

# 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,  $u$  ( $\text{J.m}^{-3}$ ), s'écrit :

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

## 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  $\rho$  animée d'une vitesse  $\vec{v}$  :

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

**Densité volumique de puissance,  $p$**  ( $\text{W.m}^{-3}$ ), cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge :

$$p = \frac{dP}{d\tau} = \vec{j} \cdot \vec{E}$$

## Puissance rayonnée

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

$$P_{\text{rayonnée}} = \oint_S \vec{\Pi} \cdot d\vec{S}$$

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

$$\vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0}$$

## Equation de conservation de l'énergie électromagnétique

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

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

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  $\gamma$  du milieu ( $\text{S.m}^{-1}$ ) :

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}$$

**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 :

$$p = \gamma E^2$$