

LES AUTEURS



Jean-Michel COURT et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris. Leur blog : www.scilogs.fr/idees-de-physique

que du côté froid ; ils auront donc un écart moyen d'énergie, par rapport au niveau de Fermi, plus élevé : spontanément, ils s'écouleront du chaud vers le froid.

Dans un fil isolé, ce transfert de charges provoqué par l'écart de températures fait apparaître une différence de potentiel qui augmente jusqu'à ce que le champ électrique qui en résulte stoppe les mouvements des charges. Avec un fil fait d'un autre matériau, la différence de potentiel produite atteint une autre valeur. Par conséquent, si l'on boucle le circuit des deux fils, la différence de potentiel totale au bout d'un tour du circuit n'est pas nulle : un courant circule donc.

L'effet Seebeck, inverse de l'effet Peltier

Ainsi, on obtient un générateur électrique juste en portant les soudures des deux fils à des températures différentes. C'est l'effet Seebeck, découvert par le physicien allemand Thomas Seebeck en 1823, une dizaine d'années avant la mise en évidence de l'effet Peltier.

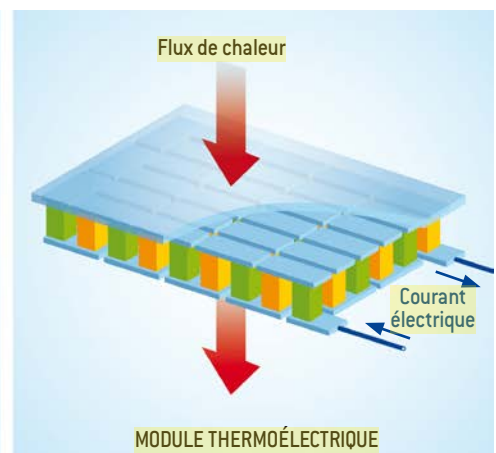
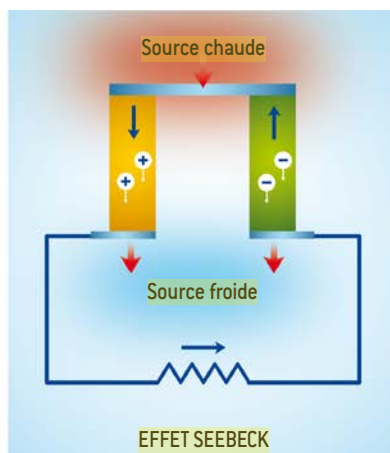
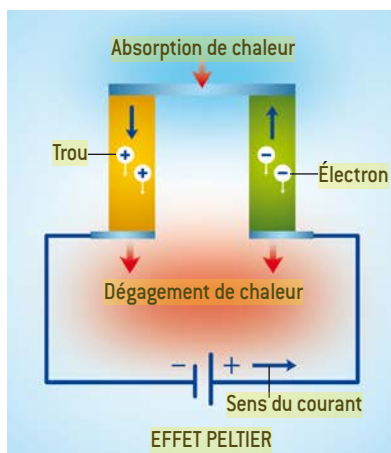
On peut tirer profit de l'effet Seebeck pour concevoir des modules thermoélectriques qui génèrent de l'électricité à partir de deux sources de chaleur de températures différentes. L'efficacité de ces modules ne dépend que d'une grandeur unique, le « facteur de

mérite », lequel est proportionnel au pouvoir thermoélectrique du matériau divisé par le produit de sa résistivité électrique et de sa conductivité thermique. La tentation est grande de prendre des métaux, très conducteurs, donc de faible résistivité. Malheureusement, leur pouvoir thermoélectrique est faible et leur conductivité thermique élevée.

En fait, ces trois grandeurs – pouvoir thermoélectrique, résistivité électrique et conductivité thermique – ne sont jamais indépendantes, car elles sont intimement liées à la structure électronique du matériau. Les recherches dans ce domaine restent donc très actives pour trouver le meilleur compromis en fonction des conditions d'utilisation, notamment la température.

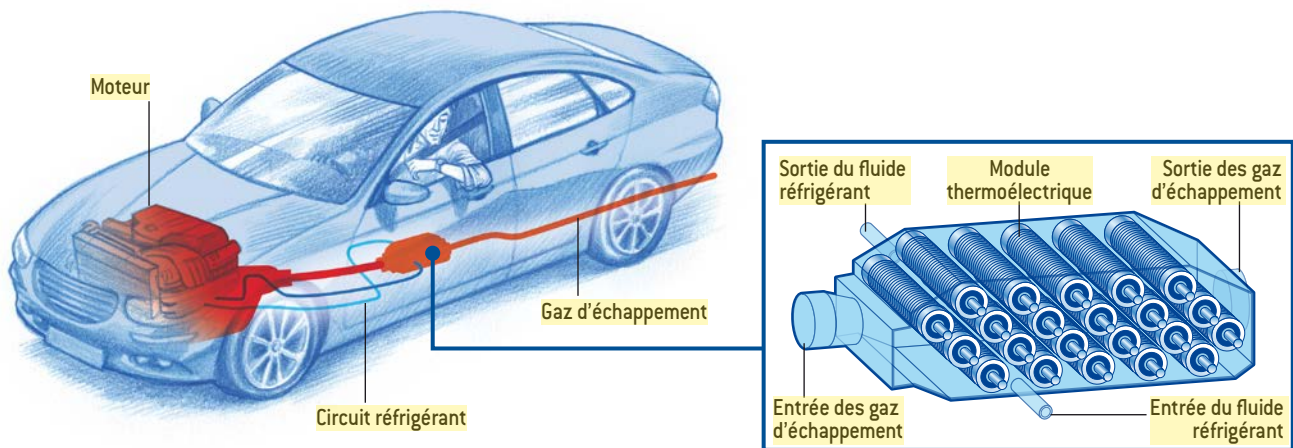
Bien souvent, les modules sont constitués de semi-métaux ou de semi-conducteurs fortement dopés. L'un des deux éléments du module est un matériau dopé de type n , où la conduction est assurée par les électrons (de charge négative, d'où le « n »), l'autre de type p , où la conduction est assurée par les trous, de charge positive (un trou correspond à l'absence d'un électron), et où le pouvoir thermoélectrique est de signe opposé. En les associant, on obtient la boucle de courant souhaitée (voir la figure ci-dessous).

Les sondes spatiales qui s'éloignent trop du Soleil pour que les panneaux photovoltaïques



L'EFFET PELTIER PEUT ÊTRE UTILISÉ comme un effet réfrigérant (à gauche) : traversée par un courant électrique, la jonction entre deux barreaux faits de semi-conducteurs différents absorbe de la chaleur, laquelle est évacuée aux autres extrémités des barreaux. L'effet

Seebeck, son inverse, permet de générer un courant électrique à partir de deux sources de chaleur de températures différentes (au milieu). En regroupant plusieurs circuits identiques, on construit des modules thermoélectriques fonctionnant selon l'un ou l'autre mode (à droite).



CERTAINS CONSTRUCTEURS AUTOMOBILES cherchent à récupérer la chaleur des gaz d'échappement pour générer de la puissance électrique. L'un des dispositifs proposés fait appel à des modules thermoélectriques cylindriques, dont la paroi extérieure est au contact des gaz chauds, tandis que l'axe central du cylindre est parcouru par un fluide réfrigérant.

puissent fonctionner sont équipées de tels générateurs thermoélectriques. Il s'agit de générateurs à radio-isotopes, où la source chaude est constituée par une pastille radioactive, tandis que la source froide est un radiateur rayonnant vers l'espace.

Récupérer la chaleur inutilement perdue

Le calcul montre qu'avec un facteur de mérite égal à 1, valeur typique de nos jours, et avec une différence de température entre les sources de l'ordre de 300 °C (respectivement 25 °C), on peut obtenir de l'ordre de 8 % (respectivement 1 %) du rendement théorique attendu pour un moteur, le rendement de Carnot, très loin des efficacités des moteurs classiques. Cela demeure modeste, mais les applications ne manquent pas.

Par exemple, pourquoi ne pas récupérer la chaleur du corps que nous dissipons à travers notre peau en pure perte dans l'air environnant ? Bien avant la lampe de poche d'Ann Makosinski, on a ainsi vu apparaître en 1982 une montre thermoélectrique, le modèle Thermatron de chez Bulova. D'autres montres thermoélectriques ont suivi au tournant des années 2000. Le modèle de chez Citizen avait sa pile alimentée par un ensemble de plus de 1 000 couples, délivrant une puissance de 14 microwatts et une tension de

500 millivolts par degré Celsius d'écart de température. Les projets fleurissent toujours, sans aboutir à la commercialisation, tels que le bracelet thermoélectrique de Dyson (2009) pour alimenter téléphones ou tablettes. La limitation réside dans le faible écart de températures : 25 °C d'écart à 10 °C, c'est un rendement de Carnot de 8 %, donc une efficacité de conversion inférieure à 0,1 % !

Une piste prometteuse concerne les automobiles (voir la figure ci-dessus). Près des deux tiers de la puissance d'une voiture à essence sont *in fine* dissipés sous forme de chaleur, dont un petit tiers dans le système d'échappement. Ainsi, une voiture qui en une heure consomme 7 litres de carburant évacue près de 20 kilowatts dans ses gaz d'échappement.

Or la température de ces gaz peut atteindre 700 °C. S'ils passent par des modules thermoélectriques dont la partie froide est maintenue à 100 °C par un fluide réfrigérant (l'air ambiant ne suffirait pas), on obtient un écart de températures de 600 °C et un très bon rendement de Carnot : 62 %. Même avec des modules peu coûteux, il est ainsi possible de générer quelque 200 watts de puissance électrique. Le recyclage de celle-ci pourrait alors faire baisser un peu la consommation d'essence. Plusieurs constructeurs ou sous-traitants, tels que BMW ou Valeo, poursuivent des recherches en ce sens. ■

BIBLIOGRAPHIE

B. Orr *et al.*, A review of car waste heat recovery systems utilising thermoelectric generators and heat pipes, *Applied Thermal Engineering*, vol. 101, pp. 490-495, 2016.

S. Hébert, La recherche de nouveaux matériaux thermoélectriques, *Reflets de la Physique*, n° 41, pp. 18-22, octobre 2014.

J.-P. Barrat, Effet Volta, effet Peltier, *Bulletin de l'Union des physiciens*, n° 705, pp. 779-785, juin 1988.



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr