

ANTENNES

1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA MANIPULATION

1.1 Notions générales

L'objectif de cette manipulation est de se familiariser avec les éléments radiateurs ou capteurs d'**ondes électromagnétiques** que l'on nomme "**antennes**". Nous aborderons les antennes utilisées dans les dispositifs de télécommunications les plus usuels (communication satellite, faisceaux hertziens, réception T.V., réception radio, ou surveillances militaires...). Les ondes électromagnétiques sont largement utilisées en propagation aérienne pour deux raisons essentielles: leur fréquence est suffisamment élevée pour pouvoir convoier une information codée (encombrement spectral de l'information par rapport à la fréquence porteuse) tout en étant bien adaptée au canal fréquentiel du milieu aérien.

Une antenne peut se voir comme un convertisseur d'ondes électromagnétiques en émission (convertissant les ondes d'un guide dans l'espace libre) ou en réception (convertissant les ondes de l'espace libre dans un guide). Une antenne est donc un lien bijectif des ondes électromagnétiques entre l'**espace libre** et un **guide** comme le montre la figure 1.

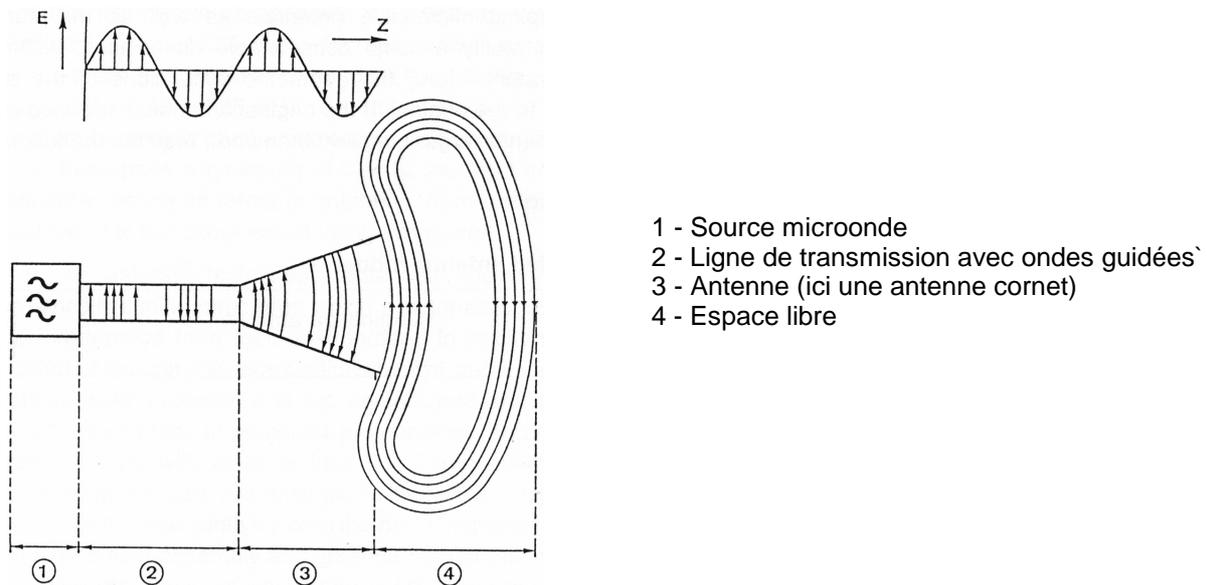


Figure 1: Schéma d'un radiateur d'ondes électromagnétiques - Antenne émettrice

1.2 Rappels théoriques

On définit ci-dessous certaines notions fondamentales sur les antennes. Toute antenne peut-être caractérisée par plusieurs paramètres fondamentaux. Les principaux sont:

- le diagramme de rayonnement,
- la directivité,
- le gain,
- la polarisation,
- le niveau de polarisation croisée,

La bande passante et l'adaptation (ROS) sont également des paramètres importants pour une antenne.

1.2. 1 Le diagramme de rayonnement d'une antenne

On entend par **diagramme de rayonnement** la répartition spatiale de la puissance rayonnée par un radiateur ou la répartition spatiale de la puissance récupérée par un capteur (que l'on appelle aussi dans ce cas **diagramme de captation**). Pour une même antenne, le diagramme de rayonnement et le diagramme de captation sont supposés identiques: on parle de façon générique de **diagramme de rayonnement** (cette notion sera retenue dans toute la suite du TP). Les mesures de diagramme de rayonnement constituent une étape primordiale dans l'élaboration d'une **liaison microonde par voie aérienne**, car elles induisent le choix de l'élément rayonnant suivant l'utilisation désirée. En effet, tout champ rayonné à l'infini admet une forme bien définie et le rayonnement d'une antenne est fonction de ses caractéristiques géométriques. Pour un radar de surveillance, une antenne à **faible directivité**, donc à large diagramme de rayonnement est souhaitée (de façon à couvrir le maximum d'espace). Par contre pour un radar de poursuite, une antenne à **forte directivité**, donc à maximum de précision dans une zone précise, est préférable (de façon à pouvoir identifier précisément l'objet éclairé). Dans ce cas précis, les deux types d'antennes sont utilisés simultanément.

Le diagramme de rayonnement est obtenu par la mesure du champ électrique.

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est censé être mesuré pour tous les points de l'espace, à une distance infinie de l'antenne (sphère de rayon infinie). En pratique, il suffit de se placer en champ lointain, soit à une distance r_0 donnée par la relation suivante:

$$r_0 > 2(d_Q + d_T)^2 / \lambda_0$$

où

d_Q est la plus grande dimension de l'antenne source

d_T est la plus grande dimension de l'antenne mesurée

λ_0 est la longueur d'onde dans le vide pour laquelle est effectuée la mesure.

La représentation du vecteur champ électrique se fait généralement en coordonnées sphériques d'après ses composantes E_r , E_θ et E_ϕ dans un repère tournant tel que celui présenté sur la figure 2.

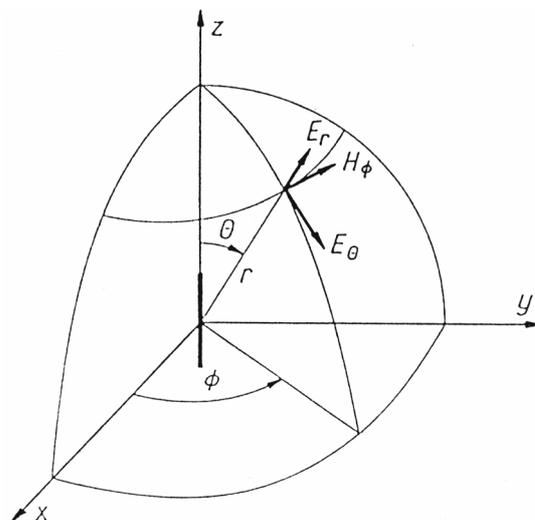


Figure 2: Représentation du champ dans l'espace

Une mesure de rayonnement s'accompagne donc généralement d'un schéma indiquant de quelle manière est placée l'antenne dans le repère tournant lors de la mesure (ce qui vous sera demandé tout le long du T.P).

Dans la pratique on ne mesure que très rarement le diagramme de rayonnement pour tous les points de l'espace. On ne le fait que dans le cas d'antennes à géométrie perturbée, dont les caractéristiques sont totalement inconnues. On se contente en fait de mesures effectués dans les deux plans principaux que l'on nomme plan E et plan H. Par définition, le **plan E** constitue le plan où le champ électrique est maximal. C'est également le plan colinéaire au vecteur champ électrique sur l'antenne, la composante E_θ est alors maximale. Par analogie, le **plan H** est le plan perpendiculaire où le champ magnétique est maximal. Dans ce plan, le vecteur champ électrique est alors porté par E_ϕ .

1.2.2. La directivité d'une antenne (dans une direction)

On entend par **directivité**, le rapport (de puissance) entre la puissance émise dans la direction maximum sur toute sa répartition spatiale. On dira donc qu'une **antenne fortement directive** admet une faible ouverture de rayonnement, et qu'une **antenne faiblement directive** admet une large ouverture de rayonnement. On peut aussi considérer la directivité D_0 comme le rapport du maximum rayonné dans une direction sur l'intensité moyenne rayonnée.

1.2.3. Le gain d'une antenne

On entend par **gain**, le rapport de la puissance émise (par une antenne) dans une direction donnée sur le maximum de puissance rayonnée par une antenne de référence à puissance d'alimentation identique. L'antenne isotrope est fréquemment prise comme antenne de référence: on parle alors de dBi. Souvent, il s'agit aussi de la puissance rayonnée dans la direction principale.

Remarque: Dans une antenne idéale pour laquelle l'efficacité est de 100% (toute la puissance injectée est rayonnée) le gain et la directivité seront identiques.

1.2.4. La polarisation d'une antenne

Une autre notion importante est la notion de **polarisation**. On parle de **polarisation linéaire** lorsque le champ rayonné à l'infini conserve une direction constante (rectiligne) au cours du temps, et de **polarisation circulaire** lorsque l'extrémité du vecteur champ électrique rayonné à l'infini décrit un cercle en fonction du temps. Un cas intermédiaire que l'on nomme polarisation elliptique peut aussi se produire. Toute onde elliptique peut être considérée comme l'addition vectorielle de deux vecteurs perpendiculaires déphasés dans le temps de 90° . Ces deux composantes peuvent être récupérées au moyen d'antennes à polarisation linéaires. Inversement un champ électrique polarisé linéairement peut être décomposé en deux vecteurs à polarisation circulaires contraires.

1.2.5. Le niveau de polarisation croisée

Le **niveau de polarisation croisée** est lié à la qualité de la polarisation d'une antenne. Pour une antenne polarisée linéairement de haute qualité, le niveau de polarisation croisée est très faible. Par contre, pour une antenne polarisée linéairement de moindre qualité, le niveau de polarisation croisée est très élevé.

En fait, ces cinq paramètres sont liés. Le diagramme de rayonnement, la directivité et le gain sont des notions rattachées au type de rayonnement émis.

1.3 Préparation

Décrive les antennes que vous allez mesurer en T.P.:

- Antenne cornet
- Dipôle élémentaire
- Antenne Yagi-Uda
- Parabole
- Hélice

Essayer notamment d'expliciter les valeurs typiques des cinq paramètres fondamentaux pour ces cinq antennes. Pour cela, vous vous aiderez des différents cours ainsi que de certains ouvrages de la bibliothèque.

2. TRAVAIL DEMANDE

Il s'agit de caractériser l'ensemble des éléments rayonnants dont vous disposez et de voir si les mesures recoupent vos prévisions. En fin de TP, on vous demandera pour quelles applications chacune des antennes étudiées peut être utile: liaison de proximité, alarme anti-intrusion, couverture radar, communication entre mobiles etc... Vous devrez donc être capable de choisir une antenne suivant le type de liaison que vous auriez à établir: il va de soit que les radiateurs ou les capteurs d'ondes électromagnétiques choisis peuvent être semblables ou différents suivant le type de liaison recherchée.

Il est à noter que la caractérisation des différents éléments rayonnants nécessite des mesures réfléchies. Il ne s'agit pas de "connectoriser" deux antennes et d'observer le signal transmis. Il s'agit de caractériser par des mesures et des recoupements judicieux chacune des antennes à disposition ce qui vous permettra de maîtriser globalement l'établissement d'une liaison microonde par voie aérienne. **Une étude théorique (assez poussée) est donc nécessaire** afin de savoir quelles mesures à faire sont judicieuses et quelles mesures le sont moins dans le temps imparti.

3. DESCRIPTION DU MATÉRIEL A DISPOSITION

3.1 Description générale

Une vue globale du matériel à disposition est présentée ci-dessous.

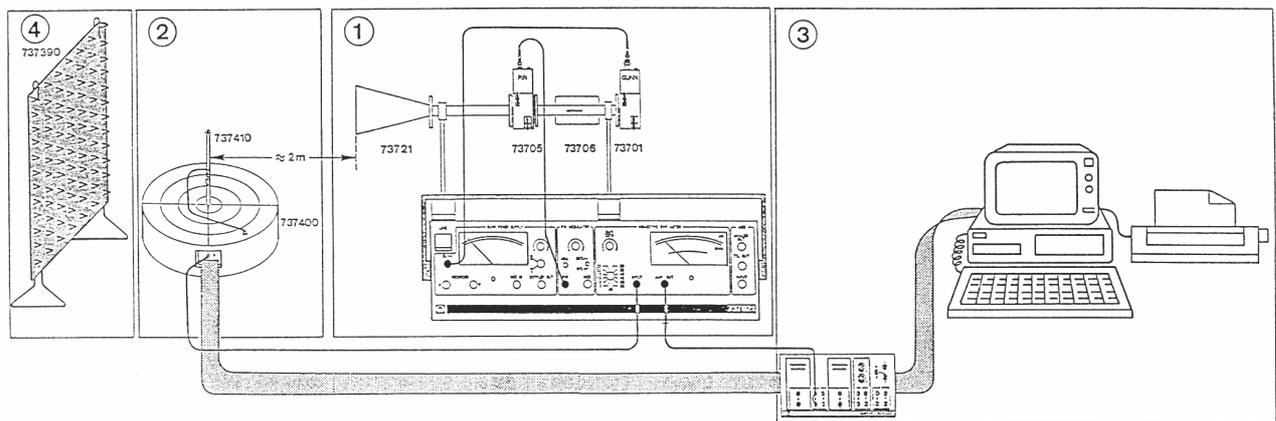


Figure 3: Banc de mesure

Afin de répondre aux questions soulevées, vous disposez du matériel de mesure suivant:

- Un générateur qui fournit une onde électromagnétique **de fréquence 9,4 GHz** et un élément émetteur d'ondes électromagnétiques, l'ensemble constituant la source (partie 1 sur la fig .3).
- Un milieu de propagation: la salle de TP.
- Un système capteur d'ondes électromagnétiques constituant le **système de réception** avec notamment l'antenne sous test (partie 2 sur la fig .3).
- Une table tournante ou positionneur (partie cylindrique 2 sur la fig .3).
- Un micro ordinateur qui commande le positionneur et assure le traitement informatique des grandeurs mesurées constituant le **système de saisie** (partie 3 sur la fig .3).

3.2 Description détaillée

3.2.1 Le système d'émission

Le dispositif d'émission est constitué de 5 éléments:

- Un générateur fournit la tension nécessaire à la polarisation de la diode GUNN. Il fournit aussi le signal de modulation à 1 KHz pour le modulateur PIN.
- Un oscillateur à diode GUNN. Si la diode GUNN est correctement polarisée, cet oscillateur génère une puissance microonde.

- Un modulateur à diode PIN pour alimenter l'antenne d'émission par une onde modulée par un signal carré (0-1V).
- Un isolateur qui empêche la puissance microonde réfléchiée par le modulateur PIN d'être réinjectée dans l'oscillateur GUNN.
- Une antenne d'émission, que l'on qualifiera d'antenne de référence. Il s'agira **d'une antenne cornet dans le cas de mesures d'antennes en polarisation linéaire ou d'une hélice dans le cas de mesures d'antennes en polarisation circulaire.**

Remarque: pour pouvoir comparer différentes antennes entre elles, la source doit être identique lors de ces différentes mesures.

3.2.2. Le milieu de propagation

Le milieu de propagation est le milieu "aérien" de la salle de TP. Pour une mesure de bonne qualité, le milieu de propagation doit privilégier le trajet direct de l'onde entre les antennes d'émission et de réception, d'où la présence d'éléments absorbants anti-écho ou anéchoïdes: la mesure ne doit pas être faussée par l'ajout d'un champ électrique additionnel qui serait obtenu par des réflexions.

3.2.3. Le système de réception

Le dispositif de réception est constitué de 2 éléments:

- L'élément à mesurer ou encore antenne sous test
- Le TOSmètre qui permet d'amplifier et de mesurer le signal reçu avant son traitement par le micro-ordinateur (via une carte interface d'acquisition).

3.2.4. Le système de saisie

Le dispositif de saisie est constitué de 3 éléments:

- La table tournante commande par un moteur pas à pas l'orientation de l'antenne de réception dans toutes les directions en azimut de -180° à $+180^\circ$ et pour un angle d'élévation fixe de 0° .
- La table tournante est reliée au micro-ordinateur par une nappe souple via une carte d'acquisition.
- Le dispositif informatique est équipé d'un logiciel qui assure la commande de la table tournante et l'acquisition des mesures.

3.3 Précautions expérimentales

Ce qui suit constitue une liste de précautions expérimentales à prendre avant chaque manipulation.

3.3.1. Mise en route

- L'antenne d'émission et la table tournante doivent être alignées avec une grande précision: le centre du plan d'ouverture du cornet émission et l'antenne de réception (centre du plan d'ouverture dans le cas du cornet ou le détecteur dans le cas du dipôle élémentaire) doivent être situés sur une même droite horizontale à une hauteur d'environ 35 cm au dessus du plan de la table et à une distance d'environ 2m l'une de l'autre. Cette distance permet d'assurer des conditions de mesure en champ lointain (surtout pour les dipôles et les antennes Yagi).
- Monter l'antenne source après le modulateur PIN (il s'agira de l'une des deux antennes cornets dans le cas d'une mesure en polarisation linéaire et de l'une des deux antennes à hélice dans le cas d'une mesure en polarisation circulaire).
- Placer l'antenne à caractériser sur le mat et emboîter ce mat au centre du positionneur.
- Mettre sous tension le PC, le positionneur, le générateur d'alimentation de l'oscillateur GUNN et le TOS mètre: une seule fois au démarrage pour tous ces éléments.
- Relier la fiche BNC située au dessus du connecteur de la nappe souple de la table tournante à l'entrée du TOSmètre par l'intermédiaire de deux cables BNC-BCN et un U.
- Choisir un calibre de faible gain (0, 5 ou 10 dB) pour éviter que l'aiguille du cadran ne parte en

butée.

Ci-après, une vue rapprochée du système.

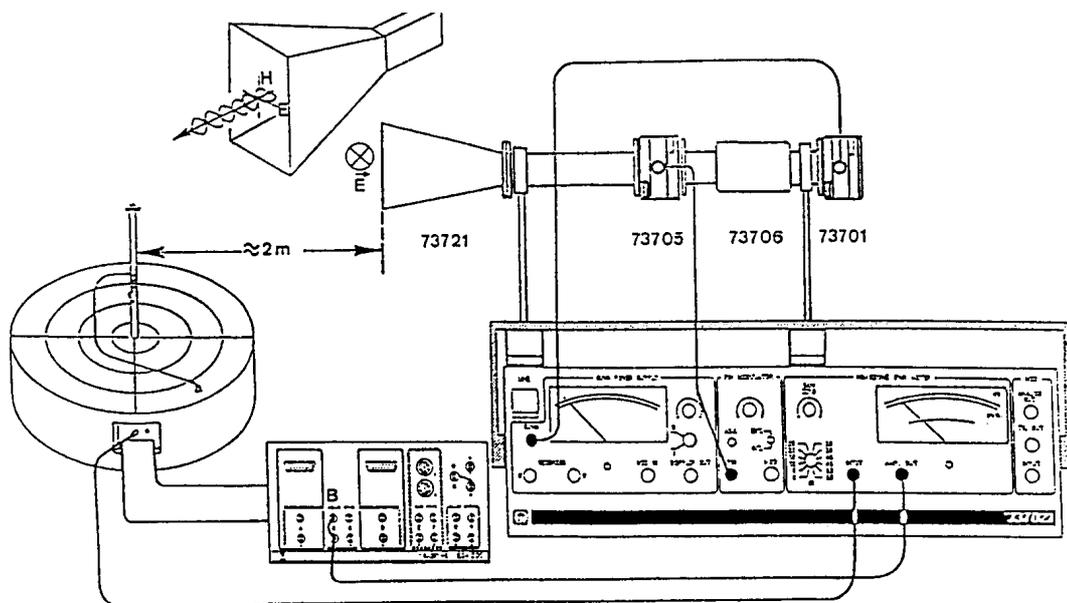


Figure 4: Vue rapprochée du système émetteur-récepteur

3.3.2. Procédures expérimentales de base

- Mettre le générateur hors tension et relier la sortie du générateur de l'alimentation de la diode GUNN à l'oscillateur GUNN ainsi que le signal de modulation à l'entrée du modulateur PIN par des câbles coaxiaux. Mettre à nouveau le générateur sous tension et régler la tension continue tension U_G à 9. Le générateur émet une puissance microonde de 20 mW. **Avant toute intervention sur le positionneur pour changer d'antenne émission ou réception, ne pas oublier de baisser la tension à 0 V.**
- Lancer le programme 'polaire' (sous C>) et choisir l'option 'table tournante pour antenne'. Pour définir les paramètres de la mesure Taper F2. Choisir une acquisition pas à pas tous les 1° (ce qui correspond à une vitesse palier 2) et fixer le courant de polarisation (courant initial ou bias current) au palier 3. Valider et revenir au menu principal. En appuyant sur la touche F3 vérifier que la caractéristique choisie pour le détecteur est quadratique. Si ce n'est pas le cas, choisir cette option et revenir au menu principal. Taper F1 pour commencer une acquisition. **Lors de chaque nouvelle mesure vous devrez notamment vérifier dans le fenêtre principale le niveau de palier du mode de mesure (vitesse ou pas d'acquisition en degré) ainsi que le palier du courant de polarisation.** On pourra notamment vérifier que la vitesse de mesures et le pas d'acquisition en degrés sont liés. Un palier de vitesse 2 correspond à une acquisition tous les degrés (on pourra cependant pour certaines mesures que vous spécifierez, régler ce palier de vitesse à 3 soit une acquisition tous les 2 degrés).
- Il faudra également avant chaque mesure régler minutieusement (et manuellement) l'orientation de l'antenne sous test sur le positionneur pour avoir un niveau maximum sur le TOS mètre pour le signal détecté. On pourra notamment passer en mode semi-automatique avec un moyennage adéquat, taper F1 ce qui correspond à lancer la mesure et visualiser le niveau reçu sur le PC. On pourra aussi faire tourner, dans ce mode, le positionneur pour être sûr de la valeur du max. Une fois ce maximum trouvé et l'antenne sous test orientée, régler le calibre (20/25/30/35 dB) et le gain de l'amplificateur pour avoir le signal maximum à 0 dB (proche zone rouge).
- Lancer une acquisition par F1. On peut contrôler le déroulement des mesures soit par affichage digital ou graphique (prendre graphique). La mesure s'effectue de -180° à $+180^\circ$. A la fin de l'acquisition la table tournante revient dans sa position de repos (-180°) dans l'attente d'une nouvelle acquisition.

3.4. Exploitation et analyse des résultats

Une fois les mesures terminées, on peut traiter les résultats en revenant au menu principal. La touche F7 permet de définir les conditions de visualisation: échelle linéaire en V ou normalisée U/V (**conseillé**), échelle en Décibel, **tableau de mesure**, choisir les options diagramme polaire, diagramme cartésien, titre du graphe...). La touche F8 permet d'enregistrer les données (opération de la disquette, enregistrement, sauvegarder les données ainsi que multigraphe si les échelles d'enregistrement étaient les mêmes). Revenir au menu principal et taper F6 pour visualiser les résultats: taper sur ImpEcran permettra d'imprimer. Un curseur pourra être positionné sur la courbe (F4 puis + ou - pour faire apparaître ses coordonnées) et permettra de relever les points caractéristiques fondamentaux des diagrammes (le tableau de mesure aussi).

4. TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

4.1 Caractéristique de la diode GUNN

La caractéristique de la diode GUNN permet de déterminer la région dans laquelle la diode génère une puissance microonde. Régler la tension U_G à 0 V. Pour chaque valeur de la tension U_G , lire le courant d'alimentation de la diode en basculant le commutateur courant tension sur la position courant. Faire varier U_G de 0 à 10 V par pas de 1V et relever la valeur du courant I_G correspondant. Reporter les résultats sur un graphe $I_G=f(U_G)$. Commenter le graphe obtenu et notamment la zone propice à la création d'oscillations.

4.2 Antenne cornet

L'antenne cornet (1) est l'antenne source la plus souvent utilisée. Elle a l'avantage d'être fiable, mais très encombrante et lourde. Cette antenne va nous servir de **source de référence**. Afin de connaître son comportement, on monte en émission après le modulateur PIN ((3) figure 6) l'un des cornets et sur la table un autre cornet identique en réception.

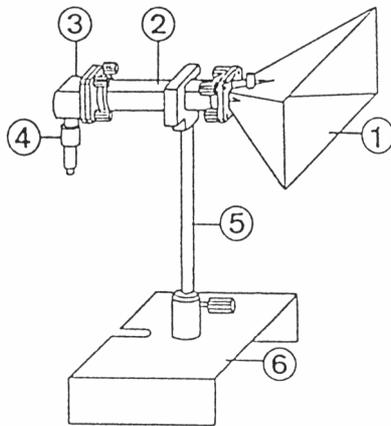


Figure 5: Cornet monté à la réception

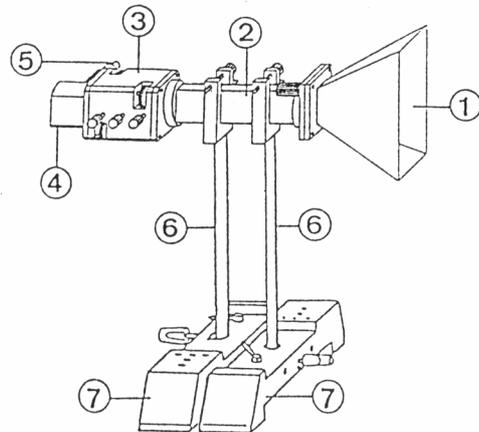
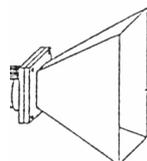


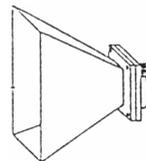
Figure 6: Cornet monté à l'émission

Pour caractériser cette antenne, **quatre mesures sont nécessaires**.

Mesure 1: Les polarisations sont colinéaires pour les deux antennes, c'est donc la composante principale que l'on mesure. Le plan de rotation contient cette composante, c'est donc la composante E_θ que l'on mesure (Figure 7).



Réception



Emission

Figure 7

Mesure 2: Tourner d'un quart de tour l'antenne source. Le champ à l'émission et à la réception sont perpendiculaires c'est donc une composante croisée qui est mesurée. Le plan de rotation est perpendiculaire à cette composante, c'est donc la composante E_{ϕ} que l'on mesure. Ne pas toucher au calibre et au gain de l'amplificateur.



Figure 8

Mesure 3: Tourner d'un quart de tour l'antenne de réception. Les polarisations sont à nouveau colinéaires pour les deux antennes, c'est donc **une composante principale que l'on mesure**. Le plan de rotation est perpendiculaire à cette composante, c'est donc la composante E_{ϕ} que l'on mesure.



Figure 9

Mesure 4: Tourner à nouveau l'antenne d'émission d'un quart de tour. Le champ à l'émission et à la réception sont perpendiculaires c'est donc **une composante croisée qui est mesurée**. Le plan de rotation est colinéaire à cette composante, c'est donc la composante E_{θ} que l'on mesure.



Figure 10

- Donner notamment vos commentaires et les grandeurs: amplitude max, angle d'ouverture 2θ à 3dB, le calibre TOSmètre **pour chaque courbe.**
- A partir des mesures, dire quel est le plan E et quel est le plan H pour une antenne cornet.
- Donnez un moyen simple pour exprimer le niveau de polarisation croisée en dB dans l'axe du cornet à partir des mesures en V du niveau de la polarisation principale et du niveau de la polarisation croisée. Application numérique.
- Conclusion sur l'antenne cornet

4.3 Antenne dipôle élémentaire

Il s'agit maintenant de caractériser un dipôle élémentaire en rayonnement.

- Conserver pour cela l'antenne source de référence qui est le cornet.
- Enlever l'antenne cornet en réception avec son câble et sa tige de fer (appeler l'enseignant si besoin).
- Monter le dipôle élémentaire au bout de son mât et connecter le câble BNC à la table tournante. On notera que le dipôle possède une diode de détection intégrée en son centre.

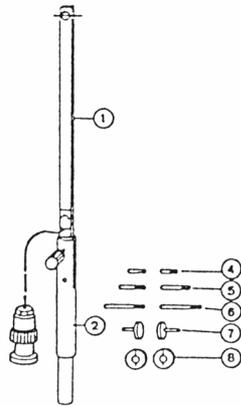


Figure 11

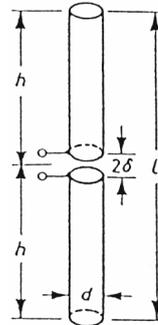


Figure 12

Pour cette antenne, quatre mesures devraient à nouveau être nécessaires pour balayer les deux plans principaux en polarisation principale et croisée mais compte tenu de la symétrie de révolution, seules deux mesures faisant intervenir une rotation d'un quart de tour du cornet source sont nécessaires.

- Effectuer ces deux mesures en vous reportant aux **recommandations de mesures** et enregistrer l'acquisition qui vous semble la plus judicieuse dans un fichier nommé DIPELEM1. **Ne pas oublier de spécifier le calibre du TOSmètre et de bien positionner le maximum de rayonnement dans l'axe pour ne pas décentrer le lobe principal. Il sera également judicieux de faire apparaître l'orientation du dipôle sur vos graphes.** A la vue des mesures déterminer le plan E et le plan H. Ne plus faire les mesures dans l'un de ces plans par la suite si les valeurs relevées sont presque nulles.
- Faire ensuite les mesures pour des dipôles de dimensions de plus en plus grandes en utilisant les rajouts (4) (5) et (6) de la figure 11. **On effectuera les montages avec une extrême précaution (appeler l'enseignant si besoin) et on évitera que l'aiguille du calibre de l'amplificateur parte en butée (réfléchir avant de connecter).**
- Comparer ensuite aux allures théoriques de la figure 13.

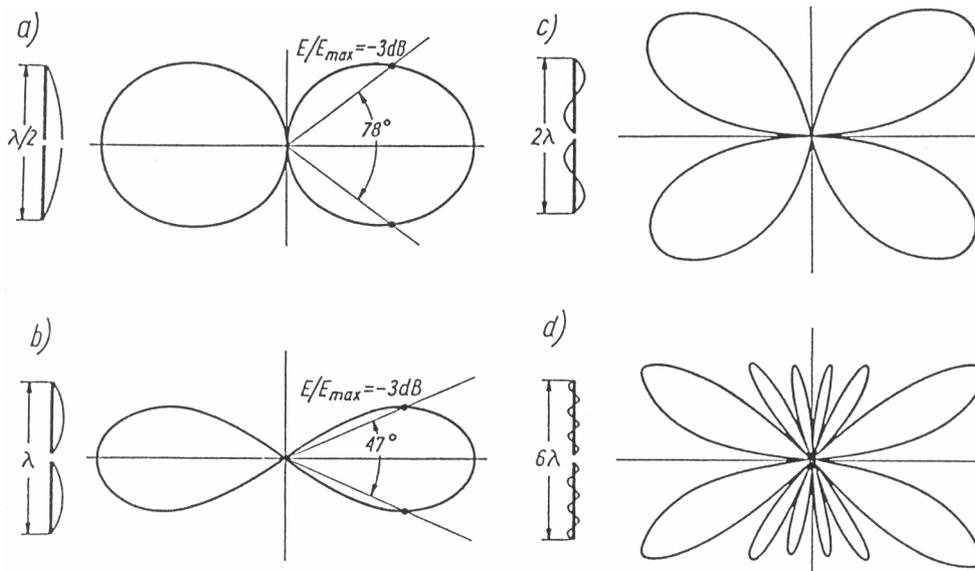


Figure 13: Diagramme de rayonnement du dipôle en fonction de sa longueur

Ces allures sont données par les relations suivantes.

Le courant sur les conducteurs est donné par: $I(z) = -j I_0 \sin(h-z)$.

A partir de cette relation on obtient le champ rayonné à l'infini par: $E_\theta = 60 I_0 [\cos(kh \cos\theta) - \cos(kh)] / (r \sin\theta)$ où $k=2\pi/\lambda_0$, I_0 courant max sur l'antenne, r distance du point d'observation à l'antenne.

- Conclusion sur les dipôles. Donner la longueur théorique (en multiples de λ , $f=9.4$ GHz) de tous les dipôles que vous avez mesurés (à la vue de la figure 13). Comparez avec la longueur réelle de ceux-ci (à mesurer).

4.4 Antenne dipôle capacitivement chargé

Une antenne doit être adaptée à l'oscillateur qui crée l'onde électromagnétique qui va se propager, dans le cas d'une émission, et à sa charge dans le cas d'une utilisation en réception.

Pour cette raison il est très important de connaître l'impédance d'entrée de l'antenne Z_e . Celle ci pour un dipôle parfait (**infiniment fin** et conducteur) de longueur $\lambda_0/2$ est une impédance complexe qui vaut $Z_e = (73 + j42) \Omega$. La partie imaginaire peut être éliminée en choisissant une longueur légèrement plus courte que $\lambda_0/2$. Le dipôle opère ainsi sur son premier mode de résonance avec une impédance qui devient réelle. La longueur l peut être choisie entre 0,44 et 0,48 λ_0 selon le rapport $s = l/d$ longueur du dipôle sur diamètre du conducteur.

La relation empirique suivante est généralement utilisée:

$$l = 0,48 \cdot s/(s+1)$$

La résistance d'entrée est alors égale à 67 Ω .

La bande passante en fréquence d'un dipôle dépend de ce paramètre s , c'est **pourquoi les dipôles épais ont une bande passante supérieure**.

Un autre paramètre qu'il faut prendre en compte est le fait que la puissance rayonnée par un dipôle dépend de sa longueur. Ainsi le rayonnement d'un dipôle très court (doublet de Hertz) est très faible devant celui d'un dipôle en $\lambda_0/2$ ou même λ_0 .

Ceci ne pose pas trop de problème en transmission radiophonique FM ou AM (**calculer les dimensions pour les bandes de fréquence considérées**), mais donne par contre des dimensions énormes pour la transmission en moyenne ou grandes ondes. Ces considérations sont aussi vraies en hyperfréquence dans certaines applications où l'on recherche généralement les antennes les plus miniatures possibles.

La solution à ces problèmes est l'adjonction d'une charge capacitive à l'antenne. Ceci est réalisé par l'ajout aux extrémités du dipôle d'un plateau circulaire (figure 14). Une surface obtenue à partir d'un diamètre D permet de raccourcir l'antenne d'une longueur Δh à partir du moment où le plateau permet de conserver la forme générale du courant I sur le dipôle.

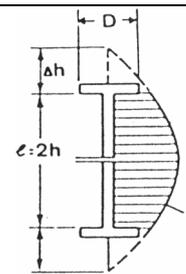


Figure 14

- Implanter sur le monopole de base les deux plateaux capacitifs et mesurer le diagramme de rayonnement.
- A la vue du diagramme obtenu donner une approximation pour la longueur équivalente de l'antenne.
- Comparer à la longueur physique du dipôle
- Conclusion

4.5 Antenne Yagi

L'antenne Yagi, communément appelée antenne râteau, est l'antenne la plus connue du grand public car elle équipe la plupart des foyers pour la réception de la télévision. Dans l'antenne Yagi un seul brin est alimenté: **c'est un dipôle**. Les autres brins sont dits couplés ou parasites: ils ne sont pas reliés physiquement au dipôle mais sont excités à partir de son rayonnement. L'ajout d'éléments parasites dans le champ proche du dipôle permet de modifier la forme du diagramme de rayonnement mais ils influencent aussi son impédance d'entrée. En choisissant convenablement la taille des brins parasites, on peut conformer (modifier) le diagramme de rayonnement (figure 15). Derrière le dipôle nous avons toujours un brin plus long qui va réfléchir la puissance rayonnée à l'arrière, vers la direction principale avant de propagation: ce brin est appelé réflecteur. A l'avant de l'antenne, nous avons des brins plus courts qui vont concentrer la puissance vers l'avant: les directeurs. Un grand nombre de directeurs permet une augmentation de la directivité de l'antenne.

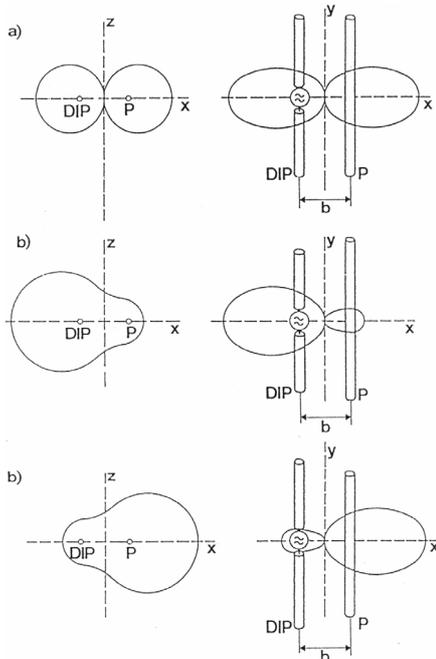


Figure 15: Influence des éléments parasites

Le calcul de la dimension et de la disposition des brins passe par la détermination des courants à la surface de ces derniers. Ce calcul est assez fastidieux mais il existe désormais des abaques qui permettent de réaliser directement des antennes Yagi pour une application donnée. L'impédance d'entrée du dipôle de base est donc fortement altérée par la présence de brins parasites. Du fait de la présence de plusieurs résonateurs, le système devient plus amorti et **l'impédance diminue**. Pour retrouver une valeur correcte pour l'adaptation, un élément de valeur initiale d'impédance plus élevée est alors choisi. Le choix se porte sur le **dipôle replié** (figure 17), utilisé actuellement sur nos antennes de télévision. Ce dipôle replié peut posséder un ou n brins. L'impédance est multipliée par n^2 .

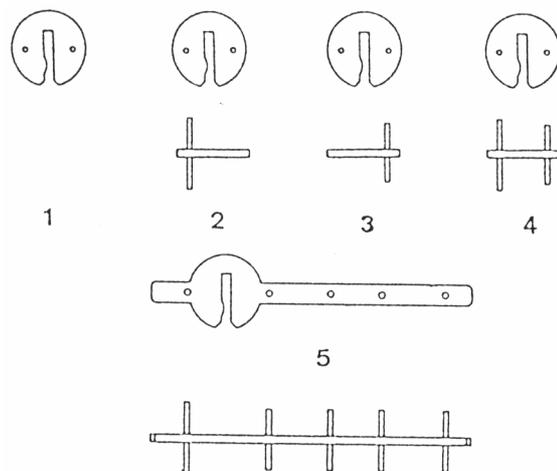


Figure 16: Éléments à utiliser pour former la Yagi

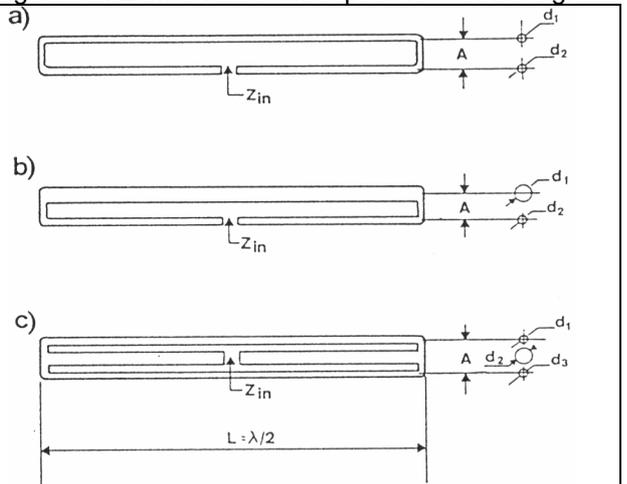


Figure 17: Dipôle replié

En utilisant un dipôle replié à 2 éléments, l'impédance d'entrée d'une antenne Yagi à 6 éléments passe de 20 à 80 Ω soit à peu près l'impédance caractéristique des câbles TV standards (75 Ω). Des dipôles repliés à conducteurs de diamètres (ou d'épaisseurs de manière plus générale) différents s'écartent de la loi en n^2 .

- A partir du dipôle, **insérer avec une extrême précaution** un petit brin directeur (figure 16 cas 3). Mesurer l'antenne, donner l'angle d'ouverture à -3dB, représenter l'orientation du dipôle sur le graphe. Commentaires.
- Mêmes questions avec l'antenne le cas 4 (attention au calibre). Est-ce que l'on est plus directif? Pourquoi?
- Mêmes questions avec l'antenne Yagi complète figure 16 cas 5.
- En partant d'une mesure dans l'axe (du max) de ce dernier cas, fixez un calibre et un gain que vous ne changerez pas, re-mesurez (dans l'axe) toutes les autres antennes et donnez le rapport des directivités en dB en prenant comme référence celle de l'antenne Yagi. Conclusion.

4.6. Antenne parabolique

Lorsque l'on désire obtenir une certaine directivité un grand gain au moyen d'un faisceau focalisé, une onde plane doit être présente dans l'ouverture d'émission de l'antenne. Lorsque le front d'onde est curviligne la dispersion crée rapidement une diminution de la directivité et du gain de l'antenne associée. En première approximation, la figure suivante peut être utilisée pour évaluer la distribution de phase d'un champ rayonné par un cornet.

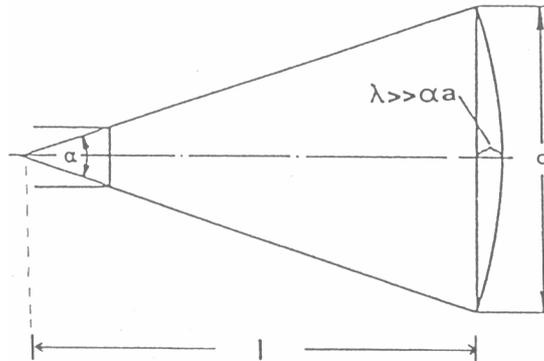


Figure 18 : Cornet en coupe

On peut baser nos calculs sur un front d'onde à peu près plan si $\alpha a \ll \lambda_0$

Pour un cornet avec une dimension transverse a , une illumination à phase constante dans l'ouverture nécessite une dimension l considérable. **Lorsque l'ouverture a des dimensions suffisamment grandes par rapport à la longueur d'onde**, les antennes peuvent être dessinées avec des principes similaires à ceux de l'optique. En microondes, comme dans le domaine de l'optique où des miroirs concaves sont utilisés, des réflecteurs peuvent être utilisés pour focaliser l'énergie dans une direction. Ce réflecteur est utilisé pour transformer un front d'onde curviligne en un front d'onde plan selon la manière dont il est excité :

- Excitation frontale
- Excitation Cassegrain utilisant un sous réflecteur
- Excitation décalée ou "offset"
- Excitation physiquement liée au réflecteur

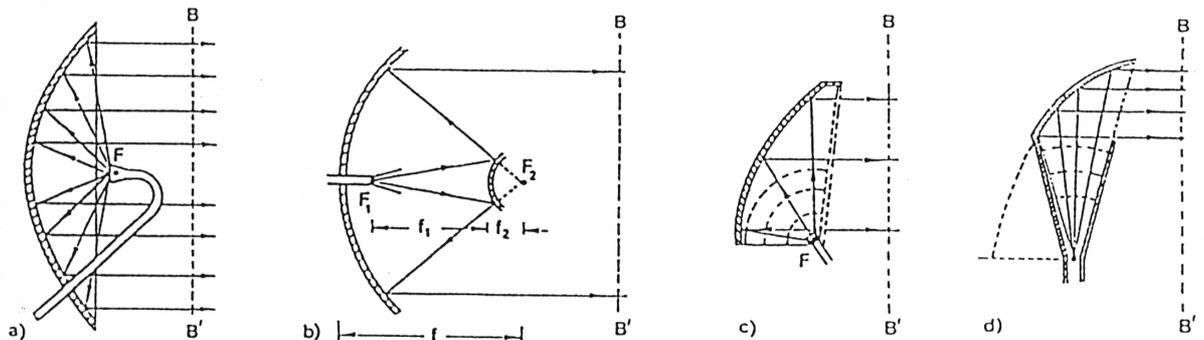


Figure 19 : Différents types d'antennes paraboliques

La forme la plus simple dans cette technologie est l'alimentation frontale. L'antenne consiste en un réflecteur parabolique symétrique (réflecteur principal) et en une source dite primaire disposée au point focal du réflecteur. D'après les lois de l'optique géométrique, la source transmet une onde sphérique qui est transformée dans l'ouverture AA' en un faisceau focalisé cad une onde plane dans le plan BB' (ou vice versa en réception). Pour cela il faut cependant que la source primaire soit de dimensions négligeables devant le réflecteur et que celui-ci soit de forme parabolique. Sous ces conditions, les trajets de chaque rayon sont de longueurs identiques et une distribution plane de la phase de l'onde est créée (figure 19 a).

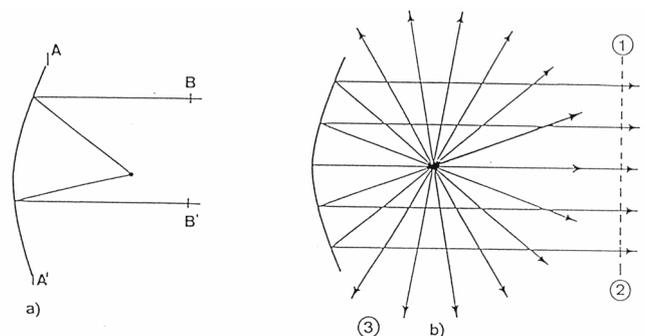


Figure 20

Les antennes paraboliques sont généralement excitées par des cornets eux-mêmes reliés à des guides d'ondes ou éventuellement par des dipôles en $\lambda/2$ avec de petits réflecteurs. Il est important que le réflecteur soit illuminé de la manière la plus uniforme possible et que cette illumination **tende rapidement vers 0 à l'approche du périmètre du réflecteur afin de diminuer la diffraction par les arrêtes de la parabole.**

Lorsque l'antenne opère en réception, cette diffraction augmente le bruit et dégrade la qualité de la transmission ce qui est particulièrement crucial dans le cas d'une liaison par satellite.

Une partie de l'énergie rayonnée par la source primaire peut aussi l'être vers l'arrière et peut interférer de manière destructive avec l'onde plane générée par le réflecteur. Ce rayonnement arrière peut être minimisé par le choix judicieux de l'élément rayonnant ou en disposant un sous réflecteur à l'arrière de la source.

Le gain de la parabole dépend des facteurs suivants:

- Le "gain" de l'élément rayonnant source
- Le rapport de la distance focale sur le diamètre du réflecteur: f/D

Ces critères amènent parfois à de grandes dimensions. Afin de gagner en encombrement, une antenne de type Cassegrain (figure 19 c) peut être utilisée. La distance focale effective devient alors $f = f_1/f_2$ F.

L'antenne parabolique à offset est quant à elle utilisée pour diminuer l'effet de masquage de la source primaire causée par la réflexion des ondes sur elle-même (et donc la réinjection d'une partie de l'énergie émise par le réflecteur sur lui même).

La mesure de l'ouverture angulaire à -3 dB dépend du choix de la source primaire et de sa position. La relation suivante peut cependant être considérée comme exacte pour la plupart des cas:

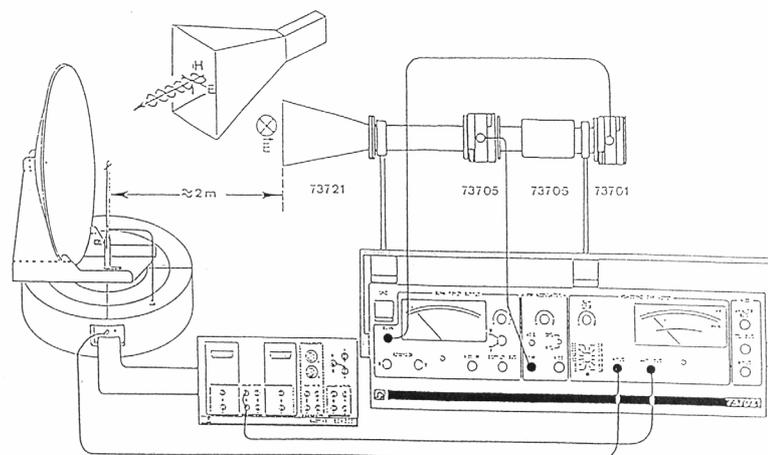
$$BW(^{\circ}) = 2\theta = 70 \lambda_0/D$$

La définition de la surface effective d'une antenne est valide pour la plupart des antennes et ne se limite pas au cas des antennes à réflecteurs. La surface effective est la surface à travers laquelle une onde plane homogène de densité de puissance S transporte exactement la puissance reçue par l'antenne P_r . Il existe alors une relation directe entre l'aire effective A_{eff} et le gain G de l'antenne:

$$A_{eff} = \lambda_0^2/4\pi \cdot G$$

Comme la source n'illumine pas le réflecteur de manière parfaite, l'aire effective A_{eff} est considérablement plus faible que l'aire de l'ouverture équivalente A . Le quotient entre ces deux valeurs est noté τ et dans le cas de réflecteurs paraboliques, on a $0,5 < \tau < 0,6$.

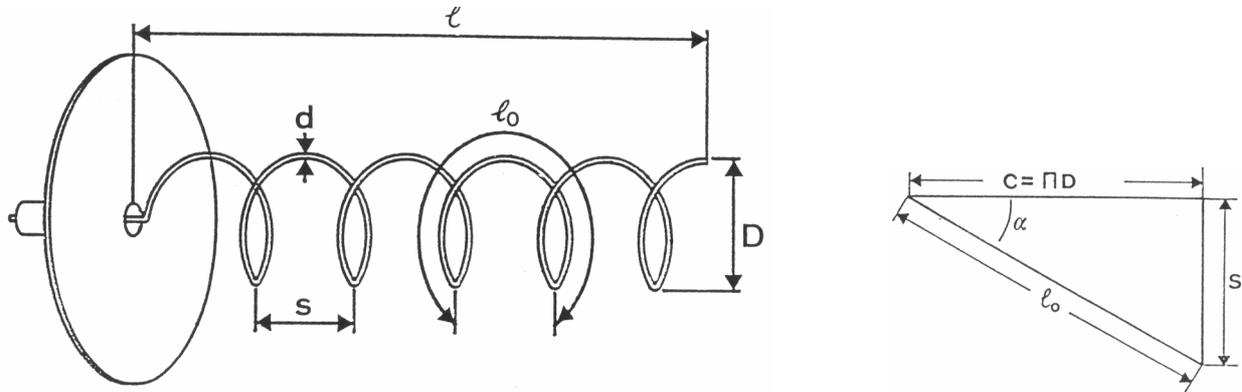
- Monter la parabole en laissant le dipôle devant elle: *suivre les recommandations précédentes*



- Mesurer l'antenne ainsi formée pour 3 distances (min, moyenne, max) du dipôle (attention au calibre). Quel est le meilleur des cas ? Est-ce que cette distance correspond à un point particulier de la parabole ?
- Placer le réflecteur derrière le dipôle (pour le meilleur des trois cas précédents) et refaite une mesure.
- Commentaires et conclusion sur le gain et l'ouverture à -3dB (théorie et mesure).

4.7 Antenne hélicoïdale

L'antenne hélice est l'une des plus simple de toutes les antennes à polarisation circulaire. L'analogie avec une vis en mécanique est immédiate. La polarisation circulaire émise ou reçue par une telle antenne a exactement le même sens que le sens de la spirale de l'ellipse. L'antenne hélice se compose d'un fil conducteur enroulé en spirale, généralement alimenté par un câble coaxial. Cette antenne possède généralement aussi **un réflecteur de forme circulaire** pour respecter la symétrie de révolution. L'âme centrale du coaxial est connectée à l'hélice tandis que le câble extérieur est connecté au réflecteur. Les dimensions de cette antenne sont définies de la manière suivante.



- n est le nombre de tours de l'hélice
- D est le diamètre de l'hélice
- S est le pas entre les différents tours
- $l = nS$ est la longueur totale de l'hélice
- l_0 est la longueur d'un tour
- $L_n = n l_0 = n \cdot (S^2 + C^2)^{1/2}$
- $C = \pi \cdot D$

Les antennes en hélice peuvent rayonner dans des modes variés. En pratique, seul **le mode normal à rayonnement latéral et le mode axial (end-fire) sont exploités**. De part sa popularité, nous n'utiliserons ici que le mode end-fire, qui rayonne ou reçoit un maximum d'énergie dans la direction axiale de l'antenne.

Pour pouvoir exciter ce mode, la circonférence de la spirale doit être dans un rapport $3/4 < C/\lambda < 4/3$. La valeur optimale est $C/\lambda = 1$ et un pas $S = \lambda/4$. Le réflecteur doit avoir un diamètre d'au moins $\lambda/2$. Si le nombre de tours est supérieur à 3 on a alors les approximations suivantes pour l'antenne hélice dans le mode axial:

- Impédance d'entrée (purement résistive): $Z_{in} = R_{in} = 140 (C/\lambda) (\Omega)$
- Ouverture du faisceau à -3dB (soit mi-puissance): $\text{HPBW} = (52 \lambda^{3/2}) / [C(nS)^{1/2}] (^\circ)$
- Largeur des lobes entre 0: $\text{BNBW} = (115 \lambda^{3/2}) / [C(nS)^{1/2}] (^\circ)$
- Directivité (en linéaire): $D_0 = 15 n C^2 S / \lambda^3 (^\circ)$
- Le champ lointain normalisé est donné par la relation suivante:
 $E/E_{\text{max}} = \sin(\pi/2 n) \cos\theta \{ \sin [(n/2)\psi] / \sin(\psi/2) \}$ avec $\psi = 2 \pi [(S/\lambda) (1 - \cos\theta) + 1/(2n)]$

- Calculer l'ouverture à -3dB théorique en examinant les antennes
- Démontez le dispositif précédent, remonter les deux antennes adéquates parmi les trois présentes sur la table de manip. Pour cela, utiliser les coudes en guide d'onde afin que la direction principale de propagation de la source soit dirigée vers la table tournante. **Consulter l'enseignant si besoin est.**
- Manipulation, confrontation théorie/expérience et conclusion

5. CONCLUSION

- Dans un grand tableau récapitulatif, résumer l'ensemble des caractéristiques relevées
- Indiquer quels couples (disparate ou pas) peut convenir à :
 - une communication entre une station fixe au sol et un satellite
 - une communication entre un émetteur fixe au sol et des mobiles
 - une communication entre deux stations fixes au sol
 - une communication entre mobiles via un satellite