

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ 8 MAI 1945 GUELMA
DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE ET TÉLÉCOMMUNICATIONS



Polycopié de

Travaux Pratiques d'Antennes

M1 Systèmes de Télécommunications

L3 Télécommunications

ABED Djamel

BOUALLEG Ahcene

Année Universitaire

2015-2016

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ 8 MAI 1945 DE GUELMA
DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE ET TÉLÉCOMMUNICATIONS



Polycopié de
Travaux Pratiques d'Antennes

M1 Systèmes de Télécommunications
L3 Télécommunications

ABED Djamel
BOUALLEG Ahcene

Année Universitaire
2015-2016

Préface

Ce polycopié des travaux pratiques d'antennes est à l'intention des étudiants de L3 Télécommunications et M1 Systèmes de Télécommunications de Département d'Electronique et Télécommunications de l'université 8 mai 1945 Guelma.

Les TP comportent différents antennes à caractériser. Pour chaque TP, une étude théorique et une caractérisation pratique doivent être effectuées. Avant d'assister à la séance de TP, chaque étudiant doit préparer sérieusement la partie théorique se rapportant à la manipulation qu'il va effectuer et ce à l'aide du cours, des TD et de ce polycopié. Pendant la manipulation, l'étudiant, assisté par l'enseignant, utilisera ce fascicule pour la réalisation du montage et la caractérisation des antennes. Les résultats obtenus pendant la caractérisation et la partie théorique préparée par chaque étudiant doivent être présentés directement sur le compte-rendu à remettre à la fin de la séance.

Enfin, nous espérons que le présent ouvrage aura le mérite d'être un bon support pédagogique des travaux pratiques d'antennes pour l'enseignant et un document permettant une concrétisation expérimentale pour l'étudiant.

Les auteurs

Table des matières

Partie I : Rappel sur les caractéristiques d'une antenne

1. Introduction	01
2. Les caractéristiques radioélectriques	02
2.1 Impédance d'entrée	02
2.2 Coefficient de Réflexion	02
2.3 Rendement	03
3. Les caractéristiques en rayonnement	04
3.1 Zones de champ	04
3.2 Diagrammes de rayonnement	06
3.3 Notion de lobes	08
3.4 Largeur de lobe à mi-puissance	09
3.5 Directivité	10
3.6 Gain	10
3.7 Polarisation	11

Partie II : Caractérisation des antennes

1. TP1 : Caractérisation d'un dipôle demi-onde	14
2. TP2 : Caractérisation d'un monopôle	21
3. TP3 : Caractérisation d'une antenne Yagi-Uda	25
4. TP4 : Caractérisation d'une antenne Hélicoïdale	30
5. TP5 : Caractérisation d'une antenne imprimée	35

Partie I : Rappel sur les Caractéristiques d'Antennes

Sommaire

I. Introduction	01
II. Les Caractéristiques Radioélectriques	02
II.1 Impédance d'Entrée	02
II.2 Coefficient de Réflexion	03
II.3 Rendement	03
III. Les Caractéristiques en Rayonnement	04
III.1 Zones de Champ	04
III.2 Diagrammes de Rayonnement	06
III.3 Notion de Lobes	08
III.4 Largeur de lobe à mi-puissance	09
III.5 Directivité	10
III.6 Gain	10
III.7 Polarisation	11

I. Introduction :

Une antenne est un dispositif permettant de rayonner (émetteur) ou, de capter (récepteur), les ondes électromagnétiques. Elle convertit les grandeurs électriques existantes dans un conducteur ou une ligne de transmission (tension et courant) en grandeurs électromagnétiques dans l'espace (champ électrique et champ magnétique), ceci en émission et inversement en réception.

L'antenne est un élément fondamental dans un système de Télécommunications, et ses caractéristiques radioélectrique et en rayonnement influencent directement les performances de qualité et de portée du système. Cette partie de polycopié sera dédiée à la présentation des différentes caractéristiques radioélectrique et en rayonnement.

II. Les Caractéristiques Radioélectriques

II.1 Impédance d'entrée

D'un point de vue circuit, l'antenne peut être modélisée comme une impédance complexe $Z_A = R_A + jX_A$. Cette impédance, appelée aussi impédance d'entrée, résulte du rapport entre la tension et le courant aux bornes de l'antenne. Pour des antennes réciproques, c'est-à-dire des antennes constituées de matériaux passifs, cette impédance est identique en mode émission et en mode réception. Elle est influencée par les objets environnants comme des objets métalliques ou d'autres antennes.

La résistance d'entrée R_A , comme toute résistance, représente un terme de dissipation, elle résulte de la mise en série d'une résistance de rayonnement R_R que l'on peut relier à la puissance rayonnée par l'antenne, avec une résistance R_P traduisant les pertes dans l'antenne par effet Joule (Figure I.1)

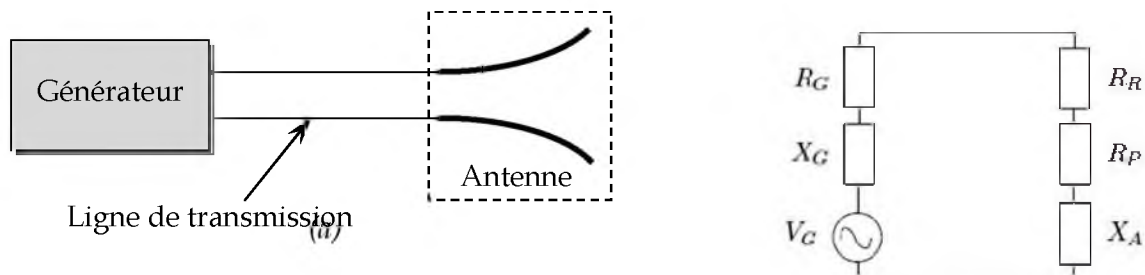


Figure I.1 : Schéma Equivalent d'une Antenne en Emission

L'impédance d'entrée est donnée par l'expression suivante :

$$Z_A = (R_R + R_P) + jX_A \quad (I.1)$$

Si la résistance R_P n'est pas évidente à évaluer, la résistance de rayonnement R_R peut se calculer en considérant l'expression suivante :

$$R_R = 2P_{\text{ray}}/I^2 \quad (I.2)$$

Où I représente l'intensité maximale fournie à l'antenne et P_{ray} la puissance totale rayonnée par cette antenne. La réactance X_A est liée à la puissance réactive stockée au voisinage de l'antenne. Elle n'est donc pas liée au champ électromagnétique rayonné par l'antenne, mais plutôt au champ proche généré par cette dernière. C'est un paramètre très sensible dont le calcul analytique reste difficile.

Pour des raisons d'adaptation d'impédance, il est très important de connaître avec précision l'impédance d'entrée de l'antenne Z_A . Classiquement, le dimensionnement de l'antenne est réalisé de sorte que son impédance d'entrée Z_A soit proche des impédances usuelles des câbles Z_0 et de celle du générateur Z_G . La plupart du temps, on a $Z_0 = Z_G = 50\Omega$.

II.2 Coefficient de Réflexion

La qualité de l'adaptation d'impédance de l'antenne est alors vérifiée en exprimant le coefficient de réflexion en tension au niveau de son entrée :

$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0} \quad (I.3)$$

Où Z_0 représente l'impédance caractéristique du câble qui est connectée à l'antenne. Le coefficient de réflexion Γ est donc un nombre potentiellement complexe (car Z_A peut être complexe) dont le module varie entre 0 et 1. L'adaptation d'impédance est optimale lorsque $\Gamma = 0$, soit $Z_A = Z_0$. Pour mieux appréhender ces phénomènes d'adaptation d'impédance, il convient de regarder le bilan de puissance au niveau de l'accès de l'antenne. Ainsi, d'après la théorie des lignes de transmission on peut écrire :

$$\begin{aligned} P_{Tr} &= P_{in} - P_{ref} \\ &= P_{in} (1 - |\Gamma|^2) \end{aligned} \quad (I.4)$$

avec P_{Tr} la puissance effectivement transmise à l'antenne, P_{in} la puissance incidente aux bornes de l'antenne, c'est-à-dire la puissance fournie par le générateur, et P_{ref} la puissance réfléchi qui vaut par identification :

$$P_{ref} = P_{in} |\Gamma|^2 \quad (I.5)$$

On note qu'une éventuelle désadaptation d'impédance entraîne une réduction de la puissance effectivement transmise à l'antenne. Il est aussi courant d'exprimer la désadaptation sous la forme du rapport d'ondes stationnaires (ROS) :

$$\text{ROS} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (I.6)$$

Cette quantité est donc un nombre réel compris entre 1 et ∞ .

II.3 Rendement

Classiquement, l'énergie que l'on souhaite émettre est fournie à l'antenne sous forme d'un courant électrique alternatif à la fréquence désirée, ce courant est généré au niveau du module de transmission, puis acheminé jusqu'à l'antenne via une ligne de transmission (câble coaxial, guide d'ondes, ligne imprimée, . . . etc.). La mission de l'antenne est de rayonner toute cette énergie en espace libre sans perte.

En réalité, une partie de cette énergie est perdue du fait des pertes :

- dues à une désadaptation d'impédance entre l'antenne et sa ligne d'alimentation
- dues à l'effet Joule dans les matériaux constitutifs de l'antenne

Travaux Pratique d'Antennes

On définit alors le rendement « e » d'une antenne (ou efficacité) comme le rapport entre la puissance effectivement rayonnée par l'antenne P_{ray} (W) et la puissance réellement fournie par le générateur P_{in} (W) :

$$e = \frac{P_{ray}}{P_{in}} \quad (I.7)$$

On peut aussi écrire le rendement global de l'antenne comme :

$$e = e_r e_c e_d \quad (I.8)$$

Où

- e_r : représente la qualité de l'adaptation d'impédance.
- e_c : représente la qualité des conducteurs
- e_d : représente la qualité des diélectriques

Le rendement e_r est en fait fonction du coefficient de réflexion en tension aux bornes de l'antenne :

$$e_r = 1 - |\Gamma|^2 \quad (1.9)$$

Puisqu'il est difficile d'évaluer séparément par la mesure la contribution de chacune de composantes « e_c » et « e_d », ils sont souvent regroupés en un seul terme « e_{cd} » défini comme le rapport entre la résistance de rayonnement R_R et la résistance totale R_A de l'antenne :

$$e_{cd} = \frac{R_R}{R_A} = \frac{R_R}{R_R + R_P} \quad (1.10)$$

III. Les Caractéristiques en Rayonnement

En plus de propriétés électriques, il est primordial de qualifier les propriétés en rayonnement d'une antenne, propriétés qui font d'ailleurs la spécificité de ce composant.

III.1 Champs autour d'une antenne

Une antenne, utilisée en émission, ne crée une onde plane qu'à une certaine distance. On peut distinguer quatre zones dans l'environnement de l'antenne, au fur et à mesure qu'on s'éloigne de celle-ci :

- **Zone de champs réactifs** : Très proche des éléments composant l'antenne, on trouve des champs \vec{E} et des champs H , fonction des tensions et des courants sur ces conducteurs. À proximité d'une tension élevée, on trouvera essentiellement un champ \vec{E} , et à proximité des courants, essentiellement un champ \vec{H} .

- **Zone de Rayleigh** : On trouve une zone où la puissance par unité de surface décroît peu en fonction de la distance, bien que le rapport E/H soit déjà proche de 377 Ohms.
- **Zone de Fresnel** : Au-delà de la zone de Rayleigh, on constate que le rapport E/H s'est équilibré à 377 ohms. Mais on observe des variations importantes des champs, et même des ondulations si l'antenne est de grande dimension. On ne peut pas faire encore de mesure du gain de l'antenne dans cette zone.
- **Zone de Fraunhofer** : Dans cette zone, qui s'étend jusqu'à l'infini, on peut considérer que l'on a une onde plane, les champs décroissent en $1/D$, et on peut mesurer le gain de l'antenne. C'est aussi seulement dans cette zone que le diagramme de rayonnement est valable. Cette zone commence à une distance égale à deux fois le carré de la plus grande dimension perpendiculaire à la direction considérée, divisé par lambda. Cette distance peut être très grande pour les antennes à grand gain.

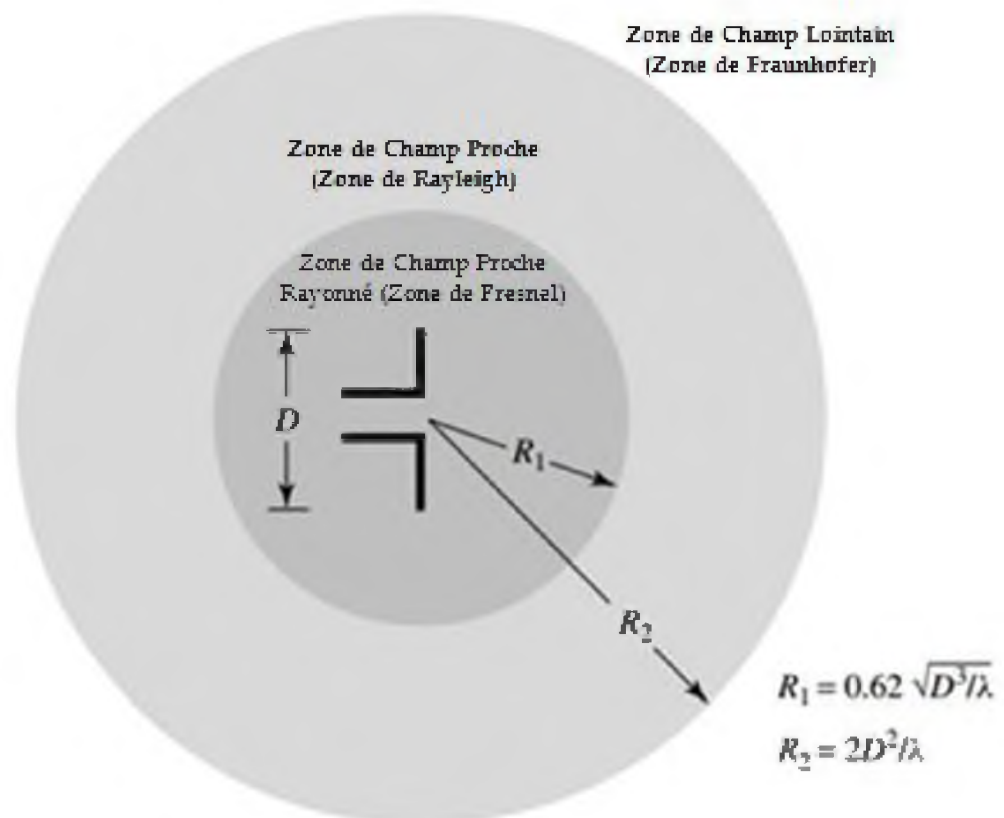
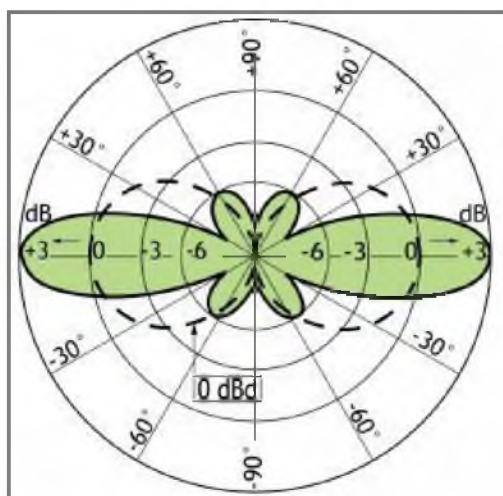


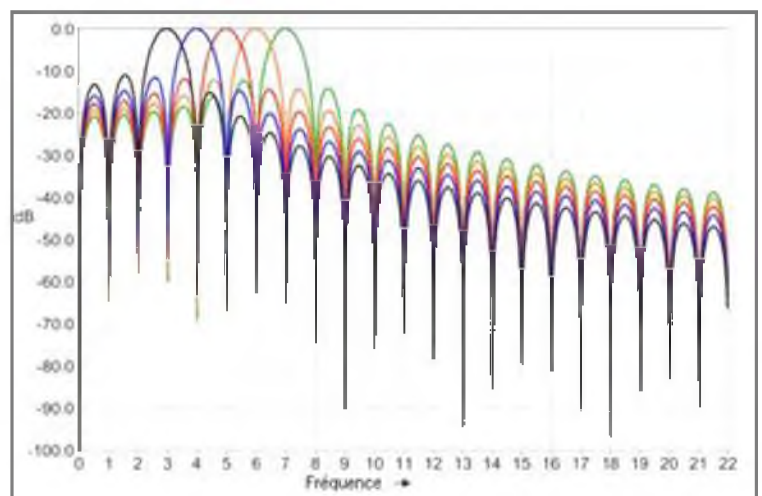
Figure I.2 : Les zones de champs autour d'une antenne

III.2 Diagrammes de rayonnement

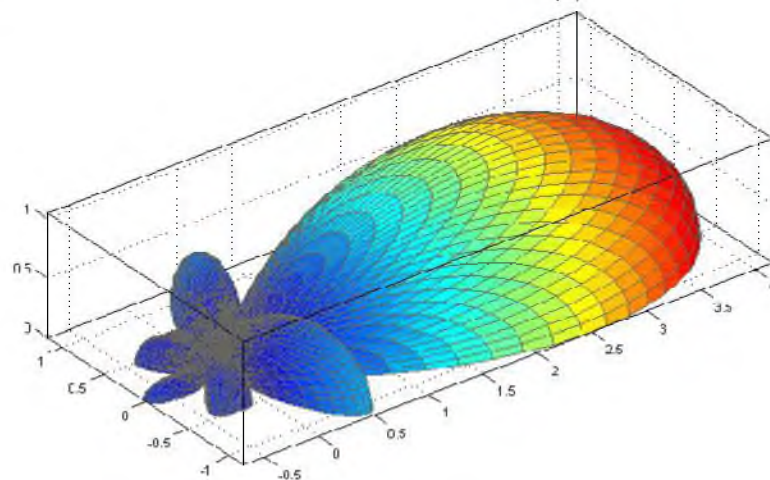
Le diagramme de rayonnement est une représentation graphique 2D ou 3D utilisée pour représenter les caractéristiques du rayonnement électromagnétique d'une antenne en champ lointain (Zone de Fraunhofer). Les systèmes de coordonnées cartésiennes, polaires et sphériques sont utilisés pour exprimer et représenter les différentes composantes du champ électromagnétique. On parle de diagramme en champ lorsque la représentation est relative au champ électrique \vec{E} (ou magnétique \vec{H}) à distance fixe de l'antenne. Il s'agit de vecteurs dont les composantes ont des valeurs complexes.



(a)



(b)



(c)

Figure I.3 : Exemples de diagrammes de rayonnement (a) représentation graphique polaire (b) représentation graphique cartésienne (c) représentation graphique 3D

Selon l'application visée, et à partir du diagramme de rayonnement une antenne peut toujours être classée parmi une de ces trois catégories :

- **Antenne isotrope** : L'antenne isotrope est une antenne qui émet (ou reçoit) uniformément dans toutes les directions de l'espace. En d'autres termes, son diagramme de rayonnement ne privilégie aucune direction (Figure I.4). Il s'agit d'une antenne fictive irréalisable en pratique. En revanche, elle est souvent prise comme référence pour exprimer les propriétés directives d'une antenne réelle.

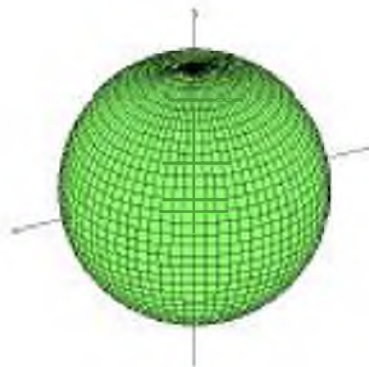


Figure I.4 : Représentation graphique 3D d'un diagramme de rayonnement isotrope

- **Antenne directive** : Une antenne directive est une antenne qui émet (ou reçoit) la majorité de l'énergie dans des directions privilégiées de l'espace (Figure I.5). Les propriétés d'un tel diagramme sont donc la direction du lobe principal, le niveau des lobes secondaires, la position des nuls de rayonnement ainsi que la largeur de lobe à mi-puissance.

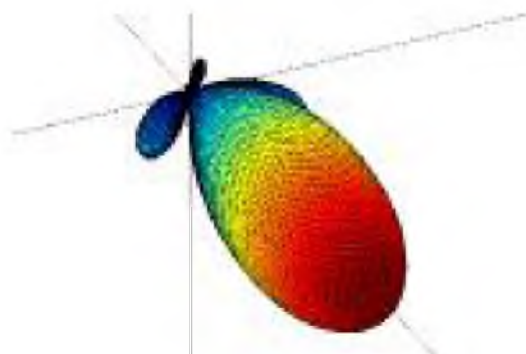


Figure I.5 : Représentation graphique 3D d'un diagramme de rayonnement directive

- **Antenne omnidirectionnelle** : Une antenne omnidirectionnelle est une antenne non directive dans un plan et directive dans n'importe quel plan orthogonal (Figure I.6). Il s'agit d'un cas particulier de l'antenne directive.

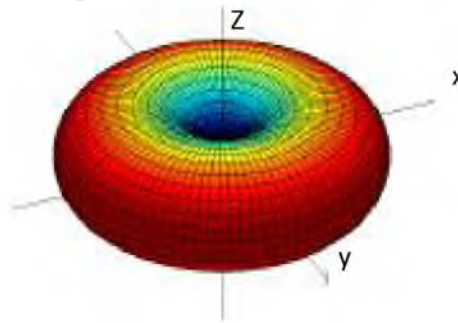


Figure I.6 : Représentation graphique 3D d'un diagramme de rayonnement omnidirectionnelle

III.3 Notion de lobes de rayonnement

Différents termes sont utilisés pour qualifier les propriétés d'un diagramme de rayonnement. On parle de lobe pour une portion du diagramme bornée par des directions de l'espace où le rayonnement électromagnétique est très faible ou nul. Pour ces directions de rayonnement nul, on parle de nuls ou de zéros de rayonnement. Le lobe inclut la direction de rayonnement maximal est appelé lobe principal. Les lobes secondaires sont des maxima locaux généralement néfastes aux performances du système. Ils peuvent générer des interférences lorsque l'antenne est utilisée en mode réception, ou perdre de l'énergie et donc brouiller d'autres systèmes lorsque l'antenne est utilisée en mode transmission.

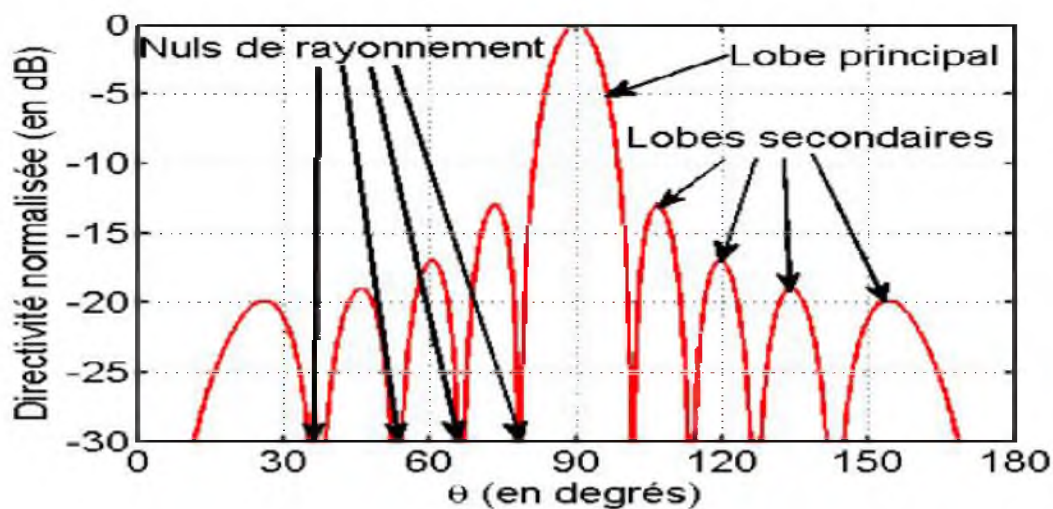


Figure I.7 : Diagramme de rayonnement 2D en coordonnées cartésiennes

III.4 Largeur de lobe à mi-puissance

La largeur de lobe à mi-puissance (on parle aussi de largeur de lobe à -3 dB) quantifie la résolution angulaire du lobe principal dans un plan. Selon le repère utilisé et le plan de coupe considéré, on obtient alors une valeur pour $\theta - 3dB$ ou $\varphi - 3dB$. En pratique, ce calcul revient dans un premier temps à chercher les angles (généralement deux solutions) qui vérifient la condition suivante :

$$\frac{p(\theta, \phi)}{p_{max}} = \frac{1}{2}$$

pour un angle θ ou ϕ fixé, ou encore lorsqu'il s'agit d'un diagramme en champ :

$$\frac{E_{\theta,ou\phi}(\theta, \phi)}{E_{\theta,ou\phi max}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

puisque'en champ lointain la densité de puissance est proportionnelle au carré du champ électrique. En décibels, cela revient à rechercher les points pour lesquels le niveau de rayonnement est inférieur de 3 dB au maximum de rayonnement :

$$10 \log_{10} \frac{p(\theta, \phi)}{p_{max}} = -3dB$$

Comme le montre la Figure I.8, la largeur de lobe à mi-puissance correspond finalement à l'angle formé par les deux points.

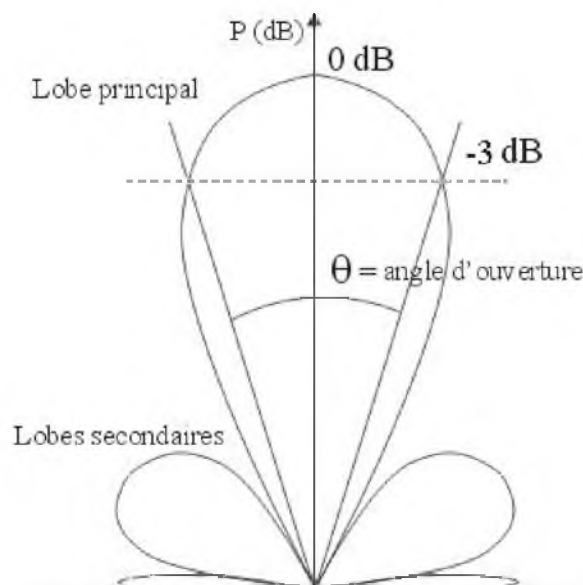


Figure I.8 : L'angle d'ouverture (Largeur de lobe à mi-puissance)

III.5 Directivité

Si l'on considère une antenne rayonnant une densité de puissance en champ lointain $p(r, \theta, \varphi)$, l'expression de sa directivité est donnée par :

$$D_{\theta, \varphi} = \frac{p(r, \theta, \varphi)}{p_{iso}(r)}$$

Où $p_{iso}(r)$ est la densité de puissance en champ lointain émise par une antenne isotrope fictive qui rayonnerait la même puissance p_{ray} que celle rayonnée par l'antenne considérée, soit :

$$p_{iso}(r) = \frac{p_{ray}}{4\pi r^2}$$

En développant tous les termes, on peut écrire :

$$D_{\theta, \varphi} = \frac{p(r, \theta, \varphi)}{\frac{p_{ray}}{4\pi r^2}} = \frac{4\pi r^2 p(r, \theta, \varphi)}{\int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} p(r, \theta, \varphi) r^2 \sin\theta d\theta d\phi}$$

La directivité $D(\theta, \varphi)$ résulte du rapport entre deux densités de puissance rayonnée $p(r, \theta, \varphi)$ et $p_{iso}(r)$. C'est donc une quantité sans dimension et indépendante de la distance en champ lointain. La directivité d'une antenne décrit en pratique la répartition angulaire de l'énergie rayonnée, et donc les directions privilégiées de rayonnement vis-à-vis d'une antenne isotrope. Ainsi, des valeurs de directivité supérieures à 1 indiquent des directions favorisées où l'antenne concentre son rayonnement vis-à-vis d'une antenne isotrope. Néanmoins, une antenne reste un composant passif. Si elle peut concentrer le rayonnement dans certaines directions privilégiées et ainsi maximiser localement sa directivité, la valeur moyenne de cette dernière reste forcément égale à 1. La directivité est la plupart du temps donnée en décibels ($10 \log_{10}(D(\theta, \varphi))$).

III.6 Gain

Le gain $G(\theta, \varphi)$ se différencie de la directivité par la prise en compte des pertes du système antennaire (pertes par effet Joule, par désadaptation d'impédance, . . .). Le gain de l'antenne est alors donné par la relation suivante :

$$G_{\theta, \varphi} = eD(\theta, \varphi)$$

Où « e » représente le rendement de l'antenne. Cette quantité est, comme la directivité, sans dimension et souvent exprimé en décibels. Pour une antenne adaptée et sans pertes, le gain est parfaitement égal à la directivité.

III.7 Polarisation

La polarisation d'une onde électromagnétique caractérise la variation en un point de l'espace de l'amplitude et de la direction du vecteur champ électrique, ceci en fonction du temps. En d'autres termes, elle caractérise le comportement de l'extrémité du vecteur champ électrique en fonction du temps. On parle abusivement de la polarisation d'une antenne alors qu'il s'agit en fait de la polarisation de l'onde émise par cette antenne. La connaissance de cette polarisation d'antenne est très importante car une antenne ne peut émettre et recevoir de manière optimale qu'une certaine polarisation. Ainsi, si la polarisation de l'antenne de réception n'est pas en accord avec celle de l'onde incidente, la puissance reçue n'est pas maximale. On parle alors de pertes par dépolarisation qui sont liées à la nature vectorielle des champs électromagnétiques.

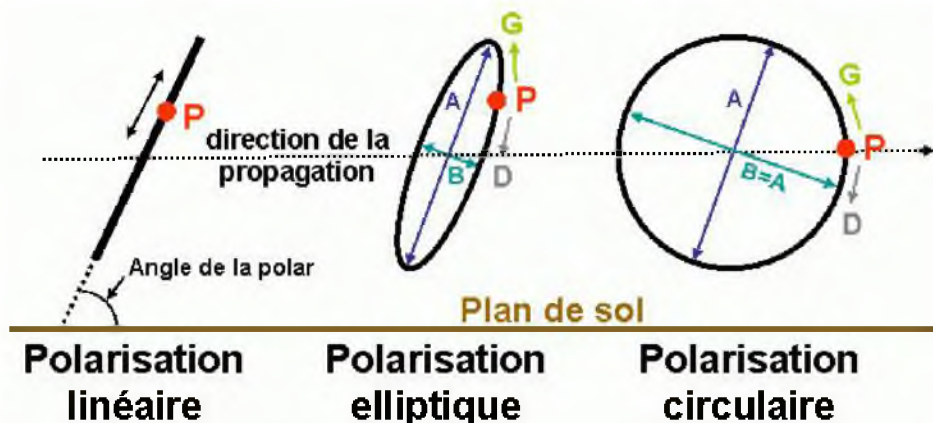


Figure I.9 : Les différents types de polarisation selon l'orientation du vecteur de champ E

Partie II : Caractérisation des Antennes

1. TP1 : Caractérisation d'un dipôle demi-onde	14
2. TP2 : Caractérisation d'un monopôle	21
3. TP3 : Caractérisation d'une antenne Yagi-Uda	25
4. TP4 : Caractérisation d'une antenne Hélicoïdale	30
5. TP5 : Caractérisation d'une antenne Patch	35

Introduction

Une antenne filaire est généralement constituée d'un ou plusieurs brins métalliques qui peuvent être droits ou courbes. Les premières antennes étudiées et réalisées ont été les antennes filaires. Elles ont l'avantage d'être très simples à réaliser. De plus, elles sont peu coûteuses, c'est pourquoi on les retrouve encore dans de nombreuses applications.

Cette partie est consacrée à la présentation et la caractérisation des antennes filaires de type :

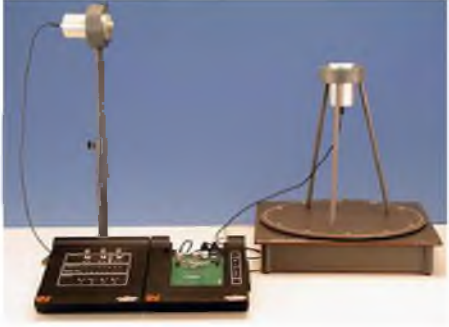





- Dipôle Demi-onde
- Monopôle
- Yagi-Uda
- Hélicoïdale

En suite la caractérisation d'une antenne imprimée (patch) de forme rectangulaire.

Travaux Pratique d'Antennes

Matériel nécessaire

Le tableau ci-dessous montre le matériel nécessaire pour la réalisation des travaux pratique concernant la caractérisation des antennes de type : Dipôle, Monopôle, Yagi-Uda, Hélicoïdale et Patch rectangulaire.

 <p>Antenne microstrip</p>	
 <p>Antenne Dipôle pleine onde</p>	
 <p>Antenne Monopôle</p>	 <p>Antenne Hélicoïdale</p>
 <p>Antenne Yagi-Uda</p>	 <p>Adaptateur SMA-N pour la connexion des antennes à l'émetteur</p>
 <p>Antenne Patch</p>	 <p>Ligne pour changement du sens de polarisation</p>

TP1 : Caractérisation d'un Dipôle Demi-onde

1 Objectif du TP

L'antenne dipolaire, élaborée par Heinrich Rudolph Hertz vers 1886, est une antenne constituée de deux brins métalliques, alimentée en son milieu et destinée à transmettre ou recevoir de l'énergie électromagnétique. L'objectif de ce TP est la caractérisation de cette antenne.

2 Partie Théorique (à préparer à l'avance)

1. Présentation de l'antenne dipôle/dipôle demi-onde
2. Etude analytique de l'antenne dipôle demi-onde (Rayonnement, Gain,...)

3 Partie Pratique

Assemblage de Récepteur :

Le récepteur de mesure se compose du LNC SO4100-8A et de l'antenne réceptrice « microstrip SO4100-8N ».

- Assemblez les deux éléments à l'aide du connecteur N.
- Enfichez maintenant le récepteur de mesure dans l'anneau de fixation du support d'antenne pour le récepteur de mesure SO4100-8E.
- Tournez le récepteur de mesure avec l'antenne microstrip de manière à ce que les dipôles visibles de l'antenne soient à l'horizontale.
- Orientez le support avec le récepteur de mesure vers l'émetteur sur la plate-forme tournante.



Assemblage de l'Émetteur

L'émetteur se compose de circuit DRO et de l'antenne émettrice « Dipôle Demi-Onde ».

- Assemblez les deux éléments à l'aide du connecteur N.
- Orientez le support avec l'émetteur sur la plate-forme tournante vers le récepteur



Orientation des Antennes

- Les antennes doivent être centrées en hauteur.
- L'émetteur doit toujours être à env. **0,5-0,8 m** du récepteur, quel que soit l'essai.

Position de la Plate-forme Tournante

- Faites coïncider le **0°** de l'échelle en degrés de la plate-forme tournante avec la marque en face du récepteur de mesure.
- Pour se faire ouvrez le **positionneur d'antenne** par le biais du menu « **Instruments** ».

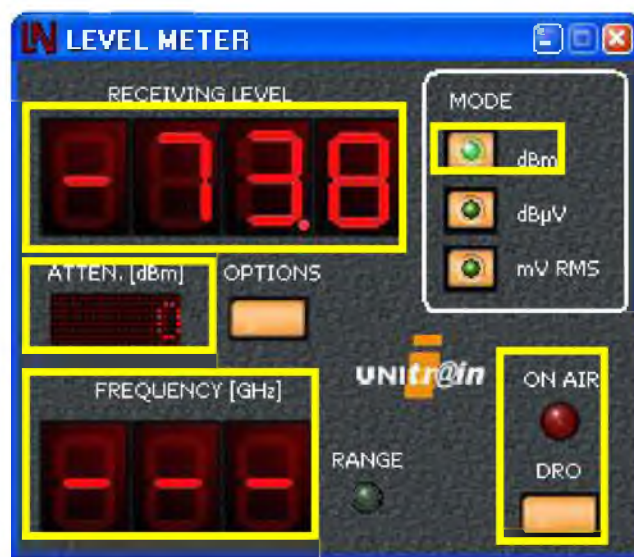


Branchement/Câblage

- Branchez maintenant le câble de connexion SMA au LNC et à l'interface de mesure.
- Vérifiez impérativement que tous les composants (DRO, antennes et interface) fonctionnent à la même fréquence.
- Toutes les connexions par vissage via les connecteurs N ou SMA doivent être bien serrées (à la main, sans outil). Des connexions lâches ou branlantes occasionneront des perturbations ou fausseront les résultats de mesure.

Niveau de puissance

- Ouvrez l'indicateur de niveau par le biais du menu « Instruments ». La figure ci-contre représente l'instrument virtuel « Indicateur de niveau » :
- Gamme de mesure = dBm
- Atténuation [dBm] = 0
- Bouton DRO positionné sur « off » (signalisation de la connexion par la LED « ON AIR »)
- Lorsque le DRO en bande X (émetteur) n'est pas connecté, vous devriez pouvoir relever une valeur d'environ -73 dBm sur l'indicateur de niveau.
- Aucune valeur (---) ne doit apparaître sur l'afficheur de fréquence.



- Connectez maintenant le DRO en cliquant avec la souris sur le bouton DRO de l'indicateur de niveau.
 - L'indicateur de niveau affiche la valeur : dBm
 - Le fréquencemètre affiche la valeur : GHz
- Ré-déconnectez l'émetteur et branchez l'indicateur de niveau.




NB : Avant de vous lancer dans le relevé du diagramme de rayonnement, vérifiez la position du câble vers l'émetteur sur la plate-forme tournante. Il doit être libre et permettre à la plate-forme de faire un demi-tour à gauche puis à droite sans s'accrocher nulle ne part.

Diagramme de Rayonnement en Co-polarisation Horizontale

L'objectif de cette section de TP est de relever le diagramme de rayonnement de l'antenne dipôle demi-onde en **co-polarisation** pour le plan horizontal en représentations polaire et cartésienne. La figure ci-dessous montre le montage nécessaire pour la mesure de diagramme de rayonnement en co-polarisation, plan horizontal.



1 Représentation Polaire :

- Relevez le diagramme de rayonnement polaire pour le plan horizontal !
- Pour ce faire, **ouvrez l'instrument** « Diagramme de rayonnement polaire ». 
- Sélectionnez le plan horizontal. 
- Cliquez sur l'écran avec le **bouton droit de la souris** et ouvrez le point de menu « Propriétés » du menu contextuel.
- Sélectionnez « Affichage » puis « Niveau en dBm ».
- Adaptez l'échelle pour la mesure en dBm. Inscrivez **-60 dBm** comme valeur minimale et **-20 dBm** comme valeur maximale.
- Terminez la configuration en validant avec le bouton « OK ».
- Cliquez sur le bouton de lancement. 
- Attendez que la mesure soit terminée.
- Le relevé du diagramme de rayonnement s'effectue entièrement automatiquement.
- La plate-forme avec l'antenne qui fait l'objet de la mesure est d'abord tournée sur -180° . L'émetteur se connecte et la mesure du diagramme de rayonnement a alors lieu jusqu'à $+180^\circ$.
- Une fois la mesure achevée, la plate-forme s'immobilise, l'émetteur est déconnecté et l'antenne repositionnée sur 0° . Pendant ce temps-là, les données sont transférées au PC.
- Les valeurs mesurées apparaissent dans votre diagramme de rayonnement.
- Copiez le résultat dans un fichier Word,
- Nommer la figure « Fig.1 Dipôle/Plan Horizontal /Polaire »

1 Représentation Cartésienne :




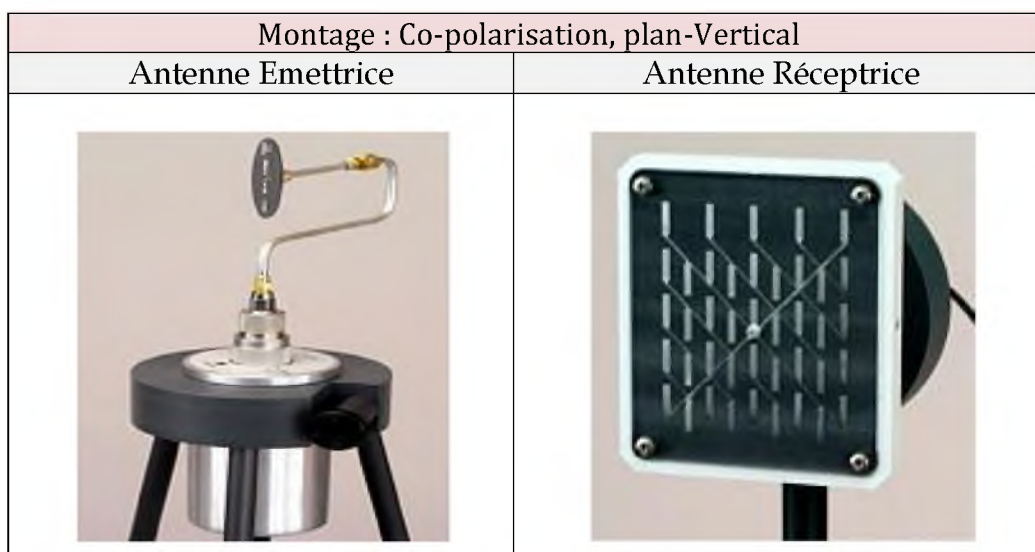
- Relevez le diagramme de rayonnement cartésien pour le plan horizontal !
- Pour ce faire, ouvrez l'instrument « Diagramme de rayonnement cartésien ». 
- Sélectionnez le plan horizontal. 
- Le diagramme de rayonnement issu de la dernière mesure est affiché dans le système de coordonnées cartésiennes.
- Pour mesurer les paramètres, veuillez cliquer une fois sur l'icône  correspondant de la barre d'outils. Les paramètres sont alors affichés du côté gauche, accompagnés de quatre lignes repères que vous pouvez déplacer avec la souris.
- Pour commencer, placez la ligne repère P1 (niveau de réception) sur le **maximum en direction 0°**.
- Continuez ensuite en appliquant la ligne repère P2 sur le **niveau inférieur à 3 dBm**. Il apparaît à gauche sur l'affichage **P2 - P1 = -3 dBm**.
- Déterminez à présent l'angle d'ouverture de l'antenne. Pour ce faire, utilisez les lignes repères $\Phi 1$ et $\Phi 2$.
- Mesurez l'angle d'ouverture **$\Phi 2 - \Phi 1$**
- Copiez le résultat dans le fichier Word,
- Nommez la figure « Fig.2 Dipôle/Plan Horizontal/cartésienne ».

Diagramme de Rayonnement en Co-polarisation Verticale

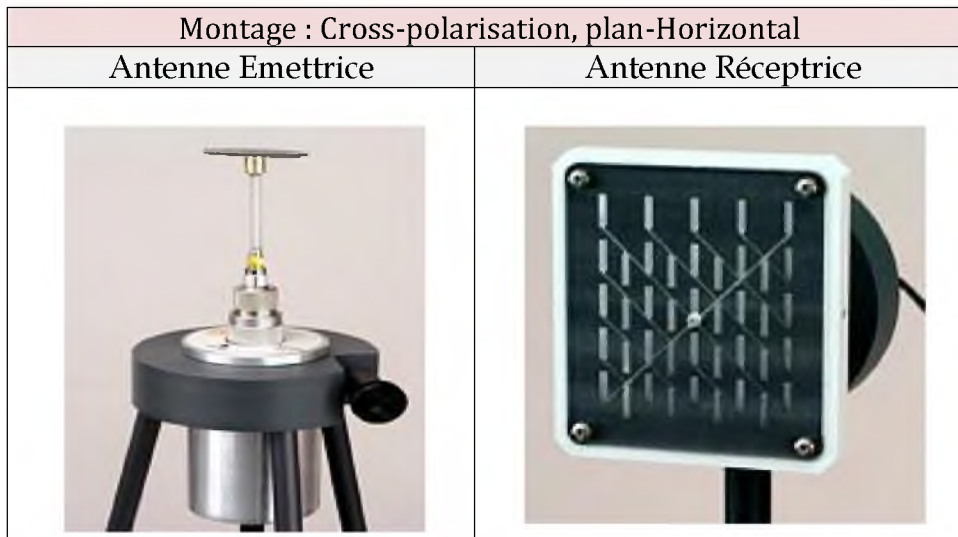
L'objectif de cette section est de relever le diagramme de rayonnement de l'antenne dipôle demi-onde en **co-polarisation** pour le plan verticale en représentations polaire et cartésienne. Pour ce faire, vous devez tourner le plan de polarisation de l'antenne à mesurer à l'aide de **la ligne additionnelle** pour le changement du sens de polarisation. La figure ci-dessous montre le montage nécessaire pour la mesure de diagramme de rayonnement en co-polarisation, plan vertical.



- Répéter les mêmes étapes précédentes (pour le plan horizontal) afin de trouver le diagramme de rayonnement dans le plan vertical en coordonné polaire et cartésien.

Diagramme de Rayonnement en Cross-polarisation

Cette partie de TP est réservée à la mesure du diagramme de rayonnement de l'antenne dipôle demi-onde en **cross-polarisation** en représentations polaire et cartésienne. Les figures ci-dessous montrent les montages possibles pour la mesure de diagrammes de rayonnement en cross-polarisation.



- Répéter les mêmes étapes précédentes (pour le plan horizontal) afin de trouver le diagramme de rayonnement dans le plan vertical en coordonné polaire et cartésien.
- Comparer les résultats analytiques (théoriques) avec ceux obtenus par mesure.
- Conclure.

Pr. Heinrich Rudolf Hertz

Professeur **Heinrich Rudolf Hertz** né le 22 février 1857 à Hambourg et mort le 1^{er} janvier 1894 à Bonn, est un ingénieur et physicien allemand renommé pour avoir découvert les ondes hertziennes auxquelles il a donné son nom.



Fils de David Gustav Hertz, écrivain et sénateur, et d'Anna Elisabeth Pfefferkorn-Hertz, il étudie à l'école du Docteur Richard Lange de 1863 à 1872. Ayant étudié auprès de précepteurs, il devient bachelier en 1875. Il se rend alors à Francfort pour y travailler un an au service des Travaux publics.

- En 1877 il est étudiant à l'Institut polytechnique de Dresde avant de s'inscrire en 1878 à l'Université de Munich. Entre-temps il effectue son service militaire à Berlin.
- En 1879, il est l'élève de Gustav Kirchhoff et Hermann von Helmholtz à l'Institut de physique de Berlin. Il devient maître de conférences à l'université de Kiel en 1883 où il effectue des recherches sur l'électromagnétisme.
- En 1885, il est professeur à l'École polytechnique de Karlsruhe et se marie l'année suivante. Il travaille par la suite sur les théories de Maxwell, Weber et Helmholtz. En 1887 il réalise un oscillateur. Le 15 mars 1888, il découvre les ondes électromagnétiques dans l'air. À la suite de sa découverte sur les ondes hertziennes, Hertz la présenta devant une assemblée d'étudiants. À la question de l'un d'entre eux qui lui demandait s'il y aurait des applications de ces ondes, Hertz répondit qu'il n'y en aurait aucune.
- À partir de 1889, il est professeur et chercheur à Bonn et en 1890 il est lauréat de la Médaille Rumford. Il décède le 1^{er} janvier 1894 à Bonn et est enterré au cimetière juif d'Hambourg.
- Après sa mort, le physicien italien Guglielmo Marconi en 1895 à la Villa Griffone près de Bologne puis à Salvan dans les Alpes suisses, reprenant les travaux de Hertz, améliora le télégramme en fabriquant le premier télégraphe sans fil. Ce procédé sera constamment amélioré jusqu'à la téléphonie mobile d'aujourd'hui, ainsi que la majorité des télétransmissions sans fil actuelles.

TP2 : Caractérisation d'une Antenne Monopôle

1 Objectif du TP

L'objectif de ce TP est la caractérisation de L'antenne monopole demi-onde. Théoriquement elle est constituée d'un brin placé au-dessus d'un réflecteur de dimension infinie. En pratique, un fouet quart d'ondes placé au-dessus d'un plan métallique de grande dimension (par rapport à la longueur d'ondes, 2 à 3λ).

2 Partie Théorique (à préparer à l'avance)

1. Présentation de l'antenne Monopôle
2. Etude analytique de l'antenne Monopôle (Rayonnement, Gain,...)

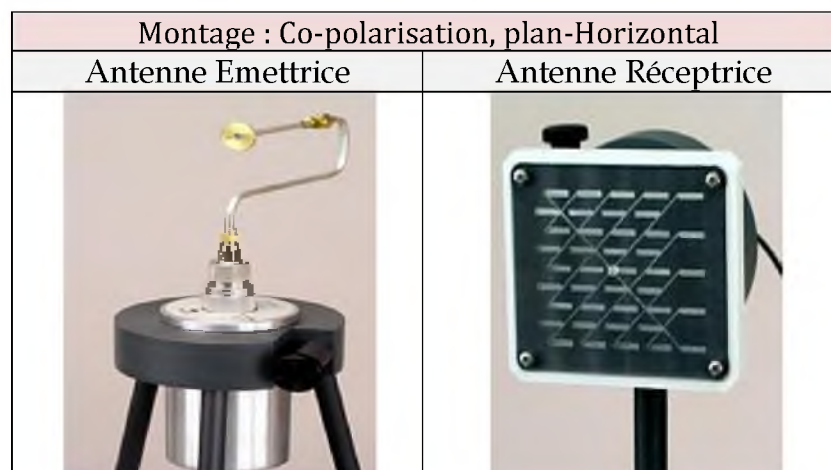
3 Partie Pratique

Avant de lancer les mesures de diagramme de rayonnement, répéter les mêmes étapes de TP1 pour :




1. Assemblage de l'émetteur/récepteur
2. Orientation des Antennes
3. Position de la Plate-forme Tournante
4. Branchement/Câblage ...etc.

Diagramme de Rayonnement en Co-polarisation Horizontale




Relever le diagramme de rayonnement de l'antenne Monopole en **co-polarisation** pour le plan horizontal en représentations polaire et cartésienne. Pour ce faire, vous devez tourner le plan de polarisation de l'antenne à mesurer à l'aide de **la ligne additionnelle** (figure ci-dessous).



1 Représentation Polaire :

- Relevez le diagramme de rayonnement polaire pour le plan horizontal !
- Pour ce faire, ouvrez l'instrument « Diagramme de rayonnement polaire ». 
- Sélectionnez le plan horizontal. 
- Cliquez sur l'écran avec le bouton droit de la souris et ouvrez le point de menu « Propriétés » du menu contextuel.
- Sélectionnez « Affichage » puis « Niveau en dBm ».
- Adaptez l'échelle pour la mesure en dBm. Inscrivez - 60 dBm comme valeur minimale et - 20 dBm comme valeur maximale.
- Terminez la configuration en validant avec le bouton « OK ».
- Cliquez sur le bouton de lancement. 
- Attendez que la mesure soit terminée.
- Le relevé du diagramme de rayonnement s'effectue entièrement automatiquement.
- La plate-forme avec l'antenne qui fait l'objet de la mesure est d'abord tournée sur -180°. L'émetteur se connecte et la mesure du diagramme de rayonnement a alors lieu jusqu'à +180°.
- Une fois la mesure achevée, la plate-forme s'immobilise, l'émetteur est déconnecté et l'antenne repositionnée sur 0°. Pendant ce temps-là, les données sont transférées au PC.
- Les valeurs mesurées apparaissent dans votre diagramme de rayonnement.
- Copiez le résultat dans un fichier Word,
- Nommer la figure « Fig.1 Monopole/Plan Horizontal /Polaire »

1 Représentation Cartésienne :

- Relevez maintenant le diagramme de rayonnement cartésien pour le plan horizontal !
- Pour ce faire, ouvrez l'instrument « Diagramme de rayonnement cartésien ». 
- Sélectionnez le plan horizontal. 
- Le diagramme de rayonnement issu de la dernière mesure est affiché dans le système de coordonnées cartésiennes.
- Pour mesurer les paramètres, veuillez cliquer une fois sur l'icône  correspondant de la barre d'outils. Les paramètres sont alors affichés du côté gauche, accompagnés de quatre lignes repères que vous pouvez déplacer avec la souris.
- Pour commencer, placez la ligne repère P1 (niveau de réception) sur le **maximum en direction 0°**.
- Continuez ensuite en appliquant la ligne repère P2 sur le **niveau inférieur à 3 dBm**. Il apparaît à gauche sur l'affichage **P2 - P1 = -3 dBm**.
- Déterminez à présent l'angle d'ouverture de l'antenne. Pour ce faire, utilisez les lignes repères $\Phi 1$ et $\Phi 2$.
- Mesurez l'angle d'ouverture **$\Phi 2 - \Phi 1$**
- Copiez le résultat dans le fichier Word,
- Nommer la figure « Fig.2 Monopole/Plan Horizontal/cartésienne».

Travaux Pratique d'Antennes

Diagramme de Rayonnement en Co-polarisation Verticale

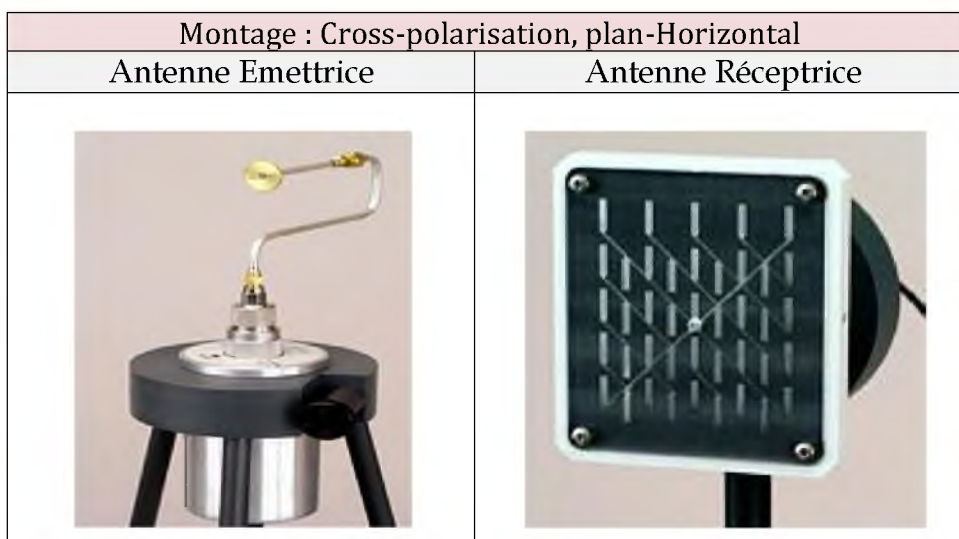
Relever le diagramme de rayonnement de l'antenne monopole en **co-polarisation** pour le plan verticale en représentations polaire et cartésienne. La figure ci-dessous montre le montage nécessaire pour la mesure de diagramme de rayonnement en co-polarisation, plan vertical.





- Répéter les mêmes étapes précédentes (pour le plan horizontal) afin de trouver le diagramme de rayonnement dans le plan vertical en coordonné polaire et cartésien.

Diagramme de Rayonnement en Cross-polarisation

Cette partie de TP est réservée à la mesure du diagramme de rayonnement de l'antenne monopole en **cross-polarisation** en représentations polaire et cartésienne. Les figures ci-dessous montrent les montages possibles pour la mesure de diagrammes de rayonnement en cross-polarisation.



Montage : Cross-polarisation, plan-Vertical	
Antenne Emettrice	Antenne Réceptrice
	

- Répéter les mêmes étapes précédentes (pour le plan horizontal) afin de trouver le diagramme de rayonnement dans le plan vertical en coordonné polaire et cartésien.
- Comparer les résultats analytiques (théoriques) avec ceux obtenus par mesure.
- Faites une comparaison entre l'antenne monopole et l'antenne dipôle.
- Conclure.

TP3 : Caractérisation de l'Antenne Yagi-Uda

1 Objectif du TP

L'antenne Yagi-Uda, élaborée par Hidetsugu Yagi et Shintaro Uda en 1926 au Japon, cette antenne est installée dans des millions de résidences de par le monde, servant à la réception des ondes radio et de télévision. L'objectif de ce TP est la mesure de diagramme de rayonnement de cette antenne.

2 Partie Théorique (à préparer à l'avance)

1. Présentation de l'antenne Yagi-Uda à 3, 5, 8, et 12 éléments
2. Etude analytique de l'antenne Yagi-Uda (Rayonnement, Gain,...)

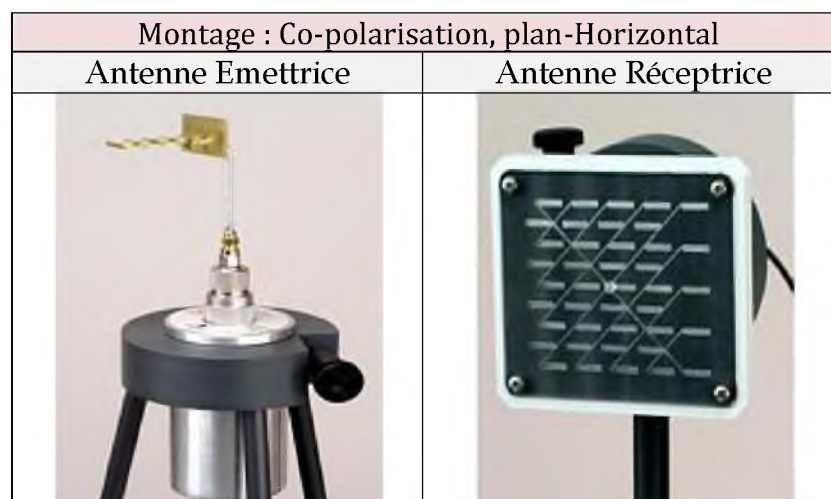
3 Partie Pratique

Avant de lancer les mesures de diagramme de rayonnement, répéter les mêmes étapes de TP1 pour :




1. Assemblage de l'émetteur/récepteur
2. Orientation des Antennes
3. Position de la Plate-forme Tournante
4. Branchement/Câblage ...etc.

Diagramme de Rayonnement en Co-polarisation Horizontale




Relever le diagramme de rayonnement de l'antenne Yagi-Uda en co-polarisation pour le plan horizontal en représentations polaire et cartésienne



1 Représentation Polaire :

- Relevez le diagramme de rayonnement polaire pour le plan horizontal !
- Pour ce faire, ouvrez l'instrument « Diagramme de rayonnement polaire ». 
- Sélectionnez le plan horizontal. 
- Cliquez sur l'écran avec le bouton droit de la souris et ouvrez le point de menu « Propriétés » du menu contextuel.
- Sélectionnez « Affichage » puis « Niveau en dBm ».
- Adaptez l'échelle pour la mesure en dBm. Inscrivez - 60 dBm comme valeur minimale et - 20 dBm comme valeur maximale.
- Terminez la configuration en validant avec le bouton « OK ».
- Cliquez sur le bouton de lancement. 
- Attendez que la mesure soit terminée.
- Le relevé du diagramme de rayonnement s'effectue entièrement automatiquement.
- La plate-forme avec l'antenne qui fait l'objet de la mesure est d'abord tournée sur -180°. L'émetteur se connecte et la mesure du diagramme de rayonnement a alors lieu jusqu'à +180°.
- Une fois la mesure achevée, la plate-forme s'immobilise, l'émetteur est déconnecté et l'antenne repositionnée sur 0°. Pendant ce temps-là, les données sont transférées au PC.
- Les valeurs mesurées apparaissent dans votre diagramme de rayonnement.
- Copiez le résultat dans un fichier Word,
- Nommer la figure « Fig.1 Yagi-Uda/Plan Horizontal /Polaire »

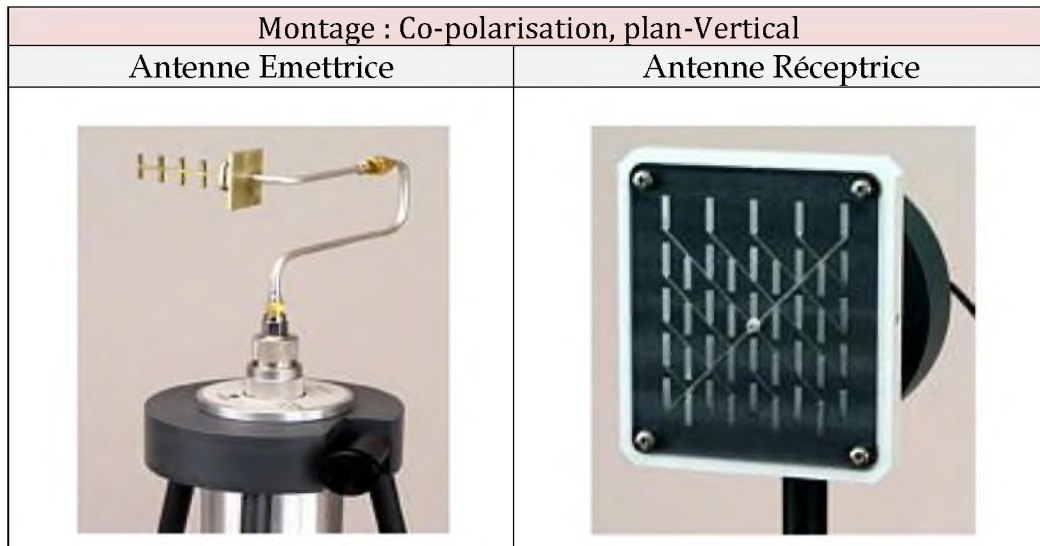
1 Représentation Cartésienne :

- Relevez maintenant le diagramme de rayonnement cartésien pour le plan horizontal !
- Pour ce faire, ouvrez l'instrument « Diagramme de rayonnement cartésien ». 
- Sélectionnez le plan horizontal. 
- Le diagramme de rayonnement issu de la dernière mesure est affiché dans le système de coordonnées cartésiennes.
- Pour mesurer les paramètres, veuillez cliquer une fois sur l'icône  correspondant de la barre d'outils. Les paramètres sont alors affichés du côté gauche, accompagnés de quatre lignes repères que vous pouvez déplacer avec la souris.
- Pour commencer, placez la ligne repère P1 (niveau de réception) sur le **maximum en direction 0°**.
- Continuez ensuite en appliquant la ligne repère P2 sur le **niveau inférieur à 3 dBm**. Il apparaît à gauche sur l'affichage **P2 - P1 = -3 dBm**.
- Déterminez à présent l'angle d'ouverture de l'antenne. Pour ce faire, utilisez les lignes repères $\Phi 1$ et $\Phi 2$.
- Mesurez l'angle d'ouverture $\Phi 2 - \Phi 1$
- Copiez le résultat dans le fichier Word,
- Nommer la figure « Fig.2 Yagi-Uda/Plan Horizontal/cartésienne».

Travaux Pratique d'Antennes

Diagramme de Rayonnement en Co-polarisation Verticale

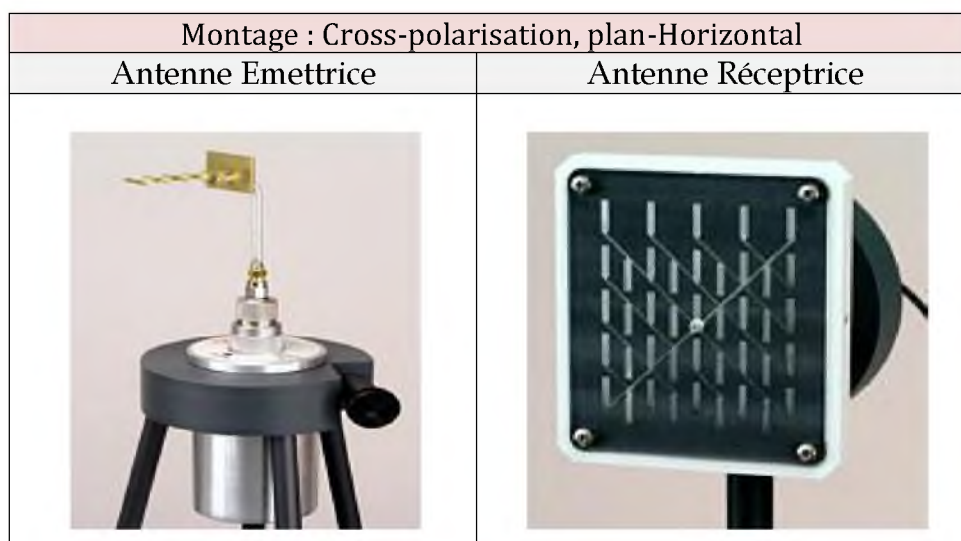
Relever le diagramme de rayonnement de l'antenne Yagi-Uda en co-polarisation pour le plan verticale en représentations polaire et cartésienne. La figure ci-dessous montre le montage nécessaire pour la mesure de diagramme de rayonnement en co-polarisation, plan vertical.





- Répéter les mêmes étapes précédentes (pour le plan horizontal) afin de trouver le diagramme de rayonnement dans le plan vertical en coordonné polaire et cartésien.

Diagramme de Rayonnement en Cross-polarisation

Cette partie de TP3 est réservée à la mesure du diagramme de rayonnement de l'antenne Yagi-Uda en cross-polarisation en représentations polaire et cartésienne. Les figures ci-dessous montrent les montages possibles pour la mesure de diagrammes de rayonnement en cross-polarisation.



Montage : Cross-polarisation, plan-Vertical	
Antenne Emettrice	Antenne Réceptrice
	

- Répéter les mêmes étapes précédentes (pour le plan horizontal) afin de trouver le diagramme de rayonnement dans le plan vertical en coordonnées polaire et cartésien.
- Comparer les résultats analytiques (théoriques) avec ceux obtenus par mesure.
- Faites une comparaison entre l'antenne monopole, l'antenne dipôle et l'antenne Yagi-Uda.
- Conclure.

Hidetsugu Yagi

Hidetsugu Yagi (28 janvier 1886 à Osaka, Japon - 19 janvier 1976) est un ingénieur électricien japonais.

Travaillant à l'université du Tōhoku, il rédige plusieurs articles en anglais qui introduisent les principes d'un nouveau type d'antenne mis au point par son collègue Shintarō Uda.



Shintaro Uda

Shintaro Uda (June 1, 1896 - August 18, 1976), est un professeur de Tohoku University, il est le deuxième inventeur de l'antenne Yagi-Uda en 1926 avec le professeur Hidetsugu Yagi.



TP4 : Caractérisation de l'Antenne Hélicoïdale

1 Objectif du TP

L'objectif de ce TP est la caractérisation de l'antenne hélicoïdale. Cette antenne a été décrite pour la première fois en 1947 par John Daniel Kraus, un radioamateur américain.

2 Partie Théorique (à préparer à l'avance)

3. Présentation de l'antenne hélicoïdale
4. Etude analytique de l'antenne hélicoïdale (Rayonnement, Gain,...)

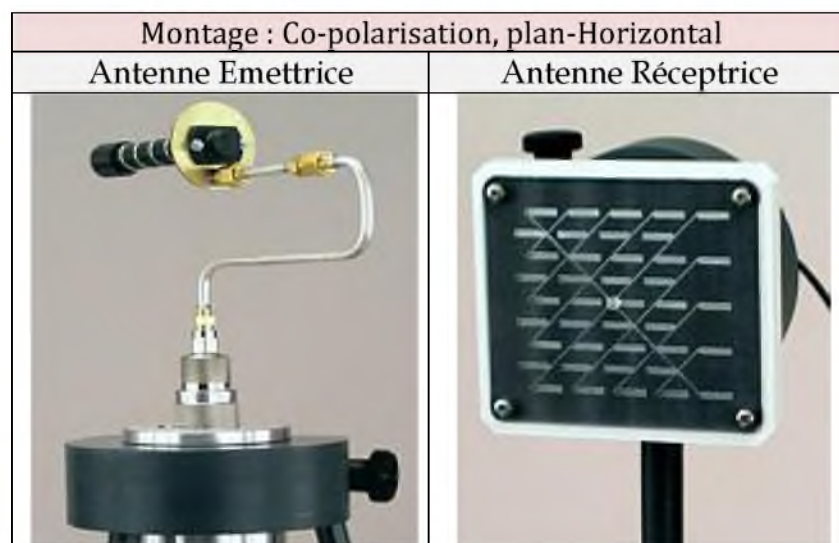
3 Partie Pratique

Avant de lancer les mesures de diagramme de rayonnement, répéter les mêmes étapes de TP1 pour :




5. Assemblage de l'émetteur/récepteur
6. Orientation des Antennes
7. Position de la Plate-forme Tournante
8. Branchement/Câblage ...etc.

Diagramme de Rayonnement en Co-polarisation Horizontale

Relever le diagramme de rayonnement de l'antenne Yagi-Uda en **co-polarisation** pour le plan horizontal en représentations polaire et cartésienne



1 Représentation Polaire :

- Relevez le diagramme de rayonnement polaire pour le plan horizontal !
- Pour ce faire, ouvrez l'instrument « Diagramme de rayonnement polaire ». 
- Sélectionnez le plan horizontal. 
- Cliquez sur l'écran avec le bouton droit de la souris et ouvrez le point de menu « Propriétés » du menu contextuel.
- Sélectionnez « Affichage » puis « Niveau en dBm ».
- Adaptez l'échelle pour la mesure en dBm. Inscrivez - 60 dBm comme valeur minimale et - 20 dBm comme valeur maximale.
- Terminez la configuration en validant avec le bouton « OK ».
- Cliquez sur le bouton de lancement. 
- Attendez que la mesure soit terminée.
- Le relevé du diagramme de rayonnement s'effectue entièrement automatiquement.
- La plate-forme avec l'antenne qui fait l'objet de la mesure est d'abord tournée sur -180°. L'émetteur se connecte et la mesure du diagramme de rayonnement a alors lieu jusqu'à +180°.
- Une fois la mesure achevée, la plate-forme s'immobilise, l'émetteur est déconnecté et l'antenne repositionnée sur 0°. Pendant ce temps-là, les données sont transférées au PC.
- Les valeurs mesurées apparaissent dans votre diagramme de rayonnement.
- Copiez le résultat dans un fichier Word,
- Nommer la figure « Fig.1 hélicoïdale/Plan Horizontal /Polaire »

1 Représentation Cartésienne :




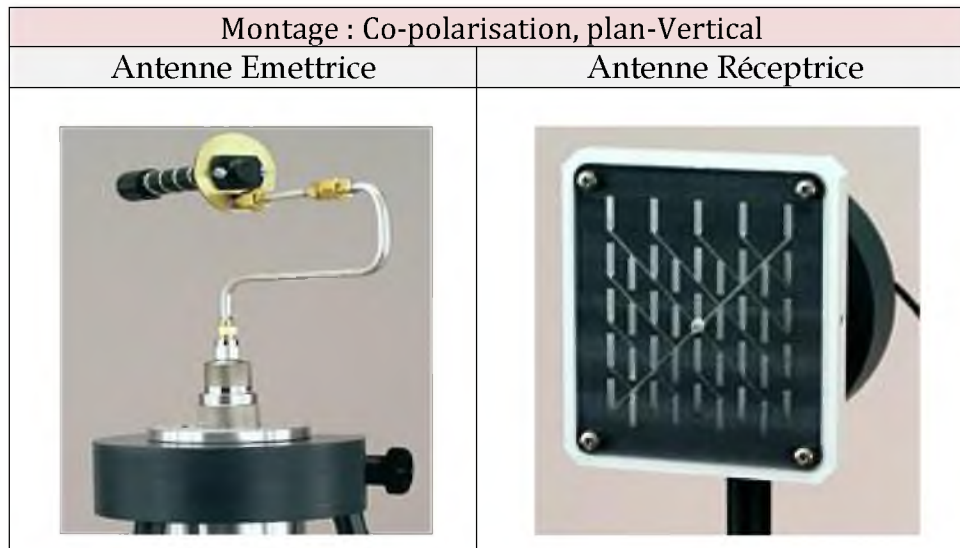
- Relevez maintenant le diagramme de rayonnement cartésien pour le plan horizontal !
- Pour ce faire, ouvrez l'instrument « Diagramme de rayonnement cartésien ». 
- Sélectionnez le plan horizontal. 
- Le diagramme de rayonnement issu de la dernière mesure est affiché dans le système de coordonnées cartésiennes.
- Pour mesurer les paramètres, veuillez cliquer une fois sur l'icône  correspondant de la barre d'outils. Les paramètres sont alors affichés du côté gauche, accompagnés de quatre lignes repères que vous pouvez déplacer avec la souris.
- Pour commencer, placez la ligne repère P1 (niveau de réception) sur le maximum en direction 0°.
- Continuez ensuite en appliquant la ligne repère P2 sur le niveau inférieur à 3 dBm. Il apparaît à gauche sur l'affichage $P2 - P1 = -3 \text{ dBm}$.
- Déterminez à présent l'angle d'ouverture de l'antenne. Pour ce faire, utilisez les lignes repères $\Phi1$ et $\Phi2$.
- Mesurez l'angle d'ouverture $\Phi2 - \Phi1$
- Copiez le résultat dans le fichier Word,
- Nommer la figure « Fig.2 hélicoïdale /Plan Horizontal/cartésienne».

Diagramme de Rayonnement en Co-polarisation Verticale

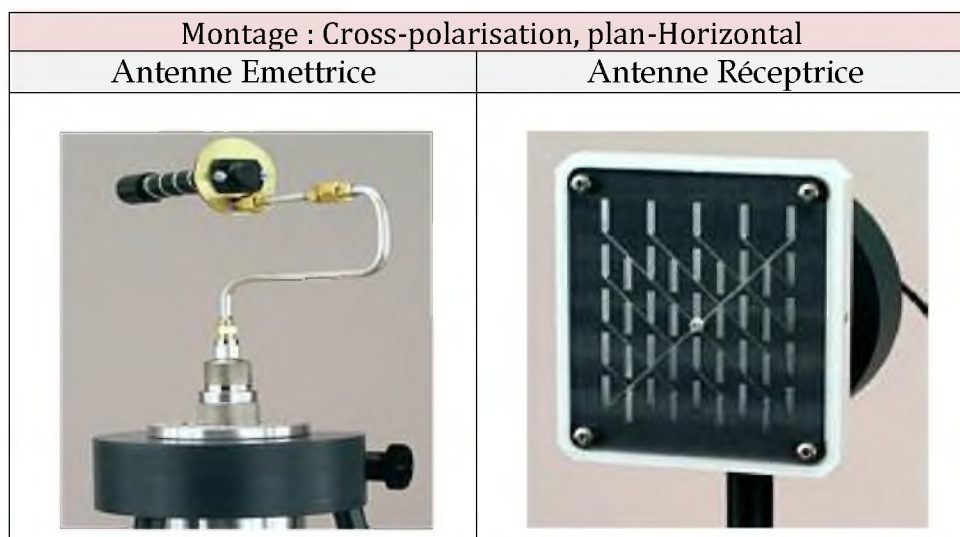
Relever le diagramme de rayonnement de l'antenne hélicoïdale en co-polarisation pour le plan verticale en représentations polaire et cartésienne. La figure ci-dessous montre le montage nécessaire pour la mesure de diagramme de rayonnement en co-polarisation, plan vertical.

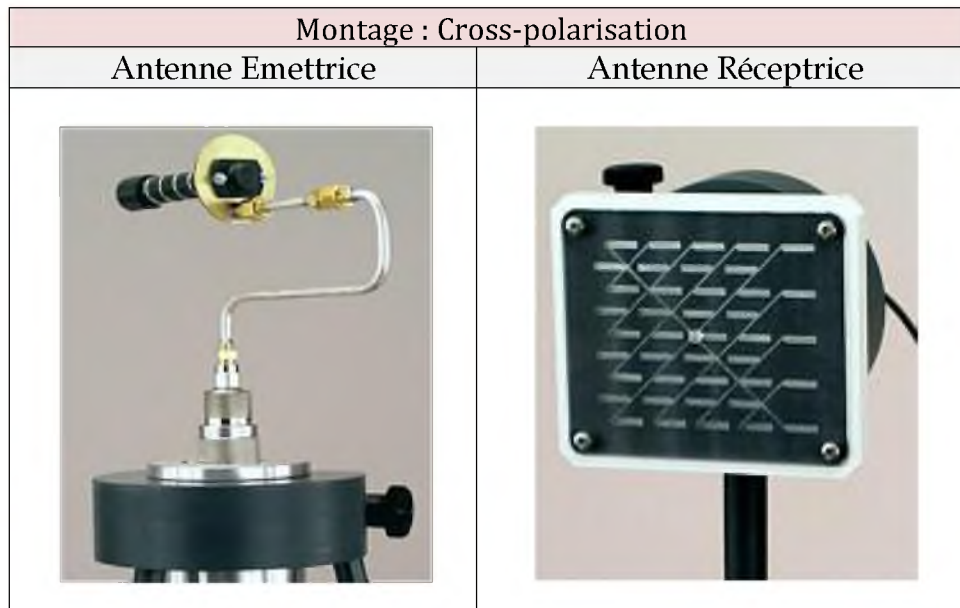


- Répéter les mêmes étapes précédentes (pour le plan horizontal) afin de trouver le diagramme de rayonnement dans le plan vertical en coordonné polaire et cartésien.

Diagramme de Rayonnement en Cross-polarisation

Cette partie de TP4 est consacré à la mesure du diagramme de rayonnement de l'antenne hélicoïdale en **cross-polarisation** en représentations polaire et cartésienne. Les figures ci-dessous montrent les montages possibles pour la mesure de diagrammes de rayonnement en cross-polarisation.





- Répéter les mêmes étapes précédentes (pour le plan horizontal) afin de trouver le diagramme de rayonnement dans le plan vertical en coordonné polaire et cartésien.
- Comparer les résultats analytiques (théoriques) avec ceux obtenus par mesure.
- Faites une comparaison entre l'antenne monopôle, l'antenne dipôle, l'antenne Yagi-Uda et l'antenne hélicoïdale.
- Conclure.

John Daniel Kraus

John Daniel Kraus (June 28, 1910 – July 18, 2004) est un physicien américain connu par ses contributions en électromagnétisme, radioastronomie et théorie des antennes. Ses inventions incluent l'**antenne hélicoïdale**, le cornet réflecteur et d'autre type d'antennes.



TP5 : Caractérisation d'une Antenne Patch

1 Objectif du TP

L'antenne planaire ou *patch* (en anglais) est une **antenne plane** dont l'élément rayonnant est une surface conductrice généralement carrée, séparée d'un plan réflecteur conducteur par une lame diélectrique. Sa réalisation ressemble à un circuit imprimé double face, substrat, et est donc favorable à une production industrielle. Le concept d'antenne patch est apparu dans les années 1950, mais le véritable développement ne s'est fait que dans les années 1970. L'objectif de ce TP est la caractérisation d'une antenne patch de forme rectangulaire

2 Partie Théorique (à préparer à l'avance)

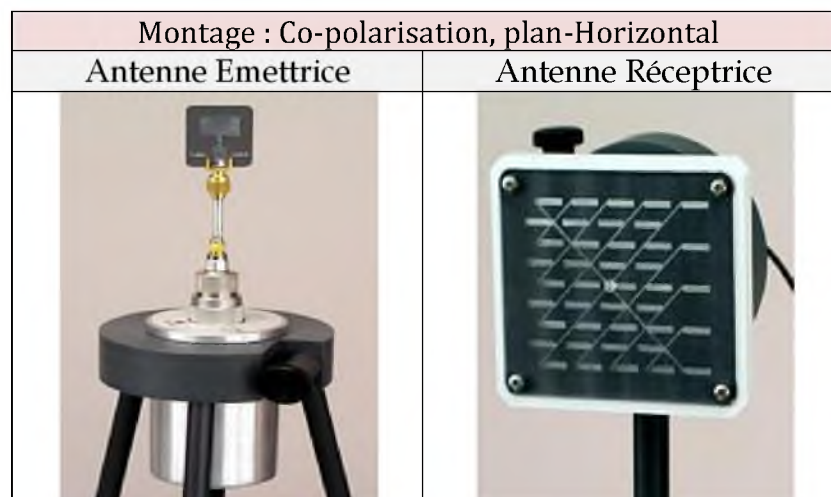
1. Présentation de l'antenne patch rectangulaire
2. Etude analytique de l'antenne patch rectangulaire (Rayonnement, Gain,...)

3 Partie Pratique




Avant de lancer les mesures de diagramme de rayonnement, répéter les mêmes étapes de TP1 pour : -Assemblage de l'émetteur/récepteur - Orientation des Antennes - Position de la Plate-forme Tournante - Branchement/Câblage ...etc.

Diagramme de Rayonnement en Co-polarisation Horizontale

Relever le diagramme de rayonnement de l'antenne Yagi-Uda en **co-polarisation** pour le plan horizontal en représentations polaire et cartésienne



1 Représentation Polaire :

- Relevez le diagramme de rayonnement polaire pour le plan horizontal !
- Pour ce faire, ouvrez l'instrument « Diagramme de rayonnement polaire ». 
- Sélectionnez le plan horizontal. 
- Cliquez sur l'écran avec le bouton droit de la souris et ouvrez le point de menu « Propriétés » du menu contextuel.
- Sélectionnez « Affichage » puis « Niveau en dBm ».
- Adaptez l'échelle pour la mesure en dBm. Inscrivez - 60 dBm comme valeur minimale et - 20 dBm comme valeur maximale.
- Terminez la configuration en validant avec le bouton « OK ».
- Cliquez sur le bouton de lancement. 
- Attendez que la mesure soit terminée.
- Le relevé du diagramme de rayonnement s'effectue entièrement automatiquement.
- La plate-forme avec l'antenne qui fait l'objet de la mesure est d'abord tournée sur -180°. L'émetteur se connecte et la mesure du diagramme de rayonnement a alors lieu jusqu'à +180°.
- Une fois la mesure achevée, la plate-forme s'immobilise, l'émetteur est déconnecté et l'antenne repositionnée sur 0°. Pendant ce temps-là, les données sont transférées au PC.
- Les valeurs mesurées apparaissent dans votre diagramme de rayonnement.
- Copiez le résultat dans un fichier Word,
- Nommer la figure « Fig.1 patch/Plan Horizontal /Polaire »

1 Représentation Cartésienne :




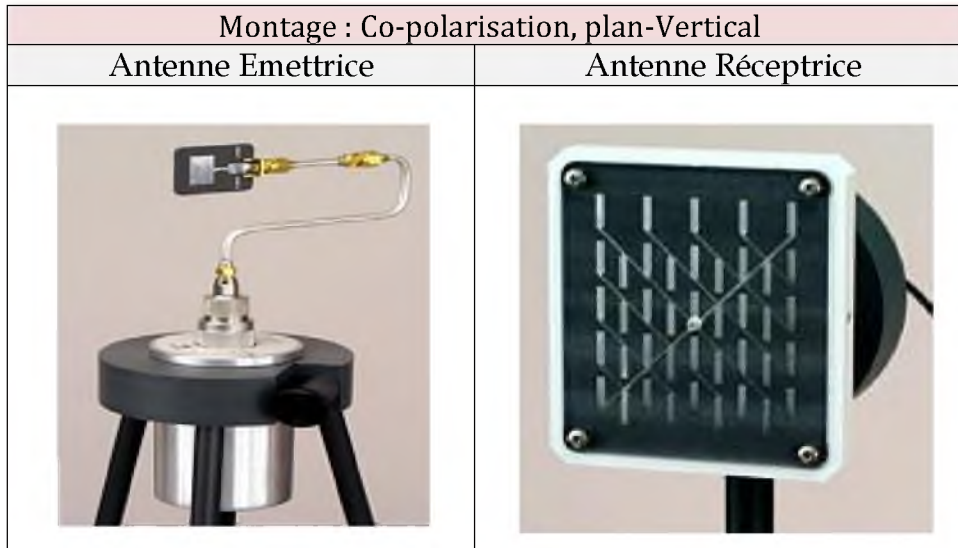
- Relevez maintenant le diagramme de rayonnement cartésien pour le plan horizontal !
- Pour ce faire, ouvrez l'instrument « Diagramme de rayonnement cartésien ». 
- Sélectionnez le plan horizontal. 
- Le diagramme de rayonnement issu de la dernière mesure est affiché dans le système de coordonnées cartésiennes.
- Pour mesurer les paramètres, veuillez cliquer une fois sur l'icône  correspondant de la barre d'outils. Les paramètres sont alors affichés du côté gauche, accompagnés de quatre lignes repères que vous pouvez déplacer avec la souris.
- Pour commencer, placez la ligne repère P1 (niveau de réception) sur le **maximum en direction 0°**.
- Continuez ensuite en appliquant la ligne repère P2 sur le **niveau inférieur à 3 dBm**. Il apparaît à gauche sur l'affichage **P2 - P1 = -3 dBm**.
- Déterminez à présent l'angle d'ouverture de l'antenne. Pour ce faire, utilisez les lignes repères $\Phi 1$ et $\Phi 2$.
- Mesurez l'angle d'ouverture **$\Phi 2 - \Phi 1$**
- Copiez le résultat dans le fichier Word,
- Nommer la figure « Fig.2 patch/Plan Horizontal/cartésienne».

Diagramme de Rayonnement en Co-polarisation Verticale

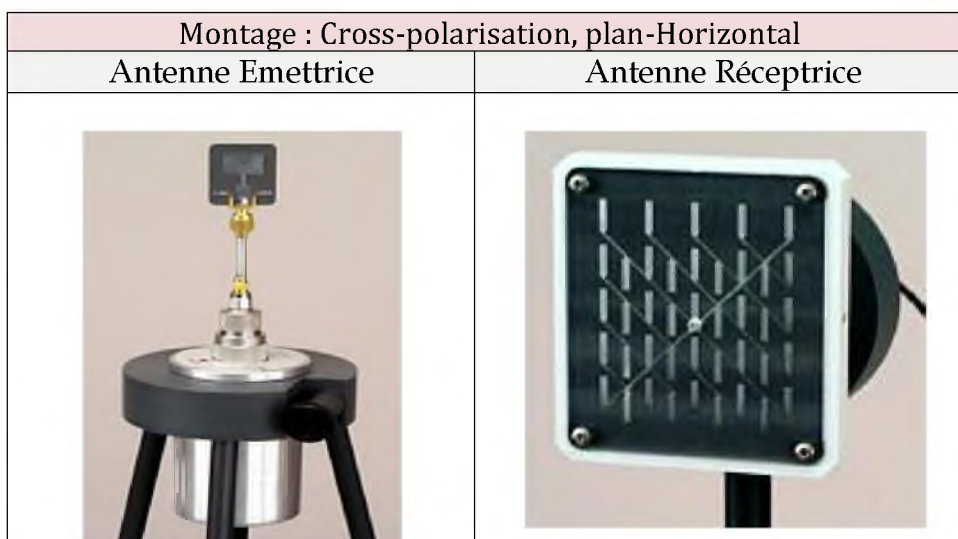
Relever le diagramme de rayonnement de l'antenne monopole en **co-polarisation** pour le plan verticale en représentations polaire et cartésienne. La figure ci-dessous montre le montage nécessaire pour la mesure de diagramme de rayonnement en co-polarisation, plan vertical.



- Répéter les mêmes étapes précédentes (pour le plan horizontal) afin de trouver le diagramme de rayonnement dans le plan vertical en coordonné polaire et cartésien.

Diagramme de Rayonnement en Cross-polarisation

Cette partie de TP est réservée à la mesure du diagramme de rayonnement de l'antenne monopole en **cross-polarisation** en représentations polaire et cartésienne. Les figures ci-dessous montrent les montages possibles pour la mesure de diagrammes de rayonnement en cross-polarisation.





- Répéter les mêmes étapes précédentes (pour le plan horizontal) afin de trouver le diagramme de rayonnement dans le plan vertical en coordonné polaire et cartésien.
- Comparer les résultats analytiques (théoriques) avec ceux obtenus par mesure.
- Faites une comparaison entre l'antenne monopole, l'antenne dipôle, l'antenne Yagi-Uda, l'antenne hélicoïdale et l'antenne patch rectangulaire.
- Conclure.

Bibliographie

- Constantine A. Balanis, « **Antenna Theory Analysis and Design** », 3rd Edition, John Wiley & Sons, 2005
- Ben Allen, Mischa Dohler, Ernest E. Okon, Wasim Q. Malik, Anthony K. Brown, David J. Edwards, « **Ultra-Wideband Antennas and Propagation for Communications, Radar and Imaging** » John Wiley, 2007
- W. L. Stutzman and G. A. Thiele, «**Antenna theory and design** », John Wiley & Sons, second edition, 1998.
- G. H. Schantz, « **The Art and Science of Ultrawideband Antennas** », Artech House. 2005
- G. Kumar and K. P. Ray, « **Broadband microstrip antennas** », Artech House, 2003