

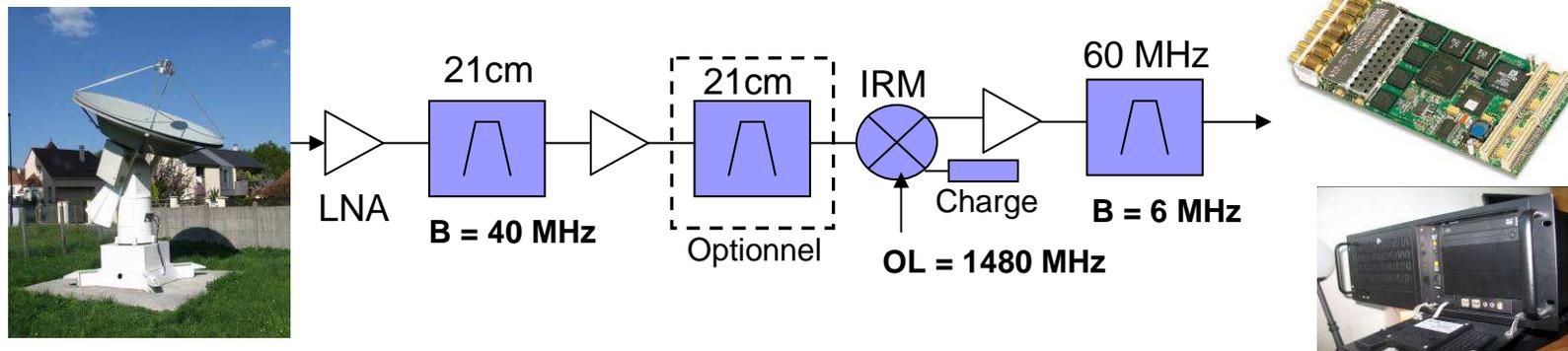
Radioastronomie

Traitement des signaux reçus en 21cm

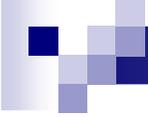
- Rappels sur la station
- Format des données
- Analyse des données
 - Référence
 - Normalisation
 - Correction Doppler
 - Suppression des signaux parasite
 - Lissage / filtrage
 - Recadrage sur bande utile
- Prochains travaux
- Annexe - Bibliographie

Rappels sur la station

- La station est décrite en détail dans le document de description de la station 21cm (lien en annexe)
- Synoptique



- Les données sont acquises par le récepteur numérique à la cadence de 80 MHz. Un filtrage numérique réduit la bande de fréquence à 2.5 MHz et le débit de données (décimation) à 2.5 MEch/sec. Chaque échantillon est codé sur 14 bits en entrée et 24 bits en sortie.
- Les données sont stockées dans 1 FIFO (RAM PC) et le logiciel d'acquisition les stocke sur disque dur suivant un format défini.

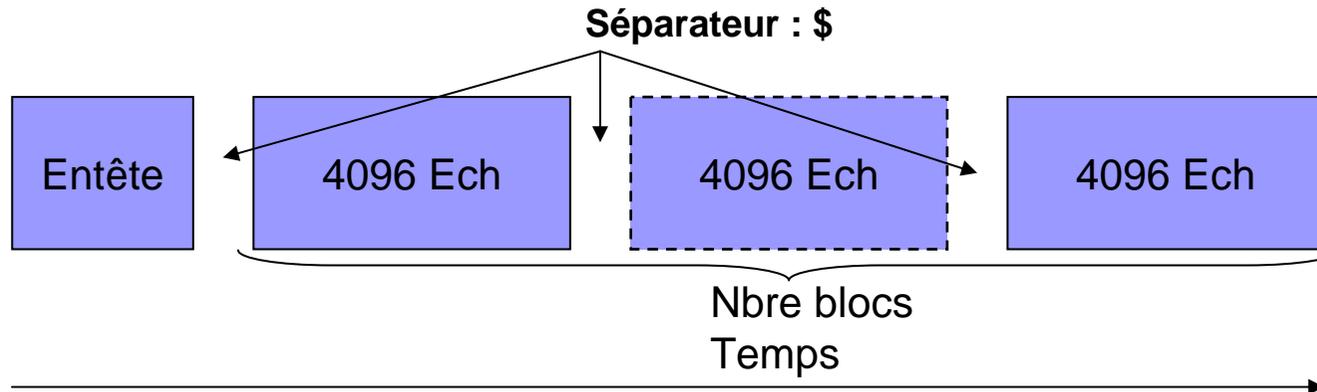


Format des données

- Fichier / Entete :
 - Nom de fichier : ex : 20090703_095157_lon75.dat (indique la date, heure et la longitude de mesure)
 - Paramètres d'acquisition
 - Freq FI in : 60 MHz => Fréquence FI du récepteur
 - Freq Ech : 80 MHz => Fréquence d'échantillonnage en entrée
 - FI Num : 20 MHz => FI numérique du récepteur numérique
 - Décimation : 32 => Facteur de décimation des données (filtrage)
 - Bande : 2.5 MHz => Bande passante du filtre numérique
 - Paramètres de mesure
 - Longitude : 75 => longitude galactique de mesure
 - Nbre Bloc : 8192 => nombre de blocs de données contenant Nbre Ech
 - Nbre Ech : 4096 => nombre d'échantillons par bloc de données
 - Freq OL : 1480.4057 MHz => fréquence d'OL utilisée
 - Freq RF : 1420.4057 MHz => fréquence de réception (OL – FI)
 - Paramètres :
 - Les paramètres d'acquisition sont fixes (ou modifiable par programmation)
 - Les paramètres de mesure sont ajustables par l'opérateur

Format des données

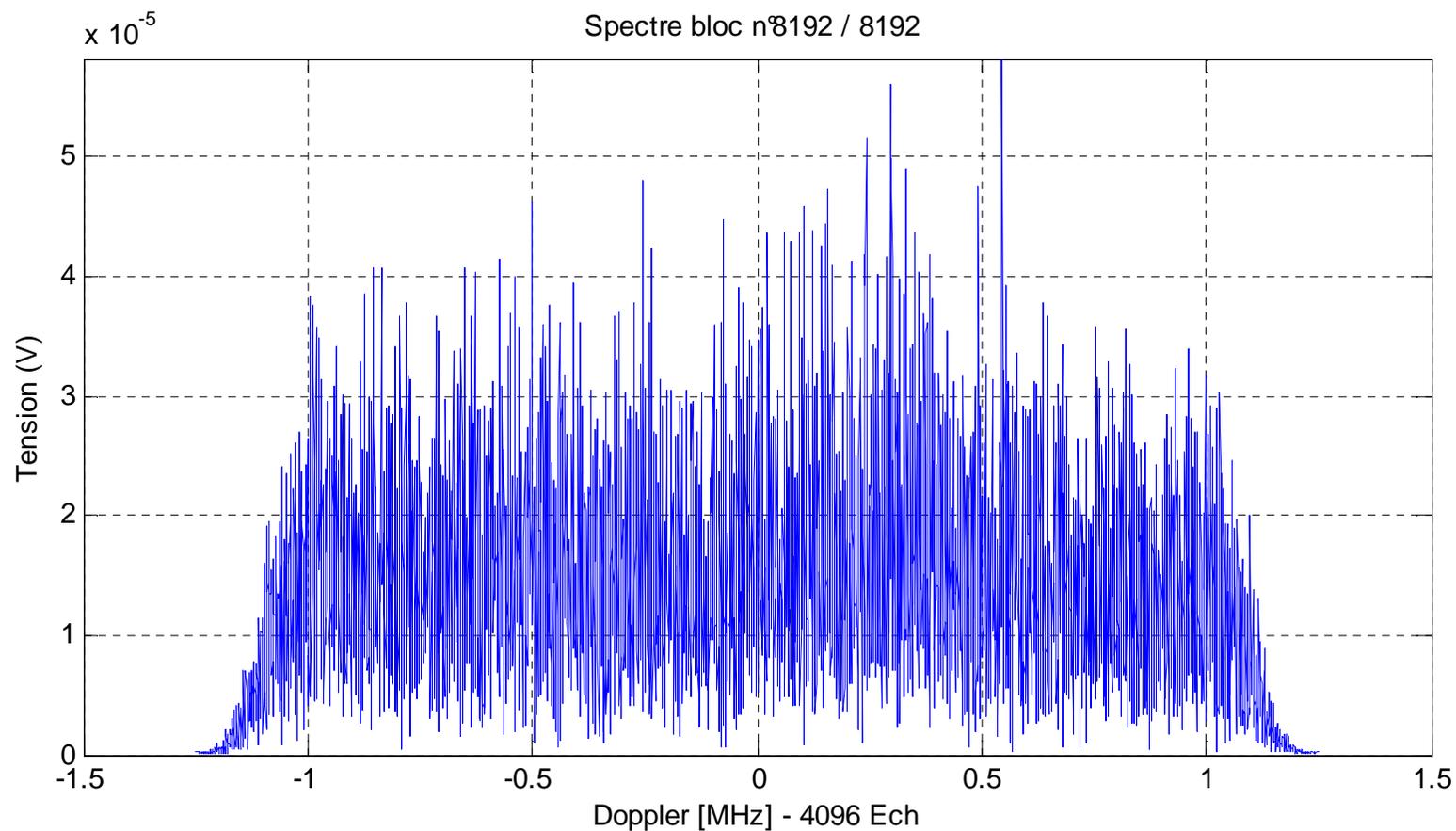
- Principe d'acquisition pour 1 fichier d'enregistrement:



- Bloc
 - Signal complexe (I & Q)
 - Chaque composante est codée sur 32 bits
 - 4096 Ech
 - 2.5 MEch/sec
- Nombre de blocs définis par l'opérateur : par expérience, 4096 à 8192 blocs sont nécessaires pour le traitement.

Analyse des données

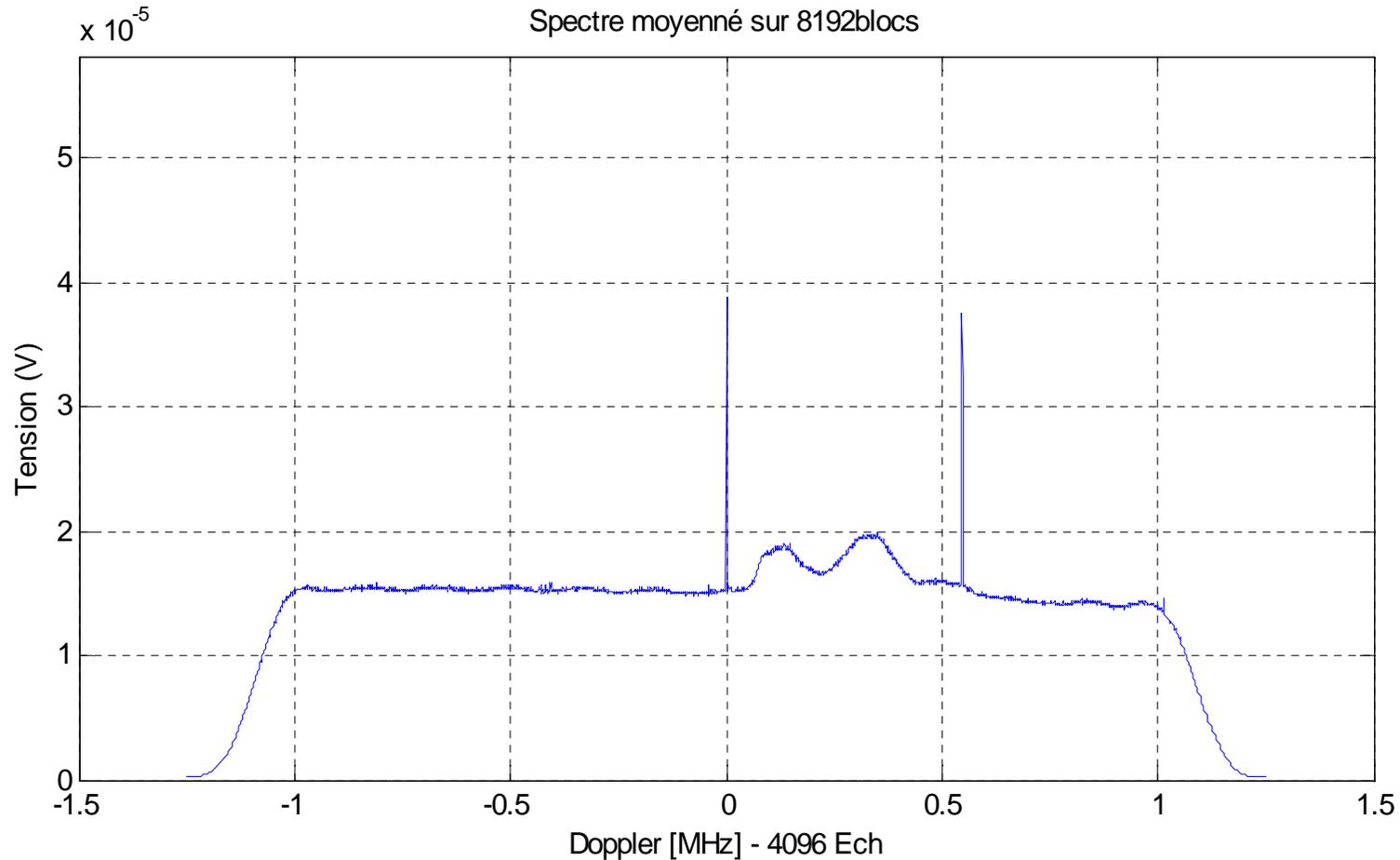
- Lecture entête (voir description ci-dessus)
- Traitement d'un bloc par FFT 4096 pts (données brutes)



Avec 1 seul bloc, aucune détection n'est possible

Analyse des données

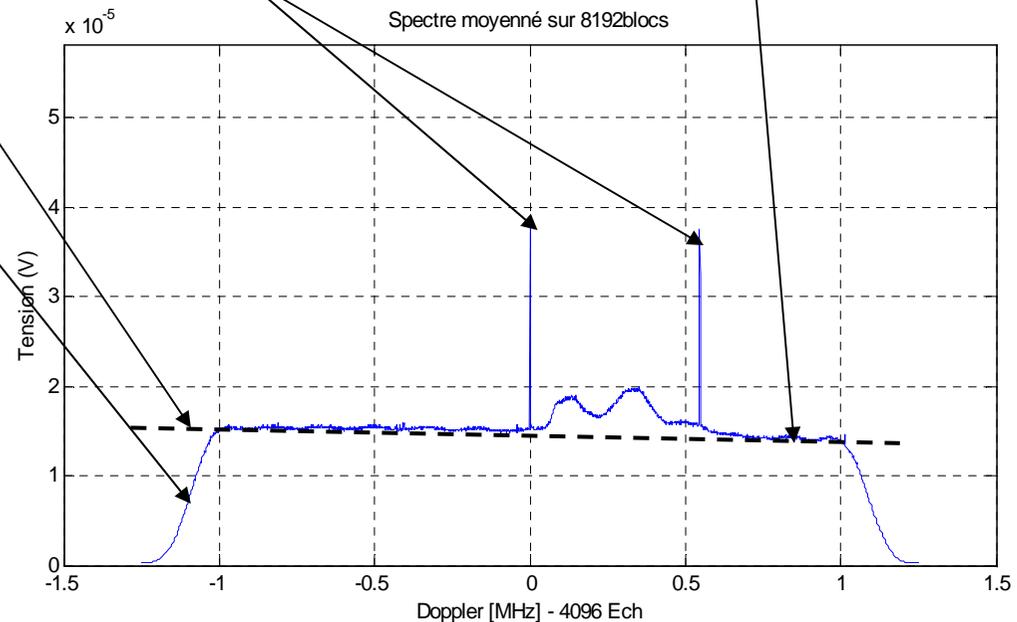
- Traitement de 8192 blocs (FFT 4096 pts) (données brutes)



La détection est possible – Imperfection à corriger

Analyse des données

- Imperfection des données brutes :
 - Ondulations liées aux différents filtres analogiques et numériques
 - Signaux parasites à bande étroite
 - Réponse non plane
 - Bande de filtrage
 - Correction Doppler

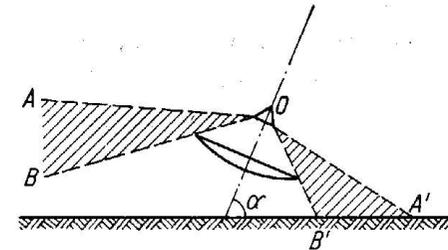


Correction des imperfections => Utiliser une référence

Analyse des données

- Enregistrement d'une référence :
 - L'hydrogène H1 est présent dans une très grande partie du volume observable

Phénomène de Spill over

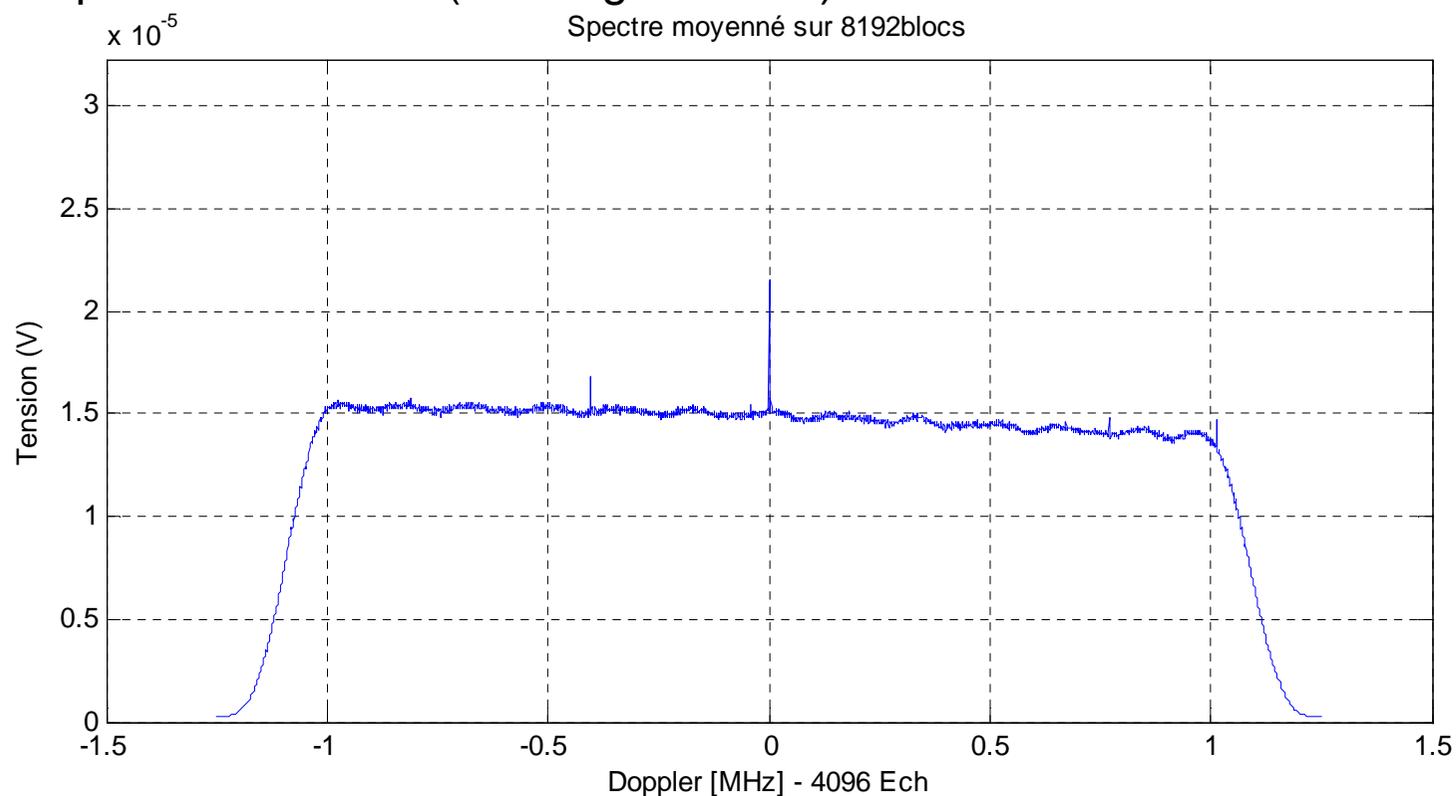


- La température de bruit du système dépend de la position d'antenne (lobes parasites d'antenne, sol, environnement)
- Pour ces 2 raisons majeures, l'offset angulaire (ou scan angulaire) n'est pas utilisable.
- La solution, également utilisée par les radioastronomes, consiste à effectuer un décalage fréquentiel afin de ne pas recevoir de raie d'hydrogène. Le décalage est minimal afin que le récepteur conserve une réponse identique à celle que l'on veut corriger.

Un décalage fréquentiel de 2 MHz est utilisé

Analyse des données

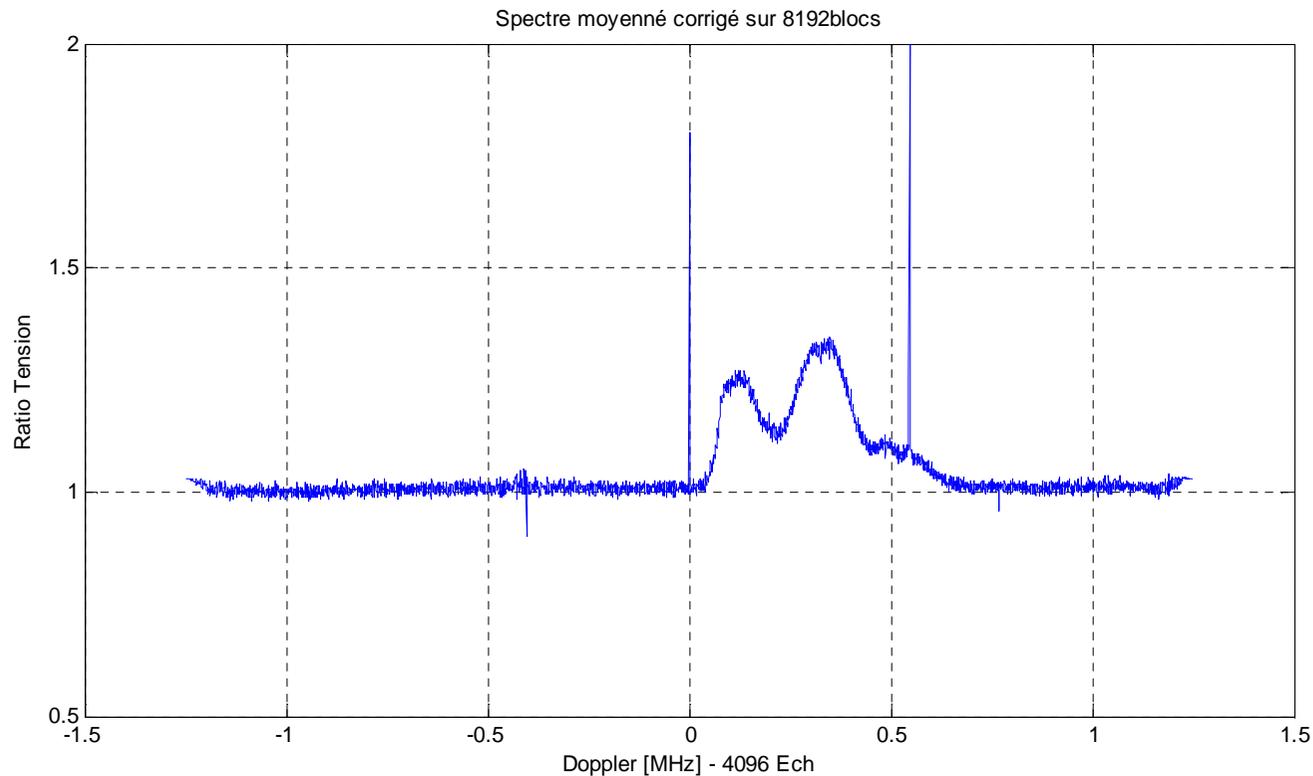
- Enregistrement d'une référence :
 - La référence est également issue de 8192 blocs suite à un décalage fréquentiel de 2MHz (décalage de l'OL).



Référence : Un décalage fréquentiel de 2 MHz est utilisé

Analyse des données

- Utilisation de la référence :
 - La référence présente les mêmes défauts que le fichier de mesure.
 - Un ratio des 2 fichiers donne le résultat suivant



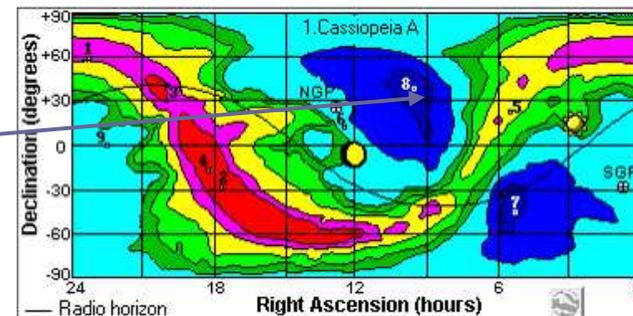
La réponse est plane. Il subsiste les signaux parasites

Analyse des données

■ Normalisation :

- Cette étape permet de passer de rapport entre 2 mesures à une mesure absolue de l'augmentation de la température d'antenne. Cette augmentation représente alors le niveau du signal reçu et permettra donc d'en déduire le volume d'hydrogène présent dans l'ouverture angulaire de l'antenne
- Une nouvelle référence est utilisée en effectuant 2 mesures, une première sur une région froide du ciel (qq K) et une seconde sur le soleil (zone chaude connue).

* Le ciel froid CS correspond à la région de la constellation Leo.



- L'étalonnage a été effectué le 1^{er} Mai 2009

Relevés du flux solaire pour le 1 Mai 2009

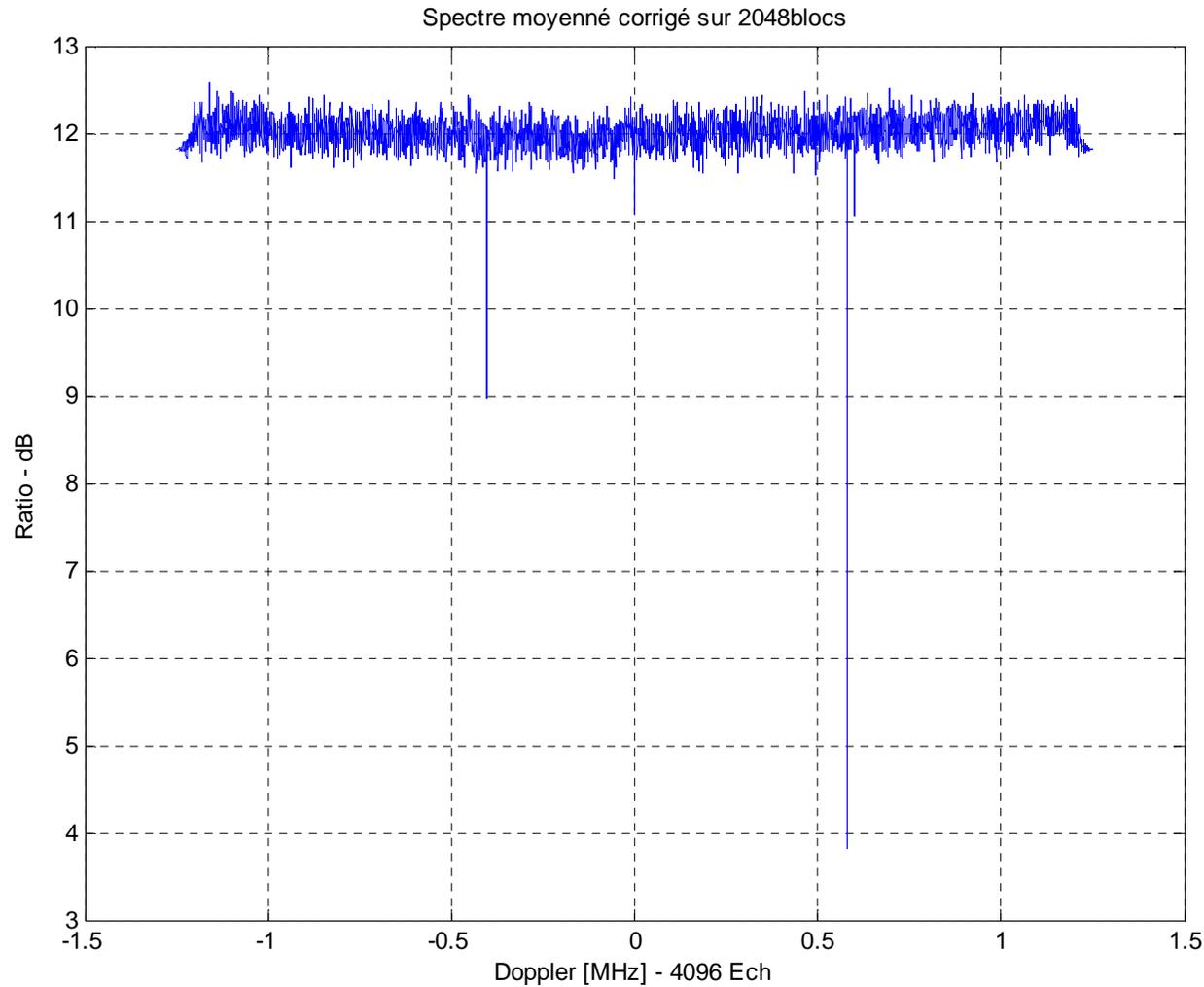
Freq	Learmonth	San Vito	Sag Hill	Penticton	Penticton	Palehua	Penticton
MHZ	0500 UTC	1200 UTC	1700 UTC	1700 UTC	2000 UTC	2300 UTC	2300 UTC
1415	53	52	54	-1	-1	54	-1

Analyse des données

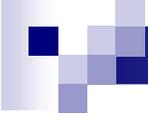
- Normalisation - Justification des mesures solaires:
- Soit $T =$ Température, $k =$ cste Boltzmann, $cs \Rightarrow$ ciel froid, $sun \Rightarrow$ soleil, $sys \Rightarrow$ system, $F = 1420\text{MHz}$, $l \Rightarrow$ longueur d'onde = $c/F \Rightarrow l = 0.211\text{m}$, $A_{eff} =$ Aire efficace, $Bw =$ Bande passante, $NF =$ Noise figure, $L_r =$ Pertes en réception, $T_r =$ Température de bruit récepteur.
 - Antenne : $D = 3.3\text{m}$, $\text{Gain} = 31\text{dBi} \Rightarrow G = 1260$, $A_{eff} = G \cdot l^2 / 4\pi = 4.46\text{m}^2$
 - Diagramme : $\text{Ouv} = 4.4^\circ$ (mesure),
 - $T_{ant_cs} = 15\text{K}$ ($T_{ciel} \sim 5\text{K}$, $T_{lobes} = 10\text{K}$ estimés d'après mesures)
 - $T_{sys_cs} \Rightarrow$ Température système référencé sur ciel froid
soit $(T_{ant_cs} + (L_r - 1) \cdot 290\text{K}) + L_r T_r$ avec $L_r = 1.023$ (0.1dB) et $T_r = 34\text{K}$
($N_f = 0.48\text{dB}$) \Rightarrow $T_{sys_cs} = 57\text{K}$
 - Flux solaire = 53 sfu d'après observatoire (= $53 \cdot 10^{-22}\text{ W/m}^2/\text{Hz}$)
 - $T_{ant_sun} = \text{Flux} \cdot A_{eff} / (2 \cdot k) = 856\text{ K}$ pour une polarisation
 - La mesure de signal reçu est de la forme $(S+B)/B$ avec
 - $S = k \cdot T_{ant_sun} \cdot Bw$
 - $B = k \cdot T_{sys_cs} \cdot Bw$
 - Excès de bruit solaire = $(T_{ant_sun} / T_{sys_cs}) + 1 = 16$ **soit 12.0 dB**

Analyse des données

- Normalisation - Mesure Soleil / Ciel froid



Valeur moyenne
= 12.0 dB



Analyse des données

■ Normalisation

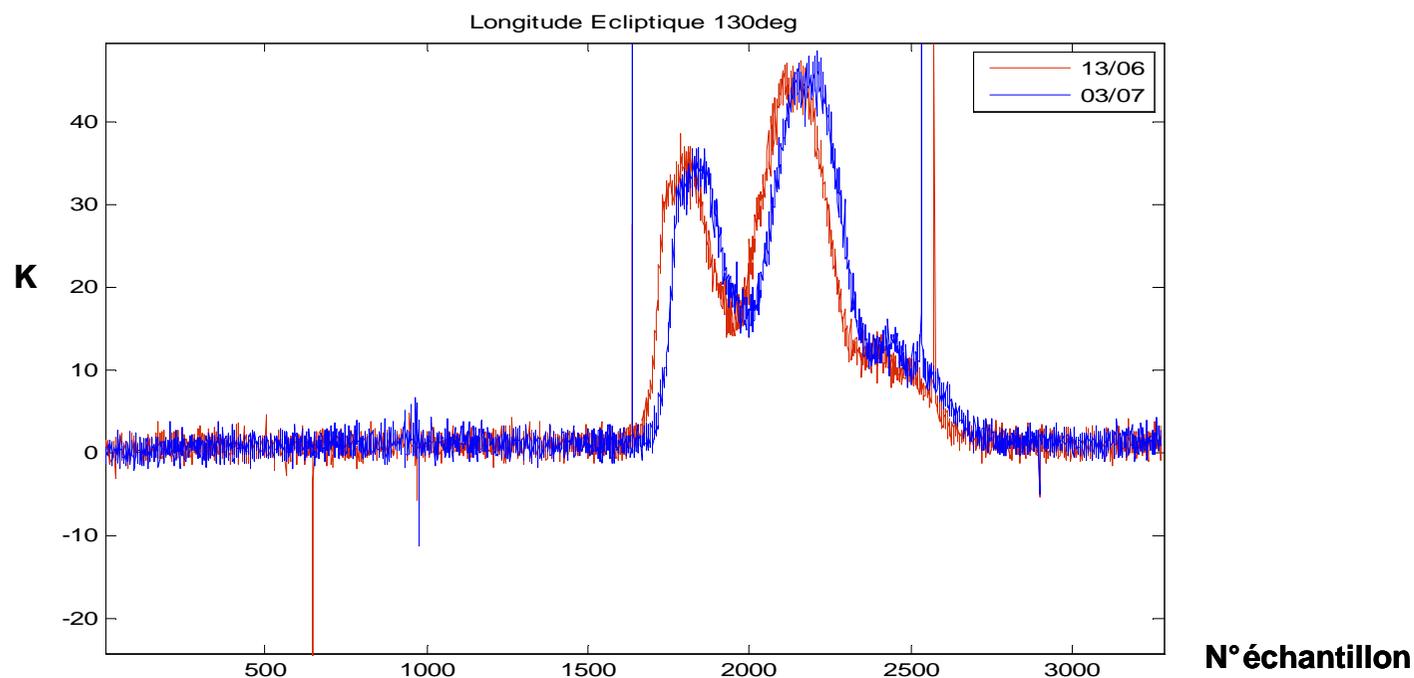
- La mesure précédente montre que la station 21 cm délivre un excès de signal de 12 dB (soit un ratio de 16) pour une température système passant de 57K ($T_{\text{sys_cs}}$) sur ciel froid à environ 913K sur le soleil ($T_{\text{ant_sun}} + T_{\text{sys_cs}}$).
- Le ratio =1 correspond donc à la Température Système sur Ciel froid soit 57K.
- La normalisation est donc effectuée par
 - Élévation Température Antenne = $((\text{Ratio}^2)-1) * 57\text{K}$ (l'élévation au carré permet de passer du domaine tension au domaine puissance, -1 ramène la référence à 0).
 - Par exemple, 1 ratio relevé à 1.35 correspond alors à une élévation de température d'antenne de 47K
 - Le ration de 16 en puissance relevé sur le soleil, correspond à un ratio de 4 en tension. Si l'on applique le calcul de normalisation $((4^2)-1) * 57$ donne un résultat de 855 K ce qui correspond bien à l'élévation de température d'antenne apportée par la présence du soleil dans l'ouverture angulaire du soleil.

Analyse des données

■ Correction Doppler :

- L'analyse de 2 séries de mesure effectuées à 2 dates différentes montre qu'un décalage Doppler dû à la mécanique céleste* provoque un écart de mesure sur les spectres relevés

* (déplacement du soleil dans la galaxie, rotation de la terre autour du soleil, rotation terrestre).



Pour les mesures, la fréquence du récepteur est accordée sur :
1420.40575 MHz soit un OL à 1480.40575 et une réf d'OL à 123.367146 MHz

Analyse des données

- Correction Doppler :
 - Différentes composantes affectent les mesures Doppler/Vitesse

Correct for:	Amplitude (km s^{-1})	Rest frame:
Nothing added	0.0	topocentric
Earth's rotation	≤ 0.5	
Earth's motion around earth/moon barycenter	$\leq 0.013 \text{ km s}^{-1}$	geocentric
Earth's motion around the Sun	$\leq 30 \text{ km s}^{-1}$	heliocentric(z)
Solar motion around the Solar System barycenter	$\leq 0.012 \text{ km s}^{-1}$	barycentric
Solar motion	$\sim 20 \text{ km s}^{-1}$	local standard of rest (LSR)
Galactic rotation	$\sim 300 \text{ km s}^{-1}$	galactocentric

Les différentes composantes de vitesse doivent être prise en compte

Analyse des données

- Correction Doppler :
 - L'analyse des mesures montre :

Longitudes écliptiques	13/06/09	03/07/09
130°	à 17h55	à 16h50 (+25 kHz)
230°	à 17h12	à 11h26 (+35 kHz)
	En heure locale	+ 2h / UTC
Conversion 130°	RA = 1h 48mn 45.3sec	Dec = 61° 47' 13.9"
Conversion 230°	RA = 7h 21mn 2.1sec	Dec = -16° 57' 19.2"
Lat / Lon Moulon	48.780242 N	2.179653 E
Altitude Moulon	150 m	

- Les calculs effectués avec VLSR (voir annexe) donne :

VLSR en km/s		
Longitudes	13/06/09	03/07/09
130°	-14.2	-19.5
230°	+27.8	+20.5

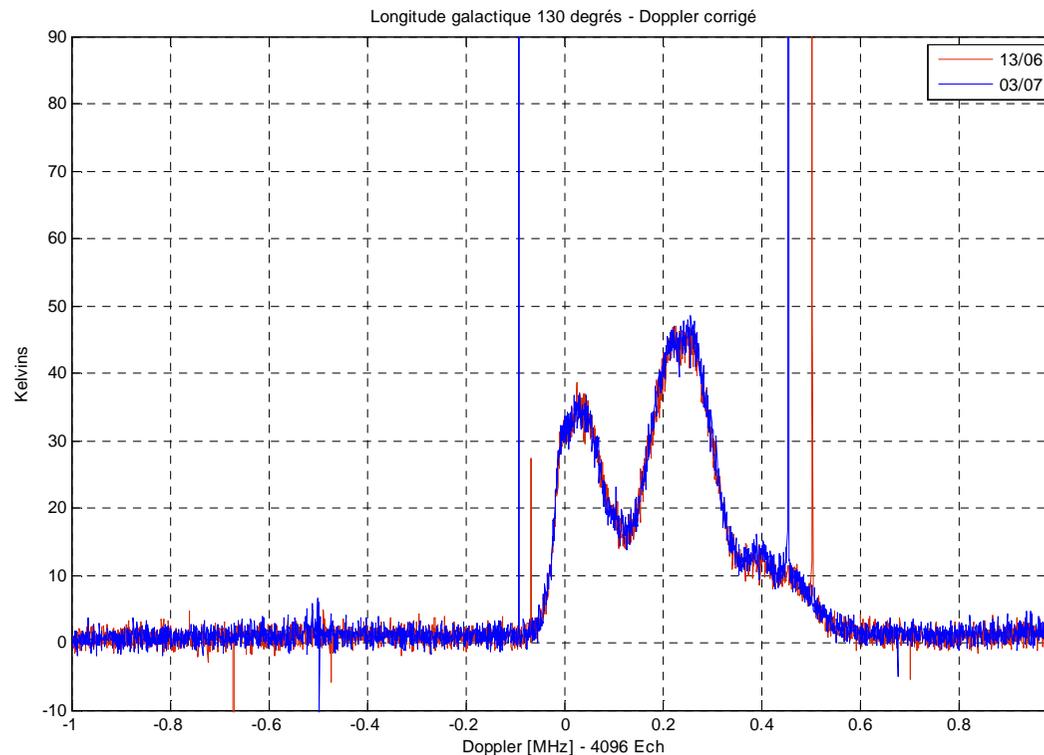
Décalage Doppler LSR en KHz avec $\lambda = 0.21m$		
Longitudes	13/06/09	03/07/09
130°	67.6	92.9 (+25.3)
230°	-132.4	-97.6 (+34.8)

Les décalages observés correspondent à ceux simulés par VLSR

Analyse des données

■ Correction Doppler :

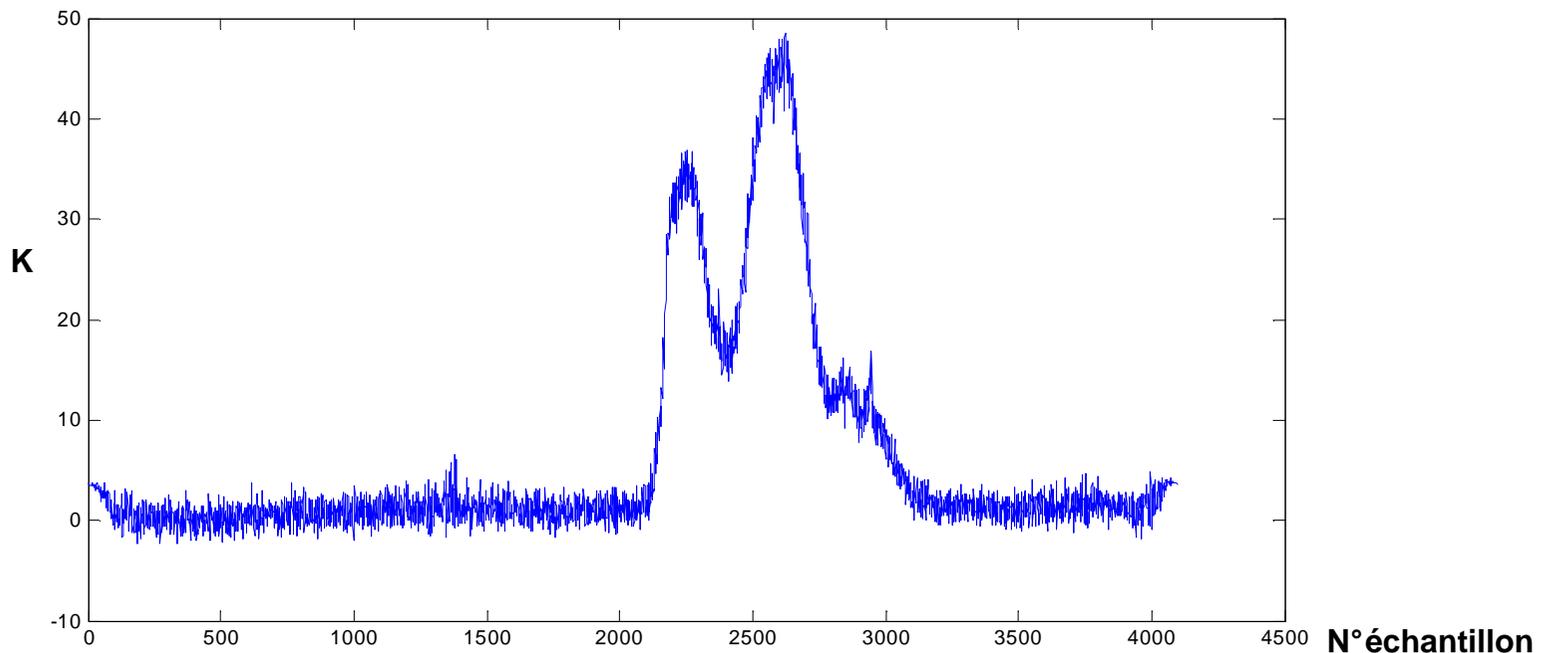
- Les corrections calculées par VLSR (voir annexe) sont appliquées par décalage des spectres des signaux reçus. La résolution est égale à la bande acquise divisée par le nombre d'échantillons soit $2.5 \text{ MHz} / 4096 \Rightarrow 610 \text{ Hz}$ soit 128 m/s .



Les 2 mesures sont désormais parfaitement superposées

Analyse des données

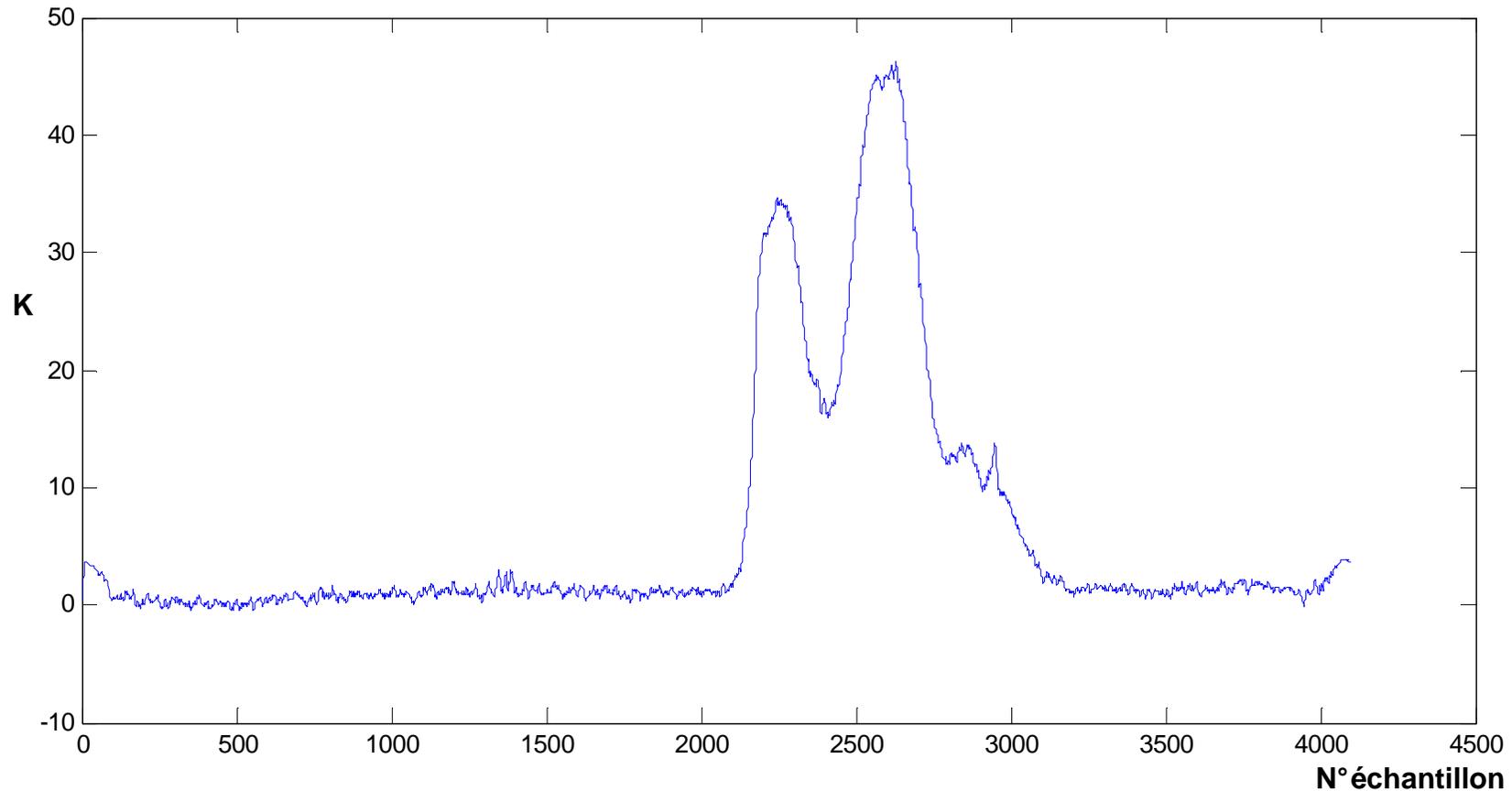
- Suppression signaux parasites :
 - Ces signaux doivent être supprimés car ils empêchent tout traitement de lissage des signaux. De plus, ils sont souvent puissants.
 - Une fenêtre glissante sur l'axe fréquence (x) est utilisée. Si le dernier échantillon de la fenêtre est $>$ à la moyenne des autres échantillons + 1 seuil déterminé, alors cet échantillon est remplacé par la moyenne



Les signaux parasites sont supprimés sans dégradation => seuil = 10K

Analyse des données

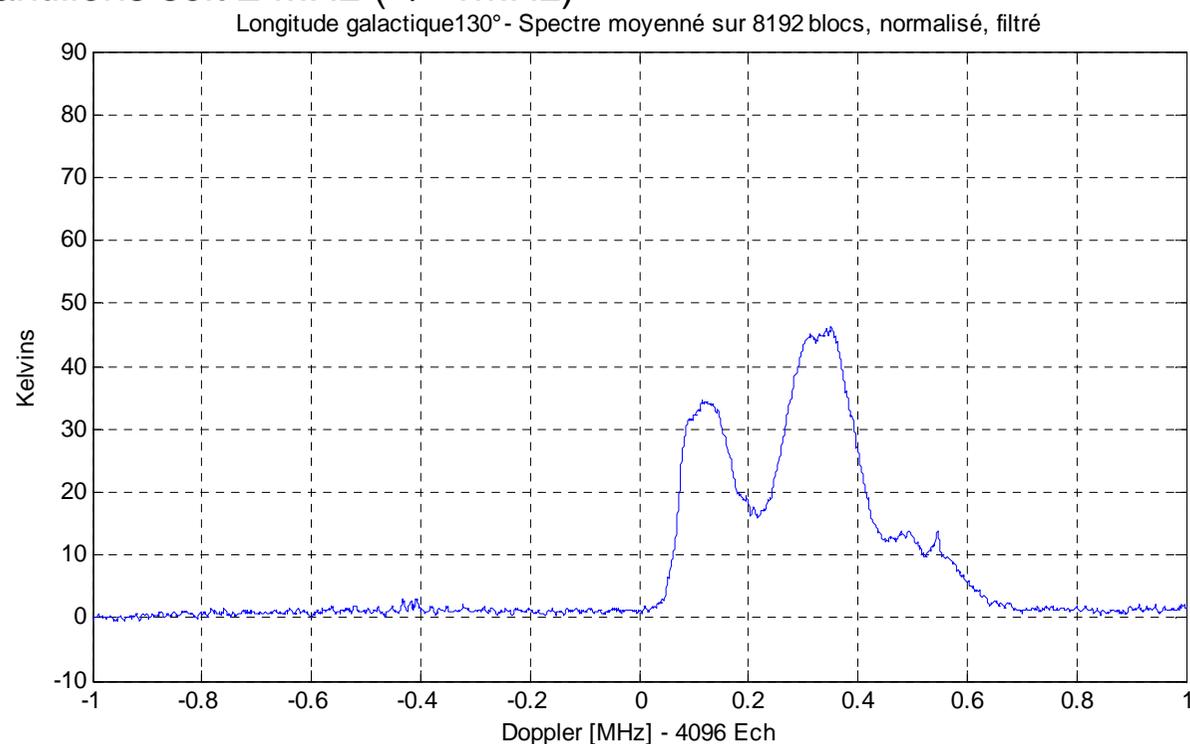
- Filtrage / lissage des signaux reçus (4096 ech) :



Les signaux parasites sont supprimés. Le résultat est lissé / filtré

Analyse des données

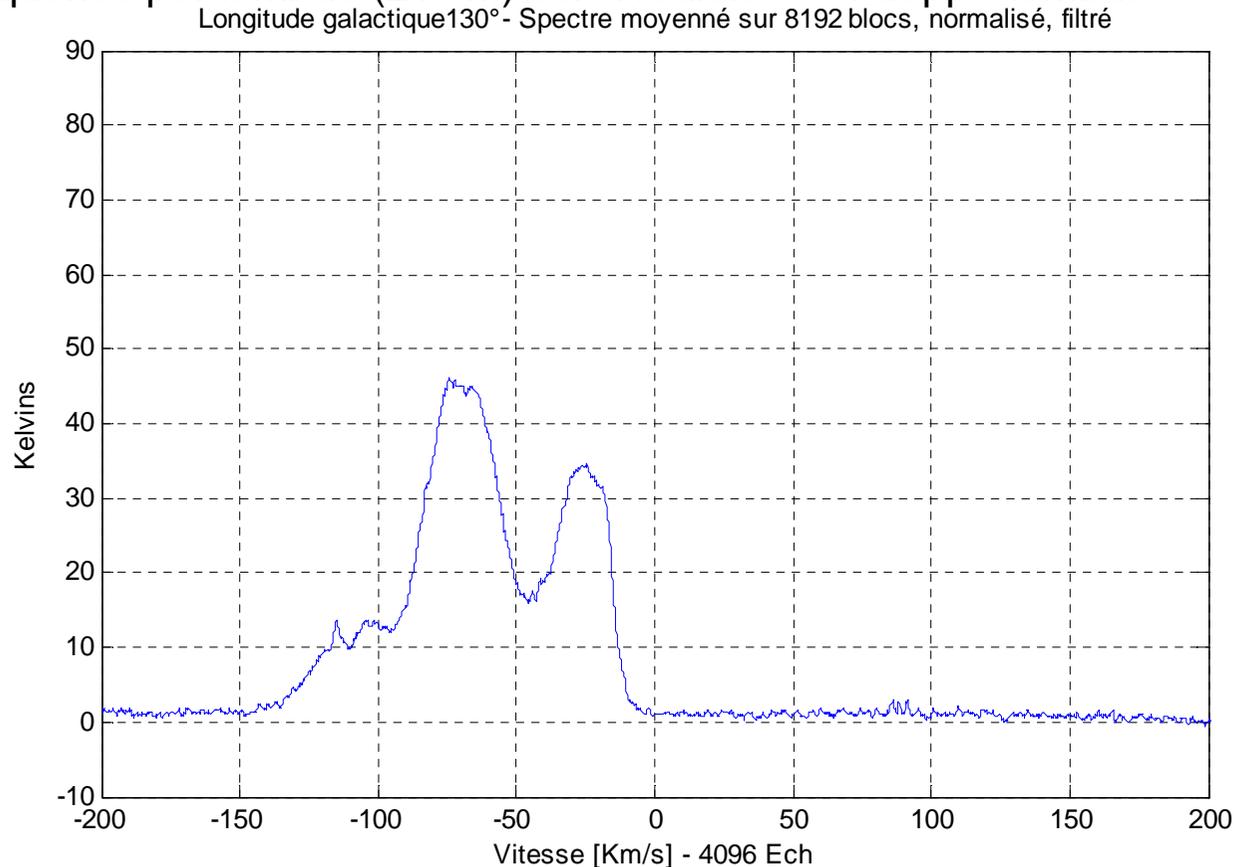
- Recadrage sur bande utile :
 - Tous les traitements précédents ont été effectués sur la bande de réception de 2.5 MHz et sur les 4096 échantillons.
 - La présentation finale est faite sur la bande utile par recadrage à 3277 échantillons soit 2 MHz (+/- 1MHz)



Les mesures sont recadrés sur +/- 1MHz après traitement

Analyse des données

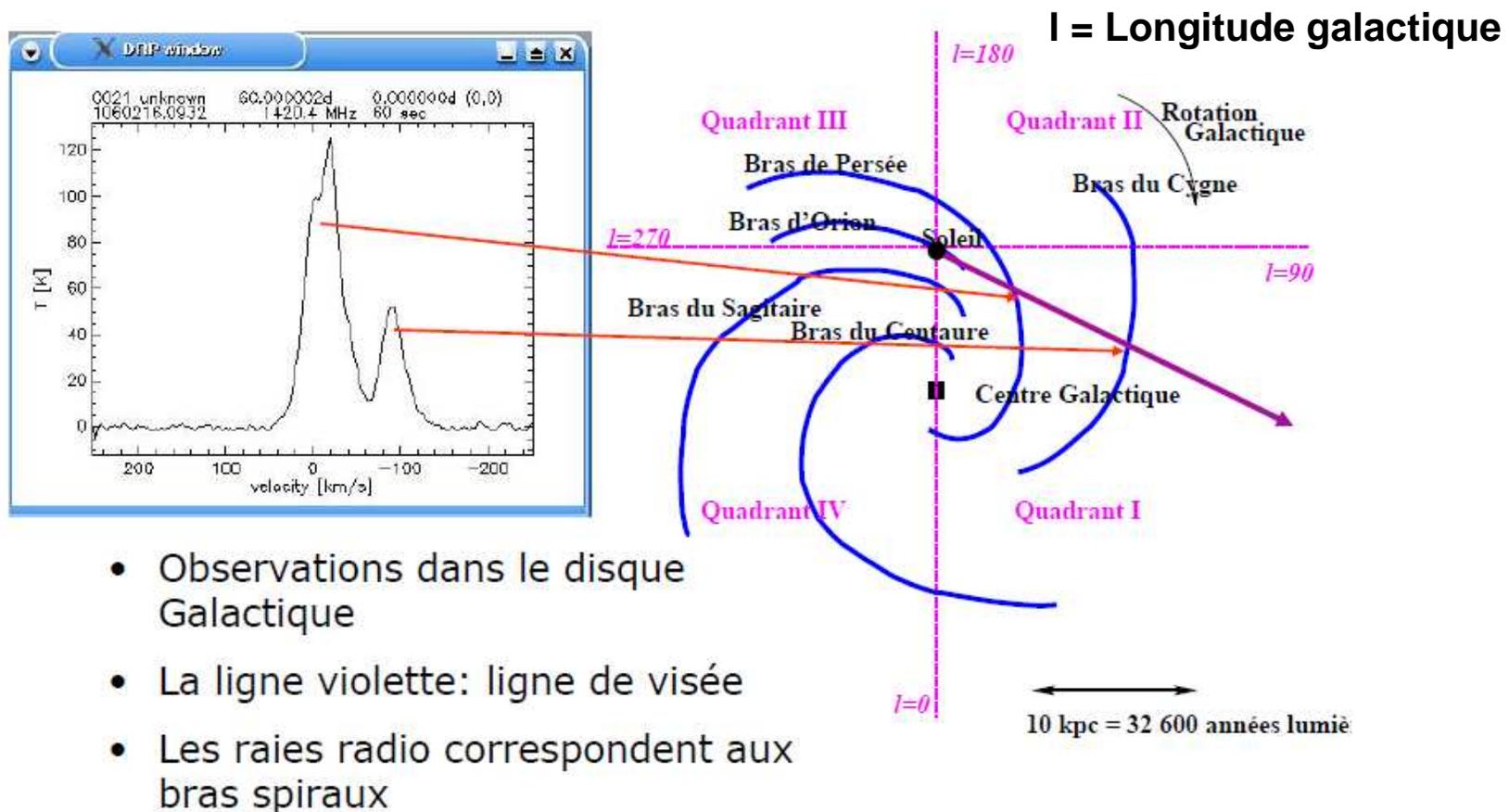
- Recadrage sur bande utile :
 - Une présentation en vitesse radiale est faite également en multipliant l'axe fréquence par λ (21 cm) soit $V_{\text{radiale}} = -F_{\text{dopp}} * \lambda$



Les mesures sont recadrés sur +/- 200Km/s après traitement

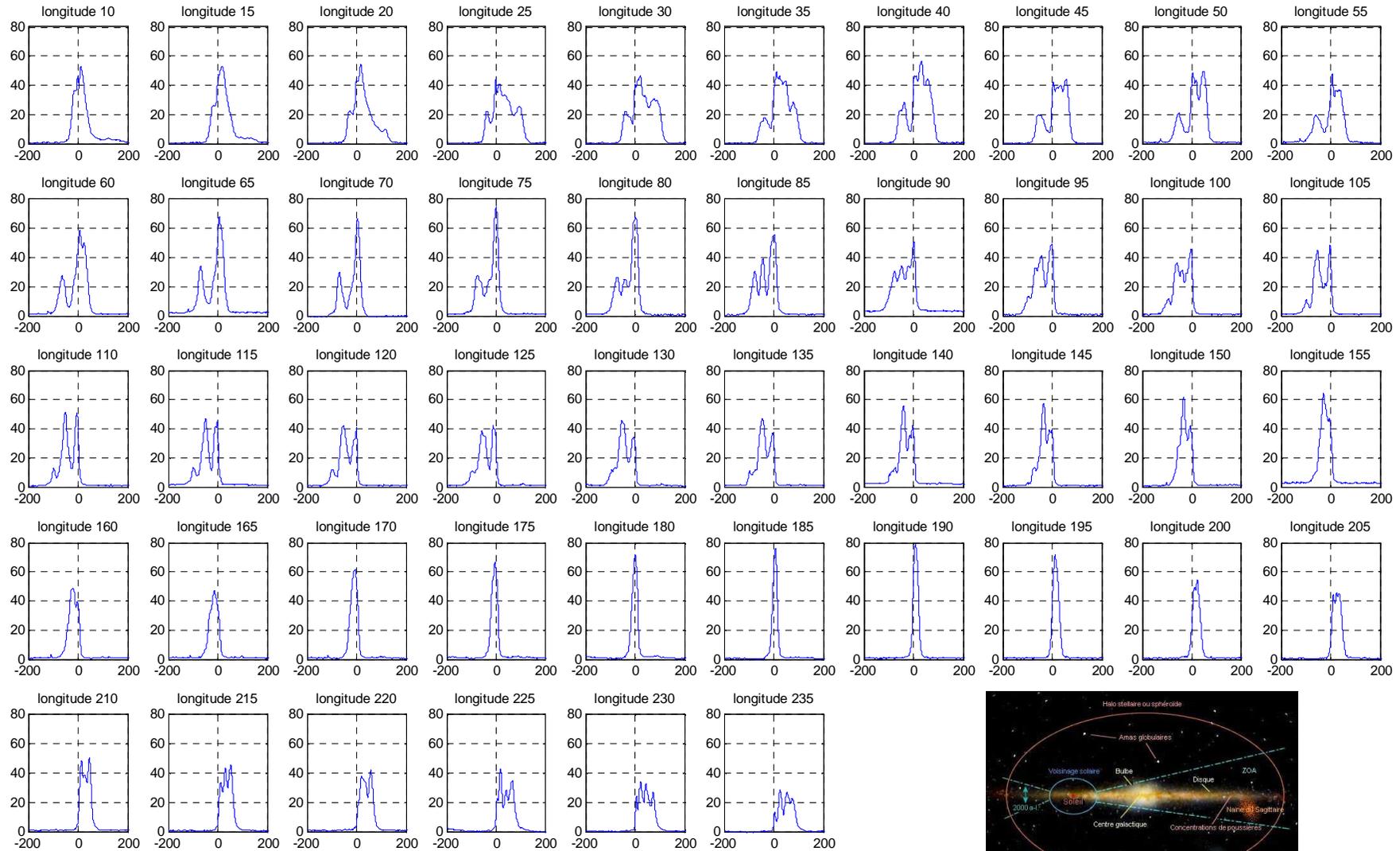
Mesures

- Relevés des spectres pour les différentes longitudes galactiques visibles depuis la France.
- Traitement de ces spectres suivant les méthodes présentées auparavant



Spectres mesurés pour différentes longitudes

■ Dans le plan galactique



15 Août 2009

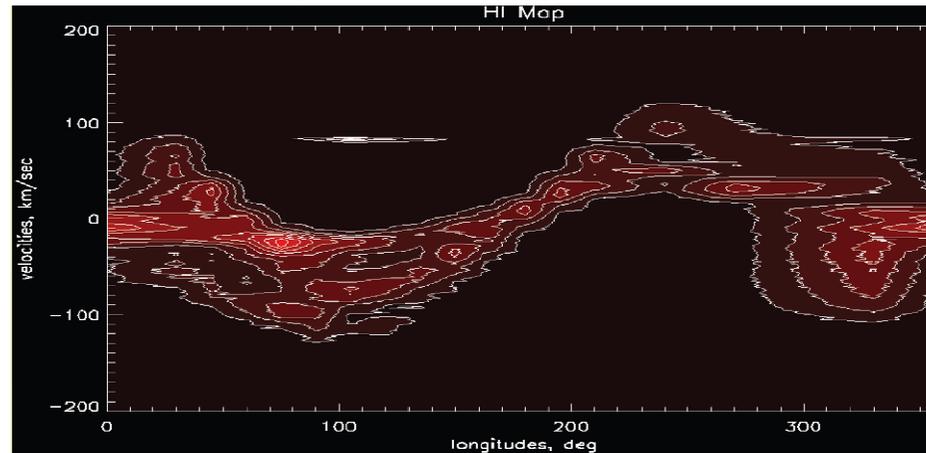
Mis à jour le 6 Décembre 2009

Traitement des signaux reçus en 21cm

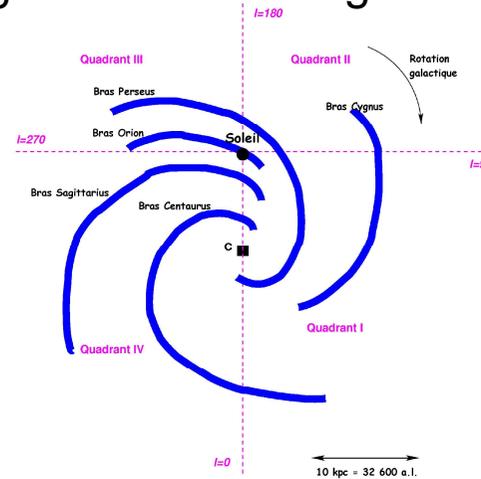
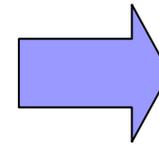
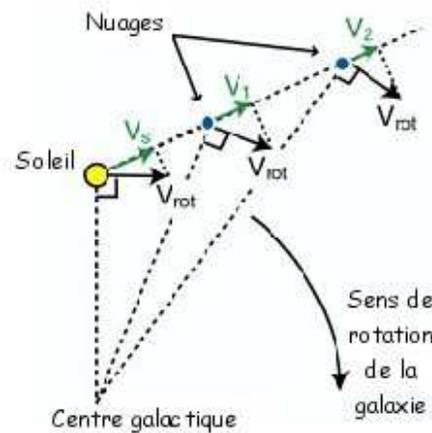


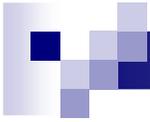
TRAITEMENTS

- A partir des différents relevés, établir :
 - La carte radio de notre galaxie

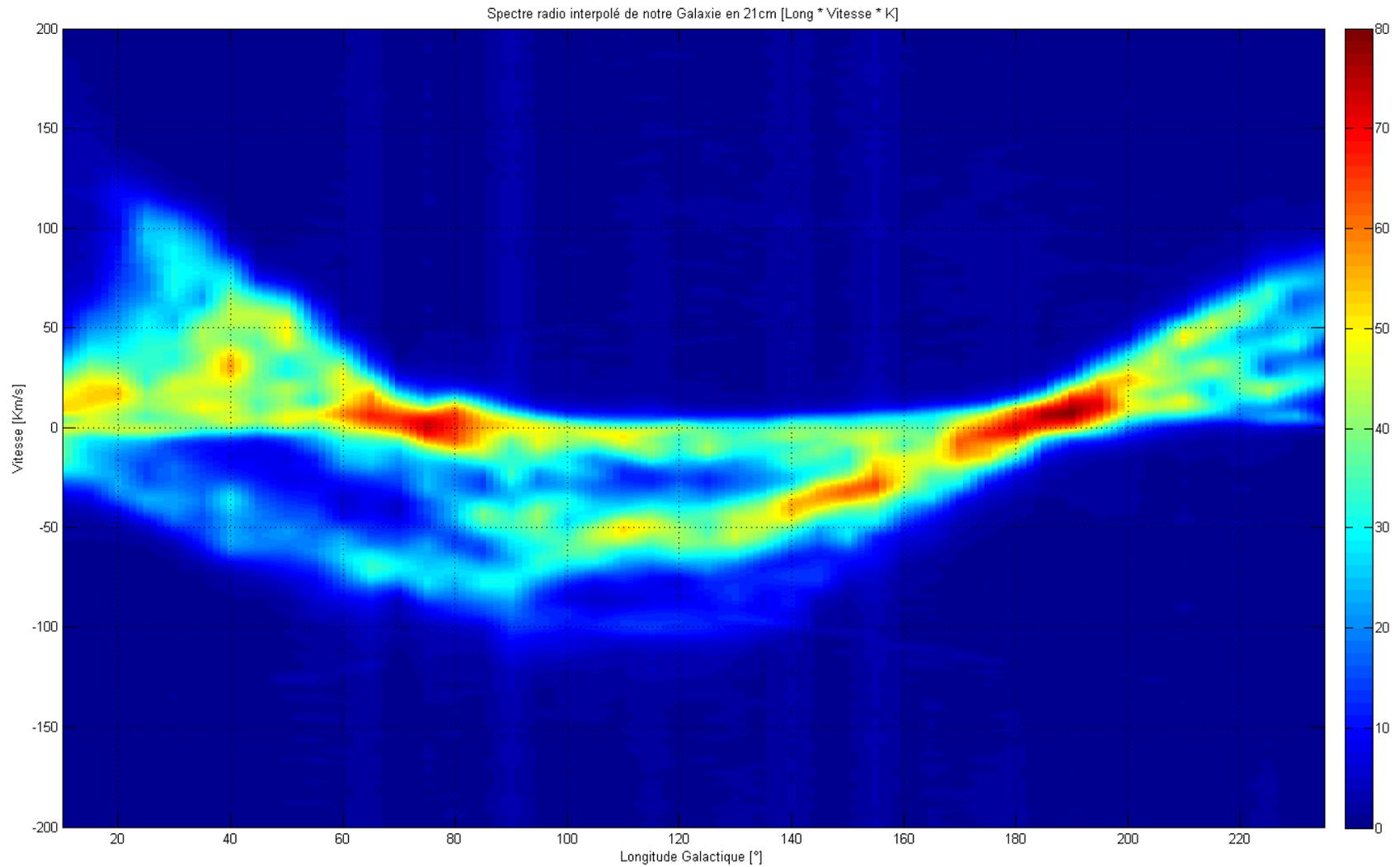


- Ainsi que la carte de la distribution de l'hydrogène dans notre galaxie





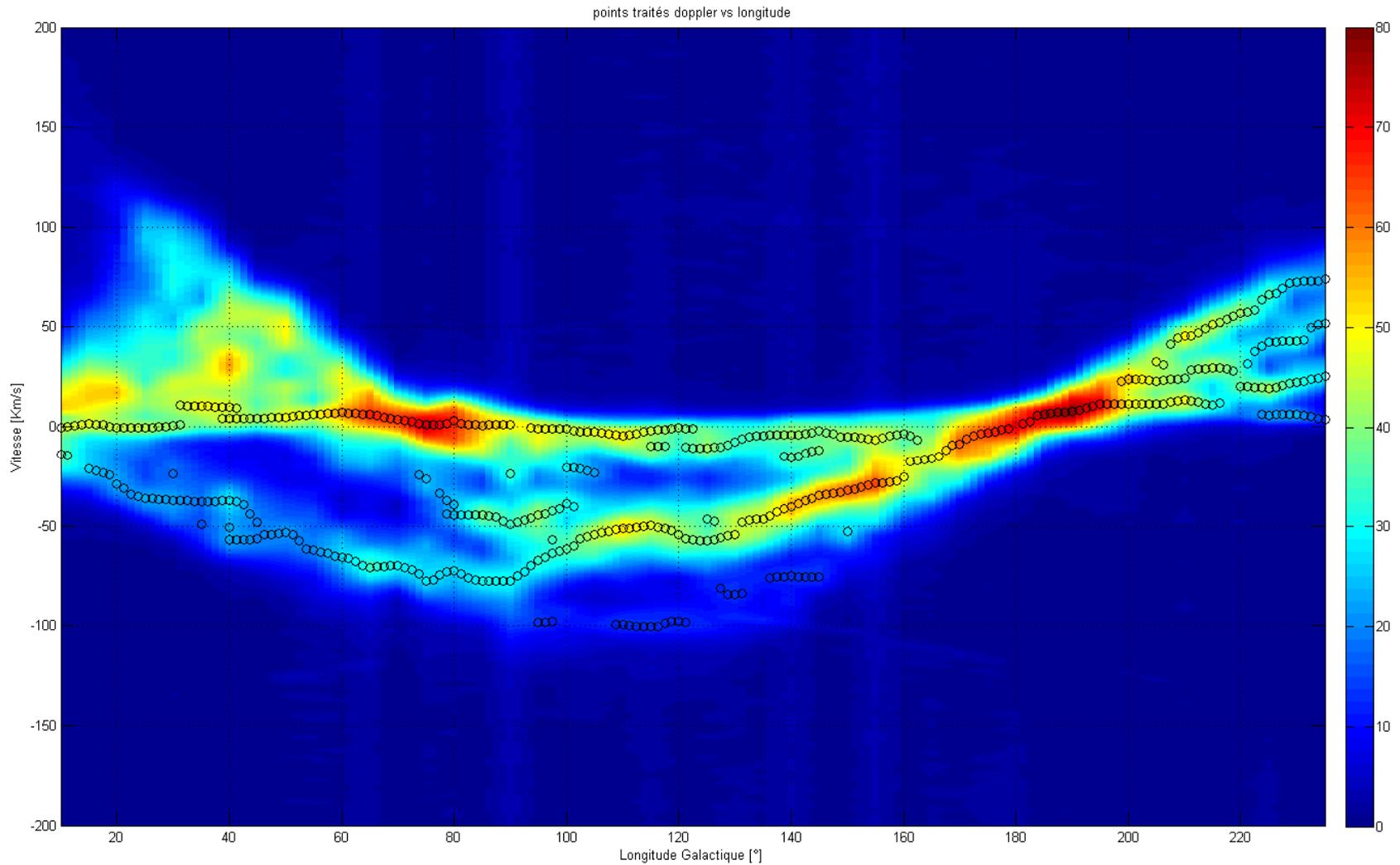
CARTE RADIO



15 Août 2009
Mis à jour le 6 Décembre 2009

Traitement des signaux reçus en 21cm

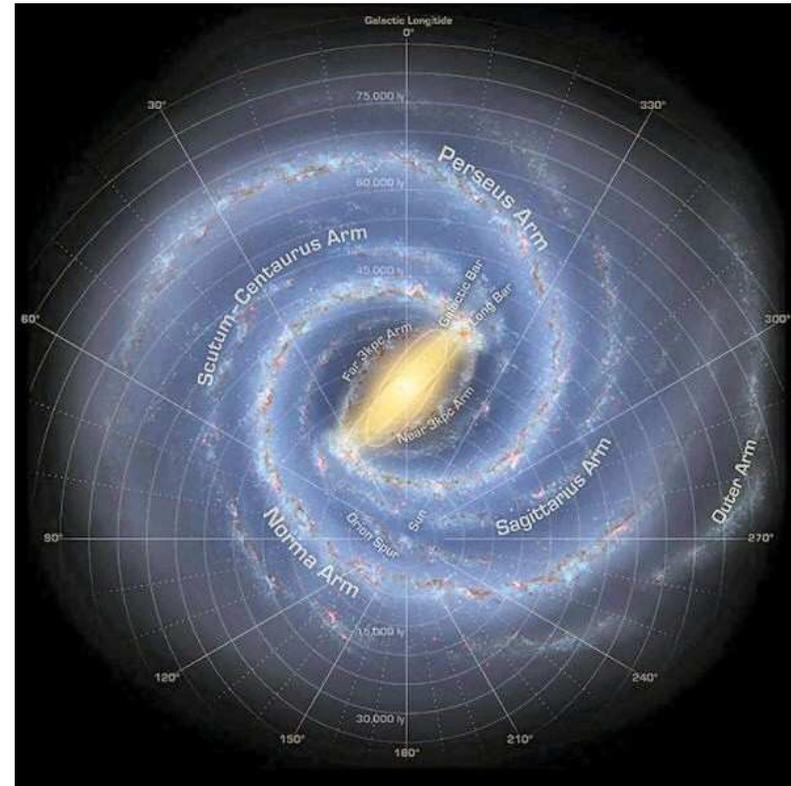
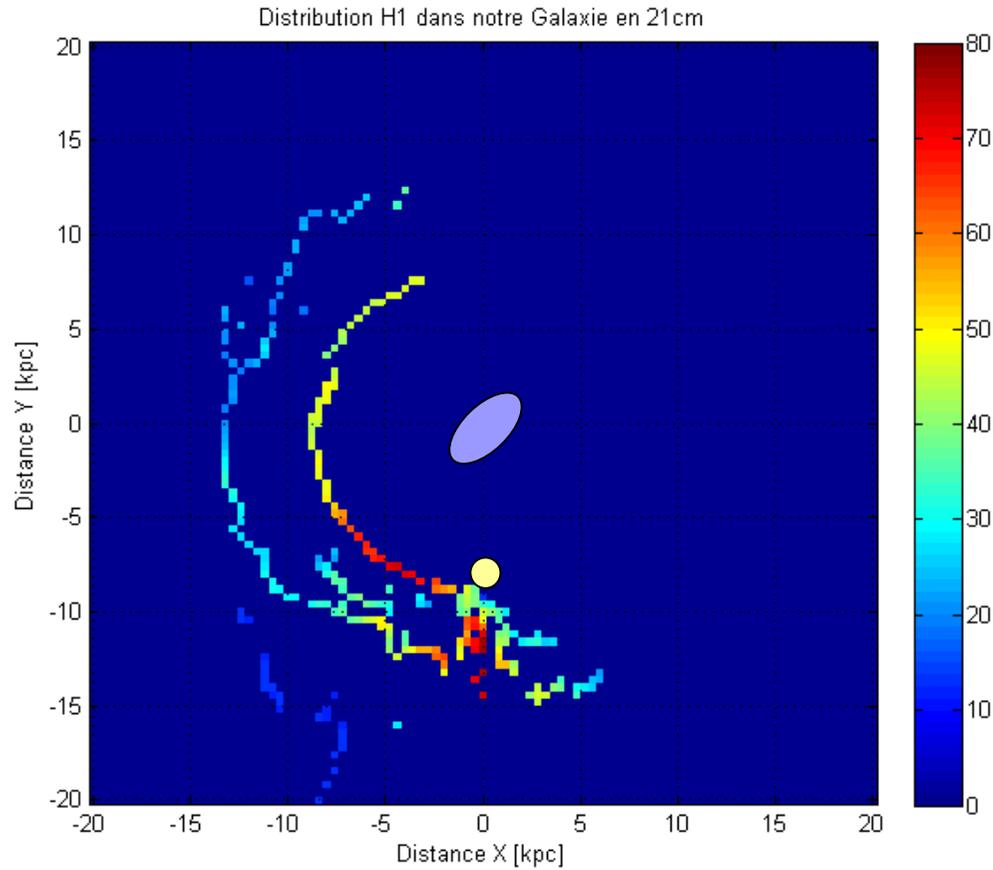
CARTE RADIO – Maxis traités

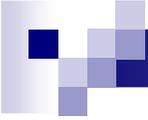


15 Août 2009
Mis à jour le 6 Décembre 2009

Traitement des signaux reçus en 21cm

CARTE DE LA GALAXIE





Bibliographie - Annexe

- Radioastronomie (notions de base)

- Description station 21 cm :
 - http://pagesperso-orange.fr/f1ehn/pages_radioastro/Images_Docs/Station_RA_21cm.pdf

- VLSR tools : **VLSR Calculator Version 1.0**
 - <http://fuse.pha.jhu.edu/support/tools/vlsr.html>

- Notes :
 - <http://www.vla.nrao.edu/astro/guides/sline/current/node23.html>
 - http://www.atnf.csiro.au/people/Tobias.Westmeier/tools_hihelpers.php

- F1EHN – ARRL – F6KSX – Site web :
 - <http://www.f1ehn.org>

- AAV :
 - <http://aav.free.fr/>