(Suite…)

2. Rayonnement du doublet électrique (Doublet de Hertz)

Un dipôle élémentaire ou dipôle de Hertz ou doublet électrique est un conducteur de longueur dl très inférieur à la longueur d'onde λ (dl< λ/10) et qui est parcouru par un courant électrique constant.

Nous pouvons considérer que le doublet représente un élément d'antenne.

Cette antenne élémentaire est généralement considérée pour calculer le rayonnement d'une antenne filaire de longueur quelconque considérée comme la succession de plusieurs éléments dont chacun constitue un doublet de Hertz.

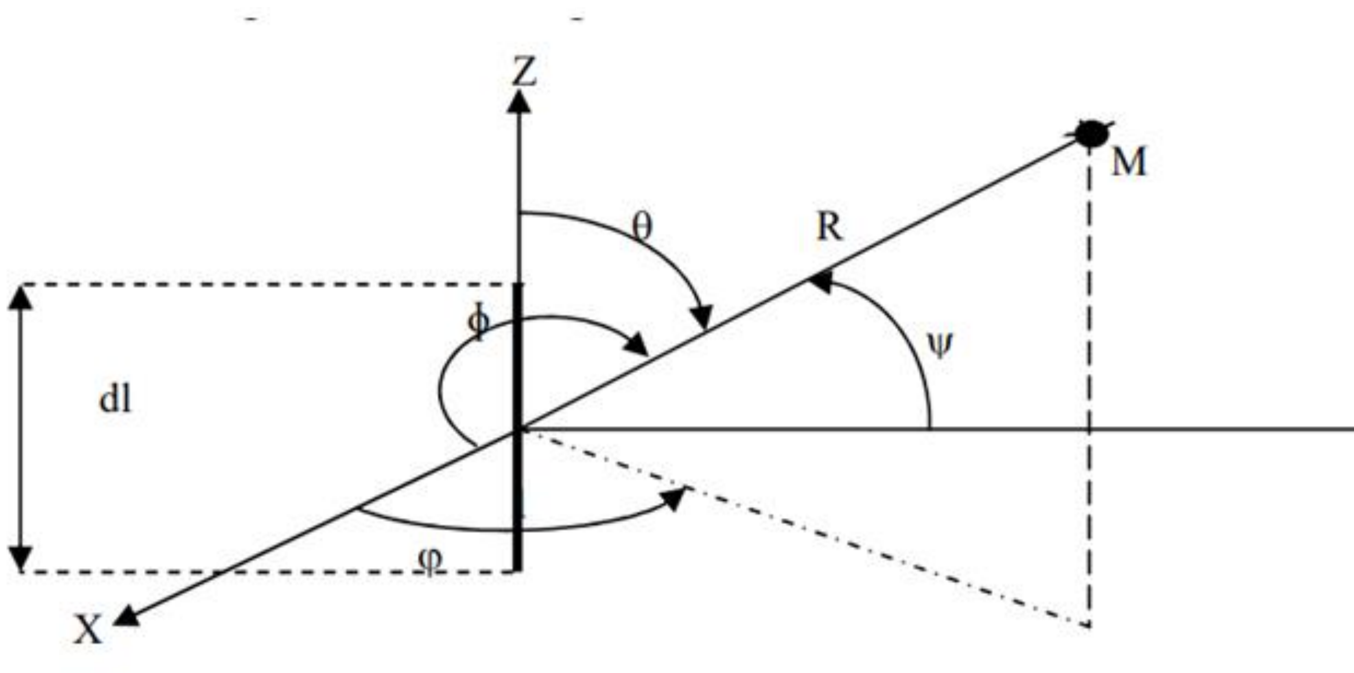


Figure. 10: Rayonnement d'un doublet électrique

Dans ce paragraphe, nous allons calculer le champ rayonné au point **M** par le doublet électrique. Pour cela, on fait appel aux équations de Maxwell.

2.1. Potentiel scalaire et potentiel vecteur

2.1.1. Equations de Maxwell pour le calcul du champ électromagnétique

Nous considérons l'équation de Maxwell-Gauss magnétique :

Div.B = 0 ⟹B = Rot$\vec{A}$

Avec : B : induction magnétique

Où $\vec{A}$ représente un **potentiel vecteur** ou potentiel retardé Alors :

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu} = \frac{1}{\mu}\mathrm{Rot}\,\vec{A} \qquad \text{Eq.19}$$

En utilisant l'équation de Maxwell-Faraday :

$$Rot\vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt} = -Rot\left(\frac{d\vec{A}}{dt}\right) \Rightarrow Rot\left(\vec{E} + \frac{d\vec{A}}{dt}\right) = \mathbf{0} \Rightarrow \vec{E} + \frac{d\vec{A}}{dt} = -grad.v$$

Où **v** représente **le potentiel scalaire** ou potentiel de Lorentz Alors :

$$\vec{E} = -grad.v - \frac{d\vec{A}}{dt} \qquad \text{Eq.20}$$

2.1.2. Calcul de potentiel scalaire et potentiel vecteur

Une charge ponctuelle Q_l crée un potentiel scalaire à une distance R. Dans un volume élémentaire, ce potentiel est donné par :

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \int_L Q_l \frac{e^{-j\beta r}}{r}.dl \qquad \text{potentiel scalaire} \qquad \text{Eq.21}$$

Où Vp : représente la vitesse de propagation ou vitesse de phase (m/s)

Un courant I circulant dans un conducteur crée un potentiel vecteur à une distance R, Dans un volume élémentaire, ce potentiel est donné par :

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \cdot \int_L \vec{I_l} \frac{e^{-j\beta r}}{r}.dl \qquad \text{potentiel vecteur} \qquad \text{Eq.22}$$

2.2. Calcul du champ E et H dans le cas du doublet électrique

Le courant parcourant le conducteur est sinusoïdal, de haute fréquence et s'exprime comme :

$\vec{I}=I_0 e^{j\omega t}$

En remplaçant les équations (21) et (22) dans les équations (19) et (20), on aura les expressions de E et H.

En champ lointain: cela suppose que $1/R^2$ tend vers zéro, alors :

Le champ électromagnétique rayonné par le doublet diminue avec la distance selon une loi en $1/r^2$.

Champ électrique rayonné par un doublet

$$E_\theta(R,\theta,\varphi)= \frac{J.Z_0.\vec{I}.dl.\sin\theta}{2\lambda R} e^{-j\beta R} \qquad \text{Eq.23}$$

Champ magnétique rayonné par un doublet

$$H_\varphi(R,\theta,\varphi)= \frac{J.\vec{I}.dl.\sin\theta}{2\lambda R} e^{-j\beta R} \qquad \text{Eq.24}$$

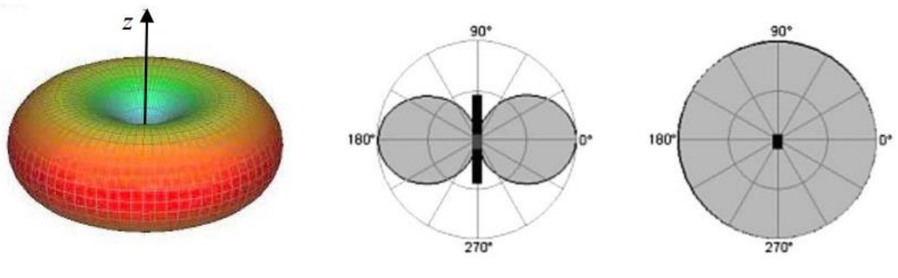
Avec $\beta = 2\pi/\lambda$ est le vecteur d'onde (le nombre d'onde), et $Z_0=120\pi$.

2.3. Surface caractéristique de rayonnement

La surface caractéristique de rayonnement se détermine à partir de la fonction caractéristique :

$$r(r,\theta,\varphi) = \sin^2\theta \qquad \text{Eq.25}$$

La représentation graphique de la fonction caractéristique permet d'obtenir le diagramme de rayonnement.



a) Dans un espace de 3 dimensions b) Plan vertical (plan θ) c) Plan horizontal (plan φ)

Figure.11 : Diagramme de rayonnement d'une antenne doublet de Hertz.

2.4. Puissance de rayonnement du doublet

Nous avons déjà donné l'expression de la puissance rayonnée par unité de surface qui en faite celle donnée par le vecteur Poynting :

$$P_{Poynting}(\theta,\varphi) = \left|\frac{1}{2}\vec{E}\Lambda\vec{H}^*\right| = \frac{1}{2}\left|\vec{E}\right|.\left|\vec{H}\right| = \frac{1}{2}\frac{E^2(\theta,\varphi)}{Z_0}$$

Eq.26

Z_o : représente l'impédance du vide (120π Ω)

Dans le cas du doublet électrique E(θ, φ)= E(θ)

En champ lointain, l'antenne doublet électrique rayonne une puissance élémentaire qui traverse un petit élément de surface tel que:

$$dP=\frac{E^2}{2Z_0}$$

La puissance totale rayonnée (dans tout l'espace) est alors obtenue par l'intégration sur toute la sphère

$$P_R=\int_s dP$$

$$P_R = \frac{1}{2}\int_{-\pi}^{+\pi}\frac{E^2(\theta)}{Z_0}dS \quad \text{avec}\, dS = 2.\pi.R^2.\sin(\theta)d\theta$$

$$P_R = 80.\pi^2.\left(\frac{dl}{\lambda}\right)^2 I_{eff}^2$$

Eq.27

2.5. Résistance de rayonnement du doublet

A partir de l'expression (28), en déduit l'expression de la résistance de rayonnement :

$$R_R = 80.\pi^2.\left(\frac{dl}{\lambda}\right)^2$$

La résistance de rayonnement représente les pertes de l'information contenue dans le courant électrique qui circule dans le doublet électrique. C'est ce phénomène qui est responsable sur le rayonnement des antennes.

2.6. La directivité

La directivité du doublet électrique est:

D $(\theta)=\frac{3}{2}\sin^2(\theta)$

Et sa valeur maximal $D_{max}=1.5$