

# AVEC NOS ÉLÈVES

## Des radiotélescopes pour l'éducation

Frédéric Pitout, observatoire Midi-Pyrénées,  
Institut de recherche en astrophysique et planétologie, Toulouse

*Un radiotélescope éducatif à l'Observatoire Midi-Pyrénées permet de mesurer les émissions à 21 cm de l'hydrogène neutre dans notre Galaxie et d'en déduire sa vitesse de rotation. Celle-ci n'étant pas conforme aux lois de Newton on suppose qu'il manque une forme de la matière invisible.*

Fin 2013, l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP) s'est équipé d'un radiotélescope à des fins éducatives (travaux pratiques et travaux d'initiative personnelle encadrés d'étudiants, ateliers scientifiques et techniques et travaux personnels encadrés de lycéens, etc.). Il est installé sur le toit d'un bâtiment toulousain de l'OMP et a été intégré dans le réseau de radiotélescopes de *Hands-on Universe* en Europe (EU-HOU, <http://euhou.obspm.fr/public/>). Il permet de mesurer les émissions à 21 cm de l'hydrogène de notre Galaxie.

### Caractéristiques techniques

Le système comprend une antenne parabolique de trois mètres de diamètre (figure 1) qui est orientable dans toutes les directions du ciel, une tête de réception

et une chaîne de traitement du signal qui permettent de recevoir la fréquence de 1 420 MHz, soit une longueur d'onde dans le vide de 21 cm.

Cette fréquence correspond à la transition hyperfine de l'atome d'hydrogène (appelé souvent hydrogène neutre et noté HI en spectroscopie) qui est relativement peu abondant dans notre Galaxie : 5 à 10 % de la masse totale. Cette émission se produit quand l'électron de l'atome d'hydrogène passe spontanément d'un état de spin  $F = 1$  (quand les moments cinétiques de spin du proton et de l'électron ont le même signe) à l'état  $F = 0$  (signes différents).

Le premier état ayant un niveau d'énergie plus élevé que le second, la transition s'accompagne d'une libération d'énergie sous forme d'un photon à 1 420 MHz (figure 2 page suivante).

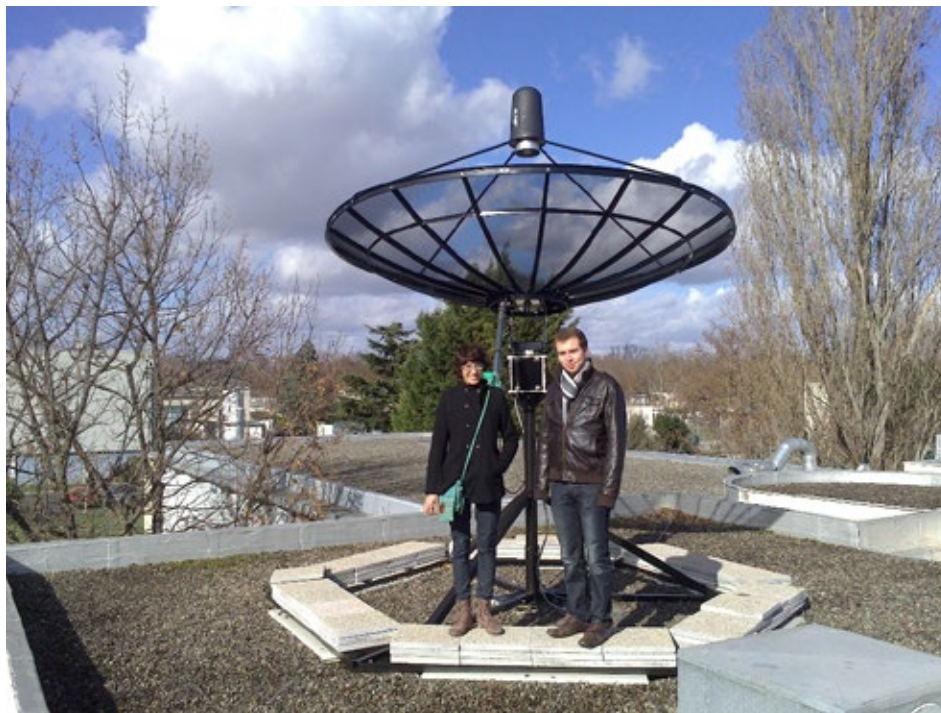


Fig.1. Antenne radio de l'OMP.

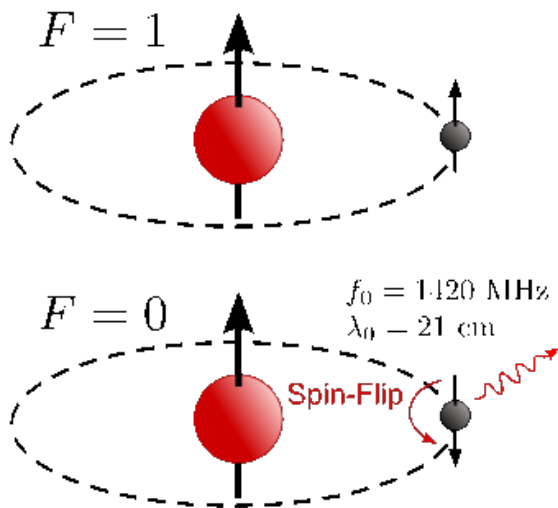


Fig.2. Émission à 21 cm par inversion du spin de l'électron d'un atome d'hydrogène (wikicommons).

Toute source radio suffisamment puissante et émettant à cette longueur d'onde (disque de la Galaxie, Soleil, pulsars) est ainsi observable.

Évidemment, on sait que la résolution d'un tel instrument sera modeste. On rappelle que le pouvoir séparateur d'un instrument est proportionnel à la longueur d'onde observée et à l'inverse du diamètre de la surface collectrice. En radioastronomie, étant données les grandes longueurs d'onde, on a souvent des instruments très grands, de plusieurs dizaines de mètres de diamètre. Ici, avec 21 cm de longueur d'onde observée et les 3 m de diamètre de l'antenne, le pouvoir séparateur est de l'ordre de  $5^\circ$ . Pour donner une idée, c'est environ 10 fois le diamètre apparent du Soleil...

### Un exemple d'utilisation, la courbe de rotation de la Galaxie

Le radiotélescope de l'OMP, comme ceux du réseau EU-HOU, est le plus souvent utilisé pour mesurer la

courbe de rotation de notre Galaxie par la méthode dite des points tangents. Il s'agit de pointer dans plusieurs directions dans le plan du disque galactique et de mesurer dans chaque direction le pic d'émission correspondant au décalage Doppler le plus grand. En effet, dans une direction donnée, la ligne de visée peut intersecter plusieurs régions d'émission (bras spiraux) et l'antenne reçoit donc des émissions radios provenant de plusieurs bras spiraux. Ces derniers n'ayant pas les mêmes vitesses aux points d'intersection avec la ligne de visée, les décalages Doppler sont différents et ils apparaissent comme des pics d'émissions à des fréquences différentes dans les spectres mesurés (figure 4). On peut montrer que la mesure correspondant au décalage Doppler le plus grand (en valeur absolue) correspond à une mesure tangentielle à la rotation.

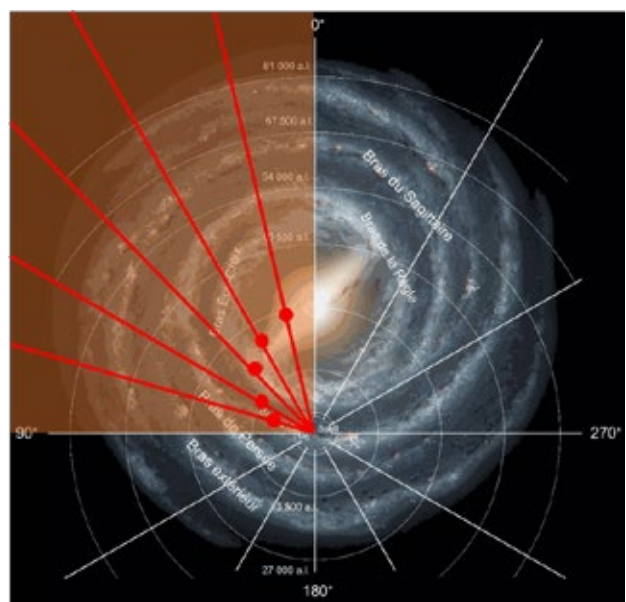


Fig.3. Représentation de notre Galaxie avec les longitudes galactiques  $l$ . Dans la zone  $0 < l < 90^\circ$  zone orangée), des mesures dans différentes directions sont effectuées. Selon chaque direction (en rouge), la vitesse maximale mesurée correspond au point tangent à la rotation de la Galaxie (points rouges).

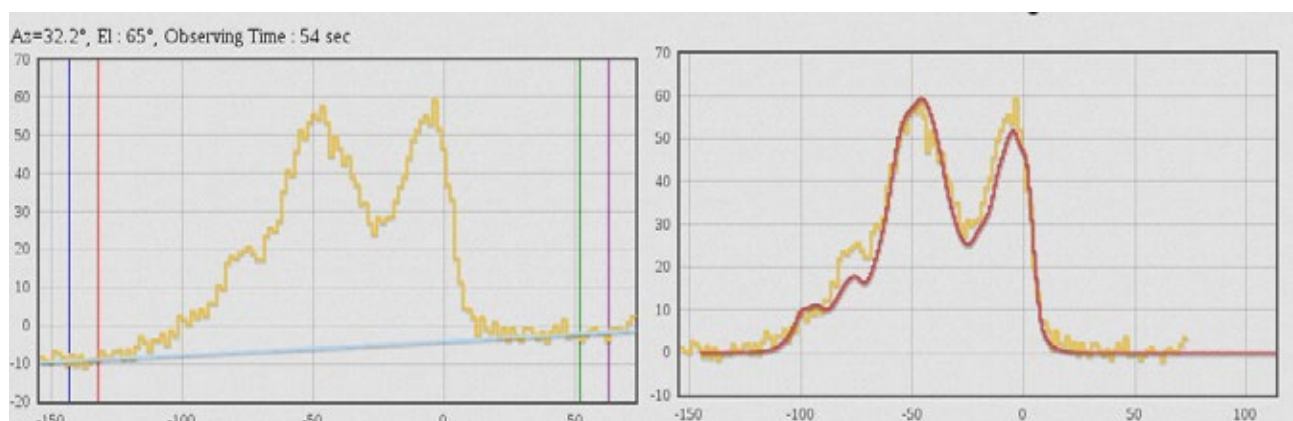


Fig.4. Exemple de spectre obtenu avec l'antenne de l'OMP. Sur l'image de droite a été ajoutée la courbe (orange) du grand relevé Leiden/Argentine/Bonn (LAB).

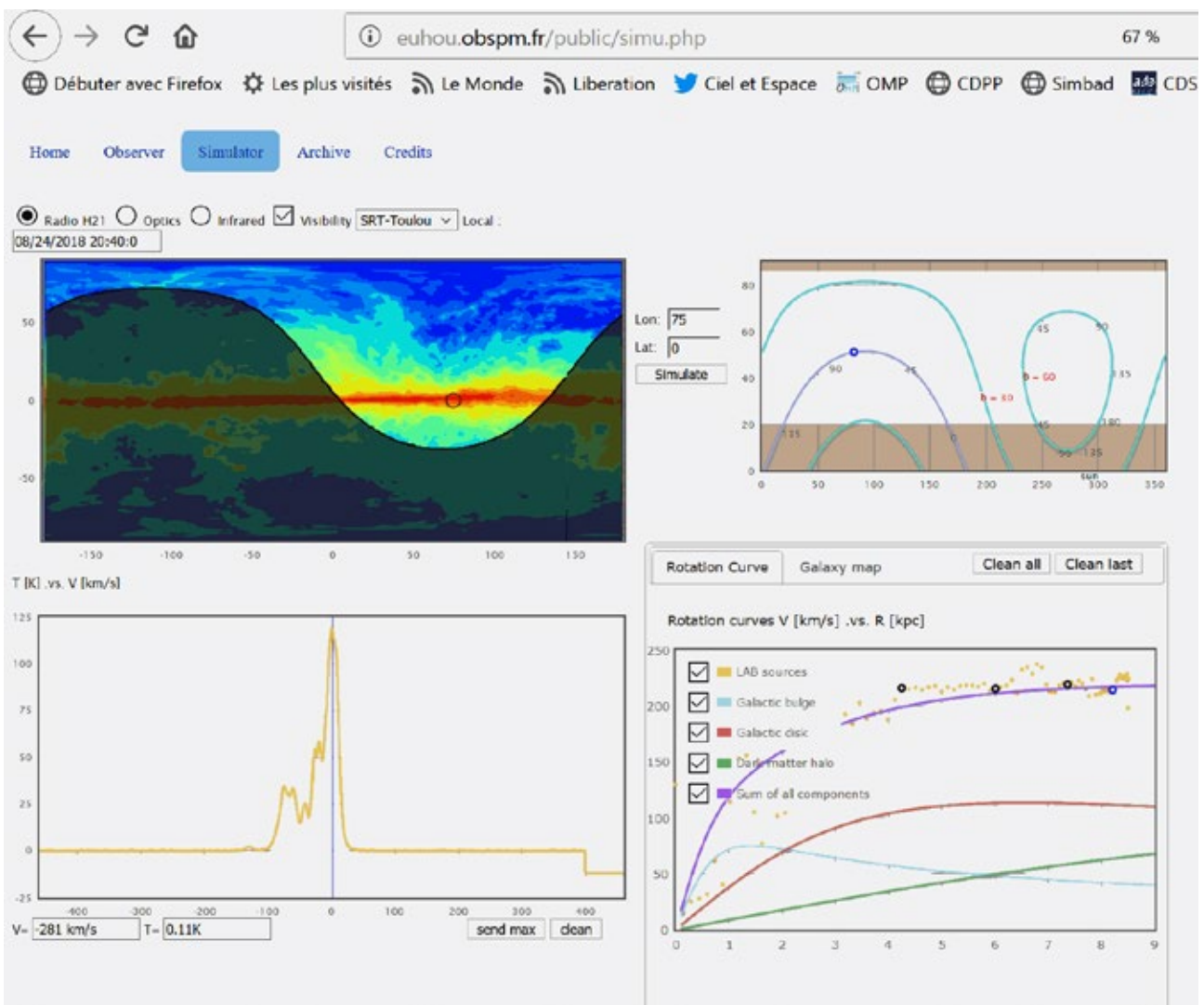
En repérant le décalage maximum (et donc la vitesse maximale) dans chaque direction de pointage, on peut reconstruire la courbe de rotation de la Galaxie (figure 5).

La forme de la courbe de rotation avec une vitesse qui reste constante avec la distance radiale qui augmente est un défi à l'entendement. En effet, les lois élémentaires de la dynamique (lois de Newton) prévoient une vitesse de rotation qui diminue avec la distance. Il est alors intéressant de la comparer aux courbes de rotation théoriques du bulbe et du disque galactiques.

On constate, même si c'est malaisé de visu, que pour obtenir la courbe de rotation de l'ensemble de la Galaxie, l'addition de ces courbes théoriques

ne suffisent pas pour obtenir la courbe de rotation mesurée.

En clair, la masse de la Galaxie semble insuffisante pour expliquer sa courbe de rotation et pour reproduire cette dernière, il faut ajouter de la matière invisible, la fameuse « matière noire » notée *dark matter halo* (demi-droite verte dans panneau supérieur droit de la figure 5. En ajoutant cette composante, on obtient la courbe théorique violette qui reproduit bien mieux les points de mesures.



**Fig.5.** Interface (ici du simulateur pour l'antenne toulousaine à la date du 24 août 2018) permettant de faire les mesures et d'exploiter les résultats. La direction de pointage est indiquée par les deux panneaux du haut ; le spectre mesurée ou simulé en bas à gauche ; et la courbe de rotation en bas à droite. Ce dernier panneau contient les points de « mesure » (ronds bleus), le relevé LAB (en jaune), les courbes théoriques du bulbe (bleu clair) et du disque (rouge) galactiques, la courbe de matière noir (vert) et la somme des trois (violet).