

## plan du cours d'électromagnétisme

# PHÉNOMÈNES D'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE : RAPPELS ET COMPLÉMENTS

### I) FLUX À TRAVERS UN CIRCUIT PLONGÉ DANS UN CHAMP MAGNÉTOSTATIQUE :

#### 1) Flux d'un champ magnétostatique à travers un circuit filiforme :

définition-théorème :

si l'on plonge un circuit filiforme parcouru par un courant d'intensité  $I$  constante dans un champ magnétostatique  $B_e$  ( d'origine extérieure ), alors le flux  $\Phi$  du champ magnétostatique total à travers le circuit (C) s'écrit :

$$\Phi = \iint_{S_c} B_e \cdot ndS + \iint_{S_c} B_p \cdot ndS = \Phi_e + \Phi_p$$

où:  $\Phi_e$  dépend seulement de la géométrie de (C) et de la configuration de  $B_e$

$\Phi_p$  dépend seulement de la géométrie de (C) et de l'intensité  $I$  qui parcourt le circuit (C)

#### 2) Flux coupé :

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 :  
 $\overrightarrow{\text{déplacement}} \wedge \overrightarrow{\text{courant}}$

définition : le flux coupé propre  $\varphi_p$  est le flux du champ magnétostatique  $B_p$  propre créé par le circuit à travers la surface tubulaire engendrée par le déplacement du circuit et orientée par le produit vectoriel :  
 $\overrightarrow{\text{déplacement}} \wedge \overrightarrow{\text{courant}}$

définition: le flux coupé total  $\varphi$  est le flux du champ magnétostatique total  $B$  à travers la surface tubulaire engendrée par le déplacement du circuit et orientée par le produit vectoriel :  
 $\overrightarrow{\text{déplacement}} \wedge \overrightarrow{\text{courant}}$

théorème : le flux coupé total la somme du flux coupé extérieur et du flux coupé propre

### 3) Flux coupé et variation de flux :

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 :

- a) théorème : le flux coupé par le circuit au cours de son déplacement est égal à la variation totale du flux du champ magnétostatique à travers le circuit au cours de son déplacement :  
 $\varphi_e = \Phi_{e2} - \Phi_{e1} = \Phi_2 - \Phi_1$
- b) théorème (admis) :  $\varphi_p = 0$
- c) corollaire :  $\varphi = \varphi_e = \Phi_{e2} - \Phi_{e1} = \Phi_2 - \Phi_1$

## II) MUTUELLE INDUCTION DE DEUX CIRCUITS :

théorème : si un circuit ( $C_1$ ) parcouru par un courant d'intensité  $I_1$  envoie à travers un circuit ( $C_2$ ) parcouru par un courant d'intensité  $I_2$  le flux  $\Phi_{12}$ , alors :  $\Phi_{12} = M_{12} \cdot I_1$

où : 
$$M_{12} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_{C_1} \oint_{C_2} \frac{dl_1 \cdot dl_2}{r_{12}} \quad (\text{ formule de Neumann } )$$

définition :  $M_{12}$  est le coefficient de mutuelle induction entre les circuits ( $C_1$ ) et ( $C_2$ )

remarque :  $M_{12}$  ne dépend que de la géométrie relative des circuits ( $C_1$ ) et ( $C_2$ )

théorème : avec des notations symétriques des précédentes :  $\Phi_{2 \rightarrow 1} = M_{2 \rightarrow 1} \cdot I_2$

théorème :  $M_{12} = M_{21}$

## III) AUTO-INDUCTION D'UN CIRCUIT :

théorème: avec des notations analogues aux précédentes :  $\Phi_{11} = M_{11} \cdot I_1$

où : 
$$M_{11} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_{C_1} \oint_{C_1} \frac{dl_1 \cdot dl'_1}{r_{11}}$$

définition :  $L_1$  est le coefficient d'auto-induction ou de self induction du circuit ( $C_1$ )

théorème :  $L_1 > 0$

#### IV) ÉTUDE GÉNÉRALE DE DEUX CIRCUITS :

théorème : si  $\Phi_1$  est le flux total du champ magnétostatique à travers le circuit ( $C_1$ ) parcouru par un courant d'intensité  $I_1$  et si  $\Phi_2$  est le flux total du champ magnétostatique à travers le circuit ( $C_2$ ) parcouru par un courant d'intensité  $I_2$ , alors :

$$\begin{pmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_1 & M_{12} \\ M_{21} & L_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

#### V) APPROXIMATION DES RÉGIMES QUASI PERMANENTS :

définition de l'approximation des régimes quasi permanents ( ARQP ) : cette approximation consiste à négliger les phénomènes de propagation des différents champs

conséquences :

- 1) le champ magnétique, dans le cadre de l'ARQP, vérifie les mêmes équations que le champ magnétostatique
- 2) l'équation de conservation de la charge s'écrit de la même façon qu'en magnétostatique ( c'est-à-dire que  $j$  est à flux conservatif )
- 3) ATTENTION : le champ électrique ne vérifie pas les mêmes équations que le champ électrostatique (cf. ci-dessous !)

on montre que l'ARQP décrit correctement le champ électromagnétique  $(E, B)$  créé en un point M par une distribution de charge/courant (D) qui varie dans le temps avec une fréquence  $\nu$  lorsque le point M est tel que les différentes distances SM entre le point M et les différents points de (D) où existent des charges/courants sont faibles devant  $c/\nu$  ( $c/\nu$  représente la longueur d'onde  $\lambda$  du champ électromagnétique  $(E, B)$  créé par la distribution de charge/courant, donc la condition  $SM \ll c/\nu$  équivaut à  $SM \ll \lambda$ )

#### VI) FORCE ÉLECTROMOTRICE :

définition : soit un circuit (C) sur lequel on a choisi un sens comme sens positif conventionnel pour le courant ; alors la force électromotrice  $e$  existant dans le circuit (C) est telle que, si une charge  $q > 0$  décrit une fois le circuit (C) dans le sens positif choisi pour le courant, et si elle reçoit, algébriquement, en étant soumise à la force électromagnétique  $F = q(E + v_{abs} \wedge B)$ , l'énergie  $W$ , alors :

$$e = \frac{W}{q} = \frac{1}{q} \oint_{(C)} F \cdot dP = \oint_{(C)} (E + v_{abs} \wedge B) \cdot dP = \oint_{(C)} (E + v_{ent} \wedge B) \cdot dP$$

## VII) ÉTUDE EXPÉRIMENTALE :

- 1) Première expérience : circuit fixe dans un champ magnétique dépendant du temps
- 2) Deuxième expérience : circuit mobile dans un champ magnétique indépendant du temps
- 3) Troisième expérience : circuit déformable dans un champ magnétique indépendant du temps
- 4) Conclusion :

- a) toute variation de flux du champ magnétique à travers un circuit fermé produit dans ce circuit un courant induit
- b) tout conducteur fermé qui subit un flux coupé ( de champ magnétique ) est le siège d'un courant induit
- c) généralisation : le phénomène d'induction électromagnétique consiste en l'apparition d'une force électromotrice et, s'ils peuvent s'écouler, de courants (dits induits), dans un conducteur mobile placé dans un champ magnétique dépendant du temps

## VIII) LOI DE LENZ :

loi de Lenz :  $\Delta\phi_{\text{appliqué}} \cdot i < 0$

premier énoncé : le courant induit  $i$  est de signe opposé à la variation de flux qui le produit

deuxième énoncé : le courant induit est de sens tel que le flux propre qu'il crée soit de signe opposé à la variation du flux inducteur

troisième énoncé : le courant induit a un sens tel que, par ses effets, il s'oppose au déplacement qui le produit

conclusion : la loi de Lenz est une loi de modération

## IX) POSTULAT DE FARADAY :

postulat de Faraday : la variation du flux du champ magnétique à travers un circuit entraîne l'existence d'une force électromotrice d'induction dans ce circuit : 
$$e = -\frac{d\Phi}{dt}$$

remarques :

1) dans le postulat de Faraday :  $\Phi = \Phi_{\text{total}} = \Phi_{\text{extérieur}} + \Phi_{\text{propre}}$

2) si l'on a un flux coupé, le postulat de Faraday s'écrit : 
$$e = -\frac{d\phi_{\text{coupé}}}{dt}$$

## X) COURANTS DE FOUCAULT :

définition : on appelle courants de Foucault les courants induits apparaissant dans des pièces métalliques massives ( par opposition aux fils électriques ) qui se trouvent dans un champ magnétique variable en fonction du temps ou bien qui se déplacent dans un champ magnétique

## XI) APPLICATIONS DE L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE :

### 1. Transformateur :

définition théorique : un transformateur parfait est un ensemble de deux bobines couplées par mutuelle induction ( par l'intermédiaire d'un noyau de fer ) et dont les résistances sont négligeables

théorème : si  $N_1$  et  $N_2$  sont les nombres de spires des bobinages primaire et secondaire respectivement, alors :

a) lorsque le secondaire est en circuit ouvert : 
$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

b) lorsque le secondaire est en court-circuit : 
$$\frac{i_2}{i_1} = -\frac{N_1}{N_2}$$

### 2. Haut-parleur électrodynamique :