

Etude et conception d'antennes UWB pouvant satisfaire les contraintes d'intégration dans des systèmes électroniques tels que des téléphones mobiles

Introduction :

La technologie Ultra Wide Band (UWB), apparue depuis des dizaines d'années maintenant, est un système de communication radio fréquences qui se caractérise par l'émission d'un signal de faible amplitude (proche du niveau de bruit) sur un spectre de fréquence très large. Elle permet la localisation précise d'objets et de personnes. De par la relation domaine temporel – domaine fréquentiel la communication UWB est ainsi basée sur l'émission d'impulsions courtes (typiquement 2ns). Ses caractéristiques technologiques et son faible coût d'intégration et d'exploitation font que cette technologie intéresse de nombreux domaines (automobile, médical, téléphonie mobile etc) et on assiste aujourd'hui à un large déploiement dans de nombreuses applications grands publics.

Un des piliers majeurs de cette technologie est l'antenne et ses caractéristiques et nous pouvons détailler les critères comme suit.

Qualité de l'antenne : La qualité de la communication UWB réside pour une bonne part dans la capacité de l'antenne à transmettre correctement le signal large bande qu'elle met en œuvre. L'antenne UWB doit être capable de recevoir toutes les composantes spectrales du signal avec la même efficacité, sans introduire de distorsion sur la phase du signal. Ce qui est différent des antennes utilisées pour les autres technologies radio fréquences où principalement la résonance à la fréquence centrale importe le plus.

Taille de l'antenne : pour pouvoir être implémentée dans des systèmes compacts et déjà denses tels que les téléphones portables, la taille de l'antenne doit être minimale. Le facteur taille est d'autant plus critique à satisfaire car la taille d'une antenne est généralement conditionnée par la longueur d'onde du signal.

Coût de l'antenne : le domaine grand public impose des faibles coûts d'antenne.

Les caractéristiques de l'antenne UWB sont très spécifiques et les contraintes diffèrent des contraintes de design d'antennes radio usuelles. C'est pour cela qu'en plus des paramètres traditionnels utilisés pour la caractérisation d'antennes tels que gain, impédance, paramètre S11, polarisation, d'autres paramètres doivent être considérés afin de s'assurer que l'antenne puisse satisfaire les performances recherchées (linéarité de phase, diagramme de rayonnement). Parmi ces paramètres, la linéarité et le caractère monotone du Phase Difference On Arrival (PDoA) nous intéresse particulièrement. En effet, afin de localiser un objet ou une personne, le signal renvoyé par l'objet/l'humain est reçu par le récepteur sur une paire d'antennes réceptrices. En analysant la différence de phase du signal entre les deux antennes, il est possible de définir la position de la cible. C'est pour cela que la linéarité de la phase sur toute la surface de l'antenne UWB est déterminante.

De part ces spécificités et son large spectre d'applications, l'étude des antennes UWB a suscité un vif intérêt dans le domaine de la recherche où de nombreuses structures d'antennes, notamment patches, ont été étudiées proposant des astuces de designs permettant d'élargir la largeur de bande de fréquence de ces patches qui sont par nature à bande étroite.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la proposition d'étude que l'étudiant sera amené à réaliser au cours de son travail de thèse.

Sujet de la thèse

Etudier une structure d'antenne directive intégrable dans un système de type téléphone mobile.

Pour certaines applications UWB, il est intéressant d'avoir une antenne directive. Dans le cadre de l'UWB, notamment pour les applications radar, il est nécessaire d'avoir une antenne directive (c'est-à-dire non omni directionnelle) afin que la transmission et la réception du signal ne puisse se faire que dans une direction (typiquement face avant de l'antenne). Si l'antenne est omni directionnelle, il y a ambiguïté car le système ne peut pas conclure si la cible est placée devant ou derrière l'antenne. C'est pour cela que les structures antennes patches sont privilégiées.

D'autre part, certaines applications exigent que la largeur du faisceau soit limitée, afin de ne permettre la détection de cible uniquement présente dans un angle de $\pm 35^\circ$ typiquement. Le problème est qu'un patch irradie largement sur une ouverture d'environ $\pm 80^\circ$ assurant une linéarité de phase sur une ouverture de $\pm 60^\circ$.

Objectifs de la thèse

Les objectifs principaux de la thèse sont les suivants :

- Compréhension des différentes structures d'antenne UWB à travers une étude bibliographique catégorisée par type d'antennes
- En déduire les différentes structures (ex. patch, pifa, monopole, monopole avec réflecteur...) les plus appropriées à nos besoins
- Définir les leviers d'optimisation des principales caractéristiques d'antennes : fréquence de résonance, bande passante, gain, diagramme de rayonnement, linéarité de phase ...
- Simulation de différence de phase entre 2 antennes réceptrices
- Mise en place d'un banc de simulation sous HFSS comprenant l'importation de layout
- Prototypage et vérification sur banc de mesure
- Rédaction d'un rapport complet

Démarche scientifique :

Il est important qu'à travers sa démarche, l'étudiant puisse acquérir toute la compétence nécessaire pour mener à bien son étude.

- Il devra dans un premier temps étudier l'aspect théorique :
 - Paramètres clés définissant les performances d'une antenne
 - Impact de la structure sur les caractéristiques de l'antenne
 - Mode de rayonnement
 - Impact de l'environnement sur les caractéristiques (parties métalliques avoisinantes, impact du couplage de 2 antennes voisines...)
- Il faudra aussi qu'il ait une bonne compréhension des contraintes d'intégration des antennes dans un téléphone mobile
- Une fois que l'étudiant maîtrisera pleinement le sujet d'un point de vue théorique, il sera en mesure de mener une étude bibliographique pour connaître l'état de l'art.

A partir de ces deux premières phases, l'étudiant pourra imaginer les structures les mieux à même de pouvoir satisfaire le besoin. Il pourra mettre en œuvre le banc de simulation lui permettant de dessiner et simuler la structure :

- Mise en œuvre du banc de simulation sous HFSS : le banc de simulation doit permettre d'analyser les caractéristiques déjà décrites précédemment (gain, S11, PDoA azimut, PDoA élévation ...)
- Le concept sera choisi sur la base de résultats de simulations et de contraintes topologiques.
- Commencera alors une phase d'implémentation (comportement idéal vs comportement in-situ, immunité aux parasites environnementaux).
- S'en suivra une période de prototypage, mesures et confrontations des résultats avec les simulations. Une phase de rétro-simulations, inspection sera sans doute nécessaire ici pour comprendre les écarts entre les mesures et les résultats de simulation.

Organisation des travaux de recherche et planning prévisionnel

La feuille de route suivante a été initiée (celle-ci peut néanmoins être amenée à évoluer en fonction de l'avancement et/ou des directions induites par le projet), pour atteindre pleinement les objectifs de la thèse

T0 -> T0 + 6mois : Immersion, appréhension du sujet, bibliographie

- L'étudiant mettra à profit les 6 premiers mois de la thèse pour se plonger dans la théorie des antennes et les défis relatifs au design d'antenne UWB.
- Afin de mieux comprendre les spécificités liées à cette technologie, il devra au préalable étudier le concept d'une communication UWB et les deux aspects qui nous intéressent ici : le mode « ranging » et le mode radar. Ayant une meilleure connaissance du fonctionnement d'une transmission UWB il sera plus à même à appréhender les paramètres importants de l'antenne.
- Il devra conduire une analyse bibliographique relative à la conception d'antenne UWB directive à « FoV » limité
- A l'issue de cette première période, l'étudiant devra écrire un rapport détaillant :
 - o Les différents types d'antennes généralement utilisées pour l'UWB
 - o Un tableau comparatif des avantages et inconvénients de ces types d'antennes et leurs limitations pour l'UWB
 - o Le mode de fonctionnement et dimensionnement de ces antennes

T0 + 6mois -> T0 + 12mois : Banc de simulation

Comme mentionné en introduction, le banc de simulation pour les antennes UWB doit permettre de caractériser, modéliser les paramètres spécifiques à cette technologie. Il doit pouvoir notamment simuler les performances fonctionnelles du module, à savoir les signatures de la courbe PDoA d'une paire d'antenne selon l'angle azimut pour différentes orientations d'élévation. Pour ce faire une approche SBR+ peut être mise en place. Cependant, si une approche en mode fréquentiel (usuel) peut être adoptée, il devra être confronté à un mode de simulation en domaine temporel afin de mieux identifier l'impact de la fonction de transfert de l'antenne sur la forme du signal (pulse) UWB.

- Construction du banc de simulation HFSS permettant de simuler les caractéristiques désirées (gain, S11, PDoA vs azimut/élévation, diagramme de rayonnement, densité de courant, ...)
- Le banc de simulation doit être largement documenté afin de pouvoir être réutilisé par l'équipe hardware. Il doit aussi permettre l'importation de designs partagés par d'autres équipes (sous différentes formes : dxf, gerber, ...) pour qu'ils puissent être simulés

Pour cette phase, l'étudiant sera amené à collaborer étroitement avec les équipes d'autres sites de NXP (notamment NXP Gratkorn, Autriche) où nos ingénieurs systèmes ont acquis une compétence et large expertise en matière de simulation d'antenne UWB.

T0 + 12mois -> T0 + 22mois : étude du design d'antenne

Pour limiter le diagramme de rayonnement d'une antenne, différentes approches, que l'on peut trouver dans la littérature, peuvent être envisagées. On peut les lister comme suit.

- **Agrandir la taille de l'antenne :**

En agrandissant la taille physique d'une antenne patch, l'angle d'ouverture peut être réduite car une structure plus large permet de mieux focaliser le signal.

Une structure d'antennes en réseau peut réduire le champ de vision de réception de manière significative. Le réseau peut être linéaire, planaire ou même un réseau de phase permettant de contrôler la direction du faisceau de réception. Le problème principal est qu'à ces fréquences (longueurs d'ondes) la taille du réseau d'antenne devient critique.

- **Jouer sur les propriétés du substrat :**

Utiliser un substrat ayant une grande constante diélectrique permet de réduire l'angle d'ouverture en réduisant la longueur d'onde du signal dans le substrat ce qui a pour conséquence d'augmenter la taille effective de l'antenne. D'un autre côté, l'épaisseur du diélectrique influence l'ouverture de l'antenne. Cependant cela peut entraîner des modes d'excitations de surface et des émissions parasites non désirables dans le spectre de fréquence.

- **Utiliser des réflecteurs et des structures directrices :**

En ajoutant des éléments de résonance parasite autour du patch, on peut modifier la forme du faisceau de l'antenne. C'est une approche analogue à celle mise en œuvre pour les antennes Yagi-Uda.

Placer un réflecteur derrière le patch permet de focaliser le faisceau de rayonnement de l'antenne. Cependant, l'épaisseur autorisée pour une antenne dans un téléphone mobile est limitée à quelques millimètres.

- **Envisager différents types de connexions :**

En utilisant différentes topologies de connexions à un réseau d'antenne, l'énergie se trouve distribuée de manière homogène à tous les éléments constitutifs de l'antenne, ce qui permet de réduire le faisceau.

A l'opposé, en ajustant la distribution du signal aux différents éléments du réseau d'antennes, il est possible de modifier les niveaux des lobes latéraux et du lobe de rayonnement principal.

- **Utiliser des métamatériaux :**

En plaçant une couche de métamatériau sur une antenne patch, cela modifie les propriétés électromagnétiques autour de l'antenne et influe sur la forme du faisceau de rayonnement.

Des conducteurs de type AMC (Artificial Magnetic Conductors) utilisés comme plan de masse pour le patch améliore la directivité de l'antenne. Cependant les coûts de fabrication d'une telle structure peuvent être dissuasifs.

- **Mettre en œuvre des lentilles pour concentrer le faisceau du signal :**

Une lentille diélectrique positionnée au-dessus d'une antenne patch aide à focaliser le signal. De manière similaire, des lentilles métalliques peuvent avoir le même effet.

- **Faire des ajustements mécaniques :**

En ajustant l'inclinaison du patch relativement au substrat, on peut modifier la forme du diagramme de rayonnement de l'antenne. Des réflecteurs incurvés ou paraboliques peuvent aussi améliorer la directivité de l'antenne.

- **Utiliser des antennes à fort gain :**
Combiner une antenne patch à une structure de type cornet peut considérablement réduire l'angle d'ouverture du faisceau résultant.

Déroulement du travail :

- **Période de 5mois :** Mise en œuvre du banc pour la création de notre antenne UWB : différentes structures devront être évaluées de manière exhaustive (voir ci-dessus).
- **Durée estimée 1 mois :** Fabrication du/des prototypes sur PCB (FR4, Rogers)
- **Durée estimée 1 mois :** Mesure des performances sur banc de test avec analyseur de réseau dans un chambre anéchoïque
- **Réitération 1 mois :** adaptation du modèle de simulation par rapport aux résultats de mesures
- **Durée estimée 1 mois :** Fabrication du/des prototypes sur PCB (FR4, Rogers), seconde version
- **Durée estimée 1 mois :** Mesure des performances sur banc de test avec analyseur de réseau dans un chambre anéchoïque

Toute cette campagne de simulations et mesures devra être documentée précisément.

T0 + 22mois -> T0 + 30mois

L'importance du caractère itératif de l'étude est à souligner ici, car si dans un premier temps il s'agit de définir une/des structure(s) permettant de remplir les spécifications définies en minimisant les contraintes d'encombrement, dans un second temps il s'agira de réduire la taille de l'antenne de telle sorte que la structure puisse être intégrée dans un téléphone mobile. L'étudiant aura alors à prendre connaissance des contraintes d'intégration dans un téléphone : taille acceptable, dimension et configuration du plan de masse, interconnexion entre antenne et PCB, mode de couplage avec les autres antennes d'un téléphone (exemple antenne Wifi/LTE).

La miniaturisation de la structure devra être étudiée en jouant sur différents paramètres (constante diélectrique du substrat, épaisseur du PCB, ou tout autre paramètre que l'étudiant aura identifié). L'impact de la miniaturisation de la structure sur ses caractéristiques devra être analysé.

T0 + 30mois -> T0 + 36mois

La dernière phase de ce travail de thèse sera dévolue à la rédaction du manuscrit de thèse ainsi qu'à la préparation de la soutenance

L'étudiant pourra aussi saisir l'opportunité de cette période pour poursuivre la dissémination scientifique de ses travaux (Note : la dissémination scientifique des travaux ne sera pas restreinte à cette seule période, l'étudiant devra intégrer cet aspect tout au long de son travail (article, présentations interne/externe) aux moments opportuns).

Modes de partenariat entre le laboratoire de recherche et l'entreprise

Modalités de suivi et d'échanges entre les partenaires

Lors de ces 3 ans de thèse CIFRE, l'étudiant sera amené à passer 80% (≈ 29 mois) de son temps de travail au sein de l'entreprise NXP et 20% (≈ 7 mois) au laboratoire académique XLIM. La répartition suivante sur la durée de la thèse a été initiée et reste évolutive :

- 1^{ère} période : L'étudiant débutera sa thèse dans les locaux de NXP ce qui lui permettra de se familiariser avec l'environnement et la problématique à traiter au sein de l'équipe « Customer Application Support ».
- 2^{ème} période : Après ce 1^{er} séjour chez NXP, l'étudiant viendra au laboratoire XLIM sur le site d'Angoulême pour compléter et finaliser la partie bibliographie qui est un élément crucial dans la compréhension et l'avancement du sujet.
- 3^{ème} période : A la fin de la bibliographie, l'étudiant repartira à NXP pour initier la conception de l'architecture choisie.
- 4^{ème} période : En fin de thèse, l'étudiant pourra revenir à XLIM pour bénéficier, si besoin, des moyens matériels de la plateforme « Platinom » pour finaliser la partie expérimentale du (des) circuit(s) développé(s). En parallèle de cette activité, l'étudiant devra bien évidemment rédiger son manuscrit, il disposera alors de tous les moyens informatiques du laboratoire pour le faire.

Cette répartition reste prévisionnelle et elle peut néanmoins être amenée à évoluer en fonction de l'avancement et/ou des directions induites par le projet.

Pour le bon déroulement de ce projet de recherche ainsi que le bon encadrement de l'étudiant, des réunions hebdomadaires entre NXP et XLIM seront planifiées. Ces réunions pourront s'effectuer en présentiel dans les locaux de NXP ou d'XLIM comme en distanciel en utilisant les outils de Visio de NXP ou d'XLIM. A la demande de l'étudiant et/ou d'un de ses encadrants, d'autres réunions peuvent avoir lieu pour traiter et/ou répondre à des problématiques particulières.

Moyens et matériels mis à disposition par chaque partenaire

NXP : l'étudiant sera basé à NXP et aura son propre bureau et matériel informatique mis à disposition. Il aura tous les outils nécessaires au bon déroulement de ses recherches, à savoir, principalement :

- License pour les simulations HFSS
- Matériel de mesures labo (analyseur de réseau, analyseur de spectre, mini chambre anéchoïque, ...)

Laboratoire XLim :

L'étudiant aura également un bureau au laboratoire XLIM sur le site d'Angoulême. Ce bureau sera équipé du matériel informatique dont l'étudiant aura besoin pour avancer sur son travail. Comme au sein de la société NXP, Il aura tous les outils nécessaires au bon déroulement de ses recherches, à savoir, principalement :

- License HFSS,
- License CST,

- License ADS,
- License Cadence,
- License Matlab,
- ...

Il aura aussi la possibilité d'accéder à la plateforme *Platinom* afin de pouvoir réaliser les mesures nécessaires à la validation du ou des prototype(s). Cette plateforme dispose, entre autres, de :

- Analyseurs de réseau,
- Analyseurs de spectre,
- Station mesures sous-pointes,
- Chambre anéchoïque,
- ...

Retombées attendues pour chaque partenaire

Pour NXP, l'intérêt d'accueillir un étudiant en thèse est de construire la compétence antenne au sein du groupe Customer Application Support. Le design d'antenne spécifique étudié dans le cadre de cette thèse doit permettre de valider une solution technique spécifique qui sera implémentée sur notre démonstrateur UWB pour la promotion de notre nouvelle génération de produit UWB. Fort de l'expertise acquise, notre équipe sera mieux à même de guider nos clients dans l'intégration de notre produit dans leur système.

Pour le laboratoire XLim, ...

Les enseignants-chercheurs (ECs) d'XLIM, lors de leurs différentes expériences dans le domaine de la recherche, ont pu développer des connaissances et compétences pour l'étude, la conception et la caractérisation des circuits RF tels que les antennes. Au-delà de leurs compétences techniques, ils maîtrisent les outils de conception comme KEYSIGHT ADS, ANSYS HFSS et les outils de calculs comme MATLAB.

Ces compétences permettent de renforcer le partenariat entre XLIM et NXP et de produire des publications scientifiques de haut niveau dans le domaine des antennes UWB. Avec cette collaboration, les ECs d'XLIM bénéficieront d'un accès à de nouveaux terrains d'étude et de recherche applicative dans le domaine de antennes UWB.

De plus, ce projet de recherche permet de bien former l'étudiant pour lui faciliter son insertion professionnelle et contribue au processus d'innovation d'NXP.

Encadrants et contributions techniques de chaque partenaire

NXP s'engage à fournir tout le support technique nécessaire au candidat pour mieux appréhender les contraintes techniques relatives au design d'antenne UWB intégrable dans un système tel qu'un téléphone portable. Au sein de l'équipe Customer Application Support, il bénéficiera de toute l'expertise hardware et software disponible dans ce groupe dans les domaines suivants :

- Expertise sur la technologie UWB
- Programmation/mise en œuvre du circuit UWB NXP
- Équipements de laboratoire [analyseurs de spectre, de réseau, appareil de mesure spécifiques UWB (Litepoint), etc]
- Banc de simulation des caractéristiques d'antenne UWB

Modalités et motivations du choix du candidat

NXP a sélectionné ce candidat car ayant déjà une expérience dans la simulation d'antenne durant ses stages le profil correspondait bien au sujet proposé. De plus, il est diplômé de l'École d'Ingénieurs de Limoges et pourrait ainsi être affilié à l'XLim qui a une large expertise dans le domaine des antennes, le thésard pourra ainsi disposer d'un support de grande qualité.

Bibliographie

De nombreuses publications relatives au design d'antenne UWB ont été réalisées sur ces 10 à 15 dernières années. Le paragraphe suivant propose une première bibliographie relative au sujet de thèse évoqué ci-dessus.

[1]- V. Bhanumathi and S. Swathi "Bandwidth enhanced microstrip patch antenna for UWB applications", ICTACT journal of electronics, January 2019, volume: 04, issue: 04

[2]- Z. Abedin, Z. Ullah, "Design of a Microstrip Patch Antenna with High Bandwidth and High Gain for UWB and Different Wireless Applications", published 2017 Engineering International Journal of Advanced Computer Science and Applications

[3]- Zaid A. Abdul Hassain, Mustafa Mahdi Ali, and Adham R. Azeez, "Single and Dual Band-Notch UWB Antenna Using SRR /CSRR Resonators", *Journal of Communications Vol. 14, No. 6, June 2019*

[4]- P. Li, J. Liang, and X. D. Chen, "Study of printed elliptical/circular slot antennas for ultra-wideband applications", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, no.6, pp. 1670-1675, Jun. 2006

[5]- Cengizhan M. Dikmen; Sibel Çimen; Gonca Çakır, "Planar Octagonal-Shaped UWB Antenna With Reduced Radar Cross Section", Published in: *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* (Volume: 62, Issue: 6, June 2014)

[6]- X. H. Wu and Z.-N. Chen, "Comparison of planar dipole in UWB applications", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 6, pp. 1973–1983, June 2005.

[7]- P.-Y. Qin, Y. J. Guo, Y. Cai, E. Dutkiewicz, and C.-H. Liang, "A reconfigurable antenna with frequency and polarization agility," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 10, pp. 1373–1376, 2011.

[8]- E. Dogan, E. Unal, D. Kapusuz, M. Karaaslan, and C. Sabah, "Microstrip Patch Antenna Covered With Left Handed Metamaterial" *ACES JOURNAL*, VOL. 29, No. 2, FEBRUARY 2014

[9]- T. Liu, X.-Y. Cao, J. Gao, Q. Yang, and W.-Q. Li, "Design of miniaturized broadband and high gain metamaterial patch antenna," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 53, pp. 2858-2861, 2011

[10]- Kavneet Kaura, Ashwani Kumarb, Narinder Sharmac, “A Review of Ultra-Wideband Antennas with Band Notched Characteristics”, International Conference on Intelligent Communication and Computational Research (ICICCR-2020)

[11]- Issa ELFERGANI, Abubakar Sadiq HUSSAINI, Jonathan RODRIGUEZ, Chan H. SEE, “Wideband Tunable PIFA Antenna with Loaded Slot Structure for Mobile Handset and LTE Applications” RADIOENGINEERING, VOL. 23, NO. 1, APRIL 2014

[12]- Nurhayati Nurhayati, Paulen Aulia Lutfia , Raimundo Eider Figueredo, Alexandre M. De Oliveira

João Francisco Justo, Takeshi Fukusako, “Circular Polarization of the Square, Circular, Triangle, and Hexagonal Microstrip Antenna”, Indonesian Journal of Electrical and Electronics Engineering (INAJEEE), Vol: 03 No: 01 Year: 2020, page: 5-9

[13]- M. Klemm, I.Z. Kovcs, G.F. Pedersen, G. Troster, “Novel small-size directional antenna for UWB WBAN/WPAN applications”, published in: IEEE Transactions on Antennas and Propagation (Volume: 53, Issue: 12, December 2005)

[14]- Ka-Sing Lim, Manimaran Nagalingam, Chue-Poh Tan, “Design and Construction of Microstrip UWB Antenna with Time Domain Analysis”, progress In Electromagnetics Research M, Vol. 3, 153-164, 2008

Mots clefs

- **UWB** – Ultra Wide Band: désigne la technologie de modulation radio où un pulse de très courte durée (se traduisant par un spectre de largeur 500MHz) vient moduler une porteuse correspond au canal de transmission (typ. CH5, porteuse à 6.5GHz, CH9 porteuse à 8GHz)
- **UWB ranging** : le mode ranging désigne la configuration où 2 systèmes UWB communiquent entre eux. Ce mode permet de déterminer la distance qui sépare les 2 circuits et le positionnement angulaire d’un board par rapport à l’autre
- **UWB radar** : ce mode permet la détection d’objets et de personnes. Dans ce mode un système UWB transmet une séquence d’impulsions qui sont réfléchies sur les objets ou personnes qui se trouvent en face. Les ondes réfléchies retournent vers le système et l’analyse des signaux reçus permet de localiser la position des objets/personnes par la distance, voire la position angulaire.
- **PDoA** – Phase Difference of Arrival. La détermination du positionnement angulaire est possible si le circuit recevant le signal de la cible à positionner possède 2 antennes réceptrices. La différence de phase du signal reçu entre les 2 antennes permet de déterminer l’angle.
- **FoV** – Field of View. On entend par FoV l’angle d’ouverture sur lequel l’antenne est capable de communiquer
- **Antenne patch** : antenne directive constituée d’un élément rayonnant planaire situé au-dessus d’un plan de masse. La théorie des antennes patches s’apparente à celle des lignes microstrip (micro ruban) sur circuit imprimé.