

CHAPITRE II

INTRODUCTION SUR L'ANTENNE INTELLIGENTE

II.1.1. Introduction :

Une antenne, dans un système de télécommunications, est le port par lequel L'énergie radio fréquence (RF) est couplée de l'émetteur au milieu extérieur pour la Transmission, et l'inverse, du milieu extérieur au récepteur pour la réception. Cependant, la façon avec laquelle l'énergie radio fréquence est rayonnée dans L'espace a une influence profonde sur l'utilisation efficace du spectre, sur le coût D'établissement de nouveaux réseaux de transmissions et sur la qualité de service fournie par ces réseaux.

II.1.2. Les antennes Omnidirectionnelles

Les communications sans fil, n'utilisaient que l'antenne omnidirectionnelle

Simple qui rayonne et reçoit également dans toutes les directions

(La direction étant ici l'azurite) [17] :

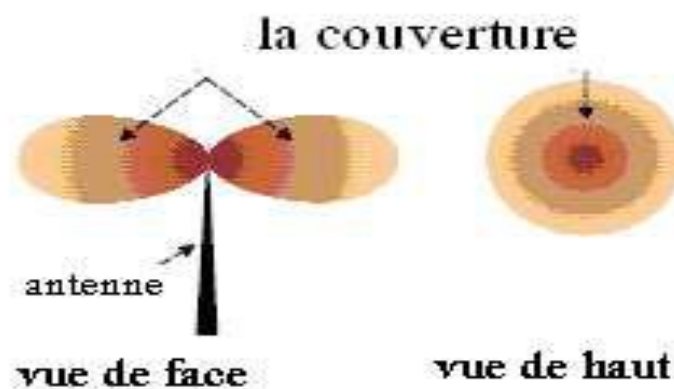


Figure II.1 : La couverture de l'antenne omnidirectionnelle

Il est suffisant pour des simples environnements RF où aucune connaissance Spécifique des positions des Un petit pourcentage d'énergie atteignant les utilisateurs désirés de l'énergie globale Envoyée dans l'émetteur.

Les stratégies omnidirectionnelles essayent d'éviter ce problème en amplifiant Simplement la puissance des signaux au niveau de l'émission. Dans un arrangement de nombreux utilisateurs (beaucoup d'interférence), cette Situation est plus mauvaise parce que les signaux qui vont vers un utilisateur deviennent des interférences pour ceux qui sont dans la même cellule.

Dans les applications de la liaison montantes (vulpin) (d'utilisateur vers la stationne base), les antennes omnidirectionnelles n'offrent aucun gain préférentiel pour les signaux des utilisateurs désirés.

En d'autres termes, les utilisateurs doivent émettre une énergie suffisante. En outre, cette approche de simple élément ne peut pas sélectivement rejeter des signaux interférant de ceux des utilisateurs désirés et n'a aucune réduction des trajets multiples spatiale ou possibilité d'égalisation. Par conséquent, les stratégies omnidirectionnelles défavorisent l'efficacité spectrale, en limitant la réutilisation de fréquence. Ces limitations de la technologie d'antenne d'émission concernant la qualité, la capacité, et la couverture géographique des systèmes sans fil ont poussé une évolution dans la conception et les rôles fondamentaux de l'antenne dans un système sans fil.

II.1.3.Les antennes directionnelles et systèmes Sectoriel :

Une antenne simple peut également être construite pour avoir une certaine transmission/réception préférentielle dans des directions fixes prédéterminées. Le système de l'antenne sectoriel prend la zone cellulaire traditionnelle et la subdivise en secteurs en utilisant des antennes directionnelles.

Chaque secteur est traité comme une cellule différente dans le système, dont la capacité peut être plus grande que dans le cas d'omnidirectionnel, puisque la puissance peut être focalisée à un plus petit secteur. C'est généralement désigné sous le nom du gain d'élément d'antenne.

En plus, les systèmes à antennes sectorielles permettent d'augmenter la possibilité de réutilisation d'une fréquence dans tels systèmes cellulaires en réduisant l'interférence potentielle à travers la cellule originale. Le système à six secteurs a été réalisé en pratique, tandis que plus récemment jusqu'à 16 secteurs ont été déployés. Cependant, chaque secteur

utilise une fréquence différente pour réduire l'interférence Co-canal, un système de Handover est utilisé entre les secteurs.

Des secteurs plus étroits donnent mieux de performance du système, mais ceci résulterait à des Handover fréquents. Tandis que les systèmes d'antennes sectoriels accroissent l'utilisation des canaux, il ne peut pas résoudre tous les inconvénients de l'antenne omnidirectionnelle standard telle que le filtrage des signaux d'interférence des Cellules adjacentes. La solution c'est d'utiliser les antennes intelligentes.

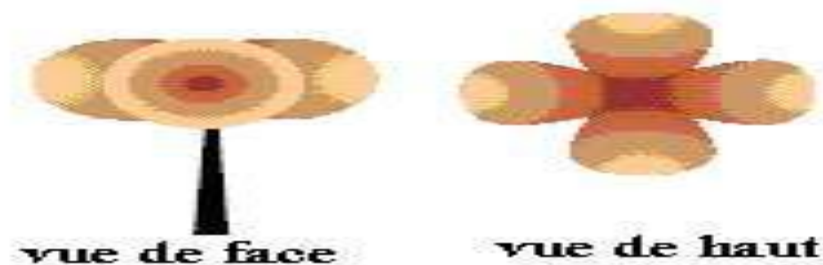


Figure II.2 : la couverture des antennes sectorielles

II.2. Les antennes intelligentes :

II.2.1. Définition des antennes intelligentes :

Un modèle expliquant comment une antenne intelligent travaille est montrée sur la figure II.3.

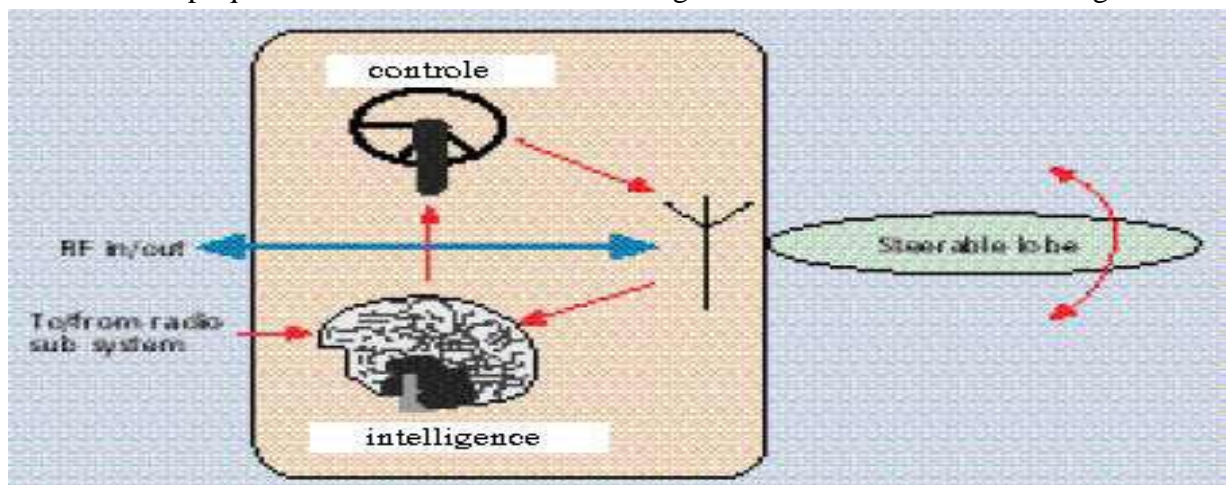


Figure II.3 : Principe d'antenne intelligente

Considérons d'abord l'ulpin: Sans antennes intelligentes les signaux d'utilisateurs à hauts débit interfèrent fortement pour des grandes distances.

Les anciens systèmes doivent envoyer des puissances plus élevées de TX afin de remplir les conditions au récepteur. L'utilisation des antennes intelligentes signifie que les faisceaux d'antenne sont Orientés et concentrés vers l'utilisateur désiré.

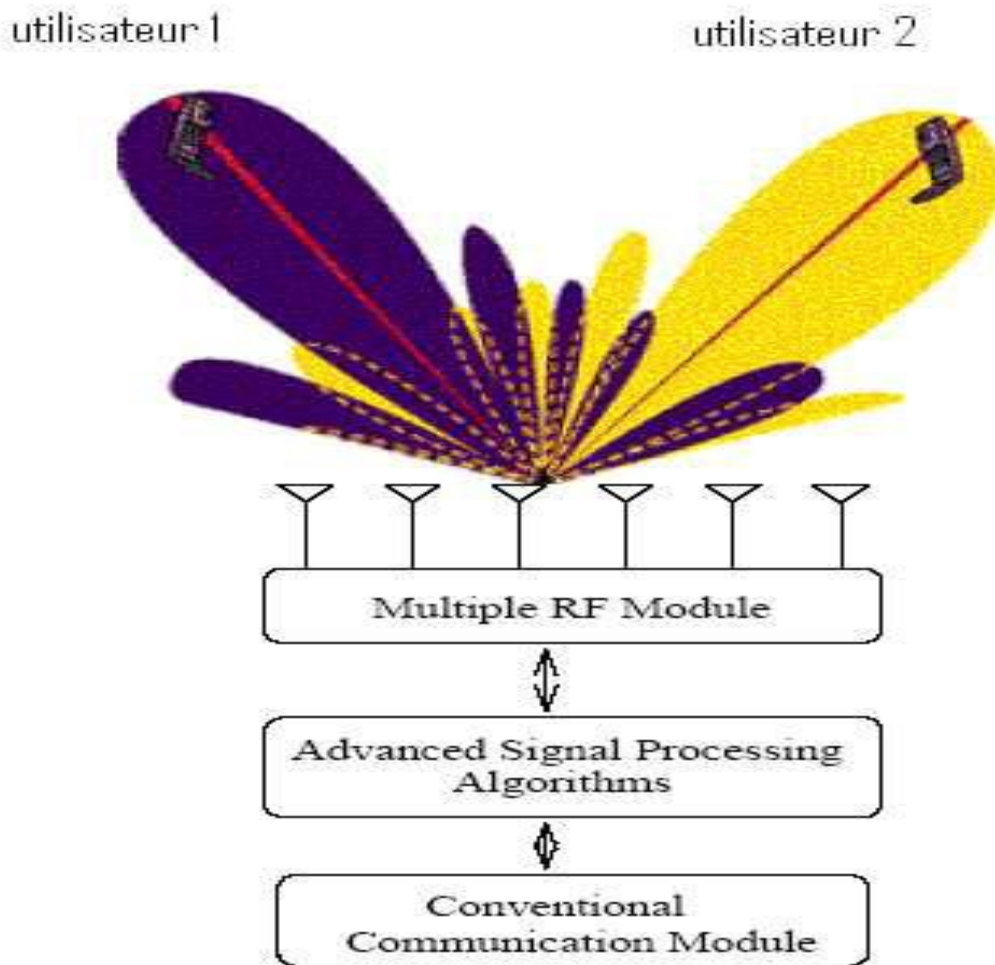


Figure II.4 : principe d'antenne intelligente :

Les interférences des signaux à haut débit sont réduites.

Cette réduction d'interférence correspond à une augmentation de la couverture dans un réseau GSM ou UMTS.

Cette réduction est également montrée dans la figure II.5.

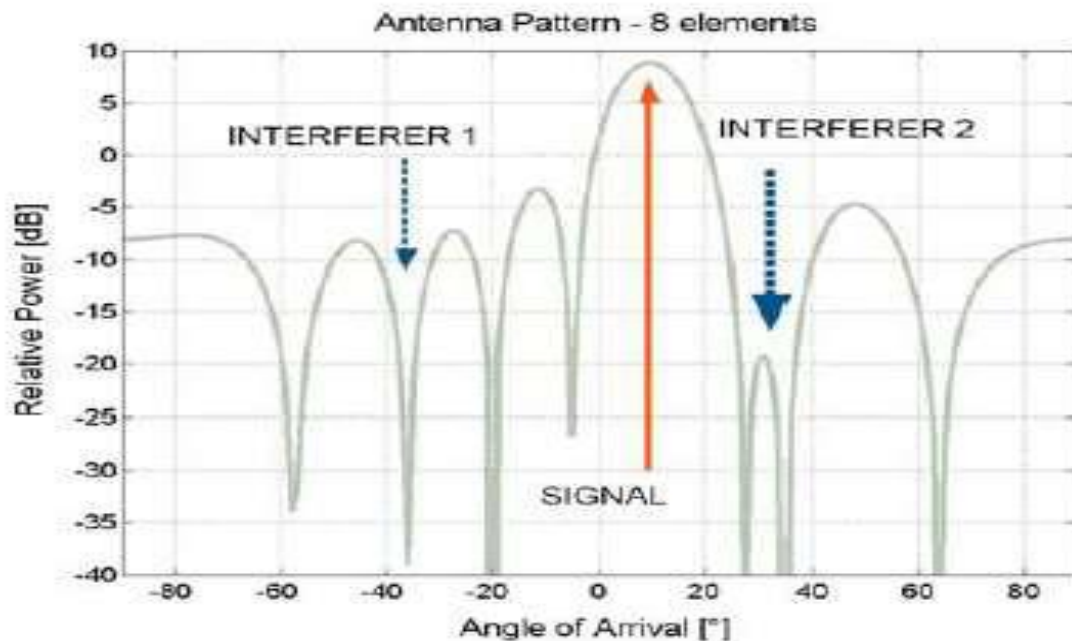


Figure II.5 : Modèle d'antenne d'une rangée linéaire uniforme d'huit éléments.

Le signal désiré arrive à 10° . Deux signaux d'interférence sont montrés, un au -35° et 35° . Les algorithmes (la partie d'intelligence) d'antenne calculent les poids d'antenne pour chacun des huit éléments de sorte que le rapport signal/bruit (SNIR) devienne optimum.

II.2.2. Concepts :

Plusieurs définitions pour les antennes intelligentes sont indiquées dans la littérature. Une définition utile peut être faite par la différence entre une antenne intelligente/adaptative et une antenne fixe simple qui est la propriété d'avoir un lobe adaptatif et un lobe fixe, respectivement.

Normalement, le terme " antenne " comporte seulement le mécanisme physique transformant les ondes électromagnétiques en signaux radio fréquence (RF) vers le câble et vice versa.

Nous pouvons l'appeler l'élément de rayonnement. Dans le contexte des antennes intelligentes, le terme " antenne " a une signification étendue. Elle se compose d'un certain nombre d'éléments de rayonnement, un réseau de combinaison et une unité de commande. L'unité de commande peut s'appeler l'intelligence de l'antenne intelligente, réalisée en utilisant un processeur des signaux numériques (DSP).

Le processeur commande les paramètres de l'antenne, basés sur plusieurs entrées (signaux d'arrivée), afin d'optimiser la liaison. Plusieurs systèmes d'optimisation peuvent être utilisés,

Ceci prouve que les antennes intelligentes ne sont plus des antennes, plutôt des complets concepts d'émetteur récepteur [18].

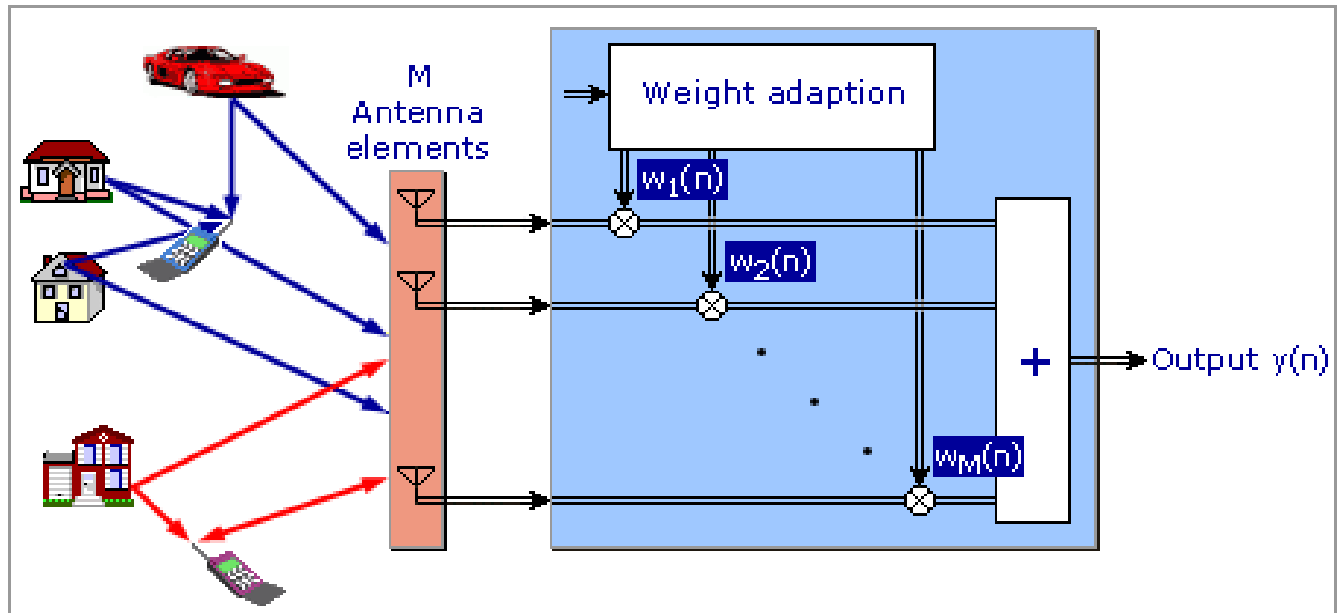


Figure II.6 : la structure des antennes intelligentes

II.2.3. Les niveaux d'intelligence :

Les concepts des antennes intelligentes peuvent être divisés en 3 niveaux d'intelligence :

II.2.3.1. Antenne à commutation de faisceaux, appelés « switched beam antenna Systems » :

Ceci s'appelle également antenne à faisceaux commutés. C'est la technique la plus simple, et comporte seulement une fonction de commutation entre les antennes à faisceaux directives séparées ou prédéfinie. Le lobe qui fournit le niveau de signal le plus élevé est choisi.

Principe :

Ces antennes détectent la qualité du signal reçu, choisissent parmi un des multiples lobes prédéterminés et commutent d'un rayon à un autre en fonction du mouvement de l'utilisateur.

Ce système consiste à créer de multiples faisceaux très étroits (15 à 30° d'angle d'ouverture), sachant que le meilleur d'entre eux sera utilisé pour desservir l'utilisateur en fonction de son

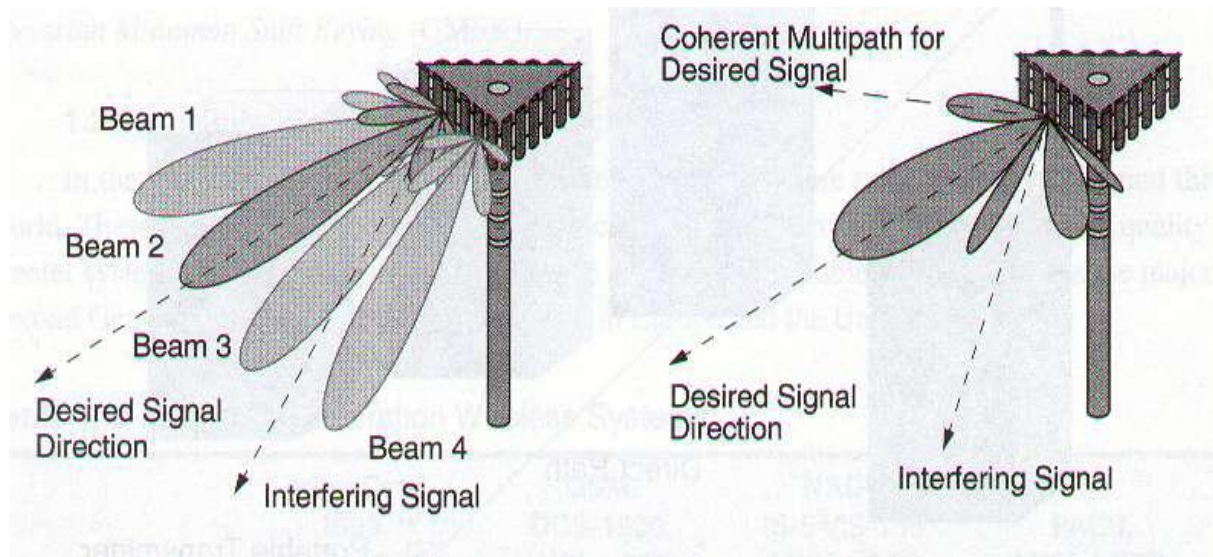


Figure II.7 : principe des Antennes à commutation de faisceaux

Un réseau RF linéaire *spécifique* (appelé Butler-matrix) combine les signaux des M éléments d'antennes de façon à former différents *faisceaux* dirigeant vers certaines Directions. A la sortie, nous avons N signaux RF *disponibles*, un pour chaque faisceau ou Direction. Au moyen d'un simple commutateur RF, nous choisissons maintenant le Meilleur de ces signaux pour les traiter par un récepteur standard. Le meilleur signal a pu Être celui avec la puissance reçue la plus élevée, ou le meilleur *rapport d'erreur de bit* Ou un autre critère.

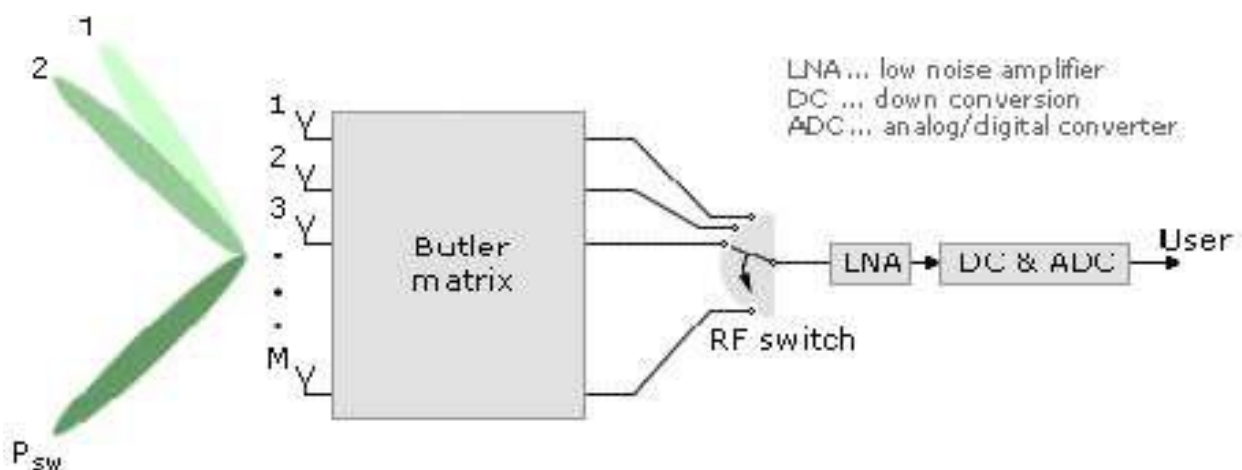


Figure II.8 : Structure des antennes à faisceaux commutés

Le grand avantage de cette structure est qu'il exige seulement une chaîne d'émission/ réception très simple. Cependant, les lobes et les zéros d'antennes ne peut pas être mis dans des

Directions arbitraires, mais peut seulement être choisi d'un nombre limité de positions,

C'est l'inconvénient de ces types des antennes intelligentes.

Mouvement En raison de la directivité plus élevée comparée à une antenne conventionnelle, certain gain plus élevé peuvent être atteindre.

II.2.3.2. Antenne adaptative à traitement spatial (PA) (phased array) :

En faisant la formation des faisceaux (beamforming) numériquement (en appliquant Des algorithmes) un faisceau mobile continu est établi, qui est orienté vers le composant De signal de plus fort puissance .C'est la généralisation du concept de lobes commutés et a Un nombre de directions de faisceaux infini.

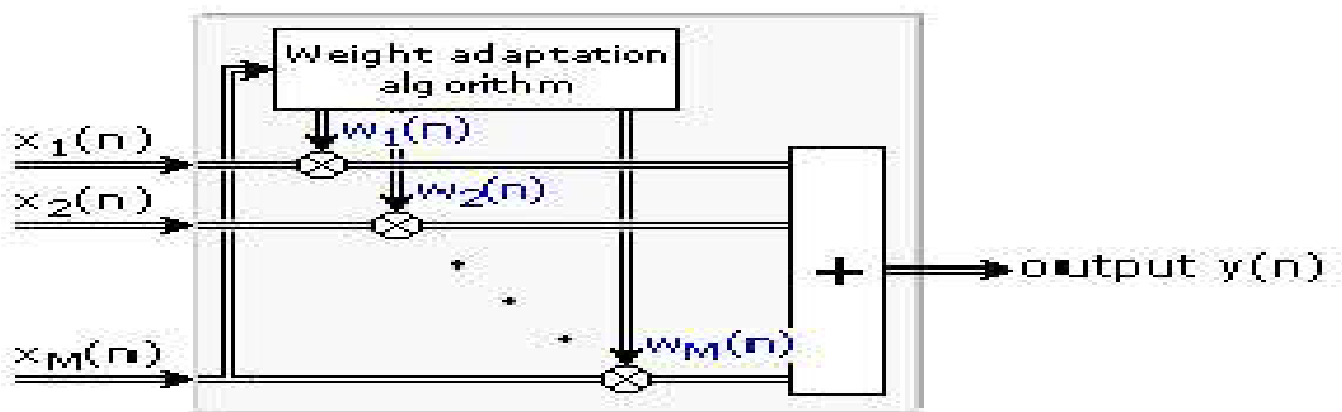


Figure II.9: structure des antennes à traitement spatial :

Une approche plus sophistiquée est le filtre spatial ou le traitement spatial.

Les signaux reçus en premier lieu sont d'abord convertis en bande de base et échantillonnés,

Un procédé qui exige des chaînes de M récepteurs. Les signaux de chaque récepteur sont multipliés avec les poids W complexes (les coefficients de filtre adaptatif) et puis seront additionnés :

$$y(n) = x(n)w(n)^T \quad \text{Où : } X(n) = [X_1(n) \dots X_M(n)]$$

$X_M(n)$ est le signal capté par l'antenne M.

$$W(n) = [w_1(n) \dots w_M(n)]$$

$W_M(n)$ est le poids (weight) de l'élément d'antenne M.

Le signal $y(n)$ de sortie résultant peut alors être traité comme n'importe quel signal d'une antenne normale. Les performances des antennes à traitement spatial sont meilleures que ceux à faisceaux commutés.

II.2.3.3. Antenne adaptative (AA) à un traitement temporel spatial (time – space processing):

Semblable au précédent, le beamforming se fait numériquement, et un lobe principal est produit vers la direction du composant de signal de plus forte puissance. Et en plus, des lobes sont produits dans les directions des composants des multi trajets désirés et les zéros dans les directions des interférences. Cette technique maximisera le signal à l'interférence et rapport de bruit (SNR).

La différence principale entre les systèmes précédents et un système adaptatif est la complexité des algorithmes de beamforming dans le récepteur.

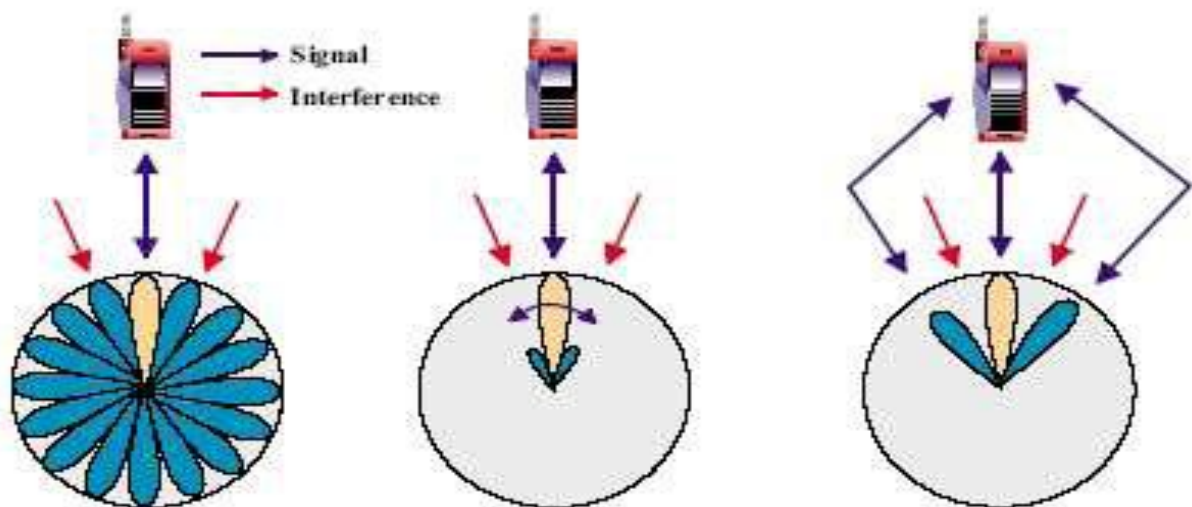


Figure II.10 : comparaison entre les 3 niveaux d'intelligence

Le signal est introduit dans un égaliseur conventionnel, qui combine les composants de signal avec différents retards, ou traitement temporel.

La combinaison de ces deux filtrages simultanés dans l'espace et dans le temps et s'appelle traitement temporel spatial (ou Space-Time processing).

Le traitement spatial (section précédente) fonctionne mieux si chaque élément d'antenne fournit à un signal la même dispersion de temps. Si ce n'est pas vrai, chaque élément

d'antenne devrait avoir un égaliseur séparé. Si chaque égaliseur linéaire est de longueur L , la chaîne a alors M poids complexes spatiaux et L temporels, menant à une complexité de $M \cdot L$ poids. La figure 3.11 montre le schéma fonctionnel du récepteur.

Au lieu de calculer les vecteurs des poids spatiaux et temporels d'une façon séquentielle, nous pouvons les calculer conjointement, produisant une matrice de poids de taille $M \cdot L$.

Le récepteur est alors également connu en tant qu'un récepteur à égalisation temporelle spatiale. Le signal de sortie est alors introduit dans un dispositif de décision pour récupérer le signal désiré.

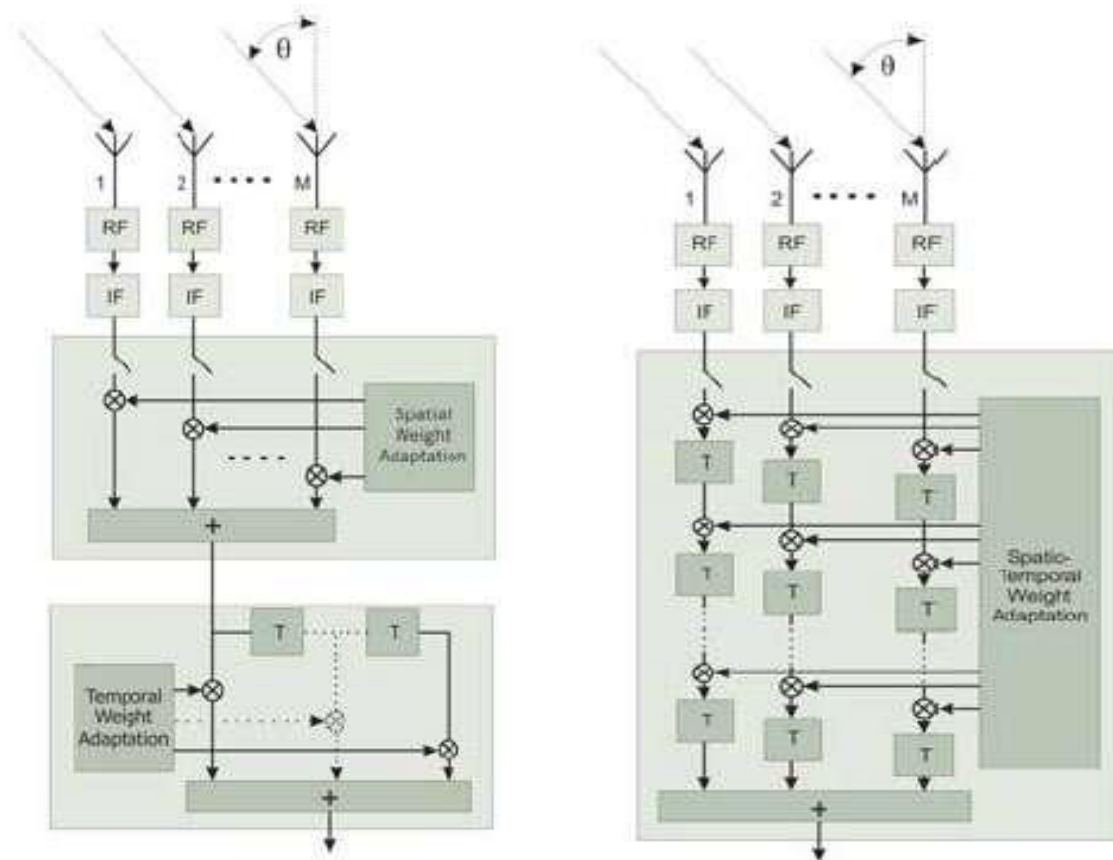


Figure II.11 : Les systèmes à traitement temporel spatial

II.3. les éléments principaux des antennes intelligentes :

En ce partie, on va expliquer le principe de base des antennes intelligentes.

Des schémas fonctionnels des systèmes d'émission\réception d'antenne intelligente seront présentés ainsi les concepts fondamentaux.

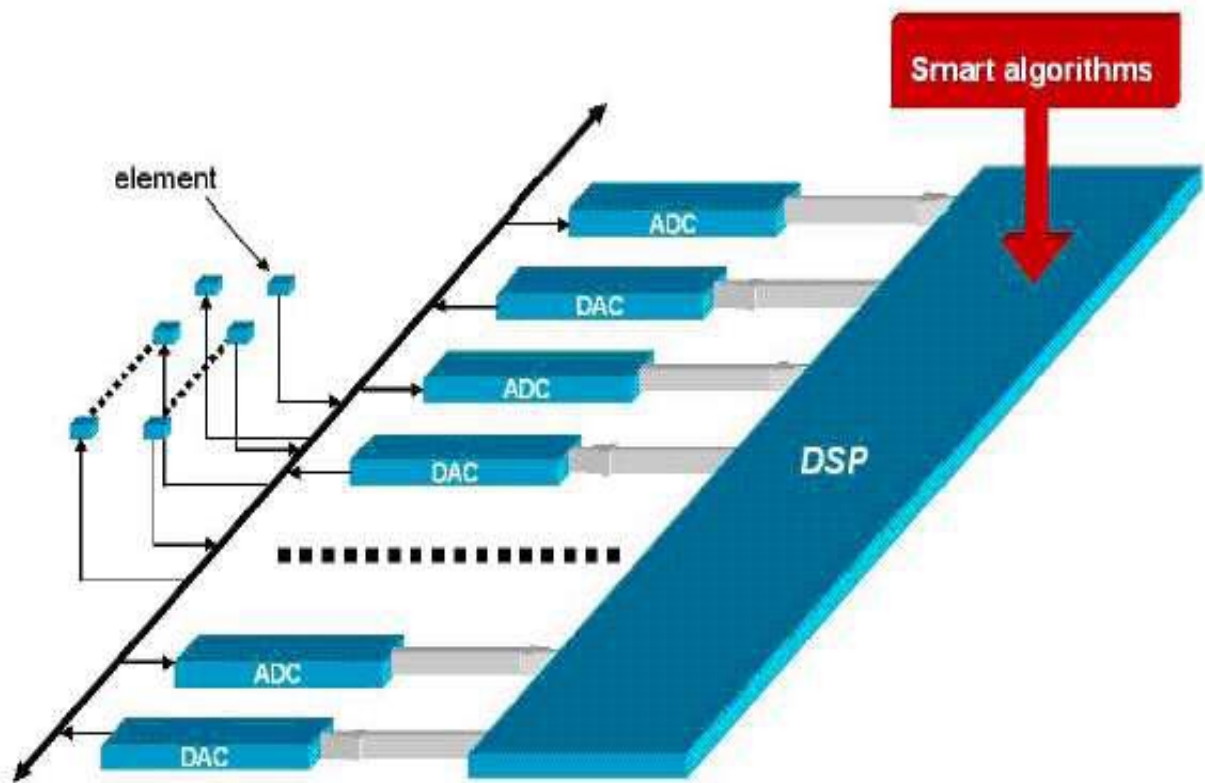


Figure II.12 : Les éléments principaux d'antennes intelligentes

II.3.1. Récepteur d'Antenne intelligente :

La figure N ci-dessous montre schématiquement les éléments de la partie réception d'une antenne intelligente. Le réseau d'antenne contient M éléments.

Les M signaux sont combinés en un signal, qui est l'entrée du reste du récepteur (décodage décanal, etc.).

Comme la figure 4.2 montre, la partie réception d'antenne intelligente se compose de

En plus de l'antenne, elle contient : une unité radio, une unité de formation des faisceaux pour le traitement des signaux.

Le réseau aura souvent un nombre relativement petit d'éléments afin d'éviter la complexité dans le traitement des signaux, et montre quatre exemples de différentes géométries de l'antenne. Les deux premières structures sont utilisées pour le beamforming dans le plan

horizontal seulement (l'angle azimut).

Ceci normalement est suffisant pour les environnements extérieurs, au moins en grandes cellules.

Le première exemple (a) montre un réseau linéaire à une seule dimension avec un espacement d'éléments Δx uniforme. Cette structure peut faire le beamforming dans l'angle d'azimut dans un secteur angulaire. C'est la structure la plus utilisée due à sa baisse complexité.

Le deuxième exemple (b) montre un réseau circulaire avec espacement d'éléments angulaire de $\Delta\varphi=2\pi/M$. Cette structure peut obtenir un beamforming dans tous les angles d'azimut.

Les deux dernières structures sont utilisées pour un beamforming bidimensionnel, dans les deux angles d'azimut et d'élévation.

Ceci peut être souhaitable pour les environnements urbains internes ou denses. La vue de face du réseau linéaire bidimensionnelle avec l'espacement Δx horizontal et l'espacement Δy vertical des éléments.

Le Beamforming dans l'espace entier, dans tous les angles, exige une certaine sorte de structure cubique ou sphérique.

Le quatrième exemple (d) montre une structure cubique avec des séparations d'élément $\Delta x, \Delta y$ et Δz .

L'unité radio se compose des chaînes de des convertisseurs analogique-numérique Il doit y avoir M convertisseurs, une pour chacun élément de réseau. L'unité de traitement des signaux, basé sur le signal reçu, calcule les poids complexes w_1, w_2, \dots, w_m dont le signal reçu de chacun des éléments sera multiplié par ces derniers. Ces poids déterminent de diagramme le rayonnement d'antenne pour la liaison montante (uplink).

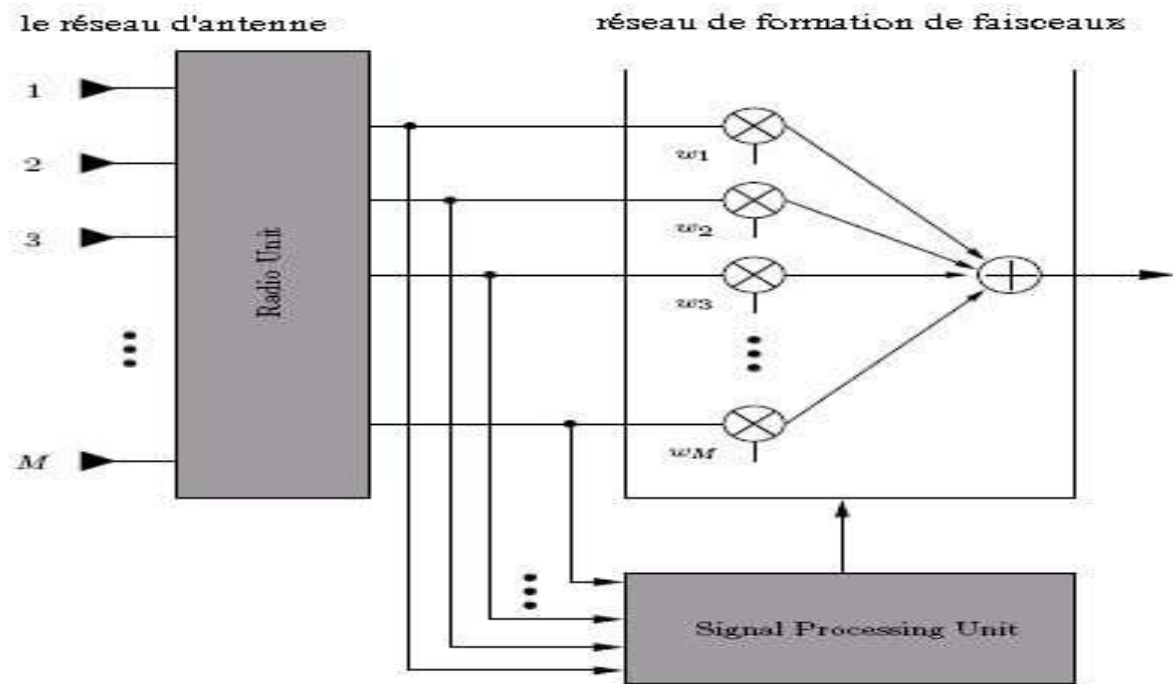


Figure II.13: le récepteur d'antenne intelligente

Les poids peuvent être optimisés avec deux types de critères principaux :

- Maximisation de signal reçu du l'utilisateur désiré (par exemple par commutation de faisceaux).
- Maximisation de rapport signal sur bruit en séparant le signal et l'interférence (antenne adaptative).

Théoriquement, avec M éléments d'antenne il y a un signal désiré et $M-1$ sources

D'interférence, mais en raison de la propagation par trajets multiples ce nombre sera normalement inférieur.

La méthode pour calculer les poids différera selon le type de critère d'optimisation.

Dans le système à commutation de faisceaux (SB), le récepteur examinera tous les vecteurs prédéfinis de poids (correspondants aux faisceaux réglés) et choisira celui donnant le niveau de signal reçu le plus fort.

Dans le système PA, il va diriger un faisceau de gain maximum vers le signal de plus fort puissance, la direction de l'arrivée des signaux (DOA) est d'abord estimée et ensuite les poids seront calculés.

Si la maximisation du s/b doit être prise comme critère, le vecteur optimum de poids (de dimension M) W_{opt} peut calculer en utilisant un certain nombre d'algorithmes.

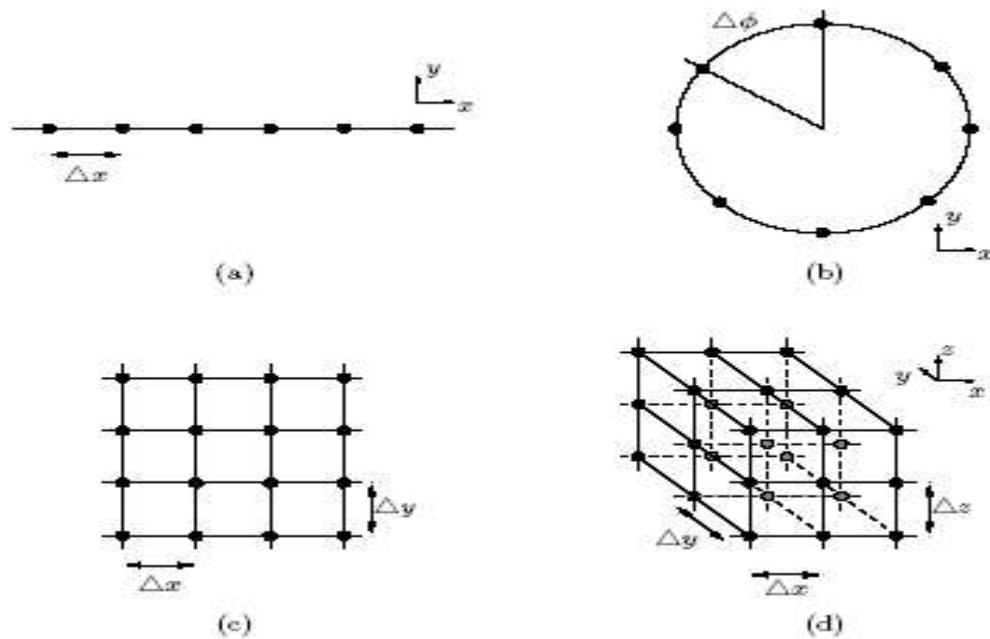


Figure II.14 : les différentes géométries d'antenne intelligente

- a. réseau linéaire uniforme
- b. réseau circulaire
- c. réseau en grille de dimension
- d. réseau en grille multidimensionnel.

II.3.2. L'émetteur d'Antenne intelligente :

La partie émission de l'antenne intelligente est schématiquement très semblable à la partie de réception. L'illustration est montrée dans figure suivante.

Le signal est coupée M tranches, qui seront pesées ou pondérées par les poids $W_1 \dots W_M$ dans l'unité de formation des faisceaux.

Les poids, déterminant le diagramme de rayonnement dans la direction descendante (downlink), sont calculées avant par l'unité de traitement des signaux.

L'unité radio est constitué par des convertisseurs D/A. Pratiquement, quelques composants, tels que les antennes et la partie DSP soient les mêmes à la réception.

La différence principale entre l'uplink et le downlink est qu'aucune connaissance de la réponse de canal spatial n'est disponible sur le downlink.

Dans un système duplex de division de temps (TDD) la station mobile et la station de base utilisent la même fréquence porteuse mais seulement séparée dans le temps.

Dans ce cas, les poids calculés à l'uplink sont optimaux pour le downlink si le canal ne change

pas pendant la période séparant l'émission et la réception. Pour le système duplex à division de fréquence (FDD), l'uplink et le downlink ont des fréquences différents, dans ce cas, les poids optimaux généralement ne peuvent pas être les mêmes en raison de la dépendance de la réponse de canal de la fréquence.

La stratégie utilisée par la station de base est d'estimer le DOA de la direction (ou des directions) à partir de laquelle la partie principale de signal de l'utilisateur est reçu.

Cette direction est utilisée pour le downlink en choisissant les poids $w_1 \dots w_M$ de sorte que le diagramme de rayonnement est un lobe ou des lobes orientés vers l'utilisateur désirer.

En outre, il est possible de placer des zéros dans la direction d'autres utilisateurs de sorte que l'interférence par ces utilisateurs est réduite au minimum.

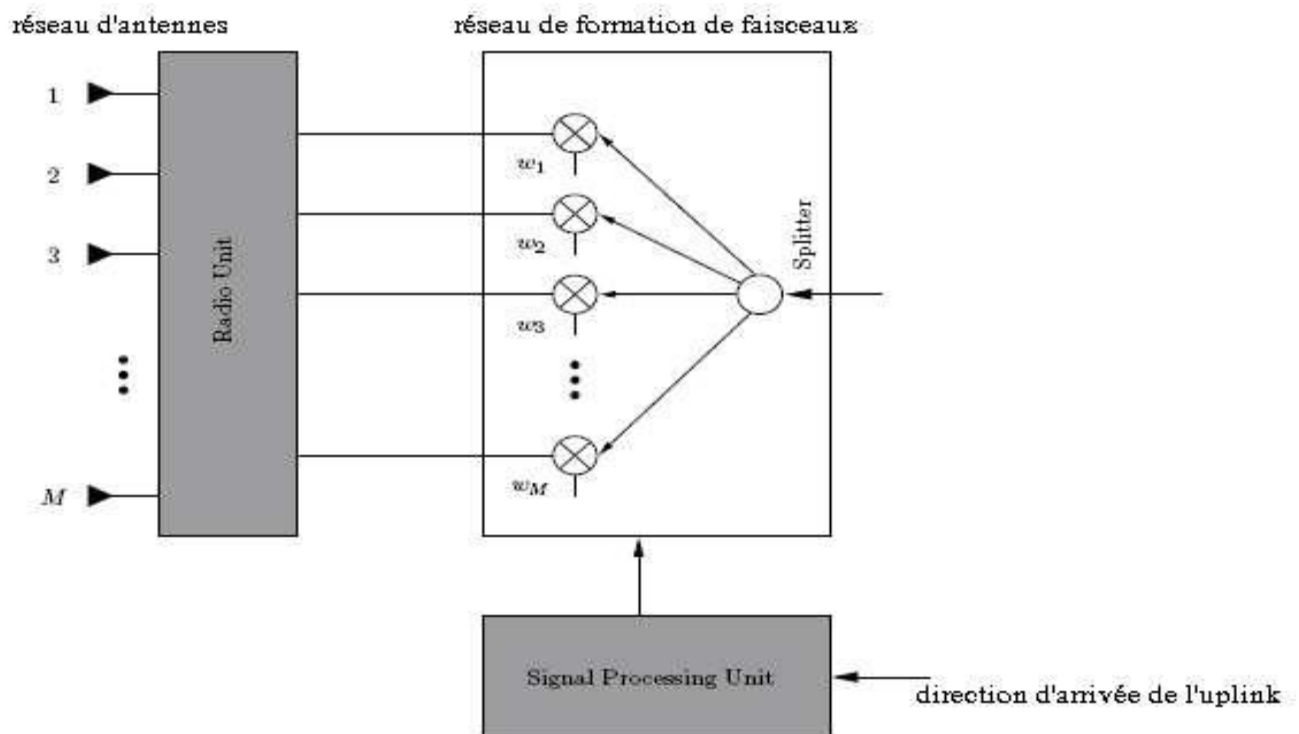


Figure II.15: l'émetteur d'antenne intelligente

II.4. Principes fondamentaux des rangées d'antenne :

Dans un réseau d'antennes, les capteurs sont séparés dans l'espace dont les sorties

Sont introduites dans un réseau de pondération ou un réseau de formation des faisceaux.

La rangée d'antennes peut être mise en application comme en transmission ou en

Réception. Il y a beaucoup d'hypothèses faites en analysant une rangée d'antennes :

- Tous les signaux incidents sur la rangée d'antenne de réception se composent de

Nombre fini des ondes planes.

- Ces ondes planes résultent à causes des composants par trajets multiples.
- Les capteurs sont placés étroitement de sorte que les amplitudes des signaux

Reçus à deux éléments quelconques de la rangée d'antenne ne diffère pas de manière significative.

- On suppose que chaque capteur a le même diagramme de rayonnement et la même

Orientation.

- On suppose que l'accouplement mutuel entre les éléments d'antenne est négligeable.

Une rangée d'antenne avec ses coordonnées est illustrée dans figure II.15 :

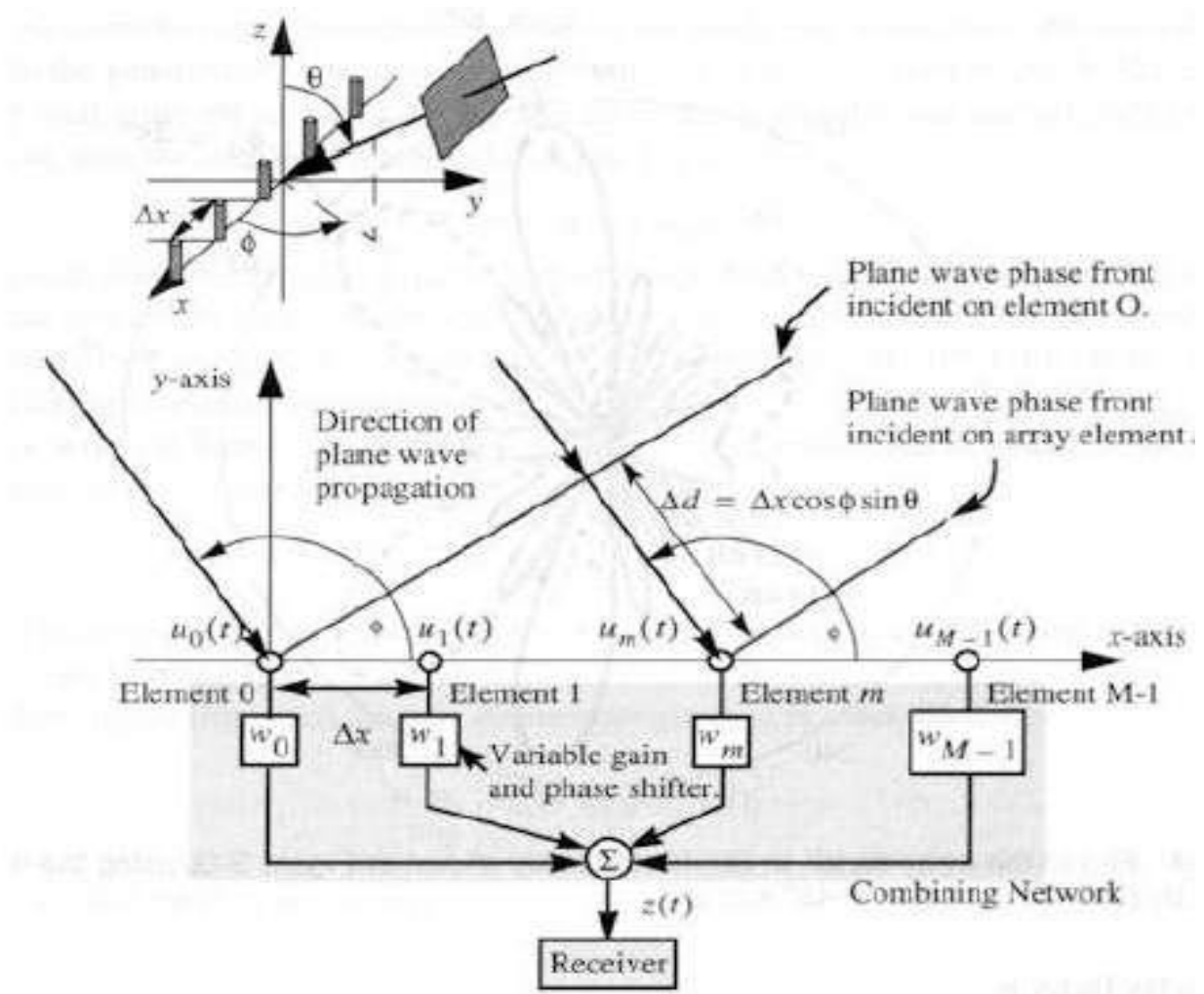


Figure II.16: Antenne smart à géométrie linéaire