

# **I TP 1 : Propagation d'une onde hyperfréquence en espace libre**

## I.1 Rappels et but du TP

Le but de ce TP est d'étudier certaines caractéristiques de la propagation d'un signal hyperfréquence dans l'atmosphère. On se référera éventuellement à la première partie du TP 2 en ce qui concerne les rappels théoriques de la propagation d'un signal hyperfréquence dans un guide d'onde rectangulaire.

On rappelle ici qu'un signal hyperfréquence (associé à un mode  $TE_{mn}$  ou  $TM_{mn}$ ) se propage dans un guide d'onde rectangulaire (de dimensions  $a$  et  $b$ ) si la pulsation de l'onde  $\omega$  est plus grande que la pulsation de coupure  $\omega_c$  :

$$\omega \geq \omega_c = c \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (1)$$

$m$  et  $n$  étant des entiers.

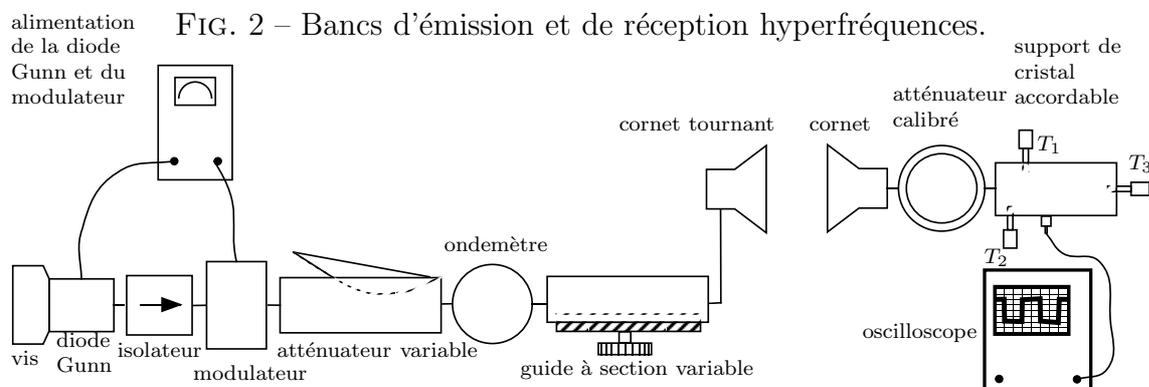
Pour notre TP :  $a = 2b = 22,86 \pm 0,04$  mm. Déterminer alors les expressions des fréquences de coupure et des longueurs d'onde associées (dans le vide) en fonction de  $a$  pour les modes suivants (on donne le couple  $(m, n)$ ) : 01, 10 et 11.

A quelles conditions sur la longueur d'onde (on donnera aussi les conditions sur la fréquence) a-t-on propagation uniquement du mode 10 ?

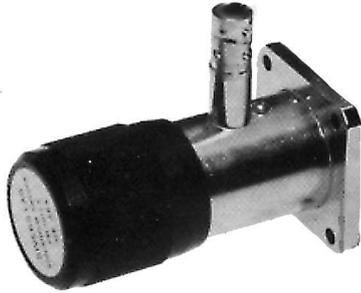
Sachant que la fréquence d'émission de la diode Gunn varie entre 8.5 et 11 GHz conclure sur les conditions précédentes (on fera bien attention à donner les incertitudes).

## I.2 Description du matériel

La figure 2 montre les bancs d'émission et de réception utilisés lors du TP.



## La diode Gunn



Lorsqu'on applique un champ électrique continu de plus de 3,2 kV/cm à un cristal semi-conducteur d'Arséniure de Gallium (GaAs) un effet de résistance négative apparaît. Les diodes Gunn sont des oscillateurs hyperfréquence qui utilisent cet effet. On trouve des diodes fonctionnant à des fréquences entre 5 à 100 GHz et à des puissances de quelques dizaines de mW en continu ou quelques kW en pulsé. Les diodes utilisées en TP peuvent osciller de 8,5 à 11 GHz avec une puissance 10 mW.

La diode Gunn est placée dans une cavité accordée par une vis qui permet de modifier la fréquence des oscillations.

## L'isolateur

L'isolateur empêche le retour d'une onde réfléchie.



## Le modulateur

Le modulateur à basse fréquence (1 kHz) hache le signal pour permettre la détection électronique.



## L'alimentation de la diode Gunn et du modulateur

L'alimentation regroupe la source basse tension de la diode Gunn (on utilise environ 8 V ou 6 V suivant le montage) et le générateur BF du signal à 1 kHz appliqué au modulateur.

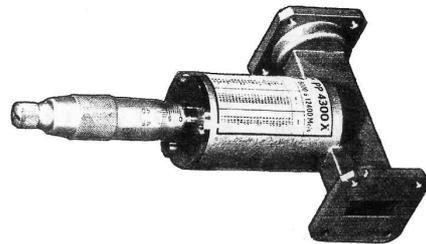


## L'atténuateur variable

L'atténuateur variable comporte une lame métallique à profil variable pouvant s'enfoncer plus ou moins à l'intérieur du guide ; en jouant sur l'alimentation du cristal et sur cette lame, on peut régler le niveau d'émission.

## L'ondemètre

L'ondemètre utilisé est une cavité résonante de forme cylindrique couplée à une section de guide d'onde rectangulaire par un iris. Il fonctionne sur le mode  $\mathbf{TE}_{111}$ . L'ondemètre est accordable au moyen d'un système mécanique et permet de mesurer la fréquence d'oscillation.



## Le guide à section variable

Le guide à section variable est une portion de guide dont on peut faire varier la largeur  $a'$ . Il permet d'étudier la fréquence de coupure.

## Les cornets

Le **cornet tournant** émet des ondes électromagnétiques dans l'air qui sont recueillies par le **cornet récepteur**.

## L'atténuateur calibré

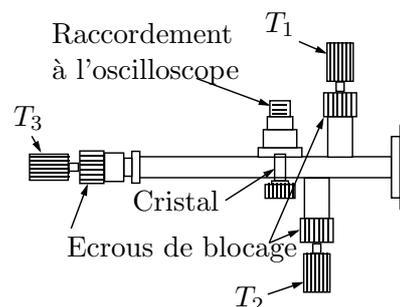
L'atténuateur calibré est utilisé pour effectuer des mesures par la technique du niveau constant.

## L'oscilloscope

L'oscilloscope mesure le signal délivré par le cristal détecteur.

## Le support de cristal accordable

Le support de cristal accordable est une cavité contenant le cristal détecteur. Cette cavité est munie de trois tiges  $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$  qui s'ajustent par enfoncement de façon à rendre maximum le signal détecté sur l'oscilloscope. La commande d'accord  $T_3$  (court-circuit variable) permet de placer un ventre sur le cristal. Les *stubs* (réglages d'adaptation)  $T_1$  et  $T_2$  effectuent l'adaptation d'impédance. Le réglage des tiges est à faire à chaque changement de la fréquence d'émission.



## I.3 Manipulations à effectuer

### Avertissements

- On rappelle que tous les résultats numériques doivent être accompagnés de leurs incertitudes. La demande "Donner l'incertitude" est donc toujours sous-entendue.

- Avant de mettre sous tension l'alimentation de la diode Gunn, placer le potentiomètre de réglage à 0. Cela permet de porter progressivement la tension de la diode de 0 à 8 V (ou 6 V) en évitant des surtensions néfastes pour la diode.
- On veillera à régler la puissance émise (agir sur l'atténuateur réglable) de façon à **ne pas dépasser 40 mV sur l'oscilloscope pendant toutes les manipulations** (pour éviter la saturation et la détérioration du cristal détecteur).

### Mesure de la longueur d'onde $\lambda_0$

La diode Gunn émet une onde de fréquence  $\nu$  qui reste fixe tant qu'on ne touche pas à la vis de sa cavité et qu'on ne modifie pas la tension d'alimentation. Observer le signal sur l'oscilloscope, tourner lentement la vis micrométrique de l'ondemètre pour rechercher l'accord, c'est-à-dire une baisse importante du signal. Noter la position. Utiliser la courbe d'étalonnage qui porte le numéro de l'ondemètre pour déterminer la fréquence émise. Calculer alors la longueur d'onde dans l'air  $\lambda_0$ . Après la mesure, songer à désaccorder la cavité de l'ondemètre qui sinon perturbe l'onde émergente.

### Etude de la propagation dans un guide à section variable

L'onde (mode  $\mathbf{TE}_{10}$ ) ne se propage dans le guide que si  $\lambda_0 < 2a$  (voir section I.1). Cette condition va être vérifiée en cherchant, à  $\lambda_0$  donné, la section du guide qui conduit à la disparition du signal. On va agir sur le guide à section variable en modifiant l'enfoncement de la paroi mobile qui devait être nul au départ.

Enfoncer alors la paroi mobile jusqu'à la disparition totale du signal sur l'oscilloscope (cette disparition se fait en oscillation). Lire la valeur de l'enfoncement. Calculer la nouvelle section  $a'$  et la comparer à la valeur de  $\lambda_0$ .

Refaire l'expérience pour 3 fréquences différentes. Conclure.

### Etude des cornets : loi de variation en $r$

**Détermination de la puissance** Lorsque  $r$  varie sur un intervalle qui va du centimètre au mètre,  $P$  varie de façon assez importante et peu de détecteurs peuvent donner une réponse correcte. Pour éliminer les erreurs de distorsion ou de saturation, on utilise la technique dite à niveau constant, en utilisant l'atténuateur calibré.

Il est constitué d'une lame diélectrique (absorbante dans le domaine des hyperfréquences) que l'on introduit plus ou moins dans le guide d'onde. L'enfoncement de la lame est commandé par une vis micrométrique graduée. Un abaque (ou une table) permet de convertir la lecture de l'enfoncement en atténuation, exprimée en dB. Grâce à cet atténuateur, on peut travailler à signal constant (inférieur à 25 mV) sur l'oscilloscope et être sûr de rester dans la plage de linéarité du détecteur. Une variation de puissance est alors déduite de la variation de l'atténuation qu'il faut effectuer pour retrouver le signal précédent sur l'oscilloscope.

Méthode pratique d'utilisation de l'atténuateur à puissance constante :

Notons  $P$  et  $P_0$  les puissances à l'entrée et à la sortie de l'atténuateur. Ce dernier donne une atténuation en décibel (dB) :

$$Att |_{dB} = 10 \log(P/P_0) \quad (2)$$

Ne pouvant pas connaître la valeur de  $P_0$ , on cherchera à se référencer par rapport à cette puissance (qui correspond à une tension  $V_0$  du détecteur, par exemple de 20 mV). Cette relation permet d'exprimer la puissance en entrée en fonction de  $P_0$  et de la valeur de l'atténuation  $Att$ . Si la valeur de la puissance change en entrée (suite à une translation du banc récepteur), les valeurs des puissances précédentes changent aussi (et deviennent  $P'$  et  $P'_0$ ), ainsi que la tension lue aux bornes du détecteur ( $V'_0$ ). Mais la valeur de l'atténuation est la même. On a la relation suivante :  $Att = 10 \log(P'/P'_0)$ . La technique consiste à modifier l'atténuation pour retrouver la valeur précédente de la puissance en sortie (ie retrouver la tension  $V_0$  précédente correspondant à  $P_0$ ) :  $Att' = 10 \log(P'/P_0)$ . Cette relation nous permet d'en déduire  $P'$  en fonction de  $P_0$  et de  $Att'$ . Comme on a la même puissance de sortie, on peut donc comparer les deux puissances  $P$  et  $P'$ .

**Mode opératoire** Nous allons chercher à tracer les deux courbes :  $P$  en fonction de  $r$  en coordonnées semi-logarithmiques et  $1/\sqrt{P}$  en fonction de  $r$  (en coordonnées "normales"). Vous devez choisir correctement les points.

### Tracé en coordonnées semi-logarithmiques

1. Tracer la courbe sur une feuille de papier semi-logarithmique en portant  $r$  sur l'échelle des log.
2. Mesurer la pente de la partie linéaire. Conclure sur la dépendance de la puissance en fonction de  $r$ .

### Tracé en coordonnées linéaires

1. Tracer la courbe  $1/\sqrt{P}$  en fonction de  $r$ , sur une feuille de papier millimétré linéaire.
2. Que constatez-vous pour des distances  $r$  faibles? Comment peut-on l'expliquer?

### Etude des cornets : diagramme de rayonnement

La source ne rayonne pas de façon isotrope, la présence du cornet a pour effet de concentrer l'énergie principalement vers l'avant. L'étude de la puissance émise dans une direction donnée permet d'étudier comment l'énergie se répartit.

**Mode opératoire** Le montage reste le même et l'on travaille toujours à niveau constant.

1. Placer les cornets à environ 35–40 cm de distance; expliquer pourquoi cette valeur.
2. Régler l'atténuateur calibré sur 25 dB.
3. Faire tourner le cornet émetteur de  $5^\circ$  en  $5^\circ$  de part et d'autre de la position centrale et à chaque fois régler le niveau et lire alors la valeur de  $att_{dB}$ .

### **Interprétation des résultats**

1. Porter les résultats sur un diagramme en coordonnées polaires. La courbe obtenue s'appelle une indicatrice de rayonnement.
2. La largeur du lobe est définie par l'angle  $\alpha$  formé entre les deux directions pour lesquelles la puissance est réduite de moitié (donc, sur le graphique, diminuée de 3 dB). Quelle est la largeur mesurée du lobe ?