

Zeitschrift:	Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber:	Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band:	12 (1959)
Heft:	8: Colloque Ampère : Maxwell-Ampère conference
 Artikel:	Polarisation rotatoire magnétique de sels paramagnétiques ferriques et chromiques à 10.000 MHz
Autor:	Raoult, G. / Fanguin, R. / Chabrier, A.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-739125

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: 30.01.2026

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

Polarisation rotatoire magnétique de sels paramagnétiques ferriques et chromiques à 10.000 MHz

par G. RAOULT, R. FANGUIN et A. CHABRIER

Laboratoire de Radioélectricité de la Faculté des Sciences
de Clermont-Ferrand

Sommaire.

Notre appareillage comporte :

- un Klystron 723 A/B monté sur un guide rectangulaire;
- un transformateur de guide rectangulaire en guide circulaire donnant dans ce dernier le mode TE_{11} ;
- un électro-aimant créant un champ variable de 0 à 5.000 gauss sur une longueur de 25 cm;
- un polarimètre à deux antennes à 90° .

Ce dispositif, très sensible, nous a permis d'atteindre la résonance para magnétique de certains sels ferriques et chromiques.

I. ETUDE DE L'APPAREILLAGE.

a) Emission et système de transmission.

L'émetteur est constitué par un klystron 723 A/B alimenté par des tensions stabilisées à mieux qu'un millivolt. Ces alimentations ont été réalisées et mises au point dans notre laboratoire.

Le réflecteur est modulé par des signaux carrés dont la fréquence de répétition est 240 Hertz. Par ce moyen, le klystron fonctionne sur la longueur d'onde de 3,2 cm soit 9.375 MHz et cette fréquence ne varie pas.

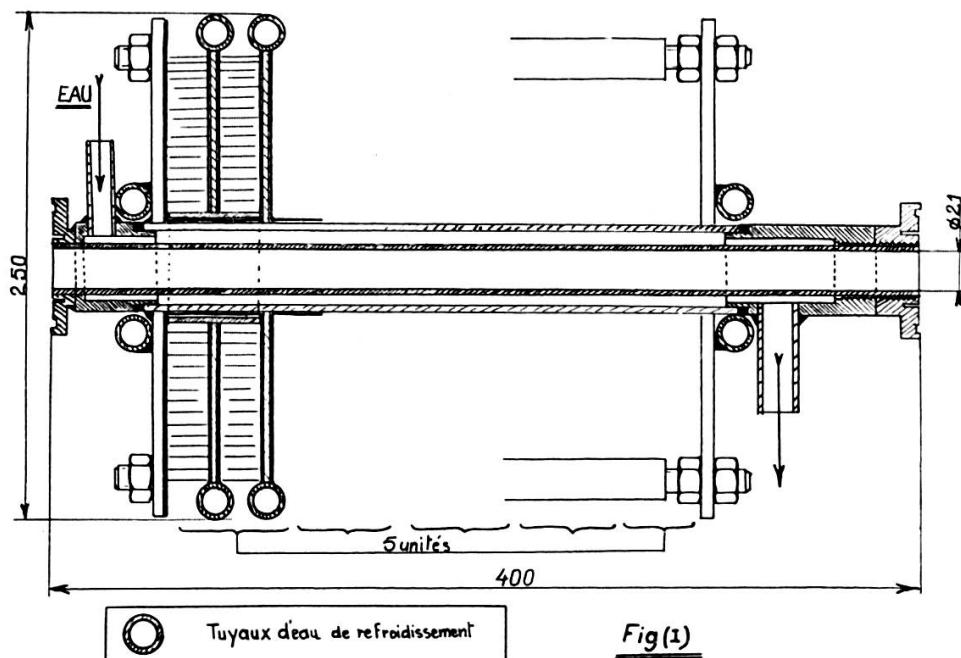
Ce système nous permet d'utiliser pour le polarimètre un amplificateur symétrique à courant alternatif. Une émission continue entraînerait l'usage d'amplificateur du type continu dont les dérives seraient une cause importante d'erreurs et pourrait donner l'illusion de rotations inexistantes.

Le klystron débite dans un guide rectangulaire propageant le mode H_{01} . Un atténuateur variable permet de découpler convenablement l'ensemble.

Une cavité résonante étalon nous donne avec précision la fréquence de l'émetteur.

Une transition progressive « guide rectangulaire, guide circulaire » transmet le mode TE_{11} au guide circulaire dont les dimensions sont telles que seul le mode en question puisse se propager [1 et 2].

ELECTROAIMANT



b) *L'électro-aimant.*

L'électro-aimant que nous avons utilisé est du type solénoïdal. Il a été entièrement fabriqué au laboratoire. Nous avons la possibilité de le démonter et de l'adapter à un usage particulier (fig. 1).

Nous obtenons un champ magnétique pouvant atteindre 5.000 gauss sur une longueur de 20 à 25 cm. La puissance consommée à pleine charge est de l'ordre de 13 Kw. Il fonctionne sur une batterie de grande capacité donnant 140 volts.

Nous pouvons faire varier le champ magnétique à l'aide de rhéostats.

Le trou central de l'électro-aimant est constitué par un tube de cuivre rouge que nous avons fabriqué par galvanoplastie, de 31 mm de diamètre.

Cette dimension a été choisie la plus petite possible pour pouvoir faire une circulation d'eau entre le guide et l'électro-aimant, et de manière à ce que le champ soit le plus grand possible.

Il est en effet inversement proportionnel à r , nous avons donc intérêt à diminuer au minimum cette dernière dimension.

La circulation d'eau est rendue nécessaire par le grand dégagement de chaleur qui pourrait fausser les mesures en échauffant la substance à l'intérieur du guide. Nous avons ainsi obtenu un refroidissement très satisfaisant et nous n'avons pas observé d'anomalies dues à un échauffement quelconque de la substance. Une vérification au thermocouple nous a montré qu'à la fin d'une série d'expériences, la température de l'échantillon n'avait pas varié de plus de 1°.

À une extrémité du tube est soudée une plaque de fer carrée de 8 mm d'épaisseur sur laquelle est également soudé un tube de cuivre pour le refroidissement. Cette plaque et le tube forment le bâti de l'électro-aimant. Le tube est recouvert de papier isolant résistant à haute température, de même que la face interne de la plaque métallique. Ces papiers sont collés au vernis isolant, chauffé.

L'électro-aimant est constitué de cinq bobines identiques indépendantes que nous juxtaposons sur le tube central.

Chaque bobine est constituée d'un anneau de cuivre central à la cote exacte extérieure du tube précédent, plus son isolant. En son milieu est soudé un disque de laiton de 24 cm de diamètre sur le bord duquel est soudé un tuyau de cuivre rouge pour un refroidissement par eau¹. On élimine ainsi par conductibilité la chaleur du centre de l'électro-aimant. Les deux faces de ces disques et l'extérieur de l'anneau sont recouverts de papier isolant collé au vernis. On ménage un trou dans le disque en laiton au voisinage de la bague, pour amener le courant de part et d'autre.

Nous avons employé comme conducteur du ruban d'aluminium isolé par oxydation anodique. L'isolement est suffisant, car entre deux spires la tension est extrêmement faible. Le ruban utilisé a 20 mm de large et 1/10 mm d'épaisseur². Le raccordement des deux bords n'a pas posé de problème particulier étant donné qu'aujourd'hui on soude très bien l'aluminium. Les soudures ont été réalisées au fer à souder ordinaire (500 W) avec de la soudure alufran AED et du flux AED.

¹ C'est le dispositif utilisé dans les électro-aimants de la maison Beaudoin.

² Fourni par l'Aluminium français et la maison Firubal.

Le ruban est enroulé dans un sens d'un côté du disque et dans l'autre sens de l'autre côté, pour que les deux champs s'ajoutent. Les deux enroulements de chaque bobine étant terminés, on les ceinture par une bande de laiton soudée sur les dernières spires. On a donc les deux bornes à l'extérieur même de la bobine. Elles sont enduites ensuite de vernis isolant et nous faisons passer un courant de l'ordre de 20 ampères dans les spires de manière à polymériser le vernis et à le durcir. Chaque bobine représente alors un ensemble très rigide.

Les bobines sont séparées entre elles par une plaque circulaire de laiton dont chaque face est isolée avec du papier et du vernis.

Un tuyau de cuivre est soudé à la périphérie pour le refroidissement. Il suffit alors de juxtaposer une autre bobine puis une autre plaque circulaire et ainsi de suite pour obtenir l'électro-aimant complet.

On termine l'ensemble par une plaque de fer carrée identique à la première. Elle permet de serrer entre elles les bobines précédentes, par l'intermédiaire de quatre grosses tiges métalliques. On réalise un serrage convenable, tout en augmentant la rigidité de l'ensemble.

Reste à réaliser l'adaptation du trou central à un guide circulaire pour 3 cm avec une chemise d'eau. On soude à une extrémité du guide d'onde une pièce filetée dont le diamètre extérieur est légèrement inférieur à 31 mm. A l'autre extrémité on réalise une pièce analogue à celle du dessin comportant une flasque à piège et un décrochement permettant de mettre un joint de cuir. On réalise une pièce semblable de l'autre côté mais qui se visse sur la pièce filetée précédente. Un joint de cuir réalise une étanchéité d'autant meilleure, d'un côté et de l'autre, que l'on a vissé plus les pièces filetées. L'étanchéité du pas de vis est réalisée à l'aide de chanvre et de mastic spécial.

Pour terminer l'ensemble, on visse une flasque à piège.

Les différents tuyaux de cuivre pour refroidissement sont réunis ensemble par des tuyaux de caoutchouc, l'arrivée d'eau froide se faisant par le centre de l'électro-aimant.

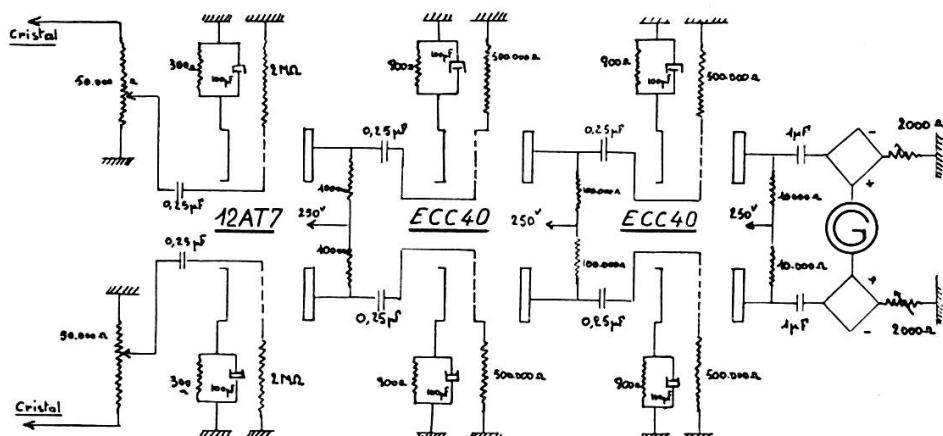
L'ensemble a un poids total d'une quarantaine de kilos. Les bobines sont alimentées en parallèles.

Pour la facilité de l'emploi, nous avons gradué l'ampèremètre de 0 à 100 Ampères (couteau-miroir) directement en champ magnétique par étalonnage préalable au fluxmètre; ce dernier étant lui-même étalonné avec grande précision par résonance nucléaire.

c) *Le polarimètre.*

Cet appareil a déjà été décrit [3, 4]. Nous rappelons qu'il est constitué par deux petites antennes à 90° l'une de l'autre. Ces antennes excitent deux cavités coaxiales. Nous détectons avec deux cristaux qui débitent sur deux potentiomètres de 50.000 ω . Un galvanomètre monté en opposition avec les cristaux donne la position de la vibration initiale lorsque le spot est au zéro. Il n'y a rien de changé au montage lorsqu'on fonctionne en signaux carrés. Nous utilisons alors le terme continu du développement de la série de Fourier pour une tension en créneaux.

AMPLIFICATEUR DIFFÉRENTIEL DE SORTIE
DU POLARIMÈTRE



Fig(II)

Ce système est très bon à condition d'avoir des rotations importantes (de plus d'un degré, par exemple).

D'une façon générale, il faut amplifier les tensions de sortie du polarimètre. Nous avons utilisé un amplificateur différentiel alternatif (fig. 2). L'étage final possède deux redresseurs en pont entre lesquels nous mettons le galvanomètre. Nous arrivons à une sensibilité telle que 30 minutes donne une déviation de 150 divisions sur le galvanomètre. Nous voyons que nous pouvons théoriquement observer 10 secondes. Ce n'est pas exactement réalisé à cause des légères fluctuations de l'émission tant en puissance qu'en fréquence.

Pour l'étude de la résonance paramagnétique, nous avons laissé les antennes fixes et nous avons observé le déséquilibre des cristaux.

Soit A la vibration rectiligne initiale, supposons qu'après la traversée de la substance elle ait tourné d'un angle θ et soit venue en A' . Les deux

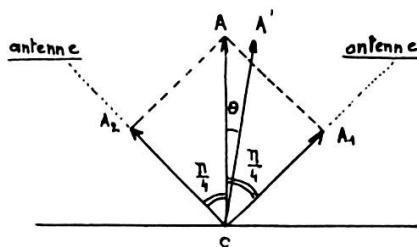


Fig. 2 bis.

antennes que nous laissons fixes captent une énergie proportionnelle à OA_1 et OA_2 . Après détection, on aura sur chacune d'elle un potentiel proportionnel au carré de OA_1 et OA_2 (détecteur quadratique)

$$OA_1^2 = A^2 \cos^2 \left(\frac{\pi}{4} - \theta \right)$$

$$OA_2^2 = A^2 \cos^2 \left(\frac{\pi}{4} + \theta \right) .$$

Si on prélève la différence de potentiel aux bornes des deux cristaux, nous aurons

$$V = OA_1^2 - OA_2^2 = A^2 \left(\cos^2 \left(\frac{\pi}{4} - \theta \right) - \cos^2 \left(\frac{\pi}{4} + \theta \right) \right)$$

$$V = \frac{A^2}{2} ((\cos \theta + \sin \theta)^2 - (\cos \theta - \sin \theta)^2)$$

$$V = 2 A^2 \cos \theta \sin \theta = A^2 \sin 2\theta .$$

Nous voyons que si θ est petit, $\sin 2\theta$ est égal à 2θ , et V est proportionnel à l'angle θ .

$$V = K\theta$$

Nous voyons qu'en laissant fixe la position des antennes, la différence de potentiel aux bornes des cristaux est proportionnelle à la rotation. Ceci nous permet après amplification d'étalonner l'appareil en rotation.

II. ETUDE PROPREMENT DITE DES ROTATIONS DES SELS FERRIQUES ET CHROMIQUES.

Nous mettons la substance à étudier dans un tube en verre dont le diamètre intérieur est de l'ordre de 6 mm. Ce tube est maintenu dans l'axe du guide grâce à deux rondelles de plexiglass d'épaisseur 3 mm environ. L'introduction de ce support n'apporte pas de modification à la polarisation de l'onde, comme nous pouvons le mesurer avec soin grâce à notre analyseur: l'onde polarisée rectilignement se retrouve rectiligne après le tube vide. La position des supports de plexiglass doit être telle qu'il ne puisse se produire de résonance à la fréquence utilisée pour les mesures.

Il suffit de placer la substance dans un petit tube suivant l'axe du guide, car c'est là que l'énergie haute fréquence est pratiquement entièrement localisée; de plus, l'introduction d'un tube de plus gros diamètre entraînerait des perturbations de l'onde, comme cela a déjà été signalé pour des mesures de constantes diélectriques [5].

Nous avons pris des tubes dont la longueur est de 20 cm, l'absorption produite par les poudres qu'ils contiennent ne doit pas être trop grande car pour fonctionner correctement, les détecteurs nécessitent un minimum d'énergie.

Nous avons été obligés dans le cas du sesquioxyde de chrome de réduire la longueur du tube à 10 cm pour avoir suffisamment d'énergie à la sortie.

Il est à noter que l'appareillage est extrêmement sensible même avec de telles épaisseurs. Il est très probable que les résultats négatifs obtenus par Gozzini [6] sur les sels ferriques étaient dus à une trop grande absorption, compte tenu de la sensibilité de son appareillage.

Principe d'une mesure.

La substance étant placée au centre de l'électro-aimant qui est sur le banc de mesure, alimenté par le klystron, nous accordons successivement les deux cavités du polarimètre de façon à obtenir une déviation maximum sur le galvanomètre branché directement aux bornes des cristaux détecteurs.

Ensuite nous plaçons chaque cavité successivement dans la position qui donne le courant détecté maximum. Une légère erreur sur l'angle de l'antenne avec la vibration incidente n'entraîne pas d'erreur sur le maximum du courant débité, puisque nous sommes au voisinage d'un maximum. Par

action sur les potentiomètres placés aux bornes des cristaux détecteurs, nous amenons successivement la déviation du galvanomètre à être la même pour chaque cristal, soit 100 graduations, par exemple.

Puis nous tournons l'équipage du polarimètre de façon à obtenir la même déviation pour chaque détecteur. Grâce à un interrupteur, il est facile de passer de l'un à l'autre des cristaux. En manœuvrant cet interrupteur, si la déviation n'est pas rigoureusement la même, nous observons une légère impulsion sur le galvanomètre. Par ce moyen, nous réglons le polarimètre de telle façon que la vibration soit suivant la bissectrice de l'angle que font les deux cristaux.

Nous repérons sur le vernier cette position. Nous vérifions ensuite que le galvanomètre à la sortie de l'amplification indique bien le zéro. Pour obtenir ce résultat, il est nécessaire de régler préalablement l'amplificateur de telle façon qu'il soit aussi symétrique que possible. Ce réglage se fait à l'aide de résistances d'équilibrage aux pieds des ponts du dernier étage.

Ces dispositions ayant été prises au début d'une série de mesures, l'appareillage est assez stable pour qu'elles se conservent durant la série; une vérification en fin d'expérience permet d'ailleurs de s'en assurer. Il faut ensuite vérifier qu'une rotation du polarimètre entraîne bien une indication proportionnelle à l'angle sur le galvanomètre.

Cela nous permet d'établir le galvanomètre directement en rotation.

Comme nous l'avons vu plus haut, le résultat est le même si le polarimètre est fixe et si c'est la vibration qui tourne. Il nous suffira donc de lire les indications du galvanomètre sans toucher à aucun réglage, pour connaître la rotation de la vibration, pour des angles petits.

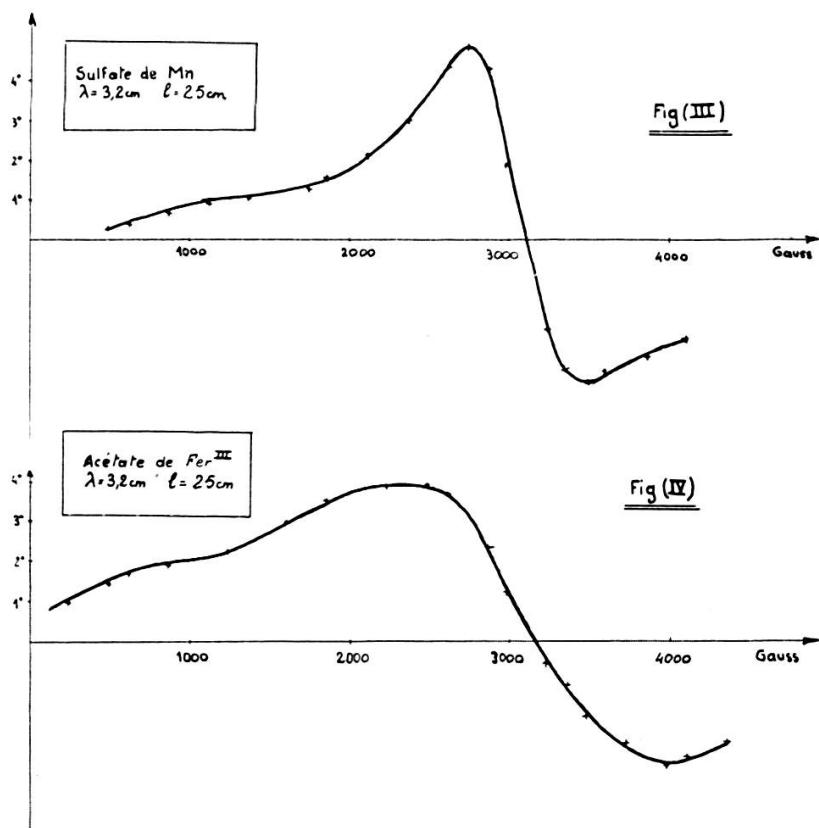
Pour effectuer une série de mesures, ayant mis la substance dans un tube dans le guide central de l'électro-aimant, ayant fait fonctionner le klystron et exécuté tous les réglages précédents, sans avoir oublié la circulation d'eau, nous portons rapidement le champ magnétique à son maximum en diminuant la valeur des résistances des rhéostats dans le circuit de l'électro-aimant.

Il suffit alors de lire l'indication du galvanomètre en faisant diminuer l'intensité du courant et en lisant celle-ci sur l'ampèremètre directement gradué en champ magnétique.

Cette méthode est préférable à celle qui consiste à faire croître le champ, car le courant intense qui parcourt l'enroulement le chauffe et fait augmenter sa résistance, donc diminuer le champ, ce qui donne une variation, ici, en sens opposé à celle que l'on impose. Au contraire, en faisant décroître le

champ, si nous nous arrêtons pour fixer un point précis, le champ continue à diminuer lentement tout seul, donc dans le même sens.

Pour contrôler la bonne marche de l'appareil, nous avons repris les expériences de Gozzini avec le sulfate de manganèse dont nous donnons ici la courbe (fig. 3) pour une longueur de 25 cm. Nous retrouvons la même valeur du champ de résonance.

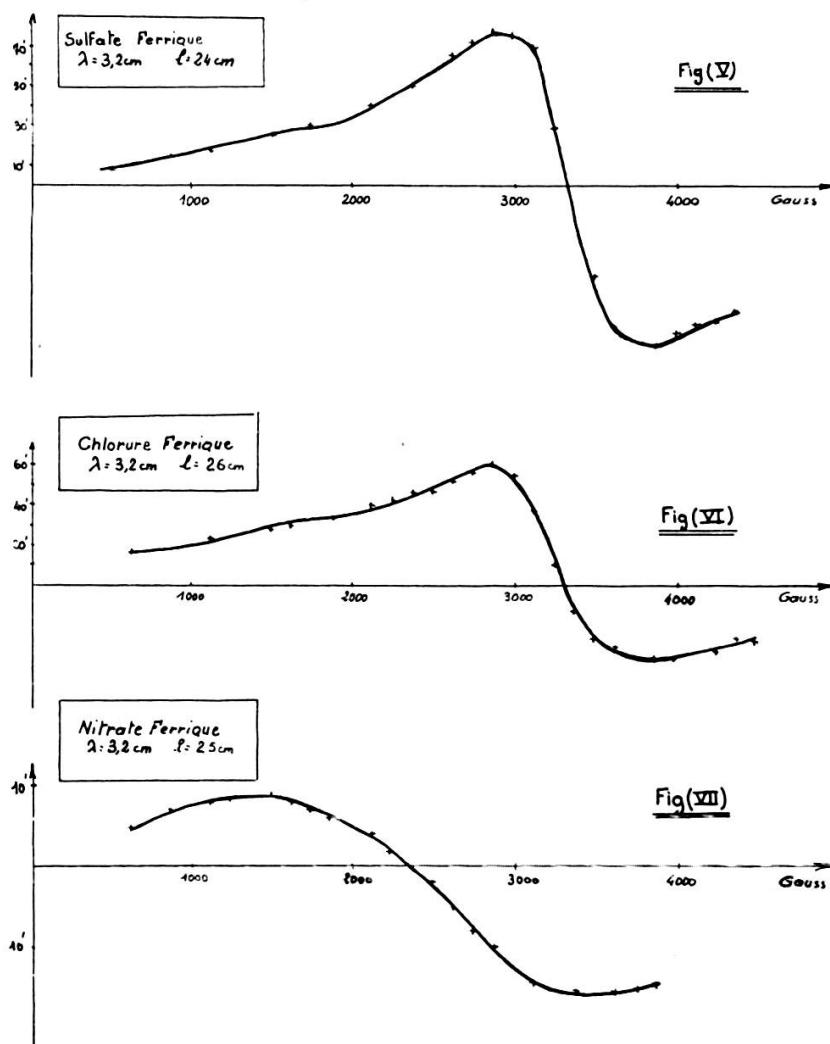


Nous avons vérifié également la rotation Faraday dans des échantillons de chlorure, nitrate, sulfure, oxalate de manganèse. Nos conclusions sont identiques à celles de Gozzini.

Nous avons entrepris l'étude des sels ferriques dans des échantillons de nitrate, acétate, sulfate et chlorure, il nous a été possible de mettre en évidence la rotation paramagnétique de ces diverses substances (fig. 4, 5, 6, 7).

Nous remarquons que ces rotations dépendent beaucoup de la nature du sel: alors qu'elles sont importantes dans l'acétate de fer, elles sont plus faibles dans le sulfate et le chlorure, pour être très faibles dans le nitrate.

Le sulfate de chrome vert et le sesquioxide de chrome (fig. 8, 9) nous ont permis de même de montrer l'anomalie du pouvoir rotatoire qui accompagne la résonance paramagnétique, avec des valeurs plus faibles pour le sulfate que pour le sesquioxide.



Précision.

La stabilité de l'ensemble de l'appareillage, depuis le klystron, stabilisé en fréquence, jusqu'à l'amplificateur symétrique, est telle que pour une série de mesures qui peut durer quelques heures, il n'est pas besoin de retoucher au réglage et la dérive du zéro est négligeable.

Dans ces conditions, la plus petite rotation mesurable est, comme nous l'avons dit, de l'ordre de 10 secondes d'arc. Cependant les courbes ne sont

pas tracées avec cette précision car le champ magnétique ne peut être connu aussi bien. En effet, il n'est pas uniforme le long de l'axe, c'est d'ailleurs ce qui nous a empêché de l'étalonner par résonance nucléaire, et l'échauffement

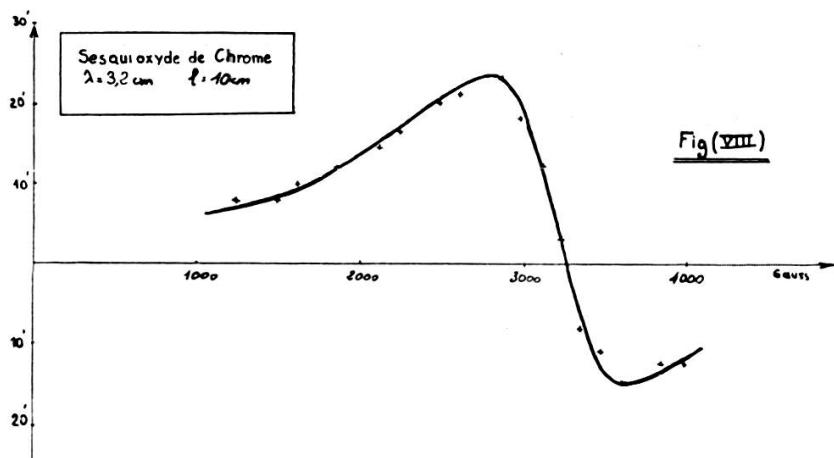


Fig (VIII)

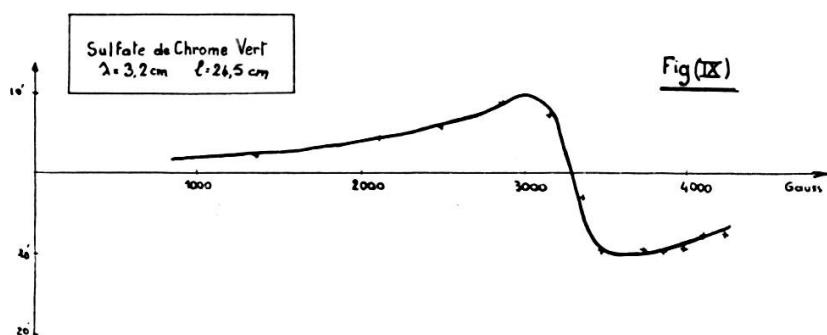


Fig (IX)

au cours de la mesure ne permet pas de pointer à mieux que 50 gauss. Ceci nous donne une inexactitude en H de l'ordre de 1%. Nous sommes actuellement en train de réaliser une autre bobine d'électro-aimant dont le champ serait plus uniforme.

1. MAYER, F., *Journal de Physique et le Radium* (1956), 17, p. 52A.
2. RAOULT, G. et R. FANGUIN, *Journal de Physique* (1959).
3. — et MARCON, *C. R. Ac. Sc.* (1954), 238, p. 218.
4. —, R. FANGUIN et A. MARCON, *Onde électrique* (1957), 376 bis, p. 327.
5. LE BOT et LE MONTAGNER, communication particulière.
6. GOZZINI, A., *Il Nuovo Cimento* (1951), VIII, p. 928.