

LES NOUVEAUX AIMANTS

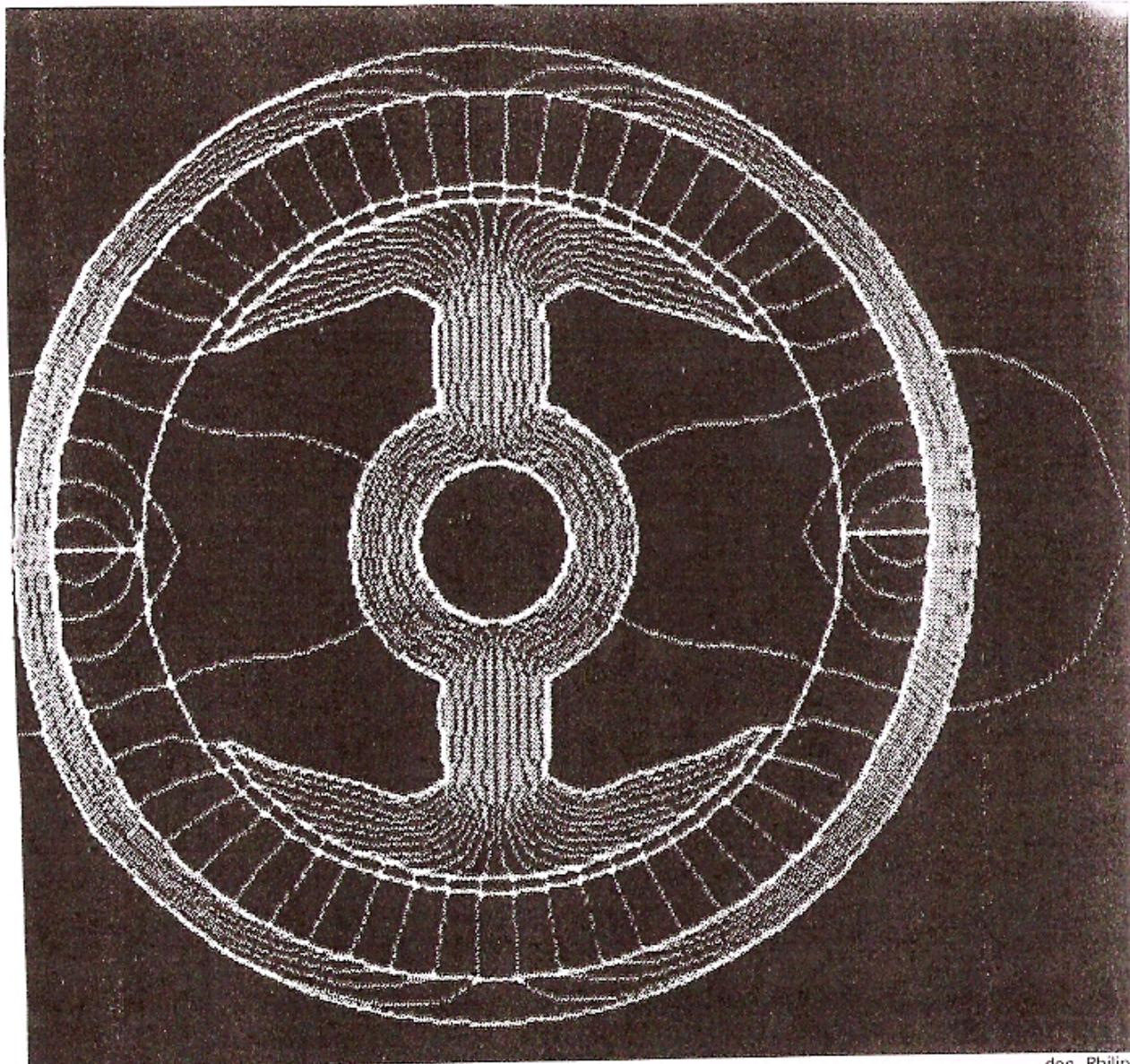
Jean-Paul Biberian

L

a place des aimants permanents dans notre environnement quotidien est de plus en plus importante. Rares sont les domaines qui ne les utilisent pas. Bien évidemment, leur rôle est essentiel en audio, principalement avec les hauts-parleurs, les cellules sans oublier les moteurs. Ces derniers ont fait l'objet d'investigations particulières pour les lecteurs CD (illustration ci-dessus).

Compte tenu de leur grande importance industrielle, c'est un produit qui est en constante évolution et de nombreuses recherches sont faites pour développer de nouveaux matériaux plus performants.

Après avoir rappelé ce qu'est un aimant, cet article fait le point sur les nouveaux matériaux utilisés, et leurs applications audio.



doc. Philips

Historique

C'est au philosophe ionien Thalès de Milet que l'on accorde la découverte au VI^e siècle avant notre ère, d'une pierre aux propriétés étranges : la magnétite. Cette pierre tire son nom de la région où elle fut trouvée la Magnésie, à l'ouest de la Thessalie.

Cette pierre avait la propriété d'attirer le fer, ou des pierres de même espèce. Platon avait montré que cette propriété se transmettait au fer qui pouvait lui-même attirer du fer.

C'est au XI^e siècle que l'aiguille aimantée a été utilisée pour la navigation, probablement par les Arabes, mais ce n'est que bien plus tard avec le développement de la mécanique

quantique, au cours de ce siècle que l'on a vraiment pu expliquer l'origine du magnétisme. En réalité, il existe toujours quelques points obscurs!

L'électromagnétisme

Le magnétisme et l'électricité ont tout d'abord été étudiés séparément. Mais en 1820 Oersted montre qu'un fil électrique parcouru par un courant continu

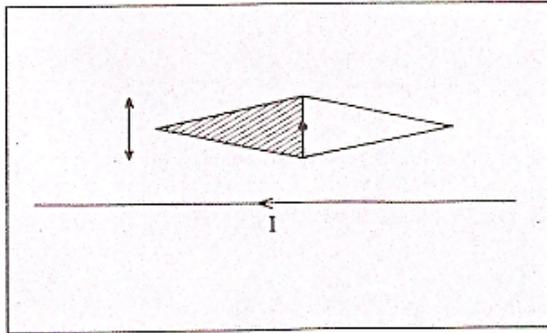


Fig. 1 : L'expérience d'Oersted en 1820 met en évidence le champ magnétique produit par un courant électrique.

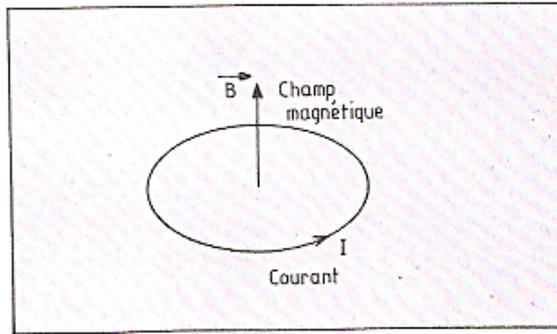


Fig. 2 : Champ magnétique B produit par une spire parcourue par un courant I.

dévie une aiguille aimantée, tel que décrit sur la figure 1.

C'était la preuve qu'un courant électrique produit un champ magnétique équivalent à celui d'un aimant. De là à penser qu'un aimant est un assemblage de petits aimants microscopiques, il n'y a qu'un pas qui a été franchi plus tard avec la mécanique quantique.

En effet, un fil circulaire parcouru par un courant électrique continu d'intensité « I » produit un champ magnétique « B » dirigé suivant l'axe du cercle. Comme on peut le voir sur la figure 2. Une bobine comportant « N » spires parcourues par un courant électrique continu « I » produira un champ magnétique « B » suivant l'axe du solénoïde (figure 3).

Ces expériences montrent qu'électricité et magnétisme sont deux aspects d'un même phénomène que l'on appelle l'électromagnétisme, et qui a été mis correctement en équation par Maxwell dans les années 1860.

Les matériaux magnétiques

A partir de ce que nous venons de voir, et de la constitution des atomes en un noyau chargé positivement au centre ainsi que des électrons tournant autour de ce noyau, on peut facilement imagi-

ner que chaque atome est semblable à un minuscule aimant créé par la rotation de l'électron. On pourrait donc fabriquer un matériau aimanté par un assemblage de ces aimants atomiques. La figure 4 donne une vue schématique de la section d'un tel barreau.

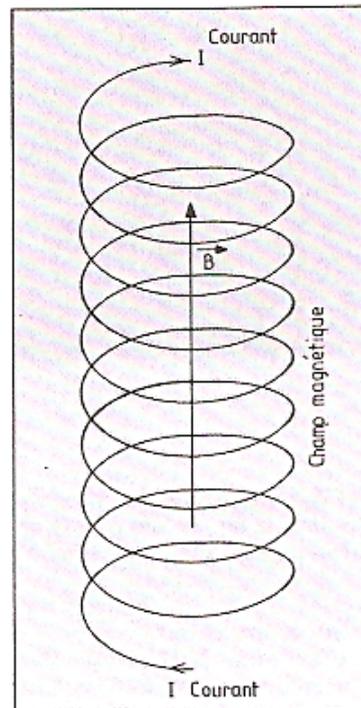


Fig. 3 : Champ magnétique B produit par une bobine de N spires parcourue par un courant I.

Naturellement ce schéma est entièrement idéal. D'une part, il faut que tous ces petits aimants s'orientent dans la même direction, et d'autre part, la matière n'est pas organisée aussi parfaitement. Un cristal quelconque est constitué d'une mosaïque de cristaux, désorientés les uns par rapport aux autres, et il faut que là aussi, tous les cristaux prennent la même orientation. La figure 5 donne une vue de ce que peut être une telle mosaïque de cristaux magnétiques.

Dans un pareil cas, l'aimantation moyenne sera nulle, car a priori, tous les domaines ont des orientations aléatoires dont la

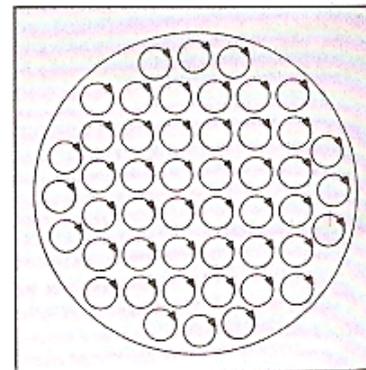


Fig. 4 : Vue schématique de la section d'un barreau aimanté idéal constitué d'un assemblage de petits aimants élémentaires orientés dans la même direction.

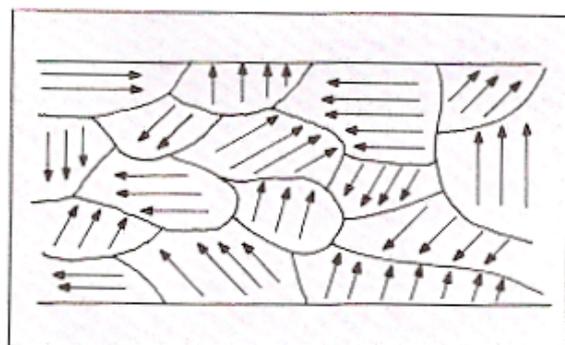


Fig. 5 : Dans la réalité, la matière n'est pas organisée aussi parfaitement qu'en figure 4. Ici, une mosaïque de cristallites aimantées. Dans ce cas, l'aimantation moyenne globale sera nulle.

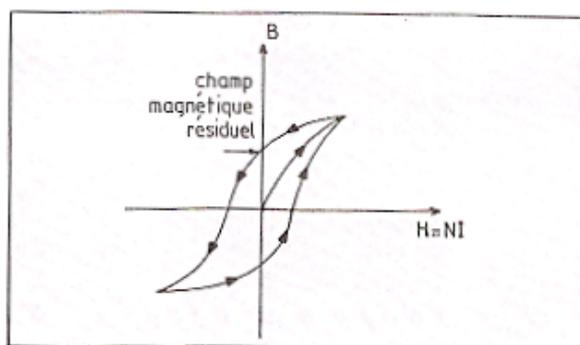


Fig. 6 : Le cycle d'hystérésis de l'aimantation B caractérise la densité de flux résultante en fonction de l'intensité du champ magnétique $H (=NI)$.

superposition des champs magnétiques est nulle.

La question se pose donc de savoir comment faire pour orienter ces domaines, et fabriquer réellement un aimant permanent.

La figure 6 décrit une expérience montrant comment on peut y arriver. Si on entoure un barreau de fer doux d'un solénoïde parcouru par un courant continu « I », et qu'on mesure le champ magnétique « B » produit en fonction du courant, on observe plusieurs phénomènes. Tout d'abord, le champ magnétique n'est pas proportionnel au courant appliqué ; il y a une saturation. Ensuite, les choses ne se passent pas d'une manière réversible. Après la première montée, lorsque le courant diminue, puis s'annule, le champ magnétique ne repasse pas par l'origine, c'est le phénomène d'hystérésis. En fait un état stable existe, mais connaissant le courant appliqué, on ne peut pas connaître le champ magnétique produit, cela dépend de ce qui a été fait auparavant. Un autre point important est à noter, c'est que si on supprime tout courant, il reste un champ magnétique résiduel.

Le résultat de cette expérience est que l'on a réussi à réorienter tous les petits domaines magnétiques désordonnés au départ,

sous l'influence du champ magnétique produit par la bobine. On pense d'ailleurs que la magnétite découverte par Thalès a été aimantée ainsi sous l'influence du champ magnétique terrestre.

Le ferromagnétisme

Pourquoi certains matériaux sont-ils magnétiques, et pas d'autres? En fait cette question est très complexe, et le magnétisme n'est pas facile. Il est encore moins simple à expliquer. Il existe une catégorie de matériaux tels que le fer, mais aussi le nickel, le cobalt, et des composés qui à cause de leur structure atomique, (c'est-à-dire du nombre d'électrons, de leur arrangement, et aussi de leur structure cristalline) ont ces propriétés magnétiques, où les petits aimants atomiques s'alignent les uns par rapport aux autres. Il y a un effet d'entraînement, chaque atome ayant tendance à prendre la direction magnétique de ses voisins.

La température joue aussi un grand rôle, car ces petits aimants ont tendance à se désorienter lorsque la température augmente, à cause de l'énergie d'agitation thermique présente dans chacun d'eux.

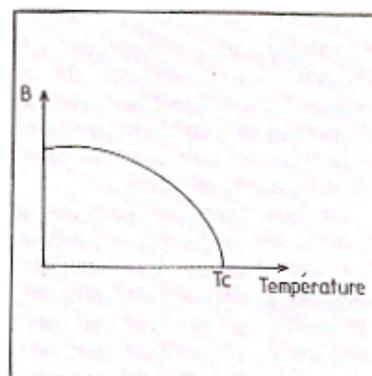


Fig. 7 : Evolution de la densité de flux en fonction de la température. A la température de Curie, T_C , le matériau devient pratiquement aimantique.

La figure 7 montre comment varie l'aimantation en fonction de la température. On s'aperçoit qu'au-dessus d'une certaine température critique appelée température de Curie, le champ magnétique disparaît totalement. Voilà pourquoi on ne peut pas chauffer les aimants permanents.

Cristallographie des aimants

Nous avons vu que l'aimant était constitué de zones à aimantation aléatoires que l'on doit orienter par un champ magnétique extérieur. En fait, la réalité

Caractéristiques	Ferrite FXD380	SmCO ₅ RES190	Néodyme RES270	Unités
Rémanence	390	890	1 100	mT
Maximum BH	28,20	154	215	kJ/m ³
Point de Curie	450	720	310	° C
Température maximum de fonctionnement	350	250	140	° C
Densité	4,75	8,3	7,4	kg/m ³
Champ magnétisant initial	955	1 800	1 800	kA/m

Fig. 8 : Caractéristiques comparées entre aimants permanents, ferrite, samarium-cobalt (SmCO₅) et Néodyme Fer-Bore (Néodyme). On notera en particulier les écarts du facteur BH caractéristique de l'énergie stockée dans le champ extérieur à l'aimant par unité de volume de matériau magnétique. Il y a un facteur de 8 entre ferrite et Néodyme Fer-Bore. (D'après document RTC)

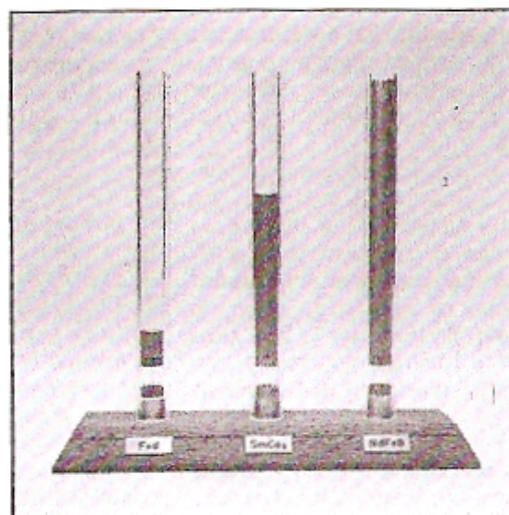
est encore plus complexe, car chacun des cristallites de la figure 5 est lui-même constitué de domaines magnétiques qui ne sont pas nécessairement orientés dans la même direction.

Un bon matériau magnétique a donc une structure complexe, liée tout d'abord à la structure cristalline, c'est-à-dire l'arrangement local des atomes, pour donner les propriétés magnétiques. Ce n'est pas le fer qui est magnétique, mais le fer sous sa forme cristalline cubique centrée. Si le fer, dans un composé comme l'acier inoxydable, a une structure cubique à face centrée, il n'est plus magnétique. Comme on ne peut pas constituer d'une manière économique des monocristaux parfaits de tels composés, le matériau aura une constitution qui devra être adaptée, c'est-à-dire composé par exemple de grains qui n'évolueront pas au cours du temps. Tout cela signifie que le matériau doit être travaillé pour obtenir la structure souhaitée.

Une fois le matériau fabriqué, il faut l'aimanter en le soumettant à un champ magnétique.

On voit donc qu'un aimant est complexe et fragile. Si on le chauffe trop haut, il perd ses propriétés magnétiques, car on dépasse la température de Curie. Si on le déforme, on détruit sa

Fig. 9 : Cette représentation parle d'elle-même : comparaison des capacités de tenue de charge pour trois aimants de même taille, de gauche à droite : ferrite, samarium-cobalt et néodyme fer-bore. (Doc. RTC)



structure cristalline ce qui diminue ses propriétés magnétiques.

Les matériaux magnétiques en audio

Les transformateurs

C'est tout d'abord là que l'on rencontre le besoin de matériaux magnétiques spécialisés. En effet, nous avons vu sur la courbe d'hystérésis de la figure 6 qu'après avoir aimanté le matériau, c'est-à-dire orienté tous les aimants atomiques dans la même direction, il faut fournir du courant pour retourner complètement tous ces micro aimants et

les amener dans une direction opposée. Et à nouveau le même courant pour revenir à l'état initial. On a donc consommé de l'énergie pour réaliser cela. On montre que celle-ci est proportionnelle à l'aire de la courbe d'hystérésis. Dans un transformateur, le bobinage primaire produit un champ magnétique variable, qui induit un courant dans la bobine secondaire. Pour éviter toute perte, on a donc intérêt à choisir un matériau ayant une courbe d'hystérésis la plus linéaire possible. On fait cela en ajoutant par exemple du silicium dans du fer.

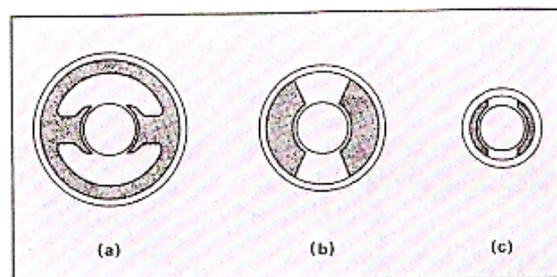
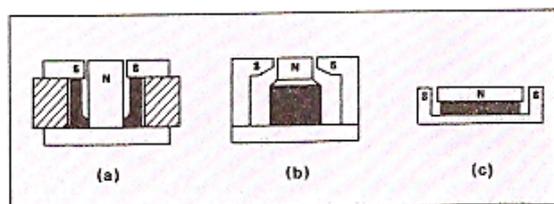


Fig. 10 : Dimensions relatives des aimants permanents de haut-parleurs + moteur ; de gauche à droite : fer-rite, ticonal et samarium-cobalt. Avec le Néodyme Fer-Bore, la taille serait encore réduite.

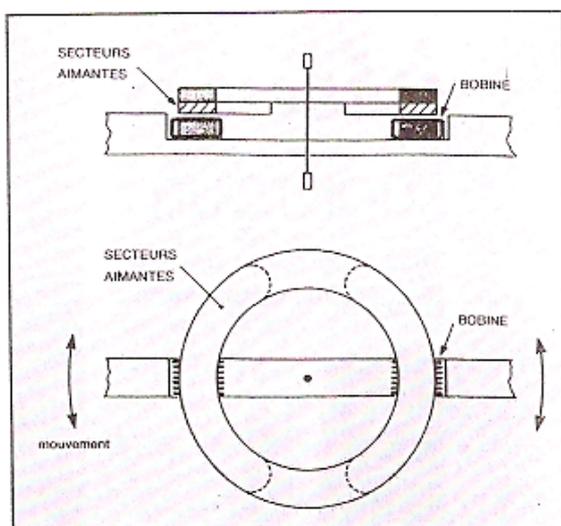


Fig. 11 : Configuration en coupe d'un actionneur oscillant développé pour les lecteurs CD utilisant des aimants terres rares.

Les aimants permanents

On les trouve évidemment au niveau des haut-parleurs et des moteurs. Il vaut mieux choisir les aimants les plus puissants possibles, c'est-à-dire pour un volume donné ceux qui ont le champ magnétique résiduel le plus grand.

Alors que pour les transformateurs, on cherche des matériaux avec une courbe d'hystérésis linéaire, dans le cas des aimants permanents, on cherche à obtenir une courbe d'hystérésis la plus carrée possible, pour qu'il n'y ait pas de perte après suppression du courant de magnétisation.

Un alliage ayant de très bonnes propriétés magnétiques est l'Alnico, formé de fer, Aluminium, Nickel, Cobalt, Cuivre. Plus récemment, des alliages à base de terre rare et de cobalt ont été découverts, et en 1983, les aimants au Néodyme Fer-Bore.

Ces derniers sont en train de révolutionner le monde de l'aimant permanent. En 1989, ils représentaient déjà 24% du marché mondial des aimants permanents, et devraient couvrir 40% en 2000. A cause du prix élevé, il n'est encore utilisé que dans les domaines de pointe: militaire, spatial et robotique. En dehors de son prix, on manque encore d'expérience sur la durée, c'est-à-dire son vieillissement. Par ailleurs, il reste un problème de tenue en température, la température de Curie se situe à 150°C. Cependant, il semble que l'adjonction de cobalt permette de l'élever à 300°C. On peut donc penser que très prochainement les prix devraient baisser, surtout grâce à l'arrivée sur le marché de matière première en provenance de Chine et d'URSS.

Il n'y a donc aucune raison pour que les NdFeB ne soient pas utilisés plus largement en audio haut de gamme où le coût de l'aimant est relativement faible

par rapport au coût global de l'enceinte acoustique. On pourrait par exemple réaliser des haut-parleurs avec un volume d'aimant plus faible que par rapport à ceux existant actuellement, et ainsi faciliter la conception du saladier (évacuation de l'onde arrière). Certaines réalisations existent déjà avec ces nouveaux aimants (Infinity, JBL...).

Conclusion

Nous avons vu que l'aimantation était un phénomène complexe pas encore totalement compris au niveau théorique, et que les aimants permanents sont des matériaux fabuleux, mais difficiles à réaliser. Les nouveaux aimants au Néodyme Fer Bore sont d'un grand intérêt, car ils devraient diminuer sensiblement la dimension des aimants à puissance égale. En audio, les applications sont prometteuses. A suivre.