

Systèmes RFID

Thomas Huault

Master recherche optique et radio-fréquence - Année 2005-2006

Table des matières

1	Introduction	2
2	Tehnologie RFID	2
2.1	Description générale	2
2.2	Classement des systèmes RFID	2
2.2.1	Protocoles de communication - Collisions	3
2.2.2	Système RFID en couplage magnétique	4
2.2.3	Système RFID en couplage électrique	4
3	Un système RFID à couplage magnétique à 13,56 MHz : la carte à puce sans contact	5
3.1	Introduction	5
3.2	Communication entre le lecteur et le transpondeur	6
3.2.1	Description physique des phénomènes impliqués dans la télé-alimentation	6
3.2.2	Rétro-modulation	7
4	Conclusion	8

1 Introduction

Réellement développés depuis les années 60, les systèmes RFID (Radio-Frequence IDentification) ont connu leurs prémices lors de la seconde guerre mondiale où les ondes radio-fréquences étaient utilisées comme moyen d'identification des avions alliés (IFF : Identify Friend or Foe).

Depuis leur apparition jusqu'à nos jours, ils ont vu leur technique ainsi que la variété de leurs applications évoluer. D'un simple fonctionnement en mode tout-ou-rien, au stockage et au traitement d'informations, ces applications couvrent des domaines allant de la télédétection (identification d'animaux, antivols, localisation...) aux transactions de la vie courante (titres de transports en commun, cartes bancaires...) en passant par la traçabilité des produits et des marchandises ou encore de l'interfaçage homme-machine.

Au cours de ce document, nous nous attacherons à décrire de la manière la plus globale possible le fonctionnement et l'organisation d'un système RFID puis, nous aborderons le thème des cartes à puces sans contact en nous efforçant de tenir un discours formalisé par la théorie de l'électromagnétisme.

2 Tehnologie RFID

2.1 Description générale

Un système RFID opérationnel est composé de deux types d'éléments. Une base, également appelée lecteur, émet une onde électromagnétique dans l'espace pour interroger un ou plusieurs récepteurs distant selon les cas de quelques centimètres à plusieurs mètres (figure 1).

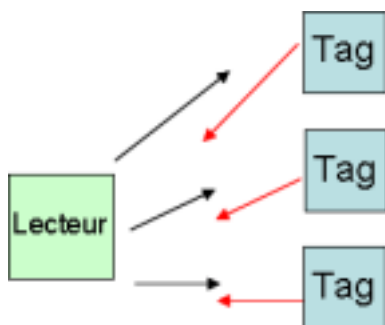


FIG. 1 – Principe de base d'une application RFID

Le récepteur aussi nommé étiquette, Tag, transpondeur... peut être de deux types : passif ou actif. Celui-ci peut être constitué d'un système d'émission-réception radio-fréquence, d'un microprocesseur de traitement de données et d'un espace de stockage d'une capacité allant jusqu'à plusieurs centaines de bits. La différenciation actif-passif vient du mode d'alimentation du récepteur. Les étiquettes passives n'intègrent pas d'alimentation interne et exploite l'énergie apportée par l'onde envoyée par le lecteur par des phénomènes d'induction électromagnétique. Un récepteur actif possèdera sa propre alimentation.

2.2 Classement des systèmes RFID

Les différents systèmes RFID existant sont classés selon plusieurs critères définissant leurs catégories d'appartenance.

Dans un premier temps, on peut les identifier en fonction de leur mode d'utilisation. La communication avec un transpondeur peut se faire soit sous la forme d'une simple lecture (le lecteur peut par exemple rechercher une information d'identification : badges d'accès) ou de lectures et écritures multiples (suivie de produits frais, cartes de transport en commun...). Il est également possible d'établir une classification des systèmes en fonction de leurs caractéristiques physiques (fréquence d'émission, portée, alimentation - actif, passif ou semi-passif)(voir tableau).

Fréquences	Distance	Application
Fonctionnement en champ proche		
120, 125, 128, 135 <i>KHz</i> BF	quelques cm à 50 cm	étiquettes électroniques élémentaires
4, 6.91 <i>MHz</i> HF	quelques cm à 50 cm	peu d'applications - spécifique
13.6 <i>MHz</i> HF	quelques cm à 50 cm	cartes à puces sans contact
Fonctionnement en champ lointain		
434 <i>MHz</i> UHF		grandes antennes de faible puissance
886 <i>MHz</i> UHF	$\approx 5 m$	identification de marchandises
2.4 <i>GHz</i> UHF	1,2 <i>m</i> \rightarrow 6 <i>m</i>	étiquettes en déplacement rapide
5, 8 <i>GHz</i> μ -ondes	60 cm	

Il y a donc principalement deux grandes classes de systèmes RFID : les systèmes fonctionnant en champ proche par couplage magnétique (BF et HF, généralement passifs) et les systèmes fonctionnant en champ lointain par couplage électrique (UHF, systèmes actifs ou passifs selon la distance de communication).

2.2.1 Protocoles de communication - Collisions

Pour permettre à plusieurs étiquettes de communiquer avec un lecteur unique et de limiter le parasitage systématique des appareils RF à proximité, un ensemble d'insructions constituant le protocole RF (Radio Fréquence) est intégré au système (lecteur + étiquette).

Il y a classiquement deux types de protocole : RTF (Reader Talk First) et TTF (Tag Talk First).

- *Protocole TTF :*

Dans le cas du protocole TTF, le lecteur émet en permanence un signal porteur non modulé (CW mode : Carrier Wave mode). Lors du passage d'une étiquette à proximité, celle-ci va intégrer le signal porteur et commencer la production de son énergie d'alimentation pour envoyer un identifiant au lecteur. Le lecteur va indiquer le succès de la transaction par une brève modulation du signal d'alimentation et la communication de données va débiter.

Cette technique va permettre de n'emcombrer qu'une faible portion de la bande passante RF, produisant une interférence minimale pour les autres utilisateurs du spectre RF. Un grand nombre d'étiquettes vont pouvoir opérer autour du lecteur en étant séparée de quelques mètres en appliquant un décalage de fréquence faible.

- *Protocole RTF :*

Lorsque le système RFID utilise le protocole RTF, le lecteur envoie en continu un signal d'alimentation modulé contenant une information d'interrogation des étiquettes présentes dans son champ de porté. Les étiquettes entrant dans la zone de détection convertissent le signal d'alimentation et lisent le signal d'interrogation. Pour identifier les transpondeurs présents, le lecteur enverra successivement et en continu une demande d'identification à chaque étiquette qui, si elle est présente répondra positivement à la requête. Cette opération est répétée jusqu'à ce que le lecteur ait parcouru toute sa liste d'identifiants. Le désavantage présenté par cette méthode est que le lecteur doit émettre en permanence un signal d'interrogation en modulant le signal d'alimentation, induisant une large zone d'interférences autour du lecteur même lorsqu'aucun transpondeur n'est présent à proximité.

Dans les deux cas de figure, l'ensemble lecteur/transpondeur a un fonctionnement de type maître/esclave : le transpondeur ne doit répondre que s'il est interrogé. Mais, lorsqu'au moins deux transpondeurs entrent dans le champ de communication, il y a un risque de collision, c'est à dire que les deux étiquettes peuvent répondre simultanément au lecteur, faisant arriver ainsi plusieurs informations de deux entités

différentes pendant les mêmes intervalles de communication. Pour que les informations des deux transpondeurs puissent être prises en compte, une norme anticollision a été établie (ISO/IEC 14443). Elle définit plusieurs modes de reconnaissance des données envoyées par les tags (anticollision de type A ou B avec approche probabiliste ou pseudo-déterministe).

2.2.2 Système RFID en couplage magnétique

Les systèmes RFID à couplage magnétique utilisent généralement des transpondeurs passifs. L'élément permettant la communication de l'étiquette avec le lecteur est un ensemble constitué de plusieurs spires métalliques (bobine) permettant de produire l'énergie nécessaire à l'alimentation de l'électronique embarquée de la puce en exploitant les phénomènes d'induction créés par le champ magnétique émis par le lecteur. Cette technique va introduire un certain nombre de contraintes dont les majeures vont résider dans la distance de communication réduite, due à la nature même de l'émission du champ magnétique en ligne proches du lecteur, (moins d'un mètre) et la génération d'interférences pour d'autres systèmes à proximité du lecteur.

Le mode de fonctionnement en couplage magnétique concerne les systèmes oeuvrant aux fréquences allant de 120 kHz à 135 kHz en basses fréquences et $13,6\text{ MHz}$ en haute fréquence. On connaît des systèmes en couplage magnétique fonctionnant jusqu'à 29 MHz .

Historiquement, les premiers systèmes magnétiques fonctionnaient en basses fréquences puis, les premières applications à haute fréquences ont vu le jour à partir de 1998.

Ce type d'étiquette (antenne et circuit/mémoire) est généralement gravé sur un substrat flexible de dimension ne dépassant pas 10 cm , intégrable donc sur des dispositifs tels que des cartes à puces.

2.2.3 Système RFID en couplage électrique

Contrairement aux modules de couplage magnétique, les systèmes en couplage électrique ne sont pas limités par l'émission localisée autour du lecteur des lignes de champ. En utilisant les propriétés propagatives du champ électrique rayonné par une antenne, il est possible de transporter de l'énergie et des données d'un lecteur à un transpondeur et inversement sur plus d'une dizaine de mètre.

Les dimensions des antennes capables de produire de tels champs électriques sont de l'ordre de la demi longueur d'onde (pour une fréquence de 100 MHz , l'antenne devra mesurer $\approx 1,50\text{ m}$). En pratique, la limitation de l'utilisation du couplage électrique dans le RFID se verra dans l'exploitation des bandes de basses fréquences où pour garder au système une bonne portabilité et intégrabilité en systèmes embarqués, il conviendra de sélectionner judicieusement la fréquence d'émission de l'antenne (typiquement, on utilisera préférentiellement les UHF).

Dans le cas de transpondeurs passifs, l'énergie d'alimentation est créée par exploitation du phénomène du dipôle de Hertz produit par le champ électrique émis par le lecteur. La densité d'énergie de signal rayonné décroît en fonction de l'inverse du carré de la distance séparant le lecteur de l'étiquette. De ce fait, l'utilisation des systèmes passifs se limite à des distances ne dépassant pas la dizaine de mètres pour des fréquences aux alentours de 500 MHz . Cette distance diminuant fortement lorsque la fréquence augmente (moins d'un mètre à $2,5\text{ GHz}$), au delà de ces fréquences, les transpondeurs nécessitent une alimentation et deviennent actifs.

Un avantage majeur des étiquettes à couplage électrique réside certainement dans son faible coût de production permis notamment grâce aux techniques de développement utilisées par les designers de la microélectronique.

3 Un système RFID à couplage magnétique à 13,56 MHz : la carte à puce sans contact

3.1 Introduction

La carte à puce sans contact est un rectangle de plastique intégrant un transpondeur passif composé d'une antenne et d'un circuit intégré. Selon ses utilisations, la carte peut être mixte et intégrer un contacteur électrique qui partagera les mêmes ressources que l'antenne (figures 2, 3 et 4).

Le couplage magnétique est réalisé par l'ensemble lecteur/transpondeur. On distingue deux cas : le couplage capacitif (l'antenne du lecteur et l'antenne de l'étiquette représente les armatures d'un condensateur) et le couplage inductif (l'antenne du lecteur et celle du transpondeur sont respectivement le circuit primaire et secondaire d'un transformateur). La portée d'émission en couplage capacitif est très limitée (de l'ordre de quelques millimètres), aussi celui-ci est peu utilisé et appelé à disparaître.

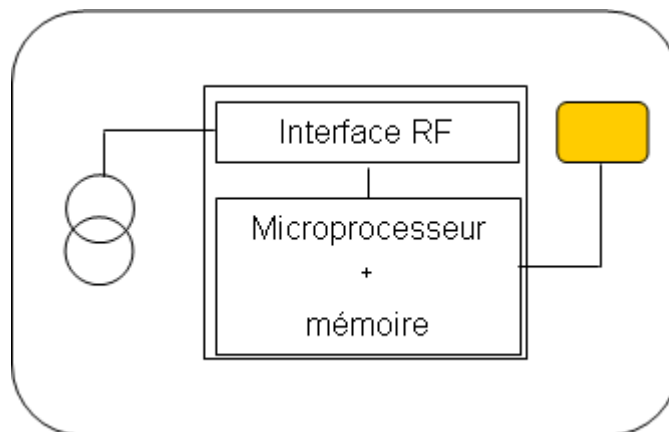


FIG. 2 – Carte puce avec interface de contact électrique et interface RF



FIG. 3 – Carte à puce à double interface double des transports en commun de Grenoble



FIG. 4 – Carte à puce à simple interface RF des transports en commun de Montpellier

3.2 Communication entre le lecteur et le transpondeur

La communication entre le lecteur et le transpondeur repose essentiellement sur deux principes : la télé-alimentation et la rétro-modulation.

D'un point de vue physique, ces deux concepts reposent sur les phénomènes d'induction électromagnétique. La télé-alimentation est la méthode employée pour fournir l'énergie électrique nécessaire à l'alimentation de la puce contenue par le transpondeur. Le lecteur va produire un champ magnétique de nature non propagative qui permettra par un phénomène d'induction sur l'antenne du transpondeur de créer une force électromotrice dans celle-ci.

Une fois alimenté, le transpondeur, ne possédant pas de chaîne d'émission RF, utilise un phénomène de rétro-modulation en faisant varier son impédance de charge avec une modulation équivalente aux données à transmettre créant ainsi une variation du champ magnétique total qui pourra être détectée par le lecteur.

3.2.1 Description physique des phénomènes impliqués dans la télé-alimentation

Les antennes d'émission/réception RF sont généralement composées de fils métalliques. Pour un lecteur RFID fonctionnant en couplage magnétique à 13,56 MHz, cette antenne est une boucle de courant rectangulaire.

On considère que le système travail en champ proche ($d = 10 \text{ cm} \ll \frac{\lambda}{2} \approx 10 \text{ m}$).

Dans le cas d'une petite boucle de courant dl (figure 5), l'expression du champ magnétique rayonné se déduit de la résolution du potentiel vecteur pour donner en coordonnées sphériques :

$$\vec{H} = j \frac{I \cdot dl}{4\pi\beta \cdot r^3} (2 \cos\theta \cdot \vec{r} + \sin\theta \cdot \vec{\theta})$$

Dans le cadre de l'approximation en champ proche, on peut considérer que le champ magnétique est découplé du champ électrique et que l'énergie ne se propage pas. L'expression du champ magnétique créé par une boucle de courant donne alors la loi de Biot et Savart :

$$\vec{H} = \frac{I}{4\pi} \oint \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

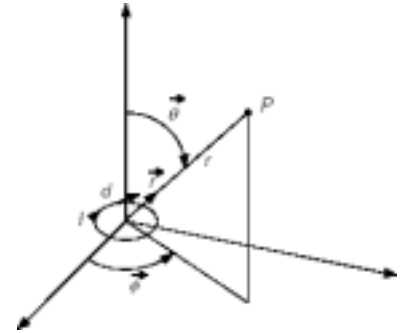


FIG. 5 – Petite boucle de courant

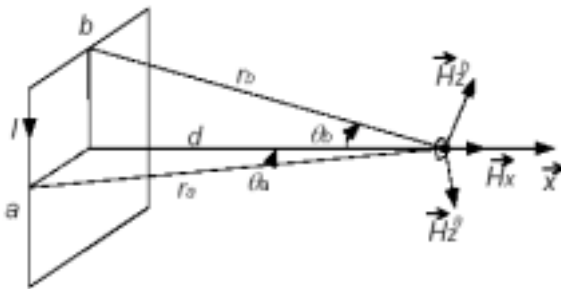


FIG. 6 – Boucle de courant rectangulaire

Pour une boucle de courant rectangulaire (figure 6), le champ magnétique est le résultat de la superposition des champs de chaque brin pris individuellement. Pour la composante x du champ, on a :

$$H_x = I \cdot \frac{2}{\pi} \frac{a \cdot b}{\sqrt{a^2 + b^2 + 4 \cdot d^2}} \left[\frac{1}{a^2 + 4 \cdot d^2} + \frac{1}{b^2 + 4 \cdot d^2} \right]$$

On peut alors caractériser la décroissance du champ magnétique en fonction de la distance à l'antenne (figure 7).

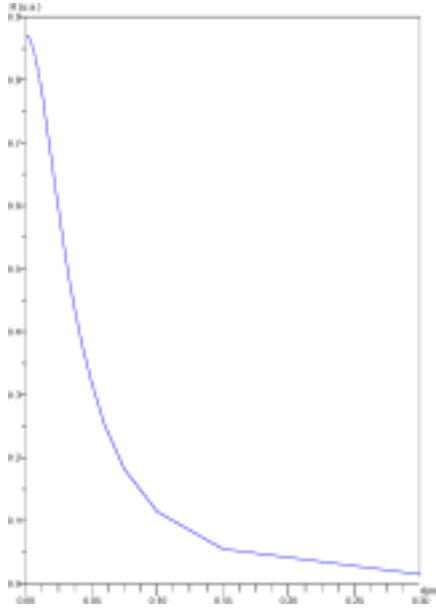


FIG. 7 – *Champ magnétique en fonction de la distance à l'antenne pour un courant de 50 mA*

L'antenne comporte une spire et mesure $5 \times 8 \text{ cm}$. Le champ devient très faible au delà de 10 cm.

L'énergie du champ magnétique sera stockée à proximité du lecteur. Pour l'exploiter, le transpondeur devra se situer à une distance suffisamment faible pour exploiter le phénomène d'induction. Son antenne de réception fonctionnera sur le même principe et créera une force électromotrice d'induction s'exprimant comme la dérivé par rapport au temps du flux du champ magnétique :

$$e = -\mu \frac{\partial}{\partial t} \oint H \cdot d\sigma$$

$d\sigma$ étant l'élément infinitésimal de surface traversé par le flux du champ magnétique.

Cette expression traduit en plus de la création de l'alimentation du transpondeur, la manière dont le lecteur va lui transmettre ses données. La force électromotrice induite dans l'antenne de l'étiquette dépend du champ magnétique du lecteur, ce dernier dépendant directement de l'intensité I alimentant l'antenne émettrice, il suffira de moduler le courant par un signal contenant les données à transmettre pour qu'elles soient communiquées par la modulation du champ H .

3.2.2 Rétro-modulation

La station de base couplée avec le transpondeur peuvent être assimilés au circuit primaire et secondaire d'un transformateur couplés avec un facteur de couplage électromagnétique k qui dépend des inductances propres de chacune des deux parties et de la mutuelle inductance due au couplage (figure 8).

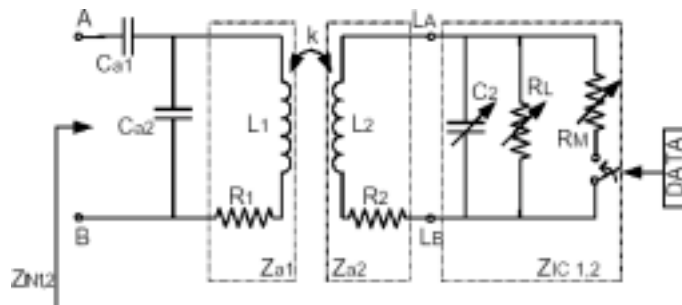


FIG. 8 – *Schéma électrique équivalent du lecteur couplé avec le transpondeur*

Les antennes boucles sont représentés par les inductances en série avec les résistances ($L1, R1$) pour le lecteur et ($L2, R2$) pour la carte. Les condensateurs $Ca1$ et $Ca2$ représentent l'adaptation d'impédance de l'antenne. Le circuit du transpondeur est modélisé par des composants à impédance variable (traduisant l'activité de la puce) et une résistance RM de modulation.

Dans le cas où le transpondeur est loin du lecteur, les circuits électroniques de chacun des appareils est adapté à son antenne. L'introduction de l'étiquette dans le champ magnétique de la station de base va être vue une comme désadaptation d'impédance du lecteur ce qui permet de détecter sa présence.

La rétro-modulation s'effectue alors en ouvrant et fermant l'interrupteur $DATA$ par la modulation introduite par les données à envoyer, ce qui va alors faire basculer l'impédance de charge du transpondeur de RL à RM .

4 Conclusion

Au cours de ce document, nous avons abordé plusieurs aspects généraux de la technologie RFID. Nous avons vu qu'hormis des dénominations liées aux diverses bandes de fréquences utilisées, les systèmes RFID répondaient avant tout à deux classes: les systèmes à couplage magnétiques et les systèmes à couplage électrique.

Nous avons pu aborder de manière générale l'organisation de ces deux classes et étudier plus en détails le fonctionnement d'un systèmes à couplage magnétique: la carte à puce sans contact.

En comparaison avec son potentiel d'application, le RFID n'est actuellement que peu utilisé. On retrouve essentiellement ce type de technologie chez les grands éleveurs pour le marquage du bétail (certains pays demandent également à ce que les animaux de compagnie portent une puce), dans les titres de transport en commun, les badges d'accès sur site ou le suivie d'en-cours ou de stock de production. Depuis les trois dernières années, des applications originales et fonctionnelles ont commencé à voir le jour comme notamment le suivi des produits frais (marquage de la chaîne du froid) ou encore la localisation spatiale.

Si les problèmes physiques liés à l'utilisation de puces RFID commencent à être très bien maîtrisés, en revanche, leur utilisation et intégration à grande échelle soulève quelques questions. En effet, si on est capable de tracer un produit sur une chaîne de production, il est également possible de continuer à tracer ce produit une fois dans le commerce, au même titre que les passeports RFID (récemment rendus obligatoire aux USA), qui contiennent toutes les informations sur l'identité de son propriétaire. Ceci entraîne donc un large problème d'éthique et de sécurité si un utilisateur malveillant ne désactive pas les puces contenues dans les produits ou cherche à lire à distance les informations contenues par une pièce d'identité.

Références

Livres

- Pour la théorie de l'électromagnétisme :

Richard Feynman : *Le cours de Physique de Feynman : Electromagnétisme I et II*, InterEdition Paris 1979

- Pour la rédaction :

Christian Rolland : *L^AT_EX par la pratique*, O'Reilly 1999

Publications et thèses

T. Nara et S. Ando : *Localization of RFID Tags from measurement of complex gradients of electromagnetic fields*, 2003

Matthai P. , Kenneth P. F. , Dieter F. , Dirk H. , Wolfram B. : *Mapping and localizing with RFID Technology*, Intel Department of Research december 2003

Stefan Barbu : *Conception et réalisation d'un système de métrologie RF pour les systèmes d'identification sans contact à 13,56 MHz*, Thèse de doctorat janvier 2005

Sites internet

www.progress.com, www.rfidupdate.com

Divers

Ce document a été entièrement rédigé grâce à la distribution TeXLive sous l'interface Winshell. Les courbes et schémas proposés sont issus soit de la documentation papier utilisée lors de la rédaction ou réalisés en utilisant les logiciels Scilab, OpenOffice et The Gimp.