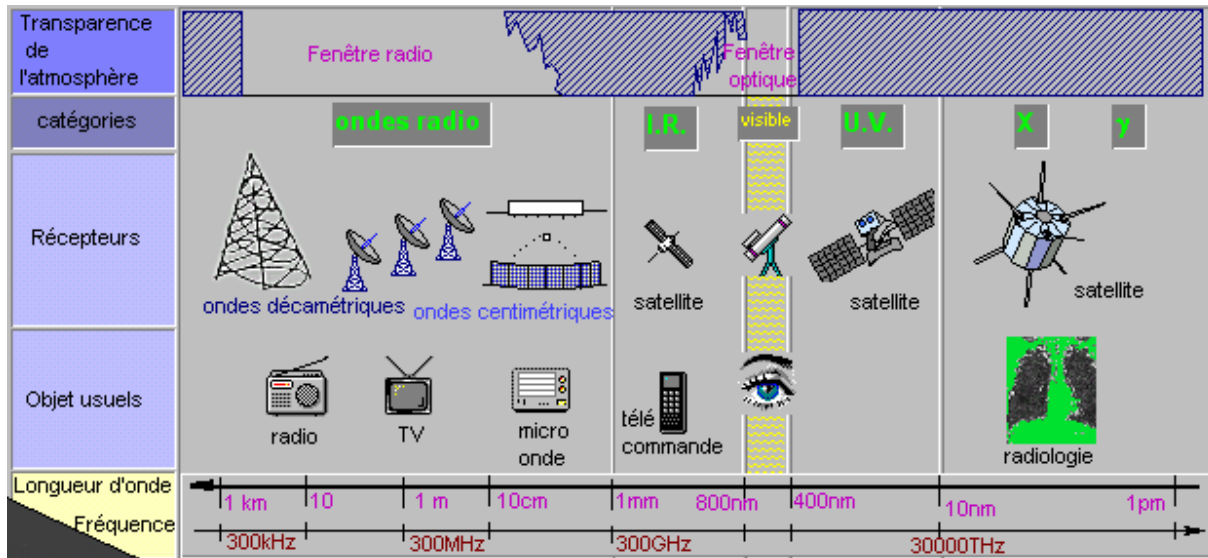




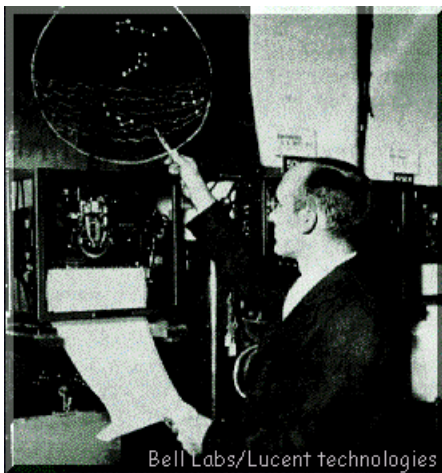
La radioastronomie

Dans cette branche de la physique, les objets célestes et les phénomènes astrophysiques sont caractérisés par l'étude de leur émission de radiations électromagnétiques dans le domaine radio du spectre.

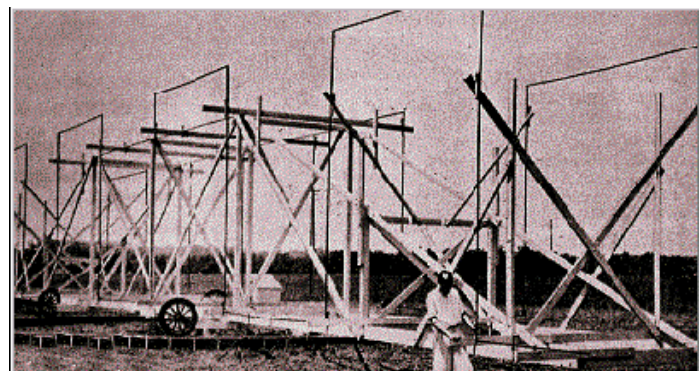


Chapitre I : historique

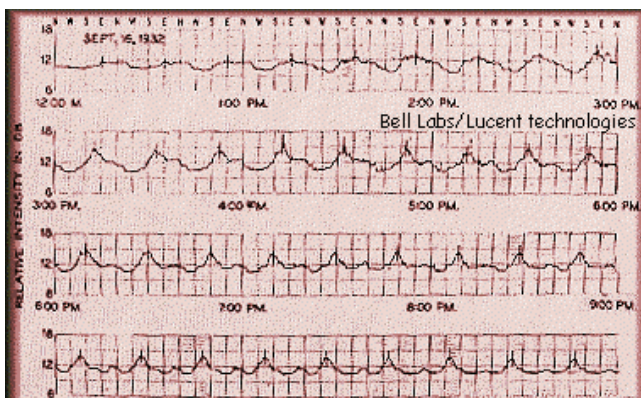
La fin du XIX^{ème} siècle est porteuse de tentatives vaines pour détecter des émissions radio dans le ciel. L'ingénieur radio américain Karl JANSKI, en 1932, alors qu'il travaillait pour Bell Telephone Laboratories, fut le premier à détecter un « bruit radio » dans la région du centre galactique de notre Voie Lactée, pendant une expérience destinée à localiser des sources éloignées d'interférences radio terrestres .



Karl JANSKI présente ses découvertes à la communauté scientifique



L'antenne de Janski faisait un tour complet toutes les vingt minutes : le signal est le plus intense lorsqu'elle pointe vers le centre de la Galaxie.

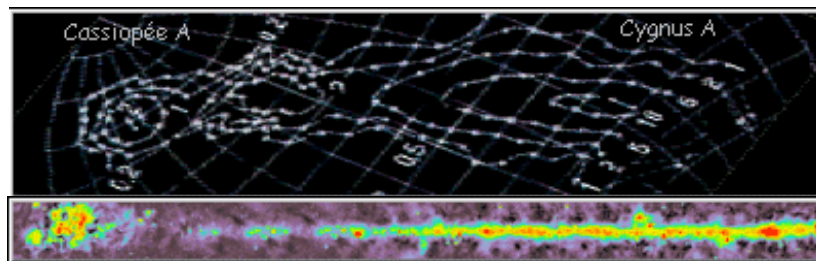




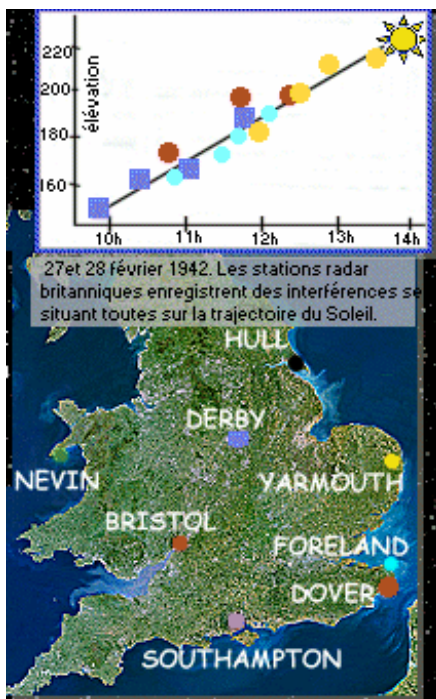
La distribution de cette émission radio galactique fut cartographiée par l'ingénieur américain Gröte REBER à l'aide d'une parabole de 9,5 m construite dans son jardin de l'Illinois. En 1943, Reber découvrit également l'émission radio du Soleil, recherchée depuis si longtemps. On s'aperçut en fait que cette radiosource avait été repérée quelques années auparavant, quand les violentes éruptions solaires avaient troublé les radars britanniques, américains et allemands.



L'antenne de Gröte Reber.



Carte dressée par Gröte Reber (en haut) et carte actuelle de la NASA de la région centre de notre Galaxie.



En 1946, Yves ROCARD, directeur du laboratoire de Physique de l'ENS, incite deux jeunes chercheurs – Steinberg et Denisse – à se lancer dans le développement de la radioastronomie en France ; ce même homme avait, en 1942, lors d'un voyage en Angleterre, co-découvert les perturbations des radars et ainsi la source radio du Soleil .

Grâce aux fulgurants progrès durant la Seconde Guerre Mondiale en ce qui concerne les antennes radio et les récepteurs sensibles, la radioastronomie s'est épanouie dans les années 1950. Les scientifiques adaptèrent leurs techniques de la guerre à la construction de toute une série de radiotélescopes en Australie, en Grande-Bretagne, aux Pays-Bas, aux Etats-Unis, en URSS, et l'intérêt des astronomes professionnels fut bientôt décuplé par une série de découvertes remarquables.



Les sources radio furent cataloguées de manière exponentielle, et dès les années cinquante certaines radiosources furent identifiées à des galaxies visibles. En 1963, la recherche continue des très faibles radiosources mena à la découverte des quasars. Peu après, en 1965, les radioastronomes américains Arno PENZIAS et Robert WILSON annoncèrent la découverte d'une émission radio de fond à 3 kelvins, ce qui eut beaucoup de conséquences sur les théories de l'origine et de l'évolution de l'Univers. Enfin, un tout nouveau type de radiosources, les pulsars, ont été isolées en 1968.

Pendant de nombreuses années, les radioastronomes se sont concentrés sur l'étude de relativement longues longueurs d'onde – de l'ordre du mètre -, pour lesquelles la vaste structure des antennes et la sensibilité des récepteurs étaient dures à atteindre. Comme les techniques étaient développées dans le but de construire des structures plus grandes et plus précises, et comme les équipements récepteurs d'ondes courtes se perfectionnaient, les bandes de longueurs d'onde inférieures au millimètre suscitèrent un intérêt grandissant. Simultanément, le développement de la technologie spatiale permit d'observer dans les grandes longueurs d'onde au sommet de l'ionosphère, qui est normalement opaque aux radiations de longueurs d'onde supérieures à vingt mètres.

Chapitre 2 : les principes de la radioastronomie

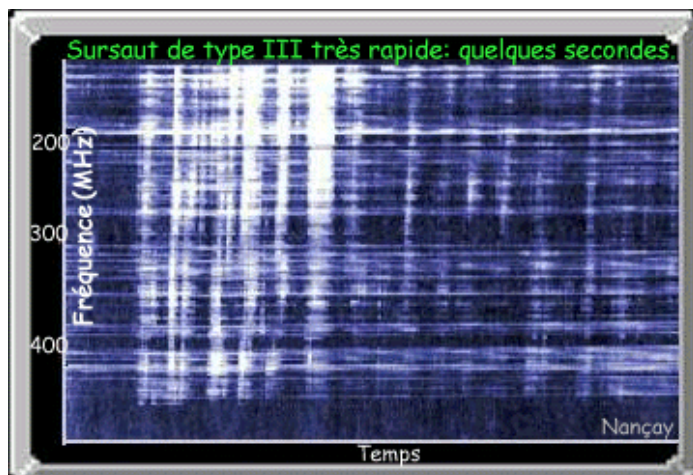
L'émission radio cosmique provient entièrement de procédés naturels, bien que les radiotélescopes soient quelquefois utilisés dans la détection de sources radio dues à des intelligences extraterrestres (exobiologie, programme SETI). Plusieurs phénomènes physiques sont connus comme producteurs d'ondes radio.

A cause du mouvement aléatoire des électrons, tout corps émet des radiations thermiques – de la chaleur – caractéristiques de sa température. Des mesures soignées de l'intensité et du spectre d'émissions sont utilisées dans le calcul de la température des corps célestes lointains, que ce soit pour les planètes du système solaire ou pour des nuages de gaz ionisé en dehors de la Galaxie (cf. *le thermomètre des étoiles*). Les mesures de radioastronomie, cependant, ont souvent à traiter de l'émission plus intense et non thermique issue de particules telles que les électrons ou les positons qui se déplacent dans les champs magnétiques galactiques et extragalactiques. Lorsque l'énergie de la particule est telle que sa vitesse est voisine de celle de lumière dans le vide, l'émission radio de ces particules ultra-relativistes est associée à un rayonnement synchrotron, terme emprunté aux laboratoires de physique à haute énergie.

Les sources synchrotron et les sources thermiques s'étendent sur de larges éventails de longueurs d'onde. Au contraire, un troisième état de la matière – atomes excités, ions et molécules – émet dans des longueurs d'onde caractéristiques de l'état d'excitation et de l'atome.

Les radiosources sont dites **continues** lorsqu'elles émettent dans toutes les fréquences du spectre. On peut regrouper les radiosources continues dans plusieurs classes :

- Rayonnement de plasma

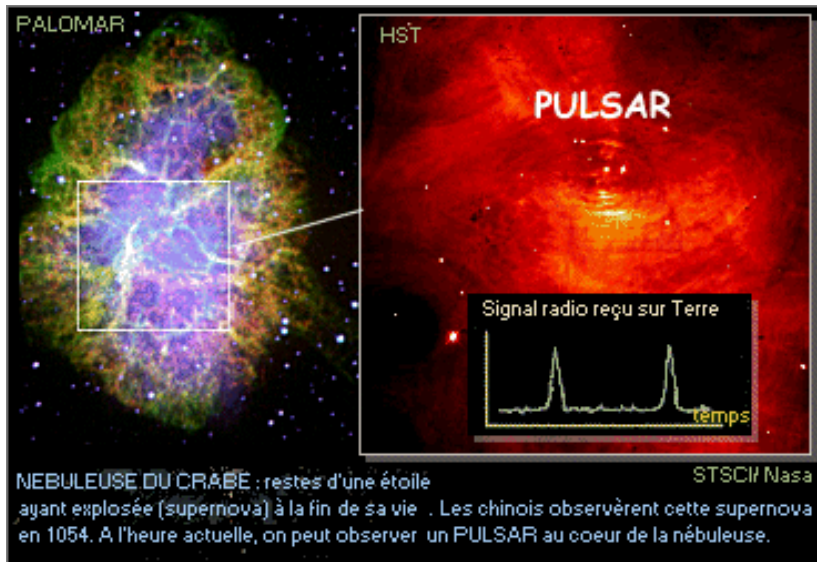


Ce type de phénomènes peut être mis en évidence par l'observation de sursauts radio.



Le rayonnement de plasma est l'émission radio due à la projection d'électrons à grande vitesse depuis un astre. Il est notamment observé dans l'activité du Soleil.

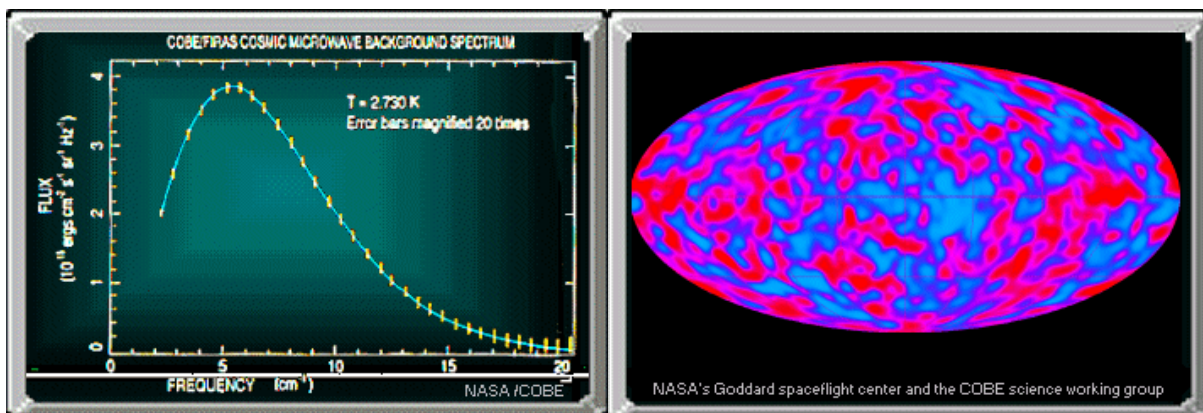
- Rayonnement synchrotron



Le rayonnement synchrotron est caractéristique d'électrons à très grande vitesse qui sont freinés suivant un parcours spiral selon les lignes de champ magnétique et qui émettent des ondes dans un cône étroit.

Une étoile à neutrons (pulsar) est en rotation rapide : l'émission radio a lieu dans un cône étroit autour de l'axe magnétique ne correspondant pas avec l'axe de rotation : l'étoile se comporte comme un phare.

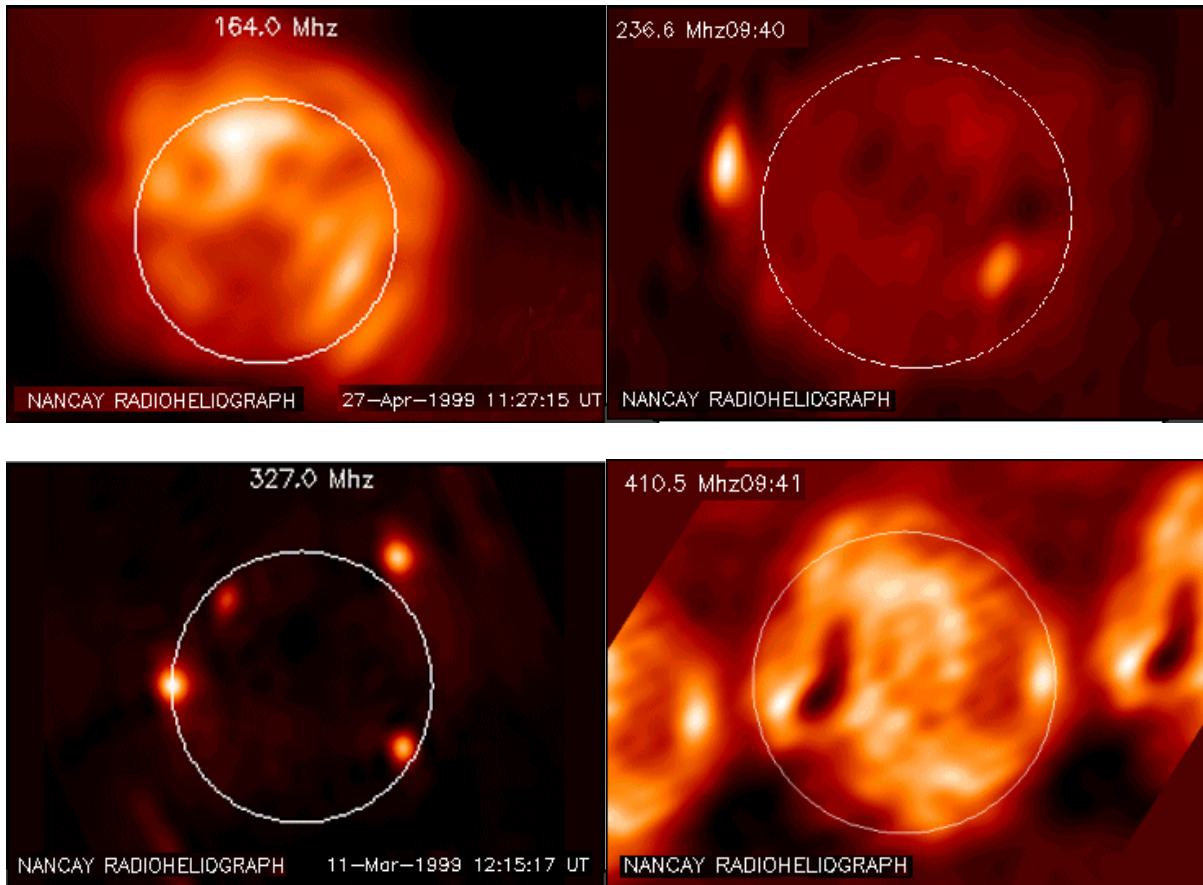
- Rayonnement cosmologique fossile



Le rayonnement fossile traduit l'écho du Big Bang : en raison de l'expansion de l'Univers, on détecte en radio sur tout le fond du ciel un rayonnement thermique fortement refroidi à 2,7 K : à gauche, cette courbe réalisée par COBE en ondes radio montre que tout l'Univers rayonne comme un corps noir à – 270,3 °C ; à droite, cette carte du ciel déduite des mesures de COBE montre les fluctuations de rayonnement – de l'ordre de 1/100.000 de degré – dues à l'hétérogénéité de la matière dans l'Univers après le Big Bang.

- Rayonnement de freinage

Cette émission naît du mouvement désordonné des électrons dans un gaz chaud : les électrons présents dans les astres sont freinés lorsqu'ils passent à proximité d'ions positifs : il en résulte une émission d'ondes radio.



Cartes radio du Soleil représentées en fausses couleurs : les zones brillantes correspondent aux zones de forte activité à la fréquence indiquée. La couronne solaire, qui s'étend sur 17 millions de kilomètres, est échauffée à une température de 2 millions de degrés ; le vent solaire se compose essentiellement d'ions et d'électrons qui expliquent les phénomènes radio observés.

Remarque : les ondes radio dans le système solaire

Le Soleil est la plus importante source radio de tout le ciel. Son émission est beaucoup plus intense que ne le laisse supposer sa température surfacique (environ 6.000 K). Tout ceci vient du fait que l'émission radio à grande longueur d'onde vient de l'atmosphère externe, plus chaude, mais optiquement visible, dont la température avoisine le million de kelvins. Et, plus de l'émission thermique, de nombreuses tempêtes et explosions surviennent, spécialement dans les périodes d'activité des taches solaires où l'intensité d'émission radio est multipliée par un million ou plus pendant de courts laps de temps d'une heure en moyenne.

L'unique autre source radio non thermique du système solaire est Jupiter : pour des longueurs d'onde d'une quinzaine de mètres, la géante émet des impulsions en provenance de régions localisées dans ses nuages en rotation. L'intensité de ces explosions semble être liée de près à la position du stellite galiléen Io. De plus, Jupiter est entourée de ceintures de radiations micro-ondes plus courtes que le mètre.

Des rayonnements thermiques émanent de chaque planète – de sa surface ou de son atmosphère – sauf de Pluton. Ces rayonnements sont à présent par les engins spatiaux qui sont notamment capables de dresser la météorologie des planètes concernées.

Chapitre 3 : les radiotélescopes

Attendu que les longueurs d'onde radio sont relativement longues (du mm au km), les radiotélescopes doivent être particulièrement larges afin de focaliser les signaux pour produire une image

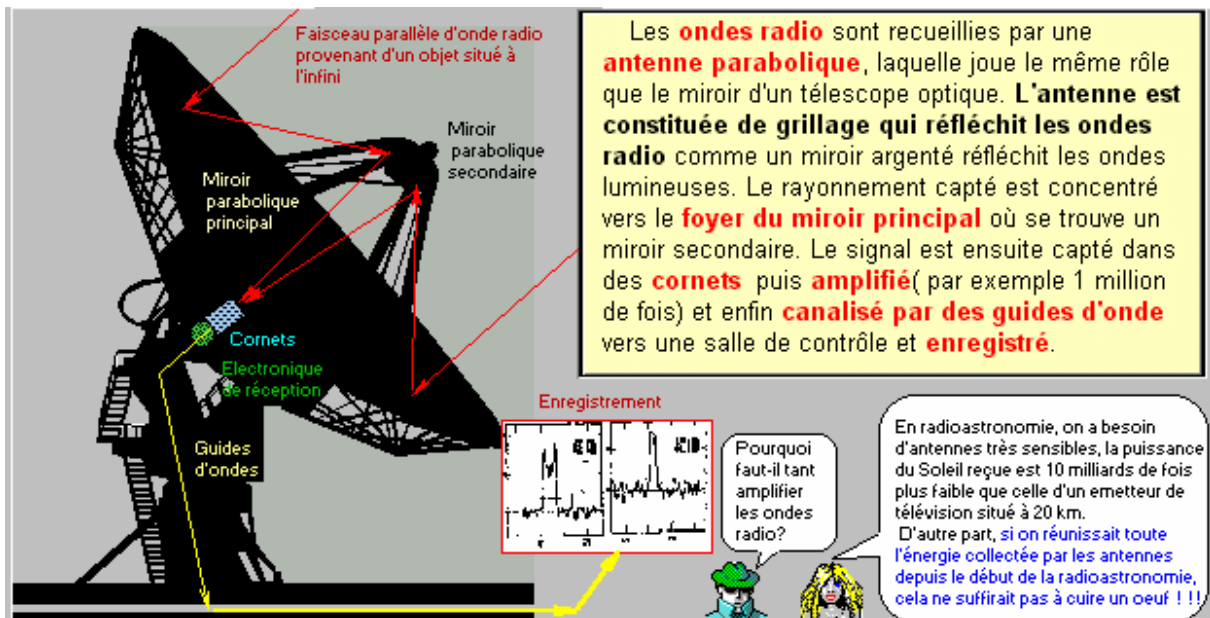


suffisamment précise. La plus grande radiotélescope stationnaire du monde, l'observatoire Arecibo à Puerto Rico, est une assiette creuse de 305 mètres de diamètre.



L'observatoire Arecibo à Puerto Rico possède le plus grand radiotélescope stationnaire du monde. Parce qu'il reste immobile, ce télescope utilise la rotation de la Terre pour changer de point de mire dans le ciel. C'est la Cornell University qui maintient l'observatoire en état de marche en accord avec la Fondation Nationale Scientifique des Etats-Unis.

Les plus grandes antennes amovibles ont un diamètre allant de 50 à 100 mètres, tout en ayant une résolution d'un arc minute – l'équivalent de la résolution de l'œil nu dans les longueurs d'ondes visible. Les ondes radio sont focalisées par la surface parabolique sur une espèce de petit cornet qui est relié à un détecteur extrêmement sensible. Ces récepteurs, bien que semblables dans leur principe à une radio domestique, peuvent détecter des signaux de l'ordre de 10 à 17 watts. La plupart du temps, les parties les plus sensibles de ces dispositifs sont maintenus à des températures proches du zéro absolu afin d'optimiser leur rendement.

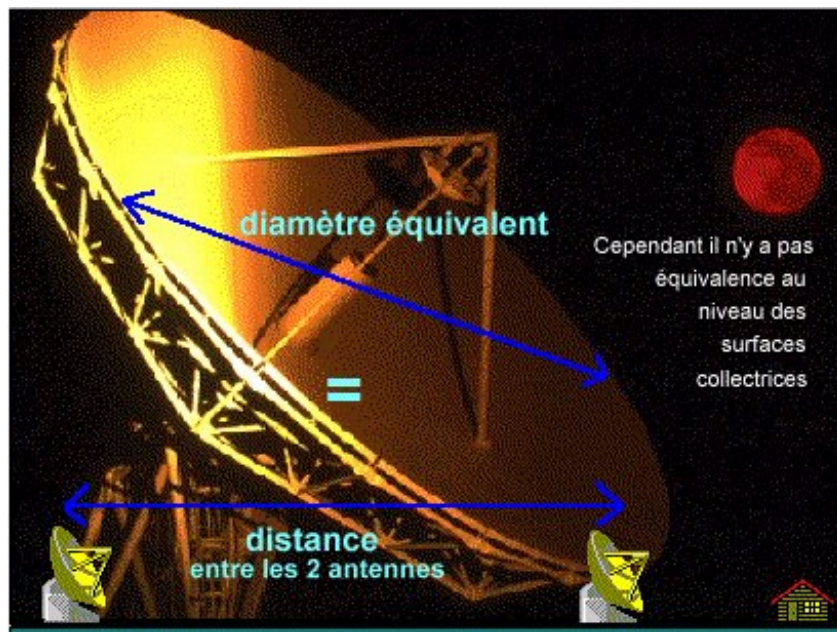


Pour accéder à une meilleure résolution, des batteries d'antennes sont mises en place : c'est ce qu'on appelle l'**interférométrie**. Le plus grand radiotélescope du monde de ce type est le Very Large Array (VLA) situé dans une plaine du Nouveau Mexique. Il compte 27 plateaux paraboliques de 25 mètres de diamètre et installés comme les trois bras d'un Y – chacun faisant 21 km de long - .



Les radiotélescopes détectent les rayonnements électromagnétiques de longueurs d'onde comprises entre 1 mm et plus d'un kilomètre. Depuis qu'ils sont sensibles aux plus longs rayonnements, on peut combiner les signaux de plusieurs appareils pointant vers le même objet, accroissant ainsi la résolution : c'est ainsi que le VLA fonctionne avec ses 27 antennes.

Chaque antenne possède son propre récepteur et les signaux de chaque récepteur sont envoyés sur un central où ils sont combinés pour former une image à haute résolution. Les Anglais ont même mis au point un interféromètre constitué de 60 antennes de type télévision à Cambridge, afin de détecter les longueurs d'onde de l'ordre de 2 mètres...



De plus grandes résolutions pourraient être atteintes si les antennes étaient séparées de plusieurs milliers de kilomètres ; le problème est qu'il ne semble pas très facile d'envoyer les données collectées en un seul point. Il a été résolu en différenciant les résultats : ceux-ci sont consignés sur des bandes optiques puis traités par la suite dans le central. Cette technique appelée Very Long Baseline Interferometry (VLBI) implique qu'il faut utiliser systématiquement des horloges atomiques pour pouvoir synchroniser les télescopes au milliardième de seconde : on atteint alors la résolution d'un millième d'arc seconde, soit l'équivalent d'un terrain de basket vu depuis la Terre sur la Lune.

En 1984, le gouvernement américain a débloqué des fonds pour lancer la construction d'un Very Long Baseline Array (VLBA), un réseau de 10 antennes disséminées du Canada à Puerto Rico et de Hawaï à la côte atlantique des Etats-Unis. Le VLBA devrait permettre de travailler avec une résolution angulaire de l'ordre de 200 milliardièmes d'arc seconde. A noter que le Canada et l'Australie se lancent aussi dans le projet.

