

LES ANTENNES

I. RAYONNEMENT

1. Le champ électrique

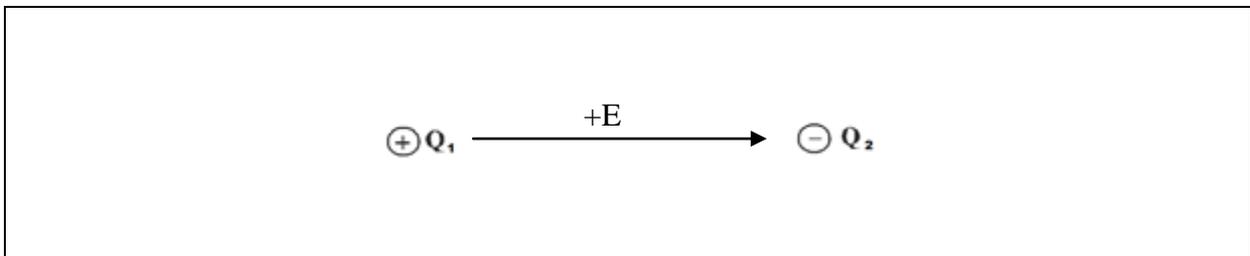
La notion de champ électrique explique comment **deux objets peuvent interagir l'un l'autre sans que rien ne les relie.**

Deux charges électriques s'attirent ou se repoussent dans le vide sans que rien ne les relie, sans aucun support matériel. Pour tenter d'expliquer cela, Michael Faraday a introduit la notion de champ électrique.

Un champ électrique est créé :

- **Aux bornes de deux charges de signes opposés ;**
- **Sa valeur dépend de la distance qui les sépare.**

Schéma :



2. Le champ magnétique

Le champ magnétique résulte **d'un déplacement de charge, c'est-à-dire qu'il est créé par un courant.**

L'unité du champ magnétique dans le système international **est le Tesla (T)**. Une autre unité appartenant au système CGS, le **Gauss (G)**, est également très souvent utilisée :

$$1 \text{ Gauss} = 10^{-4} \text{ Tesla}$$

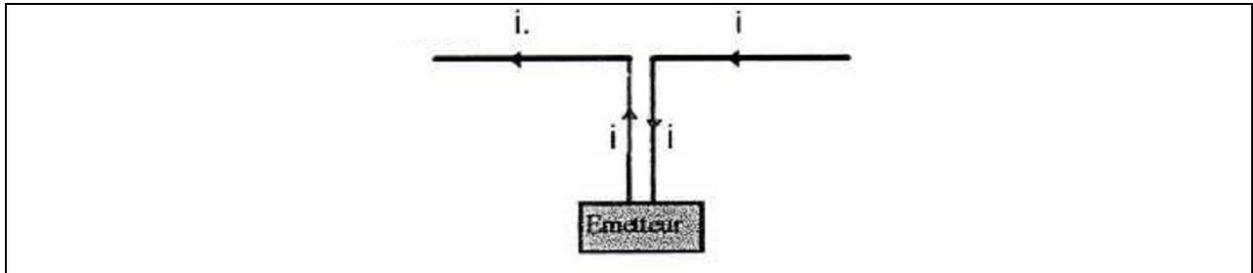
Quelques ordres de grandeur :

- *Un aimant courant $B \approx 100 \text{ mT}$ à 1 T*
- *Un électroaimant ordinaire $B \approx 1\text{-}8 \text{ Tesla}$*
- *Une bobine supraconductrice $B \approx 20 \text{ Tesla}$*
- *Une bobine résistive $B \approx \text{de } 30 \text{ à } 100 \text{ Tesla}$*
- *Champ magnétique interstellaire moyen : $B \approx 0.01 \text{ T}$*
- *Champ magnétique dans une tache solaire $B \approx 0.1 \text{ Tesla}$*
- *Champ magnétique terrestre : $B \approx 0,4 \text{ G}$,*
- *Champ magnétique d'une étoile à neutrons $B \approx 10^{11} \text{ Tesla}$*

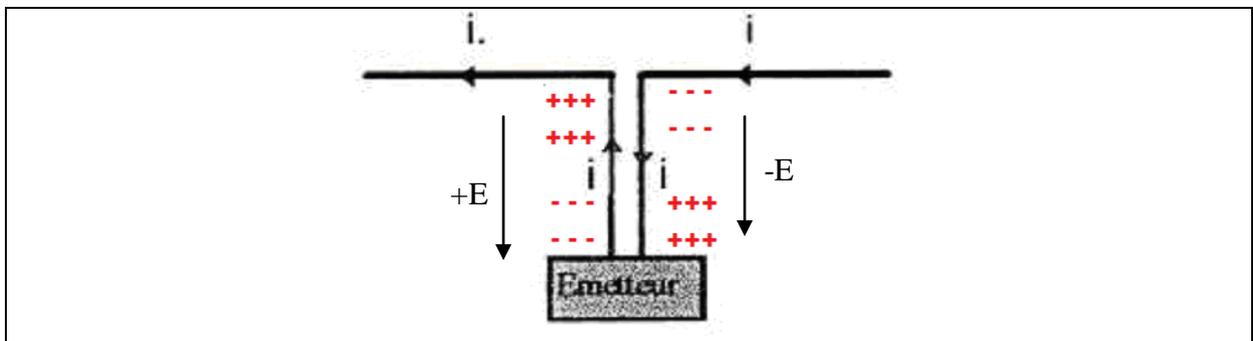
3. Principe de l'antenne

L'antenne la plus simple est un fil ou un tube, ouvert ou fermé, horizontaux ou verticaux, branché sur une prise coaxiale.

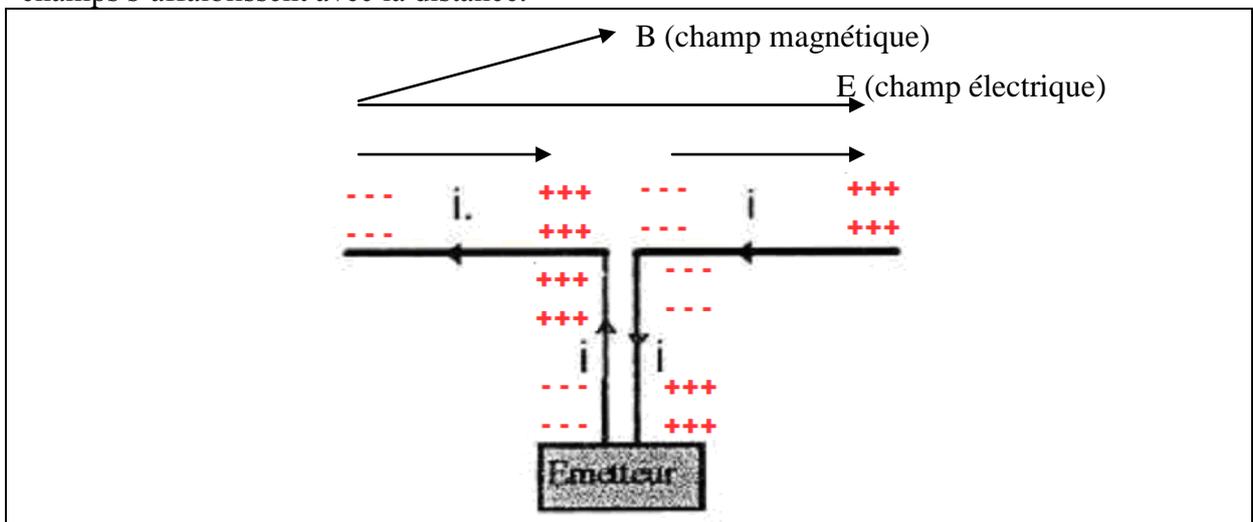
Prenons le cas d'une ligne bifilaire (symétrique), et d'une antenne « demi-onde » tendue horizontalement branchés sur un émetteur qui envoie un signal alternatif :



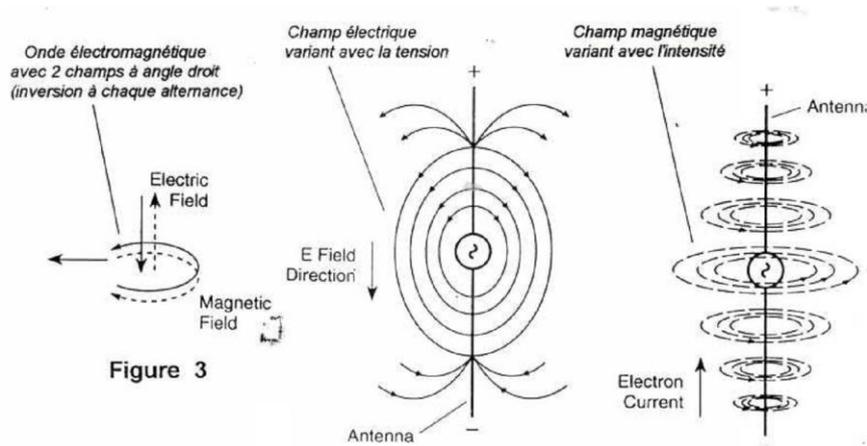
Au cours d'une alternance du signal, les courants circulants dans la ligne vont en sens inverse l'un de l'autre. Comme les électrons se déplacent vers les extrémités, il apparaît des charges « + » d'un côté et des charges « - » de l'autre, et donc l'apparition de deux champs électriques E et $-E$ qui s'annulent. Puisque les deux champs s'annulent, la ligne ne rayonne pas :



Arrivés à l'antenne, les électrons circulent tous dans le même sens. Ainsi, les champs des deux branches s'ajoutent et l'antenne rayonne une onde électromagnétique constituée de deux champs circulants à angle droit, chacun engendrant l'autre dans l'espace, sans fil... Ces champs s'affaiblissent avec la distance.



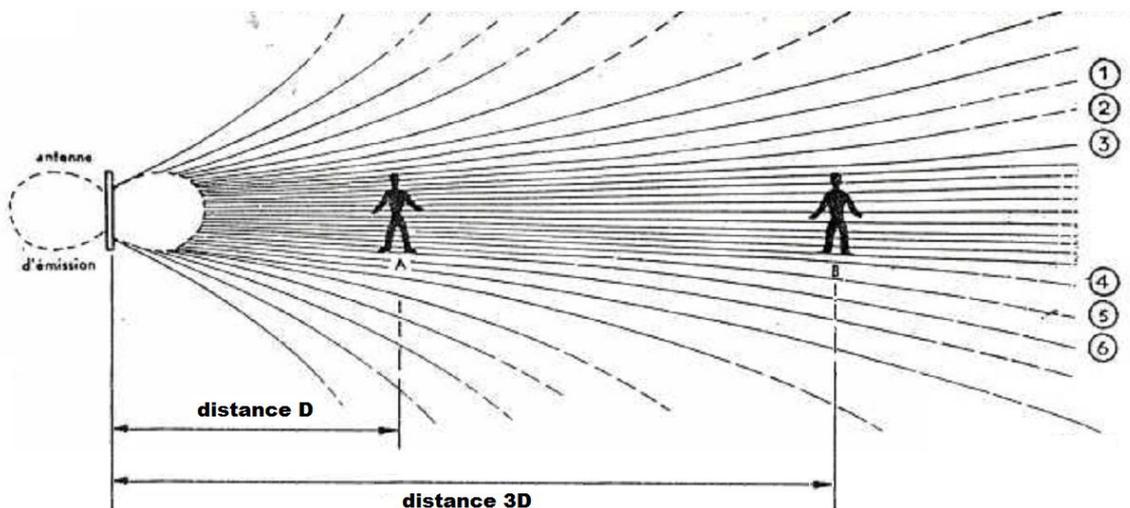
Les deux figures de droite représentent les deux champs circulant dans l'antenne. Ces deux champs se superposent et forme un champ électromagnétique (onde électromagnétique).



4. Principe de l'affaiblissement du champ magnétique

On voit sur le schéma ci-dessous que les ondes 1,2,3,4,5,6 reçues au point **A** ne le sont pas en **B**. On démontre que la valeur du champ décroît inversement proportionnellement à la distance.

Sur la figure ci-dessous, la valeur du champ reçu en B est donc 3 fois plus faible que la valeur du champ en A.

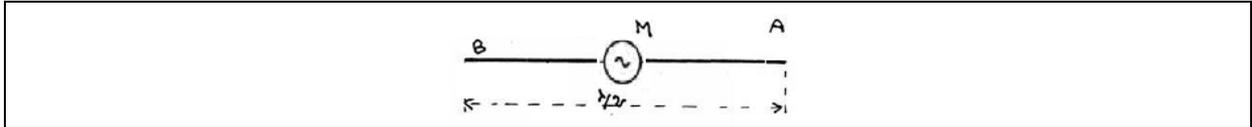


II. LES PRINCIPAUX TYPES D'ANTENNES

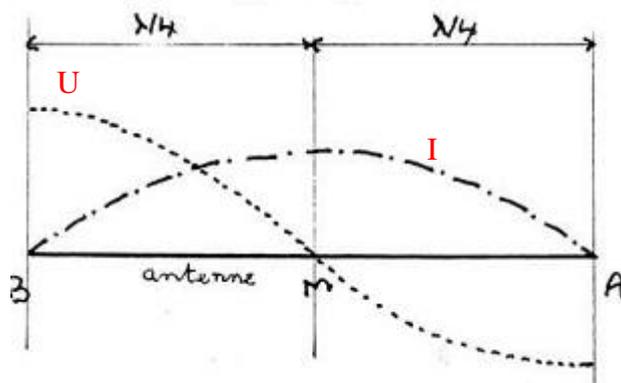
1. Les antennes 1 / 2 onde

Une antenne demi-onde est un doublet (dipôle, antenne bifilaire) dont le gain est d'environ **2dBi**.

On considère l'antenne AB, alimenté en son milieu par un générateur de signal alternatif fournissant une fréquence f . La longueur du dipôle AB est choisie égale à $\frac{1}{2}$ la longueur d'onde de f :



Dans cette configuration, si on relève les chronogrammes du courant I et de la tension U dans le dipôle AB, on obtient la répartition suivante :



On remarque que :

- La tension est **nulle** au centre de l'antenne, c'est ce qu'on appelle le « nœud » ;
- La tension est **maximale** (en valeur absolue) en A et B, c'est ce qu'on appelle les « ventres ».

Ceci n'est valable que si l'antenne mesure $\frac{1}{2}$ de la longueur d'onde de la fréquence du générateur. Dans ce cas on dit que l'antenne est « accordée » ou « en résonance ».

La loi reliant la fréquence du générateur f à sa longueur d'onde est :

$$\lambda = c / f$$

λ en m
 $c = 3.10^8$ m/s
 f en Hz.

Exercice : Calculer la longueur d'une antenne WIFI (type barreau) sachant que la fréquence du WIFI est de 2.4 GHz.

1/ Calculer la longueur d'onde correspondant à la fréquence d'émission du WIFI

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2/ Calculer la longueur d'onde correspondant à la $\frac{1}{2}$ onde

.....
.....
.....
.....
.....
.....

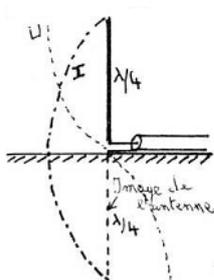
3/ En déduire la longueur (en cm) de l'antenne WIFI pour qu'elle soit accordée sur cette longueur d'onde.

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Les antennes 1 / 4 d'onde

C'est une antenne filaire (utilisé en FM). Son gain est d'environ **3 dBi**, légèrement plus élevé que celui du doublet car elle ne rayonne que dans la moitié de l'espace.

La conductivité du sol permet de créer l'image du $\frac{1}{4}$ d'onde permettant de faire une $\frac{1}{2}$ onde :



Exercice : Quelle dimension d'antenne FM faut-il pour recevoir une émission sur 100 MHz ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

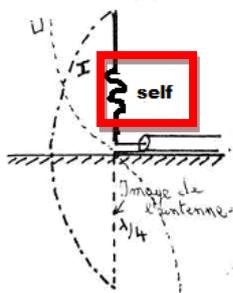
.....

.....

.....

3. Augmentation artificielle de la longueur d'antenne

Si on veut augmenter la longueur de l'antenne de manière artificielle, il suffit d'y ajouter une self en série (c'est le cas des antennes CB) :



4. Les antennes YAGI

Ce sont les antennes utilisées en UHF (100^{ème} de MHz). Elles ont un gain supérieur aux antennes doublet, pouvant aller de **6 dBi** pour une antenne à 2 éléments et jusqu'à **18 dBi** pour une antenne à 20 éléments.

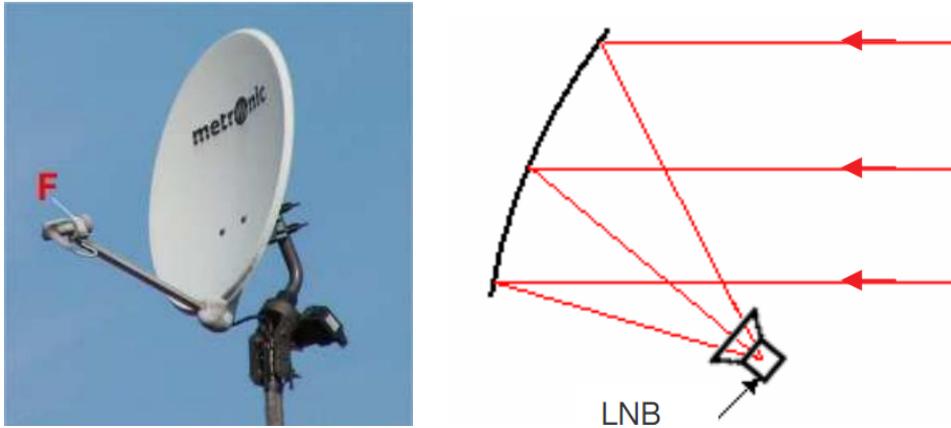
Elle est constituée d'un dipôle $\frac{1}{2}$ onde, d'un ou plusieurs directeurs qui accroissent la directivité et le gain, et d'un ou plusieurs réflecteurs qui permettent de protéger l'antenne des signaux parasites venant de l'arrière :



5. Les antennes paraboliques

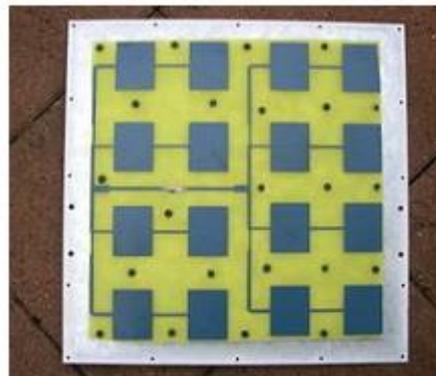
Elles ont un grand gain ($> 30 \text{ dBi}$) et sont très directives (angle d'ouverture inférieur à 5°), ce qui en fait l'antenne de choix pour la réception TV satellite.

L'antenne est constituée d'un réflecteur en forme de parabole, associé à une tête de réception HF, placée en son foyer F :



6. L'antenne patch

L'antenne patch est 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.



Exercices :

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.



Antenne TV d'intérieur
VHF : $f \approx 200$ MHz
UHF : $f \approx 500$ à 900 MHz

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 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)

On donne :

L'angle d'ouverture d'une antenne parabolique : $\theta = \frac{70.\lambda}{D}$

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

III. IMPEDANCE D'UNE ANTENNE

La ligne qui transporte l'énergie à l'antenne est appelée le « **feeder** ». Il est nécessaire que cette énergie ne revienne pas et reste dans l'antenne (phénomène de réverbération). Pour cela, il faut que l'antenne ait la même impédance que **l'impédance caractéristique du feeder**.

Quelques impédances :

- Antenne FM simple brin demi-onde : **75 Ohms** ;
- Antenne quart-onde : **36 Ohms** ;
- Antenne YAGGI : **52 Ohms**

IV. DIRECTIVITE D'UNE ANTENNE

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

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, ils 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 en utilisant des antennes omnidirectionnelles**.

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 !)

Exercice :

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

.....
.....
.....

2. Parmi les deux antennes WIFI représentées ci-dessous, laquelle est une antenne omnidirectionnelle et laquelle est l'antenne directive ?



.....
.....
.....

V. DIAGRAMMES DE RAYONNEMENT DES ANTENNES

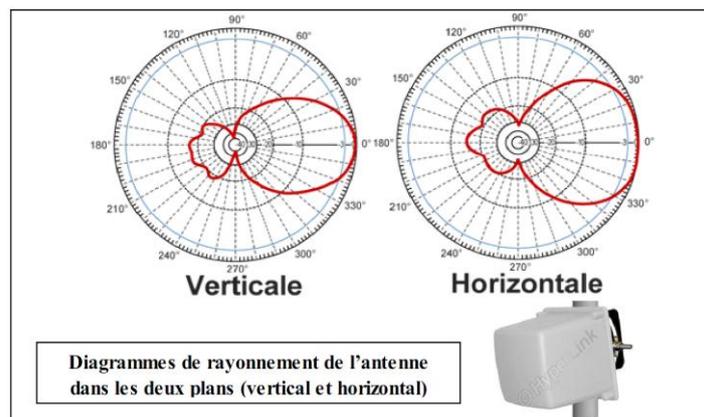
Le diagramme de rayonnement de l'antenne permet d'apprécier la directivité de l'antenne.

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 (vu de dessus) et vertical (vu de côté).

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 :



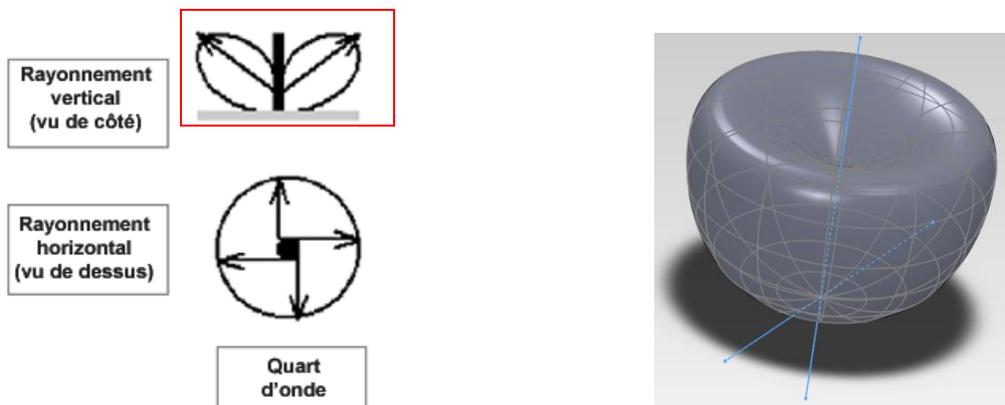
1. Diagramme de rayonnement d'une antenne isotrope

Cette antenne théorique n'est pas réalisable pratiquement mais son concept est utile pour exprimer le gain d'une antenne réelle. C'est une antenne qui rayonne uniformément dans toutes les directions (sphère) :



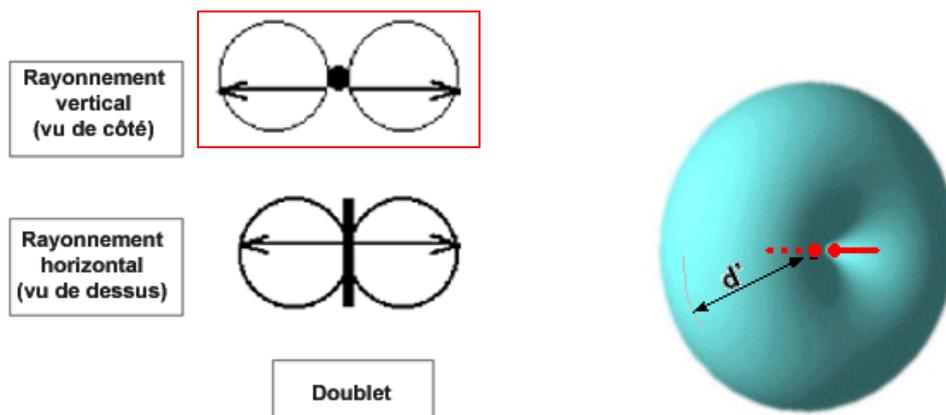
2. Diagramme de rayonnement d'une antenne 1/4 d'onde

Exercice : En vous aidant du diagramme de rayonnement 3D, compléter le diagramme de rayonnement vertical (vu de côté) :



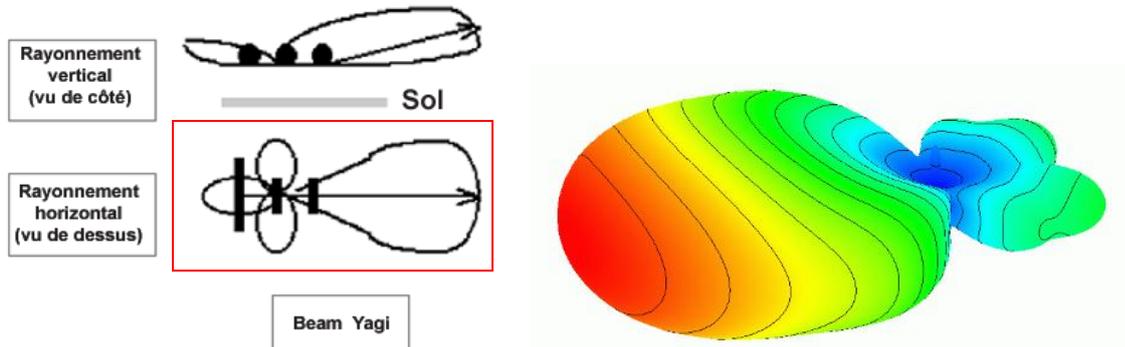
3. Diagramme de rayonnement d'une antenne 1/2 onde, ou doublet

Exercice : En vous aidant du diagramme de rayonnement 3D, compléter le diagramme de rayonnement vertical (vu de côté) :



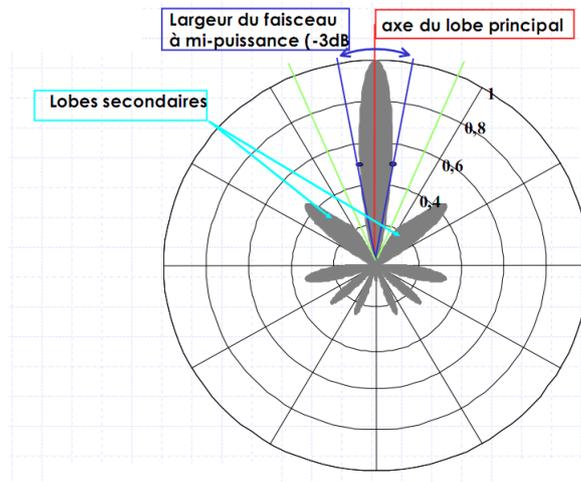
4. Diagramme de rayonnement d'une antenne Yagi

Exercice : En vous aidant du diagramme de rayonnement 3D, compléter le diagramme de rayonnement horizontal (vu de dessus) :



5. Diagramme de rayonnement d'une parabole

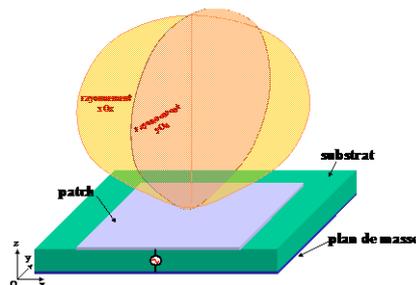
Pour une antenne parabolique, le rayonnement se concentre surtout dans la direction perpendiculaire à la surface de la parabole passant par son foyer. Le rayonnement dans cette direction est appelé **lobe principal**.



6. Antennes « patch »

Pastille métallique à la surface d'un substrat diélectrique dont la face inférieure est métallisée.

- Rayonnement directif
- Mode fondamental 1/2 d'onde



VI. ANGLE D'OUVERTURE, LOBE SECONDAIRE ET ARRIERE

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

1. L'angle d'ouverture

L'angle d'ouverture d'une antenne est l'angle de direction pour lequel la puissance rayonnée est la moitié (-3dB ou 50%) 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.

2. Lobes secondaires

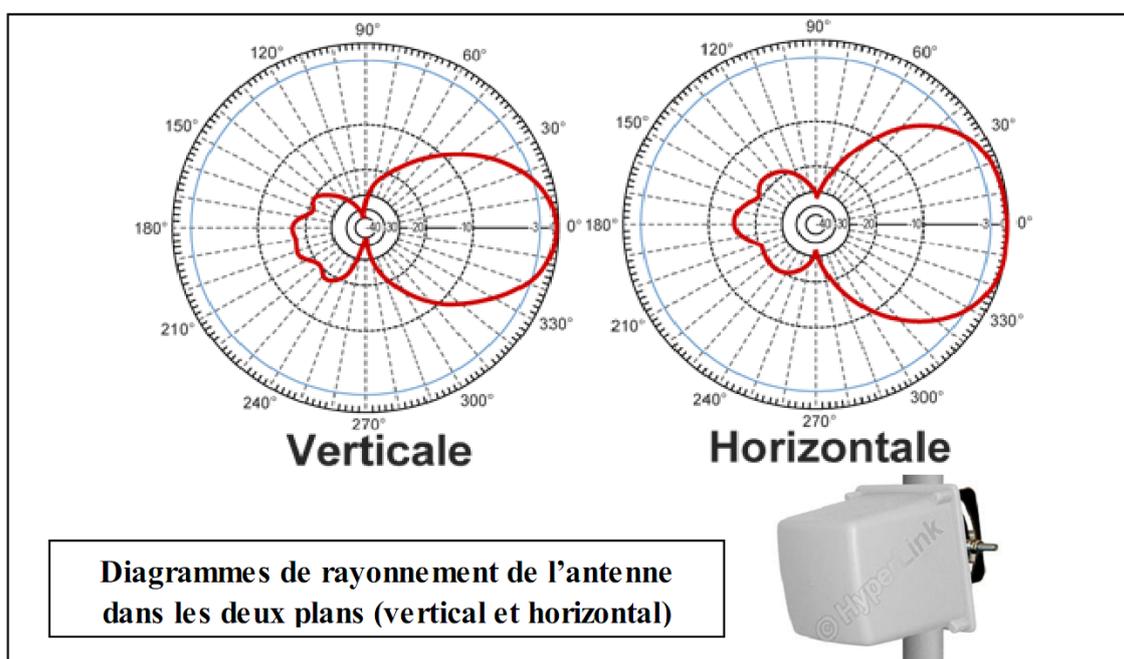
Un lobe secondaire correspond à un maximum de puissance dans une direction autre que la direction privilégiée. Idéalement, ils doivent être les plus faibles possibles.

3. 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 :



VII. GAIN D'UNE ANTENNE

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 par une vraie antenne est donc **plus forte**.

Analogie : La lumière d'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.

1. 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**.

2. 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° 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 :

θ_H : angle d'ouverture dans le plan **horizontal** en degrés.

θ_V : angle d'ouverture dans le plan **vertical** en degrés.

G : Gain de l'antenne en dBi

Pour une installation avec un câble de liaison :

$$\begin{aligned} \text{P.I.R.E [dBm]} = & \text{ Puissance de transmission [dBm]} \\ & - \text{ Pertes dans les câbles et connecteurs [dB]} \\ & + \text{ Gain de l'antenne [dBi]} \end{aligned}$$

Relation entre Puissance en W et en dB :

$$dBm = 10 \cdot \log \left(\frac{\text{puissance}}{1mW} \right) \qquad dBW = 10 \cdot \log \left(\frac{\text{puissance}}{1W} \right)$$

Exercice 1 :

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 PE du satellite est de 94W. En déduire le gain de l'antenne d'émission du satellite.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

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 ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

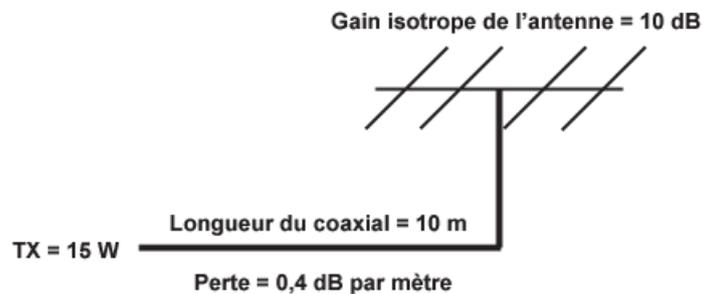
.....

.....

.....

Exercice 2 :

Soit une antenne avec un gain de 10 dB, reliée par un câble coaxial de longueur 10m à un émetteur de 15W :



1. Calculer la perte en dB dans la longueur du câble coaxial.

$$Pertes = 10 \text{ m} \times 0,4 \text{ dB par mètre} = 10 \times 0,4 = 4 \text{ dB}$$

2. Calculer la puissance de transmission de l'émetteur en dBm.

$$G(\text{dBW}) = 10 \cdot \log(15) = 11,7 \text{ dBm}$$

3. Calculer le PIRE du schéma complet en dBm (antenne + câble + émetteur)

$$PIRE (\text{dBm}) = 11,7 - 4 + 10 = 17,7 \text{ dB}$$

4. Calculer le PIRE du schéma complet en W (antenne + câble + émetteur)

$$PIRE (W) = \log^{-1}[G(\text{dB})/10] = 60 \text{ W}$$

Exercice 3 :

Quelle est la puissance en sortie de l'amplificateur ?



1. Calculer la puissance de l'amplificateur en W.

$$P(W) = \log^{-1}[3/10] = 2 \text{ W}$$

2. Calculer la puissance de sortie en W.

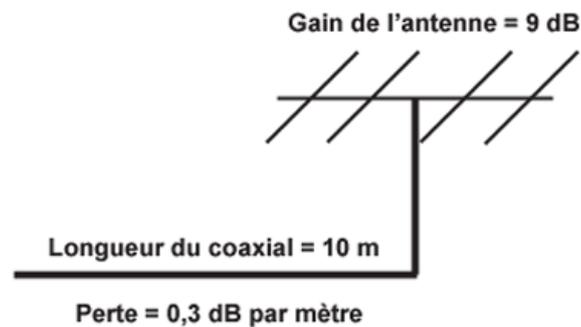
$$P(W) = 50 \times 2 = 100 \text{ W}$$

3. Calculer la puissance de sortie en dBm.

$$G(\text{dBm}) = 10 \cdot \log(100) = 20 \text{ dBm}$$

Exercice 4 :

Quel est le gain de l'ensemble ?



1. Calculer la perte en dB dans la longueur du câble coaxial :

$$10 \text{ m} \times 0,3 \text{ dB par mètre} = 10 \times 0,3 = 3 \text{ dB}$$

2. L'antenne ayant un gain de 9 dB, calculer le PIRE de l'ensemble.

$$9 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = 6 \text{ dB}$$

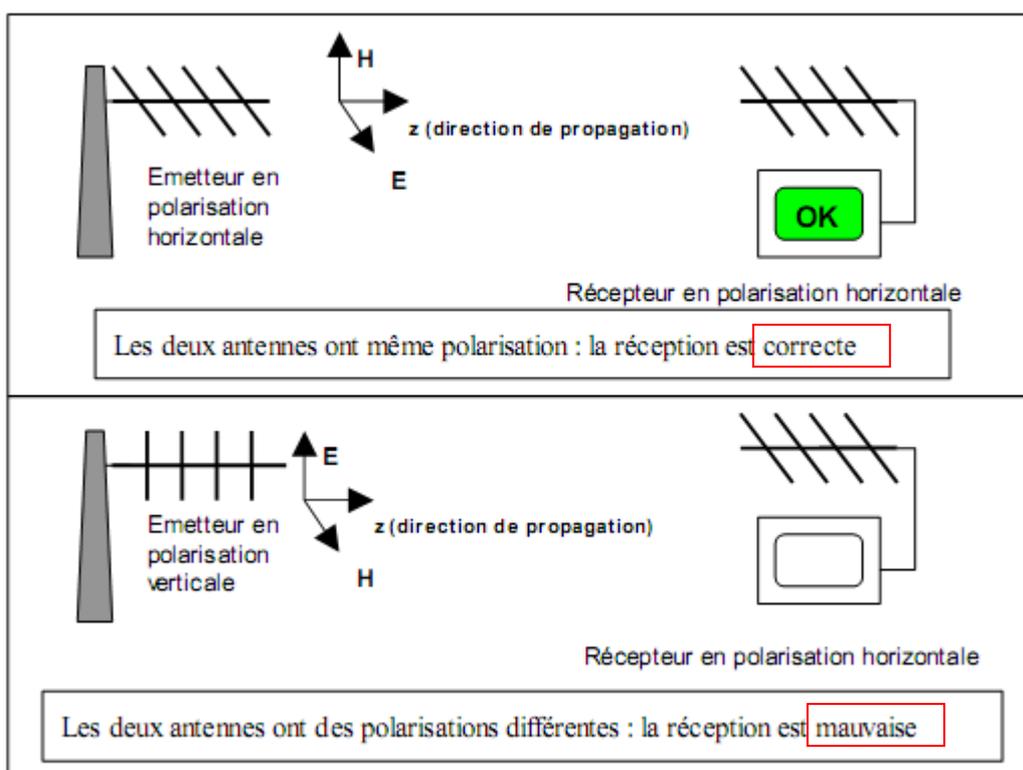
4. Polarisation

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**.

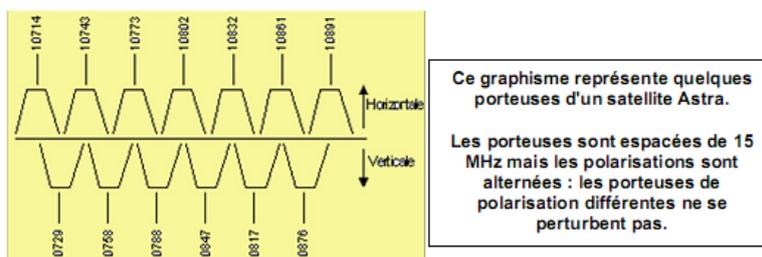
Pour qu'une liaison fonctionne correctement, il faut que l'antenne de réception soit polarisée **de la même façon** que l'antenne d'émission.

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



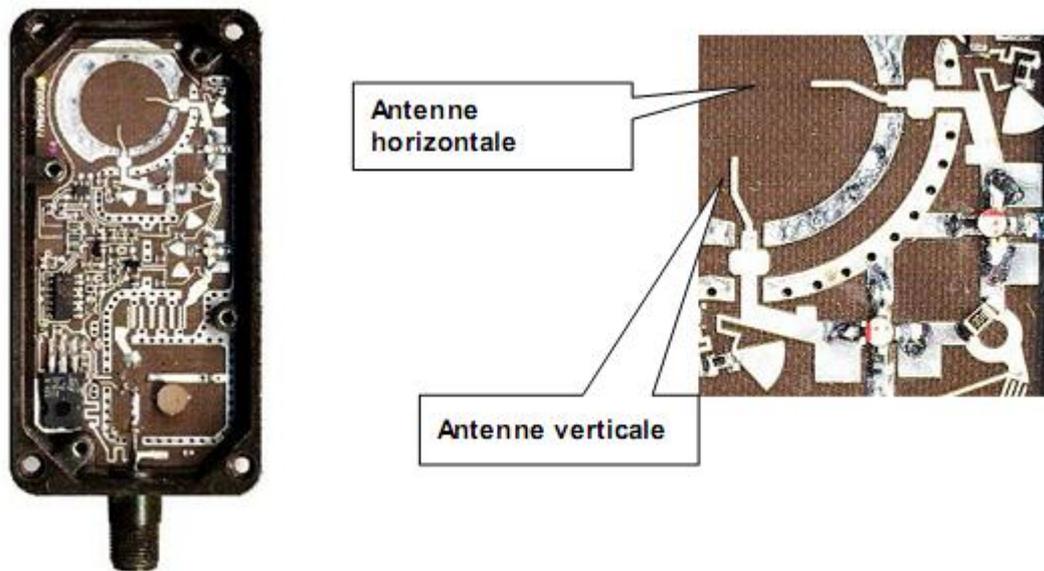
Applications :

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 :



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.

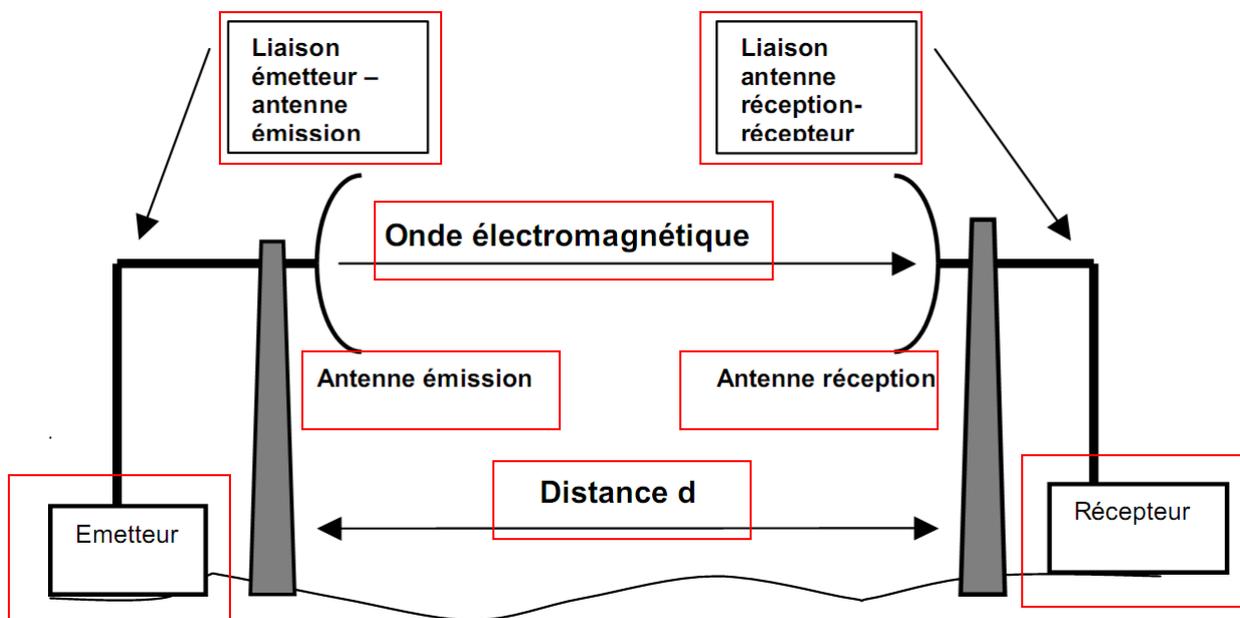
Sur l'agrandissement à droite, on distingue nettement les deux "antennes", verticale et horizontale, attaquant chacune un transistor amplificateur :



VIII. BILAN DE TRANSMISSION – PUISSANCE RECUE

1. Schéma de principe d'une liaison hertzienne

Le schéma de principe d'une transmission est le suivant :



Émetteur : Il est caractérisé par sa puissance émise P_E . Ici P_E sera exprimée en dBm ou dBW. Ordre de grandeur : de quelques mW (0dBm) à plusieurs kW (> 30dBW).

Liaison émetteur- antenne émission : Elle est généralement réalisée en câble **coaxial**. Elle est caractérisée par son atténuation L_E , exprimée en dB.

Dans les petits systèmes, où tout est intégré (WiFi, téléphone mobile, etc..) cette liaison n'existe pas ($L_E = 0\text{dB}$)

Antenne émission : Elle est caractérisée par son Gain d'antenne G_E , exprimé en dBi.

Distance d : C'est la distance entre l'émetteur et le récepteur. On peut montrer que la distance entre l'émetteur et le récepteur, introduit une atténuation A_{EL} (pour atténuation en espace libre) égale à :

$$A_{EL} = 20 \cdot \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right)$$

Cette grandeur est exprimée en dB.

Liaison antenne réception- récepteur : Comme la liaison émetteur-antenne émission, la liaison antenne réception-récepteur est caractérisée par l'atténuation L_R , exprimée en dB.

Antenne réception : Elle est caractérisée par son gain d'antenne G_R , exprimé en dBi.

Récepteur : Le paramètre qui nous intéresse ici est **P_R , puissance reçue par le récepteur**. Elle est généralement exprimée en dBm.

Pour déterminer P_R , la puissance reçue par le récepteur, il suffit en partant de P_E de retrancher toutes les sources d'atténuation du signal et d'ajouter les gains d'antenne.

On obtient ainsi :

$$P_R = P_E - L_E + G_E - A_{EL} + G_R - L_R$$

Remarques :

- le terme **$P_E - L_E + G_E$ correspond au **PIRE****, au niveau de l'antenne d'émission.
- L_E et L_R sont nuls si l'émetteur et le récepteur sont reliés directement à leurs antennes.

2. Sensibilité du récepteur

C'est la puissance minimale en dessous de laquelle la qualité de la liaison est dégradée :

- **Craquements importants (« friture ») pour une liaison audio,**
- **Image dégradée en transmission vidéo (« neige »),**
- **Taux d'erreur important en transmission numérique (« pixellisation » de l'image en TV vidéo numérique).**

3. Condition de bon fonctionnement d'une liaison hertzienne

Pour qu'une liaison hertzienne fonctionne correctement, il faut que la puissance reçue soit **supérieure à la sensibilité du récepteur.**

De plus, on prendra généralement une marge (on essaiera d'avoir des dB en plus) pour tenir compte des atténuations supplémentaires qui peuvent être dues à des réflexions multiples ou à la météo (pluie, neige, brouillard, etc..)

IX. LES ANTENNES WIFI

1. Les antennes omnidirectionnelles

Ce type d'antenne émet dans toutes les directions. Le gain est donc faible, inférieur à 10 dBi :



2. Les antennes Panneau – Patch

Le gain de ces antennes varie entre 10 et une 20ème de dBi. C'est une antenne de type directionnelle :



3. Les antennes YAGI et à grille (ou paraboliques)

Ces antennes possèdent un gain variant de 15 à 25 dBi et sont directionnelles :



4. Les antennes sectorielles

Elles sont à mi-chemin entre les antennes directionnelles et omnidirectionnelles :
Contrairement aux deux autres types d'antennes, elles diffusent le signal sur un grand angle (130°) avec un gain souvent élevé.

Leur gain varie d'une 10ème à une 20ème de dBi :

