



**supra-
conductivité**

**une histoire
d'électrons**

Découvrir les électrons par le pliage, à partir de 6 ans.

Vous trouverez au milieu du livret les pliages et les instructions à détacher pour les fabriquer. Il vous faudra juste des ciseaux et un peu de colle ou de scotch. Vous trouverez aussi un quizz, petit questionnaire qui vous accompagnera dans la lecture du livret. Les solutions se trouvent sur le web.

instructions



coller



couper



plier



assembler

La matière qui nous entoure est constituée de milliards de milliards de minuscules particules : électrons, neutrons, protons... Ces particules sont invisibles et se comportent de façon très étrange, parfois comme des nuages ou des vagues dans la mer, d'autres fois comme de petites billes. On les appelle «particules quantiques».

Dans ce manuel, vous allez construire vous même avec des ciseaux et un peu de scotch ces particules. D'abord un électron, puis un deuxième, et enfin, l'objet le plus étrange du monde quantique : un supraconducteur, un matériau capable de léviter comme une soucoupe volante au-dessus des aimants !



La matière qui nous entoure, les solides, les liquides et même les gaz comme l'air, est faite de milliards de milliards d'atomes. Un atome, c'est un tout petit noyau très lourd, et des électrons très légers qui forment un nuage autour du noyau. Mais attention, ne vous imaginez pas un atome comme une pêche ou une cerise. Car d'abord, il est un milliard de fois plus petit que nous. Il mesure moins d'un nanomètre, et un nanomètre, c'est un milliard de fois plus petit qu'un mètre. Et en plus, ces électrons se comportent de façon très étrange... Parfois comme des petites billes, parfois comme de grandes vagues. L'électron est une particule très importante car il permet de mieux comprendre la matière qui nous entoure : comprendre pourquoi un fil de métal peut conduire un courant électrique, pourquoi un aimant colle sur le frigo, comment marchent les ampoules LED... C'est aussi l'électron qui a permis d'inventer les ordinateurs, les téléphones portables ou les baladeurs numériques que nous utilisons tous les jours.

Bienvenue dans le monde fascinant des électrons et de la matière.

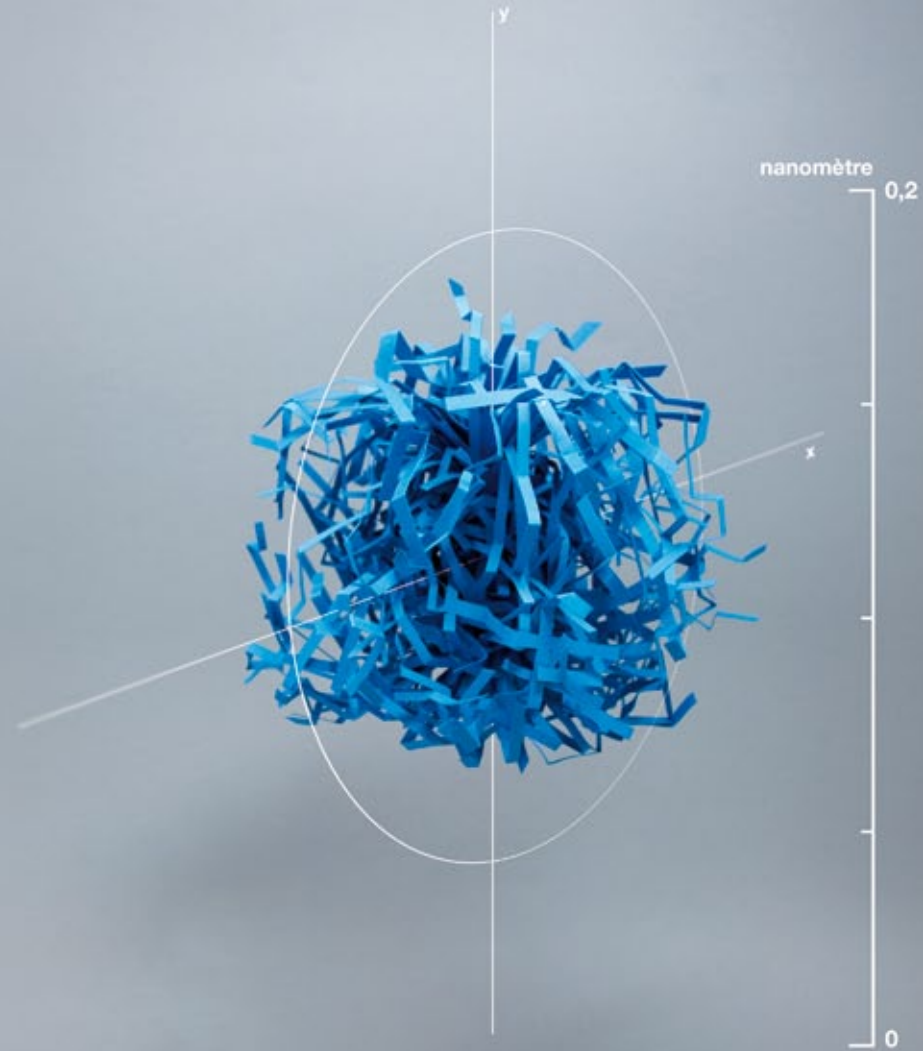
l'électron **dans l'atome**

dans l'atome

électron

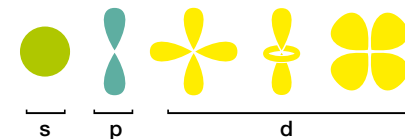
Un électron, quelle tête est-ce que ça a? Dur à dire. Car un électron est un objet bien étrange, qu'on appelle «quantique». Il forme une sorte de nuage autour du noyau et se trouve un peu partout à la fois dans ce nuage. Pourtant, ce nuage est impossible à voir. Dès qu'on essaye de l'observer, même avec les outils les plus perfectionnés, il rétrécit immédiatement et devient une minuscule bille. Mais alors comment imaginer ce nuage si on ne peut pas le voir? Un peu comme la boule froissée que vous voyez, pas vraiment une bille, mais pas non plus un simple nuage...

À vous de jouer : en suivant les instructions dans le livret central, essayez de fabriquer votre propre maquette d'électron. Regardez le bien : est-il en un endroit précis? Est-il infini? Maintenant, imaginez que vous êtes un physicien et que vous essayez de mesurer où il est.



les formes de l'électron

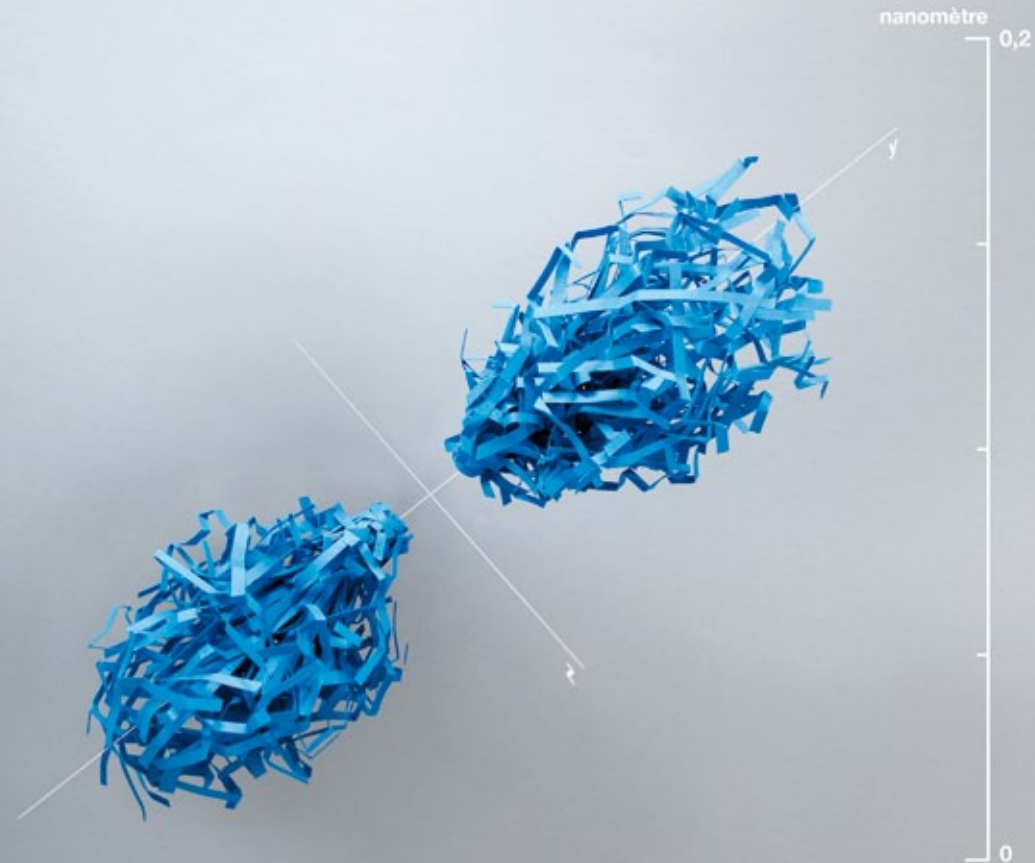
Les atomes ne sont pas tous les mêmes. Le noyau des atomes peut être plus ou moins gros. Et autour de ce noyau, il peut y avoir un, deux ou des dizaines d'électrons. En plus, ces électrons n'ont pas tous la même forme. Ceux qui ressemblent à la grosse boule ronde froissée sont appelés «s», ce sont les plus simples. Regardez ces autres formes, chacune représente un électron différent, appelé de noms de code, comme des agents secrets : «p», «d», ou «f». Leur forme est très importante, car ce sont les électrons qui vont permettre aux atomes de s'accrocher entre eux. Un atome de l'oxygène qui est dans l'air ou dans l'eau par exemple a des électrons «s» et «p». Un atome d'un métal comme le cuivre ou l'argent a aussi des électrons «d».



Ce tableau, la «classification périodique de Mendeleïev» indique tous les atomes qui existent et quels types d'électrons les composent. En jaune par exemple, les atomes ont à la fois des électrons s, p et d.

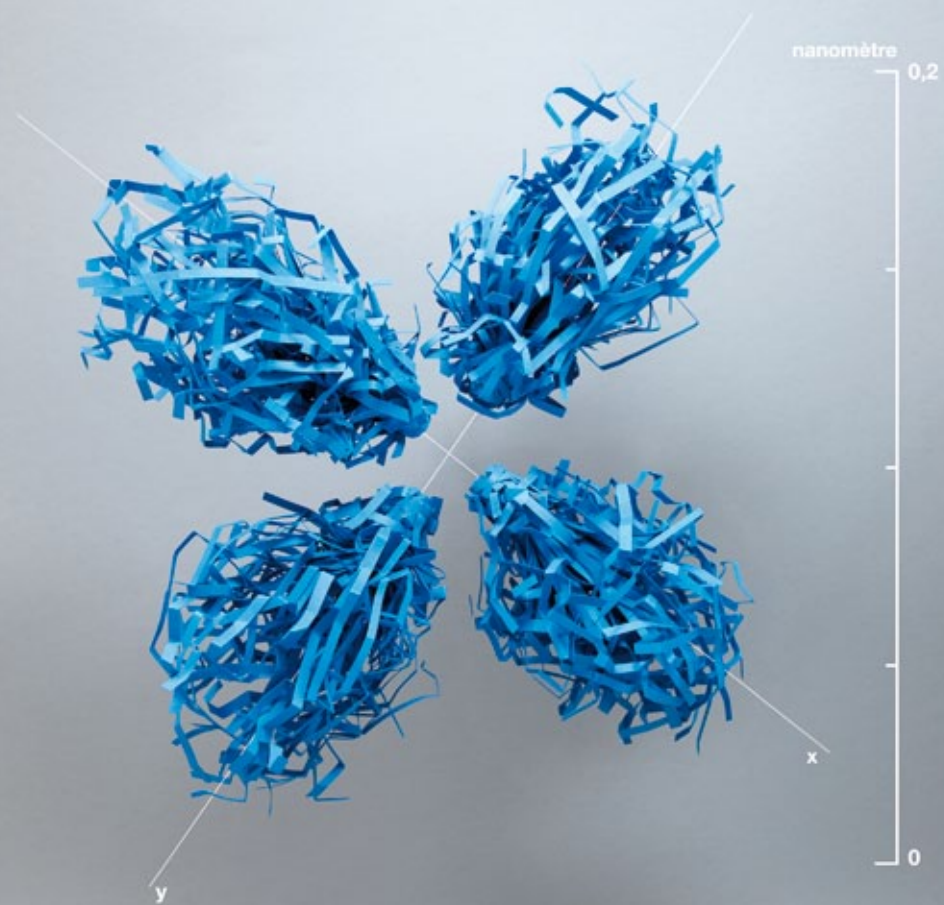
les formes de l'électron

Les images qui suivent représentent les trois autres types de forme qu'un électron peut avoir. Les patrons des formes p et $d_{x^2-y^2}$ sont à retrouver sur www.supraconductivite.fr.





électron de
forme $d_{3z^2-r^2}$

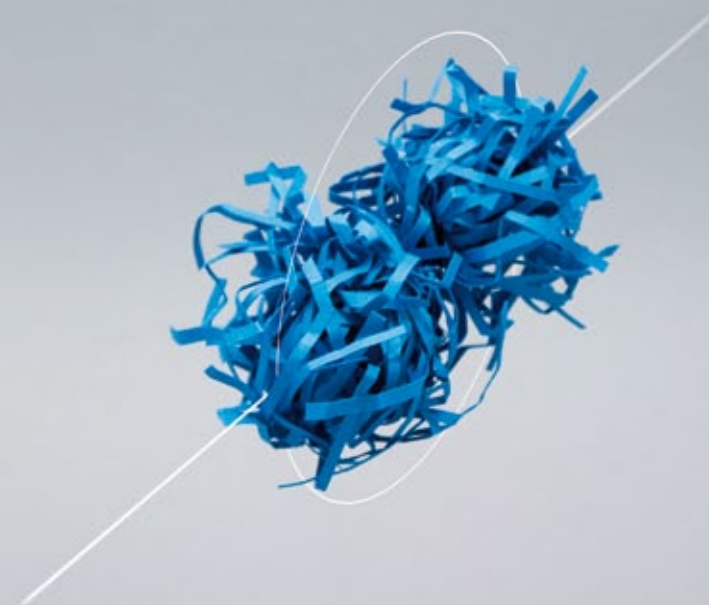


électron de
forme $d_{x^2-y^2}$

quand deux atomes se rencontrent

liais-o-n chimique

Les atomes peuvent s'accrocher entre eux, ce qui permet à la matière qui nous entoure de tenir. Sinon, votre chaise, et vous-même, vous évaporeriez comme un gaz ! Ce sont les électrons qui permettent de faire les liens entre les atomes. Vous pouvez vous-même fabriquer une de ces liaisons. A vous de jouer : approchez deux électrons que vous avez fabriqués et faites-les se pénétrer et s'enchevêtrer un peu. Ça y est, vous venez de fabriquer une molécule de deux atomes d'hydrogène. C'est ce recouvrement des électrons qui permet aux atomes de se coller l'un à l'autre et de former des molécules ou de la matière. On peut faire cela avec d'autres types d'électrons. Le diamant, par exemple est formé d'atomes de carbone accrochés entre eux par des liens entre électrons « s » et « p ». Pour fabriquer un nouveau matériau, les chimistes savent faire et défaire ces liaisons, à travers des « réactions chimiques ».



Quand deux atomes s'approchent, leurs électrons peuvent s'accrocher.

l'électron
dans un métal

dans un métal

#matière organisée

La matière solide qui nous entoure est constituée d'atomes bien organisés les uns à côté des autres, un peu comme des élèves en rang. Un gaz ou un liquide contiennent aussi des atomes, mais qui sont mal organisés et en mouvement, un peu comme des enfants à la récréation dans la cour de l'école. C'est quand on refroidit un liquide qu'il devient solide, car ses atomes s'agitent moins, et finissent par se ranger bien en ordre. Ce sont les liaisons chimiques qui leur permettent alors de tenir ensemble.

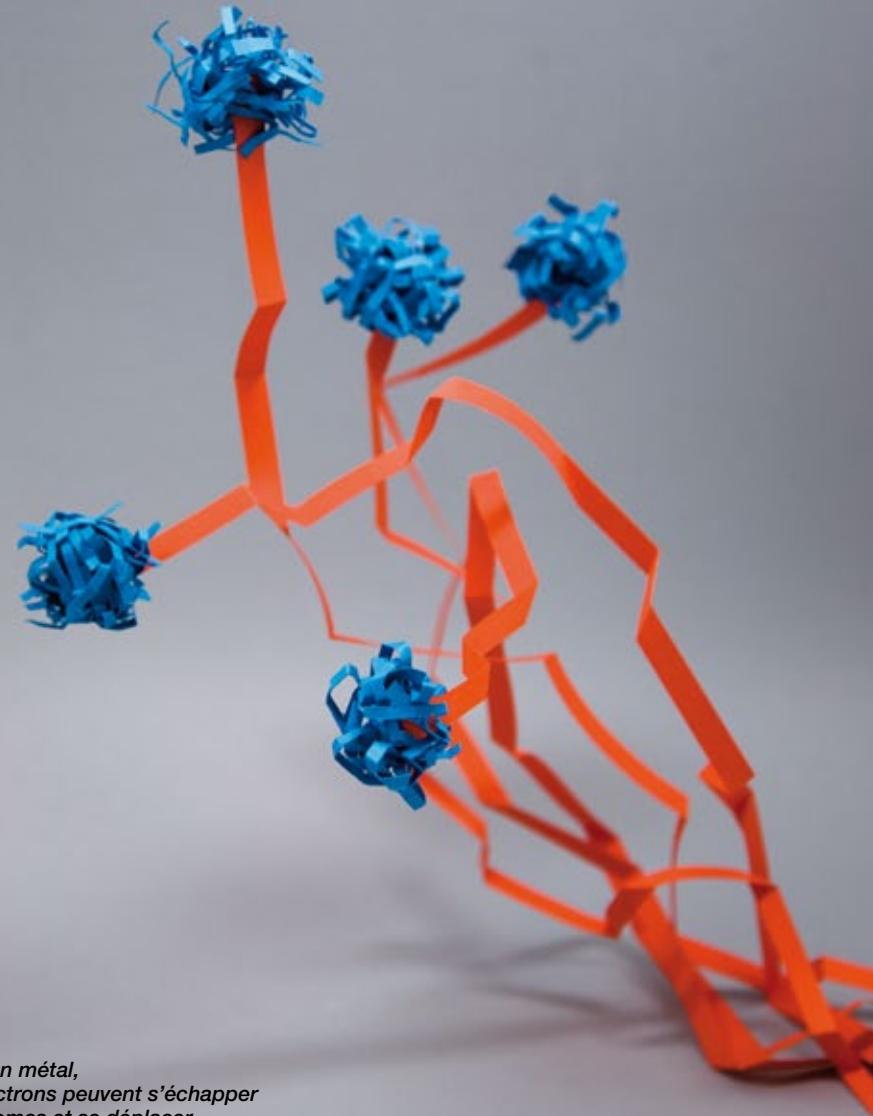


Dans la matière, tous les atomes s'accrochent grâce à leurs électrons.

dans un métal

+ courant électrique -

Dans un métal, les atomes sont bien rangés les uns à côté des autres, mais certains électrons ont pu s'échapper de leurs atomes et se promènent librement. Les autres atomes ne les gênent pas vraiment car, souvenez-vous, les électrons sont un peu comme une vague dans la mer, ils peuvent glisser entre les atomes. Si on branche un bout de métal sur une pile ou sur une prise électrique, cela force ces électrons libres à se déplacer tous dans le même sens. C'est ce qui fait le courant électrique que nous utilisons à la maison. Mais même quand ils se déplacent, les électrons subissent parfois des chocs, et rebondissent. Cela les freine. On appelle ça la résistance électrique. Plus il y a de résistance, moins le courant passe bien. Et en plus, ça chauffe le métal ! C'est comme ça que marche votre grille-pain. Sur la photo, on voit ces électrons se déplacer mais pas en ligne droite, à cause des chocs.



*Dans un métal,
les électrons peuvent s'échapper
des atomes et se déplacer.*

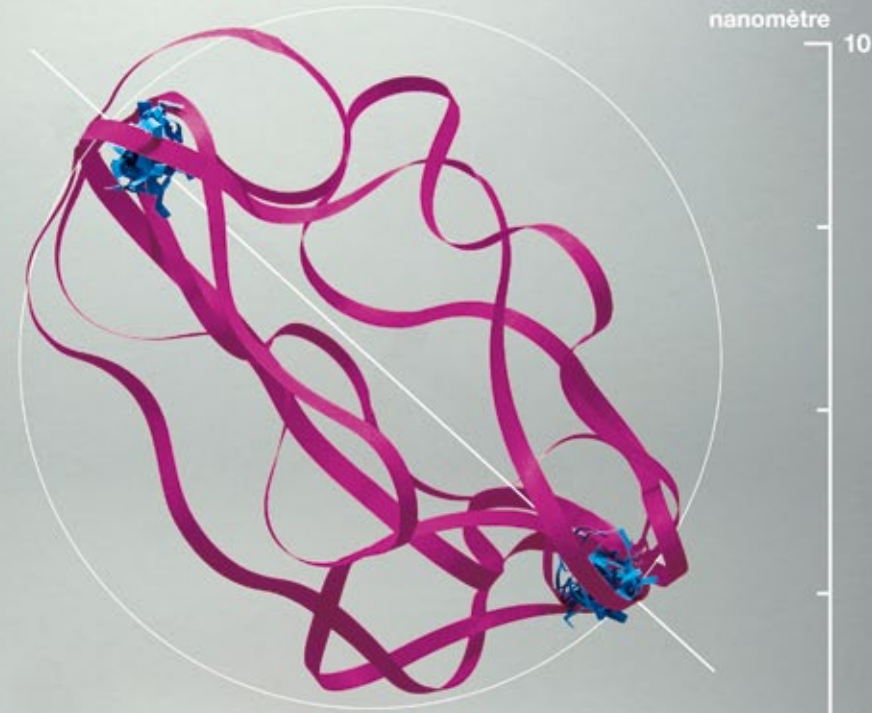
l'électron dans un supraconducteur

dans un supraconducteur

paire de Cooper

Quand on refroidit énormément certains métaux, ils deviennent supraconducteurs. Cela veut dire que soudain, les électrons qui s'y déplacent ne subissent plus aucun choc : il n'y a plus de résistance électrique, et ça ne chauffe plus. Comment est-ce possible ? D'abord, les électrons se mettent par deux, et forment ce qu'on appelle une «paire de Cooper», car c'est Léon Cooper, un physicien américain, qui les a découvertes. Une fois deux par deux, ils parviennent à se mettre tous ensemble et former une seule onde ! Un peu comme quand pleins de poissons dans la mer forment un banc de poissons et se déplacent tous ensemble, ou quand des élèves se rangent en rang quand la sonne cloche.

À vous de jouer : construisez avec deux électrons votre paire de Cooper.

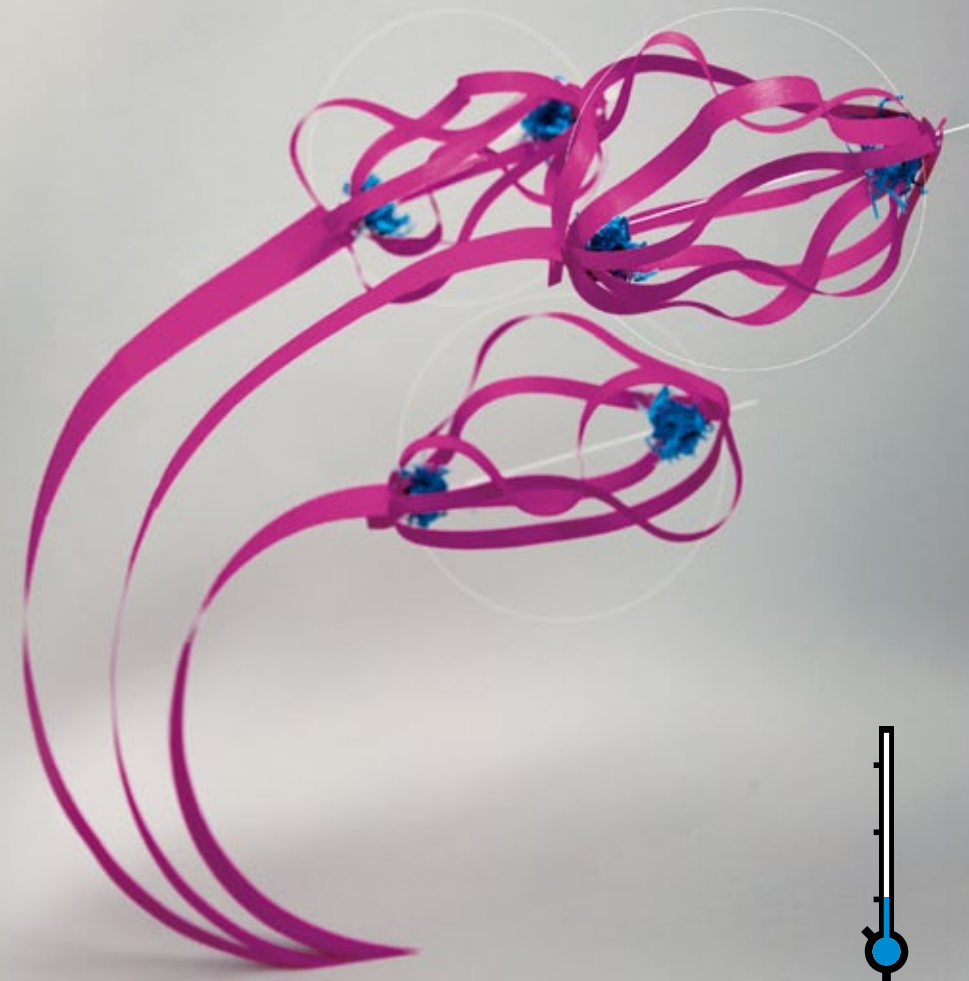


À très basse température,
dans un supraconducteur,
les électrons dansent deux par deux.

dans un supraconducteur

Supercourant

Maintenant que les électrons se sont tous mis ensembles pour avancer, ils ne subissent plus de choc. C'est ce qu'on voit sur l'image. Regardez bien leur mouvement par rapport au métal, ils font tous pareil et avancent mieux. Plus rien ne leur résiste car ils sont devenus très puissants en se regroupant. Il n'y a plus de résistance électrique, ni d'échauffement. On appelle cela la supraconductivité. Si un courant électrique de ce genre tourne dans un anneau fabriqué avec un supraconducteur, alors il continuera de tourner comme dans un manège jusqu'à la fin des temps, car plus rien ne le freine. C'est bien utile car on peut mettre bien plus de courant électrique dans un câble supraconducteur, puisqu'il ne chauffe plus.



Dans un supraconducteur, les paires d'électrons se déplacent toutes ensembles sans être freinées.

aimantation et
supraconductivité

aimants

((champ magnétique))

Qu'est-ce qu'un aimant? C'est un matériau qui crée un champ magnétique, un peu comme la Terre crée un champ magnétique qui oriente les boussoles. Ce champ est invisible, mais il est bien là : si on approche un matériau magnétique comme un tournevis ou un clou près d'un aimant, il va se coller à l'aimant car il est attiré par ce champ magnétique. On ne peut pas voir ce champ, alors les scientifiques le dessinent avec des lignes pour se souvenir où il est.

À vous de jouer : construisez vous-même les lignes du champ magnétique autour d'un aimant. Sur l'image, l'aimant est le petit rectangle métallique et son pôle sud et son pôle nord sont au-dessus et en dessous de lui. Si vous approchez une boussole d'un vrai aimant, vous verrez qu'elle suit ces lignes!



Un aimant crée autour de lui un champ magnétique invisible qui correspond aux bandes noires.

aimants et supraconducteur

lévitation d'un aimant

Quand on approche un aimant d'un supraconducteur, il est repoussé et se met à flotter en l'air! Deux aimants aussi se repoussent mais très vite, ils se retournent et se collent entre eux. Avec un supraconducteur, c'est différent : l'aimant ne tombe pas, et reste suspendu dans le vide (*voir video*). Pourquoi ? Parce que le supraconducteur ne supporte pas les champs magnétiques qui briseraient ses paires d'électrons. Il repousse donc les lignes du champ créées par l'aimant, ce qui force l'aimant à léviter.

À vous de jouer : posez votre maquette d'un aimant et de ses lignes de champ sur un autre objet. Observez comment les lignes sont déformées et votre aimant semble léviter au-dessus. C'est ce qui se passe vraiment pour un supraconducteur. Ce genre de lévitation a permis de construire le train le plus rapide au monde, au Japon!



Quand un aimant s'approche d'un supraconducteur, lui et son champ magnétique sont repoussés vers le haut.

*Conception graphique : Cyril Conton
Textes : Julien Bobroff (Laboratoire de physique des Solides,
Université Paris-Sud et CNRS)*

*Ce projet a été réalisé dans le cadre d'un diplôme du
DSAA Design d'Illustration Scientifique-école Étienne-
à l'occasion de l'année de la supraconductivité-2011.
Il a bénéficié du soutien du RTRA Triangle de la Physique.
Nous tenons à remercier Frédéric Bouquet (LPS), Catherine
Dematteis et Jean-Michel Courty de l'INP (CNRS), et Roland
Lehoucq (CEA).*

Tous droits réservés J.Bobroff 2011

Imprimé par la Cité des sciences et de l'industrie, en février 2012

**www.supraconductivite.fr
contact@supraconductivite.fr**

