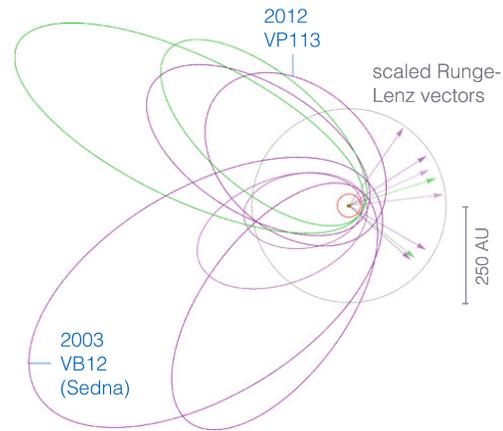


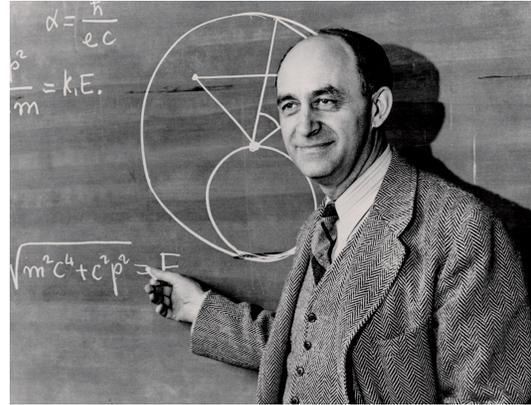
Nouvelles scientifiques

La neuvième planète. Récemment, deux chercheurs du *California Institute of Technology*, Konstantin Batygin et Michael Brown, ont soutenu, dans *The Astronomical Journal*, l'hypothèse de l'existence d'une neuvième planète du système solaire, en se fondant sur une analyse des orbites de plusieurs objets appartenant à la ceinture de Kuiper. Rappelons que cette dernière comporte plus de 1 000 objets détectés et s'étale entre 30 et 55 unités astronomiques (UA) du Soleil. Plusieurs objets particulièrement éloignés dans la ceinture de Kuiper (dont fait partie la planète naine Sedna) présentent une coïncidence de leurs paramètres orbitaux (plan de l'orbite, position du périhélie dans ce plan, etc ; voir la figure ci-contre tirée de l'article.) qui n'a que 0.007% de chance de se produire par hasard, selon les auteurs. Ceux-ci ont analysé les orbites de tous les objets dont le demi-grand axe est supérieur à 150 UA. Leur conclusion est que cette coïncidence a une cause dynamique. Par contre, la cause précise est difficile à identifier : il est impossible de remonter des effets aux causes ; on ne peut que procéder par expérimentation numérique et essayer un grand nombre de configurations possibles d'objets perturbateurs invisibles afin de voir si l'une de ces configurations reproduit les effets observés. Les auteurs ont exploré la possibilité d'une planète massive très éloignée, et arrivent à la conclusion qu'une telle planète pourrait expliquer les observations si elle avait une masse d'environ 10 fois celle de la Terre, que son orbite avait une excentricité de 0.6 et un demi-grand axe d'environ 700 UA (rappelons que Neptune, la 8^e planète, est située à 30 UA du Soleil). Ce développement n'est pas sans rappeler les observations et calculs qui ont mené à la découverte de Neptune en 1846, prédite par Urbain Le Verrier, ou celle de Pluton en 1930, par Clyde Tombaugh (signalons en passant que Michael Brown est l'un de ceux qui avaient préconisé le déclassement de Pluton du statut de planète à celui de planète naine, officialisé en 2006). Par contre, l'observation physique de cette hypothétique 9^e planète n'est pas encore chose faite...



Saviez-vous que . . .

L'histoire fascinante de la découverte de la **fission nucléaire** a commencé avec une erreur d'interprétation qui a valu à Enrico Fermi le prix Nobel de physique 1938 pour la découverte erronée d'éléments chimiques dits transuraniens (c'est-à-dire dont le noyau contient davantage de protons que l'uranium, soit 92). Le 10 décembre 1938, le comité Nobel pour la physique mentionne «sa découverte de nouveaux éléments radioactifs, développés par l'irradiation des neutrons, et sa découverte à ce propos des réactions de noyaux, effectuées au moyen des neutrons lents».

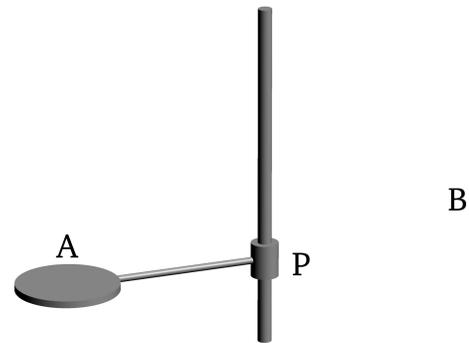


Le comité Nobel précise : «Fermi a en effet réussi à produire deux nouveaux éléments, dont les numéros atomiques sont 93 et 94, éléments auxquels il a donné le nom d'ausénium et d'hespérium.» Mais... ces deux nouveaux éléments chimiques n'existent tout simplement pas ! L'idée initiale de Fermi était qu'en bombardant des noyaux d'uranium avec des neutrons, un neutron, grâce à la radioactivité β , pourrait se transformer en proton. Ce faisant, on verrait augmenter le numéro atomique de l'uranium qui passerait à 93 protons (ce que Fermi appelait ausénium), et même atteindre 94 protons (l'hespérium). Fermi n'était pas en mesure d'identifier chimiquement ces deux éléments et leurs caractéristiques précises, il avait seulement constaté la présence de deux corps radioactifs qu'il a interprété comme deux nouveaux éléments. Ce travail a fait l'objet d'un article publié le 16 Juin 1934 dans la prestigieuse revue *Nature*. Fermi avait beau être prudent dans son interprétation, celle-ci s'est imposée jusqu'à ce qu'il reçoive son prix Nobel le 12 décembre 1938.

Sept jours plus tard, le 19 décembre, Otto Hahn et Fritz Strassmann ont reproduit l'expérience de Fermi, et envoient leurs résultats à Lise Meitner. Leur conclusion est que les produits de l'expérience ne sont pas des éléments transuraniens ! On a plutôt affaire à des isotopes d'éléments plus légers obtenus après qu'un noyau d'uranium se soit brisé. Enrico Fermi avait en fait réalisé la première expérience de fission nucléaire. Quant aux éléments 93 et 94, le neptunium et le plutonium, ils furent bel et bien produits selon le processus qu'avait prévu Fermi...Leurs découvreurs furent gratifiés du prix Nobel de chimie en 1951.

Le tord-méninges

Considérez la figure ci-contre. Vous vous tenez sur la plate-forme A, qui a 1 m de diamètre. Cette plate-forme est fixée par une tige horizontale à un axe vertical et est libre de pivoter sans frottement autour de ce dernier grâce au pivot P. Vous ne disposez d'aucun matériel (corde, échelle, perche, etc.). Est-il possible pour vous d'aller attraper un objet suspendu dans les airs au point B, qui vous est diamétralement opposé ?



(solution à la fin)

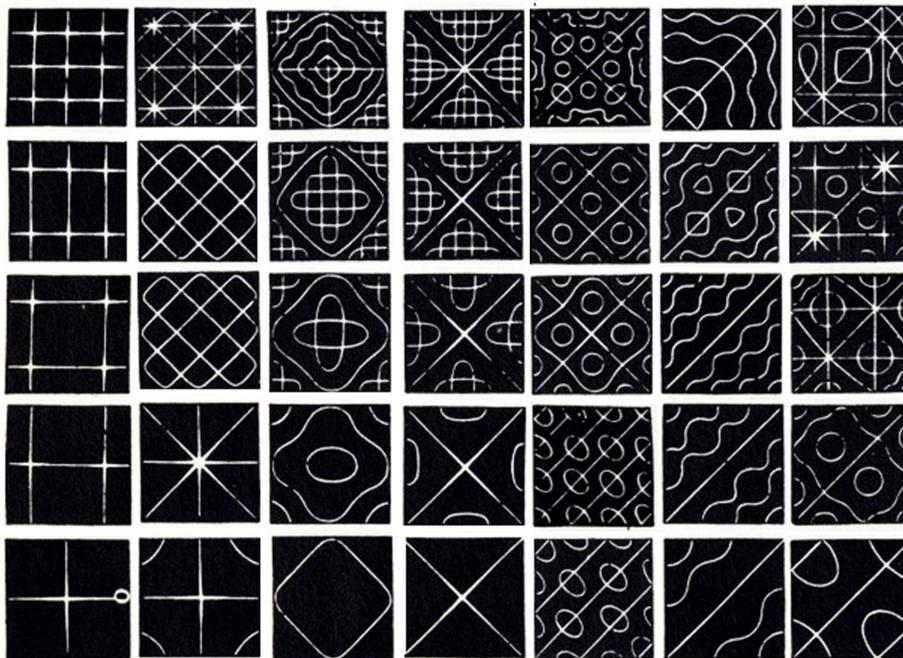


Démonstrations

◆ Dans ce [vidéo](#), une longue chaîne de billes métalliques, stockée dans un bécher, est mise en mouvement afin de la faire chuter en dehors de son contenant. Ce qui est remarquable dans cette vidéo, c'est que la chaîne doit «s'écouler» vers l'extérieur du bécher en gagnant en hauteur avant de redescendre. L'auteur du vidéo l'explique assez bien : la forte densité de la chaîne, donc sa grande inertie, nécessite que le rayon de courbure de sa trajectoire soit assez grand, ce qui la force à s'élever bien au-dessus de la paroi du bécher. C'est une excellente démonstration de mécanique élémentaire. Il y a aussi une très belle discussion dans la vidéo sur le fait que des ondes 3D sont générées dans la chaîne en tapant sur le bord du récipient qui la contient. Les ondes incidentes et réfléchies dans la chaîne finissent par donner naissance à des ondes stationnaires 3D qu'on voit très bien au ralenti.

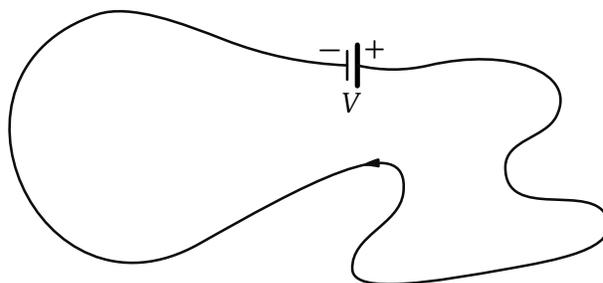


◆ Dans cet autre [vidéo](#), on assiste à une démonstration des modes de vibration d'une plaque métallique. La plaque, lorsque soumise à une onde sonore de fréquence fixe provenant d'un haut-parleur situé en dessous, se met à vibrer de manière plus intense lorsque la fréquence de l'onde correspond à l'une des fréquences de résonance de la plaque. Une onde stationnaire se développe sur la plaque ; les noeuds de cette onde sont visibles si on répand sur la plaque une poudre contrastante, qui a tendance à s'y accumuler. Les figures associées aux noeuds de l'onde stationnaire sont appelées *figure de Chladni*. La figure ci-contre a été obtenue par le physicien John Tyndall en 1869.



Comment les électrons trouvent-ils leur chemin dans un circuit électrique ?

C'est un problème en apparence très simple : on branche un fil de résistance R aux bornes d'une pile et un courant électrique se met à circuler de la borne positive à la borne négative. Ce courant est donné par la loi d'Ohm : $I = V/R$. Si le fil est déplacé ou déformé, cela ne change rien à l'affaire. Mais qu'est-ce qui fait avancer les électrons ? Oui, bien sûr, la différence de potentiel. Demandons plutôt : d'où vient la force qui, agissant sur chaque électron, lui fait vaincre la résistance et le fait avancer à vitesse constante le long du fil, selon une trajectoire aussi complexe que la forme qu'on veut bien donner au circuit ? Cette question est passée sous silence dans la plupart des manuels traitant de l'électricité et du magnétisme, mais est en soi fort intéressante.



Cette force provient bien sûr du champ électrique au sein du fil. En électrostatique, on apprend que le champ électrique s'annule au sein d'un conducteur, mais ce n'est pas le cas lorsque des courants électriques circulent dans les dits conducteurs. La forme microscopique de la loi d'Ohm stipule que la densité de courant \mathbf{J} (un vecteur égal en grandeur au courant par unité de surface transversale à sa direction) est proportionnelle au champ électrique : $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$, la constante de proportionnalité étant la conductivité du matériau. Cependant, ce champ électrique, qui existe au sein du conducteur, doit bien être causé par des charges électriques. Où sont-elles ? Elles sont en fait distribuées à la surface du fil et leur densité diminue à mesure qu'on s'éloigne des bornes de la pile. À proximité de la borne positive, un excès de charge positive existe à la surface du fil ; cet excès diminue à peu près linéairement à mesure qu'on s'éloigne de la borne positive ; il change de signe et augmente dans l'autre sens quand on se rapproche de la borne négative. Les détails dépendent bien sûr de la forme précise du circuit.

Considérons par exemple une section relativement droite du fil, assez éloignée des autres. Le long de cette section, le profil du champ électrique et de la densité de charge ressemble à peu près à la figure ci-contre. Le champ \mathbf{E} au sein du fil est uniforme. À la surface du fil, ce champ a une composante longitudinale (le long du fil) et une composante radiale (vers l'extérieur), comme illustré (le champ électrique est en noir, les champs \mathbf{B} et \mathbf{S} seront expliqués plus bas). La densité de charge en surface est variable le long du fil (comme illustré approximativement) et c'est cette variation à peu près linéaire qui produit la composante longitudinale du champ.

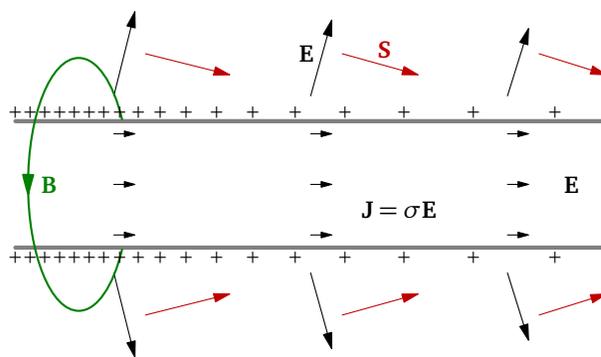


Figure 1 – Champs \mathbf{E} , \mathbf{B} et \mathbf{S} près d'une section rectiligne d'un circuit.

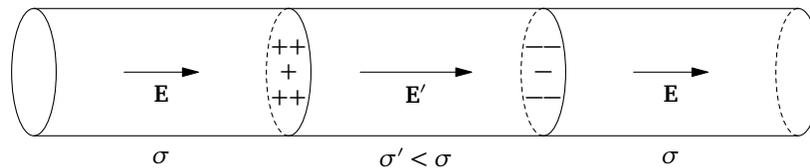
Voyons ce qui se produit lorsque le circuit, initialement ouvert, est fermé.

1. Avant la fermeture du circuit, l'électrostatique s'applique. Des charges électriques s'accumulent à

la surface du fil, en particulier près des bornes du commutateur, de manière à annuler le champ électrique au sein du conducteur.

2. Au moment où le circuit est fermé, les charges sont libres de rejoindre la borne opposée de la pile. L'accélération initiale des charges va produire des ondes électromagnétiques (donc un champ électrique variable) se propageant presque à la vitesse de la lumière le long du fil. Ce champ électrique variable va à son tour entraîner des modifications à la distribution de charge à la surface du fil. Ces changements, quasi instantanés, vont rapidement laisser place à une configuration stationnaire du champ électrique et des charges de surface.
3. Cette configuration stationnaire est gouvernée par la loi d'Ohm $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$. Si le fil a une section géométrique constante, alors la densité de courant doit être constante le long du fil afin d'éviter des accumulations de charge à l'intérieur du fil. Le fil se trouve alors à guider le champ électrique sur sa longueur et les charges à la surface du fil se distribuent de manière à produire ce champ.
4. Si on déplace le fil alors que le circuit est fermé, des réarrangements mineurs et très rapides de cette distribution de charge se produisent, encore une fois de manière à s'assurer que le champ électrique au sein du fil soit uniforme.

Si une résistance est insérée dans le circuit, alors une accumulation de charges se produira au sein même du fil aux bornes de cette résistance. Par exemple, si le fil, sur une certaine portion de sa longueur, est fait d'un matériau de conductivité $\sigma' < \sigma$, alors le champ électrique sein de cette portion doit être plus grand ($E' > E$) afin que la densité de courant soit la même partout dans le fil ($J = \sigma E = \sigma' E'$), ce qui évite une accumulation de charge en fonction du temps. Par contre, le rayon du fil étant le même partout, cette augmentation subite du champ électrique nécessite la présence d'un charge électrique au sein même du fil, à la frontière entre les deux matériaux (voir figure ci-dessous). Donc, il est faux de dire que les conducteurs ne peuvent pas porter de densité de charge dans leur volume : c'est possible en régime stationnaire, si la résistance par unité de longueur d'un circuit n'est pas toujours à la même.



Lorsqu'un courant circule dans un fil, un champ magnétique \mathbf{B} circule autour et à l'intérieur du fil. À l'extérieur du fil, l'amplitude de ce champ décroît comme l'inverse de la distance r à l'axe du fil ($|\mathbf{B}| \propto 1/r$). À l'intérieur du fil, $|\mathbf{B}|$ croît linéairement avec r , pour s'annuler au centre, comme il se doit, puisque ce champ est azimutal. Comme il y a à la fois champ électrique et champ magnétique, on peut considérer le vecteur de Poynting, $\mathbf{S} = (1/\mu_0)\mathbf{E} \wedge \mathbf{B}$, qui représente le flux d'énergie électromagnétique, soit la quantité d'énergie traversant une unité de surface dans la direction de \mathbf{S} par unité de temps. Les champs \mathbf{B} et \mathbf{S} près d'une section droite du fil sont illustrés sur la figure 1 ci-haut.

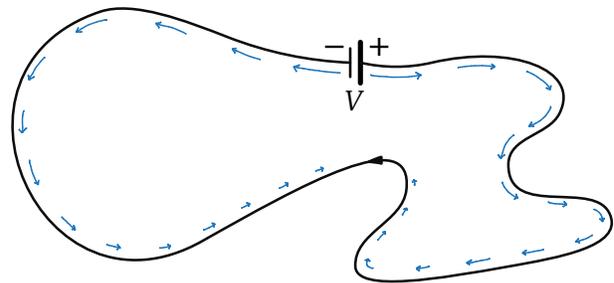


Figure 2 – Flot d'énergie le long d'un circuit.

L'énergie dissipée dans le circuit s'écoule des deux pôles de la source vers le milieu du circuit.

D'après la figure ci-haut indiquant la direction du champ électrique au sein et à l'extérieur du fil et en appliquant la règle de la main droite pour la direction

de \mathbf{B} et le produit vectoriel, on voit que, à l'intérieur du fil, le vecteur \mathbf{S} est strictement dirigé vers le centre. À l'extérieur du fil, le vecteur \mathbf{S} a, en plus, une composante le long du fil. L'énergie électromagnétique qui pénètre dans le fil à partir de sa surface est dissipée en chaleur via la loi d'Ohm. Par contre, l'énergie se propage aussi le long du fil, à l'extérieur de celui-ci. Comme cette énergie doit alimenter tout le circuit, la composante longitudinale de \mathbf{S} doit être plus grande près des bornes de la pile et diminuer jusqu'au milieu du circuit (ou à peu près) où elle s'annule. Notons que l'énergie s'écoule des deux bornes de la pile vers le milieu du circuit (fig. 2), de même que la composante radiale du champ électrique est positive (vers l'extérieur) près de la borne positive, et négative (vers l'intérieur) près de la borne négative.

Il est important de comprendre que l'énergie dissipée au sein du fil n'est pas transportée là par les électrons. Ces derniers sont accélérés par le champ électrique au sein du fil et l'énergie ainsi acquise est dissipée en chaleur, mais sur une très courte distance. Il n'est pas besoin d'attendre que des électrons aient pu se déplacer sur une fraction appréciable du circuit pour que de l'énergie y soit dissipée sur toute sa longueur ; cela se produit quasi-instantanément, dès que le champ électrique nécessaire est en place.

Références :

1. Marcus, A. *The Electric Field Associated with a Steady Current in Long Cylindrical Conductor*. *Am. J. Phys.* 9, (1941).
2. Parker, S. *Electrostatics and Current Flow*. *Am. J. Phys.* 38, (1970).
3. S. Davis, & al. *Poynting vector flow in a circular circuit*. *Am. J. Phys.* 79, 1155 (2011).

Une carrière en physique



C'est dans sa ville natale, Sherbrooke, qu'Alexandre Blais fait ses études de baccalauréat, de maîtrise et de doctorat en physique. Il termine sa formation par un stage postdoctoral à l'Université Yale. Il revient par la suite à l'Université de Sherbrooke à titre de professeur en 2006 et depuis les prix et reconnaissances fusent :

- Prix de la Fondation Sloan en 2008
- La [bourse Steacie](#) en 2011
- La [médaille Herzberg](#), de l'Association canadienne des physiciennes et physiciens (ACP), en 2011
- Le prix [Urgel-Archambault](#) de l'ACFAS en 2014
- Membre de la Société Royale du Canada en 2014
- Le [Mérite Estrien](#) en décembre 2014

Ces hommages ne sont pas le fruit du hasard, mais d'un travail de pionnier acharné dans un domaine en émergence : l'électrodynamique quantique en circuit. Ce champ de recherche représente une nouvelle plateforme pour l'information quantique en lien avec la physique du solide et l'optique quantique. « Le champ de recherche qu'Alexandre Blais a cocréé – l'électrodynamique quantique en circuit – a littéralement changé le domaine des qubit supraconducteurs », témoigne le professeur André-Marie Tremblay. « Son impact profond se fait

désormais sentir dans d'autres domaines, y compris l'optique quantique et la physique atomique. L'électrodynamique quantique en circuit est également largement considérée comme l'une des approches les plus prometteuses pour la mise en œuvre d'un ordinateur quantique. »

Le professeur Blais a continué sans interruption d'être un chef de file dans le développement des nouveautés dans ce domaine, en travaillant en étroite collaboration avec des groupes expérimentaux aux États-Unis, en Europe et au Japon. Grâce à cette nouvelle spécialité, des prototypes expérimentaux d'ordinateurs quantiques ont été en mesure d'exécuter des algorithmes quantiques simples. Alexandre Blais dirige maintenant la plus importante subvention de recherche de l'histoire de l'Université de Sherbrooke (33,5 M\$) pour accélérer le développement de technologies quantiques vers l'industrie. Le Dr Masoud Mohseni, chercheur scientifique principal au Google Quantum Artificial Intelligence Laboratory nous informe que : « ...nos propres experts travaillent sur les aspects théoriques et expérimentaux de l'information quantique, la compréhension détaillée de l'équipe du professeur Blais de la théorie des circuits quantiques supraconducteurs apporte une expertise unique et inestimable pour nos efforts ». Espérons maintenant que le projet *De la science quantique aux technologies quantiques* se concrétise par des applications 2.0 de la mécanique quantique !

Pour en savoir plus : [vidéo](#) sur Alexandre Blais.

Solution au tor-d-méniges — C'est très simple. Il suffit de tourner sur soi-même suffisamment longtemps. Ce faisant, on force la plate-forme à tourner autour du pivot en sens inverse, par conservation du moment cinétique, et on finit par atteindre le point B. Lorsqu'une personne tourne sur elle-même, ses pieds exercent une force sur la plate-forme, en fait deux forces égales et opposées. Mais le pied le plus éloigné du pivot exerce un couple plus grand sur la plate-forme que le pied le plus rapproché. Ainsi, un couple net est exercé sur la plate-forme (par rapport au pivot), ce qui la met en rotation. Mais attention : dès qu'on s'arrête de tourner, le mouvement de rotation de la plate-forme s'arrête aussi, car il faut exercer un couple dans l'autre sens pour s'arrêter de tourner.

