

# LIAISONS HERTZIENNES

## 3 – Antennes



*Objectifs : Analyser les caractéristiques des antennes. Justifier les caractéristiques d'une antenne à partir des exigences d'un cahier des charges.*

### Généralités sur les antennes

L'antenne a un rôle très important dans les liaisons hertziennes : elle assure l'interface entre le circuit électrique et le milieu de propagation.

Une antenne est un dispositif réciproque :

En émission, l'antenne reçoit un courant et une tension, elle génère un champ électrique et un champ magnétique.

En réception, l'antenne reçoit un champ électrique et un champ magnétique, elle génère une tension et un courant.

Les caractéristiques d'une antenne sont les mêmes si l'antenne est utilisée en émission ou en réception.

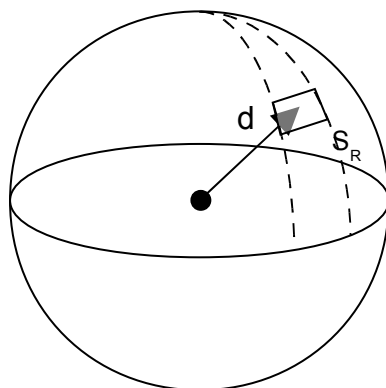
### Une antenne idéale : l'antenne isotrope

Une antenne isotrope n'existe pas, mais elle permet de définir les caractéristiques des antennes réelles.

Une antenne isotrope est une antenne qui, alimentée par la puissance  $P_E$ , rayonnerait cette puissance avec la même intensité dans toutes les directions.

A la distance  $d$ , toute la puissance est répartie sur la surface de la sphère.

La surface de la sphère est :  $S_{SPHERE} = 4\pi \cdot d^2$



La densité surfacique de puissance  $p$ , c'est-à-dire la puissance par unité de surface, soit le nombre de W par  $m^2$  s'écrira :

$$P_{(W/m^2)} = \frac{P_E}{4\pi \cdot d^2}$$

Une antenne à la distance  $d$ , ayant une surface de réception  $S_R$  recevra donc :

$$P_R = P_E \frac{S_R}{4\pi \cdot d^2}$$



## Exercice 1:

Une antenne isotrope émet une puissance de 1W.

**Q.1)** Déterminer la puissance reçue (en W, ou l'un de ses sous-multiples) avec une antenne de  $1 m^2$  à une distance de 1 km.

**Q.2)** Déterminer la puissance reçue (en W, ou l'un de ses sous-multiples) avec une antenne de  $2 m^2$ , toujours à une distance de 1 km.

**Q.3)** Déterminer la puissance reçue (en W, ou l'un de ses sous-multiples) avec une antenne de  $1 m^2$  mais à une distance de 10 km.

**Q.4)** Quelle devrait- être la surface de l'antenne pour recevoir à 10 km, autant de signal qu'à 1 km avec une antenne de  $1 m^2$  ?

La puissance reçue varie très fortement avec la distance puisqu'elle est inversement proportionnelle au carré de la distance entre l'émetteur et le récepteur.

### Analogies :

**Analogie n°1 :** Le ballon : Imaginez un ballon très fin que l'on gonfle, plus il grandit (plus d'augmente) et plus il est fin (plus la densité de puissance diminue !)

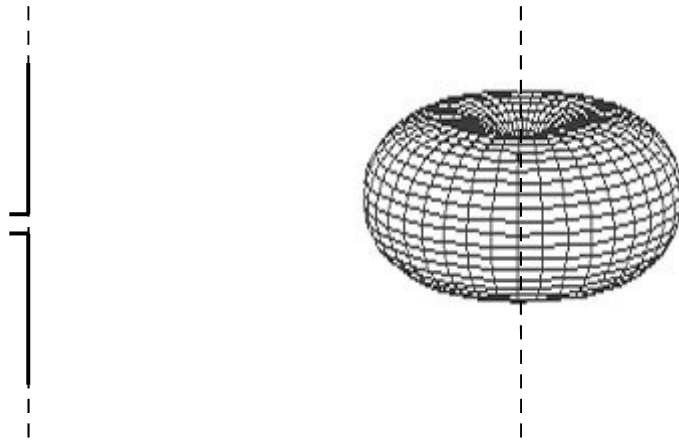
**Analogie n°2 :** L'ampoule électrique : une ampoule électrique peut être considérée comme une source isotrope de lumière. La lumière est émise dans toutes les directions. Plus l'on s'éloigne de l'ampoule, plus l'intensité lumineuse est faible.

## Directivité et diagramme de rayonnement d'une antenne

L'antenne isotrope n'existe pas et n'est pas réalisable. En réalité, l'énergie rayonnée par une antenne est répartie inégalement dans l'espace, certaines directions sont privilégiées : ce sont les **lobes de rayonnement**.

Le **diagramme de rayonnement** d'une antenne permet de visualiser ces lobes dans les trois dimensions, dans le plan horizontal ou dans le plan vertical incluant le lobe le plus important.

Exemple : l'antenne suivante possède le diagramme de rayonnement associé :



Comme on peut le voir sur ce diagramme l'antenne émet avec la même intensité dans le plan horizontal, mais on ne reçoit rien quand on se trouve à la verticale de l'antenne.

La directivité de l'antenne **dans le plan horizontal** est une caractéristique importante dans le choix d'une antenne.

La directivité d'une antenne caractérise la façon dont cette antenne concentre le rayonnement dans certaines directions de l'espace.

Dans certaines applications, on utilisera des antennes directives : lorsque l'on veut émettre ou recevoir dans une direction précise.

Exemples :

- Réception TV terrestre (on pointe son antenne vers l'émetteur)
- Réception satellite (ceux qui l'ont déjà expérimenté savent que le pointage d'une parabole est très pointu !).
- Emission et réception Radar (vous avez sûrement déjà vu des gendarmes viser les automobilistes avec leur radar, il doivent ne viser qu'une voiture à la fois !).

On parlera dans ces cas **d'antenne directive**.

Dans d'autres applications, on va essayer de rayonner dans toutes les directions.

Exemples :

- L'émission TV (l'émetteur « arrose » toute une région).
- Talkie-walkie (A priori, on ignore ou est l'autre poste).
- Emetteur et récepteur Wi-Fi : Les émetteurs et récepteurs peuvent être n'importe où dans la maison !)

On parlera dans ces cas **d'antenne omnidirectionnelle**.



## Exercice 2:

**Q.1)** Quelle est la différence entre une antenne isotrope et une antenne omnidirectionnelle ?

**Q.2)** Parmi les deux antennes Wi-Fi représentées ci-après, laquelle est l'antenne omnidirectionnelle et laquelle est l'antenne directive ?



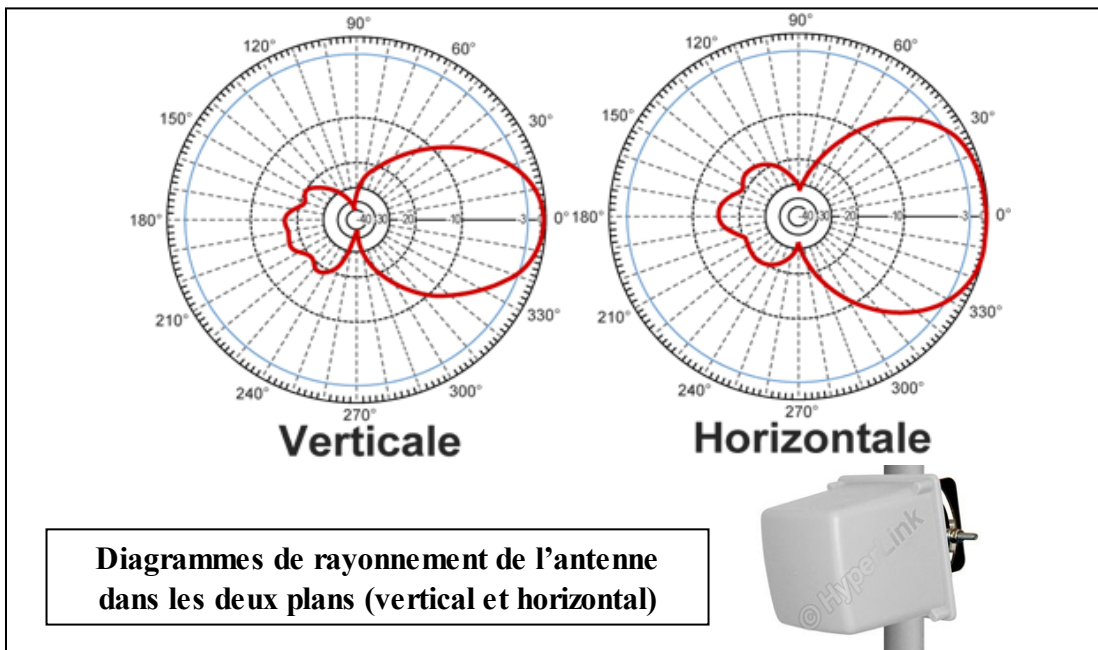
Antenne n°1



Antenne n°2

Le diagramme de rayonnement de l'antenne permet d'apprécier la directivité de l'antenne. Parfois représenté sous la forme d'une figure en 3 dimensions, on présente en général le diagramme de rayonnement dans deux « plans de coupe » : horizontal et vertical. Il s'agit de diagrammes en coordonnées polaires représentant la puissance émise en fonction de la direction. La puissance émise est normée par rapport à la puissance maximale, l'échelle utilisée peut être logarithmique ( en dB) ou linéaire (comprise entre 0 et 100%).

Exemple :

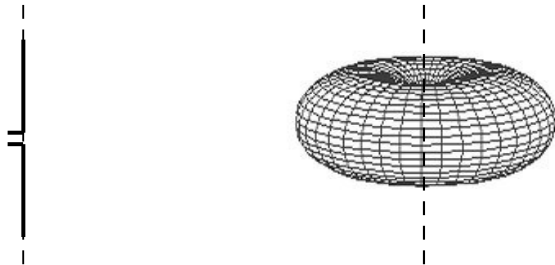




### Exercice 3:

On donne le diagramme de rayonnement « en perspective » d'une antenne filaire.

**Q.1)** Représenter l'allure des deux diagrammes correspondant au plan horizontal et au plan vertical (utiliser une échelle linéaire pour la puissance).



## Angle d'ouverture, lobes secondaires et arrière.

Le diagramme de rayonnement permet de définir des nombreuses caractéristiques de l'antenne. En particulier :

- l'angle d'ouverture
- le niveau des lobes secondaires
- le niveau du lobe arrière

### Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture d'une antenne est l'angle de direction pour lequel la puissance rayonnée est la moitié (-3dB) de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable.

Il est donc représentatif de la directivité de l'antenne. Plus cet angle est étroit plus l'antenne est directive.

### Lobes secondaires

Un lobe secondaire correspond à un maximum de puissance dans une direction autre que la direction privilégiée. Idéalement, ils doivent être les plus faibles possibles.

### Lobe arrière

Le lobe arrière est un lobe secondaire dans la direction opposée à la direction privilégiée de l'antenne (à l'arrière de l'antenne).

Dans les documentations d'antenne, le lobe arrière est spécifié par le terme « Rapport avant/arrière » qui désigne le rapport (la différence en dB) entre le lobe principal et le lobe arrière.

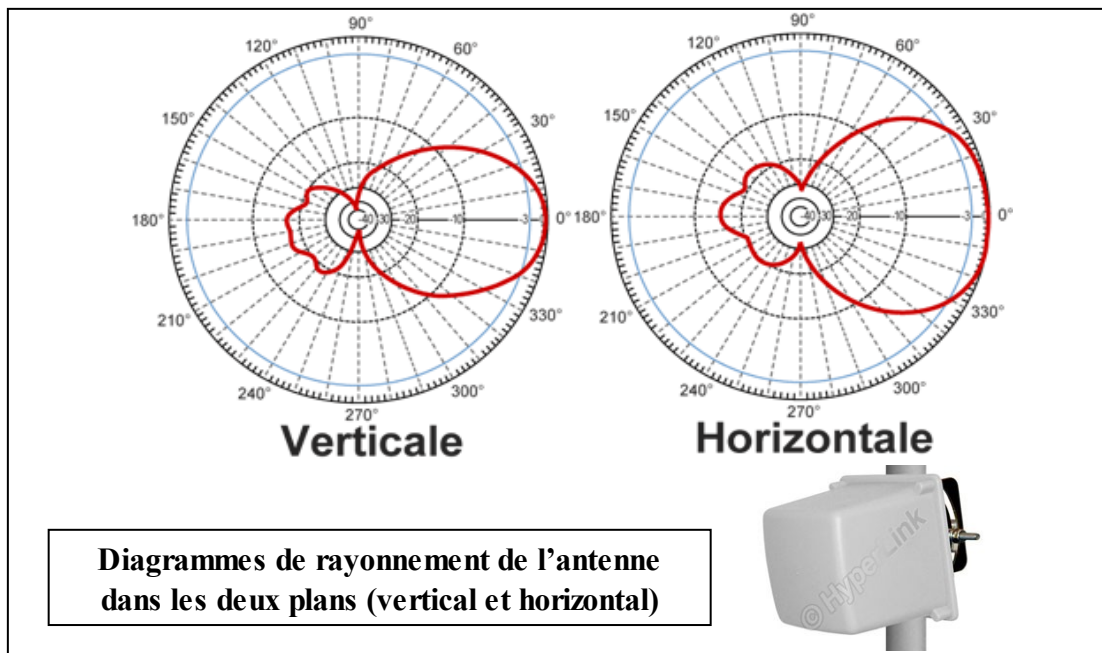


## Exercice 4:

Pour l'antenne donnée ci-après (vue précédemment en exemple), déterminer dans chaque plan :

- l'angle d'ouverture
- le niveau maximum des lobes secondaires (hors lobe arrière)
- le niveau du lobe arrière

Les résultats seront donnés à quelques ° près et à quelques dB près.



## Gain d'une antenne

### Principe

On rappelle que l'antenne isotrope émet la même puissance dans toutes les directions de l'espace. Une antenne directive n'émet de la puissance que dans un angle étroit de l'espace. La puissance émise est donc plus forte.

Analogies :

Analogie n°1 : Le ballon : Pour reprendre l'image de la source isotrope et du ballon, si le ballon au lieu d'être sphérique est comprimé dans une direction il sera plus grand.

Analogie n°2 : La lumière : une ampoule nue peut être considérée comme une source isotrope, une lampe torche peut être considérée comme une source directive. La lumière émise par la lampe torche (dans la direction privilégiée) est plus concentrée, pourtant, l'ampoule est la même dans les deux cas.

## Définition

Le gain d'une antenne n'est qu'une autre façon de répartir le rayonnement en favorisant certaines directions au détriment des autres.

Il n'a physiquement rien à voir avec le gain d'un amplificateur.

Le gain d'une antenne n'est pas à proprement parler un gain mais plutôt une « perte que l'on ne fait pas ».

Supposons une liaison (théorique) entre un émetteur et un récepteur. L'émetteur est équipé d'une antenne isotrope. Le récepteur à l'autre extrémité reçoit une certaine puissance  $P_0$ . Si on remplace maintenant l'antenne isotrope d'émission par une antenne directive, la puissance reçue  $P_1$  sera plus importante que  $P_0$ .

Le gain de l'antenne sera de  $P_1/P_0$ .

Le gain de l'antenne est donc le gain de puissance par rapport à l'antenne isotrope. Il est exprimé en dBi (avec i comme isotrope).

Plus l'antenne est directive, plus l'angle d'ouverture est étroit et plus le gain de l'antenne est important.

## Relation entre gain et angle d'ouverture

Le gain d'une antenne est d'autant plus grand que l'angle d'ouverture est étroit.

La relation suivante permet d'estimer grossièrement le gain d'une antenne à partir des deux angles d'ouvertures.

Cette relation n'est valable que pour des angles inférieurs à  $90^\circ$  et pour des antennes ayant des lobes secondaires très inférieurs au lobe principal :

$$G_{dBi} = 10 \cdot \log \frac{41000}{\theta_H \cdot \theta_V}$$

avec :

$\theta_H$  : angle d'ouverture dans le plan horizontal en degrés.

$\theta_V$  : angle d'ouverture dans le plan vertical en degrés.

G : Gain de l'antenne en dBi



### Exercice 5:

On donne les caractéristiques du constructeur de l'antenne Hyperlink étudiée précédemment :

**Antenne 2,4GHz Mini Panneau 12 dBi Hyperlink HG2412P**

Antenne extérieure mini panneau 12 dBi, angle d'ouverture  $65^\circ$  (H)  $34^\circ$  (V).



Vérifier la relation entre Gain et angles d'ouverture pour cette antenne. Conclusion.

## **P.I.R.E**

La P.I.R.E, **P**uissance **I**sotrope **R**ayonnée **E**quivalente, est une caractéristique importante d'un émetteur. Elle correspond à la puissance émise par l'émetteur, augmentée du gain d'antenne.

$$P.I.R.E_{(W)} = P_{E(W)} \cdot G_E \quad (\text{Attention } G_E \text{ ici n'est pas en dBi})$$

On l'exprime souvent en dBW ou dBm :

$$PIRE_{(dBm \text{ ou } dBW)} = P_{E (dBm \text{ ou } dBW)} + G_{E \text{ dBi}}$$



## **Exercice 6:**

Le satellite Atlantic Bird émet sur l'Europe avec une PIRE de 53dBW.

**Q.1)** Calculer la puissance équivalente (en W).

**Q.2)** La puissance d'émission  $P_E$  du satellite est de 94W. En déduire le gain de l'antenne d'émission du satellite.

Les calculs proposés à la suite sont approximatifs, mais permettent d'obtenir des ordres de grandeurs tout à fait cohérents.

**Q.3)** En supposant que les angles d'ouverture dans chacun des plans sont égaux, estimer cet angle.

**Q.4)** Le satellite étant situé à 36000 km de la terre, évaluez (par un calcul grossier) la taille de la zone couverte. La France est-elle couverte entièrement ?

## **Polarisation**

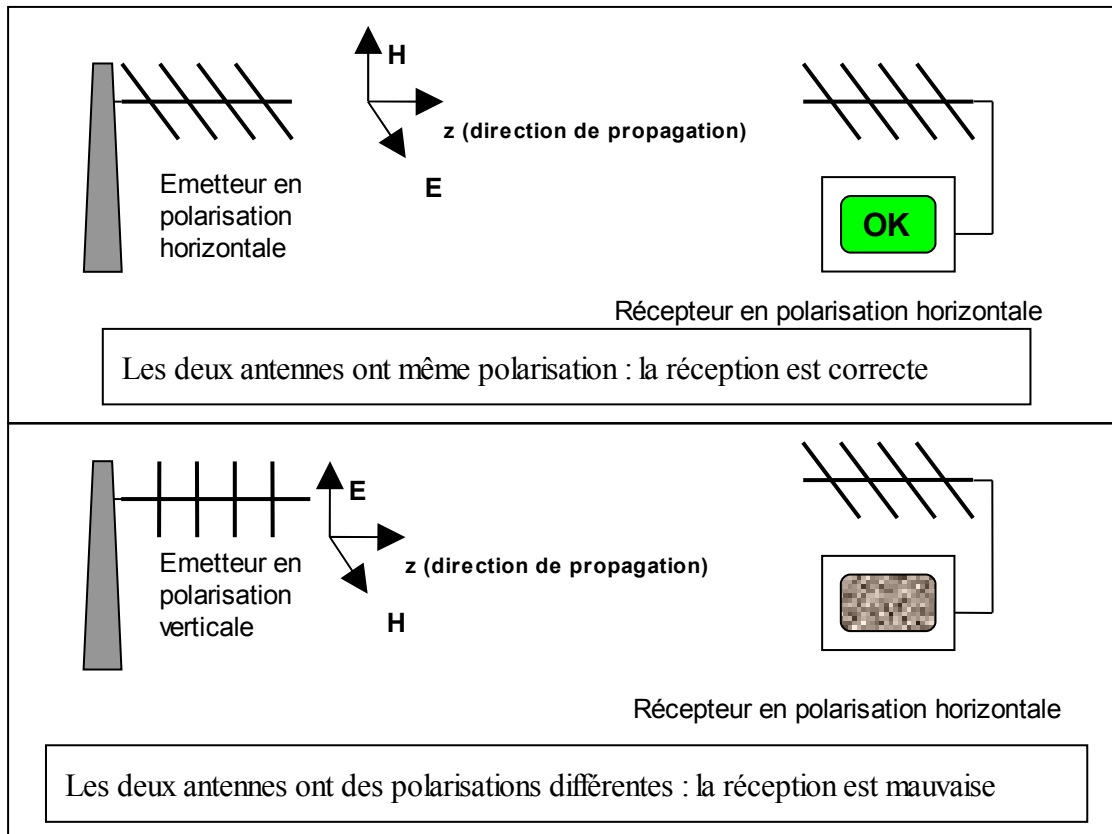
Le signal émis par une antenne est polarisé : le champ électrique est émis dans une certaine direction par rapport à l'horizontale, dépendant de la géométrie de l'antenne.

Si celui-ci est parallèle à la surface de la terre, la polarisation est linéaire horizontale, s'il est perpendiculaire à la surface de la terre la polarisation est linéaire verticale, s'il tourne, la polarisation est circulaire.

Pour qu'une liaison fonctionne correctement, il faut que l'antenne de réception soit polarisée de la même façon que l'antenne d'émission.

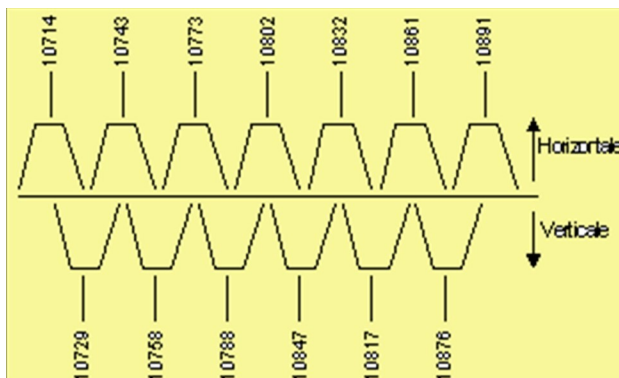


Exemple : Liaison avec 2 antennes Yagi (antennes utilisées en réception TV terrestre).



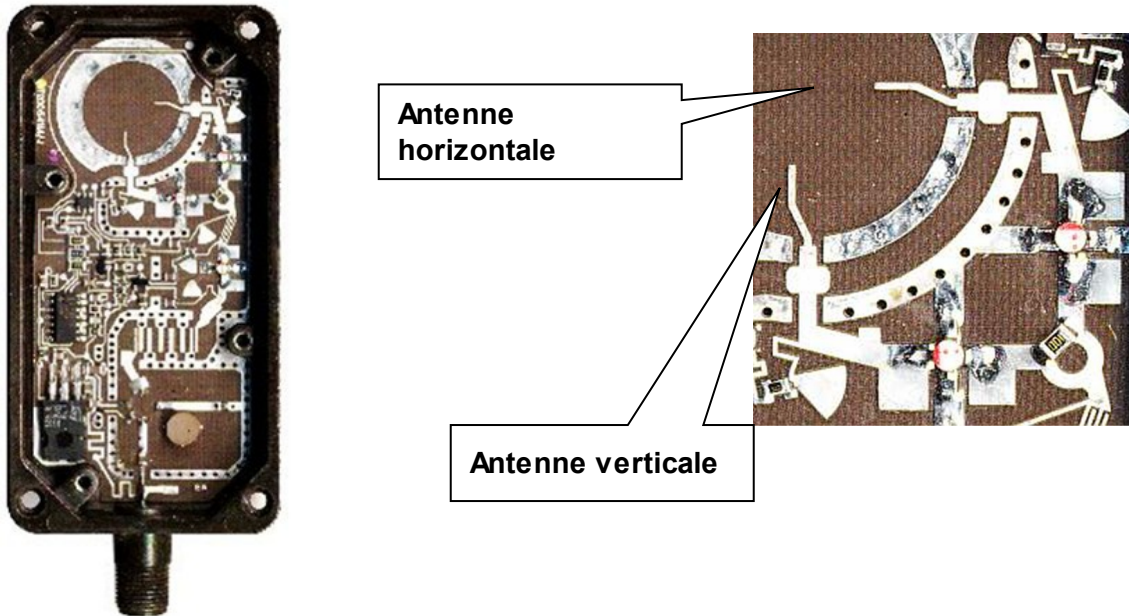
**Application :**

En réception satellite analogique ou numérique, les fréquences porteuses sont réparties dans les deux polarisations, ainsi deux canaux proches ne se perturberont pas car leur polarisation est différente.



**Ce graphisme représente quelques porteuses d'un satellite Astra.**

**Les porteuses sont espacées de 15 MHz mais les polarisations sont alternées : les porteuses de polarisation différentes ne se perturbent pas.**



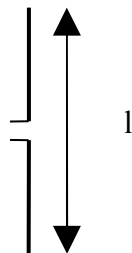
La tête de réception satellite est équipée de 2 antennes, une en polarisation horizontale, l'autre en polarisation verticale. Le choix de l'une ou l'autre des antennes se fait à partir d'un ordre envoyé par le démodulateur et transmis par l'intermédiaire de la tension d'alimentation. Sur l'agrandissement à droite, on distingue nettement les deux "antennes", verticale et horizontale, attaquant chacune un transistor amplificateur.

## Quelques antennes courantes

Nous allons voir ici quelques antennes les plus couramment utilisées en télécommunication et radiodiffusion.

### L'antenne filaire

L'antenne filaire est la plus simple. Elle est constituée de 2 brins de fil électrique de longueur  $l/2$ .



Les caractéristiques de cette antenne vont dépendre de la fréquence.

Cette antenne est souvent utilisée avec  $l = \lambda/2$ . On l'appelle alors doublet demi-onde.

La polarisation de cette antenne est celle de son axe principal : Si l'antenne est verticale, la polarisation est verticale.

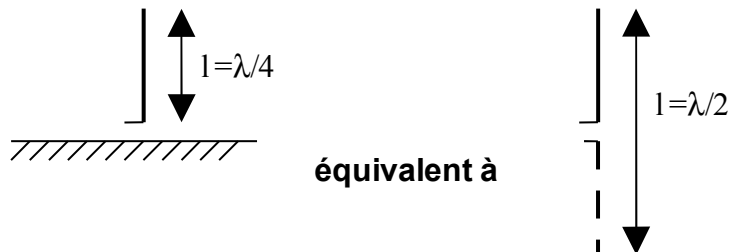
Le diagramme de rayonnement de cette antenne a été déjà vu en exercice.

Cette antenne est bien évidemment une antenne omnidirectionnelle, elle a donc par nature un gain faible de l'ordre de 2dBi.

Variante : L'antenne quart-d'onde

Si on sépare un doublet demi-onde en 2 et qu'on place l'un des brins au dessus d'un plan conducteur (plan de masse qui agit comme un « miroir »), on obtient une antenne aux caractéristiques équivalentes mais de dimension moitié.

Le gain est de 3dBi, légèrement plus élevé que le doublet demi-onde car elle ne rayonne que dans la moitié de l'espace.



C'est l'antenne la plus simple à réaliser mais il ne faut pas oublier le plan de masse.

## Antenne Yagi

L'antenne Yagi ou antenne Yagi-Uda (du nom de ses inventeurs, Hidetsugu Yagi et Shintaro Uda) est une antenne se caractérisant par une forme qui se rapproche de celle d'un râteau : c'est l'antenne la plus utilisée par les particuliers pour recevoir la télévision (terrestre). Cette antenne a été brevetée en 1926.



Monsieur Yagi et sa célèbre antenne

Le principe est le suivant : on associe sur un même axe un doublet et des brins non alimentés appelés (à tort) éléments parasites. Ces éléments vont capter le signal émis par l'antenne alimentée et vont le re-émettre.

L'antenne alimentée est appelée « radiateur », les éléments parasites situés à l'arrière sont appelés « réflecteurs », ceux situés devant sont appelés « directeurs ».

Le champ émis par l'antenne est la somme de tous les champs émis par tous les éléments. En jouant sur les positions et les longueur des éléments, on modifie les phases et amplitudes de chacun des champs électriques re-émis de sorte que le champs soit maximal vers l'avant et minimum vers l'arrière. On obtient ainsi une antenne directive.

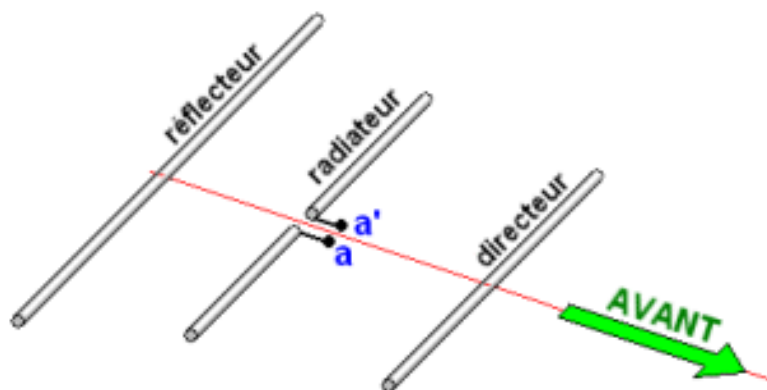


Image extraite du Manuel Internet des radioamateurs

**Analogie :** On rappelle l'image de la lampe torche qui est constituée d'une ampoule et d'un réflecteur (miroir) qui permet de concentrer le faisceau lumineux.

Le gain d'une antenne Yagi augmente avec le nombre d'éléments : autour de 6 dB pour une Yagi à 2 éléments, il peut atteindre jusqu'à 18 dB pour une antenne à plus de 20 éléments. L'antenne Yagi est le plus souvent utilisée entre 100MHz et 1GHz.

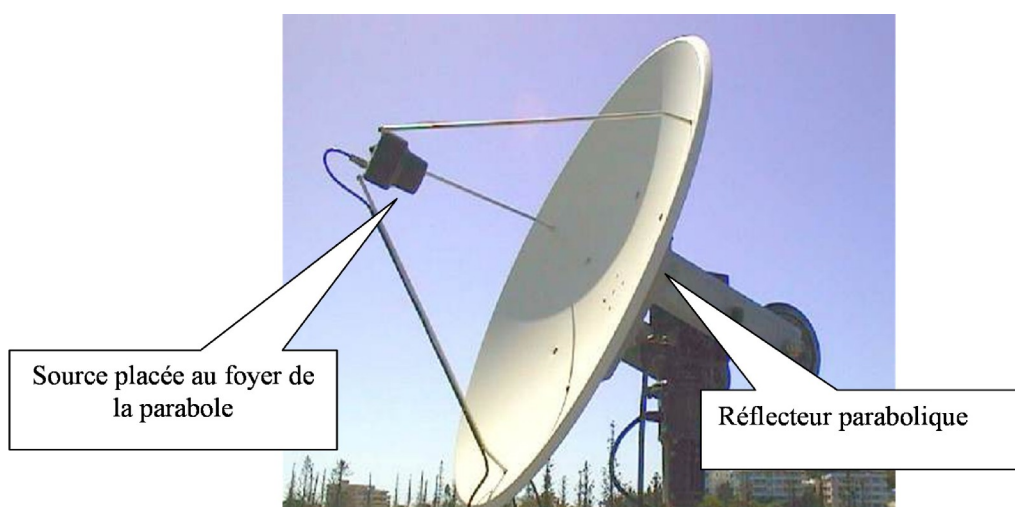
### **Antenne parabolique**

Une antenne parabolique, communément appelée parabole par le grand public, est une antenne disposant d'un réflecteur en forme de parabole.

Les propriétés géométriques de la parabole permettent de concentrer tous les rayons reçus en un point unique appelé foyer.

C'est en ce point que l'on placera une petite antenne (la source) qui est alimentée en émission, et qui capte le signal en réception.

Analogie : Ici encore, on pensera à la lampe torche ou au phare de voiture : le miroir derrière l'ampoule a la forme d'une parabole.



Souvent, sur les antennes paraboliques, en particuliers sur celles destinées à la réception satellite, la source est décentrée, le réflecteur est alors une portion de parabole : on parle de « parabole offset ». La source ne masque pas les ondes reçues, contrairement à la « vraie parabole », ce qui permet d'obtenir un meilleur gain. Autre avantage, les paraboles offsets sont installées quasi verticalement alors qu'elles pointent un satellite placé très haut dans le ciel, elles permettent donc un gain de place.



Parfois, en particulier pour les radars et les faisceaux hertziens, l'antenne parabolique est recouverte d'une « enveloppe » rigide, le **radôme** (comme **radar** et **dôme**). Le radôme permet de protéger l'antenne de l'eau et des accumulations de glace. Le matériau ne doit pas introduire de perte de puissance.



**Antenne parabolique et son radôme (Document Hyperlink).**

## **Gain d'une antenne parabolique**

Le gain isotrope de l'antenne parabolique dépend principalement de son diamètre et de la fréquence d'utilisation (en fait de la longueur d'onde) mais aussi, dans une moindre mesure, de l'efficacité du système d'illumination de la parabole par la source (coefficient  $k$ ) et de la précision de réalisation du réflecteur.

Le gain d'une antenne parabolique est donné par la relation suivante :

$$G_{dB_i} = 10 \cdot \log \left[ k \cdot \left( \frac{\pi \cdot D}{\lambda} \right)^2 \right]$$

avec :

**k** : rendement du système d'illumination (source), généralement compris entre 0,5 et 0,8.

**D** : diamètre du réflecteur parabolique.

**λ** : longueur d'onde d'utilisation. D et λ doivent être exprimés dans la même unité.

Plus l'antenne est grande devant la longueur d'onde, plus le gain est important.

Les antennes paraboliques sont peu utilisées en dessous de 1 GHz ( $\lambda = 0,3\text{m}$ ).

## Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture à -3dB d'une antenne parabolique est lié à la dimension de l'antenne. Plus l'antenne est grande devant la longueur d'onde, plus le gain est important et plus l'antenne est directive.

L'angle d'ouverture est donné par la relation suivante :  $\theta = \frac{70\lambda}{D}$

θ en degrés, D et λ doivent être exprimés dans la même unité.

## Polarisation

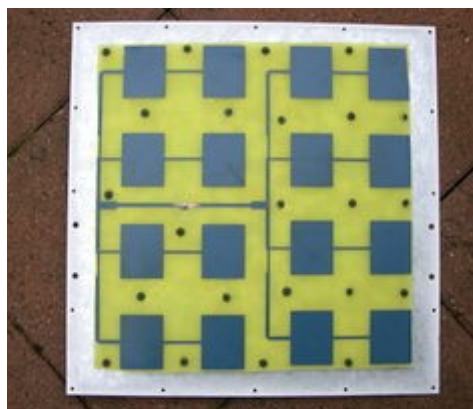
La polarisation de la source détermine la polarisation de l'antenne parabolique.

## Autre type d'antennes

Il existe de très nombreuses antennes et nous ne pouvons ici les citer toutes.

On citera simplement pour information :

- L'antenne cadre qui a la forme d'une bobine (parfois sur un noyau de ferrite) utilisée en grandes ondes.
- L'antenne patch qui est intéressante car réalisée sur un circuit imprimé. Elle est constituée de plusieurs cellules rayonnantes. Plus les cellules sont nombreuses et plus le gain est important. Utilisée autour du GHz, en particulier en WiFi (2,4GHz) et pour la nouvelle génération d'antenne satellite.



**Antenne patch 2,4 GHz. Photo S.Nueffer- Wikipedia**



## Exercice 7:

### Petits exercices de synthèse sur les antennes.

#### Antennes FM et TV

Observez autour de vous, dans la rue ou à la campagne, les antennes radio et TV.

**Q.1)** Quelle est la polarisation émise en FM ?

**Q.2)** Quelle est la polarisation émise en Télévision terrestre ?

**Q.3)** L'antenne que l'on trouve sur toutes les voitures, destinée à recevoir la FM, est une antenne quart d'onde. Quelle doit être sa longueur ?

#### Antenne TV d'intérieur

L'antenne présentée ci-après est une antenne TV d'intérieur qui assure aussi la réception radio FM. Elle est en fait constituée de 2 antennes : une antenne UHF et une antenne VHF et FM.

**Q.4)** Quels sont les types de ces deux antennes ?

**Q.5)** Quelle antenne est l'antenne VHF et FM et quelle antenne est l'antenne UHF.

**Q.6)** Quelle doit être la longueur des brins dépliée en réception VHF et en réception FM ? (Déploiement maximum = 90cm)



#### Antenne TV d'intérieur

VHF :  $f \approx 200$  MHz  
UHF :  $f \approx 500$  à  $900$  MHz

## Antenne parabolique pour réception télévisée par satellite.

Q.7) Les caractéristiques d'une antenne Visiosat SMC65 destinée à la réception télévisée par satellite sont les suivantes :

Caractéristiques techniques	
Axe horizontal	61 cm
Axe vertical	68,2 cm
Matériau réflecteur	SMC
Matériau bras	Aluminium
Matériau pièce ARR	SMC/Acier galva
Bande de fréquence	10,7 - 12,75 GHz
Rapport F/D	0,5
Angle d'ouverture à 11,325 GHz	2,95°
Rendement	70%
Gain (dB) à 11,325 GHz	35,2
Gain (dB) à 12,625 GHz	36,2
Facteur de mérite (dB/°K) à 11,325 GHz	13,8
Facteur de mérite (dB/°K) à 12,625 GHz	14,8
Température de bruit	<35°K
Fixation sur tube	Ø 30 à 60 mm
Réglage élévation	13° à 48°
Réglage azimut	0° à 360°
Poids (env.)	6 Kg

On prendra pour cette parabole  $D = 65$  cm  
 $k = 0,7$  : Rendement (du système d'illumination)

Calculer à partir des relations données les valeurs du gain et de l'angle d'ouverture à 11,325 GHz et comparez-les avec les spécifications du constructeur.

Retrouvez d'autres cours et documents sur :

<http://www.louisreynier.com>