

# Radioastronomie « ludique »

## Regarder l'Univers Invisible



Radiotélescope Meerkat  
(64 antennes)  
Afrique du Sud



Cornet acoustique



Station du Svalbard



Image: Une tuile MWA la nuit. Crédit: Dr John Goldsmith



Radiotélescope NenuFar  
1824 antennes  
Nançay

# Sommaire



ALMA

Atacama Large Millimeter/submillimeter Array  
66 antennes



- 1 - Qu'est-ce que c'est ?
- 2 – Les ondes radio dans le spectre électromagnétique
- 3 – Le domaine électromagnétique en Radio Astronomie
- 4 – Les phénomènes qui produisent des ondes radioélectriques
- 5 – Comment capte-t-on les ondes électromagnétiques ?
- 6 – Histoire de la Radio Astronomie
- 7 – Les radiotélescopes
- 8 – Anatomie d'un radiotélescope
- 9 – Les sources émettrices et TP
- 10 – RA : à qui cela s'adresse-t-il ?
- 11 – Inconvénients et solutions
- 12 – Quelques lectures pour aller plus loin
- 13 – Des sites internet
- 14 - Remerciements



# 1 – La Radio Astronomie

## Qu'est-ce que c'est ?



**Radio astronomie** : Composante de l'Astronomie traitant de l'observation (étude, analyse) de l'univers dans le domaine des ondes radio.



Télescope



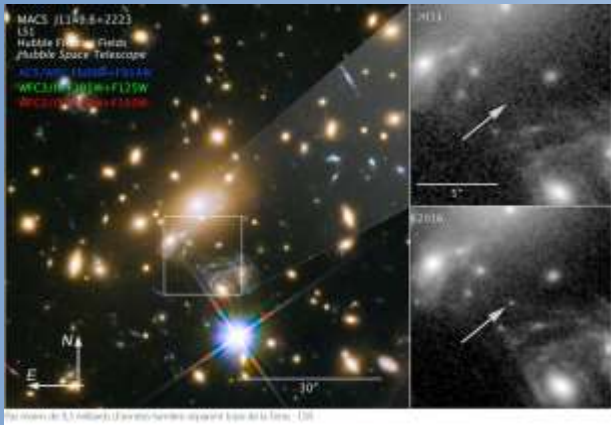
Radiotélescope



# 1 – La Radio Astronomie

## Qu'est-ce que c'est ?

<https://www.youtube.com/watch?v=JvkASuP7J9E>

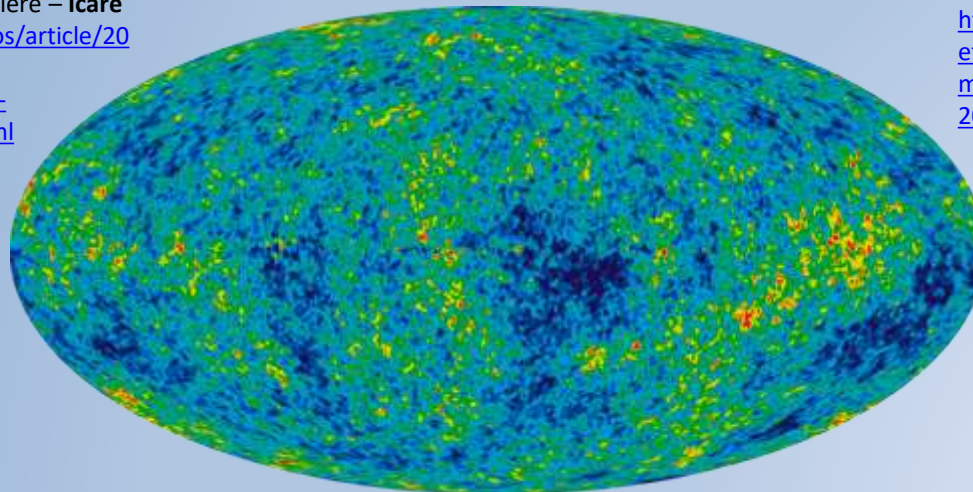


Hubble : 9,3 Mrds d'années lumière – **Icare**  
[https://www.lemonde.fr/cosmos/article/2018/04/03/decouverte-de-l-etoile-la-plus-lointaine-jamais-reperce\\_5279748\\_1650695.html](https://www.lemonde.fr/cosmos/article/2018/04/03/decouverte-de-l-etoile-la-plus-lointaine-jamais-reperce_5279748_1650695.html)



<https://www.youtube.com/watch?v=99uWHUQ-dCO>

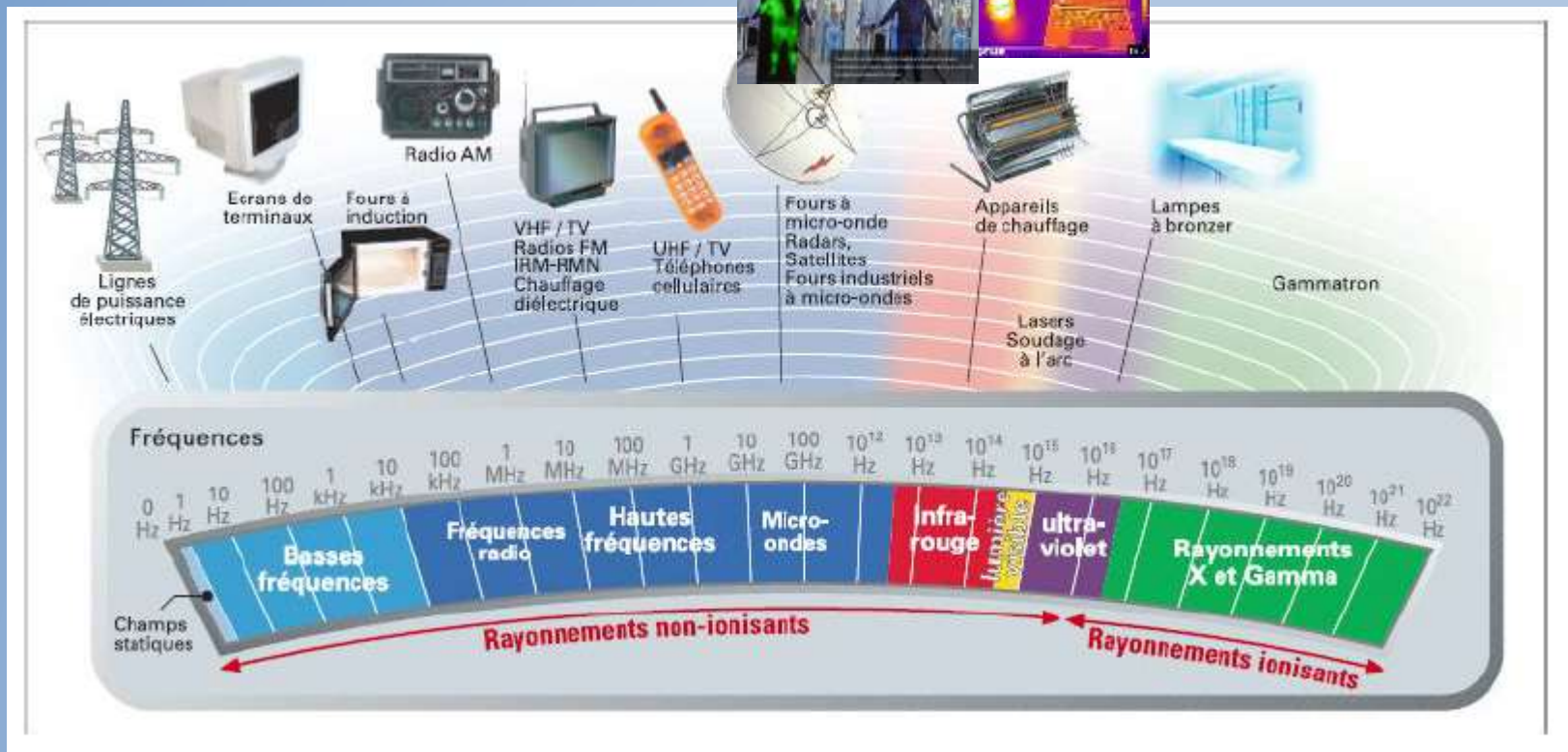
Lofar : 11 Mrds d'années lumière  
<https://www.la-croix.com/Sciences-et-ethique/Sciences/centaines-milliers-nouvelles-galaxies-detectees-2019-02-21-1201004184>



<https://www.bing.com/videos/search?q=you+tube+fond+diffus+cosmologique&docid=608010555480936066&mid=0D1D272B501EAF8C969D0D1D272B501EAF8C969D&view=detail&FORM=VIRE>

## 2 – Les ondes radio dans le spectre électromagnétique

Le **spectre électromagnétique** est le classement des rayonnements électromagnétiques par fréquence ou longueur d'onde.



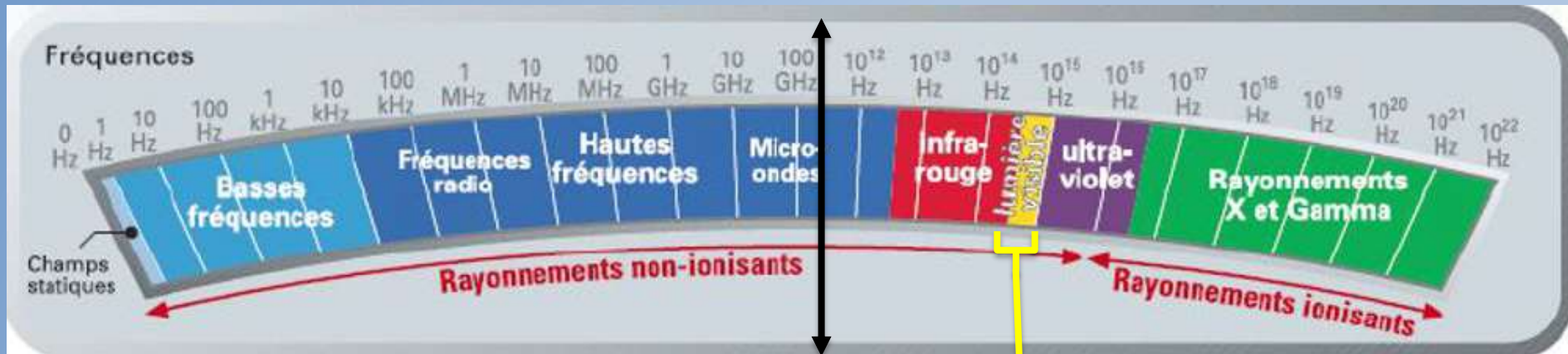
Une **onde radioélectrique**, communément appelée **onde radio**, est une onde électromagnétique dont la fréquence est inférieure à 300 GHz.



# 2 – Les ondes radio dans le spectre électromagnétique



## 2 – Les ondes radio dans le spectre électromagnétique



Radioastronomie



Observation de corps célestes occultés par de la matière ou de la poussière (centres de galaxies, trous noirs ...)

Astronomie visible





# 2.1 – Les ondes radio dans le spectre électromagnétique

## Exemples

408 MHz : Emissions provenant d'électrons se déplaçant dans le champ magnétique interstellaire à une vitesse proche de celle de la lumière.

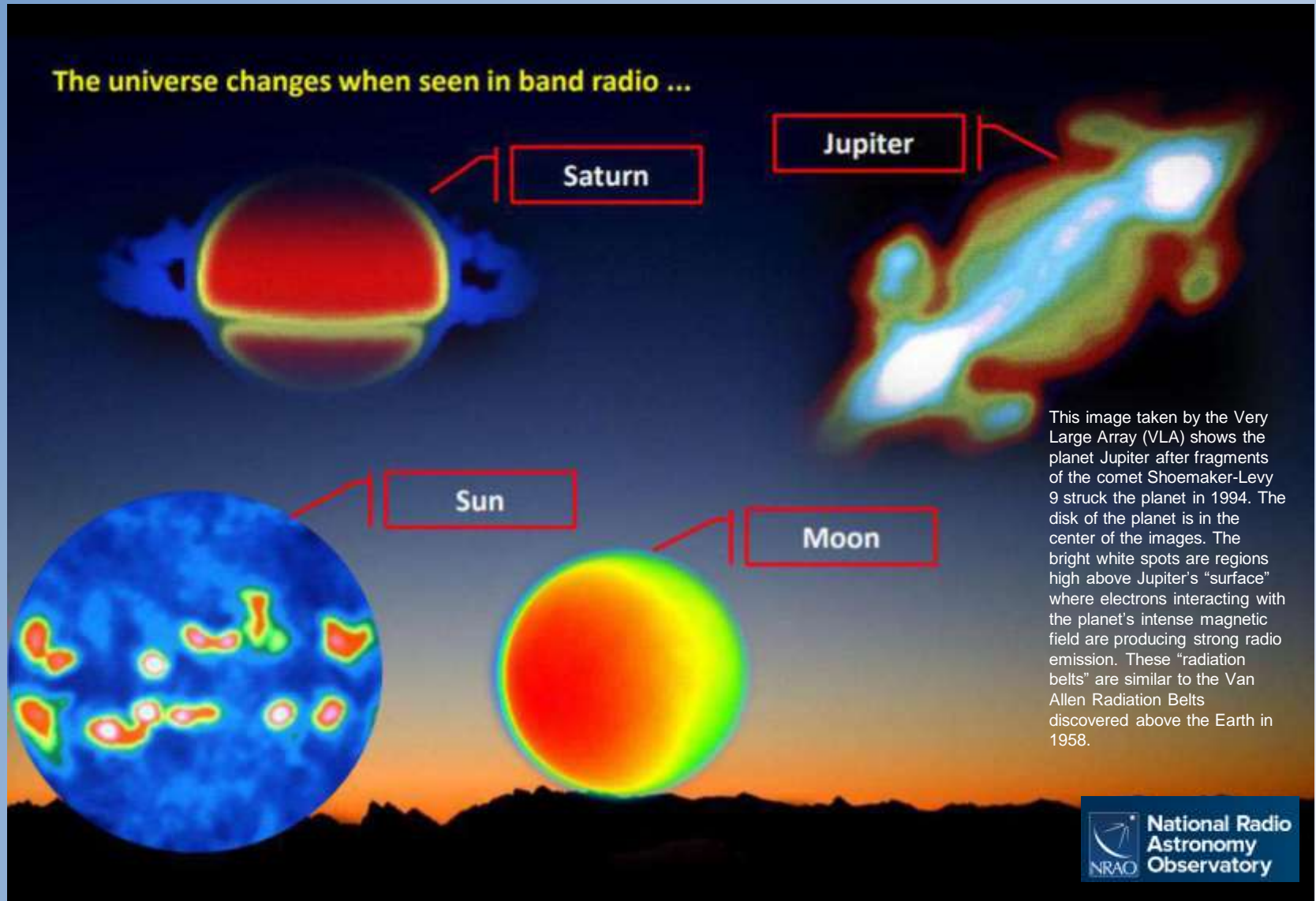
2,5 Ghz : Intensité de l'émission continue de radio provenant de gaz chauds et ionisés et d'électrons de haute énergie.





## 2.1 – Les ondes radio dans le spectre électromagnétique

### Exemples



## 2.1 – Les ondes radio dans le spectre électromagnétique

### Exemples

La nébuleuse contient en son centre un pulsar, (PSR B0531+21) qui tourne sur lui-même environ trente fois par seconde. Il s'agit du pulsar le plus énergétique connu, rayonnant environ 200 000 fois plus d'énergie que le Soleil, dans une gamme de fréquence extrêmement vaste, s'étalant de 10 MHz à plus de 30 GeV.

## Les lumières de la nébuleuse du Crabe

Radio      Infra Rouge      Lumière visible      Ultra violet      Rayons X      Rayons  $\gamma$



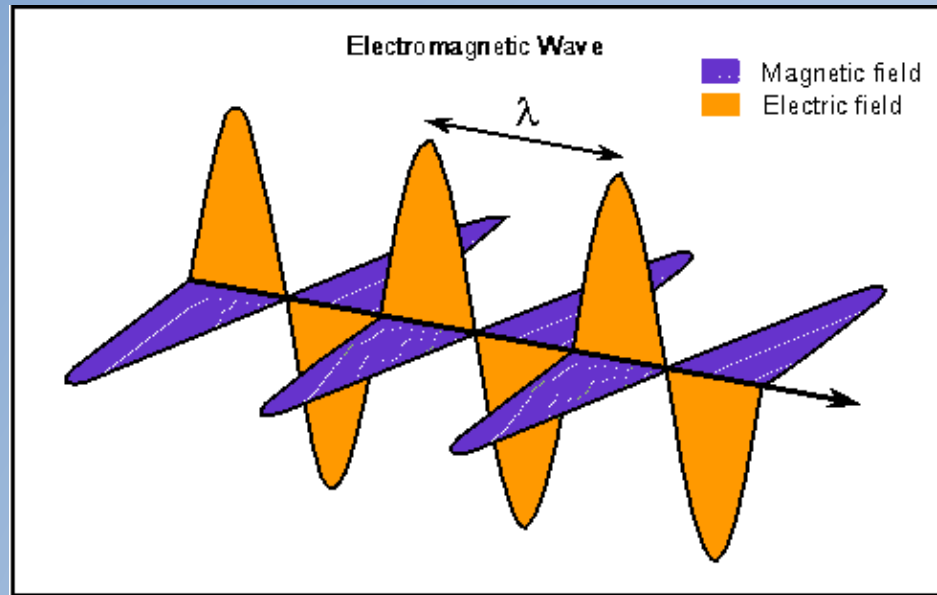
100m-1m      10  $\mu\text{m}$       700-400 nm      10 nm      1nm      0,1nm      0,01nm      0,001nm



Longueur d'onde



## 2.2 – Qu'est ce qu'une onde électromagnétique ?



Notre représentation d'une onde électromagnétique est un modèle qui comporte deux composantes: **Electrique** et **Magnétique**.

Elles se propagent dans deux plans perpendiculaires l'un à l'autre selon une trajectoire.

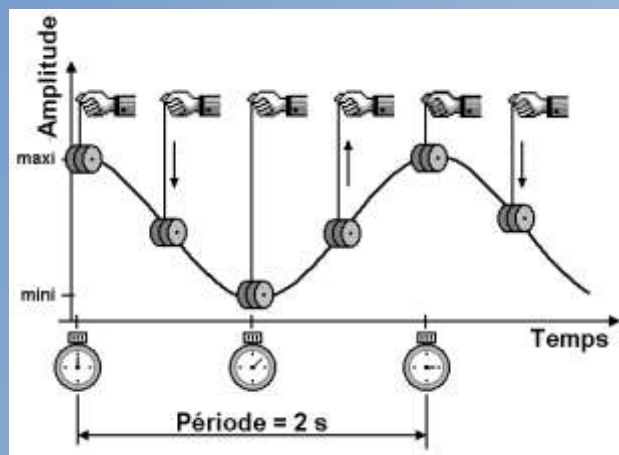
Elles se caractérisent par :

- une longueur d'onde  $\lambda$  (m),
- une fréquence  $\nu$  (Hz),
- une énergie  $E$  (J).

Une relation mathématique lie  $\lambda$ ,  $\nu$ ,  $E$  grâce au temps  $t$ , la vitesse de la lumière  $c$  et la constante de Planck  $h$

## 2.2 – Qu'est ce qu'une onde électromagnétique ?

### Un peu de maths



$$\nu \text{ (Hz)} = 1 / t \text{ (s)}$$

**Fréquence:** Nombre de périodes par secondes

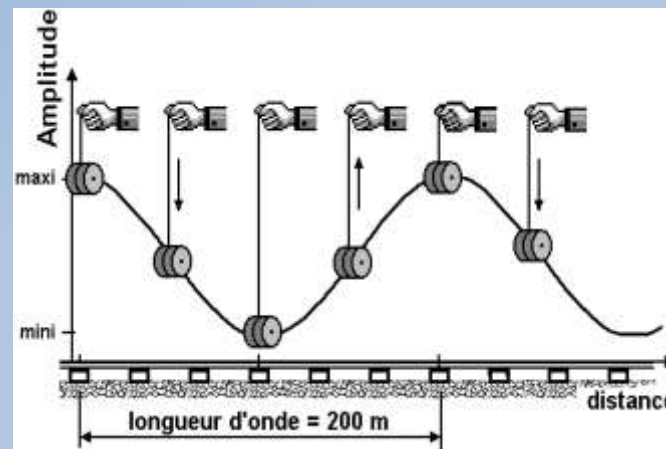
Ex:  $t = 2\text{s} \rightarrow \nu = 0.5 \text{ Hz}$

**Période:** Vitesse ( $c$ ) de déplacement de l'onde dans l'espace à la fréquence ( $f$ )

Le mouvement périodique de cette onde est caractérisée par :

- Son **Amplitude** (fonction sinusoidale) = Energie
  - Sa **Longueur d'onde** ( $\lambda$ ) = Distance en mètres séparant deux pics.
- ou **Fréquence** ( $\nu$ ) en **Hertz**. = Nombre de périodes par seconde.

$c$  = **vitesse de déplacement** de l'onde dans le vide = vitesse de la lumière

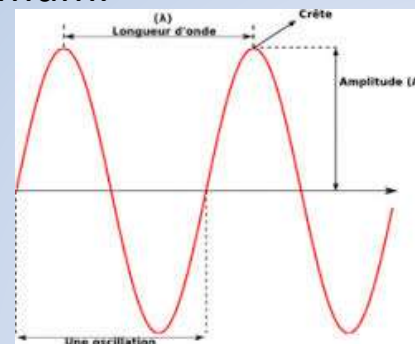


$$\lambda = c / \nu \text{ (Hz)}$$



$$\nu \text{ (Hz)} = c / \lambda$$

Longueur d'onde: distance entre deux maximum.





## 2.2 – Qu'est ce qu'une onde électromagnétique

une fréquence $\nu$	<b>300 GHz</b>	<b>30 KHz</b>
une longueur d'onde $\lambda$	<b>1mm</b>	<b>10 Km</b>

Du millimétrique au kilométrique

$$30 \text{ KHz} = 30\,000 \text{ Hz}$$

$$300 \text{ GHz} = 300\,000\,000\,000 \text{ Hz}$$

Quelques repères :

- fréquence : **1 kHz**      longueur d'onde : **300 km**
- fréquence : **1 MHz**      longueur d'onde : **300 m**
- fréquence : **100 MHz**      longueur d'onde : **3 m**
- fréquence : **10 GHz**      longueur d'onde : **3 cm**

## 2.2 – Qu'est ce qu'une onde électromagnétique

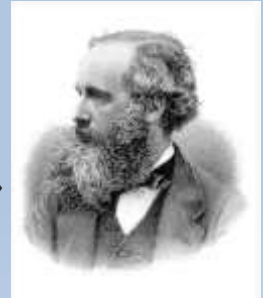
1862 Gustav KIRCHHOFF : idée du corps noir



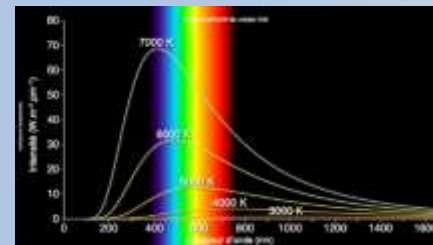
En physique, un **corps noir** désigne un objet idéal qui absorbe parfaitement toute l'énergie électromagnétique (toute la lumière quelle que soit sa longueur d'onde) qu'il reçoit. Cette absorption se traduit par une agitation thermique qui provoque l'émission d'un rayonnement thermique, dit rayonnement du **corps noir**.

1864 James Clerk Maxwell :

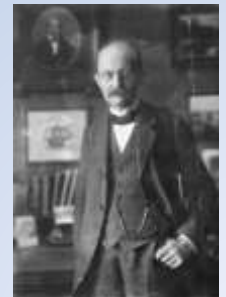
« L'accord des résultats semble montrer que la lumière et le magnétisme sont deux phénomènes de même nature et que la lumière est une perturbation électromagnétique se propageant dans l'espace suivant les lois de l'électromagnétisme. »



1888 : Heinrich HERTZ - Découverte des ondes électromagnétiques dans l'air, les ondes hertziennes.



1900 Max Planck : un corps noir émet un rayonnement électromagnétique  
la quantification des interactions électromagnétiques

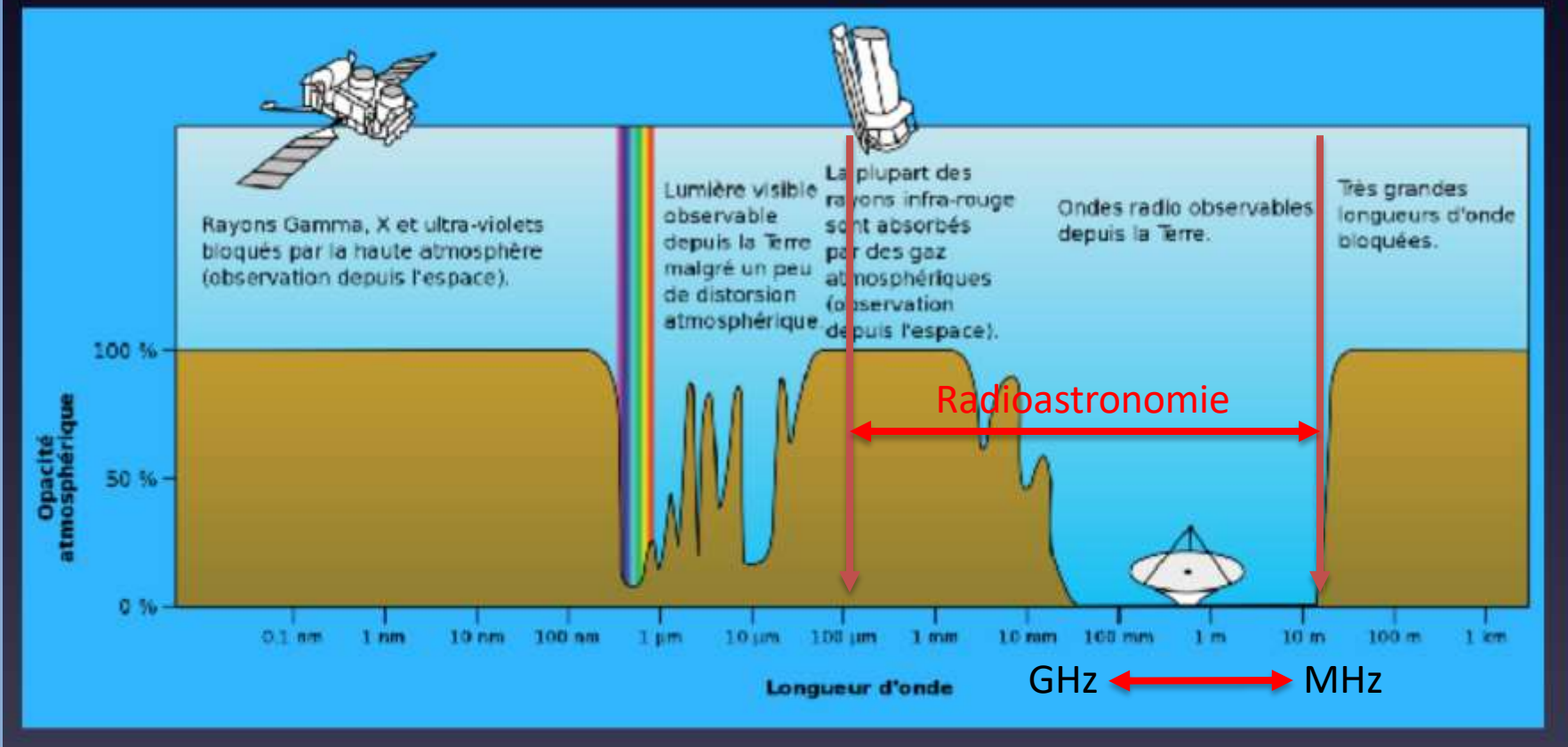




# 3 – Le domaine électromagnétique en radioastronomie



## Opacité/transparence de l'atmosphère



Rayonnement optique et certaines ondes radio sont les seuls observables depuis le sol  
f (couverture nuageuse et la pluie)

# 3 – Le domaine électromagnétique autorisé et réservé en radioastronomie

Bandes de fréquence dédiées par l'Union Internationale des Télécommunication (UIT) à la radio astronomie libres de perturbations électromagnétiques.

<http://www.itu.int/net/ITU-SG/regional-fr.aspx>

Bandes ITU	Types d'observation
13,36 MHz à 13,41 MHz	Soleil, Jupiter
25,55 MHz à 25,67 MHz	Soleil, Jupiter
37,5 MHz à 38,25 MHz	Jupiter
73 MHz à 74,6 MHz	Soleil
150,05 MHz à 153 MHz	Continuum, pulsar, Soleil
322 MHz à 328,6 MHz	Continuum, deutérium
406,1 MHz à 410 MHz	Continuum
608 MHz à 614 MHz	VLBI
1 330 MHz à 1 400 MHz	Raie HI red-shiftée
1 400 MHz à 1 427 MHz	Raie HI
1 610,6 MHz à 1 613,8 MHz	Raies OH
1 660 MHz à 1 670 MHz	Raies OH
1 718,8 MHz à 1 722,2 MHz	Raies OH
2 655 MHz à 2 700 MHz	Continuum, HII
3 100 MHz à 3 400 MHz	Raies CH
4 800 MHz à 5 000 MHz	VLBI, HII, raies H <sub>2</sub> CO et HCOH
6 650 MHz à 6 675,2 MHz	CH <sub>3</sub> OH, VLBI
10,60 GHz à 10,70 GHz	Quasar, raies H <sub>2</sub> CO, Continuum

14,47 GHz à 14,50 GHz	Quasar, raies H <sub>2</sub> CO, Continuum
15,35 GHz à 15,40 GHz	Quasar, raies H <sub>2</sub> CO, Continuum
22,01 GHz à 22,21 GHz	Raie H <sub>2</sub> O red-shiftée
22,21 GHz à 22,5 GHz	Raies H <sub>2</sub> O
22,81 GHz à 22,86 GHz	Raies NH <sub>3</sub> , HCOOCH <sub>3</sub>
23,07 GHz à 23,12 GHz	Raies NH <sub>3</sub>
23,6 GHz à 24,0 GHz	Raie NH <sub>3</sub> , Continuum
31,3 GHz à 31,8 GHz	Continuum
36,43 GHz à 36,5 GHz	Raies HC <sub>3</sub> N, OH
42,5 GHz à 43,5 GHz	Raie SiO
47,2 GHz à 50,2 GHz	Raies CS, H <sub>2</sub> CO, CH <sub>3</sub> OH, OCS
51,4 GHz à 59 GHz	
76 GHz à 116 GHz	Continuum, raies moléculaires
123 GHz à 158,5 GHz	Raies H <sub>2</sub> CO, DCN, H <sub>2</sub> CO, CS
164 GHz à 167 GHz	Continuum
168 GHz à 185 GHz	H <sub>2</sub> O, O <sub>3</sub> , multiples raies
191,8 GHz à 231,5 GHz	Raie CO a 230.5 GHz
241 GHz à 275 GHz	Raies C <sub>2</sub> H, HCN, HCO+
275 GHz à 1 000 GHz	Continuum, Raies moléculaires

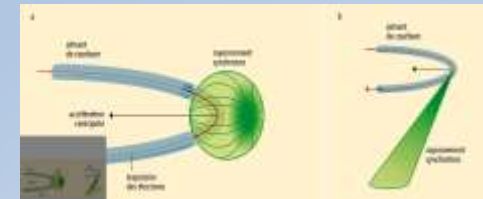
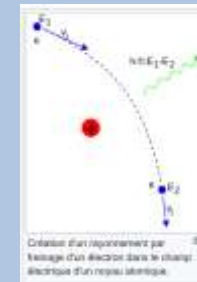
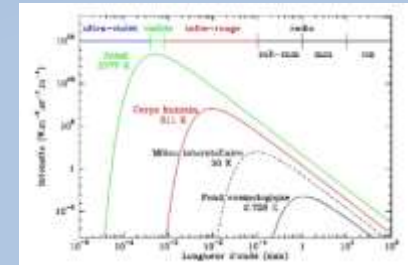
# 4 – Origine des phénomènes émettant des ondes radioélectriques

Les ondes radioélectriques peuvent être produites par 2 processus physiques:

## 1 – D'origine thermique

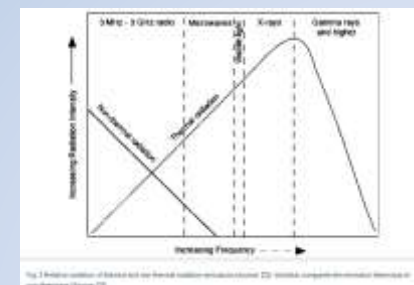
Au dessus du zéro absolu, les atomes sont en mouvement constant.  
Cela traduit l'énergie thermique d'un objet astrophysique.

Un rayonnement continu par effet synchrotron lié a un champ magnétique  
Le rayonnement continu de freinage



## 2 - D'origine non-thermique

Ce sont des rayonnements qui traduisent une interaction matière rayonnement.

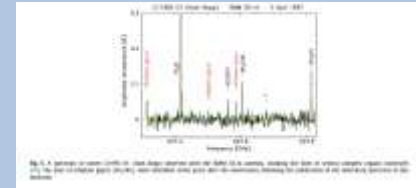
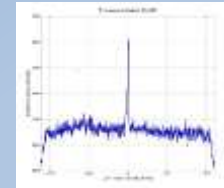




# 4 – Qu'apprend-on avec la Radioastronomie ?

- Structure de notre galaxie (via la mesure de la répartition de l'hydrogène atomique),

- => 1951 : galaxie spiralée barrée,



- Les processus physiques au sein de notre Soleil,

- • Accélération, stockage, propagation des électrons
  - – Localisation des éruptions.
- • Mesures de densité peu sensibles à la température, à tous les niveaux de l'atmosphère solaire.
- • Mesure du champ magnétique dans la couronne.
- • Observation de perturbations de la couronne

- La composition et l'évolution des nuages de gaz interstellaires et des pouponnières d'étoiles,

- La structure et l'évolution des galaxies, les pulsars,...



- La détermination des paramètres cosmologiques de l'univers (analyse du fond diffus cosmologique)



- Les processus physiques à l'origine des émissions radioélectriques des plasmas, des planètes et du milieu interplanétaire de notre système solaire.

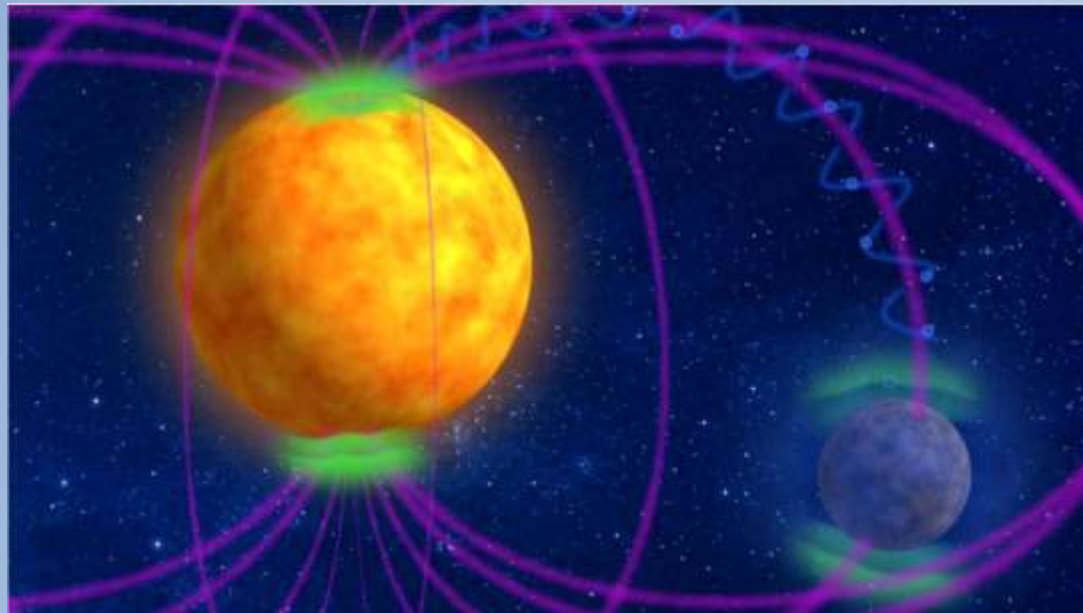
# 4 – Qu'apprend-on avec la Radioastronomie ?

- Une nouvelle voie de détection d'exoplanète dans la zone habitable via les exo-aurore émettant à  $\nu \lesssim 150$  MHz ?

[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=5&v=uQFESMYsrTE&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=5&v=uQFESMYsrTE&feature=emb_logo)

17 Fév. 2020

<https://www.astron.nl/news-and-events/news/lofar-pioneers-new-way-study-exoplanet-environments>



*Les interactions entre la naine rouge et sa planète. // Source: Capture d'écran YouTube*  
*AstronNL*

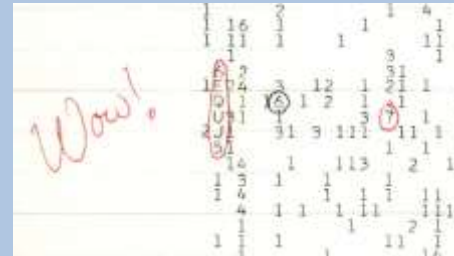
17/02/20 - Red dwarf star GJ1151

# 4 – Qu'apprend-on avec la Radioastronomie ?

**SETI@home** : Arrêt du projet **2 mars 2020**

Search for Extra-Terrestrial Intelligence (en français « recherche d'intelligence extraterrestre »)

A regroupé depuis 1999 des projets scientifiques essentiellement américains dont l'objectif est de détecter la présence de civilisations extraterrestres avancées présentes dans d'autres ...



## Science participative

Projet « Breakthrough listen »

Le **signal « Wow! »** est un signal radio puissant, à bande étroite et centré sur la raie à 21 centimètres, capté le 15 août 1977  
Explication en vigueur : une comète ?

Seti met en ligne deux pétaoctets de données pour la recherche extraterrestre

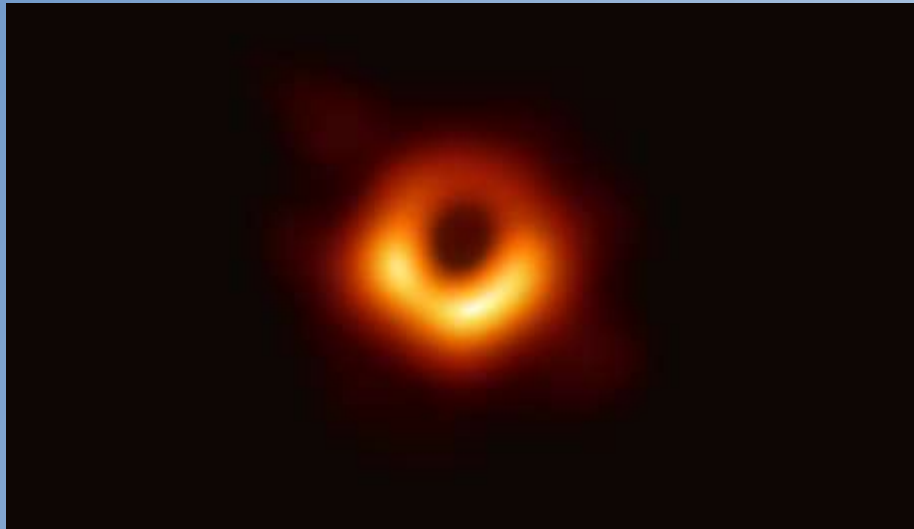
<https://www.sab-astro.fr/forumsab-astro/viewtopic.php?f=136&t=12230&p=60736&hilit=listen#p60736>



# 4 – Qu'apprend-on avec la Radioastronomie ?

A voir l'invisible par excellence

L'ombre d'un trou noir



« Photographie » du centre de la galaxie M87

## L'Event Horizon Telescope

(EHT, Télescope de l'horizon des événements)

Réseau de radiotélescopes terrestres (interférométrie).

$\lambda = 1,3\text{mm}$  ou 230 GHz



**12 Fév. 2020**

Une source inconnue FRB 180916 envoie des signaux vers la Terre tous les 16 jours

Radio-télescope CHIME : 400-800 MHz

<https://www.sab-astro.fr/forumsab-astro/viewtopic.php?f=135&t=12192>

# 4 – Qu'apprend-on avec la Radioastronomie ?

A voir l'invisible par excellence

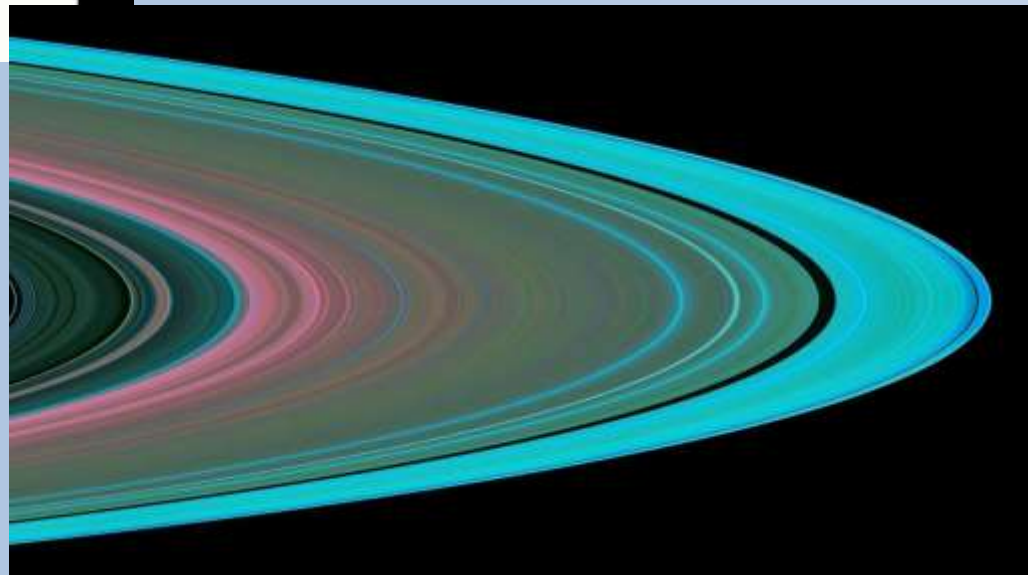


To make this colorful image, Cassini shot three radio wavelengths at Saturn's rings, and the distortion of those signals revealed how material is distributed throughout the rings. Scientists translated that data into colors: red indicates a region where there are no particles smaller than two inches in diameter; regions where there are particles smaller than two inches are shown in green; blue regions contain particles smaller than a third of an inch.

Ondes radio (réionisation) de notre propre galaxie rebondissant sur la lune

26 Oct 2018

<https://www.sciencealert.com/murchison-widefield-array-lunar-occultation-milky-way-galaxy-radio-waves-reflecting-moon-epoch-of-reionisation>

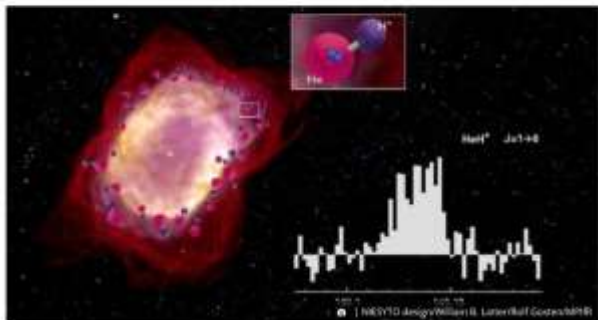


# 4 – Qu'apprend-on avec la Radioastronomie ?



## Détection inédite du tout premier composé de l'Univers

Thomas Delvaux • 10 avril 2019 • Chimie, Espace & Astrophysique

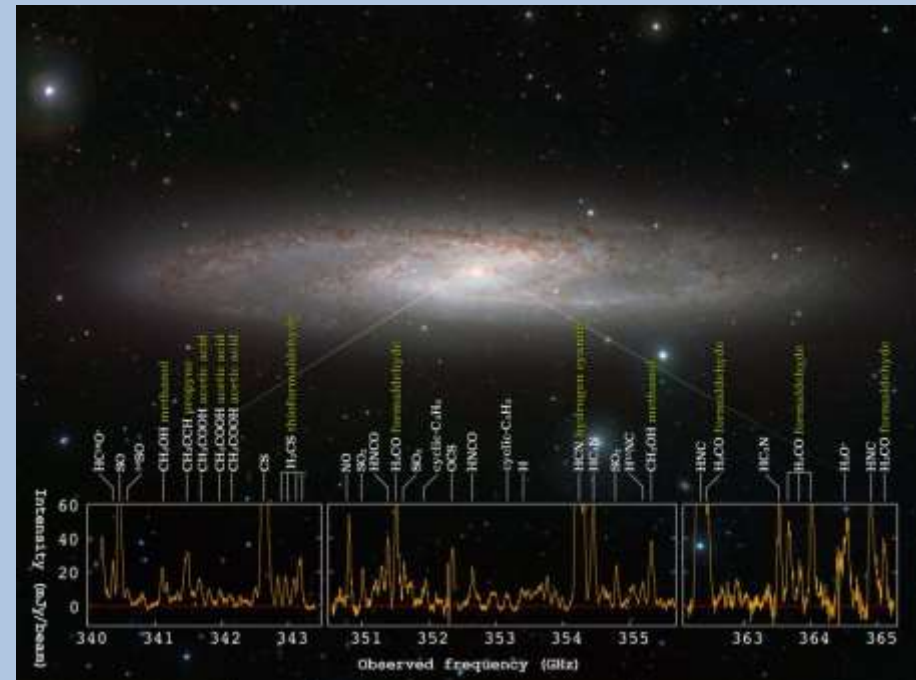
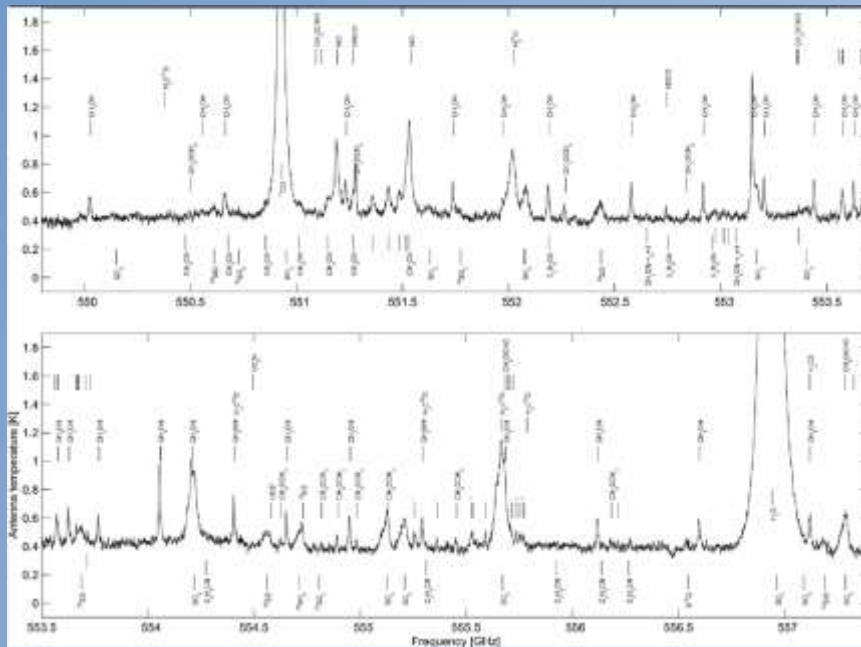


14 Mai 2019

<https://www.pourlascience.fr/sd/astrophysique/la-premiere-molecule-formee-dans-lunivers-enfin-detectee-16998.php>

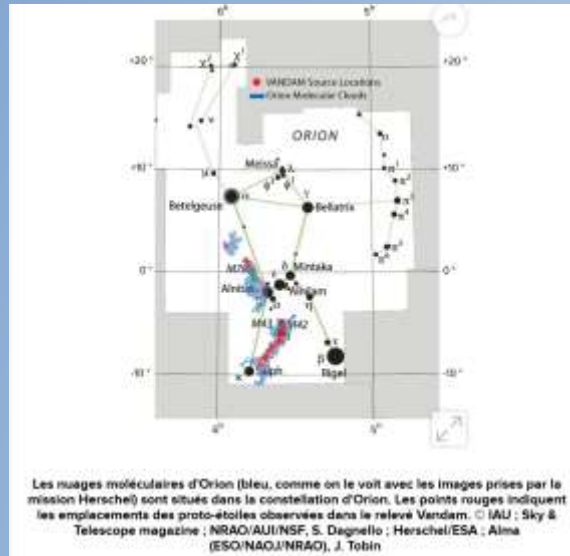


# 4 – Qu'apprend-on avec la Radioastronomie ?



# 4 – Qu'apprend-on avec la Radioastronomie ?

VLA et Alma => images inédites de centaines de disques protoplanétaires entourant de jeunes proto-étoiles dans Orion.



25 Fév. 2020



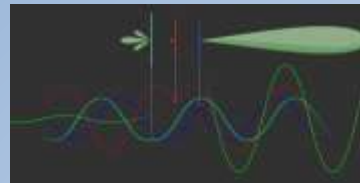
25 Fév. 2020

<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/exoplanete-centaines-disques-protoplanetaires-autour-jeunes-etoiles-observees-orion-79734/>

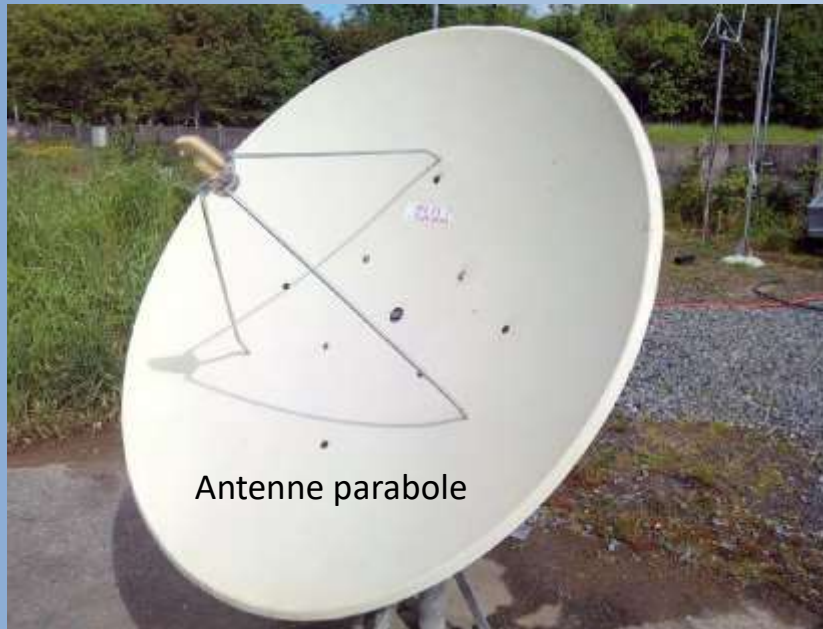
# 5 – Comment capte-t-on les ondes radioélectriques?



Antenne cornet



Antenne Yagi



Antenne parabole

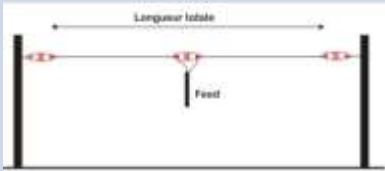




Antenne dipole





# 5 – Comment capte-t-on les ondes radioélectriques?

14 – 100 MHz	> 110 MHz <	> 900 MHz
	 J-J. MAINTOUX – F1EHN	
Jupiter 18-24 MHz	Soleil Météores H1	Presque tout

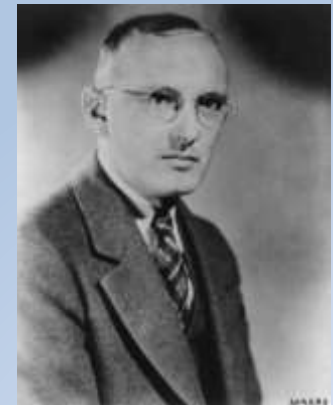
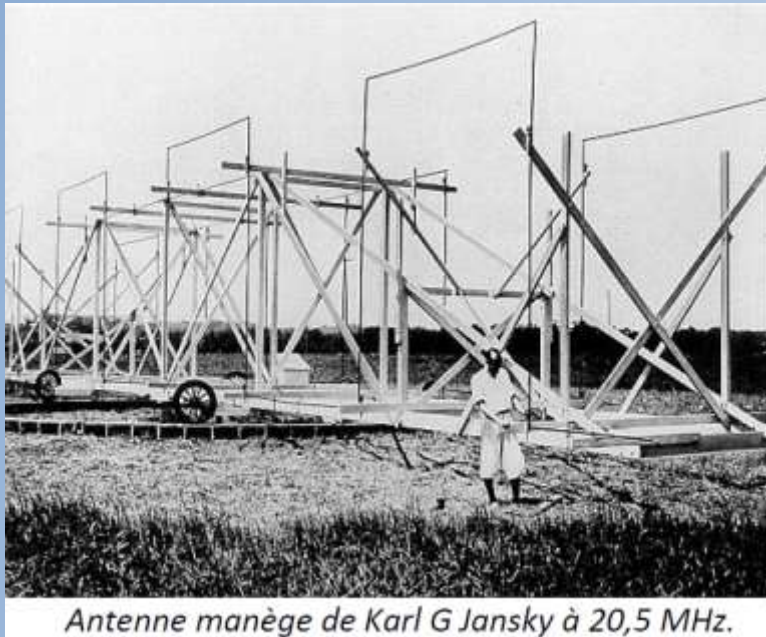


# 6 – Histoire de la Radioastronomie

## Une science jeune

**1905** : Tentative de détecter des radiosources mais équipements pas suffisamment sensibles

**1931** : **Karl G Jansky**, Bell Telephone détecte des signaux parasites brouillant les télécommunications en provenance de la Voie Lactée dans la constellation du Sagittaire.



Personne de la communauté scientifique ne veut reconnaître l'importance de la découverte.

Le **jansky**, **Jy**, est l'unité employée généralement en radioastronomie la densité de flux ( $\sim$ intensité) des signaux radio.

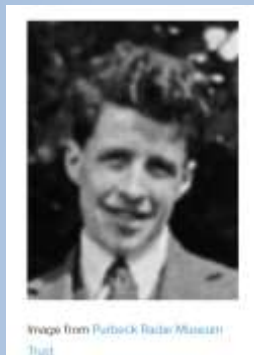
# 6 – Histoire de la Radioastronomie

## Une science jeune

**1937 : Grote Reber** confirme grâce à une antenne parabolique de 9.5m de sa fabrication l'émission radio de notre Galaxie.  
Il découvre (1944) les deux radio sources les plus brillantes **de notre Galaxie (Cassiopee A et Cygnus A)**.  
Il s'installe en Tasmanie pour éviter toute pollution. Il est le premier à s'orienter vers les fréquences basses.



**1942 : James Stanley Hey**, technicien radariste dans la Royal Navy, découvre les rayonnements solaires.





# 6 – Histoire de la Radioastronomie

## Une science jeune

**1947:** Récupération des radars allemands Würzburg par Yves Rocard en France.

**1950:** Invention par Joseph PAWSEY (CISRO) de l'interféromètre radio.

**1951:** EM PURCELL découvre **le rayonnement de l'Hydrogène sur 21cm.**

**1953:** Invention par Bernard Mills (CISRO) de l'interféromètre en croix. Construction en Australie de la Croix de Mills à Sydney: 32 antennes de  $D = 1,1\text{m}$ .

**1955:** Franken et BURKE découvrent le rayonnement décamétrique de **Jupiter.**

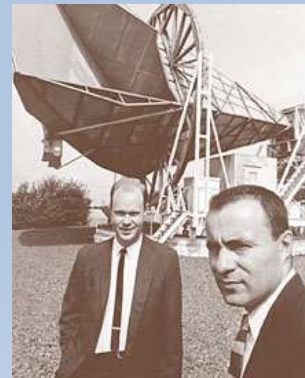
**1957:** Première antenne géante construite en Angleterre à Jodrell Bank  $D = 76\text{m}$

**1960:** SANDAGE découvre **le premier Quasar**

**1961:** une parabole de  $D = 64\text{m}$  est construite à Parkes en Australie.

**1963:** WEINREB et ses collègues de Harvard découvrent **le radical OH sur 18cm.**

**1965:** Inauguration du plus grand radiotélescope mondial à Nançay.



Arno PENZIAS et Robert WILSON

**1965:** Arno PENZIAS et Robert WILSON Grâce à une antenne cornet découvrent **le rayonnement fossile à 3K** en micro ondes (2 mm) (CMB). prédit par Gamow.

**1967:** Jocelyn BELL et Antony HEWISH découvrent **les pulsars** à Cambridge.

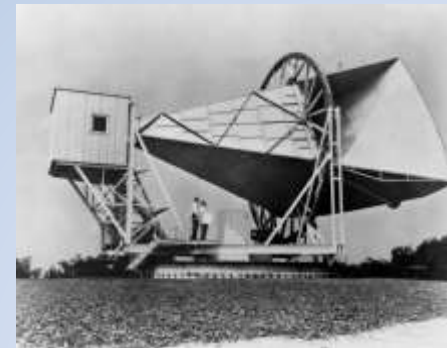
**1970:** Etude des molécules en ondes millimétriques  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ ...

**1971:** Construction de la plus grande parabole de  $D = 110\text{m}$  à Effelsberg en Allemagne.

**1975:** Construction de la plus grande parabole fixe  $D = 305\text{m}$  à Arecibo USA.

**1978:** Inauguration du Very Large Array dans le Nouveau Mexique : le **VLA**.

**1980:** Interférométrie à Longue Base: le **VLBI**



Pelle à sucre

# 7 – Les Radiotélescopes

Liste des radiotélescopes

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste\\_de\\_radiotélescopes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_de_radiotélescopes)



Arecibo – Porto Rico – 305m



Nancay



NOEMA – 12 antennes



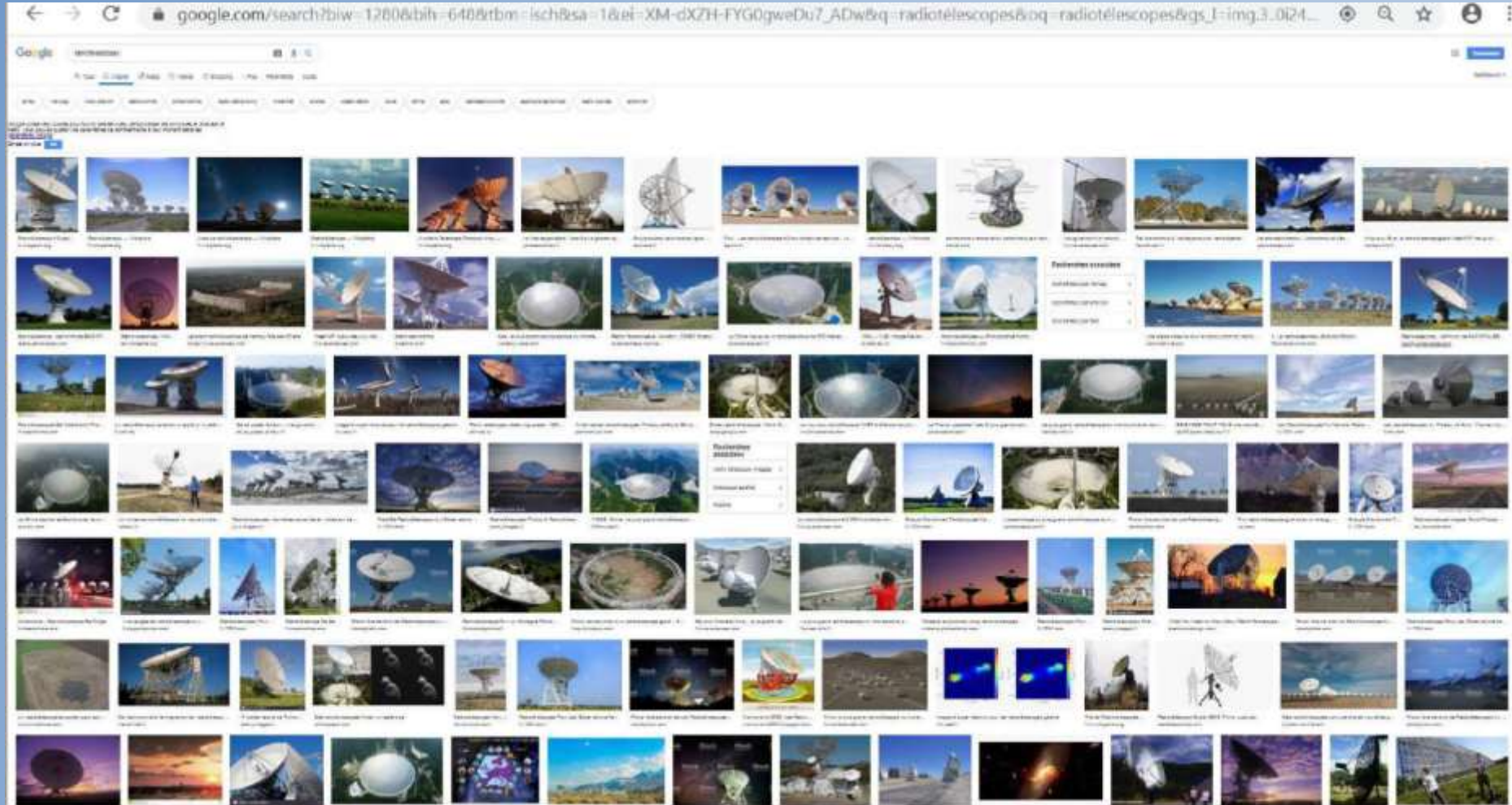
VLA – Nouveau Mexique



GMRT - Inde



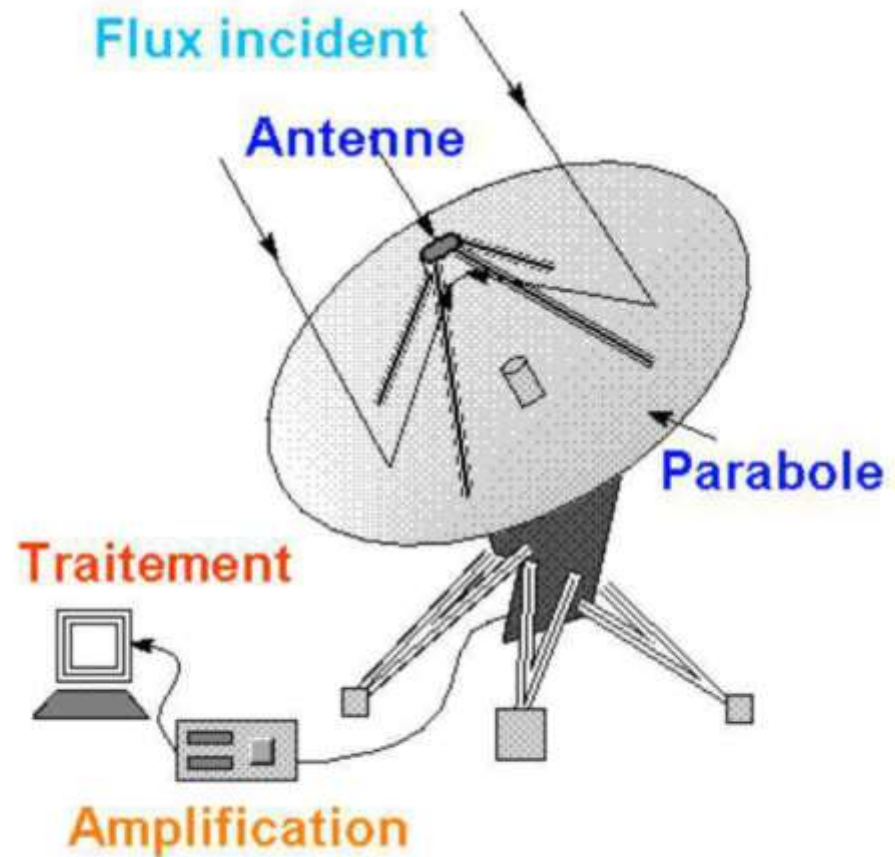
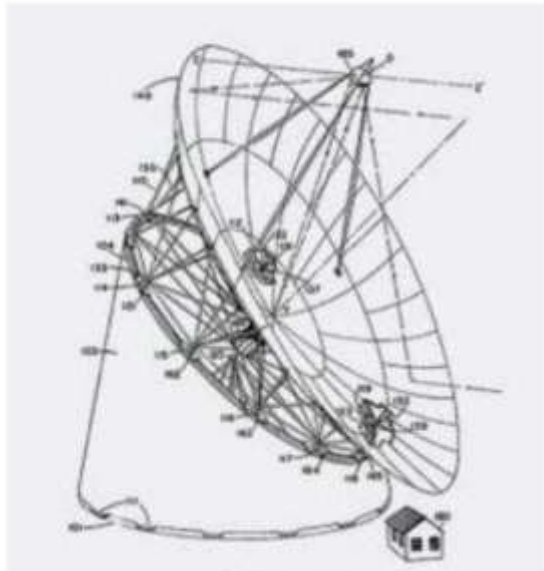
# 7 – Les Radiotélescopes





# 8 – Anatomie d'un Radiotélescope

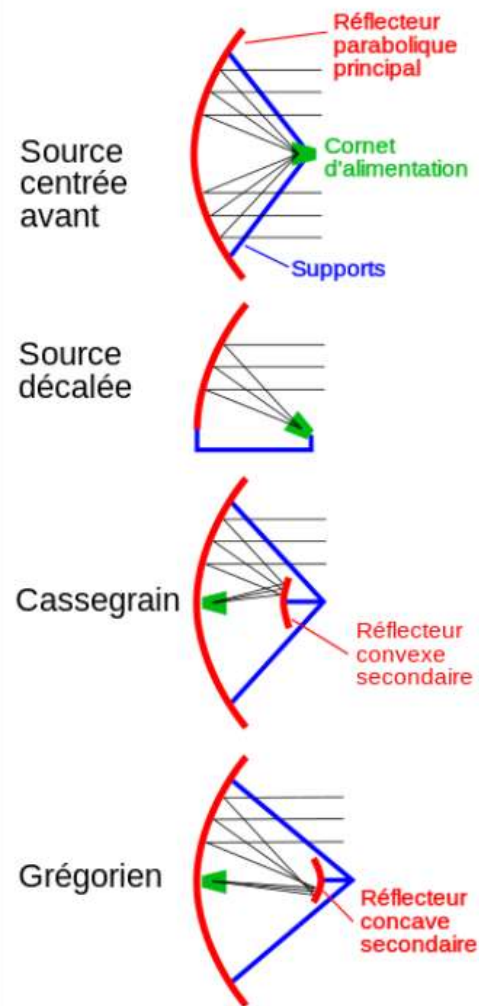
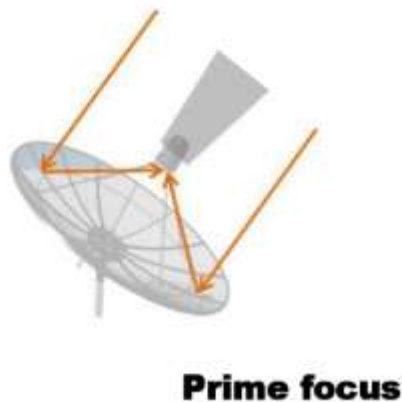
## RADIOTELESCOPE ?



# 8 – Anatomie d'un Radiotélescope

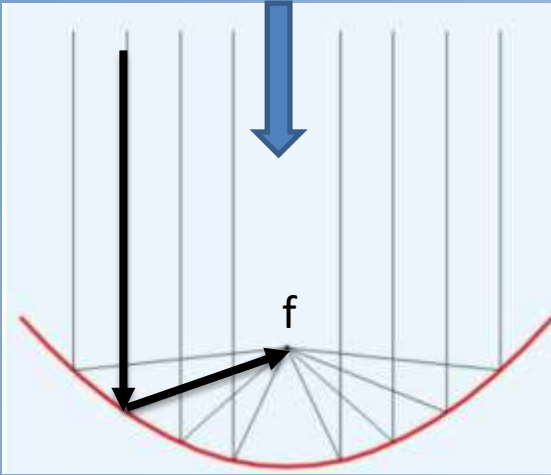
## RADIOTÉLESCOPE 1.0

## PARABOLES DISPONIBLES



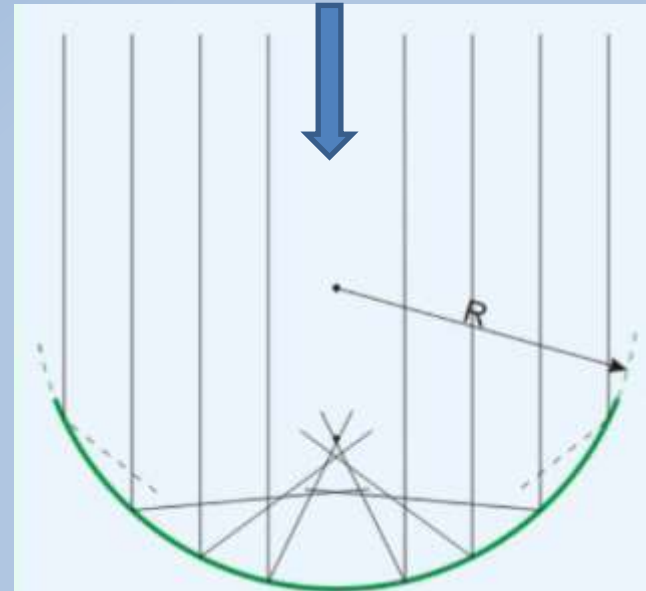
Les différents types de montages de la source d'une antenne parabolique

## 8 – Anatomie d'un Radiotélescope



La parabole conjugue l'infini en un point : le foyer

Elle transforme une onde plane en onde sphérique



Contrairement à la demi sphère



# 8 – Anatomie d'un Radiotélescope

**LNBF Low Noise Block Feedhorn**

**Tête universelle**

**Bande C de 3,5 à 4,2 GHz**

**Bande Ku 11,75 à 12,25 GHz**

**Bande L et S 2,3 à 2,7 GHz**



**On en recherche !**

# 8 – Anatomie d'un Radiotélescope



Le bloc convertisseur à faible bruit (LNB) est utilisé dans la réception de la télévision par satellite . Ces satellites utilisent des fréquences radio relativement élevées pour transmettre leurs signaux. Comme les signaux micro-ondes des satellites ne passent pas facilement à travers les murs, les toits et les fenêtres en verre, les antennes satellites sont montées à l'extérieur, et le signal doit être transmis à l'intérieur par des câbles. Lorsque des signaux radio sont transmis par des câbles, plus la fréquence est élevée et au plus les pertes se produisent dans le câble par unité de longueur. Les signaux utilisés pour le satellite sont sur une fréquence élevée (de l'ordre du gigahertz) et donc on doit employer des câbles spéciaux (coûteux) pour minimiser les pertes en ligne.

Le travail du LNB est d'utiliser le principe du superhétérodyne et de prendre un large bloc (ou bande) de fréquences relativement élevées, de les amplifier et de les convertir en signaux similaires mais sur une fréquence beaucoup plus faible (appelée fréquence intermédiaire ou IF). Ces basses fréquences passent par un câble avec beaucoup moins d'atténuation du signal. Il est donc beaucoup plus facile et moins coûteux de concevoir des circuits électroniques pour fonctionner à ces fréquences plus basses (plutôt que les très hautes fréquences de transmission par satellite).

## 8.1 – Anatomie d'un Radiotélescope réalisations

### Détecter le bruit radio du Soleil



Le soleil est une source très puissante d'ondes radios, couvrant un très large spectre de fréquences.

Du fait de sa proximité il est facilement détectable avec des moyens à la portée de l'amateur.

..... Un premier pas vers la radioastronomie....





## 8.1 – Anatomie d'un Radiotélescope réalisations

### Observations amateurs

Avec des moyens simples



Parabole +  
LNB universel



SatFinder



Voltmètre

Mesures,  
enregistrements,  
analyses etc..

Observation du bruit du soleil en bande X = bande satellite  
Le SatFinder est utilisé comme détecteur de puissance.  
Cette puissance est lue sur un voltmètre.

# 8.2 – Anatomie d'un Radiotélescope réalisations









## LE RADIOTELESCOPE type **LUCIE** (Astrosurf)

**Le radiotélescope à  
moins de 200 euros !**



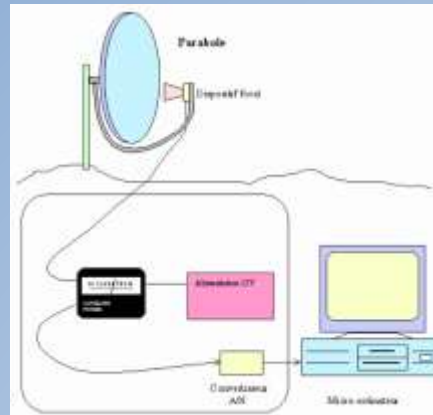
**Montage en méridienne**

**Transit du Soleil et de la Lune**

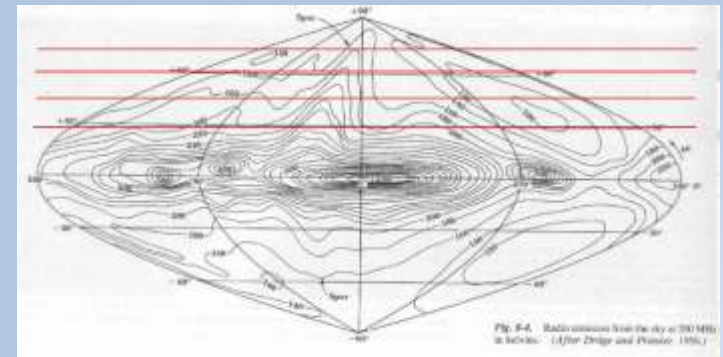
Nom du produit	Quantité	Prix à l'unité	Montant
 <b>Pointeur de satellites SAT Finder</b> <small>Code produit: 341702-02</small> <i>En stock</i>	1 (pièces)	€ 14,95 <sup>+</sup> <small>Prix unit. € 0,01</small>	€ 14,95 <sup>+</sup> <small>Prix unit. € 0,01</small>
 <b>Parabole 90 cm en aluminium avec M16 LNB Sup</b> <small>Code produit: 330245-02</small> <i>livrable à partir du 07.11.2012</i>	1 (pièces)	€ 59,95 <sup>+</sup>	€ 59,95 <sup>+</sup>
 <b>Set de câbles pour antennes satellites et TV 10 mètres</b> <small>Code produit: 340729-02</small> <i>En stock</i>	1 (pièces)	€ 6,99 <sup>+</sup>	€ 6,99 <sup>+</sup>
 <b>Bloc alimentation à découpage tension continue 12V 100A</b> <small>Code produit: 512013-02</small> <i>En stock</i>	1 (pièces)	€ 38,95 <sup>+</sup> <small>Prix unit. € 0,08</small>	€ 38,95 <sup>+</sup> <small>Prix unit. € 0,08</small>
 <b>Set de filtres F</b> <small>Code produit: 742004-02</small> <i>En stock</i>	1 (emballage)	€ 5,50 <sup>+</sup>	€ 5,50 <sup>+</sup>
<b>Nom principal</b>			
 <b>Ensemble DNC</b> <small>Code produit: 740002-02</small> <i>En stock</i>	1 (pièces)	€ 1,50 <sup>+</sup>	€ 1,50 <sup>+</sup>
 <b>Cordon de mesure universel</b> <small>Code produit: 120003-02</small> <i>En stock</i>	1 (pièces)	€ 7,89 <sup>+</sup>	€ 7,89 <sup>+</sup>
 <b>Enregistreur de données USB à 4 canaux PC32</b> <small>Code produit: 121703-02</small> <i>En stock</i>	1 (pièces)	€ 49,95 <sup>+</sup> <small>Prix unit. € 0,04</small>	€ 49,95 <sup>+</sup> <small>Prix unit. € 0,04</small>
 <b>Câble sans halogène 1 x 0,3 mm² filin LappKabel H05G-K 90°C 1 x 0,3 mm² AT2001</b> <small>Code produit: 000010-02</small> <i>livrable à partir du 23.10.2012</i>	1 (mètre)	€ 0,40 <sup>+</sup>	€ 0,40 <sup>+</sup>
<b>Nom principal</b>			
Équipement TTC		€ 198,00	
Supplément de base d'envoi		€ 6,88	
Supplément d'expédition		€ 0,11	
<b>Total TTC</b>		<b>€ 199,18</b>	

Price TTC: Montants d'envoi

# 8.2 – Anatomie d'un Radiotélescope réalisations



<http://www.astrosurf.com/radioastro/Lucie1.html>



Etablir une carte radioélectrique du ciel

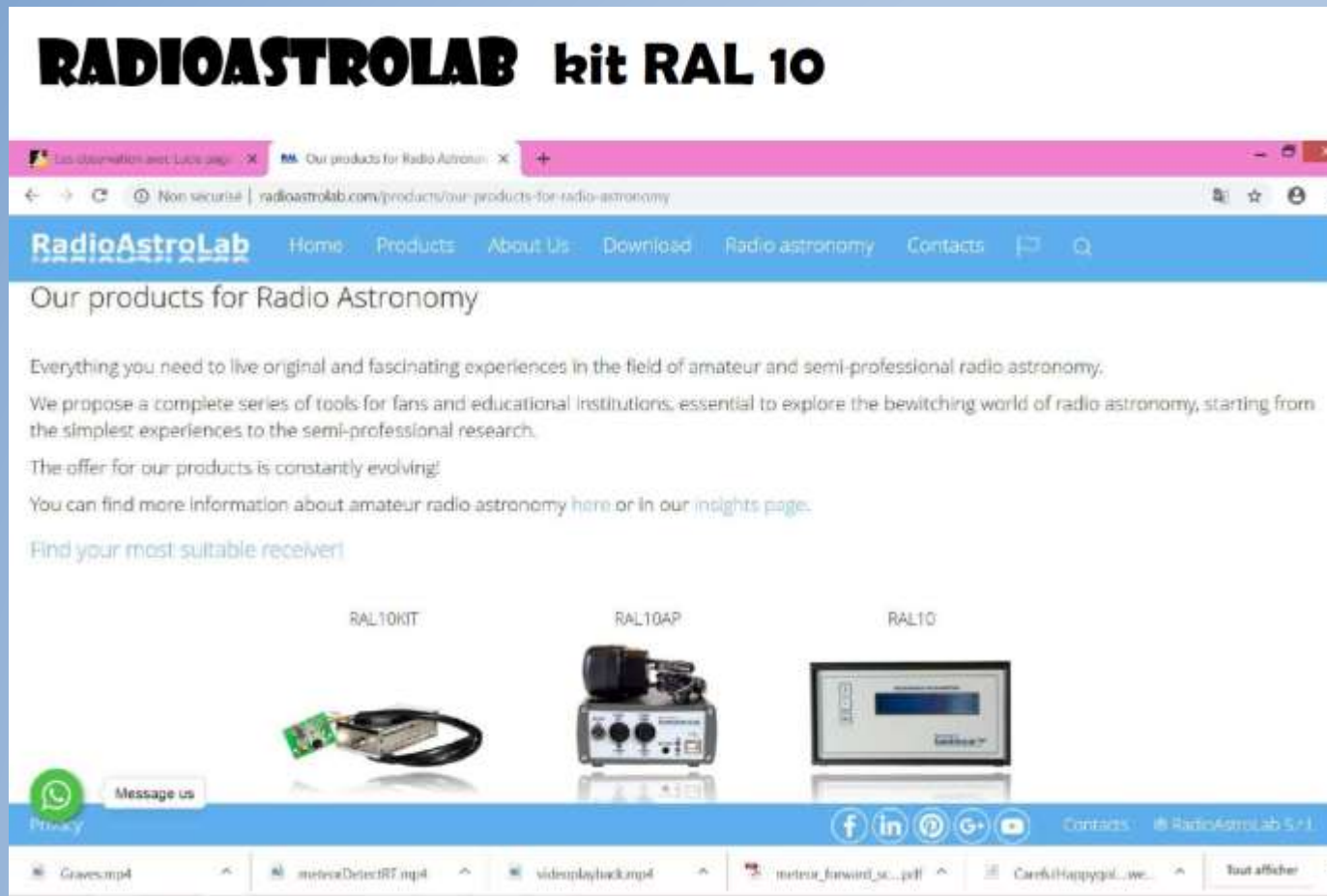
**Astrophotography**  
*Because clouds are rare in the sky of Brittany and Normandy*

Amateur radiotelescope 10-12GHz

2007, my electronic circuit for LUCIE is recommended by the University of Strasbourg, under contract with the ESA (European Space Agency) for educational purposes!  
 (see PDF document)

LUCIE

## 8.3 – Anatomie d'un Radiotélescope réalisations



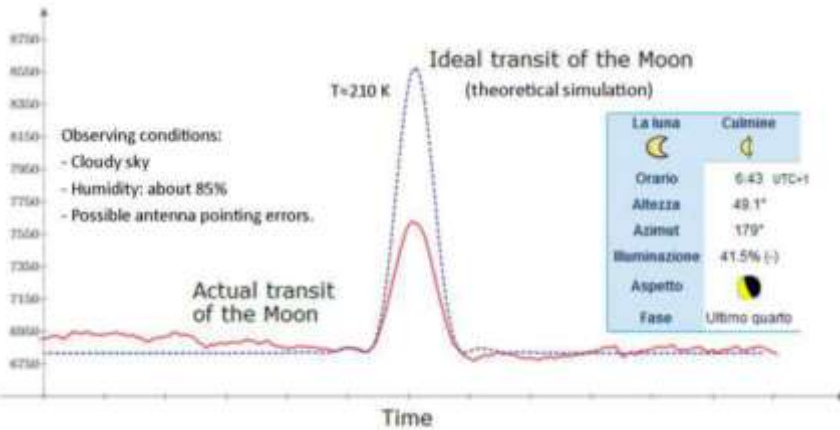
Fabricant : <https://www.radioastrolab.com/>



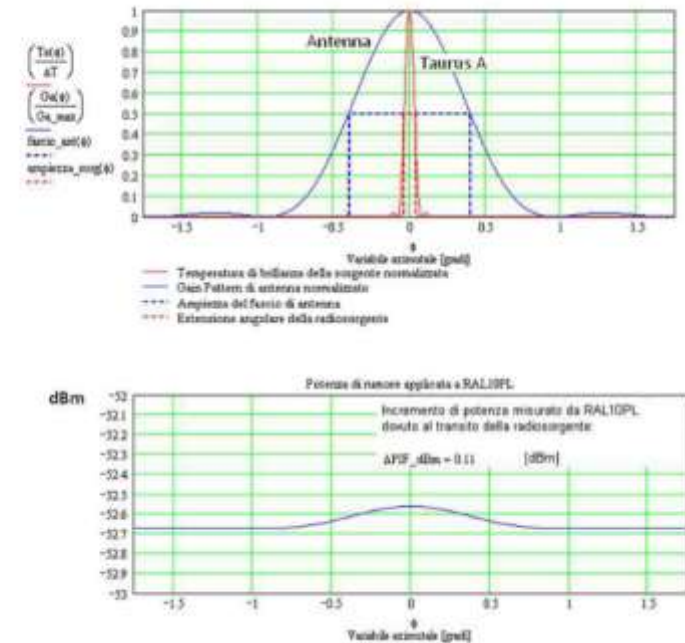
# 8.3 – Anatomie d'un Radiotélescope

## Exemple de transit de la Lune

RAL10 11.2 GHz Moon Transit — Senigallia (AN) Italy — 13.2152° E, 43.7198° N



## Transit d'une Radiosource Taureau A



## 8.3 – Anatomie d'un Radiotélescope

### RADIO ASTRONOMY EXPERIMENTS

#### OUR EXPERIMENTS

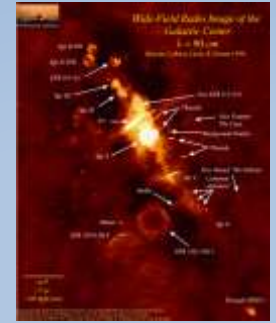
- ATMOSPHERE PROJECT WITH RAL\_ATM (BELOW)
- EXPERIMENT WITH RAL10: MOON MICROWAVE (PDF)
- VHF METEOR SCATTER: BISTATIC RADAR WITH GRAVES (PDF)
- EXPERIMENT AT 11.2 GHZ WITH SPIDER230: TAURUS A (BELOW)
- EXPERIMENT AT 11.2 GHZ WITH SPIDER230: CASSIOPEA A (BELOW)

#### CONTRIBUTIONS FROM OUR FRIENDS

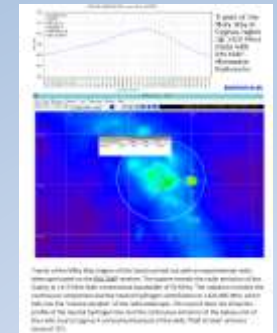
- EXPERIMENT WITH RAL10KIT BY GIANCARLO MADIAI (BELOW)
- BREVE NOTA PER LA REALIZZAZIONE DI UN PICCOLO RADIOTELESCOPIO AMATORIALE – BY RICCARDO GATTI (PDF)
- USEFUL INFORMATION FOR THOSE WHO WISH TO START WITH AMATEUR RADIO ASTRONOMY (JEAN MARIE POLARD – F5VLB) – FRENCH VERSION – ENGLISH VERSION
- PROJET ART – AWESOME RADIO TELESCOPE (RUBEN BARBOSA) (PDF)

[https://www.radioastrolab.com/radioastronomy\\_experiments/](https://www.radioastrolab.com/radioastronomy_experiments/)

# 9 – Les sources émettrices et TP



- Le soleil : suivi de son activité
  - La température du Soleil
    - <https://www.sab-astro.fr/forumsab-astro/viewtopic.php?f=136&t=11595>
- La Lune : détecter un corps froid rayonnant, purement thermique
- Jupiter
  - <https://www.sab-astro.fr/forumsab-astro/viewtopic.php?f=136&t=11617>
- Les météores
  - <https://www.sab-astro.fr/forumsab-astro/viewtopic.php?f=136&t=11567>
  - <https://www.sab-astro.fr/forumsab-astro/viewtopic.php?f=136&t=11616>
- La voie lactée
  - <https://www.radioastrolab.com/build-a-microwave-radio-telescope-with-ral10ap/>
- Atome H
- Le rayonnement fossile
  - <https://www.sab-astro.fr/forumsab-astro/viewtopic.php?f=136&t=11576>



Transit Voie Lactée

# 9 – Détection des météores

## Vigiciel/Fripon - Mars 2020 - Dieppe 14 fév.2020



Bernard KIEFFER

[http://www.csprojects.eu/antennes/construction\\_yagi.htm](http://www.csprojects.eu/antennes/construction_yagi.htm)



Antenne Yagi



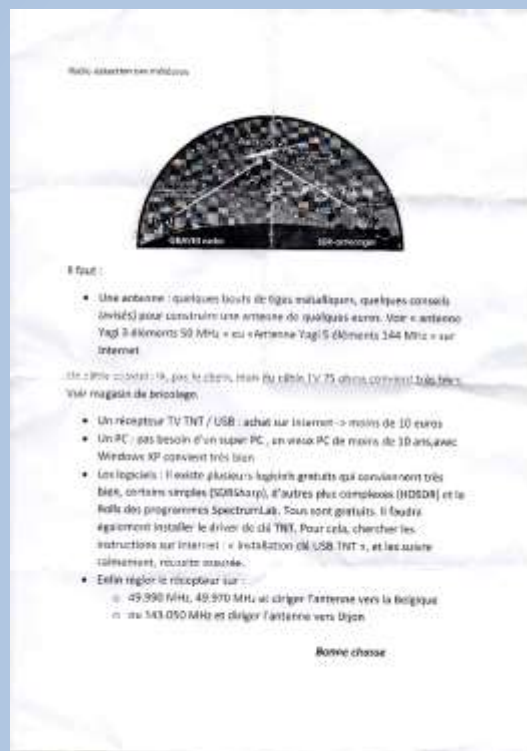
Clé dongle



Ordinateur



Chez jjw





# 9 – Mes réalisations



Clé usb Fun Cube Pro+

150 kHz à 1900 MHz

à l'exception de la portion de bandes de 250MHz à 410MHz

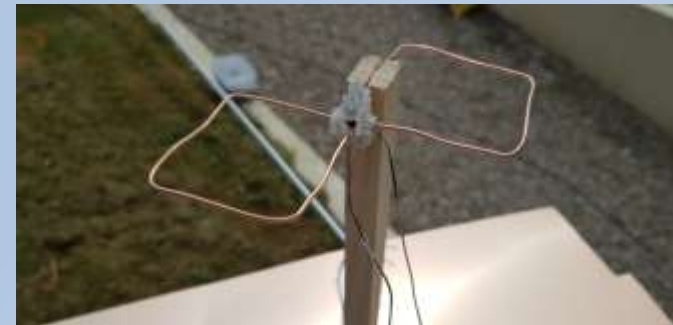
Yagi 20 éléments raie H1



Yagi disk 5 éléments  
1420 MHz



Dipôle



Antenne B-Quad  
Dimensionnée raie H1



Yagi 3 éléments 50 MHz



RAL 10 AP



# 10 – Radio astronomie

## A qui cela s'adresse-t-il ?

**Obligation** : aucune

Il n'est pas nécessaire d'avoir un certificat d'opérateur du service d'amateur car on ne fait que de l'écoute et pas d'émission.

**Il est préférable :**

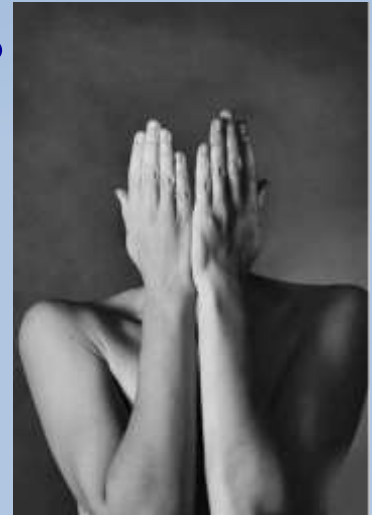
- de disposer d'un bagage en physique,
- de disposer de quelques connaissances en électronique,
- d'être bricoleur.



# 11 – Inconvénients et solutions

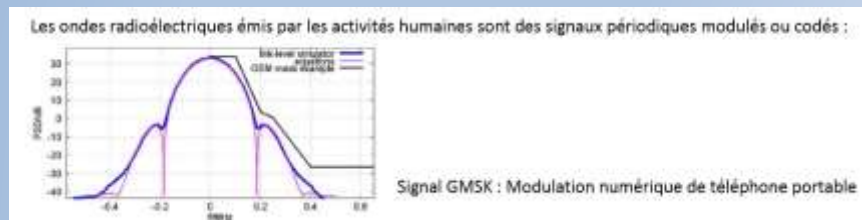
1 - les signaux provenant des sources radio célestes sont très faibles

=> grandes surfaces pour collecter suffisamment d'énergie, et des récepteurs à faible bruit (refroidis)



2 - la pollution radioélectrique d'origine humaine limite les bandes du spectre observables

=> besoin de moyens efficaces de lutte contre les interférences



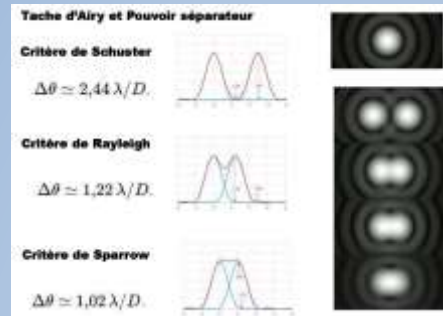
# 11 – Inconvénient et solution

## 3 - Un pouvoir séparateur de piètre qualité !

le **pouvoir séparateur** détermine la capacité d'un instrument à séparer deux objets célestes en apparence très rapprochés.



Le pouvoir séparateur d'un instrument dépend du diamètre ET de la longueur d'onde à observer



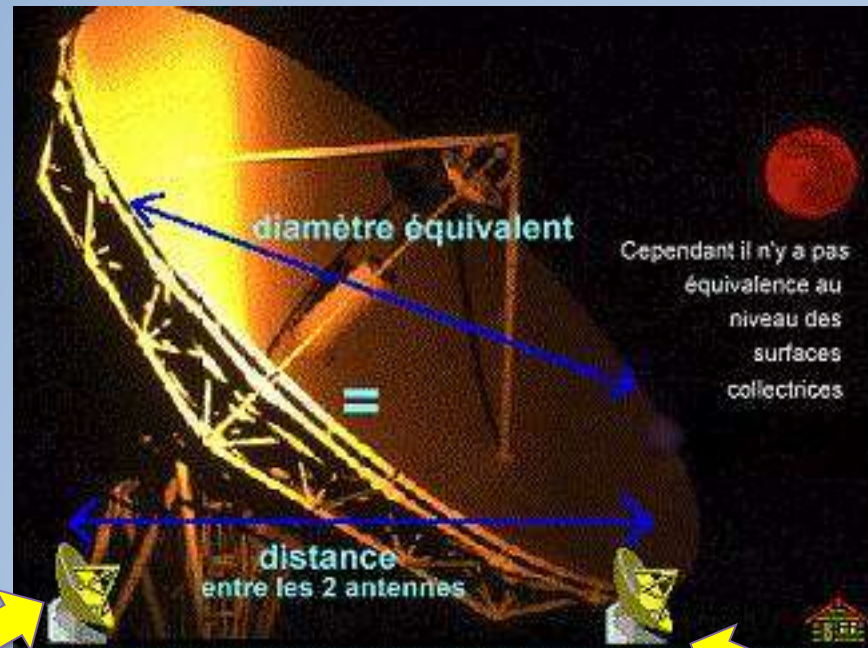
La tache de diffraction est d'autant plus grande que  $\lambda$  (longueur d'onde) est plus grand. Pour un diamètre  $D$  donné, un télescope optique ( $\lambda$  de l'ordre du dix-millionième de mètre) donne une tache de diffraction un million de fois plus fine qu'un radiotélescope (longueur d'onde de l'ordre du mètre).



# 11 – Inconvénients et solution

## Interférométrie

Si on couple deux antennes, le pouvoir de résolution de l'ensemble est égal à celui que l'on aurait obtenu avec une antenne unique d'un diamètre égal à la distance entre les deux antennes .



Antenne 1

Antenne 2

# 11 – Inconvénients et solution



LOFAR, un réseau constitué de 100 000 antennes dispersées à travers l'Europe !



[https://www.sciencesetavenir.fr/espace/univers/le-radiotelescope-lofar-livre-ses-1er-resultats\\_131583](https://www.sciencesetavenir.fr/espace/univers/le-radiotelescope-lofar-livre-ses-1er-resultats_131583)

# 11 – Inconvénients et solution



*Very Long Baseline Array*

Exemple de radiohéliographe: Nobeyama (Japon)



# 12 - Quelques lectures pour aller plus loin

## Radioastronomie

Radio astronomie amateur – Jean Marie Polard 1976

<http://www.astrosurf.com/luxorion/Documents/radioastro-f5vIb-jm-polard.pdf>



Manuel de Radioastronomie – Bureau des Radiocommunications – ITU

[https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-22-2013-PDF-F.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-22-2013-PDF-F.pdf)

The invisible universe – Gerrit L. Verschuur - Springer

Getting started in Radio Astronomy – Steven Arnold – The Patrick Moore Series

Basic of RadioAstronomy – JPL

Panorama de la radioastronomie moderne :

[http://clea-astro.eu/archives/cahiers-clairaut/CLEA\\_CahiersClairaut\\_163\\_06.pdf](http://clea-astro.eu/archives/cahiers-clairaut/CLEA_CahiersClairaut_163_06.pdf)

Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

## Général

Astronomie Astrophysique – Agnès Acker - Dunod





# 13 - Des sites internet



Astronomie microonde et Fast Radio Burst <https://www.youtube.com/watch?v=kiQXpZdN36w>

**Forum :** [radioastronomie-amateur@groups.io](mailto:radioastronomie-amateur@groups.io)

**Facebook :** <https://www.facebook.com/groups/radioastro/>

**Cours de JJ Maintoux :** <https://f1ehn.pagesperso-orange.fr/>

**Melting pot, enseignement, TP, ....:** <https://www.sab-astro.fr/forumsab-astro/viewforum.php?f=136>

**Société astronomique de France** Commission Radioastronomie : <http://saf-astronomie.fr/radioastronomie/>

**Society of Amateur Radio Astronomers :** <http://www.radio-astronomy.org/>

**The European Radio Astronomy Club :** <http://eracnet.org/>

**Que font les autres clubs ? :** <https://www.sab-astro.fr/forumsab-astro/viewtopic.php?f=136&t=11632>

**EU-HOU Hands on Universe -** <http://euhou.obspm.fr/public/>

**NRAO :** <https://public.nrao.edu/>

# 13 - Salons / divers



- Rassemblement annuel français des passionnés des VHF, UHF et microondes
  - <http://cj.r-e-f.org/>
  - Proceedings depuis 1991 !: <http://cj.r-e-f.org/proceedings.htm>
- Conférence le 2 Août 2020 sur la radioastronomie puis observation du ciel profond et des planètes Jupiter et Saturne Saint-Étienne-les-Orgues  
<https://www.unidivers.fr/rennes/conference-sur-la-radioastronomie-puis-observation-du-ciel-profond-et-des-planetes-jupiter-et-saturne-saint-etienne-les-orgues-alpes-de-haute-provence/>

# 13 – A découvrir



Musée franco-allemand du Radar Douvres-la-Délivrande

<http://www.normandie44lamemoire.com/2014/01/19/musee-du-radar/>



Radar Würzburg-Riese

La Radioastronomie [https://www.youtube.com/watch?v=riT-olpfo\\_0](https://www.youtube.com/watch?v=riT-olpfo_0)



# 14 - Remerciements



« Merci » aux auteurs des publications : Séminaire Radio astronomie 2012 – Didier Pierson; <http://astronomie-amateur.sophie.m.over-blog.com/>, radioastronomie au pays veronnais qui m'ont permis la réalisation de cette présentation imagée; Radioastrolab; le musée du Radar.

« Merci » à Google pour son aimable et active collaboration

« Merci » à Didier Stuerge, Pr. Université de Bourgogne pour son aide et les images empruntées à ses présentations des 24 et 26 novembre 2019.