

# 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  $\frac{Q}{S\epsilon_0}$  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 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 solénoïde infini, le champ magnétique est nul à l'extérieur du solénoïde 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 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  $\vec{v}$  dans un champ  $(\vec{E}, \vec{B})$  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  $\gamma$  est grand, plus le milieu est conducteur
- ▷ ODG :  $\gamma_{Cu} = 6.10^7 \text{ S.m}^{-1}$
- ▷ en régime permanent,  $\vec{j} = -\gamma \overrightarrow{\text{grad}}V$  ! Analogie à la loi de Fourier, on retrouve le rôle de "conductivité" électrique pour  $\gamma$
- ▷ cette loi n'est valable que pour  $f < 100 \text{ GHz}$

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

Un échantillon de conducteur ohmique de section  $S$  et de longueur  $\ell$  a pour résistance

### Démonstration 1D

### Remarque

$R$  est d'autant plus grand que  $\ell$  est grand,  $\gamma$  est petit et  $S$  est petit.

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

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  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  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  $\vec{\Pi}$ .

## 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**