

ÉLECTROMAGNÉTISME DÉPENDANT DU TEMPS

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

Lycée Henri Poincaré, Classe de PC*

I. Équations de Maxwell

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

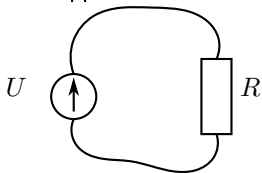
I. Équations de Maxwell

1. Équation de Maxwell-Faraday

I. Équations de Maxwell

1. Équation de Maxwell-Faraday

a. Un rappel utile



I. Équations de Maxwell

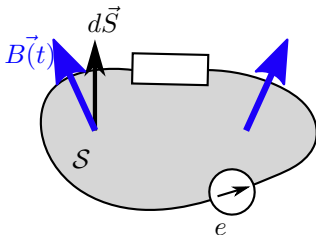
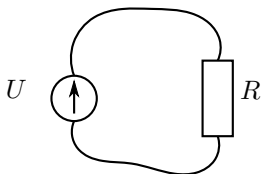
II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

I. Équations de Maxwell

1. Équation de Maxwell-Faraday

a. Un rappel utile



b. Loi de Faraday et induction de Neumann

I. Équations de Maxwell

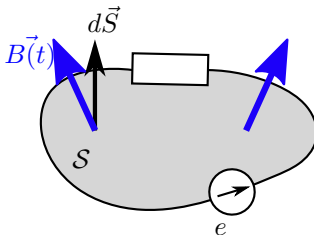
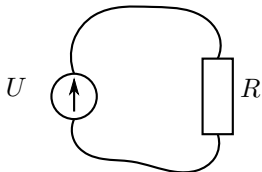
II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

I. Équations de Maxwell

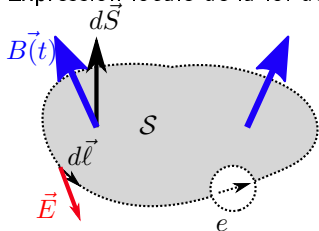
1. Équation de Maxwell-Faraday

a. Un rappel utile



b. Loi de Faraday et induction de Neumann

c. Expression locale de la loi de Faraday



I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

I. Équations de Maxwell

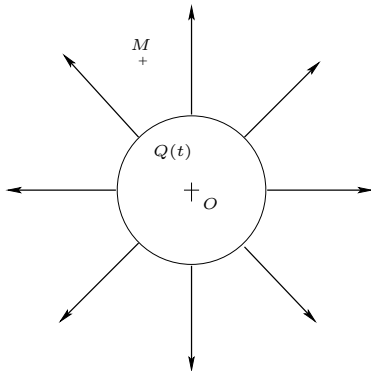
1. Équation de Maxwell-Faraday
 - a. Un rappel utile
 - b. Loi de Faraday et induction de Neumann
 - c. Expression locale de la loi de Faraday
2. Équation de Maxwell-Ampère

I. Équations de Maxwell

1. Équation de Maxwell-Faraday
 - a. Un rappel utile
 - b. Loi de Faraday et induction de Neumann
 - c. Expression locale de la loi de Faraday
2. Équation de Maxwell-Ampère
 - a) Nécessité

I. Équations de Maxwell

1. Équation de Maxwell-Faraday
 - a. Un rappel utile
 - b. Loi de Faraday et induction de Neumann
 - c. Expression locale de la loi de Faraday
2. Équation de Maxwell-Ampère
 - a) Nécessité



I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

I. Équations de Maxwell

1. Équation de Maxwell-Faraday
 - a. Un rappel utile
 - b. Loi de Faraday et induction de Neumann
 - c. Expression locale de la loi de Faraday
2. Équation de Maxwell-Ampère
 - a) Nécessité
 - b) Courant de déplacement

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

I. Équations de Maxwell

1. Équation de Maxwell-Faraday
 - a. Un rappel utile
 - b. Loi de Faraday et induction de Neumann
 - c. Expression locale de la loi de Faraday
2. Équation de Maxwell-Ampère
 - a) Nécessité
 - b) Courant de déplacement
3. Récapitulation

I. Équations de Maxwell

1. Équation de Maxwell-Faraday
 - a. Un rappel utile
 - b. Loi de Faraday et induction de Neumann
 - c. Expression locale de la loi de Faraday
2. Équation de Maxwell-Ampère
 - a) Nécessité
 - b) Courant de déplacement
3. Récapitulation

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

	Expression locale	Expression intégrale
M-Gauss	$\operatorname{div} \vec{E}(M, t) = \frac{\rho(M, t)}{\epsilon_0}$	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0}$
M-Faraday	$\operatorname{rot} \vec{E}(M, t) = -\frac{\partial \vec{B}(M, t)}{\partial t}$	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$
M-Ampère	$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (I_e + I_{de})$
M-∅	$\operatorname{div} \vec{B}(M, t) = 0$	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$

II. Les régimes quasi-stationnaires

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

II. Les régimes quasi-stationnaires

1. Les régimes statiques

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

II. Les régimes quasi-stationnaires

1. Les régimes statiques
2. ARQS magnétique

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

II. Les régimes quasi-stationnaires

1. Les régimes statiques
2. ARQS magnétique
 - a) Exemple

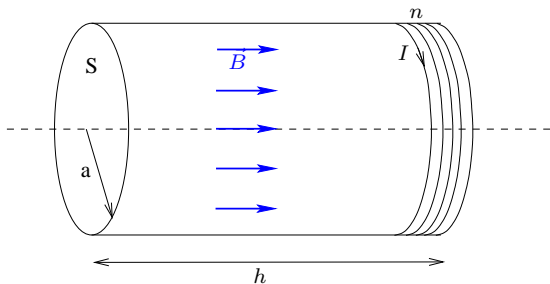
I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

II. Les régimes quasi-stationnaires

1. Les régimes statiques
2. ARQS magnétique
 - a) Exemple



I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

II. Les régimes quasi-stationnaires

1. Les régimes statiques
2. ARQS magnétique
 - a) Exemple
 - b) Généralisation

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

II. Les régimes quasi-stationnaires

1. Les régimes statiques
2. ARQS magnétique
 - a) Exemple
 - b) Généralisation

ARQS Magnétique

Considérons des courants dépendant du temps, de fréquence f , créant un champ électromagnétique (\vec{E}, \vec{B}) variable de même fréquence f . À fréquence nulle, ce sont des courants constants produisant, selon les lois de la magnétostatique, un champ magnétique constant \vec{B}_0 . À basse fréquence, \vec{B} dépend du temps mais on peut relier $\vec{B}(t)$ aux courants sources au même instant t en appliquant comme pour \vec{B}_0 les lois de la magnétostatique. Il s'agit d'une approximation valable si $a \ll cT$ où a désigne l'échelle de longueur pertinente du problème. Le champ électrique se déduit de \vec{B} variable selon l'équation de Maxwell-Faraday.

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

II. Les régimes quasi-stationnaires

1. Les régimes statiques
2. ARQS magnétique
 - a) Exemple
 - b) Généralisation
 - c) Un raisonnement populaire

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

II. Les régimes quasi-stationnaires

1. Les régimes statiques
2. ARQS magnétique
 - a) Exemple
 - b) Généralisation
 - c) Un raisonnement populaire
3. ARQS électrique (HP)

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

II. Les régimes quasi-stationnaires

1. Les régimes statiques
2. ARQS magnétique
 - a) Exemple
 - b) Généralisation
 - c) Un raisonnement populaire
3. ARQS électrique (HP)
 - a) Exemple

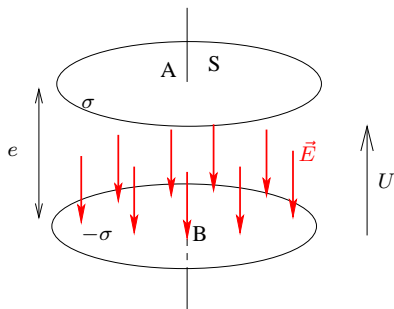
I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

II. Les régimes quasi-stationnaires

1. Les régimes statiques
2. ARQS magnétique
 - a) Exemple
 - b) Généralisation
 - c) Un raisonnement populaire
3. ARQS électrique (HP)
 - a) Exemple



I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

II. Les régimes quasi-stationnaires

1. Les régimes statiques
2. ARQS magnétique
 - a) Exemple
 - b) Généralisation
 - c) Un raisonnement populaire
3. ARQS électrique (HP)
 - a) Exemple
 - b) Généralisation

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

II. Les régimes quasi-stationnaires

1. Les régimes statiques
2. ARQS magnétique
 - a) Exemple
 - b) Généralisation
 - c) Un raisonnement populaire
3. ARQS électrique (HP)
 - a) Exemple
 - b) Généralisation

Considérons des charges dépendant du temps, de fréquence f , créant un champ électromagnétique variable de même fréquence f . À fréquence nulle, ce sont des charges immobiles produisant, selon les lois de l'électrostatique, un champ électrique constant \vec{E}_0 . À basse fréquence, \vec{E} dépend du temps mais on peut relier $\vec{E}(t)$ aux charges sources au même instant t en appliquant comme pour \vec{E}_0 les lois de l'électrostatique. Il s'agit d'une approximation valable si $a \ll cT$ où a désigne l'échelle de longueur pertinente du problème. Le champ magnétique se déduit de \vec{E} variable en appliquant l'équation de Maxwell-Ampère.

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

III. Énergie électromagnétique

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

III. Énergie électromagnétique

1. Deux exemples simples

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

III. Énergie électromagnétique

1. Deux exemples simples

a) Localisation de l'énergie dans un condensateur plan

I. Équations de Maxwell

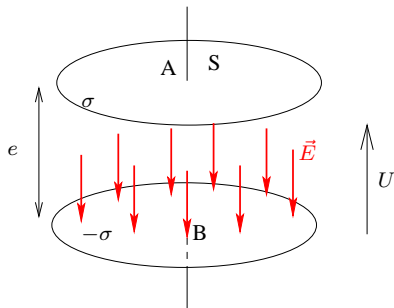
II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

III. Énergie électromagnétique

1. Deux exemples simples

a) Localisation de l'énergie dans un condensateur plan



I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

III. Énergie électromagnétique

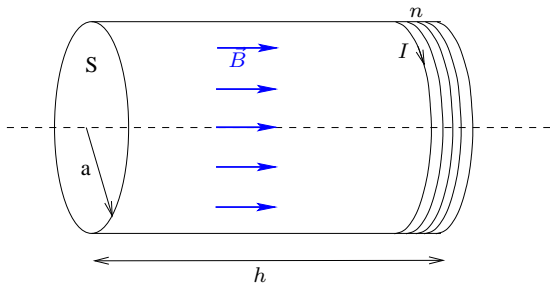
1. Deux exemples simples

- a) Localisation de l'énergie dans un condensateur plan
- b) Localisation de l'énergie dans un solénoïde

III. Énergie électromagnétique

1. Deux exemples simples

- Localisation de l'énergie dans un condensateur plan
- Localisation de l'énergie dans un solénoïde



I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

III. Énergie électromagnétique

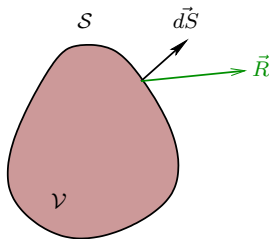
1. Deux exemples simples
2. Transport et localisation de l'énergie électromagnétique

III. Énergie électromagnétique

1. Deux exemples simples
2. Transport et localisation de l'énergie électromagnétique
 - a) Expression *a priori* d'un bilan

III. Énergie électromagnétique

1. Deux exemples simples
2. Transport et localisation de l'énergie électromagnétique
 - a) Expression *a priori* d'un bilan



III. Énergie électromagnétique

1. Deux exemples simples
2. Transport et localisation de l'énergie électromagnétique
 - a) Expression *a priori* d'un bilan
 - b) Ce bilan fonctionne !

III. Énergie électromagnétique

1. Deux exemples simples
2. Transport et localisation de l'énergie électromagnétique
 - a) Expression *a priori* d'un bilan
 - b) Ce bilan fonctionne !
 - c) Ce qu'il faut savoir

Là où règne le champ réside de l'énergie avec la densité volumique

$$u_{em} = \epsilon_0 \frac{E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (\text{J.m}^{-3}).$$

L'énergie contenue dans un volume \mathcal{V} est

$$\mathcal{E}_{em} = \int_{\mathcal{V}} u_{em} d\tau$$

Le transport de l'énergie est décrit par le vecteur de Poynting

$$\vec{R} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0} \quad (\text{W.m}^{-2}).$$

La puissance traversant une surface \mathcal{S} est

$$\mathcal{P} = \int_{\mathcal{S}} \vec{R} \cdot d\vec{S}.$$

I. Équations de Maxwell

II. Les régimes quasi-stationnaires

III. Énergie électromagnétique

III. Énergie électromagnétique

1. Deux exemples simples
2. Transport et localisation de l'énergie électromagnétique
 - a) Expression *a priori* d'un bilan
 - b) Ce bilan fonctionne !
 - c) Ce qu'il faut savoir
3. Exemples de transport d'énergie

III. Énergie électromagnétique

1. Deux exemples simples
2. Transport et localisation de l'énergie électromagnétique
 - a) Expression *a priori* d'un bilan
 - b) Ce bilan fonctionne!
 - c) Ce qu'il faut savoir
3. Exemples de transport d'énergie
 - a) Fil résistif

III. Énergie électromagnétique

1. Deux exemples simples
2. Transport et localisation de l'énergie électromagnétique
 - a) Expression *a priori* d'un bilan
 - b) Ce bilan fonctionne!
 - c) Ce qu'il faut savoir
3. Exemples de transport d'énergie
 - a) Fil résistif
 - b) Condensateur en régime variable