

TP Ondes centimétriques

Dans ce TP, nous nous intéressons à des ondes électromagnétiques de longueur d'onde centimétrique. Les ondes centimétriques possèdent les mêmes caractéristiques que les ondes lumineuses et donnent lieu aux mêmes phénomènes. Dans les deux cas se sont des ondes électromagnétiques, cette caractéristique fondamentale permet de réaliser des expériences 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.

Dans cette séance, nous étudierons plus particulièrement :

- L'état de polarisation
- Les caractéristiques d'une onde stationnaire avec mesure de la longueur d'onde.
- l'amplitude de l'onde émises

I) Description du matériel et branchements

A) Emetteur

Le montage pour l'étude des ondes centimétriques utilise comme générateur une diode Gunn (dipôle oscillant). Celle-ci est placée dans une petite cavité parallélépipédique conductrice résonante : alimentée convenablement (et en basse tension), elle délivre une onde sinusoïdale et polarisée.

Cette diode est insérée dans un cornet permettant d'obtenir une puissance significative en sortie.

Branchements: il est inscrit sur l'émetteur, la mention « transmitter ». Sa **borne rouge** doit impérativement être reliée à la borne rouge du générateur. Lorsque les deux bornes d'alimentation de l'émetteur sont dans un plan horizontal, le champ électrique émis est vertical.

Attention : l'émetteur peut être détérioré s'il est utilisé sans que le cornet soit correctement fixé.

B) Récepteur

La réception se fait à l'aide d'une diode réceptrice hyperfréquence, placée dans une cavité résonante accordée.

Il ne détecte qu'une direction de polarisation du champ électrique et délivre un signal proportionnel à l'intensité de l'onde.

Nous disposons de 2 récepteurs différents :

- **Une sonde réceptrice :** dans lequel la diode est reliée à deux fils fins servant d'antenne. On l'utilisera pour l'étude des ondes stationnaires ;
- **Un récepteur à cornet :** dans lequel la cavité résonante est placée à la suite d'un cornet (permettant d'avoir une puissance captée beaucoup plus importante).

→ Le récepteur à cornet porte l'inscription « receiver » et possède deux bornes verte et jaune.

Il ressemble beaucoup à l'émetteur **il ne faut en aucun cas lui appliquer une tension extérieure !!** Il faut le connecter à un milliampèremètre (avec le calibre : **μA ou mA continu**).

→ La sonde réceptrice est moins sensible que le récepteur à cornet mais beaucoup moins encombrante. On la relie aussi au milliampèremètre.

II) Structure et polarisation de l'onde incidente

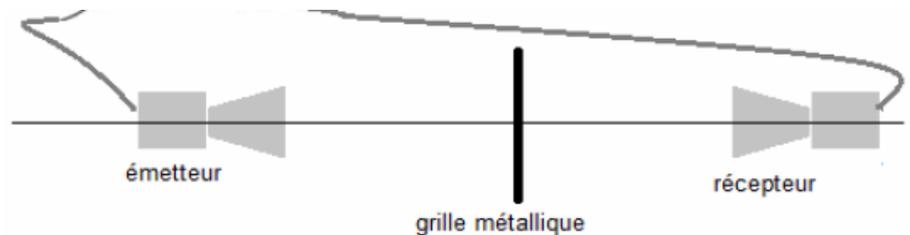
A) Le signal émis est polarisé

Lorsque les bornes de l'émetteur sont dans un plan horizontal, l'onde émise est polarisée verticalement.

Faire tourner le récepteur autour de son axe horizontal. Observer et commenter en vous référant à l'annexe.

B) Grille polarisante

On place une grille métallique entre les émetteur et récepteur placés sur le même axe à 80 cm environ l'un de l'autre. On fait tourner la grille autour de ce même axe.



→ Qu'observe-t-on ? Conclusion.

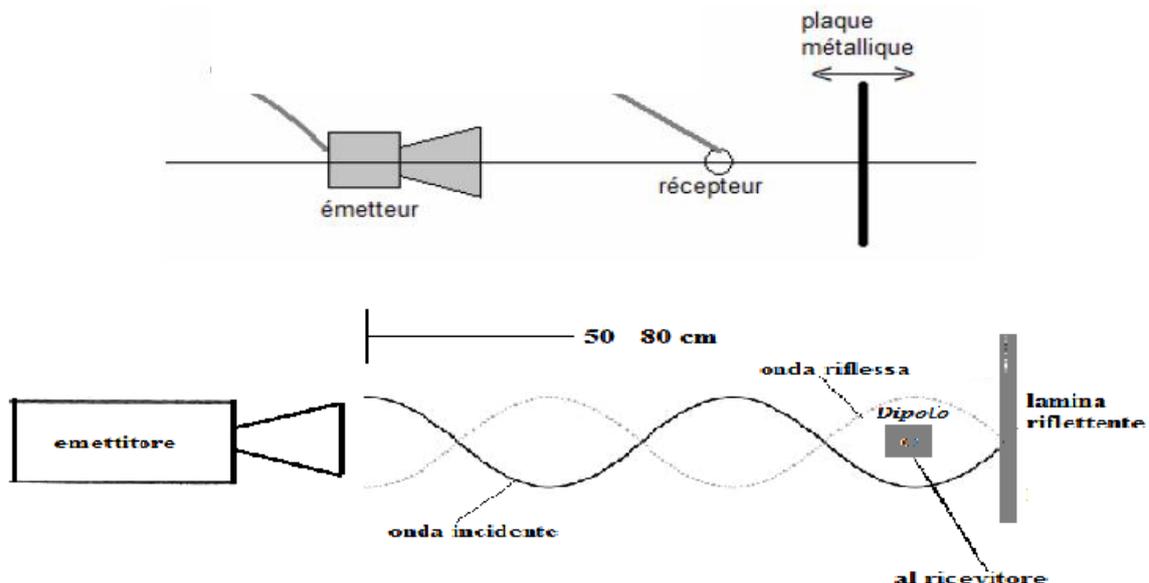
→ Comparer l'intensité reçue lorsque la grille est placée à 45° par rapport à l'intensité maximale.

C) Ondes stationnaires, mesure de la longueur d'onde :

Quand on envoie une onde plane progressive monochromatique polarisée rectilignement sur un conducteur parfait en incidence normale, il n'y a pas d'onde transmise (l'épaisseur de peau est nulle), mais uniquement une onde réfléchie. Suite à la réflexion sur la plaque métallique, un système d'ondes stationnaires prend place.

En utilisant la petite sonde, observer les positions des minima et des maxima. Il faudra la déplacer horizontalement en la faisant glisser sur son socle.

→ En déduire une valeur expérimentale de la longueur d'onde.



D) Atténuation avec la distance

Utiliser le récepteur à cornet, et le placer en face de l'émetteur. Faites varier la distance d entre la source et la sonde.

L'indication doit décroître en $1/d^2$ si l'on mesure l'intensité du rayonnement électromagnétique et en $1/d$ si l'on mesure l'amplitude du champ électrique (cf annexe). **Conclure en vous aidant d'un graphique.**

Annexes

Vous vous aiderez des annexes suivantes pour interpréter les résultats obtenus.

Document 1 : Energie transportée par une onde

Une onde, lors de sa propagation, réalise un transfert d'énergie entre deux zones de l'espace. Ce transfert est caractérisé par l'intensité de l'onde $I(\mathbf{M}) = \langle \|\vec{\Pi}(\mathbf{M})\| \rangle$ qui s'exprime en $W \cdot m^{-2}$.

L'intensité I d'une onde électromagnétique est reliée au champ électrique généré par l'onde de la forme :

$$I = \alpha_{em} E^2$$

où α_{em} est un coefficient de proportionnalité propre à la nature de l'onde.

Document 2: Caractéristique générale des émetteurs d'ondes choisis dans le TP

Le rôle de l'émetteur (source) est de générer l'onde propageant de l'énergie. L'efficacité et la directivité de l'émission sont donc des critères essentiels à contrôler.

L'émission d'ondes sonores ou d'ondes électromagnétiques (lumineuses, centimétriques, ...) est régie par 3 distances caractéristiques :

- λ_0 : la longueur d'onde de l'onde considérée,
- D : le diamètre caractéristique de l'ouverture de l'émetteur.
- d : la distance à laquelle l'onde est détectée (position de l'observateur).

Suivant la valeur de ces trois paramètres, l'onde émise aura des caractéristiques spatiales différentes qui ne sont pas nécessairement simples à prédire et qui peuvent nécessiter une modélisation numérique.

Lorsque $d \gg D$ et $d \gg \lambda_0$, on étudie l'onde dans la **zone dite de rayonnement** : l'observateur est "loin" de la source. On prendra comme critère $d \gtrsim 5D$.

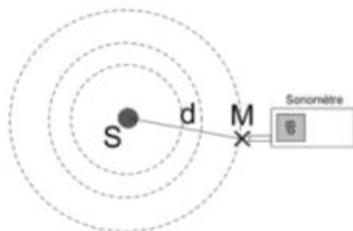
Si de plus $D \simeq$ quelques λ_0 , la source émet à travers l'orifice une onde assimilable à **une onde sphérique**, et son intensité est alors **régie par les lois de la diffraction**.

On montre ainsi que l'intensité de l'onde I est principalement dirigée dans un cône de demi-angle au sommet $\theta \simeq 1,22 \frac{\lambda}{D}$ (trou circulaire) ou $\theta \simeq \frac{\lambda}{D}$ (tour carré) et que cette intensité I décroît en $\frac{1}{d^2}$.

Cette dernière relation peut se comprendre facilement en utilisant la conservation de l'énergie.

Pour une source isotrope (c'est-à-dire émettant la même énergie dans toutes les directions) de puissance P , l'intensité I au point M dépend de la distance d à la source et s'exprime de la façon suivante :

$$I = \frac{P}{4\pi d^2} \text{ avec } I \text{ en } W \cdot m^{-2}; P \text{ en } W; d \text{ en } m$$



E) Principe de fonctionnement du détecteur

Quand on envoie une onde plane progressive monochromatique polarisée rectilignement sur un conducteur parfait en incidence normale, il n'y a pas d'onde transmise (l'épaisseur de peau est nulle), mais uniquement une onde réfléchie. Il apparaît des courants sur la surface du conducteur, et ces courants sont colinéaires au champ électrique incident.

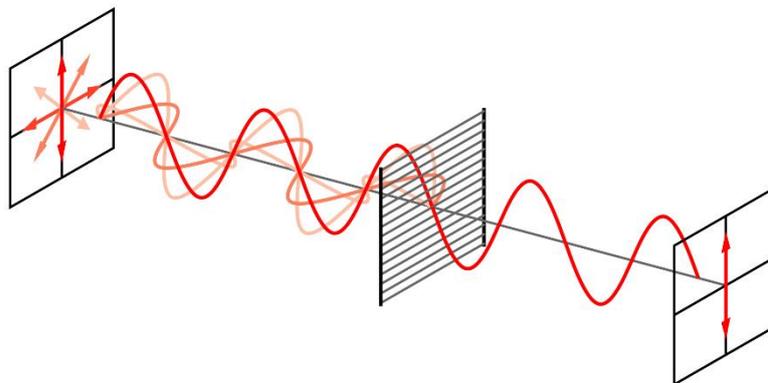
Ce phénomène est utilisé en pratique pour détecter des ondes électromagnétiques à l'aide d'une antenne rectiligne conductrice. Le courant induit est proportionnel à la composante du champ électrique de l'onde incidente le long de cette antenne.

Dans le cas d'une polarisation rectiligne, le signal détecté est maximal lorsque la direction de l'antenne coïncide avec la direction de polarisation de l'onde, et nul lorsque la direction de l'antenne est perpendiculaire à la direction de polarisation de l'onde. En effet, lorsque l'antenne réceptrice est perpendiculaire au champ électrique incident, aucun courant ne peut prendre naissance dans le récepteur (les électrons ne peuvent pas se mettre en mouvement).

F) Principe du polariseur grille métallique

Une grille métallique (ensemble de tiges rectilignes), dont le pas est nettement inférieur à la longueur d'onde du rayonnement, constitue un polariseur. Lorsque la distance entre les fils est nettement inférieure à la longueur d'onde, l'onde perçoit l'assemblée de fils comme s'ils étaient répartis continûment.

Cette grille est transparente pour la composante du champ électrique perpendiculaire à la direction des tiges, car aucun courant macroscopique ne peut circuler dans cette direction. En revanche, la grille réfléchit la composante du champ parallèle aux tiges (des courants peuvent apparaître dans cette direction). Finalement, le champ électrique après la grille est nécessairement perpendiculaire aux fils. La grille se comporte comme un polariseur, d'axe de transmission perpendiculaire aux fils.



Si l'onde polarisée rectilignement qui arrive sur un polariseur avec un angle θ entre le champ électrique incident et l'axe du polariseur. Seule la composante du champ électrique suivant l'axe de transmission du polariseur est transmise. Par conséquent, l'intensité de l'onde transmise, égale au carré de son amplitude, a pour expression :

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$