

**Zeitschrift:** Archives des sciences [1948-1980]  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 13 (1960)  
**Heft:** 9: Colloque Ampère

**Artikel:** Sur quelques phénomènes d'interaction entre ondes centimétriques et électrons dans un gaz ionisé  
**Autor:** Fornaca, G. / Ciampi, M. / Reinharz, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-738566>

### **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:** 17.07.2025

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

# Sur quelques phénomènes d'interaction entre ondes centimétriques et électrons dans un gaz ionisé

par G. FORNACA, M. CIAMPI, M. REINHARZ \*

Istituto di Fisica dell' Università di Pisa

---

## INTRODUCTION.

Au cours d'expériences consacrées à l'étude des propriétés des plasma, du genre des expériences de Goldstein et coll. [1] nous avons observé un phénomène lié à la résonance magnétique des électrons.

L'effet consiste en un couplage directif produit par le plasma entre deux guides d'onde. L'interprétation du phénomène n'apparaît pas simple; nous essaierons de la donner lorsque le phénomène lui-même aura été étudié expérimentalement en détail.

Le but de cette communication est de donner une description des modalités de cet effet, établies par les expériences préliminaires que nous allons décrire.

## MONTAGE EXPÉRIMENTAL.

Le plasma est produit dans un tube en Pyrex (50 cm de longueur, diamètre 1 cm environ), rempli d'un gaz rare dont la pression peut être variée de quelques millimètres Hg à 10 cm.

Le tube est muni d'électrodes et on produit une décharge en appliquant aux électrodes une impulsion rectangulaire (d'une durée de  $10^{-6}$  secondes et d'amplitude variable entre 1000 et 6000 Volts, fournie par un transformateur d'impulsions).

Le tube est excité vingt fois par seconde.

Entre une décharge et la suivante, le plasma est détruit par les processus de recombinaison et de fixation aux parois. Le gaz étant assez pur, le temps de recombinaison est assez long, quelques millièmes de seconde dans les conditions de l'expérience.

En variant la pression du gaz et la tension de l'impulsion, on peut varier la densité électronique initiale de la décharge entre  $10^{10}$  et  $10^{12}$  électrons/cm<sup>3</sup>,

\* Actuellement au C.E.R.N.

ce qui correspond à une faible ionisation. La densité électronique, en fonction du temps, peut être déterminée avec une bonne précision par les techniques d'hyperfréquences habituelles (par mesures d'absorption et de réflexion). La fréquence de collisions  $\nu$  des électrons avec les molécules neutres est déterminée en mesurant la largeur de la courbe d'absorption par résonance. On a trouvé que la densité électronique varie selon une loi presque hyperbolique, ce qui montre que la destruction du plasma est due principalement aux processus de recombinaison. La fréquence des collisions est de l'ordre de  $10^9$  coll./sec.

Le tube traverse trois guides, comme le montre la figure. L'un des guides est excité avec des ondes  $TE_{01}$  (guide 1), les autres sont terminées par des cristaux. Tout le système est placé dans un champ magnétique perpendiculaire au tube et aux guides. Le champ, produit par un électroaimant dont les pièces polaires ont les dimensions de  $8 \times 90$  cm, est homogène sur toute la longueur du tube.

L'expérience est schématisée dans la figure 1

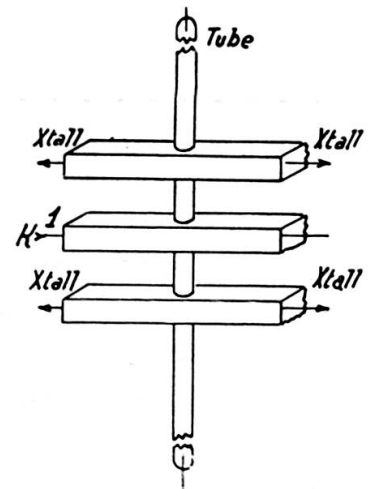


Fig. 1.

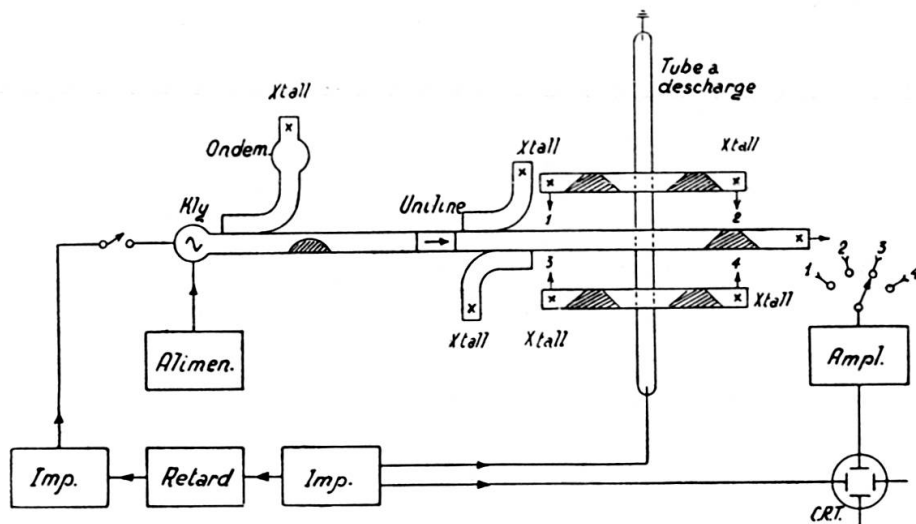


Fig. 2.

## EXPÉRIENCES.

Les cristaux des guides auxiliaires sont connectés à l'entrée d'un amplificateur d'impulsion suivi d'un oscillographe, dont le balayage est déclenché par l'impulsion qui produit la décharge.

- a) Une onde continue se propage dans le guide principal. Si l'on varie le champ magnétique, lorsque celui-ci atteint une valeur proche de la résonance des électrons, on observe des signaux sur l'écran de l'oscillographe. La puissance transmise dans le guide auxiliaire en fonction de la densité électronique a l'allure d'une courbe de résonance (fig. 3).

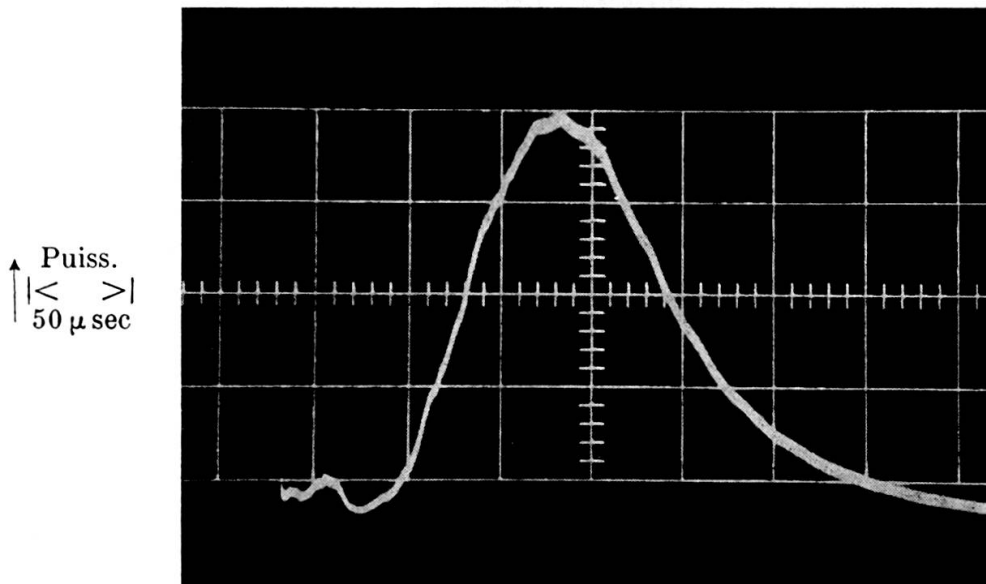


Fig. 3.

On observe que la puissance qui tombe sur les différents cristaux est fort différente (fig. 4). Si l'on pose égale à 1 la hauteur du plus grand des quatre signaux, on obtient pour les autres les valeurs  $1/20$ ,  $1/50$ , «  $1/100$  (pas observable).

Le cristal qui donne le signal maximum change si on change la direction de propagation de l'onde ou la direction du champ magnétique  $H_0$ . Si l'on indique avec + les directions dessinées sur la figure et — les directions

opposées, on obtient (fig. 5) pour les intensités des signaux obtenus sur les différents cristaux:

$H_0$	P	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
+	+	1	1/20	$\ll 1/100$	1/50
+	-	1/50	$\ll 1/100$	1/20	1
-	+	$\ll 1/100$	1/50	1	1/20
-	-	1/20	1	1/50	$\ll 1/100$

On déduit que la direction de la propagation de l'énergie est celle du produit vectoriel du vecteur de Poynting et de  $H_0$ .

Les signaux maximums sont égaux dans tous les cas, compte tenu de la différence entre la sensibilité des différents cristaux.

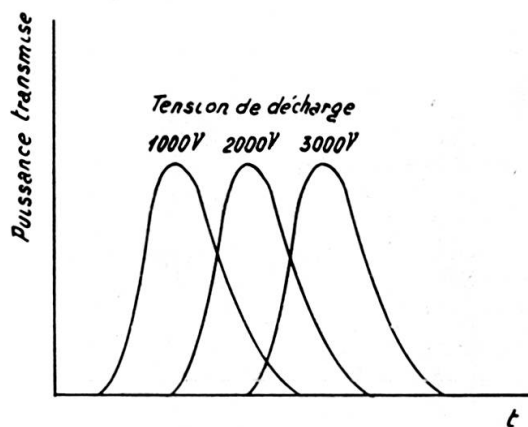


Fig. 4.

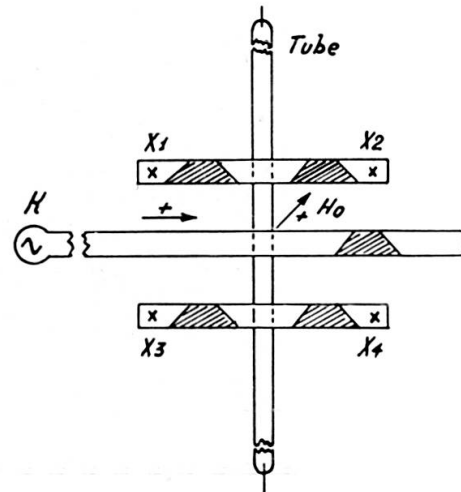


Fig. 5.

Le signal est, en fonction du temps (donc de la densité électronique) maximum à un certain instant  $\bar{t}$  après la fin de l'impulsion (soit à une certaine densité  $\bar{n}$ ).

Le retard  $\bar{t}$  augmente ou diminue lorsqu'on augmente ou diminue la densité électronique initiale, ce qui montre que l'effet dépend de la densité électronique et est maximum pour une certaine densité  $\bar{n}$ .

Variant la fréquence  $\omega$  du klystron,  $\bar{t}$  varie (augmente lorsque diminue la fréquence, c'est-à-dire que  $\bar{n}$  augmente avec la fréquence). Si on change

la valeur de  $H_0$ ,  $\bar{t}$  varie (augmente lorsque  $H_0$  augmente, c'est-à-dire que  $\bar{n}$  diminue avec  $H_0$ ).

On a étudié l'effet pour une densité donnée, en fonction de  $\omega$  et  $H_0$ . Pour ce but le klystron, normalement interdit, est fait osciller pendant 10 microsec. moyennant une impulsion sur le réflecteur. L'impulsion peut être retardée à volonté par rapport à l'impulsion de la décharge, de façon que l'on puisse examiner le phénomène pour une densité électronique donnée.

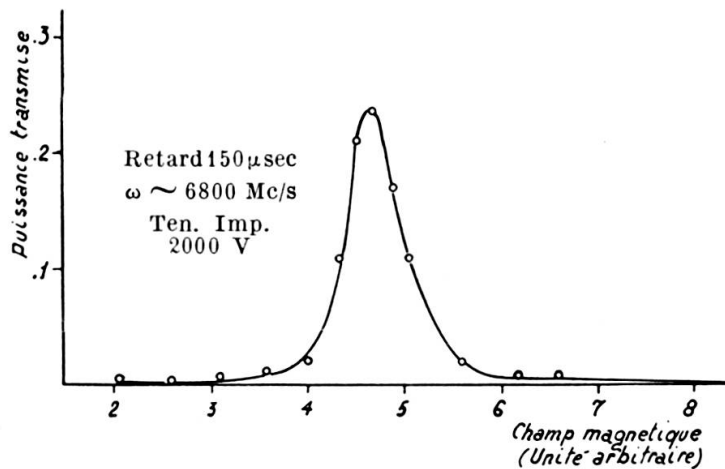


Fig. 6.

Le phénomène présente, pour une densité électronique donnée, en fonction du champ  $H_0$  une allure de courbe de résonance, étant maximum pour une certaine valeur  $\bar{H}$  voisine de la valeur du champ de résonance  $H_c$  (fig. 6);  $\bar{H}$  dépend de la densité

Aux densités faibles les valeurs de  $\bar{H}$  et de  $H_c$  vont coïncider. En conclusion les expériences préliminaires ont permis d'établir que, pour une fréquence donnée du champ dans le guide, cet effet dépend de la densité électronique, du champ extérieur et de la pression.

A ces paramètres sont liées les fréquences  $\omega_p$  (fréquence du plasma, proportionnelle à  $n^{\frac{1}{2}}$ ) la fréquence de cyclotron  $\omega_c$  (proportionnelle à  $H_0$ ) et la fréquence de collision  $\nu$ .

Cette dernière est responsable de la « largeur » de l'effet.

Des expériences sont en cours pour déterminer la relation précise entre  $\omega_c$ ,  $\omega_p$ ,  $\nu$  pour laquelle le phénomène se produit.

L'ALLURE DU PHÉNOMÈNE EN FONCTION DE L'ANGLE  
ENTRE LE VECTEUR DE POYNTING ET  $H_0$ .

On a étudié l'effet en fonction de l'angle entre le guide et le champ  $H_0$  en utilisant un guide excitateur (fig. 7) qui peut tourner autour du tube dans le champ magnétique. La figure 8 montre l'effet en fonction de l'angle  $\theta$  entre l'axe du guide excitateur et  $H_0$ .

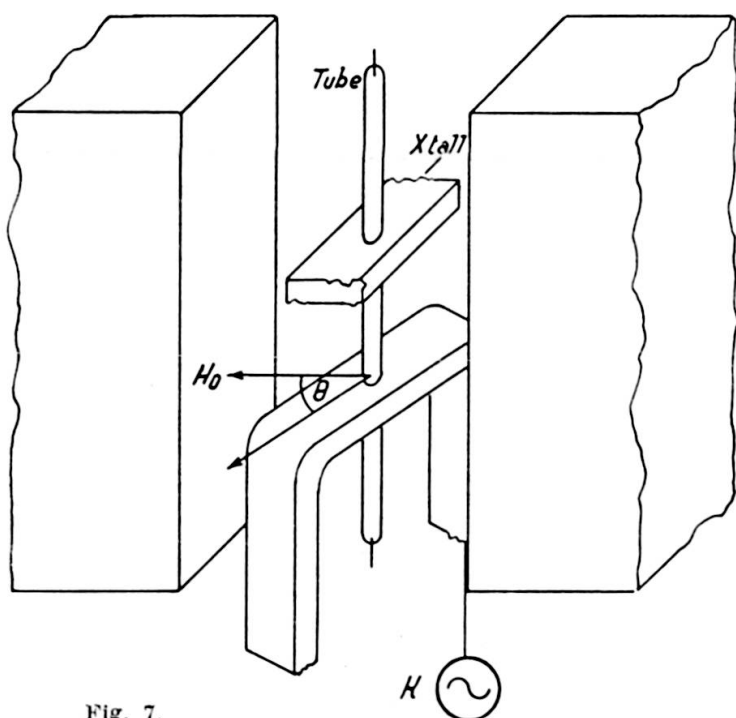


Fig. 7.

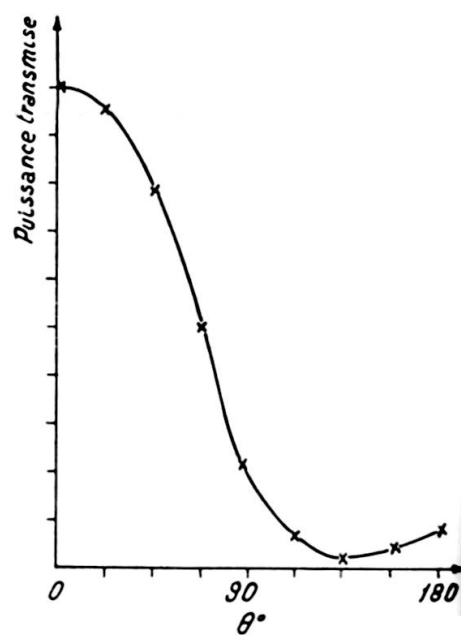


Fig. 8.

Ce travail a été fait sous la direction de M. le professeur A. Gozzini que nous remercions vivement.

1. GOLDSTEIN, L., T. SEKIGUCHI, *Phys. Rev.*, **109**, 625, 1958.
2. ANDERSON, J. M., L. GOLDSTEIN, *Phys. Rev.*, **100**, 1037, 1955; **102**, 933, 1956.  
GILARDINI, A. L., S. C. BROWN, *Phys. Rev.*, **105**, 31, 1957.
3. MARGENAU, *Phys. Rev.*, **69**, 508, 1946.