

## plan du cours d'électromagnétisme

# ÉNERGIE MAGNÉTOSTATIQUE

### I) DÉFINITION FONDAMENTALE (RAPPEL) :

définition : l'énergie potentielle d'un système, est le travail minimal (c'est-à-dire sans apport d'énergie cinétique) que l'extérieur doit fournir pour constituer le système, lorsque ce travail est défini, c'est-à-dire lorsque sa valeur est indépendante de la manière dont on constitue le système

### II) ÉNERGIE POTENTIELLE MAGNÉTOSTATIQUE D'UN CIRCUIT FILIFORME INDÉFORMABLE PARCOURU PAR UN COURANT D'INTENSITÉ CONSTANTE ET PLACÉ DANS UN CHAMP MAGNÉTOSTATIQUE :

#### 1) Définition :

définition : on appelle énergie (potentielle) magnétostatique  $W$  d'un circuit filiforme indéformable, parcouru par un courant d'intensité constante et placé dans un champ magnétostatique le travail minimal que l'extérieur doit fournir pour réaliser le système, c'est-à-dire pour amener, depuis l'infini (où le champ magnétostatique est supposé nul) jusqu'à la position considérée, le circuit, supposé parcouru par un courant d'intensité constante (cette énergie ne prend donc pas en compte le travail qu'il faut fournir pour installer le champ magnétostatique dans lequel est placé le circuit, ni le travail qu'il faut fournir pour lancer le courant dans le circuit)

#### 2) Flux coupé extérieur et variation de flux extérieur :

##### a) Définition :

définition: le flux coupé extérieur  $\varphi_e$  est le flux du champ magnétostatique  $B_e$  d'origine extérieure à travers la surface tubulaire engendrée par le déplacement du circuit et orientée par le produit vectoriel :  
 $\vec{\text{déplacement}} \wedge \vec{\text{courant}}$

##### b) Lien entre flux coupé extérieur et variation de flux extérieur :

- théorème: s'il n'y a pas substitution dans le circuit (c'est-à-dire remplacement, au cours du temps, d'un élément du circuit par un autre élément du circuit) et si le champ magnétique extérieur est indépendant du temps, le flux coupé extérieur par le circuit dans son déplacement est égal à la variation du flux du champ magnétostatique d'origine extérieure  $B_e$  à travers le circuit au cours de son déplacement :

$$\varphi_e = \Phi_{e2} - \Phi_{e1}$$

- cas particulier important d'un circuit indéformable parcouru par un courant d'intensité  $I$  constante et se déplaçant dans un champ magnétique indépendant du temps :

théorème : le flux coupé extérieur par un circuit indéformable au cours de son déplacement est égal à la variation totale du flux du champ magnétostatique extérieur à travers le circuit au cours de son déplacement :  $\varphi_e = \Phi_{e2} - \Phi_{e1} = \Phi_2 - \Phi_1$

### 3) Expression de l'énergie magnétostatique W :

théorème : l'énergie magnétostatique d'un circuit (C) filiforme indéformable, parcouru par un courant d'intensité I constante et placé dans un champ magnétostatique  $B_e$  est parfaitement définie et vaut:  $W = -I \cdot \Phi_e$

où :  $\Phi_e$  est le flux à travers le circuit (C) du champ magnétostatique  $B_e$  dans lequel est plongé le circuit (C)

## **III) ÉNERGIE POTENTIELLE MAGNÉTOSTATIQUE D'UN DIPÔLE MAGNÉTIQUE PLACÉ DANS UN CHAMP MAGNÉTOSTATIQUE :**

### 1) Définition :

définition : on appelle énergie (potentielle) magnétostatique W d'un dipôle magnétique placé dans un champ magnétostatique le travail minimal que l'extérieur doit fournir pour amener, depuis l'infini (où le champ magnétostatique est supposé nul) jusqu'à la position considérée, le dipôle (cette énergie ne prend donc pas en compte le travail qu'il faut fournir pour installer le champ magnétostatique dans lequel est placé le circuit ,ni le travail qu'il faut fournir pour fabriquer le dipôle magnétique)

### 2) Expression de l'énergie magnétostatique W :

théorème : l'énergie magnétostatique d'un dipôle de moment magnétique M placé dans un champ magnétostatique  $B_e$  est parfaitement définie et vaut :  $W = -M \cdot B_e$

remarque : actions mécaniques exercées par un champ magnétostatique extérieur sur un dipôle magnétique

## **IV) ÉNERGIE POTENTIELLE MAGNÉTOSTATIQUE D'UN ENSEMBLE DE CIRCUITS FILIFORMES PARCOURUS PAR DES COURANTS D'INTENSITÉ CONSTANTE :**

### 1) Etude générale :

théorème : l'énergie potentielle magnétostatique d'un ensemble de n circuits seuls dans l'espace et parcourus par

des courants d'intensité constante  $I_k$  est :  $W = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n I_k \cdot \Phi_k$

### 2) Cas particulier d'un circuit seul dans l'espace :

théorème :  $W = \frac{1}{2} I \cdot \Phi = \frac{1}{2} L \cdot I^2 = \frac{1}{2} \frac{\Phi^2}{L}$

## V) ÉNERGIE POTENTIELLE MAGNÉTOSTATIQUE D'UNE DISTRIBUTION QUELCONQUE STATIQUE DE COURANT :

1) Cas d'une distribution linéique de courant, c'est-à-dire d'un ensemble de circuits filiformes :

théorème : l'énergie d'une distribution linéique de courant définie par l'intensité  $I$  de courant électrique sur une

courbe (  $C$  ) est : 
$$W = \frac{1}{2} \int_C A \cdot Idl$$

2) Cas d'une distribution surfacique de courant :

théorème : l'énergie d'une distribution surfacique de courant définie par la densité surfacique de courant  $j_s$  sur

une surface (  $S$  ) est : 
$$W = \frac{1}{2} \iint_S j_s \cdot AdS$$

3) Cas d'une distribution volumique de courant :

théorème : l'énergie d'une distribution volumique de courant définie par la densité volumique de courant  $j$  à

l'intérieur d'un volume (  $V$  ) est : 
$$W = \frac{1}{2} \iiint_V j \cdot Ad\tau$$

## VI) DÉLOCALISATION DE L'ÉNERGIE POTENTIELLE MAGNÉTOSTATIQUE :

théorème : l'énergie magnétostatique d'une distribution de courant indépendante du temps définie à l'intérieur

d'un volume (  $V$  ) fini de l'espace peut s'écrire : 
$$W = \iiint_{\text{espace}} \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} d\tau$$

interprétation : l'énergie d'une distribution volumique de courant indépendante du temps définie à l'intérieur d'un volume (  $V$  ) fini de l'espace peut être considérée comme répartie **dans tout l'espace** avec une densité

volumique d'énergie magnétostatique : 
$$w_{\text{mgs}} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$$

où  $B$  est le champ magnétostatique au point considéré

## VII) GÉNÉRALISATION : ÉNERGIE POTENTIELLE ÉLECTROMAGNÉTIQUE :

théorème ( admis ) : l'énergie électromagnétique d'une distribution de charge et de courant définie à l'intérieur

d'un volume (  $V$  ) finie de l'espace peut s'écrire : 
$$W = \iiint_{\text{espace}} \left( \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} \right) d\tau$$

L'énergie électromagnétique peut donc être considérée comme délocalisée dans tout l'espace, la densité

volumique d'énergie électromagnétique : 
$$\frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} .$$