



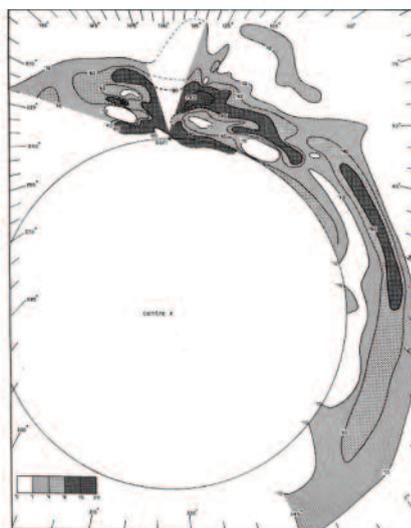
# LA VOIE LACTÉE DÉVOILÉE AVEC UN RADIOTELESCOPE

La Voie lactée, cette traînée blanche qui fait la beauté des ciels nocturnes en l'absence de pollution lumineuse, n'est autre que la vision que l'on a, depuis la Terre, de la Galaxie à laquelle le Système solaire appartient. En déterminer la structure depuis notre position n'est a priori pas un exercice aisé.

**U**ne solution serait de voyager à quelques dizaines de milliers d'années-lumière pour porter le regard sur notre Galaxie, mais bien sûr cela n'est pas envisageable. Fort heureusement, il est possible de « percer » l'épais nuage de poussières galactiques qui obscurcit notre vision en lumière visible par l'observation dans une longueur d'onde appropriée, accessible sur Terre, puis de mesurer les mouvements de la matière émettrice et d'en déduire la structure de notre Galaxie.

Sachant que l'hydrogène est l'élément le plus abondant dans l'Univers et donc aussi dans la Galaxie, son rayonnement radio à la longueur d'onde 21 cm (hydrogène neutre, HI) est tout indiqué pour cette étude.

C'est ce qu'a réalisé pour la première fois, au début des années 1950, une équipe d'astronomes hollandais (Hendrick C. Van de Hulst, C. A. Muller, Jan Oort) de l'observatoire de



Première carte radio de la Voie lactée à 21 cm. Hendrick C. Van de Hulst, C. A. Muller, Jan Oort, 1954.

Leyde. Leur étude « The spiral structure of the outer part of the galactic system derived from the hydrogen emission at 21cm wavelength » a été publiée en 1954. Pour ce travail, ils avaient utilisé une des nombreuses antennes radar allemandes de type Würzburg qui, après la Seconde Guerre mondiale, furent reconverties en radiotélescopes.

## UNE ANTENNE WÜRZBURG À DISPOSITION

L'observatoire de Bordeaux-Flourac, possède un tel Würzburg depuis 1962. Les performances de l'instrument sont largement dépassées par les radiotélescopes modernes mais, en 2007, un projet lui a redonné une nouvelle jeunesse. Sur l'initiative des départements de mécanique et d'électronique du Laboratoire

d'astrophysique de Bordeaux (LAB), l'antenne fut rénovée dans le but de démontrer le savoir-faire et l'expertise des équipes du LAB.

L'objectif était de participer à l'instrumentation du radiotélescope géant ALMA, installé au Chili. L'entreprise fut couronnée de succès puisque certains composants utilisés pour ALMA ont été développés par le LAB.

En parallèle, Fabrice Herpin, astronome au Lab/OASU et responsable scientifique de l'antenne, œuvrait pour faire de l'instrument un outil pédagogique à l'usage du plus grand nombre.

Des étudiants de l'université de Bordeaux I, des enseignants, des lycéens et des radioastronomes amateurs purent alors utiliser cette antenne pour expérimenter la radioastronomie, sur place à Floirac, mais aussi via Internet. En effet, dès le début, le projet prévoyait le pilotage de l'instrument grâce à un site web, gratuitement et sans aucune contrainte d'utilisation. Il est ainsi possible, pour un groupe ou un individu, de réserver du temps d'antenne, de pointer le radiotélescope et de le voir s'activer par webcam, lancer des acquisitions, recueillir des données, tout cela en temps réel.

En 2013, le programme Würzburg fut associé au programme éducatif Hands on Universe (HOU). Ce dernier a pour objectif la diffusion des connaissances en astronomie et la pratique de cette science par des scolaires et leurs professeurs. Des outils pédagogiques, des expériences, des télescopes et des outils de traitement des données sont mis à disposition du public et de la communauté éducative dans le monde entier via Internet.

En France, le programme offre l'accès à plusieurs radiotélescopes, dont celui de Bordeaux-Floirac.

Actuellement, l'antenne du laboratoire d'astrophysique de Bordeaux compte une trentaine d'utilisateurs réguliers, de France ou d'ailleurs, totalisant un taux d'occupation



### L'antenne Würzburg de Bordeaux remise à neuf possède les caractéristiques suivantes :

- Diamètre 7,5 m
- Résolution angulaire 2,8°
- Résolution spectrale 5 kHz
- Largeur de bande 10 MHz
- Observation HI à 1420 MHz
- Observation molécule OH à 1 665, 1 667 et 1 612 MHz (émissions maser).

de l'instrument de 50 %.

Parmi les utilisations les plus notables, on peut citer, entre autres :

- la 8<sup>e</sup> édition du festival d'astronomie de Fleurance et la tenue d'un atelier pédagogique pour les plus jeunes ;
- les observations des élèves de 2<sup>de</sup> et de 1<sup>re</sup> S du lycée Valin de La Rochelle sous la responsabilité de M. Costa, professeur de physique, dans le cadre des enseignements d'exploration, des travaux personnels encadrés et du concours C.Genial.

### À LA CONQUÊTE DE LA GALAXIE

En ce qui me concerne, en mai 2014, je découvrais dans les pages de *l'Astronomie* (n<sup>os</sup> 54 et 55, octobre et novembre 2012) le travail remarquable de Jean-Jacques Maintoux : ses observations radio de la Voie lactée à 21 cm et l'interprétation de ses résultats. En tant qu'« astronome amateur », la

perspective de pouvoir cartographier notre propre Galaxie me sembla fascinante ; aussi je me lançais dans un travail similaire au moyen de l'antenne bordelaise.

● **La première étape** consista à vérifier la faisabilité d'une telle expérience à partir de la documentation fournie pour l'utilisation du radiotélescope, du logiciel Class de l'Iram (utilisé pour la réduction des données du Würzburg), du matériel pédagogique Hands on Universe et des moyens à ma disposition.

Ce fut chose faite avec l'obtention d'une dizaine de spectres de la raie HI.

● **La deuxième étape** fut donc de m'organiser pour réaliser l'expérience :  
➤ Planification des observations selon les saisons, mes disponibilités et la partie observable de la Voie lactée, n'importe quel logiciel de cartographie céleste permettant de préparer cela.

➤ Liste des observations à réaliser à raison d'une mesure de spectre HI par degré de longitude galactique observable dans le plan galactique (latitude galactique = 0). Soit 241 mesures d'une durée de 300 secondes chacune pour les longitudes de 0 à 240°.

➤ Réserve du temps d'antenne pour réaliser les observations.  
➤ Création d'une base de données pour stocker les résultats et développement du code informatique permettant le calcul des positions des nuages de gaz d'hydrogène dans un repère plan.  
➤ Prise en main d'un logiciel de représentation graphique de données et codage des instructions nécessaires.

Sans entrer dans les détails, ces opérations ont bien sûr nécessité du travail de documentation, des essais nombreux et de bonnes doses de café.

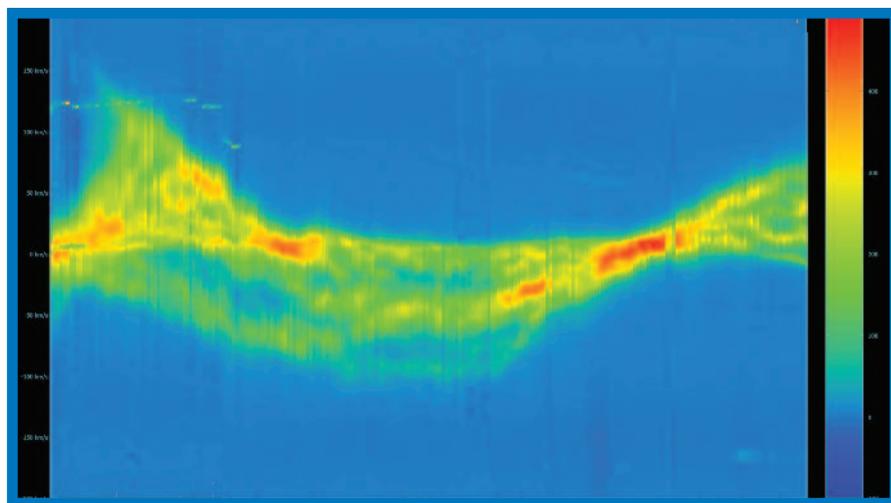
● **Troisième étape**, les observations. En soi, rien de compliqué une fois les cibles planifiées. Toutefois, la réduction des données ne doit pas tarder, car on peut comparer les



spectres obtenus avec des données de référence, et il arrive que les mesures soient incohérentes, généralement en raison de signaux parasites au moment de l'observation.

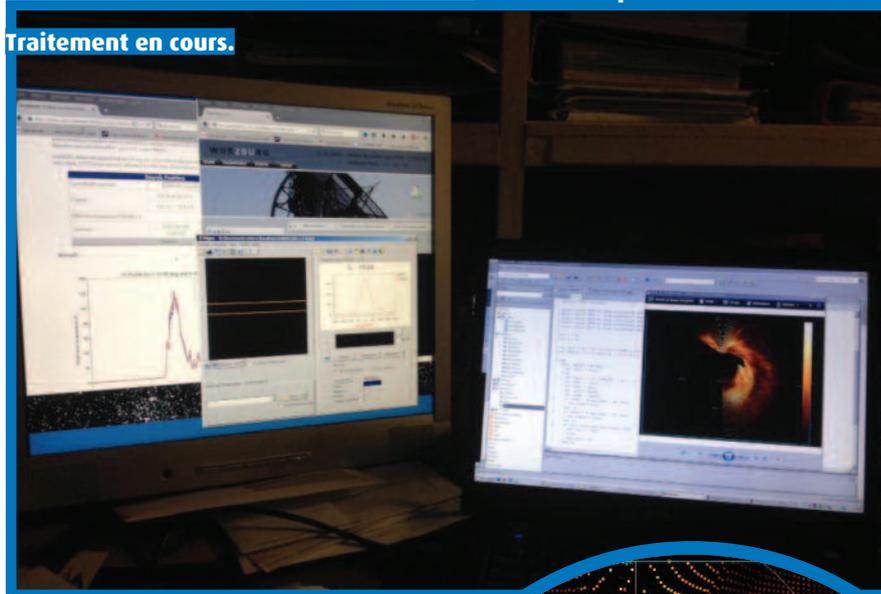
Il m'a semblé très important à ce stade de porter un regard critique sur les données obtenues : les mesures réalisées étaient-elles bien cohérentes avec les données de référence ? Les décalages Doppler dans les spectres étaient-ils cohérents entre deux mesures ?

Par chance, d'autres que moi avaient déjà exploré ces aspects et la comparaison de résultats antérieurs à ceux obtenus aide énormément. Point appréciable, Fabrice Herpin est arrivé à



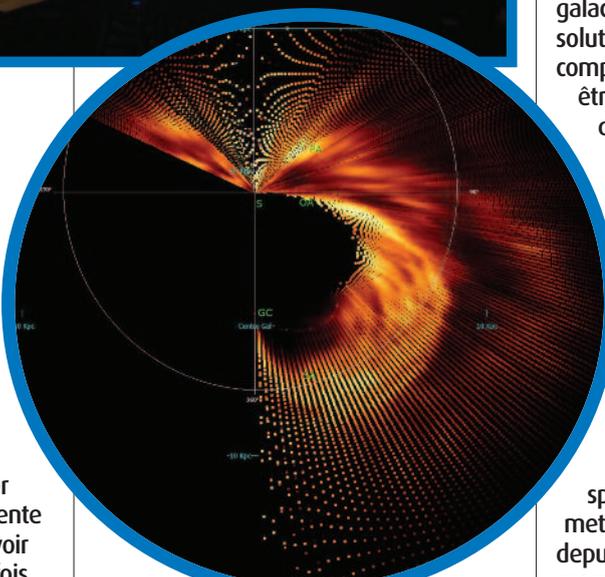
**Carte des vitesses selon la longitude.**  
Un bon outil pour vérifier la cohérence des données.

### Traitement en cours.



se rendre disponible pour répondre aux questions les plus diverses qui surviennent lors des premières observations, ce dont je lui suis très reconnaissant.

● **Quatrième étape**, les résultats. Après plusieurs semaines de travail, je me suis finalement confronté aux résultats et à leur interprétation. Une carte radio de la Voie lactée ne ressemble à rien d'habituel. Il est impossible depuis une position géographique d'observer l'ensemble du ciel, la carte ne représente que les deux tiers de la Voie lactée (voir image ci-jointe). On y discerne toutefois assez facilement une structure spirale avec des zones d'intensités variables du signal.



**La carte radio à 21 cm de la Voie lactée obtenue.**

Des pans entiers restent « masqués » du fait des formules trigonométriques utilisées ne permettant pas l'obtention de valeurs cohérentes ou résolues. Mais par-dessus tout, je reste émerveillé par l'ingéniosité mathématique employée pour traduire les vitesses mesurées en coordonnées spatiales (voir encadré p. 71).

Cette représentation nous montre la structure spirale à grande échelle de notre Galaxie, les échelles de distance sont en kiloparsec (kpc). Les couleurs indiquent l'intensité du signal reçu. Le Soleil est à 8,5 kpc du centre galactique.

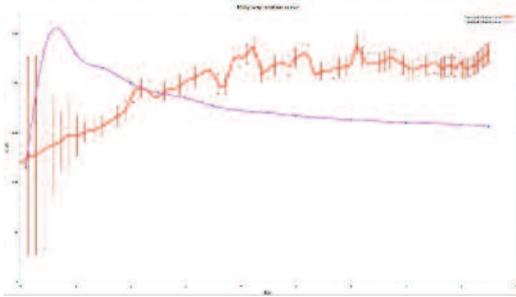
Les zones sombres vers le centre galactique sont non représentées faute de solutions aux équations, les longitudes comprises entre 240° et 360° ne peuvent être observées depuis l'observatoire, d'où ce vide dans la partie gauche de la carte.

On peut également facilement tracer la courbe de rotation de l'hydrogène neutre dans notre galaxie et redécouvrir comment fut mise en évidence la présence de matière noire... ou remis en cause les lois de la gravitation (selon l'approche que chacun aura de cette question). Une telle courbe (voir page suivante) n'est pas spectaculaire mais, tout de même, mettre en évidence de la matière noire depuis son salon, vous en conviendrez, est assez extraordinaire !

## INDICATIONS SUR LA MÉTHODOLOGIE SUIVIE

Chaque position observée (de longitude galactique  $L$ ) produit un spectre centré sur la longueur d'onde de la raie HI (image 1). Le traitement sous CLASS permet, entre autres choses, de convertir les décalages de fréquences, dus à l'effet Doppler-Fizeau, en vitesse radiale ( $V_r$ ). L'étude du spectre pour une longitude galactique conduit donc à une table donnant les intensités du signal ( $I$ ) en fonction des vitesses  $V_r$ . L'intensité sera traduite en échelle de couleurs dans la cartographie finale.

La réalisation de la carte de la Voie lactée nécessite un repère orthonormé  $(x, y)$  avec pour origine le centre galactique aux coordonnées nulles et des échelles de  $-20\,000$  à  $+20\,000$  parsecs sur chaque axe. Les données de base dont on dispose sont : la distance du Soleil au centre galactique  $R_0=8,5$  kpc et la vitesse du Soleil  $V_0=220$  km/s. Une représentation schématique des grandeurs utiles pour le calcul des coordonnées est donnée sur l'image 2. Pour chaque point M



En rouge, courbe de rotation de la Voie lactée observée. En mauve, courbe attendue théorique.

### EN CONCLUSION

Cette expérience a été pour moi un réel plaisir ; elle m'a surtout permis de faire de la science et de toucher du doigt à quoi peut ressembler l'astronomie professionnelle.

Il m'a fallu mettre au point une méthode expérimentale, partir d'une hypothèse, réserver du temps de télescope, me doter des bons outils, me documenter, observer, subir les rares indisponibilités de l'instrument, écrire du code, faire des mesures, en déduire des grandeurs, analyser les résultats, demander au responsable instrument des explications quand mes mesures me semblaient faussées (nous sommes toujours en discussion à ce sujet), passer un temps significatif devant un ordinateur et finalement publier mes résultats.

L'intérêt pédagogique du Würzburg et de Hands on Universe est incontestable.

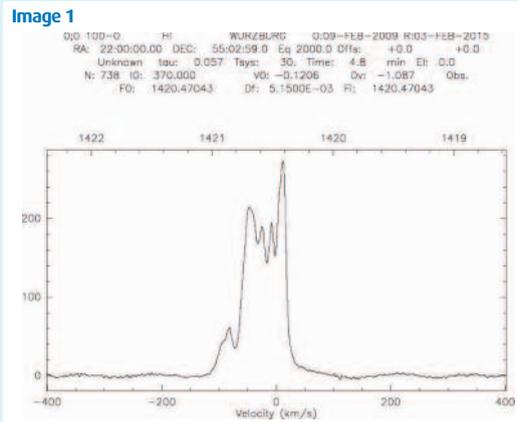
Le Lab doit emménager dans des nouveaux locaux au printemps 2016, abandonnant le site de Floirac fondé en 1878. On ne peut qu'espérer que des projets de reprise permettront la préservation du site, des instruments et la continuité du programme Würzburg.

Les futurs développements du programme prévoient la mise en œuvre d'une interface d'utilisation simplifiée par simple pointage du radiotélescope à la souris et la mise en commun des observations HI dans une base de données commune à tous les instruments affiliés à HOU-France.

Les projets continuent donc pour permettre à chacun de réaliser facilement ses propres observations et plusieurs objets d'études sont envisageables dans les différentes longueurs d'onde disponibles.

Faites de la science, lancez-vous !

Site internet du radiotélescope Würzburg : <http://serveurwuerzburg.obs.u-bordeaux1.fr/>  
Site de l'auteur <http://coindiciel.free.fr/resultats/radio>



observé, on calcule la vitesse réelle ( $V$ ), la distance du point au centre galactique ( $R$ ) à partir des données mesurées et des données de base pour en déduire les coordonnées spatiales dans le repère.

Les formules sont les suivantes :  

$$R = \frac{[R_0 \times V_0 \times \sin(L)]}{[V_0 \times \sin(L) + V_r]}$$
 et

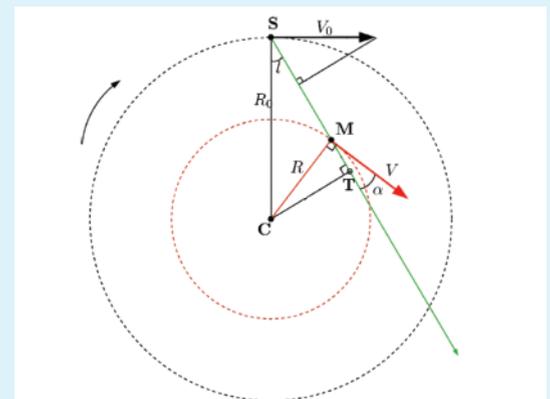
$$r = \pm [R^2 - (R_0 \times \sin(L))^2 + R_0^2 \cos(L)]^{1/2}$$

En éliminant les solutions impossibles, on obtient les coordonnées qui sont :

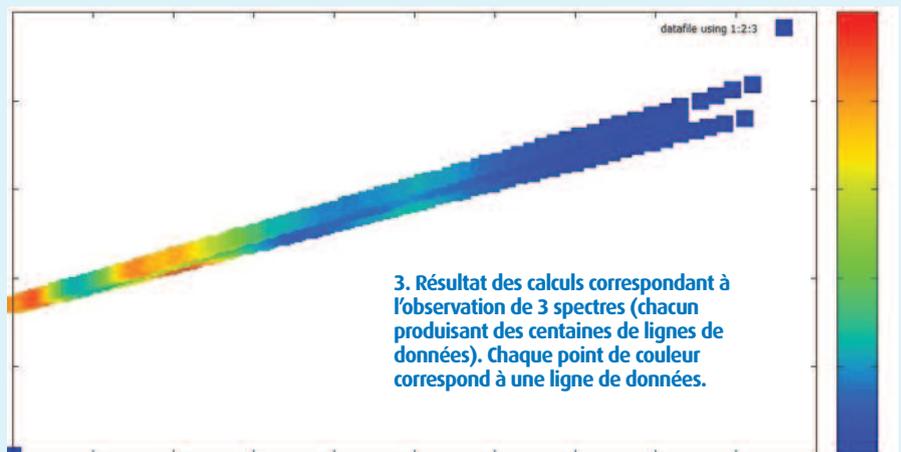
$$X = r \cos(L - 90) \text{ et } Y = r \sin(L - 90) + R_0$$

Le calcul est fait pour les 90000 mesures effectuées en conservant pour chacune l'intensité du signal mesuré, et

l'on obtient spectre après spectre une représentation de la distribution des nuages d'hydrogène dans la Voie lactée. L'image 3 donne le résultat obtenu avec l'observation de seulement 3 spectres.



2. Représentation schématique de la Voie lactée (LAB/Oasu), avec S = SOLEIL, C = centre galactique, M = point observé sur la ligne de visée (en vert), SM = distance Soleil, - point observé (que l'on note  $r$ ).



3. Résultat des calculs correspondant à l'observation de 3 spectres (chacun produisant des centaines de lignes de données). Chaque point de couleur correspond à une ligne de données.