

## TP n° 6

### Ondes centimétriques



Dans ce TP, nous nous intéressons à des ondes électromagnétiques de longueur d'onde centimétrique. Cette caractéristique fondamentale permet de réaliser des expériences de diffraction et d'interférences de façon assez simple en utilisant des objets de taille macroscopique. Ces ondes électromagnétiques ont des fréquences assez élevées (1 GHz à 100 GHz) et sont extrêmement utilisées dans les dispositifs de télécommunication. Elles possèdent bien entendu des propriétés similaires à leurs homologues du visible.

Dans cette séance, nous nous intéresserons plus particulièrement à leur état de polarisation, ainsi qu'à la mesure de leur longueur d'onde. Nous verrons également des exemples d'ondes stationnaires et regarderons plus en détail les phénomènes d'interférences.

## 1. Appareillage

### Description du matériel :

Le matériel est composé de :

1. une diode émettrice appelée émetteur
2. deux diodes réceptrices appelées récepteurs. La première est montée sur un cornet, la seconde possède deux petites antennes verticales.
3. une alimentation
4. des accessoires

#### 1.1.1. Emetteur :

Le montage pour l'étude des ondes centimétriques utilise comme générateur une diode Gunn. On donne à ce composant le nom de diode car c'est un dipôle dont la caractéristique  $I(V)$  (fig.1.), ressemble, pour les faibles valeurs de  $V$ , à celle d'une diode classique.

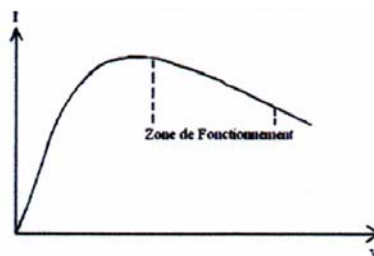


Fig.1. caractéristique d'une diode Gunn

La diode Gunn se compose d'un petit parallélépipède de silicium convenablement dopé sur lequel sont placés deux contacts électriques.

La caractéristique  $I(V)$  montre qu'à partir d'une certaine tension (4 à 5 volts) le graphe présente un coude et que l'intensité augmente quand la tension diminue. On dit qu'on a une résistance négative. Il importe donc dans un montage destiné à relever les caractéristiques de la diode Gunn de placer une résistance en série pour éviter de faire passer dans le composant une intensité trop forte risquant de le détruire.

Quand une tension convenable est appliquée à la diode, le courant, au lieu de la traverser de façon continue, la parcourt par vagues successives.

Dans notre montage, cette tension est comprise entre 7 et 9 volts.

Si la diode est placée dans un circuit oscillant possédant une fréquence de résonance proche de celle des vagues de courant, le circuit oscillant joue le rôle d'un volant et délivre un signal sinusoïdal.

Pratiquement, la fréquence étant très élevée, de l'ordre de 10 GHz, la diode est placée dans une cavité résonnante conductrice convenablement accordée.

L'accord est réalisé par le positionnement du piston formant le fond de la cavité, une vis d'accord permet de parfaire le réglage.

Ces réglages sont réalisés en usine et on ne doit pas avoir à les modifier, sauf en cas de changement de diode.

### 1.1.2. Récepteur

Il est constitué d'une diode hyperfréquence « SHF » (Super High GFrequency) . Son rôle est de transformer la puissance électromagnétique captée en tension continue. **Il ne détecte que la composante du champ électrique parallèle à son axe de révolution et délivre un signal proportionnel à l'intensité de l'onde.**



Deux récepteurs sont disponibles. Le premier est constitué d'une diode sur laquelle sont attachés deux fils métalliques (antenne). Il présente l'intérêt d'être facilement orientable dans les trois directions de l'espace et d'être hautement directionnel. Le second est constitué d'une diode placée dans une cavité résonnante accordée (fig 2) et d'un pavillon d'entrée (cornet). Dans cette configuration, la puissance captée est beaucoup plus importante.

Fig.2. récepteur à cornet

### 1.1.3. Alimentation

Le coffret d'alimentation contient les circuits nécessaires à l'alimentation de la diode Gunn ainsi qu'un amplificateur pour la diode détectrice. L'alimentation fournit une tension continue parfaitement filtrée.

Un réglage intérieur par potentiomètre permet d'ajuster cette tension à la valeur donnant la puissance hyperfréquence maximale. Etant données les dispersions de caractéristiques, chaque alimentation est

réglée en fonction de l'émetteur correspondant. Dans le cas où l'on possède plusieurs appareils, il est recommandé de laisser appariés alimentation et émetteur.



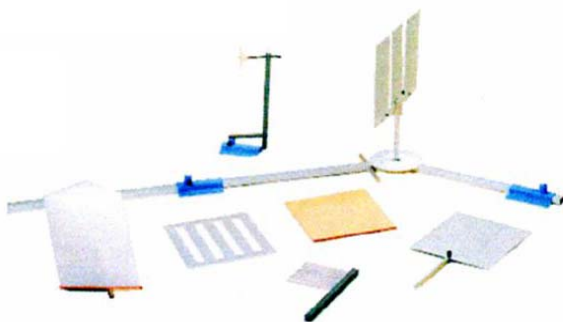
Fig.3. : coffret contenant l'alimentation pour l'émetteur, le circuit amplificateur pour le détecteur et une sortie pour voltmètre

Le circuit amplificateur de la diode détectrice est constitué d'un amplificateur opérationnel délivrant une tension amplifiée rigoureusement proportionnelle à l'énergie hyperfréquence reçue par la diode. Cette amplification permet de faire la mesure sur un voltmètre classique. Pour les signaux faibles, l'amplification peut être multipliée par 10 par le jeu d'un inverseur.

Un bouton de tarage permet de régler avec précision le zéro sur l'appareil de mesure. Les appareils étant en position de fonctionnement, arrêter l'émission hyperfréquence en mettant la main devant le cornet. En agissant sur le bouton « mise à zéro », amener l'indication du voltmètre au minimum de lecture. Cette façon de procéder est préférable à celle qui consiste à couper l'alimentation de la diode Gunn en agissant sur son interrupteur. En effet, à cause de sa résistance négative, la diode Gunn met quelques secondes pour atteindre son régime de fonctionnement.

Par ailleurs, la tension maximale délivrée par l'amplificateur est de 12 volts. Cette tension étant atteinte, elle ne sera pas dépassée, même si la puissance du signal hyperfréquence augmente. Il faut donc éviter de se placer dans ces conditions de fonctionnement. Si la tension de sortie atteint ces valeurs élevées, c'est généralement que l'amplificateur est en position x10. Le ramener à la position x1, le voltmètre étant utilisé au calibre 1,5 volts.

#### 1.1.4. Accessoires :



- un banc de guidage
- des écrans réfléchissants métalliques
- deux fentes réglables
- deux plaques de plexiglass

Fig. 4 : accessoires

## 2. Mesures

### Structure et polarisation de l'onde incidente

- En électromagnétisme, donner les trois grandeurs caractérisant une onde plane se propageant dans le vide.
- Mettre en place le détecteur à cornet. Mettre la main devant l'émetteur et effectuer la mise à zéro du voltmètre en agissant sur le bouton « mise à zéro » de l'alimentation. Cette procédure est à refaire à chaque fois que l'on change de détecteur.
- Positionner celui-ci à 50 cm de l'émetteur. Faire tourner le détecteur autour de la direction de propagation. Expliquez vos observations. Que peut-on en déduire quant à la polarisation de l'onde ?

### Ondes stationnaires

- Quelle est la valeur du champ électrique en tout point d'un conducteur parfait non chargé ?
- Pour réaliser cette condition, comment doit être le champ électrique de l'onde réfléchie par un conducteur parfait par rapport au champ de l'onde incidente ?
- On illumine un réflecteur métallique avec une onde électromagnétique (incidence normale). Montrer que la superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie donne naissance à une onde stationnaire. Donner la distance théorique entre deux nœuds ou ventres successifs en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$ .
- Positionner le réflecteur métallique en face de l'émetteur (environ 50 cm) de façon à réaliser un système d'ondes stationnaires.
- Positionner la sonde à antennes de façon à ce qu'elle perturbe le moins possible le système. Réajuster le zéro en tension.
- Mesurer avec le maximum de précision la longueur d'onde  $\lambda$ . Décrire le mode opératoire utilisé. Donner l'incertitude  $\Delta\lambda$ .

### Interférences

De façon générale, deux ondes peuvent interférer lorsque leur longueur d'onde est identique est que leur déphasage reste constant dans le temps. Pour satisfaire cette dernière condition, on

peut créer deux faisceaux cohérents à partir d'un seul faisceau initial. Ceci peut être réalisé par division du front d'ondes (bifentes de Young) ou par division d'amplitude (Interféromètre de Michelson).

### 2.3.1 Montage de Michelson.

L'interféromètre de Michelson fonctionne sur le principe de la division d'amplitude. Nous allons l'utiliser pour évaluer à nouveau la longueur d'onde émise  $\lambda$ , et pour déterminer l'indice de réfraction  $n$  d'une plaque de plexiglas.

#### Mesure de longueur d'onde

Son principe de fonctionnement est présenté sur la figure 5. Le miroir semi transparent S (orienté à  $45^\circ$ ) divise le faisceau issu de l'émetteur E en deux faisceaux d'amplitude identique. Ces deux ondes sont réfléchies sur les miroirs M1 et M2 et convergent vers le récepteur à cornet R. Si le chemin optique des deux faisceaux est identique (à un multiple de la longueur d'onde prêt), les ondes interféreront de façon constructive et conduiront à un maximum d'intensité. Si le miroir mobile M2 est déplacé d'une quantité  $x$ , la variation du chemin optique introduira un déphasage entre les deux ondes et modifiera l'intensité mesurée. Pour certaines positions du miroir M2, les ondes peuvent interférer de façon destructive conduisant à une annulation du signal mesuré.

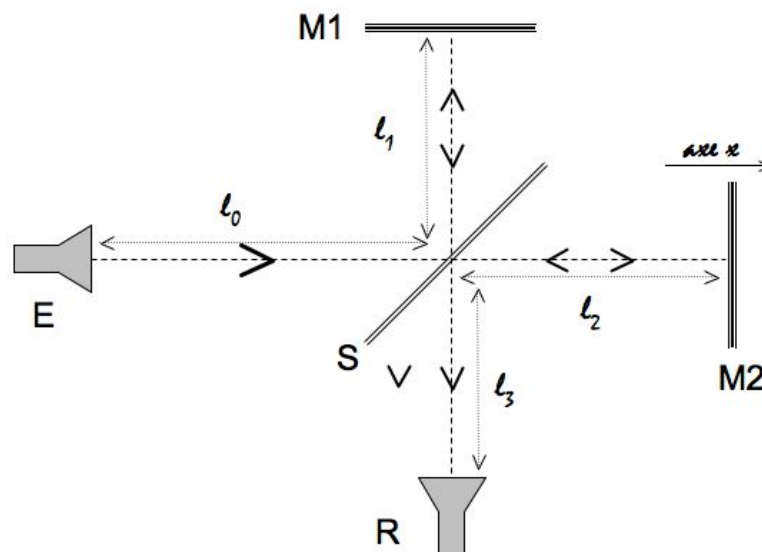


Fig. 5 Schéma de l'interféromètre de Michelson.

- Donner le chemin optique L1 et L2 parcouru par les deux ondes (L1 : trajet  $l_0-l_1-l_3$ , L2 : trajet  $l_0, l_2, l_3$ ). On rappelle que le chemin optique  $L$  d'une onde électromagnétique traversant un milieu d'épaisseur  $l$  et d'indice  $n$  est donné par  $L = l.n$ . Dans l'air, on considèrera  $n=1$  (chemin optique et chemin géométrique sont identiques).
- Calculer la différence de marche  $\delta$  ( $\delta=L1-L2$ ) entre les deux faisceaux. Lorsque  $\delta$  est un multiple de la longueur d'onde, les interférences sont constructives et on observe un maximum au niveau du détecteur. Donner la relation entre  $\lambda$  et  $x$  où  $x$  est le déplacement correspondant au passage entre deux maxima consécutifs.
- Réaliser le montage proposé (Figure 5). Le miroir semi transparent (plexiglass) doit être correctement orienté à  $45^\circ$ . Mettre en place le détecteur à cornet et réajuster le zéro en tension. Décrire le mode opératoire utilisé pour mesurer  $\lambda$ . Déterminer  $\lambda$  et  $\Delta\lambda$ . Comparer à la mesure précédente.

### **Mesure d'indice de réfraction**

L'interféromètre de Michelson permet également de déterminer l'indice de réfraction de certains matériaux.

- Considérons M2 positionné de façon à donner un maximum d'intensité. Calculer le chemin optique dans les deux bras et la différence de marche correspondante.

Lorsque l'on introduit devant le miroir M2 (Figure 6) une plaque de diélectrique d'indice de réfraction  $n$ , on modifie le chemin optique correspondant (qui se trouve augmenté) ainsi que les conditions d'interférences : l'intensité diminue. Il suffit de déplacer le miroir M2 d'une quantité  $z$  vers le miroir semi transparent pour retrouver les maxima d'intensité.

- Donner le chemin optique dans les deux bras ainsi que la différence de marche correspondante.
- Montrer que l'indice de réfraction peut être déterminé grâce à la relation :

$$n = 1 + \frac{1}{e} (p \lambda / 2 + z)$$

$p$  est un entier négatif ou nul,  $e$  l'épaisseur de la plaque,  $z$  est le déplacement qui permet de retomber sur un maximum d'interférence (il est compté positivement lorsque l'on se déplace vers le miroir séparateur S).

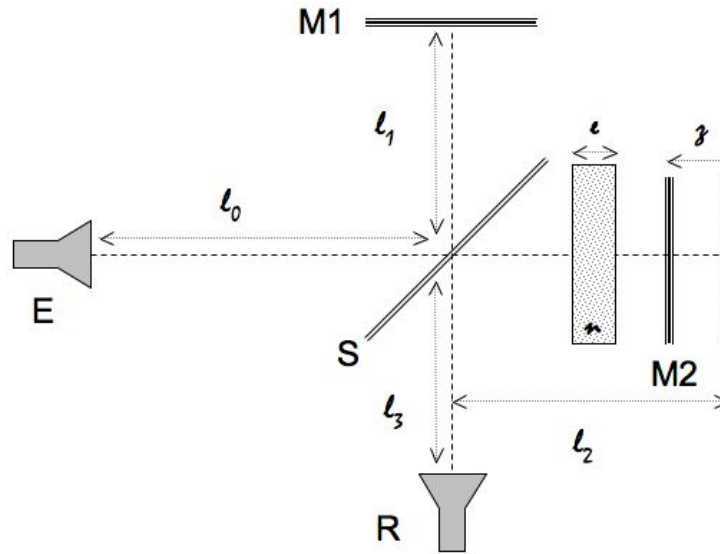


Fig. 6 Mesure d'indice de réfraction.

- Placer le miroir M2 de façon à vous trouver sur un maximum d'intensité (Figure 6). Rajouter la plaque de plexiglas (épaisseur  $e = ?$  mm) devant le miroir M2. Déplacer le miroir M2 vers le miroir semi transparent de façon à retrouver le maximum ( $z$ ). Déduire l'indice de réfraction  $n$ , ainsi que la permittivité relative (ou constante diélectrique)  $\epsilon_r$  ( $\epsilon_r = n^2$ ) à partir de cette mesure.

### 2.3.2 Bifentes de Young

Il est également possible d'obtenir deux faisceaux cohérents par division du front d'onde. Le cas le plus simple est celui des bifentes de Young.

Le principe est présenté sur la figure 7. Une onde plane monochromatique rencontre deux fentes parallèles. Ces deux fentes se comportent alors comme des sources secondaires cohérentes et peuvent donner lieu à des interférences. La distribution de l'intensité repérée par dans direction  $\theta$  montre des maximums et des minimums suivant que les interférences sont constructives ou destructives.



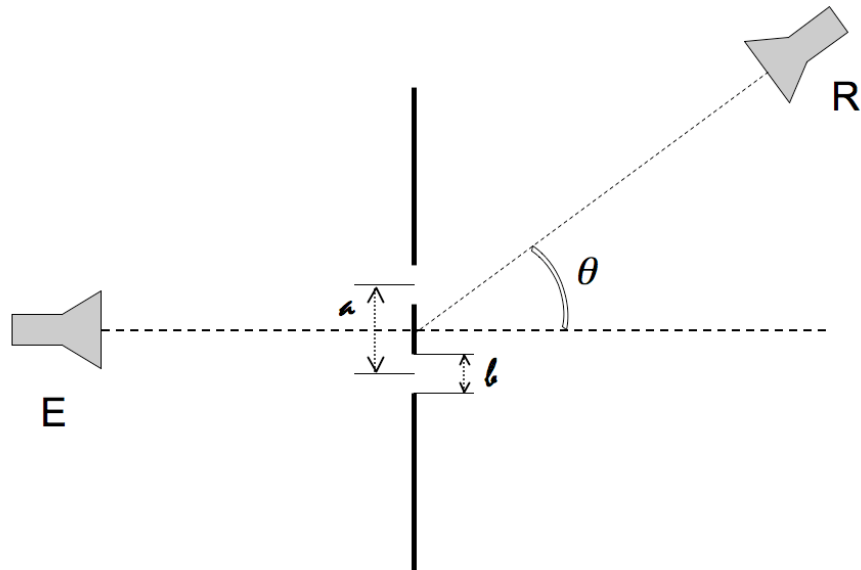


Fig. 6 Bifentes de Young

Pour simplifier le problème, on considère que la distance fente-détecteur est très grande devant la distance interfentes  $a$ . Cela revient à considérer les interférences à l'infini. La figure précédente est alors remplacée par la figure 7.

- La distance entre les deux fentes et notée  $a$ . Déterminer la différence de marche entre les deux faisceaux en fonction de  $a$  et  $\theta$ . Montrer que la longueur d'onde  $\lambda$  est liée à la position des  $k^{\text{ièmes}}$  maxima  $\theta_k$  par  $\lambda = \frac{a}{k} \sin \theta_k$ .

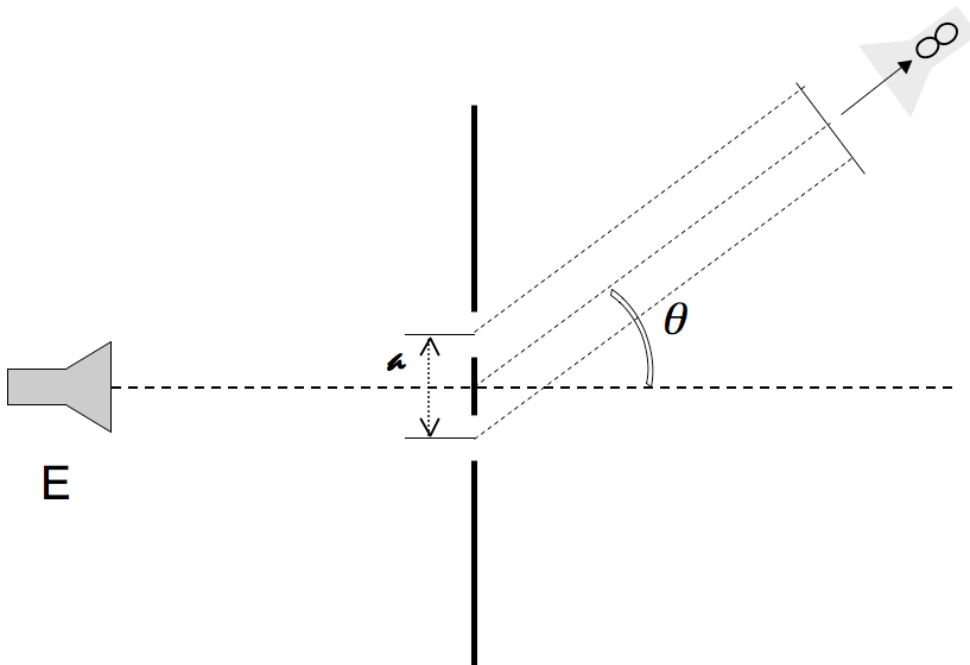


Fig. 7 Bifentes de Young

Les fentes d'Young sont constituées de la cornière, et de trois plaques métalliques (figure 8). La largeur des fentes est de 24 mm, l'entraxe des fentes est de 104 mm. La double fente doit être

montée perpendiculairement à l'axe du banc de l'émetteur. L'avant du cornet émetteur est à 50cm des fentes. Le récepteur doit être monté à 50 cm des bifentes. Vérifier le zéro en tension du détecteur. Soigner l'alignement et la fixation de l'émetteur, des fentes et du récepteur sur leur support.

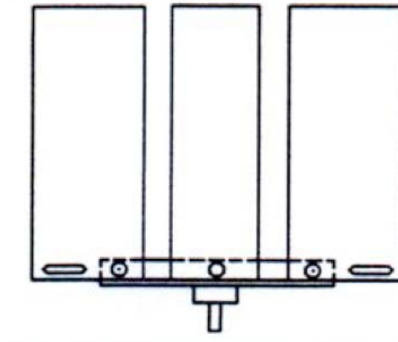


Fig. 8. : montage de la double fente

- Observez vous un maximum dans la direction  $\theta=0$ ? Pourquoi ?
- Faire tourner le cornet récepteur suivant  $\theta$ . Noter la position angulaire  $\theta_{\max}$  du premier maximum de chaque coté de la direction  $\theta=0$  ( $\theta_{\max}^+$  et  $\theta_{\max}^-$ ). Calculer la valeur moyenne de  $\theta$  et déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  ainsi que  $\Delta\lambda$ .
- La fréquence de l'onde donnée par la constructeur est de 10 Ghz. Calculer la longueur d'onde correspondante et comparer aux valeurs expérimentales.