div F_{\max} = 162 \text{ mm}$

On choisit  $D = 155 \text{ mm} / 150 \text{ mm}$

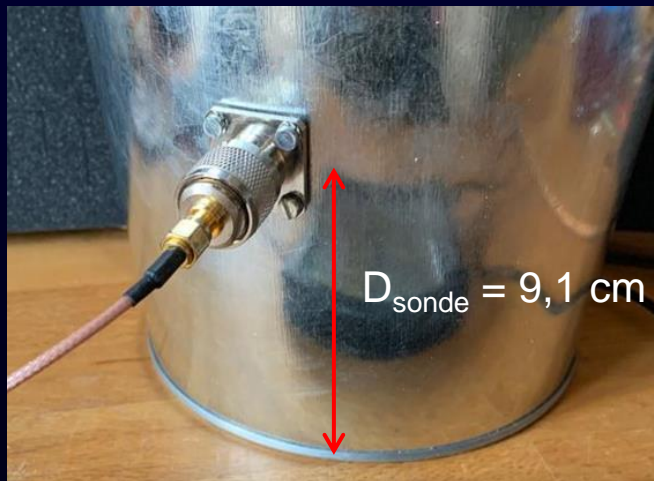
La distance entre le fond de la boîte de conserve et l'axe de la sonde est donnée par :

$$D_{\text{sonde}} = 75 \div (F \times \sqrt{1 - (30923 \div (F^2 \times D^2))}) = 87,8 \text{ mm} / 93,6 \text{ mm}$$

La longueur de la sonde est :  $L_{\text{sonde}} = 71 \div F = 50 \text{ mm}$  (sonde plutôt grosse)

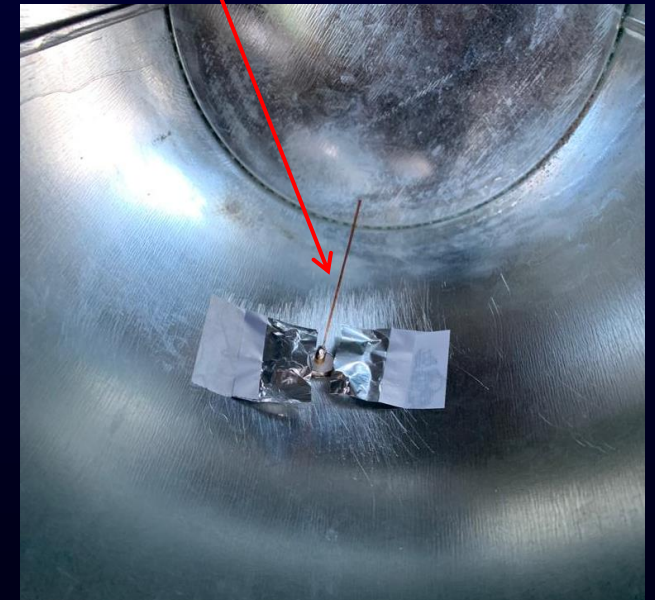
Si le fil est fin, la longueur correcte est  $L_{\text{sonde}} = 73 \div F = 51,4 \text{ mm}$  (bande passante faible !)

La longueur L de la boîte n'est pas critique, au minimum deux fois  $D_{\text{sonde}}$ , soit  $L_{\min} = 200 \text{ mm}$

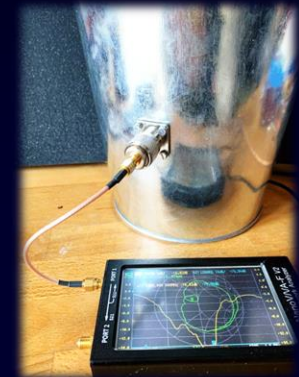
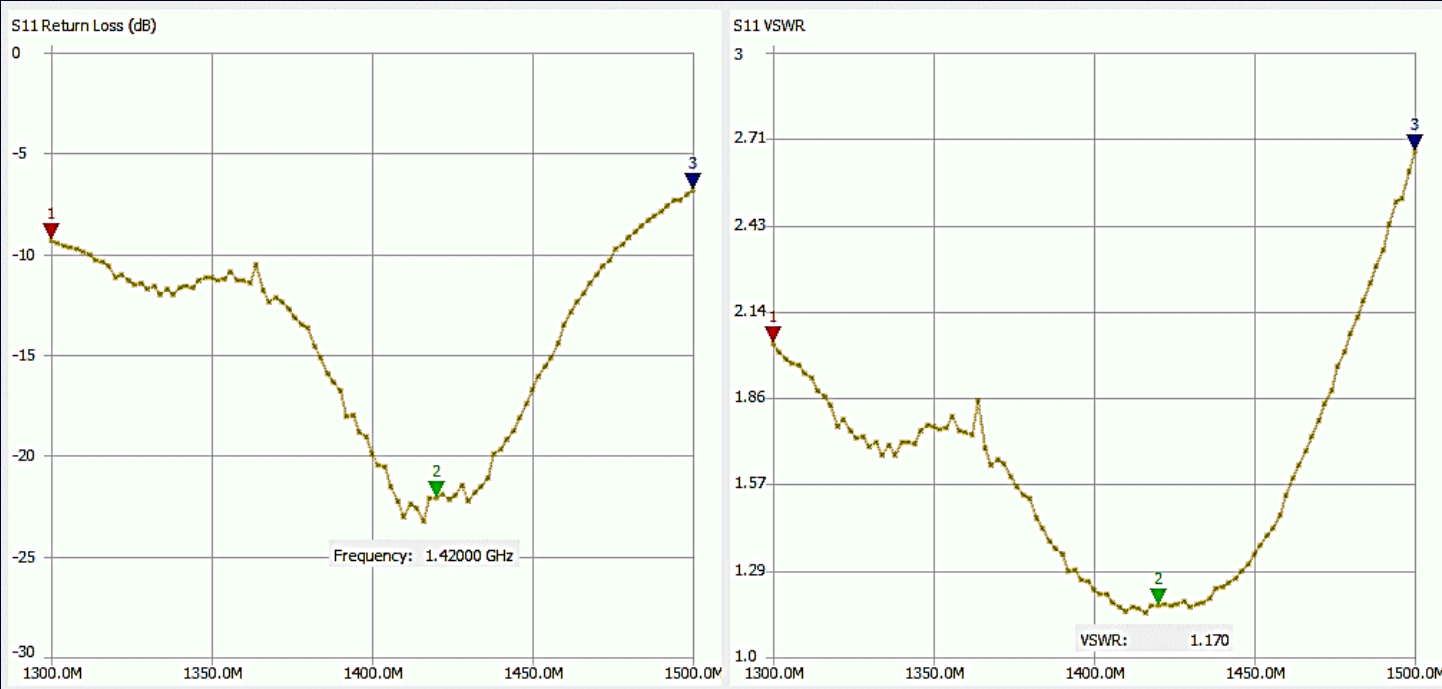


## ➤ cornet : réalisation

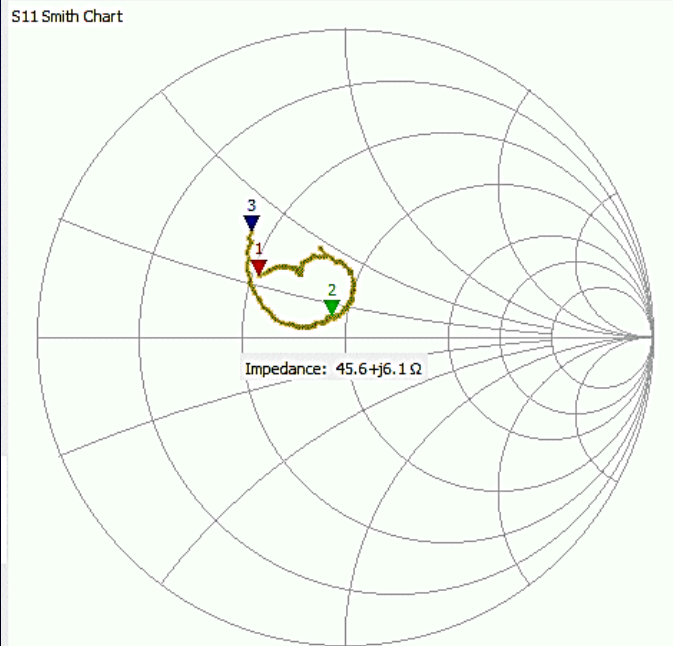
$L_{\text{sonde}} = 5,2 \text{ cm}$







NB : vis recouvertes avec alu



S11

Min VSWR: 1.148 @ 1.41600GHz

Return loss: -23.236 dB

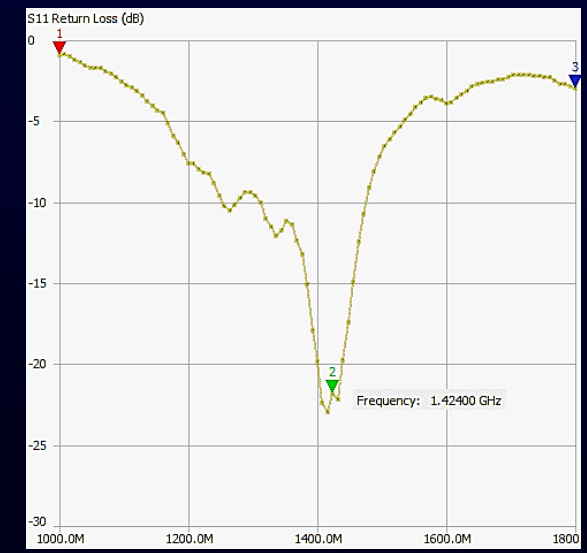
Marker 2 1.42GHz

Sweep control

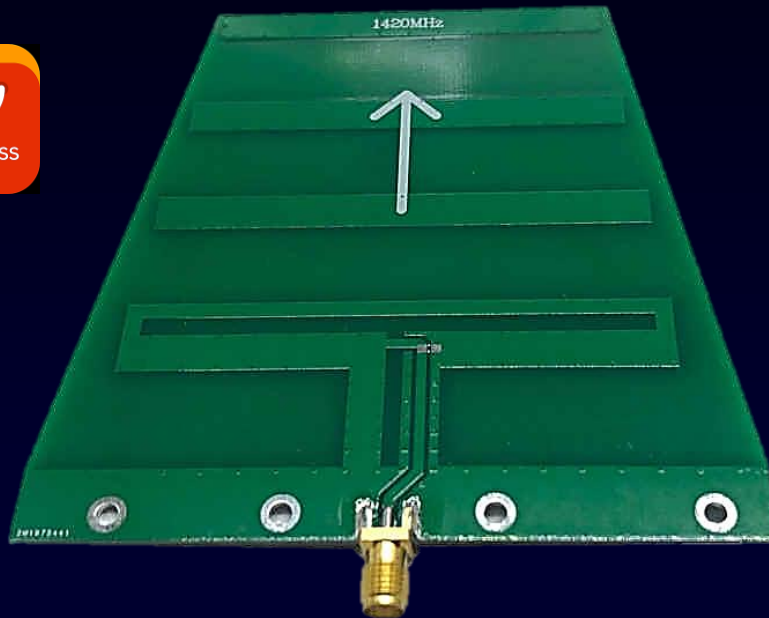
Start 1.3GHz Center 1.4GHz

Stop 1.5GHz Span 200MHz

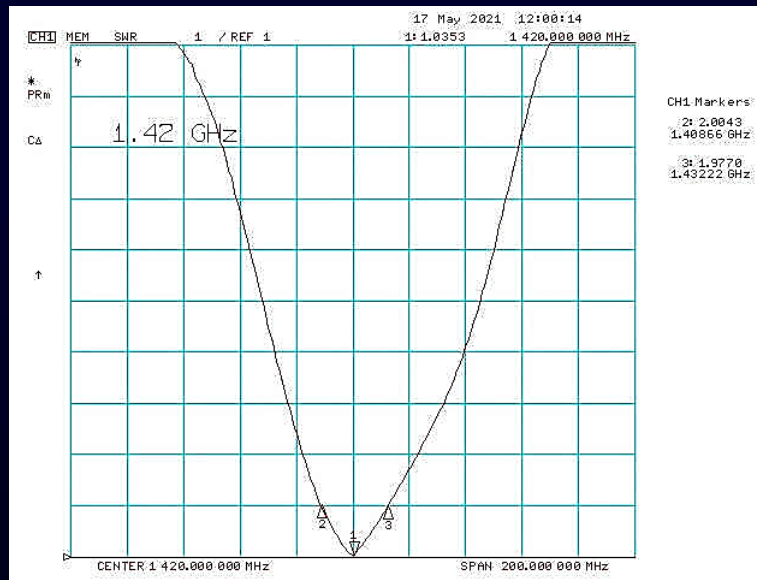
Segments 1 2.000MHz/step



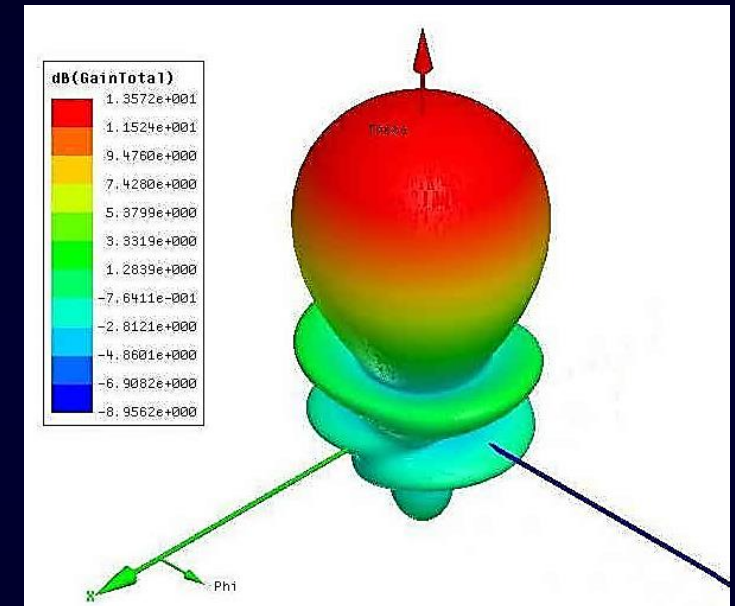
# ➤ antenne Yagi



Gain annoncé 13,5 dB



1420 MHz VSWR = 1,04



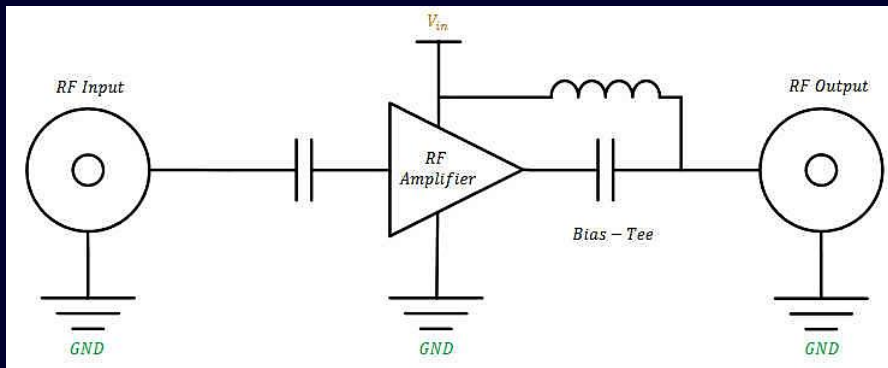
Signal reçu Yagi-cornet :

- Yagi : -63 dBm
- Cornet : -58,8 dBm

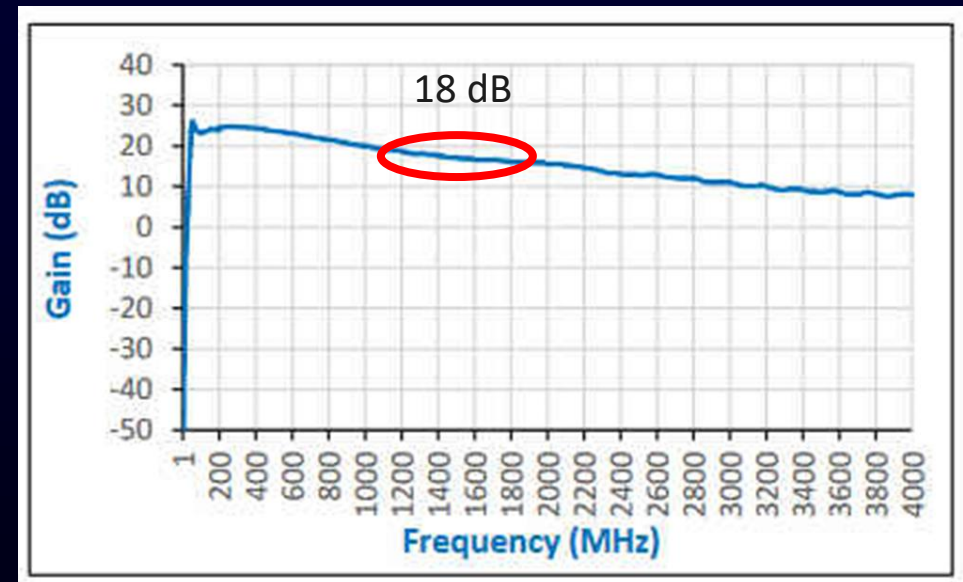
Le cornet a un gain supérieur de 4 dB environ

Amplificateur à faible bruit

large bande : 20 MHz à 4 GHz



Courbe de réponse  
du fabricant



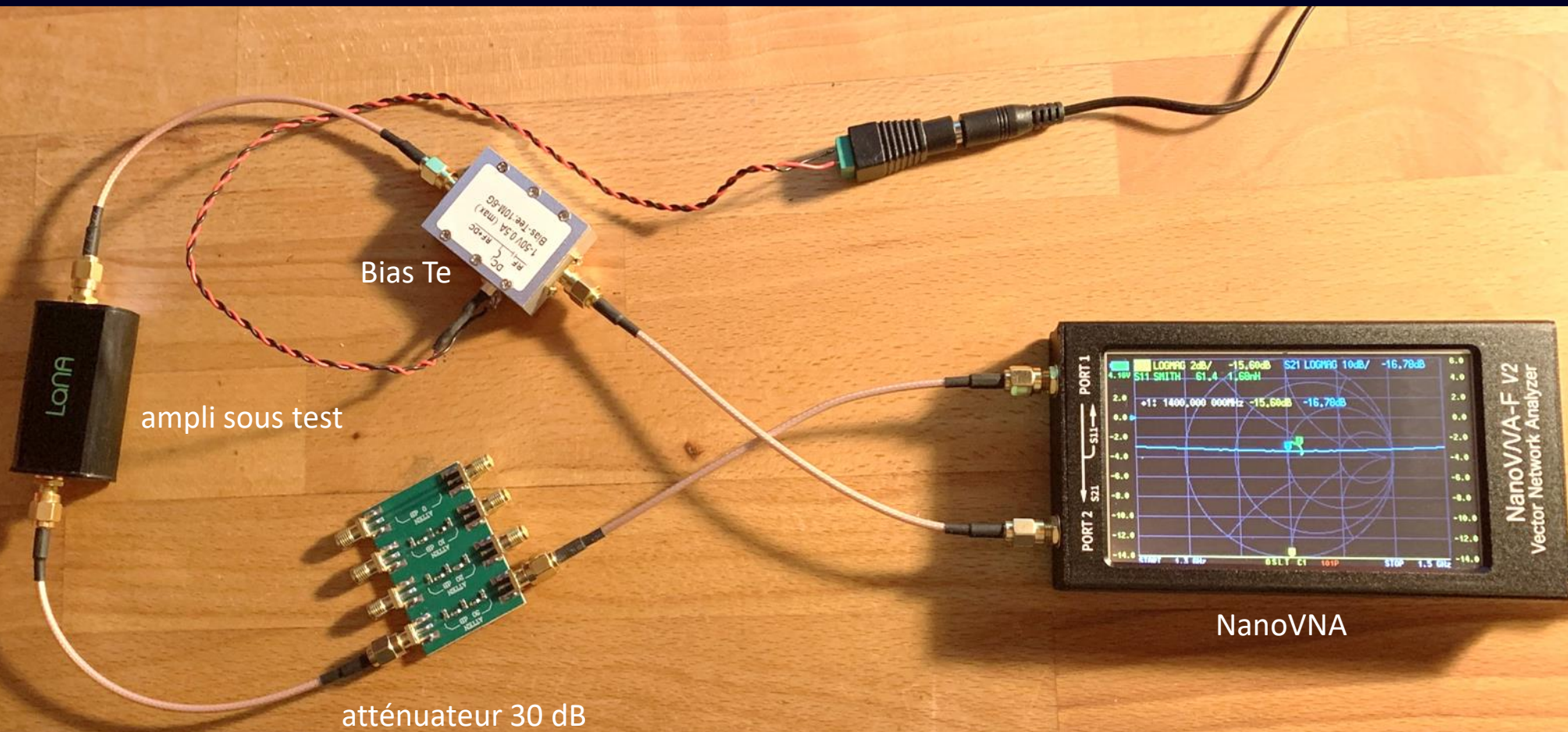




## Electrical Specifications

Test Conditions unless otherwise specified:  $V_{in} = +5$  Vdc, 50 Ohm system.

Parameter	Symbol	Min	Typical	Max	Unit
Frequency Range	$f_L - f_H$	20	-	4000	MHz
Center Frequency	$f_o$	-	1990	-	MHz
Gain	S21	-	-	26	dB
Input Return Loss @ 1GHz	S11	-11	-10	-	dB
Output Return Loss @ 1GHz	S22	-12	-11	-	dB
Output P1dB	OP1dB	13	18	20	dBm
Total Noise Figure @ 1 GHz	NF	0.8	0.9	1	dB
Noise Temperature	$T_n$	59	67	75	K
Supply Current	$I_{supply}$	70	85	100	mA



La courbe de réponse a été relevée à l'aide du Nano VNA (voir diapo suivante)



Sweep control

Start  Center   
 Stop  Span   
 Segments  2.000MHz/step

Markers

Marker 1     
 Marker 2     
 Marker 3

Enable Delta Marker

Locked

TDR

Estimated cable length:

Marker 1

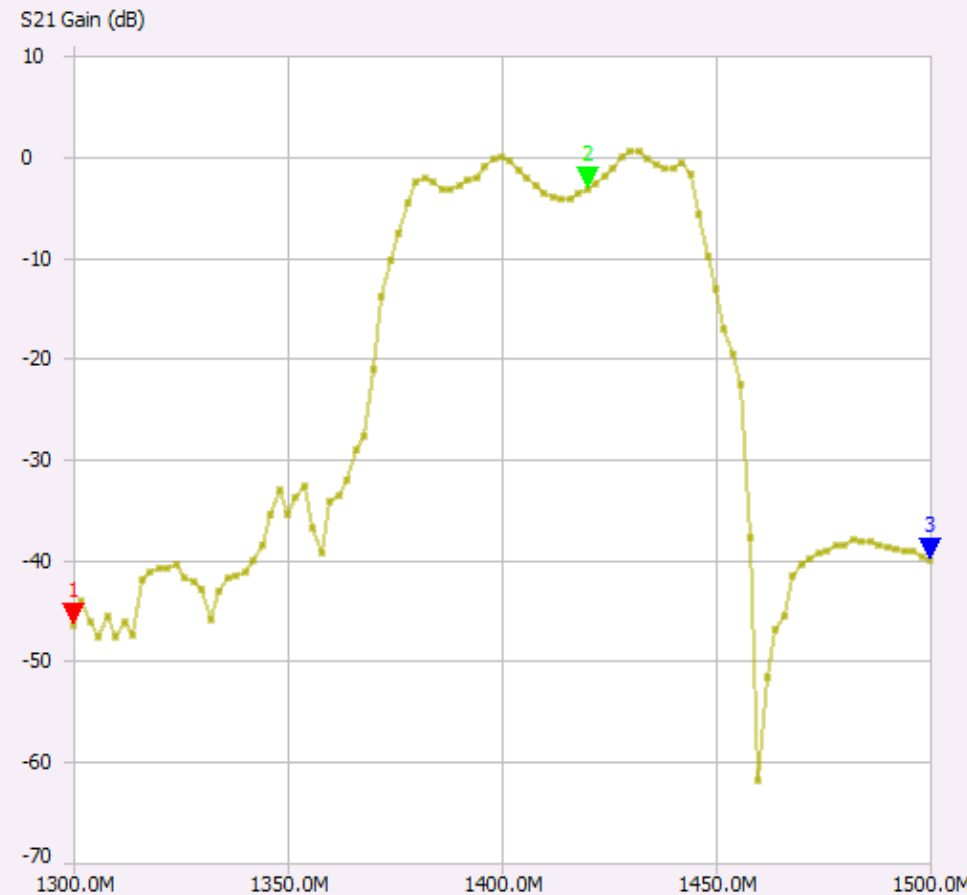
Frequency:	1.30000 GHz	VSWR:	1.459
Impedance:	46.4+j17.9 Ω	Return loss:	-14.575 dB
Series L:	2.1964 nH	Quality factor:	0.387
Series C:	-6.8241 pF	S11 Phase:	90.90°
Parallel R:	53.308 Ω	S21 Gain:	-46.531 dB
Parallel X:	16.867 nH	S21 Phase:	-23.63°

Marker 2

Frequency:	1.42000 GHz	VSWR:	1.527
Impedance:	59.9+j21.1 Ω	Return loss:	-13.611 dB
Series L:	2.3705 nH	Quality factor:	0.353
Series C:	-5.2995 pF	S11 Phase:	54.02°
Parallel R:	67.369 Ω	S21 Gain:	<b>-3.352 dB</b>
Parallel X:	21.386 nH	S21 Phase:	172.21°

Marker 3

Frequency:	1.50000 GHz	VSWR:	1.449
Impedance:	68.2+j12 Ω	Return loss:	-14.732 dB
Series L:	1.2757 nH	Quality factor:	0.176
Series C:	-8.8246 pF	S11 Phase:	27.69°
Parallel R:	70.285 Ω	S21 Gain:	-40.032 dB
Parallel X:	42.278 nH	S21 Phase:	-61.90°



Atténuateur 30 dB + ampli +Bias Te

-30,6 dB + G = **-3,3 dB**Gain = **27,3 dB** à 1420 MHz

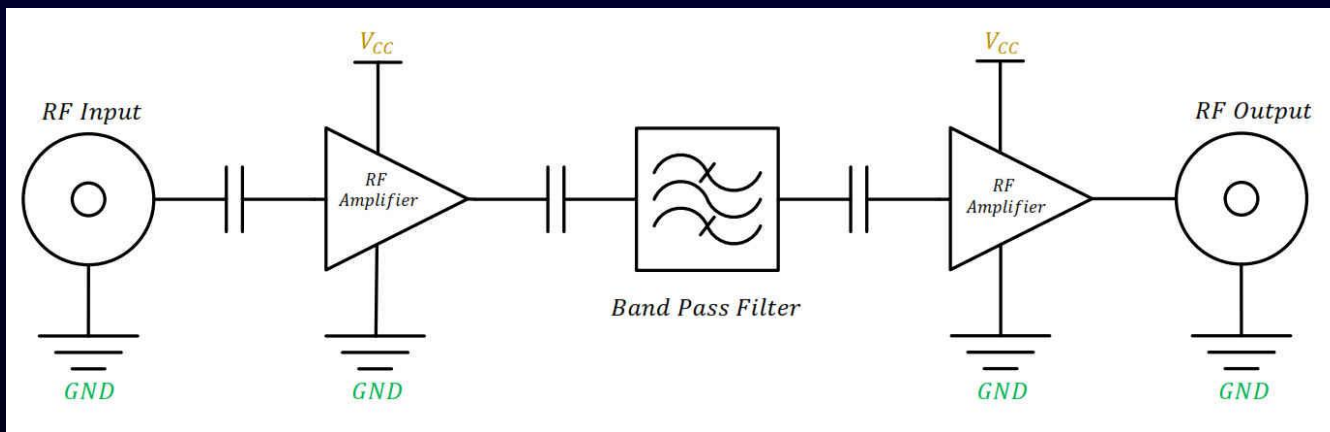


## ➤ préampli Sawbird+H1

Amplificateur à faible bruit (LNA) +  
filtre à onde de surface (SAW) centré sur 1420MHz  
pour réception de la raie Hydrogène (21cm)



(estim



# ➤ préampli Sawbird+H1



## Electrical Specifications

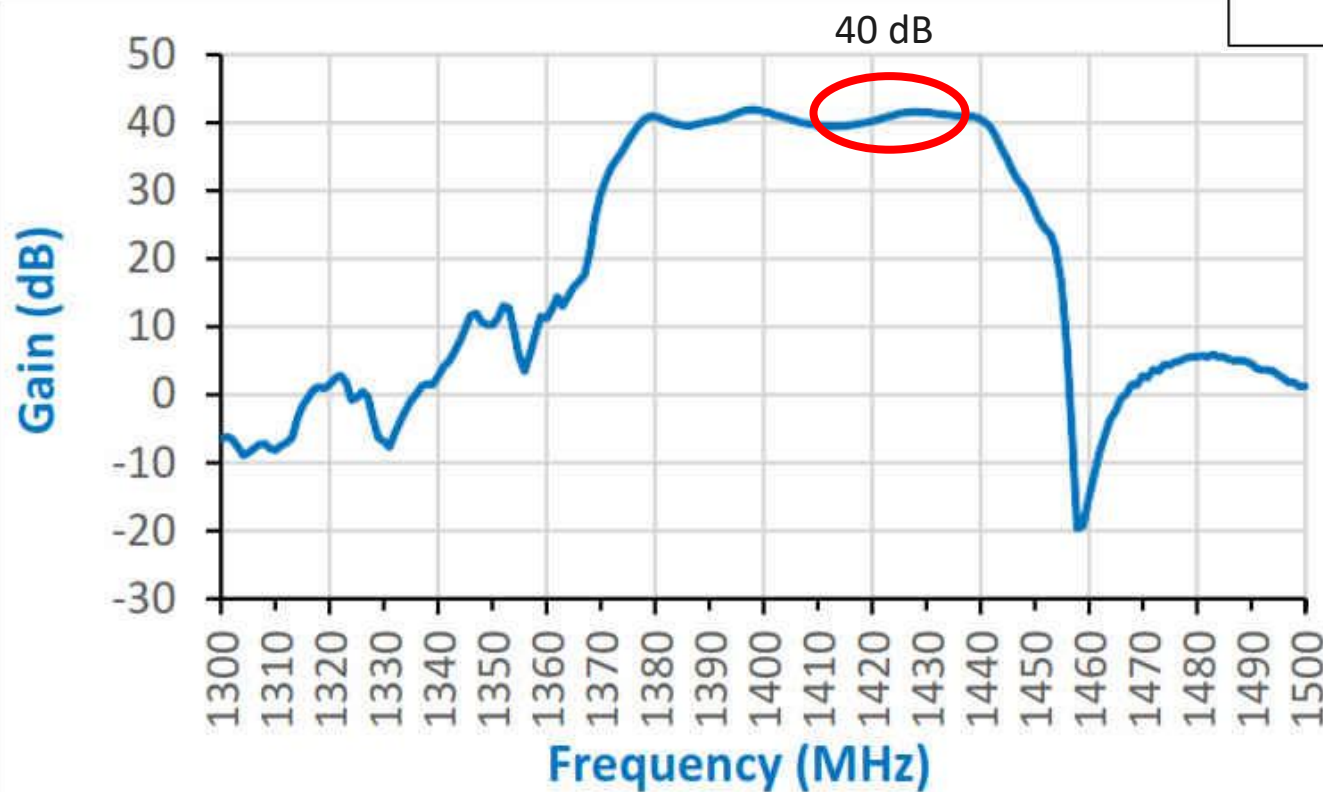
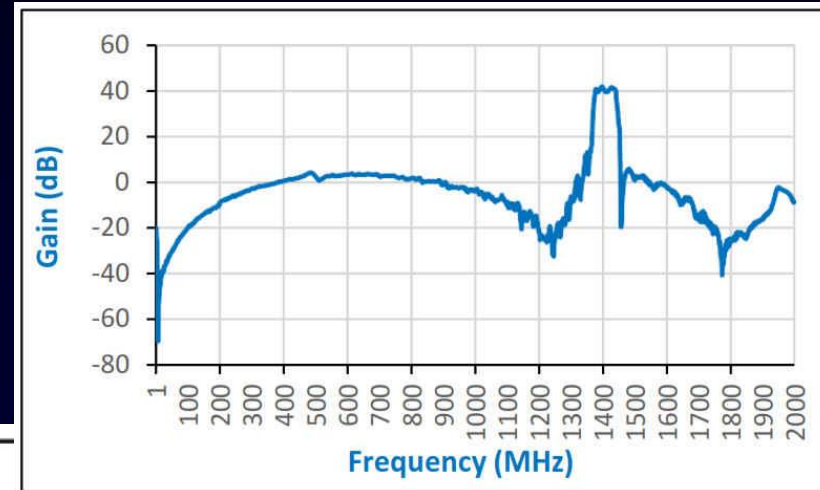
Test Conditions unless otherwise specified:  $V_{in} = +5 \text{ Vdc}$ , 50 Ohm system.

Parameter	Symbol	Min	Typical	Max	Unit
Frequency Range	$f_L - f_H$	1376	-	1441	MHz
3dB Bandwidth	$BW$	-	65	-	MHz
10dB Bandwidth	$BW$	-	75	-	MHz
Center Frequency	$f_o$	-	1408	-	MHz
Gain	S21	-	-	42	dB
Input Return Loss	S11	-	-	-10	dB
Output Return Loss	S22	-	-	-10	dB
Output P1dB	OP1dB	-	18	-	dBm
Noise Figure	NF	0.70	0.8	0.9	dB
Noise Temperature	$T_n$	51	59	67	K
Supply Current	$I_{supply}$	108	122	150	mA

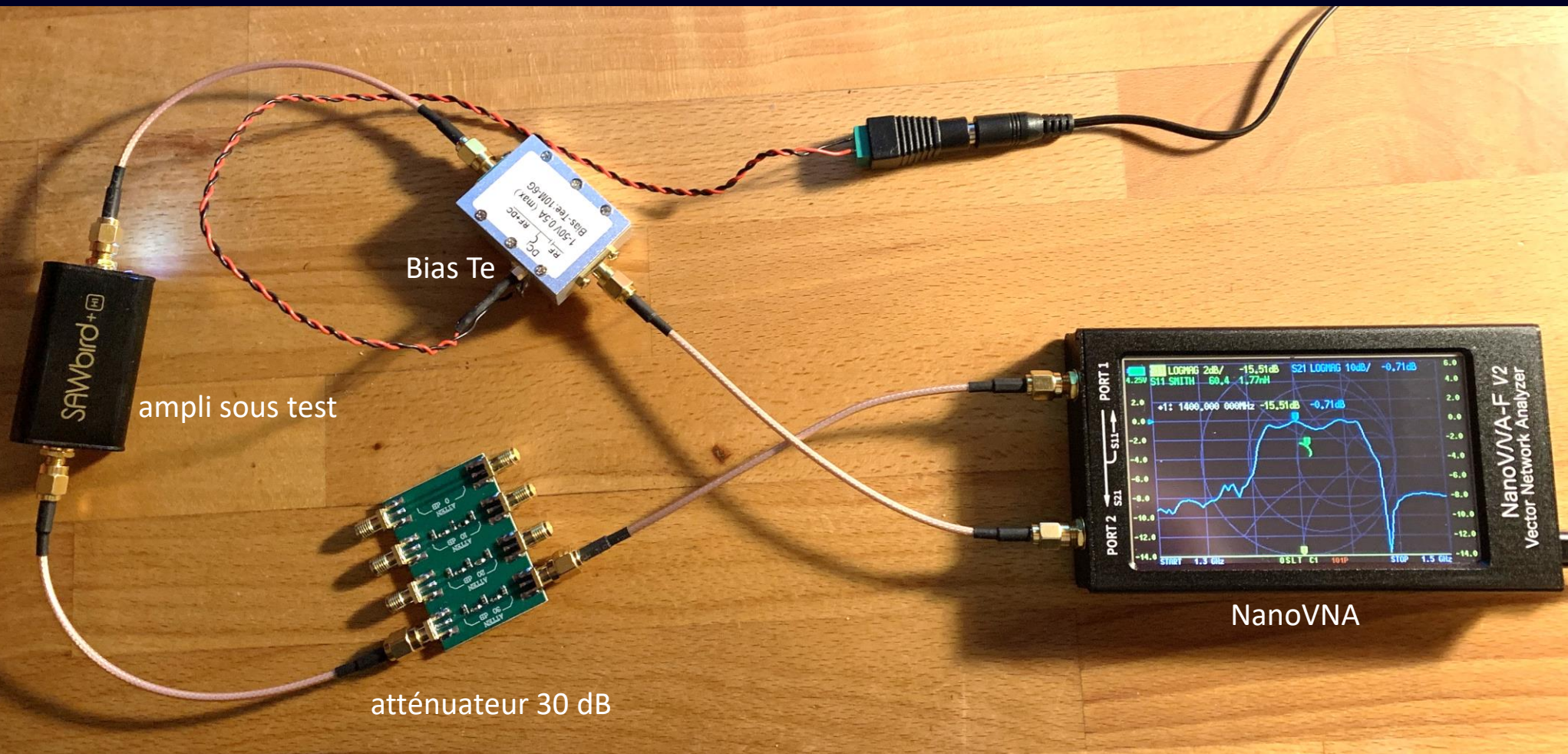
surestimé ?

## ➤ préampli Sawbird+H1

Courbe de réponse du fabricant







La courbe de réponse a été relevée à l'aide du Nano VNA (voir diapo suivante)



Atténuateur 30,6 dB en sortie du NanoVNA + ampli + Bias Te



Gain : 25,6 dB à 1420 MHz