La radioastronomie

Hervé Sizun
André Gilloire

Introduction

- Radioastronomie
  - *Radio* : domaine du spectre électromagnétique de basse fréquence
  - d'*astronomie*: observation du ciel
- Branche de l'astronomie qui s'occupe de l'observation du ciel dans le domaine des ondes radio.
- C'est une science relativement jeune qui a fait ses débuts dans les années 1930.

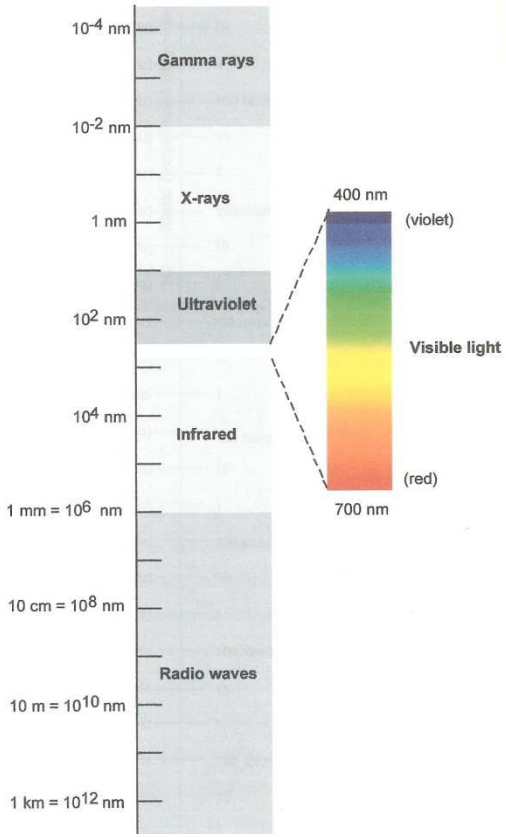
Introduction

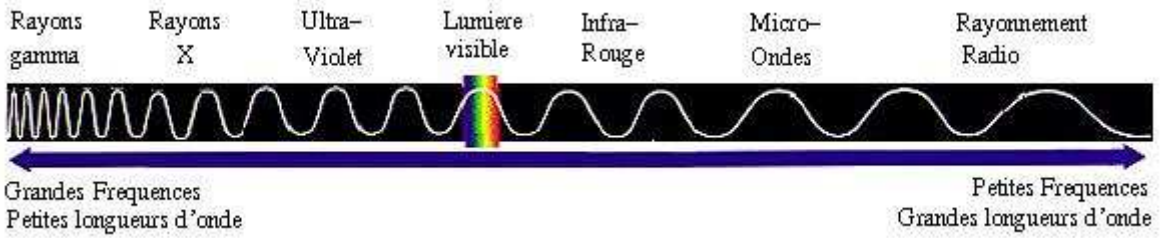
- La lumière visible est un domaine privilégié pour l'homme mais elle ne représente qu'une infime fraction du spectre électromagnétique.
- Les autres domaines de longueur d'onde peuvent aussi nous fournir une incroyable quantité d'information sur l'Univers.
- Pour être en mesure d'analyser cette information, il faut d'abord construire des instruments capables de détecter les rayonnements en question, ce qui explique que l'astronomie non visible ne s'est développée qu'au milieu du siècle dernier.

Introduction

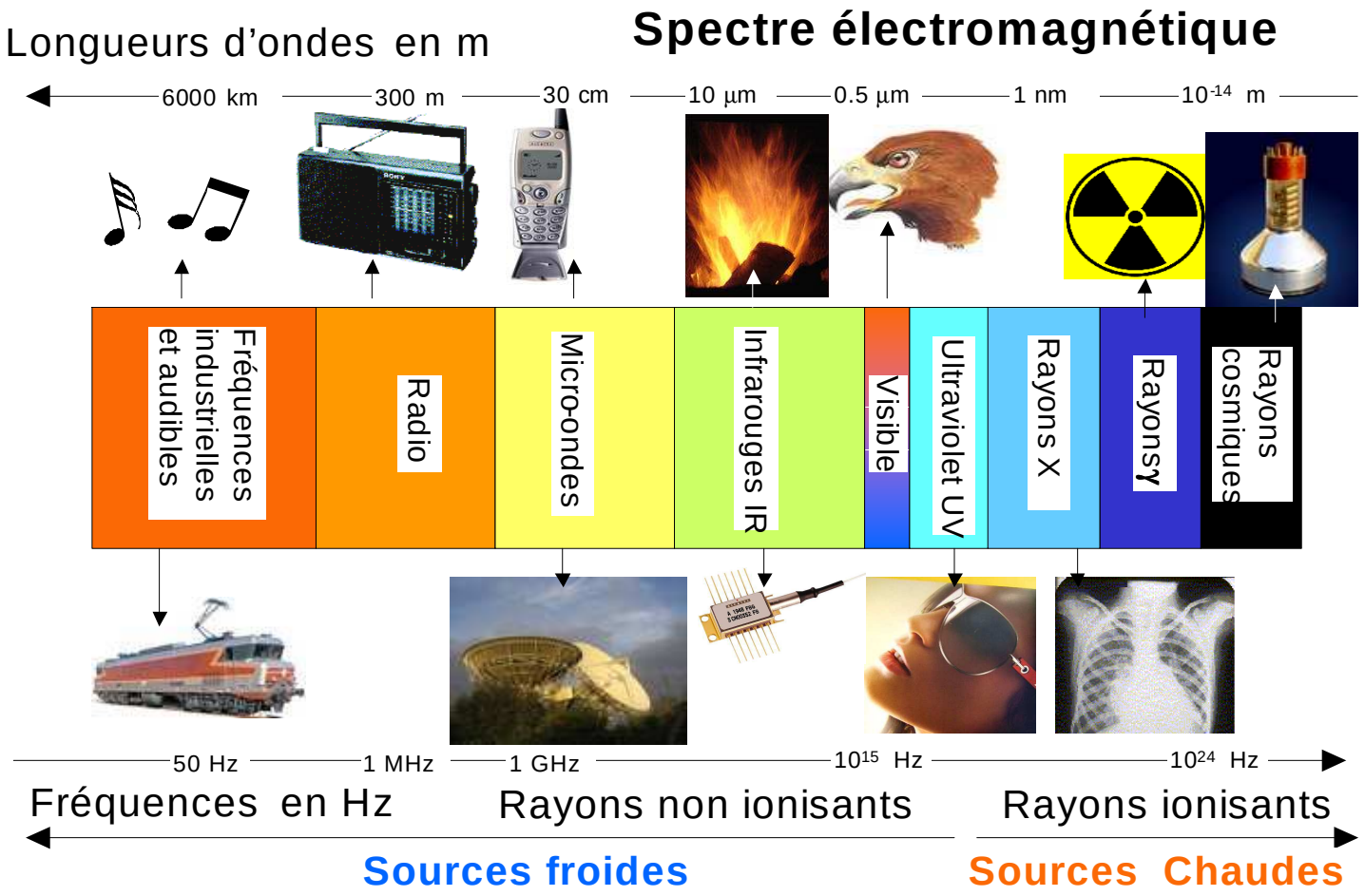
- La radioastronomie est devenue l'un des piliers de l'astronomie moderne.
- Elle a permis de découvrir certains des objets les plus intéressants de l'Univers, comme:
  - le rayonnement fossile micro-ondes (Cosmologic Microwave Background)
  - Les radiogalaxies
  - les pulsars, les quasars
  - La mesure des masses dans l'univers grâce au rayonnement de l'Hydrogène neutre
  - La mesure des distances de certaines galaxies
- Elle a également ouvert la voie à l'étude des différents types de nuages d'hydrogène qui parsèment le milieu interstellaire et où les étoiles naissent.
- Les observations radioastronomiques apportent donc d'importantes contributions à notre connaissance de l'univers et constituent l'unique possibilité d'étudier certains phénomènes cosmiques

Le spectre électromagnétique





Le spectre électromagnétique et ses habitants

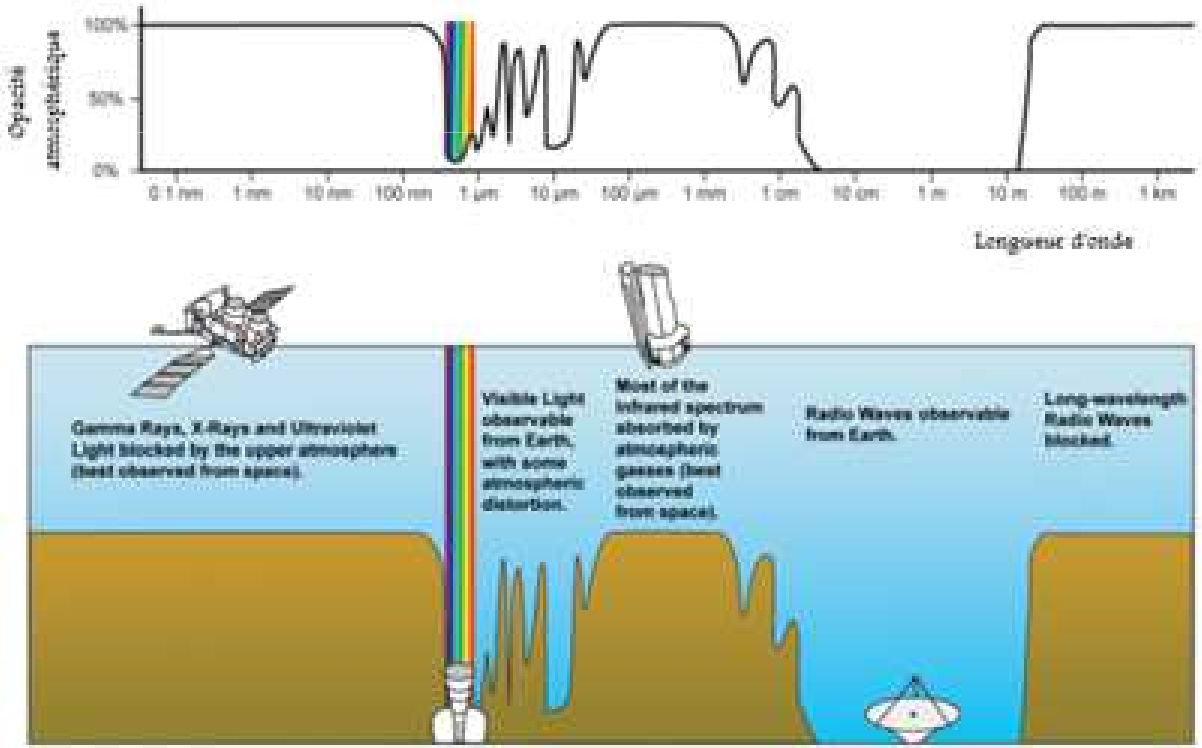


Caractéristiques des émissions

- Le spectre des ondes radio, qui du ciel atteignent la terre, couvre la plage entière des fréquences qui peuvent traverser l'atmosphère terrestre
  - un continuum
  - Des raies spectrales étroites
    - atomes,
    - ions
    - molécules
      - En raison des effets Doppler produits par les déplacements des sources émettrices, l'émission spectrale des raies peut être
        - » décalée en fréquence (typiquement vers le rouge)
        - » élargies en fréquence.

Caractéristiques des émissions

- Transparence de l'atmosphère aux ondes électromagnétiques



Le continuum radio

- Deux types de mécanismes sont principalement à la base du continuum radio :
  - l'émission thermique
  - l'émission non thermique.
- L'émission « thermique » dont l'intensité, est proportionnelle à la température physique, est principalement observée dans des gaz ionisés mais également dans des solides tels que les planètes, notre lune et même notre propre corps.
- L'émission « non thermique » est une caractéristique de la plupart des sources radio (telles que radiogalaxies, quasars, pulsars et résidus de supernovae). Ce rayonnement est généré en majeure partie par des particules de haute énergie en présence d'un champ magnétique.

Emission thermique

- Intensité, proportionnelle à la température physique
  - est principalement observée
    - dans des gaz ionisés
    - dans des solides tels que les planètes, notre Lune
    - notre propre corps.
- Exemple (cf. tableau ci-après)
  - Type de rayonnement
  - Longueur d'onde,
  - Températures des matériaux émissifs
  - exemples de sources de ces radiations thermiques
  - A cette liste, on peut ajouter le bruit de fond cosmologique micro-onde (CMB) qui est le résidu froid (3 K) de la « lumière » dans l'univers primitif quand le rayonnement électromagnétique commençait à se répandre dans l'univers, environ 3.10^5 années après le « Big Bang ».

Emission thermique

Type de radiation	Longueur d'onde (nm)	Température de rayonnement	Sources typiques
Rayons Gamma	Moins de 0.01	plus de 10^8 K	Peu de sources réactions nucléaires
Rayons X	0,01 - 20	10^6 – 10^8 K	Gaz dans les amas de galaxies; restes de supernovae, couronne solaire
Ultraviolet	20 – 400	10^5 – 10^6 K	Restes de supernovae, étoiles très chaudes
Visible	400 – 700	10^3 – 10^5 K	Extérieur d'étoiles
Infrarouge	10^3 – 10^6	10 – 10^3 K	Nuages de poussières et de gaz ; planète, satellites
Radio	plus de 10^6	Moins de 10 K	Nuages froids de poussières et de gaz

Emission non thermique

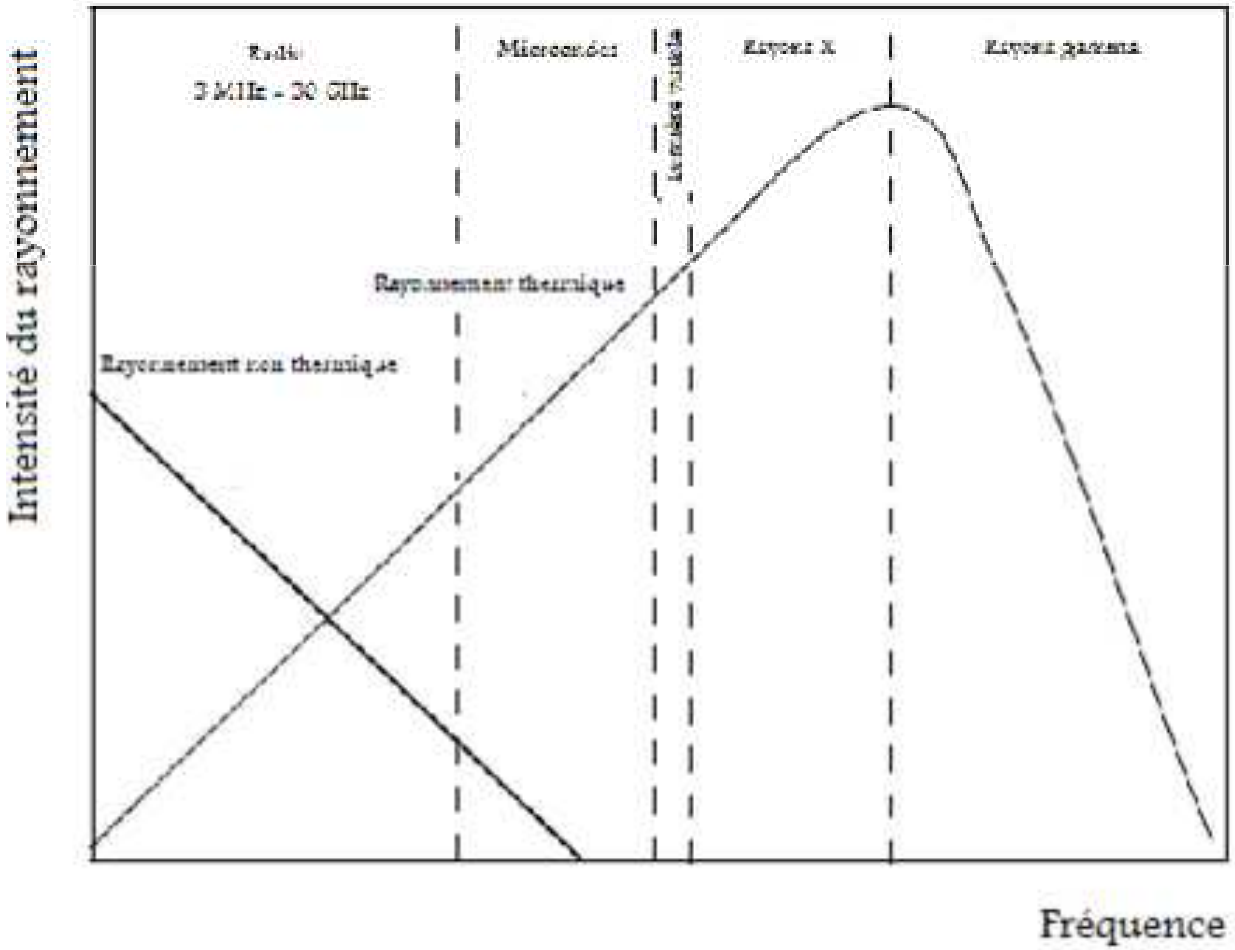
- L'émission « non thermique » est une caractéristique de la plupart des sources radio
  - radiogalaxies,
  - quasars,
  - Pulsars
  - résidus de supernovae
  - ….
- Ce rayonnement est généré en majeure partie par des particules de haute énergie en présence d'un champ magnétique.

Emission non thermique

- Le rayonnement non thermique produit par des électrons relativistes évoluant dans un champ magnétique est appelé émission synchrotron
- L'émission non thermique porte habituellement la signature du champ magnétique dans laquelle elle a été générée
- Autres sources de rayonnement non thermique:
  - mécanismes impliquant des interactions entre électrons tels que les effets Bremsstrahlung et Compton inverse

Emission thermique – non thermique

- Thermique : intensité fonction de la fréquence
- Non thermique: intensité fonction inverse de la fréquence

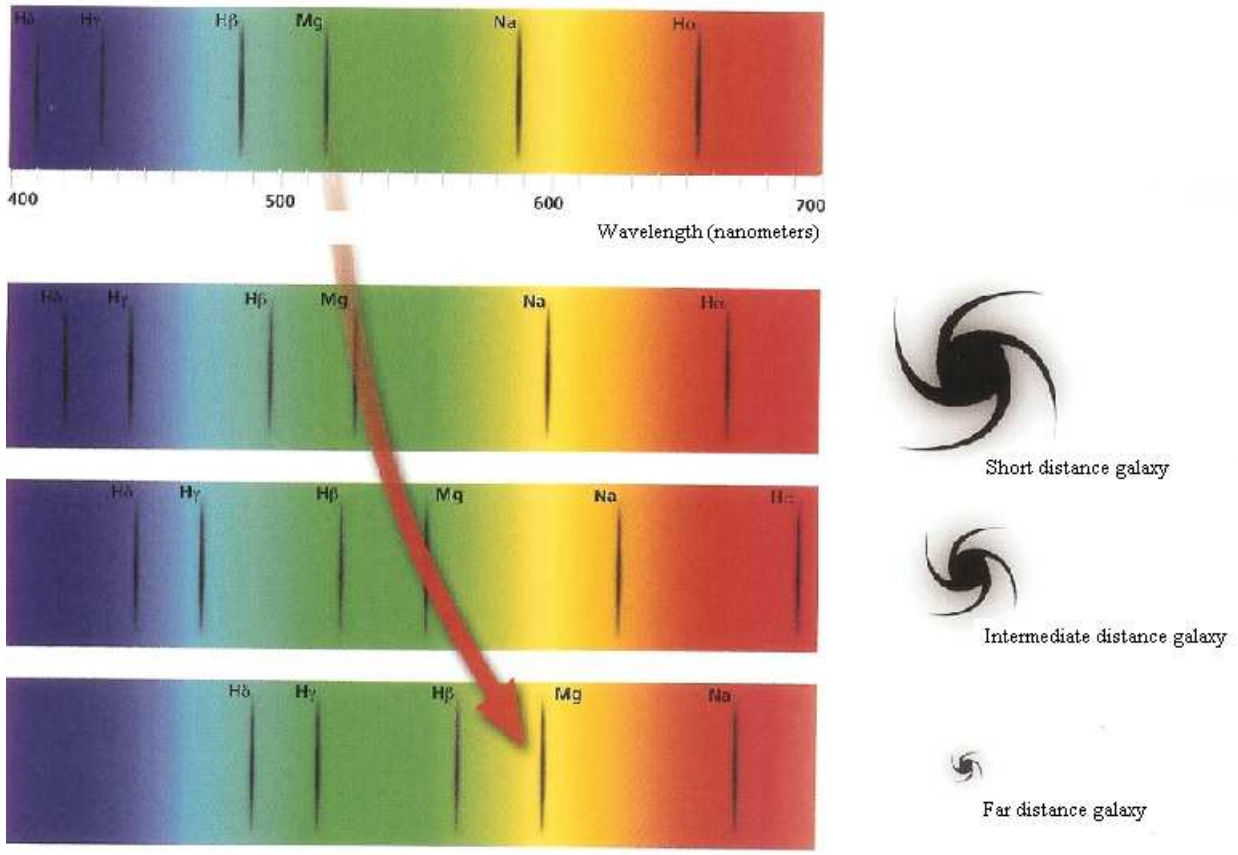


Les raies spectrales

- Les changements d'états d'énergie dans les atomes, ions et molécules de la matière interstellaire produisent des émissions radio à des fréquences discrètes
  - caractérisent ainsi les matériaux qui les génèrent
  - ainsi que leur environnement.
- De plus, lorsque ces nuages sont mobiles ou que leurs matériaux internes sont en mouvement, les fréquences mesurées au sol sont décalées par effet Doppler (redshift).
- Il en résulte que l'observation des émissions des raies spectrales, permet d'analyser
  - la composition du milieu interstellaire,
  - la quantité des matériaux qui le composent,
  - leur chimie
  - leurs mouvements.
- Nombreuses raies émises (plus d'une centaine)
  - La raie « HI » (21 cm): 1420.4057 MHz
  - La raie « OH » (18 cm) : 1612.231 MHz

Le redshift (dérive vers le rouge)

- Absorption des raies spectrales des galaxies

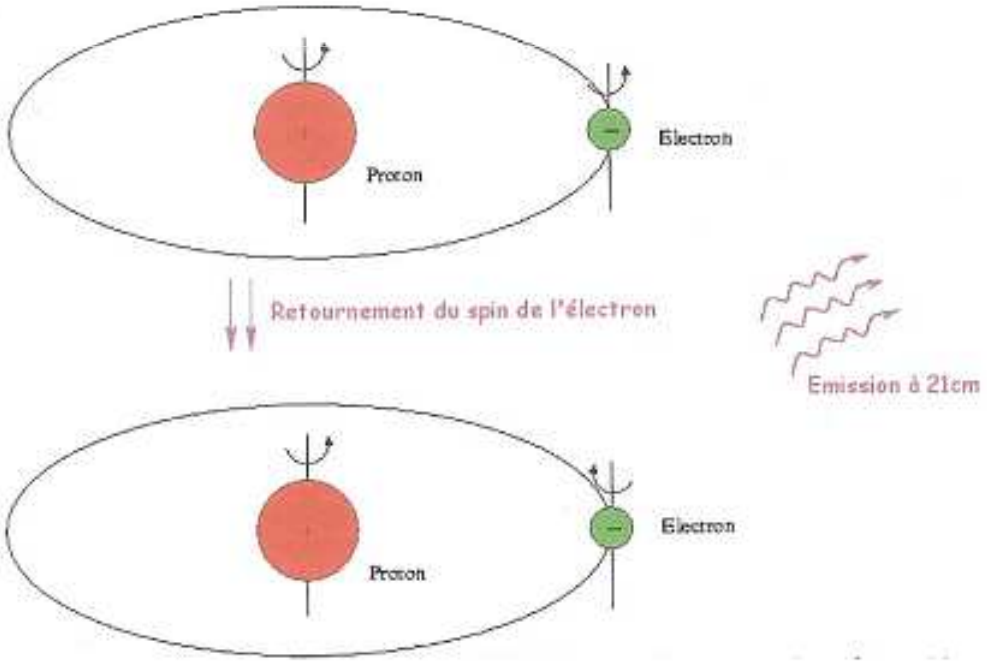


La raie HI (21cm): 1420.4057 MHz

- Dû à la transition de l'énergie de l'atome d'hydrogène lorsque le spin de l'électron bascule dans une direction antiparallèle au spin du proton
- Une des raies spectrales la plus fréquemment étudiée
- Observation dans la bande de fréquence : 1330-1430 MHz (Doppler shift)
  - 1415 MHz : amas de galaxies de la Vierge
  - 1400 MHz : Amas de galaxies de Persée
  - 1388 MHz : amas de Coma (chevelure de Bérénice)
- Etude de la distribution de l'hydrogène neutre dans les galaxies
  - Dynamique
  - Distribution des masses dans les galaxies
  - recherche d'émissions supposées provenir de civilisations extraterrestres (projet SETI).

Illustration de la transition HI (21cm)

- Le spin de l'électron bascule de l'état parallèle à l'état antiparallèle par rapport au spin du proton, la variation d'énergie correspondante est emportée par un photon à 1420,40057 MHz



La raie OH (18 cm)

Observation de la raie du radical hydroxyle OH qui émet au repos à la fréquence de 1612, 241 MHz.

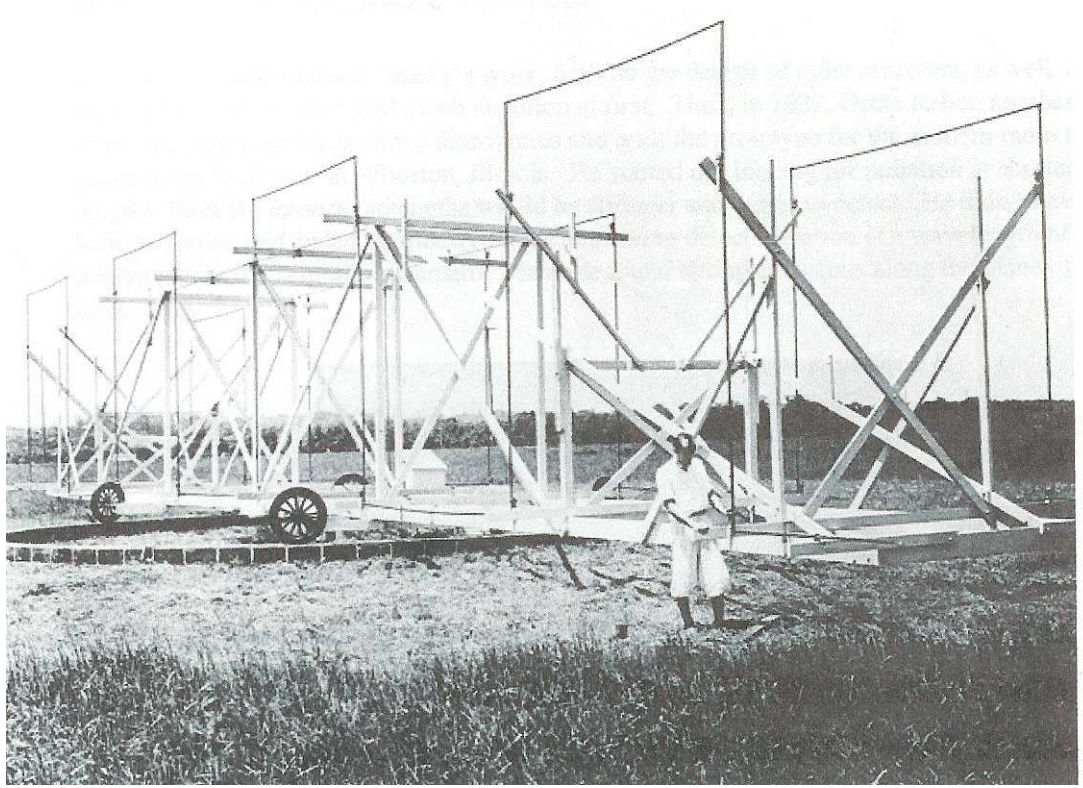
- l'une des quatre transitions hyperfines de l'hydroxyle OH à 18 cm de longueur d'onde qui correspond à la transition entre des modes de rotation du radical hydroxyle (les trois autres fréquences de transition sont voisines de 1665, 1667 et 1720 MHz).
- Le radical OH est abondant et très répandu dans notre Galaxie et dans les galaxies voisines.
- Sous des conditions spéciales une ou plusieurs des raies OH 18 cm sont fortement amplifiées par émission stimulée pour créer des sources maser compactes.
  - Le maser OH 1612 MHz est l'émission caractéristique de sources appelées OH-IR (IR pour infrarouge) qui sont des étoiles à longues périodes de variation perdant rapidement des matériaux et évoluant vers un état de nébuleuses planétaires.
- Les observations de la raie 1612 MHz permettent de mesurer avec précision la vitesse stellaire et la grandeur des distances galactiques
- Quelques valeurs typiques:
  - Le maser OH IRAS 22160+5901 : 2 Jy
  - Les étoiles OH-IR les plus intenses: 300 Jy

Karl Jansky

- Physicien et ingénieur américain (1905-1950)
- Découvert les ondes radio d'origine galactique en 1930, marquant ainsi la naissance de la radioastronomie
- Aux Bell'Lab
  - étude la possibilité d'utiliser les ondes HF pour le service radiotéléphonique transatlantique
  - chargé d'étudier les sources parasites pouvant interférer avec ces transmissions vocales par radio.
  - construit une antenne conçue pour capter les ondes radio à une fréquence de 20,5 MHz (environ 14,5 mètres de longueur d'onde). L'antenne est installée sur un plateau tournant,
    - le « manège de Jansky ».
    - en tournant l'antenne, on trouve la direction des signaux radios.

Karl Jansky

– Le manège de Jansky



Karl Jansky

- Enregistre des signaux dans toutes les directions pendant plusieurs mois
- Identifie trois types de parasites :
  - les orages voisins,
  - les orages éloignés,
  - et un sifflement faible mais régulier d'origine inconnue.
- Etudie ce troisième type de parasites.
  - Les signaux apparaissent et disparaissent une fois par jour.
  - Jansky croit d'abord avoir capté des signaux provenant du soleil.
  - Mais en suivant le signal pendant quelques mois, il s'aperçoit que l'origine du signal s'éloigne de la position du soleil.
  - Il remarque alors que le signal ne se répétait pas toutes les 24 heures, mais toutes les 23 heures et 56 minutes.
  - C'est la période caractéristique des étoiles fixes et d'autres objets éloignés du système solaire : la durée d'un jour sidéral.

Karl Jansky

- Il établit que ce signal provenait de la Voie lactée
  - Avec un maximum dans la direction de son centre: la constellation du Sagittaire
- La découverte fut rendue publique dans le *New York Times* du 5 mai 1933.
- Jansky voulut continuer sur sa lancée et étudier plus en détail les ondes radio de la Voie lactée.
- Il proposa aux laboratoires Bell de construire une antenne parabolique de 30 mètres de diamètre.
- Mais les laboratoires Bell avaient la réponse à leur question :
  - les parasites n'étaient pas un problème pour la communication transatlantique par radio
- Assigné à un autre projet
- Ne fit plus de radioastronomie.

- En reconnaissance
  - Jansky (Jy): unité de mesure
  - Jansky : nom donné à un cratère de la lune (08.5 °N - 89.5 °E)
  - Jansky : astéroïde n°1932

Le Jansky (Jy)

- Unité de mesure de l'intensité (la densité de flux), des signaux radio d'origine galactique ou extragalactique.
  - **1 jansky = 10^{-26} W.m^{-2}.Hz^{-1}**.
- Unité approuvé par l'UAI (Union Astronomique Internationale)
- Unité largement répandu parmi les radioastronomes.
- N'est pas une unité du SI (MKSA)
- Exemples de sources radio ..

Exemple de source radio

- F**lux radio du Soleil** : 50 000 Jy
- Flux à 200 MHz
    - Taureau 1400 Jy
    - Hydre 340 Jy
    - Vierge 1015 Jy
    - Cygne 10000 Jy
    - Cassiopée 13100 Jy
- Le flux radio **varie** en fonction de la **fréquence**
- Flux à 38 MHz 178 MHz 408 MHz 710 MHz 958 MHz 3200 MHz
  Cygne 22000 Jy 8700 Jy 4700 Jy 2800 Jy 2100 Jy 600 Jy
- Les radiotélescopes professionnels sont capables d'observer des sources très faibles comme les pulsars.
- Pulsars : Crabe période 0.0331 s 480 mJy à 400 MHz
  Vela période 0.0892 s 2800 mJy à 400 MHz

Grote Reber (1911-2002)

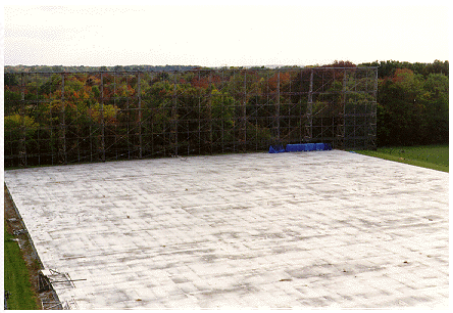
- Pionnier de la radioastronomie
- Construisit seul (à ses propres frais) un radiotélescope dans son arrière-cour en 1937, pour explorer l'espace dans le domaine radio, en amateur n'ayant pas réussi à se faire engager dans l'équipe de Jansky
- Il répète les expériences de Karl Jansky
- Fit le premier un aperçu systématique du ciel par ondes radio.
- Il fut pratiquement le seul à faire de la radioastronomie pendant 10 ans.

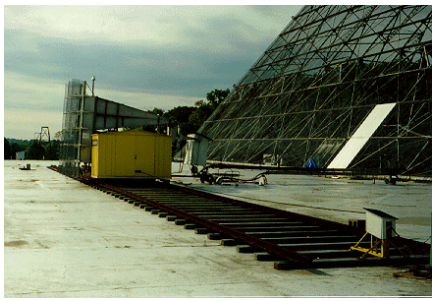
Grote Reber (1911-2002) (suite)

- Le premier récepteur est calé sur 3 300 Mhz et échoue à détecter des signaux provenant de l'espace profond
- Le second opérant à 900 Mhz: échec à nouveau
- La troisième tentative est un succès en 1938 sur une bande de réception calé à 160 Mhz
- Il confirme les observations de Jansky en détectant un signal provenant de la direction de la Voie lactée.
- Il se tourne ensuite vers un relevé radio du ciel, ses observations sont complétées en 1941 puis étendues en 1943.
- Il publie une quantité de travail considérable durant cette époque et est un des initiateurs de l'*explosion* de la radioastronomie
- Il meurt en Tasmanie en 2002, ses cendres sont distribuées à 24 grands observatoires dans le monde
- Honneur et récompenses:
  - **Médaille Bruce (1962), Jackson-Gwilt (1983)**
  - **Astéroïde n° 6886**

John Kraus (1910-2004)

- Physicien américain
- Nombreuses contributions en électromagnétisme, radioastronomie et en théorie des antennes
- Nombreuses inventions
  - antenne hélicoïdale
  - cornet réflecteur
  - autres types
- Fonda le premier radio-observatoire à l'université de l'État de l'Ohio (ancêtre du radio télescope de Nançay)
  - Observatoire détruit en 1998 (golf, zone résidentielle)
- Ecrivit un manuel de radioastronomie qui est toujours la « bible » des radioastronomes.





Ewen et Purcell

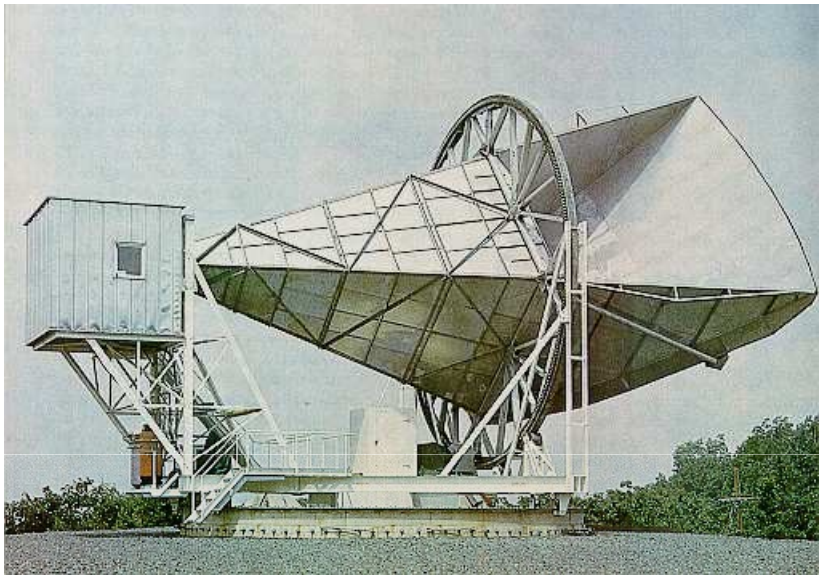
- Le 25 mars 1951, Ewen et Purcell détectèrent la raie 21 cm de l'hydrogène neutre dans la voie lactée avec une antenne cornet.
- immédiatement confirmée par Muller et Oort.
- Une nouvelle fenêtre s'ouvre sur l'Univers.
- cette émission hertzienne est devenue l'un des plus importants instruments de recherche en astronomie.
- En cartographiant la puissance de ce signal, on a établi la distribution de l'hydrogène dans la galaxie et au-delà.
- Sa longueur d'onde apparente, qui augmente quand l'hydrogène s'éloigne et diminue quand il se rapproche de nous, nous renseigne même sur la direction dans laquelle cet élément se déplace.
- Un radiotélescope nous montre ces nuages de gaz et ces observations nous renseignent sur le fonctionnement de la galaxie

Penzias et Wilson

- **1965**: Penzias et Wilson découvrent le rayonnement de fond cosmologique, dont l'existence avait été prédite par George Gamow en 1948 et par Ralph Alpher et Robert Herman en 1950.
  - bruit irréductible dans leurs mesures de signaux radio
  - Le fond diffus cosmologique apparaît comme un corps noir parfait
  - Sa température est égale à 2,728±0,002 K,
  - Le maximum d'énergie est rayonné à une fréquence proche de 160 GHz (longueur d'onde légèrement inférieure à 2 mm, domaine des micro-ondes).
- Reçoivent chacun 1/4 du prix Nobel de physique 1978 pour leur découverte.
- De leur côté, Dicke et Peebles s'entourent au même moment de Roll et Wilkinson pour construire une antenne qui détecterait un rayonnement de fond radio...
- La même année, Peebles met en évidence le lien entre ce rayonnement de fond et la formation des structures cosmiques.

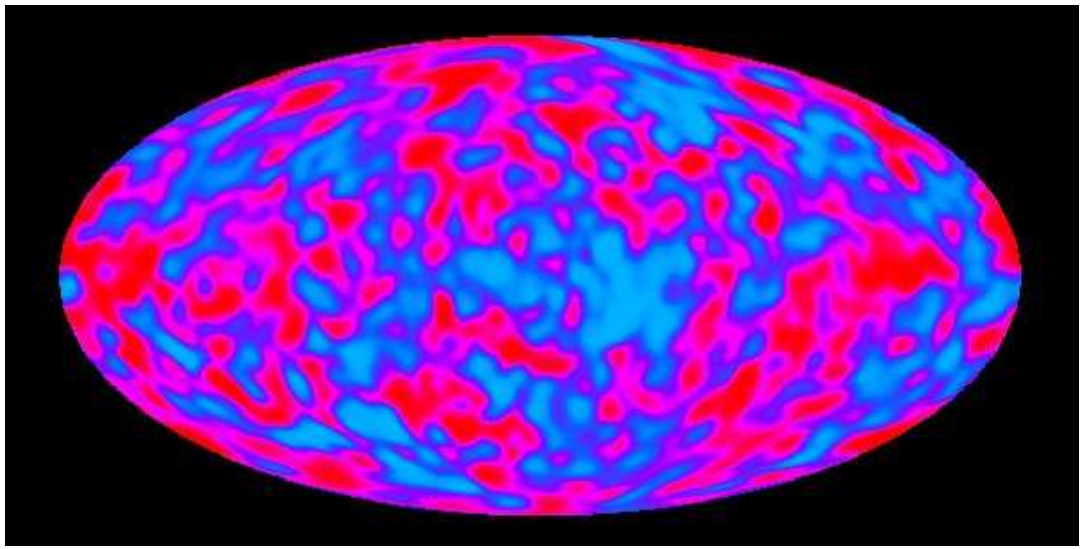
P.J.E. Peebles

- Rayonnement du fond cosmologique
  - L'antenne qui a permis la découverte du rayonnement de fond cosmologique en 1965
  - Peebles, l'homme qui a compris...



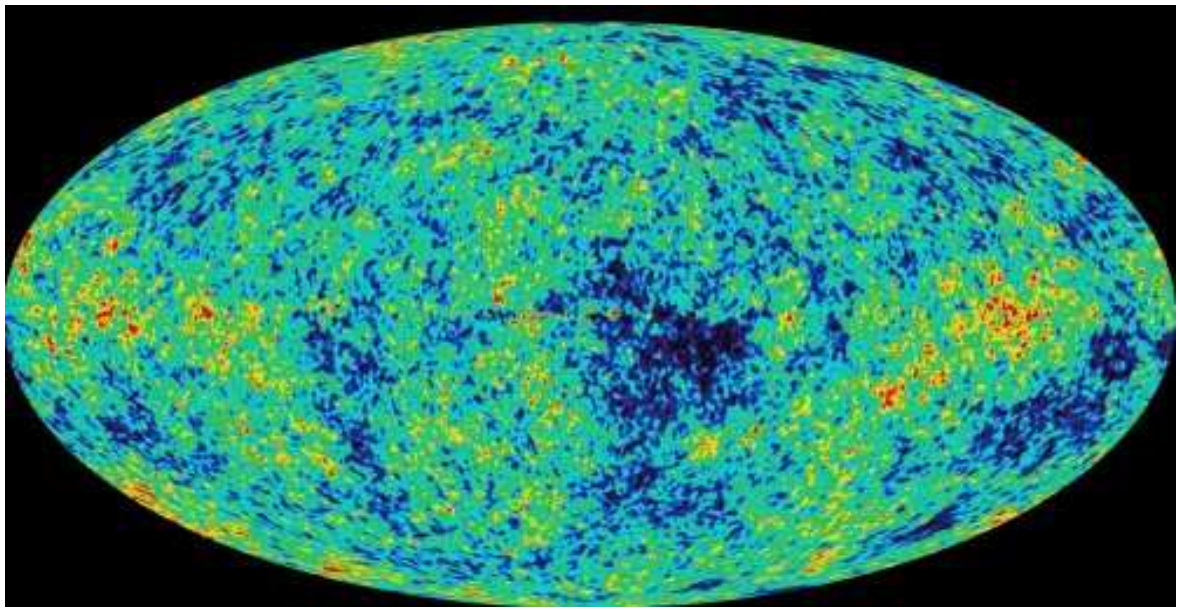
Rayonnement de fond cosmologique

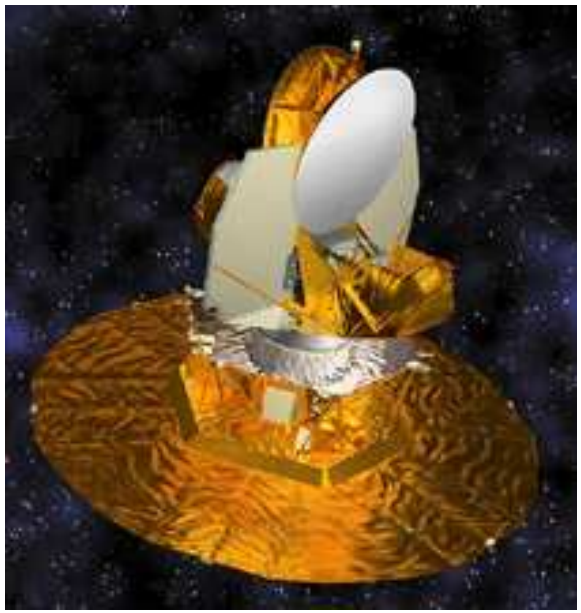
- 1992 : Découverte des anisotropies angulaires du rayonnement de fond cosmologique grâce à l'instrument DMR sur le satellite COBE.
- carte des anisotropies du CMB vues par COBE



Rayonnement du fond cosmologique

- 2003 : Publication de l'expérience WMAP :
  - la distribution plus fine des anisotropies du rayonnement de fond cosmologique





Jocelyn Bell Burnell

- En 1967, **Jocelyn Bell Burnell,** astrophysicienne britannique détecta le premier **pulsar**
- Son chef: Antony Hewish (avec son collègue Martin Ryle) empocha le Prix Nobel en 1974)

Radioastronomie amateur

- La **radioastronomie amateur** est la pratique de la radioastronomie par des astronomes non professionnels et des radioamateurs.
- Il y a environ 50 000 astronomes amateurs en France, mais moins de 300 radioastronomes amateurs.
- Les radioastronomes amateurs écoutent principalement les signaux radiofréquences du Soleil
  - sur 20/30 MHz (HF),
  - 140/150/160 MHz (VHF),
  - 430/650 MHz (UHF),
  - 10/12 GHz (SHF).
- Certains radioastronomes amateurs écoutent et visualisent aussi
  - les échos météoriques (technique du radar bistatique) sur 50 MHz (VHF) notamment,
  - les sursauts RF (bursts) de Jupiter sur 20/21 Mhz (HF),
  - ou bien participent à la recherche SETI (recherche de signaux extra-terrestres) en veillant la fréquence de l'hydrogène neutre vers 1420 MHz (UHF).

Radioastronomie amateur

- A la différence des professionnels qui utilisent des grandes antennes (parabole de plus de 10 mètres de diamètre, …), les radioastronomes amateurs utilisent:
  - des antennes dipôles (pour les météores et pour Jupiter),
  - des antennes Yagi (pour le Soleil, les météores, la Voie Lactée),
  - des petites paraboles de 80 cm (pour le Soleil)
  - des paraboles de 3 à 5 mètres (pour SETI).
- Le récepteur radio, cœur du radiotélescope, est souvent du type de ceux utilisés par les radioamateurs ou par certains professionnels. Ces récepteurs très sensibles couvrent une large gamme de fréquences (quelques dizaines de Hz à quelques GHz), et permettent de décoder différents types de signaux (CW, SSB, AM, FM) avec une bande passante ajustable.
- Les marques AOR, ICOM, KENWOOD, YAESU, …, entre autres, proposent de tels équipements généralistes.
- Certains radioastronomes amateurs préfèrent réaliser leur propre récepteur, dédié à un type d'observation, ce qui accroît le plaisir de l'expérimentation".
- Quelques sites de radioastronomes amateurs
  - http://eracnet.org/
  - http://radio-astronomy.org/

Les radiotélescopes

- Télescope spécifique utilisé en radioastronomie pour capter les ondes radioélectriques émises par les astres, les formations stellaires, …
- Formés de surfaces collectrices, constituées de grillages métalliques (maillage plus petit que la longueur d'onde captée)
- Taille fonction de la fréquence de l'onde captée.

Les radiotélescopes

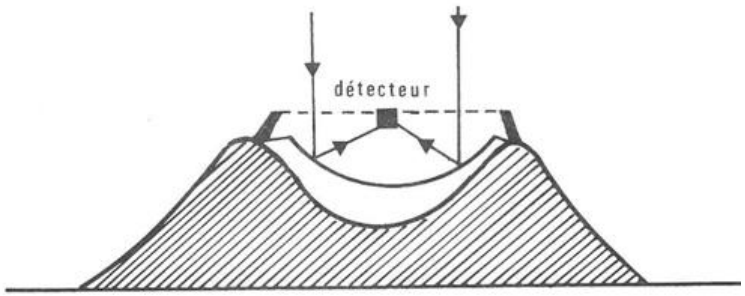
- Les plus grands radiotélescopes fixes du monde
  - Arecibo (Porto Rico): antenne parabolique de 305 m de diamètre
  - Green Bank Télescope (GBT) (USA) : 100 m
  - Effelsberg (Allemagne): 100 m
  - Jodrell Bank (Royaume Uni): 76 m
  - Nançay (France)
  - Fast (en projet en chine, ouverture en 2013): 500 m de diamètre
- Caractéristiques
  - Diamètre compris entre 50 et 100 m
  - Résolution atteint environ 1 minute d'arc, soit sensiblement celle de l'œil humain aux longueurs d'onde visibles.
- Réseau d'antennes (meilleures résolutions)
  - Very Large Array
  - Allen Telescope Array

Le réseau Européen

ARECIBO

- **Réflecteur construit à même le sol dans un cratère creusé par une météorite**
  - **Antenne sphérique de 305 mètres de diamètre**
  - **Constituée de 38 778 panneaux Al**
  - **Surface de collecte : 73 000 m² environ**
- **Plateforme suspendue à 137 m au dessus du sol (900 tonnes)**
  - **Antennes montées sur un bras tournant (visées de différentes parties du ciel)**
    - **Grégorienne (structure de 75 tonnes) utilise un système à 2 réflecteurs (protégés par un dôme d'Al) pour concentrer les radiations entrantes en 1 seul point (sensibilité * 20)**
    - **430 MHz**
      - **Pointe vers le bas**
      - **30 m de long**

- **Tours maintenant les câbles qui supportent la plateforme**
  - **3 tours**
  - **La plus haute (106 m)**



ARECIBO

- Découvertes importantes:
  - Le 7 avril 1964, peu après son inauguration, l'équipe de Gordon H. Pettengill l'a utilisé pour déterminer que la période de rotation de la planète Mercure n'était pas de 88 jours, comme ce qui était pensé, mais de seulement 59 jours.
  - En août 1989, l'observatoire a fait une image radar d'un astéroïde pour la première fois dans l'histoire : l'astéroïde (4769) Castalia.
  - L'année suivante, l'astronome polonais Aleksander Wolszczan a fait la découverte du pulsar PSR B1257+12, qui l'amènera plus tard à découvrir ses deux planètes en orbite. Elles furent les premières planètes extrasolaires jamais découvertes
  - Source principale de données pour le projet SETI

Green Bank

- Le plus grand radiotélescope orientable (GBT)
- Surface collectrice de 7 854 m²
- Composée de 2 004 panneaux élémentaires ajustés activement par 2 209 actionneurs indépendants.
- Au foyer primaire de l'antenne se trouve un cornet d'alimentation rétractable, et derrière lui se tient le réflecteur secondaire de 8 m constituant ainsi une monture grégorienne.
- Au foyer secondaire (grégorien) se trouve huit cornets de plus grande précision, montés sur une tourelle rotative.
- Les fréquences exploitées vont de 290 MHz à 49,8 GHz

Green Bank

- Découvertes notables
  - En 2002, le GBT découvrit trois pulsars milliseconde insoupçonnés dans l'amas globulaire M62 pourtant largement étudié
  - En 2006, il découvrit
    - Un des pulsars les plus rapides jamais observés :
      - PSR J1748-2446ad tournant à 716 tours/seconde,
    - la superbulle d'Ophiuchus qui s'échappe de la voie lactée à 23 000 al du Soleil
    - un champ magnétique hélicoïdal dans le nuage moléculaire de la nébuleuse d'Orion

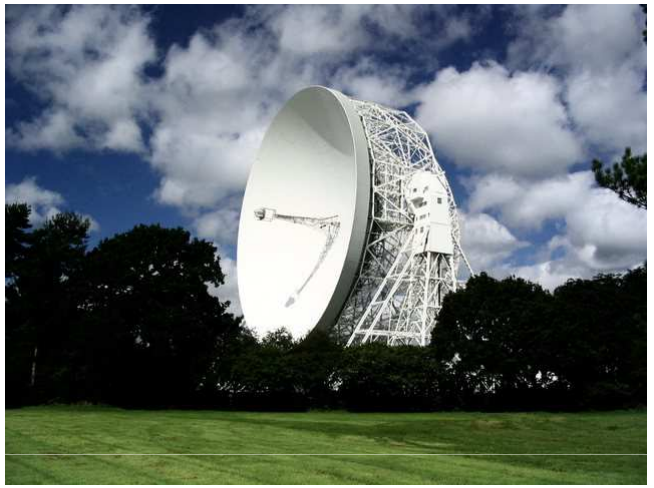
Effelsberg

- Le miroir de la parabole a pour fonction de concentrer les rayonnements incidents en provenance de l'espace dans un foyer, appelé foyer primaire (100 m de diamètre).
- Le foyer se situe à 30 m de hauteur au-dessus de la surface du miroir.
- Avec un miroir de déviation aux environs du foyer, le rayonnement radio est réfléchi vers un deuxième foyer (foyer secondaire) au centre du miroir.
- Des cabines dotées de systèmes de détection peu bruités se trouvent aux deux foyers .
- Il peut observer le spectre électromagnétique dans des domaines de longueur d'onde allant de 0.7 à 90 cm.

Effelsberg

- A joué un rôle important dans la découverte des masers à eau
  - Ex: galaxie M33
- A permis l'étude des propriétés des trous noirs dans les galaxies proches

Jodrell Bank



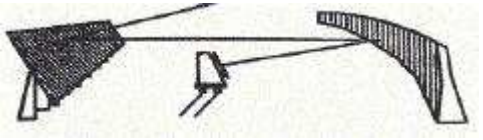
- Jodrell Bank
  - Jodrell est le nom du propriétaire terrien à l'époque
  - *bank* désigne une rive en anglais.
  - 76 m de diamètre
  - 3^{ième} plus grand radiotélescope orientable

Jodrell Bank

- Cet observatoire a joué un rôle important dans la recherche des quasars et des pulsars.

- En 1979, des scientifiques travaillant à Jodrell Bank ont annoncé avoir détecté pour la première fois une lentille gravitationnelle, confirmant ainsi la théorie de la relativité générale d'Einstein.

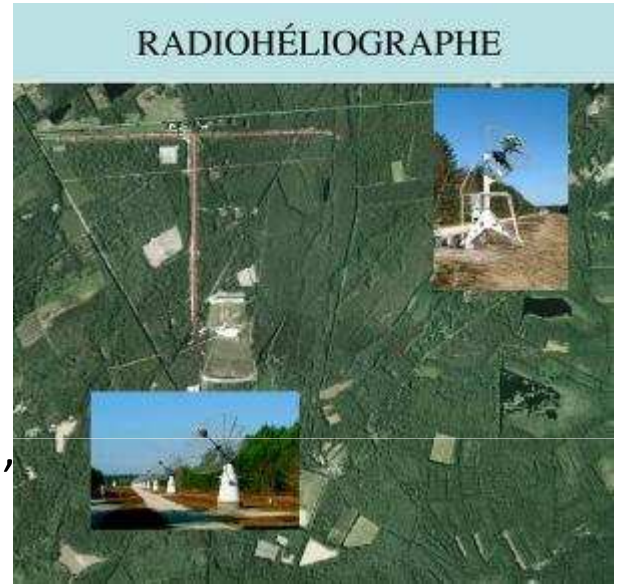
Nançay

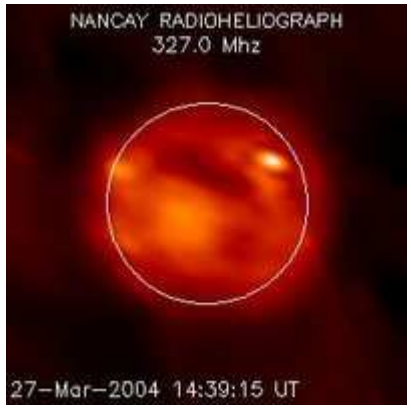


- un grand collecteur plan recueille les ondes radio, qui se réfléchissent vers un second miroir sphérique.
- Après réflexion sur ce deuxième miroir, les ondes convergent vers un collecteur, disposé sur un chariot qui se déplace en fonction de la trajectoire de la source dans l'espace.

Le radiohéliographe

- Observation de la structure et de l'activité de la couronne solaire
  - Constitué de deux réseaux d'antennes perpendiculaires,
    - Le premier réseau, orienté est-ouest, comprend 16 antennes de 3 m de diamètre auxquelles s'ajoutent deux antennes de 10 m, le tout aligné sur 3200 m.
    - Le second réseau, orienté nord-sud, comprend 24 antennes de 5 m de diamètre sur une base de 1250 m de longueur.
  - Le but de ces observations est de parvenir à prévoir l'intensité de l'activité solaire.
  - Exemple: le soleil à 327 MHz





Le réseau décamétrique de Nançay

- Le RDN est dédié à l'étude des environnements magnétisés et ionisés des planètes (principalement Jupiter), du Soleil et des étoiles.
  - Ces milieux sont des plasmas où sont produits,
    - outre les émissions radio basses fréquences (longueurs d'ondes décamètriques),
    - des rayonnements radio très basses fréquences (jusqu'au kilométrique)
    - et des rayonnements ultraviolets (aurores planétaires).
- Constitué de 144 antennes en forme de cônes qui permettent de mesurer les polarisations circulaires droites et gauches du rayonnement
  - Observations
    - Soleil (10-100 MHz)
    - Jupiter
- Les observations radio révèlent des phénomènes variables (jusqu‘à des échelles de temps très inférieures a la seconde: sursauts "millisecondes" de Jupiter, éruptions solaires et stellaires)
- Etude de la dynamique de ces environnements.

FAST

- La chine a décidé de lancer la construction d'un radiotélescope de 500 mètres de diamètre,
  - le radiotélescope FAST (pour Five hundred meters Aperture Spherical Telescope).
  - Avec une superficie équivalant à celle de trente terrains de football, il dépassera le radiotélescope d'Arecibo, à Porto Rico, le plus grand du monde actuellement.
  - Comme lui, FAST sera construit dans une cuvette naturelle ; il devrait être opérationnel en 2014.
  - Destiné à assurer les communications avec les futures missions spatiales chinoises, ce radiotélescope sera aussi utilisé pour étudier les sources radio de l'Univers, et pourra servir à la recherche d'éventuels signaux artificiels émis par d'autres civilisations.

Very large Array

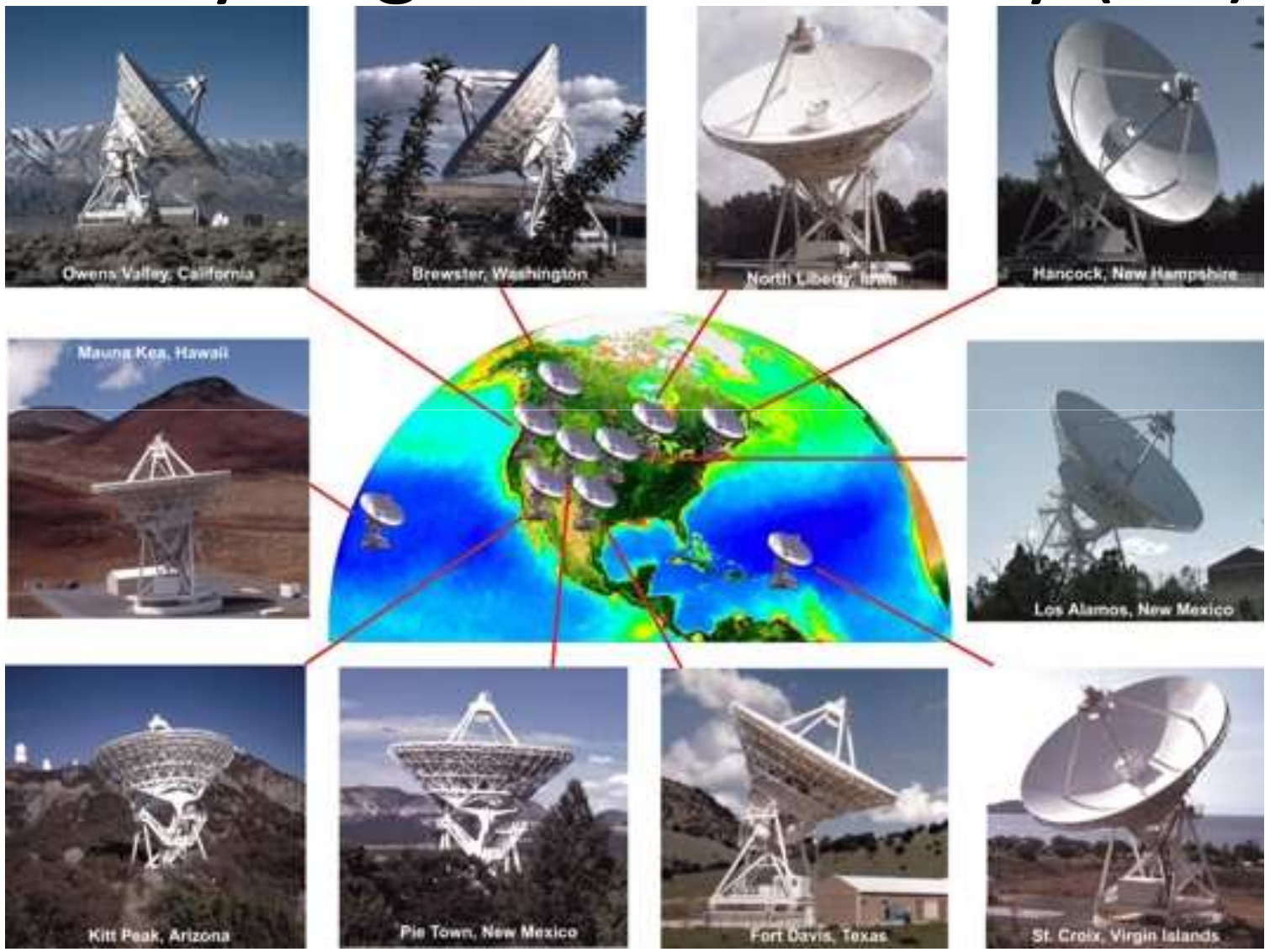
- Le **Very Large Array**, ou VLA, est situé dans la plaine de San Augustin, à proximité de Socorro, au Nouveau-Mexique(États-Unis).

  Radiotélescope formé d'un réseau de 27 antennes paraboliques orientables identiques
  - de 25 m de diamètre chacune,
  - mobiles sur des voies de chemin de fer disposées selon un tracé formant un immense Y (deux branches de 21 km et un pied de 19 km)
- Les 27 antennes ont chacune leur propre récepteur,
  - les signaux de chaque récepteur étant transmis à un site central où ils sont combinés :
  - l'image haute résolution ainsi obtenue équivaut à celle d'un très grand radiotélescope, dont le diamètre serait égal à la distance maximale séparant les antennes.
  - La résolution angulaire maximale pouvant être atteinte est d'environ 0,05 seconde d'arc.

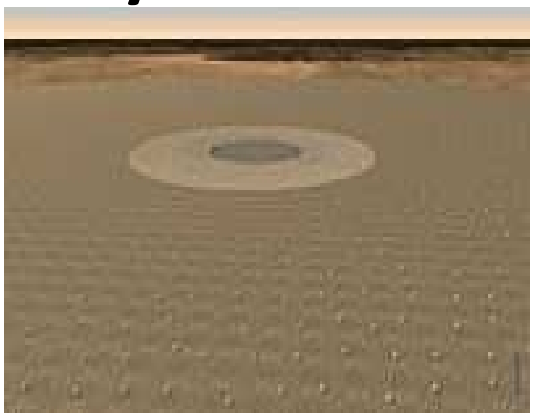
Very large Baseline Array

- VLBA (Very Large Baseline Array)
  - au lieu de construire des paraboles relativement proches les unes des autres on utilise 10 radiotélescopes répartis dans le monde entier.
  - En enregistrant les données recueillies et en les confrontant informatiquement dans un centre de traitement, on obtient un instrument qui fournit une résolution exceptionnelle : un millionième de seconde d'arc !
  - On réalise ainsi un instrument de la taille de la terre.
- L'étape suivante consiste à aller dans l'espace, et à construire des radiotélescopes à l'échelle du système solaire :
  - déjà, certains sites lunaires ont été retenus en vue d'y placer les premiers radiotélescopes extraterrestres.

Very large Baseline Array (US)



Square Kilometre Array



- SKA: Le plus grand projet mondial de radioastronomie
  - Sensibilité 50 fois supérieure à celle des dispositifs existants
  - Surface collectrice : un kilomètre carré comprendra
    - 4 000 antennes paraboles
    - 200 000 mètres carrés de « tuiles » qui sont des petites antennes en réseau phasé,
    - 200 stations seront ainsi réparties sur 3 000 kilomètres.
- Intérêt:
  - Eléments de réponse aux grandes questions que l'on se pose sur l'Univers,
  - Recherche d'exoplanètes de type Terre avec des possibilités de développement de la vie,
  - Tests des théories de la gravitation et la détermination de la nature de l'énergie noire.
- 12 pays impliqués:
  - Australie, le Canada, la France, l'Allemagne, l'Italie, le Portugal, l'Espagne, l'Afrique du Sud, la Suède, les Pays-Bas, l'Angleterre et les Etats-Unis.
- Installation : Afrique du Sud, Australie (décision en 2011)
- Coût:
  - 22 M€
  - Contribution de l'Union européenne : 5,5 M€
- Début des travaux : 2013 (sur 7 ans)
- Site Web: **:** http://www.skatelescope.org/

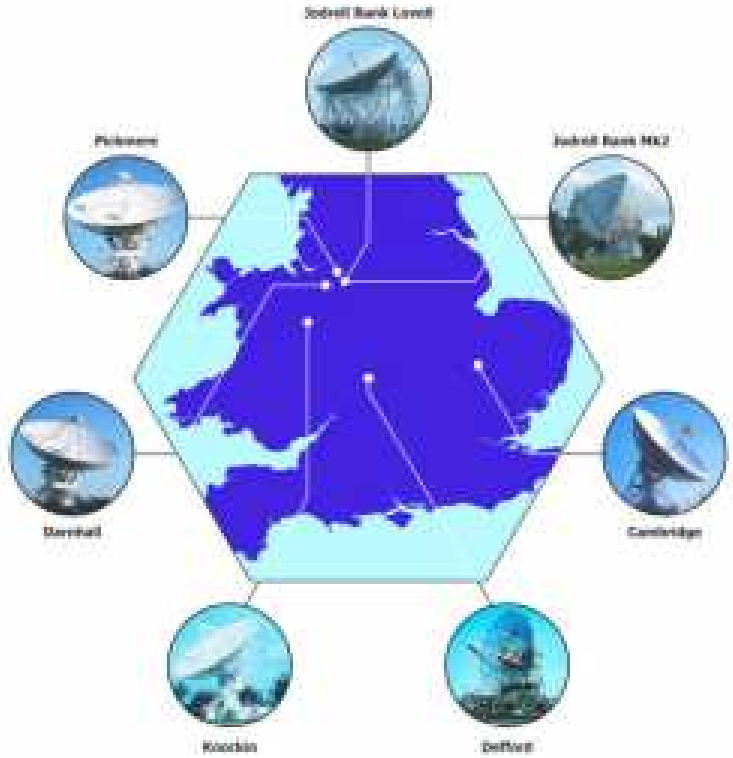
Low Frequency Array (LOFAR)

- Projet international actuellement en construction (2006-2008)
- Grand réseau d'antennes basses fréquences (de <30 à 240 MHz) qui amènera un gain de 1 à 2 ordres de grandeur en sensibilité et en résolution angulaire
- Imagerie multifréquences
- Imagerie multi-faisceaux
  - à grand champ,
  - haute sensibilité et hautes résolutions angulaire, spectrale et temporelle, avec mesure de la polarisation complète,
- Objectifs scientifiques-clés
  - Survey (étude systématique) profond du ciel,
  - l'étude de la ré-ionisation de l'Univers, des sources variables telles que pulsars, jets, étoiles éruptives, planètes et exo-planètes,
  - la détection des rayons cosmiques de très haute énergie,
  - la physique du milieu interplanétaire.
- L'heure est à l'ouverture européenne du projet,
  - notamment via l'extension physique du réseau (adjonction de stations distantes pouvant améliorer d'un ordre de grandeur la résolution angulaire),
  - et l'accroissement du potentiel d'analyse scientifique des données.
  - Pays impliquées :
    - Pays Bas
    - Allemagne
    - Suède
    - Royaume Uni,
    - Italie
    - France,
    - Pologne

ALMA

- **A**tacama **L**arge **M**illimeter/submillimeter **A**rray (radiotélescope mm et sub mm)
  - Radiotélescope en construction au Chili (5100m d'altitude)
    - 64 antennes (12 m de diamètre)
    - Construites par les Etats-Unis, l'Europe et le Japon: opérationnel en 2011
    - Elles pourront être déplacées sur une aire de 10 km de diamètre et fonctionneront en réseau, par interférométrie.
      - 50 d'entres-elles, fournies par les Etats-Unis et l'Europe seront capables de former un seul observatoire,
      - les 16 autres (12 de 7 m et 4 de 12 m), fournies par le Japon fonctionneront indépendamment des 50 antennes européennes et américaines en formant un réseau plus petit.
  - Observation
    - Emission des objets froids de l'Univers T=10 à 15 K
    - Rayonnement cosmologique; T= 2,73 K
  - Fournit des informations pertinentes:
    - étude de la chimie atmosphérique (Terre, planètes),
    - astrochimie (nuages moléculaires, formation des étoiles, étude des galaxies, des comètes)
    - la cosmologie.
  - Radiotélescope à grande sensibilité
    - Etude du système Solaire en se focalisant sur sa poussière
    - Etude des atmosphères des planètes
    - Images des objets à peine résolus aujourd'hui comme Io ou Titan

VLBI



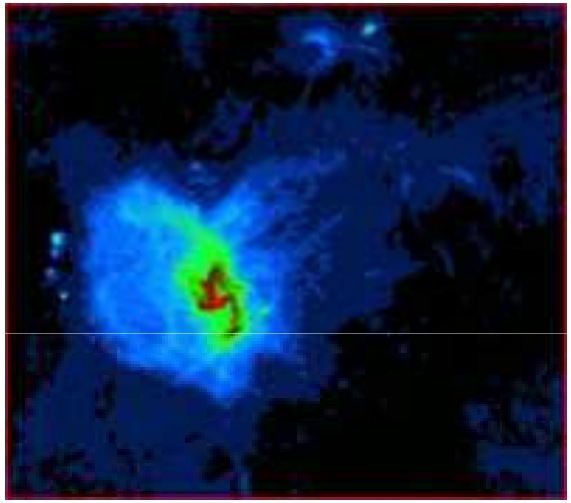
- MERLIN,
  - **M**ulti-**E**lement **R**adio **L**inked **I**nterferometer **N**etwork,
  - Piloté par le Jodrell Bank Observatory
  - Réseau de radiotélescopes en GB
  - Fonctionne entre 151 MHz et 24 GHz.
  - Résolution supérieure à 50 ms d’arc à 5 GHz

ALLEN Telescope Array

- Projet en construction par le SETI
- Interféromètre de 350 antennes de six mètres de diamètre
- La sensibilité équivalente à celle d'une antenne de 114 m de diamètre avec une résolution équivalente à une antenne de 900 m

Que fournit un radiotélescope?

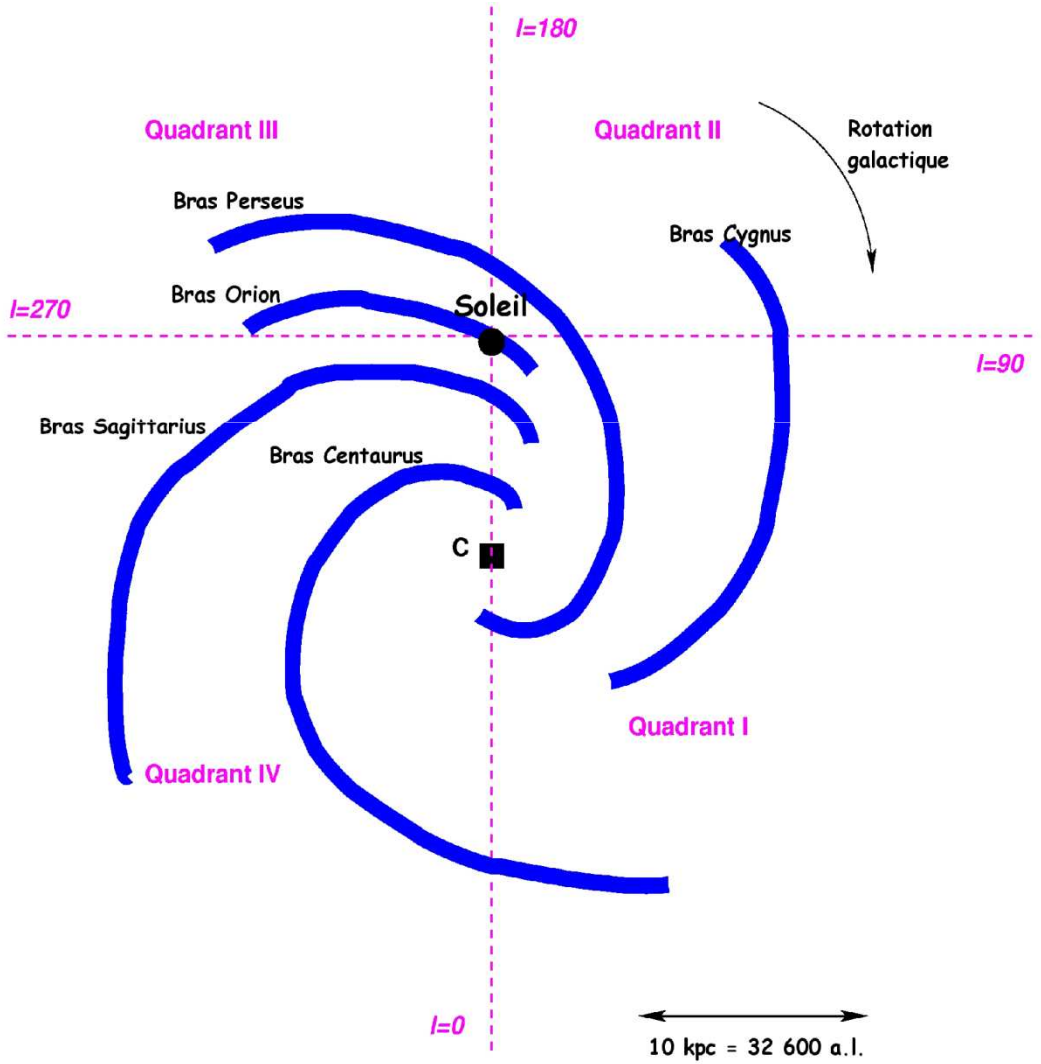
- Un radiotélescope ne donne pas d'image visuelle de ce qu'il observe.
- Il reçoit des signaux électromagnétiques de l'Univers et mesure leur énergie
  - Les champs électromagnétiques collectés y sont très faibles.
  - Ils induisent des courants électriques tout aussi faibles (quelques microvolts) qui sont amplifiés par les récepteurs proprement dits, d'une très haute sensibilité et d'une grande stabilité.
  - Les composantes de la polarisation sont également mesurées



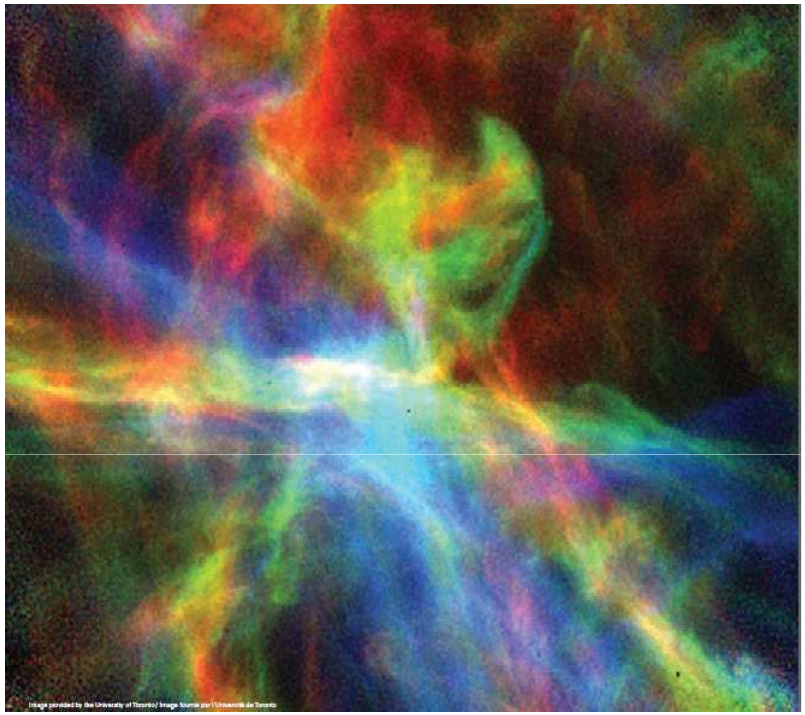
- Le tout est analysé pour construire des cartes célestes.
  - Exemple: La source Sagitarius A au centre de notre galaxie en ondes radio

La galaxie

- *Aperçu de la structure en spirale de la galaxie.*
- *C indique la position du centre de la galaxie.*
- *Les positions approximatives des principaux bras des spirales sont montrées.*
- *Les positions des 4 quadrants sont indiquées.*

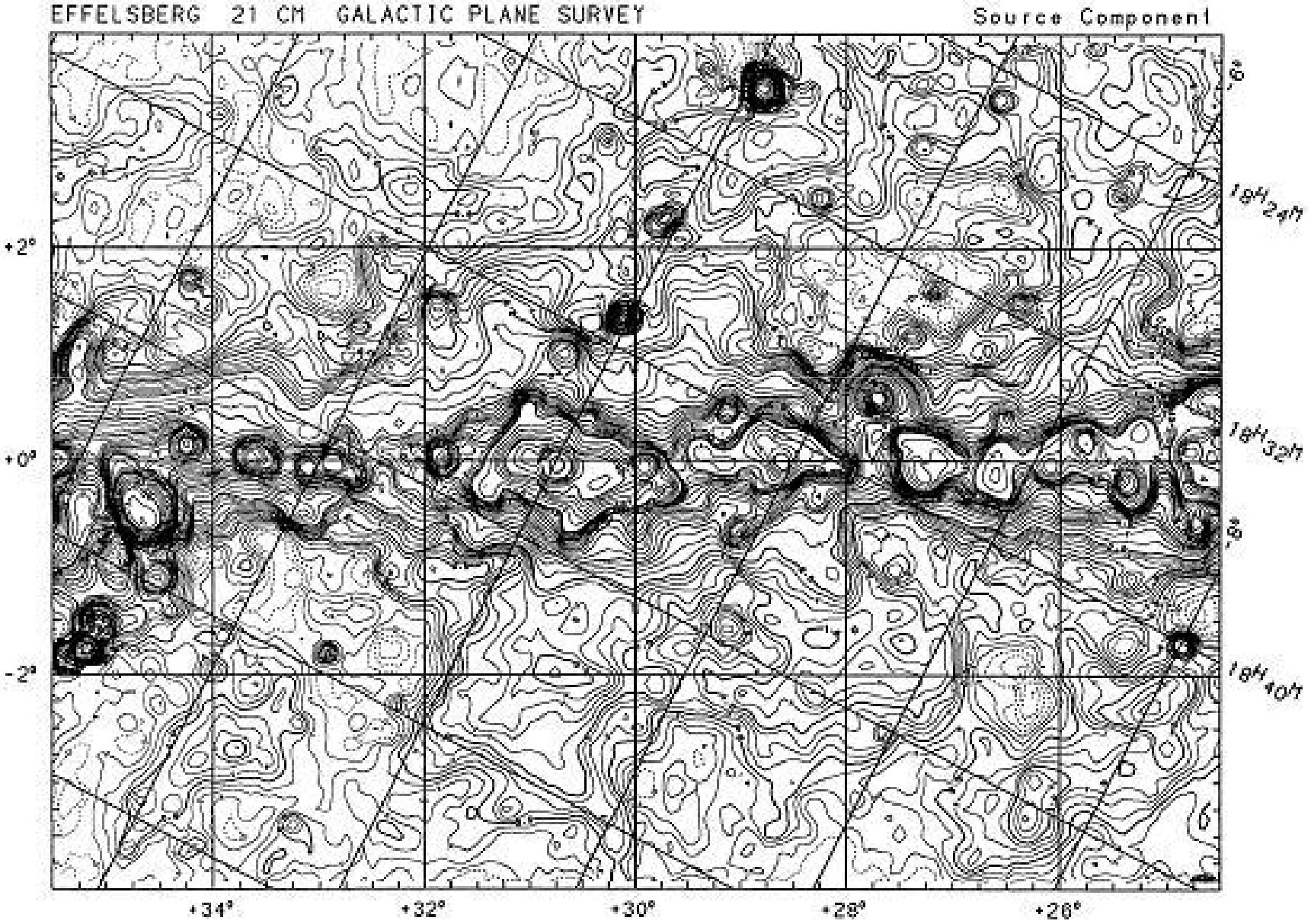


Images du ciel



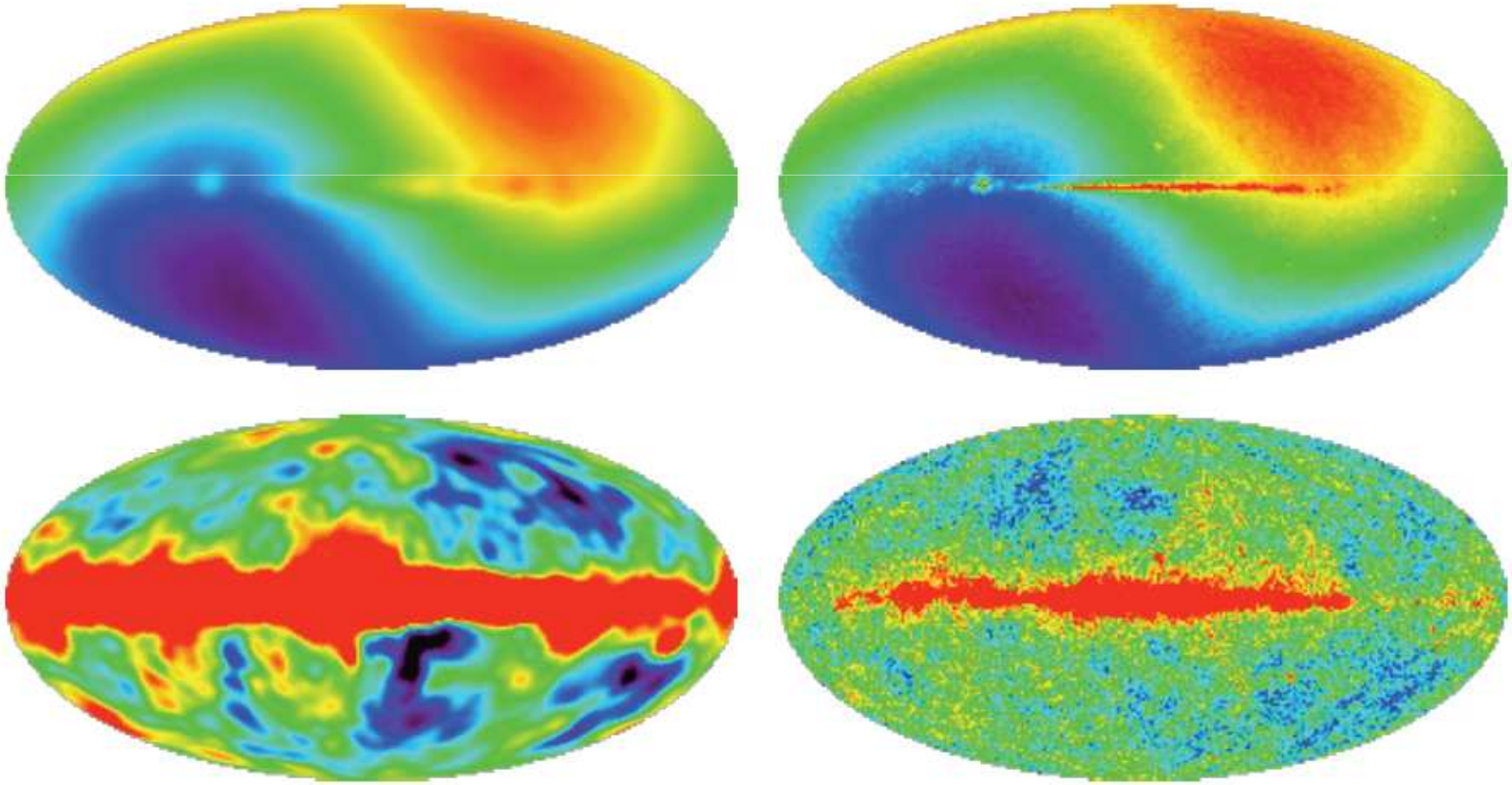
- **Cette image est large de quatre degrés, soit huit fois le diamètre de la Lune.**
- **Formation complexe de gaz d'hydrogène située au sommet d'un immense arc qui s'étend du pôle nord céleste de la Voie lactée à la Grande Ourse**
- **L'hydrogène, invisible pour les télescopes optiques, a été cartographié grâce au télescope à synthèse d'ouverture del'OFR (Observatoire Fédéral de Radioastrophysique, Pentincton, Canada)**
  - **Plusieurs vitesses de récession :**
    - **le gaz s'éloignant à 2,6 km/s est représenté ici en bleu,**
    - **celui à 5,1 km/s en vert**
    - **et celui à 7,6 km/s en rouge.**
  - **La présence de longs filaments et les importants changements de structure observés d'une vitesse à l'autre montrent qu'il s'agit là d'un milieu turbulent animé par des forces magnétiques interstellaires.**

Image de la Galaxie

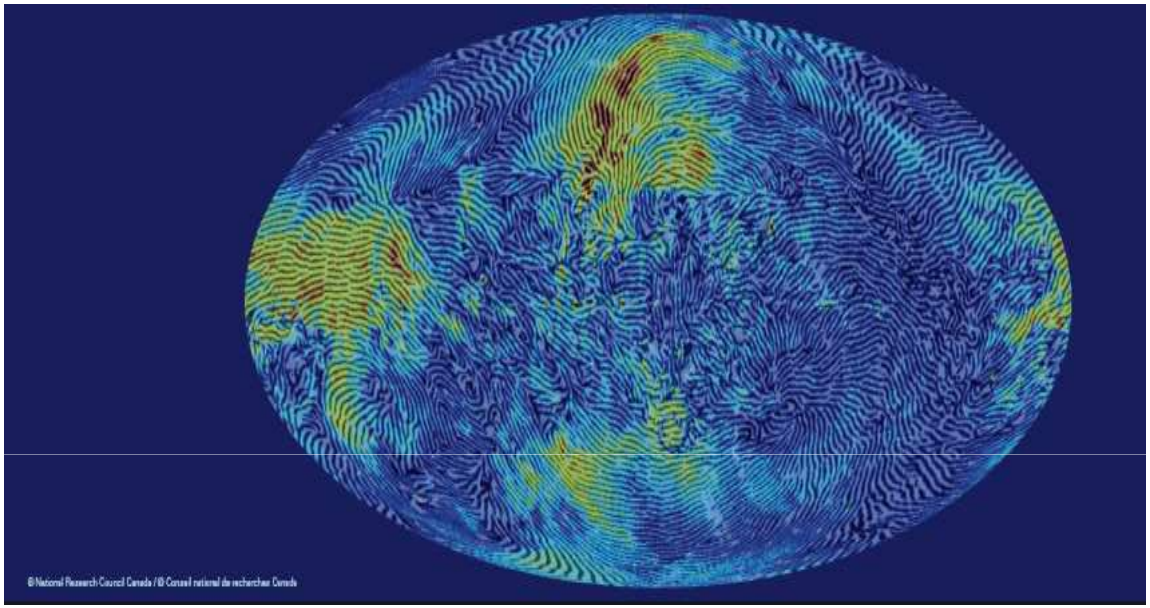


Le CMB (COBE, WMAP)

Inhomogénéités de température



La voie lactée: Le champ magnétique



- **Les aiguilles des boussoles s'orientent vers le Nord sous l'influence du champ magnétique terrestre.**
- **De telles forces magnétiques existent aussi dans l'espace interstellaire.**
- **Bien qu'elles soient un million de fois plus faibles, ces forces jouent un rôle déterminant dans la naissance, la vie et la mort des étoiles.**
- **Cette image met en évidence le signal radio orienté selon les lignes des champs magnétiques interstellaires.**
  - **L'hémisphère nord du ciel a été observée au télescope de 26 mètres de l'OFR,**
  - **Les images du l'hémisphère sud nous proviennent du télescope argentin de 30 mètres Villa Elisa.**
- **Le rouge et le jaune représentent les régions pour lesquelles le signal radio est le plus intense, alors que les lignes s'apparentant à des empreintes digitales représentent la polarisation du signal incident.**

Conclusion

- Unités de mesures
- Astéroïde
- Pulsars
- Vitesse de rotation de la voie lactée
- Liens utiles

Unité de Mesures

- k: kilo: 10^3 (millier)
- M: Méga: 10^6 (million)
- G: Giga: 10^9
  - (billion)
  - dans les régions utilisant le système métrique en dehors des USA, un billion=10^{12} (1 million de million)
- T: Tera: 10^{12} (un million de million)
- P: Peta: 10^{15}
- E: Exa: 10^{18}
- Nm: nanomètre: 10^{-9} m

Astéroïde

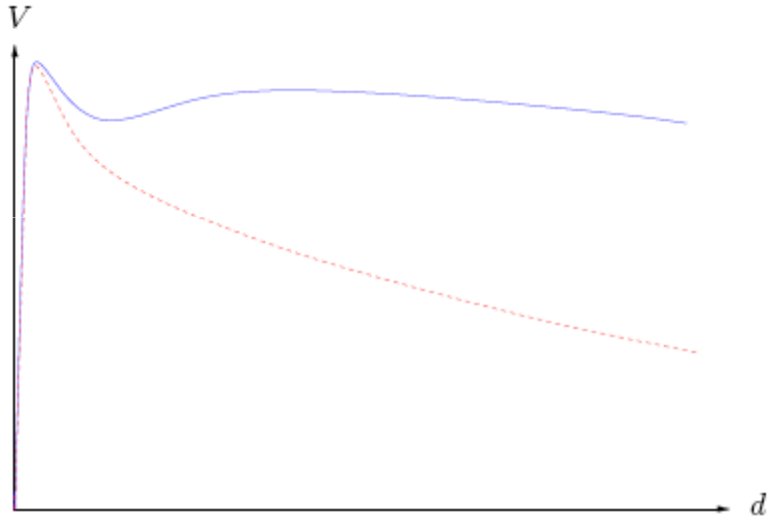
- Objet céleste dont les dimensions varient de quelques dizaines de mètres à plusieurs kilomètres et qui, à la différence d'une comète, tourne autour du Soleil sur une orbite faiblement elliptique (cf. lois de Kepler).
- Les astéroïdes font partie du système solaire et ne sont pas les satellites d'une planète.
- On suppose que les astéroïdes sont des restes du disque protoplanétaire qui ne se sont pas regroupés en planètes pendant sa formation.
- On appelle astéroïde le corps céleste dans l'espace et météorite lorsqu'il s'écrase sur la Terre

Les pulsars

- Les pulsars sont des sources célestes typiques de rayonnement synchrotron.
- Sources supposées constituées de neutrons hautement condensés tournant sur elles-mêmes.
- Emettent un fort rayonnement électromagnétique dans la direction de son axe magnétique
- Les pulsars sont produits par l'effondrement du cœur d'étoiles géantes à la fin de leur vie durant leur explosion catastrophique appelée supernova.
- Les pulsars les plus rapides ont des périodes de rotation de l'ordre de la milliseconde ; ils sont extrêmement stables et concurrencent les meilleures horloges de laboratoire.

Vitesse de rotation de la voie lactée

- *Ligne bleue: Image de la courbe de rotation actuelle de la voie lactée*
- *Ligne rouge : courbe attendue (loi de Kléper)*
- *Conclusion:*
  - *Matière sombre*



Liens utiles

http://www.euhou.net/

Page d'accueil officielle de Hand-On-Universe, projet européen (EU-HOU)

http://www.oso.chalmers.se/

Observatoire spatial d'Onsala

http://www.openoffice.org

Suite logicielle de OpenOffice

http://hea-www.harward.edu/RD/ds9/

Un logiciel d'analyses des données astronomiques

http://www..astronomynotes.com/

Une introduction générale à l'astronomie.

http://nedwww.ipac.caltech.edu/

NASA/IPAC base de données extragalactiques (NED)

http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html

L'image astronomique d'un jour. Il contient de nombreuses images de la Voie Lactée, en autres magnifiques images astronomiques.

http://web.haystack.mit.edu/urei/tutotial.html

Didacticiel sur la radioastronomie, et informations sur les premiers jours de l'astronomie.