# Étude de la résonance ferromagnétique de monocristaux de fer à 9.500 Megahertz

Autor(en): **Strub, A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences [1948-1980]**

Band (Jahr): **10 (1957)**

Heft 6: **Colloque Ampère**

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-738765

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

# Etude de la résonance ferromagnétique de monocristaux de fer à 9.500 Megahertz

par A. Strub

Laboratoire de Haute-Fréquence de la Faculté des Sciences de Grenoble.

---

## Introduction.

La première partie de cet exposé présente les caractéristiques essentielles d'un appareillage de mesures en hyperfréquence, pour la bande X, destiné à étudier diverses propriétés d'échantillons ferromagnétiques orientés, suivant l'orientation de leurs axes cristallins par rapport aux directions des champs magnétiques statique et UHF appliqués.

La deuxième partie indiquera quelques résultats préliminaires de mesures entreprises avec cet appareil, sur des monocristaux de ferro-silicium.

## Exigences.

Les monocristaux et les autres échantillons étudiés possèdent des propriétés (perméabilité, constantes d'anisotropie, etc.) qui dépendent de leur orientation par rapport aux champs magnétiques $H_=$ (statique) et $h$ (UHF) appliqués. La polarisation du champ UHF étant fixée, il est donc nécessaire de pouvoir faire varier indépendamment:

*a)* la direction du champ magnétique statique $H_=$;

*b)* la direction de l'axe de référence de l'échantillon;

alors que dans les mesures classiques de résonance ferromagnétique on se contente de choisir $H_=$ perpendiculaire à $h$. Pour des raisons évidentes, l'échantillon est mis en place une fois pour toutes au début d'une série de mesures.

L'appareil en question doit enfin permettre des mesures en grande série dans un temps relativement court, sans être composé d'éléments compliqués ou trop onéreux.

## Principe de mesure.

Le principe de mesure, bien connu, est le suivant: l'échantillon, sous forme de tôle mince, de surface très bien polie, constitue le fond d'une cavité résonnante excitée par une onde électromagnétique UHF. Si l'on peut déterminer une « surtension interne » $Q_0$ de référence pour cette cavité et les variations $\Delta Q_0$ observés au cours des mesures, on pourra calculer les propriétés ferromagnétiques du matériau étudié (on peut également, si besoin est, mesurer les variations de la fréquence de résonance $\Delta f_{res}$).

Notre montage est conçu de façon à permettre deux modes opératoires différents utilisant un té magique comme pont de mesure (voir fig. 1):

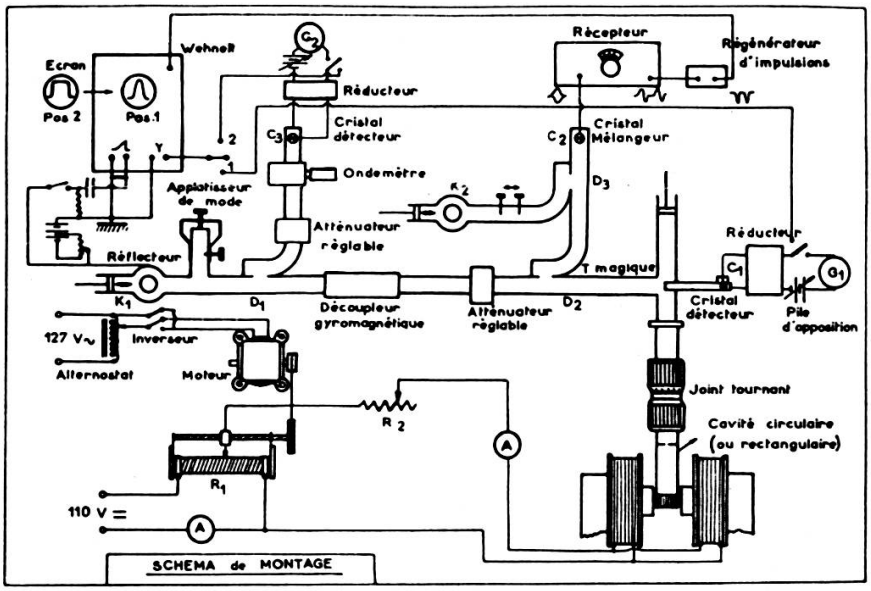


Fig. 1.

A. Modulation en fréquence du générateur UHF (klystron $K_1$) par application d'une tension en dents de scie au réflecteur. On peut ainsi faire apparaître, sur l'écran d'un oscilloscope, la courbe de résonance de la cavité de mesure [1] (avec possibilité d'étalonner en fréquence la base de temps de l'oscilloscope, également suivant [1]);

B. Avec un générateur à fréquence fixe, par lecture du niveau du signal détecté (dans $C_1$) sur un galvanomètre ($G_1$). Cette dernière méthode, beaucoup plus sensible que la première, permet de déterminer le champ $H_{=res}$ de résonance ferromagnétique avec une grande précision. D'autre part, pour la mesure de petites variations $\Delta Q_0$, elle est indis-

pensable (le galvanomètre est équipé d'une pile d'opposition pour obtenir une sensibilité maximum).

### Influence de la modulation d'amplitude.

Une façon très simple de réduire les variations de la puissance fournie par le klystron $K_1$ (2K25) en fonction de la fréquence, consiste à utiliser un « aplatisseur de mode ». Ceci a été réalisé dans notre montage grâce à une cavité rectangulaire auxiliaire *unique* en $\lambda_g/2$, à surtension réglable et à diaphragme de couplage mobile. Cette cavité, dont la fréquence de résonance est également réglable, est branchée en parallèle sur le guide principal et ainsi la courbe puissance/fréquence est « plate » sur une largeur quatre fois plus grande (80 MHz) que la largeur nécessaire pour nos mesures.

### Cavités de mesure.

Les cavités cylindriques présentent une grande sensibilité aux imperfections mécaniques et divers autres inconvénients. Cependant nous avons choisi, en raison des exigences énumérées au début de cet exposé, des cavités cylindriques résonnant sur le mode $H_{114}$. Deux types différents de cavités ont été réalisés.

Le premier est construit avec du guide circulaire ordinaire, ajusté mécaniquement après soudure des différentes pièces avec des anneaux spéciaux. Pour ces réglages, il est très commode de se servir du klystron modulé en fréquence. On peut ainsi déceler très nettement toutes les déformations qui se traduisent par *deux* pics de résonance sur la courbe de sélectivité.

Le second est entièrement taillé dans une seule pièce de laiton et usiné avec la plus grande précision possible.

Pour contrôler certaines mesures dans ces cavités cylindriques et repérer, en particulier, toute erreur pouvant provenir d'un guide circulaire déformé, nous avons utilisé une cavité rectangulaire $H._{104}$

### Résultats de mesures.

Voici, pour terminer, quelques résultats obtenus sur des monocristaux de fer contenant environ 4% de silicium.

Ces monocristaux (contenus dans des disques d'un diamètre minimum de 23 mm) ont été obtenus à partir de lames de tôle soumises à une contrainte mécanique en même temps qu'à un gradient de température, dans un four spécial. Leur surface était parfaitement polie (polissage par poudre abrasive très fine suivi d'un polissage électrolytique).

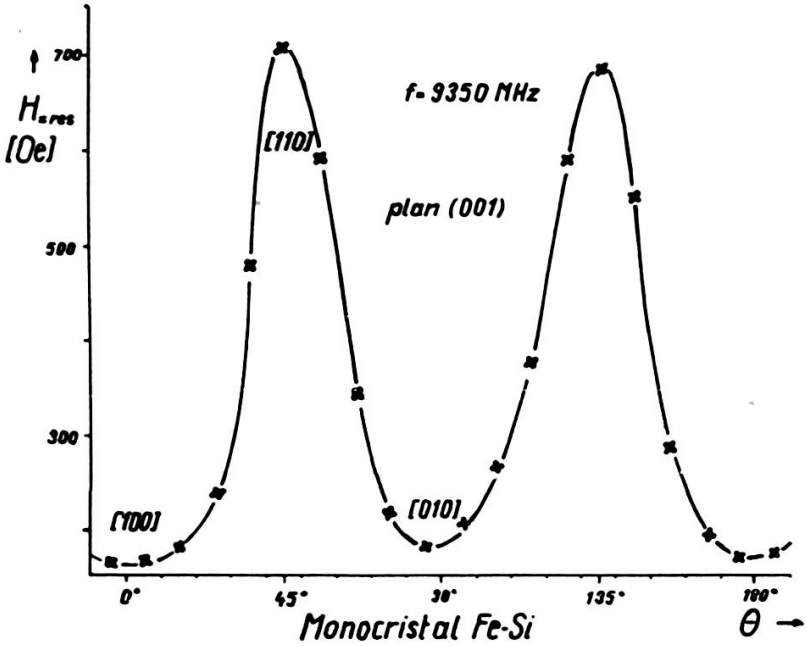


Fig. 2.

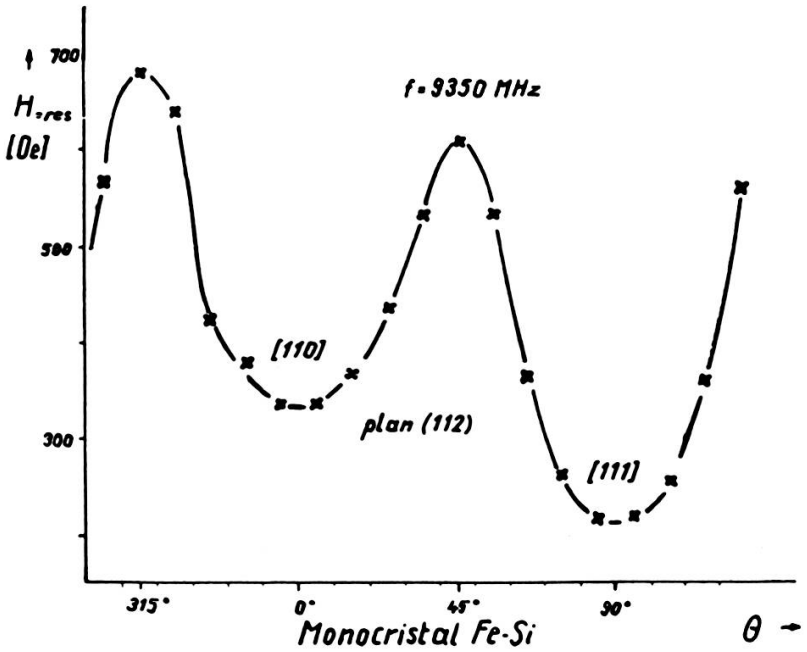


Fig. 3.

Dans cette première série de mesures, les champs $H_=$ et $h_{UHF}$ sont restés perpendiculaires l'un à l'autre et les résultats donnent la variation de $H_{=res}$ (produisant l'absorption maximum dans la cavité), en fonction de l'orientation de l'axe cristallin de référence. Ce dernier a été déterminé par

un examen radioscopique des échantillons au Laboratoire d'Electrostatique et de Physique du Métal de l'Institut Fourier, de Grenoble.

La courbe montrée sur la figure 2 est celle du cristal, dont le plan (001) se trouve dans la surface, alors que dans la figure 3 il s'agit d'un cristal contenant le plan (112) dans sa surface de mesure. $\theta$ représente, dans les deux cas, l'angle entre $H_=$ et l'axe (110).

L'interprétation de ces courbes sera basée sur la théorie de Kittel [2] pour la résonance ferromagnétique. Dans le cas d'un corps magnétique anisotrope, la fréquence de résonance est:

$$(2)\quad \omega = \gamma \cdot \sqrt{[H_= + (N_x + N_{ex} - N_z)\, M_s] \times [H_= + (N_y + N_{ey} - N_z)\, M_s]}$$

$\gamma$ = rapport gyromagnétique = $g \dfrac{e}{2m}$ ($g$ = facteur de Landé),

$N_x$, $N_y$, $N_z$ = facteurs de désaimantation, dépendant de la forme de l'échantillon [3],

$N_{ex}$, $N_{ey}$ = facteurs tenant compte de l'énergie d'anisotropie cristalline, en introduisant un champ magnétique fictif [2] et [4],

$M_s$ = aimantation de saturation de l'échantillon.

Cette formule n'est, en toute rigueur, valable que si le champ statique est suffisamment élevé pour aimanter l'échantillon à saturation ($M_s$), ce qui n'est pas le cas avec les fréquences utilisées pour toutes les orientations. Mais on peut cependant déduire des résultats donnés, le facteur de Landé, les constantes d'anisotropie et en tirer d'autres conclusions intéressantes, en particulier si l'on cherche à expliquer les écarts entre les mesures et les valeurs calculées à partir de la théorie [5].

Cette exploitation théorique de nos résultats est en cours.

Je remercie M. le Professeur Jean Benoit, Directeur du Laboratoire de Haute-Fréquence de l'Institut Polytechnique de Grenoble, où je travaille, ainsi que M. Barbier, auquel je dois les échantillons, et M. Bertaut qui en a effectué, avec ses collaborateurs, MM. Durif et Forrat, l'examen radioscopique.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Montgomery, *Technique of Microwave Measurements*, McGraw-Hill, New-York (1947), p. 396.
2. Kittel, C., *Phys. Rev.*, *73*, p. 155.
3. Osborn, J. A., *Phys. Rev.*, *67*, p. 351.
4. Healy, D. W., *Phys. Rev.*, *86*, p. 1009.
5. Kip, A. F. et F. D. Arnold, *Phys. Rev.*, *75*, p. 1556.