

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

CENTRE REGIONAL RHONE-ALPES

CENTRE D'ENSEIGNEMENT DE GRENOBLE

UE ELE114 - Epreuve TEST

Travail d'Etude et de Synthèse Technique
en ELECTRONIQUE

Etat de l'art et applications des RFID

présenté par **Frédéric LETIENT**

le 9 Juin 2008 à Grenoble

devant le jury :

M Gérard HINCELIN	Responsable de la Chaire Electronique au CNAM de Paris
M Louis BALME	Responsable de la filière Electronique au CNAM de Grenoble
M Mathias Voisin	Directeur des Etudes au CNAM de Grenoble
M Eric SELLIN	Directeur des Etudes au CNAM de Grenoble
Mme Véronique PANNE	Enseignante de Communication au CNAM de Grenoble
Mme Cécilia Garnier	Enseignante de Communication au CNAM de Grenoble

Remerciements

Je tiens à remercier les membres du jury, non seulement pour avoir accepté de consacrer du temps pour la lecture de ce document mais également pour me permettre de leur présenter le résultat de mes recherches.

Je remercie tout particulièrement Monsieur Louis BALME, enseignant à l'IMAG et tuteur pour cet examen TEST, pour ce sujet qui devrait maintenant faire partie de la « culture générale » de l'ingénieur en électronique.

J'exprime aussi toute ma gratitude à l'association et à mes camarades de l'AI-CNAM-PST, l'Association des Ingénieurs du Centre National des Arts et Métiers de la Promotion Supérieure du Travail, qui m'ont apporté leur aide dans la re-lecture de ce rapport et dans le passage d'une soutenance à blanc.

Enfin, je remercie ma patiente femme et mes charmants enfants qui ont le bon goût de toujours se souvenir de moi malgré le peu de temps passé ensemble ces derniers mois.

A tous, merci.

Table des matières

Introduction.....	1
Chapitre 1 : Généralités sur la RFID : d'où vient-elle, qui est-elle ?.....	3
1.1 Ramifications de l'identification électronique.....	3
1.2 Description du principe de fonctionnement.....	4
1.3 Historique de la RFID.....	5
Chapitre 2 : Technologies.....	6
2.1 Technologie du transpondeur.....	6
2.1.1 Dispositifs sans circuit intégré (chipless).....	6
2.1.2 Dispositifs à semi-conducteurs (hors circuit intégré).....	7
2.1.3 Dispositifs à circuit intégré.....	7
2.2 Distance et fréquences	8
2.2.1 Distance d'utilisation.....	8
2.2.2 Fréquence d'utilisation.....	8
2.3 Mode de fonctionnement	9
2.4 Antenne et transfert d'énergie.....	9
2.5 Communication.....	10
2.5.1 Anticollision.....	10
2.5.2 Modulation.....	11
2.5.3 Codage.....	11
Chapitre 3 : Etat de l'art : données actuelles	12
3.1 Avancées et données technologiques actuelles.....	12
3.2 Systèmes alternatifs ou complémentaires.....	12
3.2.1 Rubee.....	12
3.2.2 Zigbee.....	13
3.2.3 BULP (WIBree).....	13
3.3 Le système NFC (Near Field Communication).....	13
3.4 RTLS (Real-Time Locating System).....	13
Chapitre 4 : Normes et standards.....	15
4.1 Les normes ISO.....	15
4.2 Le standard EPC (Electronic Product Code).....	16
4.3 Les normes sanitaires, human exposure.....	17
Chapitre 5 : Applications.....	18
5.1 Étiquetage d'objet principalement.....	18
5.2 Étiquetage avec référence directe ou potentielle aux individus.....	20
5.3 Applications hors catégories.....	22
5.4 Applications futures.....	23
Chapitre 6 : Marché actuel et prévisionnel.....	24
Chapitre 7 : Inquiétudes.....	25
7.1 Inquiétudes sécuritaires.....	25
7.2 Inquiétudes sanitaires.....	25
7.3 Inquiétudes psychologiques.....	26
Conclusion générale et perspectives.....	28
Liste des Acronymes.....	29
Bibliographie.....	31
ANNEXES.....	37

Index des illustrations

<i>Figure 1 : Code EAN-13 (linéaire).....</i>	<i>1</i>
<i>Figure 2 : Code 49 (linéaire empilé).....</i>	<i>1</i>
<i>Figure 3 : Code DataMatrix (bidimensionnel).....</i>	<i>1</i>
<i>Figure 4 : Infrastructure RFID simple et étendue.....</i>	<i>4</i>
<i>Figure 5 a) : Principe des transpondeurs à onde de surface.....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 5 b) : Transpondeur à onde de surface.....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 6 : Etiquette TFTC (source: polyic.com).....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 7 : Tags « passif », « actif », « télé-alimenté » et « assisté par batterie ».....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 8 : Exemples d'antennes de transpondeurs RFID.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 9 : Découpage UIT des régions du monde.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 10 : Code EPC en version 96 bits.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 11 : Projection du marché total RFID en billions de dollar US 2008, 2013, 2018</i>	<i>24</i>

Index des tables

<i>Tableau 1 : Description des distances d'utilisations.....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 2 : Fréquences utilisées en RFID.....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 3 : Récapitulatif des normes ISO concernées par la radio identification.....</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 4 : Normes ISO 18000-x pour la standardisation des interfaces RFID.....</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 5 : Revenu des tags RFID par marché en 2008.....</i>	<i>24</i>

Introduction

Le principal moteur du développement des RFID (Radio Frequency Identification) - ou identification par fréquence radio - fut le besoin de *traçabilité*, qui est défini comme étant "l'aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'un article ou d'une activité, ou d'articles ou d'activités semblables au moyen d'une identification enregistrée" (ISO 8402).

Ceci commença avec les documents et étiquettes manuscrites et les étiquettes à marquage alphanumérique. Par la suite sont venues les étiquettes à codes et codes barres imprimés linéaires, linéaires empilés ou bidimensionnels (cf. Figures 1, 2 et 3).



Figure 1 : Code EAN-13
(linéaire)

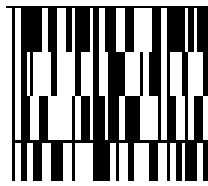


Figure 2 : Code 49 (linéaire
empilé)



Figure 3 : Code DataMatrix
(bidimensionnel)

Mais ces étiquettes nécessitent une visibilité directe (moins de 1 mètre), possèdent une capacité de mémorisation limitée par leur taille physique, sont non modifiables et facilement altérables (déchirure, tache, pliure). Certes elles ne sont que peu chères, mais leur caractère passif les rend inadaptées dans un nombre croissant de cas où le besoin de traçabilité ou d'identification se fait sentir.

D'autres possibilités existent dans les systèmes d'identification à données embarquées, mais ces systèmes utilisent une transmission de données par contact, ce qui les rend peu souples d'utilisation. De plus, le coût global de ces systèmes (type cartes à puce bancaires ou téléphoniques) est bien trop important pour une utilisation de masse.

C'est dans ces conditions que s'est développée l'identification électronique sans contact. Initialement limitée par l'impossibilité de réaliser la télé-alimentation, l'identifiant devait incorporer une pile ou un accumulateur, augmentant ainsi son volume, sa masse et donc son prix. Cette barrière technologique passée, l'usage des RFID pour les civils s'est effectué en premier avec le suivi de processus industriels et d'identification animale: ovins, bovins, animaux domestiques, etc.

Maintenant la RFID fait partie de notre vie quotidienne : passeport et carte d'identité, étiquettes de grandes surfaces, contrôle d'accès, systèmes anti-démarrage en sont quelques exemples. Le nombre d'applications va croissant avec les améliorations technologiques, la diminution de leur coût de fabrication, ainsi qu'avec le développement de systèmes embarqués télé-alimentés à mémoire, multi-applicatifs et intégrant un ou plusieurs capteurs (pression, tension, champ, etc.).

Le **premier chapitre** de ce travail se propose de présenter les ramifications de l'identification électronique, ainsi qu'un bref historique de la RFID et une description du principe de fonctionnement.

Le **second chapitre** expose la technologie et le fonctionnement de ces systèmes en donnant une description des distances et des modes de fonctionnements, des fréquences utilisées, des éléments matériels constitutifs (lecteur et étiquette), puis quelques détails sur leurs manières et protocoles de communication.

Un état de l'art technologique est fait au **troisième chapitre** en fournissant les données les plus récentes de la technologie, des développements en cours, en passant par les évolutions et technologies de remplacement possibles.

Les normes et standards en vigueur seront passés en revue au **quatrième chapitre**.

Le **cinquième chapitre** est consacré aux applications actuelles et futures d'ores et déjà envisagées, permettant de faciliter la compréhension du marché actuel et prévisionnel des RFID détaillé au **sixième chapitre**.

Pour compléter ce dossier, une brève mais nécessaire explication sur les inquiétudes liées à l'identification électronique sans contact est réalisée au **septième et dernier chapitre** : inquiétudes quant à la sécurité des systèmes et des transmissions de données, inquiétudes quant aux impacts physiologiques possibles. Le point final de ce chapitre expose les inquiétudes purement psychologiques, (mais qui n'en sont pas moins réelles) qui peuvent être déterminantes à court terme sur le développement, la commercialisation et la mise en place d'une application RFID quelconque.

Chapitre 1 : Généralités sur la RFID : d'où vient elle, qui est elle ?

En premier lieu, cernons l'intérêt de l'utilisation de la RFID par rapport aux historiques étiquettes à code ou code barres. Ceci constitue le « moteur » du développement de la radio identification.

L'avantage des étiquettes radiofréquence tient surtout à:

- La possibilité de mise à jour du contenu par les intervenants,
- Une grande (et grandissante) capacité de contenu,
- Une vitesse de lecture et écriture rapide,
- Une sécurisation possible d'accès au contenu,
- Une très grande durée de vie,
- Une grande souplesse de positionnement,
- Une faible sensibilité à l'environnement d'utilisation.

Par contre, ces étiquettes radio fréquence ont aussi des contraintes:

- Un coût toujours trop élevé même si il est à la baisse,
- La perturbation possible par l'environnement physique,
- Les perturbations induites par les transpondeurs entre eux,
- La sensibilité aux perturbations électromagnétiques environnantes,
- Les interrogations (et normes) concernant l'impact des ondes électromagnétiques sur la santé,
- Le respect des libertés individuelles et de la santé publique.

1.1 Ramifications de l'identification électronique

L'identification électronique se divise en deux branches: l'identification électronique « avec contact » et « sans contact » (*contactless*) dont fait partie la RFID.

L'identification avec contact s'effectue à l'aide de systèmes où la transmission de données est faite avec des contacts électriques. Les cartes à puces actuellement utilisées en France en sont un exemple.

L'identification sans contact a plusieurs ramifications:

- **Les systèmes à vision optique** qui nécessitent une visibilité directe et ont une distance de lecture de moins d'un mètre quel que soit le type de lecteur utilisé: œil, caméra , laser, scanner (avec éventuellement logiciel de reconnaissance de caractères), etc. Les codes barres en sont de bons exemples.
- **Les systèmes à liaison infrarouge** qui utilisent les longueurs d'onde aux environs de 800 nm, sont utilisés sur une distance allant du centimètre jusqu'à quelques mètres. Pour satisfaire à ces distances et à un grand débit d'informations, le faisceau émis a une très forte directivité. Nous pouvons citer en exemple les liaisons IRDA (Infra Red Data Association), et certains systèmes de télépéage.
- **Les systèmes à liaisons en fréquence radio** qui sont divisés en plusieurs branches liées aux applications (distance d'utilisation) ou aux caractéristiques techniques (fréquences, etc.).

1.2 Description du principe de fonctionnement

La technologie de la RFID est basée sur l'émission de champ électromagnétique par un « lecteur », ou « élément fixe », qui est reçu par l'antenne d'une ou plusieurs étiquettes, ou « éléments déportés » qui transmet un signal selon une fréquence déterminée vers une ou plusieurs étiquettes situées dans son champ de lecture.

Ce champ électrique ou magnétique sert de vecteur à l'information entre l'étiquette et son lecteur, ainsi que de support à l'énergie d'activation de ces étiquettes.

Une fois "réveillées" par le lecteur, ces étiquettes transmettent alors en retour un signal et un dialogue s'établit selon un protocole de communication prédéfini et les données sont échangées.

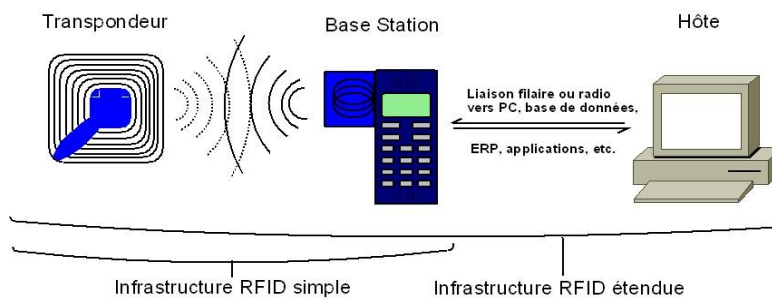


Figure 4: Infrastructure RFID simple et étendue

Le principe d'identification repose sur le fait que chaque transpondeur possède son identifiant unique UID (Unique ID) fréquemment codé sur 32 bits et qui est stocké en zone mémoire à lecture seule.

Ces différents éléments constituant une infrastructure RFID (présentée en figure 4) peuvent être nommés de différentes façons:

- L'élément déporté est appelé communément en français: identifiant, étiquette, transpondeur (pour TRANSmetteur – réPONDEUR). En anglais, la première traduction d'étiquette est « Tag » et la seconde est « Label ». Les appellations suivantes sont : « PIT » (Programmable Identification Tag soit étiquette d'identification programmable) et « Data Carrier » (porteur de données). Les autres appellations comme ICC, PICC ou VICC relèvent d'un vocabulaire normé (ISO) surtout lié aux modes de fonctionnement et seront explicités par la suite.
- L'élément fixe (ou pouvant être considéré comme fixe) est appelé interrogateur, lecteur (reader), Modem (MOdulateur / DEModulateur). Ce système pouvant aussi bien lire qu'écrire, le terme le plus approprié semble être celui de « Base Station ». Les autres appellations comme « Coupleur », CD (Coupling Device), PCD ou VCD relèvent d'un vocabulaire normé (ISO) surtout lié aux modes de fonctionnement et seront explicités par la suite.
- En amont de la base station il peut aussi y avoir un système dit hôte (host) qui peut être un simple ordinateur, mais ce dernier peut aussi être un serveur ou lié à un serveur, un progiciel quelconque (type ERP), une base de données, etc. L'infrastructure est alors dite « étendue ».

Les termes de « tag », « transpondeur » et « base station » pouvant être considérés comme étant les plus proches de la réalité physique, ils seront utilisés par la suite pour désigner ces éléments déportés et fixe.

1.3 Historique de la RFID

1938. La première application RFID est utilisée pendant la seconde guerre mondiale, parallèlement au développement de la radio et du radar (1935: Watson-Watt): Pour vérifier l'appartenance « amie » ou « ennemie » des avions arrivant dans l'espace aérien Britannique, les alliés placent dans leurs des balises répondant aux demandes des radars. Ce système dit IFF (Identify: Friend or Foe) est toujours la base utilisée pour le contrôle du trafic aérien.

1940. L'idée de l'identification à fréquence radio commence à germer avec les travaux de Harry Stockman [1], suivi des travaux de F. L. Vernon [5] en 1952 et ceux de D.B. Harris [6]. Leurs articles sont considérés comme les fondements de la RFID et décrivent les principes qui sont toujours utilisés aujourd'hui.

1966. Création de la société Sensormatic, fournisseur d'*EAS (Electronic Article Surveillance)* dont le principe est bien connu : quand l'étiquette passe entre les deux antennes, l'étiquette reçoit assez de puissance pour transmettre le signal « je suis là ! », qui déclenche une alarme. Cependant, durant cette période des années 60 au début des années 70, l'usage des RFID reste essentiellement militaire et surtout orientée vers le contrôle d'accès.

1973. Dépôt du brevet américain 3713148 de Mario Cardullo sur un transpondeur téléalimenté passif à mémoire, qui a été le première véritable ancêtre de la RFID moderne. Son brevet couvre l'utilisation de fréquences radioélectriques, le son et la lumière comme supports de transmission. Le business plan original, présenté aux investisseurs en 1969, couvrait les utilisations dans les transports (identification de véhicule automobile, système de péage automatique, électronique de plaque d'immatriculation, suivi de véhicule , surveillance des performances de véhicule), dans le secteur bancaire (carte de crédit électronique), dans la sécurité (identification personnel, portails automatiques, surveillance) et dans le domaine médical (identification, l'histoire du patient).

1975. La démonstration de puissance réfléchiée (modulated backscatter ou rétrodiffusion modulée) des tags RFID, à la fois passif et semi-passif, est réalisée par Steven Depp, Alfred Koelle et Robert Freyman au laboratoire scientifique de Los Alamos [5][7]. Le système portable fonctionne à 915 MHz et 12 bits sont utilisés par tag. Cette technique est utilisée par la majorité des transpondeurs RFID fonctionnant en *UHF* (Ultra Hautes Fréquences) et micro-ondes.

1979. L'utilisation de la RFID pour l'identification de bétail commence en Europe et aux Etats-Unis.

1990. IBM intègre, sur une seule puce, l'ensemble des composants nécessaires au fonctionnement d'un badge RFID.

1999. Création du « Auto-ID Center », formé par le MIT (Massachusetts Institute of Technology) et des partenaires industriels, une organisation sans but lucratif ayant pour mission la standardisation et la construction d'une infrastructure pour un réseau mondial de la RFID.

2003. EAN International, Auto-ID Center, UCC (Uniform Code Council) et des industriels créent le standard EPC (EPCglobal Version 1.0) intégrant les technologies RFID et Internet pour mettre en place le réseau de traçabilité des objets.[8]

2004. La FDA américaine (Food and Drugs Administration) approuve l'implantation sous cutanée de transpondeur RFID à des fins « médicales ». La chaîne de magasins « Wal-Mart » adopte le standard EPC.

Chapitre 2 : Technologies

2.1 Technologie du transpondeur

Il n'y a pas qu'un seul et unique type de transpondeur. Dans les multiples technologies existantes, voici les plus représentatives et prometteuses.

2.1.1 Dispositifs sans circuit intégré (chipless)

Divers procédés ont été utilisés: magnéto-acoustique, bobinage plat à radio-fréquences, dispositif à capacité, réseau de diodes, dispositif à encre, système à onde de surface, de type électrique ou chimique qui émettent des hautes fréquences lors d'un déplacement. La liste d'exemples décrits ci-dessous n'est pas exhaustive.

- Technologie des étiquettes RFID à encre conductrice (printed electronics) : Les étiquettes peuvent être imprimées directement sur l'objet ou l'emballage. Elles sont une solution souple, facile d'emploi et fiable. Une encre RFID bio-compatible pouvant être injectée sous la peau d'un animal (pour l'instant des vaches et des rats de laboratoires), collée ou tatouée, vient d'être testée [SOM07]. La fréquence utilisée est inférieure à 900 MHz, et 128 bits de données peuvent être stockés, la distance d'utilisation est d'un mètre environ.
- Technologie à onde acoustique de surface (Surface Acoustic Wave): 'le capteur SAW se compose d'un cristal piézoélectrique sur lequel sont montées des structures métalliques. La base station émet un signal électromagnétique qui est transformé en vibrations mécaniques par un transducteur (un dispositif convertissant une grandeur physique en une autre) fixé sur le capteur SAW. Cela provoque des ondes qui se diffusent sur la surface du cristal, avant d'être en partie réfléchies par des réflecteurs et retransformées en ondes électromagnétiques. La disposition des réflecteurs forme un code précis qui identifie le capteur.' [CTR] (cf. Figure 5a et 5b) La fréquence utilisée est inférieure à 2,45 GHz, et 128 bits de données peuvent être stockés. La distance d'utilisation est de 7 à 10 mètres environ.

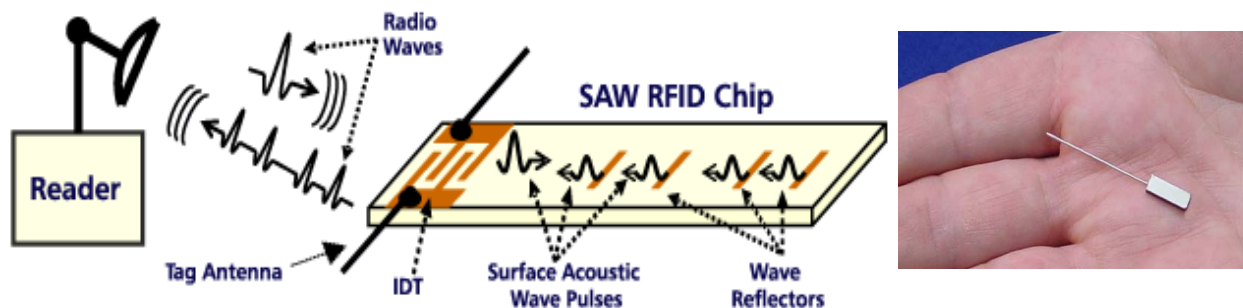


Figure 5 a) et b) : Principe des transpondeurs à onde de surface (source: rfsaw.com)

- Technologie de circuits à transistors sur film fin TFTC : la technologie des TFTC (Thin Film Transistors Circuits) consiste en des dépôts chimiques sur des films en plastique. Une solution est d'enduire le substrat avec du polysilane, et de l'éclairer par la lumière laser pour créer du silicium polycristallin. Les circuits TFTC peuvent être déposés directement sur les emballages ou sur des supports flexibles (cf. Figure 6). La fréquence utilisée est inférieure à 13,56 MHz, et 128 bits de données peuvent être stockés.

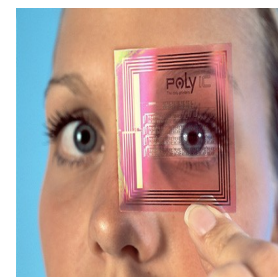


Figure 6: Étiquette TFTC (source: polyic.com)

2.1.2 Dispositifs à semi-conducteurs (hors circuit intégré)

Ces transpondeurs, souvent à diode capacitive, sont surtout utilisés dans les applications de types EAS (pour la surveillance contre le vol). De conception très simple et peu chère, ce type de dispositif s'appuie sur la particularité qu'ont ces diodes à utiliser l'énergie emmagasinée dans leur capacité pour amplifier les fréquences harmoniques de l'onde reçue et re-rayonner celles-ci.

2.1.3 Dispositifs à circuit intégré

Les transpondeurs munis de circuits intégrés (cf Annexe D) représentent encore la plus grande partie du marché de la RFID. Plusieurs « options » ou « versions » sont possibles pour ces dispositifs à circuit intégré (Figure 7 en bas de page) :

- Dispositifs à téléalimentation :
Un transpondeur est dit téléalimenté s'il tire tout ou partie de son énergie de l'onde électromagnétique émise par la base station qu'il reçoit, redresse, stock et utilise. Ce type de dispositif représente la grande majorité des transpondeurs utilisés actuellement.
- Dispositifs avec batterie (battery assisted) ou sans batterie (batteryless) :
Certains transpondeurs peuvent avoir besoin d'une énergie plus importante que celle transmise par la base station (via l'onde électromagnétique) afin de pouvoir fonctionner correctement. Dans ce cas, tout ou partie des sous-ensembles (les plus gourmands) peut être relié à la batterie : mémoire importante, microprocesseurs ou micro-contrôleurs intégrés, système d'émission propre (dispositif actif), etc. **sont alors nommés** dispositifs assistés par batterie qui peut être rechargeable ou non. Les dispositifs sans batterie sont donc implicitement télé-alimentés.
- Transpondeurs actifs ou passifs :
Un dispositif est dit actif lorsqu'il comporte à son bord un émetteur RF afin d'assurer la liaison descendante vers la base station. Cette transmission ne se faisant plus avec l'onde rétro-diffusée (back scattering), ces dispositifs d'utilisation longue distance sont assistés par batterie. Par contre, un dispositif passif (sans émetteur RF incorporé) peut être télé-alimenté, comme assisté par batterie.

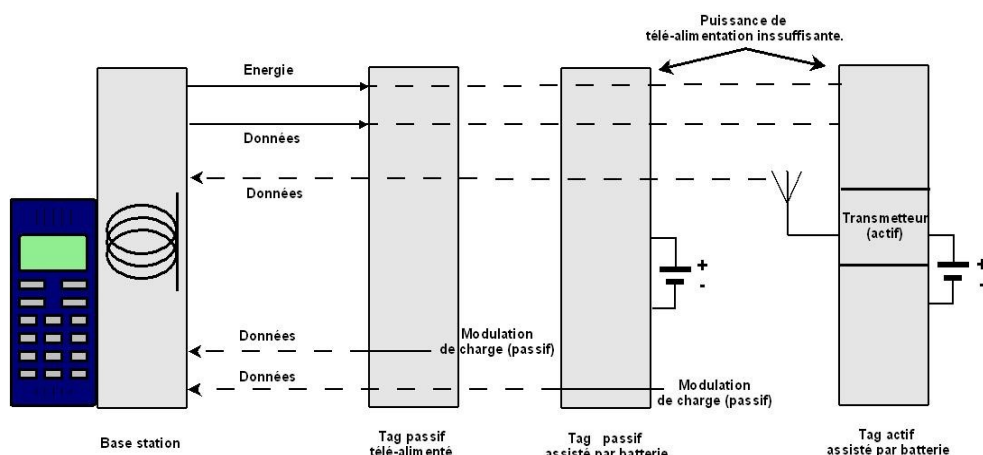


Figure 7: Tags « passif », « actif », « télé-alimenté » et « assisté par batterie » Source: [PAR08]

La liaison montante (forward link) part logiquement de l'émetteur (base station) pour aller vers le récepteur (transpondeur). Inversement, la liaison descendante (return link) part du transpondeur vers la base station. Entre les deux se trouve le support des ondes électromagnétiques nommé le canal de transmission ou médium, qui est normalement constitué par l'air.

2.2 Distance et fréquences

2.2.1 Distance d'utilisation

Parmi les premières caractéristiques importantes du cahier des charges d'une application RFID, la distance d'utilisation est en bonne place, et son découpage (lié aux caractéristiques physiques des éléments ou procédés mis en jeux) est illustré au tableau 1 :

	Distance	Objectif / exemple d'application
Très courte distance	Du contact à < 5 mm	Isolation galvanique souhaitée. Contrôle d'accès
Courte distance (short range)	Du contact à 30 mm	Immobiliseur de véhicule, contrôle d'accès
Proximité (proximity)	De ≈ 5 à 15 cm	Carte de paiement, de transport
Voisinage (vicinity)	De ≈ 30 cm à 1 mètre	Suivi de chariots, de bagages en aéroport
Longue distance (long range)	De ≈ 1 à 10 mètres	Lecture de palettes, inventaire de petit locaux
Très longue distance	A partir de 10 mètres	Identification container, gestion en entrepôt

Tableau 1 : Description des distances d'utilisations

Il est à noter qu'aucune norme ne spécifie les distances d'utilisation.

2.2.2 Fréquence d'utilisation

La fréquence utilisée est « relativement libre », et son choix reste un compromis selon le type d'application visé et les performances recherchées (cf. Annexe A).

Le débit d'information entre la base station et le transpondeur est plus important à fréquence élevée qu'en fréquence basse. Les débits importants permettent l'intégration de plus de fonctions dans les transpondeurs (cryptographie, mémoire plus importante, système anticollision).

Les principales fréquences d'utilisations sont données dans le tableau 2 suivant:

Bande	LF	HF	UHF	UHF (haute) et SHF
Fréquences	125 kHz à 133 kHz	3,25 MHz, 8.2 MHz et 13.56 MHz	440 MHz, 860 à 960 MHz	2.45 GHz, et 5.8 GHz
Type de couplage	Inductif	Inductif	Radiatif	Radiatif
Distance d'utilisation maximale en télé-alimentation	2 à 3 mètres	1 à 5 mètres	<12 mètres USA <6 mètres Europe	<2.30 mètres USA <0.81 mètres Europe
Limites de fonctionnement	Peu sensible aux perturbations électro-magnétiques industrielles	Faiblement sensible aux perturbations électro-magnétiques industrielles	Sensible aux perturbations électro-magnétiques. Peut être perturbé par les autres systèmes UHF à proximité	Fortement sensible aux perturbations électro-magnétiques réfléchies par le métal et absorbées par l'eau

Tableau 2: Fréquences utilisées en RFID

La distance d'utilisation n'est donnée qu'à titre indicatif car elle est fonction:

- Du besoin énergétique et donc de la télé-alimentation : un transpondeur en lecture seule aura une distance d'utilisation plus importante qu'un autre pour lequel il faudra lire et écrire,
- De la présence ou non d'autres fonctions embarquées dans le transpondeur (capteurs, cryptage, mémoire, etc.)
- De l'avancement des technologies (réduction de la consommation électrique),

- De la « qualité » du transfert d'énergie entre la base station et le transpondeur.
- De la puissance autorisée par les normes en vigueur sur le lieu d'utilisation,

Cette liste n'est -bien sûr- pas exhaustive.

2.3 Mode de fonctionnement

Il existe plusieurs types de fonctionnement et de communication possibles pour les transpondeurs :

- **Lecture seule** : il est uniquement possible de lire le transpondeur. Ses informations (et son identité) peuvent avoir été inscrites préalablement par le fabricant, ou le transpondeur peut avoir été livré vierge et c'est l'utilisateur qui en détermine le contenu. Dans ce dernier cas, il s'agit d'une seule écriture, et lecture multiple WORM (Write Once, Read Multiple). Les étiquettes des produits vendus en hypermarchés en sont un exemple.
- **Lectures et écritures multiples** : l'objectif est la réutilisation du transpondeur et/ou la mise à jour de ses informations. Certaines zones mémoires peuvent n'être programmées qu'un nombre déterminé de fois dans le cas du mode MTP (Multiple Time Programmable), ou programmées de manière illimitée (ou seulement par la technologie) dans le cas du mode R/W (Read/Write). Le suivi sur les chaînes de productions des produits (fabrication, puis mise au point, test, etc.) en est un exemple.
- **Lectures et/ou écritures protégées** : la protection des données « secrètes » lues ou écrites peut être faite de manière logicielle (mots de passe), ou matérielle (timing particulier, etc.), et appliquée pour tout ou partie de la mémoire. Dans le cas de l'écriture il peut aussi y avoir des zones mémoires programmables de manière unique, dite OTP (One Time Programmable) indépendamment du type de lecture possible.
- **Lecture et/ou écriture sécurisées, cryptées** : la sécurisation tient à l'authentification des partenaires (base station – transpondeur) habilités à correspondre ensemble, par des codes évolutifs ou tournants par exemple. Le cryptage des données échangées entre la Base station et le Transpondeur sert à contrer les écoutes clandestines et pirates.

Du côté de la base station, deux possibilités sont offertes. A la portée de son champ d'action (et électromagnétique) soit il y a lecture et/ou écriture :

- D'un transpondeur unique,
- De multiples transpondeurs.

Dans ce dernier cas, nous parlerons de **collision** lorsque plusieurs transpondeurs tenteront de répondre en même temps à la base station qui, bien évidemment, ne sachant comment différencier ses interlocuteurs, ne peut plus rien comprendre .

Pour résoudre ce problème des systèmes « **anti-collision** » ont été développés, mis en place -ou non- dans TOUS les éléments: base Station ET transpondeurs.

2.4 Antenne et transfert d'énergie

Pour les transpondeurs, il existe de nombreux types d'antennes différenciées par leurs formes, leurs matériaux, leurs gains, leurs technologies de fabrication. Elles sont toujours spécialisées pour un type de transpondeur (suivant les caractéristiques du circuit intégré ou autre), une application, une distance et une fréquence d'utilisation.

D'un point de vue forme, nous pouvons citer les antennes à une dimension (plates carrées rondes, en huit, etc.) ou à deux dimensions (cylindriques, etc.) comme les exemples présentés en Figure 8.

Leurs matériaux dépendent aussi de la technologie de fabrication. Citons par exemple les antennes en cuivre faites directement sur les circuits imprimés, celles en cuivre bobiné, celles en argent ou en encres conductrices imprimées directement sur un support papier ou plastique, etc.

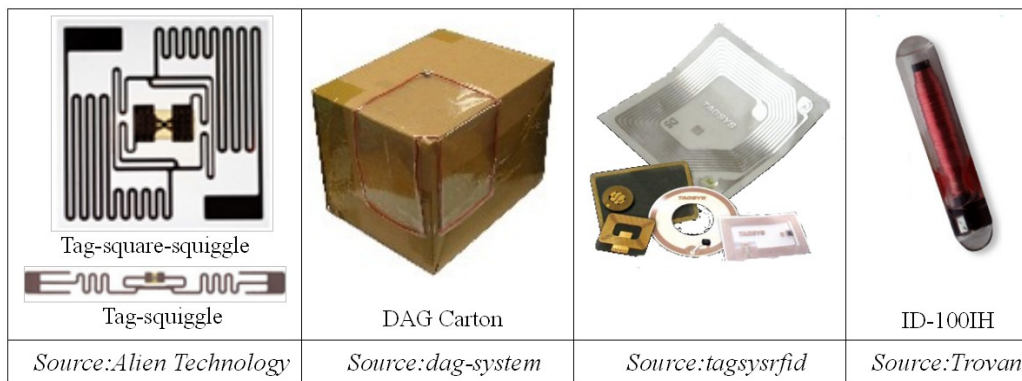


Figure 8 : Exemples d'antennes de transpondeurs RFID

Le transfert d'énergie entre la base station et le transpondeur dépend de nombreux paramètres dont :

- Le type de couplage: inductif ou radiatif,
- La distance entre les antennes d'émission et de réception,
- Les différents niveaux de puissance dispersée, re-rayonnée et réfléchi par le tag,
- Les différents gains des antennes d'émission et de réception,
- Le coefficient de couplage, l'absorption des matériaux présents dans l'environnement, etc.

Le transfert d'énergie peut s'effectuer soit par **couplage inductif** (champ proche), soit par **couplage radiatif** (par rayonnement, champ lointain). Un champ électromagnétique variable arrivant sur une boucle ouverte engendre une différence de potentiel entre les extrémités de la boucle : le couplage est radiatif. Les systèmes qui utilisent l'induction du courant dans une bobine pour transférer des données ou de la puissance électrique sont dits utilisant le couplage inductif.

2.5 Communication

Une communication commence dès que le premier interlocuteur parle. Le tout étant maintenant de savoir qui de la base station ou du transpondeur va, peut ou doit parler en premier. Deux possibilités s'offrent et s'opposent :

- Le transpondeur parle en premier : TTF (Tag Talk First) ou ATR (Answer To Reset).
- La base station parle en premier : RTF (Reader Talk First) ou ATQ (Answer To reQuest).

C'est bien cette dernière manière de procéder qui est prise comme standard, notamment à cause du fait qu'en présence de plusieurs transpondeurs TTF en mêmes temps et lieu, la base station ne peut distinguer ses interlocuteurs.

Une fois la communication engagée, le dialogue peut être alterné (**Half duplex**), ou simultané (**Full Duplex**) entre les liaisons montantes et descendantes. Une écrasante majorité des systèmes RFID utilise le mode alterné. La communication est toujours numérique (0 ou 1) entre base station et transpondeurs.

2.5.1 Anticollision

L'origine d'une collision est la présence en même temps d'au moins deux transpondeurs dans la même zone d'action d'une base station. A ce moment, les messages envoyés par ces transpondeurs (TTF comme RTF) à la base station se superposent et interfèrent entre eux. Dans ce « bruit », la base station ne peut comprendre les messages.

Des procédures et systèmes d'anticollision ont donc été développés, dont un grand nombre sont brevetés et bien protégés.

Les deux principales ont l'une une approche temporelle, et l'autre une approche déterministe :

- La méthode temporelle : la base station donne aux transpondeurs une série de canaux de temps (Time slots, intervalles de temps) dans lesquels ils peuvent répondre. Les transpondeurs choisissent de façon aléatoire le canal de temps dans lequel ils vont répondre. Si un marqueur est le seul à répondre dans ce canal de temps, il est détecté et inhibé par le lecteur. S'il y a plusieurs marqueurs qui répondent en même temps, il sera nécessaire d'effectuer à nouveau cette séquence. Petit à petit, tous les marqueurs sont connus et inhibés, il suffit alors au lecteur de réactiver le marqueur avec lequel il souhaite communiquer. En pratique, le côté aléatoire fait que la durée de cette méthode est inconnue mais en utilisant au moins deux fois plus d'intervalles que de transpondeurs supposés présents, elle est souvent plus rapide que la méthode systématique.
- La méthode systématique : il existe de nombreux brevets décrivant des méthodes systématiques. Cette méthode consiste à détecter puis inhiber tour à tour tous les marqueurs en balayant toutes les UID par décroissance (de l'adresse la plus élevée à celle la plus basse). En pratique, cette méthode peut parfois s'avérer longue mais, en ayant une idée du nombre de tags présents dans la zone d'action, la quantification du temps total d'identification est fiable.

2.5.2 Modulation

Plusieurs types de modulation sont utilisables en applications sans contact pour la liaison montante : modulation d'amplitude (ASK Amplitude Shift Key), modulation de fréquence (FSK Frequency Shift Key), modulation de phase (PSK Phase Shift Key), etc.

La plupart des applications RFID utilisent la modulation de porteuse type ASK d'indice de modulation $m = 10\%$ ou $m = 100\%$. L'efficacité énergétique de la modulation ASK d'indice $m = 100\%$ est plus importante que pour un indice de $m = 10\%$ (autorisé de 8 à 14%), ce qui rend possible une plus grande distance d'utilisation, l'utilisation de puce plus puissante (intelligente), ou la diminution de la puissance émise par la base station.

Le type de modulation utilisé par les transpondeurs téléalimentés passifs sans batterie est une modulation de charge. Cependant, à partir du moment où le transpondeur est actif, d'autres types de modulations peuvent être plus avantageux pour le débit, la vitesse de transaction, etc.

2.5.3 Codage

Le type de codage bit utilisé dépend des phases de fonctionnement : phase de test de fonctionnement, phase d'anticollision, phase utile de communication, etc. La encore, de nombreuses possibilités sont offertes: RZ (Retour à zéro) ou NRZ (Non RZ), Miller ou Miller modifié, Manchester, CDP (Conditioned Diphasé Procedure), codage de position, etc.

Le choix du codage bit est possible, et un compromis est nécessaire pour l'obtention des performances souhaitées c'est-à-dire de permettre :

- pour la liaison montante :
 - d'avoir une bonne efficacité de transfert d'énergie,
 - de laisser du temps de travail et calcul au transpondeur pendant la transmission,
 - d'assurer un bon rapport signal sur bruit,
 - etc.
- pour la liaison descendante :
 - de minimiser la consommation énergétique pendant son fonctionnement,
 - de faciliter la détection par la base station, même en présence de bruit et en présence d'autres transpondeurs
 - etc.

Chapitre 3 : État de l'art : données actuelles

3.1 Avancées et données technologiques actuelles

Les avancées technologiques sont sur plusieurs axes :

- Micro-électronique : La taille minimale d'un circuit intégré RFID est actuellement de **0.05 x 0.05 mm**, et a été développée par Hitachi en début 2007.[10] Ceci a pour effet de diminuer la consommation électrique, et augmente donc la distance d'utilisation de ces transpondeurs. la commercialisation de ce produit est prévue pour l'année prochaine. La version précédente était de 0.15 x 0.15 mm, provenant du même fabricant, réalisée en 2006.
- La distance d'utilisation est en augmentation: le record (en produit commercialisé) est de **200 mètres** de portée en UHF avec des transpondeurs actifs [11].
- De nouvelles techniques et technologie d'alimentation des transpondeurs voient le jour: les générateurs thermoélectriques de faible puissance [12], ou les batteries à films fins [13][14] (en produit commercialisé). D'autres axes de recherche vont vers les nano-générateurs[15], et une connection au corps humain (muscle, cerveau).
- Les technologies des transpondeurs sans puce sont en passe de retourner leur position sur le marché vis à vis des circuits intégrés, en particulier les technologies à encre qui ont un coût de fabrication très faible et pourraient être adoptées par tout l'agroalimentaire.[16].
- L'intégration de capteurs embarqués en transpondeurs RFID existe déjà: les capteurs de pression, d'hygrométrie, de température, de contrainte, de vibration, de choc, d'accélération, de présence de certains gaz, de champ électromagnétique. Pour ce type de capteur, les transpondeurs commercialisés sont légions. Maintenant, de nouveaux capteurs pour des analyses biologiques, comme la mesure du taux de glucose [17] par exemple, apparaissent et sont en cours de développement.
- La taille des implants pour le vivant diminue : un cylindre de **1 x 6 mm** est industrialisé pour les animaux [18], alors que les implants humains « plus intelligents » (Tag avec capteurs et mémoire) ont une taille double [19][20].
- Une utilisation universelle : des transpondeurs multibandes à antennes fractales [21], et des lecteurs universels (multibandes, multiprotocoles et multicodages) [22].

3.2 Systèmes alternatifs ou complémentaires

De différents et nouveaux protocoles et modes de communication sans fils à fréquence radio sont concurrents ou complémentaires aux protocoles RFID.

3.2.1 RuBee

Le protocole **RuBee** est référencé IEEE P1902.1. Il s'agit d'un protocole peer-to-peer fonctionnant en bidirectionnel et à la demande. Il a comme gros avantage, par rapport aux protocoles RFID, de n'être pas affecté par les liquides et de pouvoir émettre aussi bien sous l'eau qu'enterré ou sur du métal. Il opère à la fréquence de 450 kHz, fréquence basse qui permet

d'économiser la batterie (qui peut durer 10 à 15 ans). La transmission se fait à un débit allant de 300 à 9.200 bits/s dans un rayon de 3 à 20 mètres. Le protocole RuBee aura le même usage que le protocole RFID et sera interopérable. [23][24]

3.2.2 ZigBee

ZigBee est un protocole de communication basée sur le standard IEEE 802.15.4 pour les réseaux à dimension personnelle lents (low rate Wireless Personal Area Networks : WPAN), de machine à machine (M2M). Cette technologie a pour but la communication de courte distance telle que le propose déjà la technologie Bluetooth, tout en étant moins chère et plus simple. Ses avantages sont sa très faible consommation électrique et ses coûts de production très bas. ZigBee a surtout été développé pour les matériels de type capteur, télécommande ou équipement de contrôle dans le secteur industriel. Les débits autorisés sont faibles, entre 20 et 250 kbits/s, et la bande de fréquences utilisée est celle des 2,4 GHz sur 16 canaux. La portée autorisée du protocole est d'environ 100 mètres [25][26][27].

3.2.3 BULP (WiBree)

Le protocole BULP (Bluetooth Ultra Low Power), né sur les bases du WiBree de Nokia [28] devrait être référencé IEEE 802.15.1

Le secteur d'application visé est le domaine médical et sportif pour appareils communicants échangeant des données (mesure de la pression sanguine, rythme cardiaque, taux de glucose, poids, etc.) avec des téléphones portables, des ordinateurs ou d'autres appareils médicaux Bluetooth. Le débit est de 1 Mbit/s, et la bande de fréquence utilisée est celle des 2,4 GHz sur 3 canaux. La portée autorisée du protocole est d'environ 10 mètres [29][30].

3.3 Le système NFC (Near Field Communication)

Le système NFC est une application utilisant la technologie RFID à 13,56 MHz destiné à la reconnaissance mutuelle à très courte distance (de 0 à 20 cm), avec un débit de 212 kbits/s.

Le protocole utilisé « NFCIP » est normalisé par l'ISO (ISO/IEC 18092) et s'appuie sur l'identification sans contact . Ce système est soutenu par le consortium ECMA International (MasterCard International, Microsoft, Motorola, NEC, Nokia, Panasonic, Philips, Renesas, Samsung Electronics, Sony, Texas Instruments et Visa).

Les champs d'application de cette technologie sont notamment les systèmes de paiement et les communications entre dispositifs électroniques tels que téléphones cellulaires, PCs, PDAs, téléviseurs, consoles de jeu, etc. Les avantages de cette technologie sont une identification mutuelle entre dispositifs, et sa très courte distance d'utilisation qui rend peu probable le piratage ou brouillage de la communication sans que l'opérateur ne s'en rende compte. De plus, la prise en charge d'un mode de communication passif permet d'augmenter la durée de vie des piles ou batteries [31].

3.4 RTLS (Real-Time Locating System)

Le système de géolocalisation RTLS permet de localiser rapidement et facilement les personnes et les équipements présents dans une zone déterminée.

Il existe plusieurs systèmes et technologies possible :

- suivant l'angle d'arrivée (AoA Angle of Arrival)
- suivant la propagation en ligne de vue (LoS Line of Sight)
- suivant le temps d'arrivée (ToA Time of Arrival)
- etc.

Particulièrement, le système *Ekahau* RTLS fonctionne en temps réel, transmettant les informations aux utilisateurs autorisés via le réseau d'entreprise. En règle générale, un système RTLS est constitué de balises, de périphériques de référence permettant de localiser ces balises, d'un réseau de données, de logiciels serveur et d'applications destinées à l'utilisateur final. *Ekahau* RTLS utilise les points d'accès Wi-Fi standard (802.11a/b/g) existants en guise de périphériques de référence pour la localisation des balises et de réseau de données. Le recours aux points d'accès Wi-Fi standard permet de réduire l'investissement du système *Ekahau* RTLS et de simplifier le déploiement par rapport aux solutions RTLS concurrentes, qui nécessitent des périphériques de référence et des réseaux de données propriétaires. Les normes ISO applicables sont les ISO 19762 et ISO 24730-x [32][33].

Chapitre 4 : Normes et standards

L'objectif principal des organismes de normalisation et des normes est d'assurer l'interopérabilité des équipements, la facilité d'utilisation et la diminution des coûts finaux de ces équipements.

Un des (bons) effets de la normalisation est aussi la lutte contre le protectionnisme, les systèmes propriétaires, les licences et brevets, ainsi qu'un développement plus rapide au niveau mondial de l'équipement normé.

Pour autant, faute de réglementation réelle (imposition par loi, décrets, etc. qui relève de la volonté de chaque état), peuvent subsister et proliférer les systèmes dits « propriétaires ».

Il est à noter que l'application des normes citées ci-dessous ne soustrait pas les concepteurs et vendeurs au respect des normes annexes pour tout produit commercialisé en un périmètre particulier.

Citons en exemple :

- les recommandations de l'UIT (Union International des Télécommunications), dont le découpage du globe est présenté à la Figure 9,
- pour les Etats-Unis, les normes ANSI (American National Standard Institute) et la FCC (Federal Communications Commission) avec le code de régulation fédérale des systèmes à fréquences radio (CFR Titre 47, chapitre 1, partie 15),
- les normes de l'ETSI (European Telecommunications Standard Institute) de la famille EN 300-xxx-x sur le rayonnement électromagnétique,
- en France, les documents de l'ANFR (Agence Nationale des Fréquences) et de l'ARCEP (Autorité de Régulation des communications Electroniques et des Postes, ex-ART),



Figure 9 : Découpage UIT des régions du monde

Outre les normes fréquentielles ou techniques (matériel, logiciel, protocolaires, etc.) il reste aussi les différentes normes à respecter des organismes mondiaux, régionaux, continentaux, locaux comme celles de Radio protections ou de privauté.

Pour (ne pas) simplifier les choses, les puissances émises normalisées (et autorisées) sont très différentes suivant les régions du monde, d'où des distances d'utilisations aussi différentes.

En Europe, l'unité est le watt calculé en ERP (Effective Radiated Power), en Amérique l'unité est toujours le watt mais cette fois calculé en EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power). Le rapport entre les deux unités est le suivant: $1\text{ W ERP} = 1.62\text{ W EIRP}$.

4.1 Les normes ISO

Aujourd'hui, les produits proposés par deux constructeurs différents peuvent ne pas être interopérable. C'est l'objet du comité ISO/JTC1/SC31/WG4 de définir un standard dans ce domaine. Ce comité est relayé en France par la Commission de Normalisation 31 à l'AFNOR.

L'analyse des différents chantiers est suffisamment importante pour mériter un rapport entier. On se contentera ici de donner un récapitulatif (cf. Tableau 3), ainsi que la liste des normes concernées en Annexe B.

Certaines normes particulières existent depuis plusieurs années et d'autres sont en projet.

Références principales	Intitulé
14223, 11784, 11785, 24631	Identification des animaux
17363 à 17367	Applications de la chaîne d'approvisionnement de RFID.
15961, 15962, 18000	Identification par radiofréquence (RFID) pour la gestion d'objet.
10536, 14443, 15693	Cartes d'identification -- Cartes à circuit(s) intégré(s) sans contact.
19762, 24730	Techniques automatiques d'identification et de saisie de données (AIDC).
24729	Identification par radiofréquence de gestion d'article.

Tableau 3 : Récapitulatif des normes ISO concernées par la radio identification

Les normes ISO 18000-x pour l'identification sans contact des articles, définissent les données essentielles de couche physique et de protocole de communication (y compris les dispositifs anti-collision) pour permettre les échanges entre les étiquettes et les lecteurs. Le découpage de ces normes est fréquentiel (cf. Tableau 4).

Références	Fréquences concernées	Intitulé	Edition
18000-1	Vocabulaire, définitions, cadrage	Partie 1: Architecture de référence et définition des paramètres à normaliser	13/09/2004
18000-2	135 kHz	Partie 2: Paramètres de communications d'une interface d'air à moins de 135 kHz	13/09/2004
18000-3	13,56 MHz	Partie 3: Paramètres de communications d'une interface d'air à 13,56 MHz	13/09/2004
18000-4	2,45 GHz	Partie 4: Paramètres de communications d'une interface d'air à 2,45 GHz	31/08/2004
18000-5 *	5,8 GHz	Partie 4: Paramètres de communications d'une interface d'air à 5,8 GHz	Abandonnée
18000-6	860 - 960 MHz	Partie 6: Paramètres de communications d'une interface d'air entre 860 MHz et 960 MHz	31/08/2004
18000-7	433 MHz	Partie 7: Paramètres de communications actives d'une interface d'air à 433 MHz	15/01/2008

* La réalisation de la norme 18000-5 a été abandonnée en février 2003, faute de consensus.

Tableau 4 : Normes ISO 18000-x pour la standardisation des interfaces RFID dans le domaine des articles.

La norme de base décrivant les systèmes de communications interconnectés OSI (open Systems Interconnexions) est la norme ISO 7498 de 1984.

Enfin, les derniers points manquants concernent les normes des tests de performances systèmes (comparons ce qui est comparable, à mesures identiques) que sont les normes ISO 18046-x, et celles concernant les tests de conformité que sont les normes ISO 18047-x.

4.2 Le standard EPC (Electronic Product Code)

En 2003, EAN International, Auto-ID Center, UCC (Uniform Code Council) et des industriels créent le standard **EPC (EPCglobal Version 1.0)** intégrant les technologies RFID et Internet pour mettre en place le réseau de traçabilité des objets [34].

Le standard EPC se compose d'un système de codification séquentielle des produits, l'Electronic Product Code, d'un standard d'étiquette RFID et d'un réseau de partage d'informations, l'EPC Network. Ces trois éléments constituent ainsi des solutions de traçabilité et de gestion de la chaîne d'approvisionnement (Supply Chain). Le système EPC est compatible avec les standards EAN/UCC.

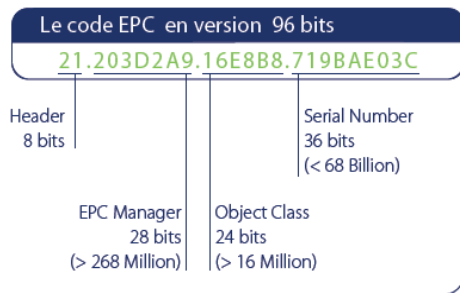


Figure 10 : Code EPC en version 96 bits
(Source : GSI)

L'EPC (Electronic Product Code) est un numéro unique attribuable à chaque objet manufacturé (cf. Figure 10). Ce code peut servir à l'obtention d'informations (statuts, localisation, etc.) via le réseau EPC Network (cf. Annexe C).

Il s'agit de « l'Internet des objets » qui est développé, et dont les objectifs semblent aussi être l'anticipation de la demande, la gestion des flux, des stocks ou pénuries.

Ce standard évolue et s'agrandit très vite avec la mise en place chez nombre d'industriels et distributeurs (Wal Mart, Carrefour, Procter et Gamble, Coca-cola, etc.).

4.3 Les normes sanitaires, human exposure

Le propre des systèmes de communications radiofréquences est d'être des systèmes ouverts. Outre les normes de régulation de rayonnement et de pollution de ces ondes, celles ayant trait aux problèmes de santé dus aux rayonnements et aux problèmes de sécurité (électrocutions, etc.) sont aussi importantes.

Mais la normalisation est loin d'être simple, à la vue des diversités de régulations, de lois et d'exceptions variant d'un état à l'autre.

Parmi les différents organismes qui régissent ces paramètres, citons :

- l'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) au niveau mondial,
- CENELEC-UTE (Union Technique de l'Electricité) au niveau français.
- l'ANSI, l'IEEE aux Etats-Unis.

La norme EN 50357 définit les termes principaux :

- « le rapport d'absorption Spécifique (SAR) est la dérivée (mathématique) prise par rapport au temps de l'énergie incrémentale absorbée dans un incrément de masse. » Il s'exprime donc en watt / gramme.
- le MPE (Maximum Permissible Exposure) est la durée d'exposition (aux ondes électromagnétiques) maximale permise.

Pourtant, les termes sont insuffisants et laissent encore un grand flou sur les chiffres et limitations exactes qui sont difficilement calculables sachant que les caractéristiques (conductivité, permittivité, etc.) du corps humain sont hétérogènes.

A titre d'exemple, une base station à usage de lecteur de proximité de cartes à puce sans contact fonctionnant à 13,56 MHz, et avec une puissance appliquée à l'antenne de 0,6 watt donne un SAR de l'ordre de 40 à 50 mW/kg (en prenant la conductivité moyenne de $\sigma = 0,51 \text{ S/cm}$ et une permittivité moyenne $\rho = 1,04 \text{ g/cm}^3$).

Il est à noter que l'ISO ne travaille pas sur le sujet de l'exposition des êtres humains aux champs ionisants. Cependant il a été décidé en juin 2007 par le groupe SC31 (qui gouverne tous les travaux sur les normes techniques de la RFID) que toutes les normes de conformité produites devront indiquer que les émetteurs de radiations doivent se conformer aux normes ICNIRP (document EN 50357 : 2001).

Chapitre 5 : Applications

Les applications des systèmes RFID sont extrêmement nombreuses et s'enrichissent tous les jours de nouvelles idées soit ne tenant compte que du « matériel existant », soit en développant de nouveaux systèmes, soit enfin en couplant différents dispositifs.

A titre d'exemple dans un autre registre (mais pas si loin avec la NFC), le téléphone portable fait aussi agenda, lecteur MP3, téléviseur, liaison à internet et aux e-mails, appareil photographique, caméra, console de jeux, terminal de paiement, etc. L'imbrication des fonctions ne facilite donc ni la distinction, ni le classement des applications.

Parmi les multiples possibilités (par fréquence, distance, branche, etc.), le classement proposé par CE RFID (Coordinating European Efforts for Promoting the European RFID Value Chain) me semble le meilleur [34] et c'est celui qui est suivi ici afin de présenter quelques applications mises en place.

Ce « catalogue » non exhaustif d'exemples d'applications permet de se rendre compte de la place réelle qu'occupe la radio identification dans notre environnement.

5.1 Étiquetage d'objet principalement

A. Traçabilité logistique et traçabilité produit

La traçabilité logistique (Tracking) est une forme de traçabilité qui désigne le suivi quantitatif des produits. Elle dépend du bon enregistrement des liens entre les produits successifs dans la filière. La traçabilité logistique porte surtout sur le positionnement géographique des unités logistiques.

La traçabilité produit (Tracing) est une forme de traçabilité qui désigne le suivi qualitatif des produits. Elle dépend surtout du bon enregistrement et de l'exhaustivité des données liées au produit. Un fabricant l'utilise notamment pour rechercher les causes d'un problème qualité. La traçabilité produit porte surtout sur les caractéristiques des unités consommateurs.

Développée à la base pour assouvir le besoin de traçabilité des industriels, la chaîne d'approvisionnement (supply chain) est très gourmande en quantité de transpondeurs.

AA. - Service/unité logistique interne : Les transpondeurs à l'usage d'une seule personne font partie de ceux ayant une mémoire et généralement au moins un capteur, comme ceux embarqués dans les camions qui enregistrent la masse à vide, la masse chargée et la distance parcourue pour chaque transport.

AB. - Logistique en circuit fermé pour le suivi des bouteilles de gaz, des conteneurs, des livres dans les bibliothèques, des DVD en location ou tout autre article où il y a recyclage interne des tags.

AC. - Logistique à logiciel ouvert : il s'agit de pouvoir rendre compatibles ou accessibles les informations de traçabilité (notamment celles de RFID) des ERP et bases de données pour tous les clients ou fournisseurs potentiels. Des solutions parcellaires existent déjà, et le réseau EPCglobal devrait rendre l'ensemble cohérent.

AD. - Applications postales : Le suivi des colis, des plis express est en grande partie intégré à travers le monde, même si la technologie RFID n'est que complémentaire à celle des codes barres pour cette application.

AE. - Logistique des produits dangereux : la RFID très intéressante pour la logistique des produits dangereux car c'est une identification « sans contact », dont les transpondeurs « durcis » résistent et fonctionnent dans des milieux chimiquement très agressif et contraignant (>200°C et 1500 bars, pouvant être enrobé de matériaux spéciaux). De plus, avec l'intégration de capteurs, le suivi de l'évolution de caractéristiques physico-chimique s'effectue in-situ et sans déconditionnement.

AF. - La logistique de production appartient à la logistique du « juste à temps » : pour maintenir un stock minimum, chaque produit sorti ou chaque étape passée est accompagné de la lecture du tag joint. Une fois le niveau de stock minimum atteint, ou quand le produit est disponible pour l'étape suivante, une demande d'approvisionnement est faite, et la disponibilité pour l'étape suivante est enregistrée.

B. Production industrielle de biens, surveillance et maintenance des processus de fabrication

BA. - Systèmes d'archivage : la société *Magellan* vient de commercialiser un système d'archivage de documents. Un transpondeur est placé sur ou dans chaque document ou feuille. Parallèlement, la base station permet d'inventorier 100 000 documents sur une armoire, ou de retrouver des fichiers stockés dans une boîte d'archives, le tout en quelques secondes[35].

BB. - Gestion du patrimoine (surveillance de l'environnement inclus) : 95 000 arbres de Paris possèdent une puce RFID insérée 2 cm sous l'écorce. Le but est de fournir pour chaque arbre une carte d'identité informatique servant à la mairie de Paris à assurer un suivi et une cartographie.

La société *Agrihouse* commercialise un système de détection des besoins d'irrigation avec des tags actifs RFID couplés à des capteurs hygrométriques, lesquels permettent le déclenchement d'une alerte dès que le seuil d'hydratation de cultures (de pommes de terre ou de maïs) baisse dangereusement. Ce système donne ainsi les besoins spécifiques d'une culture, lesquels varient considérablement d'un terrain à l'autre, voire au sein d'un même champ [36].

BC. - Gestion des équipements dont font partie les bâtiments est aussi rendue possible par la radio identification: cela va des capteurs de température pour le réglage des climatisations, des capteurs de présence pour gérer l'éclairage jusqu'aux transpondeurs coulés directement dans les murs et piliers en béton qui mesurent les contraintes mécaniques, vibrations, ou capter la température de la semelle de béton qui va soutenir la structure, et ce afin de permettre de déterminer la solidité de l'infrastructure.

BD. - Véhicules (automobile) : les immobiliseurs (systèmes antidémarrage), mesures de poids en charge, anti-intrusion.

BE. - Avions (aéronautique) : en remplacement du code barre, l'étiquette RFID sur les bagages permet de réduire le taux d'erreur d'acheminement. Sur le plan de la sécurité, ce marquage peut valider le contrôle effectué par les systèmes d'inspection et de détection d'explosif.

Dans certains aéroports, des bornes RFID servent à comptabiliser les taxis en attente. Dès qu'un chauffeur étiqueté entre dans la zone de l'aéroport, un panneau lui donne les délais sur différents terminaux, ce qui lui permet de choisir où s'engager et de réduire le temps d'attente pour les taxis comme pour les clients.

BF. - Automatisation / contrôle des processus : l'intégration de transpondeurs dans les articles au début de la chaîne de fabrication peut permettre non seulement d'enregistrer le passage à chaque étape du processus, mais aussi de pouvoir conserver la trace d'éventuel réglage, test, remise en conformité, mise à jour, et ce tout au long de la vie du produit. Sur la chaîne de production, ces informations peuvent être aussi récupérées, utilisées et enregistrées par les automates ou opérateurs.

BG. - Nourriture et biens de consommation : une manière d'être certain d'avoir apporté tous les ingrédients à la fabrication d'une nourriture alimentaire (plats cuisinés, gâteaux, etc.) est de tracer les éléments introduits notamment grâce à la RFID. Cela suppose une identification préalable effectuée soit par les fournisseurs, soit au premier lieu de stockage de la fabrique.

C. Application de vente au détail pour s'assurer de la sécurité des produits, de la qualité et de l'information des biens et des processus

CA. - Les biens de consommation à vie courte sont ceux qui sont trouvés par exemple en hypermarchés, hors électroménager. Il s'agit de pouvoir tracer les produits de la réception à la sortie suite à un achat, pour faciliter la logistique. Les étiquettes à RFID collées ou imprimées sur les produits remplissent cette fonction.

CB. - Biens électroniques : outre la traçabilité des articles depuis leur emballage jusqu'au recyclage, certaines applications peuvent être orientées contre le vol. Un exemple est l'intégration de tags dans les produits média numériques (CD, DVD, etc.) qui ne pourraient être lus qu'après désactivation du transpondeur en sortie de magasin.

CC. - Biens textiles : l'application RFID permet d'enregistrer sur les bobines de fils les paramètres de fabrication qui caractérisent le fil enroulé sur la bobine considérée. Cette traçabilité individuelle permet de connaître avec précision la qualité produite. En fin de cycle, à la sortie de la machine, les paramètres de fabrication sont écrits automatiquement dans l'étiquette du produit fini.

Le projet *BIOTEX* (BIO-sensing TEXTile for health management) cherche à développer des capteurs électriques et électrochimiques qui seront incorporés dans un substrat textile afin de créer des "patches de détection" qui puissent contrôler les paramètres biochimiques de l'utilisateur et donc son état de santé. Sont déjà ou seront effectuées les mesures suivantes : le contrôle de la sueur, incluant le pH, la salinité et l'indice de transpiration de l'individu, la détection du niveau d'infection des patients (qui souffrent de brûlures, de manière à ce que la guérison de ces blessures soit contrôlée), la surveillance des niveaux de saturation de l'oxygène dans le sang pour des applications médicales, sportives et également d'autres en relation avec la sécurité [37].

CD. - Nourriture fraîche / périssable : Un inventaire effectué de manière automatique dans un volume donné permet d'alerter sur l'approche de la date limite de consommation d'un produit si ces informations ont été enregistrées dans les transpondeurs par le fabricant. Une application sur le suivi de la chaîne du froid (par capteur intégré) est aussi utilisée et est gage de bonne condition de stockage.

CE. - Pharmaceutique : la lutte contre la contrefaçon médicamenteuse se réalise grâce à l'utilisation de la RFID sur les boîtes de médicaments, dont les UID sont disponibles sur des bases de données.

CF. - Systèmes d'information client : il suffit de présenter un livre (intégrant une puce RFID dans la couverture) devant le lapin « Nabaztag » pour déclencher la lecture d'un fichier MP3 qui est la lecture du texte faite par son auteur. Le lapin scanne le réseau Wi-Fi et se connecter à Internet pour chercher le fichier MP3 hébergé sur un serveur [38]. Des systèmes portables identiques sont utilisés dans les musées, ou dans des lieux touristiques pour distribuer des informations contenues soit dans les appareils portables, soit sur des serveurs distants.

5.2 Étiquetage avec référence directe ou potentielle aux individus

D. Contrôle d'accès et traçabilité des hommes et des animaux

DA. - Étiquetage / billetterie : les transports en communs sont les premiers concernés par les cartes d'abonnement à RFID, et ces applications sont bien connues. Maintenant c'est au tour de l'événementiel de profiter de cette technologie : les billets de matchs de football, les concerts et les billets des jeux olympique de Pékins [39]. Dans ce cas, la lutte contre la contrefaçon est privilégiée.

DB. - Systèmes de contrôle d'accès : c'est une application des plus connues et courantes, qui évolue avec les données biométriques intégrées dans les transpondeurs.

DC. - Traçabilité animale : l'utilisation de la technologie RFID pour identifier le bétail est l'une des plus anciennes. Elle remonte en effet au début des années 80. Plus récemment, a été réalisé le test

d'une encre RFID biocompatible avec laquelle un simple tatouage par injection sous la peau est suffisant pour une identification en lecture seule. Avec les transpondeurs à mémoire, il est possible d'intégrer des informations de type médical (vaccination, etc) ou même alimentaire en plaçant des bases stations à côté des mangeoires.

DD. - La traçabilité individuelle a le vent en poupe. Cela peut être une traçabilité géographique (suivi RTLS, trace laissée à chaque contrôle d'accès, etc.) ou traçabilité des achats, activités, etc. Avec le développement du standard EPCglobal et la mise en commun des bases de données, la traçabilité individuelle n'est plus limitée par la technologie, mais par la législation.

E. Cartes de fidélité, de membre, de paiement

EA. - Les cartes de fidélité à technologie RFID existent depuis plusieurs années, et intègrent déjà de la mémoire des achats, ne rendent plus nécessaire de remplir des formulaires interminables pour faire jouer la garantie par exemple. Maintenant, elles sont compatibles avec la technologie NFC, et donc liées au téléphone portable.

EB. - Cartes de membre : dans les stations services, par le biais d'un transpondeur miniaturisé ou d'une balise placée à l'intérieur du véhicule faisant office de carte de membre, l'utilisateur peut s'approvisionner en carburant et être automatiquement facturé. Esso a déjà mis en place son système à base de RFID baptisé « Speedpass » [40].

EC. - Les cartes bancaires sans contact existent en France depuis juin 2007, et depuis plusieurs années outre-atlantique. De la même manière que la carte fidélité, la carte bancaires sans contact devient aussi compatible avec la NFC.

ED. - Paiement et publicité par téléphone mobile : cela correspond aux nouvelles fonctionnalités apportées par la NFC. Ces applications devaient être opérationnelles fin 2008 en France.

F. Santé

FA. - Assistance aux handicapés : pour les aveugles ou mal-voyants, le *TellMate* est un petit appareil qui permet de lire l'UID d'un tag passif collé par l'utilisateur sur ses objets familiers. Il faut ensuite enregistrer un commentaire audio lié à cet ensemble *tag + objet*. Dès que l'utilisateur le souhaite, il présente l'objet à son boîtier portable (carte de crédit, bouteille, trousseau de clefs, CD, etc.) pour obtenir son commentaire associé [41].

La ville italienne de *Laveno* a été équipée d'un réseau dense de plus de mille deux cents transpondeurs. Ce réseau permet aux mal-voyants dotés d'un dispositif dédié - constitué d'une canne-lecteur, ainsi que d'un smartphone adapté - de bénéficier d'informations de navigation à travers toute la ville. La canne passant à portée d'un tag transmet l'UID de ce dernier au téléphone mobile contenant une base de données. Les informations sont transmises via oreillette Bluetooth [42].

FB. - Gestion des hôpitaux : les instruments comme ceux de chirurgie peuvent contenir un tag qui peut permettre de tracer leurs nettoyage, désinfection, stérilisation et disponibilité. Les puces peuvent aussi assurer la traçabilité du don du sang grâce à un système qui contient un capteur de température permettant un contrôle permanent le long de la chaîne frigorifique. Ce suivi précis permet d'éviter la destruction des dons à cause de doute sur le respect de la chaîne du froid.

FC. - Implants : outre l'identification des patients grâce à l'UID du transpondeur, il est maintenant possible de localiser et suivre un patient (ayant des problèmes de mémoire comme Alzheimer, etc.), via son implant, dans un hôpital équipé d'un système RTLS.

FD. - Surveillance médicale : des bracelets donnés aux patients remplacent les feuilles de soins. Le numéro du médecin traitant ainsi que celui de l'infirmière y sont mémorisés. Relié à une base de données qui contient les dossiers des malades le système peut être accessible via des PDA et autres tablettes PC, etc.

FE. - Implants intelligents : l'utilisation d'implants sous-cutanés a commencé dans des hôpitaux américains. Certains implants peuvent non seulement contenir le dossier médical du porteur, mais aussi des capteurs effectuant des mesures de glucose, de température, etc. Depuis peu de temps, la société *Verichip* vend directement ses implants sur le site internet : www.healthlinkinfo.com, ce qui est une première pour ce type de produit.

G. Sport, loisirs et affaires domestiques

GA. - Applications sportives : initialement utilisé pour le passage à l'arrivée de coureurs, les puces sont maintenant intégrées dans les balles de golf (avec une fonction de localisation intégrées au lecteur)[43].

GB. - Les systèmes de location utilisent de plus en plus l'identification RF pour les skis, les patins à glace, les DVD, etc. Il est plus intéressant d'appliquer la RFID à des articles nombreux ou petits.

GC. - Jeux intelligents : pour le côté pratique, des transpondeurs équipent les pièces de puzzle pour enfant, afin de donner quelques indications de positionnement. Pour les plus grands, c'est maintenant autour de *LEGO* d'intégrer la RFID pour les robots *MINDSTORMSTM*[44]. Enfin, les puces équipent les jetons comme les cartes de poker.

GD. - Domotique : *Tag Technologies* commercialise un capteur d'alarme autonome possédant sa propre source d'énergie et qui communique directement par radiofréquences avec la centrale, nommé « *DomoTag* ». Ce capteur est doté d'un algorithme breveté de traitement du signal (Mems : microsystème électro-mécanique) capable de distinguer les vibrations "normales" de la zone à protéger (porte, fenêtre) des vibrations exogènes (bris de vitre, tentative d'intrusion). La centrale envoie ensuite des messages SMS [45].

H. Services publics

HA. - Maintenance des services publics : certains compteurs d'eau (comme à Meylan) sont équipés de transpondeurs actifs pour pouvoir être relevés depuis la rue. En Angleterre par exemple, les poubelles, appartenant aux municipalités, contiennent des tag permettant de traquer les « mauvais trieurs », comme de les retourner au propriétaire en cas de vol.

HB. - Système de télépéage : le système du péage électronique permet d'automatiser les paiements et de réduire les goulets d'étranglement. Un système analogue est également utilisé par des stations de ski pour les forfaits de remontées mécaniques.

HC. - Billets de banque : ils sont maintenant aussi concernés. Que se soit en dollars ou en euros, il n'est pas conseillé de les passer au four micro-onde, même si cette technique donne la position du circuit intégré avec une précision égale au diamètre du trou réalisé.

HD. - Cartes d'identité et passeports : le passeport biométrique français sera disponible dès juin 2009 d'après le Journal Officiel du 4 mai 2008. Il intégrera une image du visage ainsi que les empreintes digitales de huit doigts (à l'exception de celles des enfants de moins de six ans) stockées dans une puce RFID.

HE. - Cartes de sécurité sociale : si les « carte vitale » de première et seconde génération sont « à contact », nul doute que les générations suivantes seront « sans contact ».

5.3 Applications hors catégories

Les applications de l'identification radiofréquence précédemment citées ne constituaient pas une liste exhaustive. Parmi les nombreuses qui pourraient être ajoutées, certaines applications ont des limites floues et ne peuvent que difficilement entrer dans un moule, une catégorie. En voici quelques exemples récents :

- La protection par autodestruction : la société britannique *Virtuity* a présenté une technologie 'd'auto-destruction' d'ordinateur, basée sur le Wi-Fi et sur des étiquettes RFID. Si l'ordinateur est déplacé hors de la zone autorisée, le logiciel en bloque l'accès avant de détruire les données qu'il contient [46].
- La localisation : de la même manière que pour les balles de Golf, le *Loc8tor* permet de retrouver jusqu'à 180 mètres de distance ce qui est attaché ou fixé aux transpondeurs fournis. Ceci reste valable quel que soit « le support » tagé: les clefs, la voiture, le chien, la grand-mère, etc.[47]
- La surveillance des barmen : une puce RFID intégrée au bec verseur d'une bouteille quelconque transmet les données à un ordinateur qui enregistre et traite ces données. Chacune des puces contient un code unique, ce qui permet de suivre individuellement les bouteilles. Le système fournit des informations non seulement sur les doses exactes qui ont été servies, mais aussi sur le moment où ces dernières l'ont été, ainsi que sur l'heure et la date auxquelles ont été fixés ou enlevés les becs [48].
- Minibar intelligent : la société *Dometic* vient de commercialiser un minibar doté d'un lecteur RFID qui lit automatiquement les tags collés sur les bouteilles contenues à l'intérieur, ce qui permet une vérification et une facturation en temps réel, quelle que soit l'heure de départ du client. Qui plus est, le système utilise la technologie de capteurs *efield* utilisée pour détecter les mouvements, les changements de poids et de formes. Il n'est donc pas question de remettre une bouteille entamée ou vide dans le frigo [49].

5.4 Applications futures

La RFID aime être combinée avec d'autres technologies. En restant la « base normalisée », elle ne peut que voir grandir ses domaines d'applications.

Les avancées de la microélectronique, de la nanotechnologie et des Mems, de la chimie organique et avec la création de nouvelles sources d'alimentation (batteries ou générateurs) ouvrent de larges perspectives.

Les transpondeurs seront certainement bientôt capables de reconnaissance vocale et d'affichage (technologie OLED), ce qui nous permettra de communiquer avec eux. Les applications à la domotique se précisent : ces transpondeurs seront capables de s'adapter ou d'adapter l'environnement à l'utilisateur sans intervention particulière. Avec la diminution des coûts, la maison intelligente peut devenir commercialement intéressante en moins de dix ans.

La publicité ciblée, qui a commencé à se généraliser avec les « cookies » internet, reste un des objectifs principaux de l'industrie : il est plus facile de vendre à un client dont les habitudes de consommation sont connues. Dans ce domaine, la NFC est un atout de taille : le téléphone portable étant devenu un objet quasi-indispensable, il fait un très bon support de communication publicitaire. De plus, il devrait aussi être un « concentrateur applicatif » au sens logiciel du terme, c'est-à-dire contenir (au moins) un moyen de paiement, les cartes de fidélité, carte de transport, carte d'accès, etc. Tout ceci en plus des fonctionnalités déjà existantes.

Chapitre 6 : Marché actuel et prévisionnel

Le marché mondial de l'ensemble des produits et solutions RFID devrait générer un chiffre d'affaires d'environ 9,7 milliards de dollars d'ici 2013, d'après le cabinet d'études américain *ABI Research*. Le taux de croissance annuel dans ce secteur pourrait s'élever à 15% à partir de 2008 [50].

Selon la société *IDTechEx*, en 2008 la valeur du marché entier de RFID sera 5,29 milliards de dollars, au lieu de 4,93 milliards de dollars en 2007. Ceci inclut les transpondeurs, lecteurs et le logiciel ou services pour les cartes RFID, etc. [51].

Au total, 2,16 milliards de transpondeurs seront vendus en 2008 contre 1.74 milliard en 2007 et 1,02 milliard en 2006. Comme il est possible de le constater sur le tableau 5, les cartes de format carte de crédit (cartes de paiement, de fidélité, d'accès, etc.) continuent à tenir la plus grosse partie du marché, suivi des cartes et tickets de transport.

Tag Value (\$million)	2008	Highlights
Airline and Airports	25.9	Excludes passports, cards
Animals and Farming	90.0	Animals
Books, Libraries, Archiving	27.4	Retail books, documents
Financial, Security, Safety	1126.4	Access control, passports
Healthcare and Pharmaceutical	37.7	Drugs, people, assets
Land and Sea Logistics, Postal	38.9	Conveyances, vehicles, postal
Manufacturing	24.0	Assets, tools etc
Military	86.5	Pallets, assets, items etc
Passenger Transport, Automotive	650.7	Card, ticket, clicker, tire
Retail, Consumer Goods	86.5	Pallet, case, apparel, cpg
Other	162.6	Research, education etc
Total Tag Value (\$million)	2357	
Total Tag Value (\$billion)	2.36	

Tableau 5 : Revenu des tags RFID par marché en 2008
Source : IDTechEx

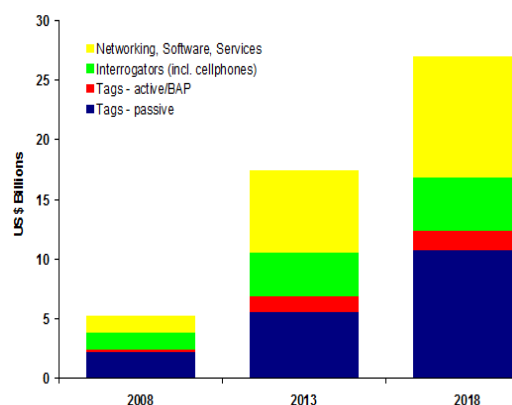


Figure 11 : Projection du marché total RFID en milliards de dollar US 2008, 2013, 2018
Source : IDTechEx

Le marché devrait continuer à avoir une très forte progression (cf. Figure 11) avec 17 milliards de dollars en 2013, et 27 milliards de dollars en 2018.

Dans les mouvements internes, il faut prendre en compte les évolutions des techniques et prix. La première génération de transpondeurs sans puce n'a pas fait l'objet de norme internationale et en conséquence, divers procédés ont été utilisés : magnéto-acoustique, bobinage plat à radiofréquences, dispositif à capacité, réseau de diodes, système à onde de surface, etc.

Pour la seconde génération, le grand gagnant devait être la technologie à encre, qui offre pour premier avantage de pouvoir être directement imprimée sur les produits ou les paquets pour un prix inférieur au cent. Ces étiquettes pourraient ainsi remplacer les dix milliards de codes-barres qui sont édités chaque année par une solution plus souple et plus fiable. Dans ce cadre, l'encre RFID biocompatible sera bientôt en passe d'être utilisée dans tout l'agroalimentaire.

Cependant, quelques industriels et transporteurs font marche arrière [52] pour des raisons de coût, de retour sur investissement (ROI) tardif et d'intérêt réel d'utilisation. Même Wal-Mart, utilisateur historique de standard EPC, se « prend les pieds dans la RFID » [53]. L'idée de « bulle RFID » pouvant éclater comme le fit la « bulle internet » commence à germer [54]. Mais cet état hésitant aurait plus tendance à tenir du manque d'investissement de la part de tous les acteurs d'une même chaîne et d'un coût encore trop élevé des tags, plutôt que d'un intérêt limité.

Chapitre 7 : Inquiétudes

Comme tout changement et toute introduction de nouvelle technologie, la venue de l'identification par radiofréquence crée des inquiétudes. Elles concernent la sécurité des dispositifs, l'aspect sanitaire et médicale au sens physique et enfin le côté immatériel, psychologique et de santé mentale.

7.1 Inquiétudes sécuritaires

Jusqu'à présent, aucun des dispositifs de sécurité existant n'a résisté au piratage, que se soit : le clonage, l'interception des données, le brouillage, le suivi non déclaré, les interférences radio, l'altération de l'intégrité des données de la puce, l'interruption de service par blocage de la puce, la transmission de virus au système hôte via la puce, etc.

Par exemple, au début de cette année des chercheurs de l'Université Radboud, à Nijmegen, ont « mis au point une méthode relativement facile pour pirater et reproduire en grand nombre des cartes à puce « **Mifare** » qui équipent au moins un demi million de cartes d'accès au monde.[55][56]

Le passeport biométrique anglais a lui aussi subi ce sort en 2007 par le consultant en sécurité Adam Laurie [57][58]. De même en 2006, une puce sous-cutanée **Verichip** a été clonée. Démonstration et instructions sont disponibles sur internet prouvant qu'une identité validée par RFID peut aussi être usurpée[59][60].

Les systèmes radiofréquences étant par définition ouverts, l'espionnage -et en particulier l'écoute de communications- n'est qu'une question de moyens mis en œuvre. En mars 2008, le blog « Boing Boing » a fait la démonstration qu'avec huit dollars d'équipement et un simple lecteur RFID il était possible de lire les informations présentes sur une carte bancaire (smart card) : nom du propriétaire, numéro de la carte et date d'expiration [61].

En considérant que les outils de piratage se développent parallèlement aux moyens de sécurisation, peut-on imaginer un système définitivement inviolable ?

A supposer qu'il soit possible de sécuriser de manière matériel ou logiciel un dispositif RFID complet, encore faut-il que l'utilisateur le mette en pratique réellement. Ces exemples de non mise en place de sécurité par des utilisateurs négligeant ne manquent pas : les réseaux Wi-Fi non protégés, les mots de passe de connexions aux ordinateurs et réseau d'entreprise absents (quand ils ne sont pas collés sur le coin de l'écran sur un post-it), ou encore les codes de cartes SIM laissés par défaut.

Quelques scénarios ou expériences intéressants sont imaginables : capture d'un code d'accès de sécurité et réutilisation pour accéder à un lieu sécurisé, actes de vandalisme dans une bibliothèque par la modification des tags des livres, changement du prix d'articles dans un magasin, etc.

Ce type de défaillance humaine restera toujours à prendre en compte, quel que soit l'avancement technologique.

7.2 Inquiétudes sanitaires

Les normes sanitaires concernant le rayonnement électromagnétique sont encore trop vagues sur les chiffres et limitations exactes des SAR et MPE, et ce au grand bonheur des industriels.

La controverse concernant les émissions UHF et SHF (téléphone portable, Wi-Fi, Wimax) a jusqu'à présent été étouffée par moult recherches financées par ces mêmes industriels. Cependant, les dernières études épidémiologiques confirment le rapport entre la proximité d'antennes relais et cancer [62], et -ce qui est nouveau en terme d'action prise- les bornes Wi-Fi de plusieurs bibliothèques parisiennes ont été arrêtées ces derniers mois[63][64].

Le rapport avec les RFID ne semble de prime abord que peu évident, mais la venue des systèmes couplés comme les NFC ou l'implant de systèmes RFID aux humains apporte un autre point de vue sur l'ensemble.

Sur les bases stations portables, il n'y a émission d'ondes que lors de l'utilisation. Par contre, certains systèmes fonctionnent en permanence comme pour la gestion d'entrepôts, la géo-localisation (RTLS), les téléphones portables, etc.

Tôt ou tard, l'utilisation des communications radiofréquences sera remises en cause. Bien malin qui peut savoir ce qui sera décidé à ce moment-là : abandon de la radiocommunication, durcissement des normes sanitaires, changement de fréquences, autres solutions technologiques de remplacement ?

Mais la RFID peut nous confronter à d'autres problèmes de santé : que doit-on penser des études faites sur les rats qui ont montré une liaison entre puces RFID sous-cutanées et cancer ? [65] [66]

Devrait-on se méfier aujourd'hui de la toxicité de la « poussière de RFID » (en passe d'être déversée comme système antiviol [67]), au même titre que l'amiante en son temps ?

Doit-on aussi faire attention aux nanotubes de carbone (cancérigène reconnu) contenus dans certaines technologies de batteries pour RFID ?

7.3 Inquiétudes psychologiques

La première analogie qui est faite avec l'incroyable moyen de traçabilité à grande échelle qu'est l'identification par radio fréquence, est le « Big Brother » de George Orwell dans son roman 1984.

Cette technologie a effectivement les moyens de remettre en cause l'idée même de « vie privée » en considérant une application totale et mondiale du réseau EPC, ainsi que l'implantation de puce sous cutanée à chaque être vivant dès sa naissance. Aucun besoin de « télécrans » : la géolocalisation des objets et un mouchard implanté font l'affaire et sont opérationnels.

Des associations surveillent cette dérive, comme : « CASPIAN » (Consumers Against Supermarket Privacy Invasion and Numbering) aux États-Unis, qui ne demande pas la suppression de la RFID, mais son encadrement. Une liste non exhaustive d'associations, commissions, sites d'information est proposée en annexe E.

La fonction « Kill bit » a récemment été ajoutée dans seconde édition de la norme ISO 18000-6 pour l'interface hertzienne. Cette fonction Kill bit - aussi appelée commande de confidentialité - peut servir à désactiver définitivement le circuit intégré si cela est souhaité. Mais comment être certain de son efficacité ? Est-il possible qu'il y ait une « Backdoor » (porte de derrière) imposée par un état ou mise en place par un fabricant dans le plus grand secret ? Pour l'instant, la norme ISO 18000-6 n'étant toujours pas validée, cette fonction reste dans le domaine des promesses à tenir.

En ajoutant un peu de paranoïa à cet état psychologique contestataire, nous aboutissons rapidement à une théorie du complot qui passe par les étapes successives suivantes :

- l'espionnage gouvernemental. Peu après le 11 septembre 2001, le gouvernement américain ne s'est quasiment plus caché de son attitude liberticide en donnant comme raison -légitime ou non- la traque des terroristes. Dans cette optique, la technologie RFID et le standard EPCglobal sont du pain béni [68].
- l'apocalypse. De manière plus pessimiste, certains groupes religieux font des RFID une preuve de l'apocalypse [69][70].
Dans ce cas, la partie la plus citée de la bible est:
" [...] Et elle fit que tous, petits et grands; riches et pauvres, libres et esclaves, reçoivent une marque dans leur main droite ou dans leur front, et qu'aucun homme ne puisse acheter ni vendre, sans avoir la marque de la Bête ou le nombre de son nom " (Apocalypse 13 /16 et 17).
L'argument accompagnant est le suivant : le front et le dessus de la main sont les deux endroits les plus pratiques et les seuls fiables pour le rechargement automatique de la batterie (générateurs thermoélectriques) à cause des changements de températures rapides et conséquents que la peau y subit.
- les extraterrestres. En plus du côté religieux précédent, les puces sous-cutanées sont vues (à terme) comme étant un moyen de contrôle de l'esprit humain mis en place par des extraterrestres en mal d'esclaves [71].

A la vue de ces différentes inquiétudes psychologiques, une déclaration tombe à point : l'an dernier, l'Apsy (association des services de psychiatrie et de santé mentale de l'UCL) tirait la sonnette d'alarme à propos du décalage entre les progrès techniques en matière de RFID et, comparativement, le peu de progrès réalisé en matière d'éthique et de débat sociétal. Puis de préciser: « En réalité, ces technologies ouvrent sur un monde paranoïde qui pose autant de questions du côté de la santé mentale, que de celle de la démocratie » [72][73].

Conclusion générale et perspectives

Le système d'identification par fréquence radio n'est plus uniquement développé à partir des techniques de l'électronique ou de la microélectronique. D'autres sciences ou techniques y participent telles la chimie (simple ou organique), la magnéto-acoustique ou électro-acoustique.

Le développement des transpondeurs, en fonction de leur technologie de fabrication, va tendre vers la spécialisation applicative afin d'occuper toute la place sur ce marché attaché. Dans ce type de bataille technologique et économique, nous allons certainement voir par exemple les transpondeurs à encre biocompatible être appliqué à tout l'agroalimentaire, et donc devenir la technologie majoritairement appliquée sur ce marché.

La diversification technologique de la RFID se réalise en conservant les objectifs d'augmentation de la distance et de la facilité d'utilisation, de fiabilité et de réduction du volume des transpondeurs et bien évidemment de diminution des coûts.

Le champ d'application de la RFID s'élargit lui aussi. A la fonction d'identification initiale viennent s'ajouter celles rendues possibles par des systèmes couplés avec une augmentation de la taille mémoire et du niveau de sécurité, de l'intégration de capteurs et de l'acquisition de mesures, de la géolocalisation et de l'interconnexion.

Le premier pas de l'interconnexion a été franchi avec EPCglobal dans l'industrie et se poursuit avec « l'Internet des objets ». Ce système global a pour objectif l'attribution d'un numéro unique à chaque objet manufacturé, tous (bases de données ou transpondeurs) étant de plus interconnectés via réseau. Une petite révolution est en marche pour notre vie quotidienne.

D'un autre côté, l'implantation du vivant est aussi en partie faite : celle des animaux est acceptée de manière mondiale, et celle de l'humain a déjà commencé. Pour l'implantation humaine de puce sous-cutanée RFID, le problème n'est plus de savoir « si cela est possible » de manière globale, mais « quand cela sera mis en place » car la technologie est présente.

La réponse dépend du temps que prendra la race humaine à abandonner l'idée de vie privée, en échange de nouvelles fonctionnalités ou facilités qui seront procurées par cette technologie, aussi imparfaite soit elle à ce moment.

D'ici là, des progrès en termes de sécurité devraient absolument être réalisés, et c'est peut être ce point qui ralentira la progression des dispositifs d'identification radiofréquence.

Liste des Acronymes

Termes techniques

AIDC	Automatic Identification and Data Capture
ASK	Amplitude Shift Key
ATQ	Answer To reQuest
ATR	Answer To Reset
CD	Coupling Device
CDP	Conditioned Diphas Procedure
EAN	European Article Number
EAS	Electronic article surveillance
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power
EPC	Electronic Product Code
ERP	Enterprise Resource Planning
ERP	Effective Radiated Power
FSK	Frequency Shift Key
ICC	Integrated Circuit Card
IFF	Identification, friend or foe
IRDA	Infra Red Data Association
LAN	Local area network
M2M	machine to machine
Mems	Microsystème Electro-Mécanique
MPE	Maximum Permissible Exposure
MTP	Multiple Time Programmable
NFC	Near Field Communication
NRZ	Non Return to Zero
ONS	Object Name Service
OSI	open Systems Interconnexions
OTP	One Time Programmable
PC	Personnal Computer
PCD	Proximity Coupling Device
PDA	Personnal Digital Assistant
PICC	Proximity integrated circuit card
PIT	Programmable Identification Tag
PSK	Phase Shift Key
RF	Radio frequency
RFID	Radio frequency identification
ROM	Read Only Memory
RTF	Reader Talk First
RTLS	Real-Time Locating System
RZ	Return to Zero
SAR	Specific Absorption Rate
SAW	Surface Acoustic Wave
TFTC	Thin Film Transistors Circuits
TTF	Tag Talf First
UHF	Ultra Hautes Fréquences
UID	Unique Identifier
UPC	Universal Product Code

VIP	Very Important Person
WAN	Wide area network
WORM	Write Once, Read Multiple
WPAN	Wireless Personal Area Networks

Administrations, Associations, Enterprises

AFNOR	Association française de normalisation
ANFR	Agence Nationale des Fréquences
ANSI	American National Standards Institute
Apsy	Association des services de PSYchiatry et de santé mentale de l'UCL
ARCEP	Autorité de Régulation des communications Electroniques
CASPIAN	Consumers Against Supermarket Privacy Invasion and Numbering
CE RFID	Coordinating European Efforts for Promoting the European RFID Value Chain
EAN	European Article Numbering
ETSI	European Telecommunications Standard Institute
FCC	Federal Communications Commission
FDA	Food and Drugs Administration
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Organization for Standardization
MIT	Massachusetts Institute of Technology
UCC	Uniform Code Council
UIT	Union International des Télécommunications
UTE	Union Technique de l'Electricité

Bibliographie

Tous les sites internet ont été consultés pour vérification le 29 mai 2008.

Chapitre 1

- [1] Harry Stockmann
Communication by Means of Reflected Power
Proceedings of the IRE (Institute of Radio Engineers) , pp1196-1204 (Octobre 1948)
- [2] F.L. Vernon, Jr.,
Application of the Microwave, Homodyne,
IRE Transactions on Antennas and Propagation AP-4, 110 (1952)
- [3] D. B. Harris,
Radio transmission systems with modulatable passive responder,
Brevet.
- [4] Jerry Landt , *Transcore* (2001)
Shrouds of Time - A History of RFID
www.rfidconsultation.eu/docs/ficheiros/shrouds_of_time.pdf
- [5] *Wikipedia*
Radio-frequency identification
<http://en.wikipedia.org/wiki/Rfid>
- [6] A. R. Koelle, S. W. Depp, and R. W. Freyman,
Shortrange radio-telemetry for electronic identification, using modulated RF backscatter,
Proceedings of the IEEE, vol.63, no. 8 (Août 1975), pp. 1260-1261
- [7] Robin Cover *xml.coverpages.org* (Novembre 2003)
Physical Markup Language (PML) Core Specification Version 1.0 for EPC Objects.
<http://xml.coverpages.org/ni2003-11-10-b.html>
- [8] *Somark Innovations* (Juin 2007)
Somark Innovations Announces Successful Live Animal Tests of Biocompatible Chipless RFID Ink in Cattle and Laboratory Rats.
http://www.somarkinnovations.com/Files/20080126_Somark_PR_RFID_tattoo_field_demo.pdf

Chapitre 2

- [9] CTR *Carinthian Tech Research AG* (November 2006)
CTR développe des capteurs pour la surveillance des lignes électriques
<http://www.prnewswire.co.uk/cgi/news/release?id=184136>

Chapitre 3

- [10] *HITACHI* (Février 2007)
Operation verified on world's smallest 0.05mm x 0.05mm "contactless powder IC chip"
http://www.hqrd.hitachi.co.jp/crle/news_pdf_e/crl070213nrde_RFID.pdf
- [11] Site internet : *Mojix*
<http://www.mojix.com/>
- [12] Site internet : *Thermolife*
<http://www.poweredbythermolife.com>

- [13] Site internet : *Thin Battery Technologies*
<http://www.thinbattery.com>
- [14] Site internet : *Power ID*
<http://www.power-id.com/>
- [15] L'atelier (Octobre 2007)
Les nanogénérateurs dynamisent les biocapteurs
<http://www.atelier.fr/recherche/10/26102007/nanogenerateurs-electriques-multiplient-capacite-energetique-biocapteurs-35450-.html>
- [16] Sylvie Pesme (15 janvier 2007)
Une encre RFID, futur de la traçabilité alimentaire ?
<http://www.tracingnews.net/Une-encre-RFID-futur-de-la.html>
- [17] Robert E. Carlson, Ph.D., Scott R. Silverman, Zeke Mejia
DEVELOPMENT OF AN IMPLANTABLE GLUCOSE SENSOR
<http://www.verichipcorp.com/files/GLUwhiteFINAL.pdf>
- [18] Site internet : *Nanotec*
www.nonatec.net
- [19] Site internet : *Trovan*
<http://www.trovan.com/products100ih.htm>
- [20] Site internet : *Health Link*
<http://www.healthlinkinfo.com>
- [21] Simon HEMOUR ; Joel DANSOU-ELOY (Octobre 2005)
Design d'antennes fractales appliquées aux RFID
http://v5.kermeet.com/Data/kmreed_rfid/event/F_a8da66252f4ed0e687c2211d99b8cb0a436f52c0098bb.pdf
- [22] Michel Rousseau, FILRFID (Septembre 2007)
Nec lance un lecteur RFID universel
<http://www.filrfid.org/article-12227761.html>
- [23] Michel Rousseau, FILRFID (Janvier 2007)
Rubee : un premier groupe de travail en février
<http://www.filrfid.org/article-5443086.html>
- [24] Dimitri T., *Generation-NT* (juin 2006)
Un concurrent du RFID : le RuBee
<http://www.generation-nt.com/ieee-rubee-rfid-protocole-ondes-radio-actualite-14641.html>
- [25] Site internet : *Zigbee Alliance*
www.zigbee.org
- [26] *Wikipedia*
Zigbee
<http://fr.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
- [27] Michel Rousseau, FILRFID (Mars 2006)
ZigBee vient compléter le domaine des applications RFID
<http://www.filrfid.org/article-2079028.html>
- [28] *Nokia* (Octobre 2006)
Nokia introduces Wibree technology as open industry initiative
http://press.nokia.com/PR/200610/1079020_5.html

- [29] Site internet : *Bluetooth Special Interest Group*
<http://french.bluetooth.com/>
- [30] Michel Rousseau, FILRFID (Août 2007)
Wibree ? Non, BULP, désormais
<http://www.filrfid.org/article-11938357.html>
- [31] Charles Dachs , Electronique Mensuel (Avril 2006)
La technologie NFC veut rassembler les objets communicants
<http://www.electronique.biz/editorial/318934/communications-securisees/la-technologie-nfc-veut-rassembler-les-objets-communicants/>
- [32] Michel Rousseau, FILRFID (Septembre 2007)
Ekahau RTLS montre le chemin
<http://www.filrfid.org/article-12233462.html>
- [33] *wikipedia*
Real-time locating
http://en.wikipedia.org/wiki/Real_Time_Locating

Chapitre 4

- [33] Site internet : *EPCglobal*
www.epcglobalinc.org

Chapitre 5

- [34] Coordinating European Efforts for promotion the European RFID (Octobre 2007)
Reference Model
<http://www.rfid-in-action.eu/public/rfid-reference-model/papers-and-documents/RFID%20Reference%20Model%20-%20Description%202007-1-1.pdf>
- [35] Site internet : *Magellan*
<http://www.magellan-rfid.com/pages/frms/applications.html>
- [36] Site internet : *Agrihouse*
<http://www.agrihouse.com/>
- [37] Site internet : *Biotex*
<http://www.biotex-eu.com/default.htm>
- [38] Site internet : *Nabaztag*
<http://www.nabaztag.com>
- [39] *ASK (Novembre 2006)*
Les jeux Olympiques de Pékin sécurisés avec les tickets RFID de ASK TongFang
http://www.ask-rfid.com/fr/news/news_article.php4?id=2
- [40] Site internet : *Essoextra*
https://www.essoextra.com/speedpass/speedpass_home.fr
- [41] Site internet : *GaiShan Technology*
<http://www.gaishantech.com/>
- [42] Morgen E. Peck , IEEE SPECTRUM (Janvier 2008)
RFID Tags Guide the Blind
<http://www.spectrum.ieee.org/jan08/5849>

[43] Site internet : *radargolf*
<http://radargolf.com>

[44] Site internet : *LEGO*
Un capteur RFID pour tes robots MINDSTORMS® NXT !
<http://shop.lego.com/ByTheme/Product.aspx?p=MS1048&cn=17&d=70>

[45] Site internet : *Domotag*
<http://www.domotag.com/>

[46] Site internet : *Backstopp*
<http://backstopp.com/>

[47] Site internet : *Loc8tor*
<http://www.loc8tor.fr/>

[48] Site internet : *Captoninc*
<http://www.captoninc.com>

[49] Gilles Auboin, FILRFID (Décembre 2007)
La RFID dans les minibars
<http://www.filrfid.org/article-14424372.html>

Chapitre 6

[50] Site internet : *ABI Research*
<http://www.abiresearch.com/>

[51] Site internet : *idtechex*
<http://www.idtechex.com/>

[52] Eliane Kan , *01 Informatique* n° 1939 (02/04/2008)
Vincent Banchet (Sernam) : « nous avons renoncé à la RFID »
[http://www.01net.com/editorial/376219/vincent-banchet-\(sernam\)-nous-avons-renonce-a-la-rfid-/](http://www.01net.com/editorial/376219/vincent-banchet-(sernam)-nous-avons-renonce-a-la-rfid-/)

[53] Dominique FILIPPONE, *JDN Solutions*(Octobre 2007)
Le géant Wal-Mart se prend les pieds dans la RFID
<http://www.journaldunet.com/solutions/systemes-reseaux/actualite/07/1018-wal-mart-rfid.shtml>

[54] *Heavy RF* (Juillet 2007)
RFID.BOMB?
http://www.heaveyrf.com/news_and_events/rfidbomb.453.364.html

Chapitre 7

[55] *Associated Press (AP)* (Mars 2008)
Des cartes à puce faciles à pirater
<http://www2.canoe.com/techno/nouvelles/archives/2008/03/20080317-132026.html>

[56] Kristof Van der Stadt , *Datanews* (Janvier 2008)
La protection des puces RFID contournée
<http://www.datanews.be/fr/news/90-41-15915/La-protection-des-puces-RFID-contourn%E9e.html>

[57] Arnaud Dimberton, *Silicon.fr* (Mars 2007)
Le passeport biométrique se fait craquer
<http://technaute.cyberpresse.ca/200703/08/nouvelles/11863-le-passeport-biometrique-se-fait-craquer.php>

- [58] Rfidfr (Mars 2007)
Passeport biométrique : faille RFID
<http://www.rfidfr.org/actualites-rfid-20070307.php>
- [59] Jonathan Westhues (2006 ?)
Demo: Cloning a Verichip
<http://www.cq.cx/verichip.pl>
- [60] John Halamka, Ari Juels, Adam Stubblefield, Jonathan Westhues , *RSA* (Mars 2006)
The Security Implications of VeriChip™ Cloning
<http://www.rsa.com/rsalabs/staff/bios/ajuels/publications/verichip/Verichip.pdf>
- [61] Xeni Jardin (Mars 2008)
BBtv - How to hack RFID-enabled credit cards for \$8
<http://www.boingboing.net/2008/03/19/bbtv-how-to-hack-an.html>
- [62] Dr Gerd Oberfeld
Etudes épidémiologiques sur l'incidence des cas de cancer (1997-2007) à proximité d'antennes-relais
http://www.robindestoits.org/Etudes-epidemiologiques-sur-l-incidence-des-cas-de-cancer-1997-2007-a-proximite-d-antennes-relais-par-le-Dr-Gerd_a349.html
- [63] Site internet : WiFi Dossier *Next-up*
<http://www.next-up.org/Newsoftheworld/WiFi.php#1>
- [64] Robin des toits (Mai 2008)
WIFI - Une cinquième bibliothèque débranchée
http://www.robindestoits.org/-WIFI-Une-cinquieme-bibliotheque-debranchee-Le-Parisien-20-05-2008_a347.html
- [65] Rfidfr (Septembre 2007)
Les puces sous-cutanées provoquent-elles le cancer?
<http://www.rfidfr.org/actualites-rfid-20070916.php>
- [66] Nil Sanyas , *PC in pact* (Septembre 2007)
Les puces RFID mises en cause dans les tumeurs de la souris
<http://www.pcinpact.com/actu/news/38790-Puces-RFID-sante-souris-rats-humains.htm>
- [67] : Internet-Actu, *Futura-sciences* (Avril 2008)
Poussière intelligente : des espions invisibles à l'œil nu
http://www.futura-sciences.com/fr/sinformer/actualites/news/t/technologie-1/d/poussiere-intelligente-des-espions-invisibles-a-lil-nu_15130
- [68] Les Auteurs Associés (2007)
Internet ou la fin de la vie privée
<http://membres.lycos.fr/vieprivee/livreentier2007.pdf>
- [69] Alpha Omega Report, (Juin 2006)
Satan's Cool Tool: NWO Plans for the 6-6-6 RFID Chip
http://www.aoreport.com/mag/index.php?option=com_content&task=view&id=257&Itemid=44
- [70] Sylvain Timsit
Une liberté sous surveillance électronique
<http://www.syti.net/BigBrother.html>
- [71] Bible et nombres
Histoires de colliers ou de marchés à puces
<http://www.bibleetnombres.online.fr/biochips.htm>

[72] Rfidfr (Juillet 2007)

RFID: Apsy tire la sonnette d'alarme

<http://www.rfidfr.org/actualites-rfid-20070725.php>

[73] Trinity (Juin 2007)

Résolution du conseil d'éthique de l'APSY – UCL à propos des puces RFID

http://sens-de-la-vie.com/forums/viewtopic.php?a_p=1&forum=32&topic=6917

ANNEXES

A Fréquences et bandes de fréquence des ondes électromagnétiques

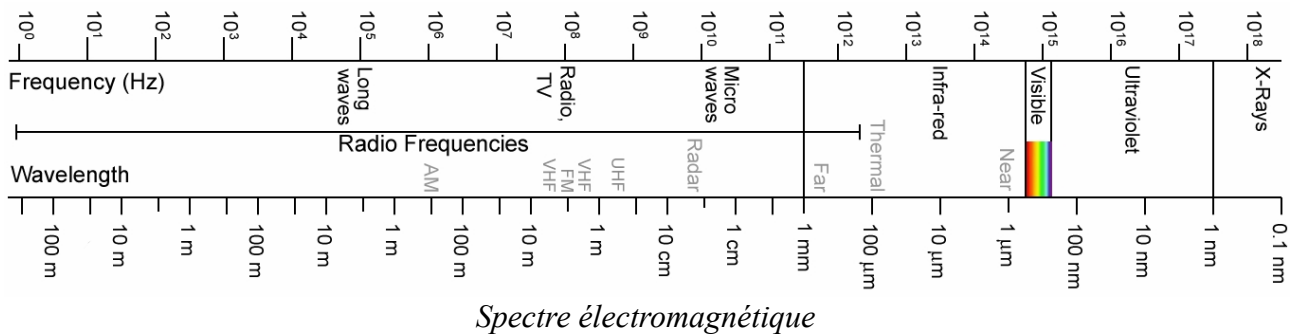
B Liste des normes ISO concernées par la RFID

C Le réseau EPCglobal

D Gamme de fabrication des circuits intégrés « Mifare »

E Pour aller plus loin

A) Fréquences et bandes de fréquence des ondes électromagnétiques



Désignation des bandes de fréquences:

Désignation internationale	Désignation francophone	Fréquences	Longueur d'onde
ELF (extremely low frequency)	Extrêmement basse fréquence	3 Hz à 30 Hz	100 000 km à 10 000 km
SLF (super low frequency)	Super basse fréquence	30 Hz à 300 Hz	10 000 km à 1 000 km
ULF (ultra low frequency)	Ultra basse fréquence	300 Hz à 3 000 Hz	1 000 km à 100 km
VLF (very low frequency)	Très basse fréquence	3 kHz à 30 kHz	100 km à 10 km
LF (low frequency)	Basse fréquence	30 kHz à 300 kHz	10 km à 1 km
MF (medium frequency)	Moyenne fréquence	300 kHz à 3 MHz	1 km à 100 m
HF (high frequency)	Haute fréquence	3 MHz à 30 MHz	100 m à 10 m
VHF (very high frequency)	Très haute fréquence	30 MHz à 300 MHz	10 m à 1 m
UHF (ultra high frequency)	Ultra haute fréquence	300 MHz à 3 GHz	1 m à 10 cm
SHF (super high frequency)	Super haute fréquence	3 GHz à 30 GHz	10 cm à 1 cm
EHF (extremely high frequency)	Extrêmement haute fréquence	30 GHz à 300 GHz	1 cm à 1 mm
TeraHertz	Térahertz	300 GHz à 3 000 GHz	1 mm à 100 μ m

Bande de fréquences IEEE (Institute of Electrotechnical and Electrical Engineers)

Désignation	Domaine de fréquences (GHz)
VHF	0,03 - 0,30
UHF	0,30 - 1,00
Bande L	1 - 2
Bande S	2 - 4
Bande C	4 - 8
Bande X	8 - 12
Bande Ku	12 - 18
Bande K	18 - 26,5
Bande Ka	26,5 - 40
Bande Q	33-50
Bande U	40 - 60
Bande V	50 - 75
Bande E	60 - 90
Bande W	75 - 110
Bande F	90 - 140
Bande D	110 - 170
Bande G	140 - 220

B) Liste des normes ISO concernées par la RFID

Cette liste donne les normes publiées, ou en cours de réalisation, ou de modernisation (changement d'édition).

Numéro	Date sortie	Édition	Applications de chaîne d'approvisionnement de RFID
17363:2007	19/06/2007	1	Récipients de fret
17364	En cours	1	Éléments restituables de transport (RTIs)
17365	En cours	1	Unités de transport
17366	En cours	1	Emballage de produit
17367	En cours	1	Étiquetage de produit

Numéro	Date sortie	Édition	Identification des animaux par radiofréquence
11784:1996	15/08/1996	2	Structure du code
11785:1996	10/10/1996	1	Concept technique
14223-1:2003	09/07/2003	1	Transpondeurs évolués -- Partie 1: Interface hertzienne
24631-1	En cours	1	Partie 1: Évaluation de la conformité des transpondeurs RFID à l'ISO 11784 et à l'ISO 11785 (y compris l'attribution et l'utilisation d'un code de fabricant)
24631-2	En cours	1	Partie 2: Évaluation de la conformité des émetteurs-récepteurs RFID à l'ISO 11784 et à l'ISO 11785
24631-3	En cours	1	Partie 3: Évaluation de la performance des transpondeurs RFID conformes à l'ISO 11784 et à l'ISO 11785
24631-4	En cours	1	Partie 4: Évaluation de la performance des émetteurs-récepteurs RFID conformes à l'ISO 11784 et à l'ISO 11785

Numéro	Date sortie	Édition	Identification par radiofréquence (RFID) pour la gestion d'objets
15961-1	En cours	1	Protocole de données: interface d'application
15961-2	En cours	1	Protocole de données: interface d'application
15961-3	En cours	1	Protocole de données: interface d'application
15962:2004	18/10/2004	1	Protocole de données: règles d'encodage des données et fonctions logiques de mémoire
15962	En cours	2	Protocole de données: règles d'encodage des données et fonctions logiques de mémoire
18000-1	En cours	2	Partie 1: Architecture de référence et définition des paramètres à normaliser
18000-1:2004	13/09/2004	1	Partie 1: Architecture de référence et définition des paramètres à normaliser
18000-2	En cours	2	Partie 2: Paramètres de communications d'une interface d'air à moins de 135 kHz
18000-2:2004	13/09/2004	1	Partie 2: Paramètres de communications d'une interface d'air à moins de 135 kHz
18000-3	En cours	2	Partie 3: Paramètres de communications d'une interface d'air à 13,56 MHz
18000-3:2004	13/09/2004	1	Partie 3: Paramètres de communications d'une interface d'air à 13,56 MHz
18000-4	En cours	2	Partie 4: Paramètres de communications d'une interface d'air à 2,45 GHz
18000-4:2004	31/08/2004	1	Partie 4: Paramètres de communications d'une interface d'air à 2,45 GHz
18000-6	En cours	2	Partie 6: Paramètres de communications d'une interface d'air entre 860 MHz et 960 MHz
18000-6:2004	31/08/2004	1	Partie 6: Paramètres de communications d'une interface d'air entre 860 MHz et 960 MHz
18000-7:2008	15/01/2008	2	Partie 7: Paramètres de communications actives d'une interface d'air à 433 MHz
18001:2004	18/10/2004	1	Profil de conditions d'application
18001:2004	18/10/2004	1	Protocole de données: interface d'application

Numéro	Date sortie	Édition	Objet
19762-3:2005	15/03/2005	1	Techniques d'identification automatique et de capture de données (AIDC) -- Vocabulaire harmonisé -- Partie 3: Identification par radiofréquence (RFID)
19762-3	En cours	2	Techniques automatiques d'identification et de saisie de données (AIDC) -- Vocabulaire harmonisé -- Partie 3: Identification par radiofréquence (RFID)
24729-1:2008	08/04/2008	1	Identification radiofréquences pour la gestion d'article -- Lignes directrices de mise en application -- Partie 1: Étiquettes adaptées à RFID et emballage contenant l'ISO/CEI 18000-6C
24729-2:2008	08/04/2008	1	Identification radiofréquences pour la gestion d'article -- Lignes directrices pour la mise en oeuvre -- Partie 2: Recyclage et repères RFID

Numéro	Date sortie	Édition	Cartes d'identification -- Cartes à circuit(s) intégré(s) sans contact --
10536-1:2000	06/04/2000	2	Cartes à couplage rapproché -- Partie 1: Caractéristiques physiques
10536-2:1995	30/11/1995	1	Partie 2: Dimensions et emplacement des surfaces de couplage
10536-3:1996	21/11/1996	1	Partie 3: Signaux électroniques et modes de remise à zéro
14443-1:2000	13/04/2000	1	Cartes de proximité -- Partie 1: Caractéristiques physiques
14443-1	En cours	2	Cartes de proximité -- Partie 1: Caractéristiques physiques
14443-2	En cours	2	Cartes de proximité -- Partie 2: Interface radiofréquence et des signaux de communication
14443-2:2001	28/06/2001	1	Cartes de proximité -- Partie 2: Interface radiofréquence et des signaux de communication
14443-3	En cours	2	Cartes de proximité -- Partie 3: Initialisation et anticollision
14443-3:2001	01/02/2001	1	Cartes de proximité -- Partie 3: Initialisation et anticollision
14443-4	En cours	2	Cartes de proximité -- Partie 4: Protocole de transmission
14443-4:2001	18/01/2001	1	Cartes de proximité -- Partie 4: Protocole de transmission
15693-1:2000	20/07/2000	1	Cartes de voisinage -- Partie 1: Caractéristiques physiques
15693-2:2006	06/12/2006	2	Cartes de voisinage -- Partie 2: Interface et initialisation dans l'air
15693-3:2001	29/03/2001	1	Cartes de voisinage -- Partie 3: Anticollision et protocole de transmission
15693-3	En cours	2	Cartes de voisinage -- Partie 3: Anticollision et protocole de transmission

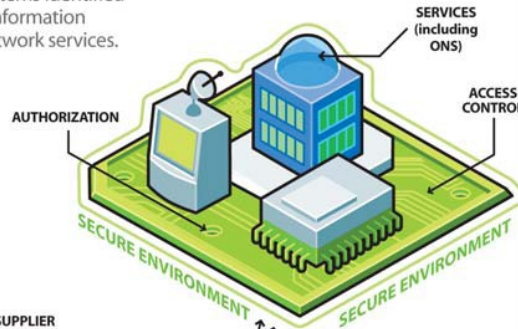
C)Le réseau EPCglobal

The EPCglobal Network™



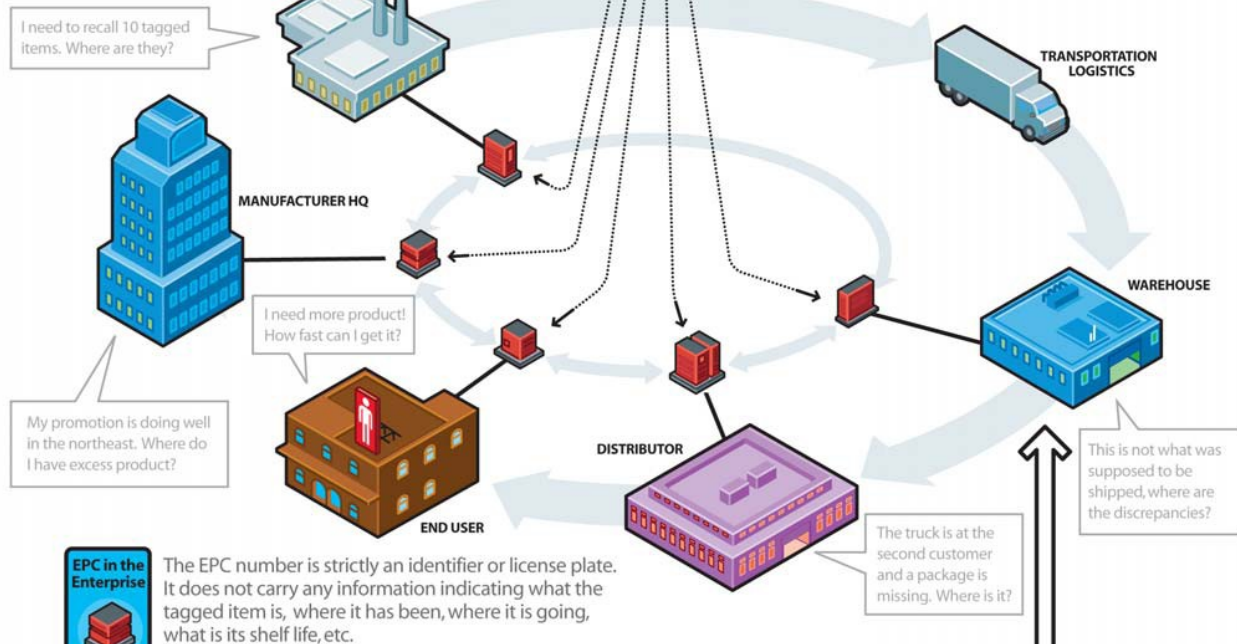
The EPCglobal Network is a secure means to connect servers containing information related to items identified by EPC numbers. The servers, called EPC Information Services or EPCIS, are linked via a set of network services.

Each participant in the EPCglobal Network will store relevant information related to specific EPC numbers in their own EPCIS servers. In a number of situations, local databases will provide the information that is required. If not, this operation will trigger entries in electronic registries indicating that a specific EPCIS server has information about a particular EPC number. When a User submits a query to the EPCglobal Network, it will send the query to the Registries, which will return the address of the various EPCIS containing the requested information.

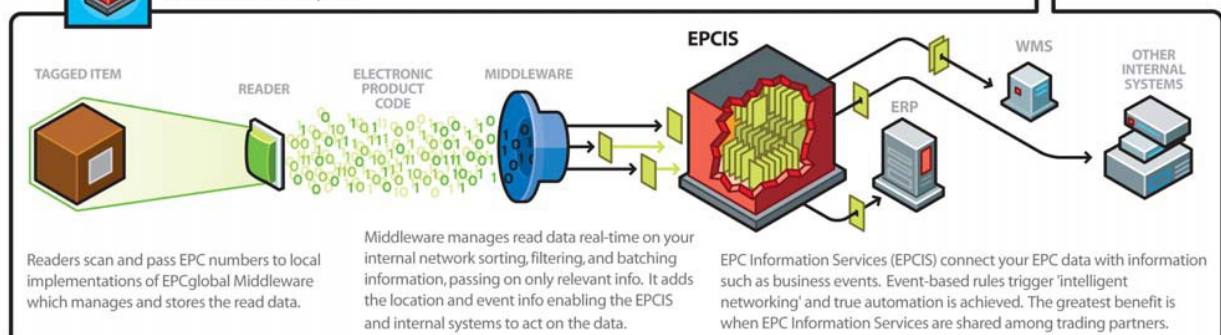


Services will support basic transactions like locating information on a tagged item (ONS), identifying the location of a tagged item in the supply chain as well as perform value-added track and trace functions like identifying the pedigree of an item.

Authorization and Access Control provide privacy and data protection by limiting who sees what and when they are allowed to see it. EPCglobal standards will outline the security needed and set expectations of network participants.



The EPC number is strictly an identifier or license plate. It does not carry any information indicating what the tagged item is, where it has been, where it is going, what is its shelf life, etc.



XPLANATIONS™ are simple visual maps and stories that make complex business issues easier to understand. For more information visit XPLANE at www.xplane.com or call 1/800/750-6467.

XPLANATIONS® by XPLANE®
©2004 XPLANE.com®

D) Gamme de fabrication des circuits intégrés « Mifare »

ISO 7816		ISO 14443		NXP Contactless Mifare® Smart Card ICs									
Product Features		Mifare® Ultralight MF0 IC U1X	Mifare® Std 1k MF1 IC S50	Mifare® Std 4k MF1 IC S70	Mifare® DESFire 2k MF3 IC D21	Mifare® DESFire 4k MF3 IC D41	Mifare® DESFire 8k MF3 IC D81	Mifare® DESFire SAM MF3 IC D40 SAM	Mifare® DESFire® SAM-X MF3 IC D81 SAM				
Memory	EEPROM size [byte]	64	1024	4096	2048	4096	8192	72k	72k				
	OTP area [bit]	32	-	-	-	-	-	-	-				
	Write Endurance [cycles]	10 000	100 000	100 000	500 000	500 000	500 000	100 000	100 000				
	Data Retention [yrs]	5	10	10	10	10	10	10	10				
Organization	16 pages á 4 byte	16 sectors á 64 byte	32 sectors á 64 byte 8 sectors á 256 byte	flexible file system	flexible file system	flexible file system	flexible file system	128 key entries	128 key entries				
RF-Interface	Acc. to ISO 14443A	yes - up to layer 3	yes - up to layer 3	yes - up to layer 3	yes - up to layer 4	yes - up to layer 4	yes - up to layer 4	ISO 7816, T=1	ISO 7816, T=1				
	Frequency [MHz]	13.56	13.56	13.56	13.56	13.56	13.56	1 ... 10	1 ... 10				
	Baudrate [kbit/s]	106	106	106	106 ... 848	106 ... 848	106 ... 848	9.6 ... 1000	9.6 ... 1500				
	Anticollision	bit-wise up to 100	bit-wise up to 100	bit-wise up to 100	bit-wise up to 100	bit-wise up to 100	bit-wise up to 100	-	-				
Security	Operating Distance [mm]	up to 100	up to 100	up to 100	up to 100	up to 100	up to 100	-	-				
	Unique Serial Number [byte]	7, cascaded	4	4	7, cascaded	7, cascaded	7, cascaded	7	7				
	Random Number Generator	-	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes				
	Access Keys	-	2 keys	2 keys	14 keys	14 keys	14 keys	128 key entries	128 key entries				
Access Conditions	per page	per sector	per sector	per application	per application	per application	per application	per key entry	per key entry				
Mifare® Classic Security	-	supported	supported	supported	MACing / Encipherment	MACing / Encipherment	MACing / Encipherment	MACing / Encipherment	MACing / Encipherment				
DES & DES3 Security	-	-	-	-	MACing / Encipherment	MACing / Encipherment	MACing / Encipherment	-	-				
AES 128 Security	-	-	-	-	MACing / Encipherment	MACing / Encipherment	MACing / Encipherment	-	-				
Anti-tear supported by chip	-	for value blocks	for value blocks	for value blocks	yes	yes	yes	-	-				
Special Features	Multi-application	-	supports MAD*	supports MAD2**	28 applications, MAD3***	28 applications, MAD3***	28 applications, MAD3***	-	-				
	Purse Functionality	-	Value block format	Value block format	Value file	Value file	Value file	-	-				
	Secure Transport Transaction	48 byte read 16 byte write	512 byte read 16 byte write	512 byte read 128 byte write	512 byte read 128 byte write	512 byte read 128 byte write	512 byte read 128 byte write	-	-				
	Transaction Time [ms]	31.4	164	140	89	89	89	-	-				
Packaging	Sawn Wafer	-	MF1CS5005W/V9D	MF1CS7001W/V9D	-	-	-	-	-				
	Sawn Wafer (Au-Bumped)	MF0ICU1X01W/V1D	MF1CS5005W/V1D	MF1CS7001W/V1D	MF3ICD210D/W/V110	MF3ICD410D/W/V110	MF3ICD810D/W/V110	-	-				
	MOA2 Module	-	MF1MOA2550/D3F	-	-	-	-	-	-				
	MOA4 Module	-	MF1MOA4550/D	MF1MOA4570/D	MF3MOD210D/W/V410	MF3MOD410D/W/V410	MF3MOD810D/W/V410	-	-				
FCP2 Module	MF0FCP2U1X/DH	-	-	-	-	-	-	-	-				
PDM1.1 Module	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
PCM1.1 Module	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Mifare® Application Directory	**MAD2: MAD Extension for 4 Kbyte EEPROM size	**MAD3: MAD2 Extension for DESFire						P5CT072EV0/T0M68220	P5CT072EV0/T0M68220				
								P5CF072EV2/T0Pxxx00	P5CF072EV2/T0Pxxx00				

*MAD: Mifare® Application Directory

**MAD2: MAD Extension for 4 kbyte EEPROM size

***MAD3: MAD2 Extension for DESFire

Source: NXP

E) Pour aller plus loin

Fabricants

NXT semiconductors	Fondeur	http://www.nxp.com
ST Microelectronic	Fondeur	http://www.st.com
Hitachi	Fondeur	http://www.hitachi-eu.com
Polyic	Fabricant tag TFTC	http://www.polyic.com/
RFSAW	Fabricant tag SAW	http://www.rfsaw.com
Alien Technology	Fabricant d'antennes	http://www.alientechnology.com/
Tagsys	Solutions RFID	http://www.tagsysrfid.com

Normalisation

ISO	Organisation internationale de normalisation	www.iso.org
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	www.etsi.org
EPCglobal	Electronic Product Code Globalisation	www.epcglobalinc.org
AIM Global	Association for Automatic Identification and Mobility	http://www.aimglobal.org/

Protection de la vie privée

Cnil	http://www.cnil.fr	
Groupe de travail Article 29	http://ec.europa.eu/justice_home/fsj/privacy/workinggroup/index_fr.html	
rfidconsultation	http://www.rfidconsultation.eu	
American Civil Liberties Union	http://www.aclu.org	
Privacy international	http://www.privacyinternational.org	
CASPIAN	http://www.nocards.org	et http://www.Spychips.com
Fédération Informatique et Libertés	http://www.vie-privee.org	
European Digital Rights	http://www.edri.org	
Terra Incognita	http://www.privacyconference2007.gc.ca/Terra_Incognita_home_FR.html	

Journaux et Blogs spécialisés

RFID Journal	http://www.rfidjournal.com/
RFID Gazette	http://www.rfidgazette.org/
RFID News	http://www.rfidnews.org/
RFID Update	http://www.rfidupdate.com/
Filrfid.org	http://www.filrfid.org/
Rfidfr.org	http://www.rfidfr.org/

Sites d'informations critiques

The Sorting Door Project	http://www.sortingdoor.com
Rfid Guardian Project	http://www.rfidguardian.org
Sous l'œil des puces	http://www.smallbrothers.org/actu.htm

Livres

- [A] Dominique PARET,
Identification radiofréquence et cartes à puce sans contact. Description,
 Paris, Dunod éditeur, 2001. ISBN-13: 978-2100059553
- [B] Dominique PARET,
Application en identification radiofréquence et cartes à puce sans contact,
 Paris, Dunod éditeur, 2003. ISBN-13: 978-2100057788
- [C] Dominique PARET,
RFID en ultra et super hautes fréquences UHF-SHF. Théorie et mise en œuvre,
 Paris, Dunod éditeur, 2008. ISBN-13: 978-2100493470
- [D] Jerry Banks, Manuel Pachano, Les Thompson, David Hanny
RFID Applied
 New Jersey, JOHN WILEY & SONS, INC. Éditeur, 2007. ISBN-13: 978-0471793656

Etat de l'art et applications des RFID

Frédéric Letient

Grenoble, le 9 juin 2008

Résumé

Depuis 1980 la technologie d'identification par fréquence radio RFID (Radio Frequency Identification) a connue un fort développement lié au besoin grandissant de traçabilité. L'application première est l'identification animale et des articles manufacturés. Les applications récentes vont du contrôle d'accès à la traçabilité intelligente qui intègre des capteurs, de la mémoire et de l'acquisition de donnée dans les transpondeurs.

La traçabilité humaine est aussi une application effective, grâce à l'implantation de puce sous cutanée. Cette application actuelle a une orientation soit médicale, soit en contrôle d'accès.

Autant les multiples possibilités applicatives de la RFID paraissent attrayantes aux industriels et distributeurs (grandes surfaces), autant ces mêmes mots évoquent des craintes quant aux libertés individuelles, à la santé face aux émissions d'ondes électromagnétiques, ainsi qu'à la sécurité face au piratage de ces systèmes.

Connaissant de nombreuses ramifications, l'identification sans contact fait intervenir des disciplines de plus en plus variées tel l'électronique, la microélectronique, la chimie, l'électroacoustique, la magnéto acoustique. Toutes ces disciplines participent à son développement en créant de nouveaux types d'étiquettes et ainsi d'applications possibles.

Sont en particulier exposés ici les principes de fonctionnement, les récentes évolutions technologiques, ainsi que les applications déjà mises en place ou imaginables de la RFID.

Mots-clés : RFID, Tag, Encre conductrice, Encre biocompatible, Traçabilité

Summary

From 1980 on, the radio Frequency Identification Technology (RFID) experiences a strong development linked to the increasing tracing needs. The first application is animal tracing and manufacturing goods identification. Newly applications concern access control as well as smart tracing and tracking integrating sensor, memory and data acquisition in tags.

Human tracing and tracking is also a true application due to chip under-skin implant. This current application is medical oriented or is used in access control.

The multiple RFID possible applications appear attractive to manufacturers and distributors (supermarkets) as much as the same words evoke fears related to personal liberty, to health (with the possible impact of electromagnetic waves) or to security.

With all its ramifications, contactless identification makes electronics, microelectronics, chemicals, electro acoustic intervene. All these disciplines contribute to its development by creating new type of labelling and new applications.

This document especially presents the principles, the latest technological evolutions as well as the current and the prospective RFID applications.

Keywords : RFID, Tag, conductive ink, biocompatible ink, Tracing, Tracking