

Interférométrie @ 21cm – CR du 20 Octobre 2021

Essais du 04/09/2021 puis des 15 et 16/10/2021

Rappel :

Pour mémoire, le 1^{er} résultat de ces essais en interférométrie a fait l'objet d'un 1^{er} CR

[Interférométrie - Transit solaire du 4/9/2021](#)

Ce second CR a pour but d'aller un peu plus loin dans la découverte (à mon niveau personnel) de l'interférométrie et de ses utilisations.

Configuration :

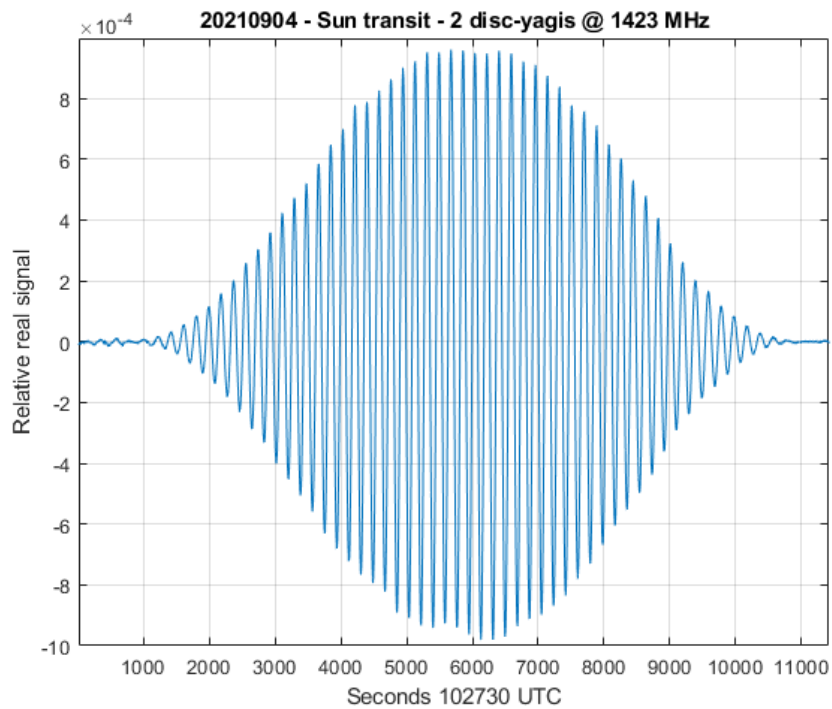
- 2 antennes disc-yagi : gain 20 dBi
- Espacement (ligne de base) : $B = 16$ m
- Voir [Photos de la configuration d'essais](#)
- Fréquence : 1423.5 MHz
- ULNA AD6IW. Voir photo à l'arrière de la yagi.
- FE F1EHN + SDR B210 + Bw = 4 MHz ou 2MHz pour enregistrement de données brutes.
- GNR 3.8 sous W10 pro 64 bits
- Corrélateur basé sur un développement "Simple Correlator"
https://github.com/ccera-astro/simple_correlator

Antenne disc-yagi : <https://groups.io/g/radioastronomie-amateur/message/1583>



Interférométrie – transit solaire :

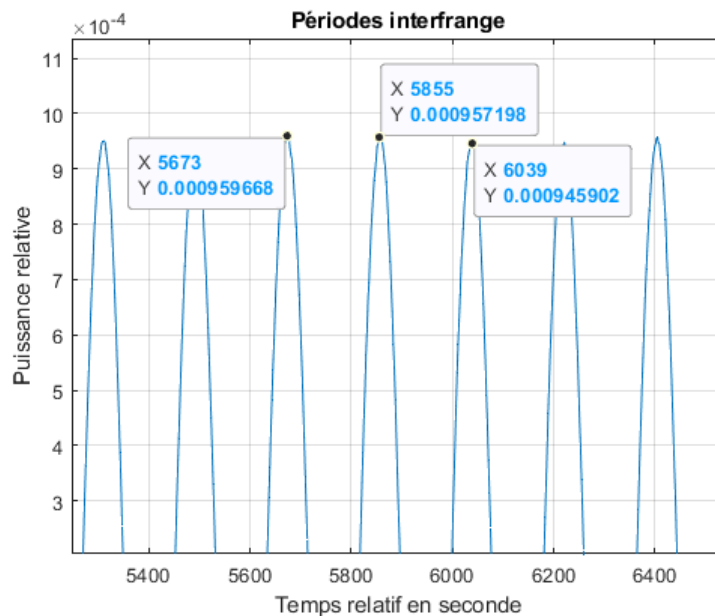
Les franges d'interférence obtenues lors du transit solaire au méridien le 4/9/2021 sont montrées ci-



dessous.

La déclinaison du soleil à cet instant est très proche de 7° .

La figure ci-dessous montre les périodes d'interfranges au moment du transit solaire au méridien.



La période moyenne mesurée fsm est de 183 secondes relevée entre pics.

Pour mémoire, une source de déclinaison $\delta=0^\circ$ se déplace angulairement de $15^\circ/\text{h}$.

A partir de la mesure d'espacement de franges effectuée sur le soleil, il est donc possible de vérifier la longueur de l'espacement entre antennes (ligne de base ou baseline).

Sachant que $\cos(\delta) = \text{fsd}0 / \text{fsm}$ on peut donc calculer fsd0 (période pour déclinaison 0°) :

$$fsd0 = fsm * \cos(\delta) \text{ soit } fsd0 = 181.6 \text{ s}$$

Connaissant fsd0, il est donc possible de calculer la ligne de base utilisée en inversant l'équation donnant l'espacement angulaire de franges « $fsd0 \text{ (en rd)} = \lambda / bl$ » (avec λ et ligne de base chiffrés en m). Donc $bl = \lambda \text{ (en m)} / fsd0 \text{ (en rd)}$.

Pour convertir fsd0 de sec en rd, il faut effectuer les opérations suivantes : / 3600 pour passer en heure, puis *15 pour passer en degré et enfin *pi/180 pour passer en rd.

Ces calculs conduisent ainsi à une ligne de base :

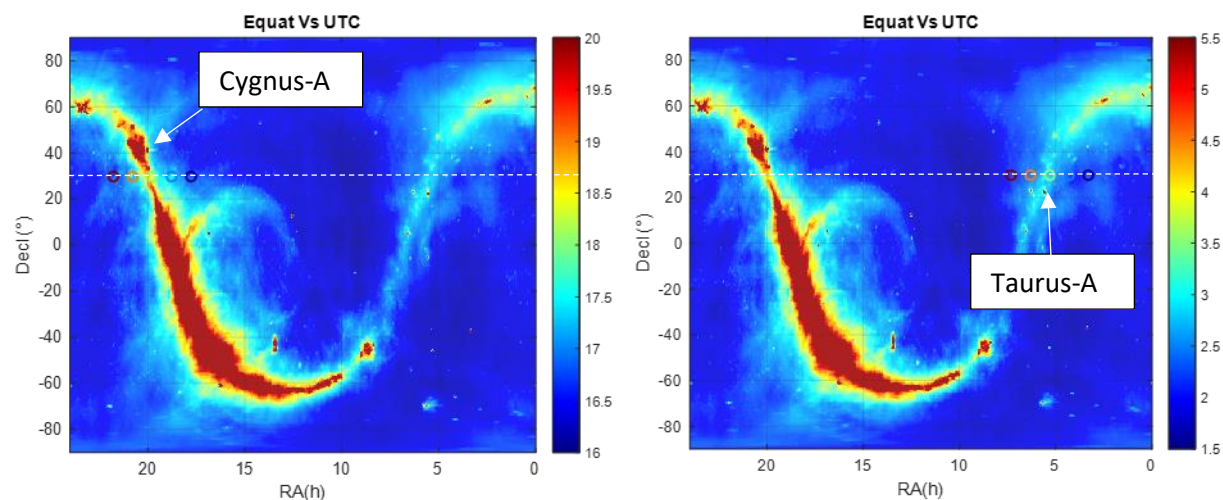
$$bl = 15.94 \text{ m}$$

Ce qui valide la longueur de la base de mesure.

Remarque : on constate que la précision de mesure de la période de franges est nécessaire car la précision sur la ligne de base en dépend. Ici pour un écart de +/-1s (183+/-1s) la longueur de la ligne de base passe de 15.85 à 16.03 m. Ce qui nuit à la précision de calcul de la déclinaison des radiosources observées par la suite (de l'ordre d'un degré).

Observations avec l'interféromètre à corrélateur

Ce même dispositif à 2 disc-yagis a ensuite été utilisé pour effectuer 2 enregistrements de 4 heures autour du plan galactique. L'ouverture de l'antenne élémentaire étant assez large, une déclinaison de 30° a été choisie étant une position intermédiaire entre celle de Cygnus-A et celle de Taurus-A.



Les 2 pages enregistrées sont : 160755 à 200755 le 15/10 et 013007 à 053007 le 16/10

L'objectif de cette observation étant d'évaluer la corrélation de sources cohérentes et les capacités de détection apportées par l'interférométrie et ainsi que la « non-détection » de sources incohérentes comme celles présentes dans le plan galactique.

Ces essais ont été effectués sur la base d'enregistrements de données brutes et de relecture/traitement différés selon le principe présenté sur la liste RA Amateur <https://groups.io/g/radioastronomie-amateur/message/1676>

Pour éviter la perte d'échantillons et pour avoir une bonne stabilité de fonctionnement sur 4 heures, la fréquence d'échantillonnage (ou bande utile) a été abaissée à 2 MHz (autre réduction de sensibilité s'ajoutant à l'écart angulaire de pointage par rapport aux 2 radiosources).

Simulation des 2 passages de radiosources effectuée sur Planner d'EME System.

Fri 15-10-2021 from 00:00 to 23:55 UTC										Sat 16-10-2021 from 00:00 to 23:55 UTC																			
OBSPMo					ORSAY					Lat : 48,708 N Long : 2,180 E					OBSPMo					ORSAY					Lat : 48,708 N Long : 2,180 E				
Frequency : 1420 MHz					Radio sky temp : < 5 K										Frequency : 1420 MHz					Radio sky temp : < 5 K									
Extra loss/perigee : -1,3 dB					Moon Decl. : -20,9 to -16,8 deg										Extra loss/perigee : -1,5 dB					Moon Decl. : -16,8 to -11,9 deg									
Time	Moon	Doppler (Hz)	Sun	Cygnus A	Time	Moon	Doppler (Hz)	Sun	Taurus A	Time	Moon	Doppler (Hz)	Sun	Taurus A	Time	Moon	Doppler (Hz)	Sun	Taurus A										
UTC	Local	Azim	Elev	Echo	Azim	Elev	Azim	Elev	UTC	Local	Azim	Elev	Echo	Azim	Elev	Azim	Elev	UTC	Local	Azim	Elev	Echo	Azim	Elev					
17:45	18:45	144,02	15,04	1232	265,68	-7,92	144,74	80,61	03:15	04:15	267,49	-20,36	-----	67,81	-29,66	163,42	62,54	03:15	04:15	267,49	-20,36	-----	67,81	-29,66	163,42	62,54			
17:50	18:50	145,11	15,51	1187	266,61	-8,74	150,00	81,05	03:20	04:20	268,40	-21,14	-----	68,92	-28,90	165,90	62,76	03:20	04:20	268,40	-21,14	-----	68,92	-28,90	165,90	62,76			
17:55	18:55	146,21	15,97	1141	267,54	-9,57	155,72	81,43	03:25	04:25	269,32	-21,93	-----	70,02	-28,13	168,41	62,94	03:25	04:25	269,32	-21,93	-----	70,02	-28,13	168,41	62,94			
18:00	19:00	147,31	16,42	1094	268,47	-10,39	161,87	81,73	03:30	04:30	270,23	-22,71	-----	71,11	-27,35	170,95	63,09	03:30	04:30	270,23	-22,71	-----	71,11	-27,35	170,95	63,09			
18:05	19:05	148,43	16,85	1047	269,41	-11,22	168,39	81,94	03:35	04:35	271,16	-23,49	-----	72,18	-26,57	173,51	63,20	03:35	04:35	271,16	-23,49	-----	72,18	-26,57	173,51	63,20			
18:10	19:10	149,55	17,27	999	270,34	-12,05	175,16	82,06	03:40	04:40	272,09	-24,27	-----	73,24	-25,78	176,09	63,28	03:40	04:40	272,09	-24,27	-----	73,24	-25,78	176,09	63,28			
18:15	19:15	150,68	17,68	950	271,29	-12,87	182,04	82,08	03:45	04:45	273,03	-25,05	-----	74,29	-24,99	178,67	63,31	03:45	04:45	273,03	-25,05	-----	74,29	-24,99	178,67	63,31			
18:20	19:20	151,82	18,08	901	272,23	-13,70	188,88	82,00	03:50	04:50	273,97	-25,83	-----	75,33	-24,19	181,26	63,32	03:50	04:50	273,97	-25,83	-----	75,33	-24,19	181,26	63,32			
18:25	19:25	152,97	18,46	851	273,18	-14,52	195,51	81,83	03:55	04:55	274,92	-26,60	-----	76,36	-23,40	183,85	63,28	03:55	04:55	274,92	-26,60	-----	76,36	-23,40	183,85	63,28			
18:30	19:30	154,12	18,83	800	274,13	-15,35	201,83	81,56	04:00	05:00	275,88	-27,38	-----	77,38	-22,59	186,42	63,20	04:00	05:00	275,88	-27,38	-----	77,38	-22,59	186,42	63,20			
18:35	19:35	155,29	19,18	749	275,09	-16,17	207,73	81,22	04:05	05:05	276,84	-28,16	-----	78,39	-21,79	188,98	63,09	04:05	05:05	276,84	-28,16	-----	78,39	-21,79	188,98	63,09			
18:40	19:40	156,46	19,52	698	276,05	-16,99	213,18	80,80	04:10	05:10	277,82	-28,93	-----	79,39	-20,98	191,52	62,95	04:10	05:10	277,82	-28,93	-----	79,39	-20,98	191,52	62,95			
18:45	19:45	157,64	19,84	646	277,02	-17,81	218,16	80,31	04:15	05:15	278,80	-29,70	-----	80,38	-20,17	194,04	62,76	04:15	05:15	278,80	-29,70	-----	80,38	-20,17	194,04	62,76			
18:50	19:50	158,82	20,15	593	277,99	-18,63	222,69	79,78	04:20	05:20	279,80	-30,47	-----	81,37	-19,35	196,52	62,55	04:20	05:20	279,80	-30,47	-----	81,37	-19,35	196,52	62,55			

Enregistrement du 15/10/2021

Le détail de l'observation est donné ci-dessous :

Observatoire : ObsPMo

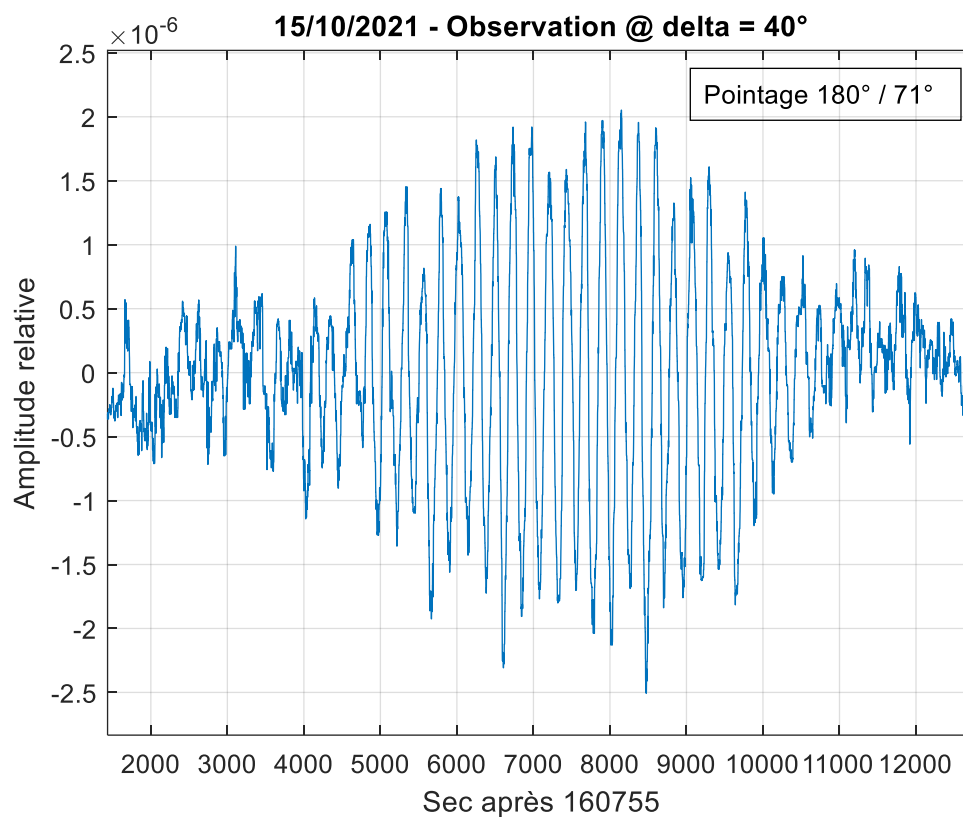
Date Observation : 2021/10/15

Localisation : Lon 2.18° - Lat 48.708° - Alt 150m

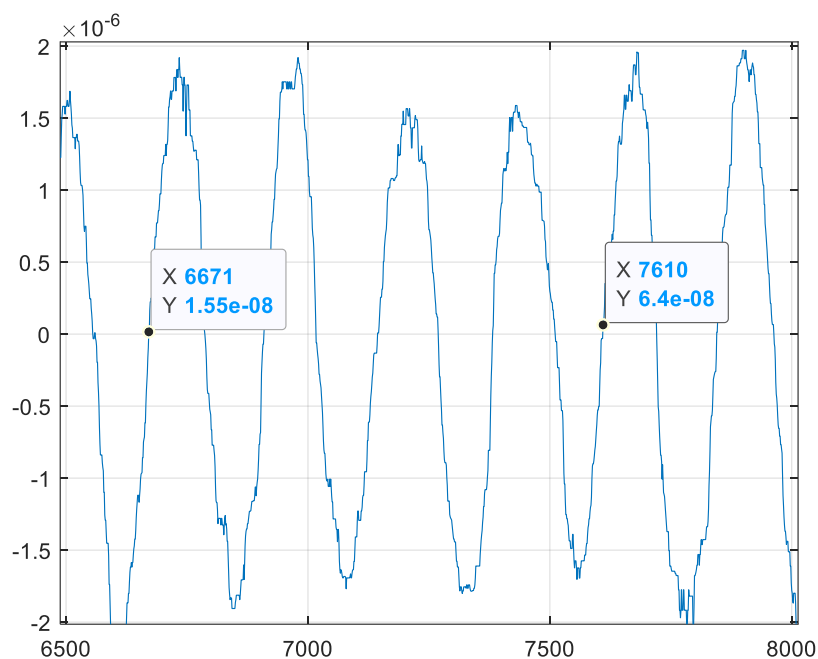
Position antenne : Azim 180° - Elev 71°

hh:mm:ss	ra(h)/dec(°)	longal(°)/latgal(°)	vlsr(km/s)
16:08:00	17.9061/29.708	55.126/24.613	-3.8314
17:08:00	18.9089/29.708	60.1334/12.4474	-1.4091
18:08:00	19.9116/29.708	66.2323/0.87749	0.40863
19:08:00	20.9143/29.708	73.7553/-9.8157	1.4975
20:08:00	21.9171/29.708	83.1275/-19.2147	1.7823

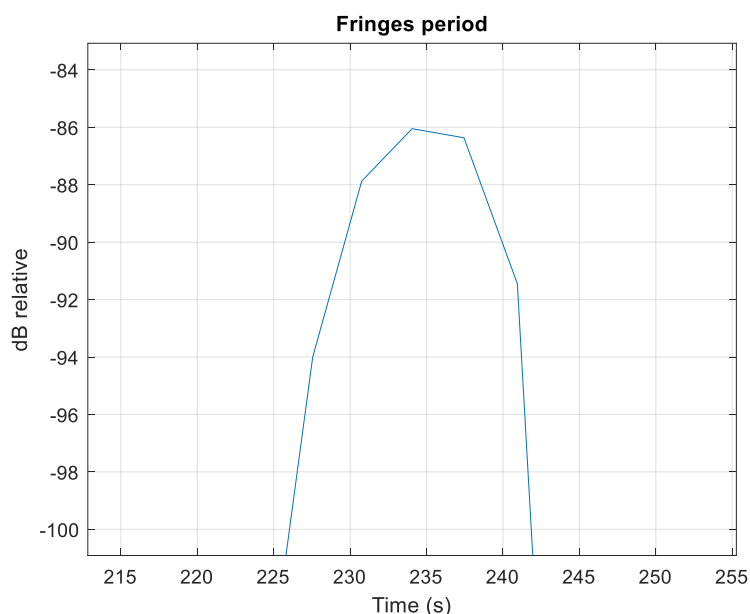
Le traitement du 1^{er} enregistrement révèle la présence de franges d'interférence liées à une radiosource.



La période de franges moyenne extraite de la figure ci-dessous sur 5 périodes est de 235 secondes.



Un « périodogramme » appliqué sur le signal révèle une période similaire



En repartant de la même formule $\cos(\delta) = \text{fsd0} / \text{fsm}$, on calcule donc la déclinaison δ de cette source cohérente

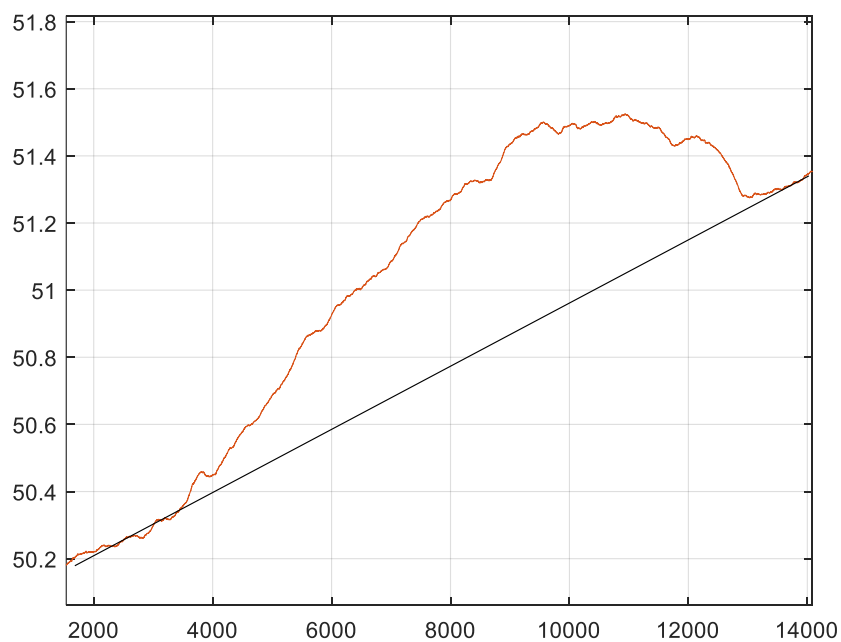
$$\delta = \arccos(\text{fsd0}/\text{fsm}) \text{ avec } \text{fsd0} = 181.6 \text{ s et } \text{fsm} = 235\text{s}$$

$$\text{soit } \delta = 39.4^\circ$$

Le transit de cette source à env. 18h10 est proche de RA=20h et sa déclinaison proche de 40°, il s'agit probablement de la radiosource Cygnus-A ($\alpha = 19\text{h}59\text{m}28,36\text{s}$ $\delta = +40^\circ 44' 02''$)

Une prochaine mesure avec une déclinaison de 40° permettra d'obtenir un meilleur rapport Signal/Bruit et donc une meilleure précision de mesure. Pour mémoire, l'écart angulaire de mesure est de l'ordre de 10° et la bande utile réduite à 2MHz.

La figure ci-dessous montre la puissance relative du signal continu en dB. Si l'on soustrait la dérive thermique (droite noire), on constate que ce signal est principalement lié au passage du plan galactique (temporellement plus large).



Ces signaux non-cohérents ne sont pas détectés par le corrélateur (absence de corrélation). Si Cygnus-A n'est pas détectable parmi ces signaux, la corrélation de l'interféromètre permet de révéler cette radiosource malgré une sensibilité réduite. Cet interféromètre permet de détecter des radiosources avec un bon contraste malgré l'utilisation de petites antennes.

Enregistrement du 16/10/2021

Le détail de l'observation est donné ci-dessous :

Observatoire : ObsPMo

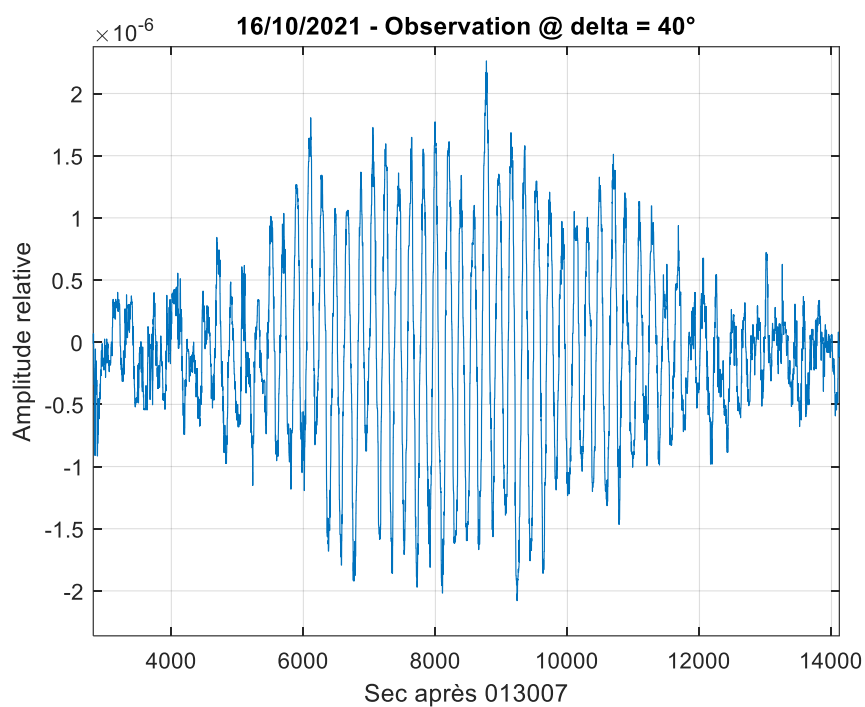
Date Observation : 2021/10/16

Localisation : Lon 2.18° - Lat 48.708° - Alt 150m

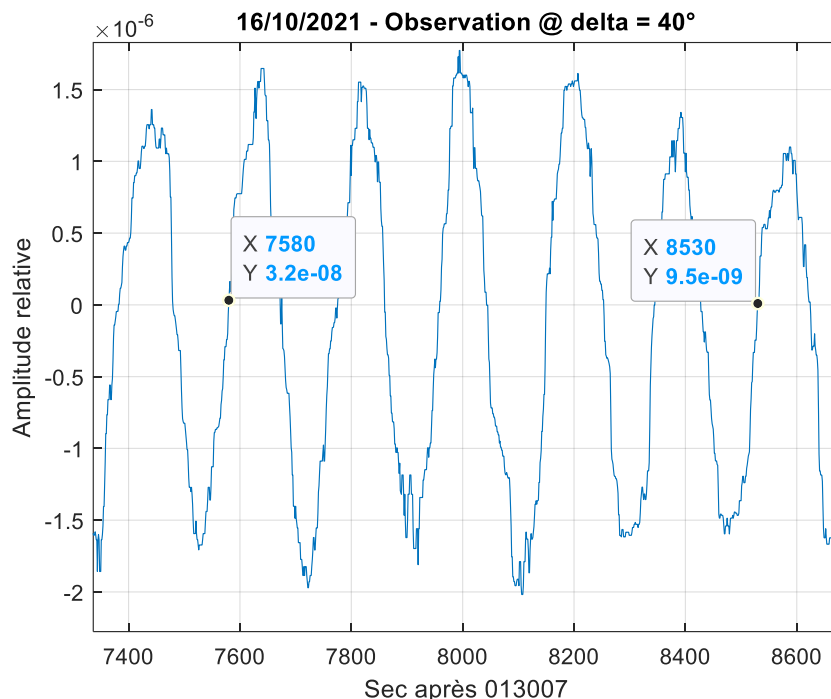
Position antenne : Azim 180° - Elev 71°

hh:mm:ss	ra(h)/dec(°)	longal(°)/latgal(°)	vlsr(km/s)
01:30:00	3.2984/29.708	157.2478/-23.2331	-8.842
02:30:00	4.3012/29.708	167.6988/-14.6885	-12.0243
03:30:00	5.3039/29.708	176.0863/-4.5768	-15.0985
04:30:00	6.3066/29.708	182.8453/6.5992	-17.8556
05:30:00	7.3094/29.708	188.3619/18.4968	-20.1075

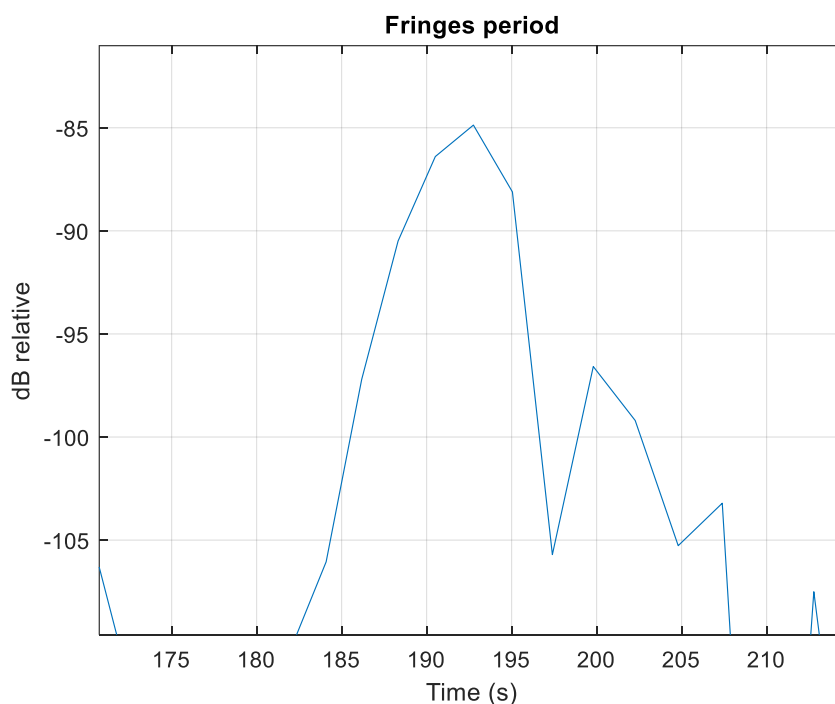
Le traitement du 2^{ème} enregistrement révèle la présence de franges d'interférence liées à une radiosource.



La période de franges moyenne extraite de la figure ci-dessous sur 5 périodes est de 190 secondes.



Un « périodogramme » appliqué sur le signal de franges révèle une période d'env 192 sec.



En repartant de la même formule $\cos(\delta) = \text{fsd0} / \text{fsm}$, on calcule donc la déclinaison δ de cette source cohérente

$$\delta = \arccos(\text{fsd0}/\text{fsm}) \text{ avec } \text{fsd0} = 181.6 \text{ s et } \text{fsm} = 192\text{s}$$

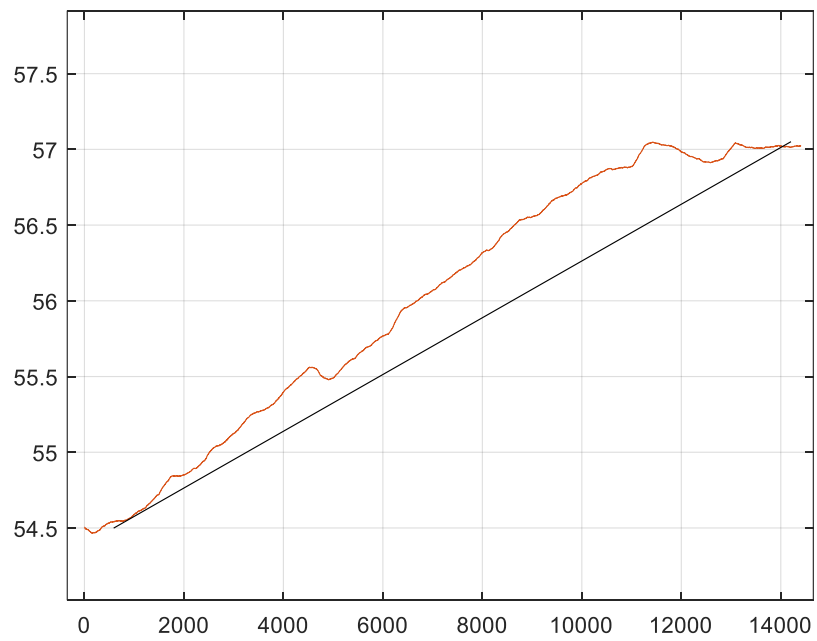
$$\text{soit } \delta = 19^\circ$$

Le transit de cette source à env. 3h40 serait proche de RA=5h30 et sa déclinaison proche de 19° , il s'agit probablement de la radiosource Taurus-A ($\alpha = 5\text{h}34\text{m}32,0\text{s}$ $\delta = +22^\circ00'52,06''$).

Une prochaine mesure avec une déclinaison de 22° permettra d'obtenir un meilleur rapport Signal/Bruit et donc une meilleure précision de mesure.

Pour mémoire, l'écart angulaire de mesure est de 8° par rapport à la radiosource.

De la même façon, si l'on soustrait la dérive thermique (droite noire), on constate que ce signal détecté est principalement lié au passage du plan galactique (temporellement plus large).



Ici, Taurus-A n'est pas détectable.

Conclusion

Comme attendu, l'interféromètre à 2 antennes et corrélateur a permis de détecter des radiosources avec un bien meilleur contraste qu'une observation/détection classique en continuum.

Cela confirme la bonne réjection (non-corrélation) des sources incohérentes constituant le rayonnement du plan galactique.

La précision de mesure de la déclinaison des radiosources lors de leur transit respectif au méridien est dégradée. Une mesure plus précise sera effectuée pour chaque radiosource.

Il faudrait vérifier l'influence du diagramme d'antenne sur cette mesure. En effet, comme indiqué, l'écart angulaire lors de ces mesures est de +/- 10° pour ces 2 sources (soit l'ouverture angulaire de chaque antenne élémentaire).

Pour progresser, il faut désormais réaliser une installation plus précise (mesurer la ligne de base avec précision : longueur et orientation) et calibrer l'ensemble de ces mesures pour mieux dater les instants de transit et relever les périodes de franges avec une meilleure précision (un meilleur rapport Signal/Bruit devrait également améliorer cette mesure).

Enfin, pour ces 1^{ers} essais, une des antennes est située à proximité du réflecteur parabolique qui peut perturber son diagramme de rayonnement. Les prochains essais seront effectués en utilisant un autre support pour les antennes (en cours de définition).

JJ MAINTOUX – F1EHN

Références

<http://astro.u-strasbg.fr/~bvollmer/COURS/interferometrie.pdf>

<https://science.nrao.edu/science/meetings/2014/14th-synthesis-imaging-workshop/archive/SISS14Intro.pdf>

Photos de la configuration d'essais

Antenne n°2 au 1^{er} plan. Antenne n°1 fixée sur le bord réflecteur parabolique



Ligne de base : 16 m



LNA AD61W à l'arrière d'une antenne

