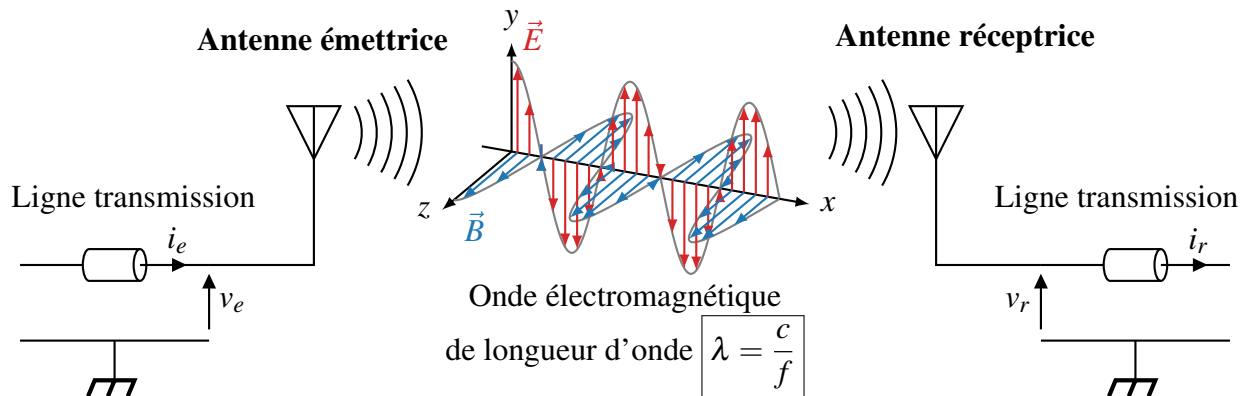


Les antennes

I - Qu'est-ce qu'une antenne ?

Fonctionnement

Une antenne est un **élément qui convertit un signal électrique en une onde électromagnétique**.



Une **antenne émettrice** est un conducteur électrique, lorsqu'il est parcouru par un courant électrique, génère dans son environnement proche un champ magnétique \vec{B} et un champ électrique \vec{E} perpendiculaires entre eux. Lorsque le courant est variable, ces deux champs forment une **onde électromagnétique qui se propage dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde**.

Une **antenne réceptrice** est sensible aux variations du champ électromagnétique environnant et fournit un courant électrique donc un signal électrique v_r image de cette variation.

Une antenne est un **dispositif réversible**. La même antenne peut émettre ou recevoir.

Exemples

**Antenne dipolaire
demi-onde**



Antenne radio FM

Antenne Yagi



Antenne directive WiFi

Antenne imprimée



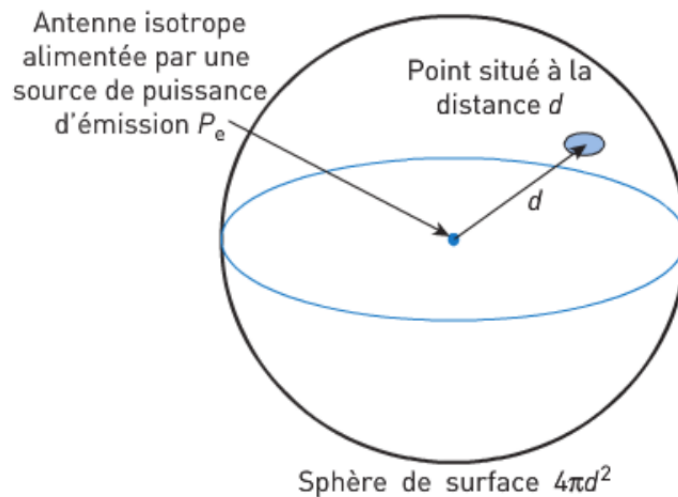
Antenne smartphone

II - Antenne isotrope

Définition

Une antenne isotrope est une **antenne « parfaite »** (fictive), représentée par un point, qui rayonne la même puissance dans toutes les directions. C'est une **référence pour les antennes réelles**.

Densité de puissance rayonnée à une distance d



La puissance d'émission de l'antenne isotrope est P_e en Watt.

En un point à **une distance d** de l'antenne isotrope, la **densité de puissance rayonnée** est :

$$p_{iso} = \frac{P_e}{4\pi d^2} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$$

Champ électrique généré à une distance d

Le champ électrique généré est fonction de l'impédance du milieu Z_0 tel que :

$$p_{iso} = \frac{E_{iso}^2}{Z_0} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$$

Pour l'air ou le vide :

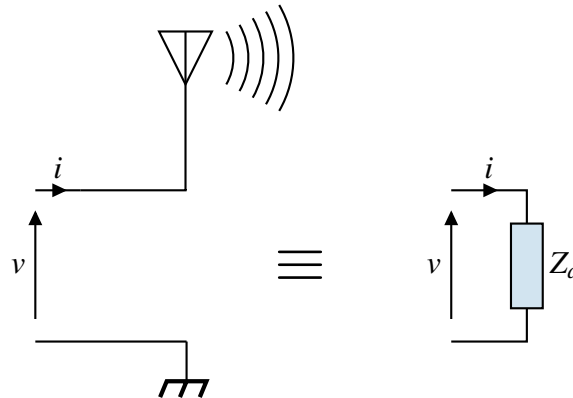
$$Z_0 = 120\pi \approx 377 \, \Omega \quad \Rightarrow \quad p_{iso} = \frac{E_{iso}^2}{120\pi} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$$

D'où l'expression suivante :

$$E_{iso} = \frac{\sqrt{30 P_e}}{d} \quad (\text{V} \cdot \text{m}^{-1})$$

III - Antenne réelle

Impédance



Une antenne présente une **impédance équivalente** qui est liée à la fréquence :

$$\underline{Z}_A = \frac{V}{I} = R_A + jX_A \quad \text{avec} \quad R_A = R_p + R_r$$

La résistance R_a combine la **résistance de pertes par effet Joule** R_p et la **résistance de rayonnement** R_r .

Une **meilleure efficacité** de l'antenne sera obtenue pour :

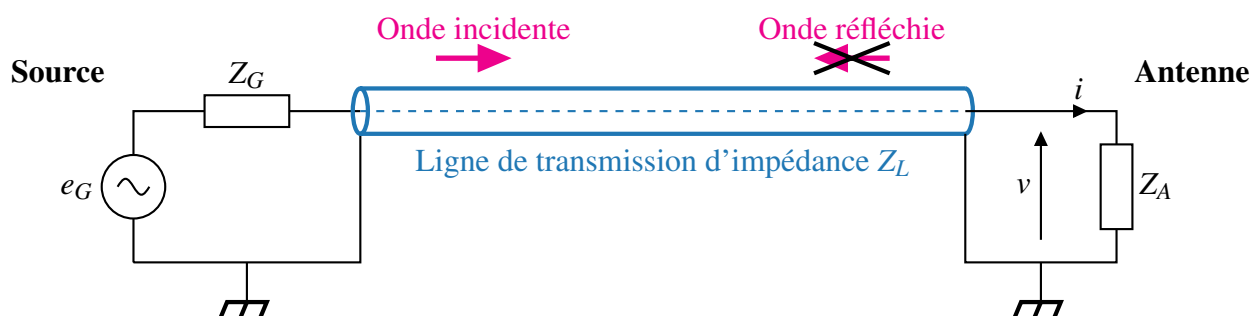
$$R_r \gg R_p$$

Pour une antenne dont la **longueur est multiple de** $\frac{\lambda}{2}$ (demi-onde), la réactance X_a est nulle. L'impédance de l'antenne est alors **purement résistive** :

$$Z_A = R_A$$

Exemple : $R_A = 73 \, \Omega$ pour une antenne dipolaire demi-onde. Cette valeur diminue avec le diamètre du conducteur de l'antenne.

Adaptation d'impédance

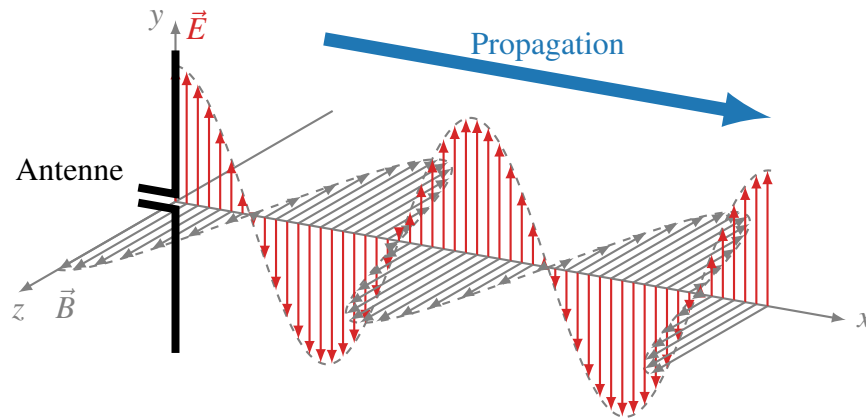


Pour une optimisation de la puissance émise, il est nécessaire d'adapter les trois impédances Z_G , Z_L et Z_A afin d'éviter des ondes réfléchies dans la ligne ! (voir cours C14 - Lignes de transmission)

Polarisation

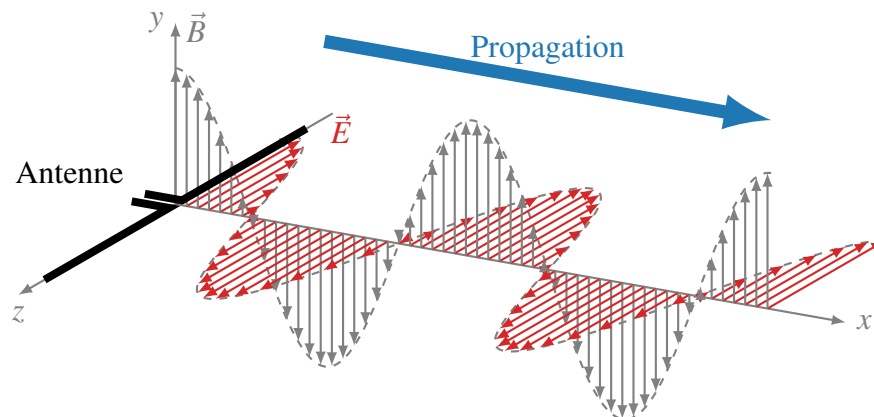
L'onde électromagnétique émise par une antenne est **polarisée** (champ électrique toujours dans le même plan). Cette polarisation est directement liée à la géométrie et la position de l'antenne.

Polarisation verticale : le champ électrique émis est dans un plan perpendiculaire à la surface de la terre.



Utilisée en basses fréquences car perpendiculaire à la terre qui est conductrice !

Polarisation horizontale : le champ électrique émis est parallèle à la surface de la terre.



Utilisée en hautes fréquences pour éviter les bruits électromagnétiques industriels polarisés verticalement !

Polarisation circulaire : le champ électrique tourne.

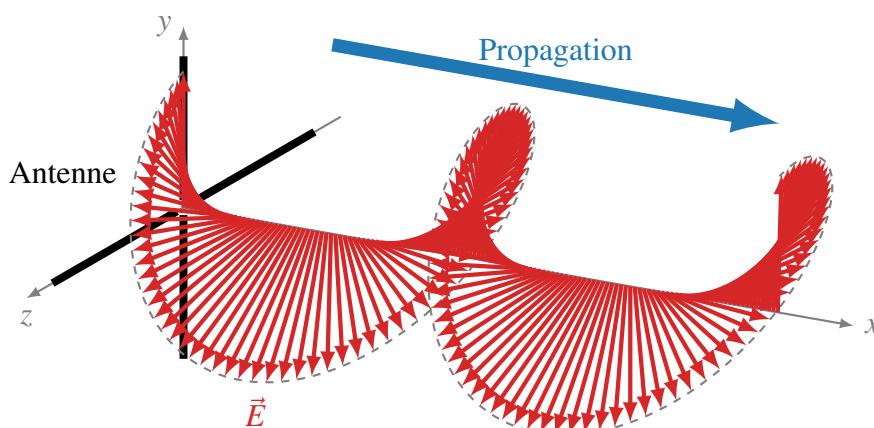
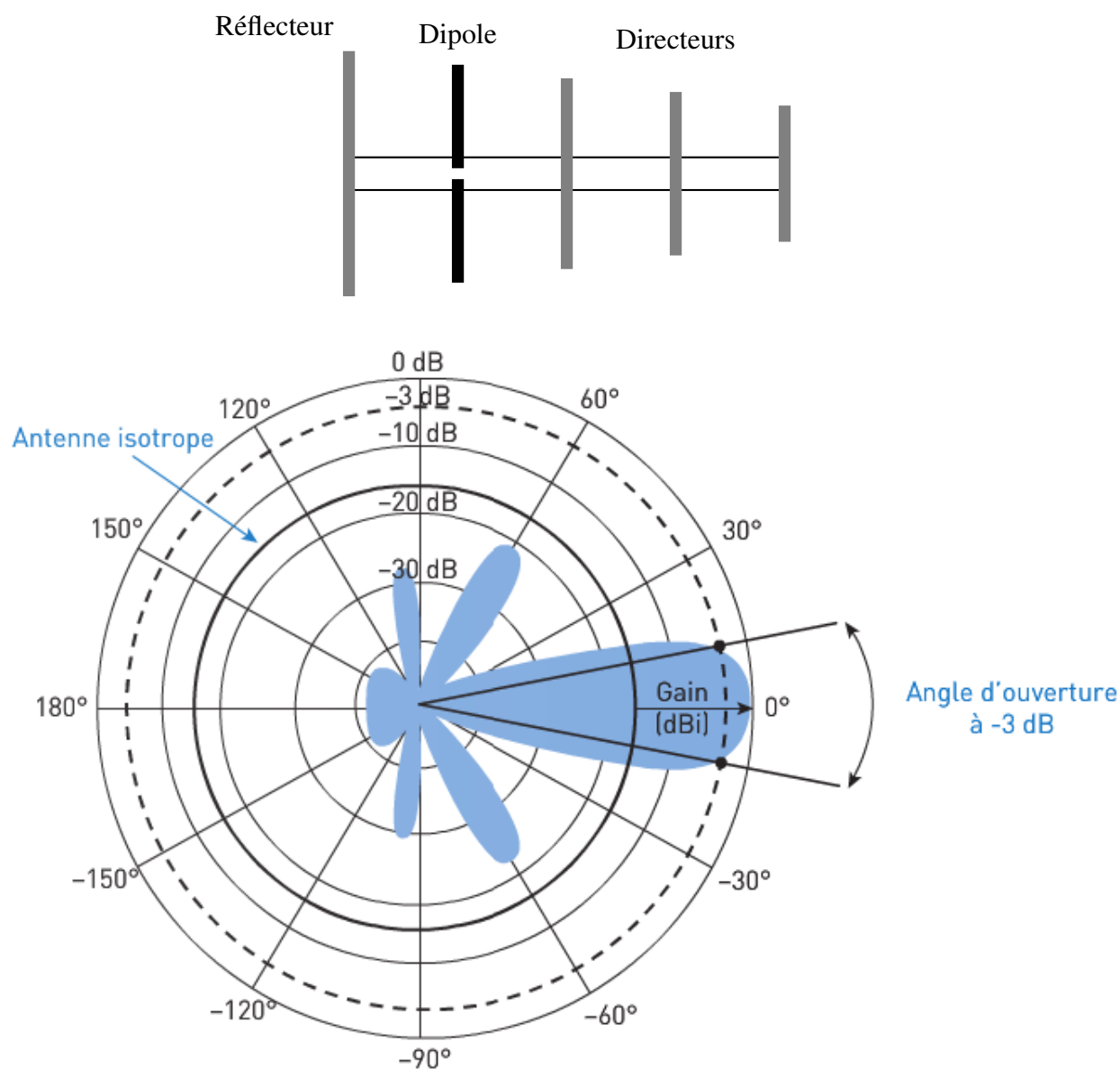


Diagramme de rayonnement

En agissant sur la géométrie d'une antenne, il est possible de **concentrer sa puissance d'émission dans une direction particulière**. Le diagramme de rayonnement représente la puissance émise en fonction de la direction repérée par un angle.



Exemple : Diagramme de rayonnement dans le plan horizontal d'une antenne Yagi.

Angle d'ouverture

La directivité d'une antenne est caractérisée par son **angle d'ouverture** à -3 dB. Il s'agit de l'angle entre les deux directions pour lesquelles la **puissance est égale la moitié de la puissance maximale**.

Plus l'angle d'ouverture est faible, plus l'antenne est directive !

Gain

Le **gain de l'antenne** G_{dBi} est déterminé **par rapport à l'antenne isotrope** (référence) tel que :

$$\boxed{G_{dBi} = 10 \log G} \text{ (dBi)} \quad \Rightarrow \quad \boxed{G = 10^{G_{dBi}/10}} \text{ (sans unité)}$$

Plus l'antenne est directive, plus son gain est élevé !

PIRE

La **puissance isotrope rayonnée équivalente** est définie par :

$$\boxed{PIRE = G_e \cdot P_e} \quad (\text{W})$$

Densité de puissance reçue

La **densité de puissance rayonnée** à l'emplacement de l'antenne réceptrice est :

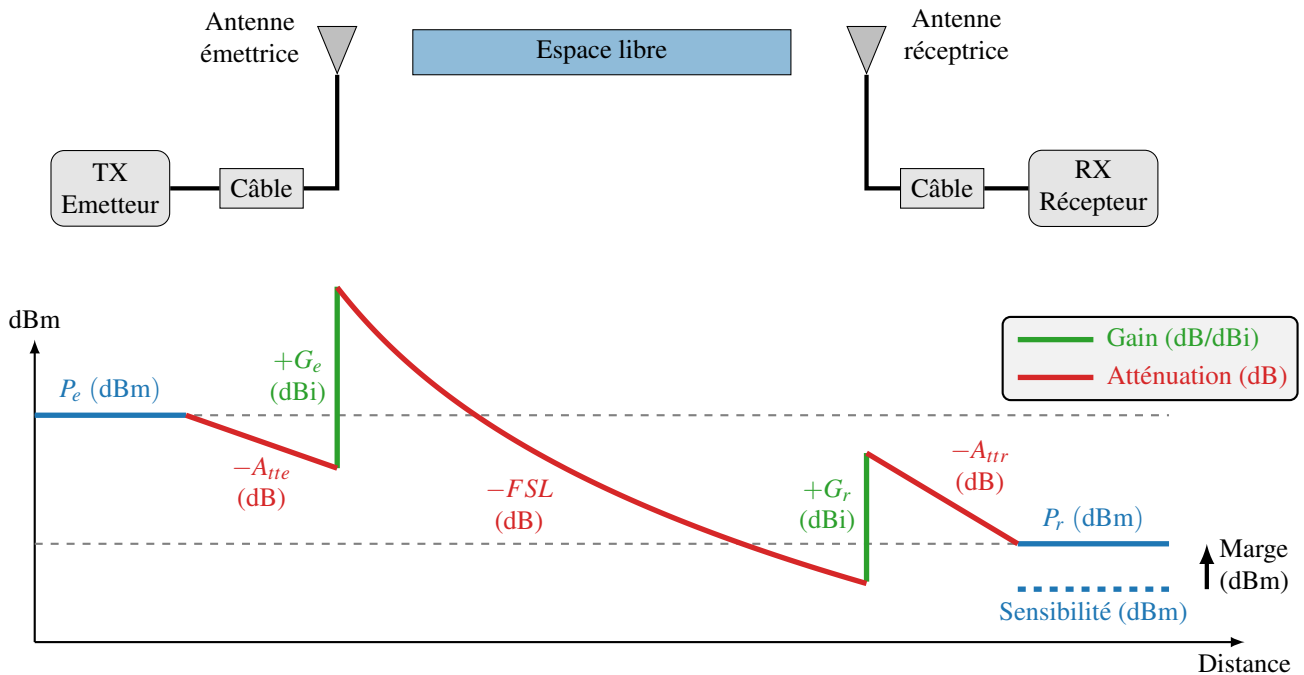
$$\boxed{p_r = \frac{PIRE}{4\pi d^2} = \frac{G_e \cdot P_e}{4\pi d^2}} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$$

Surface effective d'antenne

La **surface effective** (surface d'absorption) de l'antenne réceptrice est donnée par la relation :

$$\boxed{A_r = G_r \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi}} \quad (\text{m}^2)$$

IV - Bilan de liaison



Formule de Friis

Au final, la **puissance reçue par l'antenne réceptrice** est :

$$P_r = A_r \cdot p_r \quad \Rightarrow \quad P_r = P_e G_r G_e \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (\text{W})$$

Ou sous la forme logarithmique :

$$P_r = P_e + G_r + G_e + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right) - 20 \log(d) \quad (\text{dBm ou dBW})$$

P_r et P_e (dBm ou dBW)

G_r et G_e (dBi)

λ et d (m ou km)

Sensibilité

La sensibilité d'une antenne est la puissance minimale S qui permet la réception d'un signal telle que :

$$S = SNR + 10 \log(B) + 10 \log(kT) \quad (\text{dBm ou dBW})$$

- SNR est le rapport signal sur bruit en dBm ou dBW.
- B est la bande de fréquence du récepteur en Hz.
- $k = 1,380649 \cdot 10^{-23}$ est la constante de Boltzmann en $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$.
- T est la température en K.

Rapport signal sur bruit

Le **rapport signal sur bruit** SNR (Signal Noise Ratio) compare la puissance du signal à celle du bruit.

$$SNR = 10 \log\left(\frac{S}{R}\right) \text{ (dB)}$$

Exemples :

- 0,1 à 0,9 dB pour un LBN de parabole
- Xbee ?