

## Conduction électrique des matériaux (suite)

### III Supraconductivité

#### Document 7 : supraconductivité et résistance

A très basses températures, les propriétés électriques de certains matériaux tels le plomb, le mercure ou certains oxydes changent radicalement. Ces matériaux deviennent supraconducteurs : ils n'opposent plus aucune résistance au passage du courant électrique

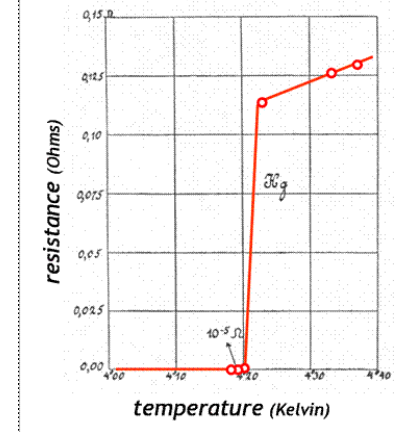
Dans un supraconducteur, en dessous d'une température appelée « température critique », très soudainement, la résistance électrique s'annule. Le matériau conduit alors parfaitement le courant. C'est incompréhensible car les défauts et vibrations des atomes devraient provoquer la résistance du matériau au passage des électrons. Et pourtant, dans un supraconducteur, la résistance électrique est rigoureusement nulle bien qu'il y ait toujours des défauts et toujours des vibrations ! Les mesures, menées sur plusieurs années, montrent que le courant ne décroît pas du tout. Attention, même si ce courant est perpétuel, ce n'est pas une violation des lois de thermodynamique (qui interdisent les machines à mouvement perpétuel), car ici il n'y a pas création d'énergie. L'énergie électrique est juste stockée dans le matériau sans perte.

L'explication en deux mots : les électrons forment un nouvel état collectif quantique tout à fait original qui n'est plus sensible aux moindres chocs. Les électrons ne sont plus freinés, la résistance électrique a donc disparu.

Les utilisations de matériaux avec une résistance nulle et donc une conductivité infinie se trouvent dans les domaines où on cherche à avoir un courant de valeur extrêmement grande. Par exemple, pour produire un champ magnétique, on peut utiliser une bobine de fil métallique dans laquelle on fait passer un courant électrique. Ce courant va induire un champ magnétique orienté perpendiculairement à la bobine. Les supraconducteurs peuvent servir à faire de telles bobines et à produire ainsi des champs magnétiques encore plus élevés que les meilleurs des aimants. C'est ainsi par exemple que fonctionnent les bobines d'IRM d'hôpital ou les bobines à l'intérieur des appareils servant à faire des spectres de RMN où le champ vaut 1 tesla voire davantage. On sait actuellement faire des champs magnétiques jusqu'à plusieurs dizaines de teslas en laboratoire.

Une autre utilisation de ces champs magnétiques intenses obtenus grâce à la supraconductivité est les trains qui lèvent avec l'utilisation de champs magnétiques, appelés « Maglevs », pour « Magnetic lévitation trains », trains à sustentation magnétique. Ces maglevs ont le potentiel d'être plus rapides et plus silencieux que les trains à roues, tels le TGV. Ils ne sont pas encore commercialisés.

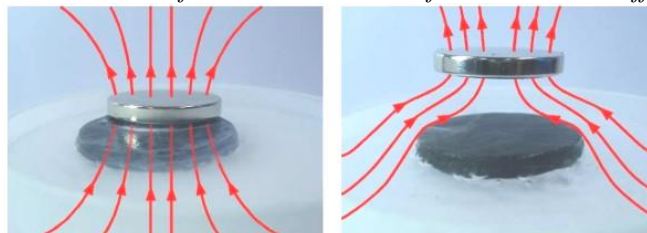
Source : <http://www.supraconductivite.fr/fr/index.php#supra-resistance>



#### Document 8 : supraconductivité et effet Meissner

A très basses températures, les propriétés magnétiques de certains matériaux tels le plomb, le mercure ou certains oxydes changent radicalement. Ces matériaux deviennent supraconducteurs : ils expulsent les champs magnétiques en plus d'avoir une résistance nulle. Cela permet de faire léviter un aimant.

Un aimant (ici métallisé) crée autour de lui un champ magnétique, dont on a fait visualiser les lignes de champ, qui traverse tout matériau non magnétique comme la pastille noire. Quand la pastille noire devient supraconductrice à basse température, celle-ci expulse le champ magnétique. Cela crée alors une force sur l'aimant et le fait léviter : c'est l'effet Meissner.



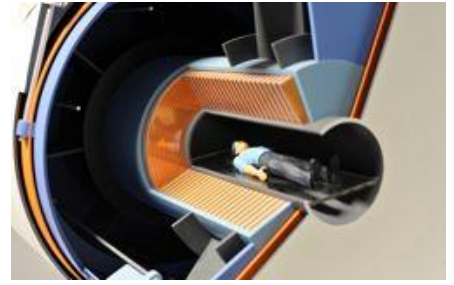
Vidéos et compléments : <http://www.supraconductivite.fr/fr/index.php#supra-levitation>

Beaucoup de recherches théoriques et appliquées sont en cours pour expliquer cet effet.

## Résolution de problème : matériaux et médecine du cerveau

« 11,7 teslas, c'est la valeur du champ magnétique du futur « aimant » Iseult qui rejoindra en 2012 NeuroSpin, centre de neuro-imagerie au CEA de Saclay. Objectifs : étudier le cerveau, mieux diagnostiquer et traiter des maladies. »

D »après *Les défis du CEA*, n°137, février 2009

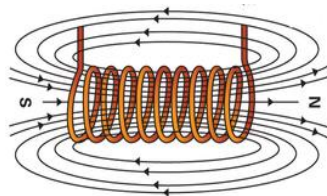


A partir du document 7 et des documents suivants, déterminer si il est envisageable de réaliser un champ magnétique B de 11,7 T à l'aide d'un simple solénoïde de diamètre D = 1,00 m, de longueur L = 70,0 cm formé par l'enroulement d'une seule rangée de spires jointives en cuivre recouvert d'un film isolant. Le fil de cuivre a un diamètre d = 1,00 mm et on néglige l'épaisseur du film isolant.

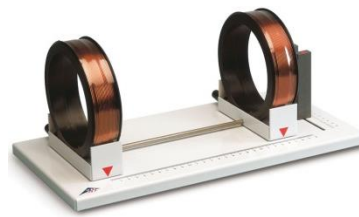
Remarque :

L'analyse des données ainsi que la démarche suivie seront évaluées et nécessitent d'être correctement présentées. Les calculs numériques seront menés à leur terme avec rigueur. Il est aussi nécessaire d'apporter un regard critique sur le résultat et de le discuter.

### Document 9 : le solénoïde : caractéristiques géométriques



Cas 1



Cas 2

Une bobine est un enroulement d'un fil conducteur autour d'un axe. Un champ magnétique apparaît dans son voisinage dès qu'elle est parcourue par un courant. L'enroulement est la plupart du temps circulaire (cercle de diamètre D). Chaque tour de fil est nommé « spire ».

Si la longueur de la bobine est plus grande que son diamètre, on parle plutôt de solénoïde : cas 1

Mais il se peut que la largeur de la bobine soit inférieure à son diamètre : cas 2 où deux bobines sont visibles (le terme de solénoïde peut encore être employé).

La valeur du champ magnétique B créé au centre du solénoïde parcouru par un courant électrique d'intensité I et contenant n spires circulaires par mètre vaut I (B en tesla (T) et I en ampère (A)) :

$$B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot n \cdot I$$

### Document 10 : résistance d'un fil métallique

La résistance R d'un fil métallique de longueur  $l_0$ , de section s et de résistivité  $\rho$  est donnée par la relation (R en ohm ( $\Omega$ ),  $l_0$  en m, s en  $m^2$  et  $\rho$  en  $\Omega \cdot m$ ) :

$$R = \rho \cdot l_0 / s$$

### Document 11 : effet Joule

Tout corps traversé par un courant électrique I et possédant une résistance R est soumis à un échauffement (effet Joule). Il reçoit une puissance électrique P égale à (P en W, R en  $\Omega$  et I en A) :

$$P = R \cdot I^2$$

Cette puissance électrique est à l'origine d'une augmentation de l'énergie thermique pendant la durée  $\Delta t$  du passage du courant égale à (E en J, la durée en s et P en W) (expression à connaître par cœur) :

$$E = P \cdot \Delta t$$

L'énergie thermique emmagasinée par un corps de capacité thermique et de masse m est reliée à la variation de température  $\Delta\theta$  de ce corps par (E en J, m en kg, c en  $J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$  et  $\Delta\theta$  en  $^\circ C$ ) :

$$E = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

### Document 12 : quelques données sur le cuivre

Le cuivre est un métal, à température et pression ordinaire, rose, bon conducteur électrique. Il est souvent utilisé pour fabriquer des bobines magnétiques ou des fils électriques.

Z(Cu) = 29      Température de Fusion : 1083  $^\circ C$  ; Température d'ébullition : 2595  $^\circ C$

Caractéristiques du cuivre solide :

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Masse volumique               | $\mu_{Cu} = 8,92 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot m^{-3}$              |
| Capacité thermique massique : | $c_{Cu} = 390 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ |
| Résistivité électrique        | $\rho_{Cu} = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$                    |