CHAPITRE EM4

Énergie électromagnétique

Dans ce chapitre, on va faire des bilans d'énergie sur des volumes : la variation d'énergie contenue dans le volume considéré est nécessairement liée aux puissances qui entrent ou qui sortent de ce volume.
On va donc introduire ici l'énergie électromagnétique contenue dans un volume et les deux types d'échanges d'énergie sous forme électromagnétique.

I - Densité volumique d'énergie électromagnétique

I.A - Densité volumique d'énergie électrique

Définition (Densité volumique d'énergie électrique)

Remarque
Ainsi, dans un volume $\mathcal{V}$, on a donc une énergie électrique

Application
A partir de l'expression de la densité volumique d'énergie électrique, retrouver l'expression de la capacité d'un condensateur plan infini.
On rappelle que pour un condensateur plan, le champ électrique est nul à l'extérieur du condensateur et vaut $\dfrac{Q}{S\varepsilon_0}$ en norme entre les armatures.

Ex à la maison : retrouver C via l'énergie SANS calculer E en fonction de Q

I.B - Densité volumique d'énergie magnétique

Définition (Densité volumique d'énergie magnétique)

Remarque
Ainsi, dans un volume $\mathcal{V}$, on a donc une énergie magnétique

Application
A partir de l'expression de la densité volumique d'énergie magnétique, retrouver l'expression de l'inductance d'un solénoïde infini.
On rappelle que pour un solénoiïde infin, le champ magnétique est nul à l'extérieur du solnéoïde et vaut $\mu_0 \frac{N}{\ell} i$ en norme à l'intérieur du solénoïde.

I.C - Densité volumique d'énergie électromagnétique

Définition (Densité volumique d'énergie électromagnétique)

Remarque
Ainsi, dans un volume $\mathcal{V}$, on a donc une énergie électromagnétique

II - Puissance cédée aux porteurs de charge

II.A - Puissance volumique des forces de Lorentz

Rappel : une charge q animée d'une vitesse $\overrightarrow{v}$ dans un champ $(\overrightarrow{E}, \overrightarrow{B})$ est soumise à la force de Lorentz

Puissance volumique cédée par le champ EM aux porteurs de charge

Démonstration

Remarque
La puissance cédée par le champ EM à un volume $\mathcal{V}$ de porteurs de charge (i.e. la puissance reçue par les porteurs de charge dans un volume $\mathcal{V}$ est

II.B - Cas du milieu ohmique

Définition (Milieu Ohmique + loi d'Ohm locale)

On appelle milieu ohmique un milieu qui vérifie la loi d'Ohm locale

Remarque

- plus γ est grand, plus le milieu est conducteur
- ODG : $\gamma_{Cu} = 6.10^7$ S.m^{-1}
- en régime permanent, $\overrightarrow{j} = -\gamma \overrightarrow{\text{grad}} V$! Analogue à la loi de Fourier, on retrouve le rôle de "conductivité" électrique pour γ
- cette loi n'est valable que pour $f < 100$ GHz

Résistance d'un conducteur ohmique - Loi d'Ohm globale

Un échantillon de conducteur ohmique de section S et de longueur ℓ a pour résistance

Démonstration 1D

Remarque

R est d'autant plus grand que ℓ est grand, γ est petit et S est petit.

On avait pour la résistance thermique $R_{th} = \dfrac{l}{\lambda S}$!

Puissance Joule volumique ou densité volumique de puissance Joule

Démonstration

Remarque
La puissance cédée par le champ EM à un volume $\mathcal{V}$ de conducteur ohmique (i.e. la puissance reçue par le conducteur ohmique dans un volume $\mathcal{V}$ est

III - Puissance rayonnée (transportée) par le champ EM

Dans le prochain chapitre, on verra que $\overrightarrow{E}$ et $\overrightarrow{B}$ en régime dépendant du temps sont des ondes. Ces ondes transportent de l'énergie.

Définition (Vecteur de Poynting)

On définit le vecteur de Poynting

Puissance rayonnée à travers une surface

La puissance rayonnée à travers une surface $\mathcal{S}$ est

Remarque
Comme la puissance rayonnée est le flux du vecteur de Poynting, on parlera parfois de vecteur densité de flux d'énergie électromagnétique pour parler de $\overrightarrow{\Pi}$.

IV - Bilans d'énergie électromagnétique

IV.A - Bilan sous forme intégrale

Bilan d'énergie électromagnétique sous forme intégrale

Démonstration

IV.B - Bilan sous forme locale

Bilan d'énergie électromagnétique sous forme locale

Démonstration