

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 90 (1964)  
**Heft:** 19: Association amicale des anciens élèves de l'École polytechnique de l'Université de Lausanne, Congrès mondial, Lausanne, 18-22 septembre 1964  
  
**Artikel:** Le comportement des matières magnétiques à champs faibles et à basses températures  
**Autor:** Goldschmidt, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-67008>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

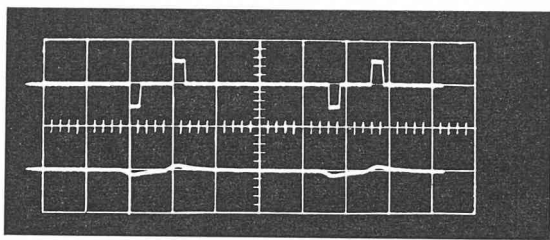


Fig. 4. — Echelles : horiz. 2 μs/division  
vert. 1 V/division

la figure 4 montre la même chose pour 2 impulsions de polarité inverse. Dans la figure 5, on a amplifié la tension résiduelle en bout de ligne.

**Conclusion :** D'une manière générale, cet essai permet d'étudier de manière très économique les limites de stabilité d'une transmission à grande dis-

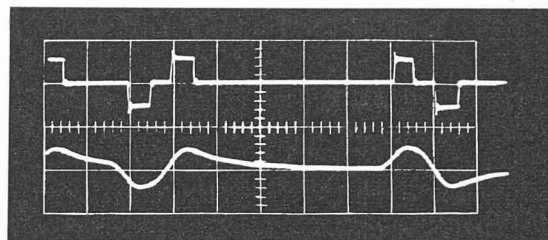


Fig. 5. — Echelles : horiz. 1 μs/division  
vert. 1 V/division en haut  
0,2 V/division en bas

tance : largeur minimum et maximum des impulsions, stabilité de leur amplitude, sensibilité aux tensions parasites... essais en température.

Ces travaux sont effectués avec l'aide de la Fondation Hasler dans le cadre de l'AGEN (Arbeitsgemeinschaft für elektrische Nachrichtentechnik).

## LE COMPORTEMENT DES MATIÈRES MAGNÉTIQUES À CHAMPS FAIBLES ET À BASSES TEMPÉRATURES

par R. GOLDSCHMIDT, professeur à l'EPUL

Les essais que nous avons commencés ces derniers mois au laboratoire des matières magnétiques de l'Institut d'électrotechnique de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne ont pour but d'étudier le comportement de bobines d'induction à champs faibles et à basses températures. Il s'agit d'une étude comparative qui prend en considération le comportement des noyaux magnétiques et de l'enroulement de la bobine.

Nous décrivons dans cet exposé les résultats obtenus lors des premiers essais. Il s'agit de mesures effectuées sur cinq bobines différentes à des fréquences phoniques (800 à 4000 Hz), à des champs faibles de quelques A/m et à des températures allant de +60°C à environ -180°C, donc jusqu'à la température de la liquéfaction de l'azote.

Les types de bobines, les dimensions des noyaux, les caractéristiques des enroulements sont résumés dans le tableau n° 1. Il s'agit donc de noyaux en forme de tore ou de pot (avec entrefer) et de matières magnétiques telles que les poudres en fer-nickel isolées et comprimées (noyaux dits comprimés), les alliages fer-nickel laminés en ruban mince possédant une faible perméabilité et une grande stabilité magnétique (Iso-perm) et les ferrites.

TABLE N° 1

Caractéristiques des bobines

Noyau	Type Matière	Tore Ferrite	Tore Iso-perm	Tore Poudre comprimée	Pot Ferrite	Pot Ferrite	
	Diamètre intérieur	23	30,4	30,25	—	—	mm
	Diamètre extérieur	36	50,4	50,25	42	36	mm
	Diamètre moyen	29,5	40,4	40,25	—	—	mm
	Hauteur	15	19	13,5	29	23,5	mm
	Section	94,2	190	130,7	—	—	mm <sup>2</sup>
Bobine	Nombre de spires	2 × 124	2 × 360	2 × 348	2 × 187	2 × 161	—
	$\frac{L}{n^2} = a_L$ (à 20°C)	3190	169	181,5	630	830	nH

Les bobinages ont été choisis tels que les inductances soient entre 50 et 90 mH à température ambiante.

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un pont Wheatstone avec circuit auxiliaire Wagner, dont l'étalon est constitué par des bobines d'inductance, variables et sans noyau magnétique. On a tenu compte des pertes dues aux courants de Foucault dans les enroulements des étalons par

$$\frac{\Delta R}{\omega L} = \text{tg } \delta_{\text{étalon}} = 0,24 \frac{f}{800} \text{ ‰}$$

valeur qui a été déterminée par l'étalonnage avec un condensateur à mica, lui-même étalonné par le Bureau fédéral des poids et mesures.

La température de la bobine a été déterminée soit par la mesure de la résistance ohmique de l'enroulement de la bobine, soit par la mesure de la résistance de deux enroulements mis en série et placés l'un au-dessous, l'autre au-dessus de la bobine. Ces enroulements ont un bobinage bifilaire effectué sans soudure.

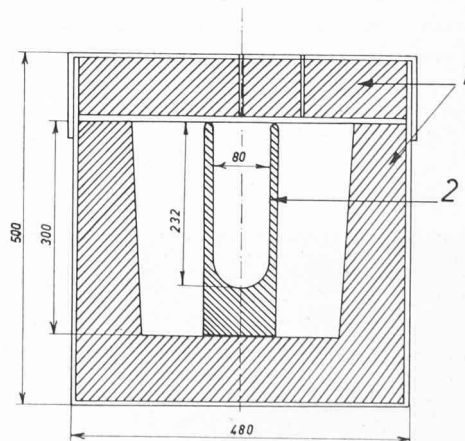


Fig. 1. — Récipient utilisé pour porter à basse température les noyaux magnétiques soumis à l'essai.

1. Isolation thermique.  
2. Récipient Dewar.

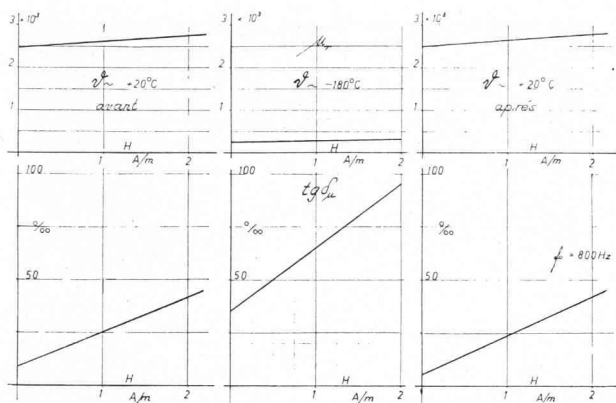


Fig. 2. — Tore en ferrite. Perméabilité et angle de pertes à 800 Hz à champs faibles.

Pour porter les bobines à des températures en dessus de la température ambiante, on a utilisé un récipient en cuivre à double paroi (hauteur 290/190 mm,  $\varnothing = 220/170$  mm), l'espace entre les deux parois étant rempli de sable. Le tout a été chauffé lentement (10°C par 4 min.) par une plaque électrique.

Pour refroidir les bobines, on a utilisé le récipient selon figure 1 ci-joint. On a procédé en deux étapes. On a utilisé, pour la première, en allant jusqu'à -60°C environ, la glace carbonique ; pour la seconde, en allant jusqu'à -180°C environ, l'azote liquide. Lors de l'utilisation de la glace carbonique, on ne s'est pas servi du récipient Dewar, qui a été enlevé, et on a mis la bobine, avec les deux enroulements servant à la mesure de la température, dans un petit récipient en matière plastique cellulaire. Ce récipient a été placé lui-même dans une boîte en fer-blanc et celle-ci entourée de la glace carbonique. Pour continuer l'essai avec l'azote liquide, on a fermé le récipient en matière plastique cellulaire par un couvercle de même matière — muni de trous pour laisser passer les fils servant aux mesures électriques. Ce récipient a été ensuite mis dans un sac en polyéthylène, qui fut placé dans le récipient Dewar qu'on remplissait de l'azote liquide. Notons qu'on a entouré la bobine par la capsule en matière plastique cellulaire, pour ralentir son refroidissement. On pouvait ainsi exécuter un nombre suffisant de mesures en fonction de la température. Lors du refroidissement de la bobine, on a mesuré l'inductance et la résistance de pertes à une seule fréquence (800 Hz), mais à plusieurs amplitudes de champ magnétique, amplitudes bien entendu faibles. Une fois la température stabilisée, nous avons fait des mesures à quatre ou cinq fréquences (800, 1600, 2400, 3200 et quelquefois 4000 Hz) et à cinq différentes amplitudes du champ pour établir le diagramme de Jordan et en déduire les constantes des pertes selon la formule :

$$\operatorname{tg} \delta_{\mu} = e_v + e_h \frac{H}{H_0} + e_F \frac{f}{f_0} \text{ o/oo ;}$$

$e_v$  = constante des pertes par viscosité ;

$e_h$  = constante des pertes par hystérésis ;

$e_F$  = constante des pertes par courant de Foucault ;

$H_0$  = champ magnétique de référence (100 A/m) ;

$f_0$  = fréquence de référence (800 Hz).

Les résultats de ces mesures sont portés dans les diagrammes (fig. 2 à 5) et dans la table 2.

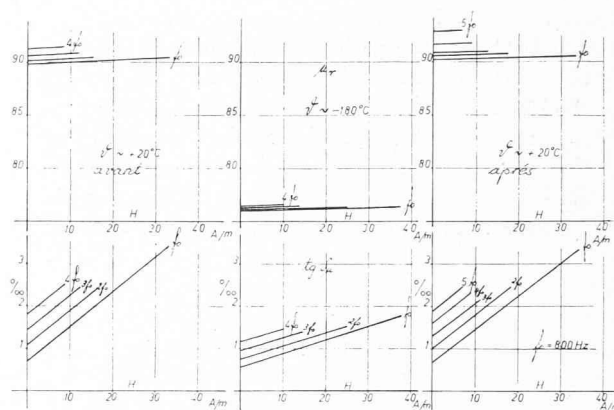


Fig. 3. — Tore en Isoperm. Perméabilité et angles de pertes à 800-4000 Hz à champs faibles.

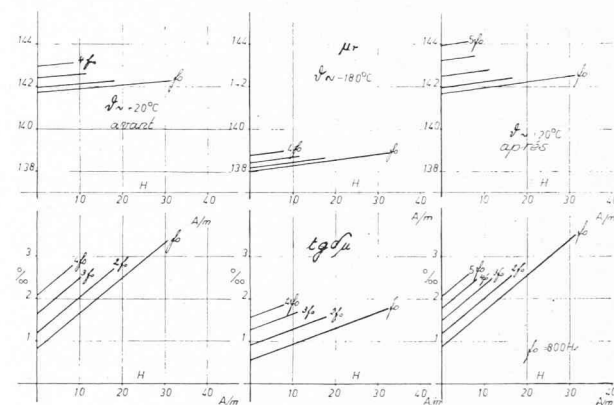


Fig. 4. — Tore en poudre fer-nickel comprimée. Perméabilité et angle de pertes à 800-4000 Hz à champs faibles.

TABLE N° 2

Perméabilité et constantes de pertes à température ambiante et à -180°C

Etat a : 20°C, avant le refroidissement

» b : -180°C

» c : 20°C, après le refroidissement

Type de noyau	Etat	$\mu \gamma_i$ à 800 Hz	$e_v$ o/o o	$e_F^*$ o/o o	$e_h^{**}$ o/o o
Ferrite	a	2450	8,8	0	16 700
	b	240	35,5	0	30 000
	c	2480	5,5	0	18 500
Isoperm	a	89,8	0,325	0,375	82
	b	76,0	0,35	0,20	32,8
	c	90,2	0,4	0,30	76,8
Noyau comprimé	a	141,7	0,34	0,43	83,2
	b	138,0	0,20	0,35	38
	c	141,65	0,60	0,30	82,8

\* Pour  $f_0 = 800$  Hz.

\*\* Pour  $H_0 = 100$  A/m.

Les figures 2 à 4 donnent les caractéristiques de trois bobines avec noyaux toroïdaux. La perméabilité et l'angle de pertes sont portés en fonction du champ. La fréquence est paramètre. Les diagrammes sont établis pour la température ambiante avant et après le refroidissement de la bobine à la température de -180°C environ. Les enroulements des bobines à noyau en poudre comprimée ou en isoperm sont bifilaires, d'où une capacité propre assez élevée et une augmentation apparente de la perméabilité correspondant à une augmentation apparente de l'inductance. Quant au

tore en ferrite, les courbes pour les fréquences entre 800 et 4000 Hz ne se distinguent guère. Ainsi on n'a porté dans le diagramme que les valeurs pour  $f = 800$  Hz.

La figure 5 montre la variation de la perméabilité et de l'angle de pertes de ces trois bobines et de deux bobines à pot ferrite avec entrefer en fonction de la température. Les mesures ont été faites à 800 Hz et pour un champ faible, c'est-à-dire pour un champ beaucoup plus faible que la force coercitive du noyau étudié. Pour la perméabilité, on a porté dans le diagramme des valeurs relatives en mettant la perméabilité à 0°C égale 100 %.

On peut tirer de ces premières mesures la règle générale, qu'une baisse de la température a pour conséquence une baisse de la perméabilité et pour les noyaux en ferrite une augmentation de l'angle de pertes. Mais ces variations sont très différentes d'une matière à l'autre. Tandis que les caractéristiques du noyau comprimé et de l'isoperm ne changent que peu jusqu'à -180°C, ceux du ferrite changent fortement<sup>1</sup>. Mais retenons que les perméabilités initiales à température ambiante des deux premiers sont relativement faibles (env. 140, resp. 90) mais celle du ferrite beaucoup plus élevée (env. 2500).

Comme nous l'avons dit plus haut, nos mesures n'ont fait que commencer. D'autres matériaux sont déjà à l'étude et des mesures à plus basses températures (hydrogène liquide) sont en préparation. Nous en reparlerons dans un exposé ultérieur.

Je ne voudrais pas manquer de remercier ici la Fondation Hasler, qui a mis le « nervus rerum » à disposition, nous permettant ces études; les Câbleries et Tréfileries de Cossonay, qui ont fourni les bobines; le Laboratoire du génie atomique de l'EPUL, professeur Vittoz,

<sup>1</sup> J. ROZES: Etudes des variations en fonction de la fréquence des caractéristiques électriques et magnétiques d'une ferrite de nickel-zinc. *Câbles et transmissions* 13 (1959) 1, p. 26.

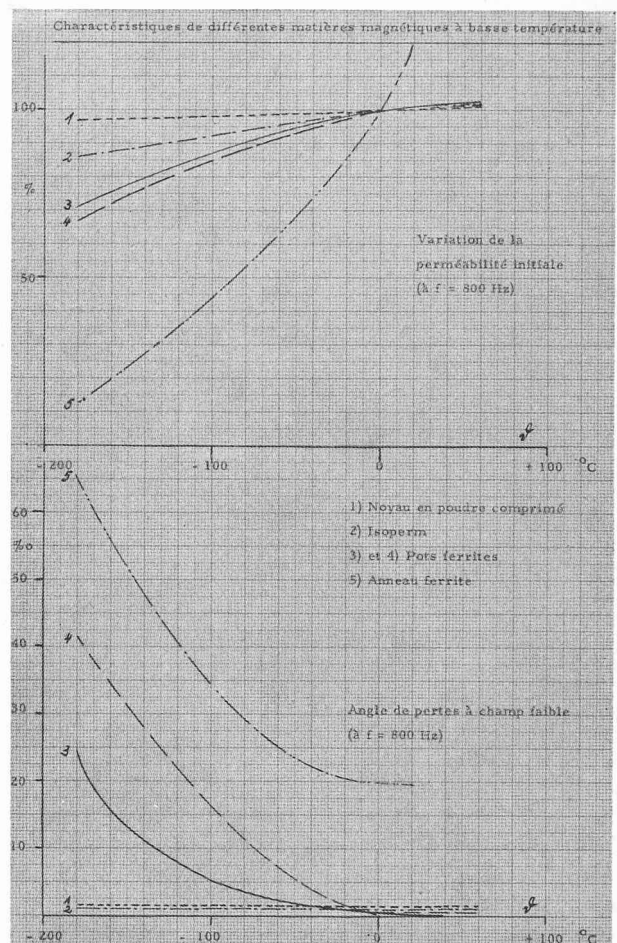


Fig. 5. — Perméabilité et angle de pertes en fonction de la température pour différentes matières magnétiques à  $f = 800$  Hz et à champs faibles.

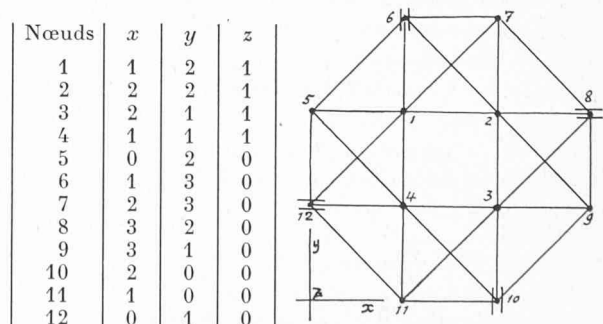
qui nous a livré l'azote liquide, et mes collaborateurs, MM. P. Tacier et Ph. Zyromsky, étudiants, qui ont effectué ces mesures.

## LE CALCUL DES DÉFORMATIONS DES SYSTÈMES ARTICULÉS HYPERSTATIQUES

par A. ANSERMET, ingénieur, professeur

Le *Bulletin technique* a déjà consacré quelques pages à ce problème mais les exemples traités étaient simples. Grâce à l'appui accordé à titre bénévole par le centre de calcul électronique de l'EPUL (Prof. Blanc), il est possible de porter son choix sur des structures plus compliquées. La résolution de systèmes linéaires et surtout l'inversion de matrices ne donnent plus lieu à des calculs laborieux.

L'exemple choisi est inspiré par la thèse de Yung mais en ajoutant des barres surabondantes, ce qui confère au problème un tout autre caractère. C'est une coupole d'après Zimmermann (Reichstag), les dimensions étant ici un peu différentes. Certains ingénieurs, outre-Rhin, ont fait remarquer l'analogie existant avec le calcul de réseaux radiotéléométriques; les mêmes formules et équations sont applicables en principe, circonstance bienvenue.



L'unité de mesure est arbitraire : 10, 12, 15... mètres. Toutes les valeurs sont positives à cause du choix des axes de coordonnées.

Par hypothèse il y a 12 liaisons simples ([5] p. 59)

$$\begin{aligned} dz_1 &= dz_2 = dz_3 \dots = dz_8 = 0 \\ dx_6 &= dx_{10} = 0 \quad dy_8 = dy_{12} = 0 \end{aligned}$$