

Expression de la force électromagnétique qui agit sur un élément de conducteur

LOI DE LAPLACE.

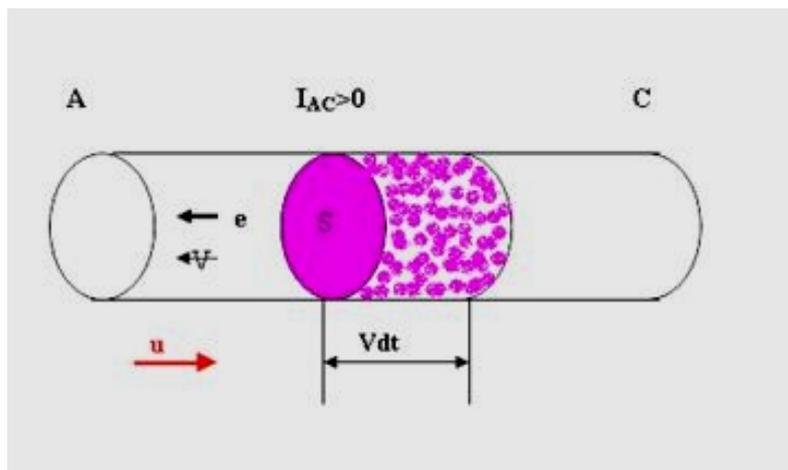
(Bibliographie: Guy Cabaret, Jean Brun, J.N Hazette éditions JB Baillière. 1980)

Quel est le principe de fonctionnement d'un moteur électrique? La loi de Laplace permet de donner une réponse simple à cette question ...

1-Modèle de la conduction électrique:

Soit un élément de conducteur métallique, rectiligne, de section S et de longueur AC . Il est parcouru par un courant constant $I_{AC} > 0$; ce courant est dû à un déplacement d'ensemble, à la vitesse constante \vec{V} , des électrons de conduction. L'intensité est le débit de quantité d'électricité qui traverse une section S . Soit dq , la quantité d'électricité véhiculée par les électrons de conduction qui traverse S pendant dt .

Ces électrons sont contenus dans un cylindre de longueur $V \cdot dt$ et de volume $S \cdot V \cdot dt$.



Si n est le nombre d'électrons par unité de volume, $-e$ étant la charge d'un électron, alors

$$dq = -e \cdot n \cdot S \cdot V \cdot dt.$$

et l'intensité: $I = dq/dt = -e \cdot n \cdot S \cdot V$.

vectorellement:

$$I_{AC} \vec{u} = -e \cdot n \cdot S \vec{V} \quad (1)$$

(avec $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$)

2-Calcul de la force électromagnétique sur l'élément de conducteur:

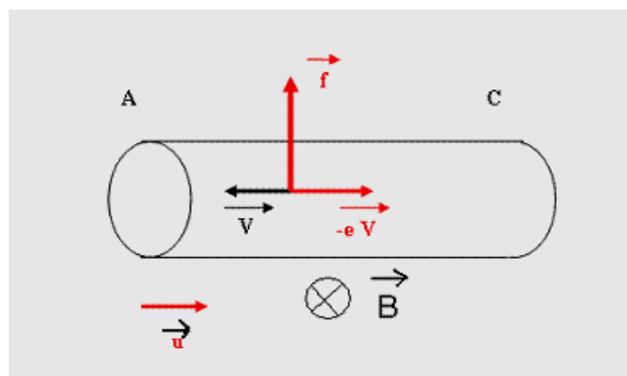
L'élément de conducteur est maintenant dans un champ magnétique uniforme \vec{B} . (nous supposons \vec{B} orthogonal à l'axe du fil cylindrique). Un électron de conduction de vitesse \vec{V} est soumis à l'action de la force de Lorentz:

$$\vec{f} = -e \cdot \vec{V} \wedge \vec{B} \quad (2)$$

L'électron ne sortira pas du conducteur car il est solidaire du réseau conducteur; la force est donc transmise à l'élément conducteur.

La force $d\vec{F}$ qui s'exerce sur le conducteur résulte de la somme des actions qui s'exercent sur les électrons de conduction en nombre N .

$$d\vec{F} = N \cdot \vec{f}$$



$N = n \cdot S \cdot AC$ soit: compte tenu de (2)

$$d\vec{f} = -e \cdot n \cdot S \cdot AC \cdot \vec{V} \wedge \vec{B}$$

Et en tenant compte de (1):

$$d\vec{F} = I_{AC} \cdot AC \cdot \vec{u} \wedge \vec{B} = I_{AC} \cdot \vec{AC} \wedge \vec{B}$$

Soit encore:

$$d\vec{F} = I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{B}$$

3-Loi de Laplace:

Un élément de conducteur cylindrique $d\mathbf{l}$, traversé par un courant d'intensité algébrique I , placé dans un champ magnétique uniforme \mathbf{B} est soumis à l'action d'une force électromagnétique $d\mathbf{F}$ telle que:

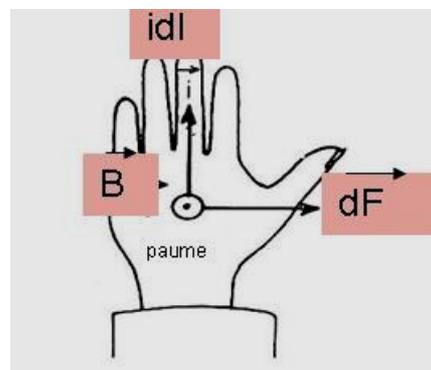
$$d\vec{F} = I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{B}$$

Caractéristique de la force:

- sa droite d'action passe par le milieu du conducteur .
- sa direction est perpendiculaire au plan $d\mathbf{l}$, \mathbf{B} .
- son sens est donné par le trièdre **direct**: $Id\mathbf{l}$, \mathbf{B} , $d\mathbf{F}$
- son intensité est: $dF=I \cdot dl \cdot B \cdot \sin(\angle dl, B)$

Méthode pour tracer les trois vecteurs dans l'espace(voir schéma ci-dessous)

Placer la main droite le long du conducteur, le courant circulant du poignet vers l'extrémité des doigts, la paume de la main tournée de telle sorte que \mathbf{B} perce la main du dos vers la paume, le pouce indique le sens de la force $d\mathbf{F}$

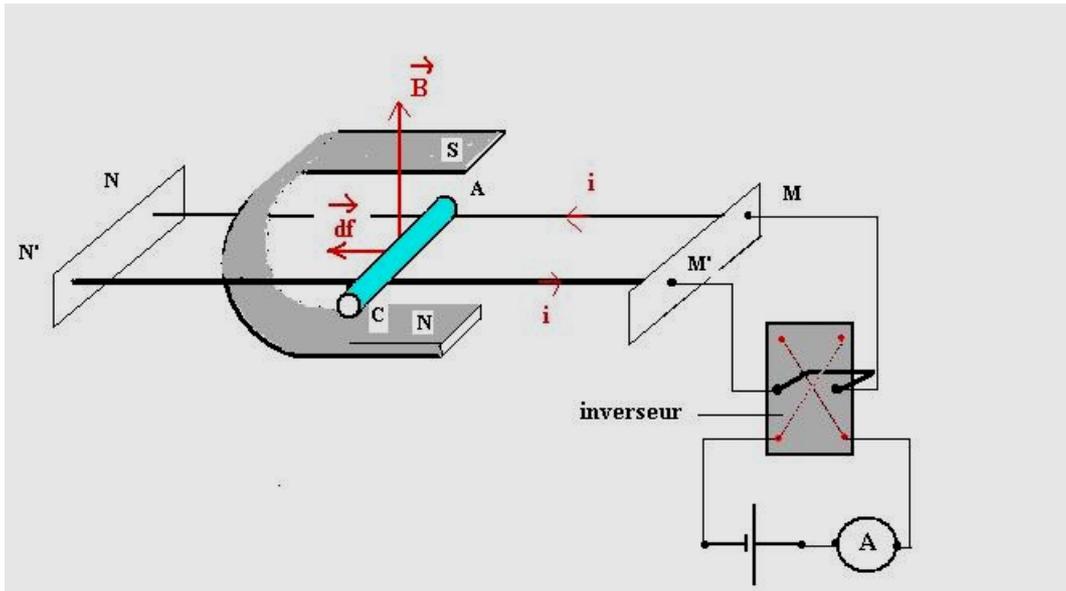


4-Expérience de vérification et applications:

a- Rails de Laplace:

Un conducteur AC peut rouler sur deux conducteurs parallèles horizontaux.

Les extrémités des conducteurs sont reliés à un générateur. Un ampèremètre contrôle le passage du courant. Le conducteur est placé dans l'entrefer d'un aimant en U qui établit un champ magnétique B vertical. La force de Laplace est mise en évidence par le déplacement du conducteur AC.

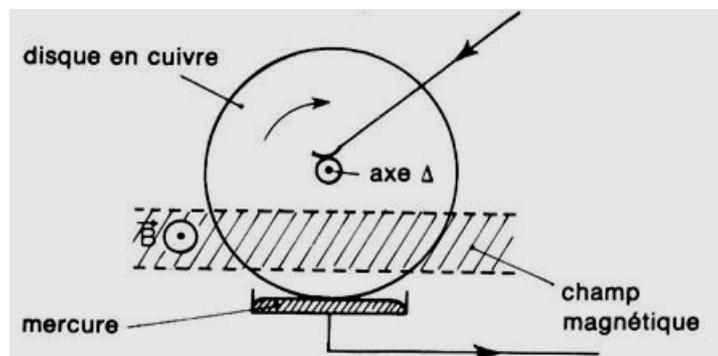


Changer le sens du courant et le sens du champ en retournant l'aimant Déterminer à chaque fois le sens de $d\mathbf{F}$ en utilisant la méthode de la main droite (ou la «règle des trois doigts») Vérifier le sens de déplacement du conducteur

Voir animation rails de Laplace

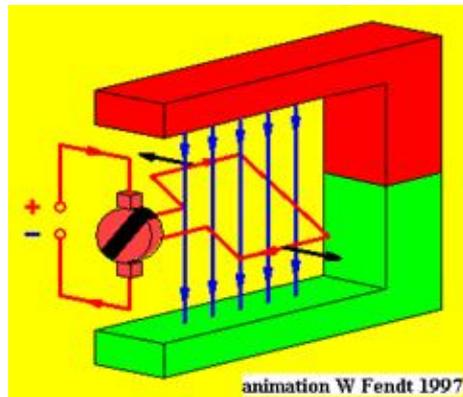
b- Roue de Barlow (le premier moteur électrique!):

Un disque de cuivre est mobile autour d'un axe horizontal Δ passant par son centre, il effleure à sa partie inférieure le mercure contenu dans une cuvette Un générateur permet de faire circuler le courant entre l'axe et le point de contact avec le mercure .La partie inférieure du disque est dans l'entrefer d'un aimant en U qui crée un champ magnétique dont les lignes horizontales sont perpendiculaires au plan du disque.Lorsque le courant et le champ sont simultanément établis le disque tourne sous l'action d'une force électromagnétique. Le retournement de l'aimant ou le changement de sens de I permet de changer le sens de rotation.



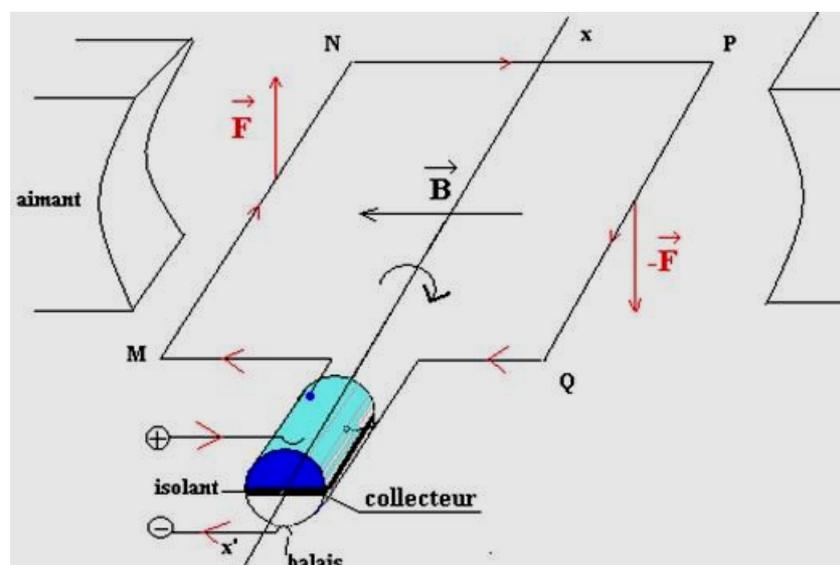
c- Principe du moteur à courant continu:

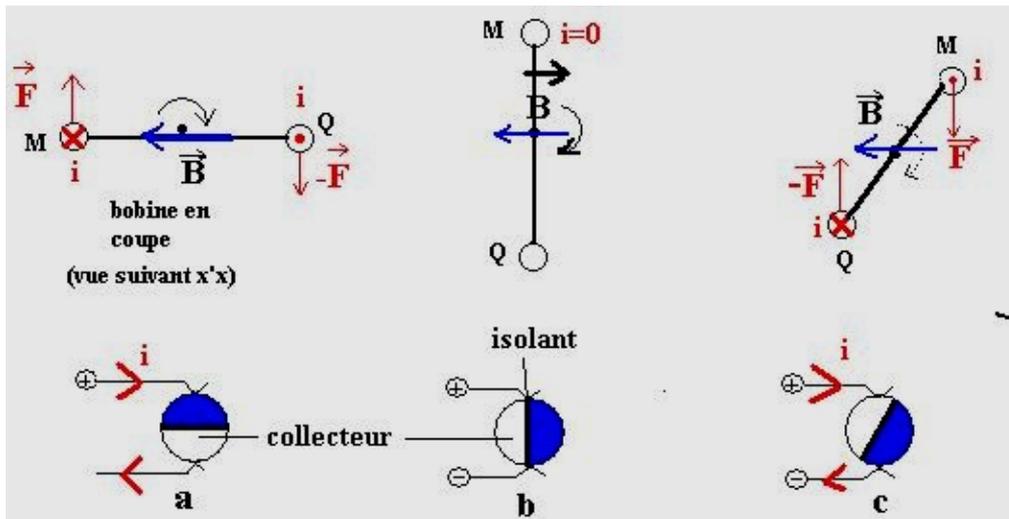
-moteur simplifié de démonstration:



Le moteur le plus simple est constitué d'un cadre rectangulaire MNPQ pouvant tourner autour de l'axe $x'x$ (voir schéma ci-dessous). Les extrémités du circuit sont reliées au collecteur cylindrique d'axe $x'x$.

Ce dernier est constitué de deux demi-cylindres séparés par une feuille isolante, située dans le plan du rectangle.





Deux balais diamétralement opposés frottent sur le collecteur et sont connectés aux bornes d'un générateur de courant continu. Le circuit est placé dans un champ magnétique \mathbf{B} .

Dans la position (fig a) le circuit est parallèle aux lignes de champ, le courant circule dans le sens MNPQ. Le côté MN est soumis à la force magnétique:

$$\vec{F} = IMNAB\vec{B}$$

Et le côté PQ à la force: $-\vec{F}$. Ce couple de forces met en rotation le cadre autour de l'axe $x'x$.

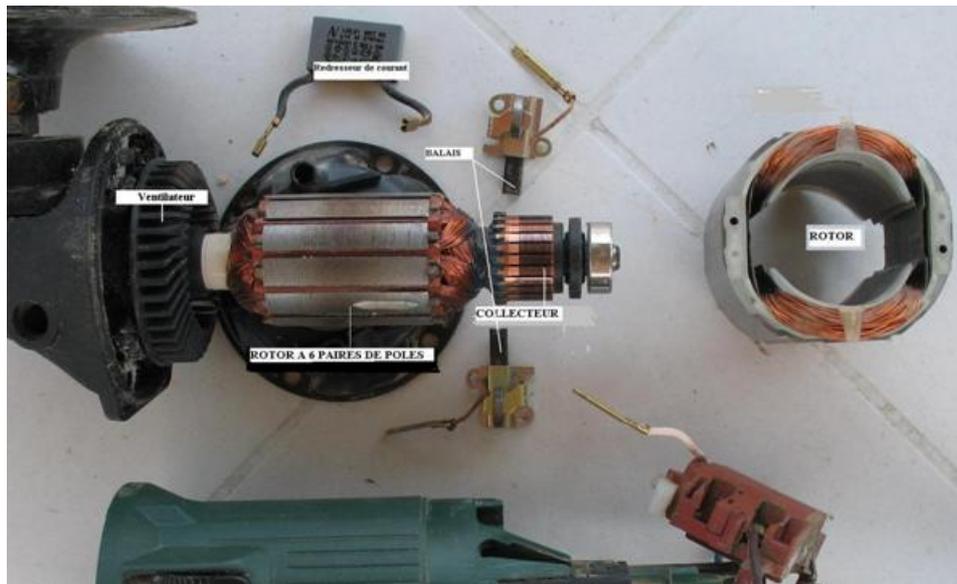
Dans la position (fig b) le plan du cadre est perpendiculaire au champ, l'isolant du collecteur passe au niveau des balais, le courant s'annule en changeant de sens, le moment des forces passe par sa valeur minimale. Cette position critique est franchie si le cadre est lancé.

Dans la position (fig c), la position critique est dépassée, le collecteur a joué le rôle d'un commutateur, le courant change de sens. Le moment des forces ne contrarie pas la rotation du cadre qui se fait toujours dans le même sens.

- moteur réel:

Les véritables moteurs comportent des bobines de plusieurs spires disposées de telle façon que le moment du couple ne soit jamais nul et que la position critique n'existe pas

Les bobines sont enroulées dans des noyaux ferromagnétiques qui augmentent fortement le champ magnétique.



Vous trouverez, ci-dessous une animation permettant la compréhension de son fonctionnement .