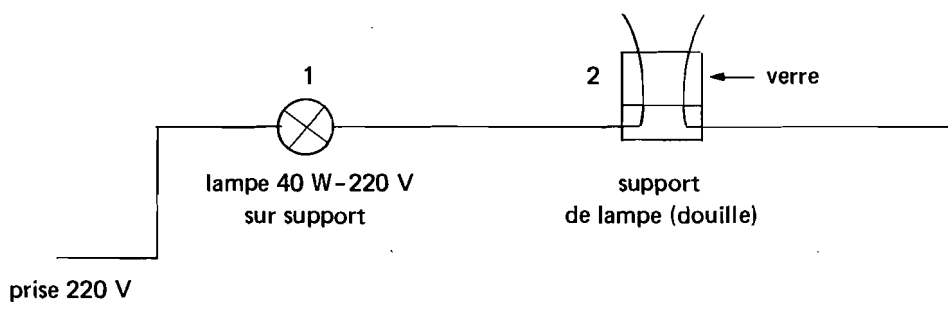


EXPERIENCE... ISOLANT OU CONDUCTEUR ?

Marc LEGRAND
I.R.E.M. de Grenoble

Le verre est souvent classé parmi les isolants électriques, mais dans certains cas il peut être conducteur.



La lampe 1 est en bon état.

La lampe 2 est une lampe grillée, le verre a été enlevé, les supports du filament sont écartés et on chauffe avec un bec Bunsen ou un camping-gaz le tube en verre se trouvant entre les deux tiges métalliques.

Au bout d'un moment la lampe témoin de 40 W s'allume.

Si on arrête le chauffage, le passage du courant échauffe suffisamment le verre pour que le filament reste jaune pâle.

Cette expérience est très facile à réaliser avec du matériel courant.

QU'EST-CE QUE LE COURANT ELECTRIQUE ?

Ce compte rendu est la réflexion menée par un groupe IREM-IRESP* au cours des années 77-78.

La question que s'était posé ce groupe au début de l'année était la suivante :

Si demain un élève de 6ème-5ème vient nous questionner de la façon suivante : «qu'est-ce qu'un conducteur ? un isolant ? etc...» ; avons-nous une réponse satisfaisante à lui offrir tant sur le plan scientifique que sur le plan des possibilités de compréhension d'un enfant de cet âge ? Constatant que chacun de nous aurait beaucoup de mal à formuler une telle réponse, nous avons alors décidé d'essayer de rédiger, d'abord pour nous, une ou plusieurs réponses possibles.

Après coup il nous a semblé, qu'un tel travail était susceptible d'aider nos collègues dans leur propre démarche en vue de réduire l'antinomie : rigueur scientifique d'une part, volonté de rester à la portée des élèves d'autre part !

Tout au long de la rédaction collective (qui donna parfois lieu à des débats épiques tant sur la forme que sur le fond) le groupe lutta contre l'écueil suivant : remplacer l'explication d'un phénomène par l'énonciation de «mots-savants», mots qui s'ils donnent un nom aux événements concernés, n'apportent néanmoins aucun éclaircissement réel sur «le fond de la chose» ! Ceci nous a conduit à l'utilisation fréquente de métaphores et de comparaisons.

En résumé il ne s'agit pas ici d'une activité ou d'un texte proposé directement pour la classe, ni d'un travail ayant fait l'objet d'une expérimentation méthodique.

Il nous paraît néanmoins intéressant de vous présenter en regard les objectifs déclarés d'un groupe d'enseignants avant la rédaction d'un texte et la «réalisation» concrète de ces objectifs : le texte ; à vous de juger du décalage éventuel et des retombées possibles dans vos propres classes !

* IRESP : Institut de Recherche sur l'Enseignement des Sciences Physiques.

A la relecture de ce document il nous a semblé utile de lui adjoindre la description d'une expérience (voir p. 68) très facilement réalisable en classe et illustrant le fait suivant : l'état d'un objet (isolant ou conducteur) n'est pas nécessairement immuable ! (Ici un isolant le verre froid devient progressivement conducteur sous l'effet de la chaleur).

Vous pouvez essayer, mais attention à ne pas vous couper !

Marc LEGRAND
I.R.E.M. de Grenoble

Qu'est-ce que le courant électrique ?

C'est un déplacement de charges électriques.

Tenter de comprendre ce que sont exactement les charges électriques et expliquer l'ensemble de leurs propriétés serait certainement très difficile et dépasse le cadre de notre réflexion.

C'est pourquoi nous éviterons cette difficulté et nous admettrons le schéma suivant :

La matière est un édifice d'atomes neutres. Chaque atome est constitué d'un noyau et d'électrons qui gravitent autour du noyau.

Certains électrons peuvent être séparés du noyau grâce à l'apport d'une énergie extérieure.

Un électron libéré constitue ce que l'on appelle par convention «une charge négative».

Par conséquent, l'atome privé de son électron est un ion chargé positivement. L'atome initial (auquel on n'a rien retiré) est dit électriquement neutre.

La matière qui permet ce déplacement des charges est appelée «conducteur».

Par opposition, si le déplacement ne peut se produire, la matière est appelée «un isolant».

Au niveau de la structure de la matière, qu'est-ce qui différencie le conducteur de l'isolant ?

Dans un conducteur comme dans un isolant, les électrons gravitent autour des noyaux. Mais dans leur ensemble, rien ne semble bouger : (comme un troupeau de moutons : parqués et vus d'avion, rien ne bouge et pourtant chaque mouton suit son propre chemin).

Dans un isolant, tous les électrons sont très fortement liés au noyau. Ils ne peuvent être déplacés que par un apport d'énergie considérable.

Si on fournit cette énergie, on met en jeu des forces telles qu'on détruit l'édifice (claquage) ex : la foudre (l'air sec est un isolant).

Pour le conducteur, les électrons les plus éloignés du noyau (ceux que l'on appelle électrons libres) peuvent être déplacés d'un atome à l'autre grâce à l'apport d'une énergie extérieure modérée.

La cohésion de l'édifice reste assurée par les électrons les plus proches des noyaux.

Voici une anecdote qui peut nous aider à illustrer la différence entre conducteur et isolant :

1) ISOLANT :

Dans un atelier d'usine, la vétusté est telle que la fonction des ouvriers est de soutenir l'édifice à tour de rôle.

Un concurrent arrive en leur proposant un nouveau travail avec prime d'embauche.

- l'offre est trop faible : personne ne bouge ;
- il augmente son offre : la prime est encore insuffisante ;
- à l'instant où la proposition de prime atteint la valeur suffisante, tous les ouvriers quittent leur poste et l'édifice s'écroule.

Voilà ce qui se passe dans un isolant quand l'apport d'énergie est trop important (claquage) : le départ brutal des électrons entraîne la rupture de l'édifice moléculaire.

2) CONDUCTEUR :

Le comportement des électrons dans un conducteur peut être comparé au déplacement des clients dans un grand magasin : les présentoirs représentent le réseau autour duquel les clients tournent. Le mouvement des personnes est semblable à l'agitation thermique. Les vendeuses qui restent proches de leur rayon ressemblent aux électrons liés du réseau. Comme dans un conducteur où le courant circule, dans un magasin les clients, par des trajets aléatoires et en zig-zag, se dirigent petit à petit vers la sortie.

Le conducteur n'est pas modifié par le passage du courant.

Une autre représentation peut préciser encore la différence : imaginons un tamis agité régulièrement et rempli de sable :

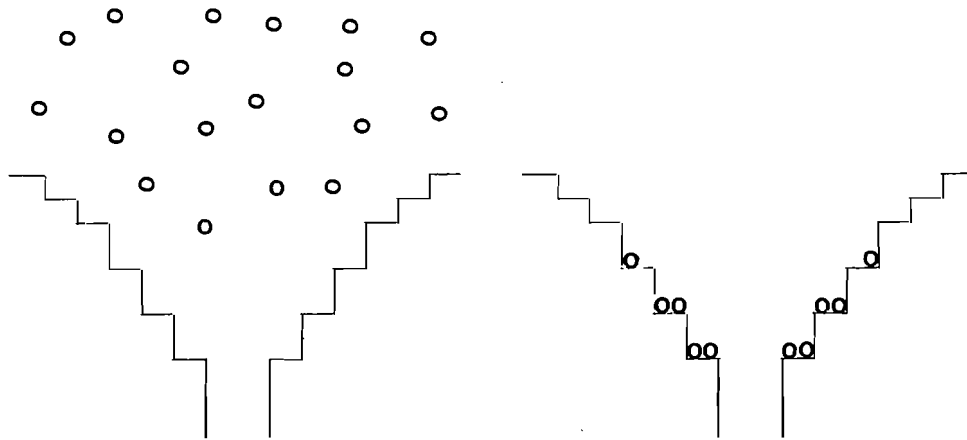
- dans un conducteur, les mailles du tamis sont suffisamment larges pour que, sous les effets conjugués de la pesanteur et de l'agitation, les grains passent ;
- dans un isolant, les mailles du tamis sont trop petites et empêchent tous les grains de passer.

MODELE ENERGETIQUE DES CONDUCTEURS ET DES ISOLANTS : THEORIE DES BANDES.

Un atome peut être représenté par un noyau et des électrons. Les électrons sont comparables à des billes qui tombent en pluie sur les gradins d'une petite arène, la hauteur des marches diminue en fonction de l'altitude. Une fois la pluie terminée, on constate que les gradins de niveau inférieur sont remplis. Les billes se sont rangées par niveau d'énergie. Les plus basses sont les plus stables ; ce sont celles qui ont la plus petite énergie potentielle.

On peut remarquer que, pendant la pluie, même les niveaux les plus hauts ont été momentanément occupés. Une fois le système stabilisé, seuls les niveaux les plus bas sont bien garnis.

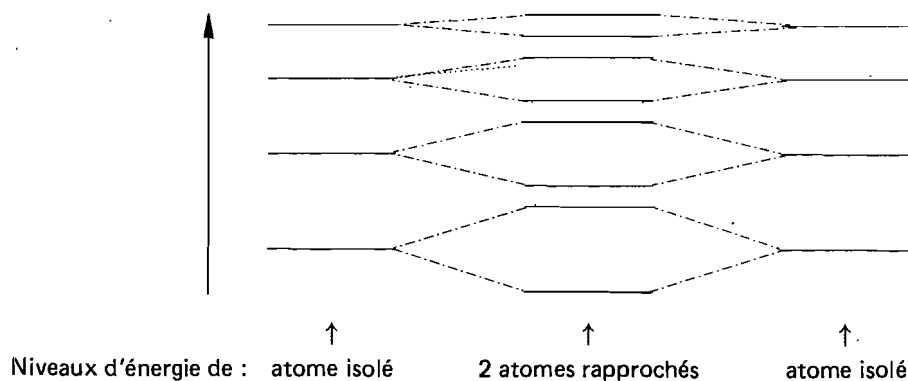
Les niveaux supérieurs sont des niveaux d'énergie possibles mais non occupés en période stable. Les niveaux inférieurs sont possibles et occupés. Entre les gradins, il n'existe pas de niveau d'énergie permis.



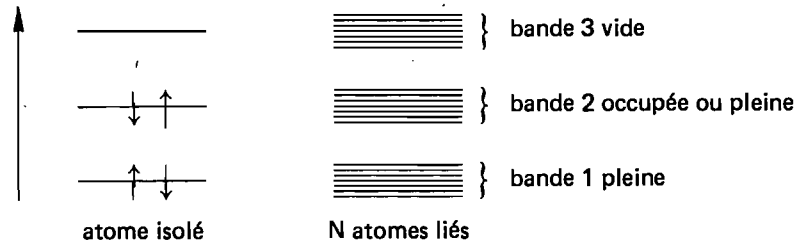
De la même façon, si nous revenons à l'atome, la spectroscopie montre que les électrons se rangent par niveau d'énergie comme les billes dans notre arène. Cette énergie varie par paliers ; on dit qu'elle prend des valeurs discrètes par exemple : 1 - 6 - 7,25 - 7,75 unités d'énergie.

Ce modèle énergétique de l'atome isolé peut se représenter sur un diagramme par des traits de niveaux différents. En régime stable, seuls les niveaux inférieurs sont occupés par les électrons, tout comme les billes occupent les gradins les plus bas de l'arène (principe de l'énergie minimum).

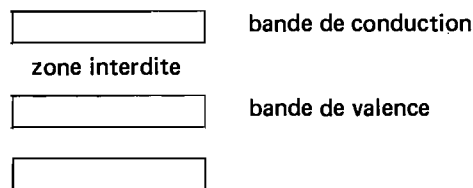
Si, maintenant, on rapproche deux atomes, leurs niveaux propres d'énergie se **dédoublent** de la façon suivante :



De même, si l'on regroupe N atomes, les niveaux d'énergie se regroupent en bandes de N niveaux d'énergie.



Les électrons «remplissent» en priorité les bandes de faible énergie. Les zones entre ces bandes sont dites «interdites». Selon la nature des atomes de départ et la géométrie du solide, les zones interdites sont plus ou moins étendues. En électricité, on étudie la circulation des électrons ; ce qui nous intéresse donc, c'est la largeur de la zone interdite séparant la dernière bande permise et occupée (appelée «bande de valence») de la première bande permise et non occupée (appelée «bande de conduction»).



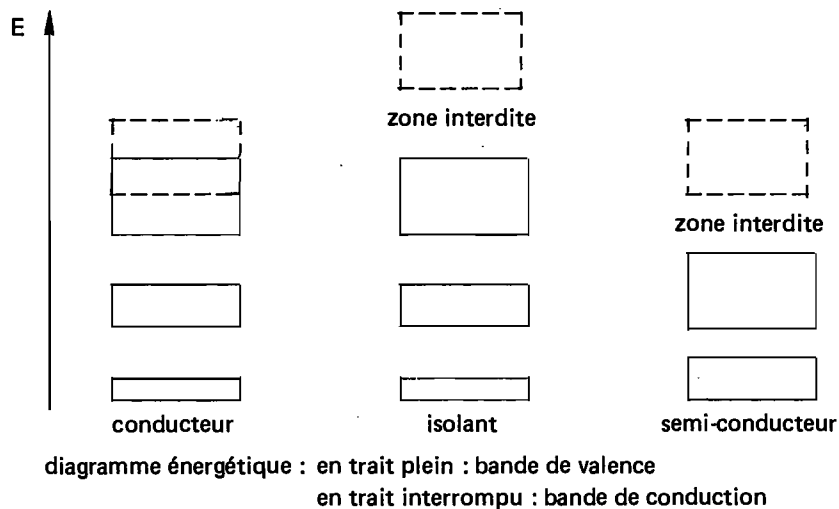
Si cette largeur est grande, le matériau est un **isolant**. Ex : Dans le diamant, la zone interdite a une largeur de 7 électron-volts.

Si cette largeur est plus faible, on a affaire à un **semi-conducteur**. Ex : Dans le silicium et le germanium, la largeur des zones interdites est respectivement de 1,1 et 0,72 électron-volts.

Dans le cas des conducteurs, la bande de conduction recouvre partiellement la bande de valence. Sous l'action d'une excitation extérieure, par exemple un champ électrique, il y a mouvement d'ensemble de ces électrons dans la direction du champ.

Dans un isolant au contraire, il n'y a pas de recouvrement. L'importance de la zone interdite empêche les électrons de sauter vers la bande de conduction et de se déplacer sous l'action d'un champ électrique.

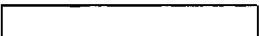
Pour les semi-conducteurs, tels que le silicium et le germanium par exemple, le saut des électrons dans la bande de conduction peut être provoqué par une simple élévation de température ou un flux lumineux : cellule photo-électrique ; sous l'action d'un champ électrique, ces électrons pourront alors se déplacer.



Pour donner une autre image du déplacement des charges électriques dans un élément de matière, prenons le modèle du déplacement d'un liquide dans un tuyau.

Matériaux en présence

Elément de matière : (cuivre, plastique, bois, etc...) que nous représentons par le bâtonnet d'extrémités A et B.

A  B

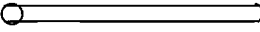
Quelle que soit sa nature, le bâtonnet contient beaucoup de charges positives et négatives mais il est électriquement neutre c'est-à-dire qu'il y a autant de charge + que de charge -

MIS SOUS TENSION

Un apport d'énergie extérieure tend à faire circuler les charges négatives de A vers B ou les charges positives de B vers A. Par cet apport d'énergie, on a établi une différence de potentiel entre A et B. Le générateur fournit une énergie extérieure qui peut être d'origine chimique, mécanique, lumineuse, thermique...

Cette différence de potentiel est exprimée en volts.

Tuyau d'extrémités A et B rempli de matière fibreuse (paille de fer, coton, etc...) contenant un liquide visqueux

A  B

Initialement, le tuyau est rempli de liquide qui joue le rôle d'électron. La fibre joue le rôle du réseau cristallin qui retient les électrons. Au repos, il n'y a pas déséquilibre entre la pression qui s'exerce en A et celle qui s'exerce en B.

MIS SOUS PRESSION

On exerce une surpression en A ou une dépression en B, c'est-à-dire on établit un déséquilibre entre la pression qui s'exerce en A et celle qui s'exerce en B. Cette différence de pression est exprimée en newton par m^2 .

CONDUCTEURS ET ISOLANTS

I – CONDUCTEURS

L'élément de matière, possédant des électrons libres, à la moindre différence de potentiel, ceux-ci se mettent à circuler le long du bâtonnet et créent ainsi un courant électrique que l'on mesure en Ampère ou Coulomb par seconde (cb/s). (Quantité de charges traversant par seconde une section de bâtonnet).

Plus la différence de potentiel est élevée, plus l'intensité est grande dans le bâtonnet.

L'élément de matière possède un coefficient de freinage noté R et mesuré en ohm. R varie avec la nature, la section et la longueur du bâtonnet.

Les fibres ne sont pas trop serrées. Elles permettent l'écoulement du liquide. A la moindre différence de pression, celui-ci circule avec un certain débit mesuré en litres par seconde (l/s).

Plus la différence de pression est élevée, plus le débit est grand dans le tuyau.

Chaque tuyau fibreux a une Résistance propre qui tend à limiter le débit. Cette résistance est fonction du diamètre du tuyau, de sa longueur et de la nature de la fibre.

II – ISOLANTS

Tous les électrons qui gravitent dans le champ des atomes, sont solidement liés à eux et ne peuvent être arrachés sans un apport d'énergie extérieure très important.

Ainsi, toute charge placée en A et soumise à une différence de potentiel (apport d'énergie) qui tend à la faire circuler de A vers B ne peut se déplacer à travers l'isolant.

Si on augmente suffisamment la différence de potentiel entre A et B, on atteint une valeur critique appelée : «potentiel disruptif» (dépend de l'isolant considéré).

L'isolant «claqué» et sa structure est détruite.

La fibre est trop serrée compte tenu de la fluidité du liquide ; tout comme un tamis pour sable fin ne peut servir à calibrer du gravier.

Dans ces conditions, il ne sert à rien d'augmenter la différence de pression aux extrémités du tuyau ; il ne sert à rien non plus de communiquer une énergie considérable au tamis en le secouant avec force.

Tant que le tuyau résiste et que la maille du tamis ne se déchire pas, toute l'énergie apportée de l'extérieur ne permet pas le passage du liquide ou du gravier. Si on augmente démesurément la différence de pression entre A et B, la fibre est arrachée libérant brutalement le liquide retenu.