

La radioastronomie

Fête de la Science 2021 Lannion

Association ORPB : Observation Radio Pleumeur-Bodou

La **radioastronomie**, branche de l'astronomie, observe l'Univers dans le domaine des **ondes radioélectriques**

C'est une « **astronomie de l'invisible** », comme l'astronomie infra-rouge ou l'astronomie X

Une grande richesse d'informations non observables en lumière visible est accessible en radio: par exemple l'émission des "**objets froids**" tels que les nuages de gaz interstellaire, où se forment les étoiles

La radioastronomie est née dans les années 1930. Elle a pris son essor après la Seconde Guerre Mondiale grâce aux progrès considérables du radar et des télécommunications

Elle s'est ensuite développée grâce aux technologies modernes: grandes antennes, antennes en réseaux, sondes et observatoires spatiaux, nouveaux capteurs et composants, traitement du signal, informatique...

La radioastronomie met en jeu des moyens considérables et est devenue une « Big Science »

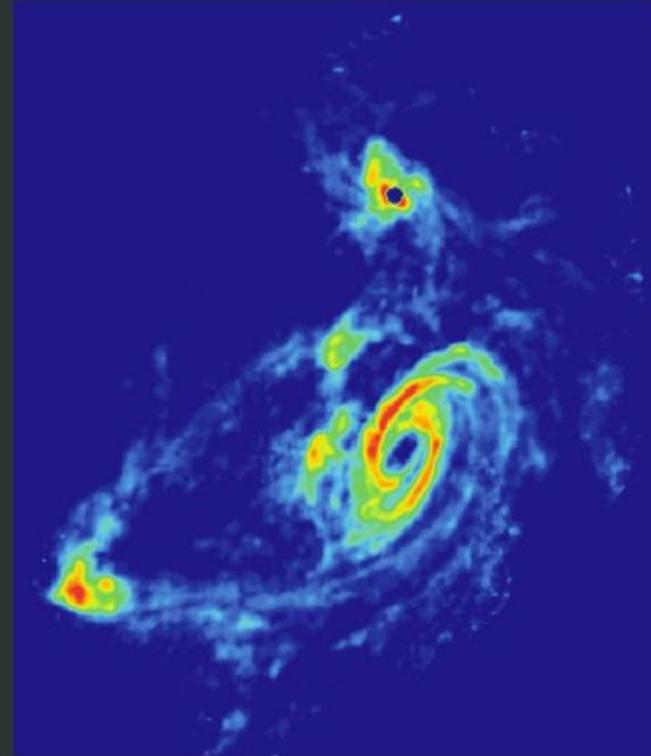
Images radio d'objets célestes: ce que ne montre pas le visible

Interactions de marée dans le groupe de galaxies M81

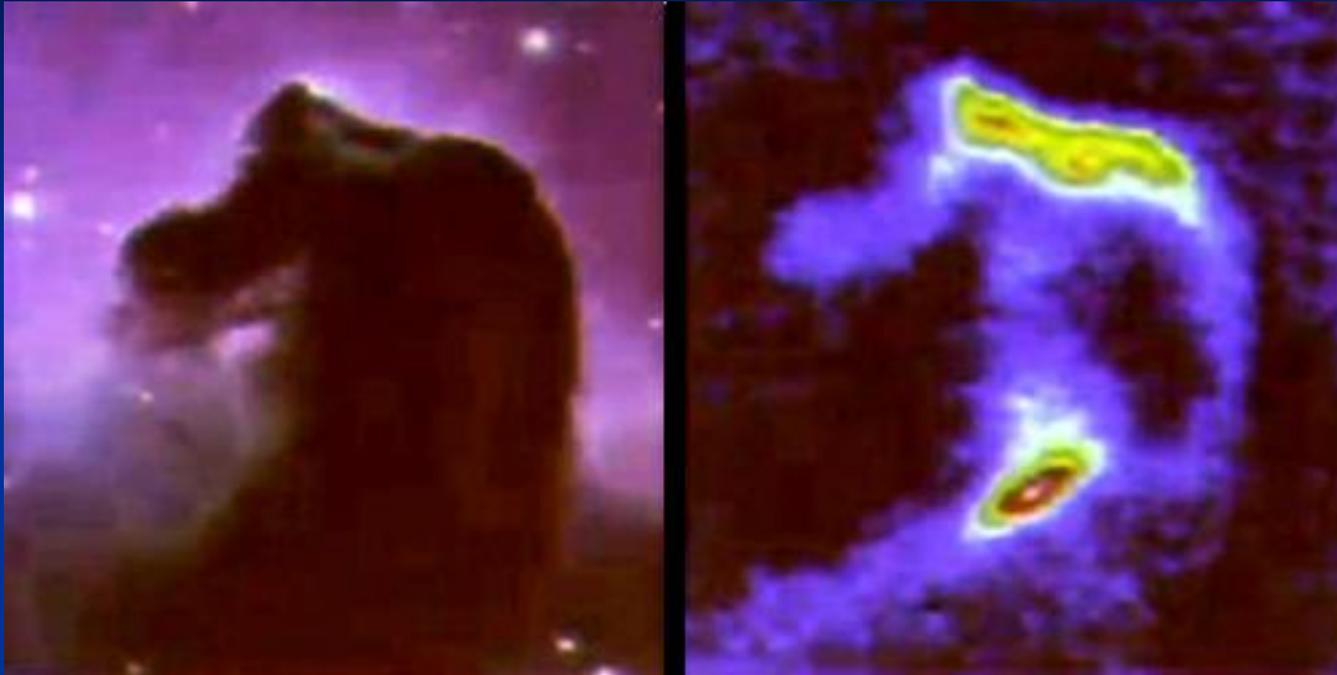
Observation dans le visible



Observation raie radio H1 21cm



Nébuleuse « Tête de Cheval » (Barnard 133) dans la constellation d'Orion, distance 1500 AL



lumière visible

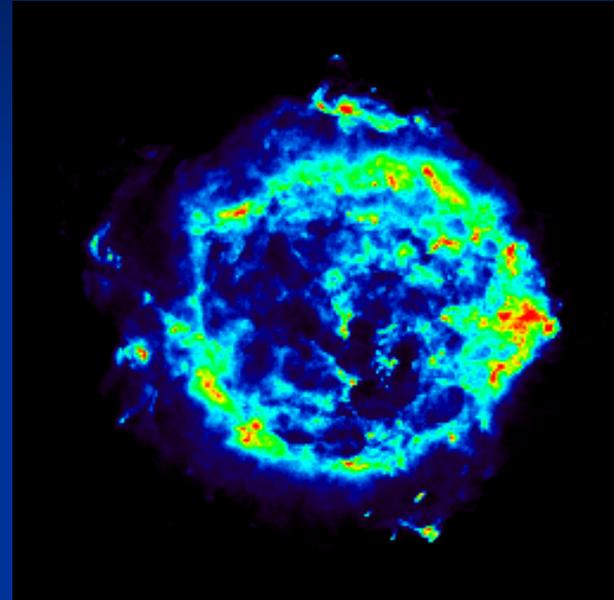
radio millimétrique

L'image radio montre des zones actives dans les nuages de gaz où naissent des étoiles

Radio source Cassiopée A
résidu d'une supernova apparue fin XVII^e siècle
distance 9100 AL



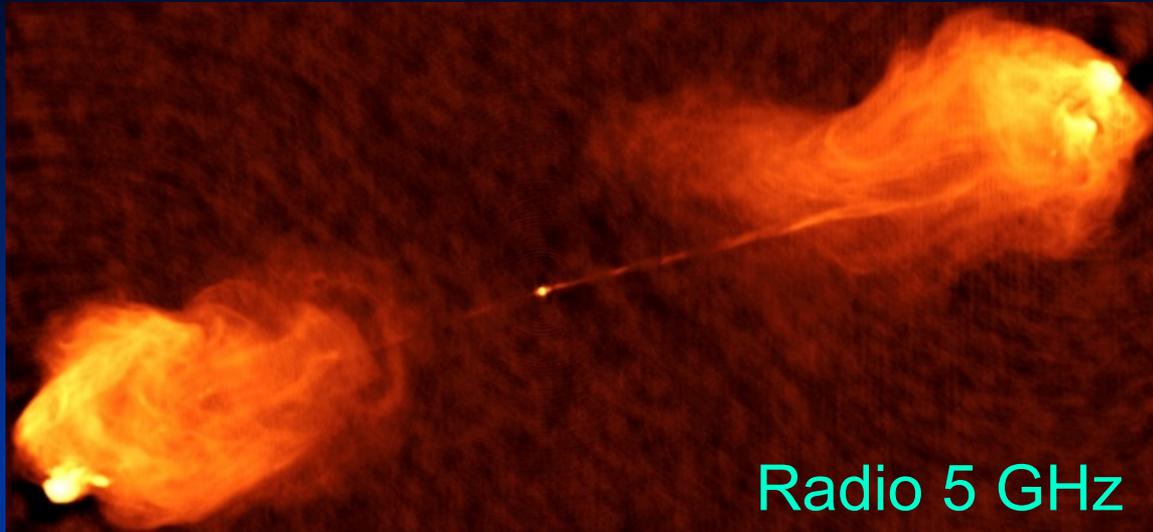
lumière visible



radio décimétrique

L'image radio obtenue par le réseau d'antennes VLA (USA) à $\lambda=21\text{cm}$ montre des zones d'émission intense de rayonnement synchrotron produit par les électrons accélérés par des champs magnétiques

Cygnus A

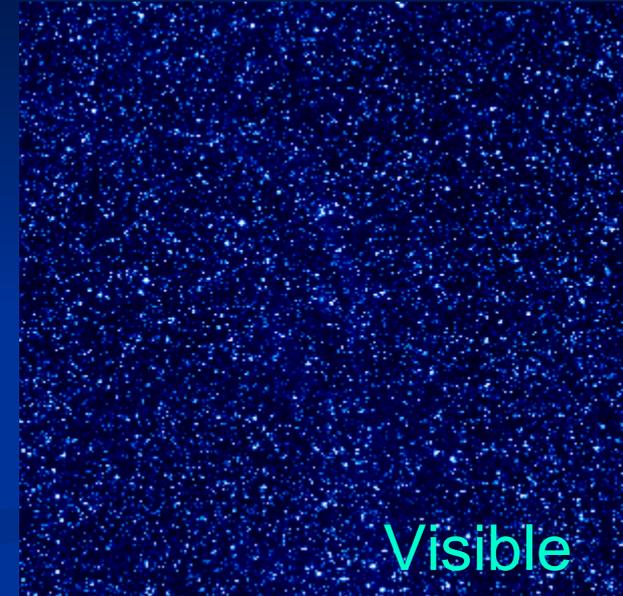


Radio 5 GHz

Crédit: NRAO/AUI - VLA

La **radio source Cygnus A** est située à 700 millions d'années-lumière; elle est beaucoup plus étendue que notre Galaxie.

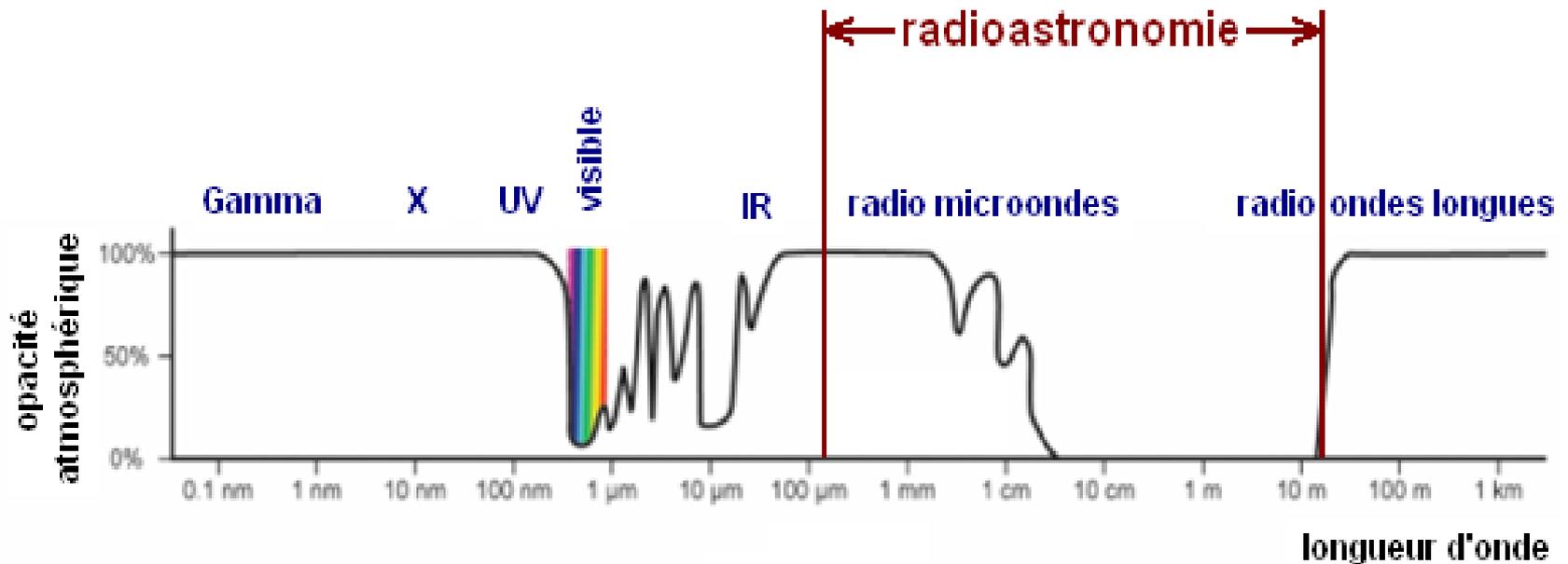
Le rayonnement radio est produit par des électrons relativistes éjectés depuis le point central – noyau actif d'une galaxie contenant un trou noir massif – qui interagissent avec la matière intergalactique formant les deux lobes.



Visible

Crédit: Palomar Sky Survey

Les ondes électromagnétiques messagères de l'Univers



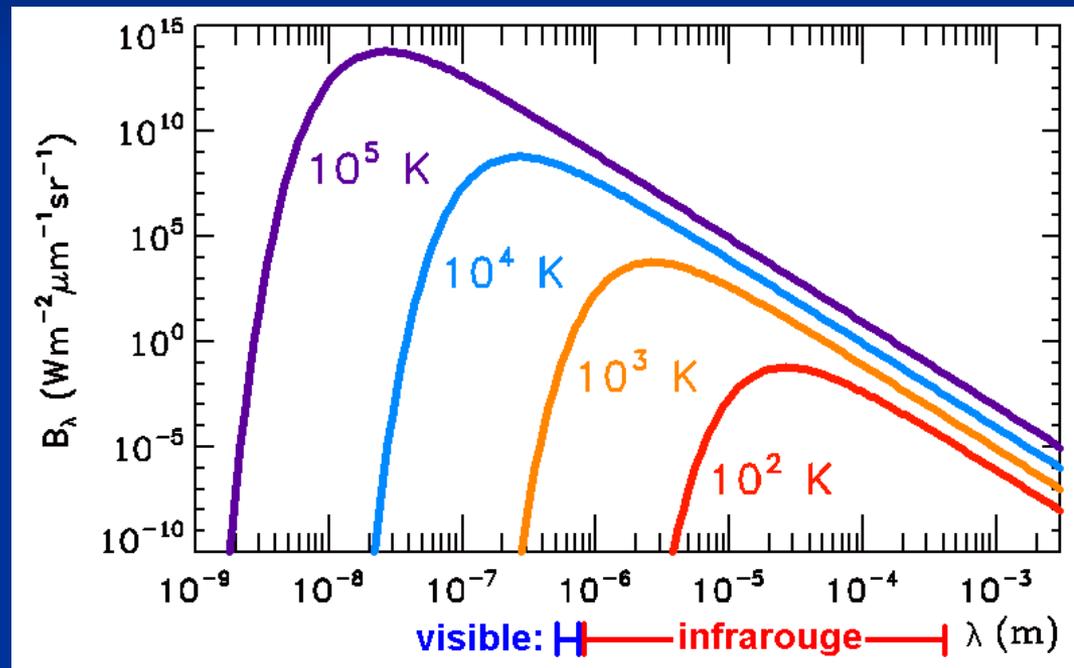
le spectre électromagnétique vu au travers de l'atmosphère terrestre

Les mécanismes physiques à l'origine des émissions radio dans l'Univers

- Rayonnement thermique
- Rayonnement synchrotron
- Interactions électron-matière et électron-photon (bremsstrahlung, effet Compton inverse...)
- Oscillations de plasma
- Raies d'émission et d'absorption atomiques et moléculaires

Rayonnement thermique

- Tout corps ayant une température supérieure à 0 K (-273,15°C) émet un rayonnement électromagnétique à large spectre analogue à celui du « corps noir »

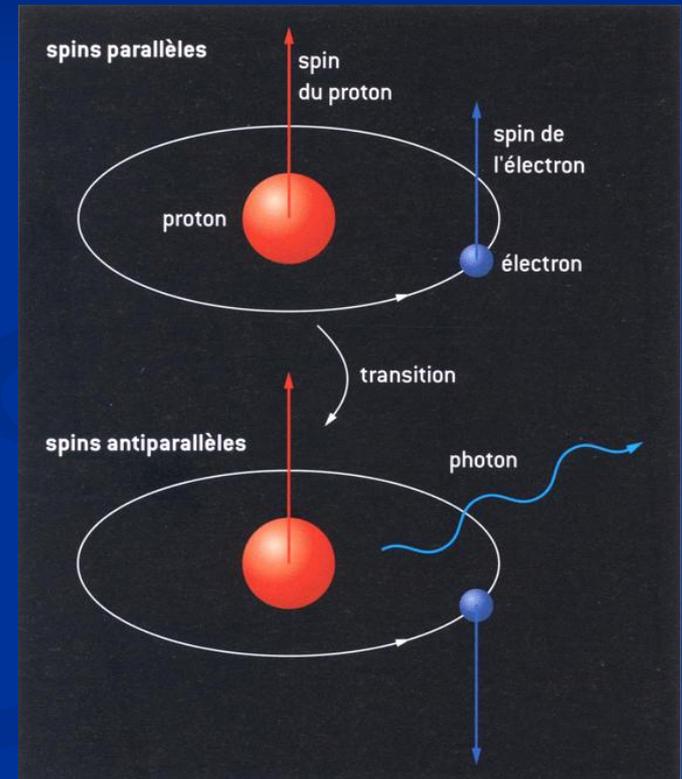


- **Un exemple important:** le rayonnement de fond diffus micro-onde à 2,7 K « fossile du Big Bang »

Raies d'émission et d'absorption

changements d'état d'énergie des atomes et molécules présents dans le milieu interstellaire: HI, OH, CO, NH₃, etc → **signature radio** caractéristique, permet d'identifier les espèces chimiques et de quantifier leur abondance

Cas particulier très important:
Transition de spin de l'atome d'hydrogène HI, source du rayonnement à 1420 MHz (21cm)

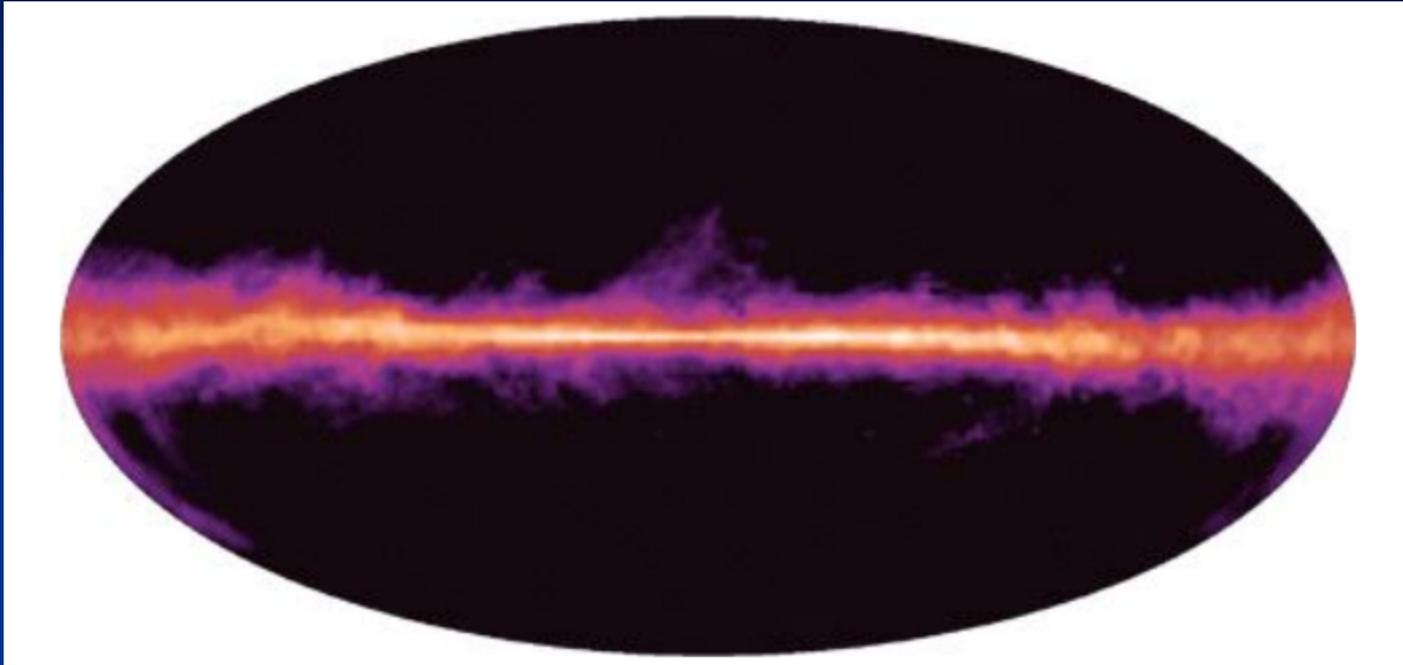


Source: Y. Nazé, *Les Couleurs de l'Univers*

Observations radioastronomiques: quelques exemples

- Rayonnement galactique HI à 21cm
- Rayonnement radio du Soleil
- Fond diffus micro-onde

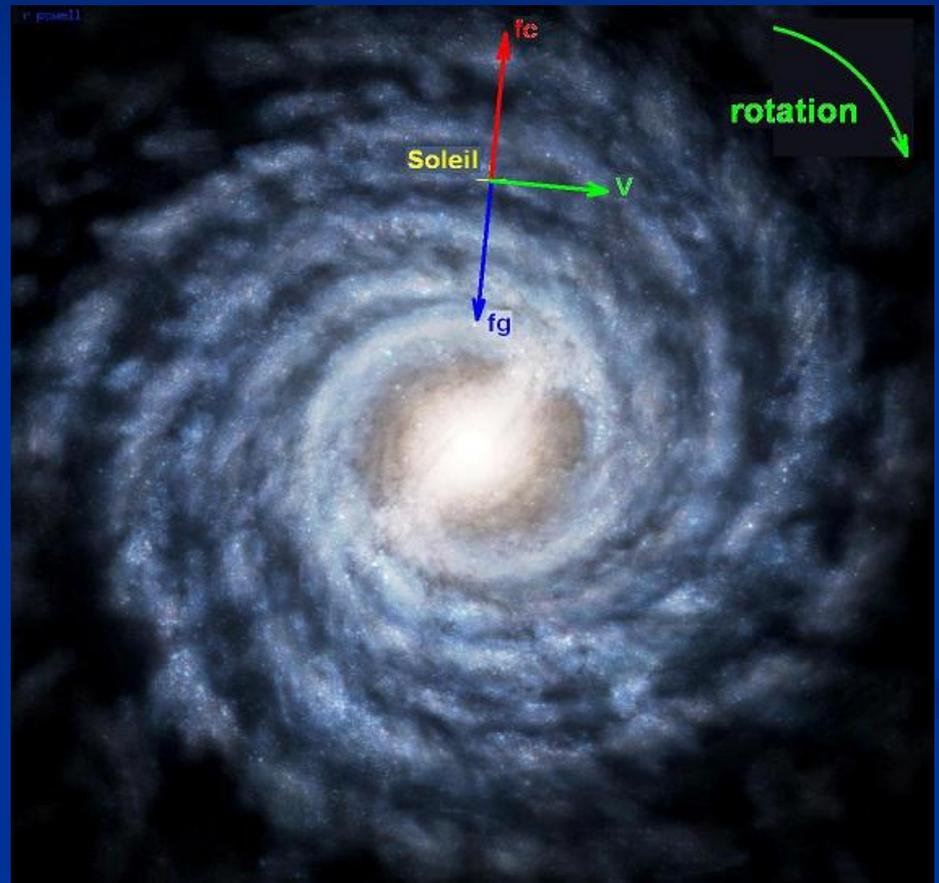
Le ciel à la longueur d'onde 21 cm



La bande lumineuse diffuse qui barre le ciel est **l'émission de l'hydrogène atomique** emplissant notre galaxie la Voie Lactée, et ses environs. Aucune étoile isolée n'est visible.

rayonnement galactique HI (hydrogène atomique) à 21cm

Comment mesurer la
dynamique de rotation
de notre Galaxie ?



Source: Atlas of the Universe (vue d'artiste)

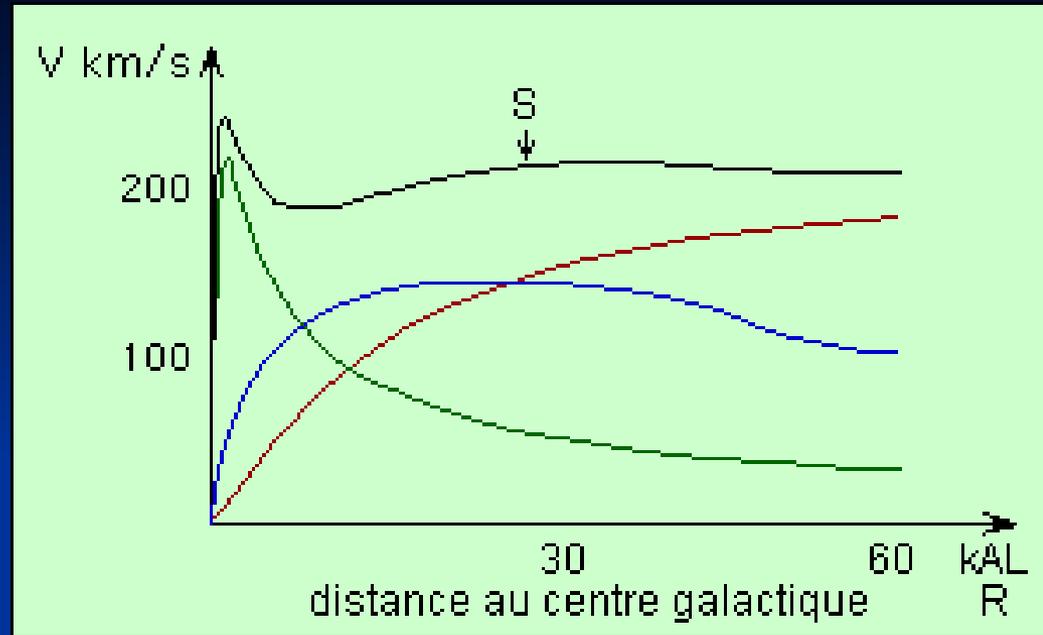
Phénomènes physiques observables :

- émission HI à 21cm (transition de spin)
- effet Doppler dû au mouvement relatif des nuages HI

Intérêt de l'émission de l'hydrogène atomique HI:

grâce à sa grande longueur d'onde, le rayonnement radio à 21cm traverse les nuages de poussière qui nous empêchent d'observer une grande partie de la Galaxie en lumière visible

Résultat: courbe de vitesse V (en noir) anormalement élevée (S: position du soleil)



-> évidence de présence de **matière noire** dans notre Galaxie

Observations semblables dans de nombreuses galaxies (découvertes dans le visible par Vera Rubin)

Des grands instruments: les radiotélescopes pour observer la Galaxie



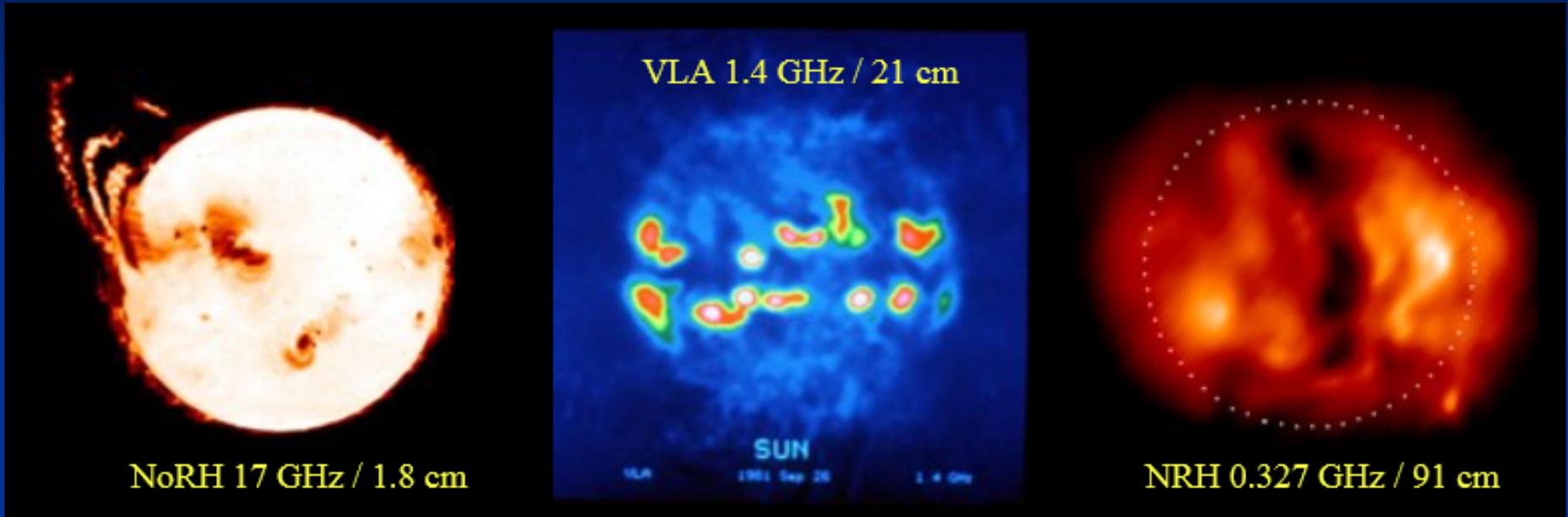
Nançay réflecteurs 200m et 300m



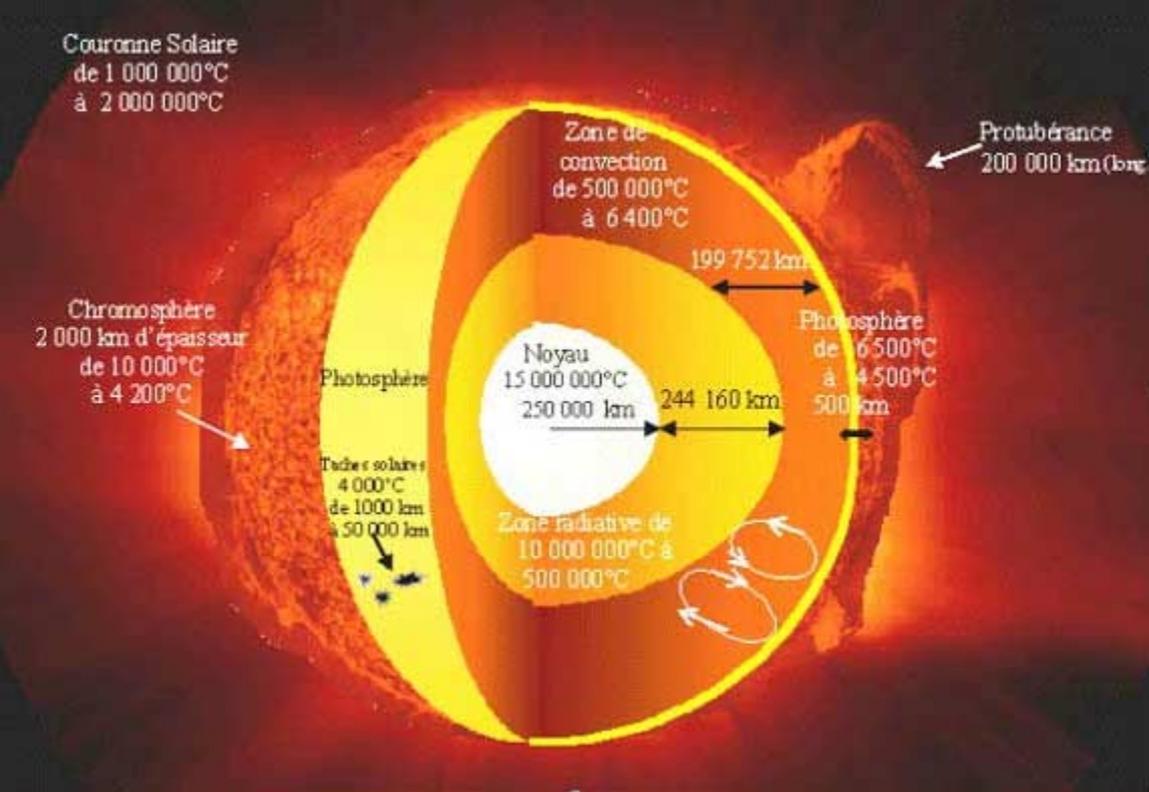
Source: Max Planck Institut Für Radioastronomie

Effelsberg 100m

Rayonnement radio du Soleil



Images radio du Soleil à trois longueurs d'onde:
1,8 cm, 21 cm et 91 cm



Structure interne, surface et atmosphère (couronne) du Soleil

Le rayonnement radio provient en grande partie de l'interaction des électrons avec les champs magnétiques et les noyaux d'hydrogène à la surface du Soleil et dans la zone de la couronne proche de la surface.

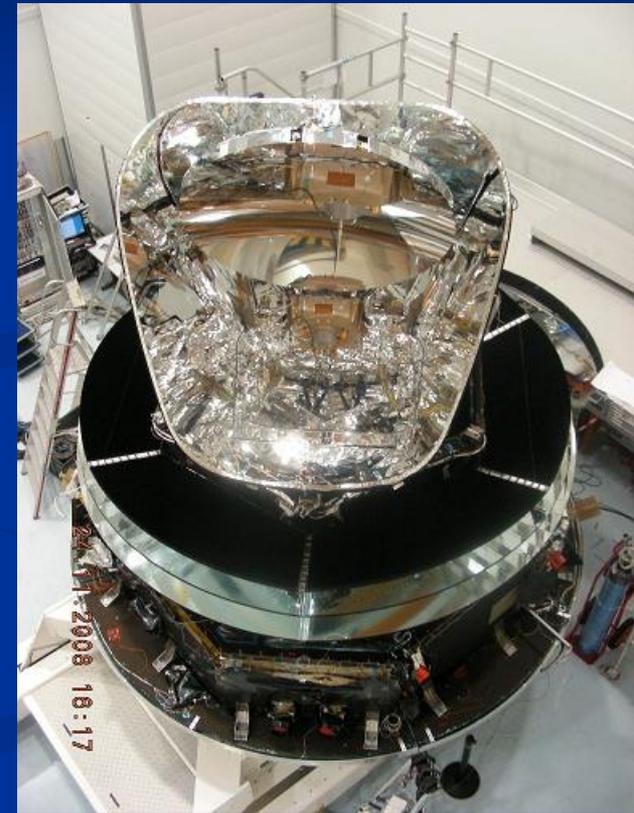
Le signal radio solaire observé à PB8 est une moyenne de ce rayonnement sur une partie du disque solaire, vu dans une bande étroite de fréquences dans les micro-ondes.

Rayonnement de fond diffus micro-onde à 2,7 K « fossile du Big Bang »

Observatoire spatial Planck (ESA)

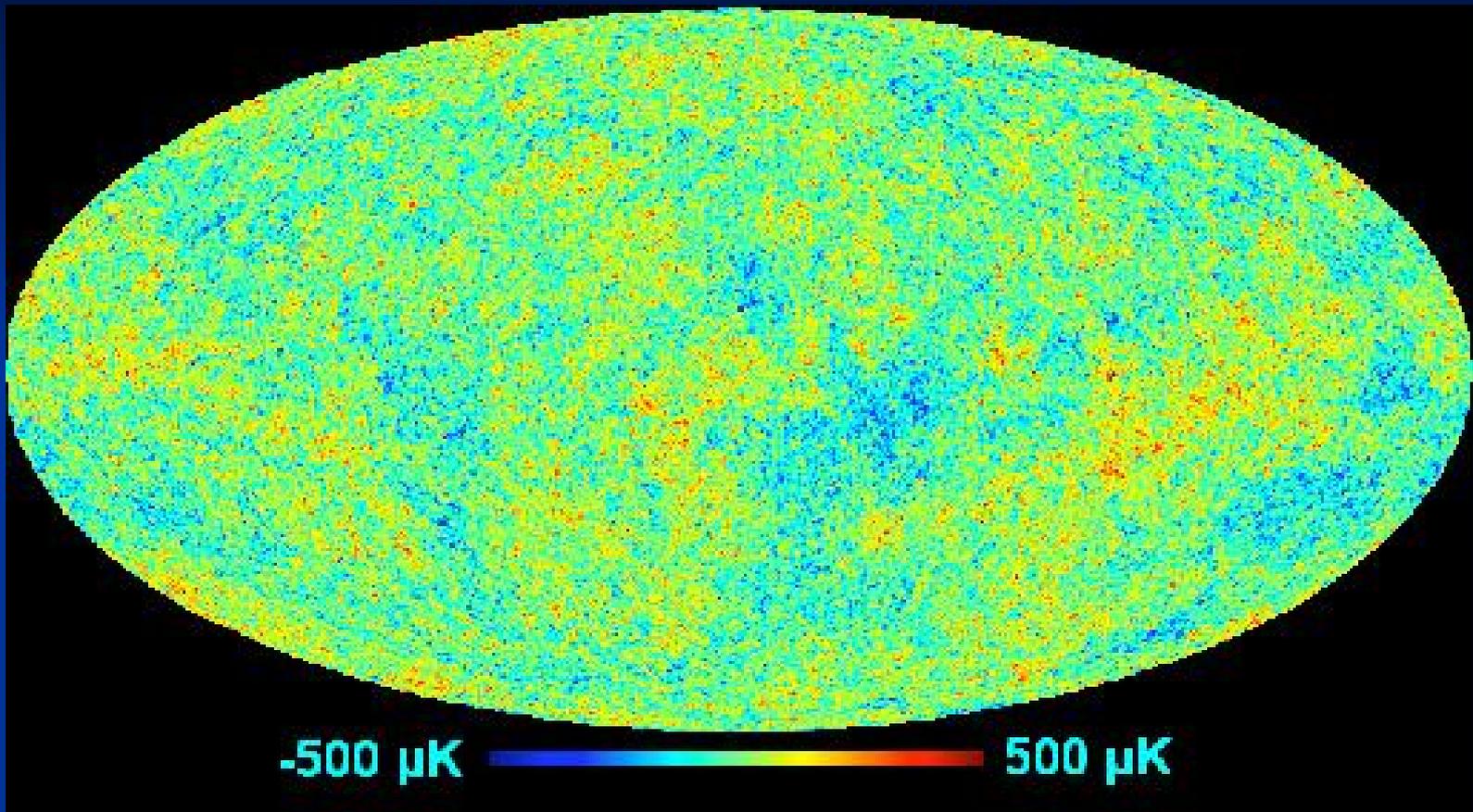
Lancé en Mai 2009, il a fourni des cartes très précises des anisotropies de température et de polarisation du rayonnement entre 30 GHz et 857 GHz

Mission terminée en 2012 pour les instruments les plus sensibles (HFI: sensibilité en Δ température de quelques microkelvins)



Source: smsc CNES

Planck: carte complète du ciel à 2,7 K



Relevé réalisé sur 1 an (2011) avec l'instrument HFI

Les très faibles inhomogénéités de température observées révèlent les germes des grandes structures actuelles de l'Univers

Contraintes et limites de l'observation radioastronomique

- les signaux radio provenant des objets cosmiques sont **très faibles**: il faut des **grandes antennes** pour collecter suffisamment d'énergie, et des **récepteurs à faible bruit**
unité de flux de puissance : $1 \text{ Jansky} = 10^{-26} \text{ W.M}^{-2}.\text{Hz}^{-1}$
- la taille des instruments conditionne leur **pouvoir séparateur**: il faut de **grands instruments** pour observer des **détails fins** des objets du ciel, ou utiliser des réseaux d'antennes suivant le principe de **l'interférométrie**
- la **pollution radioélectrique** d'origine humaine limite l'usage des bandes du spectre observables -> **bandes réservées** à la radioastronomie (ITU-R), besoin de moyens efficaces de **lutte contre les interférences**, **observatoires spatiaux** éloignés de la Terre

Grands réseaux interférométriques pour observer des détails très fins



Very Large Array (VLA), USA (NRAO)

27 antennes de 25m, branches de 21km et 19km – extension max 36km

Résolution: 0,04'' arc à 40 GHz



Atacama Large Millimeter Array (ALMA), Chili (ESO)

50 à 64 antennes mobiles de 12m

Observations entre 10mm et 0,3mm

Le radiotélescope PB8 de Pleumeur-Bodou

L'Association ORPB:

conversion de l'antenne de télécommunications de 13m PB8 en radiotélescope décimétrique

communication par réflexion des ondes sur la Lune (EME)

observation des signaux de satellites (Galileo ...)

projet d'interféromètre solaire 12 GHz



L'antenne PB8 de 13m
et l'antenne équatoriale de 3m