



## Thème I. Ondes et signaux (Induction)

# Chapitre n°22 Actions d'un champ magnétique



*Pierre-Simon Laplace (1749-1827), physicien, astronome et mathématicien français a travaillé sur les probabilités, le mouvement des astres, sur la capillarité, la force à laquelle un fil parcouru par un courant électrique est soumis ...*

**Comment fonctionne un moteur électrique ? Quel est le rôle du champ magnétique dans le fonctionnement d'un moteur électrique ?**

### Pré-requis

- PCSI
  - Chapitre n°13. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique ou magnétique.
  - Chapitre n°20. Mouvement d'un solide.
  - Chapitre n°21. Champ magnétique.

### Objectifs du chapitre

Au chapitre 21, nous avons identifié les sources de champ magnétique : les aimants et les circuits traversés par un courant électrique. En outre, au chapitre 13, nous avons étudié le mouvement de particules chargées dans un champ magnétique : c'est la force de Lorentz magnétique,  $\vec{F}_m = q\vec{v} \wedge \vec{B}$ , qui est responsable de ce mouvement. Ici, on s'intéresse aux conséquences macroscopiques de cette force sur les systèmes possédant un moment magnétique : circuits électriques traversés par un courant électrique ou aimants permanents. On se limitera à des champs magnétiques uniformes à l'échelle de la taille des systèmes étudiés.

**Objectifs du chapitre :** introduire la force de Laplace, exprimer sa résultante, sa puissance et/ou son moment dans le cas où le système est une barre conductrice ou un cadre rectangulaire traversés par un courant ou un aimant.

### Plan du cours

#### I Force de Laplace 2

- I.1 Observations expérimentales . . . . . 2
- I.2 Force de Laplace . . . . . 2

#### II Barre conductrice en translation 3

- II.1 Position du problème . . . . . 3
- II.2 Résultante et puissance . . . . . 3

#### III Spire rectangulaire en rotation 4

- III.1 Position du problème . . . . . 4
- III.2 Résultante . . . . . 4
- III.3 Moment du couple . . . . . 5
- III.4 Puissance du couple . . . . . 5

#### IV Action sur un aimant 6

- IV.1 Action sur une boussole . . . . . 6
- IV.2 Effet d'un champ tournant . . . . . 6

### Ai-je bien appris mon cours ?

- 1 – 😊 – 😞 – Donner l'expression de la force de Laplace qui s'exerce sur une portion d'un circuit filiforme parcouru par un courant électrique et plongé dans un champ magnétique extérieur.
- 2 – 😊 – 😞 – Établir l'expression de la résultante des forces de Laplace qui s'exerce sur une barre conductrice plongée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire.
- 3 – 😊 – 😞 – Exprimer la puissance des forces de Laplace qui s'exerce sur une barre conductrice plongée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire.
- 4 – 😊 – 😞 – Donner l'expression du moment du couple subi par une spire rectangulaire, parcourue par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de côtés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.

- 5 – 😊 – 😞 – Donner l'expression de la puissance des actions mécaniques de Laplace qui s'exercent sur cette spire.
- 6 – 😊 – 😞 – Établir l'expression du moment du couple subi par cette spire.



FlashCards :

## I Force de Laplace

### I.1 Observations expérimentales

#### 👁 Expérience

On utilise le dispositif tiré du nom de Pierre-Simon de Laplace. On place une tige cylindrique et conductrice sur deux rails conducteurs et horizontaux dans l'entrefer d'un aimant en U qui crée un champ magnétique stationnaire et (quasi) uniforme.

<https://www.youtube.com/watch?v=d0cWSKQg6xs>



- Q1. On fait circuler un courant permanent dans les barres et la tige. Qu'observez-vous ?
- Q2. On change le sens du courant. Qu'observez-vous ?
- Q3. On tourne l'aimant en U de 180°. Quelle grandeur modifie-t-on et comment ? Qu'observez-vous ?

### I.2 Force de Laplace

**Capacité exigibles :** Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme.

#### ♥ À retenir : Force de Laplace

Soit une portion  $MN$  d'un circuit filiforme fermé parcouru par un courant électrique  $I$ , plongée dans un champ magnétique extérieur  $\vec{B}_{\text{ext}}$ .

On définit l'élément de longueur  $d\vec{\ell}_P$  dirigé dans le sens du courant  $I$ , et tangent au conducteur en  $P$ .

L'élément de conducteur  $d\vec{\ell}_P$  au niveau du point  $P$  subit la force élémentaire de Laplace  $d\vec{F}_{\mathcal{L}}(P)$  :

$$d\vec{F}_{\mathcal{L}}(P) = \underline{\hspace{10cm}}$$

Le fil conducteur  $MN$  subit la force de Laplace  $\vec{F}_{\mathcal{L}}$  :

$$\vec{F}_{\mathcal{L}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

Si le conducteur est fermé, alors on note la force de Laplace :

$$\vec{F}_{\mathcal{L}} = \oint_{P \in \text{circuit fermé}} I d\vec{\ell}_P \wedge \vec{B}_{\text{ext}}(P)$$

Les intégrales doivent être calculées dans le sens du courant.

**⚠ Attention – NE CONFONDEZ PAS :**

le champ magnétique propre créé par le circuit lui-même, et le champ magnétique extérieur imposé au circuit par un élément extérieur au circuit.

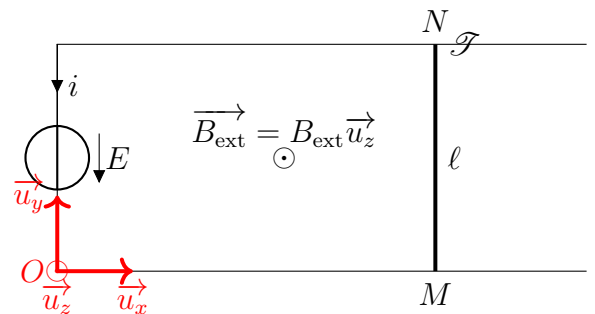
**⚠ Attention – NE CONFONDEZ PAS :**

- Force de Lorentz : force qui s'exerce sur une particule chargée en mouvement dans  $(\vec{E}, \vec{B})$ .
  - Force de Laplace : force qui s'exerce sur un conducteur parcouru par un courant électrique plongé dans  $\vec{B}$ .
- (Physiquement les deux ont la même origine ...)

## II Barre conductrice en translation

### II.1 Position du problème

Une tige  $\mathcal{J}$ , conductrice, de longueur  $\ell$  est posée sur deux rails, eux aussi conducteurs, nommés rails de Laplace. L'ensemble forme un circuit électrique fermé, parcouru par un courant  $i$ , créé par un générateur de fem  $E$ . L'ensemble est plongé dans un champ magnétique extérieur uniforme et permanent  $\vec{B}_{\text{ext}} = B_{\text{ext}} \vec{u}_z$ , orthogonal au plan des rails.



### II.2 Résultante et puissance

**Capacité exigibles :** Établir et connaître l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans le champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire.

#### Exercice à maîtriser n°1 – Barre conductrice (1)

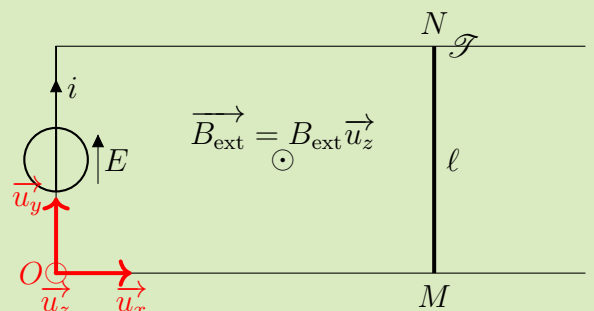
On souhaite exprimer ici la résultante de la force de Laplace s'exerçant sur la tige  $[MN]$ .

- Q1. Donner l'expression de la force de Laplace s'exerçant sur la barre  $[MN]$  à l'aide d'une intégrale.  
*On fera attention aux bornes de l'intégrale qui doivent être dans le sens du courant.*
- Q2. Exprimer  $d\vec{\ell}_P$  et  $\vec{B}_{\text{ext}}$  dans la base cartésienne.
- Q3. Exprimer  $\vec{F}_{\mathcal{J}}$  en fonction de  $i$ ,  $\ell$ ,  $B_{\text{ext}}$  et d'un vecteur unitaire.
- Q4. Exprimer la puissance de la force de Laplace s'exerçant sur la barre précédente.

#### Exercice à maîtriser n°2 – Barre conductrice (2)

On change l'orientation du circuit.

- Q1. Exprimer la force de Laplace qui s'exerce sur la tige.
- Q2. Exprimer la puissance de la force de Laplace s'exerçant sur la barre précédente.

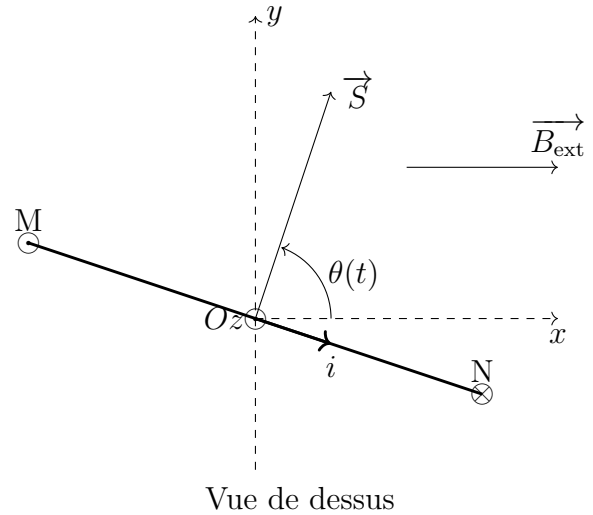
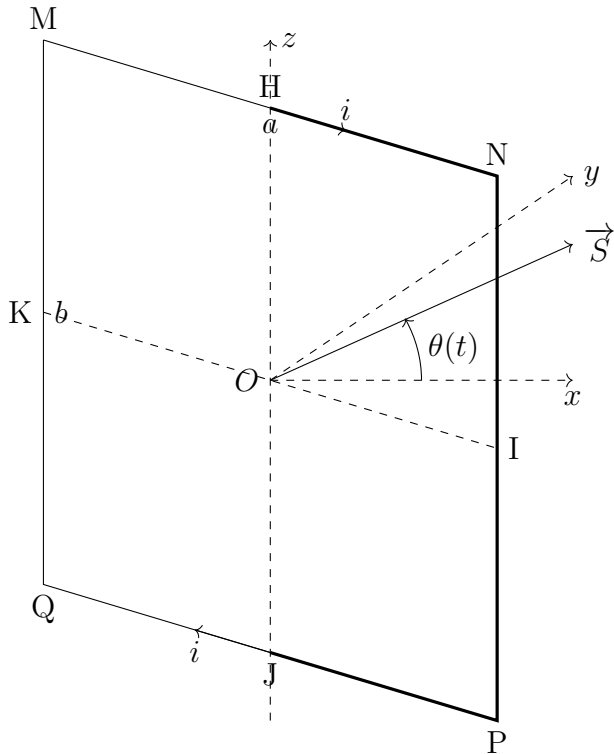


### III Spire rectangulaire en rotation

#### III.1 Position du problème

On étudie une spire rectangulaire MNPQ parcourue par un courant  $i$ , qui peut tourner autour de l'axe  $(Oz)$ . On note  $MN = PQ = a$ ,  $NP = QM = b$  et  $S = ab$ . La spire est plongée dans un champ magnétique  $\vec{B}_{\text{ext}} = B_{\text{ext}}\vec{u}_x$  permanent et uniforme, créé par un environnement extérieur.

**Objectif :** déterminer la résultante et le moment par rapport à  $O$  de l'action mécanique que subit la spire de la part du champ magnétique.



#### III.2 Résultante

La résultante des forces de Laplace s'exerçant sur la spire rectangulaire est  $\vec{F}_{\mathcal{L}} = \oint_{\text{spire}} d\vec{F}_{\mathcal{L}} = \oint_{\text{spire}} i d\vec{\ell} \wedge \vec{B}_{\text{ext}}$

Le vecteur champ magnétique étant uniforme sur le cadre, on peut le sortir de l'intégrale,  $i$  de même.

$$\text{Ainsi : } \vec{F}_{\mathcal{L}} = i \left( \oint_{\text{spire}} d\vec{\ell} \right) \wedge \vec{B}_{\text{ext}} = i \left( \int_M^N d\vec{\ell} + \int_P^Q d\vec{\ell} + \int_N^P d\vec{\ell} + \int_Q^M d\vec{\ell} \right) \wedge \vec{B}_{\text{ext}}$$

$$\text{Or : } \int_M^N d\vec{\ell} = - \int_P^Q d\vec{\ell} \text{ et } \int_N^P d\vec{\ell} = - \int_Q^M d\vec{\ell}$$

Les intégrales précédentes s'annulent deux à deux, donc

La résultante des forces de Laplace s'exerçant sur une spire rectangulaire plongée dans un champ magnétique extérieur uniforme est nulle.

### III.3 Moment du couple

**Capacité exigibles** : Établir et connaître l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique de la spire rectangulaire.

#### 🌿 Démonstration à maîtriser n°3 – Moment du couple subi par la spire rectangulaire

Q1. Exprimer le moment de l'action mécanique de Laplace subie par la spire, puis le réécrire sous la forme de la somme de quatre intégrales.

Sur chaque côté de la spire, la force élémentaire  $d\vec{F}_{\mathcal{L}}$  s'exerçant sur  $d\vec{\ell}_A$  est uniforme, indépendante de la position sur ce côté de la spire. Ainsi, le **moment résultant de Laplace s'exerçant sur un côté est égal au moment de la résultante des forces s'exerçant au milieu du côté** considéré.

Q2. Montrer que les moments des actions de Laplace s'exerçant sur  $[MN]$  et  $[PQ]$  sont nuls.

Q3. Exprimer le moment des actions de Laplace s'exerçant sur  $[NP]$  en fonction de  $i$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $B_{\text{ext}}$ ,  $\theta$  et  $\vec{u}_z$ .  
En déduire le moment s'exerçant sur  $[QM]$ .

Q4. En déduire le moment résultant des actions mécaniques de Laplace en fonction de  $i$ ,  $S$ ,  $B_{\text{ext}}$ ,  $\theta$  et  $\vec{u}_z$ .

Q5. Montrer que le moment précédent est égal à  $\vec{M} \wedge \vec{B}_{\text{ext}}$ .

### III.4 Puissance du couple

**Capacité exigibles** : Établir et connaître l'expression de la puissance du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique de la spire rectangulaire.

#### 🌿 Démonstration à maîtriser n°4 – Puissance du couple

Q1. Rappeler l'expression de la puissance d'une action mécanique s'exerçant sur un solide en rotation autour d'un axe fixe.

Q2. En déduire l'expression de la puissance des actions mécaniques de Laplace s'exerçant sur la spire étudiée précédemment.

#### ♥ À retenir : Actions mécaniques de Laplace sur une spire en rotation

Les **actions mécaniques de Laplace** s'exerçant sur une spire plane, en rotation autour d'un axe de symétrie passant par les deux milieux de côtés opposés, parcourue par un courant  $i$ , de moment magnétique  $\vec{M} = i\vec{S}$ , et placée dans un champ magnétique  $\vec{B}_{\text{ext}}$  extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe de rotation, sont un **couple**, de

■ **Moment** :

$$\vec{\Gamma}_{\mathcal{L}} = \vec{M} \wedge \vec{B}_{\text{ext}} = i\vec{S} \wedge \vec{B}_{\text{ext}}$$

Par abus de langage, on parlera souvent du « couple » plutôt que du « moment du couple ».

■ **Puissance** :

$$\mathcal{P}_{\mathcal{L}} = \vec{\Gamma}_{\mathcal{L}} \times \omega$$

Le moment du couple subit par une bobine plate en rotation constitué de  $N$  spires identiques, parcourues par le même courant d'intensité  $i$  de moment magnétique  $\vec{M} = Ni\vec{S}$  s'écrit :

$$\vec{\Gamma}_{\mathcal{L}} = Ni\vec{S} \wedge \vec{B}_{\text{ext}}$$

## IV Action d'un champ magnétique sur un aimant

### IV.1 Action d'un champ magnétique sur une boussole

**Capacité exigible** : Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'action d'un champ magnétique uniforme sur un aimant.

#### ♥ À retenir : Action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant

Un aimant de moment magnétique  $\vec{M}$  plongé dans un champ magnétique extérieur uniforme  $\vec{B}_{\text{ext}}$  est soumis à l'action mécanique de moment

$$\vec{\Gamma} = \vec{M} \wedge \vec{B}_{\text{ext}}$$

#### 👁 Expérience

Expérimentalement, on observe qu'une boussole (qui est un petit aimant), de moment magnétique  $\vec{M}$  s'oriente dans le sens du champ magnétique dans lequel elle est plongée.

La position pour laquelle le moment magnétique  $\vec{M}$  et champ magnétique extérieur uniforme  $\vec{B}_{\text{ext}}$  sont colinéaires et de même sens est une position d'équilibre stable.

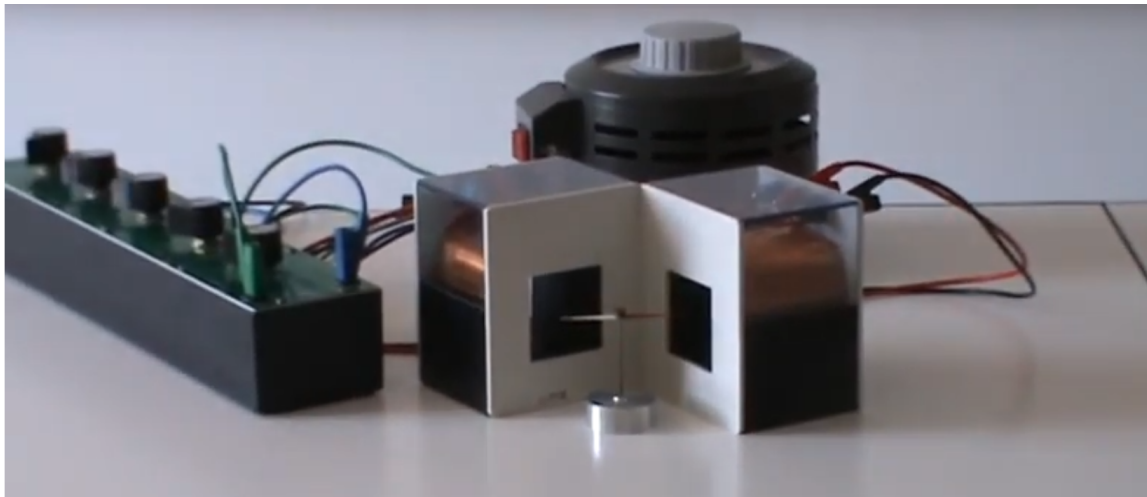
Si on écarte légèrement la boussole de cette position d'équilibre, elle oscillera autour de la position d'équilibre stable (c'est-à-dire du sens du champ magnétique extérieur) à une fréquence dépendant du moment magnétique de la boussole et du champ magnétique.

### IV.2 Effet moteur d'un champ magnétique tournant

**Capacité exigible** : Créer un champ magnétique tournant à l'aide de deux ou trois bobines et mettre en rotation une aiguille aimantée.

#### 👁 Expérience : Création d'un champ tournant

<https://www.youtube.com/watch?v=BmJTWr8Fbqk>



Deux bobines  $\mathcal{B}_x$  et  $\mathcal{B}_y$  identiques d'axes orthogonaux entre eux, sont alimentées par des courants sinusoïdaux de même pulsation  $\omega$  et de même amplitude  $i_0$ . Les deux courants sont en quadrature de phase.

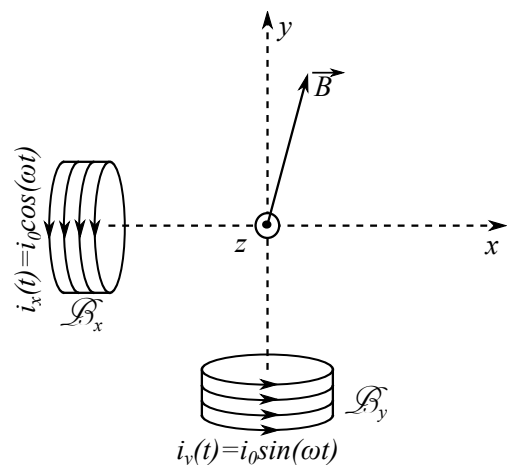
Ces deux bobines créent chacune un champ magnétique en  $O$  :

— La bobine  $\mathcal{B}_x$  crée le champ  $\vec{B}_x = K i_x(t) \vec{u}_x = K i_0 \cos(\omega t) \vec{u}_x$

— La bobine  $\mathcal{B}_y$  crée le champ  $\vec{B}_y = K i_y(t) \vec{u}_y = K i_0 \sin(\omega t) \vec{u}_y$

avec  $K$  un facteur constant qui dépend de la géométrie des bobines. D'après le principe de superposition, les champs créés par les deux bobines s'ajoutent :

$$\vec{B} = \vec{B}_x + \vec{B}_y$$



On place une aiguille aimantée (boussole) au centre  $O$  du dispositif précédent.

- Q1. Noter vos observations.
- Q2. Représenter le champ  $\vec{B}$  aux instants  $t = 0$ ;  $t_1 = \frac{\pi}{4\omega}$ ;  $t_2 = \frac{\pi}{2\omega}$ ;  $t_3 = \frac{3\pi}{4\omega}$ ;  $t_4 = \frac{\pi}{\omega}$ ;  $t_5 = \frac{3\pi}{2\omega}$ ;  $t_6 = \frac{2\pi}{\omega}$ .  
Comment est le champ ainsi créé?
- Q3. Expliquer les observations en lien avec la forme du champ magnétique et le paragraphe précédent

L'expérience précédente montre le **principe d'un moteur synchrone**, qui est constitué :

- d'un **stator** constitué de plusieurs bobines parcourus par des courants sinusoïdaux déphasés les uns par rapport aux autres ;
- d'un **rotor** constitué d'un aimant permanent ou d'un bobinage parcouru par un courant permanent pour engendrer un moment magnétique  $\vec{M}$ .

La vitesse de rotation du rotor est identique à la vitesse de rotation du champ magnétique tournant, c'est pour cela qu'on parle de moteur synchrone.

## □ IDÉES DE PHYSIQUE

# Le propulseur électromagnétique

*Imaginé sans doute dès le XIX<sup>e</sup> siècle, testé par un ingénieur français il y a près de 100 ans, le canon électromagnétique devient enfin une réalité.*

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

**M**ars 1917, Argenteuil, en France. L'ingénieur André Louis Octave Fauchon-Villeplée fait la démonstration d'un dispositif imaginé bien avant lui : un canon électromagnétique. Un projectile de 50 grammes et long de 27 centimètres est propulsé par la seule force d'un courant électrique à 200 mètres par seconde, et traverse 25 mètres plus loin une planche de bois épaisse de huit centimètres.

Décembre 2010, Dalgren, Virginie, aux États-Unis. Fondé sur le même principe, un « railgun » propulse un projectile de plus de dix kilogrammes à huit fois la vitesse du son, soit plus de 2 500 kilomètres par heure (695 mètres par seconde). En un siècle, les techniques ont mûri... au point que l'on commence à envisager sérieuse-

ment les canons électromagnétiques pour équiper des navires de guerre et même pour placer en orbite basse de tout petits satellites. Comment fonctionnent ces dispositifs et quelles sont leurs limites ?

## Des rails, un courant et un champ

La force en jeu dans les canons électromagnétiques est la même que celle qui met en mouvement les moteurs électriques : la force dite de Laplace, qu'exerce un champ magnétique sur un conducteur électrique où circule un courant.

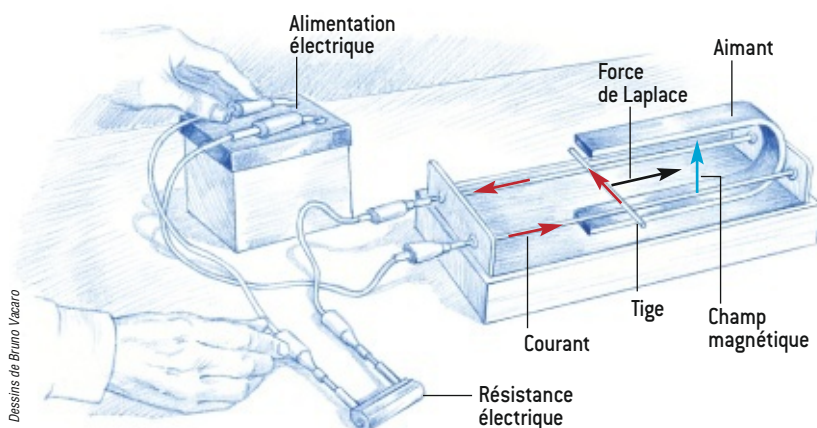
Lorsqu'un conducteur linéaire est perpendiculaire au champ magnétique, l'intensité de la force exercée par unité de longueur est égale au produit du champ magnétique

par l'intensité du courant ; sa direction est perpendiculaire à la fois au fil conducteur et au champ. Illustrons cette force de Laplace avec un dispositif linéaire dont la géométrie est semblable à celle du canon électromagnétique. C'est l'expérience dite des rails de Laplace (voir la figure 1).

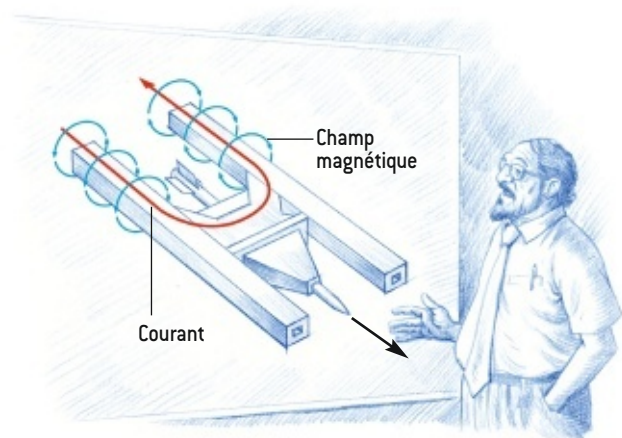
Deux rails conducteurs parallèles sont connectés aux bornes d'un générateur, et un aimant en fer à cheval crée un champ magnétique vertical uniforme entre les deux rails. Plaçons une tige métallique à cheval sur les rails. Lorsqu'on ferme le circuit électrique, cette tige est traversée par un courant. Elle subit alors une force magnétique et commence à rouler sur les rails. À mesure que la tige avance, son contact avec les rails est maintenu ; elle accélère et, si le dispositif est ouvert, est éjectée.

Prenons un aimant ordinaire produisant un champ de 50 milliteslas ; dopons l'expérience en utilisant une alimentation électrique de type « poste à souder », qui peut fournir un courant de 60 ampères ; et plaçons sur deux rails écartés de un centimètre une tige métallique pesant un dixième de gramme. La force de Laplace, égale à 30 millinewtons, est faible, mais elle suffit à produire une accélération de 300 mètres par seconde carrée, soit plus de 30 fois l'accélération de la pesanteur. Au bout des rails, longs de cinq centimètres, la tige est éjectée à la vitesse de six mètres par seconde.

Pas de quoi faire un lanceur efficace, mais c'est un bon début. Pour éjecter à plus grande vitesse un projectile plus lourd, il suffira d'augmenter le champ magnétique, le courant électrique et la longueur du propulseur.



**1. LORSQU'UNE CHARGE ÉLECTRIQUE  $q$**  animée d'une vitesse  $v$  est soumise à un champ magnétique  $B$ , elle subit une force magnétique égale au produit vectoriel  $q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ . Cette « force de Lorentz » devient, à l'échelle d'un courant électrique, la « force de Laplace ». Pour un courant perpendiculaire au champ, la force de Laplace par unité de longueur de circuit est d'intensité égale à  $I B$ , où  $I$  est l'intensité du courant. Ainsi, dans l'expérience ci-dessus, la tige libre est propulsée.



**2. UN CANON ÉLECTROMAGNÉTIQUE** engendre une force de Laplace sur le projectile. À la différence de l'expérience des « rails de Laplace », le champ magnétique n'est pas fourni par un aimant extérieur, mais par le courant circulant dans les rails lui-même (tout courant électrique engendre un champ magnétique autour de lui). Pour un courant assez fort et un écartement des rails réduit, le projectile subit un champ intense et bien orienté.

**3. L'UTILISATION DE CANONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES** pour placer en orbite basse des petits satellites de quelques kilogrammes est envisagée. Dans l'un des projets ayant été étudiés, le dispositif de lancement, incliné de 30 degrés, est long de 180 mètres, tandis que le projectile a une longueur de trois mètres et un diamètre de 12 centimètres ; la puissance de la source d'électricité doit être d'une dizaine de mégawatts, afin de fournir une énergie de l'ordre du gigajoule pour chaque tir.

Pour ce faire, on peut profiter du fait que les deux conducteurs qui apportent le courant à la tige créent eux-mêmes un champ magnétique. Quel est son ordre de grandeur ? Il nous est donné par la définition de l'ampère : c'est l'intensité d'un courant électrique qui, en circulant dans deux conducteurs linéaires parallèles distants de un mètre, crée entre ces deux conducteurs une force de  $2 \times 10^{-7}$  newton par unité de longueur. Cette force étant le produit de l'intensité électrique (un ampère) par le champ magnétique, on en déduit que le champ magnétique créé par un courant de un ampère à une distance de un mètre est de  $2 \times 10^{-7}$  tesla.

## Profiter doublement du courant

Considérons maintenant le test effectué en 1917 par Fauchon-Villeplée. Le courant électrique envisagé était de 5 000 ampères et l'écartement des conducteurs était de l'ordre du centimètre. Comme le champ produit par un courant est inversement proportionnel à la distance du conducteur, si l'on compare cette situation à celle de la définition de l'ampère, un courant 5 000 fois plus intense et un écartement 100 fois plus petit entraînent un champ magnétique 500 000 fois plus élevé, c'est-à-dire... 100 milliteslas, soit le double du champ de

l'aimant permanent que nous avons considéré, et avec la même orientation.

C'est la bonne surprise : dès que l'on dépasse quelques kiloampères, plus besoin d'aimant permanent ! Le champ magnétique créé par les rails qui apportent le courant à la tige suffit à propulser cette dernière (voir la figure 2). Pour le courant et l'écartement considérés, on calcule que la force est de l'ordre de cinq newtons, ce qui produit sur une masse de 50 grammes une accélération de 100 mètres par seconde carrée ; d'où, au bout de deux mètres, une vitesse de 20 mètres par seconde. En pratique, pour augmenter le champ magnétique et donc l'accélération, Fauchon-Villeplée a placé de chaque côté des rails une dizaine de fils conducteurs parallèles où circule le même courant.

Ainsi, le principe du canon électromagnétique est simple. Toutefois, les obstacles ne manquent pas. Outre la question de la résistance des matériaux, tant du canon que du projectile, un problème délicat est celui du contact entre le projectile-conducteur et les rails. À faible vitesse, ce contact s'établit facilement, mais ce n'est plus le cas à plusieurs centaines de mètres par seconde. Il se produit alors un arc électrique qui peut détériorer le rail. En outre, la matière vaporisée par les frottements et l'arc électrique reste dans le canon, s'ionise et crée un plasma

## LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)

## ■ BIBLIOGRAPHIE

C. Avril *et al.*, Development of advanced thermoplastic composite projectiles for high-velocity shots with the PEGASUS railgun, *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 39(12), pp. 3391-3395, 2011.

R. Jones, The rail gun : A popular demonstration of the Lorentz force, *American Journal of Physics*, vol. 68(8), pp. 773-774, 2000.

I. R. McNab, Early electric gun research, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 35(1), pp. 250-261, 1999.

conducteur, lequel fait court-circuit et réduit notablement la force propulsive.

Un autre problème est celui de l'ouverture du circuit électrique lorsque le projectile quitte le canon. Si l'on ne veille pas à dériver à cet instant le courant injecté, un arc électrique intense se crée à la bouche du canon. Et il faut contrôler l'échauffement intense de tout le système, surtout dans la perspective de tirs à répétition.

Scientifiques et ingénieurs se sont attaqués à ces problèmes et on assiste depuis une dizaine d'années à des performances impressionnantes. Le propulseur PEGASUS, de l'Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis, avec un courant maximal d'un million d'ampères et un écartement des rails de quatre centimètres, exerce une force de plus de 100 000 newtons sur une charge de 360 grammes. L'accélération

résultante, plus de 30 000 fois celle de la pesanteur, lui fait atteindre au bout de six mètres une vitesse de plus de 2 000 mètres par seconde. Et le canon développé pour la marine américaine, avec un courant cinq fois plus intense et une longueur de 18 mètres, éjecte à une vitesse du même ordre un projectile de 20 kilogrammes.

À l'instar de Jules Verne, on peut rêver utiliser un tel canon pour envoyer des projectiles dans l'espace (*voir la figure 3*). Des projets ont été chiffrés et ce n'est plus totalement irréaliste. Deux points sont à régler : il faut pouvoir mettre en orbite des charges d'une dizaine à une cinquantaine de kilogrammes, et surtout procéder avec une accélération modérée, qui ne détériore pas le contenu. Ces canons spatiaux, s'ils voient le jour, devront ainsi mesurer quelques centaines de mètres de long. ■

**XX<sup>e</sup> OLYMPIADES DE PHYSIQUE FRANCE**

TENTEZ L'AVENTURE DE LA RECHERCHE

Inscrivez-vous sur [www.odpf.org](http://www.odpf.org)

inscriptions à partir du 1er mai 2012 sur [www.odpf.org](http://www.odpf.org)

Organisées par : udppc

## Les inscriptions à l'édition 2012/2013 des Olympiades de Physique France sont ouvertes

Vous encadrez ou avez encadré pour un TPE ou un Atelier scientifique un groupe de lycéens motivés et enthousiastes, poursuivez l'aventure en inscrivant cette équipe aux XX<sup>e</sup> Olympiades de Physique France.

Cette participation permettra à vos élèves de mettre en valeur leur travail et de partager leur intérêt avec d'autres passionnés de sciences et de physique.

Les Olympiades sont aussi l'occasion de promouvoir les sciences expérimentales dans votre établissement et auprès des nouveaux lycéens.

**Informations et inscriptions :**  
<http://www.odpf.org>

Cloture des inscriptions : **30 octobre 2012**

Sélections régionales : **12 décembre 2012**

Finale et exposition des projets au Palais de la Découverte : **8-9 février 2012**

Les Olympiades de Physique France sont organisées par l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie et la Société Française de Physique.

udppc

SF