Notre Galaxie la Voie Lactée

Notre système solaire appartient à une galaxie : la Voie Lactée. Nous l'admirons par les belles nuits d'été sous la forme d'un grand ruban lumineux barrant le ciel du Nord-Est au Sud-Ouest.
Notre Galaxie est un « univers-île », immense spirale aplatie qui se meut dans l'espace, parmi des milliards d'autres galaxies semblables ou différentes.

Image : Thierry Lambert

Quelques chiffres :

Dimensions en années-lumière (AL): diamètre 90000 AL, épaisseur de 800 à 3000 AL, rayon orbite solaire 26000 AL
Masse visible estimée : 150 milliards de masses solaires (M⊙)
Masse totale avec le halo « invisible » : 1400 milliards M⊙
La Voie Lactée contient environ 200 milliards d'étoiles dont notre Soleil, étoile moyenne âgée de 5 milliards d'années.
Elle contient aussi des nuages de gaz comme l'hydrogène neutre atomique HI et des nuages de poussières.
Age estimé de la Galaxie : entre 9 et 12 milliards d'années.

Notre Galaxie fait partie du Groupe Local qui contient d'autres galaxies proches, dont la « nébuleuse » d'Andromède (M31) distante de 2,5 millions AL et des galaxies satellites de la nôtre comme les nuages de Magellan et des galaxies naines.

Image : Robert Gendler

La galaxie d'Andromède est visible à l'œil nu comme une tache lumineuse sur le fond du ciel dans la ceinture d'Andromède. Elle se rapproche de la Voie Lactée à la vitesse de 120 km/s et entrera en collision avec elle dans environ 3 milliards d'années.

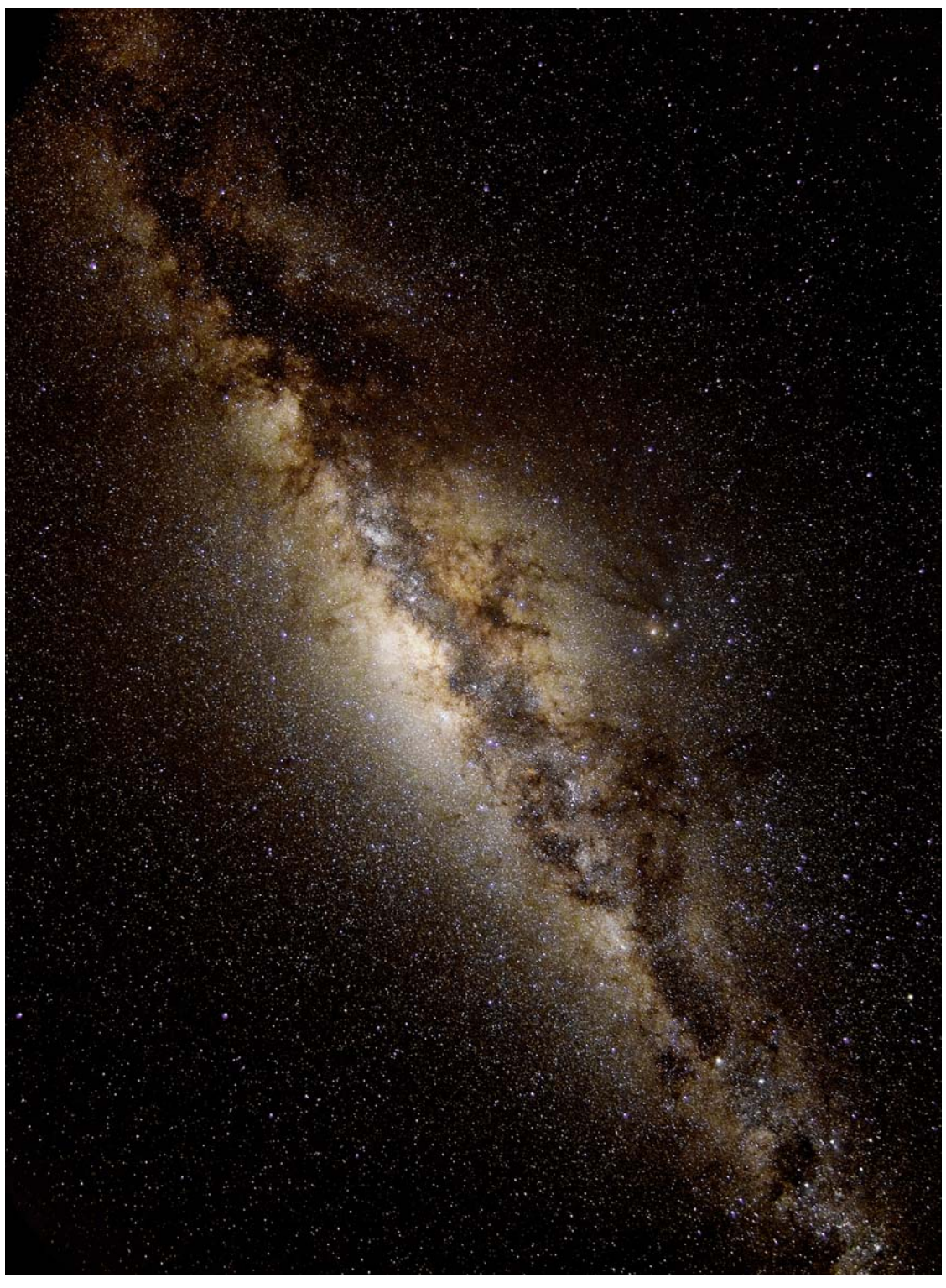


Image : Serge Brunier

Vue panoramique de la zone centrale de la Voie Lactée prise depuis le désert d'Atacama, Chili. Le bulbe central est nettement visible. Les zones sombres sont des nuages de gaz et des poussières qui absorbent la lumière des étoiles. Nous sommes à l'intérieur de la Galaxie donc nous ne pouvons l'observer que par la tranche, ce qui complique la compréhension de sa structure.

Structure de notre Galaxie

Le « chef d'orchestre » de l'Univers est la gravitation : force d'attraction entre tous les objets ayant une masse (théorie de Newton, généralisée par Einstein)

Sous l'effet de la gravitation, la Galaxie s'est constituée par capture et accrétion de matière, d'abord du gaz, où sont nées et continuent à naître des myriades d'étoiles.

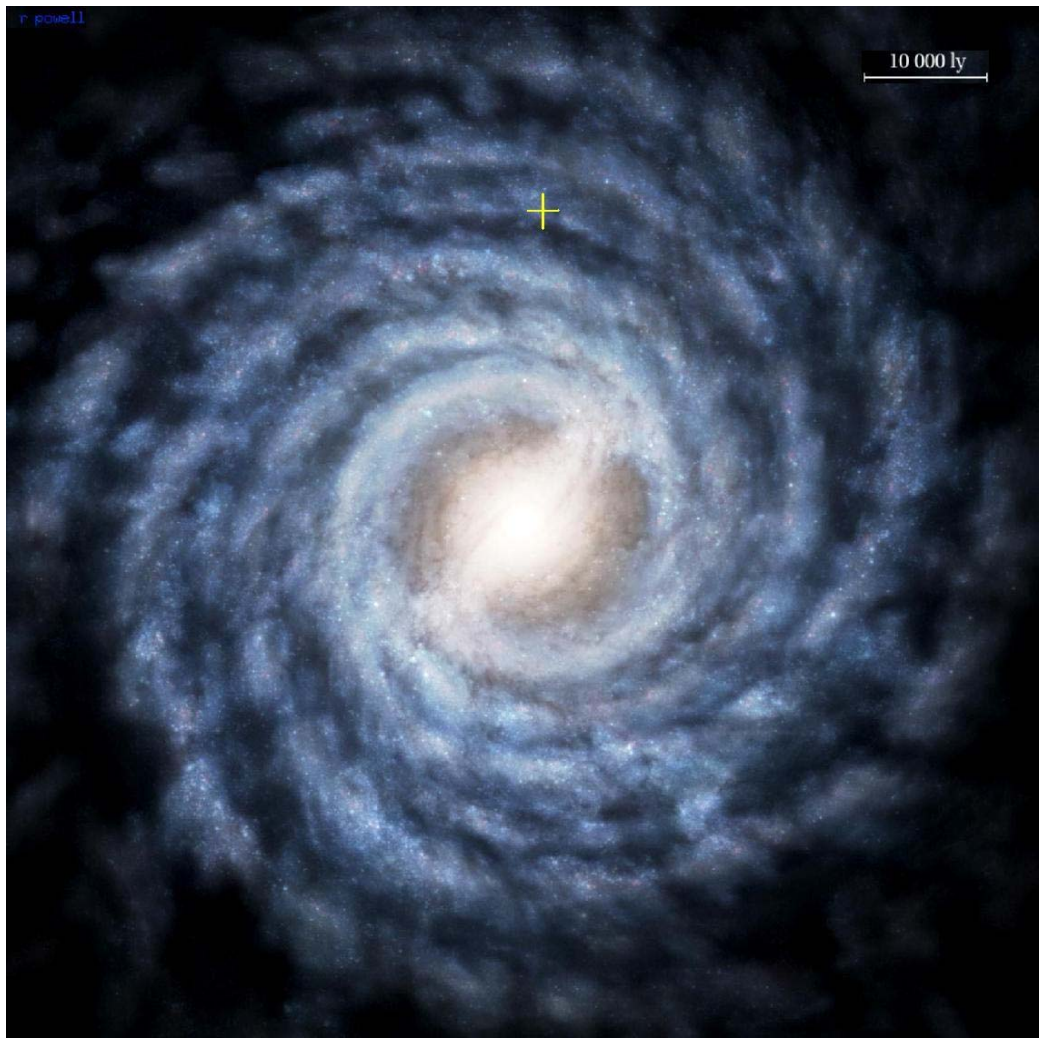
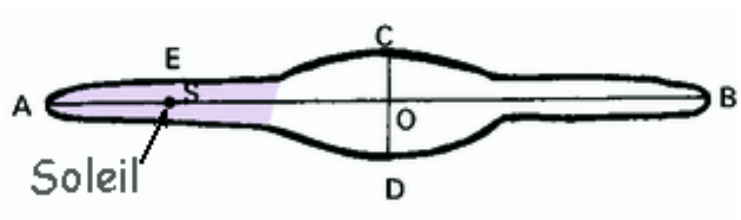


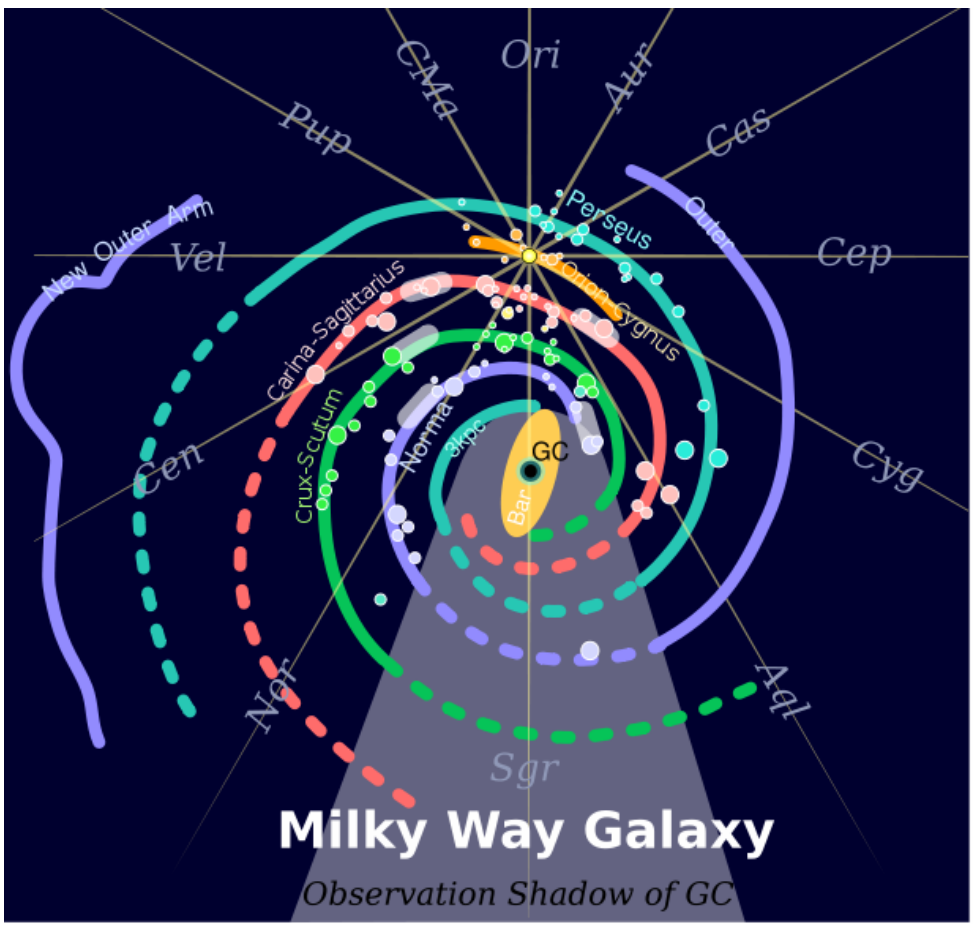
Image : Atlas of the Universe – Richard Powell

Si nous pouvions voyager très loin au-dessus de notre Galaxie, nous verrions une magnifique spirale barrée, où l'emplacement actuel du Soleil est montré par la croix jaune…

Mais c'est beaucoup trop loin, il faudrait des millions d'années pour y parvenir.

Comme nous sommes à l'intérieur du disque galactique, nous voyons une partie des bras de la spirale superposés en perspective ; l'autre côté est caché par la région centrale de la Galaxie.





Structure et dynamique

Structure spirale : pourquoi la Galaxie a-t-elle des bras ?

la Galaxie à ses débuts était une sphère diffuse d'étoiles et de gaz. Selon Lindblad, les bras se sont formés progressivement par un mécanisme d' ondes de densité analogues aux bouchons de la circulation routière, en même temps que la Galaxie s'aplatissait pour prendre la forme d'un disque. La formation des bras et de la barre centrale a pu aussi être facilitée par l'interaction gravitationnelle avec une autre galaxie qui serait passée dans le voisinage (effet de marée), et l'accrétion d'étoiles extérieures.
Cette structure est stable et correspond à un état d'équilibre (énergie minimum : la nature est paresseuse… ou économe !).
Les bras s'enroulent autour du bulbe central parce que la Galaxie est en rotation, plus rapide au centre qu'à la périphérie.

Pourquoi la Galaxie tourne-t-elle sur elle-même ?

C'est parce qu'elle est en équilibre dynamique : si elle ne tournait pas elle s'effondrerait sur elle-même sous l'effet de la gravité due à sa propre masse.

Un peu de « maths » et de physique

On considère le Soleil comme un point à la distance R du centre galactique, tournant à la vitesse V sur son orbite. $M(<R)$ (en unités M⊙) est la masse de la Galaxie contenue dans la sphère de rayon R. Le mouvement de rotation est stable car la force de gravitation est équilibrée par la force centrifuge :

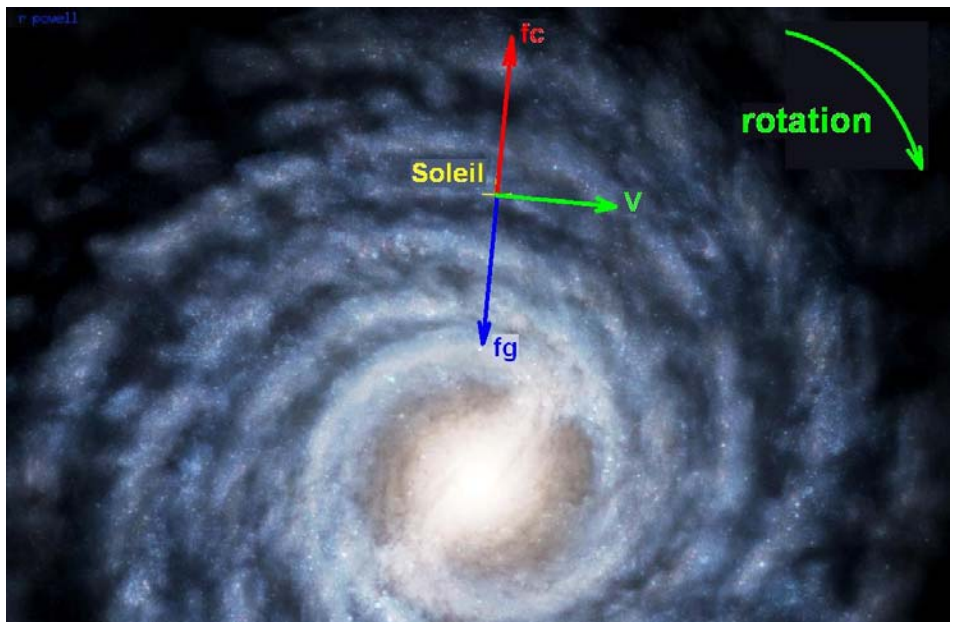
$$\frac{V^2}{R} = \frac{GM(<R)}{R^2}$$

G : constante universelle de gravitation

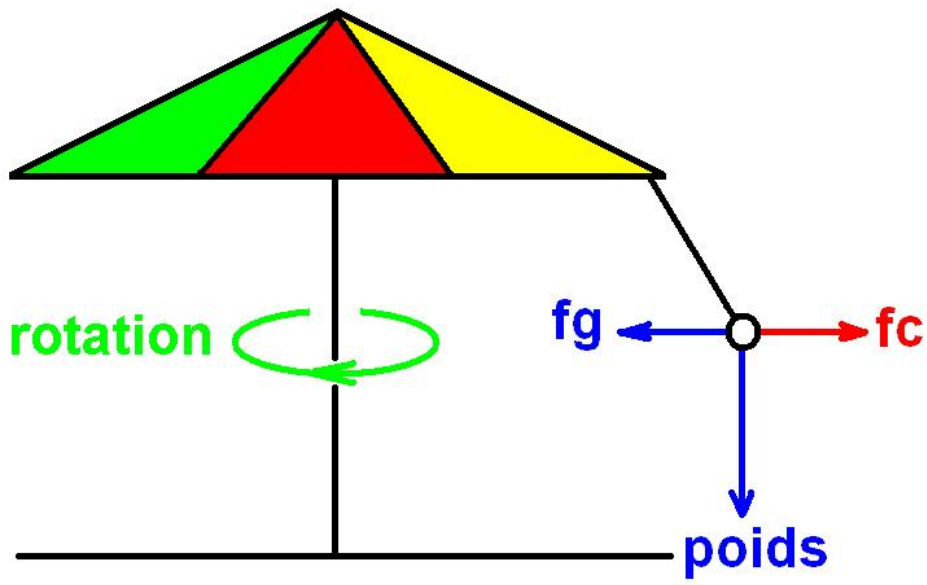
C'est un peu comme cela que fonctionne le manège des « chaises volantes » : la force centrifuge subie par la personne sur son siège lorsque le manège tourne est compensée par l'effet de son poids lorsqu'elle s'écarte de la verticale.

Le manège galactique

La Galaxie est semblable à un manège géant où tournent les étoiles, le gaz et les poussières qui la constituent.



La rotation du Soleil



La rotation de la chaise volante

fg, force de gravitation est équilibrée par fc, force centrifuge.

La vitesse orbitale V du Soleil est de 220 km/s, une révolution complète du Soleil autour du centre galactique dure donc 250 millions d'années environ.

Comment « peser » la Galaxie

connaissant V, R et G on en déduit :

$$M(<R) = \frac{V^2 R}{G}$$

soit environ 100 milliards M⊙.

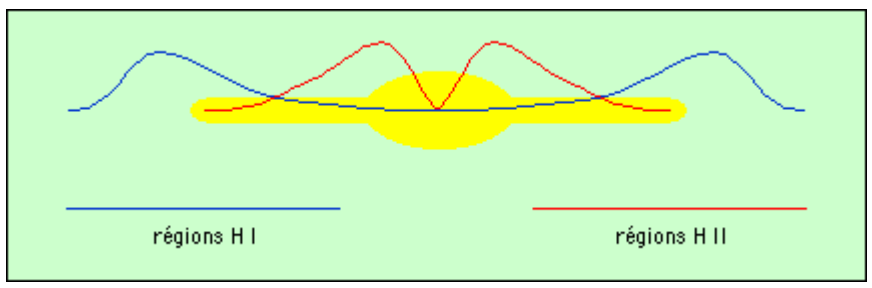
Connaissant les vitesses des orbites pour différents rayons (le profil des vitesses galactiques), on peut étendre ce calcul à tout rayon inférieur ou supérieur à celui de l'orbite solaire et en déduire la répartition des masses dans la Galaxie, y compris dans le halo sombre qui l'entoure.

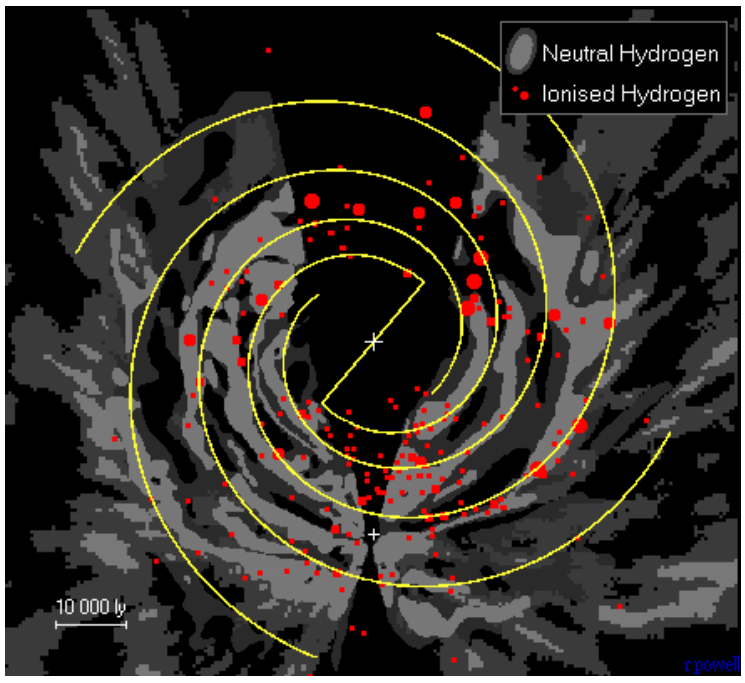
Pour obtenir cette connaissance des masses, les astronomes ont donc dû imaginer des méthodes pour mesurer les vitesses orbitales dans la Galaxie.

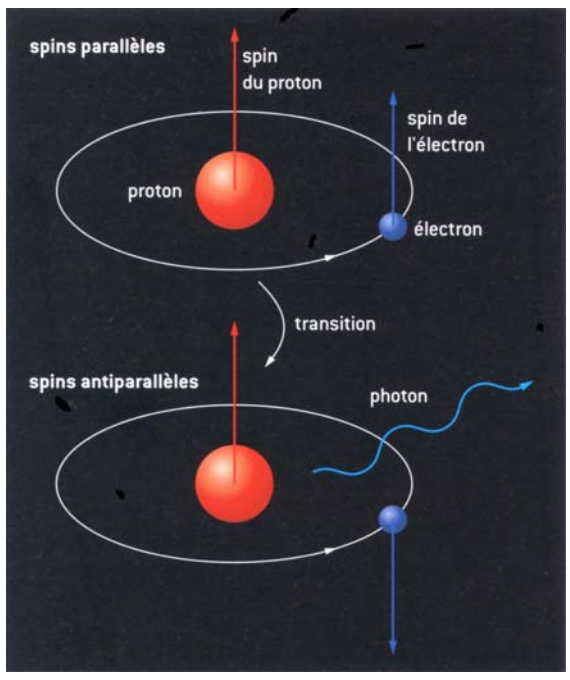
Emission HI et effet Doppler: des outils pour étudier le mouvement galactique

L'astronome observe grâce aux ondes électromagnétiques.
La lumière visible (λ = 0.4 à 0.7 μ) est fortement absorbée par les nuages de poussière car $\lambda \approx$ taille grains de poussière.
Les ondes radio ne sont pas absorbées car leur longueur d'onde est beaucoup plus grande : λ = 21cm pour l'émission de l'hydrogène atomique HI partout présent dans la Galaxie.

1. Répartition de l'hydrogène HI (neutre) dans la Galaxie et courbe d'abondance

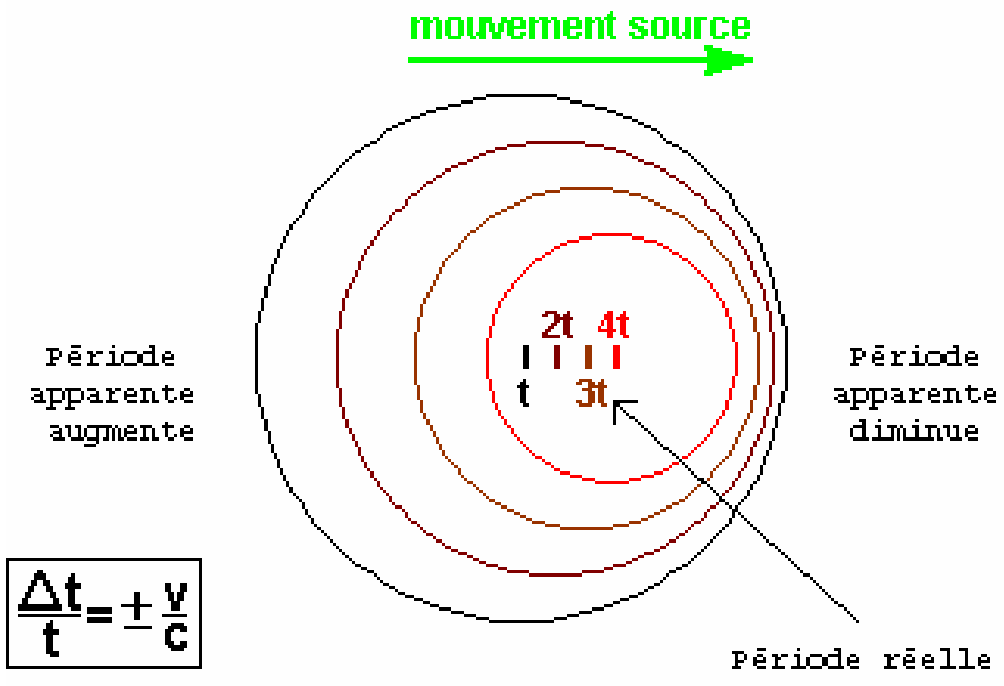






2. Mécanisme de l'émission HI : transition de spin « hyperfine » de l'atome H.
Lorsque le spin de l'électron passe de l'état parallèle à l'état antiparallèle (plus stable) par rapport à celui du proton, il y a émission d'un photon radio de fréquence 1420 MHz (λ = 21cm).

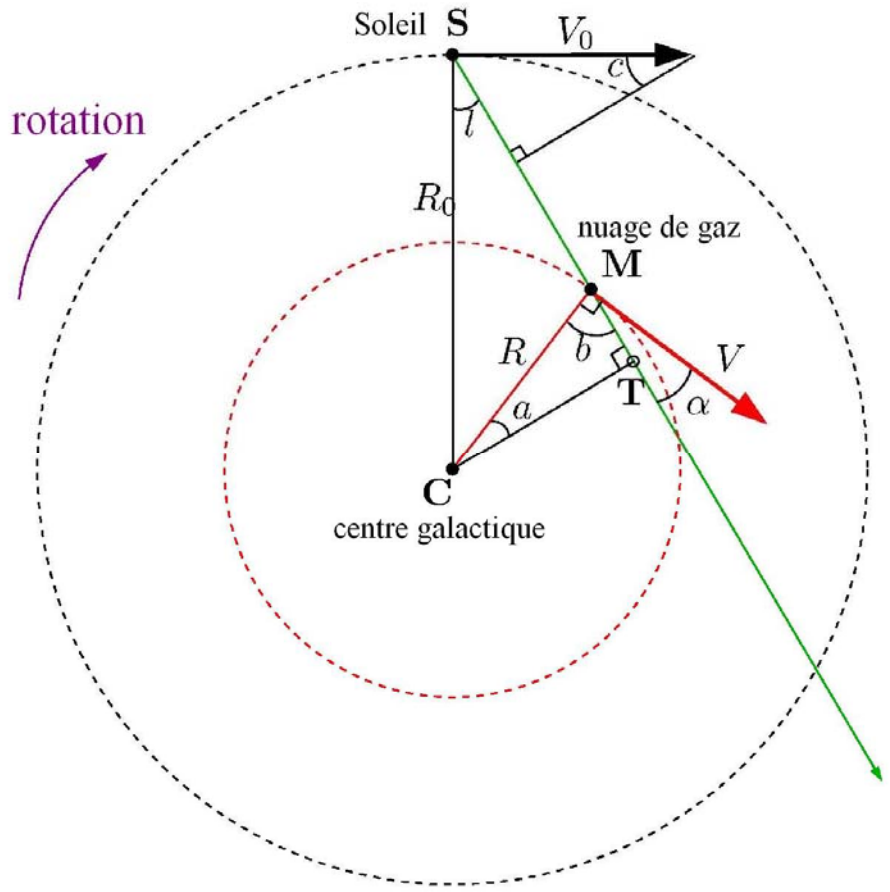
3. L'effet Doppler sur les émissions électromagnétiques : outil de base de l'astronome pour étudier les mouvements dans la Galaxie. La période apparente dépend de la vitesse relative de la source par rapport à l'observateur.



$$\frac{\Delta t}{t} = \pm \frac{v}{c}$$

Ce que l'astronome observe…

Un peu de géométrie de la Galaxie

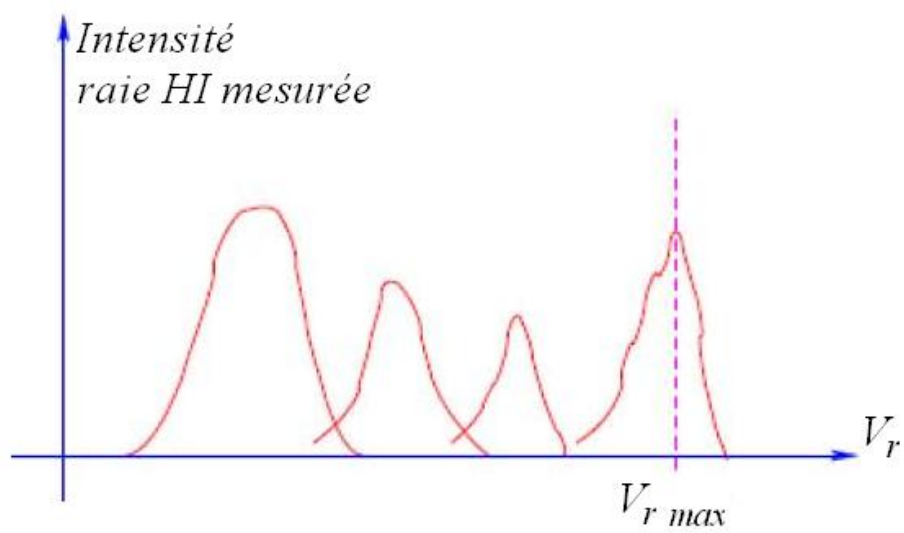


L'astronome au point S (système solaire) mesure la vitesse radiale V_r du nuage de gaz M sur la ligne de visée SM. Les flèches indiquent les vitesses orbitales du Soleil V_0 et du nuage de gaz V autour du centre galactique C.

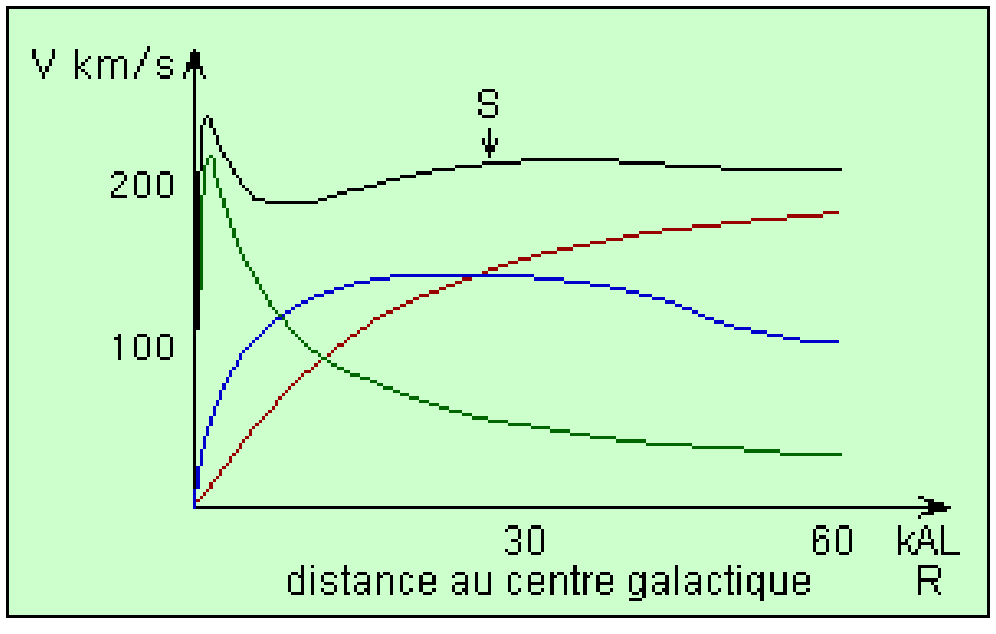
Un peu de géométrie conduit à :

$$V_r = V\frac{R_0}{R}\sin l - V_0 \sin l$$

On observe plusieurs raies HI correspondant à différents nuages. Celui qui se trouve au point tangentiel T a la plus grande vitesse $V_{r\,max}$



Connaissant $V_{r\,max}$, V_0, R_0 et l'angle de visée l, on en déduit R et V, et donc la courbe de rotation de la Galaxie $V(R)$.



S pointe la vitesse orbitale du Soleil.

Courbe noire : vitesses observées.

Courbe verte : contribution du bulbe central.

Courbe bleue : contribution du disque sans le bulbe.

Courbe rouge : ce qu'il faut ajouter pour obtenir la courbe observée : POURQUOI ?

…et ce qu'il en déduit : la Galaxie et son halo contiennent une masse invisible diffuse formée de « matière sombre »

La présence de « matière sombre » est détectée dans un grand nombre de Galaxies. C'est un des mystères actuels de la Physique : ON NE SAIT PAS CE QUE C'EST !

Suivant les modèles actuels, la matière sombre, appelée aussi « matière noire froide » (CDM) est présente dans l'Univers depuis son origine (le « Big Bang »).

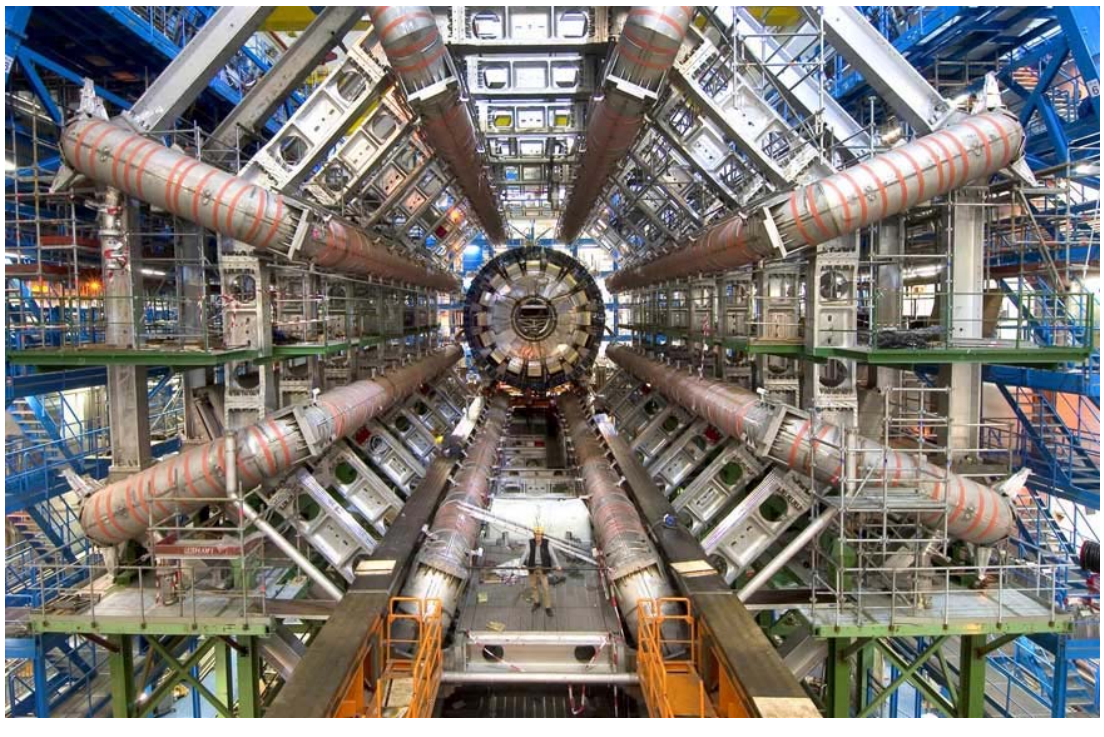
Les hypothèses sur la nature de la matière sombre:

- Objets astrophysiques sombres (non visibles) : nuages d'hydrogène moléculaire, MACHOs: étoiles mortes, trous noirs… (trou noir central hypothétique : 100 millions M⊙…)
- Particules « exotiques » : les « WIMPs » : particules massives à faible interaction comme le « neutralino »
- Modifications du modèle de gravitation: Univers à plus de 4 dimensions (théorie des cordes), mécanique newtonienne modifiée (MOND), autre forme de la relativité générale…

Donc le pouvoir à l'imagination !

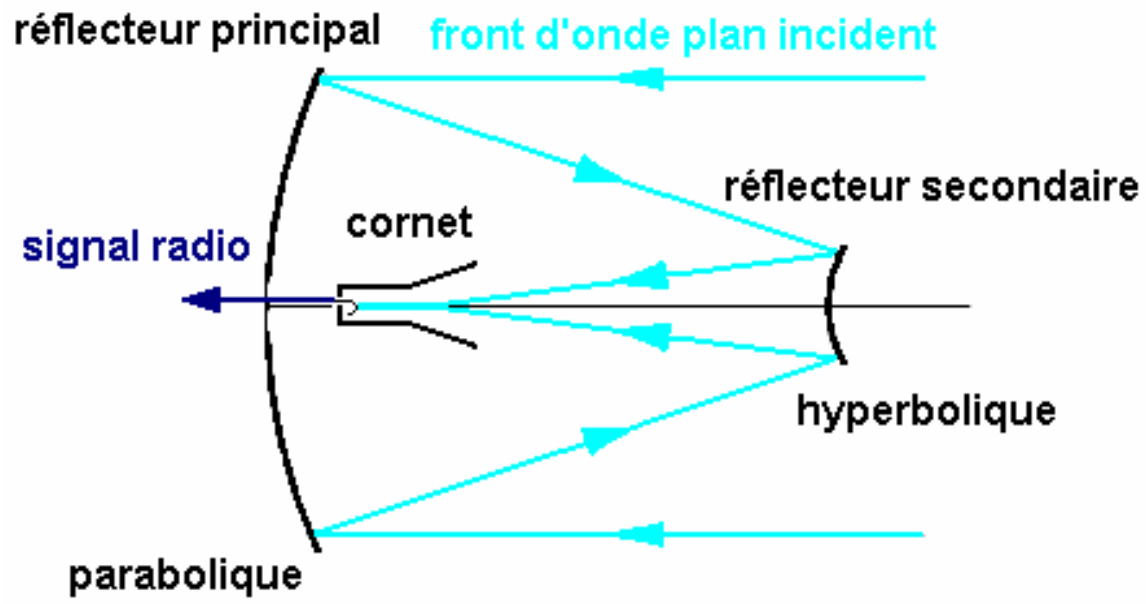
La réponse sera peut-être trouvée au LHC du CERN…

Le détecteur ATLAS en cours de construction. Il mesurera les caractéristiques des particules produites par la collision frontale des protons à très haute énergie, dont peut-être celles composant la matière sombre.



Observer la rotation galactique à Pleumeur-Bodou : le radiotélescope PB8

PB8 : antenne de télécommunications par satellites du CTS de Pleumeur-Bodou en cours de reconversion par l'Association.

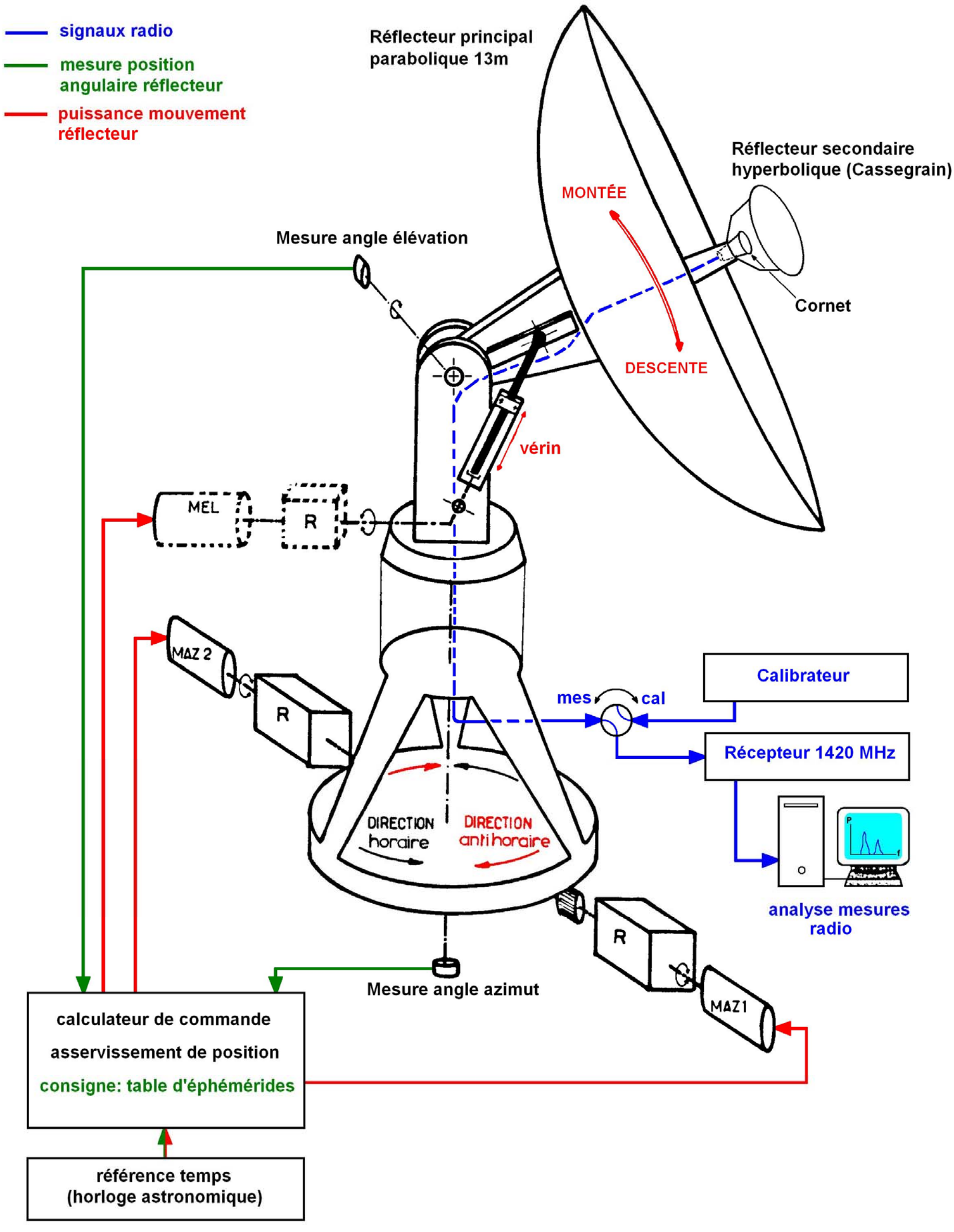


L'antenne est conçue suivant le principe de l'optique Cassegrain.
Partie essentielle : le réflecteur parabolique diamètre 13m, poids environ 4t, précision surface quelques mm.

Le réflecteur principal est porté par une monture alt-azimutale qui le rend orientable vers presque tous les points du ciel visible.

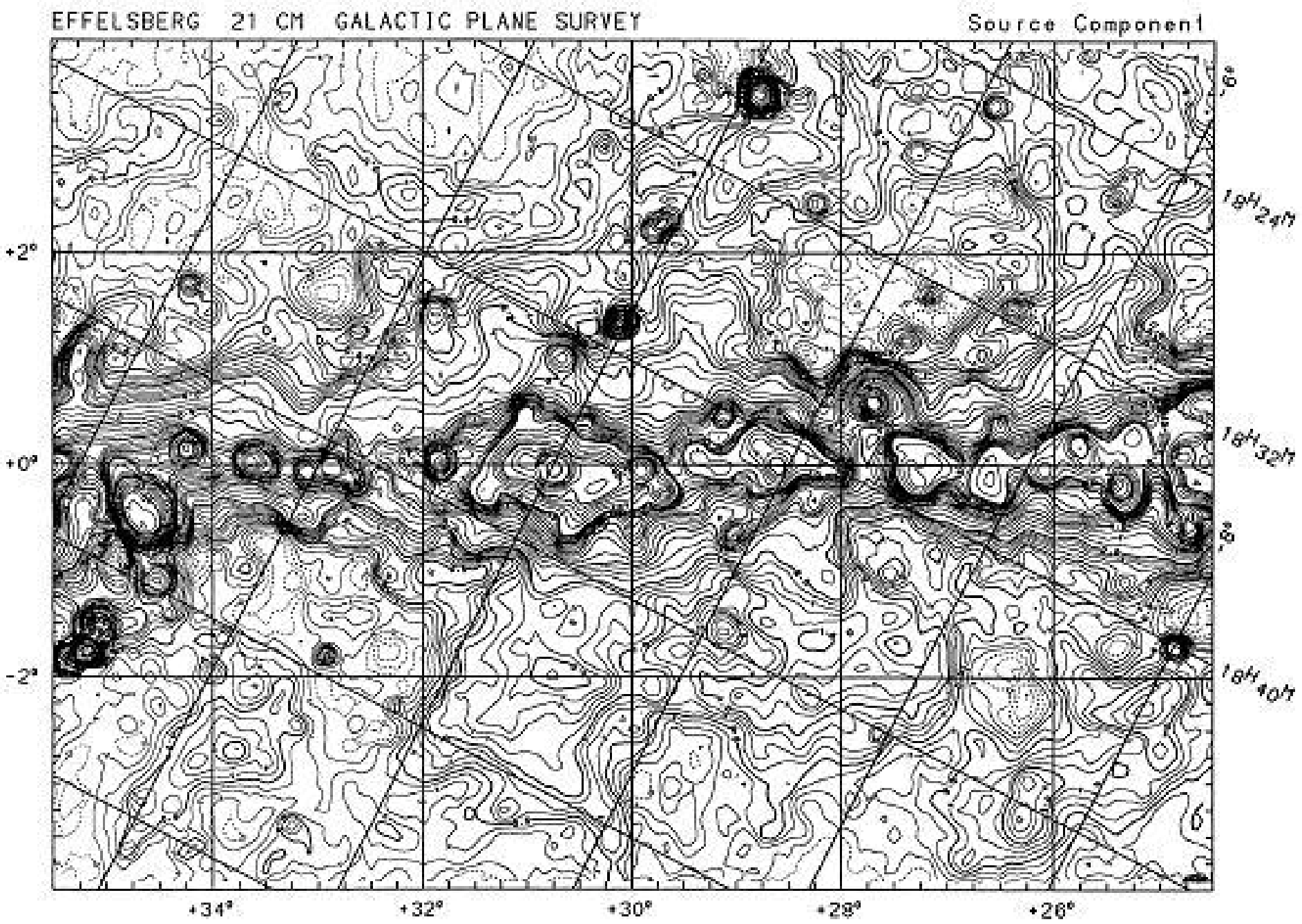
L' optique Cassegrain : le réflecteur secondaire hyperbolique et le cornet qui collecte les ondes radio.

Les principaux éléments du radiotélescope PB8



Ce que « voit » le radiotélescope

Contrairement au télescope optique, un radiotélescope ne fournit pas directement une image mais le signal radio reçu d'une zone du ciel dont l'étendue dépend de la taille du réflecteur et de la bande de fréquences considérée.
Pour l'antenne PB8 recevant les émissions HI, cette zone a un diamètre angulaire de 0,8° soit 1,6 fois la taille apparente de la Lune ou du Soleil. Pour une antenne beaucoup plus grande comme celle d'Effelsberg en Allemagne, de diamètre 100m, cette zone a un diamètre angulaire de 0,1°. Par comparaison, dans le visible le pouvoir séparateur de l'œil est de 1' soit 1/60° ; un télescope optique est encore bien meilleur.
On obtient une carte des émissions radio provenant d'une région étendue du ciel par balayage et série de mesures du signal.



carte d'une région du plan galactique en HI (Effelsberg)

Le projet « Observation de la Voie Lactée pour tous » et l'Année mondiale de l'Astronomie 2009

2009 a été déclarée par l'UNESCO Année mondiale de l'Astronomie. Dans ce cadre de nombreux projets ont été préparés en France et dans d'autres pays.

l'Association participe à l'un de ces projets : « Observation de la Voie Lactée pour tous », en partenariat avec des laboratoires et instituts français : observatoires de Paris, Nançay, Saint-Michel de Provence, laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux, ARRL d'Orsay et Palais de l'Univers de Dunkerque.

But du projet : créer des animations pédagogiques autour de l'observation de la Voie Lactée en rayonnement HI au moyen d'instruments réels dont PB8, et y associer des conférences, expositions, etc. mettant en valeur la radioastronomie.

Ce projet est en liaison avec le projet européen E-HOU « Hands on Universe, Europe » (http://www.euhou.net/) dont une réalisation est le prototype de radiotélescope Salsa développé à l'Observatoire d'Onsala (Suède) et accessible à distance via Internet.

Dans le cadre de l'Année mondiale 2009 seront aussi organisées dans le Trégor (planétarium de Pleumeur-Bodou, ville de Lannion) des conférences, expositions et démonstrations pour le grand public.

Ainsi une conférence « Société et sciences » sur la cosmologie labellisée « grande conférence Année Mondiale » sera donnée par le cosmologiste Alain Blanchard le 20 Mai 2009 à Lannion ; cette conférence est co-organisée par l'APAST et l'ABRET.

Venez nombreux à toutes ces manifestations !

En résumé

une question de science

l'approche des chercheurs

et les résultats

Pleumeur-Bodou

s'y implique