

M31 – Galaxie d'Andromède @ 21cm *J-J F1EHN*

Signaux recherchés et critères de détection:

D'après [1], la figure ci-dessous donne une courbe de flux de la Galaxie M31.

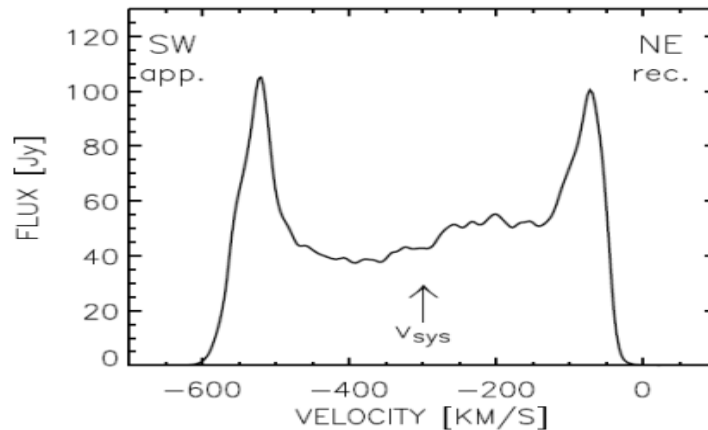


FIG. 3.— H I integrated profile of Messier 31. v_{sys} refers here to as the integrated weighted mean systemic velocity derived from the profile.

D'après cette courbe le flux F attendu est donc de l'ordre de 50 à $100 \cdot 10^{-22} \text{ W/m}^2/\text{Hz}$.

L'antenne utilisée présente une surface effective A_{eff} :

$$\text{Antenne : } D=3.3\text{m, Gain}=31\text{dBi} \Rightarrow G=1260, \underline{A_{\text{eff}}= G \cdot \lambda^2 / 4\pi = 4.46\text{m}^2}$$

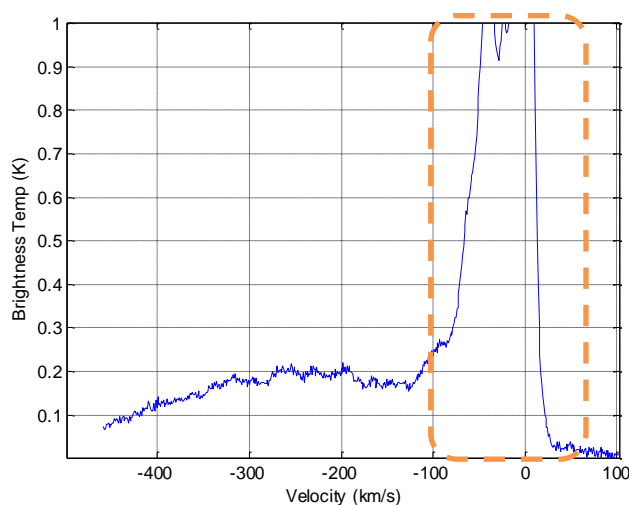
Ce qui conduit à :

- une densité spectrale de puissance reçue sur l'antenne de :
 $F \cdot A_{\text{eff}} = 223$ à $446 \cdot 10^{-26} \text{ W/Hz}$
- une température d'antenne T_{ant} :
 $T_{\text{antenne}} = F \cdot A_{\text{eff}} / k = \underline{0,16}$ à $\underline{0,32} \text{ K}$ avec $k = \text{cste de Boltzman}$

L'ouverture de l'antenne étant de 4.4° , il faut noter qu'un facteur de dilution peut diminuer cette valeur car M31 est angulairement légèrement moins étendue.

En intégrant des mesures d'un RT professionnel [2] sur le diagramme de l'antenne, j'obtiens une température d'antenne de l'ordre de 0.1 à 0.25 K . A noter que ce RT est limité à 450 km/sec .

L'hydrogène local (notre Galaxie) est encadré en orange.



Concernant, les mesures « vitesse », la valeur la plus élevée est 600 km/s. le décalage Doppler maximal attendu est donc de l'ordre de $600 / 0.211$ en KHz soit env 3 MHz (pour inclure les décalages Doppler lié à notre propre mouvement).

Le point dur est bien entendu la détection de signaux aussi faibles. La température système T_{sys} de la station est de l'ordre de 60K. Pour mesurer des signaux de 0.2 K, une sensibilité de détection d'au moins 0.005 K est nécessaire soit environ 10 000 fois moins que T_{sys} !

Si l'on se réfère à la formule de la sensibilité de détection : $Sd = \frac{T_{sys}}{\sqrt{Bw*T}}$

T_{sys} étant fixé pour cette mesure, il faut donc intervenir sur Bw et T pour obtenir notre sensibilité. La résolution vitesse n'étant pas très contraignante (spectre large) un traitement par FFT 64 points est choisi ce qui donne une Bw de 39 KHz/canal FFT et une résolution vitesse proche de 8 km/s (avec une fréquence d'échantillonnage de 2.5 MHz).

Il reste donc T à définir : $T = \frac{T_{sys}^2}{Sd^2*Bw}$ soit T = 3600 s (temps d'intégration)

Pour mémoire, il faut multiplier ce temps par 2 pour obtenir le temps de mesure pour une bande de fréquence (les mesures sont découpées en blocs de données afin de limiter la taille des fichiers et en cas d'erreur de ne perdre qu'un bloc. De plus, le temps d'initialisation du SDR et le temps de stockage ne sont pas négligeables – données I/Q, 4 octets par voie à 2.5 MEch/s).

Il faut à nouveau multiplier ce temps par 2 pour mesurer les 2 sous-bandes de 2 MHz nécessaires.

Soit 4 heures de mesure pour relever le signal de M31.

Mais il faut également 4 heures pour relever une référence et également 4 heures dans le cas d'un offset angulaire.

Sur une journée, il faut compter 4 heures de mesures et autant de traitement (env 150 millions de FFT).

Soit au moins 2 à 3 journées pour faire un enregistrement complet de M31.

Heureusement M31 à une déclinaison élevée (41°) et il est possible d'effectuer 4 heures d'enregistrement consécutives.

Adaptation de la station 21cm :

Cette vidéo [3] rappelle les caractéristiques de la station 21cm. Pour M31, de nombreuses modifications ont été effectuées, à savoir :

- ✓ Amélioration de la stabilité de poursuite (chaîne d'asservissement et filtrage SW) afin d'éviter les modulations parasites liées aux mouvements de l'antenne et de la source (modulation de lobes)
- ✓ Commutation OL RF ou OL numérique pour recevoir 2 bandes de fréquence (2*2.5 MHz soit 2*2MHz utile). La bande d'acquisition de 2 MHz est conservée mais :
 - Mesure en 2 ou 3 passes décalées de 2 MHz (via OL) suivant la mesure (voir résultats)
 - De -3 à -1 MHz pour la calibration (référence hors H1)
 - De -1 à +1 MHz pour la 1ère sous bande H1
 - De +1 à +3 MHz pour la 2ème sous bande H1
 - L'assemblage de 4 MHz de bande de -1 à 3 MHz étant effectué par traitement des 2 sous bandes H1 avec pour référence la bande -3 à -1 MHz (pour ce type de mesure).
- ✓ Augmentation du gain de la chaîne de réception (ajout d'un étage RF à faible bruit) pour parfaitement coder le bruit en tenant compte de la sensibilité recherchée (0.005 K). Ce point a été longuement discuté via email (remerciements à Luis CT1DMK et Jeffrey WA6KBL).
- ✓ Modifications des logiciels de traitement (intégration très longue). Multi tâches pour traiter 150 millions de FFT.

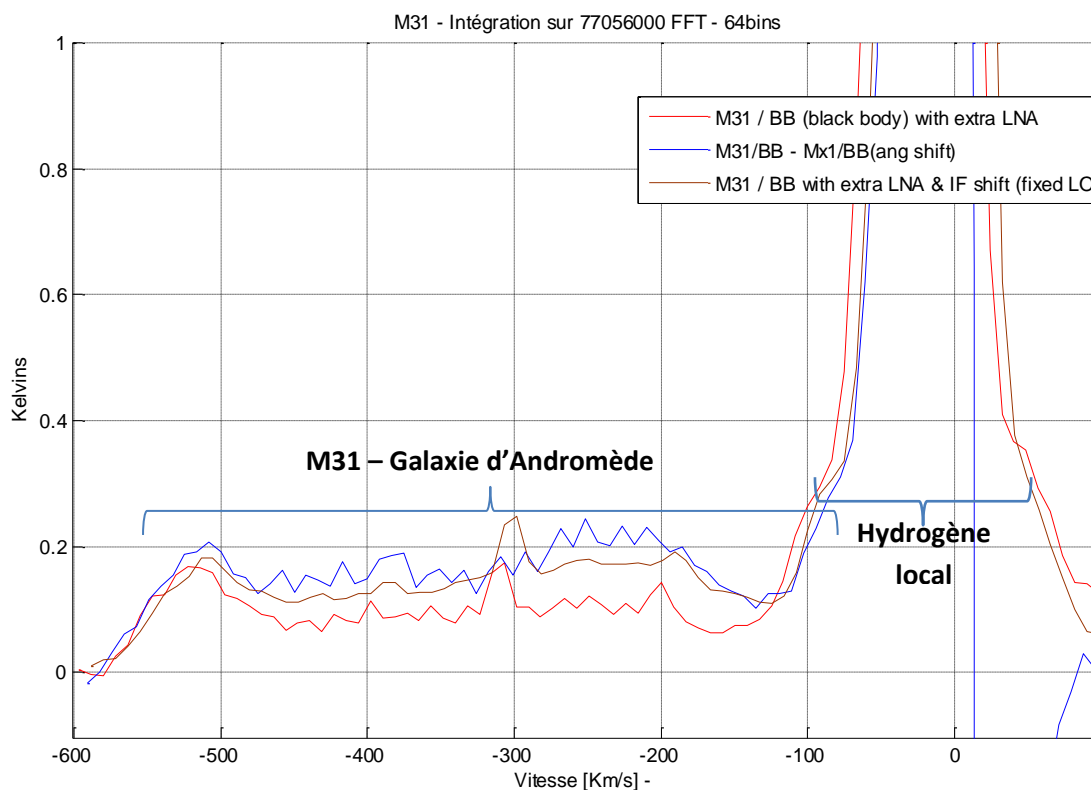
- ✓ Ajout de disques durs haute capacité pour stocker les données brutes le plus rapidement possible.

Le Printemps et l'Été 2013 ont donc été consacrés à ces modifications et essais.

Résultats de détections de M31

Je fais l'impasse sur les premiers essais de 2012 et début 2013 qui ont mis en évidence les limites de la station et qui ont conduit aux évolutions présentées au chapitre précédent.

Suite à ces évolutions, M31 a été détectée suivant 3 méthodes différentes. La figure ci-dessous présente les 3 résultats, très proches de ce qui était attendu. Le niveau détecté est un peu plus faible probablement dû au facteur de dilution. La réponse à -100 km/sec est légèrement perturbée par l'hydrogène local de notre Galaxie. On peut constater que M31 se rapproche de nous à une vitesse de l'ordre de 300 km/s.



1^{ère} résultat - courbe bleu :

Ce 1^{er} test a été effectué avant ajout d'un étage RF. Ce résultat est obtenu en effectuant une mesure complète en utilisant un offset angulaire à -10° en longitude galactique pour retrancher la réponse parasite (bosse autour de la fréquence centrale de l'ordre de 0.3K) liées au manque de gain. Donc 3 mesures au total : signal sur M31, Référence sur absorbant RF et réponse parasite avec offset angulaire. Pas parfait mais c'est un premier résultat. Inconvénient majeur (3 mesures difficiles à recalculer)

Remarque : A partir de cet instant, l'origine des réponses parasites a été trouvée (manque de gain => ajout d'un LNA) et l'objectif a été de réduire les durées de mesures. Le shift de fréquence pour créer une référence hors H1 a également été supprimé car elle introduit des signaux externes difficiles à séparer des vrais signaux d'intérêt à H1. Cette mesure a été remplacée par une mesure sur un corps noir (absorbant RF => Black body ou BB) obstruant la source et donc à température ambiante. Cette température d'antenne sert également de référence pour l'étalonnage de la chaîne.

2^{ème} résultat – courbe marron :

Ce second résultat est donc obtenu par augmentation du gain de la chaîne de réception afin que le niveau d'intérêt pour la détection soit au-dessus du bruit de codage (ou de quantification). Comme l'on cherche un niveau qui est 10000 fois inférieure à T_{sys} (voir plus haut) alors le signal échantillonné est à plus de 40 dB au-dessus du bruit codeur.

Le référentiel est un corps noir et les 2 sous-bandes de 2 MHz utiles sont relevées par commutation de la FI numérique. L'absorbant sert de référentiel de température et de réponse du récepteur (similaire à un corps noir).

Avantages : Plus d'offset angulaire et plus de référentiel hors bande H1 (gain de temps appréciable). Temps de commutation réduit.

Inconvénient : La réponse FI n'est pas parfaite sur les 4 MHz et le raccordement des 2 sous-bandes demande du travail manuel.

3^{ème} résultat – courbe rouge :

Cette méthode est similaire à la précédente. La commutation de bande est effectuée à l'aide de l'OL RF. Ce résultat est très proche de la détection attendue.

Avantages : idem résultat précédent. Supprime la difficulté amenait par la réponse FI (FI constante)

Inconvénients : temps de commutation de l'OL plus long donc temps de mesure augmenté.

Conclusions – Prochaines évolutions

Les résultats obtenus sont très proches de celui attendu suite à une série d'améliorations apportées à la station pour obtenir cette détection. Cela montre qu'avec des précautions, la formule de sensibilité de détection est toujours applicable même avec des signaux 10 000 fois plus faibles que la température système (T_{sys}).

Ces résultats vont être améliorés par les prochaines modifications de la station, à savoir :

- ✓ Bande FI analogique de 5 MHz avec réponse optimisée
- ✓ Bande FI numérique améliorée avec modification du filtre de décimation

Aujourd'hui, ces modifications sont faites et devraient être testées prochainement.

Les futures évolutions porteront sur la réduction de T_{sys} en passant par des évolutions sur l'illumination du réflecteur et un préamplificateur à plus faible bruit. Le but est de diminuer le temps de mesure afin de mieux « échantillonner » le champ autour de M31.

Enfin, j'ajouterai à cette note le recalage des mesures à 21cm sur une observation optique de M31. Travail en cours (voir référence [1]).

M31 - Prise de vue : Philippe Bernhard – AAV [4]



Références :

- [1] [H1 KINEMATICS AND DYNAMICS OF MESSIER 31 - Laurent Chemin, Claude Carignan and Tyler Foster](#)
- [2] [Joachim Köppen - http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~koeppen/Haystack/index.html](http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~koeppen/Haystack/index.html)
- [3] <http://www.youtube.com/watch?v=HGwkZY4E64k>
- [4] <http://www.astroccd.eu/index.html>