

LES ANTENNES DES RADIOTELESCOPES

Explication au travers d'exemples

Réflecteurs Paraboliques : Effelsberg (Allemagne)

Réflecteurs Sphériques : Arecibo (Porto Rico), Nancay (France)

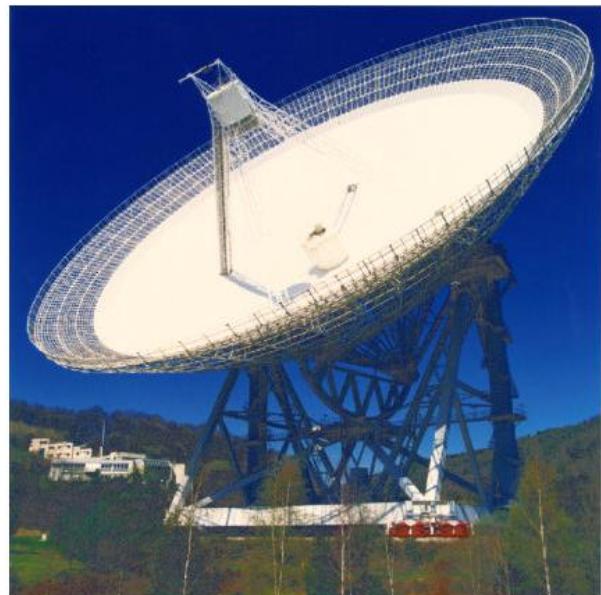
Le système focal de Nancay

Mise en réseau et interférométrie : VLA (Nouveau Mexique EU)

LE PRINCIPE DU REFLECTEUR PARABOLIQUE. CAS DU RADIOTELESCOPE D'EFFELSBERG

Radiotélescope d'Effelsberg (Allemagne) :
gigantesque parabole de 100 m de
diamètre !

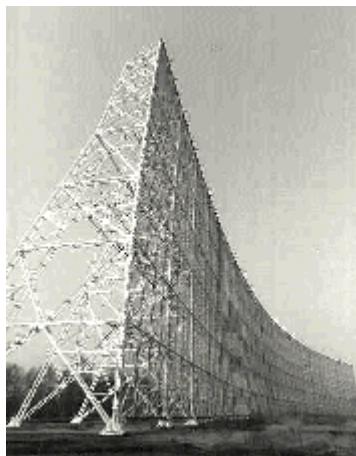
On imagine aisément les contraintes →
mécaniques supportées par une telle
structure et par le système de motorisation !



EXPLICATION DU PRINCIPE DES REFLECTEURS SPHERIQUES DE NANCAY ET ARECIBO

La plus grande antenne radio est à Arecibo (Porto Rico). Elle mesure 305 m de diamètre, mais c'est une antenne sphérique, et non pas parabolique, ce qui fait que pour chaque orientation de l'antenne au foyer, le diamètre "utile" d'Arecibo n'est que de 200 mètres. Elle peut balayer une zone de +/- 20 degrés autour de son zénith.

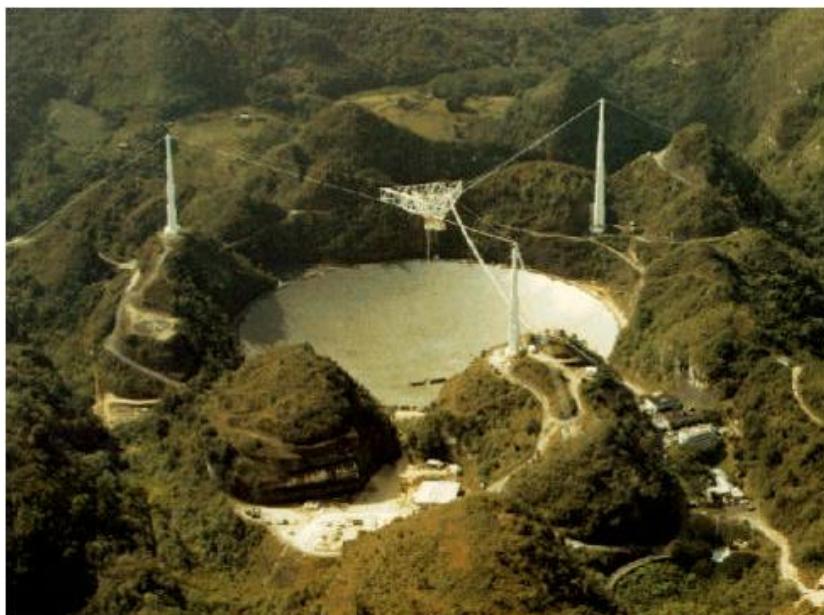
Il en est de même pour le radiotélescope de Nancay avec son deuxième réflecteur qui est une portion de sphère de 300 mètres sur 35 mètres de haut (et de rayon 580 mètres), avec une surface utile correspondant à une parabole de 94 m de diamètre. Les ondes sont préalablement réfléchies par un "miroir" plan orientable, que l'on appelle un cœdostat.



Réflecteur sphérique de Nancay.



Vue aérienne du radiotélescope de Nancay. On aperçoit le réflecteur plan inclinable (cœdostat).

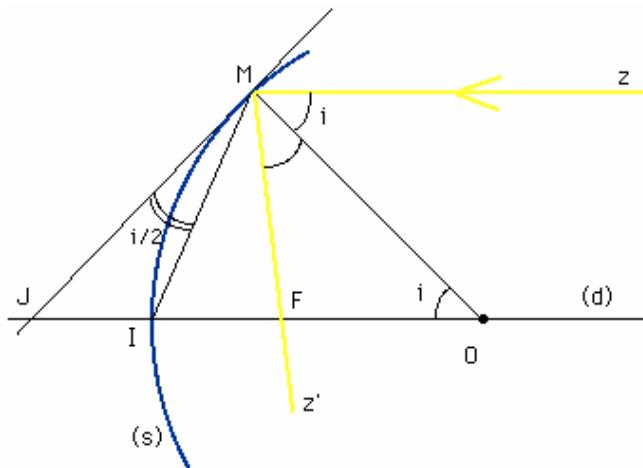


Arecibo avec son réflecteur sphérique construit dans une cuvette naturelle.

Montrons comment un miroir sphérique peut "focaliser" un rayon lumineux ou une onde radio.

On admet qu'un rayon de lumière se propage linéairement et qu'il en est de même d'une onde radioélectrique pour autant que sa longueur d'onde soit faible. Etudions le phénomène en termes de rayons lumineux dans un plan:

Si un rayon incident (ZM) frappe le miroir (s) parallèlement à son axe (d), le plan d'incidence (p) est défini par (ZM) et la normale au miroir au point M. Le rayon se réfléchit sur un arc de cercle, section du miroir par le plan (p). En l'occurrence, la normale n'est autre que la droite (MO) passant par le centre O de la sphère dont le miroir (s) est une portion.

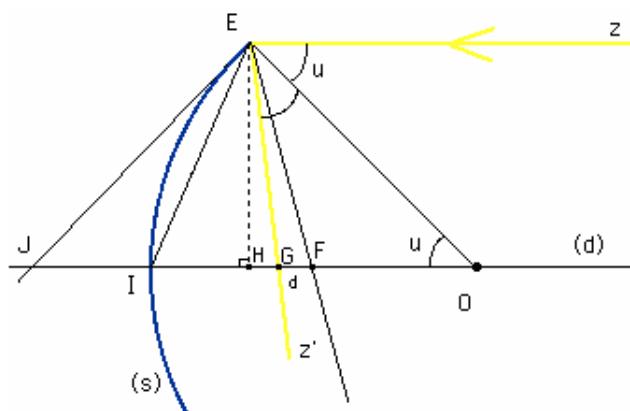


D'après les lois de la réflexion, l'angle d'incidence ZMO égale l'angle de réflexion Z'MO. C'est aussi l'angle MOI (angles alternes-internes). Ce dernier angle est un angle au centre; il intercepte l'arc MI et par suite JMI, formé par la tangente en M et (MI) est un angle inscrit interceptant le même arc; sa mesure est donc $i/2$.

Il suit que lorsque l'angle d'incidence i est faible, ce qui se produira si le rayon du miroir est *grand*, alors le triangle IMO sera sensiblement rectangle et on se retrouve dans la situation du paraboloïde : MZ' passe sensiblement par le milieu de OI , indépendant de M . Il y a *focalisation* des rayons. Soit alors F la focale équivalente c'est à dire le point où l'on peut alors supposer que tous les rayons convergent. Dans cette approximation le réflecteur sphérique peut être remplacé par une parabole de foyer F .

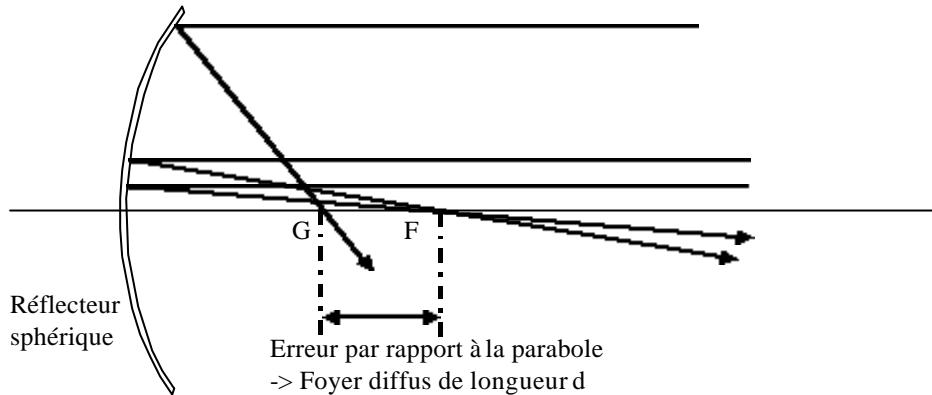
Notons R le rayon du miroir (i.e. de la sphère dont il est issu). Si l'on suppose M au point le plus élevé E du miroir, l'angle d'incidence est maximum. Exprimé en radians, ce maximum est L/R où L désigne la longueur de l'arc IE . C'est dire que la focalisation sera bonne si L est petit devant R .

Etudions le cas du radiotélescope de Nançay en calculant la distance maximale $d = GF$ c'est à dire quantifions l'erreur par rapport à une parabole de foyer F .



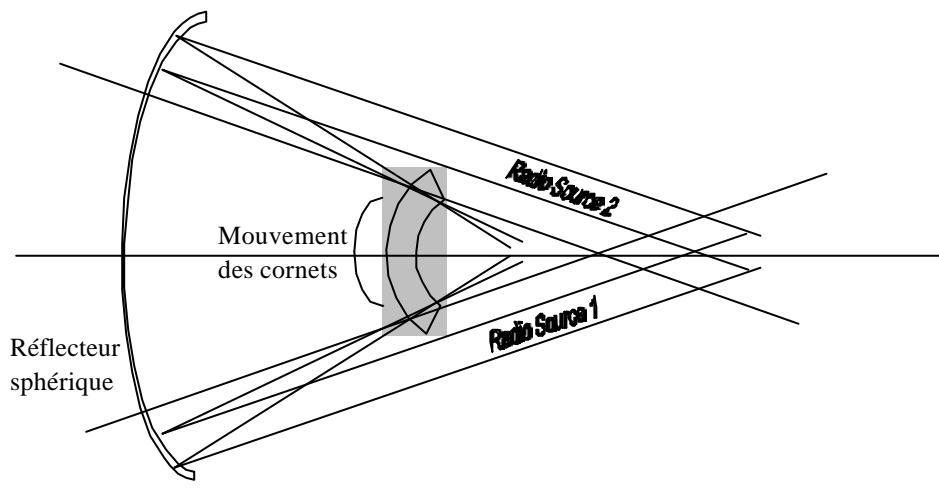
Comme vu plus haut F est le milieu de OI car les rayons de très faible incidence passent sensiblement par ce point donc l'analogue d'une focale de parabole. Le cas le moins favorable est un rayon de grande incidence c'est à dire réfléchit sur le bord du réflecteur sphérique.

Avec les notations de la figure ci-dessus, le triangle JEO est rectangle (formé par la tangente et la normale), donc $R = OJ \cos u$. D'autre part, $OG = R/(2\cos u)$ en appliquant la formule d'Al Kashi dans le triangle isocèle EGO. Pour le radiotélescope, $R = 580$ m et $EH = 35$ m. Par suite $\sin u = 35/580$; on en déduit $\cos u$ puis $GF = d = 53$ cm environ, ce qui est tout à fait excellent eu égard aux dimensions de l'appareil. Le récepteur sera placé en conséquence et les cornets optimisées car par rapport au cas d'une parabole où le foyer est ponctuel, le foyer est ici "diffus" et l'énergie à collecter s'étale sur la longueur d .

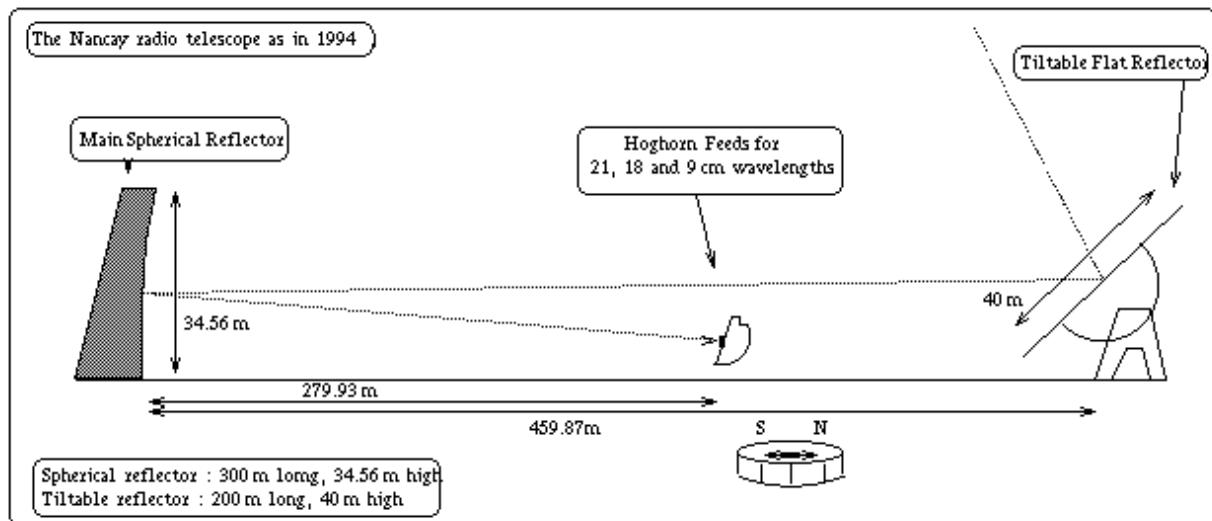


Nancay - Plan vertical

Le plan orientable permet de présenter au récepteur sphérique des rayons parfaitement horizontaux quelque soit la déclinaison de la source. Par conséquent la zone focale reste à la même hauteur dans le plan vertical. Par contre l'angle d'attaque des rayons dans le plan horizontal dépend de l'azimuth de la radiosource. Par conséquent la zone focale de déplace dans le plan horizontale et c'est pour cela que les cornets de réception de Nancay sont mobiles sur un chariot se déplaçant sur un rail de courbure circulaire.



Nancay - Plan horizontal



Concernant Arecibo, le déplacement des cornets de réception se fait selon un cercle. Le principe reste le même et notre plan d'étude précédent est cette fois -ci orientable selon deux angles, le point fixe étant le centre de la sphère.

Dans les deux cas, les dimensions « utiles » du réflecteur sphérique sont inférieures aux dimensions réelles. Dans le cas du radiotélescope de Nancay, toutes les ondes incidentes sont bien focalisées dans le plan vertical, mais ne le sont pas toutes dans le plan horizontal vu la dimension correspondante (200 m) qui n'est plus négligeable par rapport au rayon (580 m). La surface « utile » du réflecteur de Nancay est équivalente à une parabole de 94 m de diamètre, c'est à dire à peu de choses près équivalente à celle du radiotélescope d'Effelsberg.

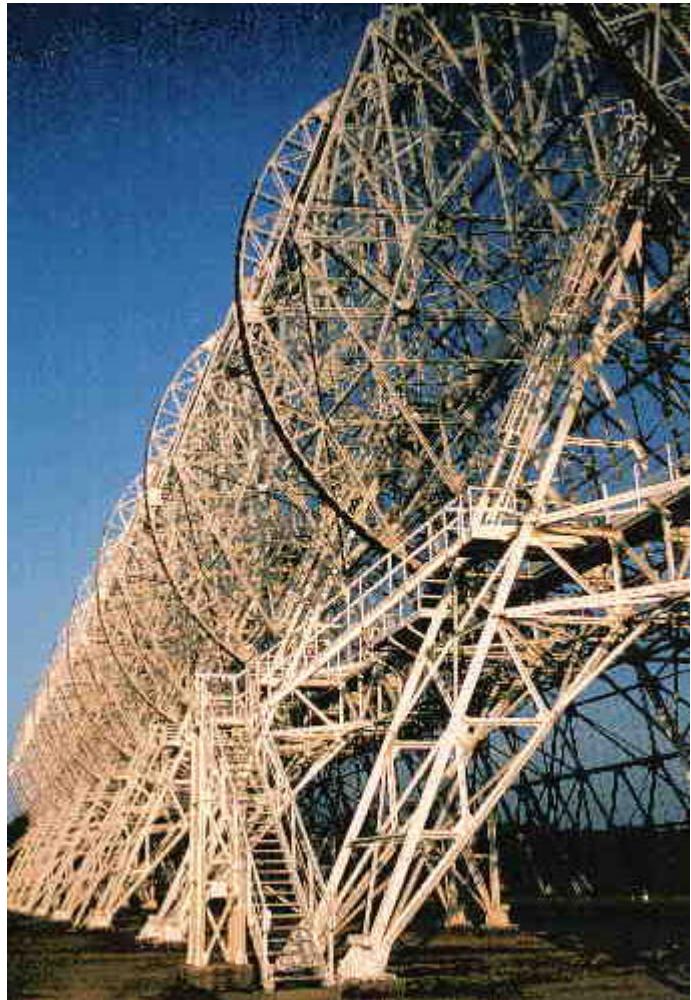
L'avantage par rapport à la forme parabolique consiste donc à garder les grands réflecteurs fixes. Seules les antennes cornet de réception, légères, se déplacent. Si les rayons incidents ne sont pas parallèles à l'axe d'une parabole alors ils ne sont pas focalisés au point focal de la parabole. Donc, avec une antenne parabolique, on est obligé de pointer en permanence et très précisément le réflecteur, ce qui pose de sérieux problèmes mécaniques (motorisation, précision, déformation selon orientation etc...). Le réflecteur sphérique est au contraire tolérant vis à vis de la variation de l'angle d'incidence de l'onde. La contrepartie étant une focalisation moins efficace que la parabole.



Nancay - Vue sur les cornets montés sur chariot



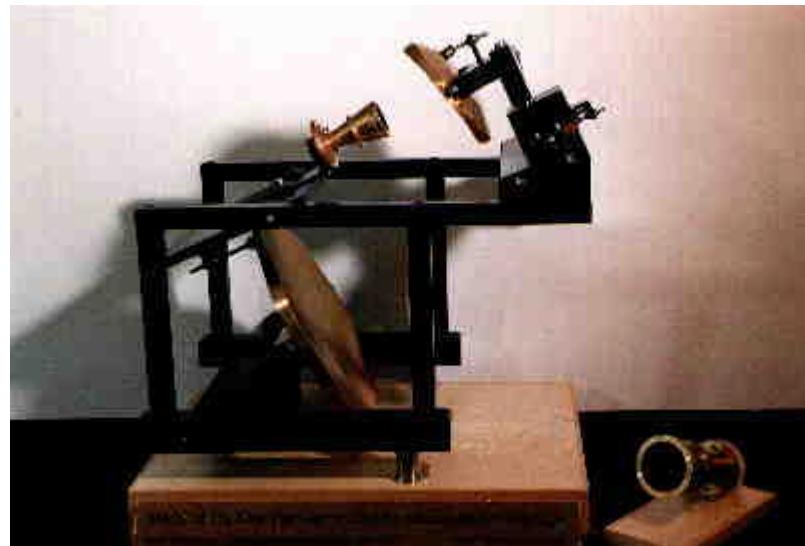
Nancay - Autre vue du réflecteur sphérique



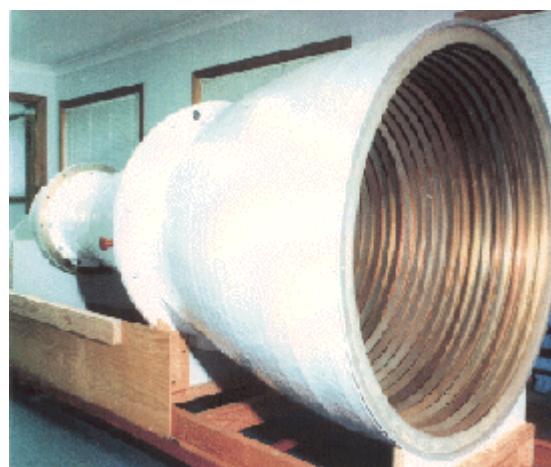
Nancay - Vue du système de positionnement du cælostat

LES ANTENNES CORNET CORRUGÉES ET LE SYSTÈME FOCAL A DEUX REFLECTEURS CONFORMES DE NANCAY

Ces antennes permettent de couvrir de façon continue la bande de fréquences de 1,060 GHz à 3,500 GHz, permettant les études en continuum mais aussi sur les raies spectrales de H (hydrogène), OH (radical oxhydrile) et radical CH avec un fort décalage Doppler. Elles permettent aussi d'obtenir une température de système comprise entre 20 K et 25 K sur toute cette bande de fréquence. De nombreux travaux ont été menés afin d'améliorer l'égalité des rendements entre les deux polarisations linéaires croisées reçues par le télescope et augmenter l'immunité aux interférences radioélectriques d'origine humaine en forte croissance (radiotéléphones, radiodiffusion par satellite ...).



Maquette à l'échelle 1/20 du système focal montrant la configuration des réflecteurs et des cornets. La mesure des propriétés de cette maquette a permis de valider les calculs et a montré un très bon accord entre la théorie et les mesures.



Chaque cornet couvre l'octave. Ses parois non lisses (corrugées) permettent l'obtention d'un diagramme de rayonnement très symétrique et possédant peu de lobes secondaires.

Une méthode de réalisation originale permet d'obtenir un poids relativement faible compte tenu des grandes dimensions de ces cornets : 120 kg pour une longueur de 2452 mm et un diamètre de l'ouverture de 1220 mm pour le plus grand des 2 et 80 kg pour une longueur de 1792 mm et un diamètre de l'ouverture de 876 mm pour le plus petit.



Le miroir secondaire de 5 m de diamètre est fabriqué en tôle d'aluminium. Constitué de 16 panneaux fixés sur une structure tubulaire sa forme s'éloigne d'une section de conique et est calculée point à point. La précision de surface des panneaux est de l'ordre de 0,3 mm en écart quadratique moyen. Son poids est de 1100 kg.



Comme le miroir secondaire, le miroir tertiaire elliptique de 2,1 m x 2,7 m est fabriqué en tôle d'aluminium. Constitué de 9 panneaux fixés sur une structure tubulaire sa forme s'éloigne d'une section de conique et est calculée point à point. La précision de surface des panneaux est de l'ordre de 0,3 mm en écart quadratique moyen. Son poids est de 350 kg

MISE EN RESEAU POUR INTERFEROMETRIE DU VLA (Very Large Array)

