

ART & SCIENCE

La table qui se prenait pour un manuel de géologie

En remerciement de ses bons offices, l'électeur de Saxe Frédéric-Auguste III a offert au baron de Breteuil une table qui est aussi un cabinet de minéralogie : elle révèle la diversité des ressources géologiques de la Saxe.

Loïc MANGIN

Le 30 décembre 1777, Maximilien-Joseph, dit « Le Bon », électeur de Bavière, meurt sans descendant. Son héritier légitime est Charles-Théodore de Sulzbach, mais d'autres prétendants se manifestent, dont l'électeur de Saxe Frédéric-Auguste III et l'empereur Joseph II. La Prusse et la Russie sont aussi de la partie et la guerre menace. De son côté, le roi de France, Louis XVI, s'inquiète et multiplie les initiatives diplomatiques. Début 1779, tous les acteurs se rassemblent à Teschen, aujourd'hui au Sud de la Pologne. Au cœur des négociations, le baron de Breteuil, ambassadeur français à Vienne, et le prince russe Repnine. Et enfin, le 13 mai 1779 est signé un traité de paix. Le rôle de Breteuil fut si prépondérant que beaucoup souhaitèrent le remercier.

Il reçut de Frédéric-Auguste III une table [voir la photographie, page ci-contre], visible cet automne à la Galerie J. Kugel, à Paris. Elle fut confectionnée par l'orfèvre Johann Christian Neuber (1735-1808). Ce dernier était déjà célèbre pour son travail de lapidaire qu'il appliquait à différents objets en vogue à la fin du XVIII^e siècle. Les plus réputés sont des « galaneries » [carnets de bal, étuis à cire...] et des tabatières. Neuber utilisait la technique de mosaïque en cloisonné [les pièces sont enchâssées dans un cadre en métal]. Sa renommée grandit encore quand il inventa les « tabatières formant cabinet minéralogique » : l'idée était de flatter l'intérêt naissant pour les sciences, et notamment la minéralogie, en insérant dans la mosaïque divers échantillons de roches et de minéraux sélectionnés pour leur qualité [beauté, rareté...]. Chaque tabatière était

accompagnée d'un manuel énumérant la nature et l'origine des minéraux employés.

Ce principe a également été choisi pour l'élaboration de la table, à un changement d'échelle près : les tabatières ont au plus 10 centimètres de longueur, alors que la table a un diamètre de 71 centimètres ! Le plateau de la table est lui aussi un cabinet minéralogique rassemblant 128 échantillons [sous la forme de plaquettes] numérotés et dûment décrits dans un livret fourni avec le meuble, glissé dans un tiroir discret. Klaus Thalheim, conservateur au musée de minéralogie et de géologie de Dresde, en Allemagne, a étudié cette table dite de Breteuil.

Insérées dans la table de Breteuil, les pierres les plus célèbres de Saxe sont les topazes de Schneckenstein.

Neuber a voulu montrer la diversité des roches et des minéraux que recèle la Saxe. On trouve beaucoup de calcédoines [composés entre autres de silice] sous la forme de plusieurs variétés, tels l'agate, le jaspe, la cornaline... On peut aussi repérer des pierres fines [topaze, grenat...] ainsi qu'une perle [pièce n° 1] rassemblées autour du médaillon central.

Cependant, les connaissances de l'époque ne lui permirent pas d'identifier tous les échantillons retenus qui, de par la taille requise, devaient provenir des plus beaux spécimens de sa propre collection. Ainsi, dans le livret, on note 11 fois le terme « caillou ». Par ailleurs, certains minéraux ont été mal

interprétés. Par exemple, la pièce numérotée 2 est selon Neuber une aigue-marine, alors qu'il s'agit d'une topaze bleu clair. Les deux minéraux sont bien des silicates, mais le premier [de formule $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$] se distingue du second [de formule $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F},\text{OH})_2$] par la présence de béryllium [Be]. De même, l'échantillon 10, noté « Crisolite » par Neuber, est également une topaze [verte].

À la fin du XVIII^e siècle, le géologue le plus influent en Europe était Abraham Werner, installé à Freiberg, en Saxe. Il avait mis au point une classification des minéraux fondée sur leur couleur, leur brillance... Neuber s'est sans doute inspiré de ces travaux en privilégiant des dénominations descriptives. Toutefois, la géologie n'était pas encore une science fixée et plusieurs systèmes étaient en usage.

La plupart des échantillons ont pu être identifiés d'après les critères de classification actuels par K. Thalheim, à l'exception de quatre plaquettes pour lesquelles les indications sont insuffisantes. Les pierres les plus célèbres de Saxe sont les topazes de Schneckenstein, à proximité de la frontière tchèque [5, 8, 10 et 16] : il y a 310 millions d'années, du magma de granite s'est introduit dans des schistes, ce qui a conduit, après un phénomène nommé pneumatolyse, à la formation d'un quartz-tourmaline contenant ces topazes. La table, conservée au château de Breteuil, dans les Yvelines, est désormais un précieux manuel de minéralogie. ■

« Le luxe, le goût, la science... », Neuber, orfèvre minéralogiste à la cour de Saxe, du 13 septembre au 10 novembre 2012, à la Galerie J. Kugel, 25, quai Anatole France, 75007 Paris. L'application Neuber pour iPad est disponible gratuitement.



IDÉES DE PHYSIQUE

Le propulseur électromagnétique

Imaginé sans doute dès le XIX^e 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

Mars 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.

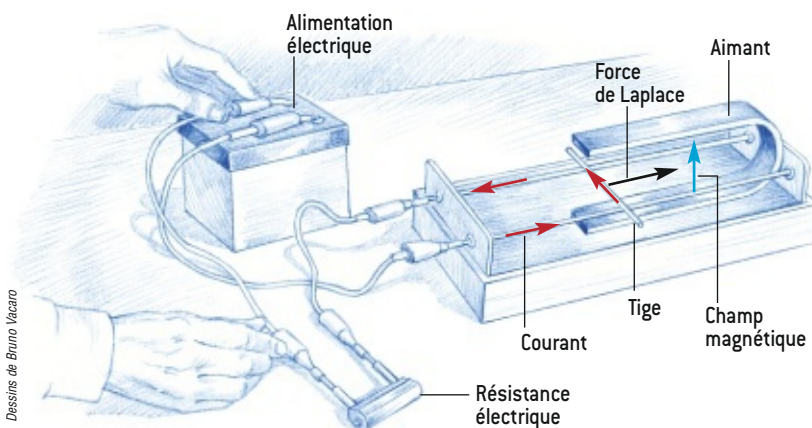
Lorsqu'un conducteur linéaire est perpendiculaire au champ magnétique, l'intensité de la force exercée par unité de longueur est égale au produit du champ magnétique

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).

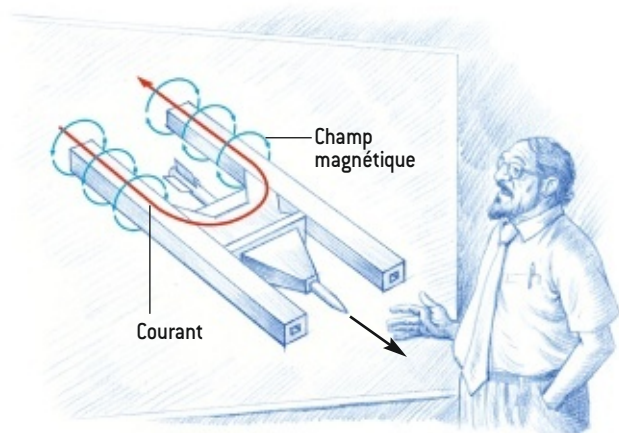
Deux rails conducteurs parallèles sont connectés aux bornes d'un générateur, et un aimant en fer à cheval crée un champ magnétique vertical uniforme entre les deux rails. Plaçons une tige métallique à cheval sur les rails. Lorsqu'on ferme le circuit électrique, cette tige est traversée par un courant. 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 2×10^{-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 2×10^{-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

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^e OLYMPIADES DE PHYSIQUE FRANCE

TENTEZ L'AVENTURE DE LA RECHERCHE

Inscrivez-vous sur
www.odpf.org



inscriptions
à partir du
1er mai 2012
sur www.odpf.org

Organisées par :



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^e 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



POUR LA

Plus de
37 %
de réduction
par an

→ **Dossier Pour la Science** (4 n^{os} par an)



Trois films pour comprendre les grands mystères de l'Univers :
Big Bang, trous noirs, énergie sombre, matière noire...

Coffret de deux DVD – valeur : 19,99€



■ POUR LA
SCIENCE

Bulletin à découper ou à photocopier et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe non affranchie à : Service Abonnements Pour la Science • Libre réponse 90382 • 75281 Paris cedex 06

- 1** ☒ **Oui, je m'abonne à *Pour la Science + Dossier Pour la Science* au prix de 16€/trimestre ou 64€ pour 1 an.**

En cadeau, je reçois **le coffret de deux DVD *Énigmes de l'Univers***³. Je bénéficie également des versions numériques en créant mon compte sur www.pourlascience.fr

Important : pour bénéficier de cette offre, merci de joindre la photocopie de votre carte d'étudiant ou d'enseignant.

- ## 2 J'indique mes coordonnées :

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal : Ville : Pays : Tél. :

(Pour le suivi client)

Je souhaite recevoir la newsletter *Pour la Science* à l'adresse e-mail suivante (à remplir en majuscule) :

[illegible]

- ### ③ Je choisis mon mode de règlement :

☐ Je règle en douceur **16 €/trimestre**. Je remplis la grille d'autorisation de prélèvement ci-dessous en joignant impérativement 1 RIB (mode de paiement valable en France métropolitaine uniquement).

Autorisation de prélèvement automatique. J'autorise l'établissement teneur de mon compte à prélever le montant des avis de prélèvements trimestriels présentés par *Pour la Science*. Je vous demande de faire apparaître mes prélèvements sur mes relevés de compte habituels. Je m'adresserai directement à *Pour la Science* pour tout ce qui concerne le fonctionnement de mon abonnement.

Titulaire du compte à débiter

Nom, Prénom : _____

N°: _____ Rue : _____

CP: | | | | | Ville: _____

Compte à débiter

Établissement	Code guichet	N° de compte	Clé RIB
---------------	--------------	--------------	---------

Établissement teneur du compte à débiter

Établissement : _____

N° : _____ Rue : _____

CP: | | | | | Ville: _____

Date et signature (obligatoire)

Organisme créancier

Pour la Science
9, rue Écrou - 75006 Paris

N° national d'émetteur : 426900

☐ Je préfère régler mon abonnement en une seule fois **64 €** (+ frais de port en sus pour l'étranger : Europe 16 € - autres pays 35 €.)

☐ par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

 par carte bancaire

Nº: |

Expire fin : Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB) :

Signature obligatoire :

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-contre sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe *Pour la Science*. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ☐



**Votre cadeau
de bienvenue !**

© S419 - Offre gratuite aux nouvelles abonnées valable jusqu'au 30 09 2012