TABLE DES MATIERES

Liste des figures ..... **VIII**

Liste Des Tableaux ..... **X**

Liste des abréviations ..... **XI**

Résumé ..... **XII**

CHAPITRE 1 ..... **1**

Introduction Générale **1**

1.1 Contexte de l'étude **1**

1.2 Problématique du projet **1**

1.3 Solutions proposées **2**

CHAPITRE 2. La technologie des antennes RFID **3**

2.1 L'intérêt de la technologie RFID **3**

2.2 Domaine d'application **4**

2.3 Topologie RFID **5**

2.4 Types de système RFID **5**

2.5 RFID Passif **8**

2.5.1 Caractéristiques 8

2.5.2 Limitations 9

CHAPITRE 3. Antennes RFID (Étiquettes) **11**

3.1 Théorie de la RFID **11**

3.1.1 Paramètres du circuit 11

3.1.2 Paramètres de rayonnement 12

3.2 Types des tags RFID passifs **15**

3.2.1 Tag en boucle 15
3.2.2 L'antenne Tag dipôle 16
3.2.3 Patch Tags 17
3.2.4 Mécanisme d'alimentation du patch 20

3.3 Les puces RFID 22

CHAPITRE 4. Substrat LCP et Capteurs CNT 24

4.1 Polymère à cristaux liquide (Liquid Crystal polymer) 24
4.1.1 Définition du LCP 24
4.1.2 Propriétés chimiques de LCP 24
4.1.3 Propriétés électriques du LCP 25
4.1.4 Propriété du substrat LCP 27
4.1.5 Application du substrat LCP 28

4.2 Les Nanotubes de Carbon 32
4.2.1 Définition 32
4.2.2 Types de nanotubes de carbone 32
4.2.3 Propriétés électriques 33
4.2.4 Les capteurs à base de la technologie RFID. 34

4.3 Étiquettes RFID pour détection de gaz 35
4.3.1 Conception 35
4.3.2 Résultats 36

4.4 Étiquette RFID entièrement conçue en CNT 39
4.4.1 Conception 39
Figure 4.16 : Vue d'ensemble de l'antenne tag CNT-RFID passive 40
4.4.2 Résultats 40

4.5 Synthèse 43

CHAPITRE 5. Antennes RFID pour des applications off-body 44

5.1 Le travailleur minier et son environnement 44

5.2 Les propriétés électriques du corps humain 44

5.3 Équations électromagnétiques dans le corps humain 46

5.4 Taux d'absorption spécifique (Specific Absorption rate, SAR).... 46

5.5 L'antenne tag RFID imprimée sur un substrat LCP mince..... 47

5.5.1 Conception 47

5.5.2 Résultats 49

5.5.3 Effet des encoches 49

5.5.4 Effet du plan de masse étendu.....50

5.6 L'antenne RFID tag en contact avec le corps humain 52

5.6.1 Modèle du corps humain (Gustave).....52

5.6.2 Résultats 53

5.6.3 Conclusion 58

CONCLUSION.....60

RÉFÉRENCES.....62

LISTE DES FIGURES

FIGURE 2.1 : CODE À BARRES [1]..... 3
FIGURE 2.2 : SCHÉMA BLOC D'UN SYSTÈME RFID [2] 5
FIGURE 2.3 : TYPES DES SYSTÈMES RFID 7
FIGURE 2.4 : LES DIFFÉRENTES CLASSES DE SYSTÈME RFID [6] 8
FIGURE 3.1 : CONTRÔLE D'ACCÈS 15
FIGURE 3.2 : PAIEMENT ÉLECTRONIQUE 15
FIGURE 3.3 : ANTENNE DIPÔLE 16
FIGURE 3.4 : TYPES DES TAGS RFID DIPÔLE [6] 17
FIGURE 3.5 : STRUCTURE DE L'ANTENNE PATCH 18
FIGURE 3.6 : ALIMENTATION DIRECTE A) PAR LIGNE DE TRANSMISSION B) PAR CÂBLE COAXIALE 20
FIGURE 3.7 : ALIMENTATION PAR COUPLAGE 21
FIGURE 3.8 : ALIMENTATION ÉQUILIBRÉ A) PAR L'INTÉGRATION DE STUB B) DEUX LIGNES DE TRANSMISSION 22
FIGURE 3.9 : LES PUCES RFID 23
FIGURE 4.1 : FORMES SOLIDE ET LIQUIDE DU MATÉRIAU LCP [17] 24
FIGURE 4.2 : COMPARAISON ENTRE LCP ET DIFFÉRENTS SUBSTRATS [18] 25
FIGURE 4.3 : MESURES DES PERMITTIVITÉS DIÉLECTRIQUES ET LES TANGENTES DES PERTES EN PRÉSENCE D'HUMIDITÉ [18] 26
FIGURE 4.4 : PERFORMANCES D'UNE LIGNE MICROSTRIP POUR DIFFÉRENTS SUBSTRAT [19]... 27
FIGURE 4.5 : A) VARIATION DU COEFFICIENT DE RÉFLEXION S11 POUR DIFFÉRENTS ANGLES [20] B) MODÉLE D'ANTENNE PLIÉE [20] 29
FIGURE 4.6 : A) ANTENNE PATCH RECTANGULAIRE PLANAIRE [21] B) ANTENNE PATCH RECTANGULAIRE PLANAIRE SUR UN PLAN [21] 29
FIGURE 4.7 : A) ANTENNE PATCH PLIÉE [21] B) VARIATION DE S11 POUR DIFFÉRENTES CONFIGURATIONS [21] 30
FIGURE 4.8 : ANTENNE TAG RFID-LCP PASSIVE [24] 31
FIGURE 4.9 : S11 SIMULÉ ET MESURÉ POUR L'ANTENNE TAG RFID [24] 31
FIGURE 4.10 : DIFFÉRENTS TYPES DE CARBONE NANOTUBE A) SWCNT B) DWCNT C) MWCNT [26] 32

FIGURE 4.11 : RÉACTION DU CNT AVEC DES MOLÉCULES DU GAZ NH3 34
FIGURE 4.12 : ANTENNE TAG-RFID À BASE DE CNT 36
FIGURE 4.13 : COEFFICIENT DE RÉFLEXION SANS PRÉSENCE DE GAZ 37
FIGURE 4.14 : VARIATION DE L'IMPÉDANCE DE L'ANTENNE TAG. 38
FIGURE 4.15 : DÉCALAGE DE FRÉQUENCE POUR DIFFÉRENTE VALEUR DE CONDUCTIVITÉ 38
FIGURE 4.16 : VUE D'ENSEMBLE DE L'ANTENNE TAG CNT-RFID PASSIVE..... 40
FIGURE 4.17 : COEFFICIENT DE RÉFLEXION DE L'ANTENNE TAG RFID TAG SANS PRÉSENCE DE GAZ 41
FIGURE 4.18 : VARIATION DE L'IMPÉDANCE DE L'ANTENNE EN PRÉSENCE DU GAZ 42
FIGURE 4.19 : DÉCALAGE DE LA FRÉQUENCE DE L'ANTENNE EN PRÉSENCE DU GAZ 42
FIGURE 5.1 : RFID PASSIVE TAG ANTENNE HFSS ET CST 48
FIGURE 5.2 : A) RÉSULTATS DE SIMULATION DES PERTES DE RETOUR S11 B) L'IMPÉDANCE DE L'ANTENNE TAG EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE. 49
FIGURE 5.3 : VARIATION DE LA FRÉQUENCE EN FONCTION DU NOMBRE DE MÉANDRE 50
FIGURE 5.4 : A) L'IMPÉDANCE DE L'ANTENNE EN FONCTION DE LA LARGEUR B) RENDEMENT EN FONCTION DE LA TAILLE DU PLAN DE MASSE 51
FIGURE 5.5 : GAIN FINAL DE L'ANTENNE G=2.86 DB 52
FIGURE 5.6 : MODÈLE DU CORPS HUMAIN AVEC LES DIFFÉRENTS EMPLACEMENTS DE L'ANTENNE TAG. 53
FIGURE 5.7 : RÉSULTATS DE SIMULATION DU COEFFICIENT DE RÉFLEXION S11 DE L'ANTENNE PLACÉE SUR LE BRAS À DIFFÉRENTES DISTANCES 54
FIGURE 5.8 : RÉSULTATS DE SIMULATION DU COEFFICIENT DE RÉFLEXION S11 DE L'ANTENNE PLACÉE A) SUR LA POITRINE À DES DIFFÉRENTES DISTANCES B) SUR LA JAMBE À DES DIFFÉRENTES DISTANCES 54
FIGURE 5.9 : DIAGRAMME DE RAYONNEMENT (ESPACE LIBRE) A) PLAN XZ B) PLAN ZY 57
FIGURE 5.10 : DIAGRAMME DE RAYONNEMENT A) PLAN XZ B) PLAN ZY 58

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 2.1 : DIFFÉRENTES BANDES DE FRÉQUENCES DES SYSTÈMES RFID 6
TABLEAU 4.1 : COMPARAISON DE PROPRIÉTÉS LCP AVEC D'AUTRES MATÉRIAUX 27
TABLEAU 4.2 : DIMENSION DE L'ANTENNE (MM) 36
TABLEAU 5.1 : PARAMÈTRES DES TISSUES DU CORPS HUMAIN [35] 45
TABLEAU 5.2 : DIMENSION DES ENCOCHES (MM) 48
TABLEAU 5.3 : PERFORMANCES DE L'ANTENNE EN FONCTION DES DISTANCES 56

LISTE DES ABRÉVIATIONS

CST Computer Simulation Technology

CNT Carbon NanoTubes

HFSS High Frequency Electromagnetic Field Simulation

LCP Liquid Crystal Polymer

RFID Radio Frequency Identification

UHF Ultra High Frequency

Rapport-Gratuit.com

RÉSUMÉ

La sécurité est l'aspect le plus préoccupant du travail des mineurs. L'utilisation des explosifs induit des dégagements des gazes toxiques nocifs comme l'ammoniac NH3. Une exposition à ces gazes par inhalation, ingestion ou par contact avec la peau ou les yeux occasionne beaucoup de problèmes de santé. Pire encore, ces derniers peuvent se manifester d'une façon inattendue (manque d'oxygène, troubles respiratoires et cardiaque). Par conséquence, le recours à des nouvelles technologies pour améliorer et renforcer les systèmes de sécurité et de surveillance dans la mine est nécessaire. La technologie RFID « identification par radio fréquence » est une solution sans fil, à très faible coût et facile à implémenter. L'objectif de notre travail consiste principalement à la conception d'étiquettes RFID destinées pour les applications minières à savoir ; la détection de présence des gazes toxiques et la garantie d'une surveillance en continue de l'état de santé des mineurs. Nous avons pris en considération, lors de la conception de nos antennes, une caractéristique très importante de l'environnement minier qui est l'humidité. En effet, cette dernière est présente à des taux très élevé dans la mine (autour de 80%). Ceci affecte énormément les propriétés de l'antenne, ce qui dégrade significativement ses performances. De ce fait, nous avons intégré une nouvelle génération de matériau dans les antennes RFID, appelé les polymères à cristaux liquides « LCP ». Le LCP est un substrat très flexible qui résiste à l'effet de l'humidité permettant ainsi à l'antenne de garder ces performances stables dans un environnement souterrain. Ainsi, nous avons réussi à concevoir des capteurs RFID pour la détection des gazes toxiques et des étiquettes RFID implémentables sur le corps humain pour le suivi de l'état de santé des mineurs. Ces antennes sont capables d'assurer leurs fonctions convenablement dans un milieu souterrain grâce à l'intégration de LCP dans leur conception.

CHAPITRE 1.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.1 Contexte de l'étude

Les systèmes de communications dans les mines sont à base filaire. Ce type de système est très fiable, cependant, il manque de flexibilité. De ce fait, ils sont difficiles à déployer dans les mines souterraines. Ainsi, l'intégration des systèmes de communication sans-fils s'affiche comme une meilleure alternative. Cela est valable à condition que le système sans fil soit le plus fiable possible. En plus de la flexibilité, les systèmes sans fil ouvrent la porte à une large gamme d'applications telle que les réseaux de capteurs, la localisation et le suivi.

1.2 Problématique du projet

La sécurité est l'aspect le plus préoccupant du travail des mineurs. L'utilisation des explosifs induit des dégagements des gazes toxiques nocifs comme l'ammoniac NH3. Une exposition à ces gazes par inhalation, ingestion ou par contact avec la peau ou les yeux occasionne beaucoup de problèmes de santé. Pire encore, ces derniers peuvent se manifester d'une façon inattendue (manque d'oxygène, troubles respiratoires et cardiaque). On cite par exemple la silicose, qui est une maladie pulmonaire provoquée par l'inhalation de poussières de silice. Cette dernière étant présente dans la plupart des types de terrain, toutes les mines peuvent être concernées par ce problème, même les mines à ciel ouvert [1]. Un autre danger dans les mines et les machines lourdes utilisées, les sources d'énergies électrique ainsi que les outils utilisés par les miniers.

1.3 Solutions proposées

Le recours à de nouvelles technologies pour améliorer et renforcer les systèmes de sécurité et de surveillance dans la mine est nécessaire. La technologie RFID « identification par radio fréquence » est une solution sans fil à très faible coût et facile à implémenter. L'objectif de notre travail consiste principalement à la conception d'étiquettes RFID destinées aux applications minières à savoir ; la détection de présence des gazes toxiques et la garantie d'une surveillance en continue de l'état de santé des mineurs. Nous avons pris en considération, lors de la conception de nos antennes, une caractéristique très importante de l'environnement minier qui est l'humidité. En effet, cette dernière est présente à des taux très élevé dans la mine (autour de 80%). Ceci affecte énormément les propriétés de l'antenne, ce qui dégrade significativement ses performances. De ce fait, nous avons intégré une nouvelle génération de matériau, dans les antennes RFID, appelé les polymères à cristaux liquides « LCP ». Le LCP est un substrat très flexible qui résiste à l'effet de l'humidité permettant ainsi à l'antenne de garder ces performances stables dans un environnement souterrain. Ainsi, nous avons réussi à concevoir des capteurs RFID pour la détection des gazes toxiques et des étiquettes RFID implémentables sur le corps humain pour la suivie de l'état de santé des mineurs. Ces antennes sont capables d'assurer leurs fonctions convenablement dans un milieu souterrain grâce à l'intégration de LCP dans leur conception.

CHAPITRE 2. LA TECHNOLOGIE DES ANTENNES RFID

2.1 L'intérêt de la technologie RFID

La technologie RFID a été proposée pour des besoins de traçabilité définit sous la norme ISO8402 comme « l'aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'une entité au moyen d'une identification enregistrée » (ISO 8402).

L'entité peut désigner une activité, un processus, un produit, un organisme ou une personne. Historiquement, ce domaine a commencé avec de simples étiquettes écrites à la main. Par la suite, les codes à barres imprimés ont vu le jour pour remplacer ces étiquettes.

Figure 2.1 : code à barres [1]

Cependant, l'utilisation de ces codes à barres nécessite une visibilité directe et à courte distance [2]. Cette technologie présente des contraintes à savoir, une limite de stockage et facile à détériorer en plus du fait qu'elle ne soit pas modifiable.

Les codes à barres sont passifs, ce qui les rend inadéquat pour un grand nombre des différents scénarios de traçabilité [3]. De ce fait, le développement d'une solution électronique sans contact, flexible et à longue portée est nécessaire. Donc, la technologie RFID a été proposée pour une meilleure alternative aux codes à barres.

2.2 Domaine d'application

Le marché de la technologie RFID est en pleine expansion : 126 puces RFID sont vendues chaque seconde, soit 3,98 milliards d'étiquettes RFID par année. Un marché de 7,5 milliards de dollars qui sera multiplié par 4 d'ici 2022 [4]. Ce chiffre de vente est dû essentiellement à l'intégration de la technologie RFID à la technologie habilitante « enabling technology » [5]. Cette dernière offre aux entreprises l'opportunité de déployer cette technologie selon leur besoin tel que; achat, vente, commercialisation, marketing et communication etc.

La technologie RFID peut être déployée dans plusieurs domaines à savoir :

- **Logistique :** C'est l'un des secteurs d'activités principales de la technologie RFID. Les codes à barres ont été remplacés par les tags. C'est en repérant plusieurs tags en temps réels que la RFID était employée dans les grands conteneurs. On peut la trouver aussi dans différentes applications comme les médicaments et les marchandises.
- **La traçabilité :** C'est une dérivation de la précédente application. Les informations sur l'historique de déplacement et le temps de stockage peuvent être transmise grâce aux tags installés sur les différents produits. Cette technique est utilisée dans les hôpitaux pour suivre le processus de soin ainsi que le déplacement des patients.
- **Paiement :** Les cartes de crédit et de débit qui permettent d'effectuer des paiements sans contact avec le terminal de paiement, utilisent la RFID.
- **Implant et systèmes intelligents :** La RFID peut être implémentée sous forme de puce ou petite antenne intégrée directement dans un corps humain ou animal pour assurer une identification en temps réels. En outre, une antenne RFID accompagnée d'un système d'acquisition de données forme un capteur intelligent capable de récupérer des informations sur l'environnement qui l'entoure ou bien un sujet spécifique sur lequel il est implanté.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

2.3 Topologie RFID

Le système RFID est une technologie d'identification automatique qui exploite le rayonnement radiofréquence pour identifier les objets porteurs d'étiquettes lorsqu'ils passent à proximité d'un interrogateur [5]. D'après cette définition, on peut diviser le système RFID en deux grandes catégories à savoir l'étiquette (TAG) et l'interrogateur (Reader). La communication sans fil entre ces deux composants est assurée par une émission d'ondes radios. La communication suit une séquence de commandes d'envoie et de réception et elle est établie suivant plusieurs fréquences et différent types de système RFID.

La figure 2 présente une topologie générale d'un système RFID.

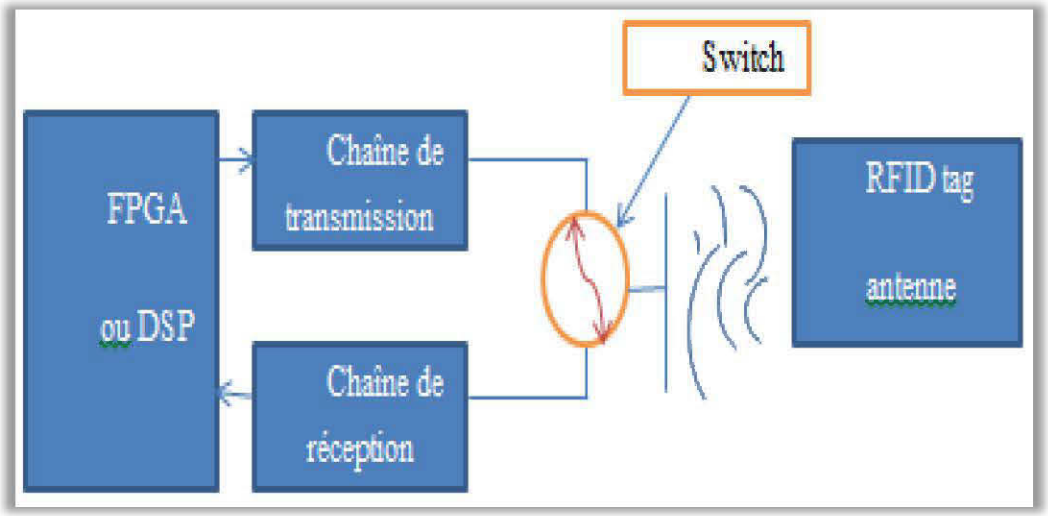


Figure 2.2 : Schéma bloc d'un système RFID [2]

2.4 Types de système RFID

Il est à noter qu'il existe plusieurs bandes de fréquences dédiées à la technologie RFID. C'est toute une gamme de fréquence allant des basses fréquences (LF Low

frequencey) jusqu'à des fréquences très élevées (SHF Super High Frequencies). Le tableau ci-dessous spécifie ces fréquences ainsi que leur utilisation.

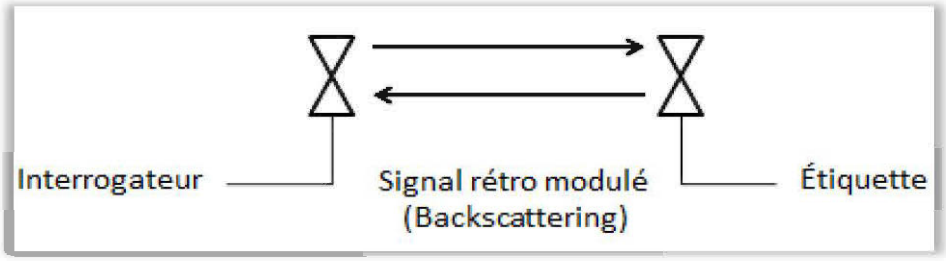
Tableau 2.1 : Différents fréquences des systèmes RFID

LF : basses fréquences,	125 kHz - 134,2 kHz (C'est quoi l'application)
HF : hautes fréquences,	13,56 MHz utilisé dans un environnement en contact avec la clientèle.
UHF : ultra hautes fréquences,	860 MHz - 960 MHz : utilisées pour les longues portées.
SHF : super hautes fréquences	2,45 GHz : identification des véhicules et pour des applications médicales

Pour le système de communication RFID, la transmission et la réception de l'information entre l'interrogateur et l'étiquette est assurée via le transfert d'ondes électromagnétiques. L'implémentation des systèmes RFID tag se fait de différentes manières : passive, semi-active et active.

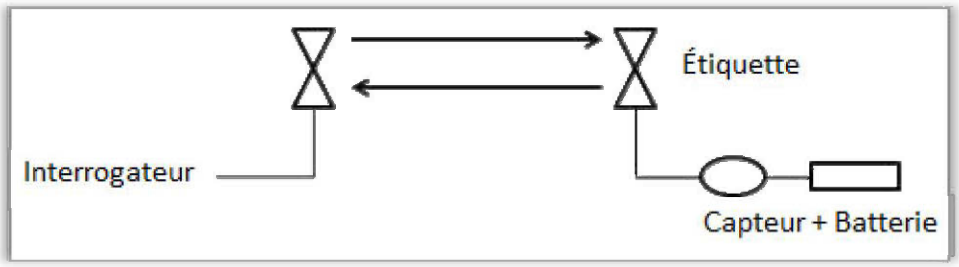
- **Passive :** les étiquettes sont alimentées par les ondes émises de l'interrogateur. Ces ondes sont captées et transformées en signal électrique. Les étiquettes RFID passives sont basées sur la technique de rétro-module « backscattering ».
- **Active :** Les étiquettes sont alimentées par une source d'énergie embarquée (une batterie ou une pile). Ce qui permet aux étiquettes d'envoyer ou de recevoir des informations en temps continue.

➢ **Semi-active** : également appelé semi-passifs, l'étiquette est alimentée par une source non continue d'énergie embarquée. Différemment à l'étiquette active, les semi-passifs envoient ou reçoivent les informations à des intervalles du temps réguliers et programmables.



a-RFID passif

b-RFID actif



c-RFID semi-passif

Figure 2.3 : Types des systèmes RFID

Outre la communication à champ proche qui est basée sur un couplage inductif [6], la communication entre l'interrogateur et l'étiquette est assurée par le champ

magnétique induit. La distance entre les deux composants est très petite, elle est largement utilisée pour les basses fréquences.

Le centre Auto-ID [7] a bien séparé les systèmes RFID suivant des classes basées sur leurs fonctionnalités.

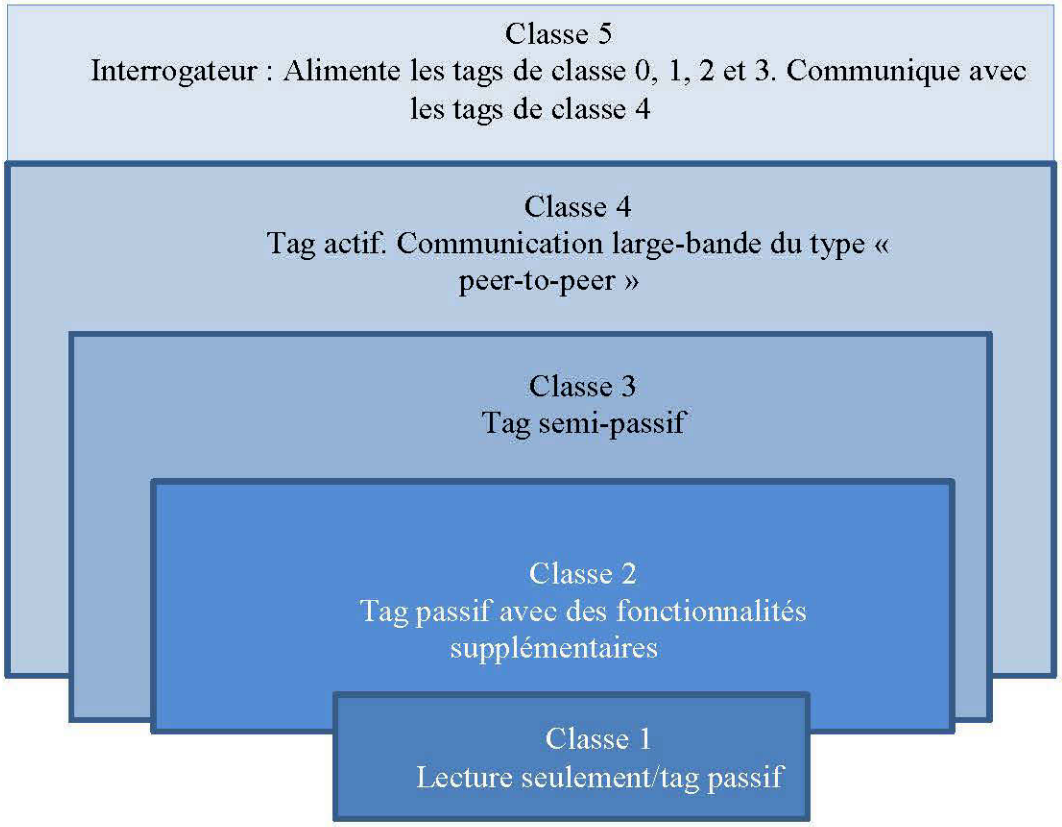


Figure 2.4 : Les différentes classes de système RFID [6]

2.5 RFID Passif

2.5.1 Caractéristiques

Présentement, les tags RFID passifs sont les plus utilisés dans le marché [4]. Les principaux critères de choix d'un tag RFID sont la taille et les performances. En fonction de ces caractéristiques, le prix des RFID passif tags varie entre quelque

centime jusqu'à une dizaine de dollars [4]. Les domaines d'utilisation des systèmes RFID passifs sont très variés, à savoir, la gestion de stock, le suivi des colis, l'identification des animaux, la traçabilité…etc.

Les caractéristiques des tags passifs peuvent aussi différer par rapport à la fréquence (ex. Pour les basses fréquences (125 et 132khz), la portée typique est de 0.5 m [4]). Ces tags sont relativement chers, mais ils ont une bonne performance en milieu métallique ou liquide [4]. De même, les caractéristiques en termes de coût et portée sont presque les mêmes en HF (13.54 MHZ avec une portée de 1 m).

La bande de fréquence, des tags RFID passifs, la plus demandé sur le marché, est de 860-960MHz. Ce type de tags a eu sa grande réputation grâce à sa longue portée allant de 3 m à 6 m.

Elles ont été adaptées à la lecture en volume à des longues distances, cependant, leurs performances peuvent être dégradées en milieu métallique, liquide ou humain [6]. Pour la bande ISM de 2.4GHz et 5.8 GHz, les caractéristiques sont similaires à celle de l'UHF sauf qu'elles ont une portée de 1 m seulement. Cette bande de fréquence est très utilisée dans le domaine médical [7].

En résumé, les antennes tags RFID passifs offrent de meilleures performances dans l'espace libre, néanmoins, la présence d'objets ou de milieu différent limite et dégrade considérablement leurs performances.

2.5.2 Limitations

Comme indiqué précédemment, les performances d'un tag RFID passif dépendent de l'objet auquel elle est attachée et le milieu où ces tags rayonnent. Ses pertes de performance sont dues aux caractéristiques du matériel en question qui peuvent affecter les propriétés de l'antenne en termes de substrat, diélectrique, tangente de perte, l'impédance, la radiation et l'efficacité [6].

Par exemple, dans un milieu souterrain tel que la mine, le niveau trop élevé d'humidité peut affecter le matériau de l'antenne (diélectrique et tangente de perte) d'où un changement et décalage de la fréquence de résonance de l'antenne [8]. En outre, les antennes peuvent être attachées à un corps humain (un minier) qui a une permittivité diélectrique très élevée causant des pertes significatives et affectant ainsi les performances de l'antenne. Aussi, la présence de métaux et de l'eau dans les mines peut affecter la réponse de l'antenne. Pour contrer ce problème, l'utilisation de matériaux en mousse (foams) ou plastic est envisagée.

CHAPITRE 3. ANTENNES RFID (ÉTIQUETTES)

3.1 Théorie de la RFID

L'antenne, dans sa définition la plus générale, est la conversion d'une puissance électrique incidente en une puissance électromagnétique rayonnée dans une direction particulière. Pour caractériser une antenne tag, il existe deux s paramètres principaux à prendre en considération : les paramètres du circuit et les paramètres du rayonnement.

3.1.1 Paramètres du circuit

Les paramètres qui influent directement sur le comportement de l'antenne (circuit) sont : le coefficient de réflexion, l'impédance et la bande passante.

Dans le cas d'une antenne conventionnelle, l'impédance de l'antenne doit être adaptée au conjugué de l'impédance du chip (l'impédance de la charge). Pour éviter que l'énergie soit réfléchie sans être alimentée, le RFID chip doit avoir une bonne adaptation d'impédance [9]. Le coefficient de réflexion associant l'impédance complexe de l'antenne à l'impédance complexe du RFID chip est : [9]

$$\Gamma = \frac{\boldsymbol{Z_c - Z_a^*}}{\boldsymbol{Z_c + Z_a}} \qquad (\mathbf{3.1})$$

$|\Gamma| = 0$ => Si le coefficient de réflexion est égal à 0, on dit que toute la puissance fournit est rayonnée par l'antenne Tag (c'est la condition parfaite). Ce qui est nécessaire pour assurer une bonne efficacité et performance de l'antenne TAG. Néanmoins, en pratique, on ne peut pas avoir un rayonnement parfait à cause des pertes par mauvaise adaptation d'impédance où $Z_c = R_c + jX_c$ et $Z_a = R_a + jX_a$. Pour atteindre une efficacité la plus élevée, il faut que Xa = - Xc et Ra soit la plus proche de Rc, ce qui assure une bonne adaptation [10]. L'équation 3.1 devient alors [10] :

$$\Gamma = \frac{4R_a R_c}{|Z_a + Z_c|} \tag{3.2}$$

Le coefficient de réflexion_est toujours exprimé en décibel (dB), l'équation est :

$$S_{11} = 20\log(\Gamma) \tag{3.3}$$

La Largeur de bande de fréquence où $S_{11} < -10db$ correspond à 90% de la puissance transmise. Si S_{11} est plus grand que cette valeur, la puissance émise de l'antenne est trop faible.

La plage de fréquences de part et d'autre de la fréquence de résonance de l'antenne à la valeur de $S_{11} < -10db$ est **la bande passante** de l'antenne [9].

3.1.2 Paramètres de rayonnement

Les principaux paramètres de rayonnement de l'antenne sont la directivité, le gain, l'efficacité (ou rendement) et le diagramme de rayonnement.

Premièrement, si on a une puissance rayonnée P(θ,φ) et une puissance Pr (puissance rayonnée de l'antenne isotrope), le rapport entre ces deux puissance [9] donne **la directivité** de l'antenne dans une direction (θ, φ).

$$D(\theta,\varphi) = 4\pi\frac{P(\theta,\varphi)}{Pr} \tag{3.4}$$

Deuxièmement, **le gain_**d'une antenne G(θ, φ) est exprimé avec le même rapport que la directivité, sauf que la puissance de l'antenne isotrope doit être considérée sans perte. C'est-à-dire, le gain est la directivité maximale de l'antenne dans une direction (θ_0, φ_0) [11], ce qui peut être traduit par la capacité de l'antenne à focaliser la puissance rayonnée dans une direction.

$$G(\theta,\varphi) = 4\pi\frac{P(\theta,\varphi)}{P_A} => G = 4\pi\frac{P(\theta_0,\varphi_0)}{P_A} \tag{3.5}$$

Le gain est exprimé en dBi pour indiquer qu'une antenne isotrope est utilisée comme référence, ou dBd pour indiquer que l'antenne référence est une antenne dipôle.

L'autre importante grandeur pour caractériser une antenne est l'efficacité. Cette grandeur désigne le rapport entre la puissance rayonnée dans l'espace sur la puissance totale acceptée. Ceci veut dire que l'antenne accepte une certaine puissance d'un composant qui est l'interrogateur dans le cas du RFID passif, cette puissance est rayonnée dans l'espace par l'antenne tag.

$$\boldsymbol{\eta = \frac{P_{rayonnée}}{P_{acceptée}}} \qquad (3.6)$$

Néanmoins, la puissance acceptée n'est pas rayonnée totalement par le tag. Une partie de cette puissance est dissipée par absorption dans le substrat (pertes diélectrique) ou dans le plan de masse (ground plane).

Il est a noté qu'il faut prévoir une certaine distance entre ces deux composants. Autrement, on risque d'avoir une atténuation du signal. Cette distance permet aussi de caractériser le tag et l'adapter aux différents domaines d'utilisation. À partir de l'équation de ***Friis*** : [11]

$$\boldsymbol{P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi r)^2}} \qquad (3.7)$$

$$\mathbf{d'où} \qquad \boldsymbol{r = \frac{\lambda\sqrt{P_t G_t G_r}}{4\pi\sqrt{P_r}}} \qquad (3.8)$$

r : distance entre l'interrogateur et le tag.

P_r : Puissance reçue.

P_t : Puissance transmise.

G_t : Gain de l'antenne Tag.

G_r : Gain de l'antenne interrogateur (reader).

λ : Longueur d'onde.

Cependant, dans la pratique, il peut y avoir une incompatibilité au niveau de la polarisation « p » entre l'interrogateur et le tag. Ce qui implique qu'une grande partie de la puissance reçue est perdue avant d'être transmise à la charge ce qui induit une mauvaise adaptation d'impédance « q ». En prenant en considération ces deux facteurs p et q, l'équation de Friis (3.7) devient : [11]

$$\boldsymbol{P_r = pq\,\frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi r)^2}} \qquad (3.9)$$

Autres facteurs extérieurs peuvent influencer les performances du tag comme le canal, les multi-trajets, l'atténuation et le matériel auquel le tag est attaché (substrat dans le cas de l'antenne patch). Plus important encore, il faut avoir une adaptation d'impédance la plus optimale possible pour assurer une bonne communication entre l'interrogateur et le tag.

Rapport-Gratuit.com

3.2 Types des tags RFID passifs

3.2.1 Tag en boucle

L'antenne boucle est très utilisée dans le domaine de la technologie RFID, surtout lorsqu'on parle d'une communication à champ proche [11]. C'est une solution basée sur un couplage inductif entre l'interrogateur et le tag. L'interrogateur envoi un champ magnétique qui alimente le tag et permet ainsi d'envoyer ces données. Cette technique est utilisée pour les courtes distances (<1m, basses fréquences 125KHz et hautes fréquences 13.5 MHz). Elle est très utilisée dans le contrôle d'accès (figure 3.1) et le paiement électronique (figure 3.2).

Les antennes boucles sont moins utilisées dans la bande UHF (860-960MHz) pour les RFID passifs. La distribution du courant à travers la boucle fait face à des

Figure 3.1 : Contrôle d'accès

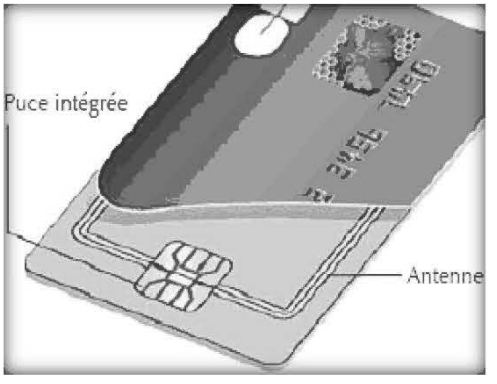


Figure 3.2 : Paiement électronique

inversions de phase et le courant s'annule, ce qui affaiblie l'efficacité de l'antenne comme rapporté dans [11]. Cependant, il y a beaucoup de tags boucles dans la bande UHF utilisés pour les longues portées [12-13], où la boucle possède une polarisation circulaire permettant ainsi une bonne couverture et une bonne adaptation à différents milieux.

L'antenne Tag boucle possède une structure simple et sa taille reste un bon choix pour les bandes basses et hautes fréquences (LF et HF).

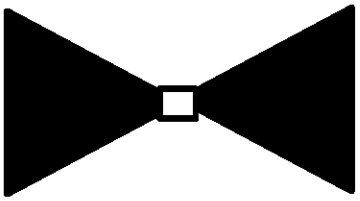
3.2.2 L'antenne Tag dipôle

L'antenne Tag Dipôle existe sous plusieurs formes. Théoriquement, chacun des deux pôles est d'une longueur de $\lambda/4$.

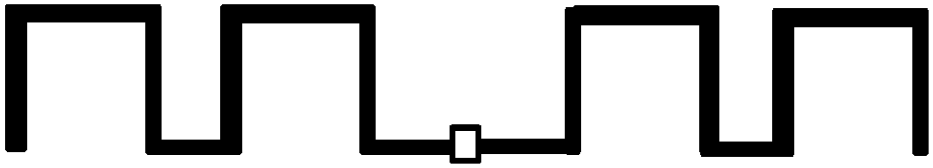
Figure 3.3 : Antenne Dipôle

Récemment, la forme du dipôle a été modifiée pour s'adapter à différentes utilisations et pour réduire la taille, ce qui est très requit en technologie RFID. On trouve le dipôle replié « Folded dipôle » (figure 3.4), « dipôle en cravate » (figure 3.5) et « dipôle en méandre » (figure 3.6). Ces antennes peuvent être utilisées dans la gestion des chaines logistiques, identification et traçabilité… [6]

a) Dipôle replié



b) dipôle en cravate



c) Dipôle en méandre

Figure 3.4 : Types des tags RFID dipôle [6]

Cependant, ces antennes sont très sensibles à la polarisation (polarisation linéaire) et présentent toujours un rayonnement omnidirectionnel.

3.2.3 Patch Tags

Les antennes patch sont caractérisées par leur faible coût, simplicité de fabrication, poids léger et la facilité de les intégrer avec d'autres composants ou matériaux [14].

L'antenne dans sa forme la plus simple est constituée de trois couches principales. Le patch et le plan de masse sont les deux couches conductrices de l'antenne. Ces deux plans sont séparés par un substrat diélectrique d'épaisseur h (Figure 3.5).

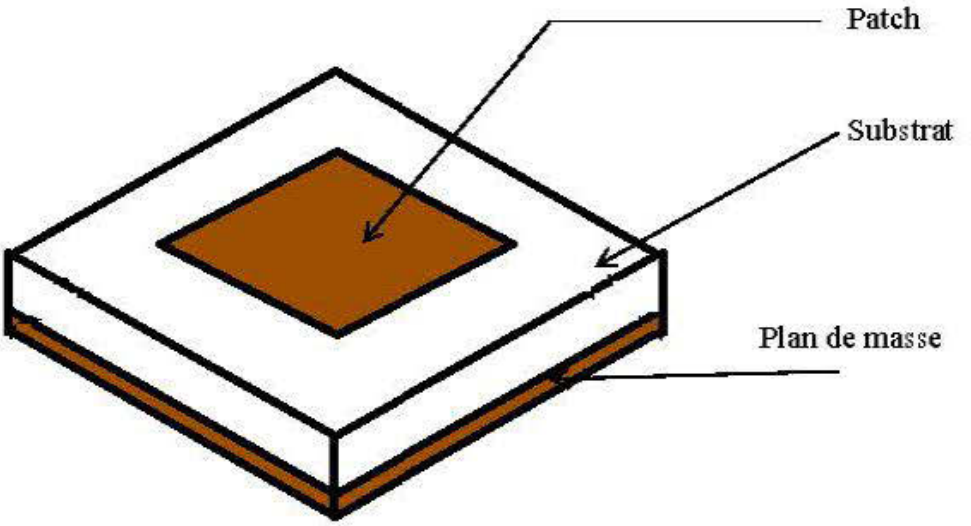


Figure 3.5 : Structure de l'antenne patch

3.2.3.1 Substrat

Les caractéristiques essentielles d'un substrat sont : la constante diélectrique (ε_r), la tangente de perte (tan δ) et l'épaisseur h. La constante diélectrique (ε_r) est définie comme l'aptitude d'un substrat à retenir la charge. Alors, la tangente de perte (tan δ) désigne la puissance perdue de l'antenne. Ce qui veut dire qu'un substrat avec une constante diélectrique élevée et un tanδ minimal réduira les pertes d'énergie et améliorera ainsi le gain.

Après le choix du diélectrique et de la tangente de perte du substrat, le seul paramètre modifiable dans le substrat est l'épaisseur h. Le rapport entre la largeur du patch et l'épaisseur W / h, pour un substrat donné, détermine la résistance du rayonnement de l'antenne. Par conséquent, des substrats plus épais sont préférés car ils augmentent la puissance rayonnée, réduisent les pertes dû aux conducteurs et améliorent ainsi la bande passante.

En outre, avec la variété et le nombre élevé des substrats disponible sur le marché, un autre critère peut affecter le choix d'avoir une un substrat optimal, est l'environnement ou le lieu d'utilisation de l'antenne. Pour le domaine de RFID un bon choix de substrat rend l'antenne plus adaptée et utile dans un environnement défavorable comme les milieux souterrains

3.2.3.2 Dimensions de l'antenne

L'épaisseur du substrat diélectrique h doit être plus petite que la longueur d'onde de l'antenne mais pas plus petit que λ/40, une limite à partir de laquelle les performances de l'antenne risquent de se dégrader significativement [15]. Dans l'équation (3.10), on peut noter également que l'épaisseur du substrat, la longueur L et la largeur W influent sur la valeur de la bande passante.

$$\mathbf{B \propto \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r^2} \frac{W}{L} h} \qquad (3.10)$$

En général, la longueur électrique de l'antenne microstrip est plus grande que sa longueur physique. La longueur L dépend de la constante diélectrique et la fréquence de résonance.

$$\mathbf{L \approx \frac{1}{2f_c\sqrt{\varepsilon_r \varepsilon_0 \mu_0}}} \qquad (3.11)$$

La largeur W de l'antenne contrôle l'impédance d'entrée. D'autres paramètres de l'antenne peuvent affecter l'impédance et la fréquence de résonance comme les dimensions du plan de masse et l'épaisseur des couches conductrices (patch et le plan de masse).

3.2.4 Mécanisme d'alimentation du patch

Il existe plusieurs techniques d'alimentations des antennes micro-ruban. Les techniques les plus utilisées sont classées en deux grandes catégories [16] :

3.2.4.1 Alimentation directement connectée à l'antenne

L'une des méthodes les plus utilisées est l'alimentation par une ligne micro-ruban (figure 3.6). La ligne de transmission est connectée directement au bord de l'antenne. Cette technique offre une meilleure bande passante, des rayonnements parasites faibles et faciles à modéliser [9]. Dans la même catégorie d'alimentation directe, on trouve l'alimentation par câble coaxiale où le conducteur interne du câble est connecté au patch et le conducteur externe est connecté au plan de masse. La flexibilité que nous donne cette méthode pour le placement du câble aide à l'obtention d'une bonne adaptation d'impédance. Cependant l'inconvénient de cette technique est que la bande passante offerte est très étroite.

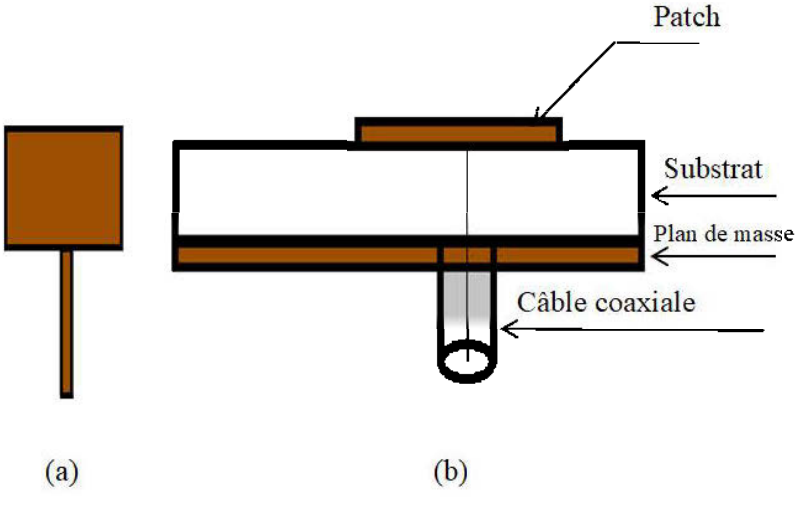


Figure 3.6 : alimentation directe a) par ligne de transmission b) par câble coaxiale

3.2.4.2 Alimentation par couplage

L'alimentation est assurée par un couplage électromagnétique. On distingue la méthode d'alimentation par couplage de proximité où un petit écart se trouve entre la ligne micro-ruban et l'antenne patch. Cet écart peut être utilisé pour une meilleure adaptation d'impédance, en plus, il offre un certain degré de liberté au design. Cependant, ce type d'antennes est difficile à modéliser et à fabriquer.

Une deuxième méthode appelée alimentation couplée par fente. La ligne de transmission est séparée du patch par le plan de masse. L'alimentation est assurée par couplage où l'énergie électromagnétique est transférée via une fente au plan de masse. C'est une méthode multicouche et son apport n'est pas significatif par rapport aux autres techniques.

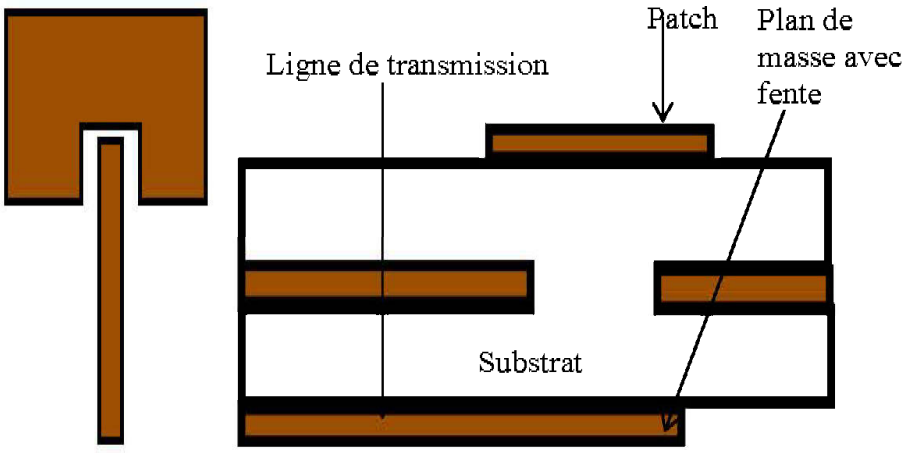


Figure 3.7 : Alimentation par couplage

Finalement, peu importe la technique ou la méthode utilisée, les antennes micro-ruban sont basées sur une alimentation déséquilibrée (non balancée) où l'alimentation est assurée par une seule ligne (ligne de transmission, câble coaxial…etc). Cependant,

les antennes RFID ont besoin d'une alimentation équilibrée (balancée) pour pouvoir connecter les puces RFID. Donc des modifications doivent être apportées pour assurer une alimentation équilibrée des antennes RFID micro-ruban comme les vias ou shorting wall. Par contre, ces méthodes nécessitent des modèles à base des croisements de couches qui sont coûteuses et difficiles à modéliser (figure 3.7).

3.2.4.3 Alimentation équilibrée (balanced)

La solution proposée par [6] pour assurer une alimentation balancée avec des antennes micro-ruban non balancées (pour des applications RFID) engendrent des faibles coûts. La technique est simple et repose sur le principe de création d'une autre ligne de transmission, c'est-à-dire que l'antenne micro-ruban ne fait plus référence à son plan de masse [6] (figure 3.8.a). La puce est alors reliée à ses deux lignes de transmission tel que montré dans la figure 3.8.b.

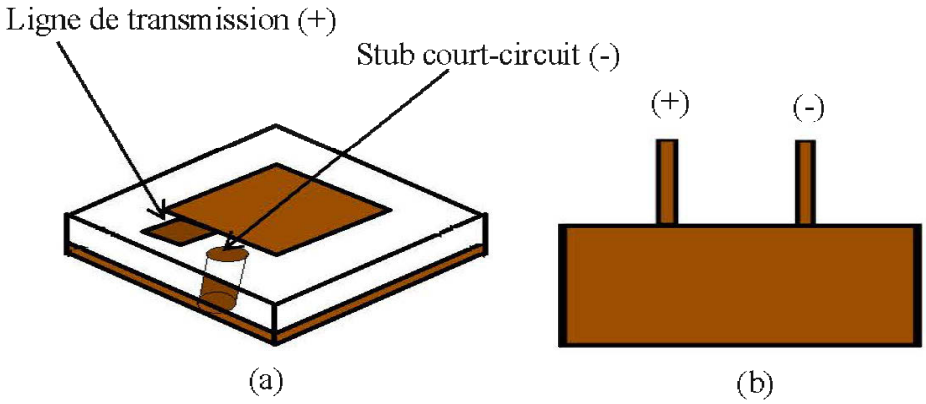


Figure 3.8 : Alimentation équilibré a) par l'intégration de stub b) deux lignes de transmission

3.3 Les puces RFID

Les puces RFID existent sous plusieurs formes :

- Le format standard : elle n'est plus utilisée dans le domaine du RFID.

- Le format die (mort) nécessite une grande concentration lors de l'intégration avec l'antenne RFID.
- Boucle inductive est très difficile à l'intégrer manuellement. Elle est sophistiquée et demande beaucoup du temps lors de la fabrication.
- Le format strap est le plus utilisé. Il offre une grande flexibilité lors du processus d'intégration avec l'antenne.

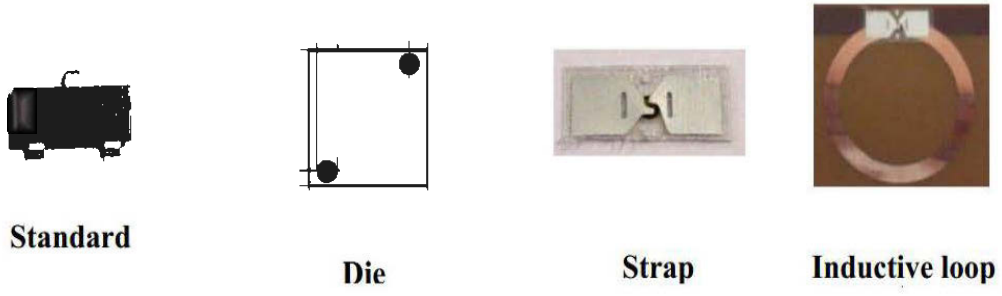


Figure 3.9 : Les puces RFID

CHAPITRE 4. SUBSTRAT LCP ET CAPTEURS CNT

4.1 Polymère à cristaux liquide (Liquid Crystal polymer)

4.1.1 Définition du LCP

Grace aux propriétés thermoplastique, le matériau polymère à cristaux liquide (Liquid Crystal Polymer) a attiré plusieurs concepteurs électronique RF / micro-ondes [17]. Il peut aller d'un état liquide à un état solide et vice-versa sans changer ces propriétés (Figure 4.1). Le LCP devient rapidement le matériau de choix pour les nouvelles générations des circuits électroniques.

4.1.2 Propriétés chimiques de LCP

La cristallinité liquide dans les polymères peut se produire soit en dissolvant un polymère dans un solvant (polymères à cristaux liquides *lyotropes*) soit en chauffant un polymère au-dessus de son point de transition ou de fusion (polymères *thermotropes* à cristaux liquides). Les polymères à cristaux liquides sont présents sous forme fondue / liquide ou solide. Jusqu'ici, les LCP qui ont été utilisés dans l'intégration RF ont été exclusivement *thermotropes*. [17]

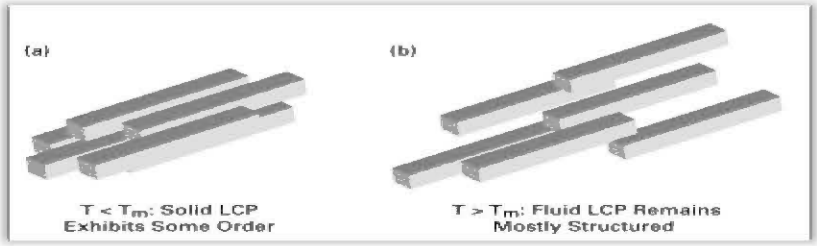


Figure 4.1 : Formes solide et liquide du matériau LCP [17]

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

4.1.3 Propriétés électriques du LCP

4.1.3.1 Permittivité diélectrique et la tangente de perte

Le matériau LCP a une permittivité diélectrique et une perte tangentielle faibles. Une faible constante diélectrique est souhaitable puisqu'elle permet la fabrication d'une ligne de transmission à impédance contrôlée sur des substrats minces avec une faible perte d'atténuation [17]. En outre, une faible tangente de perte est également favorisée, car moins d'énergie est perdue dans le substrat. La perte tangentielle tanδ est égale à 0,02 - 0,04 à 100 GHz.

Dans la figure 4.2, nous allons montrer une comparaison entre le substrat LCP et d'autres substrats en termes de stabilité de permittivité diélectrique et tangente de perte pour une gamme de fréquences allant jusqu'à 40 GHz.

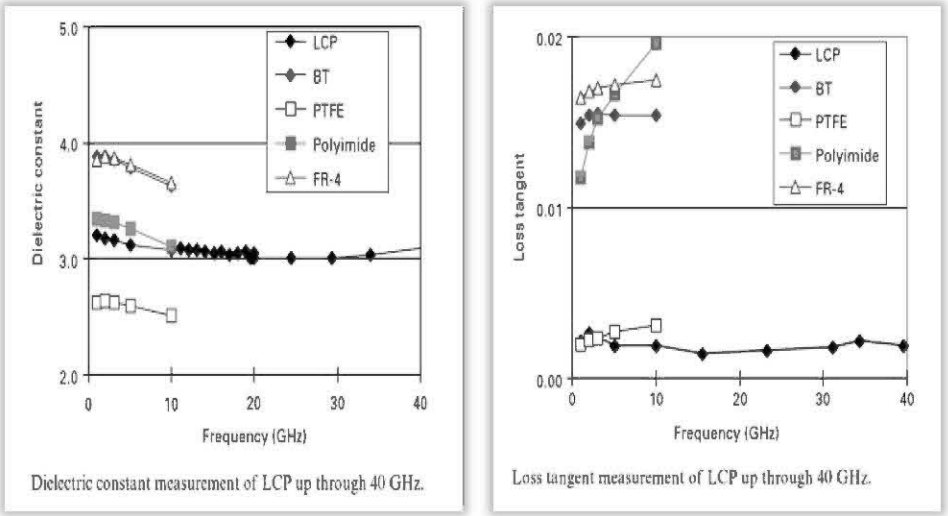


Figure 4.2 : Comparaison entre LCP et différents substrats [18]

Les substrats PTFE et LCP ont une grande stabilité par rapport aux autres matériaux à différentes fréquences mais il est important de savoir que le PTFE présente deux inconvénients ; la complexité de fabrication avec un et le coût très élevé

[18]. De ce fait, malgré ses bonnes caractéristiques, le PTFE ne peut pas être le meilleur choix pour la conception des circuits RF à faible coût en le comparant au matériau LCP.

4.1.3.2 Propriétés électriques par rapport à l'humidité

En réalité, l'effet de l'humidité sur les antennes est important [8]. La durée de vie des circuits est affectée ainsi que les propriétés du substrat (diélectrique et tangente de perte) ce qui perturbe les performances de l'antenne.

Cependant, les substrats LCP gardent les propriétés du substrat stable malgré une présence de l'humidité. Une étude a été effectuée en [18] où le substrat LCP a montré un fonctionnement stable en présence de l'humidité par rapport à quatre matériaux largement utilisés dans la conception des antennes et les circuits RF. Les mesures ont été faites à 1GHz pour différents taux d'humidité allant de 20% à 95%. Les résultats sont illustrés dans la figure 4.3.

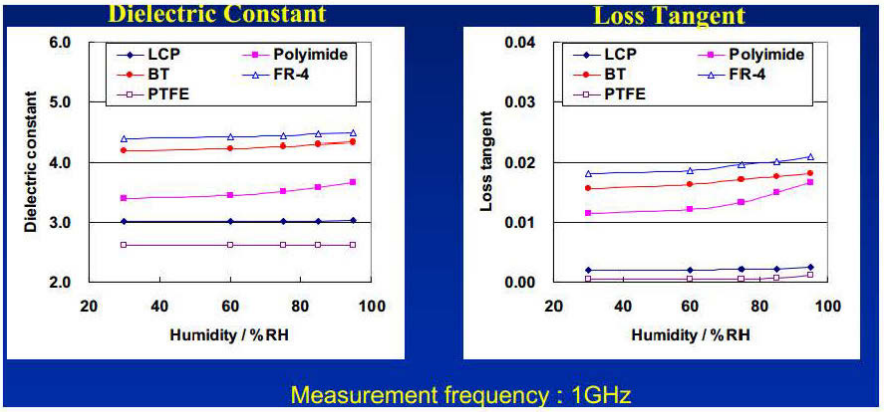


Figure 4.3 : Mesures des permittivités diélectriques et les tangentes des pertes en présence d'humidité [18]

4.1.4 Propriété du substrat LCP

Dans cette section, nous aborderons une autre caractéristique matérielle du LCP. Nous nous intéressons à l'épaisseur du substrat LCP qui permet en une partie la miniaturisation des antennes.

Le tableau 4.1 et la figure 4.4 résument les résultats de la perte d'insertion d'une ligne microstrip imprimée sur différents substrats [17] [19]. Le LCP démontre une autre fois qu'il est le meilleur choix pour la conception des antennes patch. Il garde une perte d'insertion proche de zéro et stable pour une large variation de fréquence allant jusqu'au 20GHz.

Tableau 4.1 : Comparaison de propriétés LCP avec d'autres matériaux

Substrat	Constante diélectrique	Épaisseur (nm)	Largeur de ligne (mm)
LCP	*3.0*	*100*	*240*
FR -4	*4.7*	*200*	*350*
PTFE	*2.6*	*160*	*420*
BT	*3.9*	*100*	*195*

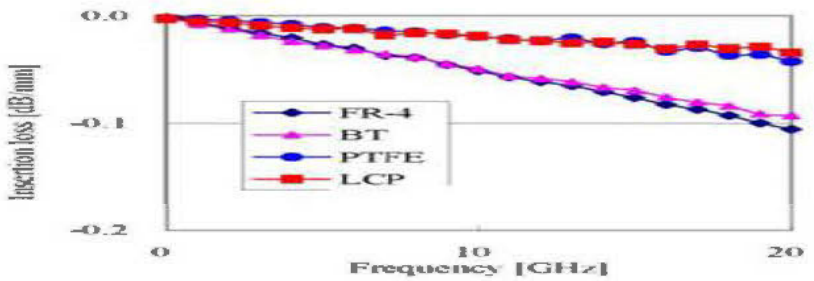


Figure 4.4 : Performances d'une ligne microstrip pour différents substrat [19]

On peut constater que le LCP offre une faible perte d'insertion qui est presque compatible avec celle du matériau PTFE. Cependant, il faut rappeler qu'en termes de prix, le PTFE est très coûteux par rapport au LCP [17].

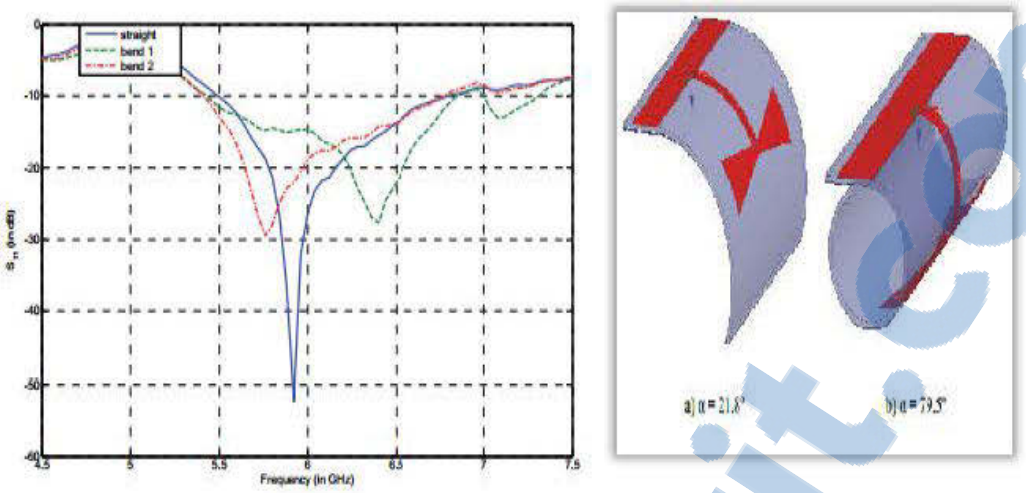
4.1.5 Application du substrat LCP

Nous allons énumérer les avantages que LCP peut apporter aux applications RF/RFID en étudiant des applications réelles de ce substrat sur des antennes patchs.

La première conception est une antenne cravate (bowtie) sur un polymère flexible de cristaux liquides (LCP). Les caractéristiques du substrat sont (εr = 2,9, tan δ = 0,0025) et 100 µm d'épaisseur. Les performances de l'antenne sont analysées sous différents angles de flexion pour évaluer la flexibilité du LCP, comme le montre la figure 4.5.

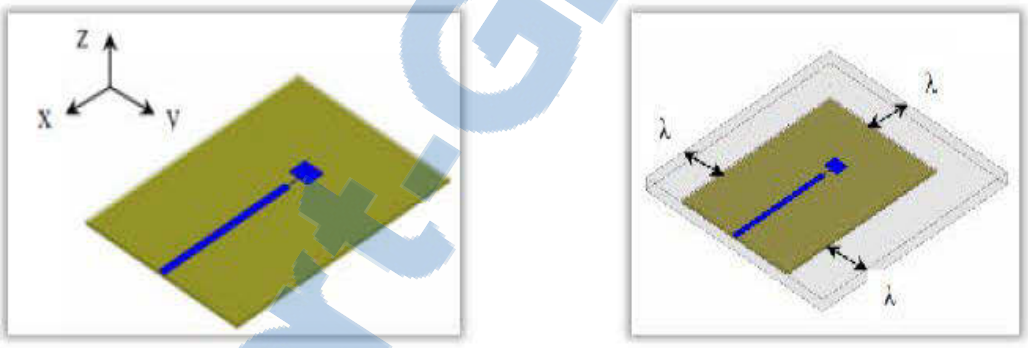
D'après les résultats de la figure 4.5, on peut noter qu'un décalage d'environ 650 MHz est obtenu pour les deux angles de flexion 21.8° et 79.5°. L'antenne couvre toute la bande ISM visée centrée autour de 5,8GHz, quelle que soit la flexion appliquée à l'antenne fabriquée [20].

Dans cette partie, nous explorons les performances de l'antenne patch rectangulaire pour différentes configurations. L'objectif de cette étude est de montrer l'effet de la présence d'un autre matériau à proximité d'une antenne ayant LCP comme substrat ainsi que l'effet de pliage sur l'antenne. Les caractéristiques de LCP pour l'antenne conçue est (εr = 2,97, tan δ = 0,003).



(a) (b)

Figure 4.5 : a) Variation du coefficient de réflexion S11 pour différents angles [20] b) Modéle d'antenne pliée [20]



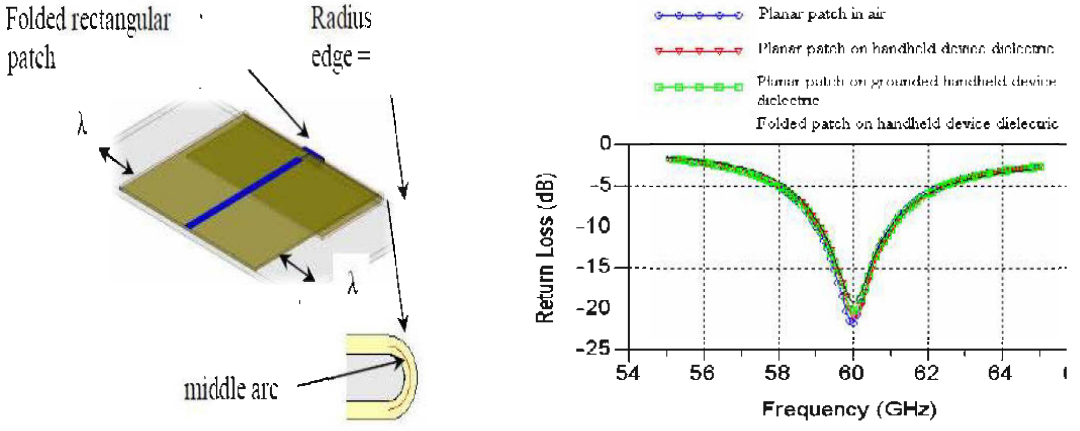
(a) (b)

Figure 4.6 : a) Antenne patch rectangulaire planaire [21] b) Antenne patch rectangulaire planaire sur un plan [21]

Rapport-Gratuit.com

L'étude présentée dans [20] montre que l'antenne patch planaire est presque non sensible à son l'environnement. Donc le LCP permet à l'antenne de garder une performance stable dans des conditions environnementales différentes.

En outre, l'antenne a pu conserver ses performances malgré le pliage. Ces études nous ont prouvé que le LCP est un excellent candidat pour les antennes patchs en termes de flexibilité et de stabilité.



(a) **(b)**

Figure 4.7 : a) Antenne patch pliée [21] b) Variation de S11 pour différentes configurations [21]

L'objectif est d'observer, grâce à des études réelles effectuées, les avantages que le LCP peut offrir en l'intégrant dans des applications RF et RFID. A noter que pour des applications RFID, il faut choisir la forme et la flexibilité adéquate pour un placement sur différents objets.

La plupart des tags RFID ne contiennent pas d'emballage supplémentaire et sont exposées directement à leur environnement. En outre, les tags RFID doivent pouvoir opérer dans des milieux industriels hasardeux présentant des taux d'humidité et de

chaleur très élevé. Une dernière exigence est d'avoir une faible constante diélectrique avec une faible perte tangentielle pour un rendement RF optimal [23].

Un module RFID passif typique est représenté dans la figure 4.8. Cette antenne a été fabriquée sur un substrat LCP de 4 mm d'épaisseur ($\varepsilon r = 3,16$, $\tan\delta = 0,002$).

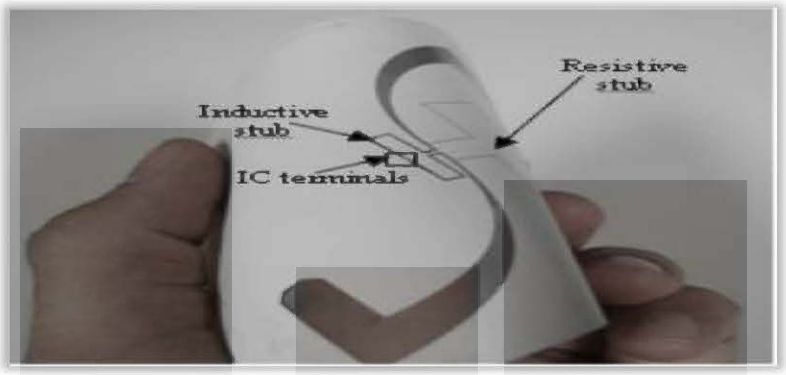


Figure 4.8 : Antenne tag RFID-LCP passive [24]

Le coefficient de réflexion S_{11} est montré dans la figure 4.9 où le tag passif RFID dispose d'une largeur de bande qui couvre la bande européenne (866MHz ~ 868MHz) ainsi que le standard nord-américains (902MHz ~ 928MHz) [24]. En outre, l'efficacité de l'antenne est très élevée (d'environ 95%). Cette application démontre l'efficacité de l'intégration du LCP comme substrat.

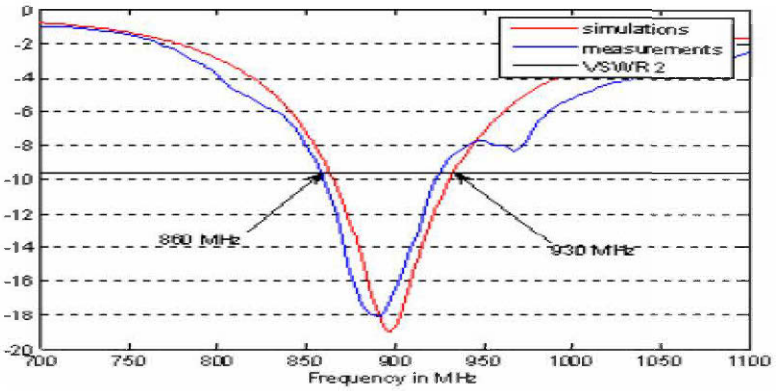


Figure 4.9 : S11 simulé et mesuré pour l'antenne Tag RFID [24]

4.2 Les Nanotubes de Carbon

4.2.1 Définition

Les Nanotubes de Carbone ont été découverts en 1991 par Sumio Iijima. Ces matériaux sont caractérisés par de grandes macromolécules qui sont uniques pour leur taille, leur forme et leurs propriétés électriques remarquables.

Ils peuvent être considérés comme une feuille de graphite (un réseau hexagonal de carbone) roulé dans un cylindre. Ces structures ont suscité récemment beaucoup de recherches consacrées à leur compréhension. À l'heure actuelle, les propriétés physiques sont encore à discuter [25].

4.2.2 Types de nanotubes de carbone

Les nanotubes de carbones possèdent un large éventail de propriétés électroniques, thermiques et varient en fonction des différents types de nanotubes (défini par leur diamètre, leur longueur et leur chiralité, ou torsion) [25]. Ils existent deux types de fabrication de carbone nanotubes selon le nombre de feuilles de graphite laminées roulé. Ils sont classés en trois catégories, à savoir, les murs à paroi simple (SWNT), à double paroi (DWNT) et les murs multiples CNT (MWNT) tel que présenté dans la Figure 4.10 [26]

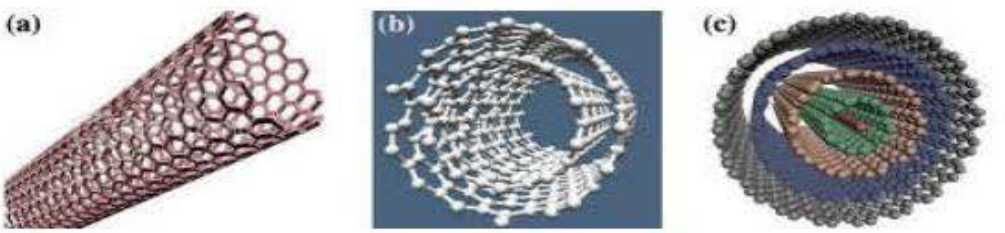


Figure 4.10 : Différents types de carbone nanotube a) SWCNT b) DWCNT c) MWCNT [26]

SWCNT sont des nanotubes de carbone à surface unique et pour exploiter, en particulier, les propriétés électroniques qui varient en fonction de leur chiralité, on peut utiliser SWCNT [26] comme matériau pour les transistors et les capteurs.

MWCNT sont des matériaux multi-surface qui possèdent des propriétés électroniques particulières. Ils sont donc exploitables dans les domaines mécaniques et thermodynamiques [26].

Les nanotubes de carbone ont une résistance à la traction plus élevée que l'acier et le Kevlar. Leur force vient de la liaison entre les atomes de carbone individuels. Cette liaison est encore plus forte que la liaison trouvée dans le diamant. Sous haute pression, les nanotubes individuels peuvent se lier ensemble. Cela donne la possibilité de produire de longs fils de nanotubes.

En plus, les nanotubes de carbone ne sont pas seulement forts, ils sont également flexibles. Lorsqu'on appui sur la pointe d'un nanotube et le faire plier sans l'endommager, les nanotubes récupèrent leur forme originale lorsque la pression est levée [25].

4.2.3 Propriétés électriques

Il y a eu un intérêt pratique considérable pour la conductivité des CNT. (Les CNT avec les paramètres structuraux indiquant qu'ils sont très conducteurs et donc dits métalliques). La conductivité dans les MWCNT est assez complexe. Il a été trouvé que les réactions à l'intérieur des nanotubes à parois multiples redistribuent le courant sur des tubes individuels de manière non uniforme.

Cependant, il n'y a pas de changement de courant entre les différentes parties des nanotubes métalliques à paroi unique SWCNT. Le comportement des cordes des nanotubes conducteurs à paroi unique est différent, en ce que le courant de transport change brusquement à diverses positions sur les CNT [25]. Cette stabilité en termes de

conductivité a permis au SWCNT d'être intégrée dans les circuits électroniques et les antennes [25].

Dans [27], les SWCNT ont été utilisés comme des capteurs pour détecter la présence des gazes dangereux comme l'ammoniac NH3. Les études ont conclu que les CNTs sont très sensibles à la présence des gazes et leurs propriétés électriques peuvent changer. La conductivité du CNT est directement affectée en réaction avec les molécules des gazes. Cette réaction augmente la résistivité en charge de CNT, en d'autre terme la conductivité augmente.

Dans [28], la conductivité d'un CNT en état normal est de 2 Siemens/mètre. En la présence des molécules NH3, cette conductivité augmente respectivement de 3, 4 et 5 S/m dépendamment de la quantité des molécules tel que montré dans la figure 4.11.

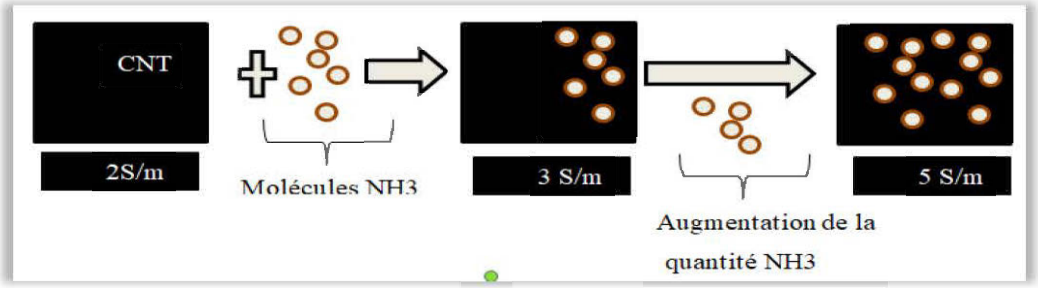


Figure 4.11 : Réaction du CNT avec des molécules du gaz NH3

4.2.4 Les capteurs à base de la technologie RFID.

Dans le passé, détecter la température dans un environnement, capter la fumée pour déclencher l'alarme ou même avertir à l'expiration d'un produit, on avait besoin de différents blocs électronique (détection, conversion de signal…) pour exécuter chacune de ses taches séparément. Imaginons qu'on peut faire tout ça à l'aide d'un

seul composant. Ceci est rendu possible grâce à l'intégration des capteurs dans les systèmes RFID.

En effet, le système RFID-capteurs est basé sur la combinaison de deux technologies à savoir le tag RFID et les matériaux sensibles utilisés dans les capteurs (carbon nanotubes pour la détection des gazes toxiques, le silicon nanowires pour détecter l'humidité [29] et l'ultra petit silicon pour détecter la température [30]).

4.3 Étiquettes RFID pour détection de gaz

4.3.1 Conception

Le but de cette section est d'intégrer le matériau CNT dans une antenne RFID tag UHF passive sur un substrat LCP. Pour cela, on a utilisé le substrat LCP (RTP3499) [31] qui a comme caractéristiques : constante diélectrique de 4,8 avec 0,006 de tangente de perte et toute la structure a été optimisée à l'aide du logiciel de simulation électromagnétique HFSS d'ANSOFT [32].

Les dimensions de l'antenne tag RFID pour la détection de gaz NH3 imprimé sur un substrat LCP sont illustrées dans le tableau 4.3. On a utilisé un chip Impinj Monza® 3 d'une impédance caractéristique complexe de 32 - j 216 ohms [33].

Pour pouvoir intégrer le CNT comme partie de l'antenne, on l'a considéré comme un métal à perte où on peut contrôler sa conductivité. Le CNT de dimension (a × b) a été placé entre le corps rayonnant et la boucle, comme illustré sur la figure 4.12. Le choix de cet emplacement est basé sur le fait que le CNT agit comme une charge [27] et donc, il affecte directement le courant transmit entre les deux parties de l'antenne incluant des changements sur ces propriétés.

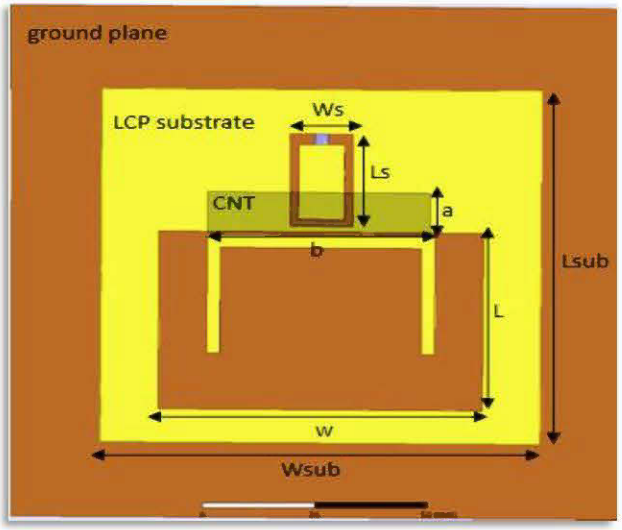


Figure 4.12 : Antenne Tag-RFID à base de CNT

Tableau 4.2 Dimension de l'antenne (mm)

A	b	L	W	Ls	Ws	Lsub	Wsub
11	50.5	48.7	73.5	25.4	14.29	99.5	96.6

4.3.2 Résultats

La fréquence de résonance de l'antenne conçue dépend de la conductivité du matériau CNT. A 1,5 Siemens par mètre (s/m), c'est la conductivité standard du CNT (sans présence de gaz).

L'impédance d'entrée Zin est égale à 35 + j213 ohms à la fréquence de résonance de 915 MHz (Figure 4.13), où cette impédance est proche du conjugué de l'impédance

du chip Zc=32-j203. Ceci signifie que, pour le cas normal (absence du gaz), la réponse de l'antenne reste stable. .

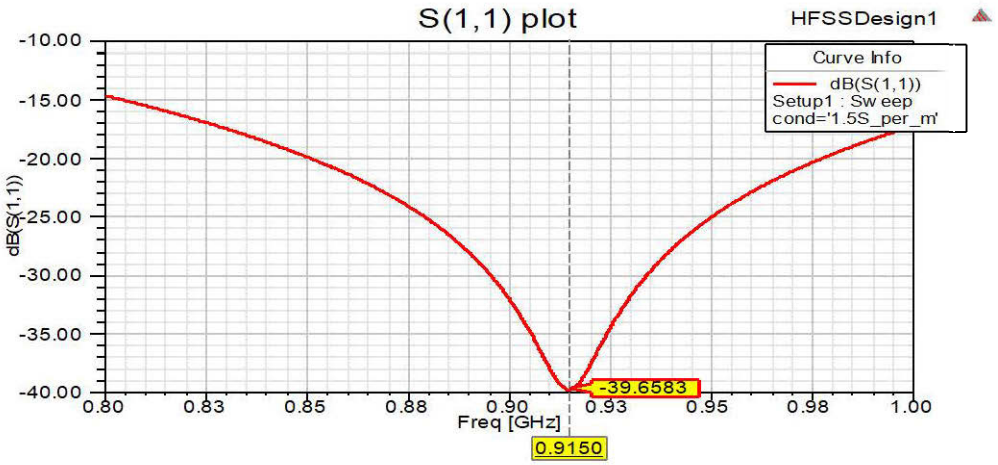


Figure 4.13 : Coefficient de réflexion sans présence de gaz

4.3.2.1 Variation d'impédance

La variation de la conductivité correspond au taux du gaz présent dans l'air environnant. Cette variation affecte directement l'impédance de l'antenne, où les parties réelle (résistante) et imaginaire (réactance) de l'impédance diminuent comme représenté dans la Figure 4.14. Contrairement au cas standard, l'effet du CNT apparait comme une charge résistive dont la conductivité augmente avec la présence du gaz. [26].

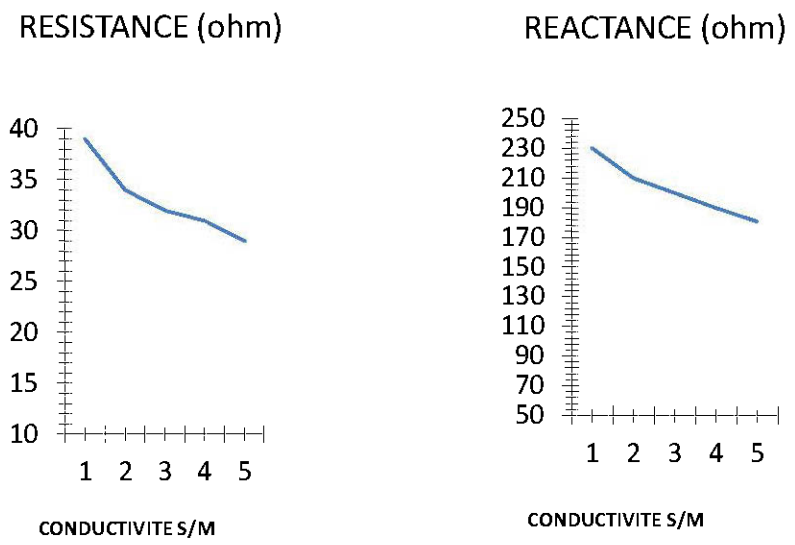


Figure 4.14 : Variation de l'impédance de l'antenne Tag.

4.3.2.2 Décalage fréquentiel

En présence du gaz, l'antenne tag résonne à une fréquence différente autre que 915 MHz (absence du gaz) comme il est illustré dans la Figure 4.15. Ce décalage est causé par une mauvaise adaptation d'impédance. La fréquence de résonance du tag peut être facilement analysée et interprétée par l'interrogateur (Reader). Ainsi, la présence du gaz est détectée à cause d'un décalage fréquentiel.

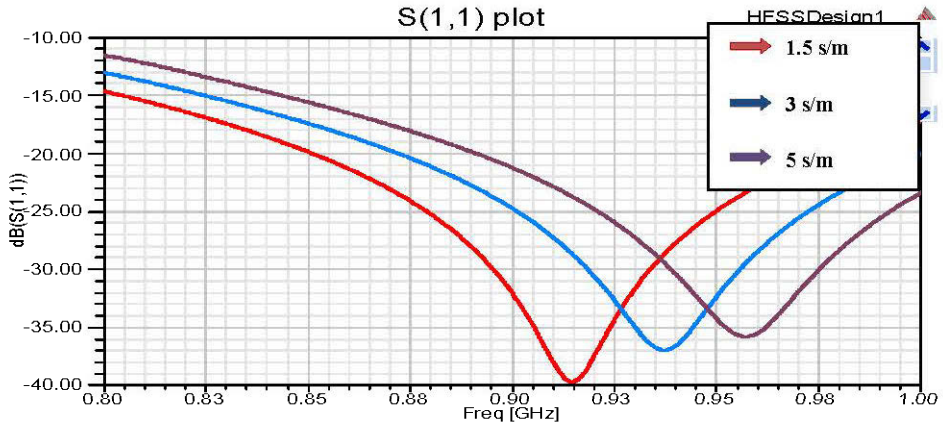


Figure 4.15 : Décalage de fréquence pour différentes valeurs de la conductivité

Afin de protéger les mineurs contre la présence des gaz dangereux, une antenne tag CNT-RFID passive a été conçue à l'aide d'un substrat LCP. En fait, le changement de la fréquence de résonance de ce tag indiquerait la présence d'un gaz toxique permettra une intervention rapide.

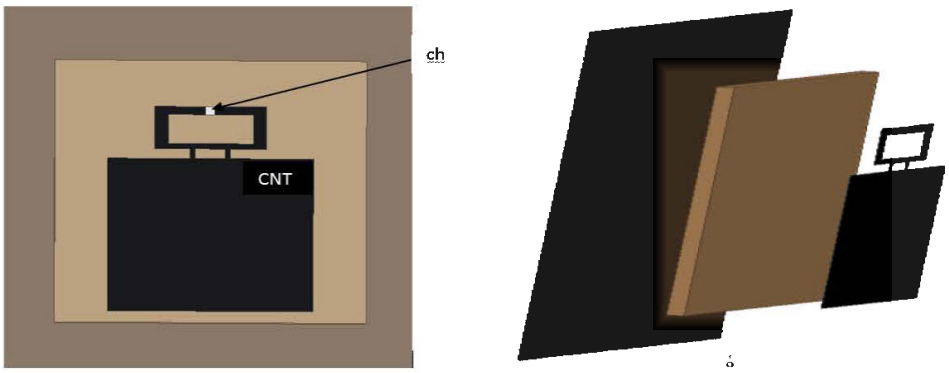
4.4 Étiquette RFID entièrement conçue en CNT

4.4.1 Conception

L'antenne TAG conçue dans la section 3 considère juste une feuille du matériau CNT utilisée entre la boucle et l'élément rayonnant. Cependant, dans le présent travail, la partie rayonnante de l'antenne a été conçue en utilisant seulement du CNT comme matériau de base en remplacement du cuivre.

Cela a permis d'apporter davantage de robustesse en plus de son aptitude à détecter les gaz toxiques. C'est-à-dire, nous avons exploités toutes les propriétés du CNT et les avons combinés dans un même design comme indiqué dans la figure 4.16. Impinj Monza® a été utilisé comme chip et le plan de masse a été réalisé avec du cuivre standard.

Le substrat LCP a une épaisseur de 4,5mm. Les valeurs de la constante diélectrique et tangente de perte sont de 4,8 et 0,006, respectivement. Les dimensions du substrat LCP est de 96mm × 99mm. L'antenne patch est conçue à base du CNT de dimension 41,1mm × 48,65mm.



a) Vue de face b) Vue de côté

Figure 4.16 : Vue d'ensemble de l'antenne tag CNT-RFID passive

4.4.2 Résultats

L'antenne tag passive RFID rayonne à la fréquence désirée de 915MHz, tel qu'illustré à la figure 4.17, correspondant à une conductivité de 2 Siemens par mètre (s/m).

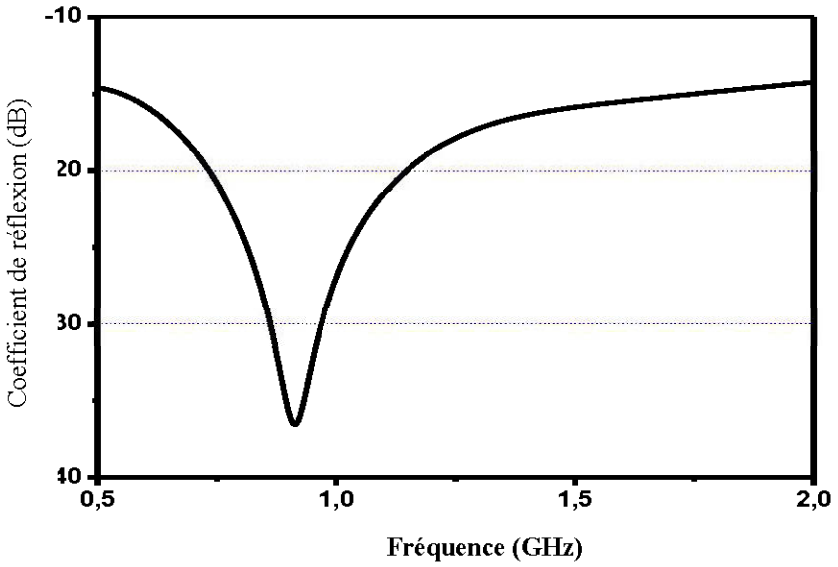


Figure 4.17 : Coefficient de réflexion de l'antenne Tag RFID tag sans présence de gaz

Les principaux paramètres qui influencent la résistance et la réactance de l'antenne sont la longueur entre les lignes de transmissions fixée à 5,5mm et les dimensions de la boucle 14mm × 8,2mm, qui sont utilisées pour l'adaptation d'impédance.

L'impédance estimée pour correspondre à la chip Impiji est de 28 + j209 ohms à 915 MHz avec une bande passante de 200MHz. Cette antenne, qui est conçue entièrement en CNT, absorbera les molécules du gaz induisant ainsi une variation de sa conductivité.

Cette variation influence l'impédance de l'antenne dans sa partie réelle et sa partie imaginaire (figure 4.18). Cette variation engendre un décalage de la fréquence de résonance (figure 4.19).

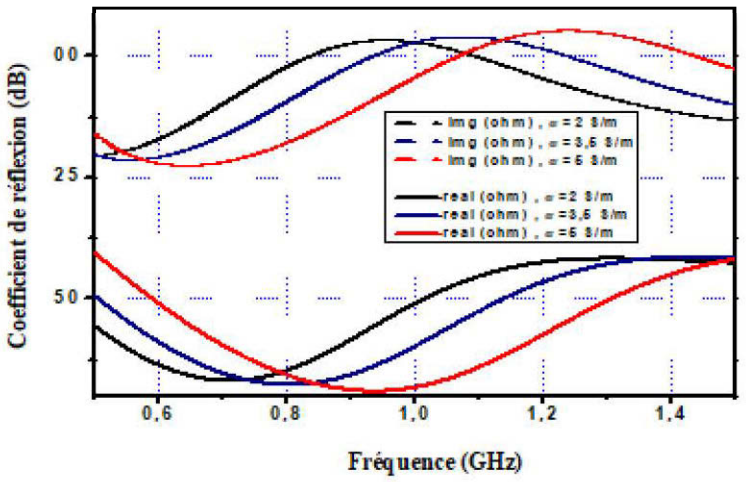


Figure 4.18 : Variation de l'impédance de l'antenne en présence du gaz

Grace à l'interrogateur, placé à une certaine distance, ce décalage en fréquence est détecté et les mineurs sont alertés de la présence du gaz toxique.

Donc, une nouvelle antenne RFID tag patch a été conçue totalement à base du CNT sur un substrat flexible LCP.

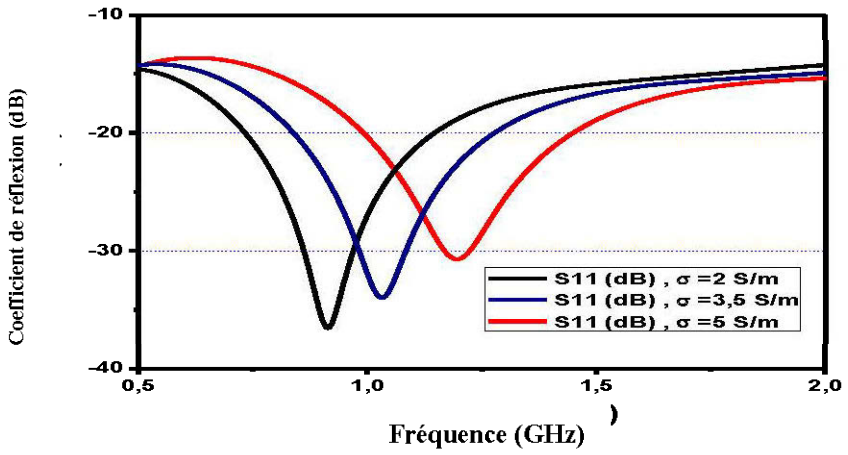


Figure 4.19 : Décalage de la fréquence de l'antenne en présence du gaz

4.5 Synthèse

Les antennes conçues profitent des caractéristiques du CNT pour la détection du gaz tout en lui offrant une robustesse qui rend l'antenne plus simple, légère et performante. Avec l'intégration du LCP comme substrat, l'antenne tag RFID passive est favorisée pour un déploiement dans un environnement qui présente des taux d'humidité élevée.

CHAPITRE 5. ANTENNES RFID POUR DES APPLICATIONS OFF-BODY

5.1 Le travailleur minier et son environnement

Dans un environnement minier, les travailleurs font face chaque jour à plusieurs risques comme l'inhalation des gazes taxiques, respiration des poussières, accident causés par les grandes machines utilisées et le problème cardiaque. D'où, l'aspect sécurité est le plus préoccupant du travail des mineurs.

Les télécommunications interviennent comme outil de communication et de sécurité qui peut assurer une surveillance en continue des mineurs. L'emplacement d'une antenne sur le corps du minier communicant avec une autre antenne distante permet d'avoir un rapport continu sur l'état des mineurs. Ce type de communication est appelé communément communication off-body.

Cependant on doit prendre en considération les normes et les réglementations à respecter pour implémenter une antenne sur le corps des mineurs.

5.2 Les propriétés électriques du corps humain

Un champ électromagnétique interagit avec un corps humain par l'intermédiaire des trois paramètres : la permittivité électrique, la perméabilité magnétique, la conductivité ainsi que l'épaisseur du tissu et la fréquence de l'antenne [34].

Les propriétés électriques des tissus du corps humain varient avec leur teneur en eau, où les tissus gras ou la quantité d'eau présente est plus grande que dans les tissus non gras. La biomasse humaine est considérée comme un diélectrique [34]:

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

$$\boldsymbol{\varepsilon = \varepsilon_0(\varepsilon' - j\varepsilon'') = \varepsilon_0(\varepsilon' - j(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0}))} \quad \textbf{(5.1)}$$

Avec ε_0 : la constante diélectrique de l'espace libre (F/m).

ε' : Partie réelle de la permittivité relative.

ε'' : Partie imaginaire de la permittivité relative (pertes diélectriques).

Le tableau ci-dessus donne les paramètres électromagnétiques des tissus du corps humain en fonction de la fréquence.

Tableau 5.1 : Paramètres des tissues du corps humain [35]

Corps humain et épaisseur	**fréquence**	**Conductivité (s/m)**	**Permittivité relative**	**Profondeur de pénétration (mm)**
PEAU 5mm	1 GHz	0.88	45.71	41.29
	2 GHz	1.33	43.52	26.47
	10 GHz	8.95	33.58	2.53
Graisse 5mm	1 GHz	0.05	5.45	232.47
	2 GHz	0.08	5.33	142.99
	10 GHz	0.58	4.61	19.59
Muscle 35mm	1 GHz	0.98	54.81	40.68
	2 GHz	1.45	53.29	26.85
	10 GHz	10.63	42.76	3.34

5.3 Équations électromagnétiques dans le corps humain

Les expressions du champ électromagnétique dans le corps humain peuvent être obtenues par la résolution de l'équation de Maxwell en fonction de la fréquence, en considérant l'hypothèse d'une onde à incidence uniforme et se propageant le long de la direction Z :

$$\boldsymbol{E_y = E_0 e^{-\alpha z} e^{-(j(\omega t - \beta z))}} \tag{5.2}$$

$$\boldsymbol{H_x = -(K_z/\omega\mu_0)E_y} \tag{5.3}$$

Avec $K_z = \beta + j\alpha$ où K_z est la constante de propagation complexe, α est le coefficient d'atténuation et β est la constante de phase.

La solution de l'équation E_y/H_x permet de déterminer le coefficient d'atténuation α et la constante de phase β :

$$\boldsymbol{\alpha = \frac{\sigma}{2}\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon\varepsilon_0}}} \tag{5.4}$$

$$\boldsymbol{\beta = \omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0\varepsilon'}\left(1 + 0.125\left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^2\right)} \tag{5.5}$$

5.4 Taux d'absorption spécifique (Specific Absorption rate, SAR)

Les ondes sont généralement absorbées par des objets dont les dimensions sont proches de la longueur d'onde. Par exemple, les ondes infrarouges sont entièrement absorbées dès qu'elles rentrent en contact avec le corps humain.

Les ondes radiofréquences (900MHz, UHF-RFID) sont plus longues (33cm), alors leur énergie parcoure des trajets plus longs. Selon la fréquence, les technologies sans fil tel que la RFID ont une profondeur de pénétration de quelques centimètres.

Le taux d'absorption spécifique est le rapport entre la puissance absorbée sur la masse du corps exposée. Cette valeur est très utile pour définir des normes internationales du taux d'exposition [39]. Selon les normes Européens et nord-américaines, les valeurs du SAR sont de 2W / kg et de 1,67w / kg pour 10g et pour 1g, respectivement. Une valeur supérieure à 15W/Kg est strictement interdite car elle produit des malformations et augmente la température corporelle de 5° [35].

$$SAR = \frac{|\sigma E_{eff}|}{\rho} \tag{4.6}$$

σ : la conductivité en S/m

ρ : La densité en kg/m^3

E_{eff} : la valeur efficace du champ électrique.

5.5 L'antenne tag RFID imprimée sur un substrat LCP mince

5.5.1 Conception

Une antenne tag RFID passive est conçue sur un substrat LCP mince. L'épaisseur du substrat est un paramètre essentiel dans la conception de l'antenne patch. Il est difficile d'assurer une performance élevée avec un substrat mince pour une fréquence de résonance à 915MHz [36]. C'est pourquoi nous avons eu recours à différentes techniques.

- ✓ Un plan de masse étendu, avec fente, a été utilisé pour assurer une bonne adaptation d'impédance.
- ✓ Une fente pour augmenter le gain de l'antenne.
- ✓ Les encoches sur le corps rayonnant de l'antenne pour modifier sa longueur électrique.

Dans ce travail, l'antenne tag est imprimée sur un substrat mince 3850HT Rogers ayant une épaisseur de 0.72 mm, une constante diélectrique 3.14 et une perte tangentielle de 0,002. Les dimensions du substrat LCP sont de 63mm x 70mm. Un plan de masse étendu (63mm x 136mm) avec une fente de (20mm x 40mm) et une largeur de 1mm ont été pris en considération lors de la conception. Le tableau 5.2 présente les différentes dimensions des encoches. La figure 5.1 illustre la structure sous le logiciel CST et HFSS, respectivement.

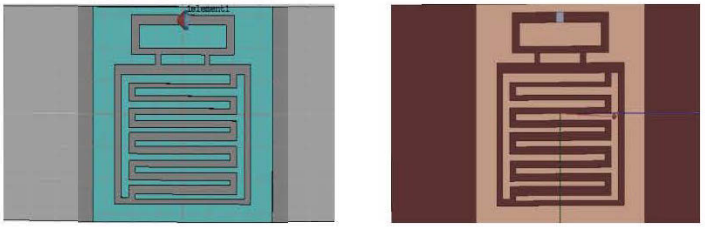


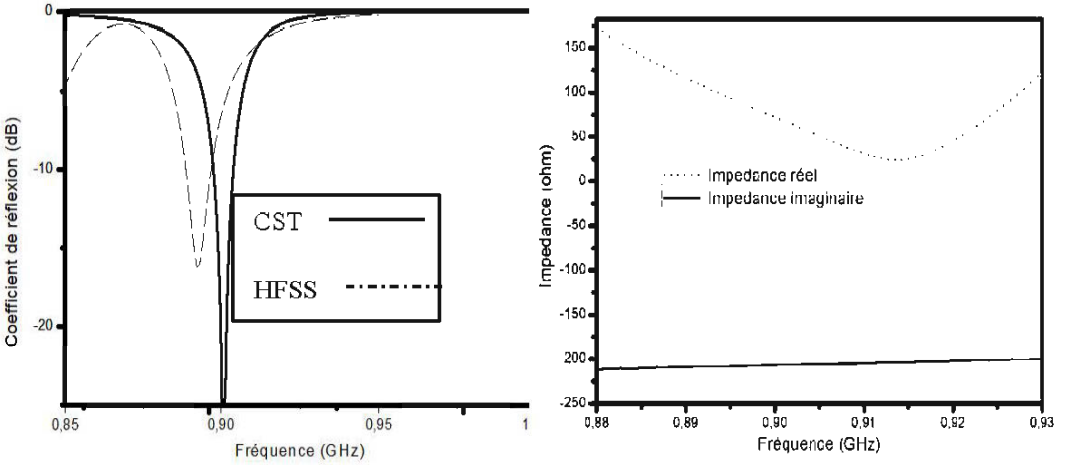
Figure 5.1 : RFID passive tag antenne HFSS et CST

Tableau 5.2 : Dimension des encoches (mm)

M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
2.75	2.5	2.25	2	1.5	1.75	2	1.75	1.5	1.5

5.5.2 Résultats

Dans la figure 5.2.a, nous remarquons clairement que l'antenne rayonne à 915MHz et présente un minimum de perte S11 de -20dB. Le gain de l'antenne pour les deux logiciels était de l'ordre de 2,3 dB (HFSS) et 2,86 dB (CST). Les paramètres principaux qui affectent la résistance et la réactance de l'antenne sont le plan de masse et les encoches dont les dimensions ont été choisies d'une manière optimale pour assurer une meilleure adaptation d'impédance (figure 5.2.b).



(a) **(b)**

Figure 5.2 : a) Résultats de simulation des pertes de retour S11 b) L'impédance de l'antenne Tag en fonction de la fréquence.

5.5.3 Effet des encoches

La figure 5.3 illustre l'effet des encoches sur la fréquence. On constate que la fréquence de résonance se décale vers les basses fréquences, à cause de l'effet des encoches sur la longueur électrique de l'antenne [37]. L'introduction de ces encoches

nous a permis de ramener la fréquence de résonance à la valeur désirée de 915MHz sans avoir recours à une augmentation de la longueur physique de l'antenne.

L'impédance imaginaire de l'antenne, initialement à -jXa = -j168 Ohm, a atteint une valeur de -j201 Ohm avec la structure finale incluant les encoches. L'impédance complexe finale de l'antenne est de Za = Ra-jXa = 10.25-j201 Ohm.

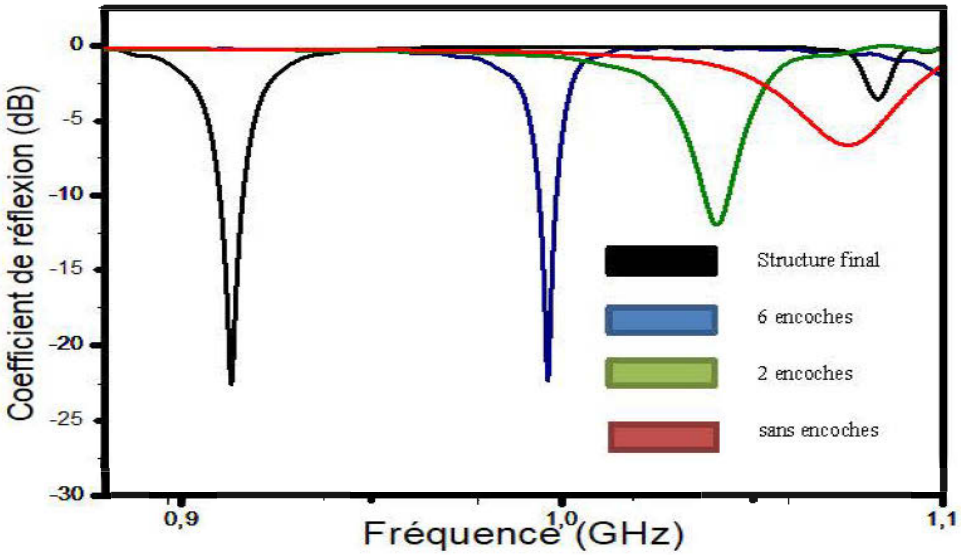


Figure 5.3 : Variation de la fréquence en fonction du nombre de méandre

5.5.4 Effet du plan de masse étendu

La figure 5.4 montre une augmentation de la résistance de l'antenne de façon proportionnelle à la largeur du plan de masse. En exploitant cette technique, nous obtenons une bonne adaptation d'impédance par une extension du plan de masse de 33mm dans les deux directions.

Cette extension correspond à la longueur d'onde λ. L'augmentation de la partie réelle de l'impédance de l'antenne sans un changement significatif de la partie imaginaire aide à avoir une bonne adaptation d'impédance ce qui résulte en une efficacité accrue de l'antenne allant de 0,07% à 74% (figure 5.4.b).

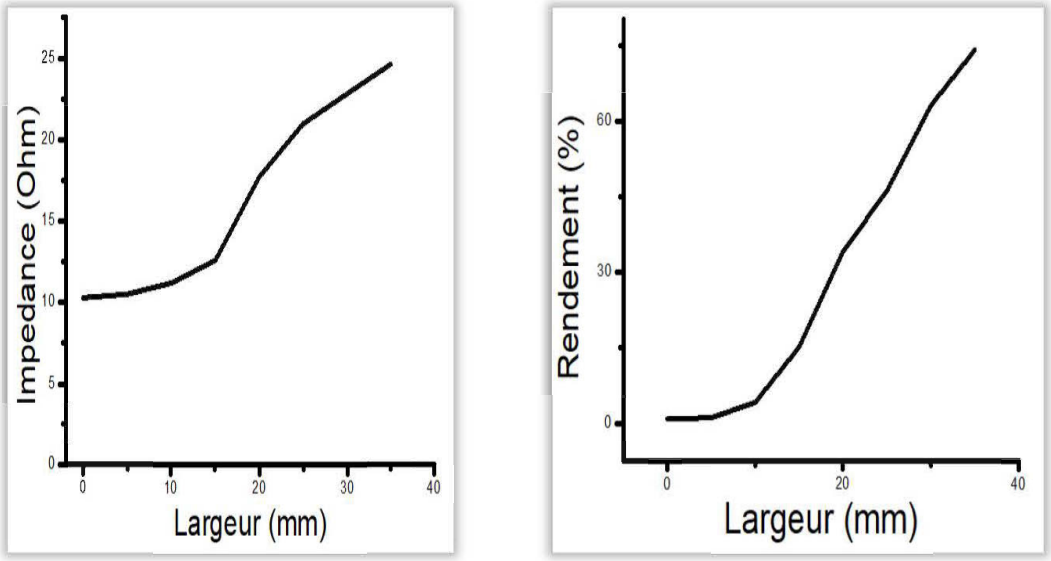


Figure 5.4 : a) L'impédance de l'antenne en fonction de la largeur b) Rendement en fonction de la taille du plan de masse.

Nous avons réalisé la nouvelle antenne RFID passive UHF imprimée sur un substrat LCP flexible. Cette nouvelle structure présente une bonne performance en termes d'adaptation d'impédance, de réponse fréquentielle, de gain et d'efficacité. Nous avons, donc, réussi à développer une antenne capable d'opérer dans l'environnement minier sans dégradation de performances, ce qui fait d'elle offre une bonne solution pour une large gamme d'applications destinées pour les mines souterraines.

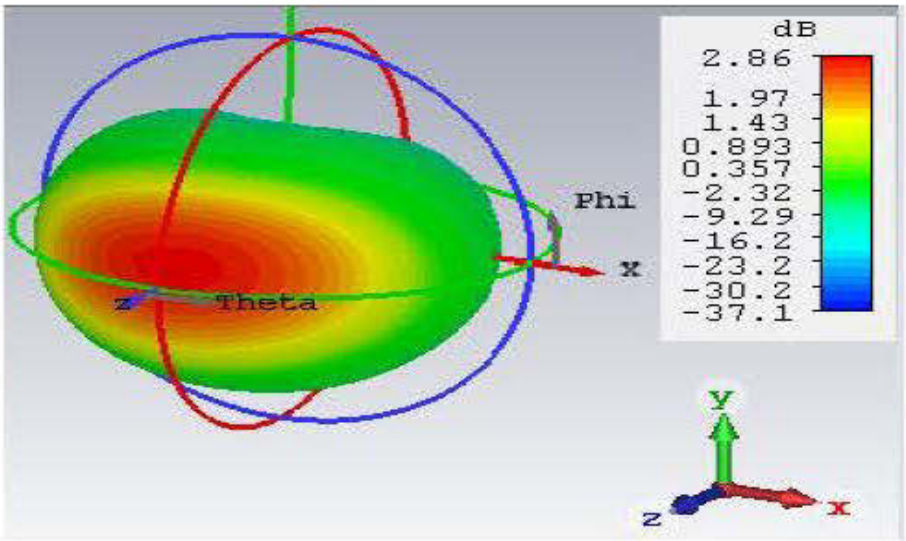


Figure 5.5 : Gain final de l'antenne G=2.86 dB

Dans les sections qui suivent, nous présentons une évaluation du comportement de l'antenne lorsqu'elle est placée sur un corps humain pour un système de communication Off-body. Donc, l'objectif est l'étudie de l'effet du corps humain sur les performances de l'antenne.

5.6 L'antenne RFID tag en contact avec le corps humain

5.6.1 Modèle du corps humain (Gustave)

Le modèle, du corps humain [38] utilisé, est Gustave du logiciel CST. Ce modèle représente un homme âgé de 38 ans, poids 69kgs et 1,76m. Ceci représente dans notre cas, le profile typique d'un travailleur des mines (figure 5.6). Les couches principales du corps humain qui entrent en contact direct avec la propagation des ondes de l'antenne sont respectivement la peau, la graisse et le muscle. Les parties du corps choisis pour notre évaluation sont respectivement ; la poitrine, le bras et la jambe. Le choix de ces parties n'est pas arbitraire. Il est basé sur le fait que

l'extraction des données de pulsation, de circulation sanguine, de tension est plus facile sur ces parties du corps.

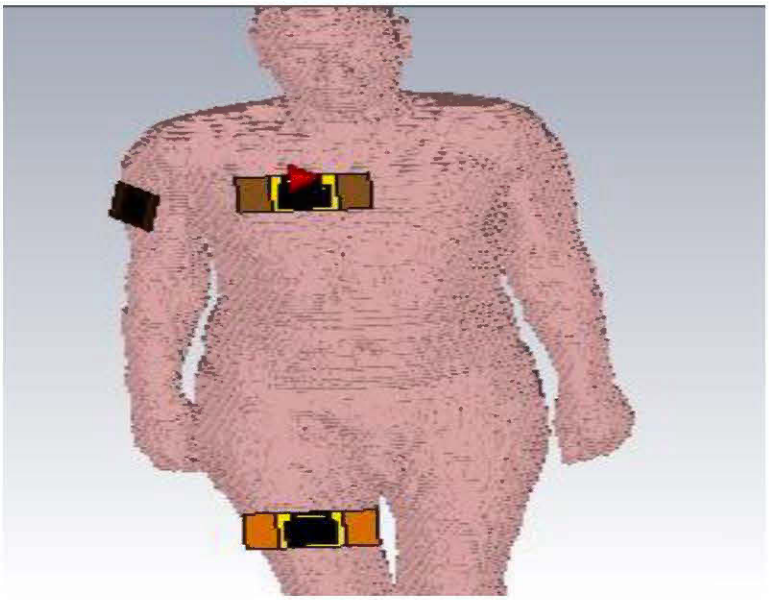


Figure 5.6 : Modèle du corps humain avec les différents emplacements de l'antenne TAG.

5.6.2 Résultats

5.6.2.1 Paramètre S_{11}

L'étude de l'effet du corps humain en contact avec l'antenne a toujours été effectuée pour une distance fixe. Notre travail consiste à déterminer la distance optimale où l'antenne garde ses performances même en présence du corps humain.

On prend en considération le fait que la surface du corps humain est différente sur chaque partie du corps en termes de largeur et de forme.

Donc, la distance optimale sera certainement différente d'une partie du corps à l'autre. De ce fait, l'effet sur la fréquence de résonance varie. Pour le bras où l'antenne

n'est pas entièrement couverte par la surface corporelle, l'impact sur la fréquence est plus élevé que celui de la poitrine ou la cuisse, où la rugosité et masse corporelle est plus importante

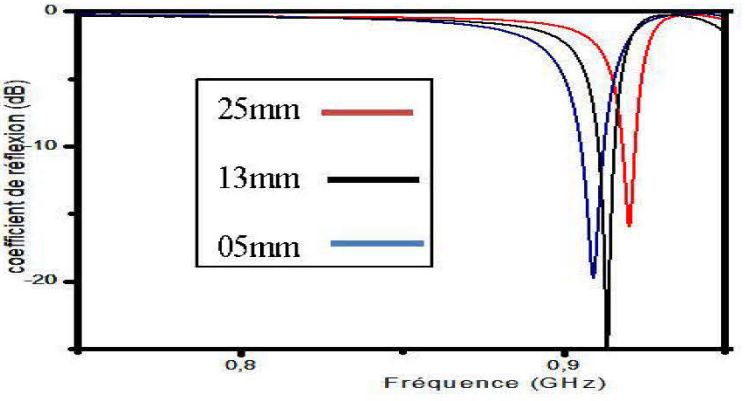
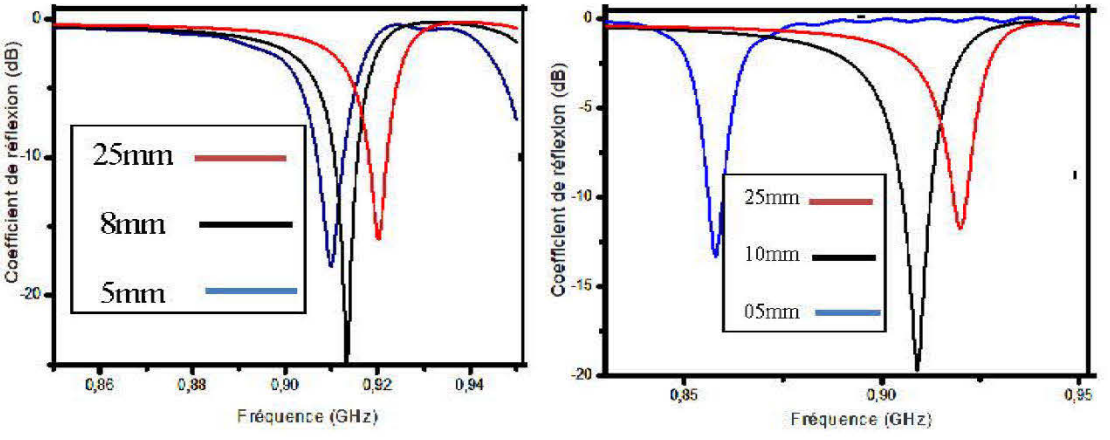


Figure 5.7 : Résultats de simulation du coefficient de réflexion S11 de l'antenne placée sur le bras à des différentes distances



(a) **(b)**

Figure 5.8 : Résultats de simulation du coefficient de réflexion S11 de l'antenne placée a) sur la poitrine à des différentes distances b) sur la jambe à des différentes distances

5.6.2.2 SAR, gain et rendement

Le tableau 5.3 illustre les performances de l'antenne en termes de gain, de SAR et de rendement pour différentes distances. Nous remarquons en premier lieu que, lorsque la distance entre l'antenne et le corps humain augmente, le gain est meilleur que celui dans l'espace libre. Ceci est expliqué par les réflexions des ondes sur le tag à partir du tissu corporel (le tissu humain réagit comme réflecteur).

Les valeurs du SAR ont été calculés suivant les normes Européennes et Nord-américaines (respectivement 2W / kg pour 10g et 1,67w / kg pour 1g [39]).

Les études effectuées, dans ce travail, consistent à déterminer la distance minimale qui offre un compromis entre le gain et le rendement acceptable avec un minimum de perte et un SAR conformes à la norme internationale IEEE-C93 [39].

Pour cela, on a étudié le comportement de l'antenne à différentes distances du corps de 5 mm à 25 mm (Tableau 5.3). Les distances minimales retenues après les simulations pour la cuisse, le bras et la poitrine sont respectivement; 10mm, 13mm et 8mm.

Tableau 5.3 : Performances de l'antenne en fonction des distances

Site	Distance	Gain	Rendement	SAR EU	SAR N-A
Cuisse	***5***	-5.5	----------	0.7	1
	25	3.91	60%	0.166	0.3
	10	1.89	29%	0.246	0.534
BRAS	***5***	-5	0.7%	0.9	1.4
	25	3.04	44%	0.17	0.64
	13	1.07	23%	0.34	0.8
Poitrine	***5***	-1.08	7.4%	1.5	2.1
	25	4.3	70%	0.196	0.6
	8	2.03	34%	0.68	0.98

5.6.2.3 Diagramme de rayonnement

Le principe des communications off-body consiste en une antenne placée sur le corps humain et qui communique avec une autre antenne éloignée. Pour qu'une telle communication ait lieu, la puissance rayonnée par l'antenne doit être dirigée vers l'extérieur du corps.

Dans un premier lieu, nous visualisons le diagramme de rayonnement de l'antenne dans un espace libre et qui sera pris comme notre diagramme de référence. Par la suite, et selon la figure 5.9, la puissance rayonnée par l'antenne suit l'axe z du diagramme.

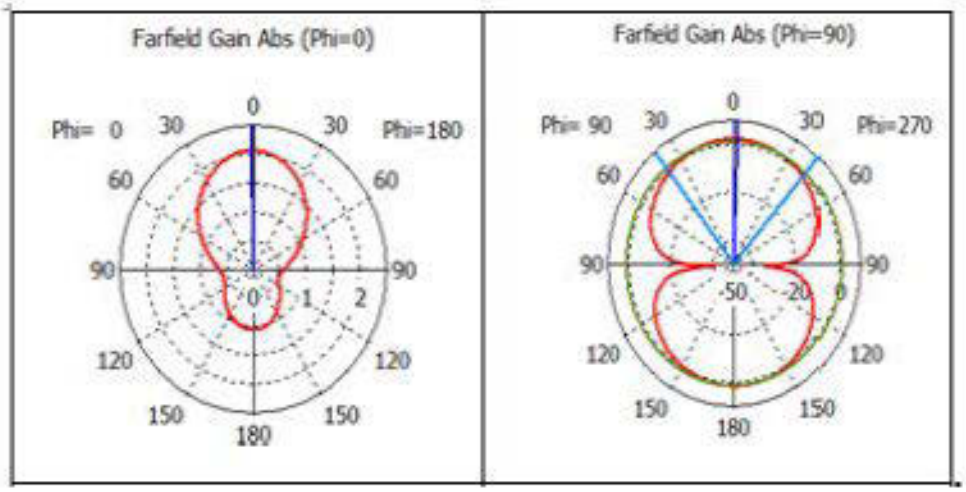


Figure 5.9 : Diagramme de rayonnement (espace libre) a) Plan XZ b) Plan ZY

Ceci est vrai pour toutes les autres parties du corps dans la figure 5.10 qui sont respectivement les diagrammes de rayonnement de la poitrine, le bras et la jambe. L'axe z est perpendiculaire à la direction du corps, c'est-à-dire que la puissance rayonnée est orientée vers l'extérieur du corps, donc, les diagrammes de rayonnement confirment que la communication off-body est assurée pour les différentes parties du corps humain où l'antenne est attachée.

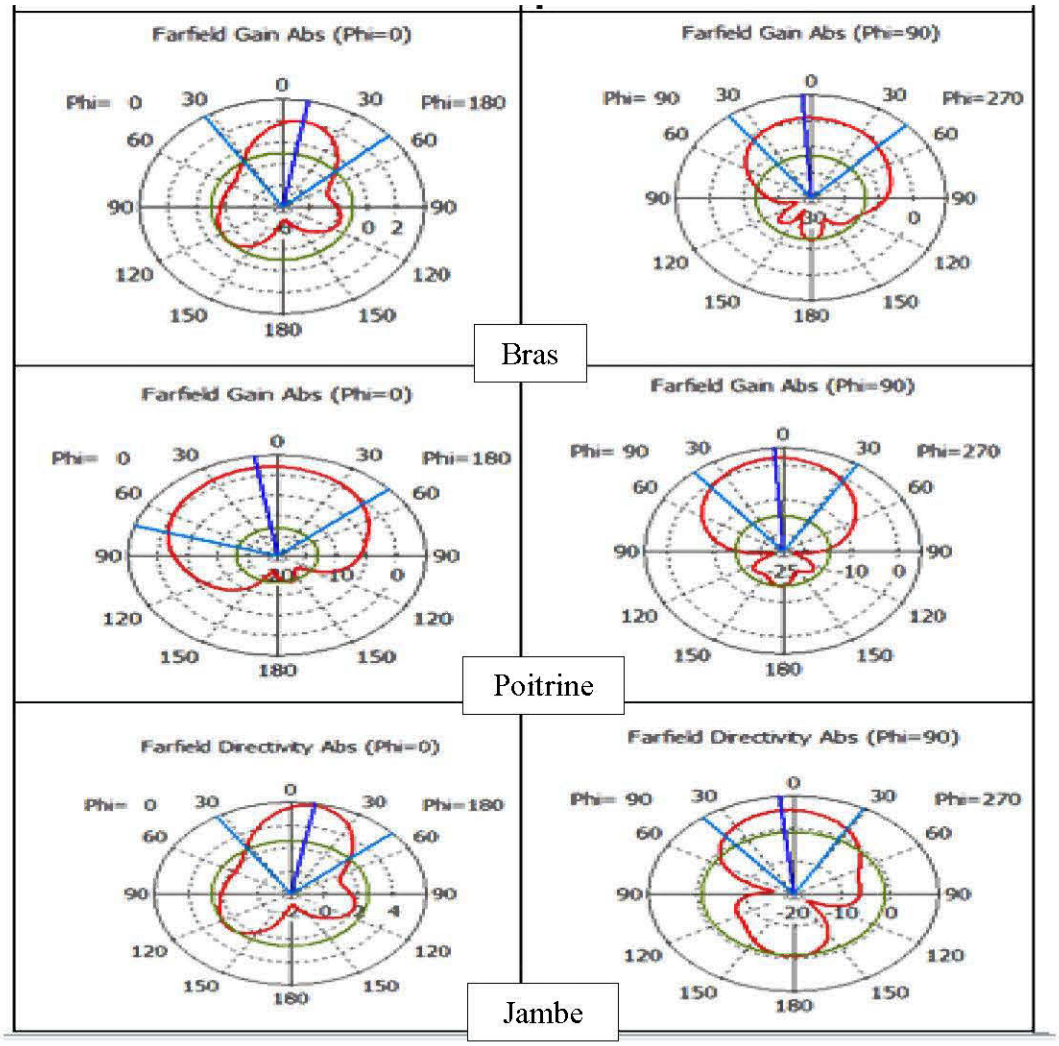


Figure 5.10 : Diagramme de rayonnement a) Plan XZ b) Plan ZY

5.6.3 Conclusion

Nous avons conçu avec succès, une antenne tag RFID passive sur un substrat LCP. Cette structure est à la fois légère, flexible et à faible coût. Outre cela, cette antenne est résistante à l'effet de l'environnement minier, grâce au substrat choisi et qui résiste bien à l'humidité. Tout ça fait de cette antenne une solution adéquate pour les différentes applications destinées pour les mines souterraines. L'antenne a été évaluée et testée, également, sur différentes parties du corps humain, et il nous a mis

en évidence son utilisabilité pour les communications off-body. Ceci étend l'utilisation de cette antenne à des applications médicales, sécuritaires et de traçabilité.

Rapport-Gratuit.com

CONCLUSION

La mise en place de systèmes de surveillance, localisation et renforcement de la sécurité dans les mines souterraines n'est pas un confort mais, plutôt une nécessité. La présence des gazes toxiques comme l'ammoniac NH3 dans les mines et le manque de suivi de l'état de santé présentent un grand danger pour les mineurs. Pour cela, nous avons développé, en premier lieu, des capteurs-RFID pour la détection des gazes nocifs. Ces capteurs utilisent les nanotubes de carbone comme détecteur. Ce dernier, est une nouvelle génération de matériau, caractérisé par son poids très léger et sa robustesse.

L'étiquette RFID communique avec l'interrogateur toute l'information liée au taux de gaz présent dans l'environnement et alerte les mineurs immédiatement en cas de danger.

La détection du gaz toxique est assurée par une réaction entre les molécules du gaz nocif NH3 et le nanotube de carbone. Cette réaction se traduit par un changement de la conductivité du CNT. La variation de cette dernière affecte l'impédance de l'antenne, et résulte en une mauvaise adaptation ce qui amène à un décalage fréquentiel.

Nous avons également réussi à développer une étiquette RFID avec un substrat très mince de 0.7mm facile à intégrer sur le corps humain pour assurer des communications off-body.

Nous avons aussi fait une étude comparative entre différentes parties du corps humain (jambe, bras et poitrine) pour déterminer le meilleur emplacement de l'antenne sur le corps. Nous avons examiné la distance antenne-corps humain à laquelle les performances de l'antenne reste inchangées et proches de celles en espace libre. Cela est fait, tout en respectant les normes européennes et

nord-américaines sur les taux d'absorption des ondes électromagnétiques admissibles pour le corps humain.

A partir de ces études, il a été démontré qu'en termes du SAR, de gain et de la distance, la poitrine est la position la plus adéquate pour l'emplacement de l'étiquette à une distance de séparation qui ne dépasse pas les 8mm.

RÉFÉRENCES

[1] Barcode.tec-it.com/fr 2015

[2] National instrument Advanced RFID Measurements: Basic Theory to Protocol Conformance Test Jan, 2012

[3] FKI logistics, RFID for the Real World, 2005,

[4] www.centrenational-rfid.com 2016

[5] S. Sarma, and D. W. Engels, *On the future of RFID tags and protocols*, Whitepaper, Auto-ID Center, Massachusetts Institute of Technology, 2003.

[6] M.B. Eunni, *A Novel Planar Microstrip Antenna Design for UHF RFID,* Thesis May 2004

[7] ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf10759.html 2016

[8] L. Zhenzhong, M. Nezih, X. George, O. Yuu, L. Guocheng, B. Dayan. "Effects of Temperature And Humidity On Uhf Rfid Performance", *Smart materials, structures & ndt in aerospace Conference*, Montreal, Quebec, Canada, Nov. 2011

[9] M. Dhaouadi, *Conception et optimisation des antennes RFID UHF en vue d'améliorer la fiabilité des systèmes RFID*, Thèse décembre 2014

[10] M. Butt, *Systemization of RFID Tag Antenna Design Based on Optimization Techniques and Impedance Matching Charts,* these Avril 2012

[11] M. T. Zhang, Y. C. Jiao, F. S. Zhang and W. T. Wang, "Design of Antennas for RFID Application, Development and Implementation of RFID Technology", *Cristina Turcu (Ed.),* ISBN: 978-3-902613-54-7, 2009

[12] B. Wang, H. Liu, C. Liu, L. Zhang, J. Pan and Y. Okuno, "A UHF RFID reader antenna with near field inductive wireless power transfer feature", *Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS)*, Shanghai, pp. 1319-1322, 2016.

[13] C. H. Tsai, H. D. Chen, H. W. Yang and R. B. Tsai, "Design of circularly polarized loop tag antenna for UHF band RFID application", *International Symposium on Antennas and Propagation Conference Proceedings*, Kaohsiung, pp. 493-494, 2014.

[14] B. R Waterhouse, *Microstrip Patch Antennas: A Designer's Guide*, KluwerAcademic Publishers, 2003

[15] H. Kwon and B. Lee, "Compact slotted planar inverted-F RFID tag mountable on metallic objects", *IEE Electronics Letters*, November 2005.

[16] L. Ukkonen, D. Engels, L. Sydanheimo, and M. Kivikoski: "Planar wire-typeinverted-F RFID tag antenna mountable on metallic objects", *IEEE Int. Symp. On AP-S*, vol. 1, pp. 101–104, June 2004.

[17] H. Anh-Vu, M. J. Pham, (2012). LCP for microwave and packages modules. New York: *Cambridge University press*.

[18] K. Takata, P. Anh-Vu, "Electrical properties and practical applications of Liquid Crystal Polymer flex", *Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonic"s*, *6th International Conference* on *Polytronic*, pp.67-72, Jan. 2007

[19] A.L. Amadjikpe, A. Vera, D. Choudhury, J. Papapolymerou, "Study of a 60 GHz rectangular patch antenna on a flexible LCP substrate for mobile applications", *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2008. AP-S 2008. IEEE , vol., no., pp.1,4, 5-11 July 2008

[20] www.ece.ucdavis.edu/dmrc/research/files/near_hermetic.pdf juin 2013

[21] L. Marnat, A. Shamim, "Liquid Crystal Polymer (LCP) based antenna for flexible system on package (SoP) applications", *Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM)*, pp.1,4, 25-28, June 2012.

[22] S. Basat, S. Bhattacharya, A. Rida, S. Johnston, L. Yang, M.M. Tentzeris, J. Laskar, "Fabrication and assembly of a novel high-efficiency UHF RFID tag on flexible LCP substrate", *Electronic Components and Technology Conference*, 2006.

[23] L. P. Dominique, L. Zhang, L. Zheng, "Flexible dual-band LCP antenna for RFID applications", Electromagnetic Theory (EMTS), pp. 973-976, May 2013.

[24] R. Vyas, A. Rida, S. Bhattacharya, M.M. Tentzeris, "Liquid Crystal Polymer (LCP): The ultimate solution for low-cost RF flexible electronics and antennas", IEEE *Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp.1729-1732, June 2007.

[25] Courses.cs.washington.edu/courses/csep590a/08sp/projects/CarbonNanotubes.pdf

[26] B. K Majumder, Carbon nanotube Based VLSI interconnects, *Analysis and Design*, Kaushik, M.K, 2015.

[27] C. Occhiuzzi, G. Contri, G. Marrocco, "Design of Implanted RFID Tags for Passive Sensing of Human Body: The STENTag", *Antennas and Propagation, IEEE Transactions*, vol. 60, no.7, pp.3146-3154, July 2012.

[28] C. Occhiuzzi, A. Rida, G. Marrocco, M. Tentzeris, "RFID Passive Gas Sensor Integrating Carbon Nanotubes", *IEEE Microwave Theory and Techniques, Transactions on*, vol. 59, no.10, pp. 2674-2684, Oct. 2011.

[29] L. Yang, G. Orecchini, G. Shaker, L. Ho-Seon, M.M. Tentzeris, "Battery-free RFID-enabled wireless sensors", IEEE *Microwave Symposium Digest (MTT)*, pp. 1528-1531, May 2010.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

[30] J. Dowling, M. M. Tentzeris, and N. Beckett, "RFID-enabled temperature sensing devices: A major step forward for energy efficiency in home and industrial applications," in IEEE MTT-S Int. *Microw.Workshop onWireless Sensing, Local Positioning, and RFID*, pp. 1-4, Sep. 2009.

[31] web.rtpcompany.com/info/data/ec2/RTP3499-3X91193A.htm,2014

[32] HFSS home page http://www.ansys.com/Products/ 2012

[33] Monza 3 Tag Chip Datasheet IPJ-W1002-A00, IPJ-W1002-C00

[34] R. Chandra, Antennas, Wave Propagation, and Localization in Wireless Body Area Networks, May 2014

[35] L. Chioukh, *Système médical intégré de radar pour la surveillance de précision des battements cardiaques et du statut respiratoire*, Janvier 2010

[36] M. Makhijani and K.g. Maradia, "Methods for Impedance Matching in RFID Tags," *International Journal of Computer Applications* vol. 1, no. 114, pp. 36-37, March 2015.

[37] P. S. Andhare, A. Mishra, "Design and Fabrication of an Electrically Small Meander Line Antenna System for Wireless Communication," I*nternational journal of application or innovation in engineering and management IJAIEM*, vol. 3, pp. 207-211, Nov. 2014.

[38] Bio-medical RF simulations with CST MICROWAVE STUDIO, *EuropeanUGEM*, CST, 2015

[39] IEEE C95.3: 'Recommended practice for measurements and computations of radio frequency electromagnetic fields with respect to human exposure to such fields, 100 kHz–300 GHz', 2002 (R2008)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES