



# Module d'Electricité

3<sup>ème</sup> partie : Magnétisme

© Fabrice Sincère (version 2.0.1)

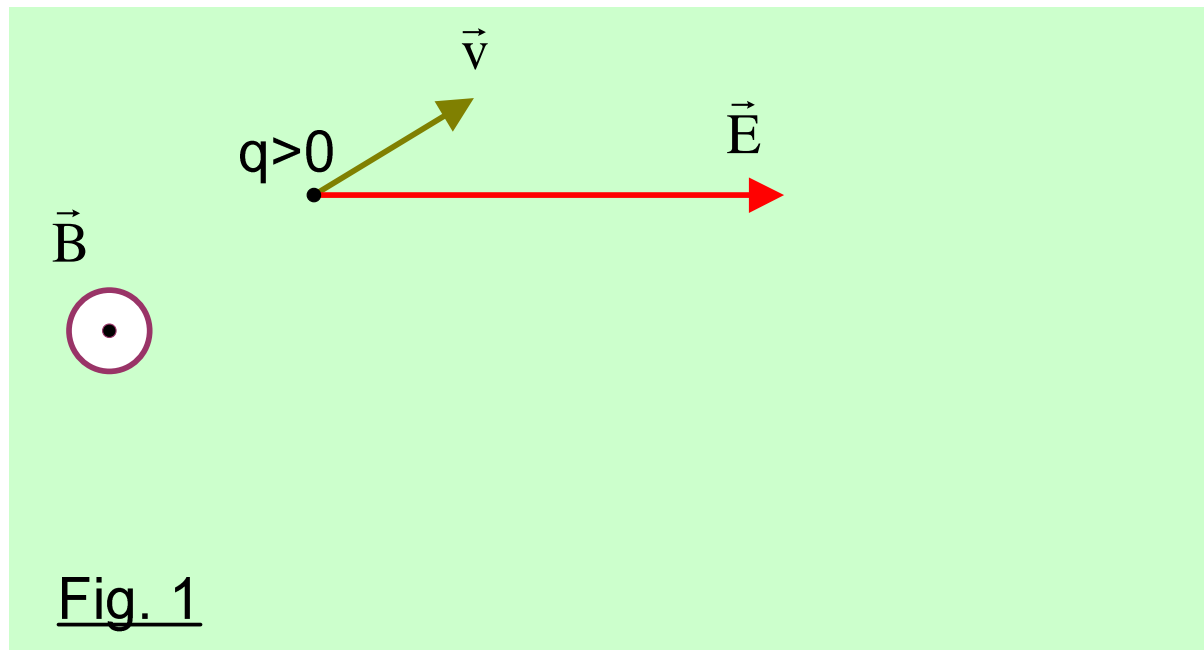
<http://pagesperso-orange.fr/fabrice.sincere>

Le *magnétisme* est la partie de la physique qui étudie les effets magnétiques des courants électriques et des aimants.

# Chapitre 1 Force magnétique et f.e.m. induite

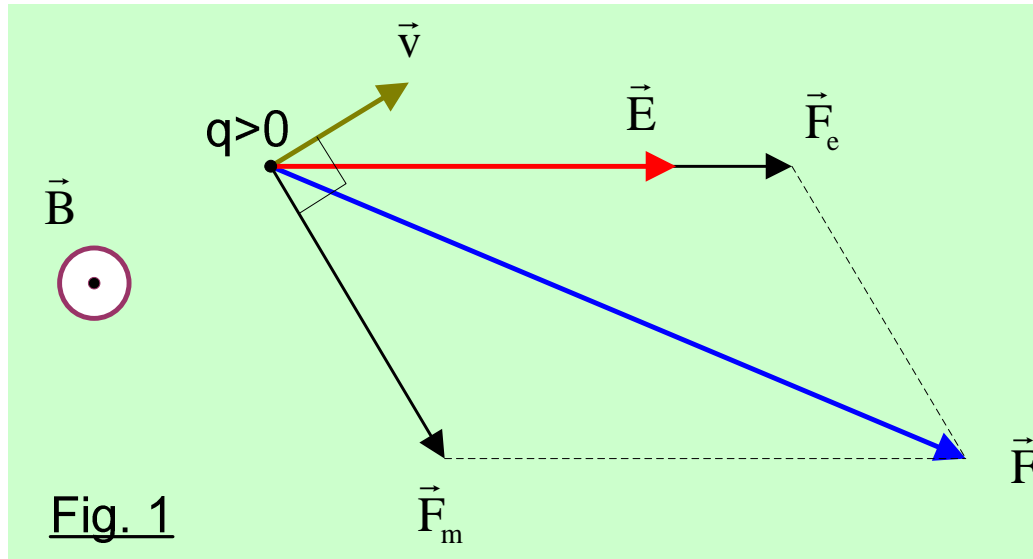
## 1-1- Force de Lorentz

Soit une particule de charge  $q$  se déplaçant dans une région où règne un champ électrique  $\vec{E}$  et un champ magnétique  $\vec{B}$  :



La particule est soumise à une force électromagnétique (force de Lorentz) :

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B})$$



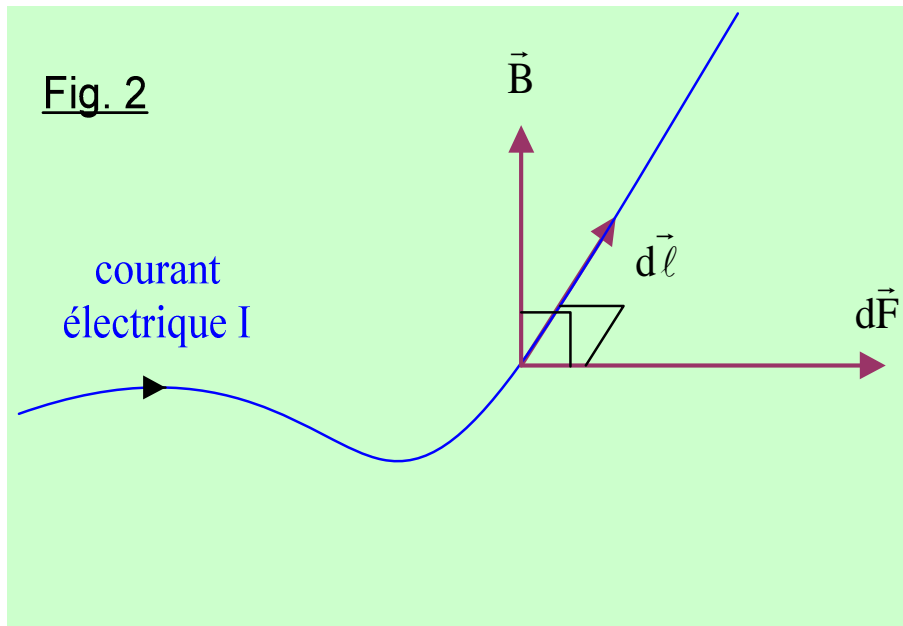
Cette force a deux composantes :

- force électrostatique  $\vec{F}_e = q\vec{E}$

- force magnétique  $\vec{F}_m = q\vec{v} \wedge \vec{B}$

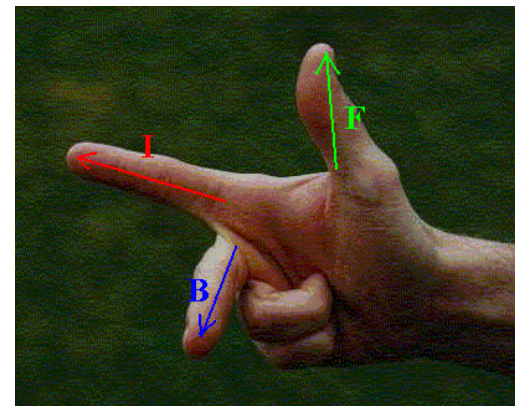
## 1-2- Loi de Laplace

- Soit un conducteur électrique parcouru par un courant  $I$ , soumis à un champ magnétique  $\mathbf{B}$  :

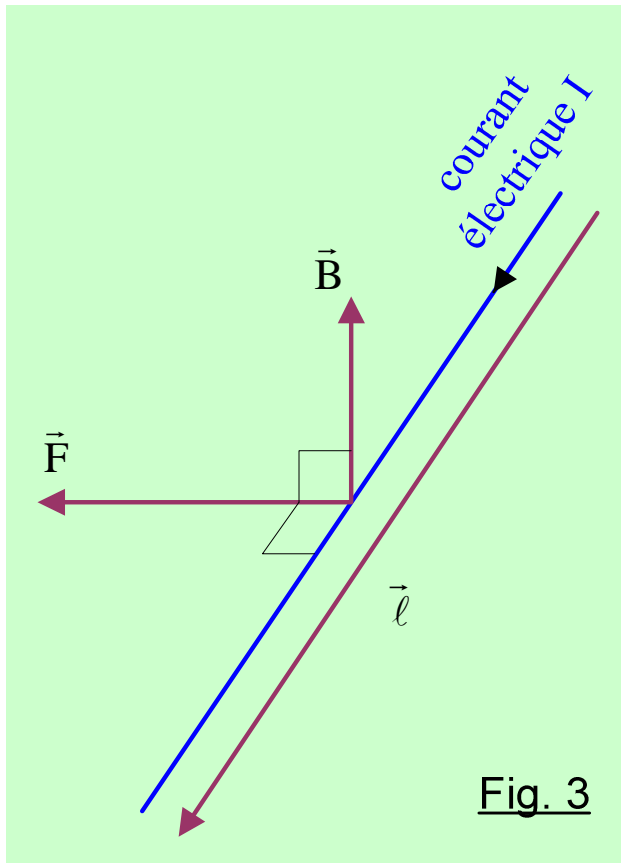


Une portion de conducteur de longueur  $d\ell$  est soumise à une force magnétique (force de Laplace) :

$$d\vec{F} = I d\vec{\ell} \wedge \vec{B}$$



- Cas particulier d'un conducteur rectiligne



La force totale qui s'applique sur le conducteur est égale à la somme des forces qui s'appliquent sur chaque portion du circuit :

$$\vec{F} = \sum d\vec{F} = \sum I d\vec{\ell} \wedge \vec{B} = I \vec{\ell} \wedge \vec{B}$$

Remarques :

$\mathbf{F} \perp$  conducteur

$\mathbf{F} \perp \mathbf{B}$

$$F = |I\ell B \sin(\vec{\ell}, \vec{B})|$$

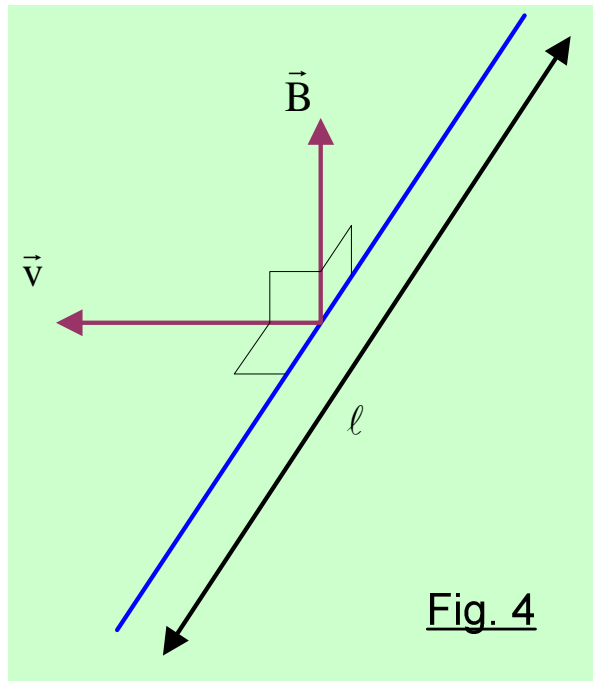
B en tesla (T)

- Applications de la force de Laplace
  - galvanomètre
  - ampèremètre et voltmètre magnétoélectriques
  - moteur électrique
  - haut-parleur
  - tube cathodique (déflexion magnétique)
  - etc ...



### 1-3- F.e.m. induite

- Soit un conducteur rectiligne plongé dans un champ magnétique uniforme et entraîné à la vitesse  $v$  :



Une tension électrique apparaît entre les deux extrémités du conducteur :  
c'est une « force électromotrice induite »  
(fem induite).

$$\text{Ici: } |e| = B\ell v$$

- Applications
  - dynamo, alternateur
  - microphone électrodynamique ...



# Chapitre 2

## Champ magnétique créé par les courants

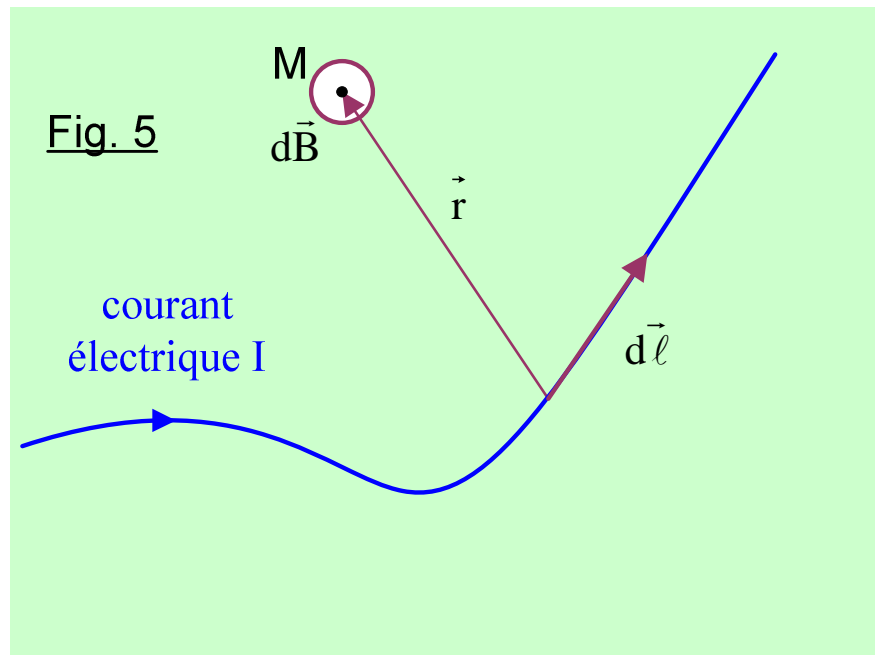
Nous savons que les aimants sont des sources de champ magnétique.

L'expérience d'Oersted (1820) a montré que les courants électriques créent aussi des champs magnétiques.



## 2-1- Loi de Biot et Savart

Une portion de conducteur de longueur  $d\ell$  crée en un point M de l'espace un champ magnétique élémentaire :



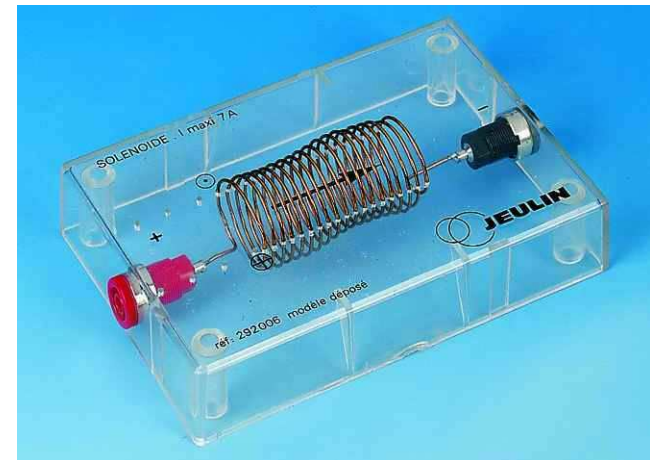
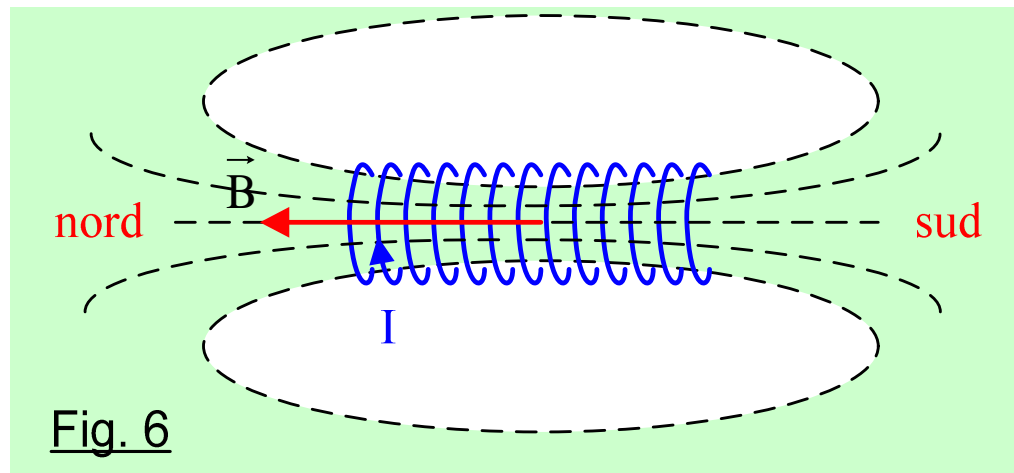
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{\ell} \wedge \vec{r}}{r^3}$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$  : perméabilité magnétique du vide

## 2-2- Spectre magnétique

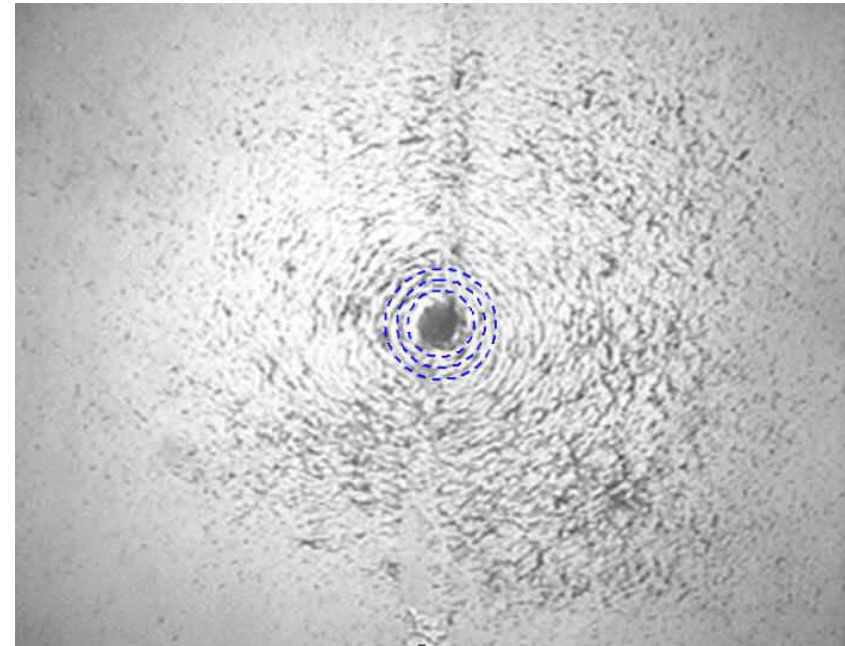
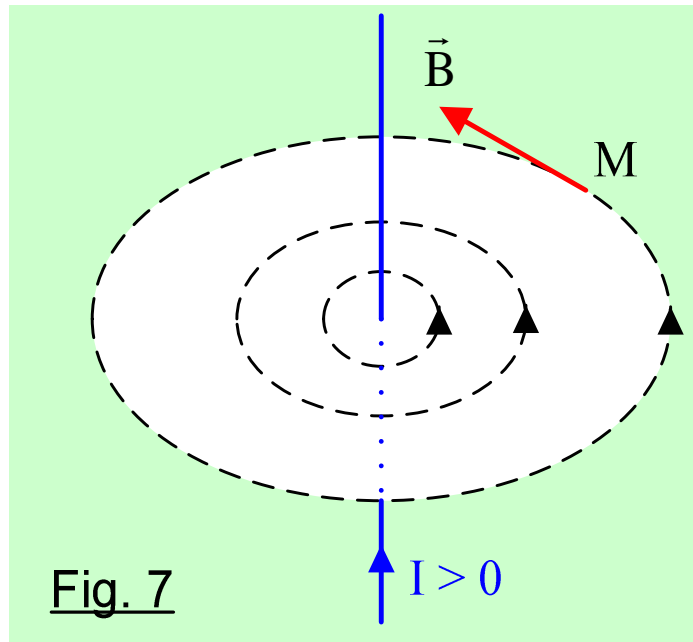
L'ensemble des lignes de champ magnétique constitue le spectre magnétique.

- solénoïde



Remarque : l'aimant droit a le même spectre.

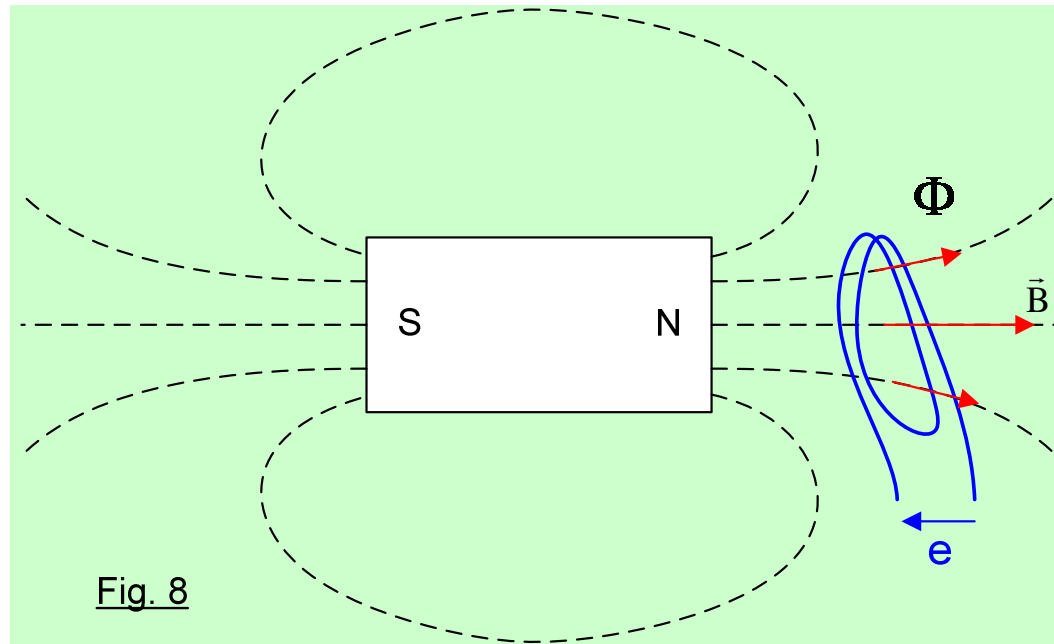
- conducteur rectiligne infiniment long



- intensité du champ magnétique (Cf. annexe)

# Chapitre 3 Induction électromagnétique

- Expérience



Quand on déplace l'aimant ou la bobine, il apparaît une tension aux bornes de la bobine : c'est une *fem induite*.

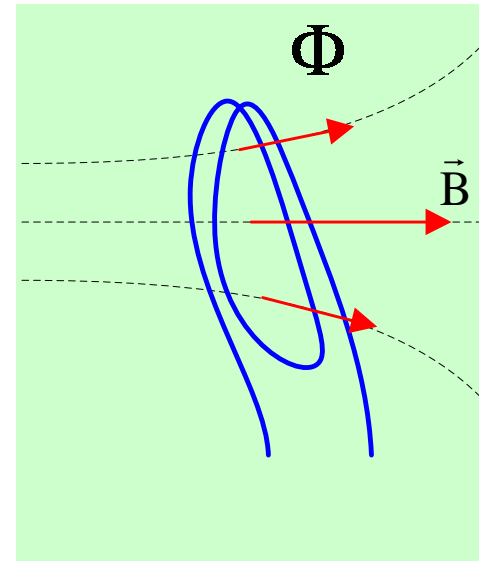
Si on ferme la bobine, la fem induite engendre un courant : c'est un *courant induit*.

C'est le phénomène d'*induction électromagnétique* (Faraday 1831).

### 3-1- Flux d'un champ magnétique

C'est la même définition que pour le flux d'un champ électrique :

$$d\Phi = \vec{B} \cdot d\vec{S}$$



Unité : weber (Wb)

Remarque :

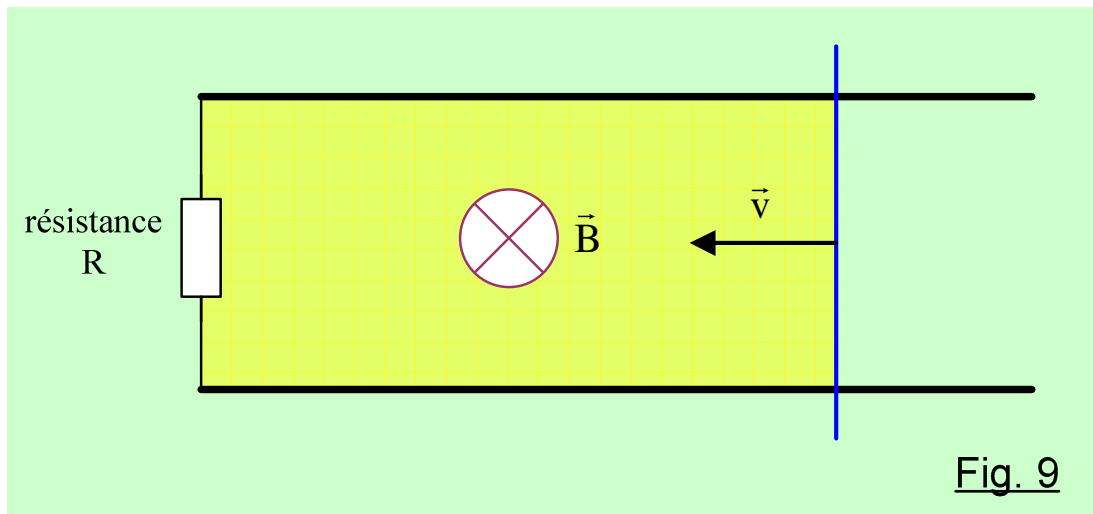
Le flux à travers un circuit électrique correspond au flux à travers la surface que délimite ce circuit.

### 3-2- Loi d'induction de Faraday

*Dans un circuit électrique qui est le siège d'une variation de flux magnétique, il se crée une fem induite  $e$  :*

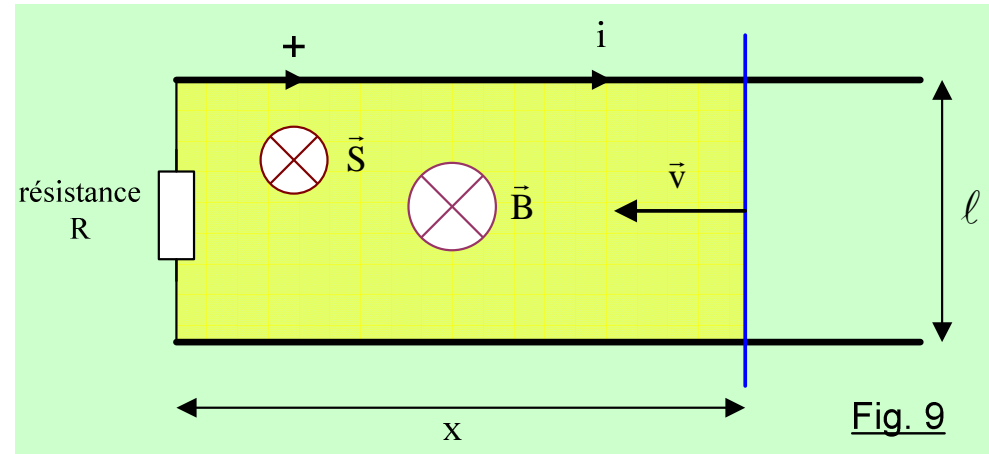
$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

- Exemple : expérience des « rails de Laplace »



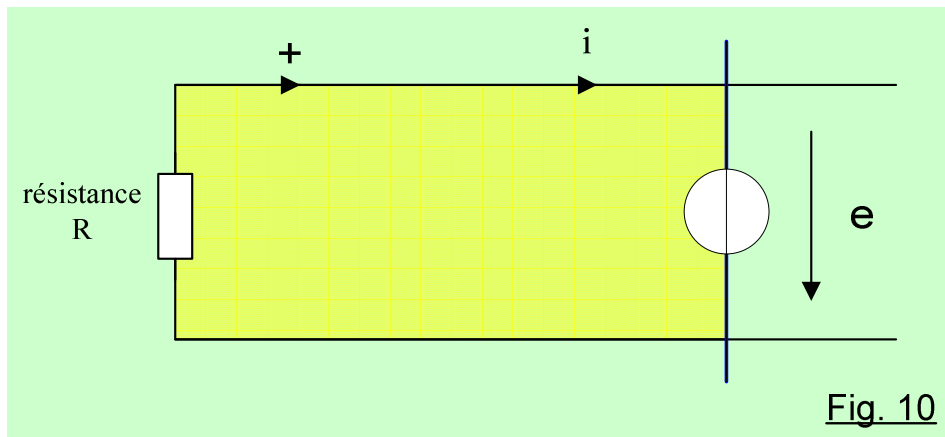
On déplace le rail à la vitesse  $v$

- ⇒ variation du flux magnétique dans le circuit
- ⇒ fem induite  $e$
- ⇒ un courant induit  $i$  apparaît.



$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = +B\ell x$$

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(B\ell x) = -B\ell \frac{dx}{dt} = +B\ell v$$



Loi d'Ohm :

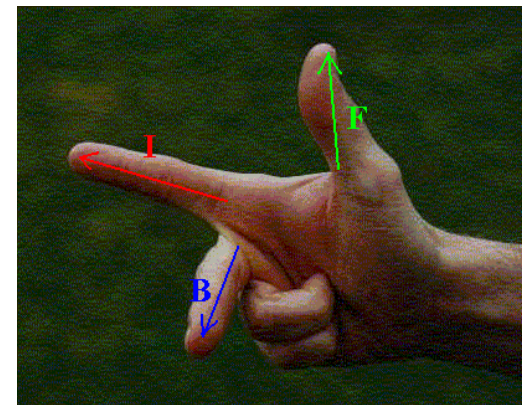
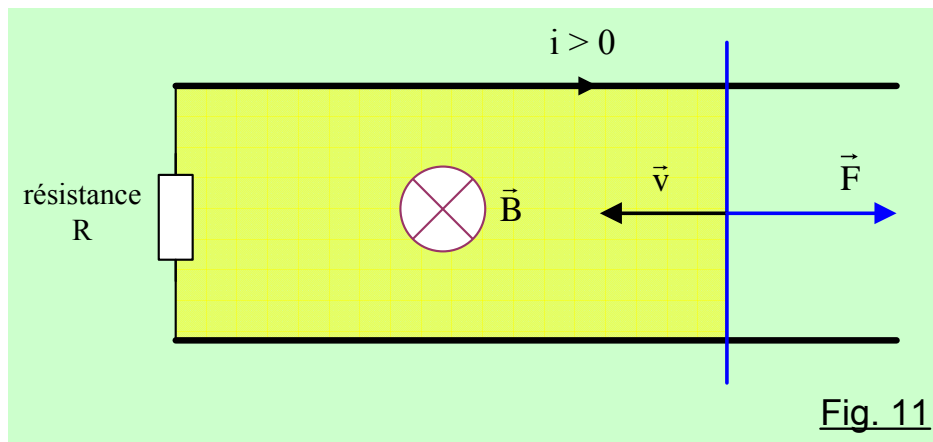
$$i = \frac{e}{R} = \frac{B\ell v}{R}$$



### 3-3- Loi de Lenz

*Le courant induit, par ses effets, s'oppose aux causes qui lui ont donné naissance.*

Reprenons l'exemple des rails de Laplace :



Le courant induit provoque dans le rail une force de Laplace qui *s'oppose* au mouvement de celui-ci.

### 3-4- Auto-induction

Un circuit électrique parcouru par un courant  $i$  est une source de champ magnétique.

Il crée son propre flux magnétique : on parle de *flux propre*.

$$\Phi \propto B$$

$$B \propto i$$

Le flux propre est donc proportionnel au courant électrique :

$$\Phi = L i$$

$L$  est l'*inductance* du circuit (en henry H).

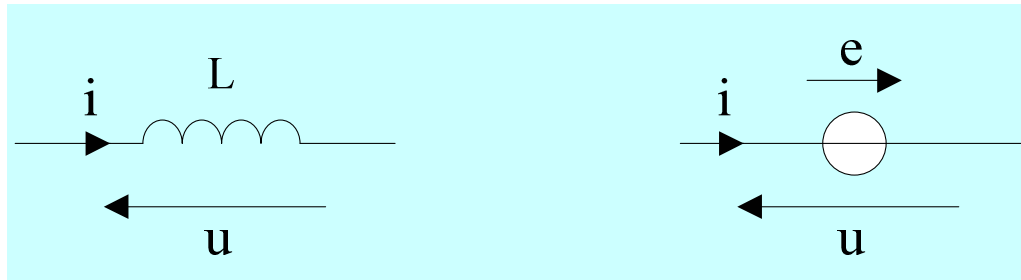
La fem auto-induite s'écrit donc :

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(Li) = -L\frac{di}{dt}$$

### 3-5- Bobine électrique

L'inductance  $L$  d'une bobine est grande.

- Relation entre courant et tension dans une bobine parfaite



$$u = -e = +L \frac{di}{dt}$$

(en convention récepteur)

- Energie emmagasinée

Une bobine contient de l'énergie sous forme électromagnétique :

$$W = \frac{1}{2} Li^2$$