



CHAPITRE II : CONCEPTION D'UNE ANTENNE DE LECTEUR RFID

II.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons concevoir l'antenne du lecteur RFID. D'abord nous allons présenter une petite théorie sur l'antenne en donnant le schéma équivalent et les caractéristiques des antennes (rayonnement et électrique), son alimentation et son analyse.

II.2 Historique

L'antenne RFID est une antenne imprimée, Le concept d'antennes imprimées est apparu dans les années 1950, mais il faudra attendre les années 1970 pour voir apparaître les premières réalisations qui seront essentiellement réservées à des applications militaires, et les années 1990 pour un véritable passage au stade industriel. [7]

II.3 Théorie sur l'antenne [10]

- Limites communes dans l'électromagnétisme

Les limites communes dans l'étude de l'électromagnétisme sont de donnée par le système des unités international et sont montrées dans le (**Tableau II. 1**)

Force électrique	E	Vm-1
Densité électrique	D	Cm-2
Force magnétique	H	Am-1
Densité magnétique	β	Wbm-2
Constante diélectrique	ϵ	Fm-1
Perméabilité	μ	Hm-1

Tableau II. 1 : unités pour des termes communs utilisés dans la théorie d'antenne.

- Les équations de Maxwell

La théorie fondamentale d'antenne est basée sur les équations de Maxwell. Les quatre équations de Maxwell sont la combinaison de la loi de faraday, la loi d'ampère. La loi du gauss pour flux électrique et loi du gauss pour flux magnétique de. En forme différentielle :

$$\nabla \times E = -\partial B / \partial t \quad (\text{II. 1})$$

$$\nabla \times H = J + \partial D / \partial t \quad (\text{II. 2})$$

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (\text{II. 3})$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (\text{II. 4})$$

- Sources et vortexes

Les concepts d'une source et un vortex sont présentés sur les figures suivantes



Figure II. 1 : La différence entre Source et Vortex

II. 4 Description [6]

Fondamentalement, une antenne RFID est constituée :

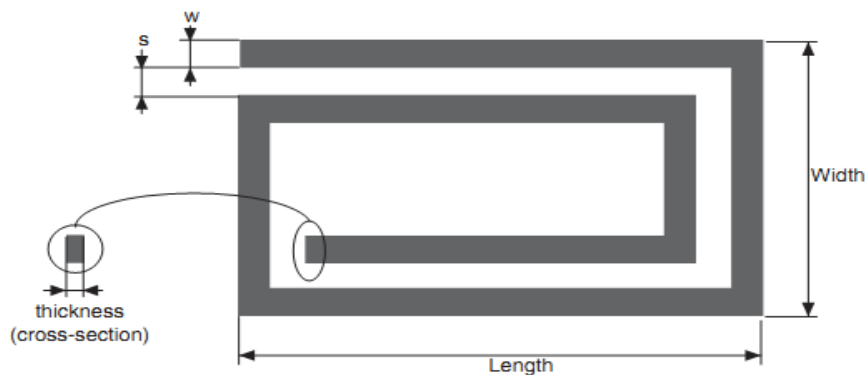


Figure II.2 : Antennes planaires rectangulaires

Les paramètres d'antenne RFID sont :

W : la largeur de conducteur en millimètres, S : l'espacement de conducteur en millimètres

Width (Largeur), Length (Longueur), le nombre de tours(n), le nombre de segments

En générale, les formes des antennes RFID sont : boucle circulaire et enroulement en spirale et enroulements de place

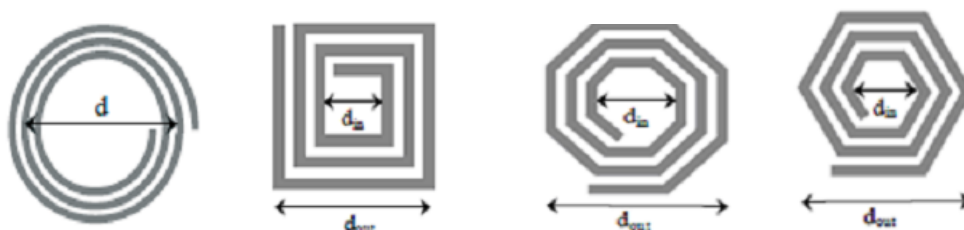
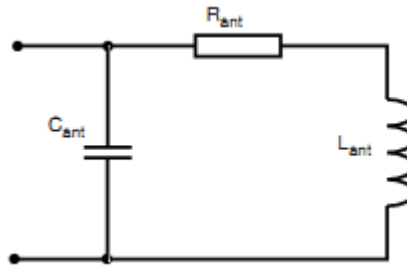


Figure II. 3 : quelque forme d'antenne RFID**II. 5 Schéma équivalent d'une antenne RFID**

L'antenne est un fil, ainsi son circuit électrique équivalent est un fil avec une résistance symbolisée par R_{ANT} . L'antenne a également une inductance dénotée par L_{ANT} . La capacité C_{ANT} , est la représentation des éléments parasites (produits par le pont).

**Figure II. 4 :** Schéma équivalent d'une antenne RFID

C_{ANT} : capacité parasite équivalente de l'enroulement d'antenne

R_{ANT} : Résistance de bobine d'antenne L_{ANT} : Inductance d'enroulement d'antenne

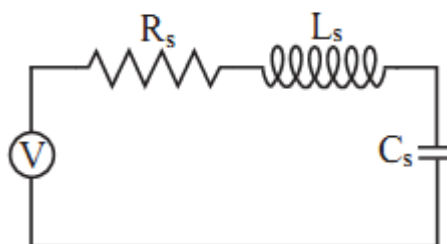
Remarque : C_{ANT} et R_{ANT} sont négligeables [6]

II. 5.1 Circuit résonnant pour l'antenne

Il y a trois types de circuits résonnants simples ; circuits résonnants de série, circuits résonnants parallèles, et circuit pratique de résonance. Les détails de pour ces trois résonnants [10]

- Circuit résonnant de série

Un circuit résonnant de série se compose d'une résistance, de R_s , d'un inducteur, du L_s , et d'un condensateur, C_s , lié ensemble en série suivant les indications de (**Figure II. 5**)

**Figure II. 5 :** Circuit résonnant de série

La fréquence de résonance de ce circuit résonnant de série est indiquée par :

$$f_o = 1/2\pi\sqrt{L_s C_s} \quad (\text{II. 5})$$

Le facteur de qualité de ce circuit résonnant de série est donné par :

$$Q = \frac{X_L}{R_s} \quad (\text{II. 6})$$

Là où X_L la réactance de l'inducteur à la résonance.

La largeur de bande de ce circuit résonnant de série est indiquée par :

$$BW = \frac{f_o}{Q} \quad (\text{II. 7})$$

Là où f_o est la fréquence de résonance du circuit.

- Le circuit résonnant parallèle

Un circuit résonnant parallèle se compose d'une résistance, du R_p , d'un inducteur, du L_p , et d'un condensateur, C_p , aligné en parallèle suivant les indications de (**Figure II. 6**)

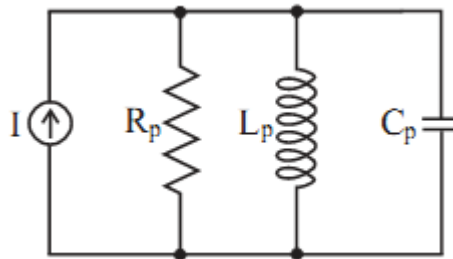


Figure II. 6 : Le circuit résonnant parallèle

La fréquence de résonance de ce circuit résonnant parallèle est indiquée par :

$$f_o = 1/2\pi\sqrt{L_p C_p} \quad (\text{II. 8})$$

Le facteur de qualité de ce circuit résonnant parallèle est donné par :

$$Q = \frac{R_p}{X_L} \quad (\text{II. 9})$$

La largeur de bande de ce circuit résonnant parallèle est indiquée par :

$$BW = \frac{f_o}{Q} \quad (\text{II. 10})$$

- Circuit résonnant parallèle pratique

Le circuit résonnant parallèle montré dans (**Figure II. 6**) est souvent connu comme circuit résonnant parallèle idéal. Dans le cas de la conception d'antenne, aucune résistance réelle ne sera ajoutée dans l'antenne. La résistance dans un circuit résonnant d'une antenne représente normalement les pertes présentées par l'inducteur. Par conséquent, comme alternative, le circuit de (**Figure II. 7**), également connu un circuit résonnant parallèle pratique, peut être étudié.

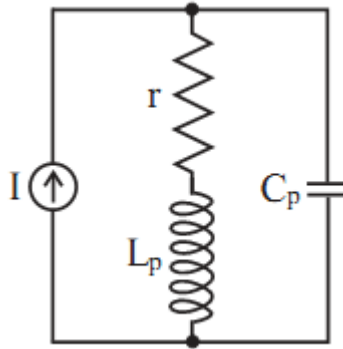


Figure II. 7 : Circuit résonnant parallèle pratique

Bien que (**Figure II. 7**) caractérise mieux une antenne, il est plus facile d'analyser mathématiquement quand une antenne est représentée sous forme de circuit résonnant parallèle d'idéal. Il peut être fait transforme, approximativement, les pertes dans l'inducteur, r , à la résistance parallèle, R_p Usinger :

$$R_p = (\omega_0 L_p)^2 / r \quad (\text{II. 11})$$

Là où ω_0 est la fréquence de résonance angulaire du circuit.

II. 6 Caractéristique des antennes :

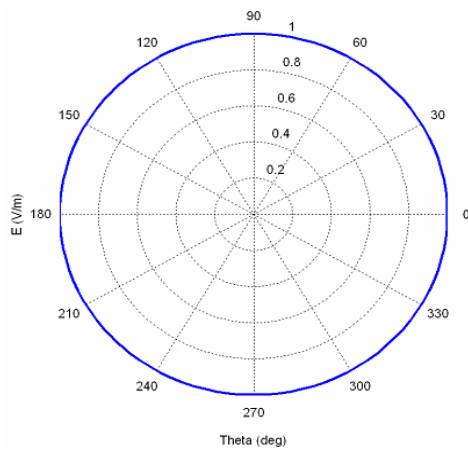
Les antennes sont caractérisées par différents paramètres qui sont classés en deux groupes. Le premier groupe s'intéresse à ses propriétés de rayonnement et le second groupe caractérise l'antenne comme un élément de circuit électrique. [8]

II. 6.1 Caractéristique de rayonnement :

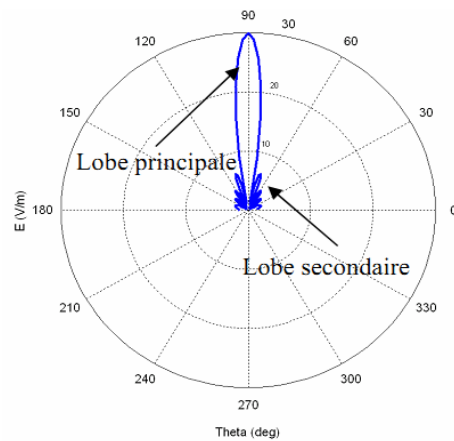
✓ Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement représente la répartition de la puissance rayonnée par l'antenne à grande distance (champ lointain). Le diagramme de rayonnement change d'une

antenne à une autre, il peut être omnidirectionnel comme dans le cas d'une antenne isotrope (**Figure(a)**) ou directif, comme dans le cas d'une antenne parabolique (**Figure(b)**). [8]



(a)



(b)

Figure II.8 : Diagramme de rayonnement (a) source isotrope, (b) source directive.

✓ Directivité

La directivité d'une antenne est le rapport de l'intensité de rayonnement dans une direction donnée de l'antenne à l'intensité de rayonnement ramenée à une moyenne au-dessus de toutes les directions. L'intensité de rayonnement moyenne est égale à toute la puissance rayonnée par les Divisé d'antenne par 4π . Si la direction n'est pas spécifique, la direction de l'intensité de rayonnement maximum est impliquée. [10]

✓ Puissance rayonnée

La puissance rayonnée est la puissance qui traverse une sphère de rayon infini. [8]

✓ Gain

En forme simple, le gain d'une antenne est obtenu par la réduction la réactivité d'une antenne par la quantité égale à la perte dispersive de l'antenne.

Si une antenne n'a pas la perte dispersive, le gain de cette antenne est équivalent à la directivité de cette antenne.

Le gain est donnée comme rapport de l'intensité de rayonnement, dans une direction donnée, à l'intensité de rayonnement qui serait obtenue si la puissance admise par l'antenne

étaient rayonnées isotropie. Le gain n'inclut pas des pertes résultant de l'impédance et de la disparité de polarisation.

Notes spéciales : Le gain d'une antenne linéairement polarisée est cité dans le « dBi ». Dans le cas d'une antenne circulairement polarisée, les fabricants d'antenne citeront parfois le gain d'une antenne Usinger le terme « dBic », bien que quelques fabricants préfèrent toujours employer le « dBi ». Ceci peut créer une certaine confusion. Une règle simple est que « dBic » d'une antenne circulairement polarisée est le 3 DB plus haut qu'une antenne circulairement polarisée équivalente de « dBi ». [10]

✓ **Résistance de rayonnement** [8]

Nous définissons la résistance de rayonnement en un point Q par :

$$R_Q = 2P_r / I_Q^2 \quad (\text{II. 12})$$

P_r : La puissance active rayonnée par une antenne.

I_Q : Le courant en un point Q de cette antenne.

✓ **Polarisation**

La polarisation du champ électromagnétique est donnée par la direction du champ électrique E. Ce phénomène est principalement observé dans les bandes UHF et surtout en micro-ondes. [8]
La polarisation d'une antenne est déterminée par celle de l'onde radiée dans une direction donnée. La pointe du vecteur du champ électrique instantané trace dans le temps une figure. Si le chemin du vecteur de champ électrique suit une ligne, l'antenne est dite linéairement polarisée. Si le vecteur champ électrique demeure constant en longueur, mais tourne selon un cercle, la polarisation est dite circulaire. [12]

II. 6.2 Caractéristique électrique

✓ **impédance d'entrée**

L'impédance a présenté par une antenne sur ses bornes. L'impédance d'une antenne, Z, est normalement présentée sous forme de $R + jX$ de, où R est la résistance de l'antenne et X est la réactance de l'antenne. [10]

✓ **le facteur de qualité**

Le facteur de qualité, Q , d'une antenne résonnante est le rapport des périodes 2π l'énergie stockée dans le champ excité par l'antenne à l'énergie rayonnée et absorbée par cycle. Pour une antenne électriquement petite, il est numériquement égal à l'one-demi l'importance du rapport du changement par accroissement de l'impédance au changement par accroissement correspondant de la fréquence à la résonance, divisé par le rapport de la résistance d'antenne à la fréquence de résonance. [10]

✓ **bande d'utilisation**

Voir la section **II. 5.1**

✓ **rendement** [8]

Le rendement est le rapport entre l'énergie rayonnée par l'antenne et celle que lui fournit l'alimentation, et s'exprime en fonction des facteurs de pertes, donné par :

$$\eta = \frac{\frac{1}{Q_{rad}}}{\frac{1}{Q_T}} = \frac{Q_T}{Q_{rad}} \quad (\text{II. 13})$$

II.7 Techniques d'alimentation

L'alimentation de l'élément rayonnant est classée en deux catégories :

- ✓ Alimentation par contact : sonde coaxiale, ligne d'amenée connectée à l'élément rayonnant et dont le point de jonction peut être sur l'axe de symétrie de ce dernier ou non.
- ✓ Alimentation par couplage ou proximité : l'élément rayonnant et la ligne d'alimentation ne sont pas connectés entre eux, l'excitation de l'élément rayonnant se fait par couplage électromagnétique.

On trouve aussi des techniques d'alimentation à travers une ouverture dans le plan de masse, dont l'élément rayonnant et le circuit microbande sont placés de part et d'autre de ce plan de masse. Une ouverture dans celui-ci permet l'excitation de l'antenne. L'alimentation par ligne microbande (coplanaire, ou coaxiale) est la technique la plus utilisée pour les antennes imprimées [8].

II.8 Choix du substrat

Les substrats possèdent aussi des qualités en tant que métaux, leurs propriétés électromagnétiques sont caractérisées essentiellement par deux grandeurs physiques conductivité, constante diélectrique relative. Les substrats exploités dans la conception des antennes imprimées sont nombreux et doivent être compatibles avec le matériau de patch. [12]

II.9 La méthode d'analyse

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour étudier ces antennes, pour cela on peut classer ces méthodes en deux catégories principales. [9]

II.9.1 Méthode analytiques

Ces modèles permettent un calcul numérique rapide et une interprétation physique possible. Parmi ces modèles on peut citer :

a. Modèle de la ligne transmission.

La méthode des lignes (MoL pour Method of Lines) est une méthode semi-analytique procédant à une discrétisation partielle des opérateurs différentiels de l'équation de Helmholtz dans l'espace. Deux des trois dimensions dans l'opérateur sont discrétisées, autorisant la résolution analytique, une fois découplée, des équations différentielles ordinaires. En effet, la méthode des lignes consiste à discrétiser les champs et les courants sur chacune des interfaces de la structure multicouche et à procéder à une résolution analytique selon la direction normale aux interfaces. Cette technique semi-analytique implique habituellement les trois étapes de base suivantes :

- Division de la région de résolution en couches,
- Discrétisation de l'équation différentielle dans une direction,
- Résolution des équations.

La méthode des lignes est particulièrement adaptée aux problèmes comportant des Structures planaires multicouches. Par son caractère semi-analytique, elle est beaucoup plus efficace pour l'analyse de problèmes stratifiés que les méthodes numériques basées sur la discrétisation volumique. En effet, le nombre d'inconnues générées n'est pas proportionnel au volume de la structure, mais à la surface et au nombre des interfaces.

L'avantage de cette méthode sur la méthode des moments est qu'elle comporte une Formulation relativement simple, beaucoup moins dépendante de la géométrie de la structure. Elle ne nécessite pas de connaissance préalable des solutions modales possibles ni de calcul de

fonction de Green. Le coût de cette simplicité de traitement, par rapport à l'utilisation de la méthode des moments, est l'accroissement de la taille mémoire et du temps de calcul nécessaires à la résolution des systèmes d'équations engendrés [12].

b. Modèle de la cavité simple

Le modèle de la cavité simple est quant à lui plus précis que le modèle de la ligne de transmission mais en même temps plus complexe. Cependant il donne une bonne interprétation physique, mais approche aussi difficilement le couplage bien qu'il donne de bons résultats. La structure peut être assimilée à une cavité limitée en haut par une plaque conductrice, en bas par un plan de masse et entourée par une surface latérale, ainsi la Conception est faite de telle sorte à confiner les champs sous la plaque conductrice. [12]

II.9.2 Méthode rigoureuses

Lorsqu'elles sont appliquées correctement, le modèle électromagnétique est très précis, très souple et traite les éléments isolés aussi bien que les réseaux finis et infinis, les réseaux empilés, les formes arbitraires et le couplage. Cependant c'est le modèle le plus complexe. Les méthodes rigoureuses sont des méthodes d'analyse numériques qui sont les plus utilisées récemment. Parmi ces derniers, on a [12]:

- La méthode aux différences finies;
- La méthode des éléments finis;
- Le système d'équations intégrales couplées, discrétisées par la méthode de moments;
- La méthode spectrale, qui correspond à la transformée de fourrier de la méthode de L'équation d'intégrale.

a. Méthode des différences finies (FDM)

La méthode des différences finies (FDM pour Finite Difference Method) est la méthode numérique la plus anciennement utilisée pour résoudre des problèmes électromagnétiques. Elle consiste à diviser le volume de l'espace où la solution est cherchée en un réseau de points espacés régulièrement pour constituer un maillage. La solution du problème est ensuite calculée en chaque point du maillage. L'approximation réside dans le remplacement de chaque dérivée de l'équation de Maxwell par une expression aux différences finies (à partir du théorème de Taylor) exprimant la valeur de l'inconnue en un point en fonction de sa valeur aux points voisins.

Les dérivées de l'inconnue f en fonction des variables spatiale x et temporelle t dans les cas de la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD) peuvent s'approcher par :

$$\frac{dy}{dx} \rightarrow \frac{f(x+\Delta x/2,t)-f(x-\Delta x/2,t)}{\Delta x} \quad (\text{II. 14})$$

$$\frac{dy}{dt} \rightarrow \frac{f(x,t+\Delta t/2)-f(x,t-\Delta t/2)}{\Delta t} \quad (\text{II. 15})$$

Le problème est ainsi discrétisé en un système d'équations que l'on peut résoudre numériquement. La résolution d'un problème par la méthode des différences finies implique trois étapes :

- Division de la région sous la forme d'une grille (maillage).
- Approximation de l'équation de Maxwell par différences finies en reliant les variables aux points voisins.
- Résolution des équations aux différences finies par rapport aux conditions aux frontières.

Le succès considérable de cette méthode largement répandue et qui joue toujours un rôle important dans l'analyse numérique, tient au fait de sa simplicité, notamment, pour la conception du maillage, et la vitesse de résolution du système d'équations qui en découle. La difficulté majeure de cette méthode tient à la régularité nécessaire du maillage qui impose une topologie fixée et conduit à d'importantes difficultés lorsque les dispositifs ont des géométries complexes. Différentes méthodes ont été proposées pour repousser ces contraintes, mais souvent au détriment de la stabilité du calcul.

Une autre limitation intervient, pour améliorer la précision de l'approximation, lorsque l'on souhaite introduire un ordre supplémentaire dans les termes du développement en série de Taylor qui apporte de sérieuses complications. Toutes ces difficultés sont en fait surmontées par l'approche des éléments finis.

b. Méthode des Éléments Finis (FEM)

La méthode des éléments finis (FEM pour Finite Element Method) est comparable à la méthode des différences finies, puisqu'il est également question de morceler l'espace qui nous intéresse et de résoudre un système d'équations linéaires. Tout d'abord, avec la FEM, le domaine est discrétisé en éléments (finis) de dimensions variables.

On s'affranchit ainsi d'un maillage régulier, ce qui facilite la simulation de dispositifs aux géométries complexes sur des échelles étendues. Une difficulté liée à la FDM est la résolution plus complexe du problème si l'amélioration de la précision des calculs passe par l'inclusion de termes de plus haut degré dans l'expression des différences finies.

Dans l'approche par éléments finis, on suppose que la variable inconnue ϕ obéit à une relation du type :

$$\phi = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 y + \alpha_{12} x + \alpha_{11} y \dots \quad (\text{II. 16})$$

Où les α_0 sont des constantes et x, y les coordonnées spatiales en 2-D. Comme la solution doit être continue d'un élément à l'autre, il est commode d'exprimer l'inconnue en fonction de sa valeur aux nœuds d'un élément par interpolation :

$$\phi = N_1 \phi_1 + N_2 \phi_2 + N_3 \phi_3 \quad (\text{II. 17})$$

Où les N_i sont des fonctions des coordonnées spatiales facilement évaluées pour des formes simples (triangle, quadrilatère en 2D et tétraèdres, hexaèdres en 3D). Par ce moyen, le concept des éléments finis offre une méthode simple et pratique d'augmenter la précision de l'approximation.

La résolution d'un problème par la méthode des éléments finis implique 4 étapes :

- Discrétisation en éléments finis de la région de résolution,
- Discrétisation des équations pour chaque élément,
- Assemblage de tous les éléments dans la région de résolution,
- Résolution du système d'équations.

c. La méthode des moments

La méthode des moments (MoM pour Method of Moments) est une technique numérique qui permet de résoudre efficacement le système d'équations intégrales en le transformant en un système matriciel résolu par ordinateur. La méthode des moments est adoptée pour l'analyse des antennes microruban dont les inconnues sont les constantes sur la plaque de l'antenne. L'idée de cette méthode est de développer la densité de courants surfaciques. La procédure de *Galerkin* est aussi utilisée pour discrétiser l'équation intégrale pour la ramener à un système linéaire d'équation algébrique qui lie la transformation de Fourier du champ et du courant dans le ruban conducteur. Pour résoudre l'équation intégrale on utilise la méthode des moments (procédure de Galerkin), la convergence numérique utilise des fonctions de base sinusoïdales (fonction d'essai), en tenant compte des conditions aux limites sur l'élément rayonnant, les courants électriques inconnus, les fréquences de résonances complexes seront déterminés, on dit à ce moment que l'équation caractéristique du système linéaire est résolue, les autres caractéristiques de l'antenne seront directement obtenues .

d. Méthode d'analyse spectrale

Notre étude ici est basée sur la méthode de *Full-Wave analysis*, ce modèle prend en considération l'équation intégrale du champ électrique (EFIE), dans le domaine spectral. Ce qui consiste à :

- L'application des transformées de Fourier sur le champ électrique qui tient compte du rayonnement et de l'effet des ondes de surface.
- La détermination d'une relation linéaire entre les composantes tangentielles du champ et courant électrique sur le patch sous forme de tenseur de Green, qui peut être déterminé par différentes techniques.
- L'introduction des fonctions de Green tensorielles qui seront pour inverser l'opérateur différentiel associé à une grandeur vectorielle (équation d'onde du champ électromagnétique) et scalaire (équation de Poisson pour le potentiel).

La méthode d'analyse spectrale est d'actualité, nous permet donc de réduire le problème vectoriel tridimensionnel en un problème bidimensionnel. Elle n'est pas limitée par les conditions classiques telles que la faible épaisseur du substrat et un constant diélectrique faible. Cette méthode est considérée comme étant la plus rigoureuse, malgré qu'elle soit un peu coûteuse, du point de vue temps de calcul et précision exigée sur la détermination des éléments de la matrice associée. On a la possibilité d'inclure dans l'analyse l'effet des différents paramètres tels que la faible épaisseur du substrat, le constant diélectrique, les pertes par conducteur et diélectrique et les dimensions finies du plan masse. La solution obtenue est d'autant plus proche et plus exacte lorsque la fonction de base modélise bien la variation réelle des courants surfaciques.

II.10 Conclusion

Ainsi, après avoir achevé la présentation des différentes caractéristiques on peut conclure sur le choix de l'antenne, et conclure aussi la modélisation théorique est particulièrement difficile. Et bien sûr nous allons conclure que le paramètre de l'antenne (épaisseur du substrat, dimension de l'antenne, le constant diélectrique) est important.

Pour la simulation, l'analyse et la réalisation de l'antenne du lecteur RFID qui résonne à 13.56 Mhz nous avons utilisé le logiciel HFSS. Ceci sera présenté dans la partie suivante.