

Energie du champ électromagnétique

Densité volumique d'énergie électromagnétique

Les champs électrique et magnétique régnant dans une portion de l'espace vide entraînent la localisation d'une énergie dont la densité volumique, u (J.m⁻³), s'écrit :

$$u = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} \quad (1)$$

Puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge

Densité volumique de force électromagnétique s'exerçant sur un volume élémentaire $d\tau$, de densité volumique de charges ρ animée d'une vitesse $\vec{v}$:

$$\vec{dF} = \rho d\tau (\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B}) \quad (2)$$

Densité volumique de puissance, p (W.m⁻³), cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge :

$$p = \frac{dP}{d\tau} = \vec{j} \cdot \vec{E} \quad (3)$$

Puissance rayonnée

La puissance rayonnée, $P_{rayonnée}$, par le champ électromagnétique à travers une surface S est égale au flux d'un vecteur appelée vecteur de Poynting $\vec{\Pi}$:

$$P_{rayonnée} = \oiint_S \vec{\Pi} \cdot d\vec{S} \quad (4)$$

Le vecteur densité de courant d'énergie rayonnée ou **vecteur de Poynting** représente la densité surfacique de puissance rayonnée et s'écrit :

$$\vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0} \quad (5)$$

Equation de conservation de l'énergie électromagnétique

L'énergie électromagnétique est une grandeur conservative. Ce principe se traduit par l'équation locale :

$$\text{div} \vec{\Pi} + \frac{\partial u}{\partial t} + \vec{j} \cdot \vec{E} = 0 \quad (6)$$

Interprétation physique :

L'équation de conservation de l'énergie électromagnétique est composée de trois termes :

- Le premier terme correspond à la puissance rayonnée à travers la surface (S)
- Le second terme fait intervenir l'énergie électromagnétique contenue dans le volume (V)
- Le troisième terme correspond à la puissance cédée par le champ aux porteurs de charge.

Bilan énergétique dans un conducteur ohmique

Loi d'Ohm locale :

Si le champ appliqué est suffisamment faible alors le vecteur densité de courant et le vecteur champ électrique sont liés par une relation empirique faisant intervenir la conductivité γ du milieu (S.m⁻¹) :

$$\vec{j} = \gamma \vec{E} \quad (7)$$

Densité volumique de puissance cédée par effet Joule :

La puissance dissipée par effet Joule s'identifie à la puissance cédée par le champ aux porteurs de charge du conducteur. Sa densité volumique de puissance se met sous la forme :

$$p = \gamma E^2 \quad (8)$$