

# ANTENNES

M. OULOBLY Stéphane Ronin

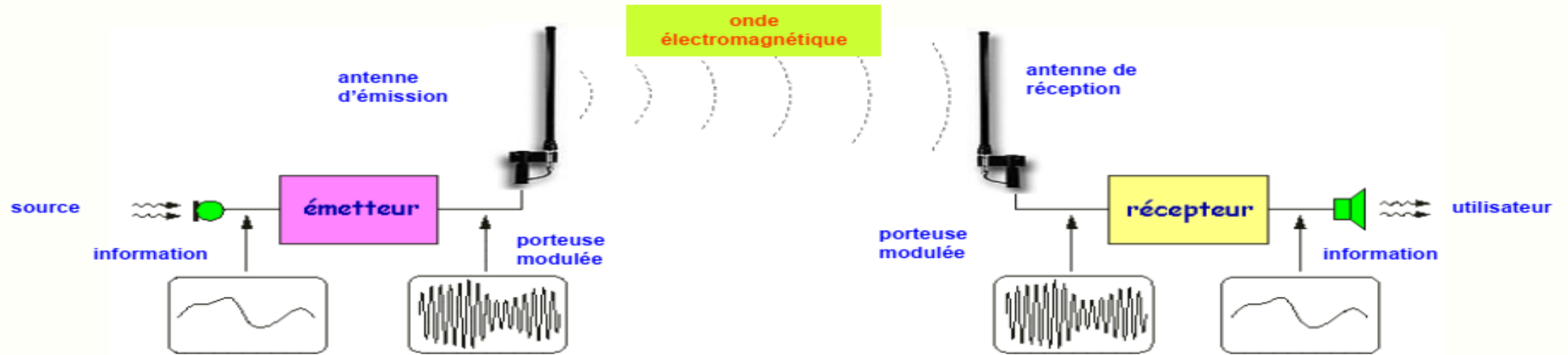
Enseignant-Chercheur  
stephane.oulobly@esatic.ci

# ANTENNES

## CONTENU

- Chapitre 1: Définition et Applications des Antennes
- Chapitre 2: Caractéristiques des Antennes
- Chapitre 3: Différents types d'Antennes (Exposés)

# CARACTÉRISTIQUES DES ANTENNES



- l'antenne d'émission reçoit le signal électrique de l'émetteur et produit **l'onde électromagnétique**
- cette OEM se propage dans l'espace autour de l'antenne d'émission
- en fonction du type et de la forme d'antenne utilisées, certaines directions de propagation peuvent être privilégiées
- la puissance produite par l'émetteur et appliquée à l'antenne se disperse dans l'espace
- l'antenne de réception capte une faible partie de cette puissance et la transforme en signal électrique
- ce signal électrique est appliqué à l'entrée du récepteur qui en extrait l'information transmise

**Remarque** : les phénomènes physiques mis en jeu dans l'antenne étant **réversibles**, le même dispositif peut servir pour l'émission et pour la réception, sauf dans le cas des émissions de forte puissance

# CARACTÉRISTIQUES DES ANTENNES

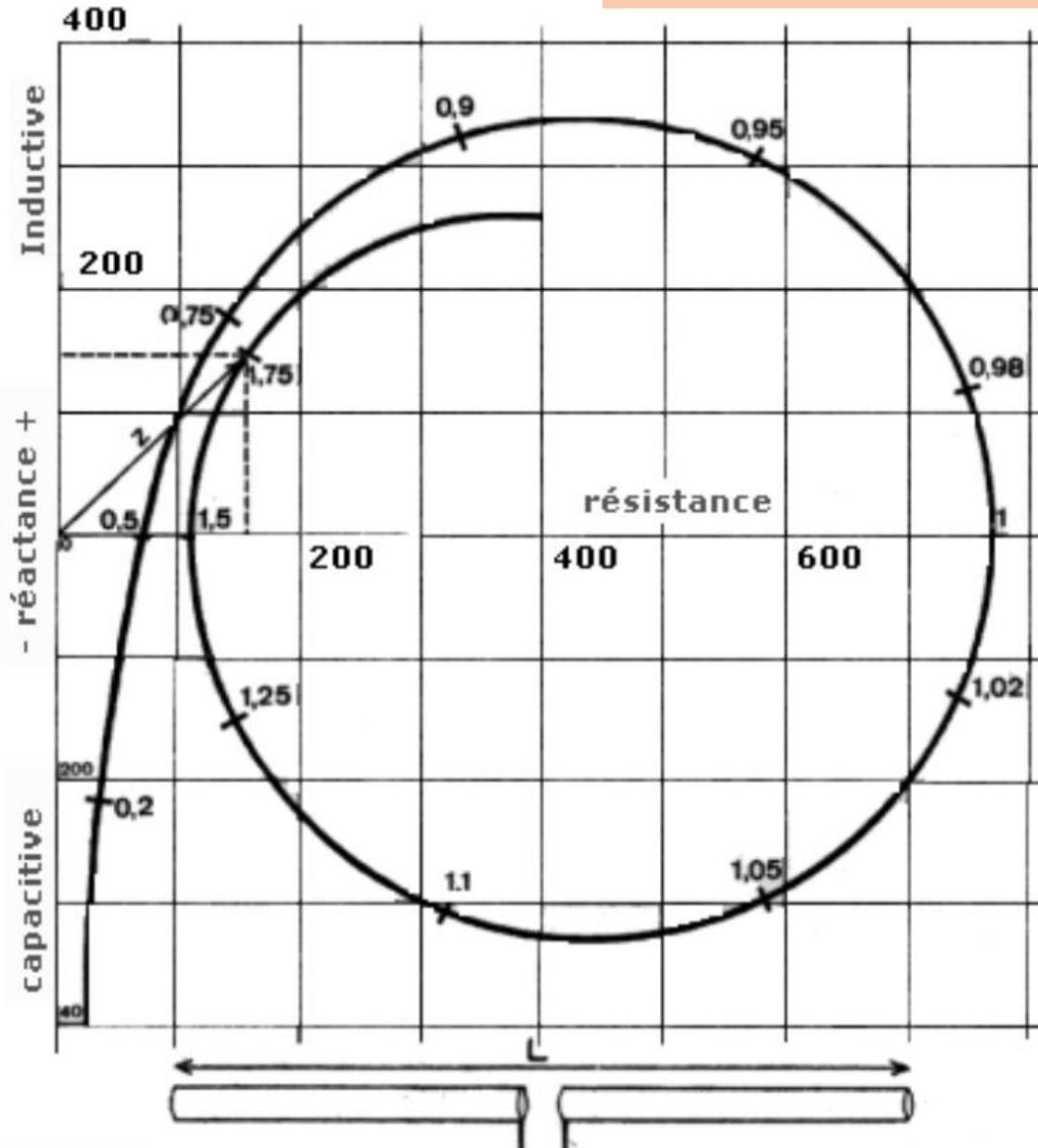
## L'ANTENNE

L'antenne est le dispositif de transition entre le milieu à propagation guidé (le coaxial) et l'espace diélectrique à propagation libre (l'air). L'énergie qui sort du transceiver passe dans le coaxial, par exemple le **RG8U** ( $FV=0,66$ ), puis change de milieu, l'air ( $FV=0,95$ ), par l'intermédiaire de l'antenne.

Une antenne est un dispositif qui transmet et/ou reçoit des ondes électromagnétiques (ou ondes hertziennes). L'antenne est en général un dispositif résonnant qui fonctionne sur une largeur de bande relativement étroite, on doit l'accorder sur la même bande de fréquence que le poste de radio sur lequel elle est connectée, car autrement, on détériore la transmission et la réception.

La longueur du brin rayonnant a une influence directe sur l'impédance de l'antenne :  
Voici la courbe de l'impédance complexe en fonction de la longueur de l'antenne

# CARACTÉRISTIQUES DES ANTENNES



## L'ANTENNE

L'axe horizontal définit la composante **résistive** de l'impédance de l'antenne **R**.

- L'axe vertical définit la composante **réactive** de l'impédance de l'antenne  $\pm jX$ .

L'impédance **Z** d'une antenne sera donc toujours de la forme :

$$Z = R (\pm jX)$$

En fonction de sa longueur, une antenne se comporte comme un **circuit série** (condensateur + self) lorsque la réactance est **négative**, ou comme un **circuit parallèle** lorsque la réactance est **positive**

Dans cet abaque, à  $0,5\Omega$  et à  $1,5\Omega$  on trouvera une résonance pour laquelle la réactance est égale à zéro.

A  $1\Omega$  on trouve une anti-résonance pour laquelle la réactance est aussi égale à zéro

## L'ANTENNE

Cela paraît un peu complexe, mais c'est la base de tout système d'antenne. La fréquence de résonance **F0** (F zéro) est le moment où le circuit est accordé et où la réactance **XC = XL** l'inductance. Il se produit alors un phénomène de "**surtension**" (il y a plus d'énergie produite que celle qui est fournie par l'émetteur) que l'on appelle le coefficient de qualité **Q**. Malheureusement plus **Q** est élevé et moins on a de bande passante **B** car :

$$B = F0 / Q$$

Cela signifie en pratique que plus on cherche à avoir de gain sur une antenne plus elle sera "pointue" et moins elle aura de bande passante (nombre de canaux couverts pour un **ROS** (Rapport d'Ondes Stationnaires) inférieur à 2, d'autres la définissent à -3dB de gain).

Pour avoir un transfert d'énergie **efficace** il faut que les impédances du poste, de la ligne de transmission et de l'antenne soient **identiques**. Tout défaut d'adaptation d'impédance ou de longueur se traduit par l'apparition **d'ondes stationnaires**.

Le **ROS**, est le rapport entre impédance terminale **Zt** de la ligne (la charge) sur l'impédance caractéristique **Zc** (la source). Comme c'est une fraction, le ROS est toujours égal ou supérieur à 1.

$$ROS = Zt / Zc$$

## L'ANTENNE

### Exemple:

Une antenne a une impédance de  $200\Omega$ , elle est connectée à une ligne de RG8/U  $50\Omega$  :

$$\text{ROS} = Z_t / Z_c = 200 / 50 = 4$$

Une antenne a une impédance de  $20\Omega$ , elle est connectée à une ligne de RG8/U  $50\Omega$  :

Nous savons que le ROS doit toujours être supérieur ou égal à 1, donc nous inversons la fraction :

$$\text{ROS} = Z_c / Z_t = 50 / 20 = 2,5$$

La valeur maximale de ROS généralement admise pour la sécurité du matériel est 2.

Le ROS ne provoque pas d'interférences sur les télés puisqu'il les diminue en réduisant l'énergie transmise pour le rayonnement de l'antenne

Le ROS n'est pas le résultat du bon ou du mauvais fonctionnement d'une antenne, il indique seulement si le système est adapté ou pas en impédance

Attention, le ROS a la même valeur tout au long de la ligne, seule l'impédance de la ligne varie en fonction de sa longueur.

## L'ANTENNE

Le **TOS** est le Taux d'Ondes Stationnaire, c'est le rapport :

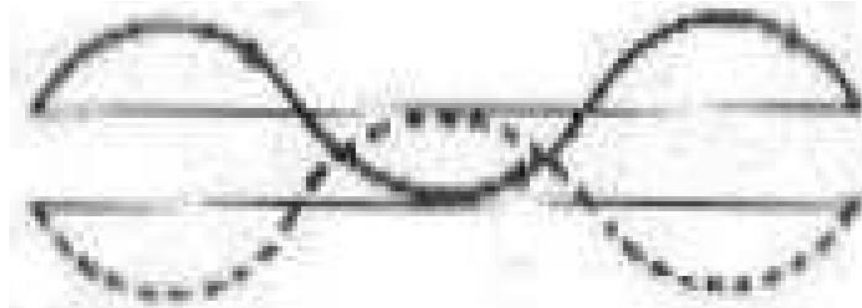
$$\text{Tension Réfléchie} / \text{Tension Transmise} \times 100$$

C'est donc le pourcentage de la tension qui n'est pas rayonnée :

- un ROS de 1 = un TOS de 0%, toute l'énergie est rayonnée (moins les pertes en lignes)
- un ROS de 1,5 = un TOS de 4%
- un ROS de 2 = un TOS de 11%
- un ROS de 3 = un TOS de 25%
- un ROS de 4 = un TOS de 36%

## LE CABLE COAXIAL

Des lignes de transmissions qui sont utilisées en HF, le câble coaxial est le plus répandu car probablement le plus pratique. Voici la répartition du courant dans la ligne de transmission:



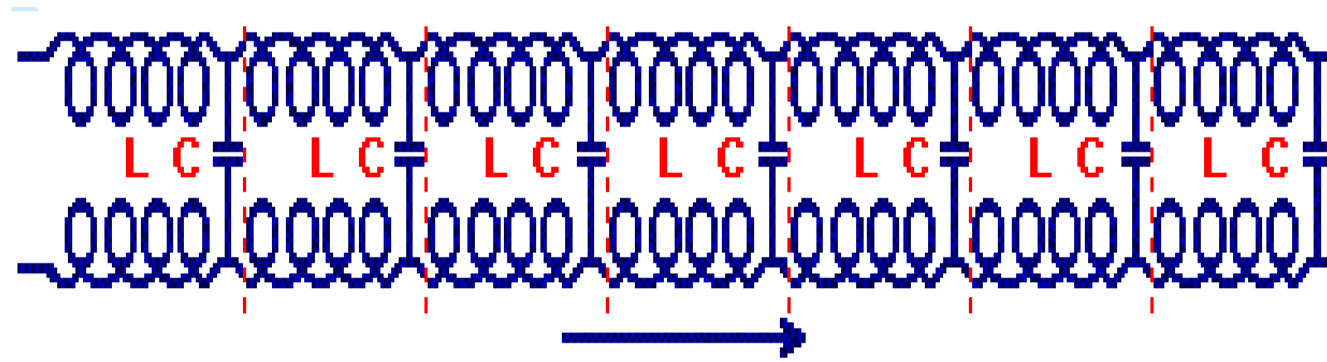
Sur cette image, la ligne mesure  $3 \times 180^\circ = 3 \times (FV) \lambda/2$

Le coaxial est un guide d'onde, c'est à dire que sur toute sa longueur les sinusoides vont se succéder de l'émetteur jusqu'à l'antenne, il va ainsi être le siège de courants, de perturbations et d'ondes stationnaires, et comme tout cela varie, cela fera varier d'autant son impédance en différents points de sa longueur.



## LE CABLE COAXIAL

Voici le circuit équivalent à la ligne



Le coaxial est représenté comme une suite d'inductance série et de condensateur parallèle, ce circuit ressemble beaucoup à un filtre passe bas, ceci explique en partie pourquoi l'atténuation de la ligne augmente à mesure que l'on monte en fréquence.

On obtient les  $50\Omega$  équivalent à l'impédance caractéristique du coaxial (RG8U pour l'exemple) tous les  $180^\circ$  soit  $(0,66 \lambda/2)$ , et **uniquement à ces points là.**

**La transition coaxial / antenne doit être effectuée avec le maximum de précision pour avoir le maximum de rendement : c'est la condition sine qua non pour avoir une station performante.**

Comme nous l'avons vu plus haut, une période est formée par la succession de 2 ondulations, une positive et une négative, si l'on ramène la seconde période en la faisant tourner au point d'origine on forme un cercle, ce cercle d'une longueur d'onde  $\lambda$  fait  $360^\circ$ , le demi cercle fera  $(\lambda /2)$   $180^\circ$ , le quart de cercle  $(\lambda /4)$   $90^\circ$

## LE CABLE COAXIAL

Si vous ne possédez pas un analyseur pour tailler votre câble coaxial, vous pouvez le faire avec un calcul très simple. Pour aller du poste à l'antenne il vous faudra comme on l'a vu plus haut **un multiple de 1/2 onde en tenant compte du facteur de vélocité du coaxial** :

Pour 27,500 Mhz en RG8U (FV=0,66):  $(0,66 / 2) = 0.66 \times 10.91 / 2 = 3,60 \text{ m}$

Cela veut dire qu'en 0.036 seconde sur 27,500 Mhz, le courant aura parcouru 7,20 mètres pour faire une longueur d'onde dans le coaxial (2 x 3,60m)

Pour alimenter correctement l'antenne dont la fréquence centrale sera 27,500 Mhz, le coaxial (RG8U) devra avoir une longueur totale de 3m60 (mini) ou 7m20, 10m80, 14m40, 18m, 21m60, 25m20, 28m80, 32m40, etc...

C'est seulement à ces points là que l'on aura une impédance de  $50\Omega$  équivalente à l'impédance caractéristique du coaxial RG8/U au borne du transceiver (sic) ARRL.

Si vous devez intercaler des appareils, **Rosmètre/Wattmètre**, ampli ou autre, placez les selon ce principe. Il ne faudra pas les connecter avec ces rallonges de 50 cm que l'on trouve trop couramment dans le commerce, car cela désaccorde la ligne.

Sinon, on fait la mesure de contrôle dont on a besoin, et ensuite on enlève tout, car plus on met des appareils (inutile la plupart du temps) et de connections, plus on a de pertes en lignes et de chances de désaccorder le coaxial : nous avons donc moins de rendement et donc une mauvaise station.

## LE CABLE COAXIAL

Dans le cas de l'utilisation d'une antenne qui a une impédance autre que celle de  $50 \Omega$  on a intérêt à adapter l'impédance en utilisant un transformateur adapté et non pas en taillant le coaxial cm par cm. Ceci démontre aussi que si vous utilisez un coaxial  $75 \Omega$  pour alimenter une antenne de  $50 \Omega$  et qu'il est taillé strictement en multiples de demi-onde ( $FV \times \lambda/2$ ) à la résonance, le transceiver verra directement l'impédance de l'antenne et le coax sera "transparent".

Cette particularité permet d'envisager qu'il peut être très utile, si l'on a une ligne particulièrement longue (plusieurs centaines de mètres) pour alimenter une antenne dont l'impédance est **adaptée** à celle de l'émetteur, d'utiliser par exemple une ligne bifilaire de très faible perte avec un FV très élevé (0,95) pour une impédance caractéristique de  $150$  ou  $300 \Omega$  en la taillant strictement en multiples de demi-onde ( $FV \times \lambda/2$ ) à la résonance.

### *Exercice N° 1*

**Afin de pouvoir vérifier si vous avez compris les quelques notions de bases évoquées dans cette première partie, je vous propose de faire quelques exercices très simples, qui permettront d'une manière légère et ludique de valider les acquis.**

**1-a : Quelle est la fréquence du courant fourni par la CIE ?**

**1-b : Quelle est sa période ?**

**2-a : Quelle est la longueur d'une antenne  $5/8$  d'onde résonnant sur  $27,000\text{Mhz}$  ?**

**2-b : Quelle est la longueur de  $180^\circ$  de ligne coaxiale (RG8/U) qu'il faudra utiliser pour l'alimenter ?**

# CARACTÉRISTIQUES DES ANTENNES - Gain et Diagramme de rayonnement

## INTRODUCTION

Dans cette partie on présente le diagramme de rayonnement, le gain et nous étudierons comme étalon l'antenne  $\frac{1}{2}$  onde et l'influence du sol sur son fonctionnement. Il est indispensable de bien comprendre cette partie car toutes les antennes (verticales ou horizontales) auront le même principe de fonctionnement que la  $\frac{1}{2}$  onde.

## IMPEDANCE D'UN DIPOLE

Un conducteur alimenté en son milieu présente une impédance qui dépend surtout de sa longueur et de son diamètre mais aussi de la fréquence. Un cas particulier de l'utilisation d'un tel dipôle est l'antenne demi-onde ou double



### Variation de l'impédance en fonction de la fréquence

Prenons un dipôle constitué d'un conducteur de 21 mètres de longueur déployé dans un espace libre pour ne pas subir l'influence du sol. C'est un fil de cuivre de diamètre 1,8mm tendu et formant un segment coupé en son milieu. Mesurons entre les bornes A et A' (voir figure ci-dessus) la composante résistive R et la composante réactive X de l'impédance. Les fréquences repérées par des lettres (A, B...) correspondent à des points particuliers des graphes étudiés plus bas

# CARACTÉRISTIQUES DES ANTENNES - Gain et Diagramme de rayonnement

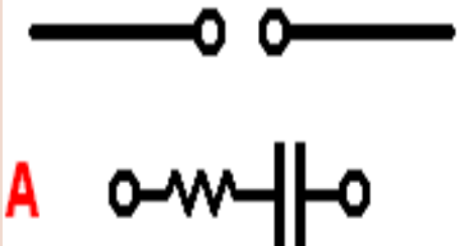
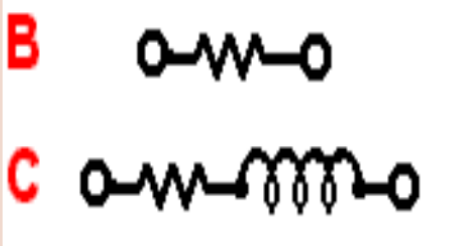
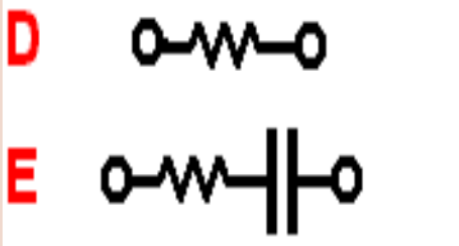
## IMPEDANCE D'UN DIPOLE

Sur la figure à droite du tableau sont symbolisés pour chaque point le circuit équivalent au dipôle.

Par exemple :

**A** : le dipôle est équivalent à une résistance pure de 8 ohms en série avec un condensateur présentant une réactance de 1280 ohms, soit une capacité de 41 pF.

**B** : cas particulier de la résonance du dipôle demi-onde à la fréquence de 7 MHz (longueur d'onde = 40m)

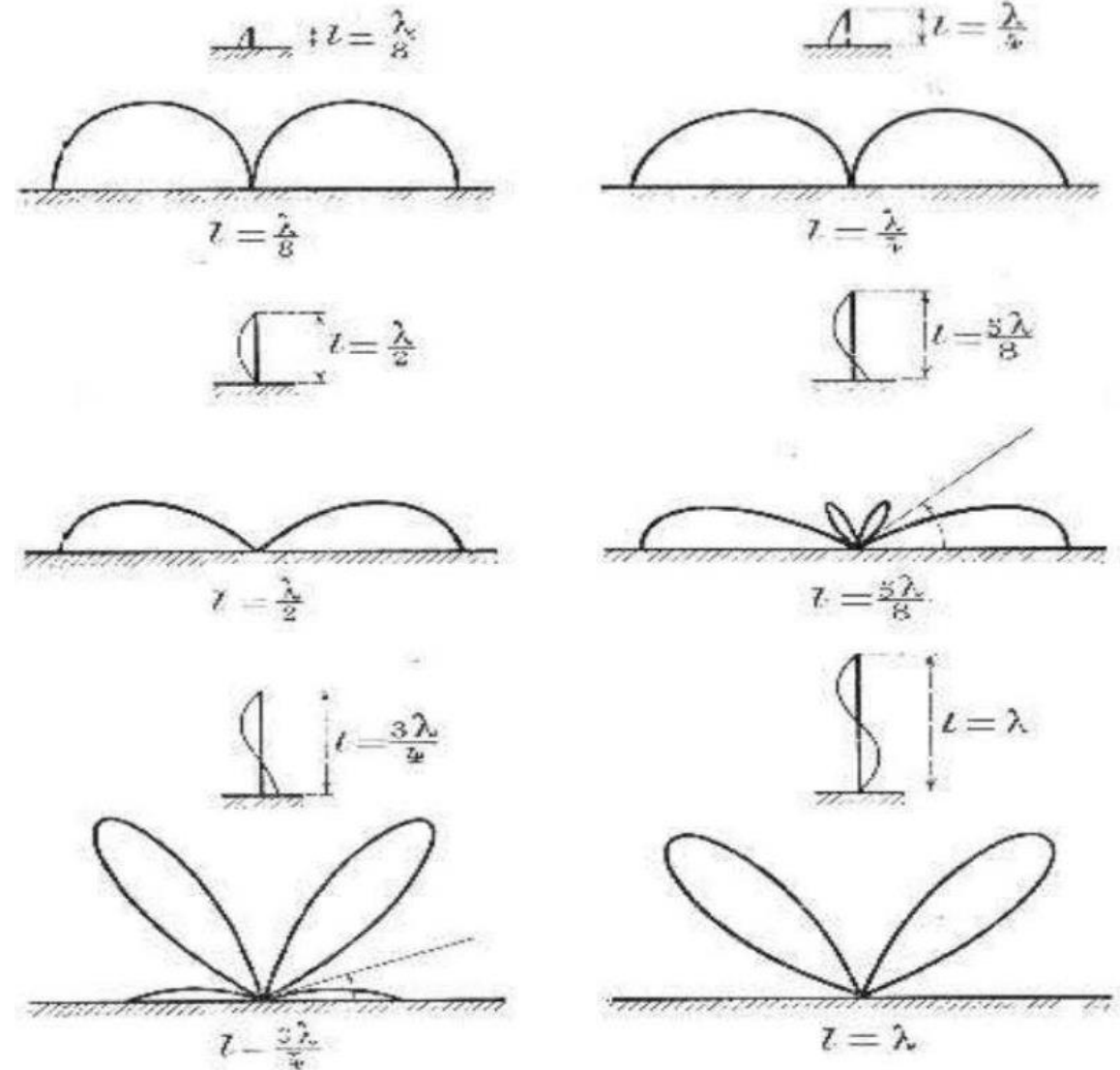
f (MHz)	R (ohm)	X (ohm)	f (MHz)	R (ohm)	X (ohm)	
3 (A)	8	-1280	15	1182	-2200	
5	29	-490	16	470	-1500	<b>A</b>
6.95 (B)	72	0	20	86	-250	<b>B</b>
9	189	+522	21.2 (F)	105	-0	
11 (C)	624	+1335	24	360	+700	<b>C</b>
12	1450	+2000	27,45 (G)	3370	0	<b>D</b>
13,41 (D)	5027	0	29	1400	-1800	<b>E</b>
14	3600	-2400	32	200	-740	
14,32 (E)	2551	-2693	35,44	122	0	<b>F</b>

# CARACTÉRISTIQUES DES ANTENNES - Gain et Diagramme de rayonnement

## Gain et Diagramme de rayonnement

Voici les antennes verticales les plus courantes avec base au sol:

Vous avez pu constater que plus une antenne est longue plus elle développe d'énergie, malheureusement pas toujours avec un angle de tir bas sur l'horizon.



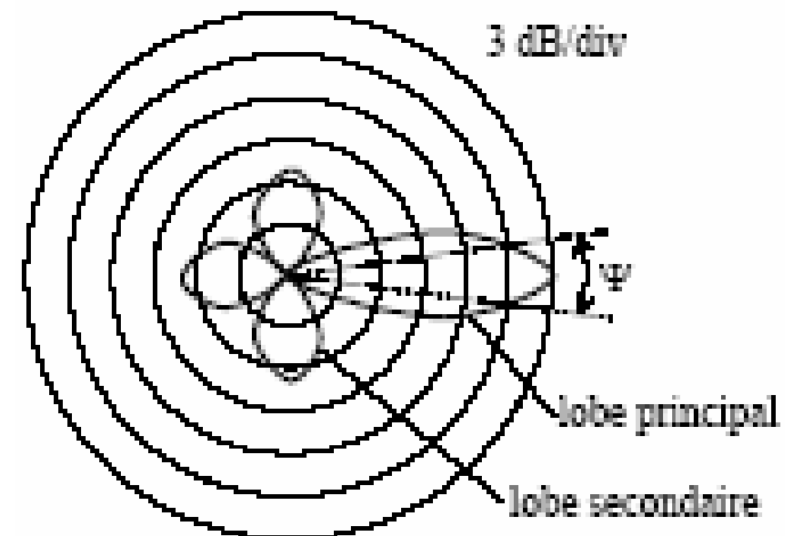
# CARACTÉRISTIQUES DES ANTENNES - Gain et Diagramme de rayonnement

## Gain et Diagramme de rayonnement

La puissance rayonnée dans une direction est fonction de la puissance fournie à l'antenne et du diagramme de rayonnement. Si on connaît l'énergie totale rayonnée dans le diagramme on pourra définir **le gain** de l'aérien dans une direction donnée.

**La directivité** est la capacité d'une antenne à concentrer l'énergie dans une direction particulière, c'est à dire en émettant ou recevant mieux dans cette direction que dans les autres.

Nous pouvons faire l'analogie avec une ampoule électrique de 100 watts qui pend du plafond : la lumière est diffusée à un niveau égal dans toutes les directions. Si vous mettez maintenant cette ampoule dans un projecteur, se composant d'un réflecteur et d'une lentille directrice, vous concentrerez la lumière dans un unique faisceau qui sera bien plus puissant que ce que pouvait éclairer l'ampoule seule



# CARACTÉRISTIQUES DES ANTENNES - Gain et Diagramme de rayonnement

## Gain et Diagramme de rayonnement

L'antenne qui rayonne la puissance  $P_0$  de l'émetteur uniformément dans toutes les directions s'appelle **antenne isotrope**.  
On **ne sait pas réaliser** une telle antenne en pratique, mais elle est commode pour servir d'étalon pour tester les antennes réelles

la surface  $S$  de la sphère de rayon  $d$  s'écrit :

$$S = 4\pi d^2$$

la puissance émise  $P_0$  se répartissant sur cette sphère, une surface  $S$  reçoit une densité de puissance  $P$  :

$$P = \frac{P_0}{S} = \frac{P_0}{4\pi d^2} \text{ en } W/m^2$$

on montre que la densité de puissance en un point est liée au module du champ électrique  $E$  par :

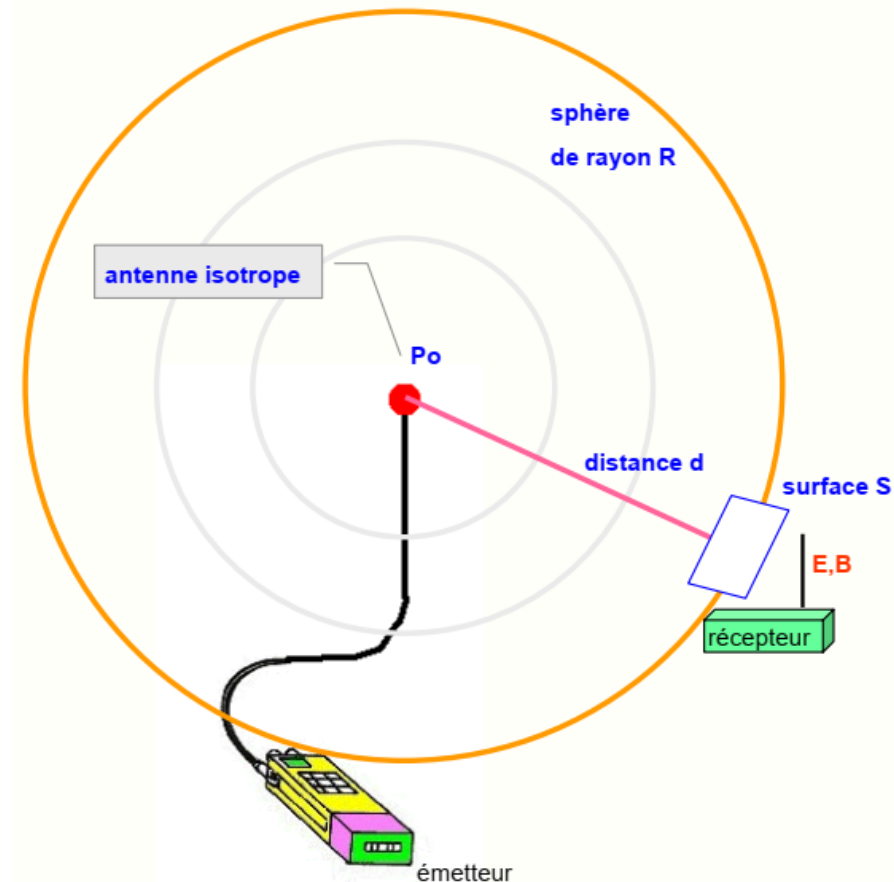
$$P = \frac{E^2}{120\pi}$$

on en déduit donc le champ  $E$  au niveau du récepteur :

$$E = \sqrt{120\pi P} = \frac{\sqrt{30P_0}}{d} \text{ en } V/m$$

et le champ magnétique  $B$  :

$$B = \frac{E}{c} \text{ en Tesla}$$

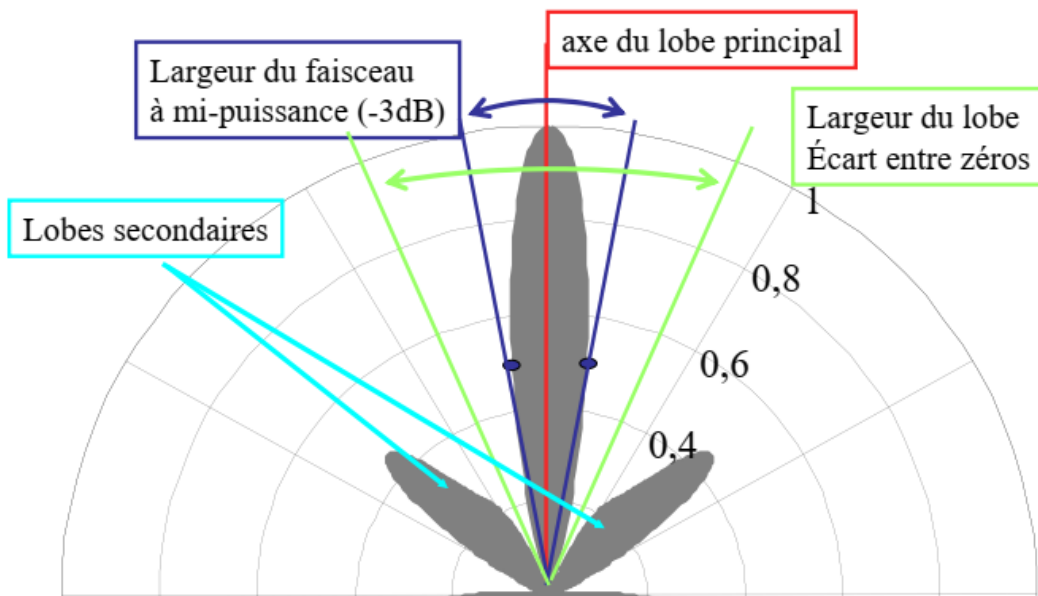


# CARACTÉRISTIQUES DES ANTENNES - Gain et Diagramme de rayonnement

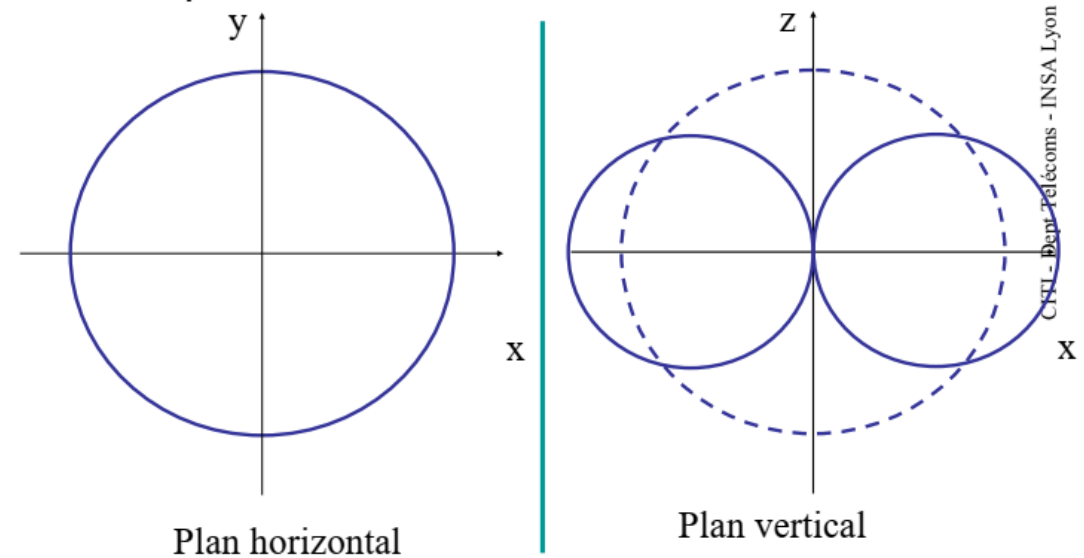
## Gain et Diagramme de rayonnement

L'*antenne isotrope*, c'est à dire rayonnant de la même façon dans toutes les directions, est un modèle théorique irréalisable dans la pratique. En réalité, l'énergie rayonnée par une antenne est répartie inégalement dans l'espace, certaines directions étant privilégiées : ce sont les *lobes de rayonnement*.

**Le diagramme de rayonnement** d'une antenne permet de visualiser ces lobes en trois dimensions, dans le plan horizontal ou dans le plan vertical incluant le lobe le plus important. La proximité et la conductibilité du sol ou des masses conductrices environnant l'antenne peuvent avoir une influence importante sur le diagramme de rayonnement



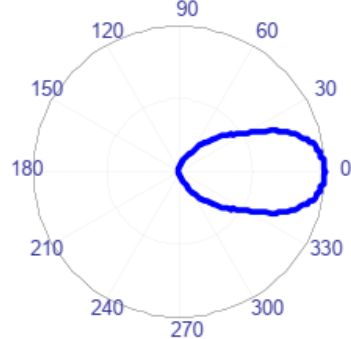
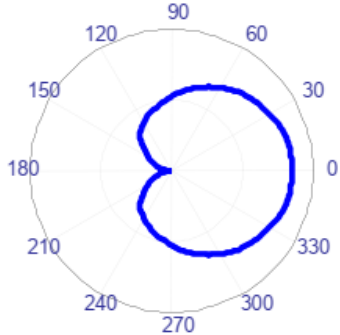
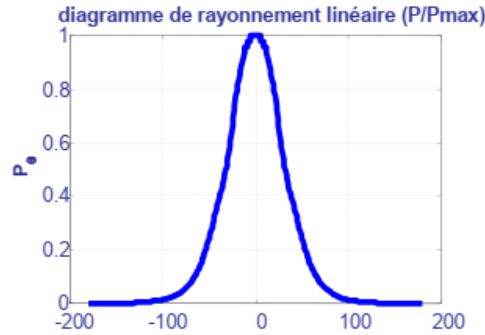
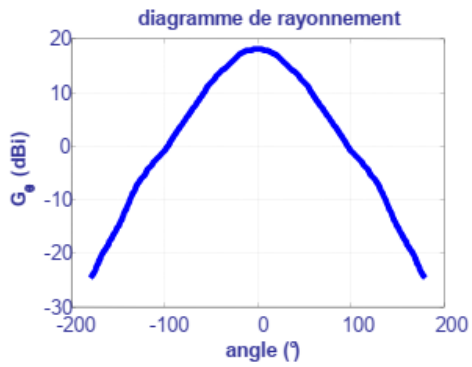
- Exemple du doublet élémentaire



# CARACTÉRISTIQUES DES ANTENNES - Gain et Diagramme de rayonnement

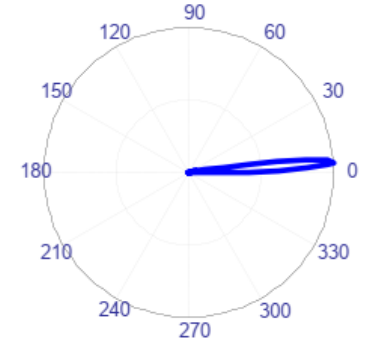
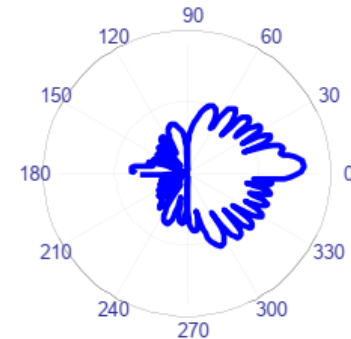
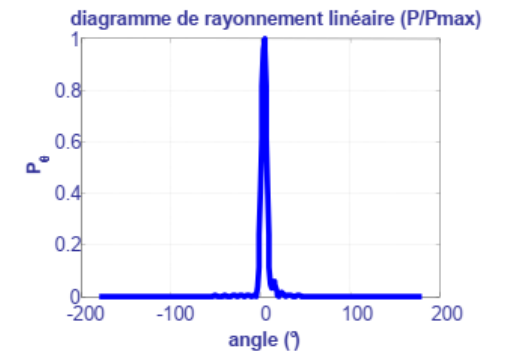
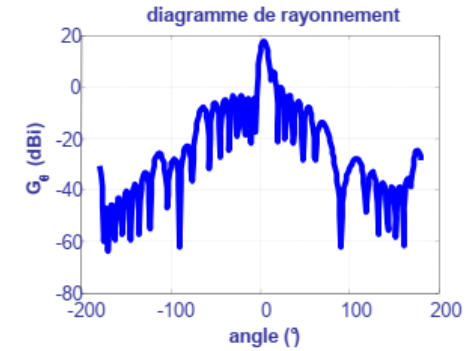
## Gain et Diagramme de rayonnement

Exemple d'une antenne GSM sectorielle, dans le plan horizontal



II

Exemple d'une antenne pour faisceaux hertziens

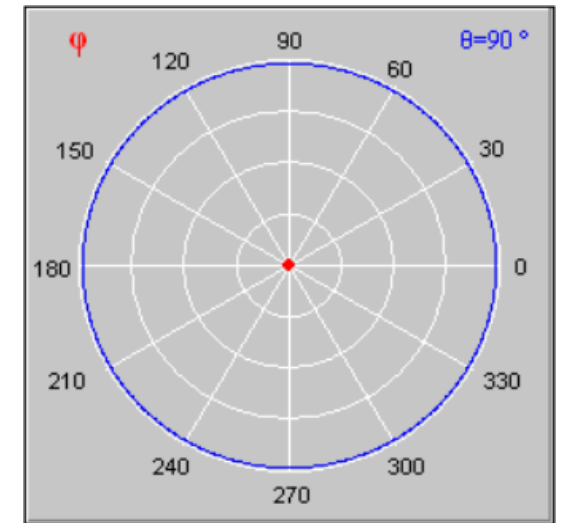
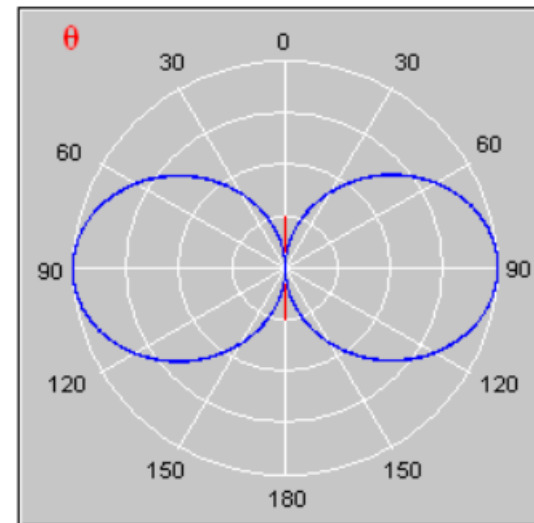
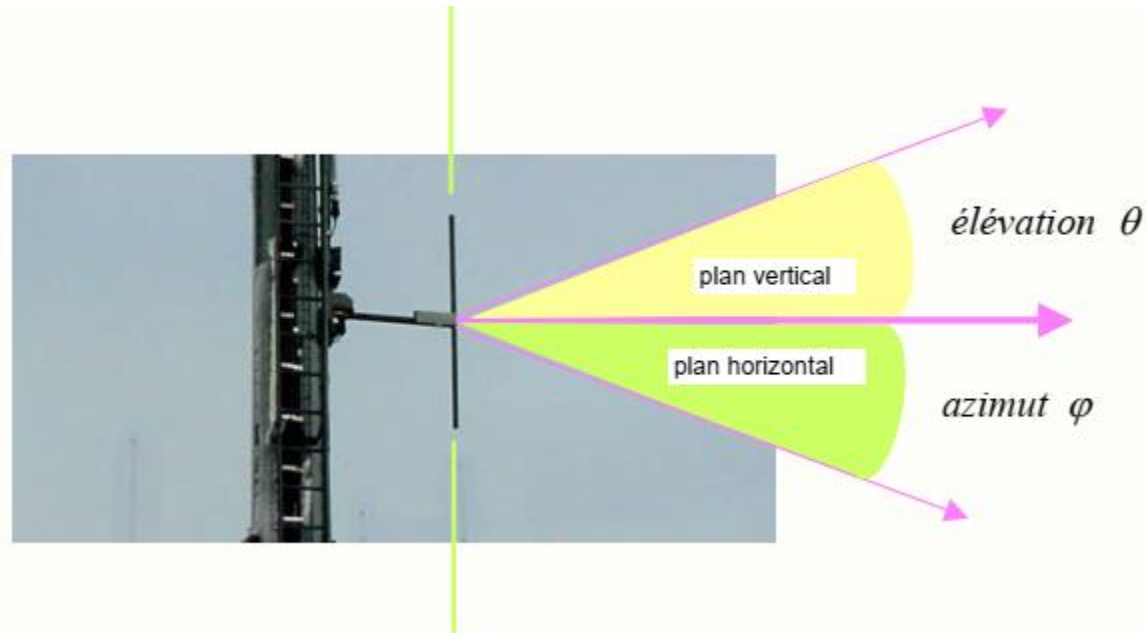


# CARACTÉRISTIQUES DES ANTENNES - Gain et Diagramme de rayonnement

## Gain et Diagramme de rayonnement

### Diagramme de rayonnement du dipôle

L'antenne dipôle est très utilisée en radiodiffusion car :  
c'est une antenne simple à réaliser et peu encombrante elle rayonne de manière omnidirectionnelle dans un plan horizontal elle rayonne peu d'énergie dans la direction de son axe son diagramme de directivité est bien adapté à la couverture d'un territoire



# CARACTÉRISTIQUES DES ANTENNES - Gain et Diagramme de rayonnement

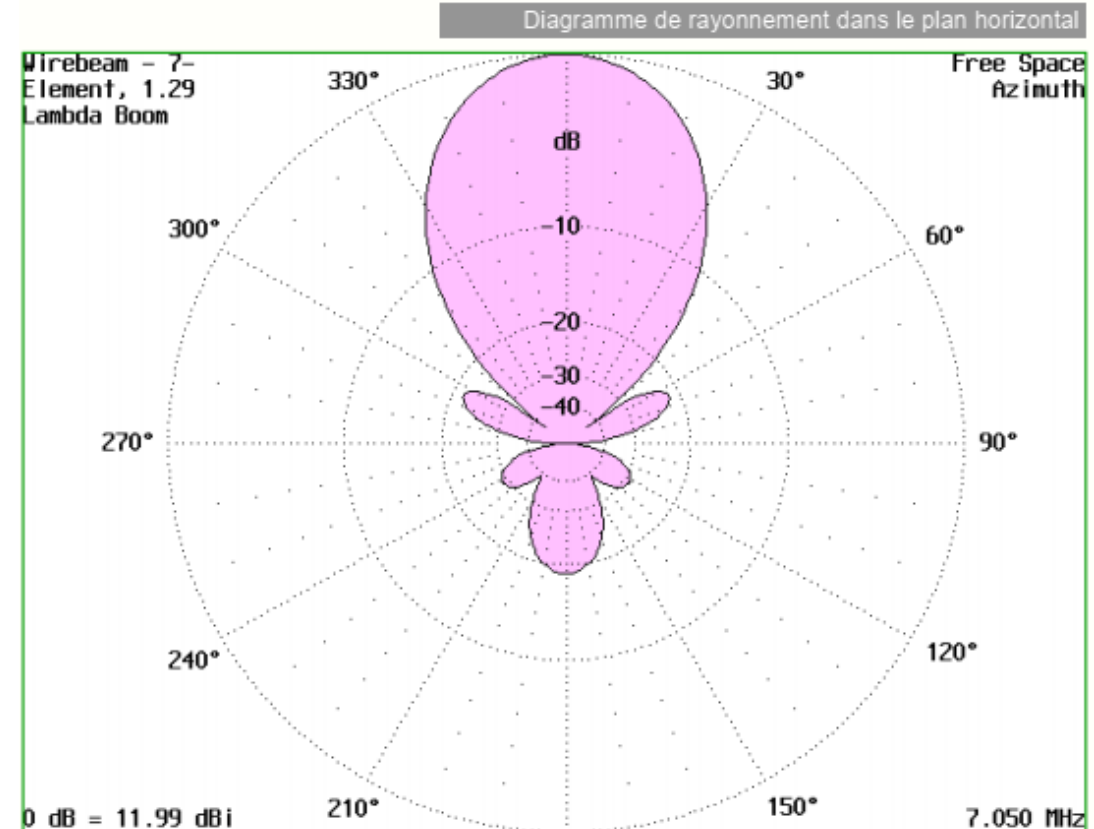
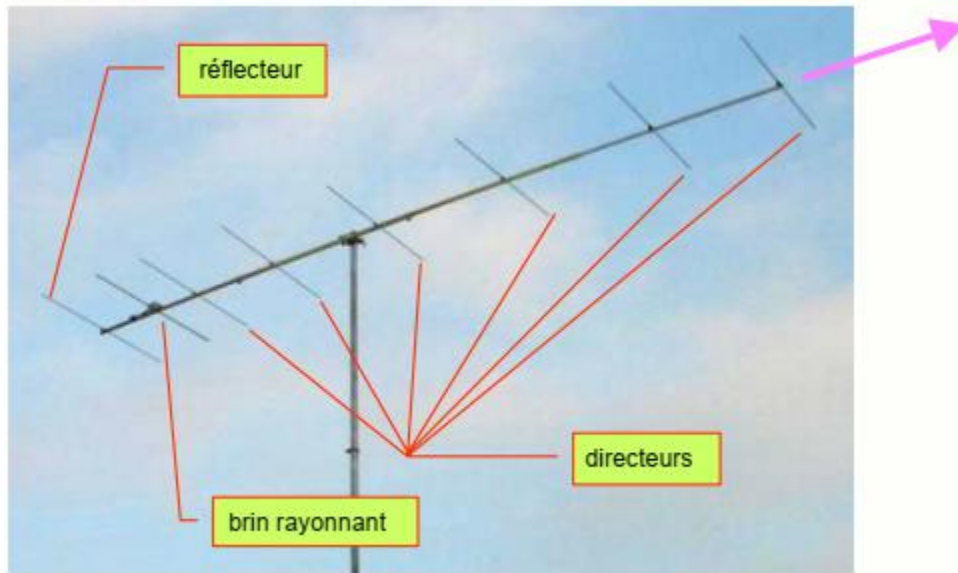
## Gain et Diagramme de rayonnement

### L'antenne Yagi

Le dipôle est souvent utilisé en association avec des brins purement passifs qui permettent de rendre le diagramme plus directif :

- un **brin réflecteur** légèrement plus long que le brin actif ou une surface réfléchissante
- plusieurs **brins directeurs** un peu plus courts
- avec un gain  $G$ , elle fournit en réception la tension :

$$S = K_1 E = \frac{\lambda}{\pi} G \cdot E$$



## Bilan de puissance d'une liaison HF

Une liaison radio est établie au moyen d'un émetteur de puissance  $P_0$  équipé d'une antenne directive de gain  $G_1$  par rapport à une antenne isotrope.

Le récepteur est équipé d'une antenne directive de gain  $G_2$ , pointée vers l'émetteur.



Si on néglige l'influence des obstacles, difficile à évaluer, on peut calculer la puissance reçue  $P_r$  à l'entrée du récepteur grâce à la formule de Friis :

$$P_r = G_1 \cdot G_2 \cdot P_0 \left[ \frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2$$

avec :

- $P_0$  et  $P_r$  en Watts
- $d$  et  $\lambda$  en mètres
- $G_1$  et  $G_2$  sans unité (amplification en puissance)

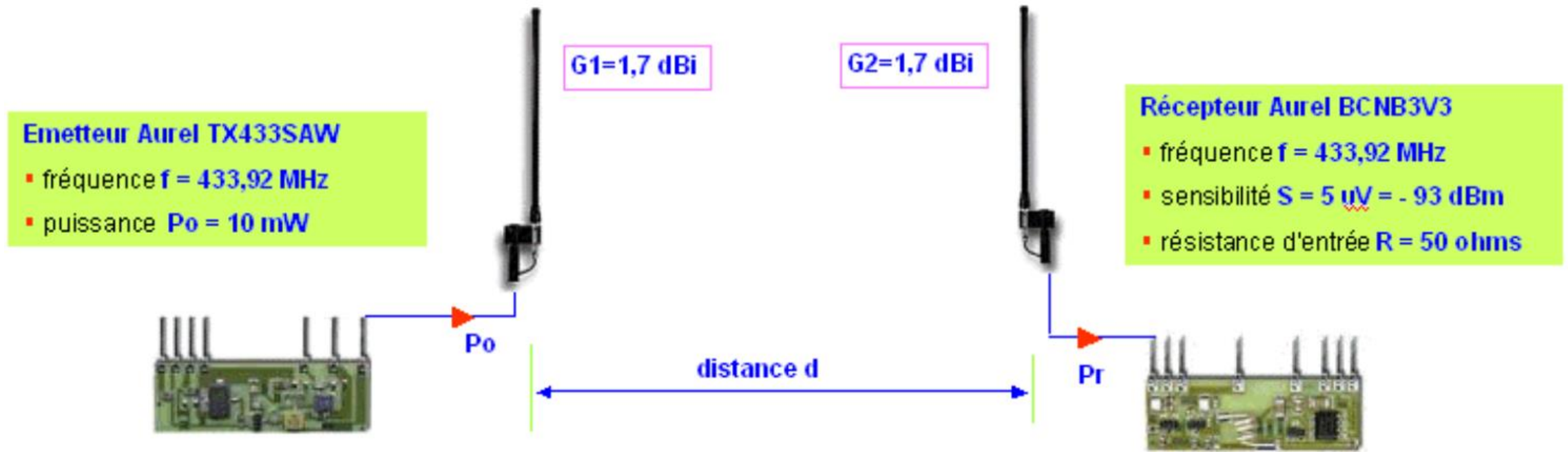
Si on exprime la puissance en dBm et les gains en dB, la formule de Friis devient , après simplification :

$$P_r = P_0 + G_1 + G_2 - 20\log(f) - 20\log(d) + 147,5$$

avec :

$P_0$  et  $P_r$  en dBm  
 $d$  en mètres  
 $f$  en Hz  
 $G_1$  et  $G_2$  en dBi

Exemple d'une liaison par modules Aurel :



*Question : une liaison sur une distance de 1 km est-elle possible ?*

## Effet Doppler

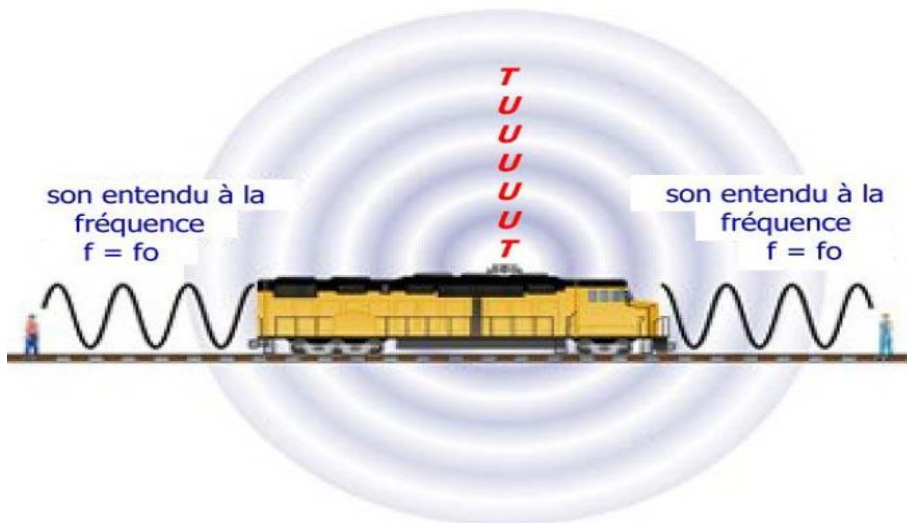
Il a été découvert indépendamment par Christian Doppler en 1842, puis six ans plus tard par Hippolyte Fizeau.

**Effet Doppler** : c'est la variation apparente de la fréquence d'une onde émise par une source en mouvement par rapport à un observateur.

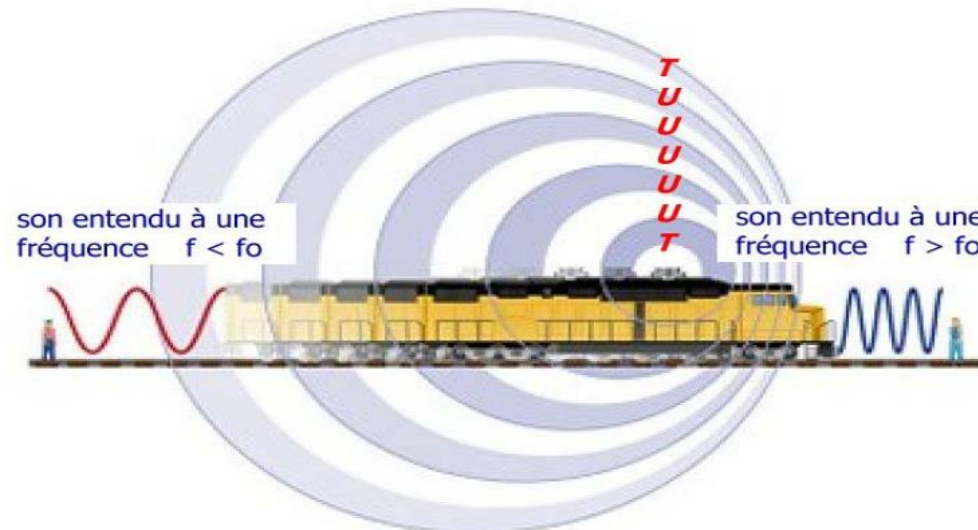
Si la source émet un signal de fréquence  $f_0$  et se déplace avec une vitesse  $v$  par rapport à l'observateur, la variation de fréquence  $\Delta f$  s'écrit :

$$\Delta f = \frac{2 \cdot v \cdot f_0}{c}$$

où  $c$  est la célérité de l'onde (  $c = 340$  m/s si c'est un son,  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s si c'est une OEM)



Source immobile par rapport à l'observateur



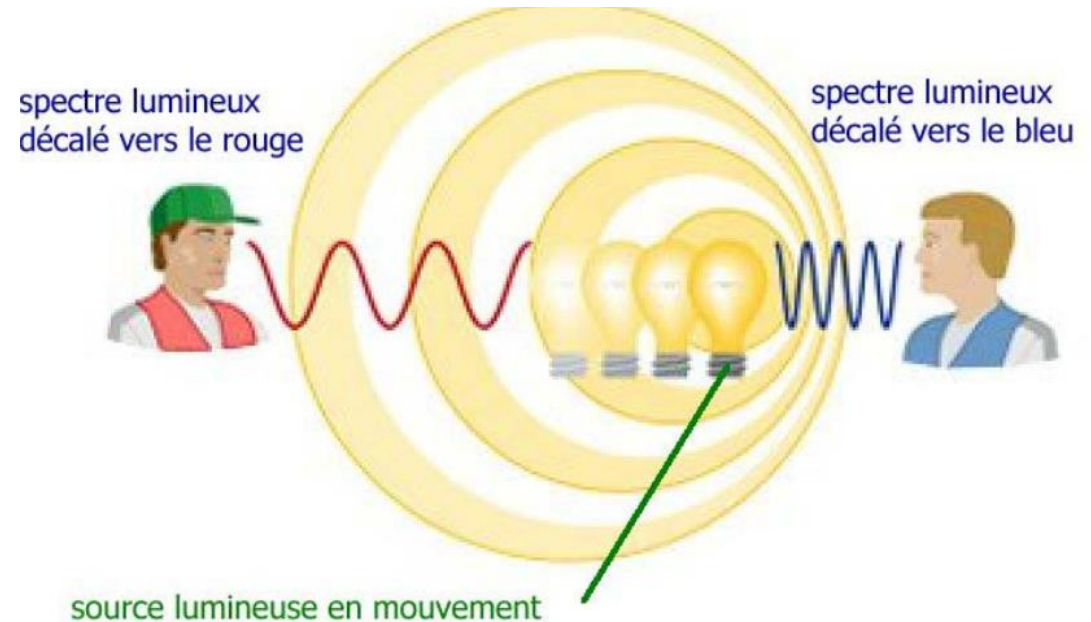
Source en mouvement par rapport à l'observateur

- 1) La locomotive des figures ci-dessus émet un « Tuuuut » assimilable à une tonalité continue à 400 Hz. Quelle est la valeur  $f_1$  de la fréquence entendue par un observateur qui voit le train arriver vers lui à la vitesse de 120 km/h ? Quelle est la valeur  $f_2$  de la fréquence entendue par un observateur qui voit le train s'éloigner ?
- 2) Un utilisateur de GSM téléphone depuis sa voiture qui roule à la vitesse de 130 km/h vers la station de base située le long de l'autoroute. Son téléphone émet dans le canal 801 soit à  $f_0 = 1863$  MHz. Quelle sera la fréquence du signal reçu par la base ? Quel est le problème que peut poser l'effet Doppler si l'utilisateur se déplace à vitesse élevée ?
- 3) Ce décalage de fréquence est aussi observable pour les OEM, et donc pour la lumière.

Une diode laser de guidage émet une lumière rouge monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0 = 0,5 \mu\text{m}$ .

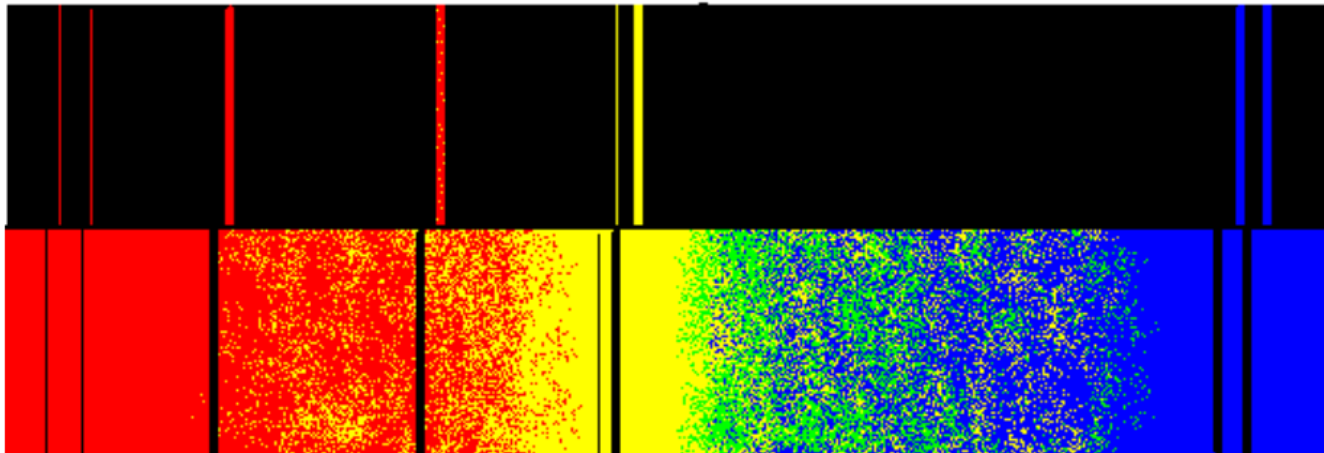
Elle est montée sur un satellite qui s'approche du satellite-cible à la vitesse de  $v = 30000$  km/h.

Calculer la longueur d'onde  $\lambda_1$  de cette lumière vue par un observateur placé sur le satellite cible. Observera-t-il une variation de couleur de la diode laser ?



4) Dans la lumière qui nous vient des étoiles, il y a certaines longueurs d'onde qui sont absentes. Elle correspondent à des raies d'absorption propres à chaque atome, à des longueurs d'onde  $\lambda_0$  bien connues.

raies de référence observées en laboratoire



raies d'absorption dans la lumière d'une étoile

A cause de l'effet Doppler, les raies manquantes sont décalées un peu vers le bleu ou vers le rouge, selon le mouvement de l'étoile.

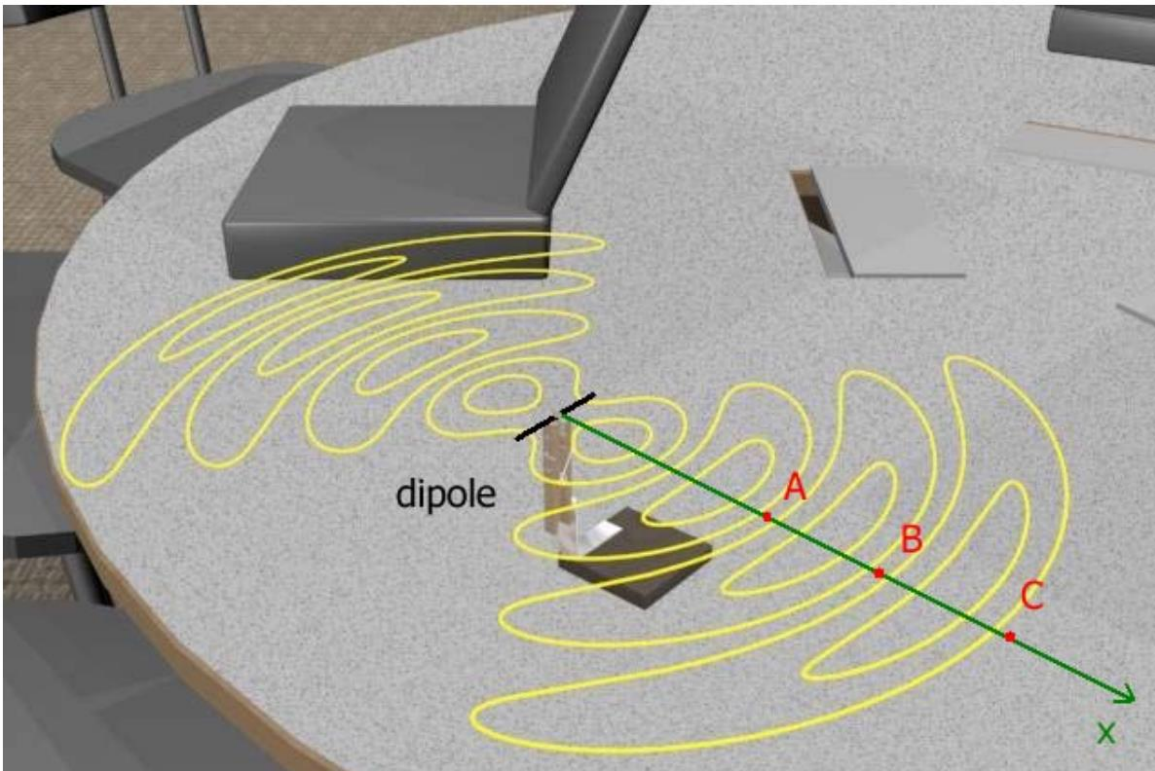
Pour toutes les étoiles des autres galaxies dont on analyse le spectre, on observe que la lumière est toujours décalée vers le rouge. Qu'en déduisez-vous sur le mouvement des étoiles par rapport à notre galaxie ?

# CARACTÉRISTIQUES DES ANTENNES

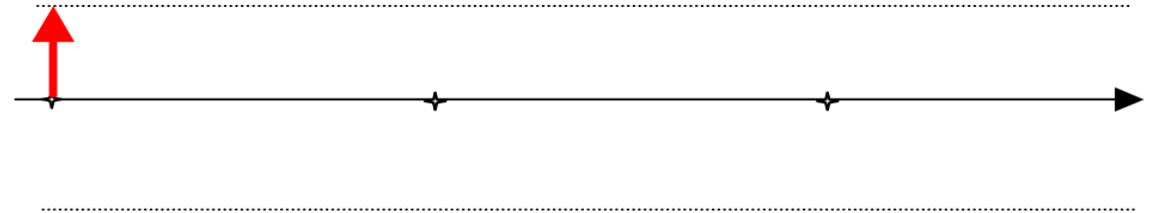
## Champ E au voisinage d'une antenne

*comprendre la structure du champ électrique lorsqu'on s'éloigne de l'antenne*

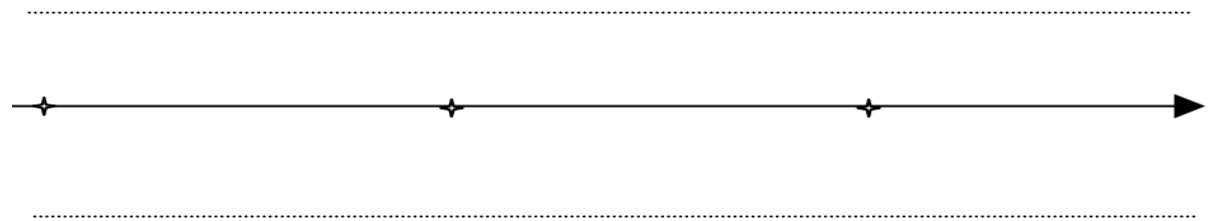
Une liaison WIFI fonctionnant à  $f = 2,4 \text{ GHz}$  utilise une antenne dipôle pour relier l'ordinateur portable à la base. La figure montre la répartition des lignes de champ, les zones où les lignes sont rapprochées (A, B et C) étant les zones où le champ E produit par l'antenne est maximal.



- 1) Quelle est la direction du vecteur champ électrique ? quelle est la polarisation de l'onde ? que vaut la distance AB ?
- 2) En admettant qu'en A le champ est maximal, esquissez la répartition des vecteurs champ électrique le long de l'axe Ox.



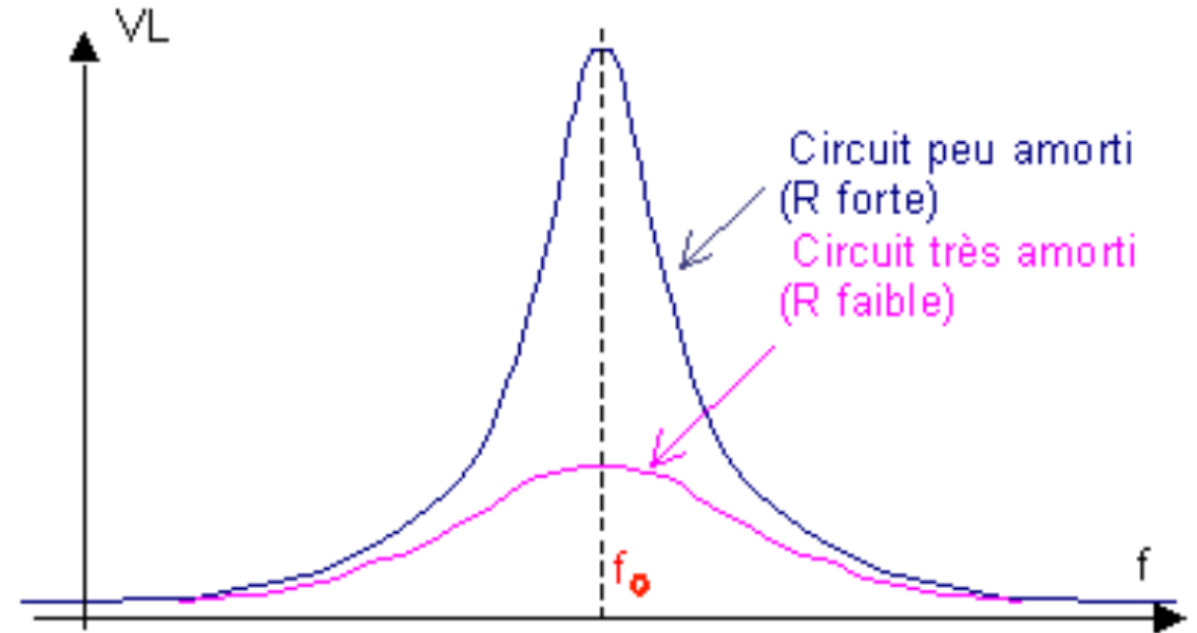
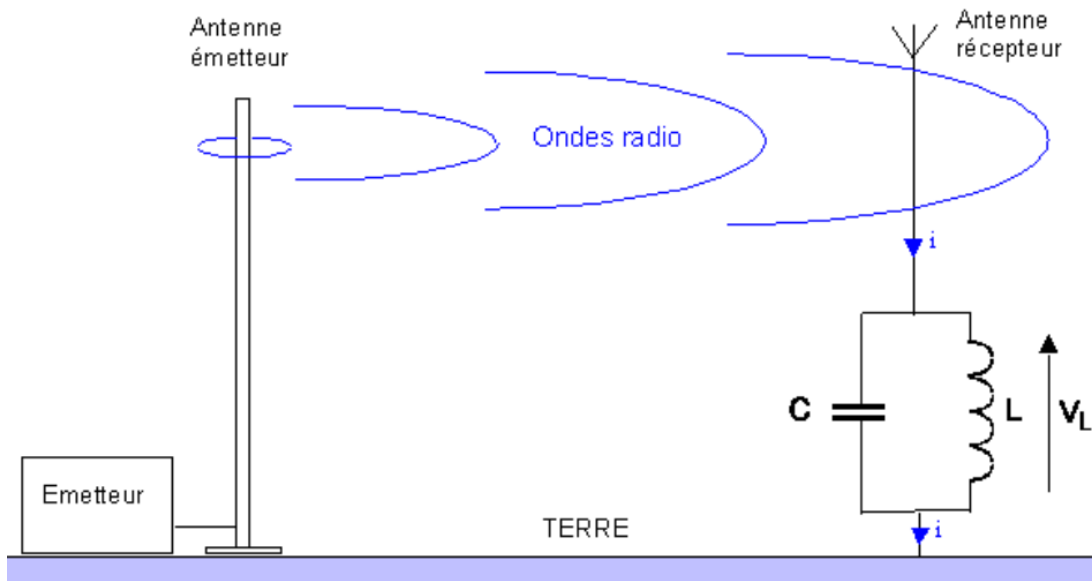
- 3) Comment a évolué cette répartition au bout d'un temps  $t = 208 \text{ ps}$  ?



## Le circuit accordé de réception

comprendre comment on peut capter et sélectionner un signal radio

Une antenne placée dans un champ électromagnétique est le siège d'une force électromotrice induite qui fait circuler un courant dans le circuit LC placé à sa base.



- 1) La station "France Inter" en Grandes Ondes émet sur 1829m. Calculer alors la fréquence du signal émis et la valeur de l'inductance  $L$  qui donnera la résonance avec un condensateur de  $C = 410 \text{ pF}$ .
- 2) En pratique, la bobine a une résistance qui peut être introduite dans le schéma du circuit LC sous forme d'une résistance en  $R$  parallèle. Quelle est sa valeur de l'impédance de ce circuit à la résonance ? Est-elle maximale ou minimale ?
- 3) Les 2 courbes ci-dessous représentent les variations de la tension  $V_L$  pour 2 valeurs différentes de la résistance  $R$ . Faire apparaître sur ces deux courbes les bandes passantes des 2 circuits accordés.

4) Pour recevoir France-Inter en GO (spectre de largeur 10 kHz), on utilise un circuit accordé avec  $C = 410 \text{ pF}$  et  $R = 25 \text{ k}\Omega$ . Calculer le coefficient de qualité  $Q_0 = R/L\omega_0$  du circuit et sa bande passante  $B_0$ . Cette bande  $B_0$  est-elle bien adaptée à l'émission ?



