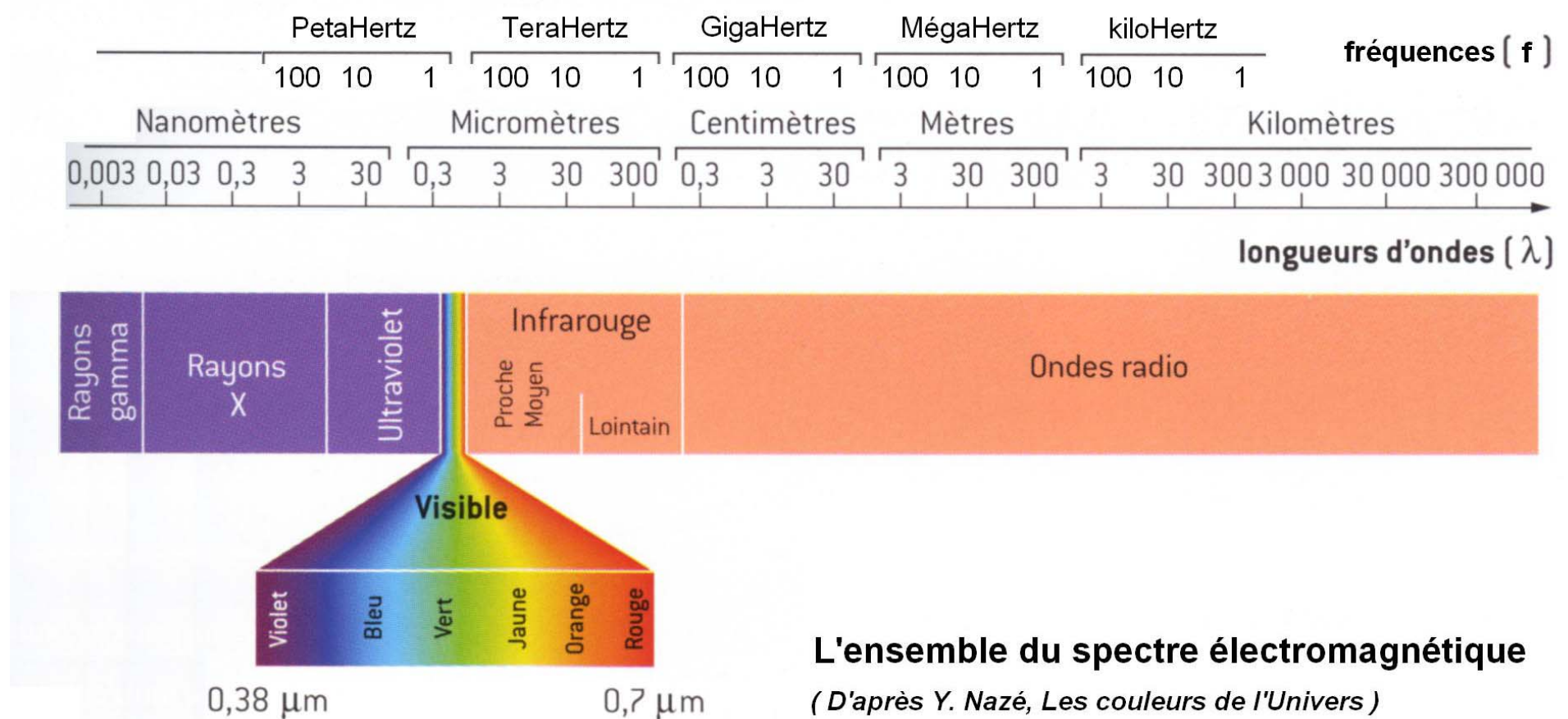


# L'Astronomie de l'Invisible

explore les « couleurs de l'Univers » que nos sens ne peuvent percevoir.

Nous recevons de l'Univers des « lumières » dont la palette de couleurs est extraordinairement riche : ce sont les **ondes électromagnétiques**, une grande famille s'étendant des ondes radio jusqu'au rayonnement gamma, en passant par la lumière visible que nous percevons en regardant les étoiles par exemple.



---

## Qu'est-ce qu'un **spectre** ?

C'est l'ensemble des constituants élémentaires d'un signal complexe : par exemple, la lumière du Soleil, blanche en plein jour, est décomposée en multiples couleurs lorsqu'elle traverse un prisme. Chaque couleur possède une **fréquence**  $f$  ou encore une **longueur d'onde**  $\lambda = c/f$  ;  $c$  est la **célérité** de l'onde (pour la lumière : 300000 km/s dans le vide).

Le prisme réalise **l'analyse spectrale** de la lumière blanche. Les réseaux diffractants sont d'autres dispositifs physiques permettant de réaliser l'analyse spectrale de la lumière visible et d'autres « lumières », par exemple les rayons X.

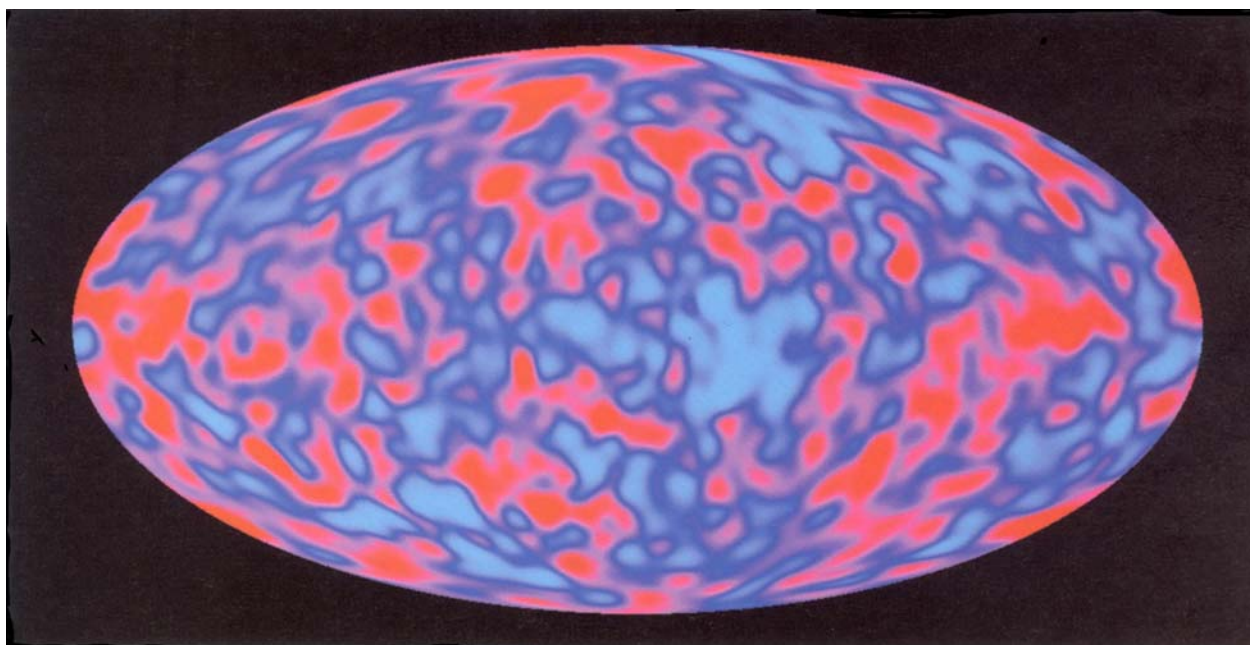
---

# Quelle est la **source** des ondes électromagnétiques qui nous parviennent de l'Univers ?

De multiples **phénomènes physiques** sont à l'origine du rayonnement électromagnétique de l'Univers. Le spectre de ce rayonnement peut être **continu** ou **discret**.

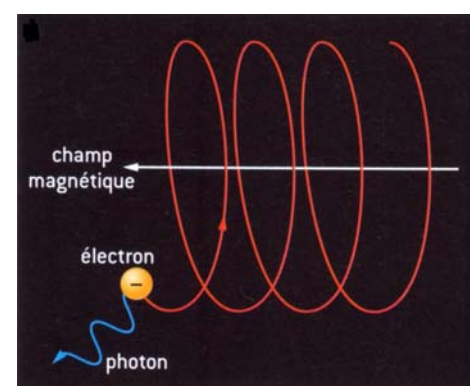
## **Spectre continu :**

- **Rayonnement thermique** émis par des zones ou « points » plus ou moins chauds (ou froids) de l'Univers : nuages de gaz et de poussières, voisinage des étoiles... un exemple « froid » : le **rayonnement de fond cosmologique** à  $2,7\text{ °K}$  qui remplit tout l'Univers à peu près uniformément : c'est un vestige des premiers moments de l'Univers après le « Big Bang »

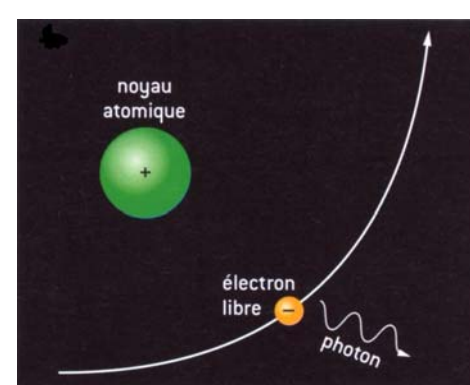


Fluctuations du rayonnement de fond cosmologique d'après observations du satellite COBE

- **Rayonnement synchrotron** émis par les électrons libres accélérés par les champs magnétiques plus ou moins intenses présents un peu partout dans l'Univers
- D'autres phénomènes mettant aussi en jeu les électrons libres comme le **rayonnement de freinage** ou **l'effet Compton inverse** *(figures d'après Y. Nazé, op. cit.)*



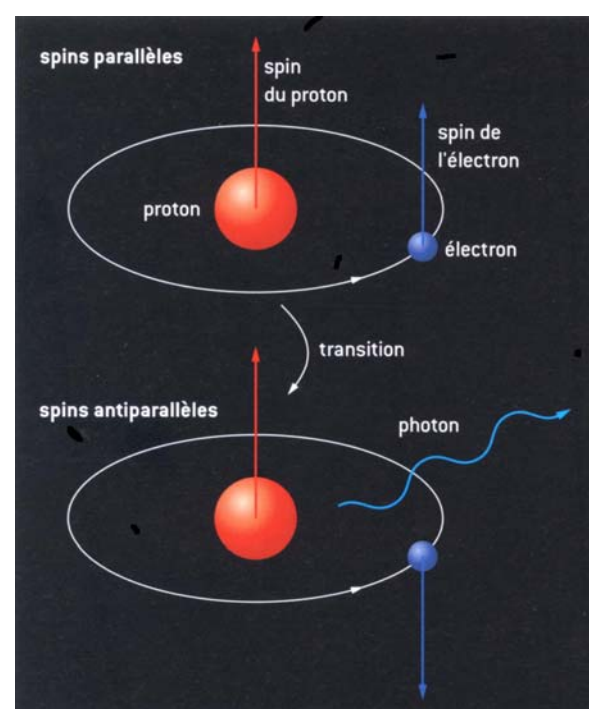
Rayonnement synchrotron



Rayonnement de freinage

## Spectre discret (raies spectrales) :

- Les raies d'émission des atomes ou des molécules présents en quantités immenses dans les nuages de gaz interstellaires et aussi dans l'atmosphère des étoiles ; un exemple : la raie à 21 cm (1420 MHz) émise par l'hydrogène atomique (transition de spin)



Transition de spin H atomique

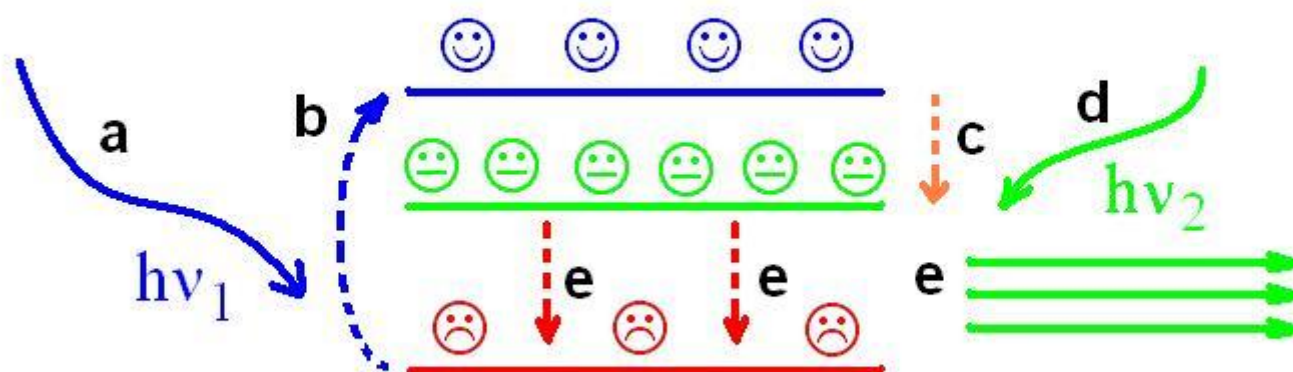
- Les raies d'absorption nous renseignent sur la composition chimique des milieux traversés



Spectre solaire dans le visible : les raies sombres d'absorption sont produites lors de la traversée de l'atmosphère stellaire par la lumière émise à la surface de l'étoile

(figures d'après Y. Nazé, op. cit.)

- L'effet « MASER » (émission stimulée analogue au LASER) dans les nuages interstellaires contenant de grandes quantités de molécules simples ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ...)



Maser à 3 niveaux : a, b : « pompage » par photons  $h\nu_1$  ; c : désexcitation sur niveau intermédiaire avec inversion de population ; d, e : émission stimulée par arrivée d'un photon  $h\nu_2$

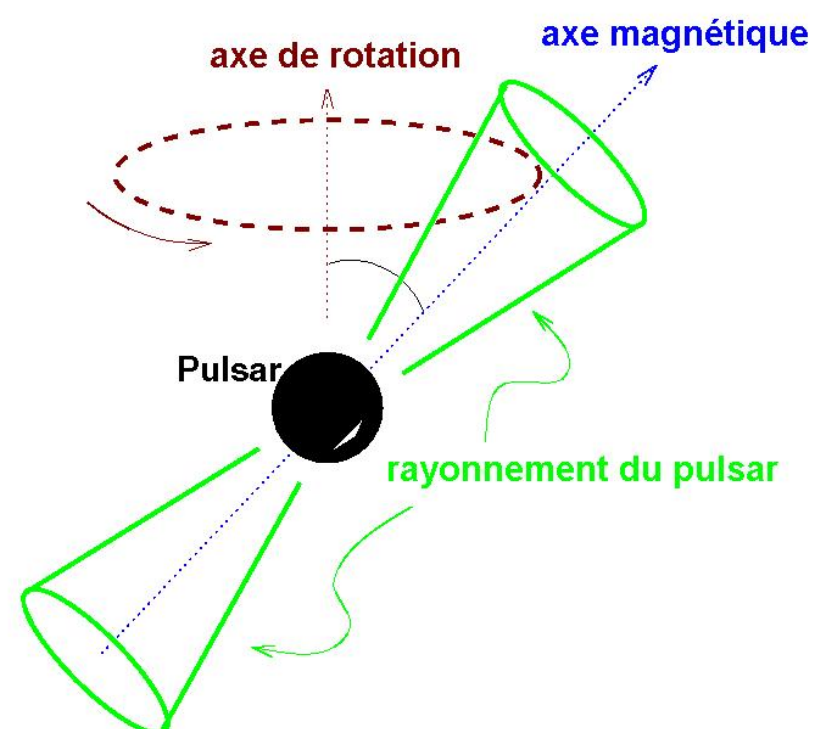
# La Radioastronomie

observe l'Univers dans le domaine « radio » des rayonnements électromagnétiques à « grandes » longueurs d'ondes : de  $\lambda = 10\text{m}$  (30 MHz) à  $\lambda = 1\text{ mm}$  (300 GHz), soit 13 octaves

C'est une des deux « fenêtres » ouvertes dans l'atmosphère terrestre qui permet d'observer l'Univers depuis la Terre, l'autre fenêtre étant la lumière visible. Hors de ces fenêtres seuls les satellites et les sondes spatiales permettent des observations.

De multiples phénomènes sont observables en radio :

- rayonnement fossile à 2,7 °K : au sol et surtout par des satellites : COBE (1989), MAP (2001), PLANCK (07/2008)  
*hétérogénéité spatiale du rayonnement -> « empreinte » des germes de structure de l'Univers primordial*
- raie 21 cm de l'hydrogène atomique : H brique de base de l'Univers (élément de loin le plus abondant) et traceur universel, observable au sol  
*étude par effet Doppler des mouvements des « bras » de notre Galaxie et des galaxies voisines comme M31 - Andromède -> détection de la « matière sombre »*
- rayonnement synchrotron : une des sources les plus importantes du rayonnement radio de l'Univers  
*-> étude des zones actives de la surface solaire, notamment les « éruptions » dues à des phénomènes magnétiques dynamiques très intenses*  
*-> étude des « pulsars », résidus d'étoiles mortes composés de neutrons, tournant très vite autour de leur axe et pourvus d'un champ magnétique intense*



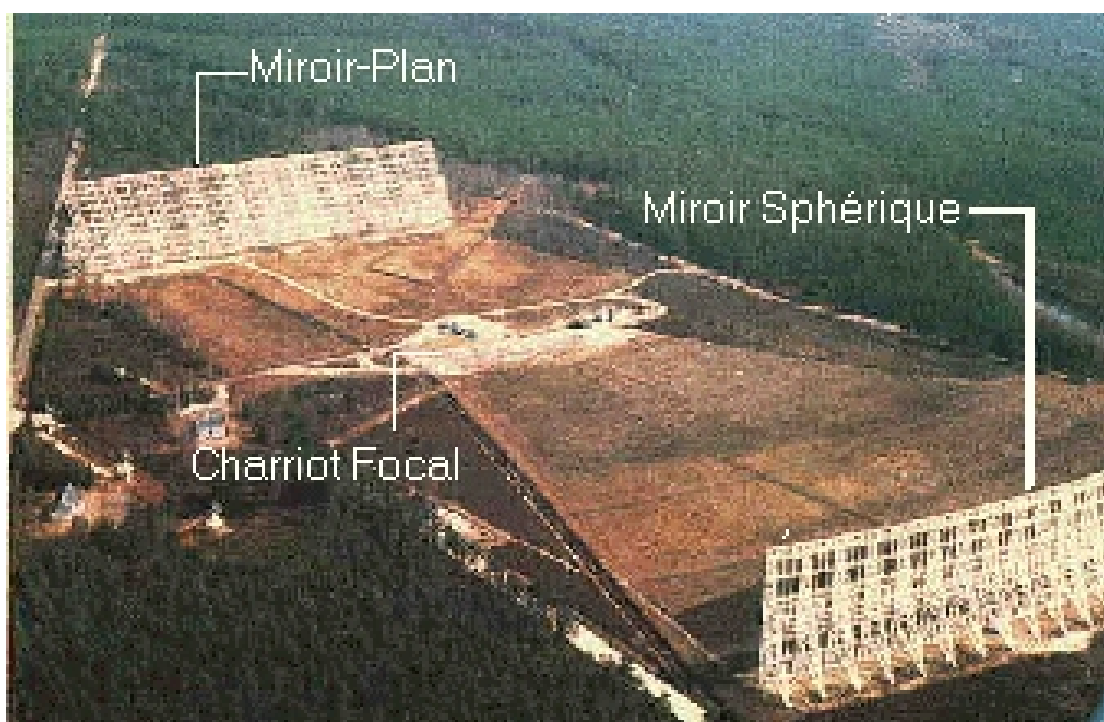
# Les instruments de la radioastronomie

Les « lumières » radio provenant d'objets éloignés dans l'Univers sont très ténues et peu énergiques ; il faut les collecter sur une grande surface pour les observer. Comme dans les télescopes optiques, cette surface est souvent un réflecteur parabolique qui concentre les ondes radio en un point particulier: le foyer.



Le plus grand radiotélescope du monde à Arecibo, Porto Rico ; son réflecteur parabolique a un diamètre de 300m. On ne peut observer que les objets passant à son zénith.

Le radiotélescope d'Effelsberg en Allemagne possède le plus grand réflecteur parabolique totalement orientable (diamètre 100m). La qualité de sa construction permet d'observer des rayonnements radio de longueur d'onde inférieure au cm.



Le grand radiotélescope décimétrique de Nançay, construit en 1959 ; ses miroirs plan et sphérique s'étendent sur 200m et 300m pour 40m de haut.

# L'imagerie radio par interférométrie

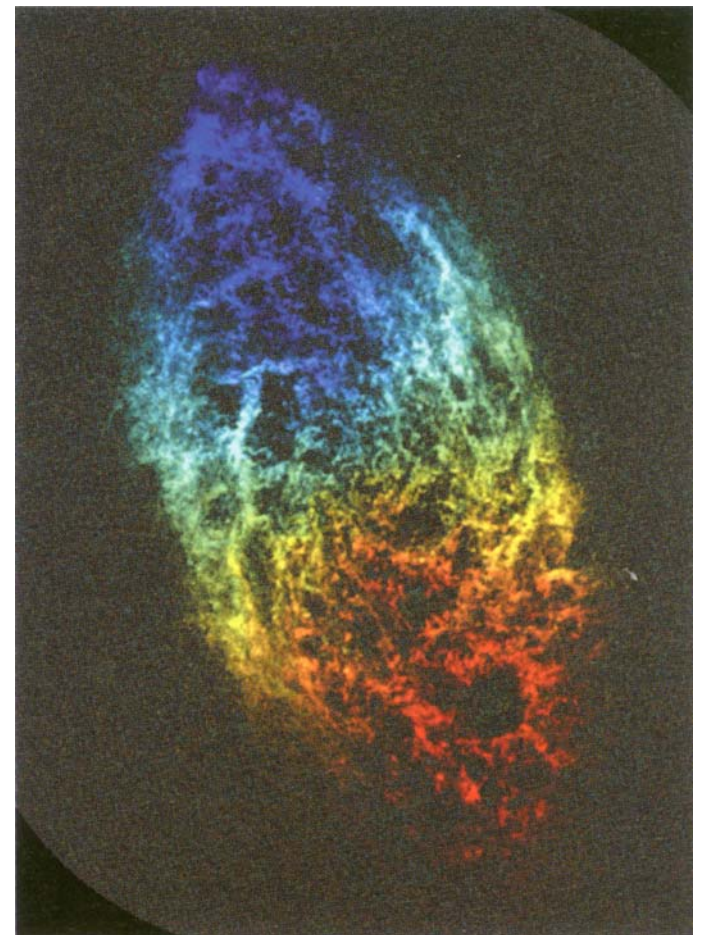
En combinant les signaux provenant d'antennes placées à différents endroits on obtient une résolution angulaire suffisante pour balayer point par point le champ couvert par un objet éloigné. On obtient ensuite par calcul son « image radio ».



Le « très grand réseau » (*Very Large Array, USA*). Ses 24 antennes de 25m sont mobiles sur des rails disposés en Y, couvrant une étendue de 36 km. A 40 GHz la résolution angulaire est de 0,04 " d'arc : *une balle de golf à 150 km...*

Image radio de la galaxie M33 à 21 cm (H atomique). On observe la rotation de la galaxie vue par la tranche grâce à l'effet Doppler : en rouge les zones qui s'éloignent de nous, en bleu celles qui se rapprochent.

*(image d'après Y. Nazé, op. cit.)*



## Comment observer des signaux faibles... et très brouillés !

- Récepteurs à faible bruit « cryogéniques » (refroidis)
- Antennes Cassegrain : ne « voient » pas le « bruit » du sol
- Méthode « ON - OFF » : on retranche au signal qui vient de l'objet ce qui vient de son voisinage pour réduire le bruit
- Traitements pour réduire les interférences radio d'origine humaine : « blanking », filtrage sélectif, ... **c'est un problème !**