

Ondes centimétriques

I. Compétences mobilisées

S'approprier :

- rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale

Réaliser

- mettre en œuvre un protocole
- utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie
- mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates

Valider

- exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en estimant les incertitudes
- modéliser
- confronter un modèle à des résultats expérimentaux
- confirmer ou infirmer une hypothèse, une information
- analyser les résultats de manière critique

Communiquer à l'écrit (rédiger un compte rendu)

Présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible

II. Objectifs

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.

II. Description du matériel

1. Présentation générale

On utilisera un émetteur hyperfréquence constitué d'un oscillateur à diode Gunn, alimenté en courant continu (n'utiliser que le transformateur adapté). La mesure du signal reçu est faite au moyen de récepteurs quadratiques en champ (antenne – diode). Lorsque le détecteur reçoit une onde électromagnétique, on constate qu'il délivre une tension continue. Cette tension mesurée aux bornes du détecteur à l'aide d'un oscilloscope ou d'un voltmètre est proportionnelle à l'intensité de l'onde électromagnétique provenant du cornet émetteur.

2. L'émetteur Gunn

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. 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.

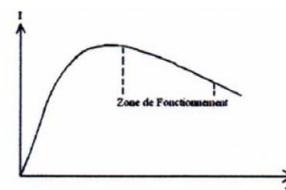


Fig.1. caractéristique d'une diode Gunn

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.

3. Cornet détecteur

Il est constitué d'une diode hyperfréquence « SHF » (Super High Frequency). 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.

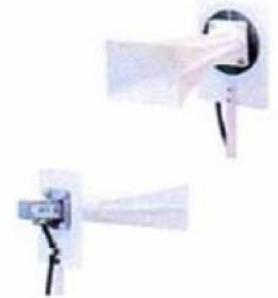


Fig. 2. Récepteur à cornet

4. 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.

5. Appareillage/matériel

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

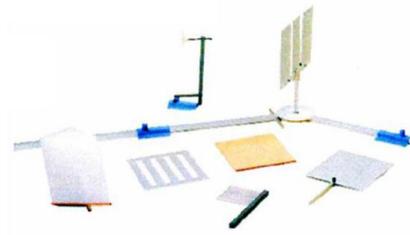


Fig 5. Appareillage

III. Diagramme de rayonnement d'un cornet émetteur d'ondes centimétriques

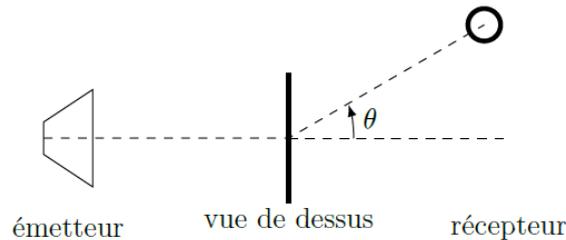


Fig.6 : Dispositif de tracé du digramme de rayonnement

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 : Pour tracer le diagramme de rayonnement, l'idée consiste à travailler à intensité constante et de faire varier l'angle en modifiant la distance émetteur – récepteur notée d.

1. Placer les cornets à environ 30–40 cm de distance au départ enchâssés sur le dispositif de mesure d'angle et de distance
2. Relever le niveau d'intensité de l'onde électromagnétique émise par le cornet émetteur en position centrale, c'est-à-dire lorsque le récepteur est placé en incidence normale vis-à-vis du détecteur (angle $\theta = 0$ sur la fig. 7).
On relèvera la tension image de l'intensité de l'onde en sortie du détecteur notée U_0 .
3. Faire tourner le cornet émetteur de 5° en 5° de part et d'autre de la position centrale et à chaque fois **régler distance émetteur – récepteur d de façon à retrouver la valeur constante de la tension image U_0 de l'intensité de l'onde en sortie du détecteur. Attention à bien orienter l'antenne de façon à maximiser la tension mesurée.**
4. Compléter le tableau suivant puis le saisir sous régressi ou excel :

θ en degré	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
d										
θ en degré	50	55	60	65	70	75	80	85	90	90
d										
θ en degré	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
d										
θ en degré	-50	-55	-60	-65	-70	-75	-80	-85	-90	-90
d										

5. Porter les résultats sur un diagramme en coordonnées polaires en traçant d en fonction de θ . La courbe obtenue s'appelle le diagramme de rayonnement.

IV. Polarisation des ondes centimétriques

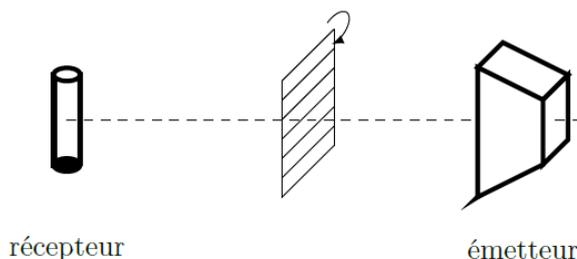


Fig.7 Dispositif d'étude de la polarisation des ondes centimétriques

1. Analyse qualitative (sans grille) :

On dispose tout d'abord émetteur et récepteur en face l'un de l'autre, distants d'à peu près 30 cm. Tourner l'antenne autour de l'axe optique pour en déduire que l'onde émise est polarisée rectilignement et trouver sa direction de polarisation. L'antenne réceptrice constitue un polariseur d'ondes centimétriques. Justifier.

2. Analyse qualitative (avec grille grossière) :

Disposer à présent l'antenne verticalement et interposer une grille entre les deux. Observer ce qui se passe lorsque la grille tourne autour de sa normale. Proposer une explication.

3. Analyse qualitative (avec grille fine montée sur support de mesure d'angle)

Mettre l'antenne réceptrice face au cornet émetteur. Faire pivoter le cornet émetteur (ou la grille selon le dispositif) de façon à récupérer un maximum de signal au niveau de l'antenne. Cette position sera la position de référence. Noter la valeur $U(0)$ du signal.

4. Faire pivoter le cornet émetteur en relevant soigneusement l'angle θ par rapport à sa position de référence ainsi que la tension U (proportionnelle à l'intensité de l'onde) mesurée au niveau de l'antenne. On n'oubliera de prendre en compte les incertitudes de mesures $u(U(\theta))$:

5. Compléter le tableau suivant :

θ (°)	0	20	40	60	80	90	100	120	140	160	180
$U(\theta)$ (V)											
$u(U(\theta))$											

6. Tracer U en fonction de θ .

7. Ajuster la courbe expérimentale avec une loi adaptée : montrer que $U(\theta) = A \cos^4(\theta - \theta_0)$.

8. Conclure quant-à la validation effective de cette loi. Justifier en particulier, à partir de vos connaissances sur la propagation des ondes électromagnétiques, l'emploi de cette formule.

V. Interférences avec des ondes centimétriques : dispositif des fentes d'Young

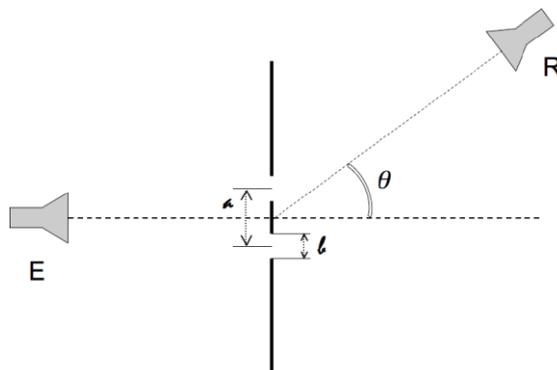


Fig.8 : dispositif d'étude des fentes d'Young

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 8. Une onde plane monochromatique rencontre deux fentes parallèles. Comme en optique, 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 θ montre des maximums et des minimums suivant que les interférences sont constructives ou destructives. Pour simplifier le problème, on considèrera que la distance fente-détecteur est très grande devant la distance interfentes a . Cela revient à considérer les interférences à l'infini. La distance entre les deux fentes et notée a . Déterminer la différence de marche entre les deux faisceaux en fonction de a et θ . Les fentes d'Young sont constituées de la cornière, et de trois plaques métalliques (figure 9).

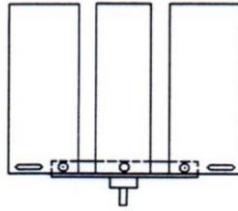


Figure 9 : double fente

- Régler la largeur des fentes à $b = 24$ mm, et l'entraxe des fentes à $a = 104$ mm. La double fente doit être montée perpendiculairement à l'axe du banc de l'émetteur. L'avant du cornet émetteur doit être à 50 cm 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. Maintenir la distance fente détecteur constante à l'aide du rapporteur de mesure durant toute l'expérience.
- Observations qualitatives :** Faire tourner le cornet récepteur suivant θ . Que se passe-t-il ? Observez vous un maximum dans la direction $\theta=0$? Pourquoi ?
- Mesures quantitatives :** Faire tourner le cornet récepteur suivant θ de façon régulière. Mesurer l'intensité (tension image) de l'onde électromagnétique en fonction de θ . Relever au passage la position angulaire θ_{\max} des maxima d'intensité de chaque coté de la direction $\theta=0$.

Montrer que la longueur d'onde λ est reliée à la position des $k^{\text{ièmes}}$ maxima θ_k par $\sin \theta_k = k \frac{\lambda}{a}$

- Compléter le tableau suivant puis le saisir sous régressi ou excel :

θ en degré	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$U(\theta)$										
θ en degré	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
$U(\theta)$										

- Tracer $U(\theta)$. Justifier à l'aide de la théorie des interférences que le modèle mathématique ajustant la courbe expérimentale adapté est de la forme : $U(\theta) = U_{\max} \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi a \sin \theta}{\lambda}\right) \right]$
- Déduire de l'ajustement des mesures expérimentales la longueur d'onde λ ainsi que l'incertitude $u(\lambda)$. La fréquence de l'onde donnée par la constructeur est de $\nu = 10$ Ghz. Calculer la longueur d'onde correspondante et comparer aux valeurs expérimentales.

V. Réflexion sur une plaque métallique – ondes stationnaires

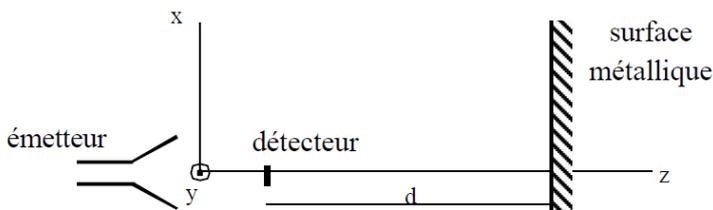


Figure 10 : Dispositif de réflexion des ondes centimétriques

- Prendre une plaque métallique et diriger le corner émetteur vers celle ci.
- Relever tension U (image de l'intensité de l'onde) de l'onde stationnaire ainsi crée en fonction de la position du détecteur d par rapport à l'écran. Relever entre autre la position des ventres (maxima) et des nœuds (minima) d'intensité en fonction de la position de l'émetteur notée d .
- Tracer U en fonction de d .
- En déduire la longueur d'onde de l'émetteur. Comparer avec les donnée du constructeur sachant que la fréquence de l'émetteur est de l'ordre de $\nu = 10$ GHz

VII. Interférences - Interféromètre de Michelson

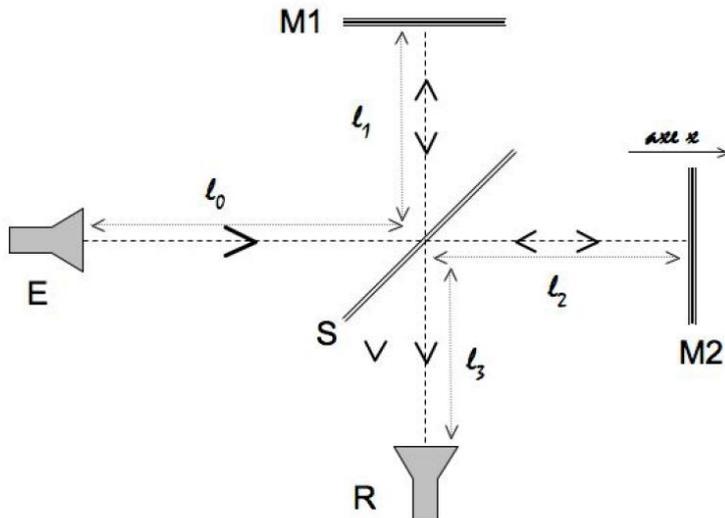


Figure 11 : Interféromètre de Michelson à ondes centimétriques

1. À l'aide de deux plaques métallique réfléchissante (M₁ et M₂ sur la fig. 11) sur support, réaliser un interféromètre de Michelson. Une plaque d'isolant ou de plexiglas servira de lame séparatrice.
2. Injecter l'onde émise par l'émetteur et récupérer le signal en sortie par l'intermédiaire du récepteur.
3. Faire translater l'un des miroirs selon son axe en modifiant par exemple la distance l₂. Que se passe-t-il ?
4. Relever tension U (image de l'intensité de l'onde) de l'antenne en sortie de l'interféromètre en fonction de la position fonction de la distance l₂.
5. En déduire la longueur d'onde de l'émetteur. Comparer aux données du constructeur.

VIII. Propagation guidée

1. Injecter l'onde émise par le cornet émetteur à l'intérieur d'un tube métallique.
2. Placer l'antenne réceptrice. Montrer que l'onde est guidée par le tube quelle que soit la forme de celui-ci.

IX. Diffraction des ondes centimétriques

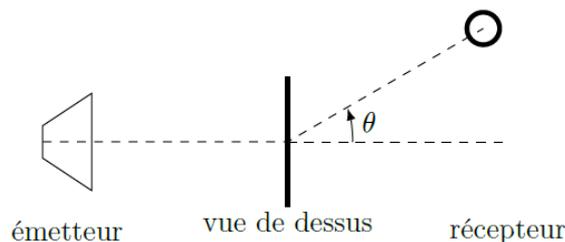


Fig.6 : Dispositif d'étude de la diffraction

1. Reprendre le montage de tracé du diagramme de rayonnement. Prendre une fente métallique de largeur connue l (ne pas oublier de la relever) et la placer au centre de dispositifs de mesure dans gles et de distance.
2. Relever la figure de diffraction en mesurant l'intensité des ondes (tension image au niveau du détecteur) des ondes centimétriques en fonction de l'angle de diffraction θ .
3. Tracer la courbe correspondante sous Regressi. Ajuster avec un modèle théorique.

On donne :
$$U(\theta) = U_{\max} \sin^2\left(\frac{\pi l \sin \theta}{\lambda}\right)$$

4. Déduire de vos mesures expérimentales λ la longueur d'onde de l'émetteur.

X. Lois de la réfraction pour ondes centimétriques

1. Lois de Descartes pour la réflexion :

1. Placez le récepteur sur le bras à 30 cm d'un écran métallique. Placez en même temps le plan métallique réflecteur sur le bras comportant l'émetteur avec une incidence de 45° . Effectuez une rotation de ce plan de 5° en 5° et noter la valeur de la tension image de l'intensité de l'onde pour chaque position de l'écran.

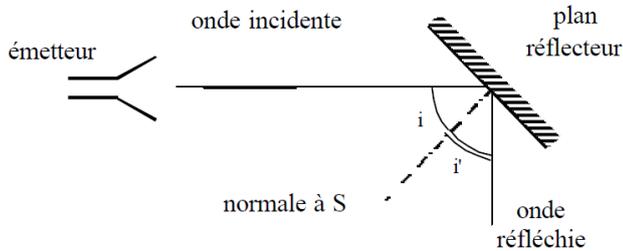


Figure 10 : Dispositif de réflexion des ondes centimétriques

2. Tracez la courbe donnant la tension U image de l'intensité de l'onde mesurée aux bornes du détecteur en fonction de l'angle de rotation du réflecteur i' . Compléter le tableau suivant :

i' en degré	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
U' en V										
i' en degré	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
U' en V										

3. Conclure.

2. Lois de Descartes pour la réfraction :

1. À l'aide d'un demi cylindre de matériau diélectrique déposer sur un support rotatoire muni d'un dispositif de mesure d'angle, relever l'angle d'incidence i de l'onde émise par le cornet émetteur. Relever en parallèle, l'angle de réfraction à l'aide l'antenne réceptrice.

2. Compléter le tableau suivant :

i en degré	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
r en degré										
$\sin i$										
$\sin r$										

3. Tracer $\sin i$ en fonction de $\sin r$ sous regressi.

4. Conclure.

MATERIEL (par table)**Ondes centimétriques (1 poste)**

- 1 diode Gunn émettrice radiofréquence insérée dans son cornet
- Antenne réceptrice
- 1 oscilloscope numérique
- Dispositif de mesure des angles et de distance
- 1 voltmètre
- 2 plaques métalliques de 50 cm de côté
- Grille métallique
- 2 plaques de bois
- 2 plaques d'isolant (plexiglas)
- Prisme diélectrique
- Demi cylindre creux
- Sable
- Paraffine
- 3 supports avec des noix et des pinces.
- Tube métallique
- Pieds et supports identiques aux éléments d'optique
- 1 lampe de poche
- 1 grande règle (1m ou 2m)
- 1 poste informatique