

# Production de champs magnétiques intenses au moyen de bobines sans fer

Ch. Fabry

► **To cite this version:**

Ch. Fabry. Production de champs magnétiques intenses au moyen de bobines sans fer. J. Phys. Theor. Appl., 1910, 9 (1), pp.129-134. <10.1051/jphystap:019100090012901>. <jpa-00241511>

**HAL Id: jpa-00241511**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00241511>**

Submitted on 1 Jan 1910

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

PRODUCTION DE CHAMPS MAGNÉTIQUES INTENSES  
AU MOYEN DE BOBINES SANS FER ;

Par M. CH. FABRY.

Les procédés actuellement en usage pour produire des champs magnétiques n'ont pas permis de dépasser une cinquantaine de mille gauss, et encore de pareilles valeurs n'ont-elles été atteintes que dans des volumes très faibles, insuffisants pour certaines expériences. C'est ainsi que le phénomène de Zeeman n'a pas été étudié dans des champs dépassant 36 000.

M. Jean Perrin a appelé l'attention des physiciens <sup>(2)</sup> sur l'intérêt qu'il y aurait à obtenir des champs bien plus intenses, et sur la possibilité d'y arriver au moyen de bobines sans fer refroidies dans l'air liquide pour diminuer leur résistance. « Il est désirable, dit M. Perrin, de créer dès maintenant un mouvement d'opinion dans ce sens,

---

(1) Voir CH. LALLEMAND, *Note sur les mouvements de la verticale*, etc., *op. cit.*

(2) Société de Physique, séance du 19 avril 1907.

*J. de Phys.*, 4<sup>e</sup> série, t. IX. (Février 1910.)

et, si tôt que possible, à titre d'essai, de réaliser 100 000 gauss dans un espace notable. »

Pour hâter la réalisation de ce projet très intéressant, il semble qu'un des meilleurs moyens soit d'en discuter numériquement la possibilité. Je me propose de donner les résultats de cette étude, obtenus, pour la plupart, en utilisant les graphiques que j'ai publiés en 1898 pour le calcul du champ magnétique au centre d'une bobine cylindrique <sup>(1)</sup>.

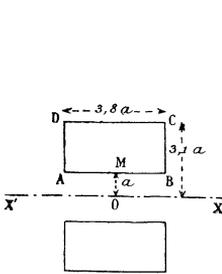


FIG. 1.

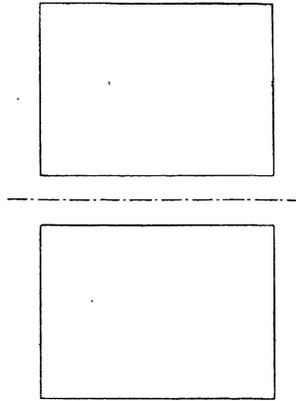


FIG. 2.



FIG. 3.

On étudiera des bobines de révolution, c'est-à-dire dont les spires sont des cercles ayant même axe  $XX'$  (fig. 1). On veut produire le champ magnétique dans la région de l'espace qui entoure un point  $O$  de cet axe; il doit donc y avoir, autour de ce point, une région dénuée de fil conducteur, qui s'appellera le creux de la bobine. La forme de celle-ci est définie par sa section méridienne qui, en tournant autour de l'axe, engendre le volume de la bobine. Par exemple, dans le cas de la bobine cylindrique que représente la fig. 1, la section méridienne est le rectangle  $ABCD$ , et le creux est le cylindre de rayon  $OM$ .

Soit  $\mathcal{H}$  le champ magnétique au point  $O$ , exprimé en gauss ;

(1) Sur le champ magnétique au centre d'une bobine cylindrique et la construction des bobines de galvanomètre (Eclairage électrique, 22 octobre 1898).

Dans le présent article, j'ai un peu modifié les notations et rectifié une erreur de calcul numérique (cas d'une bobine à fil de section variable).

$W$ , la puissance dépensée, exprimée en watts et transformée en chaleur dans la bobine ;

$\rho$ , la résistivité du métal ohms  $\times$  centimètres ;

$\eta$ , le rapport du volume de la bobine au volume réellement occupé par le métal, ou *coefficient de foisonnement* du fil ; il est évident que l'isolant, et probablement aussi les conditions de refroidissement du fil, exigent un certain espace entre les spires métalliques, et que par suite le rapport  $\eta$  est supérieur à 1 ;

$a$ , une longueur, exprimée en centimètres, qui définit l'étendue du creux, et par suite la grosseur de la bobine, lorsque l'on considère des bobines semblables entre elles. Par exemple, dans le cas d'une bobine cylindrique,  $a$  sera le rayon du creux cylindrique ; cette longueur étant donnée, on achève de définir la bobine par des paramètres purement numériques. On examinera plus loin le cas de bobines à creux sphérique ;  $a$  sera le rayon de cette sphère. En un mot, la longueur  $a$  caractérise, dans chaque cas, l'étendue linéaire de la région où le champ magnétique est utilisable, et d'ailleurs sensiblement uniforme.

Ceci posé, des considérations très simples montrent que  $\mathcal{H}$  peut s'exprimer par une équation de la forme (1) :

$$(1) \quad \mathcal{H} = K \sqrt{\frac{W}{\rho \eta a}}.$$

On peut dire aussi que la puissance nécessaire pour produire le champ  $\mathcal{H}$  est :

$$(2) \quad W = \rho \eta a \frac{\mathcal{H}^2}{K^2}.$$

La puissance nécessaire pour produire un champ donné croît comme le carré de ce champ, comme l'étendue linéaire du creux, comme la résistivité du fil, comme le coefficient de foisonnement.

Le coefficient  $K$ , purement numérique, dépend uniquement de la forme de la bobine ; il est indépendant de sa grosseur et de l'enroulement. On doit choisir les formes de bobines qui donnent les plus

---

(1) On remarquera que, dans cette équation, l'intensité du courant n'intervient pas explicitement, pas plus que la section du conducteur ; au point de vue électrique, la puissance intervient seule ; selon que le fil dont est fait l'enroulement est plus ou moins fin, cette puissance devra être fournie sous tension plus ou moins élevée.

grandes valeurs de ce coefficient. Voici quelques indications à ce sujet.

*Bobine cylindrique avec enroulement de section uniforme.* — La plus grande valeur de  $K$  est obtenue en donnant à la bobine la forme représentée par la *fig. 1*. On a alors  $K = 0,179$ . La bobine ainsi construite est fort petite : avec un creux de 1 centimètre de rayon, son volume n'est que de 100 centimètres cubes.

On peut s'éloigner énormément de cette forme en perdant fort peu sur la valeur de  $K$ . C'est ainsi que les bobines représentées par les *fig. 2* et *3* donnent toutes deux  $K = 0,15$ . L'une a un volume 18 fois plus grand, l'autre un volume 10 fois plus petit que la bobine 1. Cette grande variation possible de la forme peut être avantageuse : par exemple, dans la bobine à grand volume, la quantité de chaleur dégagée par centimètre cube sera beaucoup plus faible, ce qui, avec une circulation interne de liquide, peut rendre le refroidissement plus facile.

*Bobine avec creux cylindrique la plus avantageuse.* — En conservant le creux cylindrique de rayon  $a$ , on peut, dans l'espoir d'augmenter  $K$ , renoncer à la forme rectangulaire de la section méridienne, qui aura seulement un côté rectiligne et parallèle à  $XX'$ .

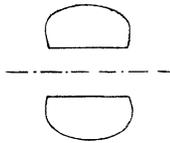


FIG. 4.

Si l'on maintient le fil à section constante, la bobine la plus avantageuse <sup>(1)</sup> est celle que représente la *fig. 4*; mais l'avantage obtenu en abandonnant la gorge rectangulaire est insignifiant, car la valeur de  $K$  ne dépasse pas 0,18.

*Bobine à enroulement non uniforme.* — On peut gagner notablement sur la valeur de  $K$  en abandonnant l'enroulement uniforme et donnant une section plus faible aux spires voisines du point  $O$ .

---

<sup>(1)</sup> On connaît la solution, donnée par lord Kelvin, du problème de la bobine donnant le champ maximum. Malheureusement, la condition de laisser un espace vide n'est pas respectée; le champ maximum est produit en un point occupé par l'enroulement, et par suite est inutilisable.

Une bobine cylindrique formée de couches concentriques de sections croissantes donne, dans le cas le plus favorable,  $K = 0,22$ .

On peut théoriquement aller plus loin, en conservant le creux cylindrique et laissant complètement indéterminée la forme de la gorge. On trouve alors que l'enroulement le plus favorable remplirait tout l'espace extérieur au creux; la section du fil en un point de la section méridienne de coordonnées polaires  $r, \omega$  par rapport à l'axe OX serait :

$$s = C \frac{r^2}{\sin \omega}.$$

C étant une constante. Dans ces conditions, on a  $K = 0,27$ .

Un pareil enroulement n'est évidemment pas réalisable. Il faut d'ailleurs remarquer que, dans ces enroulements à section variable, la chaleur est dégagée surtout dans la partie centrale de la bobine, là où le refroidissement est le plus difficile.

*Bobine à creux sphérique.* — Le creux cylindrique est commode, parce que le région où le champ magnétique est intense est facilement accessible. Si cela était utile on pourrait cependant, au moins pour certaines expériences, adopter d'autres formes de creux. En faisant la bobine en deux parties, on pourrait réaliser un creux sphérique;  $a$  serait alors le rayon de cette sphère. Le calcul montre que cette grande complication ne procure qu'un avantage insignifiant: l'enroulement le plus avantageux (remplissant tout l'espace extérieur à la sphère) donne seulement  $K = 0,29$ .

*Application numérique.* — A la température de l'air liquide, la résistivité du cuivre est environ 6 fois moindre qu'à la température ordinaire; on admettra :

$$\rho = 0,27 \times 10^{-6}.$$

Il paraît prudent d'admettre que le tiers au moins du volume total doit rester libre pour l'isolement et le refroidissement; on prendra donc  $\eta = 1,5$ , et il est probable que cette valeur est un minimum.

Pour la valeur de  $K$ , il faut remarquer que les enroulements à section variable ne peuvent pas être réalisés dans les conditions que suppose la théorie: la section du fil ne peut varier que par degrés et non d'une manière continue; l'enroulement occupe forcément un volume limité. Il sera prudent d'admettre seulement  $K = 0,20$ .

L'équation (2) donne alors :

$$W = aJ^2 10^{-3}.$$

Pour produire un champ de 100000 gauss dans un cylindre de 1 centimètre de rayon, il faut une puissance de 100 kilowatts.

Une pareille puissance peut être fournie par une usine génératrice modeste, et, d'autre part, la construction de la bobine ne représenterait qu'une dépense insignifiante. Au point de vue purement électrique le projet de M. Perrin est donc très facilement réalisable. En est-il de même au point de vue du refroidissement? La quantité de chaleur dégagée serait de 25 grandes calories par seconde. La chaleur de vaporisation de l'air liquide n'étant que d'une soixantaine de calories, la dépense d'air liquide serait d'environ 0,4 litre par seconde. Il est peu probable que l'on puisse immerger directement la bobine dans l'air liquide, à cause de l'énorme dégagement d'air gazeux qui se produirait dans un très petit volume. On serait probablement amené à immerger la bobine dans un liquide incongelable et isolant et à établir une très active circulation de ce liquide entre le récipient contenant la bobine et un réfrigérant à air liquide. La consommation d'air liquide n'en resterait pas moins de 24 litres par minute.

Cette grosse dépense disparaîtrait naturellement si l'on pouvait opérer à la température ordinaire. Mais alors la puissance nécessaire serait de 600 kilowatts. Cela ne serait pas une difficulté insurmontable, mais il n'est pas certain que l'on arrive à balayer l'énorme quantité de chaleur ainsi dégagée dans un volume très petit : même en immergeant complètement la bobine dans un liquide en mouvement rapide, il n'est pas certain que l'on arrive à empêcher des phénomènes de caléfaction, qui amèneraient immédiatement la fusion du fil. A ce point de vue, le problème devient plus facile à mesure que l'on accroît l'étendue du champ magnétique ; la puissance dépensée croît, il est vrai, comme  $a$  ; mais le volume dans lequel la chaleur est dégagée croît comme  $a^3$ .

En résumé, soit que l'on opère à la température ordinaire, soit que l'on utilise le refroidissement par l'air liquide, les conditions électriques du problème sont loin d'être irréalisables. Si l'on veut passer à la réalisation du projet de M. Perrin, c'est la question du refroidissement de la bobine qui doit être étudiée. Les données numériques que je viens d'indiquer fixent avec précision l'énoncé du problème à résoudre.

---