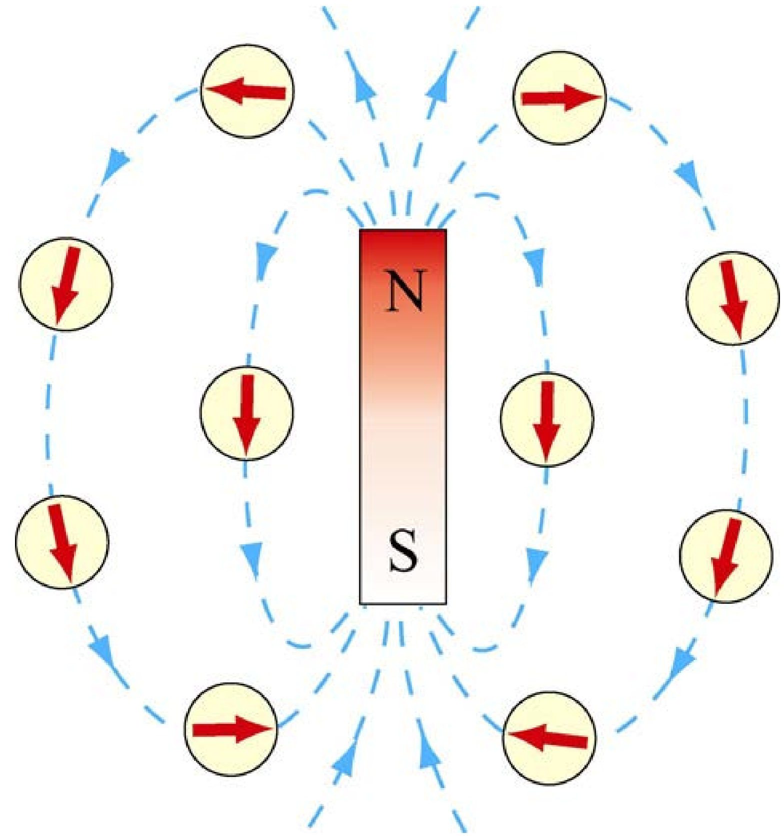
Institut supérieure des sciences appliquées et de technologie de Gafsa

Champ magnétique Force et moment

Chapitre VIII

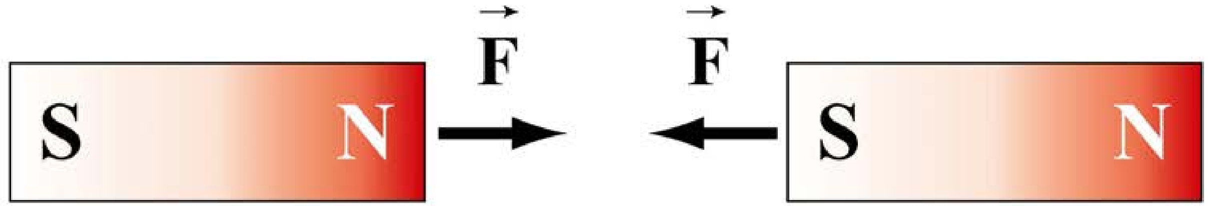
INTRODUCTION

- Les charges électriques produisent des champs électriques $\vec{E}$.
- Les bar aimantés (aimants) produisent des champs magnétiques $\vec{B}$.
- Un aimant est constitué de deux pôles désignés par Nord et Sud.
- Les Lignes de champ sortent de Nord et entrent par le sud.



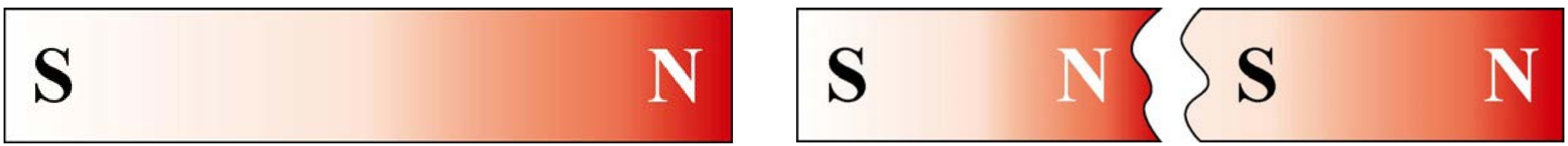
- En présence de deux aimants on a:

attraction



Répulsion

- Que se passe t-il si on coupe un aimant en deux? Peut on séparer les deux pôles?



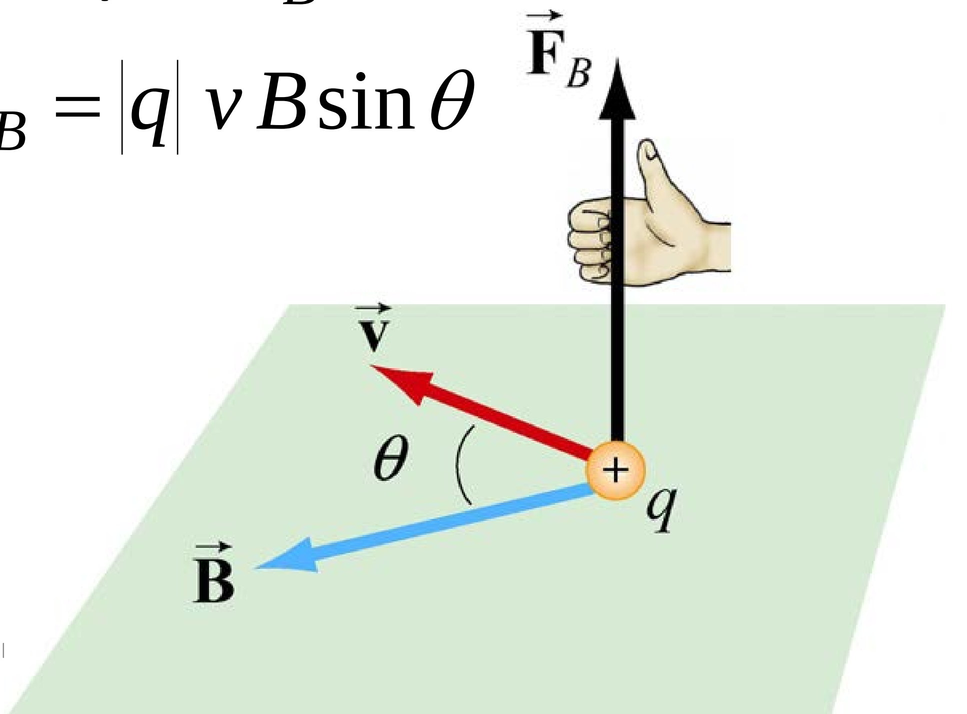
- Non On aura deux barres aimanté. Donc contrairement au charge électrique, les monopoles magnétiques n’existent pas dans la nature

DÉFINITION

Soit une charge électrique q en mouvement avec une vitesse $\vec{v}$ dans un champ magnétique $\vec{B}$.

- On a définit le champ électrique à partir de la force électrique $\vec{F}_e = q\,\vec{E}$
- De même, on définit le champ magnétique à partir de la force magnétique $\vec{F}_B$

$$\vec{F}_B = q\,\vec{v} \times \vec{B} \Longrightarrow F_B = |q|\, v\, B \sin\theta$$



Dans le S.I, l'unité de $\vec{B}$ est 1 tesla = 1 T

$$1\,\mathrm{T} = 1\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C.m/s}} = 1\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A.m}}$$

Questions de réflexions:

1. La force magnétique peut elle accélérer la charge q?

Non parce que la force $\vec{F}_B$ est perpendiculaire à la vitesse $\vec{v}$

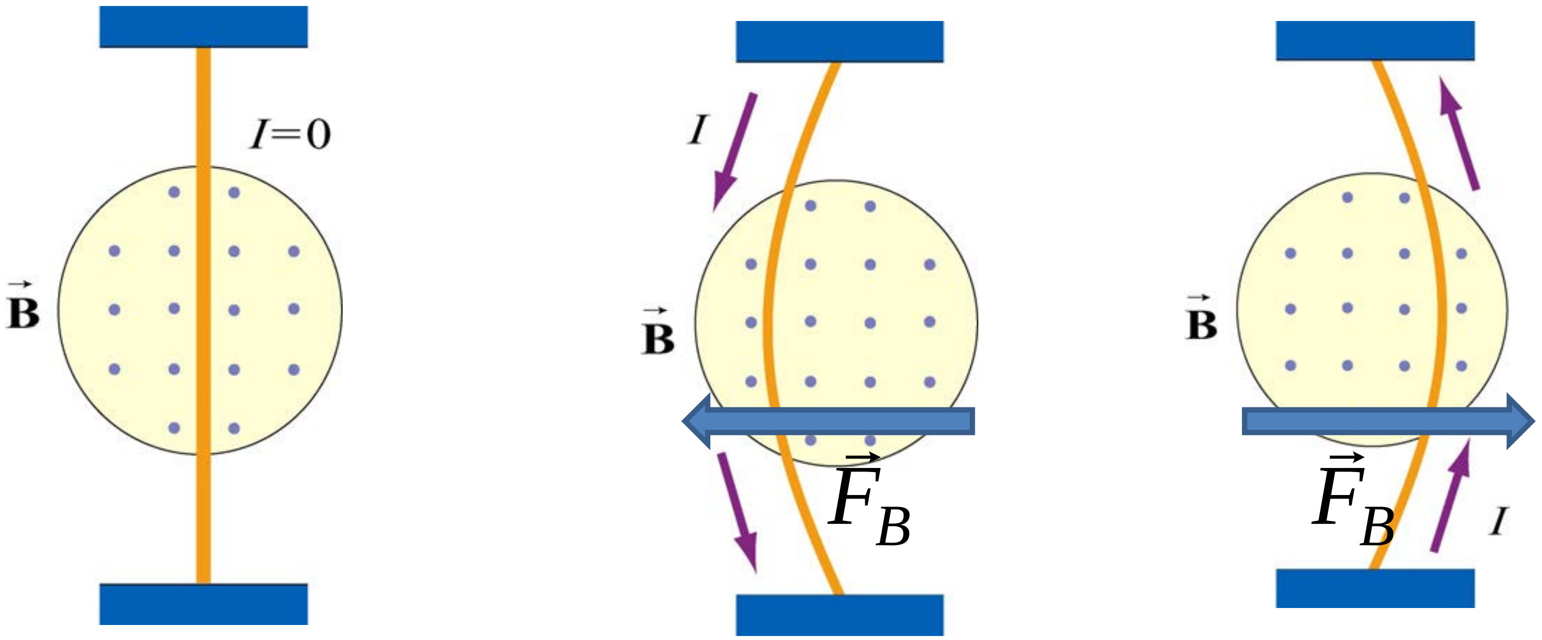
2. La force magnétique peut elle effectuer un travail sur la charge q?

Non car

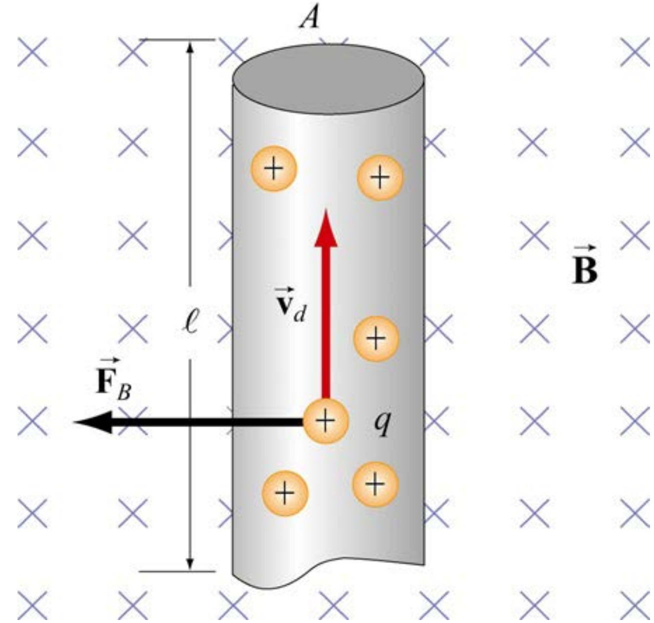
$$dW = \vec{\mathbf{F}}_B \cdot d\,\vec{\mathbf{s}} = q(\vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}}) \cdot \vec{\mathbf{v}}\,dt = q(\vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{v}}) \cdot \vec{\mathbf{B}}\,dt = 0$$

FORCE MAGNÉTIQUE AGISSANT SUR UN CONDUCTEUR PARCOURU PAR UN COURANT ÉLECTRIQUE

- Un courant électrique I est un ensemble de charge en mouvement. Donc en présence d'un champ magnétique $\vec{B}$ (sortant dans la figure ci-dessous), un fil conducteur parcourus par I est dévié par la force magnétique $\vec{F}_B$. Le sens de déviation dépend du sens du courant.



- Calcul de la force magnétique agissant sur le fil conducteur réctiligne:



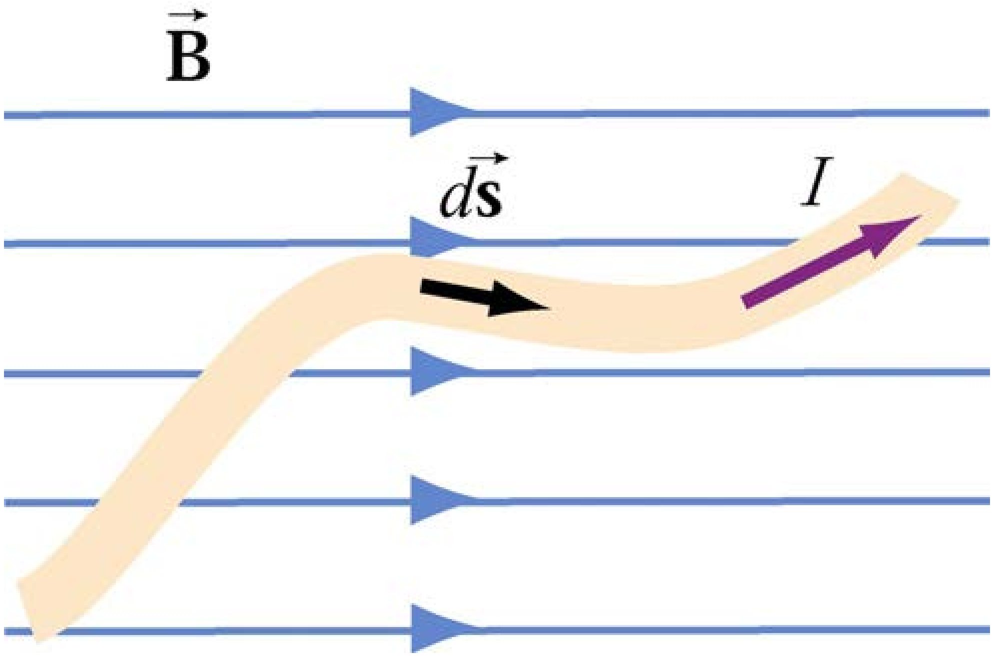
Soit un fil de longueur ℓ et de section A. Le champ $\vec{B}$ est entrant. Les charges se déplacent avec une vitesse de dérive $\vec{v}_d$ (chapitre 5). Si n est la densité de charge volumique alors la charge totale contenue dans ce segment est $Q_{tot} = q(nA\ell)$

$$\boxed{\vec{\mathbf{F}}_B = Q_{tot}\vec{\mathbf{v}}_d \times \vec{\mathbf{B}} = qnA\ell(\vec{\mathbf{v}}_d \times \vec{\mathbf{B}}) = I(\vec{\ell} \times \vec{\mathbf{B}})}$$

Puisque d'après le chapitre 5 on a $I = n\,q\,v_d\,A$

- Cas d’un fil conducteur de forme quelconque et un champ magnétique non uniforme:

- Soit un fil conducteur de forme quelconque parcouru par un courant I et placé dans un champ magnétique $\vec{B}$.



- Un élément de force magnétique $d\vec{F}_B$ agissant sur un éléments de longueurs $d\vec{s}$ s’écrit:

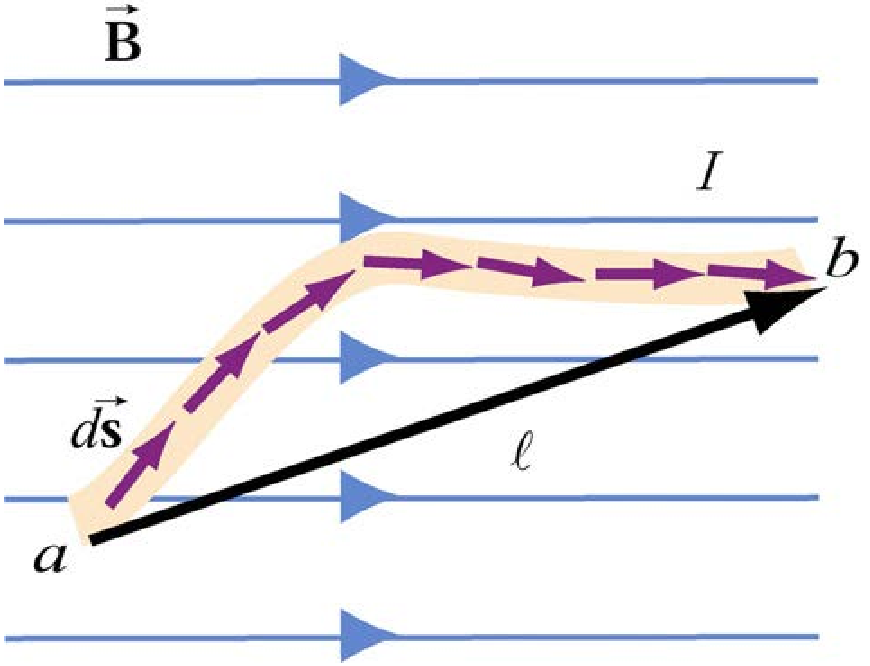
$$d\vec{F}_B = I\, d\vec{s} \times \vec{B}$$

- La force magnétique s'obtient en sommant les éléments de forces agissant sur les différents éléments de longueurs :

$$\vec{F}_B = \int d\vec{F}_B = I\int_a^b d\vec{s} \times \vec{B}$$

- Si le champ magnétique est uniforme alors:

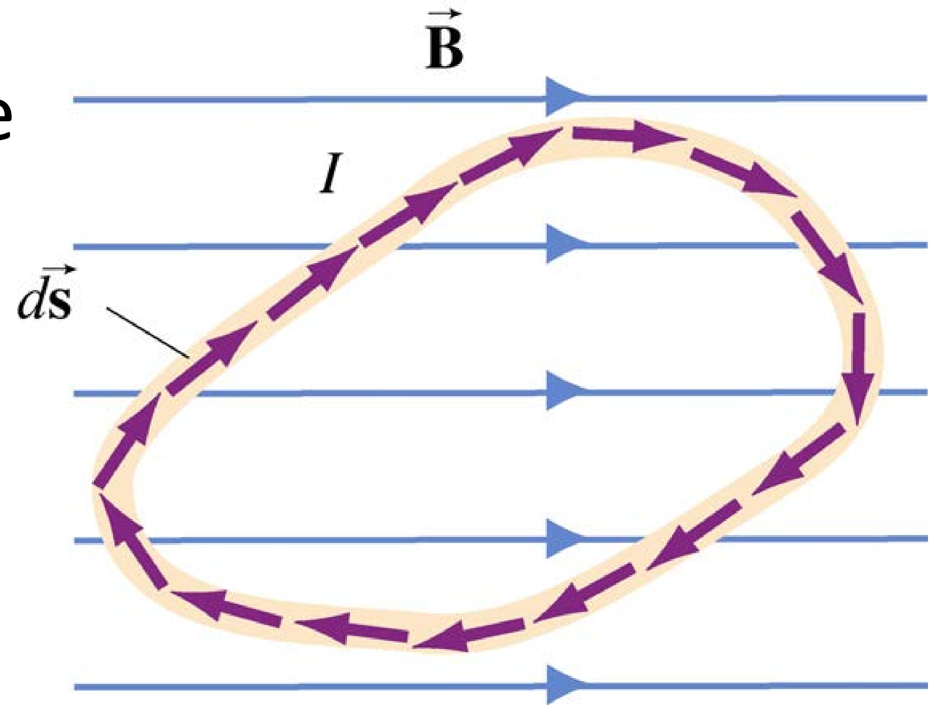
$$\vec{F}_B = I\left(\int_a^b d\vec{s}\right) \times \vec{B} = I\vec{\ell} \times \vec{B}$$



Exercice 1 : cas d'une boucle fermée

- Montrer que la force magnétique agissant sur une boucle fermée est nulle.

Solution:



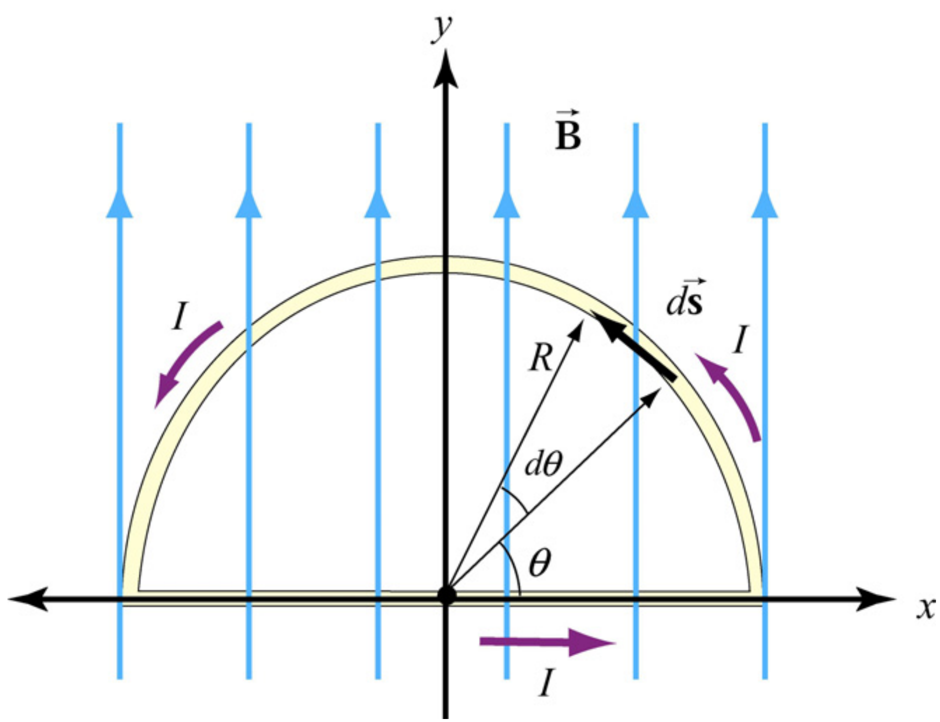
Si le circuit est une boucle fermée alors:

$$\vec{F}_B = I\left(\oint d\,\vec{s}\right)\times\vec{B}$$

Puisque l'intégrale de chemin sur une boucle est nul c.à.d. $\oint d\,\vec{s} = 0$ alors: $\vec{F}_B = \vec{0}$

▪Exercice 2 : Conducteur demi-circulaire

- Soit un fil conducteur (reposant sur la plan xy) courbé en forme d'un demi-cercle de rayon R . Il est parcouru par un courant I est et plongé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ (voir la Figure ci-contre)



- Trouver la force magnétique totale agissant sur ce conducteur.

- Solution Exercice 2:

Si $\vec{B} = B\,\hat{j}$. $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ sont les forces magnétiques agissant respectivement sur le segment rectiligne et sur le demi-cercle. En notant que la longueur de segment est $2R$ alors la force magnétique est $\boxed{\vec{F}_1 = I\left(2R\hat{\imath}\right)\times\left(B\,\hat{j}\right) = 2I\,R\,B\,\hat{k}}$

En notant que $d\vec{s} = ds\,\hat{\theta}$, or on a déjà montré que $\hat{\theta} = -\sin\theta\,\hat{\imath} + \cos\theta\,\hat{j}$ alors:

$$d\vec{F}_2 = Id\vec{s}\times B = IRd\theta\left(-\sin\theta\,\hat{\imath} + \cos\theta\,\hat{j}\right)\times B\,\hat{j}$$

$$d\vec{F}_2 = -IRB\sin\theta d\theta\,\hat{k}$$

$$\boxed{\vec{F}_2 = -IRB\int_0^{\pi}\sin\theta d\theta\,\hat{k} = -2IRB\,\hat{k}}$$

$$\vec{F}_t = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$$

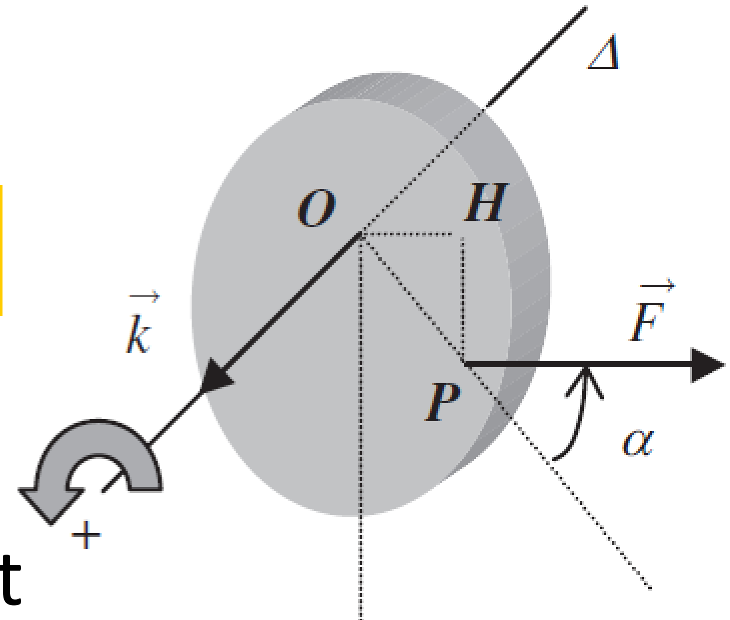
MOMENT DIPOLAIRE MAGNÉTIQUE

Rappel de Mécanique: Moment d'une force

- Soit un solide en rotation autour d'un axe fixe et soumis à une force $\vec{F}$ dont le point d'application est en P (voir Figure ci-dessous).

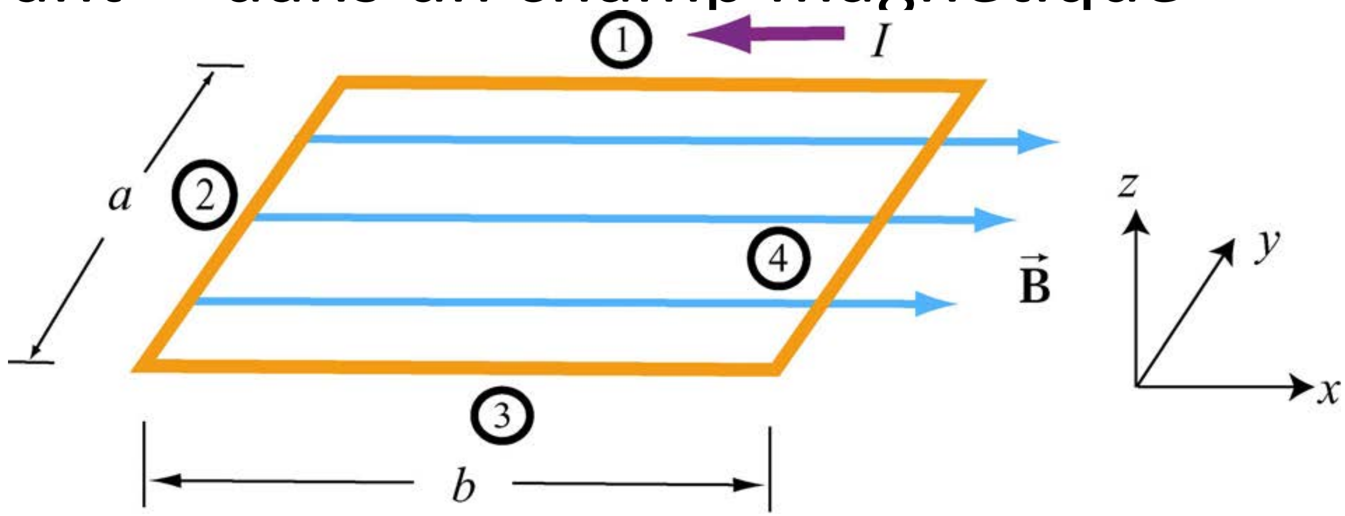
- Par définition, le moment de la force par rapport à O est donnée par: $\vec{\tau}_{\vec{F}/O} = \overrightarrow{OP} \times \vec{F}$

- Le moment de la force par rapport à (une droite qui passe par O et dirigée suivant le vecteur $\vec{k}$ est: $\vec{\tau}_{\vec{F}/\Delta} = \vec{\tau}_{\vec{F}/O} \bullet \hat{k}$



Moment de force sur une boucle de courant

- Qu'est ce qui se passe si on plonge une boucle (qui repose sur le plan x-y) parcourus par un courant I dans un champ magnétique $\vec{B} = B\hat{i}$?

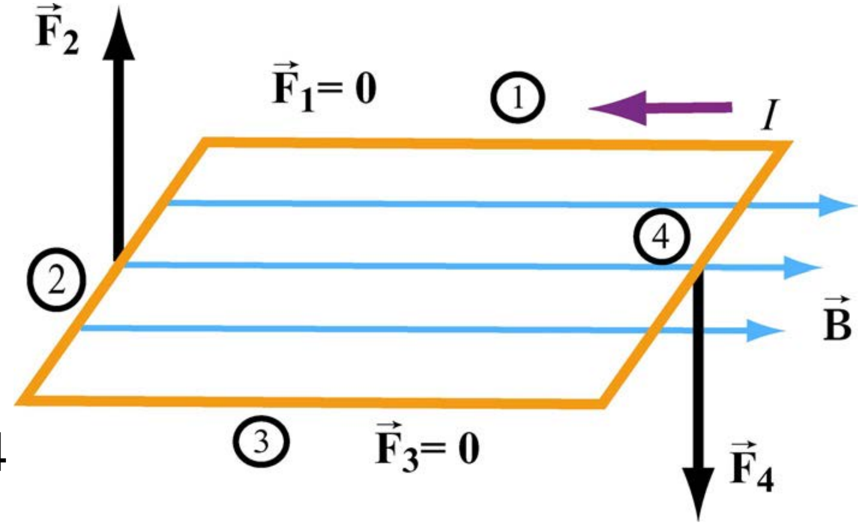


- On remarque que les forces magnétiques agissant sur le coté 1 et 3 sont nulles puisque ces segment sont parallèles à $\vec{B}$.

- Les forces magnétiques agissant sur les segment 2 et 4 sont: $\begin{cases} \vec{\mathbf{F}}_2 = I(-a\,\hat{\mathbf{j}}) \times (B\,\hat{\mathbf{i}}) = IaB\,\hat{\mathbf{k}} \\ \vec{\mathbf{F}}_4 = I(a\,\hat{\mathbf{j}}) \times (B\,\hat{\mathbf{i}}) = -IaB\,\hat{\mathbf{k}} \end{cases}$

- Donc $\vec{\mathbf{F}}_{\text{net}} = \vec{\mathbf{F}}_1 + \vec{\mathbf{F}}_2 + \vec{\mathbf{F}}_3 + \vec{\mathbf{F}}_4 = \vec{\mathbf{0}}$ comme prévus, mais $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ vont produire un moment de force résultant qui tend à faire tourner la boucle.

•Le moment de force par rapport au centre de la boucle est



$$\vec{\tau}_{\vec{F}/O} = \left(\frac{-b}{2}\hat{i}\right)\times\vec{F}_2 + \left(\frac{b}{2}\hat{i}\right)\times\vec{F}_4$$

$$= \left(\frac{-b}{2}\hat{i}\right)\times\left(IaB\hat{k}\right) + \left(\frac{b}{2}\hat{i}\right)\times\left(-IaB\hat{k}\right)$$

$$= \left(\frac{IabB}{2} + \frac{IabB}{2}\right)\hat{j} = IabB\,\hat{j} = IAB\,\hat{j}$$

Ou A est l'aire de la surface de la boucle

Donc puisque $\vec{A} = A\hat{k}$ on aura:

$$\boxed{\vec{\tau}_{\vec{F}/O} = I\vec{A}\times\vec{B}}$$

- La quantité $I\vec{A}$ est appelée moment magnétique dipolaire d'une boucle de courant et est noté $\vec{\mu}$.
- Si on a N boucle parcourue par un courant alors le moment magnétique s'écrit:

$\vec{\mu} = N I \vec{A}$ Son unité est $A.m^2$