

# 4

## Antennes et lignes de transmission

L'émetteur qui produit l'énergie RF<sup>1</sup> pour l'antenne est habituellement situé à une certaine distance des bornes d'antenne. Le lien de connexion entre les deux est la **ligne de transmission** RF. Son but est de transporter l'énergie RF d'un endroit à l'autre et de le faire aussi efficacement que possible. Du côté du récepteur, l'antenne est responsable d'attraper tous les signaux de radio dans le ciel et de les passer au récepteur avec un minimum de distorsion de sorte que la radio puisse décoder le signal convenablement. C'est pour ces raisons que le câble RF a un rôle très important dans les systèmes de radio: il doit maintenir l'intégrité des signaux dans les deux directions.

Il y a deux catégories principales de lignes de transmission: les câbles et les guides d'ondes. Les deux sont très efficaces pour transporter de l'énergie RF à 2,4 GHz.

### Câbles

Les câbles RF sont, pour des fréquences supérieures à la fréquence HF, presque exclusivement des câbles coaxiaux (ou **coax** en abrégé, dérivé des mots « *d'une axe commun* »). Les câbles coaxiaux se composent d'un **conducteur** de cuivre entouré par un matériel non-conducteur nommé **diélectrique** ou simplement **isolation**. Le matériel diélectrique est entouré par un bouclier de fils tressés qui empêchent une connexion électrique. Le câble coax est également protégé par une gaine externe qui est généralement faite à partir d'un matériel PVC. Le conducteur intérieur transporte le signal RF et

---

1. Radio Fréquence. Voir le chapitre 2 pour une discussion sur les ondes électromagnétiques.

le bouclier externe empêche le signal RF de rayonner dans l'atmosphère tout en empêchant également les signaux extérieurs de faire interférence sur le signal porté par le noyau. Un autre fait intéressant est que le signal électrique voyage toujours le long de la couche externe du conducteur central: plus le conducteur central est grand, mieux le signal circulera. Ceci s'appelle « l'effet pelliculaire ».

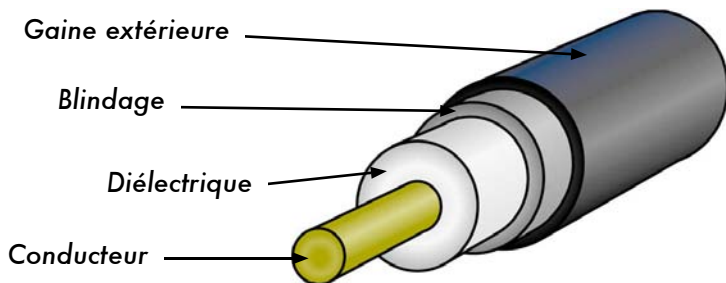


Figure 4.1: Câble coaxial avec gaine extérieure, bouclier, matériel diélectrique et conducteur.

Même si la construction coaxiale est efficace pour contenir le signal au sein du noyau, on observe une certaine résistance à la circulation électrique: pendant que le signal voyage au sein du noyau, il perd de sa force. Ceci est connu en tant que phénomène d'**atténuation**, et pour les lignes de transmission il est mesuré en décibels par mètre (**dB/m**). Le taux d'atténuation est une fonction de la fréquence du signal et de la construction physique du câble lui-même. À mesure que la fréquence du signal augmente, son atténuation le fera également. Évidemment, nous devons réduire au minimum, autant que possible, l'atténuation du câble en le maintenant très court et en employant des câbles de haute qualité.

Voici quelques points à considérer au moment de choisir un câble pour être utilisé avec des dispositifs micro-ondes:

1. « Plus c'est court, mieux c'est! »: ceci est la première règle à suivre au moment d'installer un câble. Comme la perte d'énergie n'est pas linéaire, si vous doublez la longueur du câble, vous pourrez perdre beaucoup plus que le double d'énergie. De la même manière, réduire la longueur du câble de la moitié donnera à l'antenne plus que le double d'énergie. La meilleure solution est de placer l'émetteur le plus près possible de l'antenne, même si ceci suppose de le placer sur une tour.
2. « Moins c'est cher, pire c'est! »: la deuxième règle d'or est que l'argent que vous investissez au moment d'acheter un câble de qualité n'est pas vain. Les câbles peu dispendieux sont faits pour être utilisés à de faibles fréquences, comme la fréquence VHF. Les micro-ondes exigent des

câbles d'une qualité supérieure. Toutes les autres options ne sont qu'une charge factice.<sup>2</sup>

3. Éviter toujours les RG-58. Ils sont conçus pour les réseaux Ethernet, les CB ou radio de VHF et non pour les micro-ondes.
4. Éviter également les RG-213. Ils sont conçus pour les radios CB et HF. Dans ce cas, le diamètre du câble n'implique ni grande qualité ni faible atténuation.
5. Lorsque c'est possible, employez des câbles **Heli**ax (également nommés "mousse") pour relier l'émetteur à l'antenne. Quand ceux-ci ne sont pas disponibles, employez le meilleur câble LMR que vous pouvez trouver. Les câbles Heli
- ax ont un conducteur central solide ou tubulaire et un conducteur externe solide ondulé qui leur permet de fléchir. Les câbles Heli
- ax peuvent être construits de deux façons: en utilisant l'air ou la mousse comme matériel diélectrique. Les câbles diélectriques à air sont les plus chers et garantissent une perte minimum d'énergie, mais ils sont très difficiles à manipuler. Les câbles diélectriques en mousse causent une perte d'énergie légèrement plus élevée mais sont moins chers et plus faciles à installer. Un procédé spécial est exigé au moment de souder les connecteurs afin de garder le câble diélectrique en mousse sec et intact. LMR est une marque de câble coax disponible sous différents diamètres qui fonctionne bien avec des fréquences micro-ondes. Comme alternative aux câbles Heli
- ax, on utilise généralement les LMR-400 et LMR-600.
6. Autant que possible, employez des câbles qui ont été pré-sertis et examinés dans un laboratoire approprié. L'installation de connecteurs sur des câbles peut être une tâche ardue, et il est difficile de la faire correctement même avec les outils appropriés. À moins que vous ayez accès à un équipement qui vous permette de vérifier le câble que vous avez réalisé (tel un analyseur de spectre et un générateur de signal ou un réflectomètre temporel), le dépannage d'un réseau utilisant un câble fait maison peut être difficile.
7. Ne maltraitez pas votre ligne de transmission. Ne marchez jamais sur un câble, ne le pliez pas trop et n'essayez pas de débrancher un connecteur en tirant directement sur le câble. Tous ces comportements peuvent changer la caractéristique mécanique du câble et donc son impédance, provoquer un court-circuit entre le conducteur intérieur et le bouclier, voir même briser la ligne. Ces problèmes sont difficiles à repérer et à reconnaître et peuvent produire un comportement imprévisible sur le lien radio.

---

2. Une charge factice est un dispositif qui absorbe l'énergie RF sans la rayonner. Imaginez un radiateur qui fonctionne aux radio fréquences.

## Guides d'ondes

Au-dessus de 2 GHz, la longueur d'onde est assez courte pour permettre un transfert d'énergie efficace et pratique par différents moyens. Un guide d'ondes est un tube conducteur par lequel l'énergie est transmise sous forme d'ondes électromagnétiques. Le tube agit en tant que frontière qui confine les ondes en son intérieur. L'effet pelliculaire empêche tous les effets électromagnétiques d'émaner hors du guide. Les champs électromagnétiques sont propagés par le guide d'ondes au moyen de réflexions contre ses murs intérieurs, qui sont considérés comme des conducteurs parfaits. L'intensité des champs est plus grande au centre le long de la dimension X et doit diminuer à zéro en arrivant aux murs car l'existence de n'importe quel champ parallèle aux murs sur la surface ferait entrer un courant infini dans un conducteur parfait. Naturellement, les guides d'ondes ne peuvent pas acheminer d'énergie RF de cette façon.

Les dimensions X, Y et Z d'un guide d'ondes rectangulaire sont représentées dans la figure suivante:

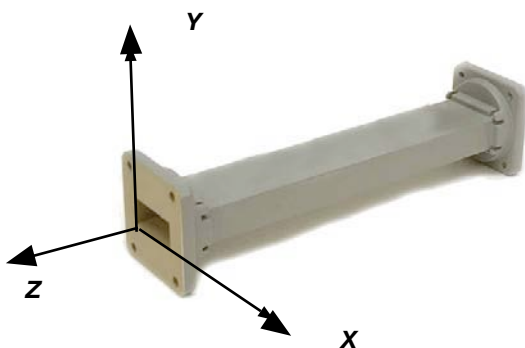


Figure 4.2: Les dimensions X, Y, et Z d'un guide d'onde rectangulaire.

Il y a un nombre infini de manières par lesquelles les champs électriques et magnétiques peuvent s'ordonner dans un guide d'ondes pour des fréquences au-dessus de la fréquence de coupure basse. Chacune de ces configurations de champ s'appelle un **mode**. Les modes peuvent être séparés en deux groupes généraux. Un groupe, nommé **TM** (transverse magnétique), a un champ magnétique entièrement transversal à la direction de propagation mais une composante du champ électrique dans la direction de la propagation. L'autre groupe, nommé **TE** (transverse électrique) a un champ électrique entièrement transversal mais une composante de champ magnétique dans la direction de la propagation.

Le mode de propagation est identifié par deux lettres suivies de deux numéros. Par exemple, TE 10, TM 11, etc... Le nombre de modes possibles aug-

mente avec la fréquence pour une taille donnée de guide et il n'y a qu'un mode possible, nommé le **mode dominant**, pour la plus basse fréquence transmissible. Dans un guide rectangulaire, la dimension critique est  $X$ . Cette dimension doit être plus élevée que  $0,5 \lambda$  à la plus basse fréquence à être transmise. Dans la pratique, la dimension  $Y$  est habituellement égale à  $0,5 X$  pour éviter la possibilité d'opérer dans un autre mode que le dominant. D'autres formes de guide peuvent être employées, la plus importante étant la forme circulaire. Dans ce dernier cas, nous appliquons plus ou moins les mêmes considérations que pour les guides rectangulaires. Les dimensions des longueurs d'onde pour les guides rectangulaires et circulaires sont indiquées dans la table suivante, où  $X$  est la largeur d'un guide rectangulaire et  $r$  est le rayon d'un guide circulaire. Toutes les figures s'appliquent au mode dominant.

Type de guide	Rectangulaire	Circulaire
Longueur d'onde de coupure	<b>2X</b>	<b>3,41r</b>
Plus longue longueur d'onde transmise avec peu d'atténuation	<b>1,6X</b>	<b>3,2r</b>
Plus courte longueur d'onde avant que le prochain mode devienne possible	<b>1,1X</b>	<b>2,8r</b>

L'énergie peut être présentée dans ou extraite à partir d'un guide d'ondes au moyen d'un champ électrique ou magnétique. Le transfert d'énergie se produit typiquement au moyen d'une ligne coaxiale. Deux méthodes possibles existent pour coupler une ligne coaxiale: utiliser le conducteur intérieur de la ligne coaxiale ou former une boucle. Une sonde qui est simplement une prolongation courte du conducteur intérieur de la ligne coaxiale peut être orientée de sorte qu'elle soit parallèle aux lignes électriques de la force. Une boucle peut être agencée de telle sorte qu'elle joigne certaines des lignes magnétiques de la force. Le point auquel l'accouplement maximum est obtenu dépend du mode de la propagation dans le guide ou la cavité. L'accouplement est maximum quand le dispositif d'accouplement est dans le champ le plus intense.

Si un guide d'ondes est laissé ouvert à une extrémité, il rayonnera l'énergie (c'est-à-dire qu'il peut être employé comme antenne plutôt que comme ligne de transmission). Ce rayonnement peut être augmenté en élargissant le guide d'ondes pour former une antenne cornet. Plus loin dans ce chapitre, nous verrons un exemple d'une antenne pratique de guide d'ondes pour les réseaux sans fil.

Câble Type	Noyau	Diélectrique	Bouclier	Gaîne
RG-58	0,9 mm	2,95 mm	3,8 mm	4,95 mm
RG-213	2,26 mm	7,24 mm	8,64 mm	10,29 mm
LMR-400	2,74 mm	7,24 mm	8,13 mm	10,29 mm
3/8" LDF	3,1 mm	8,12 mm	9,7 mm	11 mm

Voici une table contrastant les tailles de diverses lignes courantes de transmission. Choisissez le meilleur câble que vous pouvez vous permettre avec la plus faible atténuation possible à la fréquence que vous avez l'intention d'employer pour votre lien sans fil.

## Connecteurs et adaptateurs

Les connecteurs permettent à un câble d'être relié à un autre câble ou à une composante de la chaîne RF. Il y a une grande variété d'assortiments et de connecteurs conçus pour aller de pair avec diverses tailles et types de lignes coaxiales. Nous décrivons quelques-unes des plus populaires.

Les **connecteurs BNC** ont été développés vers la fin des années 40. BNC est l'acronyme de *Bayonet Neill Concelman* en honneur aux inventeurs: Paul Neill et Karl Concelman. Le BNC est un connecteur miniature qui permet un raccordement rapide des câbles. Il comporte deux crochets de baïonnette sur le connecteur femelle et le raccordement est réalisé avec un quart de tour de l'écrou d'accouplement. En principe, les connecteurs BNC sont appropriés pour la terminaison des câbles coaxiaux miniatures et subminiatures (RG-58 à RG-179, RG-316, etc...) Ils offrent une performance acceptable jusqu'à quelques gigahertz. On les retrouve généralement sur des équipements d'essai et sur les câbles coaxiaux Ethernet 10base2.

Les **connecteurs TNC** ont également été inventés par Neill et Concelman, et ils sont une variation fileté du BNC. En raison d'une meilleure interconnexion offerte par le connecteur fileté, les connecteurs TNC fonctionnent bien à environ 12GHz. TNC est l'acronyme de *Threaded Neill Concelman* (Nelly Concelmann fileté).

Les connecteurs de **type N** (encore une fois pour Neill, bien que parfois attribué à la "marine", Navy en Anglais) ont été à l'origine développés pendant la deuxième guerre mondiale. Ils sont utilisables jusqu'à 18 gigahertz, et très couramment utilisés pour des applications micro-ondes. Ils sont disponibles pour presque tous les types de câble. Les joints de prise/câble et de prise/douille sont imperméables à l'eau fournissant de ce fait, un collier efficace.

**SMA** est un acronyme pour la version A de SubMiniature, et il a été développé dans les années 60. Les connecteurs SMA sont des unités sub-miniatures de précision qui fournissent un excellent rendement électrique jusqu'à 18 gigahertz. Ces connecteurs à haut rendement ont une taille compacte et une longévité mécanique exceptionnelle.

Le nom **SMB** dérivé de SubMiniature B, la deuxième conception subminiature. Le SMB est une plus petite version du SMA avec un accouplement par encliquetage. Il offre une capacité de large bande à 4 gigahertz avec une conception de connecteur à encliquetage.

Les connecteurs **MCX** ont été introduits dans les années 80. Tandis que les MCX utilisent un contact intérieur et un isolateur de dimensions identiques aux SMB, le diamètre extérieur de la prise est 30% plus petit que celui des SMB. Cette série fournit aux concepteurs une bonne option dans le cas où le poids et l'espace physique sont limités. Les MCX fournissent une capacité de large bande à 6 gigahertz et une conception de connecteur à encliquetage.

En plus de ces connecteurs standard, la plupart des dispositifs WiFi emploient une variété de connecteurs propriétaires. Souvent, ceux-ci sont simplement des connecteurs standard à micro-ondes avec les pièces centrales du conducteur inversées ou le fil coupé dans une direction opposée. Ces pièces sont souvent intégrées dans un système de micro-ondes en utilisant un câble *juniper* court appelé **queue de cochon** (*pigtail* en anglais) qui convertit le connecteur qui n'est pas standard en quelque chose de plus robuste et couramment disponible. En voici une liste non exhaustive:

Le **RP-TNC**. Il s'agit d'un connecteur TNC avec les genres inversés. Ils sont le plus souvent trouvés dans les équipements Linksys comme le WRT54G.

L'**U.FL** (aussi connu sous l'acronyme **MHF**). L'U.FL est un connecteur breveté par Hirose, alors que le MHF est un connecteur mécaniquement équivalent. C'est probablement le plus petit connecteur à micro-ondes actuellement sur le marché. L'U.FL/MHF est typiquement employé pour relier une carte radio de mini-PCI à une antenne ou à un plus grand connecteur (tel qu'un N ou un TNC).

La série **MMCX**, qui se nomme également MicroMate, est une des plus petites lignes de connecteurs RF et a été développée dans les années 90. MMCX est une série micro-miniature de connecteur avec un mécanisme de verrouillage automatique acceptant une rotation de 360 degrés permettant la flexibilité. Les connecteurs MMCX sont généralement trouvés sur les cartes radio PCMCIA construites par Senao et Cisco.

Les connecteurs **MC-Card** sont encore plus petits et plus fragiles que les MMCX. Ils ont un connecteur externe fendu qui se brise facilement après un

certain nombre d'interconnexions. Ceux-ci sont généralement trouvés sur les équipements de Lucent/Orinoco/Avaya.

Les adaptateurs, qui s'appellent également adaptateurs coaxiaux, sont des connecteurs courts à deux côtés qui sont utilisés pour joindre deux câbles ou composants qui ne peuvent pas être reliés directement. Les adaptateurs peuvent être utilisés pour relier ensemble des dispositifs ou des câbles de différents types. Par exemple, un adaptateur peut être utilisé pour brancher un connecteur SMA à un BNC. Les adaptateurs peuvent également être utilisés pour joindre des connecteurs du même type mais qui ne peuvent pas être directement unis en raison de leur genre. Par exemple un adaptateur très utile est celui qui permet de joindre deux types de connecteurs N, ayant des connecteurs femelles des deux côtés.



Figure 4.3: Un adaptateur baril N femelle.

## Choisir un connecteur convenable

1. «La question de genre.» Pratiquement tous les connecteurs ont un genre bien défini qui consiste soit en une extrémité mâle ou une extrémité femelle. Habituellement les câbles ont des connecteurs mâles sur les deux extrémités alors que les dispositifs RF (c.-à-d. les émetteurs et les antennes) ont des connecteurs femelles. Les dispositifs tels que les coupleurs directionnels et les dispositifs de mesure de ligne peuvent avoir des connecteurs mâle et femelles. Assurez-vous que chaque connecteur mâle dans votre système joint un connecteur femelle.
2. «Moins c'est mieux!» Essayez de réduire au minimum le nombre de connecteurs et d'adaptateurs dans la chaîne RF. Chaque connecteur introduit une certaine perte additionnelle d'énergie (jusqu'à quelques dB pour chaque raccordement, selon le type de connecteur utilisé!)
3. «Achetez, ne construisez pas!» Comme nous l'avons mentionné précédemment, essayez dans la mesure du possible d'acheter des câbles qui sont déjà terminés avec les connecteurs dont vous avez besoin. Souder des connecteurs n'est pas une tâche facile et réaliser un bon travail est pratiquement impossible avec des petits connecteurs comme les U.FL et MMCX. Même la terminaison des câbles "mousse" n'est pas tâche facile.



4. N'utilisez pas un BNC pour des fréquences de 2,4GHz ou plus. Utilisez un type de connecteur N (ou SMA, SMB, TNC, etc.)
5. Les connecteurs à micro-ondes sont des pièces faites avec précision, et peuvent facilement être endommagés suite à un mauvais traitement. En règle générale, vous devez tourner la douille externe pour serrer le connecteur, tout en laissant le reste du connecteur (et du câble) immobile. Si d'autres pièces du connecteur se tordent en serrant ou desserrant, des dégâts peuvent facilement se produire.
6. Ne marchez pas sur les connecteurs et ne les laissez pas tomber sur le sol lorsque vous déconnectez des câbles (ceci survient plus souvent que vous pouvez l'imaginer, particulièrement lorsque vous travaillez sur une antenne au dessus d'un toit).
7. N'utilisez jamais des outils comme des pinces pour serrer les connecteurs. Utilisez toujours vos mains. En cas d'utilisation extérieure, rappelez-vous que les métaux augmentent de taille à des températures élevées et réduisent de taille à de basses températures: un connecteur qui a été trop serré peut se dilater en été et se briser en hiver.

## Antennes et modèles de propagation

Les antennes sont une composante très importante des systèmes de communication. Par définition, une antenne est un dispositif utilisé pour transformer un signal RF voyageant sur un conducteur en une onde électromagnétique dans l'espace. Les antennes présentent une propriété connue sous le nom de **réciprocité**, ce qui signifie qu'une antenne maintiendra les mêmes caractéristiques pendant la transmission et la réception. La plupart des antennes sont des dispositifs résonnants et fonctionnent efficacement sur une bande de fréquence relativement étroite. Une antenne doit être accordée à la même bande de fréquence que le système par radio auquel elle est reliée, autrement la réception et la transmission seront altérées. Lorsqu'un signal est introduit dans une antenne, l'antenne émettra un rayonnement distribué dans l'espace d'une certaine manière. On nomme **modèle de rayonnement** toute représentation graphique de la distribution relative à la puissance rayonnée dans l'espace.

## Glossaire de termes d'antenne

Avant de nous pencher sur des antennes spécifiques, il y a quelques termes communs qui doivent être définis et expliqués:

## Impédance d'entrée

Pour un transfert efficace d'énergie, l'**impédance** de la radio, l'antenne et le câble de transmission les reliant doivent être identiques. Des émetteurs-récepteurs et leurs lignes de transmission sont typiquement conçus pour une impédance de 50  $\Omega$ . Si l'antenne a une impédance différente à 50  $\Omega$ , il y a alors un déséquilibre et un circuit d'assortiment d'impédance est nécessaire. Si n'importe laquelle de ces composantes est mal adaptée, l'efficacité de transmission sera moins bonne.

## Perte de retour

La **perte de retour** est une autre manière d'exprimer le déséquilibre. C'est un rapport logarithmique mesuré en dB qui compare la puissance reflétée par l'antenne à la puissance qui est introduite dans l'antenne de la ligne de transmission. Le rapport entre le ROS ou Rapport d'Onde Stationnaire (*SWR- Standing Wave Ratio* en anglais) et la perte de retour est le suivant:

$$\text{Perte de retour (en dB)} = 20 \log_{10} \frac{\text{ROS}}{\text{ROS} - 1}$$

Tandis que de l'énergie sera toujours reflétée de nouveau dans le système, une perte de retour élevée entraînera un rendement inacceptable de l'antenne.

## Largeur de bande

La **largeur de bande** d'une antenne se rapporte à la gamme de fréquences sur laquelle celle-ci peut fonctionner convenablement. La largeur de bande de l'antenne est le nombre d'hertz pour lequel l'antenne montrera un ROS inférieur à 2:1.

La largeur de bande peut également être décrite en termes de pourcentage de la fréquence centrale de la bande.

$$\text{Largeur de bande} = 100 \times \frac{F_H - F_L}{F_C}$$

...Où  $F_H$  est la fréquence plus élevée de la bande,  $F_L$  est la fréquence la plus basse de la bande et  $F_C$  est la fréquence centrale de la bande.

De cette façon, la largeur de bande est à fréquence relative constante. Si la largeur de bande était exprimée en unités absolues de fréquence, elle serait

différente en fonction de la fréquence centrale. Les différents types d'antennes présentent différentes limitations de largeur de bande.

## Directivité et Gain

La **directivité** est la capacité d'une antenne à focaliser l'énergie dans une direction particulière au moment de transmettre ou de recueillir l'énergie provenant d'une direction particulière au moment de recevoir. Si un lien sans fil est fixe aux deux extrémités, il est possible d'utiliser la directivité d'antenne pour concentrer le faisceau de rayonnement dans la direction voulue. Dans une application mobile où l'émetteur-récepteur n'est pas fixe, il peut être impossible de prévoir où l'émetteur-récepteur sera, et donc l'antenne devrait, dans la mesure du possible, rayonner dans toutes les directions. Une antenne omnidirectionnelle devrait être utilisée dans ce cas.

Le **gain** n'est pas une quantité qui peut être définie en termes de quantité physique tel que le Watt ou l'Ohm, c'est plutôt un rapport sans dimensions. Le gain est donné en référence à une antenne standard. Les deux antennes de référence les plus communes sont l'antenne isotrope et l'antenne dipôle à demi onde résonnante. L'antenne isotrope rayonne aussi bien dans toutes les directions. Les vraies antennes isotropes n'existent pas mais elles fournissent des modèles théoriques utiles et simples d'antenne et nous servent d'outil de comparaison pour les vraies antennes. Dans la vraie vie, toute antenne rayonnera plus d'énergie dans une direction que dans une d'autre. Puisque les antennes ne peuvent pas créer d'énergie, la puissance totale rayonnée est identique à celle d'une antenne isotrope. N'importe quelle énergie additionnelle rayonnée dans les directions favorisées est également compensée par moins d'énergie rayonnée dans toutes les autres directions.

Le gain d'une antenne dans une direction donnée est la quantité d'énergie rayonnée dans cette direction comparée à l'énergie qu'une antenne isotrope rayonnerait dans la même direction avec la même puissance d'entrée. Habituellement nous sommes uniquement intéressés par le gain maximum, qui est le gain dans la direction dans laquelle l'antenne rayonne la majeure partie de la puissance. On écrit **3dBi**, le gain d'une antenne de 3dB comparé à une antenne isotrope. Le dipôle à demi-onde résonnante peut être un standard utile pour comparer à d'autres antennes à une fréquence donnée ou à une bande très étroite de fréquences. Comparer le dipôle à une antenne sur une gamme de fréquences exige un certain nombre de dipôles de différentes longueurs. Un gain d'antenne de 3dB comparé à une antenne de dipôle s'écrit **3dBd**.

La méthode qui consiste à mesurer le gain en comparant l'antenne testée à une antenne standard connue, ayant un gain calibré, est connue comme la technique de **transfert de gain**. Une autre méthode pour mesurer le gain est la méthode des trois antennes, où la puissance transmise et reçue sur les

bornes d'antenne est mesurée entre trois antennes arbitraires à une distance fixe connue.

## Diagramme de rayonnement

Le **diagramme de rayonnement** ou **diagramme d'antenne** décrit la force relative du champ rayonné dans diverses directions de l'antenne, à une distance constante. Le modèle de rayonnement est aussi un modèle de réception puisqu'il décrit également les propriétés de réception de l'antenne. Le modèle de rayonnement est tridimensionnel, mais habituellement les modèles de rayonnement mesurés sont une tranche bidimensionnelle du modèle tridimensionnel, dans les plans verticaux ou horizontaux. Ces mesures de modèle sont présentées dans un format **rectangulaire** ou **polaire**. La figure suivante montre un diagramme de rayonnement aux coordonnées rectangulaires d'une antenne Yagi à dix éléments. Le détail est de bonne qualité mais il est difficile de visualiser le comportement d'antenne dans différentes directions.

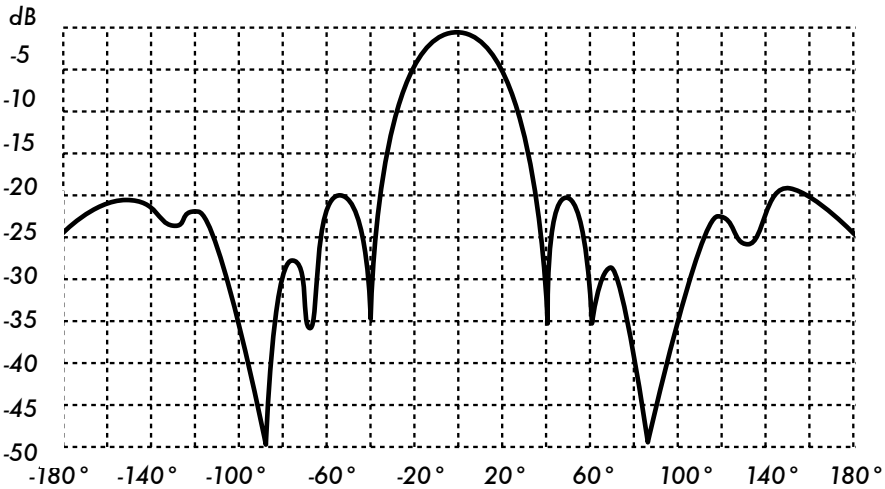


Figure 4.4: Un diagramme de rayonnement aux coordonnées rectangulaires d'une antenne Yagi.

Les systèmes de coordonnées polaires sont employés presque universellement. Dans un graphique de coordonnées polaires, les points sont situés par projection le long d'un axe tournant (rayon) à une intersection avec un des cercles concentriques. Ce qui suit est un diagramme de rayonnement polaire de la même antenne Yagi à 10 éléments.

Les systèmes de coordonnées polaires peuvent être divisés en deux classes: linéaire et logarithmique. Dans le système de coordonnées linéaires, les cercles concentriques sont équidistants et sont gradués. Une telle grille

peut être employée pour préparer un diagramme de rayonnement linéaire de la puissance contenue dans le signal. Pour rendre plus facile la comparaison, les cercles concentriques équidistants peuvent être remplacés par des cercles convenablement placés représentant la réponse en décibel, référencée à 0 dB au bord externe du diagramme de rayonnement. Dans ce genre de graphique les lobes mineurs sont supprimés. Les lobes avec des crêtes de plus de 15 dB ou très au-dessous du lobe principal disparaissent en raison de leur petite taille. Cette grille améliore les tracés dans lesquelles l'antenne a une directivité élevée et de petits lobes mineurs. La tension du signal, plutôt que la puissance, peut également être tracés sur un système de coordonnées linéaire. Dans ce cas-ci, la directivité sera également augmentée et les lobes mineurs seront supprimés, mais pas au même degré que dans la grille linéaire de puissance.

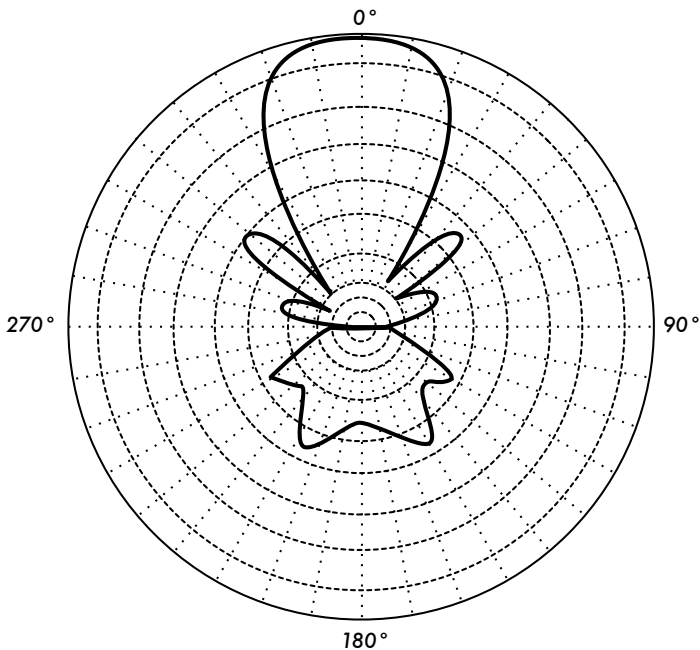


Figure 4.5: Un diagramme polaire linéaire de la même antenne yagi.

Dans les systèmes en coordonnées logarithmiques les lignes de grille concentriques sont espacées périodiquement selon le logarithme de la tension dans le signal. Différentes valeurs peuvent être employées pour la constante logarithmique de la périodicité et ce choix aura un effet sur l'aspect des modèles tracés. Généralement les références 0 dB pour le bord externe du diagramme sont employées. Avec ce type de grille, de lobes de 30 ou 40 dB au-dessous du lobe principal sont encore distinguables. L'espacement entre les points à 0 dB et -3 dB est plus grand que l'espacement entre -20 dB et -23 dB, qui est plus grand que l'espacement entre 50 dB et 53 dB.

L'espacement correspond donc ainsi à la signification relative de tels changements dans la performance de l'antenne.

Une balance logarithmique modifiée souligne la forme du faisceau principal tout en comprimant des lobes latéraux de niveau très bas (>30 dB) vers le centre du modèle.

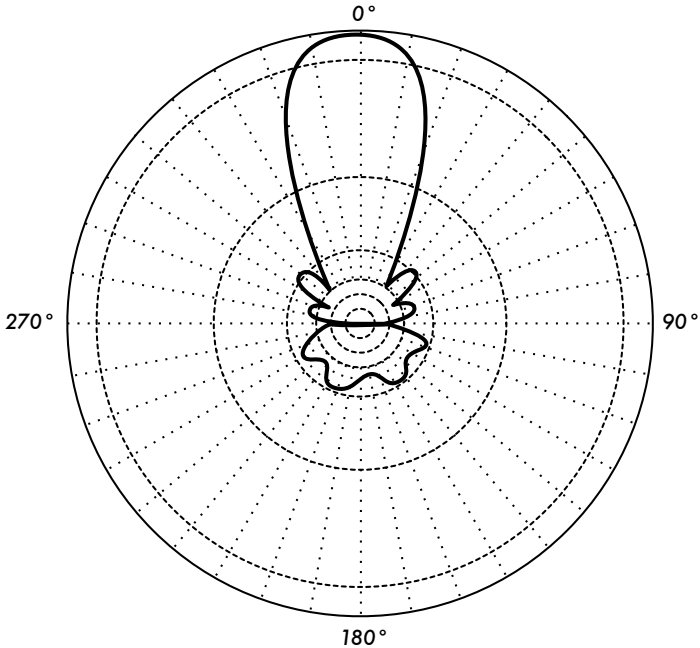


Figure 4.6: Traçage polaire logarithmique

Il y a deux genres de diagramme de rayonnement: **absolu** et **relatif**. Des diagrammes de rayonnement absolus sont présentés dans les unités absolues de la force ou de la puissance de champ. Des diagrammes de rayonnement relatifs se retrouvent dans les unités relatives de la force ou de la puissance de champ. La plupart des mesures d'un diagramme de rayonnement font référence à l'antenne isotrope et la méthode de transfert de gain est alors employée pour établir le gain absolu de l'antenne.

Le motif de rayonnement dans la région près de l'antenne n'est pas identique au motif à de grandes distances. Le terme champ-proche se rapporte au modèle de champ qui existe près de l'antenne, alors que le terme champ-lointain se rapporte au modèle de champ à de grandes distances. Le champ-lointain s'appelle également champ de rayonnement et c'est celui qui a généralement plus d'intérêt. Habituellement, c'est la puissance rayonnée qui nous intéresse, c'est pourquoi les modèles d'antenne sont habituellement mesurés dans la région du champ-lointain. Pour la mesure des modèles, il est impor-

tant de choisir une distance suffisamment grande pour être dans le champ-lointain, bien loin du champ-proche. La distance minimum permise dépend des dimensions de l'antenne par rapport à la longueur d'onde. La formule admise pour cette distance est:

$$r_{\min} = \frac{2d^2}{\lambda}$$

Où  $r_{\min}$  est la distance minimum de l'antenne,  $d$  la plus grande dimension de l'antenne, et  $\lambda$  est la longueur d'onde.

## Largeur du lobe

Par **largeur du lobe** d'une antenne, on entend habituellement la largeur du lobe à demi-puissance. L'intensité maximale de rayonnement est trouvée et alors les points de chaque côté de la crête qui représentent la moitié de la puissance de l'intensité maximale sont localisés. La distance angulaire entre points de demi-puissance est définie comme largeur du lobe. Comme la moitié de la puissance exprimée en décibels est -3dB, la largeur du lobe à demi puissance est parfois désignée sous le nom de la largeur du lobe 3dB. On considère habituellement autant les largeurs de lobe horizontales que les verticales.

Si nous considérons que la plupart de la puissance rayonnée n'est pas divisé en lobes latéraux, le gain directif est donc inversement proportionnel à la largeur du lobe: si la largeur du lobe diminue, le gain direct augmente.

## Lobes latéraux

Aucune antenne ne peut rayonner toute l'énergie dans une direction voulue. Une partie est inévitablement rayonnée dans d'autres directions. Ces plus petites crêtes sont désignées sous le nom de **lobes latéraux**, généralement présentées en dB en dessous du lobe principal.

## Zéro

Dans un diagramme de rayonnement d'antenne, une zone **zéro** est une zone dans laquelle la puissance rayonnée efficace est à un minimum. Un zéro a souvent un angle étroit de directivité comparé à celui du lobe principal. Ainsi, le zéro est utile à plusieurs fins, telle que la suppression des signaux d'interférence dans une direction donnée.

## Polarisation

La **polarisation** est définie comme étant l'orientation du champ électrique d'une onde électromagnétique. La polarisation est en général décrite par une ellipse. La polarisation linéaire et la polarisation circulaire sont deux cas spéciaux de polarisation elliptique. La polarisation initiale d'une onde radio est déterminée par l'antenne.

Avec la polarisation linéaire, le vecteur de champ électrique reste tout le temps dans le même plan. Le champ électrique peut laisser l'antenne dans une orientation verticale, une orientation horizontale ou dans un angle entre les deux. Le rayonnement **verticalement polarisé** est légèrement moins affecté par des réflexions dans le chemin de transmission. Les antennes omnidirectionnelles ont toujours une polarisation verticale. Avec la polarisation horizontale, de telles réflexions causent des variations dans la force du signal reçu. Les antennes horizontales sont moins sensibles aux interférences causées par les humains car celles-ci sont généralement polarisées verticalement.

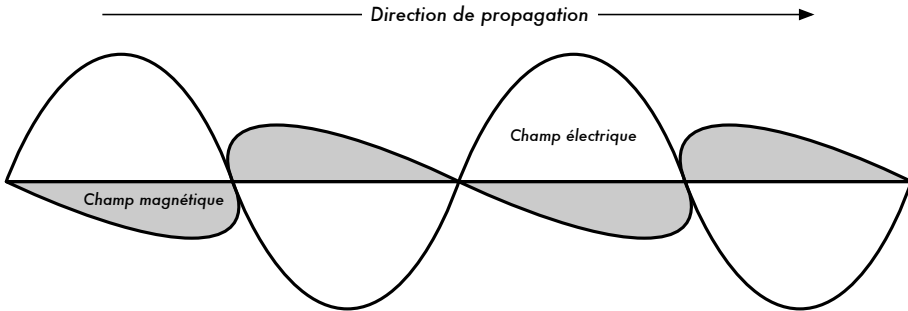


Figure 4.7: L'onde sinusoïdale électrique se déplace en direction perpendiculaire par rapport à l'onde magnétique dans la direction de la propagation

Dans la polarisation circulaire, le vecteur de champ électrique semble tourner avec le mouvement circulaire autour de la direction de la propagation, faisant un plein tour pour chaque cycle RF. Cette rotation peut être réalisée à droite ou à gauche. Le choix de la polarisation est l'un des choix de conception disponibles pour le concepteur du système RF.

## Déséquilibre de polarisation

Afin de transférer la puissance maximum entre une antenne de transmission et une antenne de réception, les deux antennes doivent avoir la même orientation spatiale, le même sens de polarisation et le même rapport axial.

Lorsque les antennes ne sont pas alignées ou n'ont pas la même polarisation, il y aura une réduction de transfert de puissance entre elles. Cette réduction de transfert de puissance réduira l'efficacité globale du système.



Lorsque les antennes de transmission et de réception sont toutes deux linéairement polarisées, une déviation de l'alignement physique de l'antenne entraînera une perte par déséquilibre de polarisation, ce qui peut être calculé en utilisant la formule suivante:

$$\text{Perte (dB)} = 20 \log (\cos \theta)$$

...Où  $\theta$  est la différence dans l'angle d'alignement entre les deux antennes. Pour  $15^\circ$  la perte est approximativement de 0,3dB, pour  $30^\circ$  nous perdons 1,25dB, pour  $45^\circ$  nous perdons 3dB et pour  $90^\circ$  nous avons une perte infinie.

En résumé, plus le déséquilibre dans la polarisation entre une antenne de transmission et de réception est grand, plus la perte apparente est grande. En pratique, un déséquilibre de  $90^\circ$  dans la polarisation est un déséquilibre important mais non infini. Certaines antennes, telles que les yagis ou les antennes de bidon, peuvent simplement être tournées  $90^\circ$  pour assortir la polarisation à l'autre extrémité du lien. Vous pouvez employer l'effet de polarisation à votre avantage sur un point pour diriger le lien. Utilisez un outil de surveillance pour observer l'interférence des réseaux adjacents, et tournez une antenne jusqu'à ce que vous perceviez le plus bas signal reçu. Puis, placer votre lien en ligne et orientez l'autre extrémité afin d'équilibrer la polarisation. Cette technique peut parfois être employée pour établir des liens stables même dans les environnements de radio bruyants.

## Rapport avant-arrière

Il est souvent utile de comparer le **rapport avant-arrière** des antennes directionnelles. C'est le rapport de la directivité maximum d'une antenne à sa directivité dans la direction opposée. Par exemple, quand le modèle de rayonnement est tracé sur une échelle relative en dB, le rapport avant-arrière est la différence en dB entre le niveau du rayonnement maximum dans la direction vers l'avant et le niveau du rayonnement à  $180$  degrés.

Ce nombre n'a aucune importance pour une antenne omnidirectionnelle mais il vous donne une idée de la quantité de puissance dirigée vers l'avant sur une antenne directionnelle.

## Types d'Antennes

On peut réaliser un classement des différentes antennes selon les caractéristiques suivantes:

- **Fréquence et taille.** Les antennes utilisées pour les HF sont différentes des antennes utilisées pour les VHF, qui sont à leur tour différentes des antennes utilisées pour les micro-ondes. Puisque la longueur d'onde varie fréquences, les antennes doivent avoir des tailles différentes afin de ray-

onner des signaux à la bonne longueur d'onde. Nous sommes particulièrement intéressés par les antennes fonctionnant dans la gamme des micro-ondes, particulièrement dans les fréquences de 2,4 gigahertz et de 5 gigahertz. À 2,4 gigahertz la longueur d'onde est de 12,5cm alors qu'à 5 gigahertz elle est de 6cm.

- **Directivité.** Les antennes peuvent être omnidirectionnelles, sectorielles ou directives. Les *antennes omnidirectionnelles* rayonnent approximativement le même modèle tout autour de l'antenne dans un modèle complet de 360°. Les types d'antennes omnidirectionnelles les plus populaires sont le *dipôle* et le *ground plane*. Les *antennes sectorielles* rayonnent principalement dans un secteur spécifique. Le faisceau peut être aussi large que 180 degrés ou aussi étroit que 60 degrés. Les *antennes directionnelles* sont des antennes pour lesquelles la largeur de faisceau est beaucoup plus étroite que dans les antennes sectorielles. Elles ont un gain plus élevé et sont donc employées pour des liens de longue distance. Les types d'antennes directives sont les Yagi, les biquad, les cornets, les hélicoïdales, les antennes patch, les antennes paraboliques, et plusieurs autres.
- **Construction physique.** Des antennes peuvent être construites de plusieurs façons différentes, allant des simples fils aux antennes paraboliques en passant par les boîtes de conserve.

Lorsque nous considérons des antennes appropriées pour un usage WLAN de 2,4 GHz, une autre classification peut être employée:

- **Application.** Les points d'accès tendent à faire des réseaux point-à-multipoint, tandis que les liens à distance sont point-à-point. Ces deux types de réseaux requièrent différents types d'antennes pour arriver à leur but. Les noeuds qui sont employés pour l'accès multipoint utiliseront probablement des antennes omnidirectionnelles qui rayonnent également dans toutes les directions ou des antennes sectorielles qui focalisent sur un petit secteur. Dans le cas d'un réseau point-à-point, les antennes sont utilisées pour relier deux endroits ensemble. Les antennes directionnelles sont le meilleur choix pour ce type d'application.

Nous allons vous présenter une brève liste de type d'antennes courantes pour la fréquence de 2,4 gigahertz avec une courte description ainsi que des informations de base sur leurs caractéristiques.

### Antenne ground-plane d'un quart de longueur d'onde

L'antenne ground-plane d'un quart de longueur d'onde se construit très facilement et elle est utile quand la taille, le coût et la facilité de la construction sont importants. Cette antenne est conçue pour transmettre un signal verticalement polarisé. Elle consiste en un élément d'un quart d'onde comme une moitié dipolaire et de trois ou quatre éléments de surface d'un quart de

longueur d'onde plié de 30 à 45 degrés vers le bas. Cet ensemble d'éléments, appelés les radiaux, est connu comme la base planaire (ground plane). C'est une antenne simple et efficace qui peut capturer un signal provenant de toutes les directions également. Pour augmenter le gain, le signal peut être aplani pour ôter le focus du dessus et du dessous et fournir plus de focus sur l'horizon. La largeur de faisceau verticale représente le degré d'aplanissement dans le focus. Ceci est utile dans une situation Point-à-Multipoint, si toutes les autres antennes sont également à la même hauteur. Le gain de cette antenne est de l'ordre de 2 – 4 dBi.



Figure 4.8: Antenne ground-plane d'un quart de longueur d'onde.

## Antenne Yagi

Une Yagi de base se compose d'un certain nombre d'éléments droits, chacun mesurant approximativement une demi longueur d'onde. L'élément actif d'une Yagi est l'équivalent d'une antenne dipolaire à demi onde à alimentation centrale. Parallèlement à l'élément actif et approximativement à 0,2 - 0,5 fois la longueur d'onde, de chaque côté se trouvent les tiges ou les fils droits appelés les réflecteurs et les directeurs ou simplement les éléments passifs. Un réflecteur est placé derrière l'élément conduit et est légèrement plus long que la moitié d'une longueur d'onde; un directeur est placé devant l'élément conduit et est légèrement plus court que la moitié d'une longueur d'onde. Une Yagi typique a un réflecteur et un ou plusieurs directeurs. L'antenne propage l'énergie de champ électromagnétique dans la direction qui va de l'élément conduit vers les directeurs et est plus sensible à l'énergie de champ électromagnétique entrant dans cette même direction. Plus une Yagi a de directeurs, plus le gain est grand. La photo suivante montre une antenne Yagi avec 6 directeurs et un réflecteur.

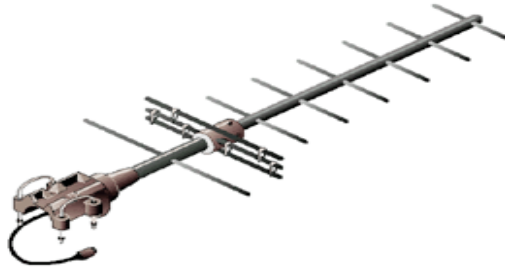


Figure 4.9: Une antenne Yagi.

Les antennes Yagi sont principalement utilisées pour des liens point-à-point. Elles ont un gain de 10 à 20 dBi et une largeur de faisceau horizontal de 10 à 20 degrés.

### Antenne cornet

L'antenne cornet (*horn*) tient son nom de son aspect caractéristique en forme de cornet. La partie évasée peut être à angle droit, rectangulaire, cylindrique ou conique. La direction du rayonnement maximum correspond à l'axe du cornet. Elle est facilement alimentée avec un guide d'ondes, mais peut être alimentée avec un câble coaxial et une transition appropriée. Les antennes cornet sont généralement utilisées comme élément actif dans une antenne parabolique. Le cornet est pointée vers le centre du réflecteur. L'utilisation d'une antenne cornet, plutôt qu'une antenne dipolaire ou n'importe quel autre type d'antenne au point focal du réflecteur, réduit au minimum la perte d'énergie autour des bords du réflecteur. À 2,4 gigahertz, une antenne cornet faite avec une boîte de conserve a un gain de l'ordre de 10 à 15 dBi.



Figure 4.10: Antenne cornet faite à partir d'une boîte de conserve.

### Antenne parabolique

Les antennes basées sur des réflecteurs paraboliques sont le type le plus commun d'antennes directives quand un gain élevé est exigé. Leur avantage

principal réside dans le fait qu'elles peuvent être construites afin de disposer d'un gain et d'une directivité aussi grands que souhaités. L'inconvénient principal est que ce type d'antenne est difficile à installer et se retrouve souvent à la merci du vent.

Les paraboles, jusqu'à un mètre, sont habituellement faits de matériel solide. L'aluminium est fréquemment employé pour l'avantage qu'il confère par rapport à son poids, sa longévité et ses bonnes caractéristiques électriques. L'effet du vent s'accroît rapidement avec la taille de la parabole et peut rapidement devenir un grave problème. Des paraboles d'une surface réfléchissante employant un maillage ouvert sont fréquemment employés. Ceux-ci ont un moins bon rapport avant-arrière mais sont plus sûrs et plus facile à construire. Le cuivre, l'aluminium, le laiton, l'acier galvanisé et le fer peuvent être utilisés lors de la construction d'une parabole maillée.



Figure 4.11: Un réflecteur d'antenne parabolique solide.

## BiQuad

L'antenne BiQuad peut se construire facilement et offre une bonne directivité et un bon gain pour des communications point-à-point. Elle se compose de deux carrés de la même taille d'un quart de longueur d'onde comme élément de rayonnement et d'un plat ou d'une grille métallique comme réflecteur. Cette antenne a une largeur de faisceau d'environ 70 degrés et un gain de l'ordre de 10-12 dBi. Elle peut être employée en tant qu'antenne autonome ou comme conducteur pour un réflecteur parabolique. La polarisation est telle qu'en regardant l'antenne de l'avant, si les carrés sont placés côte à côte, la polarisation est verticale.



Figure 4.12: Une BiQuad.

## Autres antennes

Il existe plusieurs autres types d'antennes et de nouvelles sont créés suivant l'avancement technologique.

- Antennes de secteur ou sectorielles: elles sont largement répandues en infrastructure de téléphonie cellulaire et sont habituellement construites en ajoutant un plat réflecteur à un ou plusieurs dipôles mis en phase. Leur largeur de faisceau horizontale peut être aussi large que 180 degrés, ou aussi étroite que 60 degrés, alors que la verticale est habituellement beaucoup plus étroite. Des antennes composées peuvent être construites à l'aide de plusieurs antennes sectorielles pour avoir une portée horizontale plus grande (antenne multisectorielle).

Antennes panneau ou *patch*: ce sont des panneaux solides plats utilisés pour une couverture intérieure avec un gain de jusqu'à 20 dB.

## Théorie de réflexion

La propriété de base d'un réflecteur parabolique parfait est qu'il convertit une vague sphérique irradiant d'une source placée au foyer en une onde plane. Réciproquement, toute l'énergie reçue par la parabole d'une source éloignée est reflétée à un seul point au centre. La position du foyer, ou la longueur focale, est donnée par la formule suivante:

$$f = \frac{D^2}{16 \times c}$$

...Où D est le diamètre du plat et c est la profondeur de l'antenne parabolique en son centre.

La taille du réflecteur est le facteur le plus important puisqu'elle détermine le gain maximum qui peut être réalisé à la fréquence donnée et à la largeur de faisceau résultante. Le gain et la largeur de faisceau obtenus sont montrés dans la formule suivante:

$$\text{Gain} = \frac{(\pi \times D)^2}{\lambda^2} \times n$$

$$\text{Largeur du Faisceau} = \frac{70 \lambda}{D}$$

... où D est le diamètre du réflecteur et n est l'efficacité. L'efficacité est déterminée principalement par l'efficacité de l'illumination du réflecteur par la source, mais également par d'autres facteurs. Chaque fois que le diamètre du réflecteur est doublé, le gain est quadruplé, soit 6 dB de plus. Si les deux stations doublent la taille de leurs plats, la force du signal peut être augmentée de 12 dB, un gain très substantiel. Une efficacité de 50% peut être supposée lorsque l'antenne est faite à la main.

Le rapport F/D (longueur focale / diamètre du réflecteur) est le facteur fondamental régissant la conception de la source. Le rapport est directement lié à la largeur de faisceau de la source nécessaire pour illuminer le réflecteur efficacement. Deux réflecteur du même diamètre mais de différentes longueurs focales exigent une conception différente de la source si nous désirons que tous les deux soient illuminés efficacement. La valeur de 0,25 correspond à la parabole habituelle plan-focal dans lequel le foyer est dans le même plan que le bord du réflecteur.

## Amplificateurs

Comme nous l'avons mentionné précédemment, les antennes ne créent pas réellement de puissance. Elles dirigent simplement toute la puissance disponible dans un modèle particulier. En utilisant un **amplificateur de puissance**, vous pouvez employer la puissance DC afin d'augmenter votre signal disponible. Un amplificateur s'installe entre un radio émetteur et une antenne, ainsi qu'à un câble additionnel qui se relie à une source d'énergie. Les amplificateurs peuvent fonctionner à 2,4 GHz et peuvent ajouter plusieurs watts de puissance à votre transmission. Ces dispositifs peuvent sentir quand une radio transmet et, lorsque ceci se produit, ils s'allument rapidement pour amplifier le signal. Lorsque la transmission prend fin, ils s'éteignent. En réception, ils ajoutent également de l'amplification au signal avant de l'envoyer à la radio.

Malheureusement, le fait d'ajouter simplement des amplificateurs ne résoudra pas comme par magie tous vos problèmes de gestion de réseau. Nous ne traiterons pas longuement des amplificateurs de puissance au sein de ce livre car leur emploi soulève un certain nombre d'inconvénients significatifs :

- **Ils sont chers.** Les amplificateurs doivent fonctionner à des largeurs de bande relativement larges à 2,4 GHz, et doivent commuter assez rapidement pour fonctionner avec les applications Wi-Fi. Ces amplificateurs existent mais coûtent plusieurs centaines de dollars par unité.
- **Vous aurez besoin d'au moins deux amplificateurs.** Alors que les antennes fournissent un gain réciproque qui bénéficie les deux côtés d'un raccordement, les amplificateurs fonctionnent mieux pour amplifier un signal transmis. Si vous n'ajoutez qu'un amplificateur à la fin d'un lien avec un gain d'antenne insuffisant, celle-ci pourra probablement être entendue mais ne pourra pas entendre l'autre extrémité.
- **Ils ne fournissent aucune directivité additionnelle.** Ajouter un gain à une antenne fournit des avantages de gain et de directivité aux deux fins du lien. Elles améliorent non seulement la quantité disponible de signal, mais tendent à rejeter le bruit provenant d'autres directions. Les amplificateurs amplifient aveuglément les signaux désirés et les interférences, et peuvent empirer les problèmes d'interférence.
- **Les amplificateurs produisent du bruit pour les autres utilisateurs de la bande.** En augmentant votre puissance de rendement, vous créez une source plus forte de bruit pour les autres utilisateurs de la bande sans licence. Ceci ne pose peut-être pas de problème pour les zones rurales, mais peut certainement en poser pour des secteurs plus peuplés. Au contraire, ajouter un gain d'antenne améliorera votre lien et peut réellement diminuer le niveau de bruit pour vos voisins.
- **L'utilisation des amplificateurs n'est probablement pas légale.** Chaque pays impose des limites de puissance à l'utilisation du spectre sans licence. Ajouter une antenne à un signal fortement amplifié fera probablement dépasser le lien des limites légales.

L'utilisation des amplificateurs est souvent comparée au voisin sans gêne qui veut écouter sa radio en dehors de sa maison et tourne donc le volume au maximum. Il pourrait même « améliorer » la réception en plaçant des haut-parleurs en-dehors de la fenêtre. À présent, ce voisin peut certes écouter sa radio mais il en va de même pour tout le monde vivant dans le voisinage. Nous venons d'illustrer ce qui se produit avec un seul utilisateur, mais que se produit-il lorsque les autres voisins décident de faire de même avec leurs radios? L'utilisation des amplificateurs pour un lien sans fil cause approximativement le même effet à 2,4 GHz. Votre lien peut « mieux fonctionner » pour le moment mais vous aurez des ennuis lorsque d'autres utilisateurs de la bande décideront également d'utiliser des amplificateurs.



En utilisant des antennes de gain plus élevé plutôt que des amplificateurs, vous évitez tous ces problèmes. Les antennes coûtent beaucoup moins cher que les amplificateurs et vous pouvez améliorer un lien en changeant simplement l'antenne à une extrémité. Le fait d'employer des radios plus sensibles et un câble de bonne qualité aide également de manière significative pour les liaisons de longue distance. Comme ces techniques sont peu susceptibles de poser des problèmes pour les autres utilisateurs de la bande, nous vous recommandons de les considérer avant de penser à ajouter des amplificateurs.

## Conception pratique d'antennes

Le coût des antennes à 2,4 GHz a chuté depuis l'introduction du 802.11b. Les conceptions novatrices emploient des pièces plus simples et peu de matériaux pour obtenir un gain impressionnant avec très peu de machinerie. Malheureusement, la disponibilité de bonnes antennes est encore limitée dans plusieurs régions du monde, et leur coût d'importation est souvent prohibitif. Alors que concevoir une antenne peut être un processus complexe passible d'erreurs, la construction d'antennes à l'aide de composantes disponibles localement est non seulement simple mais peut aussi devenir une expérience amusante. Nous allons vous présenter quatre modèles pratiques d'antennes qui peuvent être construites à peu de frais.

### Antenne parabolique ayant une clef sans fil USB comme source

La conception d'antenne probablement la plus simple est l'utilisation d'une parabole pour diriger la sortie d'un dispositif sans fil USB (mieux connu dans le milieu du réseau sans fil comme **USB dongle**). En plaçant l'antenne interne dipolaire présente dans les clefs sans fil USB au foyer de la parabole, vous pouvez obtenir un gain significatif sans avoir besoin de souder ou même d'ouvrir le dispositif sans fil lui-même. Plusieurs types de plats paraboliques peuvent fonctionner y compris les antennes paraboliques, les antennes de télévision et même les ustensiles de cuisine en métal (tel qu'un wok, un couvercle rond ou un tamis). En prime, il est possible d'employer le câble USB qui est peu coûteux et sans perte afin d'alimenter l'antenne, éliminant du même coup le besoin de câbles trop coûteux comme le câble coaxial ou heliax.

Pour construire une clef USB parabolique, vous devrez trouver l'orientation et la position du dipôle à l'intérieur de la clef. La plupart des dispositifs orientent le dipôle pour que celui-ci soit parallèle au bord court de la clef mais d'autres le dispose de manière perpendiculaire au bord court. Soit vous ouvrez la clef pour voir par vous-même, soit vous essayez simplement la clef dans les deux positions pour voir ce qui fournit le plus de gain.

Pour examiner l'antenne, dirigez-la vers un point d'accès à plusieurs mètres de distance et reliez la clef USB à un ordinateur portable. En utilisant le pilote de l'ordinateur portable ou un outil tel que Netstumbler (voir le chapitre six), observez la force du signal reçu de votre point d'accès. Maintenant, déplacez lentement la clef par rapport au plat parabolique tout en observant la mesure de la force du signal. Vous devriez voir une amélioration significative de gain (20 dB ou plus) lorsque vous trouvez la position appropriée. Le dipôle lui-même est typiquement placé à 3-5 centimètres de l'arrière du plat, quoique ceci puisse changer en fonction de la forme de la parabole. Essayez diverses positions tout en observant la force du signal jusqu'à ce que vous trouviez l'emplacement optimum.

Une fois que le meilleur emplacement est trouvé, fixez solidement la clef en place. Vous devrez imperméabiliser la clef et le câble si l'antenne est utilisée à l'extérieur. Utilisez un composé de silicone ou un morceau de tuyauterie de PVC pour protéger les éléments électroniques des intempéries. Vous retrouverez plusieurs conceptions paraboliques de source USB ainsi que diverses idées à l'adresse suivante: <http://www.usbwifi.orcon.net.nz/>.

## Omni colinéaire

Il est très simple de construire cette antenne: elle n'exige qu'un morceau de fil de fer, une douille N et une plaque métallique carrée. Elle peut être employée pour une couverture de courte distance point-à-multipoint intérieure ou extérieure. La plaque a un trou au milieu pour y visser le châssis de la douille de type N. Le fil de fer est soudé à la broche centrale de la douille N et dispose de spirales pour séparer les éléments actifs en phases. Deux versions de l'antenne sont possibles: une avec deux éléments en phase et deux spirales et une autre avec quatre éléments en phase et quatre spirales. Pour l'antenne courte le gain sera d'autour de 5 dBi, alors que pour l'antenne à quatre éléments, le gain sera de 7 à 9 dBi. Nous décrivons uniquement comment construire l'antenne longue.

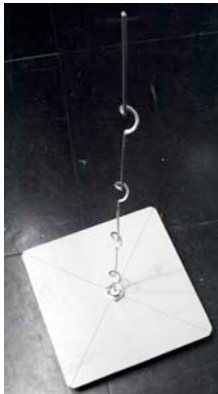


Figure 4.13: L'antenne omni colinéaire complète

## Liste de composantes

- Un connecteur femelle de type N à visser
- 50 centimètres de fil de cuivre ou en laiton de 2 millimètres de diamètre
- Une plaque métallique carrée de 10x10 centimètres ou plus



Figure 4.14: Plaque d'aluminium de 10 cm x 10 cm

## Outils requis

- Règle
- Pincettes
- Lime
- Étain et fer à souder
- Perceuse avec un ensemble de mèches pour métal (incluant une mèche de 1,5 centimètre de diamètre)
- Un morceau de tuyau ou une perceuse avec un diamètre de 1 cm
- Étau ou pince
- Marteau
- Clé anglaise

## Construction

1. Redressez le fil de fer en utilisant l'étau ou la pince.



Figure 4.15: Rendez le fil de fer aussi droit que possible.

2. Avec un marqueur, tracez une ligne à 2,5 centimètres à partir d'une extrémité du fil. Sur cette ligne, pliez le fil à 90 degrés à l'aide de la pince et du marteau.



Figure 4.16: Frapper doucement sur le fil pour faire une courbe fermée.

3. Tracez une autre ligne à une distance de 3,6 centimètres de la courbe. En utilisant la pince et le marteau, pliez de nouveau l'excédent de fil dans cette deuxième ligne à 90 degrés dans la direction opposée à la première courbe mais dans le même plan. Le fil devrait ressembler à un « Z ».



Figure 4.17: Plier le fil en forme de « Z ».

4. Nous tordrons maintenant la partie « Z » du fil pour faire une boucle d'un centimètre de diamètre. Pour ce faire, nous emploierons le tuyau ou la perceuse et courberons le fil autour d'un de ceux-ci, avec l'aide de l'étau et des pinces.



Figure 4.18: Courber le fil autour de la perceuse pour faire une boucle.

La boucle ressemblera à ceci:



Figure 4.19: La boucle complète.

5. Vous devriez faire une deuxième boucle à une distance de 7,8 centimètres de la première. Les deux boucles devraient avoir la même direction de rotation et devraient être placées du même côté du fil. Faites une troisième et quatrième boucle suivant le même procédé, à la même dis-

tance de 7,8 centimètres l'une de l'autre. Coupez le dernier élément en phase à une distance de 8,0 centimètres à partir de la quatrième boucle.

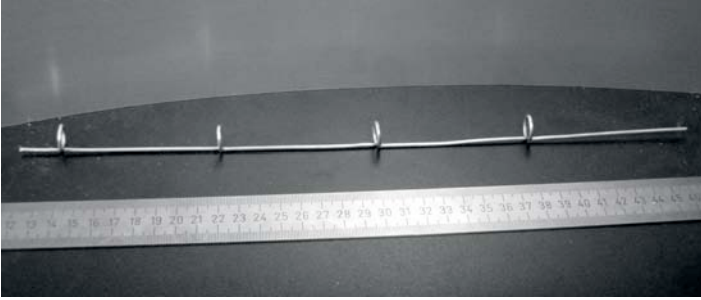


Figure 4.20: Essayer de le maintenir le plus droit que possible

Si les boucles ont été faites correctement, il devrait être possible de traverser toutes les boucles avec un tuyau tel qu'illustré à la suite.

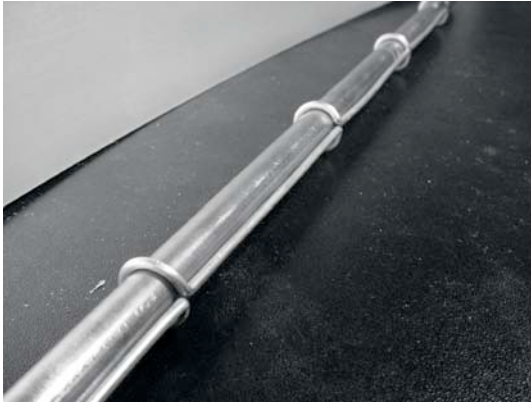


Figure 4.21: L'insertion d'un tuyau peut aider à redresser le fil.

6. Avec un marqueur et une règle, dessinez les diagonales du plat métallique trouvant son centre. Avec une mèche de petit diamètre, faites un trou pilote au centre de la plaque. Augmentez le diamètre du trou en utilisant des mèches avec des diamètres plus grands.

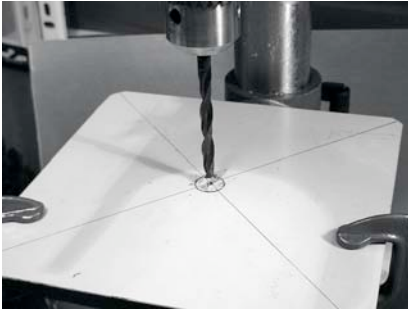


Figure 4.22: Percer un trou dans la plaque métallique.

Le trou devrait être exactement adapté au connecteur N. Employez une pince si nécessaire



Figure 4.23: Le connecteur N doit entrer parfaitement dans le trou.

7. Pour avoir une impédance d'antenne de 50 Ohms, il est important que la surface visible de l'isolateur interne du connecteur (le secteur blanc autour de la broche centrale) soit au même niveau que la surface de la plaque. Pour ce faire, coupez 0,5 centimètre d'un tuyau de cuivre avec un diamètre externe de 2 centimètres et placez-le entre le connecteur et la plaque.



Figure 4.24: Ajouter un tuyau de cuivre comme entretoise aide à obtenir une impédance d'antenne de 50 Ohms.

8. Vissez l'écrou au connecteur pour le fixer fermement à la plaque à l'aide de la clé anglaise.



Figure 4.25: Fixez étroitement le connecteur N à la plaque.

9. Lissez avec la lime le côté du fil qui est à 2,5 centimètres de la première boucle. Soudez le fil à environ 0,5 centimètre à l'extrémité lisse avec l'aide de l'étau ou de la pince.



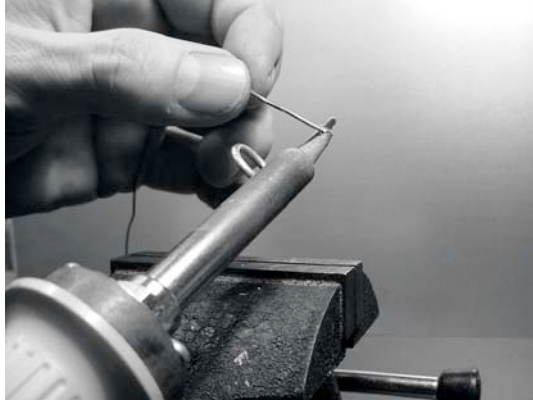


Figure 4.26: Ajouter un peu d'étain à l'extrémité du fil avant de le souder.

10. Avec le fer à souder, étamez la broche centrale du connecteur. En maintenant le fil vertical avec les pinces, soudez l'extrémité à laquelle vous avez ajouté l'étain dans le trou de la broche centrale. La première boucle devrait se situer à 3,0 centimètres de la plaque.



Figure 4.27: La première boucle devrait commencer à 3,0 centimètres de la surface de la plaque.

11. Nous allons maintenant étirer les boucles en étendant la longueur verticale totale du fil. Pour ce faire, nous utiliserons l'étai et les pinces. Vous devriez étirer le câble de sorte que la longueur finale de la boucle soit de 2,0 centimètres.



Figure 4.28: Étirer les boucles. Procédez en douceur et essayer de ne pas érafler la surface du fil avec les pinces.

12. Répétez la même procédure pour les autres trois boucles en étirant leur longueur à 2,0 centimètres.



Figure 4.29: Répétez la même procédure «d'étirement» pour les boucles restantes.

13. L'antenne devrait finalement mesurer 42,5 centimètres du plat au sommet.

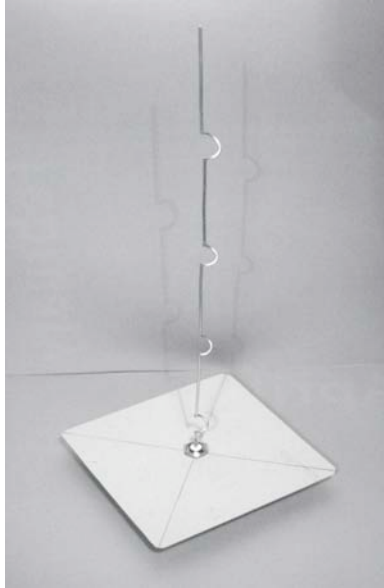


Figure 4.30: L'antenne finale devrait mesurer 42,5 cm de la plaque à l'extrémité du fil.

14. Si vous avez un Analyseur de Spectre avec un Générateur de Piste et un Coupleur Directionnel, vous pouvez vérifier la courbe de la puissance réfléchie de l'antenne. L'image ci-dessous montre l'affichage de l'analyseur de spectre.

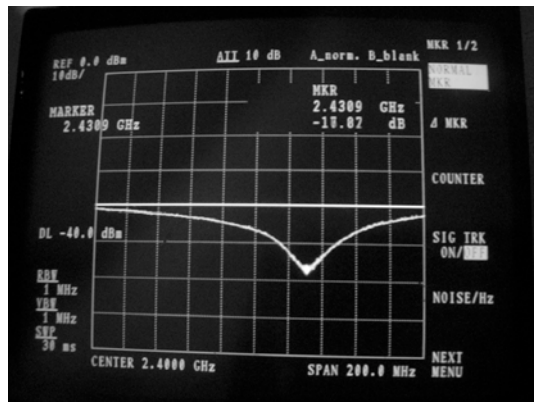


Figure 4.31: Un traçage du spectre de la puissance réfléchie de l'antenne colinéaire omnidirectionnelle.

Si vous avez l'intention d'utiliser cette antenne à l'extérieur, vous devrez la protéger contre les intempéries. La méthode la plus simple est de l'enfermer dans un grand morceau de tuyau de PVC fermé avec des couvercles. Coupez un trou au fond pour la ligne de transmission et scellez l'antenne avec du silicone ou de la colle de PVC.

## Cantenna

Cette antenne, parfois nommée Cantenna, utilise une boîte de conserve comme guide d'ondes et un fil court soudés à un connecteur N comme sonde pour la transition du câble coaxial vers le guide d'ondes. Elle peut être facilement construite en recyclant une boîte de conserve de jus ou tout autre aliment et ne coûte que le prix du connecteur. C'est une antenne directionnelle utile pour les liens points-à-points de courte à moyenne distance. Elle peut également être employée comme source pour une plaque ou une grille parabolique.

Notez que ce ne sont pas toutes les boîtes de conserves qui peuvent être utilisées pour construire ce type antenne. Certaines contraintes dimensionnelles s'appliquent:

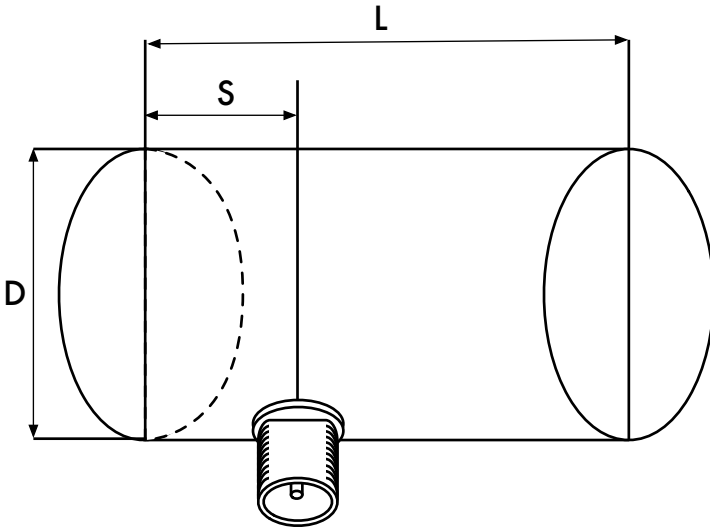


Figure 4.32: Contraintes dimensionnelles de la Cantenna

1. Les valeurs acceptables pour le diamètre  $D$  de l'alimentation sont entre 0,60 et 0,75 fois la longueur d'onde dans l'air pour une fréquence désignée. À 2,44 gigahertz, la longueur d'onde  $\lambda$  est de 12,2 centimètres donc le diamètre de la boîte de conserve devrait être dans la gamme de 7,3 - 9,2 centimètres.
2. La longueur  $L$  de la boîte de conserve devrait préférablement être d'au moins  $0,75 \lambda_G$  où  $\lambda_G$  est la longueur d'onde du guide et est donnée selon la formule suivante:

$$\lambda_G = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda / 1,706D)^2}}$$

Pour  $D = 7,3$  centimètres, nous avons besoin d'une boîte de conserve d'au moins 56,4 centimètres, alors que pour  $D = 9,2$  centimètres nous avons besoin d'une boîte de conserve d'au moins 14,8 centimètres. Généralement plus le diamètre est petit, plus la boîte de conserve devrait être longue. Pour notre exemple, nous utiliserons les boîtes d'huile qui ont un diamètre de 8,3 centimètres et une taille d'environ 21 centimètres.

3. La sonde pour la transition du câble coaxial au guide d'ondes devrait être placée à une distance  $S$  du fond de la boîte de conserve. Ainsi:

$$S = 0,25 \lambda_G$$

Sa longueur devrait être de  $0,25 \lambda$ , ce qui correspond à 3,05 centimètres à 2,44 GHz.

Le gain pour cette antenne sera de l'ordre de 10 à 14 dBi, avec une largeur de faisceau d'environ 60 degrés.



Figure 4.33: Une cantenna finalisée.

### Liste des composants

- Un connecteur femelle de type N à visser
- 4 centimètres de fil de cuivre ou de laiton de 2 millimètres de diamètre
- Une boîte d'huile de 8,3 centimètres de diamètre et 21 centimètres de hauteur



Figure 4.34: Composantes requises pour une cantenna.

### Outils requis

- Ouvre-boîte
- Règle
- Pincettes
- Lime
- Fer à souder
- Étain
- Perceuse avec un ensemble de mèches pour métal (avec une mèche de 1,5 centimètres de diamètre)
- Étau ou pince
- Clé anglaise
- Marteau
- Poinçon

### Construction

1. À l'aide de l'ouvre-boîte, enlevez soigneusement la partie supérieure de la boîte de conserve.



Figure 4.35: Faites attention aux rebords tranchants lorsque vous ouvrez la boîte de conserve.

Le disque circulaire a un bord très tranchant. Faites attention en le manipulant! Videz la boîte de conserve et lavez-la avec du savon. Si cette boîte contient de l'ananas, des biscuits ou tout autre festin savoureux, partagez le avec un ami.

2. Avec la règle, mesurez 6,2 centimètres à partir du fond de la boîte de conserve et marquez un point. Faites attention de bien mesurer à partir du côté intérieur du fond. Utilisez un poinçon (ou une perceuse avec une petite mèche ou un tournevis Phillips) et un marteau pour marquer le point. Ceci facilitera un perçage précis du trou. Faites attention de ne pas changer la forme de la boîte de conserve en y insérant un petit bloc de bois ou de tout autre objet avant de frapper dessus.



Figure 4.36: Marquez le trou avant de percer.

3. Avec une mèche de petit diamètre, faites un trou pilote. Augmentez le diamètre du trou en augmentant le diamètre de la mèche. Le trou devrait parfaitement s'adapter au connecteur N. Utilisez la lime pour lisser le

bord du trou et pour enlever toute trace de peinture afin d'assurer un meilleur contact électrique avec le connecteur.



Figure 4.37: Percez soigneusement un trou pilote, puis utilisez une mèche plus grande pour terminer le travail.

4. Lissez avec la lime une extrémité du fil. Étamez le fil à environ 0,5 centimètre à la même extrémité à l'aide de l'étau.



Figure 4.38: Ajouter de l'étain à l'extrémité du fil avant de souder.

5. Avec le fer à souder, étamez la broche centrale du connecteur. En maintenant le fil vertical à l'aide des pinces, soudez le côté auquel vous avez ajouté l'étain dans le trou de la broche centrale.





Figure 4.39: Soudez le fil à la pièce dorée du connecteur N.

6. Insérez une rondelle et vissez doucement l'écrou sur le connecteur. Coupez le fil à 3,05 centimètres mesurés à partir de la partie inférieure de l'écrou.



Figure 4.40: La longueur du fil est cruciale.

7. Dévissez l'écrou du connecteur en laissant la rondelle en place. Insérez le connecteur dans le trou de la boîte de conserve. Vissez l'écrou sur le connecteur de l'intérieur de la boîte de conserve.



Figure 4.41: Assemblez l'antenne.

8. Utilisez les pinces et la clé anglaise pour visser fermement l'écrou sur le connecteur. Vous avez terminé!



Figure 4.42: Votre cantenna terminée.

Comme pour d'autres conceptions d'antenne, vous devrez l'imperméabiliser si vous souhaitez l'employer dehors. Le PVC fonctionne bien pour une antenne faite à partir d'une boîte de conserve. Insérez toute la boîte de conserve dans un grand tube de PVC et scellez les extrémités avec des couvercles et de la colle. Vous devrez percer un trou dans le côté du tube pour placer le connecteur N sur le côté de la boîte de conserve.

## Cantenna comme source d'une parabole

Comme avec la clef USB parabolique, vous pouvez employer la cantenna comme conducteur pour un gain sensiblement plus élevé. Montez la boîte de conserve sur l'antenne parabolique avec l'ouverture de la boîte pointant le

centre du plat. Employez la technique décrite dans l'exemple de l'antenne clef USB (en observant comment la puissance du signal change dans le temps) pour trouver l'endroit optimum pour placer la boîte de conserve selon le réflecteur que vous employez.

En employant un cantenna bien construite avec une antenne parabolique correctement réglée, vous pouvez réaliser un gain global d'antenne de 30 dBi ou plus. Plus la taille des antennes paraboliques augmente, plus il y a gain et directivité potentiels de l'antenne. Avec des antennes paraboliques très grandes, vous pouvez réaliser un gain sensiblement plus élevé.

Par exemple, en 2005, une équipe d'étudiants universitaires a établi avec succès un lien allant du Nevada à l'Utah aux États-Unis. Le lien a atteint une distance de plus de 200 kilomètres! Ils ont utilisé une antenne parabolique de 3,5 mètres pour établir un lien 802.11b qui a fonctionné à 11Mbps sans utiliser d'amplificateur. Des détails au sujet de cette réalisation peuvent être trouvés à l'adresse suivante: <http://www.wifi-shootout.com/>.

## NEC2

L'abréviation **NEC2** représente le **Code numérique Électromagnétique** (version 2) qui est un logiciel libre de modélisation d'antennes. Le NEC2 vous permet de construire un modèle 3D d'antenne, puis analyse la réponse électromagnétique de l'antenne. Le logiciel a été développé il y a plus de dix ans et a été compilé pour fonctionner sur plusieurs différents systèmes informatiques. Le NEC2 est particulièrement efficace pour analyser des modèles de grille métallique, mais possède également une certaine capacité de modélisation de surface.

La conception de l'antenne est décrite dans un fichier texte, puis on construit le modèle en utilisant cette description. Le logiciel NEC2 décrit l'antenne en deux parties: sa **structure** et un ordre des **commandes**. La structure est simplement une description numérique qui explique où se situent les différentes pièces de l'antenne et la façon dont les fils sont connectés. Les commandes indiquent au logiciel NEC où la source RF est connectée. Une fois que ceux-ci sont définis, l'antenne de transmission est alors modélisée. En raison du théorème de réciprocité le modèle de transmission de gain est le même que celui de réception, ainsi modéliser les caractéristiques de transmission est suffisant pour comprendre totalement le comportement de l'antenne.

Une fréquence ou une gamme de fréquences du signal RF doit être indiquée. L'important élément suivant est la caractéristique du terrain. La conductivité de la terre change d'un endroit à l'autre mais dans plusieurs cas elle joue un rôle essentiel au moment de déterminer le modèle de gain d'antenne.

Pour faire fonctionner le logiciel NEC2 sur Linux, installez le paquet NEC2 à partir de l'URL ci-dessous. Pour le lancer, tapez **nec2** puis les noms des fichiers d'entrée et de sortie. Il est également intéressant d'installer le paquet **xnecview** pour le traçage du modèle de vérification et de rayonnement de structure. Si tout va bien, vous devriez avoir un fichier contenant le résultat. Celui-ci peut être divisé en diverses sections mais pour une idée rapide de ce qu'il représente, un modèle de gain peut être tracé en utilisant **xnecview**. Vous devriez voir le modèle attendu, horizontalement omnidirectionnel, avec une crête à l'angle optimum de sortie. Les versions Windows et Mac sont également disponibles.

L'avantage du NEC2 est que nous pouvons avoir une idée de la façon dont fonctionne l'antenne avant de la construire et de la façon dont nous pouvons modifier sa conception afin d'obtenir un gain maximum. C'est un outil complexe qui exige un peu de temps pour apprendre son fonctionnement, mais c'est un instrument d'une valeur inestimable pour les concepteurs d'antenne.

Le logiciel NEC2 est disponible sur le site de Ray Anderson (en anglais seulement), "*Unofficial NEC Archives*" à <http://www.si-list.org/swindex2.html>.

Des documents en ligne (en anglais seulement) peuvent être trouvés sur le site "*Unofficial NEC Home Page*" à <http://www.nittany-scientific.com/nec/>.