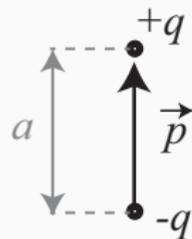




Définition :

On appelle dipôle de Hertz un dipôle électrique oscillant, caractérisé par un moment dipolaire électrique dépendant sinusoidalement du temps :

$$\vec{p}(t) = \vec{p}_0 \cos \omega t$$



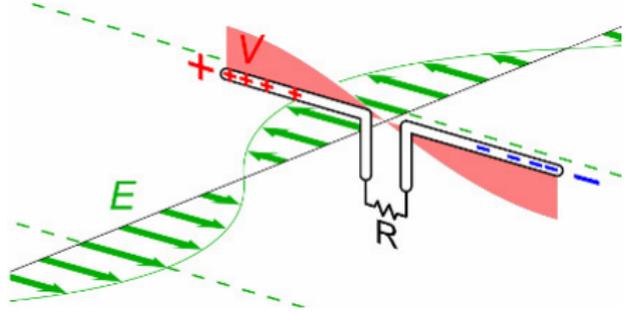


Figure – Antenne dipolaire () et champ électrique rayonné.



Définition :

L'approximation dipolaire consiste à supposer que la distance d'observation est grande devant la taille du dipôle :

$$r \gg a$$



Définition :

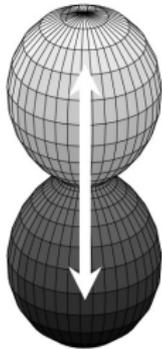
L'approximation non relativiste consiste à considérer la vitesse de la charge du dipôle oscillant comme négligeable devant c . La vitesse étant donnée par ^a : $v \sim a\omega$, on obtient dans le vide :

$$a \ll \lambda.$$

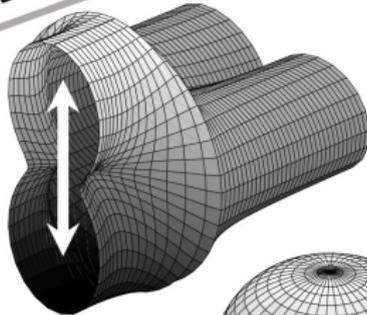
L'approximation non relativiste permet de conclure qu'il a fallu un temps r/c pour que la perturbation des charges parvienne en M .

a. Si le dipôle est associé à deux charges séparées de la distance $d(t) = a \cos(\omega t)$, on déduit la vitesse relative $v = \dot{d} = -a\omega \sin(\omega t)$ avec $\omega = 2\pi c/\lambda$ dans le vide.

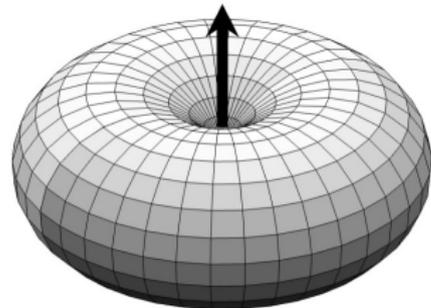
Distance au dipôle →



$r=0,1\lambda$ (champ
proche non radiatif)



$r=0,4\lambda$ (champ proche
radiatif – zone de Fresnel)



$r=\lambda$ (champ lointain -
zone de Fraunhofer)

Figure – Intensité du champ électrique dipolaire en fonction de la distance au dipôle (au centre), représentée à différentes distances : $r = 0,1\lambda$, $r = 0,4\lambda$ et $r = \lambda$. L'orientation du dipôle oscillant est représentée par une double flèche.

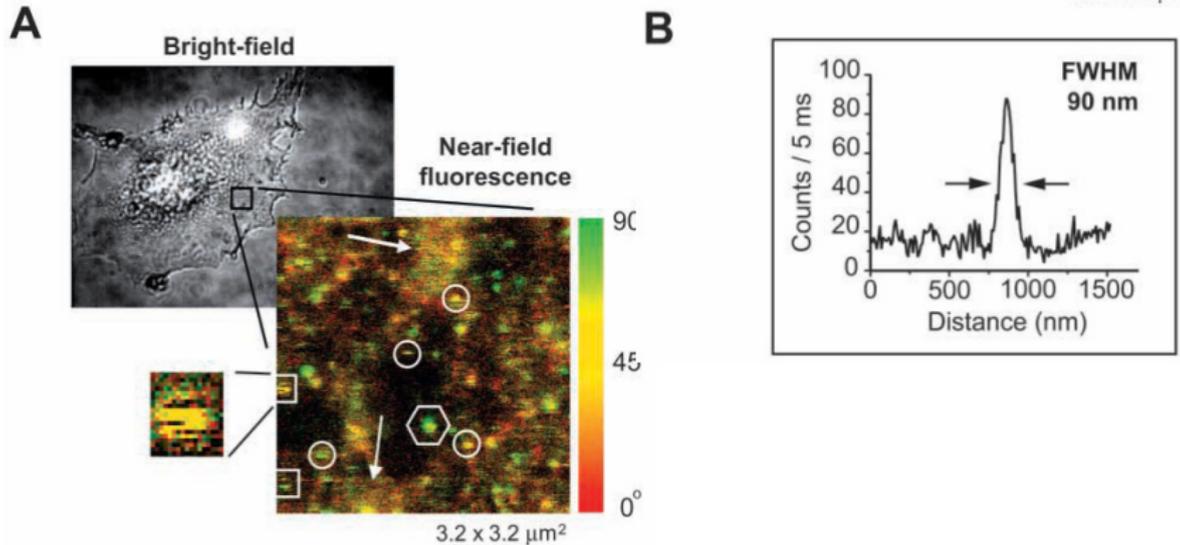


Figure – Image en champ proche optique de fibroblastes (cellules qui produisent les fibres collagènes de la peau) révélant des informations très nettement sub-longueur d'onde ($\lambda \sim 500$ nm). D'après de Lange *et al*, J. of Cell Science **114**, 4153 (2001) .



Définition :

I La zone de rayonnement dipolaire est définie par $r \gg \lambda$.

 **Exemple 1** Pour un dipôle oscillant $\vec{p}(t) = p_0 \cos \omega t \vec{e}_z$, placé au centre d'un repère sphérique, le champ électromagnétique rayonné en champ lointain ($r \gg \omega/c$) s'écrit :

$$\vec{E}(r, \theta, t) = -\frac{\mu_0 \omega^2}{4\pi r} p_0 \sin \theta \cos \left[\omega \left(t - \frac{r}{c} \right) \right] \vec{e}_\theta$$

$$\vec{B}(r, \theta, t) = -\frac{\mu_0 \omega^2}{4\pi r c} p_0 \sin \theta \cos \left[\omega \left(t - \frac{r}{c} \right) \right] \vec{e}_\varphi$$

- 1 - Montrer que l' expression des champs sont conformes aux invariances et plans de symétrie du dipôle.
- 2 - Justifier que localement le champ électromagnétique présente une structure d'onde plane progressive, se propageant radialement.
- 3 - Préciser la polarisation du rayonnement dipolaire. Effectuer un schéma du champ et du dipôle dans un repère sphérique.



Définition :

Un **diagramme de rayonnement** ou d'émission est la représentation graphique de la distribution angulaire d'une grandeur caractérisant le rayonnement.

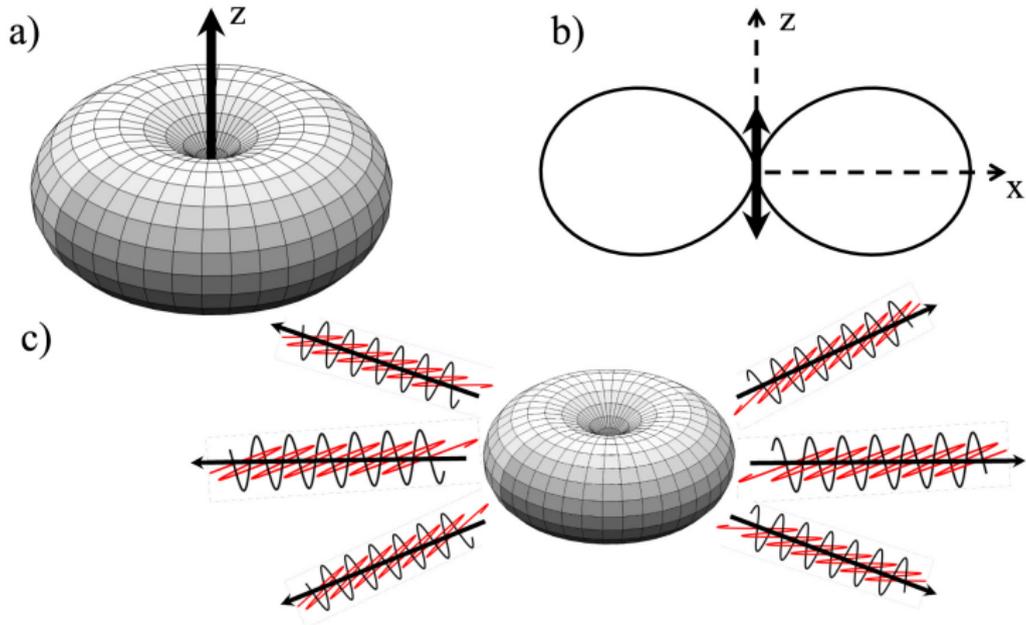


Figure – a) Diagramme de rayonnement 3D et b) représentation usuelle en coupe. c) Diagramme de rayonnement et polarisation du champ électromagnétique rayonné (noir/dans le plan de la figure : $\vec{E}(t)$, rouge/perpendiculaire : $\vec{B}(t)$).

 **Exemple 2** Le champ électromagnétique rayonné en champ lointain par un dipôle s'écrit en coordonnées sphériques par :

$$\vec{E}(r, \theta, t) = \frac{\mu_0 \omega^2}{4\pi r} p_0 \sin \theta \cos \left[\omega \left(t - \frac{r}{c} \right) \right] \vec{e}_\theta$$

$$\vec{B}(r, \theta, t) = \frac{\mu_0 \omega^2}{4\pi r c} p_0 \sin \theta \cos \left[\omega \left(t - \frac{r}{c} \right) \right] \vec{e}_\varphi$$

- 1 - Évaluer le vecteur de Poynting et sa valeur moyenne.
- 2 - Calculer le flux du vecteur de Poynting sur une sphère de rayon R . Ce résultat dépend-il de R ? Conclure.

Données :

- surface sphérique infinitésimale : $d^2S = R^2 \sin \theta d\theta d\phi$;
- $\int_0^\pi \sin^3 \theta d\theta = 4/3$

 **Exemple 3** Les clichés de la figure ci-dessous sont pris sans (à gauche) et avec polariseur (à droite).



- 1 - Justifier que la lumière diffusée par les molécules de l'atmosphère paraît bleue. En déduire que la lumière d'un soleil couchant est rouge.
- 2 - En utilisant le diagramme de rayonnement, déterminer l'orientation des dipôles dans le ciel pour que la lumière parvienne sur l'appareil photo.

3 - En utilisant le fait que l'onde issue du soleil est une onde transverse, en déduire une justification de la bande sombre sur le cliché de droite.

Données : pour le dipôle en champ lointain :

- Champ électrique : $\vec{E}(r, \theta, t) = -\frac{\mu_0}{4\pi r} \omega^2 p_0 \sin \theta \cos \left[\omega \left(t - \frac{r}{c} \right) \right] \vec{e}_\theta$
- Moyenne du vecteur de Poynting : $\langle \vec{\Pi}(M, t) \rangle = \frac{\mu_0 \omega^4}{32\pi^2 c} \frac{\sin^2 \theta}{r^2} p_0^2 \vec{e}_r$