

I.1 Les antennes

I.1.1 Définition

Une antenne est une structure transitoire entre l'espace libre et une structure guidée comme montrée dans la Figure I.1.

Ou encore c'est un dispositif permettant de rayonner ou de capter à distance les ondes électromagnétiques dans un appareil ou une station d'émission ou de réception. L'antenne est un conducteur électrique plus ou moins complexe généralement placé dans un endroit dégagé. Elle se définit par les caractères suivants :

- bande de fréquences d'utilisation.
- polarisation.
- directivité, gain et diagramme de rayonnement
- dimensions et forme.
- type d'antenne.
- mode d'alimentation et impédance au point d'alimentation.
- puissance admissible en émission.
- résistance mécanique [1].

2 Chapter 1 Antennas

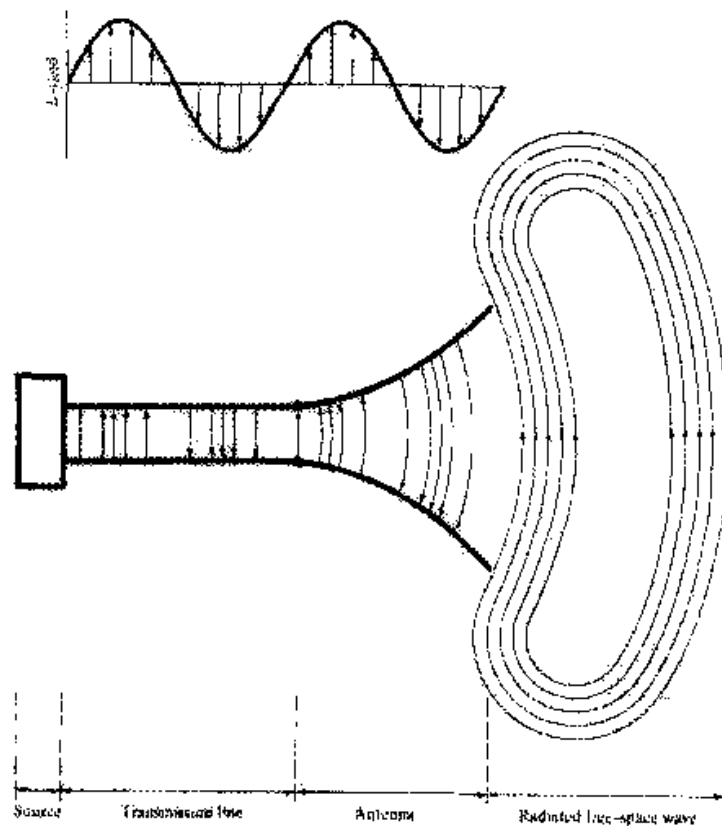


Figure I.1 Antenne comme un composant de transition

I.2. Les types d'antennes

Il existe des dizaines de types d'antennes, différents par leur fonctionnement, leur géométrie et leur technologie.

I.2.1 Antenne filaire

Les antennes filaires sont bien connues au profane parce qu'elles sont vues pratiquement partout sur des automobiles, bâtiments, bateau, avions, vaisseau spatial et ainsi de suite. Il y a diverses formes des antennes filaires telles qu'un fil droit (dipôle), boucle et spirale qui est

montrée sur la Figure I.2. Les antennes boucle doivent non seulement être circulaires, elles peuvent prendre la forme d'un rectangle, ellipse, ou toute autre configuration. La boucle circulaire est la plus commune en raison de sa simplicité dans la construction [2].

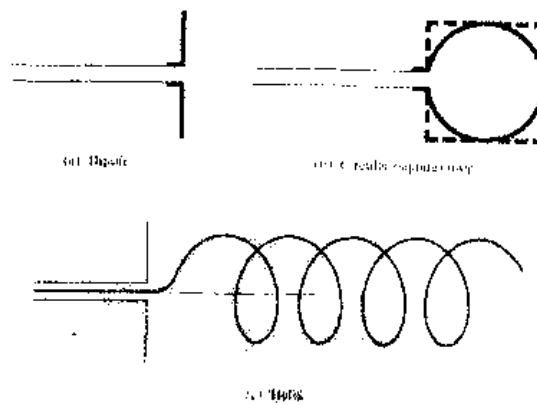


Figure I.2 Antenne filaire

I.2.1.1 Dipôle demi-onde

Le dipôle demi-onde, communément appelé "doublet", est un doublet de Hertz dont la longueur est théoriquement égale à la moitié de la longueur d'onde du signal à émettre ou à recevoir. En pratique, pour tenir compte de l'effet d'extrémité, on adopte une longueur physique de quelques pour-cent inférieure à la longueur théorique. L'antenne est alimentée en son centre, là où l'impédance est proche de 75 ohms, par une ligne symétrique ou un câble coaxial. Le diagramme de rayonnement de l'antenne dépend fortement de la hauteur de l'antenne par rapport au sol : un doublet placé à $0,5\lambda$ au dessus d'un sol très bon conducteur rayonne principalement dans deux lobes faisant un angle de 30 degrés par rapport à l'horizontale. La plus grande partie de l'énergie est rayonnée dans un plan perpendiculaire au conducteur. Le fonctionnement de l'antenne dépend étroitement de son dégagement et de la conductibilité du sol. Sur ondes décamétriques le doublet est une bonne antenne monobande bidirectionnelle favorable au trafic à moyenne distance mais pouvant

être utilisée pour le DX si sa hauteur dépasse $0,75 \lambda$. Sur les bandes basses (160 et 80m) la bande de fréquence où le ROS est minimum est relativement étroite, ce qui ne présente un inconvénient que sur la bande 80m (3,5 à 3,8 MHz).

Le dipôle demi-onde peut être utilisé sur la bande de fréquence triple de celle pour laquelle il a été calculé mais son impédance au point d'alimentation est alors d'une centaine d'ohms (au lieu de 75 ohms). Un système d'adaptation d'impédance est alors nécessaire au niveau de l'émetteur. L'impédance au point d'alimentation du doublet dépend nettement de la hauteur à laquelle est installé l'antenne, surtout dans le cas où le dipôle est placé à une hauteur inférieure à une demi longueur d'onde [3].

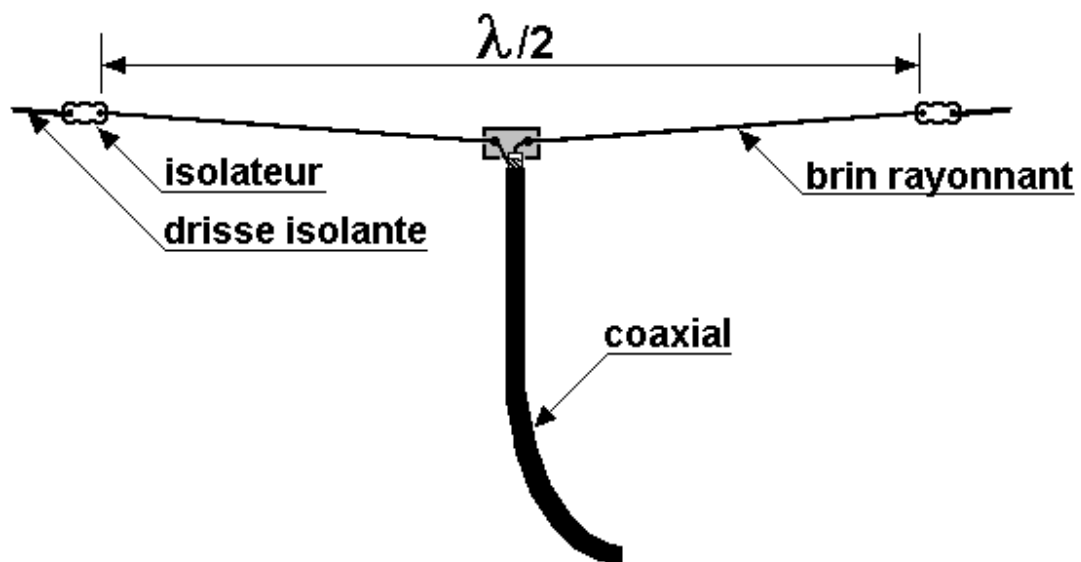


Figure I.3 Le dipôle demi-onde

I.2.1.2 Dipôle replié (folded dipole)

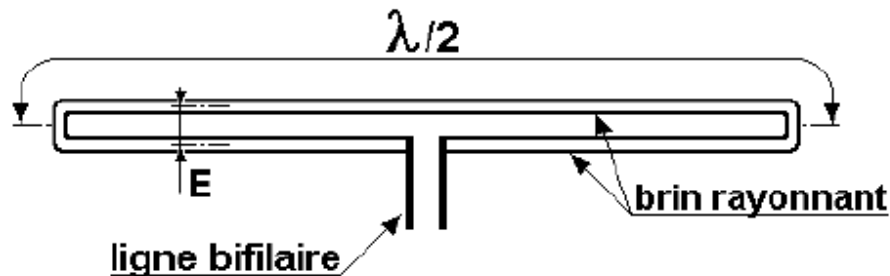


Figure I.4 Le doublet replié

Le dipôle replié se rencontre principalement dans deux applications : les antenne yagi multi-éléments et les antennes 88-108 MHz pour l'écoute de la bande FM de radiodiffusion. Un de ses avantages par rapport au doublet demi-onde est sa bande passante plus large, Si les deux tubes sont de même diamètre, l'impédance au point d'alimentation est de 300 ohms (4 fois 75 ohms). Par contre si les deux tubes sont de diamètres différents, l'impédance peut varier entre 2 et 12 fois 75 ohms, elle dépend aussi de l'écartement entre les deux conducteurs. Cette propriété est utilisée pour adapter l'impédance d'une antenne yagi. Le dipôle demi-onde replié alimenté par une ligne bifilaire peut être utilisé sur décamétriques en utilisant une boîte de couplage à la sortie de l'émetteur. Dans ce cas un dipôle replié fonctionnant sur 7 MHz pourra également être utilisé sur la bande 21 MHz [3].

I.2.1.3 Le multi-doublet (fanned multiband dipole)

Le doublet simple a l'inconvénient d'être monobande. Déployer plusieurs doublets pose des problèmes de fixation et multiplie les câbles coaxiaux d'alimentation. Ces inconvénients peuvent être éliminés en alimentant plusieurs doublets par le même câble coaxial. Les doublets peuvent être déployés (Figure I.5.A) ou rapprochés (Figure I.5.B). Dans les deux cas la présence d'un doublet influence le fonctionnement des autres. [3]

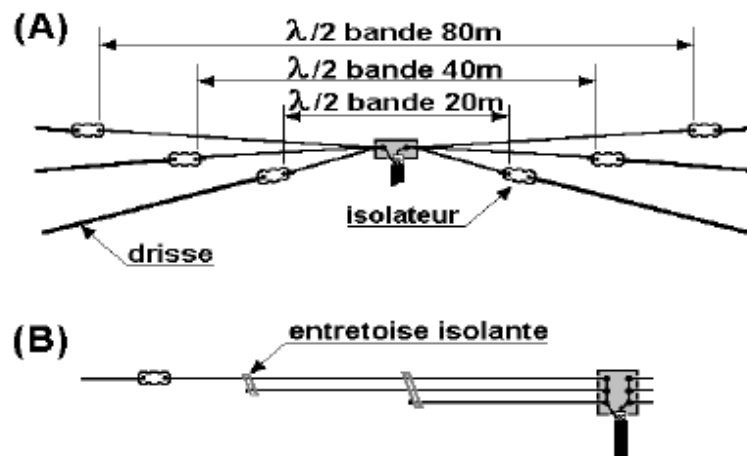
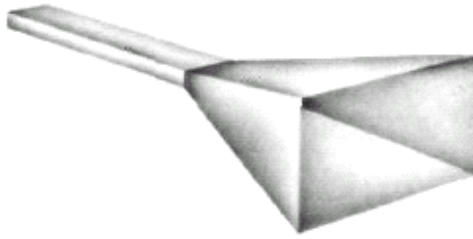


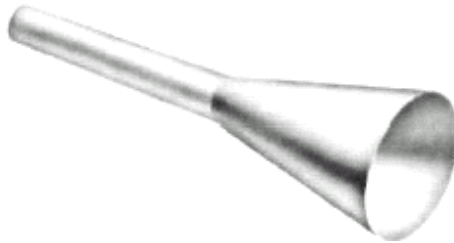
Figure I.5 Le multi-doublet

I.2.2 Antenne à fente et ouvertures rayonnantes

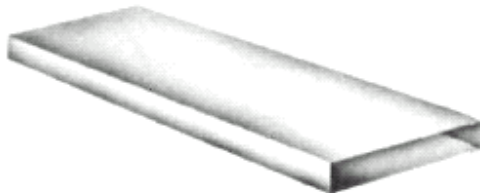
Les antennes d'ouverture peuvent être plus familières au profane aujourd'hui que dans le passé en raison de la demande croissante des formes plus sophistiquées d'antennes et de l'utilisation d'une plus haute fréquence. Quelques formes d'antennes d'ouverture sont montrées sur la Figure I.6. Les antennes de ce type sont très utiles pour des applications d'avion et de vaisseau spatial. Parce qu'elles ont la propriété de conformabilité avec les surfaces courbées, ce qui facilite leur implantation sur tout type de support, notamment les surfaces aérodynamiques des avions et vaisseau spatial. En outre, elles peuvent être couvertes de matériau diélectrique pour les protéger contre des états dangereux de l'environnement [2].



(a) Cornet pyramidal



(b) Cornet conique



(c) Guide d'onde rectangulaire

Figure I.6 Antennes à fente et ouvertures rayonnantes

I.2.3 Antenne microbande (microstrip)

Une antenne microstrip (appelée microruban ou microbande) est constituée d'une plaque métallique de forme quelconque, appelée élément rayonnant (patch), située sur la face

supérieure d'un substrat diélectrique. On considère en général le conducteur comme étant parfait et d'épaisseur négligeable, et on trouve au-dessous du substrat diélectrique le plan de masse, (Figure I.7).

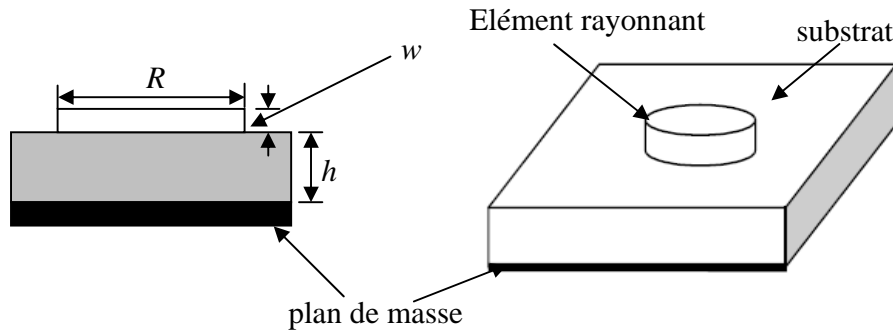


Figure I.7 Présentation d'une antenne imprimée.

Afin de simplifier l'analyse et l'estimation des performances, le patch a généralement une forme rectangulaire, circulaire, triangulaire, elliptique ou autre forme connue comme indiqué dans la Figure I.8. Pour un patch circulaire, son rayon L est $\lambda_0/3 < L < \lambda_0/2$, où λ_0 est la longueur d'onde dans l'espace libre. Le patch est sélectionné de façon qu'il soit très mince ($w \ll \lambda_0$, où w est l'épaisseur du patch). La taille h du substrat diélectrique est habituellement $0.003 \lambda_0 \leq h \leq 0.05 \lambda_0$. La constante diélectrique du substrat ϵ_r est typiquement dans la gamme $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$.

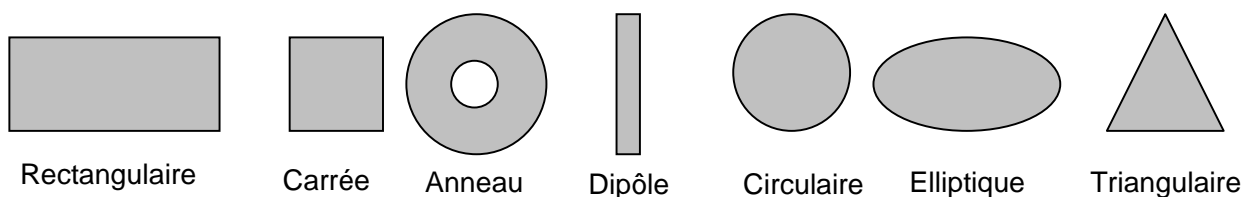


Figure I.8 Divers types d'éléments rayonnants.

Les antennes microstrips rayonnent principalement en raison des champs marginaux entre le bord du patch et le plan de masse. Pour la bonne performance d'antenne, un substrat

diélectrique épais ayant un faible constant diélectrique est souhaitable, puisque ceci fournit une meilleure efficacité, une largeur de bande plus grande et un meilleur rayonnement. Cependant, une telle configuration mène à une taille d'antenne plus grande. A fin de concevoir une antenne microstrip moins encombrante, on doit employer des constants diélectriques plus élevés mais on va avoir une largeur de bande plus étroite. Par conséquent un compromis doit être fait entre les dimensions de l'antenne et les performances [2].

I.3 L'antenne Yagi-Uda

I.3.1 Définition

L'antenne Yagi-Uda (du nom de ses inventeurs, Hidetsugu Yagi et Shintaro Uda) est une antenne à éléments parasites utilisable des HF aux UHF.

Mécaniquement simple à réaliser elle est très utilisée en télévision terrestre, en liaisons point à point, et par les radioamateurs. Elle fut inventée peu avant la seconde guerre mondiale et utilisée pour les premiers radars.

I.3.2 Principe de fonctionnement des antennes Yagi-Uda

Une antenne Yagi peut être assimilée à une antenne réseau dont les éléments seraient alimentés par induction mutuelle. Si les espacements et longueurs des brins sont optimaux, le diagramme de rayonnement et le gain sont celui d'un réseau.

Une autre image simplifiée est celle d'une focalisation : l'ensemble des éléments parasites se comporte comme une lentille diélectrique.

On peut démontrer que les propriétés (impédance, gain, etc.) d'une antenne quelconque sont les mêmes en transmission qu'en réception. Comme il est plus facile de comprendre le fonctionnement d'une antenne Yagi-Uda en transmission qu'en réception, nous commencerons par l'antenne en transmission.

I.3.3 Fonctionnement en émission

Comme indiqué plus haut, une antenne Yagi-Uda est formée par un élément alimenté (en général un simple dipôle ou un «trombone») plus un ou plusieurs éléments isolés (de simples baguettes métalliques) et non alimentés. Ces éléments reçoivent l'injuste nom d'éléments « parasites ». Le courant qui circule dans l'élément alimenté rayonne un champ

électromagnétique, lequel induit des courants dans les autres éléments. Le courant induit dans les éléments parasites rayonne à son tour et les champs rayonnés induisent du courant dans les autres éléments y compris sur l'élément alimenté. Finalement le courant qui circule dans chaque élément est le résultat de l'interaction entre tous les éléments. Ce courant dépend de sa position et de ses dimensions. Le champ électromagnétique rayonné par l'antenne dans une direction donnée sera la somme des champs rayonnés par chacun des éléments. Cette somme est compliquée par le fait que l'amplitude et la phase du courant qui circule dans chaque élément sont différentes. De plus, comme la distance à chaque élément dépend de la direction dans laquelle se situe le point de mesure du champ, la phase des différents champs et, en conséquence, leur somme dépendra de la direction.

I.3.4 Yagi élémentaire à deux éléments

Prenons l'exemple le plus simple : une antenne avec un élément alimenté et un seul élément parasite. Nous prendrons comme repère de phase le courant dans l'élément alimenté. La phase du courant qui circulera sur l'élément parasite dépendra de la distance entre les deux éléments et de la longueur et de la grosseur de l'élément parasite. L'amplitude du courant dépendra aussi de la position et de la longueur, mais elle est, en général, comparable au courant dans l'élément alimenté.

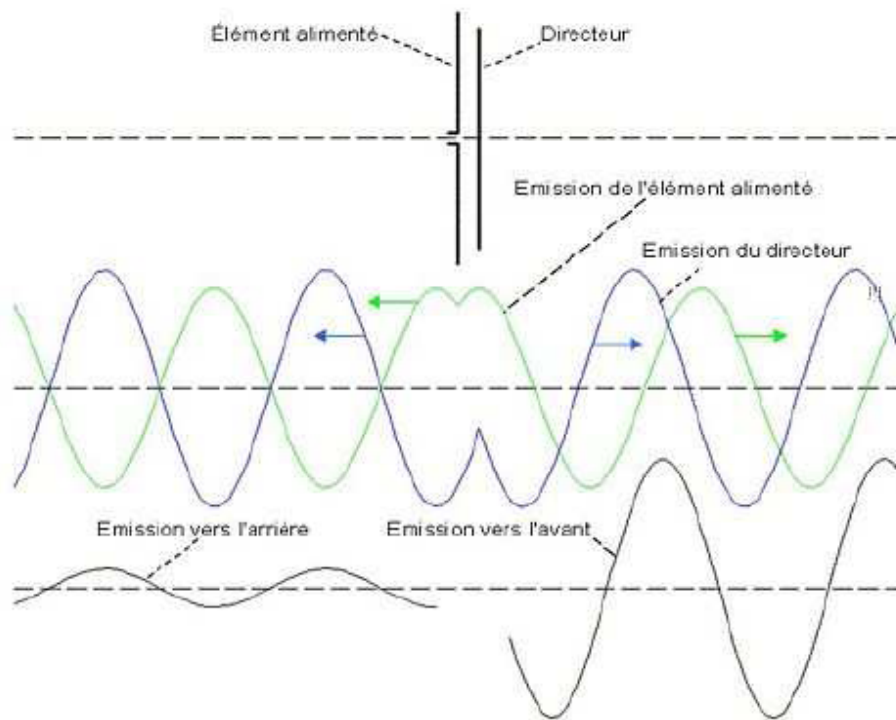


Figure I.9 antenne Yagi de deux éléments et ses courbes d'émission

Plaçons l'élément parasite devant l'élément alimenté à une distance de $\lambda/10$ (où λ est la longueur d'onde) et ajustons sa longueur pour que le courant ait un retard de phase de $180^\circ - 360^\circ/10 = 144^\circ$. Dans ce cas, le calcul montre que le courant dans l'élément parasite est 1,19 fois plus grand que celui qui circule dans l'élément alimenté. Le champ rayonné vers l'arrière sera la somme du champ produit par l'élément alimenté plus celui rayonné par l'élément parasite. Mais ce champ a été émis avec un retard de 144° et comme il doit parcourir une distance supplémentaire de $\lambda/10$ il subira en plus un retard de 36° ce qui fait que, vers l'arrière, les deux champs seront en opposition de phase et leur addition sera minimale. Par contre, dans l'émission vers l'avant, le champ émis par l'élément parasite gagnera 36° (au lieu de les perdre) et son retard ne sera que de $144^\circ - 36^\circ = 108^\circ$. L'addition des deux champs sera maximale. Dans cet exemple précis l'amplitude E du champ électrique de l'onde électromagnétique rayonnée dans une direction θ est donnée par la formule:

$$E_1 \sqrt{2.42 + 2.38 \cos\left(\frac{2\pi}{10} \cos \theta - \frac{8\pi}{10}\right)}$$

Où E_1 est le champ produit par l'élément alimenté seul.

I.3.5 Antenne Yagi à multiples éléments

Ce type d'élément parasite placé vers l'avant de l'antenne et qui renforce le champ vers l'avant s'appelle un "directeur". Les éléments situés à l'arrière de l'antenne mais qui ont le même effet de renforcer le champ vers l'avant s'appellent "réflecteur". Mais il ne faut pas les confondre avec des surfaces ou des grillages réflecteurs utilisés dans d'autres types d'antennes. On ajoute, en général, un seul réflecteur et plusieurs directeurs. Leurs positions et leurs longueurs sont calculés de sorte que les phases des courants résultants soient telles que l'addition des champs soit minimale vers l'arrière et maximale vers l'avant.

Électriquement, le prix à payer pour cette directivité est une diminution de la partie résistive de l'impédance de l'antenne. Pour un même courant d'alimentation, le champ rayonné est plus faible. On le compense en remplaçant le dipôle simple alimenté par un dipôle double dit "trombone".

I.3.6 Fonctionnement en réception

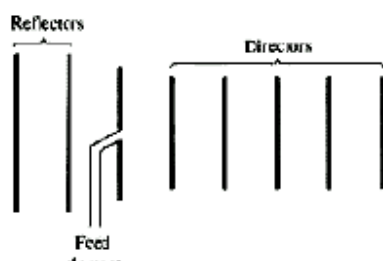
Pour l'antenne en réception, la phase et l'amplitude des courants induits dans les éléments est telle que le courant induit dans l'élément alimenté (cette fois l'élément relié au récepteur), est minimale pour les ondes venant de l'arrière et maximale pour les ondes venant de l'avant.

I.3.7 Antenne Yagi multi-bande

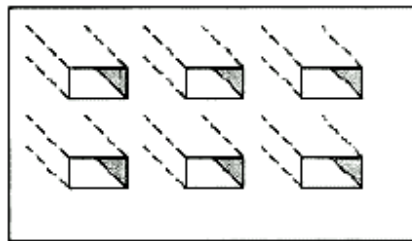
Une antenne Yagi fonctionnant sur plusieurs bandes de fréquence peut être réalisée, par exemple comme antenne de réception VHF et UHF pour la télévision terrestre, ou pour plusieurs bandes radioamateur. Des éléments de longueur adaptés aux bandes à utiliser sont montés autour d'un élément radiateur commun, ou les éléments sont rendus multi-bande par des circuits accordés série [4].

I.4 Antennes réseaux

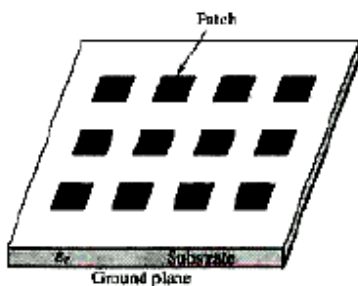
Beaucoup d'applications exigent des caractéristiques de rayonnement qui peuvent ne pas être réalisables par un élément simple. Il peut, cependant, être possible qu'un agrégat d'éléments dans un arrangement électrique et géométrique (d'une rangée) aura comme conséquence les caractéristiques désirées de rayonnement. L'arrangement de la rangée peut être tel que le rayonnement des éléments ajoute un maximum de rayonnement dans une direction ou des directions particulières et un minimum dans d'autres. Des exemples typiques de réseaux d'antennes sont montrés sur la Figure I.10 [2].



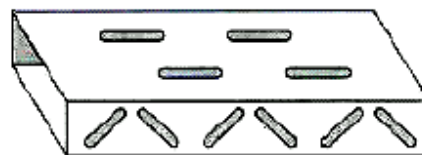
(a) Réseau Yagi-Uda



(b) Réseau d'ouvertures



(c) Réseau à patch microstrip



(d) Réseau de guides d'ondes à fente

Figure I.10 Antennes réseaux