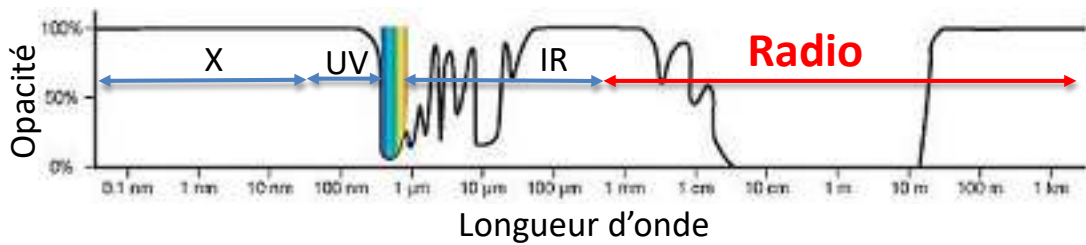


L'Univers dans ma poche

Les radiotélescopes



Laurent Pagani
CNRS & Observatoire de
Paris-PSL



Transparence du ciel en fonction de la longueur d'onde. Les ondes radio couvrent de 1 mm environ à des dizaines de km de longueur d'onde. Le ciel est totalement transparent de 3 cm à 20 m et partiellement transparent entre 3 cm et 0,3 mm. En dessous de 1 cm, il est intéressant d'installer les télescopes en altitude pour améliorer la transmission en partie bloquée par la vapeur d'eau surtout présente à basse élévation.



Tous ces appareils fonctionnent sur le même principe : ils captent une onde radio qu'ils amplifient et convertissent pour délivrer du son ou une image.

Introduction

Pour observer le ciel, on doit capter les messages qu'il nous envoie (voir TUIMP 43). Le plus connu des messagers est la lumière, dont seule une petite partie est captée par l'œil (la lumière dite « visible », celle des couleurs de l'arc en ciel). Mais il y a beaucoup d'autres types de lumière dont une découverte à la toute fin du XIXe siècle et largement utilisée depuis : les ondes radio.

Ces ondes ont une longueur (λ) très grande comparé à la lumière visible (de mille à des milliards de fois plus grande) et donc une fréquence (ν) très basse ($c = \lambda \times \nu$, où c est la vitesse de la lumière). Nous avons su construire de nombreux appareils pour les émettre et les recevoir, tels que les postes radio ou de télévision, les talkies-walkies, les téléphones sans fil et les radars.

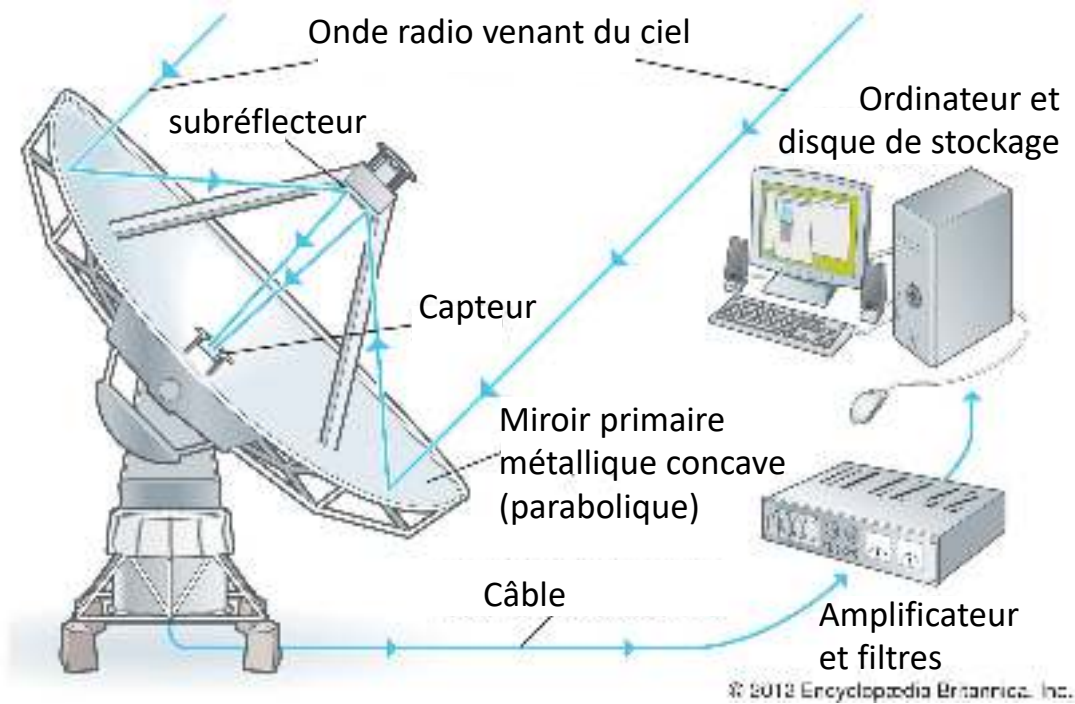


Schéma de fonctionnement d'un radiotélescope. Le miroir primaire, métallique et de grande taille renvoie le signal vers un miroir secondaire puis un détecteur. Le signal est ensuite amplifié et filtré dans une gamme de fréquences pour être finalement analysé par un ordinateur. Si la fréquence est trop élevée pour être amplifiée directement, on change d'abord la fréquence. C'est la technique dite hétérodyne.

Technique radio

À cause de sa faible énergie, la nature corpusculaire de la lumière radio (voir TUIMP 43) ne se manifeste pas en général. Elle interagit plutôt comme une onde, composée d'une partie électrique et d'une partie magnétique. On l'émet ou la reçoit avec une antenne (en général un élément de métal conducteur sensible au champ électrique de l'onde radio en réception, ou créant ce champ électrique en émission).

La radioastronomie utilise toutes les techniques radio associées à de grandes antennes tournées vers le ciel pour capter ces signaux très faibles qui nous viennent de l'Univers.

Notons que les radio télescopes observent jour et nuit, car le ciel n'émet pas en ondes radio.



Antenne d'un radar Würzburg

L'émission du Soleil a été détectée pour la première fois en 1942 par le physicien britannique James Hey. Cette découverte resta secrète car les Alliés savaient que leurs avions, s'ils avaient le soleil derrière eux, ne seraient pas détectés par les radars allemands.

Ces radars allemands (dits Würzburg) ont été ensuite réutilisés pour faire les premiers pas de la radioastronomie en Europe.

Les débuts

Après des premières tentatives infructueuses pour détecter les ondes radio du Soleil entre 1896 et 1901, c'est Karl Jansky qui fit la première découverte d'ondes radio extraterrestres, émises par le centre de la Voie Lactée, en 1932.

À partir de là, la radioastronomie fit rapidement des progrès pour devenir une science riche et très complémentaire à l'astronomie optique traditionnelle (voir TUIMP 46).

La radioastronomie peut faire de la détection directe de la lumière, comme en optique (mesure de l'énergie du signal) ou de la détection hétérodyne (mesure du champ électrique incident) qui permet d'amplifier le signal et de le filtrer avec grande précision grâce à l'électronique en radio fréquences. 7

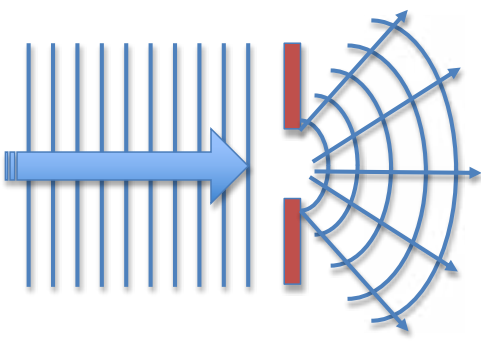


Figure de diffraction : l'onde qui arrive sur l'obstacle se disperse dans diverses directions.



FAST, en Chine, 500 m de diamètre, est le plus grand radiotélescope fixe du monde.

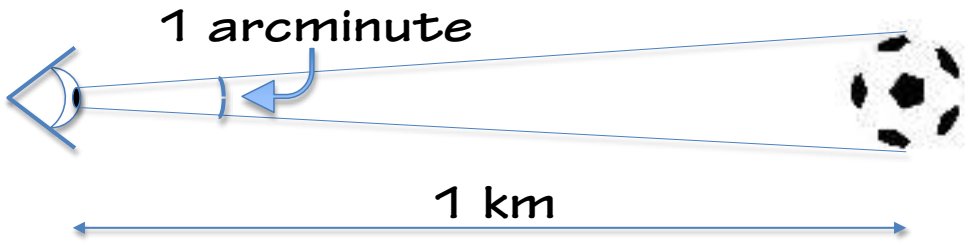


Le Télescope de Green Bank, aux USA, avec son diamètre d'environ 100 m, est le plus grand télescope mobile du monde.

Taille et résolution

Alors qu'en optique la résolution des télescopes est limitée par la turbulence atmosphérique, ce problème n'existe pas en radio et la diffraction est perceptible (voir figure page ci-contre). La résolution spatiale est : $\theta \approx 1.2 \lambda / D / 0.0003$, λ la longueur d'onde, D , le diamètre du télescope, θ , en minutes d'arc.

Comme λ est grand, la diffraction est importante, limitant le pouvoir de résolution. Il est alors utile d'agrandir les télescopes jusqu'au gigantisme. Ces télescopes sont très sensibles aux parasites électriques. Ils sont construits loin des centres urbains et des usines produisant ces interférences. Certaines fréquences sont protégées des émissions anthropiques par l'Union internationale des télécommunications (UIT).



Quelques exemples de résolution :

L'œil a une résolution d'une minute d'arc (on pourrait distinguer 2 ballons de football côte-à-côte à 1 km de distance).

Un télescope optique a une résolution d'une seconde d'arc (60 fois mieux que l'œil, donc il distingue les 2 ballons jusqu'à 60 km de distance ou 2 dés à 1 km).

FAST a une résolution un peu plus mauvaise que l'œil : trois minutes d'arc. Il ne peut séparer les 2 ballons qu'à 300 m (soit moins que sa taille !).

Certains interféromètres peuvent voir des détails minuscules. On mesure leur résolution en fraction de seconde d'arc, En millièmes ou même en millionièmes de seconde d'arc. À cette résolution extrême, ils pourraient voir une balle de ping-pong sur la Lune.

Les interféromètres

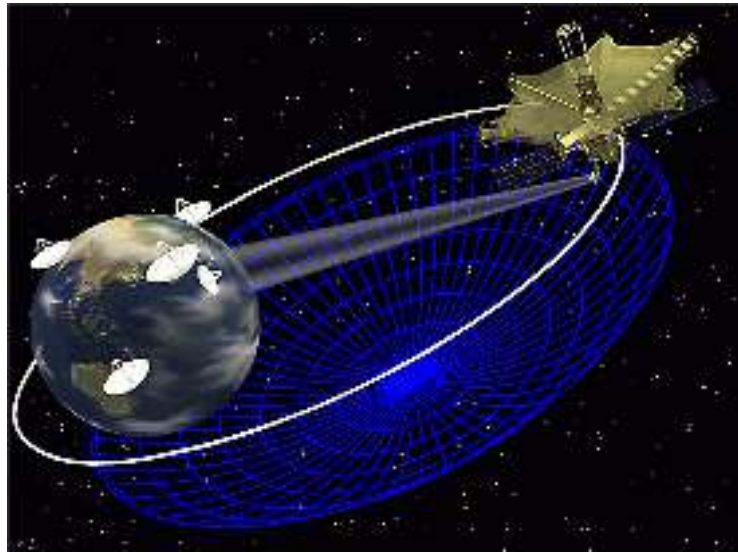
On fabrique aussi des radio télescopes en mettant en service plusieurs antennes dont on combine les signaux. On parle alors d'interférométrie radio car on fait interférer les signaux venant de tous les antennes entre elles. Les distances entre les antennes peuvent être énormes, jusqu'à atteindre la taille de la Terre voire plus si une des antennes est placée en orbite, comme le télescope de 10 m russe RadioAstron. La résolution d'un interféromètre est identique à celle d'un télescope unique dont le diamètre serait la distance entre les deux antennes les plus éloignées. Un tel télescope serait impossible à construire en un seul tenant.

Voir les illustrations page 12.



NOEMA, L'interféromètre du Plateau de Bure (IRAM). 12 antennes de 15 m regardent la même source astronomique ensemble.

Le radiotélescope russe RadioAstron (10 m) en orbite autour de la Terre observe une source astronomique en même



temps que les télescopes au sol. La résolution est celle d'un radiotélescope équivalent (représenté en bleu sur la figure) mais la surface collectrice reste très petite.

Cartographie

Les radiotélescopes n'observent souvent qu'un point (on dit un « pixel ») à la fois dans le ciel parce que leur récepteur n'a qu'un seul capteur. Pour obtenir une image, il faut que le télescope balaye toute la surface point par point. On assemble tous les points pour obtenir une carte. Par contre, ils observent une multitude de fréquences en même temps avec une résolution (dite spectrale) qui peut être très grande. Ça permet de mesurer des mouvements très faibles dans les nuages où se forment les étoiles ou d'identifier des centaines de molécules interstellaires différentes.

Il existe enfin quelques radiotélescopes équipés de caméras avec un grand nombre de pixels mais sans résolution spectrale, ce sont des bolomètres. Ils sont utiles pour observer la poussière interstellaire froide qui émet en ondes radio.



Quiz

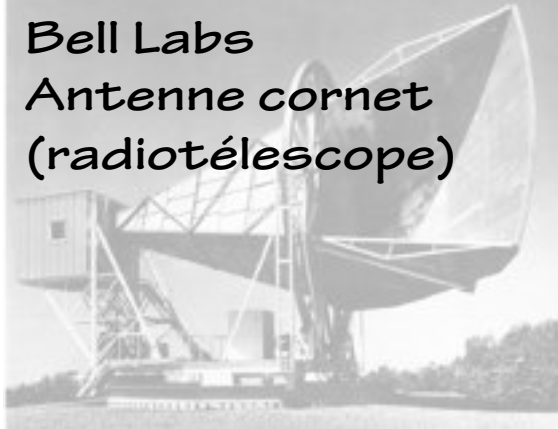
Quelles images montrent des interféromètres ?



Réponse au verso

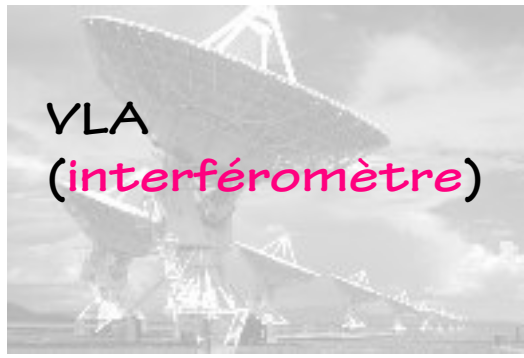
Bell Labs

Antenne cornet
(radiotélescope)

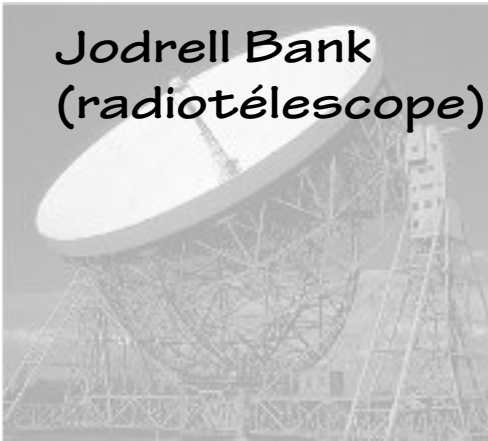


VLA

(interféromètre)



Jodrell Bank
(radiotélescope)



APEX (vu de dos)
(radiotélescope)



Réponse

Les interféromètres
sont toujours
composés de plusieurs
antennes

Nobeyama
radiohéliographe
(interféromètre)



Observatoire
spatial Herschel
(radiotélescope)



L'Univers dans ma poche n° 45

Ce mini-livre a été rédigé en 2025 par Laurent Pagani de l'Observatoire de Paris et du CNRS et revu par Grażyna Stasińska de l'Observatoire de Paris et Stan Kurtz de l'IRyA (Morelia, Mexique).

Image de couverture : un des dernier-nés des radiotélescopes: MEERKAT

(Si pas précisé, crédits généraux : Wikipédia)



Pour en savoir plus sur cette collection et sur les thèmes présentés dans ce mini-livre visiter

<http://www.tuimp.org>

TUIMP Creative Commons

