

Diagramme de rayonnement

Ahmed Ammar (ahmed.ammar@fst.utm.tn)

Institut Préparatoire aux Études Scientifiques et Techniques, Université de Carthage.

Feb 24, 2020

1 Diagramme de rayonnement

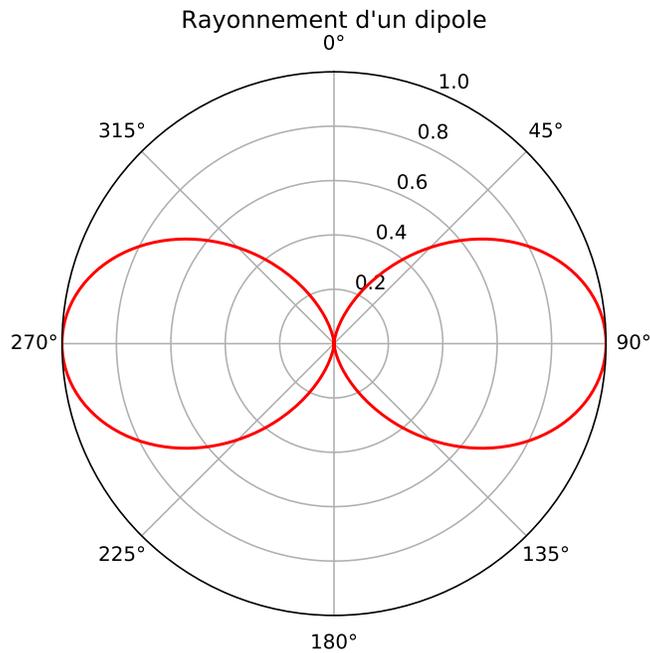
La puissance surfacique rayonnée dépend localement de l'angle θ . Elle est maximale dans le plan équatorial et s'annule dans l'axe du dipôle. Pour représenter graphiquement cette dépendance angulaire, on trace la courbe suivante en coordonnées polaires [1]:

$$\rho(\theta) = \sin^2\theta \quad (1)$$

1.1 Simulation Python

```
## NOM DU PROGRAMME: DipRadiation.py
## IMPORTATION
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

theta = np.linspace(0,2*np.pi,500)
rho = np.sin(theta)**2
plt.figure()
ax = plt.subplot(111, polar=True)
ax.plot(theta, rho,color='r')
ax.set_theta_zero_location('N')
ax.set_theta_direction(-1)
ax.set_rmax(1.0)
ax.set_title("Rayonnement d'un dipole", va='bottom')
theta = np.linspace(0.01,2*np.pi,500)
plt.tight_layout()
plt.savefig("dipole1.png"); plt.savefig("dipole1.pdf")
plt.show()
```



Ce tracé est un diagramme de rayonnement (ou indicatrice de rayonnement). Il permet de voir comment évolue la puissance avec l'angle. On voit par exemple que la puissance est égale à la moitié de sa valeur maximale pour un angle de 45 degrés.

Pour tracer le diagramme de rayonnement sur un graphe 3D, nous devons passer par une fonction de conversion de coordonnées sphériques/cartésiennes; `sph2cart(azimuth,elevation,r)`:

```
## NOM DU PROGRAMME: DipRadiation3D.py
## IMPORTATION
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import mpl_toolkits.mplot3d.axes3d as axes3d
import matplotlib.colors as mcolors

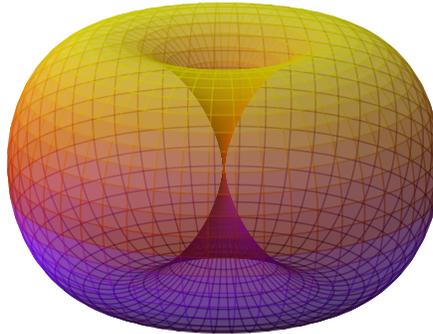
def sph2cart(azimuth,elevation,r):
    """
    Convertisseur de Coordonnée Sphérique/Cartésienne
    """
    x = r * np.sin(elevation) * np.cos(azimuth)
    y = r * np.sin(elevation) * np.sin(azimuth)
    z = r * np.cos(elevation)
    return x, y, z
theta = np.linspace(0.001,np.pi,400)
phi = np.linspace(0.001,2*np.pi,400)
THETA, PHI = np.meshgrid(theta,phi)
RHO = np.sin(THETA)**2
X, Y, Z = sph2cart(PHI,THETA,RHO)
```

```

fig = plt.figure(figsize=(8,5))
cmap = plt.get_cmap('gnuplot')
ax2 = plt.subplot(111, projection='3d')
ax2._axis3don = False # hide x, y, z axis
norm = mcolors.Normalize(vmin=Z.min(), vmax=Z.max())
ax2.plot_surface(X, Y, Z, rstride=8, cstride=8,
                 facecolors=cmap(norm(Z)), antialiased=True, alpha=0.5)
fig.suptitle("Rayonnement d'un dipole (3D)")
plt.tight_layout()
plt.savefig("dipole1_3D.png"); plt.savefig("dipole1_3D.pdf")
plt.show()

```

Rayonnement d'un dipole (3D)



1.2 Antenne dipolaire

Pour une antenne dipolaire de longueur L , le calcul est très complexe car on ne connaît pas a priori l'expression de l'intensité $I(z,t)$ du courant dans l'antenne. Les calculs conduisent à l'expression suivante :

$$I(z,t) = I_0 \sin\left(\frac{L}{2} - z\right) e^{-i\omega t} \quad (2)$$

On par ailleurs $I(-z,t)=I(z,t)$. Le courant s'annule aux extrémités et varie sinusoidalement avec une période λ . Connaissant le courant, on peut calculer le champ électromagnétique en sommant les contributions des segments élémentaires, qui sont des dipôles oscillants.

Pour une antenne de longueur petite devant la longueur d'onde, le courant décroît linéairement entre sa valeur I_0 au centre de l'antenne et une valeur nulle

à l'extrémité. Dans ce cas, on peut utiliser les résultats du dipôle oscillant en remplaçant I_0 par $I_0/2$.

Il est intéressant d'augmenter la longueur des antennes car la puissance émise est proportionnelle au carré de la longueur. Pour des fréquences supérieures à 100 MHz , on utilise des antennes dont la longueur n'est pas petite devant la longueur d'onde. Par exemple, une antenne demi-onde a une longueur égale à $\lambda/2$. Dans le cas général, le facteur angulaire du champ électrique est la fonction suivante [1]:

$$f(\theta) = \frac{\cos(\frac{kL}{2}\cos\theta) - \cos(\frac{kL}{2})}{\sin\theta} \quad (3)$$

Le carré de cette fonction permet de tracer le diagramme de rayonnement en fonction du rapport

$$\frac{kL}{2} = \frac{\pi L}{\lambda} \quad (4)$$

1.3 Simulation Python

```

## NOM DU PROGRAMME: DipRadiationGeneral.py
## IMPORTATION
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import mpl_toolkits.mplot3d.axes3d as axes3d

def rho(theta, rapport = 0.5):
    u = rapport* np.pi
    F = (np.cos(u*np.cos(theta)) - np.cos(u))/(np.sin(theta))
    G = F * F
    return G/G.max()

plt.figure()
ax = plt.subplot(111, polar=True)
plt.title("Rayonnement d'une antenne dipolaire de longueur L")
ax.set_theta_zero_location('N')
ax.set_theta_direction(-1)
ax.set_rmax(1.0)
theta = np.linspace(0.01,2*np.pi,500)

for rapport in [0.5,1.0,1.5, 2]:
    ax.plot(theta,rho(theta, rapport), lw = 2,
            label=r"$L/\lambda=%.1f$" % rapport, alpha=0.75)
plt.legend(loc='lower right')
plt.tight_layout()
plt.savefig("dipole.png"); plt.savefig("dipole.pdf")
plt.show()

## Dipôle 3D
Theta = np.linspace(0.001,np.pi,400)
Phi = np.linspace(0.001,2*np.pi,400)
THETA, PHI = np.meshgrid(Theta,Phi)
#
def sph2cart(azimuth,elevation,r):
    """
    Convertisseur de Coordonnée Sphérique/Cartésienne
    """
    x = r * np.sin(elevation) * np.cos(azimuth)

```

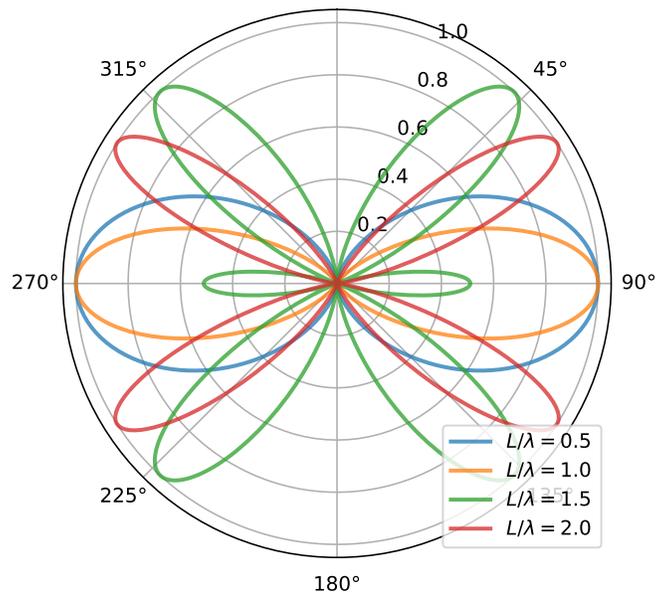
```

y = r * np.sin(elevation) * np.sin(azimuth)
z = r * np.cos(elevation)
return x, y, z

import matplotlib.colors as mcolors
fig = plt.figure(figsize=(8,5))
cmap = plt.get_cmap('gnuplot')
rapport = 1.4
X, Y, Z = sph2cart(PHI, THETA, rho(THETA, rapport))
#ax1 = plt.subplot(121, polar=True)
#ax1.plot(theta, rho(theta, rapport), lw = 2)
#ax1.set_theta_zero_location('N')
#ax1.set_theta_direction(-1)
ax2 = plt.subplot(111, projection='3d')
ax2._axis3don = False # hide x, y, z axis
norm = mcolors.Normalize(vmin=Z.min(), vmax=Z.max())
ax2.plot_surface(X, Y, Z, rstride=8, cstride=8,
                 facecolors=cmap(norm(Z)), antialiased=True, alpha=0.5)
fig.suptitle("Diagramme de rayonnement: "+r"$L/\lambda=%.1f$"%rapport)
plt.tight_layout()
plt.savefig("dipole3D_w14.png"); plt.savefig("dipole3D_w14.pdf")

```

Rayonnement d'une antenne dipolaire de longueur L



On voit que la directivité de l'émission augmente avec la longueur de l'antenne. Pour $L > \lambda$, il apparaît des lobes à 45 degrés, qui deviennent prépondérants lorsque la longueur augmente.

Diagramme de rayonnement: $L/\lambda = 0.5$

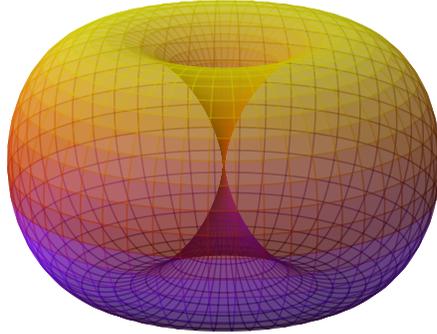


Diagramme de rayonnement: $L/\lambda = 1.4$

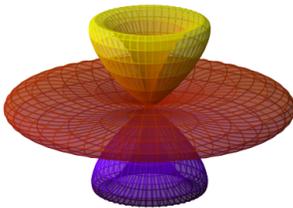


Diagramme de rayonnement: $L/\lambda = 1.5$

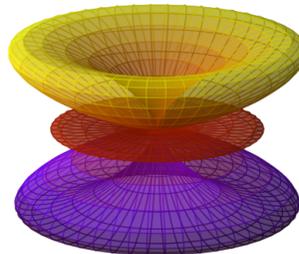


Diagramme de rayonnement: $L/\lambda = 2.0$

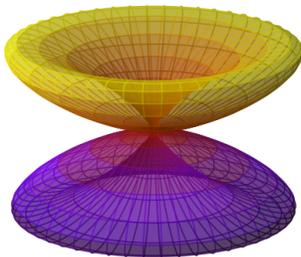
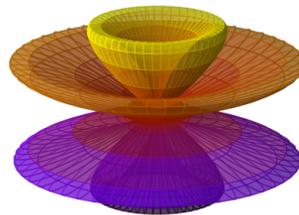


Diagramme de rayonnement: $L/\lambda = 2.4$



References

- [1] José-Philippe Pérez, Robert Fleckinger, and Robert Carles. *Electromagnétisme: Fondements Et Applications: Avec 300 Exercices Et Problèmes Résolus*. Masson, 1997.