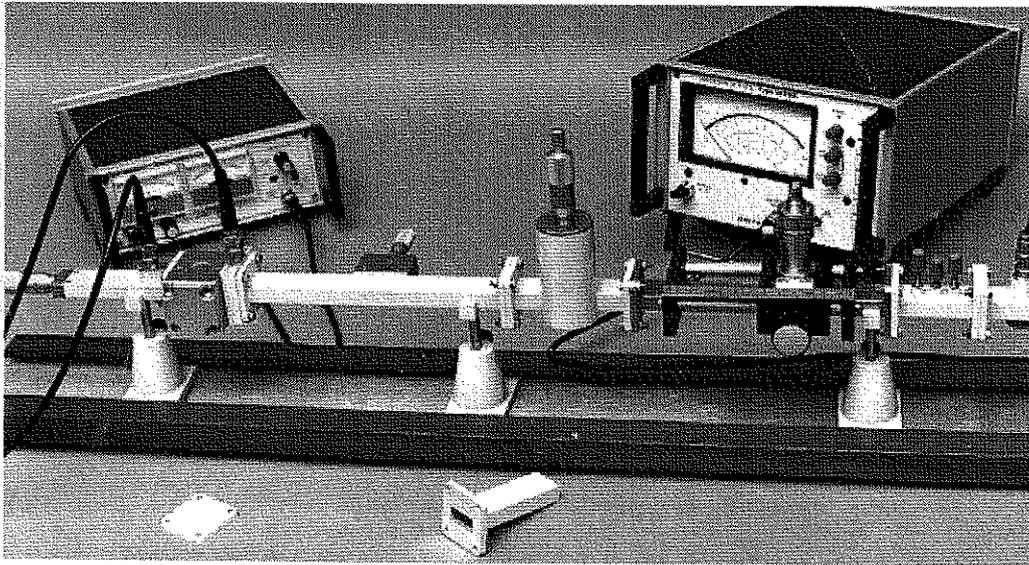


Banc Didactique Hyperfréquence

# BE 90-1 G

Notice technique

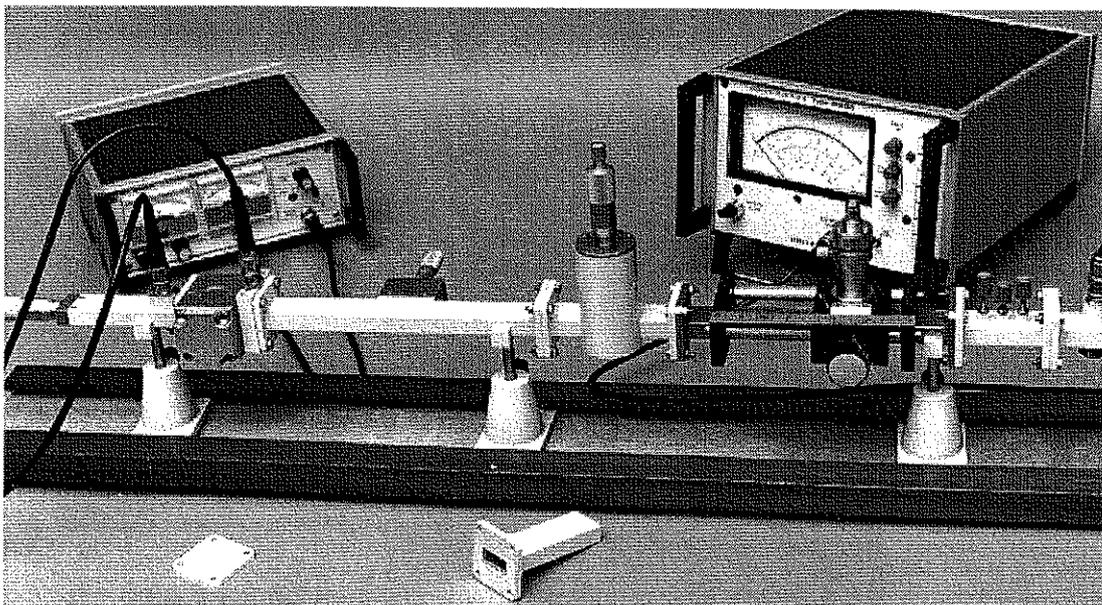


**ORITEL**

45, rue du Moulin des Bruyères - B.P. 303  
92402 COURBEVOIE CEDEX FRANCE  
Tél. (33) 01 47 88 97 80  
Fax (33) 01 47 89 93 27

# BANC HYPERFREQUENCE BE 90

## 8,5 à 9,6 GHz



### VERSION DE BASE : BE 90-1

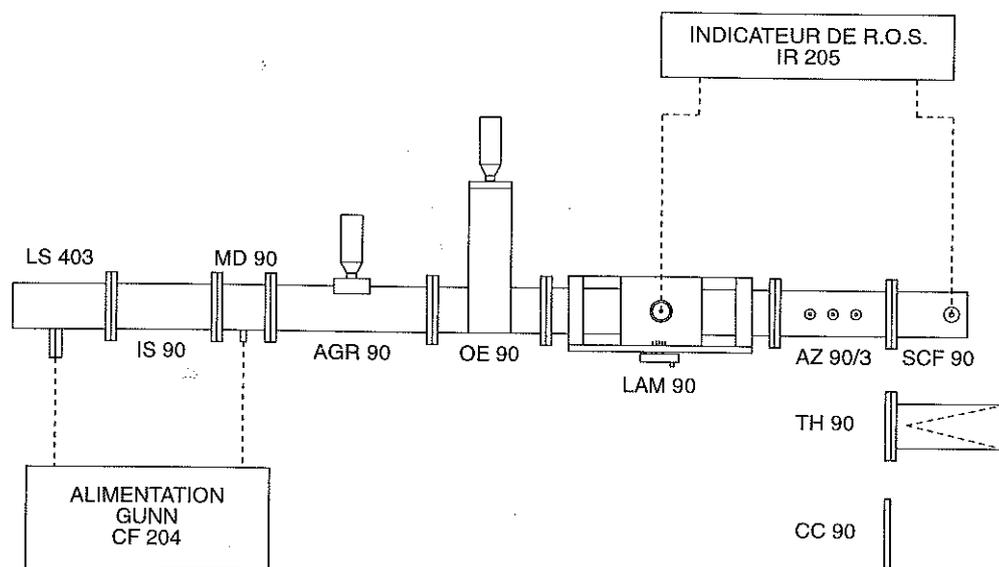
#### MANIPULATIONS PROPOSEES

##### ■ VERSION BE 90-1G

- Etude de l'oscillateur à effet GUNN
- Mesure du rapport d'onde stationnaire
- Etude de la longueur d'onde
- Mesure de l'impédance
- Mesure de la fréquence
- Relevé de la loi quadratique d'un détecteur

# BANC HYPERFREQUENCE BE 90

## 8,5 à 9,6 GHz



### COMPOSITION DU BANC

#### ■ VERSION BE 90-1G

1 Ensemble source GUNN comprenant :

- 1 CF 204 : Alimentation
- 1 LS 403 : Source a diode GUNN
- 1 MD 90 : Modulateur à diode PIN
- 1 IS 90 : Isolateur à ferrite
- 1 AGR 90 : Atténuateur variable à micromètre
- 1 OE 90 : Ondemètre à courbe
- 1 LAM 90 : Ligne de mesure
- 1 IR 205 : Indicateur de R.O.S.
- 1 AZ 90/3 : Adaptateur de R.O.S. à 3 plongeurs
- 1 SCF 90 : Support de cristal
- 1 TH 90 : Charge adaptée
- 1 CC 90 : Court-circuit
- 3 SG 90 : Support de guide
- 1 Lot de visserie
- 1 Documentation pédagogique

# SOMMAIRE

## I. INTRODUCTION

## II. MISE EN SERVICE

II.1	MONTAGE .....	1
II.2	BRANCHEMENT DE L'OSCILLATEUR GUNN .....	1
II.3	MISE SOUS TENSION .....	1

## III. MANIPULATIONS

III.1	ETUDE L'OSCILLATEUR A EFFET GUNN .....	1
III.1.1	Introduction .....	1
III.1.2	Rappels théoriques .....	1
III.1.3	Relevé de la caractéristique courant-tension .....	2
III.1.4	Relevé de la caractéristique déplacement-fréquence de l'oscillateur a effet GUNN .....	3
III.1.5	Relevé de la caractéristique puissance-fréquence de l'oscillateur a effet GUNN (option) .....	4
III.2	MESURE DU RAPPORT D'ONDE STATIONNAIRE .....	5
III.2.1	Introduction .....	5
III.2.2	Rappels théoriques .....	5
III.2.3	Mesure du R.O.S. a la ligne de mesure : Méthode directe .....	9
III.2.4	Mesure de rapports d'ondes stationnaires élevés .....	10
III.3	ETUDE DE LONGUEUR D'ONDE .....	13
III.3.1	Introduction .....	13
III.3.2	Rappel théoriques .....	13
III.3.3	Mesures .....	15
III.4	MESURE DE L'IMPEDANCE .....	16
III.4.1	Introduction .....	16
III.4.2	Rappel théoriques .....	16
III.4.3	Mesure d'une impédance placée a l'extrémité d'une ligne sans perte, d'impédance caractéristique $Z_0$ .....	20
III.5	MESURE DE LA FREQUENCE .....	25
III.5.1	Introduction .....	25
III.5.2	Rappels théoriques .....	25
III.5.3	Mesure de la fréquence .....	25
III.6	RELEVÉ DE LA LOI QUADRATIQUE D'UN DETECTEUR .....	26
III.6.1	Introduction .....	26
III.6.2	Rappels théoriques .....	26
III.6.3	Relevé de la caractéristique .....	27
III.6.4	Mesure de la sensibilité tangentielle du cristal détecteur .....	28

## INTRODUCTION

Une demande grandissante de l'industrie, en formation aux techniques micro-ondes a amené la Société ORITEL à développer des équipements de mesure spécialement conçus dans un but pédagogique .

Spécialisée depuis plusieurs années dans les composants et systèmes hyperfréquences, la Société ORITEL a eu le souci de simplifier les différents éléments entrant dans ces bancs de mesures. Cet ensemble de techniques est ainsi mis à la portée d'un grand nombre d'intéressés, tant par son prix modique, que par sa robustesse, tout en conservant de très bonnes performances électriques. Très complet, le banc ORITEL permet les mesures les plus diverses et les plus précises.

La bande de fréquence : 8,5 GHz à 9,6 GHz ( $\lambda = 3$  cm) a été choisie en raison d'une part des développements importants dans cette gamme de fréquences et, d'autre part, des dimensions des éléments.

D'autres éléments existant au catalogue de la Société ORITEL peuvent être fournis sur demande. Loin d'être un cours de mesure en hyperfréquence, cette notice a pour seule condition d'illustrer par quelques exemples les possibilités de l'équipement BE 90-1G.

## II. MISE EN SERVICE

### II.1 MONTAGE

Comme il sera vu au cours des manipulations décrites dans le présent fascicule, l'ordre de montage des différents éléments est variable suivant les mesures envisagées.

En règle générale, et quelle que soit la mesure, il est recommandé de placer l'Isolateur IS 90 aussitôt après l'Oscillateur GUNN, LS 403.

Ainsi, les stabilités en fréquence et en puissance de l'oscillateur ne seront pas ou peu affectées par une impédance quelconque placée après l'isolateur.

### II.2 BRANCHEMENT DE L'OSCILLATEUR GUNN

Avant de relier l'oscillateur à effet GUNN, "LS 403", à son alimentation :

- 1) Vérifier que l'alimentation, CF 204, n'est pas sous tension (voyant réseau éteint).
- 2) Tourner le bouton de commande de la tension "OSC. GUNN" de l'alimentation, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, et l'amener en butée (tension de sortie minimale 0V).
- 3) A l'aide d'un cordon coaxial BNC-BNC, relier l'entrée alimentation de l'Oscillateur GUNN "LS 403", à la sortie "OSC. GUNN" de l'alimentation CF 204.

### II.3 MISE SOUS TENSION

Pour alimenter l'Oscillateur GUNN, "LS 403" :

- 1) Appuyer sur le bouton poussoir "RESEAU" de l'Alimentation, le témoin lumineux doit s'allumer.
- 2) A l'aide du bouton de commande de "Tension", régler la tension d'alimentation de l'Oscillateur GUNN à 10V. Cette valeur est directement et continuellement indiquée sur le cadran du voltmètre de l'Alimentation; de même, le courant consommé est indiqué sur le cadran de l'ampèremètre de l'Alimentation.

## III. MANIPULATIONS

### III.1 ETUDE L'OSCILLATEUR A EFFET GUNN

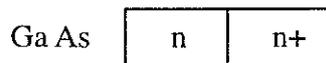
#### III.1.1 INTRODUCTION

Cet ensemble de manipulations a pour but de relever les courbes caractéristiques qui relient les principaux paramètres de fonctionnement de la diode elle-même et de l'oscillateur à effet GUNN:

- Relevé de la caractéristique Courant-Tension de la diode à effet GUNN
- Relevé de la caractéristique Déplacement-Fréquence de l'Oscillateur à effet GUNN
- Relevé de la caractéristique Puissance-Fréquence de l'Oscillateur à effet GUNN (Option)

#### III.1.2 RAPPELS THÉORIQUES

Les dispositifs à effet GUNN se comportent comme un oscillateur à transfert d'électrons au sein d'un bloc d'Arséniure de Gallium (As Ga), schématisé ci-dessous.



Il peut être considéré comme une diode, mais il ne comporte pas de jonction p-n, et n'a pas, de ce fait, de caractéristique de redressement.

Son fonctionnement est basé sur la présence d'une charge d'espace (dit domaine électrique), qui traverse le semi-conducteur de la cathode vers l'anode pendant chaque cycle du courant d'oscillation. L'effet est donc associé à un temps de transit.

Montée dans une cavité résonante, la diode à effet GUNN est utilisée comme élément actif pour produire des hyperfréquences. Elle peut donc être considérée comme un dispositif convertissant une faible tension continue en une énergie hyperfréquence.

C'est le volume de la cavité qui détermine alors la fréquence d'oscillation.

### III.1.3 RELEVÉ DE LA CARACTERISTIQUE COURANT-TENSION

La courbe de réponse "Courant-Tension" de la diode GUNN a une partie à dynamique négative (Figure 3-1)

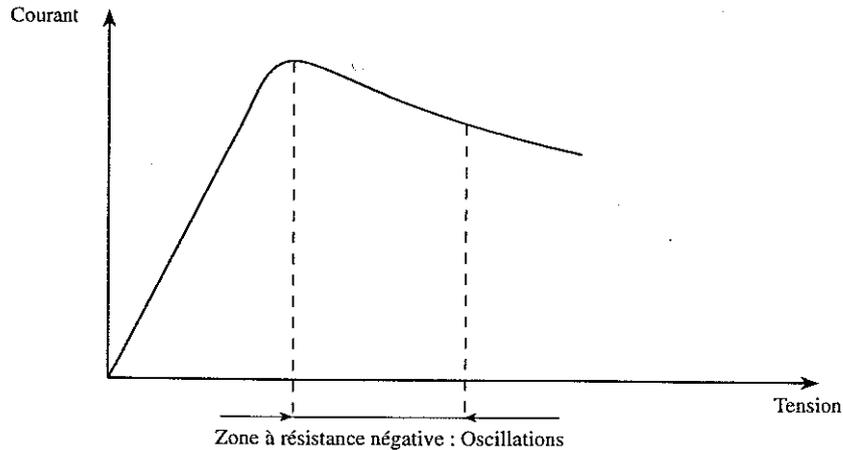


FIGURE 3-1

Le montage réalisé figure 3-2 permet d'en faire le relevé et de mettre en évidence son allure caractéristique.

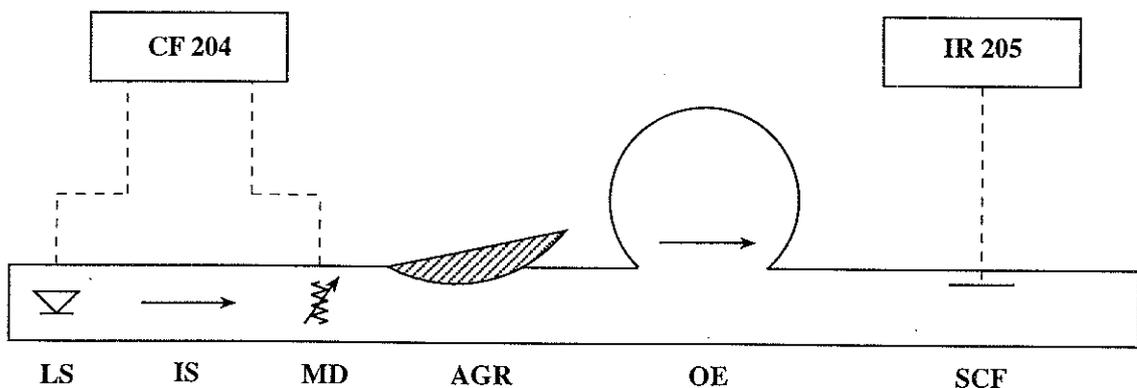


FIGURE 3-2

Le montage étant réalisé, procéder de la manière suivante :

- Tourner le bouton de commande de la tension "OSC GUNN" de l'alimentation CF 204, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, et l'amener en butée (Tension d'alimentation  $\approx 0V$ ).
- Augmenter progressivement la tension par pas de 0,5 V, sans jamais dépasser 11 V, et relever le courant correspondant (lecture directe sur les galvanomètres de l'alimentation CF 204).
- Tracer la caractéristique "Courant-Tension" de la diode à effet GUNN et la comparer à celle de la figure 3-1.

### III.1.4 RELEVÉ DE LA CARACTÉRISTIQUE DÉPLACEMENT-FRÉQUENCE DE L'OSCILLATEUR A EFFET GUNN

On effectue les mesures de la fréquence de l'onde générée par l'Oscillateur GUNN pour en relever la caractéristique "Déplacement-Fréquence"; en effet, la fréquence de résonance est une fonction du volume de la cavité déterminée par la position du court-circuit mobile.

Le réglage de la fréquence se fait de la manière suivante :

- Consulter la courbe d'étalonnage de l'Ondemètre OE 90 et positionner son micromètre à la valeur correspondant à la fréquence désirée.
- Tourner le micromètre de commande de l'Oscillateur GUNN jusqu'à obtenir l'accord de fréquence, et ainsi, le relevé "Déplacement-Fréquence".
- Porter les points de correspondance "Déplacement-Fréquence" sur un graphique, et tracer la courbe.

#### REMARQUE :

- La rotation du micromètre doit se faire dans le sens des aiguilles d'une montre si la fréquence d'oscillation est trop faible, et dans l'autre sens dans le cas inverse.
- A l'approche de la résonance, il est conseillé de tourner lentement le micromètre.

### III.1.5 RELEVÉ DE LA CARACTERISTIQUE PUISSANCE -FREQUENCE DE L'OSCILLATEUR A EFFET GUNN (OPTION)

De la même façon, on effectue le relevé de la puissance en fonction de la fréquence d'oscillation afin d'en tracer le graphe.

On réalise le montage de la figure 3-3.

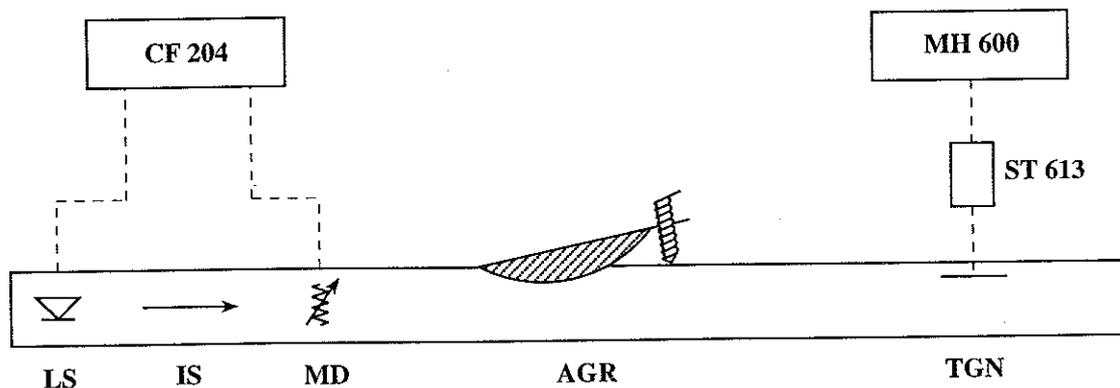


FIGURE 3-3

- Positionner l'Atténuateur AGR 90 sur 10dB.
- Sur l'Alimentation CF 204, enlever la modulation en signaux carrés, et supprimer l'atténuation à l'aide du bouton de commande de Niveau.
- Mettre l'Alimentation CF 204 sous tension.
- Lire la puissance indiquée par le MH 600.
- Multiplier cette valeur par 10 pour obtenir la puissance réellement fournie par l'Oscillateur GUNN, afin de tenir compte de l'atténuation de 10dB introduite par l'Atténuateur AGR 90.
- A l'aide de l'Ondemètre OE 90, mesurer la fréquence fournie par l'Oscillateur GUNN.
- Reporter sur un graphe la puissance mesurée en fonction de la fréquence.
- Relever plusieurs points dans la bande de fréquence : 8,5 GHz - 9,6 GHz.

## III.2 MESURE DU RAPPORT D'ONDE STATIONNAIRE

### III.2.1 INTRODUCTION

Le rapport d'onde stationnaire, R.O.S. (ou SWR en anglais), est un paramètre couramment utilisé pour caractériser une impédance de charge sur une ligne, au même titre que le coefficient de réflexion en tension auquel il est lié.

On obtient aisément le R.O.S. au moyen de la ligne de mesure.

### III.2.2 RAPPELS THEORIQUES

#### ■ Définition

La tension  $E$  en n'importe quel point d'une ligne de transmission peut être considérée comme la somme

$$E_i + E_r$$

des tensions des ondes incidente et réfléchie, en ce point. Il en résulte une distribution de tension sur la ligne, que l'on appelle onde stationnaire.

En effet, en certains points de la ligne, les tensions des deux ondes sont en phase et elles s'ajoutent, produisant ainsi, des maxima de tension; en d'autres points, elles sont en opposition de phase et elles se retranchent, produisant alors des minima.

La différence entre les maxima et les minima est d'autant plus grande que l'impédance de charge  $Z$  s'éloigne de la valeur de l'impédance caractéristique de la ligne  $Z_0$ .

Dans le cas particulier où  $Z = Z_0$ , il n'y a pas d'onde stationnaire, l'amplitude de la tension est constante le long de la ligne.

La distance entre deux minima ou deux maxima consécutifs est égale à la moitié de la longueur d'onde  $\lambda_g$  dans la ligne, soit  $\lambda_g/2$ .

Durant le trajet  $\lambda_g/2$ , une onde unique subit un déphasage égal à  $\pi$  radians.

Le rapport entre un maximum et un minimum de tension, est appelé "Rapport d'onde stationnaire" (R.O.S.).

Soit  $S$  ce paramètre.

$$S = \frac{E_{\max.}}{E_{\min.}} = \frac{|E_i| + |E_r|}{|E_i| - |E_r|} = \frac{1 + |E_r/E_i|}{1 - |E_r/E_i|}$$

Le rapport complexe de l'onde réfléchie à l'onde incidente est appelé coefficient de réflexion, il est représenté par le symbole " $\Gamma$ ".

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i}$$

La relation entre la valeur du coefficient de réflexion et du rapport d'onde stationnaire S est :

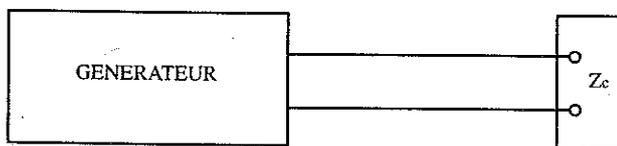
$$\Gamma = \frac{S - 1}{S + 1}$$

$$S = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

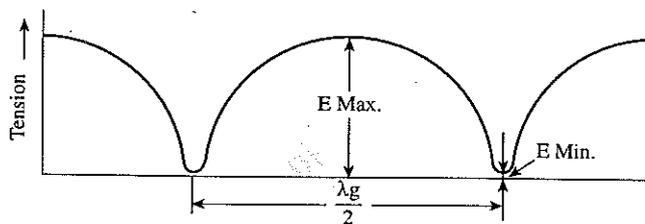
Si la ligne n'a pas d'atténuation, le rapport d'onde stationnaire est partout le même et sa valeur est déterminée par le coefficient de réflexion de l'impédance de charge.

Cependant, si la ligne a des pertes, le rapport d'onde stationnaire ~~diminue~~ <sup>augmente</sup> au fur et à mesure que l'on se déplace vers la charge. (cf. H. Gagnon!)

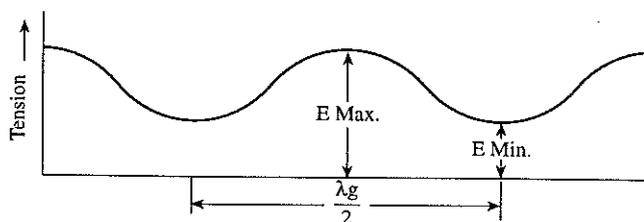
■ Distribution d'ondes stationnaires suivant les charges



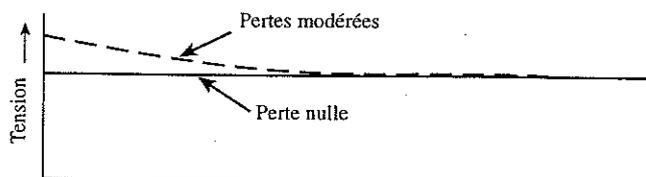
a) Ligne avec générateur et charge



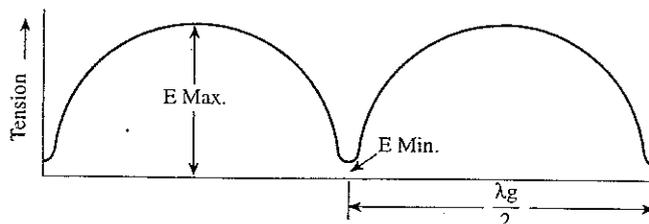
b) Charge en circuit ouvert :  $Z_c = \infty$



c) Impédance de charge modérément élevée :  $\infty < Z_c < Z_0$



d) Impédance de charge égale à l'impédance caractéristique :  $Z_c = Z_0$



e) Impédance de charge en court-circuit :  $Z_c = 0$

### ■ Pourcentage de puissance réfléchi en fonction du R.O.S.

L'onde stationnaire est créée par le fait qu'une onde incidente est réfléchi par l'impédance de charge.

Cette puissance réfléchi n'étant pas absorbée par la charge peut être considérée comme perdue pour la transmission.

Il est donc intéressant de chiffrer cette puissance perdue en fonction du rapport d'onde stationnaire.

Cette perte peut être représentée par le coefficient de réflexion " $\rho$ " qui correspond à un pourcentage de puissance réfléchi:

$$\rho = 100 \left| \frac{E_r}{E_i} \right|^2$$

puisque la puissance associée aux ondes incidente et réfléchi varie comme le carré de l'intensité du champ.

Il vient :

$$\rho = 100 \left| \frac{S - 1}{S + 1} \right|^2$$

### ■ Utilisation d'une ligne à fente pour la mesure du R.O.S.

On sait que le rapport d'onde stationnaire d'une ligne de transmission dépend de la charge vue de la ligne et de son impédance caractéristique. L'onde stationnaire qui en résulte est détectée au moyen d'une section de guide ayant une fente longitudinale sur le grand côté.

La sonde de mesure est rendue mobile par un chariot.

Le rôle de la sonde est de prélever la tension le long de la ligne. Elle se compose d'un élément de ligne coaxiale dont une extrémité fait office d'antenne. Celle-ci pénètre dans le guide à travers la fente, parallèlement au champ électrique; l'énergie HF ainsi captée est transmise à la partie coaxiale de la sonde à l'intérieur de laquelle se trouve la diode détectrice.

L'enfoncement de l'antenne dans le guide est réglé au minimum, afin de ne pas perturber l'onde stationnaire à mesurer.

La largeur de fente est étroite, et la paroi du guide épaisse pour atténuer le rayonnement. La distribution de l'onde stationnaire est obtenue en déplaçant la sonde le long de la fente et en observant la variation résultante du courant détecté. L'enfoncement de la sonde dans le guide d'onde reste constant lorsque le chariot se déplace le long de la ligne. Une échelle graduée sur la ligne permet de déterminer avec précision la position de la sonde par rapport à l'extrémité de la ligne où l'impédance inconnue est connectée.

### III.2.3 MESURE DU R.O.S. A LA LIGNE DE MESURE : Méthode directe

Effectuer le montage de la figure 2.3

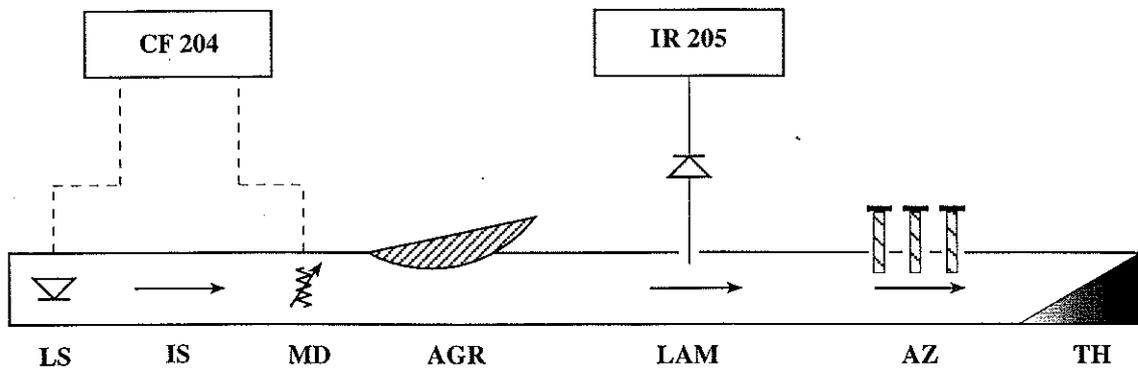


Figure 2.3

Un adaptateur de R.O.S., de type AZ 90/3 est inséré entre la charge adaptée et la ligne de mesure; il permet, par "désadaptation", d'obtenir différents R.O.S.

- Régler l'enfoncement du réflecteur de l'adaptateur de R.O.S.
- Régler l'Atténuateur Variable AGR 90, pour obtenir une déviation correcte sur le galvanomètre de l'IR 205.
- Déplacer la sonde de la ligne LAM, et noter les indications  $I_d$  Max. et  $I_d$  min.

La détection peut être considérée comme quadratique si le niveau détecté est très faible.

On peut alors écrire :

$$\text{R.O.S.} = S = \frac{I_d \text{ Max.}}{I_d \text{ min.}} = \frac{V \text{ Max.}}{V \text{ min.}}$$

Plusieurs manipulations peuvent être effectuées pour des enfoncements différents du réflecteur de l'adaptateur de R.O.S.

### III.2.4 MESURE DE RAPPORTS D'ONDES STATIONNAIRES ELEVES

#### ■ Méthode de l'atténuateur calibré

Lorsque le rapport d'onde stationnaire à mesurer dépasse 3, la mesure classique à la ligne qui consiste à mesurer le rapport ( $V_{Max}/V_{min}$ ) est entachée d'erreur. La loi du détecteur ne peut pas être considérée comme uniforme sur une grande dynamique.

La méthode décrite ci-après, consiste à mesurer ce rapport à l'aide d'un atténuateur calibré. Effectuer le montage de la figure 2.4.

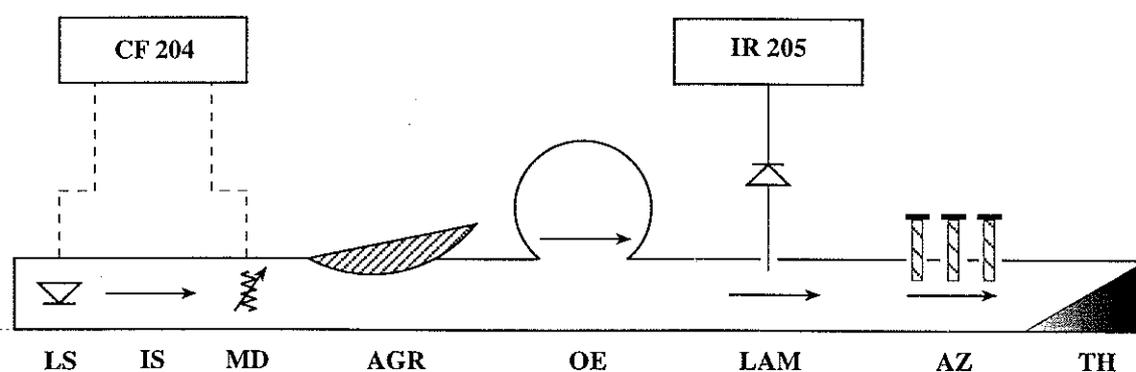


Figure 2.4

- Enfoncer les vis de l'adaptateur de R.O.S.
- Placer la sonde sur un minimum et régler le niveau HF à l'aide de l'Atténuateur AGR 90 pour obtenir une déviation  $D_1$  bien lisible. Noter la valeur  $A_1$  de l'Atténuateur AGR.
- Placer la sonde sur un maximum. Régler l'atténuation pour amener l'indicateur à la même valeur  $D_1$  que précédemment. Noter la nouvelle valeur  $A_2$  de l'Atténuateur AGR.

La différence d'atténuation entre ces deux positions minimum et maximum, donne la valeur du rapport d'onde stationnaire exprimé en dB. Le rapport des tensions correspondant donne la valeur du rapport d'onde stationnaire.

$$A_2 - A_1 = 20 \log_{10} (V_{Max}/V_{min}) = 20 \log_{10} S$$

ou :

$$S = 10^{\frac{A_2 - A_1}{20}}$$

■ **Méthode de la ligne de mesure**

Une autre méthode peut être utilisée pour la mesure des valeurs élevées de rapports d'onde stationnaire.

Il s'agit d'éliminer l'erreur due au couplage de la sonde à laquelle s'ajoute une erreur due aux variations de la loi de lecture, le détecteur utilisé étant en général un cristal. La méthode se ramène à une mesure de distance entre deux points ayant une amplitude double de l'amplitude du minimum.

Effectuer le montage de la figure 2.5.

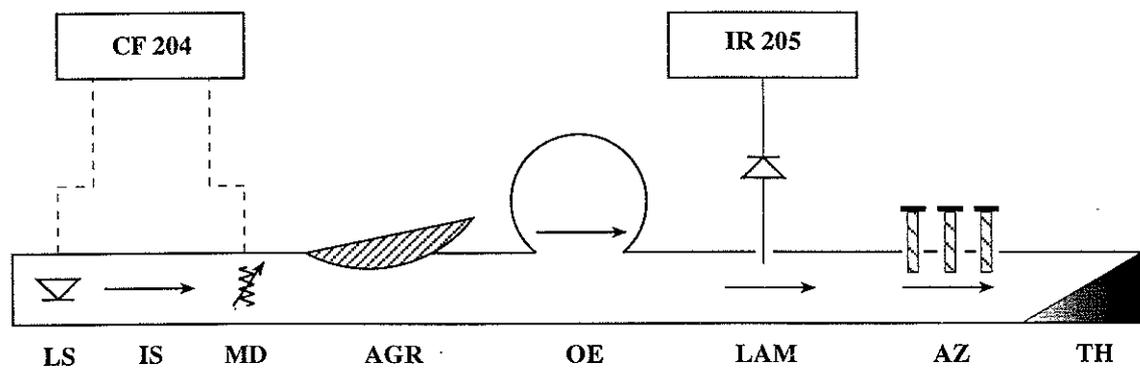


Figure 2.5

- Placer la sonde sur un minimum et régler le niveau HF à l'aide de l'Atténuateur AGR 90 pour obtenir une déviation lisible.
- Atténuer de 3dB la puissance transmise dans la ligne, en réglant l'Atténuateur AGR 90.
- Déplacer la sonde de part et d'autre du minimum et noter les distances  $d_1$  et  $d_2$  correspondant aux points A et B ayant même amplitude que celle du minimum précédent (figure 2.6)

Pour obtenir la valeur du rapport d'onde stationnaire, il suffit d'introduire la distance:

$$d = d_1 - d_2$$

dans l'équation :

$$S = \sqrt{1 + \frac{1}{\sin^2 \frac{(\pi d)}{\lambda g}}}$$

$\lambda g$  étant la longueur d'onde dans le guide, mesurée à l'aide de la ligne.

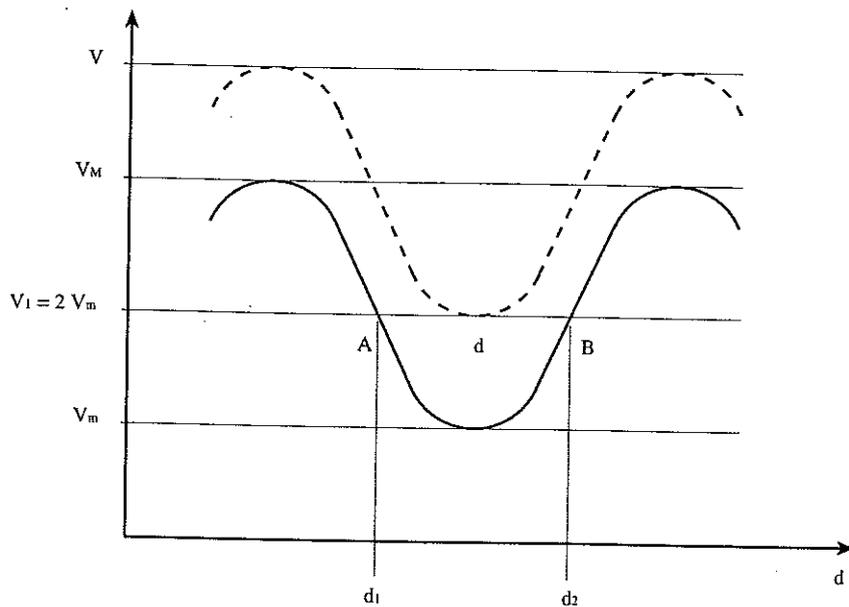


Figure 2.6

### III.3 ETUDE DE LONGUEUR D'ONDE

#### III.3.1 INTRODUCTION

Les méthodes de mesure de fréquence faisant appel à des appareillages complexes, il est souvent utile de pouvoir mesurer la longueur d'onde d'une manière simple.

#### III.3.2 RAPPEL THEORIQUES

La fréquence et la longueur d'onde d'une onde électromagnétique sont liées à la vitesse de propagation de cette onde dans le milieu par la relation :

$$f \lambda = v \quad (1)$$

avec :

$f$  : fréquence

$\lambda$  : longueur d'onde

$v$  : vitesse de propagation de l'onde électromagnétique

La vitesse de propagation est variable avec le milieu et dépend de sa permittivité  $\epsilon$  et de sa perméabilité  $\mu$ .

En air libre, la vitesse de propagation est donnée par :

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (2)$$

avec  $\mu_0$  et  $\epsilon_0$  perméabilité et permittivité de l'air libre.

$$\mu_0 = 4 \pi 10^{-7} \text{ H/m} \quad (\text{Henry par mètre})$$

$$\epsilon_0 = (1/36 \pi) 10^{-9} \text{ F/m} \quad (\text{Farad par mètre})$$

Il est bon de retenir que  $\mu_0$  est de l'ordre du microhenry par mètre et  $\epsilon_0$  de 10 picofarads par mètre.

Pour un milieu quelconque :

$$v = \frac{v_0}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad (3)$$

avec :

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad \text{perméabilité relative du milieu}$$

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad \text{constante diélectrique (permittivité) relative du milieu}$$

Pour la plupart des cas :

$$\frac{\mu}{\mu_0} = 1$$

et :

$$v = \frac{v_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

par suite :

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (5)$$

avec :

$\lambda_0$  : longueur d'onde dans l'air libre

$\lambda$  : longueur d'onde dans un milieu de constante diélectrique  $\epsilon_r$

Dans l'air, la vitesse de propagation est très proche de celle du vide, soit  $3 \cdot 10^8$  m/s.

Rappelons que dans les conditions de propagation guidée, les longueurs d'onde  $\lambda_0$  (en propagation libre),  $\lambda_g$  (en propagation guidée) et  $\lambda_c$  (en propagation de coupure) sont liées par :

$$\frac{1}{\lambda_0^2} = \frac{1}{\lambda_g^2} + \frac{1}{\lambda_c^2}$$

avec  $\lambda_c = 2a$  pour le mode fondamental  $TE_{10}$        $a = 22,86$  mm

Pour une fréquence déterminée, la longueur d'onde apparente dans le guide  $\lambda_c$  est donc supérieure à la longueur d'onde dans l'air libre  $\lambda_0$  (ou dans une ligne de transmission coaxiale).

On a encore:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left[ \frac{\lambda_0}{2a} \right]^2}}$$

et :

$$V_p = \frac{v_0}{\sqrt{1 - \left[ \frac{v_0}{2af} \right]^2}}$$

C'est la vitesse de phase du mode  $TE_{10}$  dans le guide rempli d'air.

Par ailleurs, puisque :

$$\lambda_0 = \frac{v_0}{f}$$

$$\lambda_g = \frac{v_p}{f}$$

on peut déterminer la fréquence à partir de la longueur d'onde par :

$$f = \frac{v_0 \sqrt{\lambda_g^2 + 4a^2}}{2a\lambda_g} \quad (8)$$

Il suffit donc de mesurer la longueur d'onde dans le guide  $\lambda_g$  pour obtenir  $f$ , ou inversement.

### III.3.3 MESURES

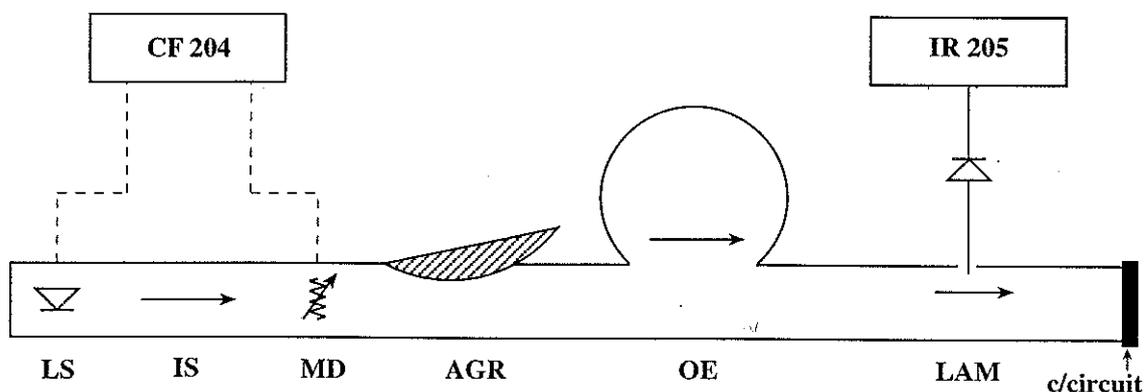
La méthode utilisée fait appel à une mesure directe sur une onde stationnaire. La précision obtenue est d'environ 0,05%.

A cet effet, une ligne de mesure est utilisée pour déterminer l'écart entre deux maxima (ou deux minima) existant sur une ligne de transmission dans laquelle on a provoqué une répartition d'onde stationnaire.

On sait en effet que, en régime d'onde stationnaire, la longueur d'onde  $\lambda_g$ , dans la ligne, correspond à deux fois la longueur physique entre deux "ventres" ou deux "nœuds" de tension.

La longueur d'onde dans l'air, et la fréquence peuvent être déduites de la valeur mesurée de  $\lambda_g$ , en utilisant les expressions données au paragraphe III.3.2.

Effectuer le montage de la figure ci-dessous.



- Régler l'oscillateur GUNN à une fréquence  $f$ .
  - Placer l'atténuateur de tarage AGR au maximum d'atténuation, régler l'accord au maximum du courant détecté; agir sur l'atténuateur pour amener une lecture bien visible sur l'échelle du galvanomètre de l'IR 205.
  - Déplacer le chariot de la sonde le long de la ligne LAM, et observer la répartition de l'onde stationnaire.
  - Relever le nombre de maxima visibles, 3 par exemple.
  - Noter avec précision, la position du premier maximum et celle du troisième.
  - L'écart entre le premier et le troisième maximum est égal à  $\lambda_g$ .
- Pour relever avec précision la position d'un maximum, prendre une valeur moyenne entre deux points d'amplitude équivalente de part et d'autre du maximum.
- Calculer  $\lambda_g$  et  $f$ .
  - Comparer  $f$  trouvée à  $f$  mesurée avec l'ondemètre OE.

### III.4 MESURE DE L'IMPEDANCE

#### III.4.1 INTRODUCTION

Le but de cet ensemble d'expérimentations ne se limite pas à la détermination de l'impédance de la charge terminale d'une ligne de transmission; il permet de se familiariser avec l'abaque de SMITH.

Celle ci permet de connaître la valeur d'une impédance en un point donné. Les déplacements de  $L / \lambda_g$ , les réactances et les résistances y sont définis par des familles de courbes.

Tous ces paramètres sont calculés ou déterminés dans une ligne de transmission, par l'emploi d'une ligne de mesure.

#### III.4.2 RAPPELS THEORIQUES

##### ■ Coefficient de réflexion - Rapport d'onde stationnaire

Considérons une ligne de transmission, d'impédance caractéristique  $Z_0$ , fermée sur une impédance de charge  $Z_c$ . Le coefficient de réflexion, rapport de l'onde réfléchie à l'onde incidente, au niveau de  $Z_c$  a pour expression :

$$\rho = \frac{Z_c - Z_0}{Z_c + Z_0}$$

D'une manière générale,  $Z_c$  est complexe, et de la forme :

$$Z_c = R + jX$$

si bien que  $\rho$  est un nombre complexe de la forme :

$$\rho = |\rho| e^{j\theta}$$

L'amplitude  $|\rho|$  donne le rapport des amplitudes des ondes réfléchie et incidente, et la phase  $\theta$ , la rotation de phase lors de la réflexion.

La tension  $E$  en n'importe quel point de la ligne, peut être considérée comme la somme ( $E_i + E_r$ ) des tensions des ondes incidente et réfléchie, en ce point. Il en résulte une distribution de tension sur la ligne que l'on appelle répartition d'onde stationnaire.

En effet, en certains points de la ligne, les tensions des deux ondes sont en phase et elles s'ajoutent, produisant des maxima de tension; en d'autres points, elles sont en opposition de phase et elles se retranchent, produisant alors des minima.

Le rapport entre la valeur d'un maximum et celle d'un minimum de tension (ou de courant) est appelé "**Rapport d'Onde Stationnaire**". Soit  $S$  le ROS.

Par définition :

$$S = \frac{E \text{ Max.}}{E \text{ min.}}$$

avec  $E \text{ Max.} = |E_i| + |E_r|$

et  $E \text{ min.} = |E_i| - |E_r|$

d'où :

$$\frac{E \text{ Max.}}{E \text{ min.}} = \frac{1 + \frac{|E_r|}{|E_i|}}{1 - \frac{|E_r|}{|E_i|}} = S$$

$$\frac{S-1}{S+1} =$$

Or, le rapport vectoriel :

$$\frac{|E_r|}{|E_t|}$$

est le module du coefficient de réflexion "  $\rho$  "; la relation entre "  $\rho$  " et "  $S$  " est donnée par :

$$|\rho| = \frac{S - 1}{S + 1}$$

ou

$$S = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|}$$

Ainsi,  $S$  varie entre 1 (adaptation parfaite) et  $+\infty$  (court-circuit ou circuit ouvert).

La rotation de phase  $\theta$  se traduit par un déplacement de tout l'ensemble de l'onde stationnaire, et si la distance entre l'impédance  $Z$  et le premier minimum de tension est "  $d$  ", on peut écrire :

$$\theta - 2 \frac{2\pi d}{\lambda_g} = -\pi$$

Le problème revient à obtenir  $Z$ , en module et en phase, à partir des éléments mesurables sur le guide. Les valeurs de  $R$  et de  $X$  sont obtenues sur un abaque : ABAQUE DE SMITH.

## ■ Utilisation de l'Abaque de SMITH

### - Définition

On peut exprimer l'impédance d'une charge rapportée à l'impédance caractéristique de la ligne sous la forme de sa valeur normalisée (ou réduite).

$$z = \frac{Z}{Z_0}$$

Elle est reliée au coefficient de réflexion dans le plan de la charge par la relation :

$$\rho = \frac{z - 1}{z + 1}$$

La relation réciproque permet d'exprimer  $Z$  en fonction de  $\rho$ .

$$z = \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

L'abaque de SMITH est un diagramme qui permet ce passage direct, sans calcul. Il donne à la fois la représentation polaire ( $\rho$ ,  $\theta$ ) du coefficient de réflexion, le cercle extérieur étant l'unité, et directement la valeur normalisée de  $z$ , par ses composantes réelle  $r$  (résistance normalisée) et imaginaire  $x$  (réactance normalisée).

On distingue quatre type de lieux :

- les cercles à résistance constante et positive (cercle  $r$ )
- les cercles à réactance constante (cercle  $x$ )
- les cercles à atténuation constante ou cercles à rapports d'onde stationnaire constants (cercle  $u$ )
- les rayons à phase constante.

### - Impédance et admittance normalisée

Toute ligne de transmission uniforme est caractérisée par quatre paramètres rapportés à l'unité de longueur:

La résistance	: R	] Constantes réparties
La self	: L	
La capacité	: C	
La conductance	: G	

L'impédance caractéristique  $Z_0$ , pratiquement indépendante de la fréquence est une résistance pure de valeur :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

L'atténuation par unité de longueur est définie à l'aide du coefficient  $\alpha$ , exprimé en général en dB/unité de longueur.

La longueur d'onde dans la ligne  $\lambda_g$ , qui peut être différente de la longueur d'onde dans l'air  $\lambda_0$ , doit être utilisée pour les mesures sur la ligne.

Rappelons que l'impédance est une grandeur complexe :

$$Z = R + j X$$

avec :

R : Résistance

X : Réactance (composante réactive).

Si  $X > 0$  La réactance est inductive (self)

Si  $X < 0$  La réactance est capacitive (capacité).

L'utilisation du diagramme de SMITH nécessite la normalisation préalable des valeurs des résistances, des réactances et des déplacements.

Les déplacements sont rapportés à la longueur d'onde. On utilise donc le paramètre  $L/\lambda$  qui correspond à la phase exprimée en degrés :

$$\theta = \frac{L}{\lambda_g/2} \times 360$$

Le même diagramme peut être utilisé pour le calcul des admittances en remplaçant la résistance par la conductance et la réactance par la susceptance :

$$Y = \frac{1}{Z} = G + jB$$

B et G sont respectivement la susceptance et la conductance exprimées en admittance normalisée :

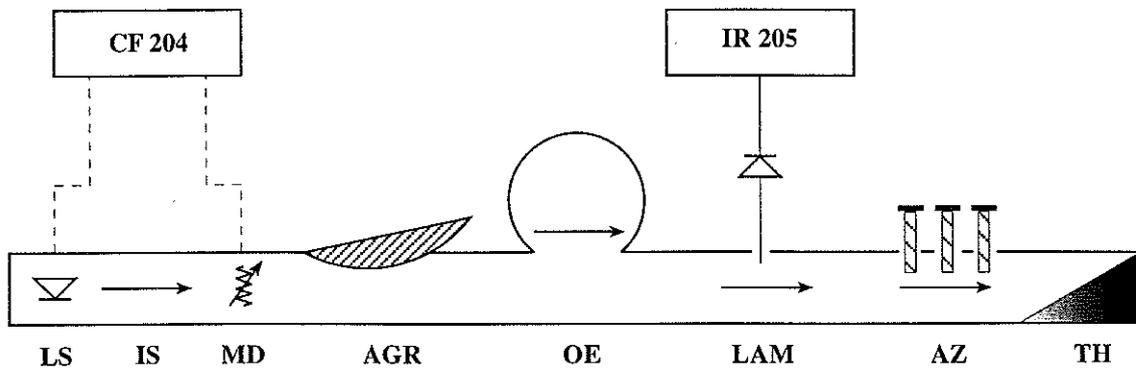
$$Y_0 = \frac{1}{Z_0}$$

$$Y = \frac{G}{Y_0} \pm j \frac{B}{Y_0}$$

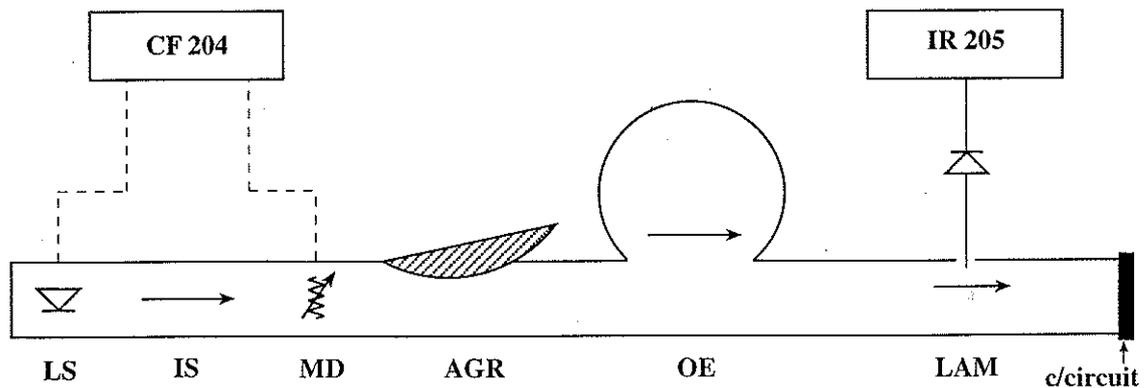
$$= g \pm jb$$

**III.4.3 MESURE D'UNE IMPEDANCE PLACEE A L'EXTREMITÉ D'UNE LIGNE SANS PERTE, D'IMPEDANCE CARACTERISTIQUE  $Z_0$ .**

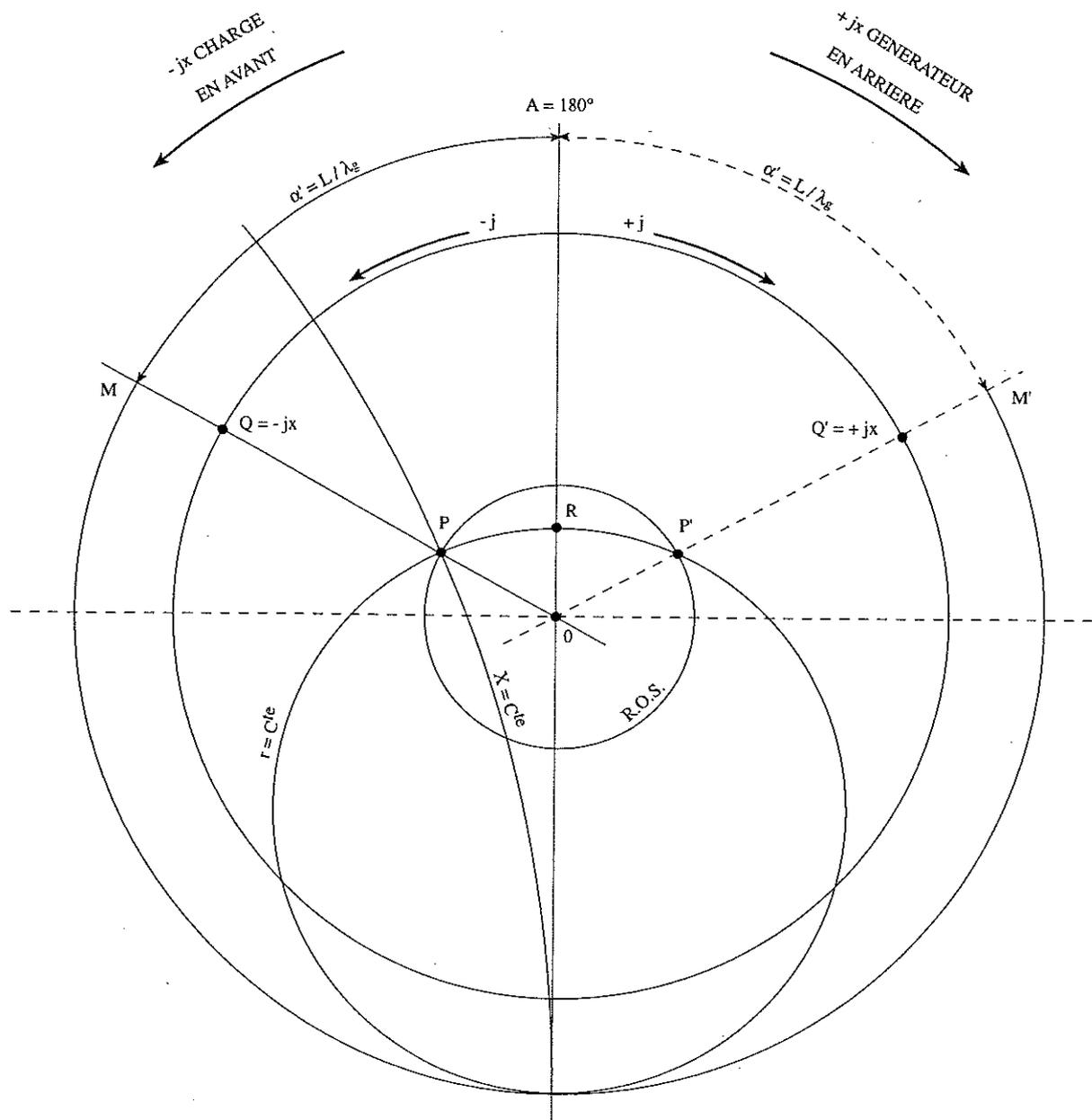
Effectuer le montage de la figure ci-dessous.



- Placer l'élément dont l'impédance doit être mesurée (en l'occurrence une charge précédée d'un adaptateur de ROS) en extrémité de la ligne.
  - Mesurer le rapport d'onde stationnaire.
  - Tracer le cercle correspondant sur le diagramme (valeur du rapport d'onde stationnaire sur l'axe réel partant du centre du diagramme).
  - Rechercher le minimum de tension le plus proche de la charge, soit le repère A.
  - Remplacer l'élément à mesurer par un court-circuit, (le plan du court-circuit correspond au point  $A = 180^\circ$  du diagramme); voir la figure ci-dessous.
- En déplaçant le chariot, rechercher le minimum le plus proche du repère A, soit B.



- Déterminer  $L = A - B$
- Déterminer  $\lambda_g$ , la longueur d'onde dans le guide
- En déduire  $L/\lambda_g$



- Si le déplacement du minimum  $L$  s'est effectué vers le générateur, tourner à partir du point  $A = 180^\circ$  dans le sens "En arrière" (vers le générateur) de la quantité  $\alpha'$  (ou  $L/\lambda_g$ ). Soit le point  $M'$  (voir figure p 21).

Si au contraire, le déplacement s'est effectué vers la charge, tourner sur le diagramme dans le sens "En avant" (vers la charge) de la quantité  $\alpha'$  (ou  $L/\lambda_g$ ). Soit le point  $M$ .

- Tracer une droite joignant le centre du diagramme à  $M$  (ou  $M'$ ) :

Cette droite coupe le cercle du rapport d'onde stationnaire en un point  $P$  (ou  $P'$ );

Par ce point  $P$  (ou  $P'$ ), il passe :

- a) un cercle à réactance constante qui donne la valeur  $jx$  de l'impédance; soit le point  $Q$
- b) un cercle de résistance constante qui donne la valeur réelle  $r$  de l'impédance; soit le point  $R$ .

On obtient l'impédance réduite :

$$z = r - j x$$

Le raisonnement est le même dans le cas où  $\alpha' = L/\lambda_g$  s'est déplacé dans le sens "En arrière" (vers le générateur), points  $R$  et  $Q'$ .

L'impédance réduite prend alors l'expression :

$$z = r + j x$$

d'où :

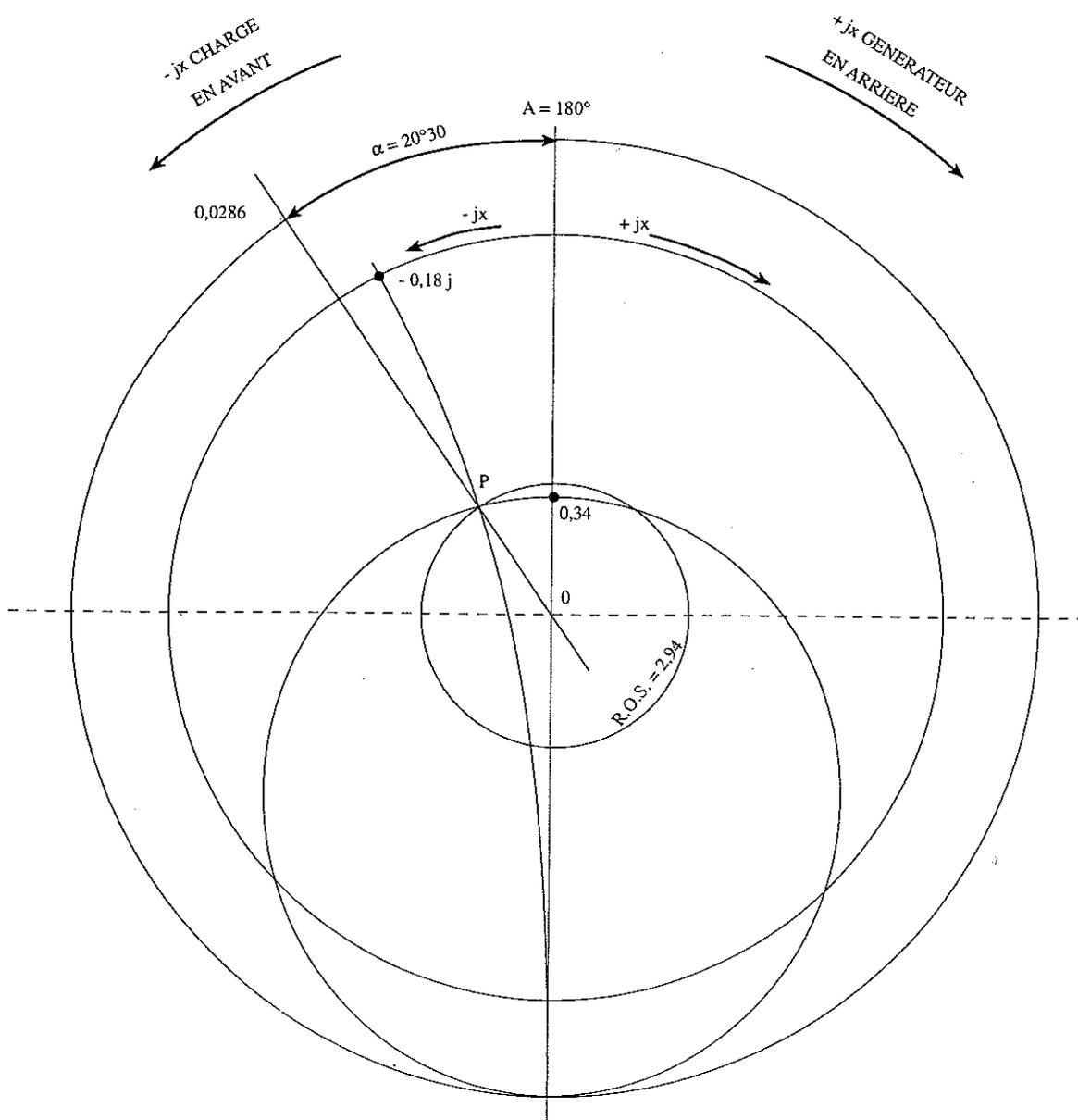
$$Z = Z_0 (r + jx)$$

**EXEMPLE D'APPLICATION**

Soit une ligne de transmission sur guide, d'impédance caractéristique  $Z_0$ , terminée par une impédance inconnue  $Z$  (voir figure ci-dessous).

- $\lambda_g$  mesuré sur une ligne : 45,45mm (9300 MHz)
- L : 1,3 mm
- ROS : 2,94

*1,3*



$$L/\lambda_g = 1,3 / 45,45 = 0,0286$$

- A partir du point A = 180° sur le diagramme, porter dans le sens "En avant", vers la charge, sur le cercle de  $(L/\lambda_g)$  la quantité :

$$L/\lambda_g = 0,0286, \text{ soit le point M}$$

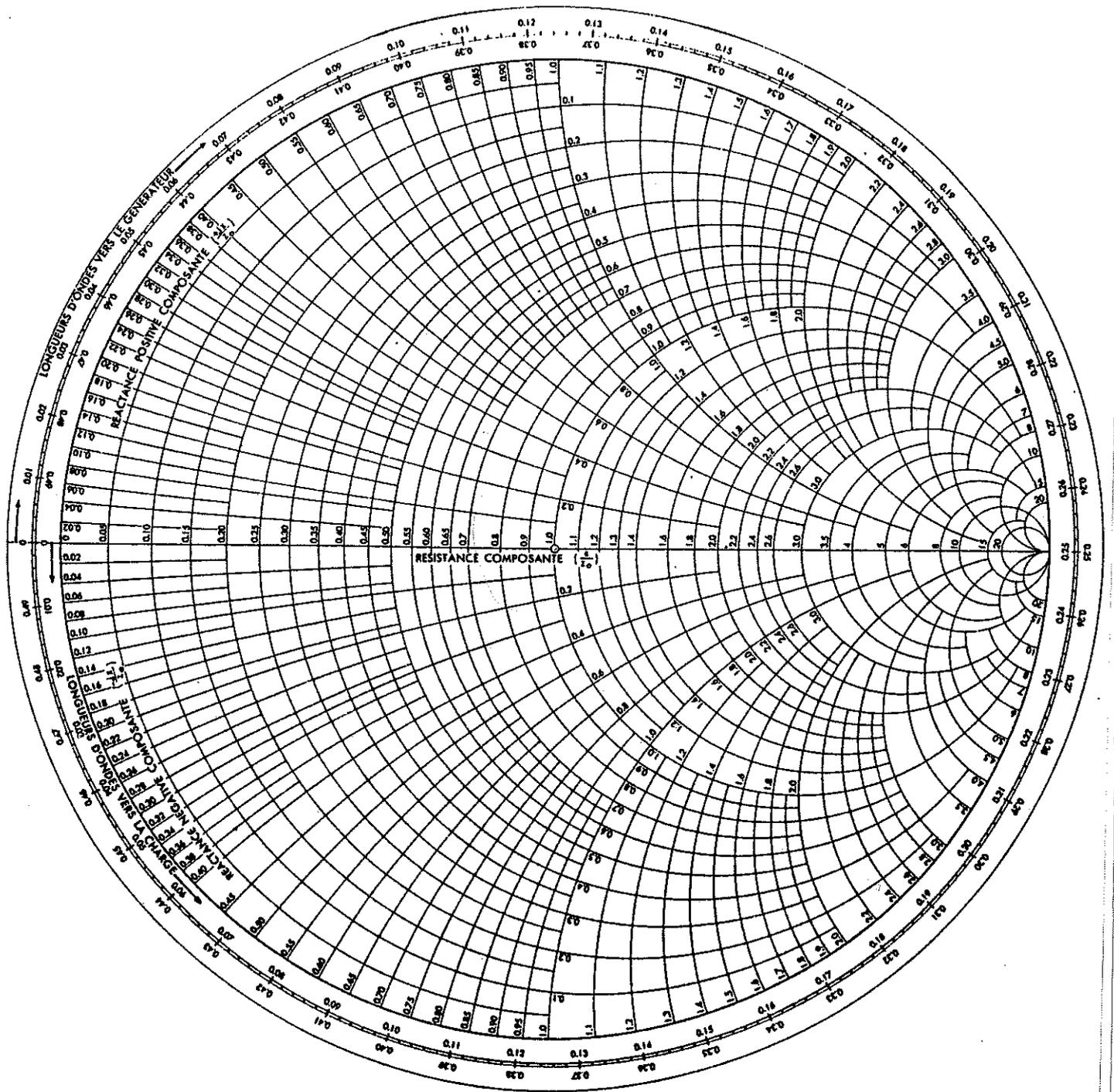
$$L/\lambda_g = \frac{720 \times 1,3}{45,45} = 20^\circ 30'$$

- Tracer le cercle de rapport d'onde stationnaire 2,94
- Tracer une droite joignant 0 au point M.  
Cette droite coupe le cercle de rapport d'onde stationnaire en P.  
Le cercle de X constant passant par P donne :

$$\begin{aligned} jx &= j 0,18 = X/Z_0 \\ r &= 0,34 = R/Z_0 \end{aligned}$$

L'impédance aura pour expression :

$$Z_u = Z_0 (0,34 - 0,18 j)$$



### III.5 MESURE DE LA FREQUENCE

#### III.5.1 INTRODUCTION

La présente manipulation a pour but l'obtention directe de la fréquence émise par la source hyperfréquence.

Pour cela, on utilise un fréquencemètre ou un ondemètre.

#### III.5.2 RAPPELS THEORIQUES

Une méthode de mesure directe de la fréquence micro-onde consiste à utiliser un ondemètre.

Un ondemètre à absorption est composé d'un tronçon de guide d'onde rectangulaire ayant en dérivation, d'une cavité résonante cylindrique couplée.

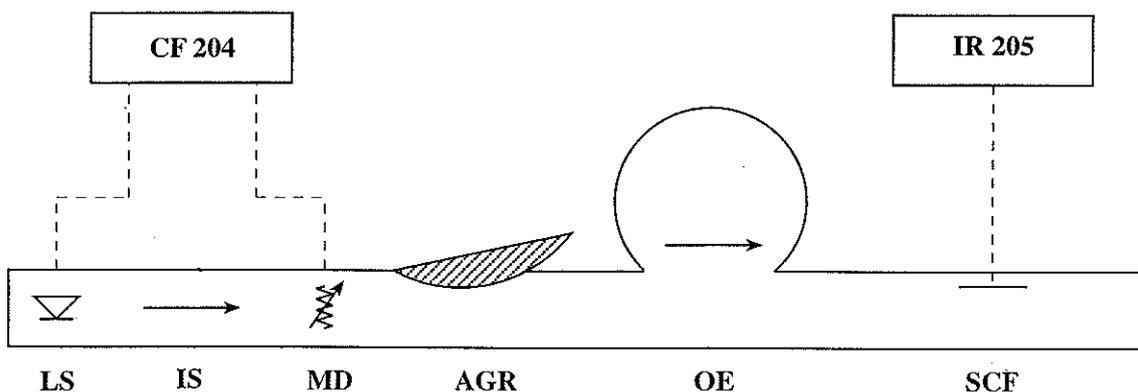
Le volume de la cavité résonante est changé par le déplacement d'un court-circuit, ce qui provoque un changement de la fréquence de résonance.

A la résonance, l'énergie hyperfréquence transmise par le tronçon de guide d'onde droit, est absorbée par la cavité résonante. L'accord est donc mis en évidence par une chute du niveau de puissance. La mesure de fréquence se fait grâce à un micromètre gradué en centièmes de millimètres,

Une courbe d'étalonnage permet de déterminer une fréquence en fonction du déplacement indiqué par le micromètre.

#### III.5.3 MESURE DE LA FREQUENCE

Effectuer le montage de la figure ci-dessous.



Tourner la vis micrométrique de l'Ondemètre OE 90 jusqu'à obtenir une absorption de l'énergie HF caractérisée par une brusque déviation vers zéro de l'indication du galvanomètre. Lire la position indiquée par la vis micrométrique, l'indication du galvanomètre étant la plus proche possible du zéro.

- La position repérée, se reporter à la courbe d'étalonnage fournie avec l'ondemètre, afin de déterminer la fréquence.

#### REMARQUE :

La mesure effectuée, ne pas laisser l'Ondemètre OE 90 sur sa fréquence de résonance afin de ne pas atténuer inutilement l'onde hyperfréquence.

### III.6 RELEVÉ DE LA LOI QUADRATIQUE D'UN DETECTEUR

#### III.6.1 INTRODUCTION

La diode à cristal permet de détecter l'énergie hyperfréquence. C'est un élément non linéaire (à loi quadratique), dont on va relever la caractéristique

Un paramètre important est également le niveau de signal minimum détectable d'une diode à cristal, qu'on évalue en mesurant sa sensibilité.

#### III.6.2 RAPPELS THEORIQUES

Le cristal permet de détecter le champ électrique hyperfréquence et par suite de mesurer sa puissance.

Le principe de la détection repose sur la non linéarité de la résistance de jonction du cristal.

Soient  $v_0$ , la tension de polarisation et  $v$  le signal à détecter. On peut considérer que les variations du courant sont petites autour du point de polarisation, et faire un développement limité au second ordre.

$$i_{(v_0+v)} = i_{(v_0)} + \left. \frac{di}{dv} \right|_{v_{(v_0)}} + \frac{1}{2} \left. \frac{d^2i}{dv^2} \right|_{v_{(v_0)}} v_{(v_0)}^2$$

Si l'élément était linéaire, on aurait simplement :

$$i_{(v_0+v)} = i_{(v_0)} + \frac{v}{R}$$

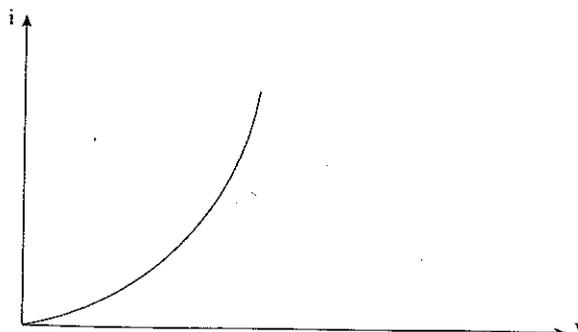
Soit  $v = V \cos \omega t$

$$i_{(v_0+V \cos \omega t)} = i_{(v_0)} + v \left. \frac{di}{dv} \right|_{v_{(v_0)}} \cos \omega t + \frac{V^2}{2} \left. \frac{d^2i}{dv^2} \right|_{v_{(v_0)}} \cos^2 \omega t$$

ou :

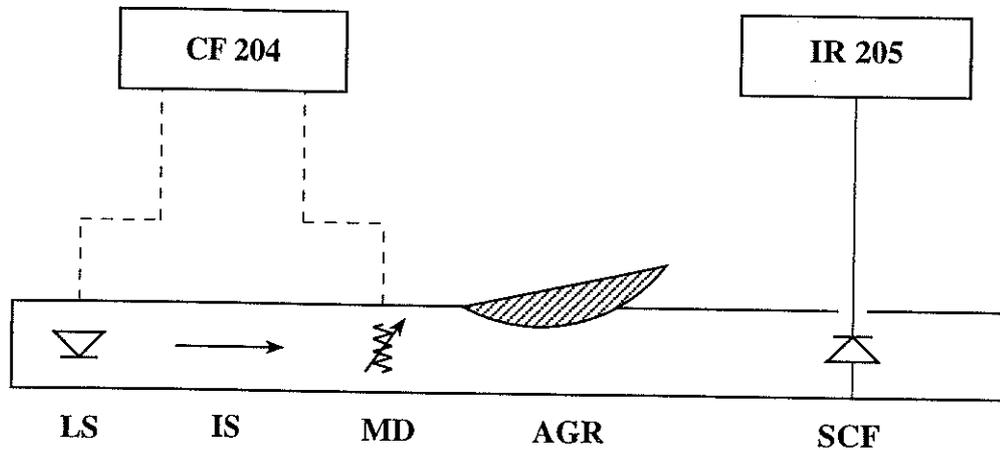
$$\cos^2 \omega t = \frac{\cos 2\omega t + 1}{2}$$

La loi courant-tension comporte donc un terme en  $V^2$ , composante continue du courant, proportionnelle au carré du champ électrique hyperfréquence. La détection est quadratique (Figure ci-dessous).



### III.6.3 RELEVÉ DE LA CARACTERISTIQUE

Le procédé consiste à relever le courant cristal détecté en fonction du niveau HF appliqué. Effectuer le montage de la figure ci-dessous.



- Placer l'atténuateur AGR 90 sur la position  $A_1 = 0$  dB; noter l'indication  $I_1$  donnée par l'IR 205
- Augmenter l'atténuation par pas de 3dB et noter la valeur  $I_i$  indiquée par l'IR 205 pour chaque position  $A_i$ .
- Continuer ainsi pour obtenir le maximum de points, et tracer la courbe de la tension détectée en fonction de l'atténuation en dB.

En utilisant le détecteur ainsi étalonné, on pourra déterminer un niveau ou une atténuation en fonction du niveau enregistré sur le galvanomètre.

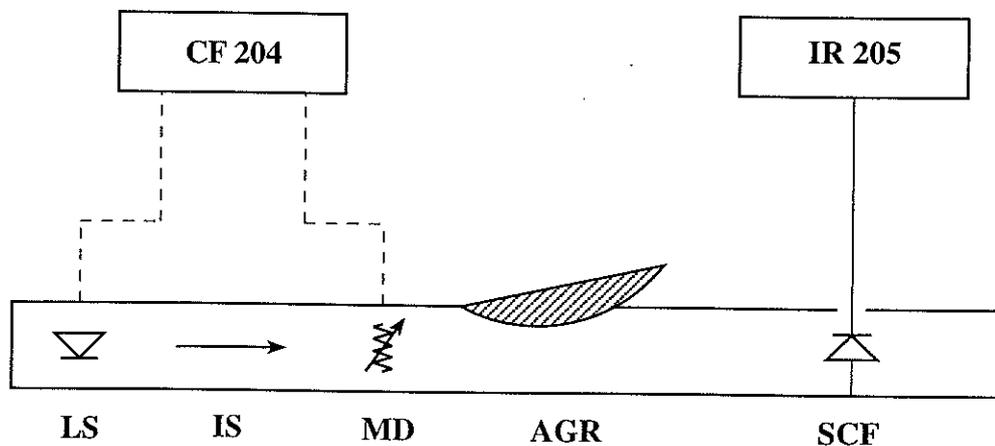
### III.6.3 MESURE DE LA SENSIBILITE TANGENTIELLE DU CRISTAL DETECTEUR

La sensibilité tangentielle d'un détecteur est le niveau de puissance injectée (en dBm) nécessaire pour distinguer le signal détecté du bruit.

On la détermine en faisant tangenter la partie inférieure du bruit superposé au signal détecté (S+B) avec la partie supérieure du bruit seul (B).

Une autre définition consiste à considérer que  $S_T$  est la puissance correspondant à un rapport Signal/Bruit de 2, soit 6 dB en tension ou 3 dB en puissance.

Effectuer le montage de la figure ci-dessous.



- Passer en atténuation maximale avec l'AGR 90.
- Régler l'IR 205 à la sensibilité maximale; ajuster la déviation due au bruit à 4 dB, à l'aide des boutons de réglage du gain ("Gros" et "Fin").
- Agir sur l'AGR 90 pour ramener l'aiguille du galvanomètre de l'IR 205 sur 10dB (pleine échelle), soit 6 dB en tension ou 3 dB en puissance au dessus du bruit; déterminer le niveau  $S_T$ .

La sensibilité tangentielle est ici mesurée pour la bande passante de l'amplificateur de l'IR 205. Le niveau de bruit est, en effet, fonction de la bande passante de la chaîne de mesure.