

Zeitschrift:	Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber:	Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band:	14 (1961)
Heft:	10: Colloque Ampère
Artikel:	Application de la résonance paramagnétique électronique à la mesure du champ terrestre
Autor:	Jung, P. / Cakenberghe, Jan van
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-739608

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: 24.12.2025

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

Application de la résonance paramagnétique électronique à la mesure du champ terrestre

par P. JUNG et J. VAN CAKENBERGHE

European Research Associates, Bruxelles

Zusammenfassung.

Die Elektronenresonanz ermöglicht es im Prinzip, schnelle Schwankungen des Erdmagnetfeldes zu messen. Im Vergleich zu den Kernresonanz- und optischen Pump-Methoden erscheint dieselbe vorteilhaft, sobald die Beobachtungszeit kleiner als 0,1 Sek. ist.

Eine Vorrichtung, deren Empfindlichkeit von der Stärke des Feldes unabhängig ist, wird zur Messung der Grösse und auch der Richtung des Erdmagnetfeldes vorgeschlagen.

1. INTRODUCTION

La plupart des magnétomètres utilisant la résonance magnétique sont basés sur le fait que certaines raies sont extrêmement fines et que l'on peut pointer leur sommet avec une très grande précision. Cependant, théoriquement, il n'est pas nécessaire d'utiliser une raie fine. Le facteur important est le quotient de la largeur de raie par le rapport signal sur bruit.

D'autre part, si l'on s'intéresse aux variations rapides de champ magnétique, l'utilisation d'une raie fine est impossible puisque le temps de relaxation doit être court par rapport à la durée d'observation. De ce dernier point de vue, les raies de résonance électronique présentent un intérêt évident, puisqu'une largeur de raie de 1 gauss correspond à un temps de relaxation d'environ 0,25 millisecondes en résonance protonique, alors qu'en résonance électronique, cette même largeur correspond à un temps de relaxation inférieur à 0,4 microsecondes.

Si l'on admet que le rapport signal sur bruit est donné par la formule classique [1]:

$$\left| \frac{S}{N} \right| = \frac{D\eta N\gamma I(I+1) h^2}{48kT} \left(\frac{VQv^3 T_2}{kT LfT_1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

dans laquelle

D = facteur de détection;
 N = nombre de spins;
 I = nombre quantique de spin;
 k = constante de Boltzman;
 V = volume de la bobine;
 ν = fréquence;
 L = largeur de bande;

β = facteur de remplissage;
 γ = facteur gyromagnétique;
 h = constante de Planck;
 T = température absolue;
 Q = coefficient de surtension;
 T_1 et T_2 = temps de relaxation;
 f = facteur de bruit.

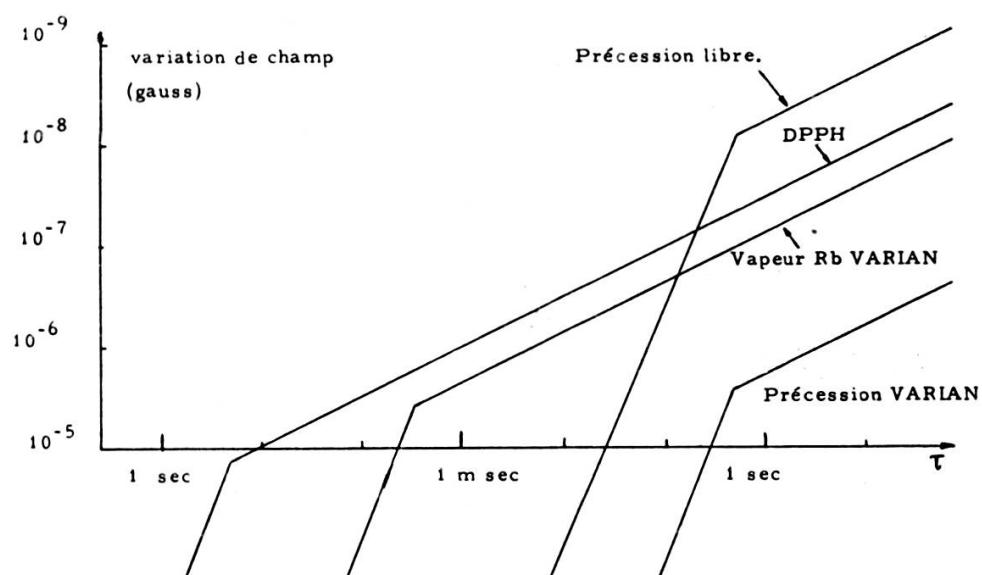


Fig. 1.

Variation de champ correspondant à un rapport signal sur bruit théorique égal à un, en fonction du temps d'observation pour différents principes de magnétomètres.

On voit que la résonance électronique devient en principe supérieure aux autres méthodes dès que le temps d'observation est inférieur au dixième de seconde.

on peut tracer le graphique de la figure 1 qui donne la variation de champ correspondant à un rapport signal sur bruit égal à un en fonction du temps d'observation τ . Le temps d'observation étant égal à l'inverse de la bande passante du système détecteur.

2. PRINCIPE D'UN MAGNÉTOMÈTRE À RÉSONANCE ÉLECTRONIQUE

Dans les champs très faibles, par suite de l'effet Bloch-Siegert [2], une raie large ne présente pratiquement plus qu'un seul flanc.

Par exemple, si la fréquence de résonance était donnée par la formule de Larmor, elle serait de 1,3 mégacycles dans un champ de 0,5 gauss. Si l'on mesure l'absorption en fonction du champ pour le DPPH en utilisant une fréquence de 1,3 mégacycles, on obtient la courbe de la figure 2. On ne peut donc plus pointer le sommet de la raie.

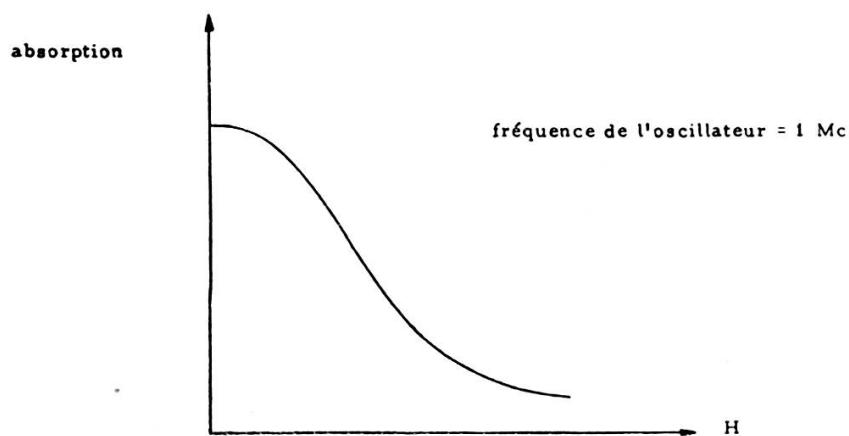


Fig. 2.

Absorption du DPPH en fonction du champ pour une fréquence de 1,3 mégacycles.

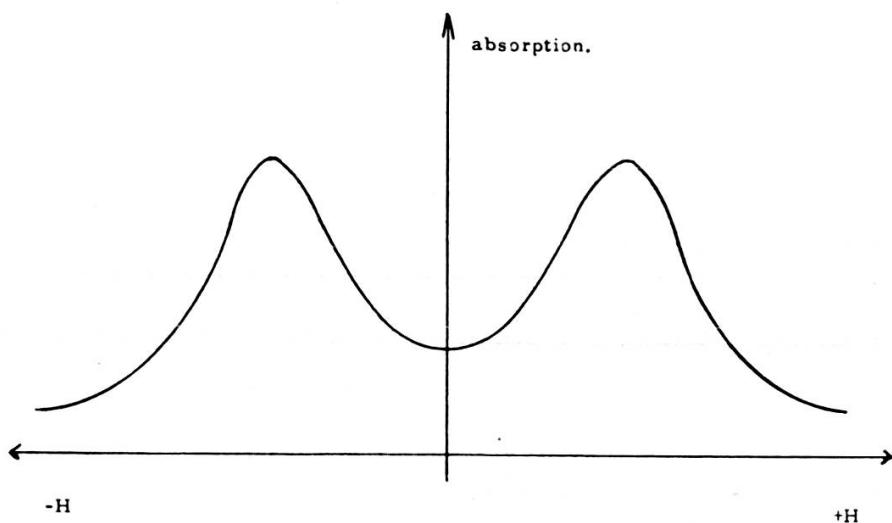


Fig. 3.

Absorption du DPPH en fonction du champ pour une fréquence de 10 mégacycles.

Mais si l'on tient compte du caractère vectoriel du champ magnétique, c'est-à-dire aussi des valeurs négatives, on obtient le graphique de la figure 3 pour une fréquence de 10 mégacycles, autrement dit, l'absorption est une fonction paire du champ. Si ce champ est alternatif, sinusoidal,

de fréquence Ω et d'une amplitude de l'ordre de la largeur de raie, le signal d'absorption ne contiendra que des harmoniques pairs de Ω .

Si un faible champ extérieur est présent, par exemple le champ terrestre, il détruira la symétrie du système et fera apparaître une composante à la fréquence Ω . L'amplitude de cette composante sera proportionnelle au champ extérieur.

3. RÉALISATIONS PRATIQUES

Un premier modèle simple a été réalisé suivant le schéma de la figure 4.

Un oscillateur marginal à 10 Mhz alimente une bobine contenant du DPPH. Un générateur à 4 kc produit un champ alternatif d'une amplitude de ± 2 gauss. Le signal venant de l'oscillateur est amplifié et envoyé sur un détecteur synchrone dont la sortie est réinjectée dans les bobines de balayage.

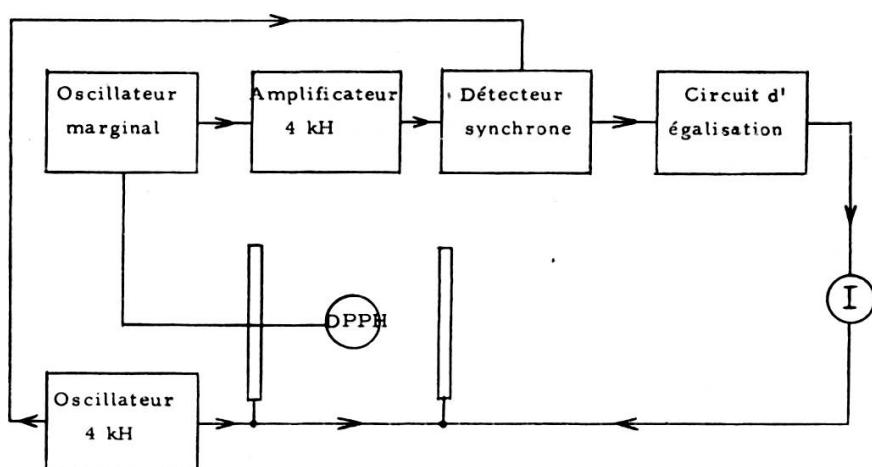


Fig. 4.

Schéma d'un magnétomètre à résonance paramagnétique.

La boucle de contre-réaction ainsi formée est donc parcourue par un courant proportionnel au champ à mesurer.

Dans un second modèle, nous avons étendu le balayage à deux dimensions. On pourrait pour cela utiliser deux fréquences de balayage distinctes, suivant les directions X et Y (figure 5). Nous avons appliqué la même fréquence, mais en introduisant un déphasage de $\pi/2$, ce qui revient à créer un champ tournant. Le signal d'absorption résultant est analysé après amplification; une composante est utilisée comme précédemment, c'est-à-dire après détection synchrone, renvoyée dans la bobine X pour être opposée au champ terrestre. L'autre composante actionne un servo-

moteur qui oriente l'ensemble de la tête du magnétomètre dans le champ magnétique, de façon à annuler la projection de ce champ sur l'axe de la bobine Y. Ce dispositif pourrait servir de compas magnétique indiquant l'amplitude de la composante horizontale du champ.

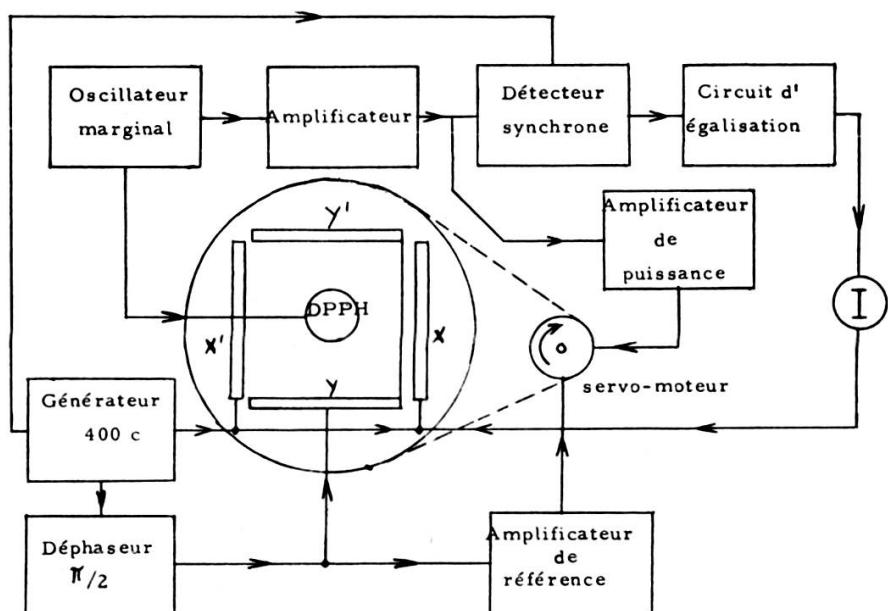


Fig. 5.

Schéma de principe de la boussole magnétique.

Dans une troisième expérience, nous avons placé une tête de magnétomètre sur un théodolite en vue de faire des mesures utilisables en prospection géophysique. Une précision de ± 30 sec sur les mesures d'angle et de ± 5 gammas sur les mesures de champ a été obtenue.

4. CONCLUSIONS

Les méthodes de résonance nucléaire et « de pompage optique » ont l'avantage de mesurer uniquement l'amplitude du champ magnétique et sont pratiquement insensibles à de petites variations d'orientation. Mais leur sensibilité tend vers zéro dans un champ nul.

La présente méthode, au contraire, peut mesurer la direction du champ dans un plan ou dans l'espace, et sa sensibilité est constante dans tout son domaine de mesure, donc aussi dans un champ nul.

1. ANDREW, E. R., *Nuclear Magnetic Resonance*, 1955, p. 70.

2. BLOCH, F. et A. SIEGERT, *Phys. Review*, 57, 1940, p. 522.

Ce travail a été financé par l'Union Carbide Corporation, New York.

DISCUSSION

M. Van Gerven: Je voudrais faire remarquer que ce n'est pas l'effet Bloch-Siegert qui est à la base de la forme de raie modifiée et généralisée, mais plutôt l'hypothèse de Bloom (relaxation vers l'aimantation actuelle). L'effet Bloch-Siegert est fonction du champ HF réduit $p \equiv H_1/H_0$ (correction pour le fait que $H_1 < / < H_0$), tandis que la forme mentionnée se présente aussi bien lorsque $p \rightarrow 0$ et dépend en premier lieu de la largeur de raie réduite $q \equiv \delta/H_0$ (correction pour le fait que $\delta < / < H_0$), comme je l'ai montré dans un exposé précédent.

M. Jung: L'effet Bloch-Siegert entraîne une correction à la fréquence de résonance, due à la fréquence du champ tournant opposé au sens de la précession. Cette correction devient importante dans les champs faibles. La forme de la courbe de résonance dans ce cas a été calculée correctement par Garstens et il serait plus juste de s'y référer au lieu d'invoquer l'effet Bloch-Siegert.

M. Van Gerven: Quelle est l'amplitude H_1 de votre champ HF (ou plutôt BF)? Est-elle négligeable devant H_0 , de manière que l'effet Bloch-Siegert ne joue pas de rôle?

Réponse: L'effet Bloch-Siegert est négligeable car $H_1 = 1$ mG.