

Déploiement de la technologie RFID pour de nouveaux usages dans les industries du commerce

THÈSE

présentée et soutenue publiquement le 13 juin 2012

pour l'obtention du

Doctorat de l'université Lille 1

(Systèmes de communications)

par

Charles Anssens

Composition du jury

<i>Président :</i>	Lionel Buchailot	- Directeur de Recherche CNRS
<i>Rapporteurs :</i>	Mohamed Himdi	- Professeur, université de Rennes1
	Raymond Quéré	- Professeur, université de Limoges
<i>Examineurs :</i>	Laurent Dussopt	- Ingénieur HDR, CEA-LETI
	Gilles Grimaud	- Professeur, université Lille1
<i>Invités :</i>	François Laveissière	- Ingénieur Auchan France
	Benoit Courouble	- Directeur général adjoint de Natural Security
<i>Directeurs de thèse :</i>	Nathalie Rolland	- Professeur, université Lille1
	Paul-Alain Rolland	- Professeur, université Lille1

Mis en page avec la classe thloria.

Remerciements

Je remercie très chaleureusement ma directrice de thèse, Madame Nathalie Rolland, Professeur de l'université de Lille 1. Merci beaucoup pour vos conseils et votre soutien, qui ont assuré le bon déroulement de ma thèse.

Je tiens aussi à adresser mes remerciements à mon co-directeur de thèse, Monsieur Paul-Alain Rolland, Professeur de l'université de Lille 1, pour avoir partagé avec moi vos réflexions.

Merci à Madame Sophie Maricot, professeur à Lille 1, de m'avoir orienté vers une thèse CIFRE et de m'avoir mis en relation avec mes directeurs de thèse. Cela fut un plaisir de vous avoir comme professeur

Un grand merci à François Laveissière pour m'avoir permis de travailler chez Auchan tout en y réalisant une thèse CIFRE. Merci à Benoit Courouble pour ses encouragements et pour les réflexions partagées au sujet de la RFID.

Merci à l'Association National de la Recherche et de la Technologie (ANRT) qui m'a octroyé une convention CIFRE sans laquelle je n'aurais pu réaliser cette thèse.

J'adresse mes remerciements tout particulier à Rédha Kassi et Bernard Verbeke pour leurs contributions à mes travaux de recherche. Sans eux je n'aurais pas pu concrétiser certaines expérimentations.

Merci à Laurent Clavier qui m'a offert l'opportunité de donner des cours sur la RFID à des ingénieurs télécommunication. Cette expérience très enrichissante, rendue possible par ma thèse, était un de mes objectifs personnels.

Je remercie mes collègues doctorants pour les échanges passionnants sur nos thèses respectives et tous les coups de mains que nous avons pu nous rendre concernant la théorie des radio-fréquence ou encore l'utilisation des différents logiciels de simulation. Tous ces moments ont fait de ma thèse une expérience très enrichissante, tant professionnellement que personnellement.

*Je dédie cette thèse
à ma femme et à mes parents et grands parents
qui ont été mes principaux soutiens
dans cette aventure.*

Table des matières

Introduction générale	vii
------------------------------	------------

Chapitre 1

Introduction à la technologie RFID

1.1 Historique	2
1.2 Applications existantes de la technologie RFID	3
1.3 Principes fondamentaux : télé-alimentation, passif / actif	3
1.4 Régulation et normalisations	6
1.5 Couche Physique	10
1.6 Protocole de communication	21

Bibliographie	25
----------------------	-----------

Chapitre 2

La RFID appliquée à la grande distribution

2.1 Qu'est ce que la grande distribution	27
2.2 Applications EPC Gen 2 en UHF et applications en HF	28
2.3 Enjeux	28
2.4 Usages	29
2.5 Caisses plastiques RFID pour les fruits et légumes	30
2.6 Expérimentation Textile RFID au magasin de Roncq	38
2.7 Problèmes rencontrés	47

Bibliographie	51
----------------------	-----------

Chapitre 3

Travaux : Amélioration de la technique RFID, expérimentations et analyses
--

3.1 Système de correction des lectures croisées	53
---	----

3.2	Évolution du standard actuel	64
Chapitre 4		
Réseaux de capteurs RFID		
4.1	Cas d’usages métiers	67
4.2	Pourquoi un réseau de capteur	68
4.3	Réseau de capteurs Zigbee	71
4.4	RFID	72
4.5	Énergie	75
4.6	Réalisation	76
4.8	Réseaux d’antennes	81
4.9	Conclusion	86
Bibliographie		89
Chapitre 5		
Conclusion générale et perspectives		
Table des figures		93
Partie I Annexes		97
Annexes		99
Annexe A Annexes scientifiques		99
A.1	Environnement entrepôt	99
A.2	Placement du tag sur les produits	100
A.3	Dissocier la télé-alimentation et le protocole	100
A.4	Module RFID M5E	104
A.5	Publications	105
A.6	Démonstration du réseau de capteurs RFID	114
A.7	Schéma électronique de notre capteur	117
A.8	Carte électronique au format Gerber	118
A.9	Programme pour piloter les déphaseurs alimentant le réseau d’antennes	120
Annexe B Annexes Auchan		123
B.1	Expérimentation RFID Textile	123
B.2	Poster de communication sur les travaux accomplis	125

Introduction générale

Mon parcours dans les communications sans fils a débuté lors de ma dernière année de formation d'ingénieur à Telecom Lille 1 et alors que je recherchais un stage de fin d'étude. Je souhaitais travailler sur les objets communicants utilisant des technologies sans fils. J'ai trouvé une mission sur le premier projet de traçabilité RFID de la société Auchan. Ce stage a été l'occasion de me rendre sur le terrain pour observer le fonctionnement de la technologie RFID en conditions réelles et comment les utilisateurs étaient confrontés à la technologie RFID. J'ai notamment pu remarquer l'écart, en terme de performance, entre la théorie et la pratique sur le terrain. A ce stade, j'ai acquis la conviction que la RFID nécessitait des améliorations afin de rendre plus fiable cette technologie dans le cadre d'une exploitation à grande échelle. J'ai eu ensuite l'opportunité de réaliser cette thèse sur l'amélioration de la RFID et les nouveaux usages dans le cadre de la grande distribution grâce à une Convention Industrielle de Formation par la Recherche (CIFRE) entre le laboratoire IEMN et la société Auchan.

La technologie RFID suscite énormément d'intérêts car cette technologie d'identification des articles permettrait une révolution technologique dans les métiers de la grande distribution. Au début des années 2000, IBM a annoncé que la RFID allait remplacer totalement le code barre dans les 5 années à venir, cette annonce n'a pas été suivie d'effet. La RFID n'est pas encore assez fiable pour concurrencer le code à barre sur toutes les applications en grande distribution, notamment concernant la facturation. La technologie RFID a tout de même de nombreux avantages. Elle facilite la traçabilité, rend les objets communicants et tout cela à une vitesse incomparable par rapport au code à barre. Elle permet donc de capter toujours plus d'informations et répond en cela aux nouvelles attentes de la distribution. Ces attentes viennent soit du besoin d'améliorations des processus, soit d'obligations légales (notamment concernant la traçabilité des objets). La technologie RFID n'est pas encore mature. Cela se ressent au niveau de son coût qui est encore élevé, et de sa fiabilité qui n'atteint pas un niveau suffisant pour juger la technologie comme efficace et surtout rentable dans tous les domaines. Ma thèse est donc dédiée à l'amélioration de la technologie RFID afin de déployer de nouveaux usages dans la grande distribution. Pour parvenir à des améliorations, nous sommes confrontés à des défis techniques mais aussi à des défis quant à la conduite du changement. Ainsi, une partie expérimentale concernera la validation des procédures dans le cadre de la grande distribution. Ces éléments seront constitués de manipulations de base qui ne peuvent pas être qualifiées de scientifiques mais qui sont nécessaires pour prendre en compte tous les aspects d'un système RFID.

Après un état de l'art de la technologie RFID recentré sur la branche dédiée à la grande distribution nous verrons les usages qui peuvent être déployés à court et moyen termes. Nous

présenterons les travaux engagés chez Auchan autour de la RFID, à savoir la mise en place d'un système de traçabilité de contenants logistiques ainsi qu'une expérimentation sur l'inventaire des produits textiles. Ces travaux nous ont permis d'être confrontés aux problèmes de fiabilité de la RFID qui nuisent aux performances de cette technologie. Nous aborderons donc ces difficultés puis nous décrirons ensuite les travaux mis en oeuvre dans le cadre de la thèse pour fiabiliser cette technologie. Ces travaux se déclineront en deux parties, une première partie sur l'amélioration des performances et la résolution du problème des lectures croisées puis une seconde partie sur le développement d'une nouvelle architecture à base de réseaux de capteurs RFID. Cette approche couple la technologie RFID à celle des réseaux de capteurs et permet d'obtenir la visibilité en temps réel des articles notamment grâce à la localisation de ceux-ci. Enfin nous terminerons par une implémentation d'un réseau d'antennes afin de réduire les phénomènes d'évanouissements d'ondes sélectifs en fréquence.

1

Introduction à la technologie RFID

La RFID signifie RadioFrequency IDentification, en français l'identification à l'aide d'ondes radio fréquences. Le terme RFID s'est généralisé et désigne un vaste ensemble d'applications d'identifications d'objets ou d'être vivants au moyen d'une communication par ondes radio, c'est à dire sans fil.

Après un bref aperçu historique de la technologie RFID, nous présenterons l'état de l'art sur une famille précise de la RFID en bande de fréquence UHF qui techniquement permet de réaliser des lectures en grand nombre, à distance raisonnable et à des coûts faibles pour les objets à identifier. Nous présenterons également le standard utilisé dans la grande distribution.

Nous précisons de plus le périmètre considéré car le domaine de la RFID est large tant au niveau des fréquences utilisées que des systèmes standardisés ou privés.

1.1 Historique

La RFID (Radio Frequency IDentification), l'identification par radio fréquence est une technologie qui date de la seconde guerre mondiale. En 1939, les anglais ont mis au point un système qui répond à un signal d'interrogation en réfléchissant ce même signal pour renvoyer la réponse. La technologie était utilisée en complément du radar pour s'assurer qu'un appareil était bien un allié. Si l'on détectait un appareil et qu'il répondait au signal d'interrogation, ce n'était pas un ennemi.

En 1973, Mario Cardullo améliore ce système de communication en brevetant une architecture répondant avec le signal d'interrogation et s'alimentant avec ce même signal. C'est le début de la **RFID télé-alimenté**.

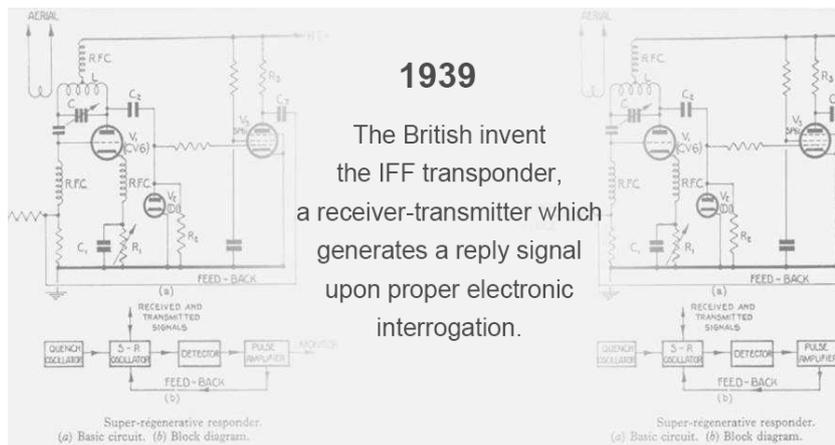


FIGURE 1.1 – Historique

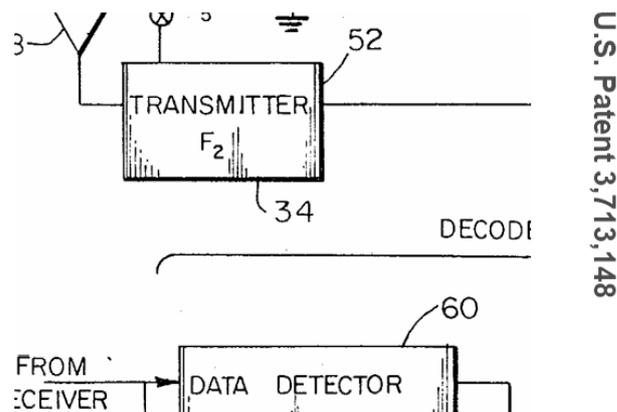


FIGURE 1.2 – Historique

1.2 Applications existantes de la technologie RFID

Comme nous avons vu dans l'historique la première application de la RFID fut militaire et permettait d'identifier les appareils militaire ennemis ou amis et ainsi éviter des tirs fratricides. La technologie RFID a trouvé ensuite des applications civiles dans toutes les industries : primaires (élevage), secondaires (suivi des productions industrielles) et tertiaires (services).

- paiement : carte bancaire NFC, carte de cantine, badge pour distributeur automatique ;
- contrôle d'accès : télé-péage, remontée à ski, badge de parking, accès aux bâtiments ;
- inventaire : gestion des actifs, contrôle des stocks ;
- la localisation : d'articles, de personnes lors d'avalanche ;
- l'"anti-volage" : produit de la grande distribution ;
- la traçabilité : acheminement des bagages dans les aéroports, pilotage de ligne de production, classement de course sportive, animaux, contenants logistiques, médicaments et vaccins.

1.3 Principes fondamentaux : télé-alimentation, passif / actif

1.3.1 Définitions

Le tag est un transpondeur qui communique un identifiant. Il est composé d'une puce électronique gérant les signaux analogiques et numériques, et d'une antenne.

L'interrogateur est le dispositif qui interroge les tags afin de connaître leur identification. L'interrogateur est aussi capable d'écrire dans la mémoire des tags RFID. Dans ce manuscrit, plus généralement, il sera aussi appelé lecteur. L'interrogateur est composé d'une interface de communication informatique afin d'être relié à un réseau de données ou à un ordinateur, cette interface communique avec les circuits logiques de l'interrogateur, qui eux-mêmes gèrent un protocole de communication qui va servir à échanger des informations avec les tags. Les informations sont envoyées à une interface d'électronique analogique (appelée Front-end) qui va permettre de transposer les informations en ondes électro-magnétiques modulées. Ces ondes seront diffusées dans l'air au moyen d'une ou plusieurs antennes connectées directement au lecteur ou raccordées via un câble.

Un système RFID est donc composé d'un interrogateur équipé d'une ou plusieurs antennes et d'un ou plusieurs tags. L'interrogateur, de part ses caractéristiques, possède une zone d'action dans laquelle il est capable d'entrer en communication avec les tags suivant le protocole de communication retenu.

Dans la suite du manuscrit nous utiliseront certains termes appliqués à la RFID. Nous parlerons notamment de "tag" pour désigner les étiquettes électroniques RFID, l'action de poser une étiquette électronique sera dénommée "tagguer".

1.3.2 Gamme de fréquences

Bandes LH et HF

La RFID est une technologie qui est employée sur plusieurs bandes de fréquences et pour des usages différents. Nous avons indiqué que nous concentrerons nos travaux sur la technologie

dans la bande de fréquence UHF. Ce choix est justifié par les caractéristiques de la RFID UHF qui sont notamment une distance de lecture de l'ordre d'une dizaine de mètres et la capacité à lire un grand nombre de tags grâce à un débit assez élevé. Les technologies RFID LF et HF sont limitées à des distances de lecture de l'ordre d'un mètre.

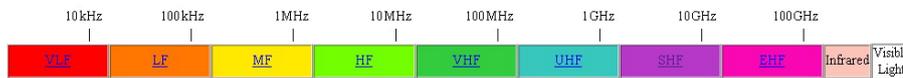


FIGURE 1.3 – Bande de fréquence

Les communications en RFID LF et HF reposent sur la technique de couplage inductif entre deux bobines (Figure 1.4). Le principe est basé sur la loi de Biot et Savart. Pour communiquer, le tag fait varier une charge influant sur sa bobine et donc sur le couplage avec le lecteur.

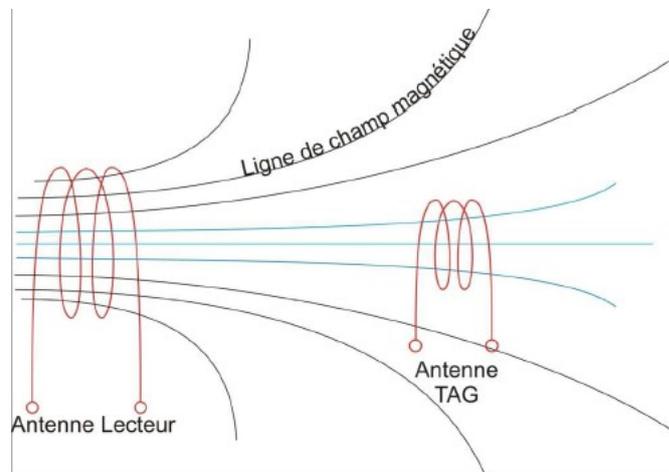


FIGURE 1.4 – RFID en onde longue

Hormis la distance de lecture faible, on peut citer quelques avantages des systèmes LF et HF :

- résistance aux obstacles métalliques ;
- faible distance de communication, donc plus adapté à des communication de point à point ;
- applications adaptées à l'identification d'animaux grâce à la capacité de propagation des ondes BF au travers des tissus biologiques (ou aqueux).

Bande UHF

En UHF, le principe physique de fonctionnement repose sur le rayonnement d'ondes électromagnétiques et sur la rétro-diffusion de ces mêmes ondes incidentes par les tags. C'est ce qu'on appelle le backscattering en anglais. L'information est communiquée en modifiant le coefficient de réflexion et donc en modulant le signal réfléchi. La principale caractéristique de la RFID en UHF est la capacité à télé-alimenter les tags tout en ayant une distance de lecture de l'ordre d'une dizaine de mètres. Grâce à cette portée accrue et à des débits supérieurs cela rend possible les lectures RFID en grand nombre.



FIGURE 1.5 – RFID longueur d’onde courte et vecteur de Poynting

1.3.3 Tags passifs/actifs

Précédemment nous avons vu que les anglais ont inventé un système de communication répondant à une interrogation en utilisant le signal source, ce principe s’appelle le “Backscattering”.

Mario Cardullo l’a ensuite amélioré en concevant un système s’alimentant avec le signal d’interrogation, ce principe s’appelle la télé-alimentation. Ce principe est crucial car il simplifie considérablement la fabrication d’un tag RFID. Avec la télé-alimentation, un tag RFID peut être dépourvu de source d’énergie : pas de fil d’alimentation et pas besoin d’embarquer une batterie. On déporte donc la problématique de l’énergie du côté de l’interrogateur. Les bénéfices de ce principe sont de rendre plus simple la production du tag, de le rendre moins cher et d’augmenter sa durée de vie. Cette approche est d’autant plus pertinente que les tags sont à produire en masse alors que les interrogateurs sont à produire en nombre plus limité. Si la RFID se développe en masse on peut imaginer qu’il y aura 10^5 fois plus de tags que d’interrogateurs.

La RFID n’est pas exclusivement basée sur le principe de la télé-alimentation. On distingue en effet trois types de RFID : la passive, la semi-passive et l’active.

- Technologie passive : c’est la combinaison du principe de backscattering et de la télé-alimentation. Le tag ne peut communiquer son identification que lorsqu’il est interrogé et donc alimenté et disposant d’un signal support pour renvoyer son identification.
- Technologie semi-passive : sur la base de la technologie passive est ajoutée une batterie alimentant le micro-contrôleur du tag RFID. On utilise toujours le backscattering mais sans la télé-alimentation. Le tag est toujours dépendant du signal de l’interrogateur car il est incapable d’émettre, la batterie ne servant qu’à l’électronique logique. Le bénéfice d’avoir une batterie embarquée est d’augmenter la distance de lecture.
- Technologie active : ici le tag est un système de communication à part entière. Il est capable de recevoir et d’émettre par lui même son identification. Le tag n’est plus dépendant ni du backscattering ni de la télé-alimentation.

Tag	Passif	Semi-passif	Actif
Énergie	Télé-alimentation + backscattering	Batterie + backscattering	Batterie
Distance	Courte 5 à 15m	30 à 100m	+ de 100m
Durée de vie	Longue	Moyenne	Courte
Coût	Faible	Moyen	Élevé

TABLE 1.1 – Comparaison des différents types de tags RFID

Les applications majeures dans la grande distribution sont basées sur les étiquettes électroniques RFID passives, la caractéristique la plus recherchée étant le coût car les applications nécessitent un nombre important d'étiquettes électroniques. Dans la suite de ce manuscrit nous serons focalisés sur la technologie passive.

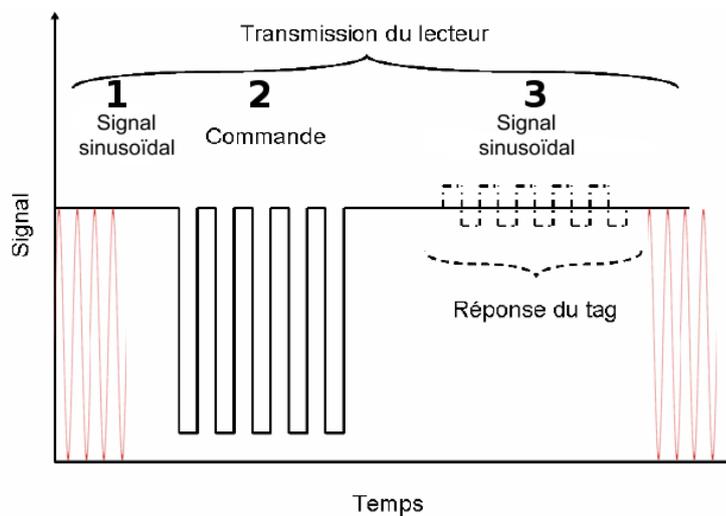


FIGURE 1.6 – Communication lecteur / tag

Sur la figure 1.6, dans la partie 1 le lecteur émet un signal sinusoïdal servant à télé-alimenter le tag. En partie 2, le lecteur transmet une commande de lecture en modulant son signal. Enfin en partie 3, le lecteur émet un signal sinusoïdal afin que le tag puisse réfléchir une partie de ce signal en le modulant pour transmettre ses informations.

1.4 Régulation et normalisations

La régulation est une contrainte officielle qui définit ce que l'on a le droit de faire. Les normes servent à assurer une standardisation et une compatibilité autour de choix techniques qui conviennent au mieux à l'application visée.

1.4.1 Régulation

Concernant la régulation [Reg] il y a deux points à souligner : les contraintes concernant les communications radio-fréquence et le traitement des données.

Les communications par radio-fréquence doivent respecter des règles afin que les diverses applications puissent coexister et éviter qu'une application puisse en perturber une autre. Par exemple, la RFID pourrait brouiller les communications GSM à chaque déclenchement d'un interrogateur RFID. Le but de la régulation est donc d'éviter ce type de conflit.

En Europe les régulations sont définies par plusieurs organisations : d'abord la Commission Européenne des Postes et Télécommunications (CEPT [CEPT]) émet des recommandations qui conduisent à des normes via l'European Telecommunications Standards Institute (ETSI) qui rédige les documents cadrant ce qui est possible de faire

- ETSI EN 302 208 parts 1 & 2 V1.2.1 Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM) ; RFID Equipment operation in the band 865 MHz to 868 MHz with power levels up to 2 W
- ETSI EN 300 220 parts 1 & 2 V2.1.2 Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM)

Les régulations définissent clairement le périmètre des possibilités avec différents paramètres : rayonnements, fréquences, niveaux de puissance, gabarits.

Au niveau Français, l'Agence Nationale des FRéquences (ANFR) et l'Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes (ARCEP) se basent sur les recommandations européennes et les complètent parfois avec des limitations supplémentaires toujours afin de garantir la coexistence des différents systèmes civils ou militaires.

Réglementations supplémentaires concernant la santé et la vie privé

- Au niveau mondial, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) émet des recommandations, de plus l'Europe émet des directives, le but de ces travaux étant de protéger la santé des personnes [SanteEurope] notamment au niveau les expositions aux rayonnements électro-magnétiques. Comme pour les téléphones mobiles, il faut contrôler le SAR (Specific Absorption Rate) et respecter la limite de 2W/kg. Les interrogateurs doivent donc respecter les règles afin de ne pas nuire à la santé des personnes surtout dans le cadre d'un travail où l'exposition aux ondes est constante et non choisie.
- La Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) est une instance qui veille au respect de la vie privée des personnes. Les systèmes RFID doivent se conformer à la loi informatique et libertés. La RFID est souvent mal perçue du point de vue du respect de la vie privée en raison de ses caractéristiques et ses usages. Cette technologie permet en effet d'identifier et de tracer les personnes. Des protections sont donc nécessaires pour éviter tout abus. Des personnes refusent par exemple d'utiliser le pass Navigo de la RATP du fait qu'il identifie la personne alors qu'un simple ticket de métro en carton rend le transport anonyme. Ces peurs sont augmentées lorsque les communications peuvent s'effectuer à des distances de plusieurs mètres et cela de façon totalement invisible (on ne peut pas percevoir les ondes et il n'y a pas de voyant permettant d'indiquer qu'une lecture RFID est en cours). Une des principales recommandations concerne la neutralisation des puces

RFID. Il est souhaitable par exemple de désactiver définitivement une puce RFID dès lors qu'un produit est vendu. Il y a aussi un travail important sur la communication autour de la présence de puce RFID, un logo standardisé est notamment à l'étude pour l'Europe. Afin d'aider les opérateurs de RFID à respecter les principes de la recommandation Européenne de mai 2009, la Commission Européenne a mis en place un groupe de travail chargé de proposer une méthode d'évaluation sur le respect de la vie privée (PIA : Privacy Impact Assessment). Le 11 février 2011, le groupe de travail de l'article 29 sur la protection des données a validé la version finale du «Privacy and Data Protection Impact Assessment Framework for RFID Applications». Ce PIA est un document pour la mise en place de nouveaux systèmes RFID. Il sert à diagnostiquer et à cadrer les liens avec la vie privée des utilisateurs et à mettre en place les sécurités nécessaires en fonction de la criticité des applications.

1.4.2 Standards

Les standards en plus d'assurer la compatibilité servent à réduire les coûts de la technologie, en se protégeant des brevets et en ouvrant la conception de système à la concurrence.

ISO 18000-6C

ISO 18000-6C [Norme18000] définit la RFID pour la gestion des articles au niveau des communications sans fil. Cette référence est liée à une bande de fréquence 860-960MHz et définit les aspects de modulation de porteuse et de codage binaire. Les normes 18000 décrivent un protocole de communication entre lecteur et tag commun entre les diverses applications RFID. Dans cet ensemble, la partie 6 correspond aux applications RFID UHF dans la bande des 860 à 960MHz. Enfin une dernière déclinaison type C précise les choix techniques pour les applications d'identification des objets.

Toutes ces normes cadrent des choix techniques concernant :

- la fréquence ;
- la modulation ;
- le codage.

Ces choix influent sur :

- la distance de lecture ;
- le volume de champ de lecture ;
- la vitesse d'inventaire des tags ;
- la pollution électromagnétique des équipements environnants.

EPC Global Class 1 Gen 2

GS1 est l'organisme qui standardise et attribue les codes à barre. Il s'est prononcé en faveur de la solution EPC Global et en a fait une norme. Naturellement, GS1 a proposé une codification code à barre compatible avec la RFID et a adopté l'EPC (Electronic Product Code) du MIT. De fait le protocole EPC Global Class 1 Gen 2 [EPCair] est la référence dans le commerce.

Le protocole de communication de EPC définit :

- la reconnaissance et l'identification d'un ou plusieurs tags dans le champ du lecteur et la gestion de l'ordonnancement ;
- la taille mémoire de l'étiquette ;
- les zones lisibles ou non de la mémoire ;
- la sécurité ;
- l'autorisation de lecture et/ou d'écriture.

La norme EPC couvre tous les niveaux du modèle de communication OSI. Alors que certaines technologies sont conçues pour traiter une ou plusieurs couches, par exemple le WiFi est une technologie qui définit les couches basses : couche physique et liaison de données (MAC), la norme EPC est présente sur toutes les couches du modèle OSI. On part d'une communication physique entre un lecteur et plusieurs tags pour arriver à des bases de données d'événements RFID et à des applications métier dans le commerce, la logistique, etc.

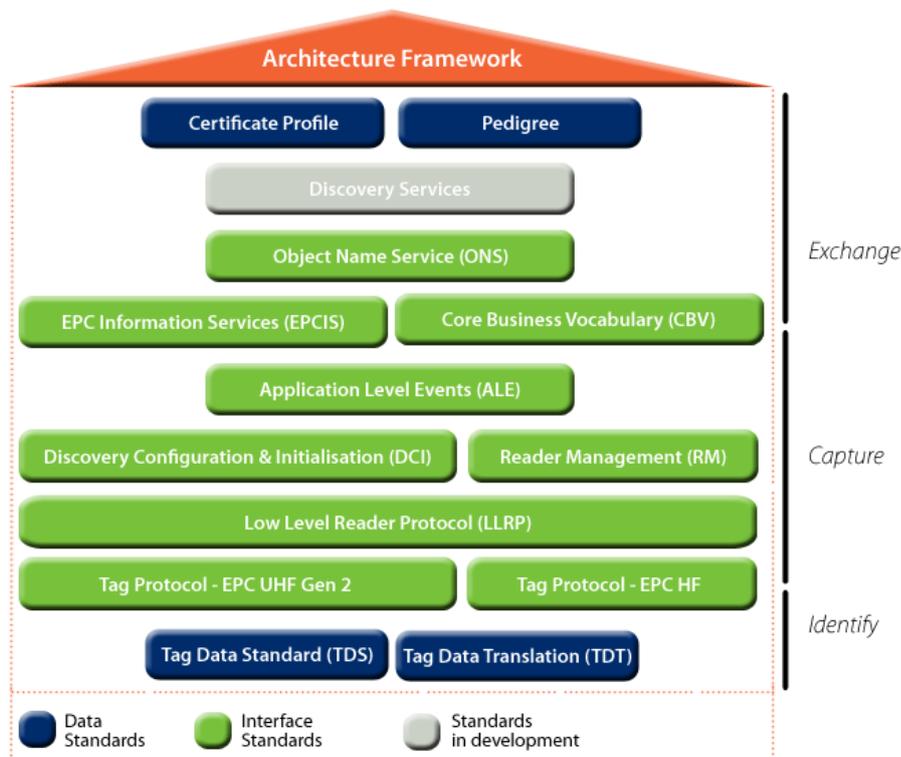


FIGURE 1.7 – EPCglobal Standards Overview, source : EPCglobal

EPC définit la codification d'un identifiant dans la mémoire d'une puce RFID (Figure 1.8). La longueur de l'identifiant peut d'être de 96 ou 198 bit [TDS]. Avec 96 bit, il y a déjà 2^{96} combinaisons. L'identifiant est composé de plusieurs parties : l'header ou type d'identifiant, le EPC manager qui définit l'entreprise qui a conçu le produit, la partie Object Class qui définit une référence produit et enfin le serial number qui identifie unitairement le produit.

Le champ header permet d'indiquer directement quel est le type d'article :

- SGRAI : Global Returnable Asset Identifier, c'est un code qui représente un produit réutilisable telle qu'une palette logistique ;

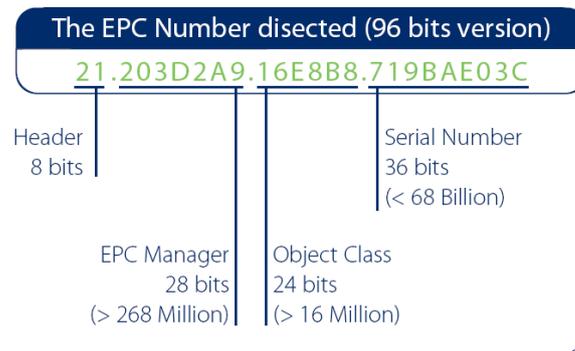


FIGURE 1.8 – Codage d’un identifiant suivant le standard EPC

- SGTIN : Serial Global Trade Item Number, il représente l’identifiant d’un articles prévu pour le commerce de détail ;
- SGLN : Serial Global Location Number, c’est un code qui permet d’identifier un lieu précis ;
- SSCC : Serial Shipping Container Code, c’est un code qui identifie une unité d’expédition d’un ensemble d’objets.

1.5 Couche Physique

La couche physique est prépondérante en RFID car c’est la couche qui est la plus sensible en terme de performance. Sans optimiser la couche physique on ne peut assurer le bon fonctionnement d’un système RFID à tous les niveaux. La couche physique assure la bonne cohabitation avec d’autres systèmes et est le premier élément pour la collecte d’information sur les identifiants d’objets.

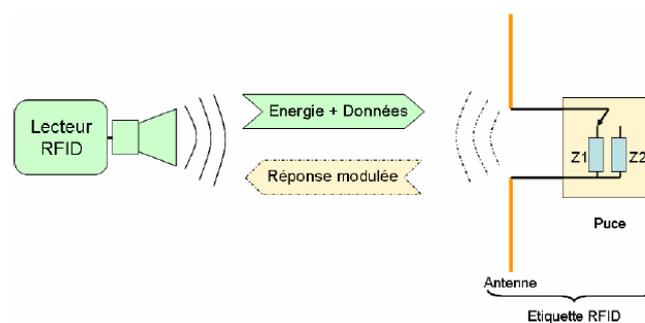


FIGURE 1.9 – Principe de communication RFID

1.5.1 Bilan de liaison

Nous avons vu que la couche physique est prépondérante pour la RFID car elle détermine le rayon d’action d’un interrogateur et la capacité à inventorier une population de tag visée de

manière exhaustive. Le bilan de liaison permet d'établir la bonne communication RFID entre un interrogateur et un tag RFID. Pour établir ce bilan on se base sur l'équation de Friis [RFIDPart].

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (1.1)$$

Où :

- G_t est le gain linéaire de l'antenne d'émission de l'interrogateur ;
- G_r est le gain linéaire de l'antenne de réception du tag ;
- P_t est la puissance en Watt (W) délivrée à l'antenne d'émission ;
- P_r est la puissance en Watt (W) reçue sur l'antenne de réception ;
- R est la distance en mètres (m) séparant les deux antennes ;
- λ est la longueur d'onde en mètre (m).

Cette équation est valide en espace libre, c'est à dire sans réflexions et donc sans trajets multiples. On considère donc dans cette formule simple que :

- les antennes sont en visée directe (LOS) ;
- les polarisations des antennes sont compatibles ;
- les impédances des sources et des antennes sont bien adaptées ;
- l'efficacité du rayonnement des antennes est de 100%.

Cette première équation de bilan de liaison permet de calculer quelle puissance le tag va recevoir au niveau de l'entrée analogique de la puce. En connaissant le seuil de télé-alimentation, c'est à dire la puissance minimale requise pour que le tag fonctionne, on peut en déduire la distance maximum pour télé-alimenter un tag. Le seuil de télé-alimentation est une donnée fournie dans les fiches techniques des puces RFID (exemple puce Imping Monza 4 : -17.4dBm, soit 0,02mW).

Avec cette puissance minimum requise $P_{r_{min}}$, on peut calculer la distance maximum de fonctionnement :

$$R_{max} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t}{P_{r_{min}}} G_t G_r} \quad (1.2)$$

On peut aussi calculer le bilan de liaison avec une communication complète : liaison montante et descendante. Le calcul s'effectue simplement sachant qu'avec de la RFID télé-alimentée il n'y a qu'une source d'énergie fournie par l'interrogateur. Dans cette équation il faut prendre en compte un nouveau coefficient représentant le niveau de puissance réfléchi par le tag et donc rediffusé vers l'interrogateur. Nous noterons ce coefficient σ . Soit P_s la puissance réfléchie par le tag et s le module du vecteur Poynting de l'onde incidente émise par l'interrogateur :

$$P_s = \sigma P_r$$

Dans le cas d'un bilan de liaison complet, nous partons d'une puissance incidente de l'interrogateur, cette puissance est atténuée par le médium, l'air, l'atténuation dépend de la fréquence et de la distance parcourue. Le tag reçoit cette onde incidente. Si le seuil de télé-alimentation est atteint le tag est en mesure de réfléchir une partie du signal. Le signal réfléchi et modulé reparcourt le médium pour enfin être reçu au niveau de la partie réception de l'interrogateur.

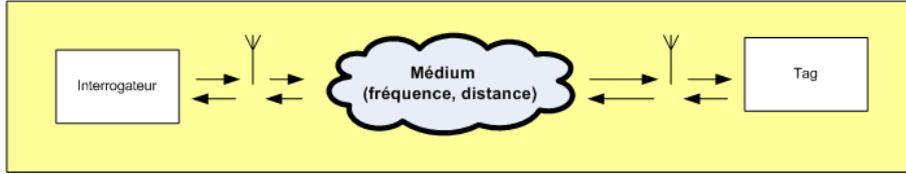


FIGURE 1.10 – Bilan de liaison montante et descendante

Puissance de retour reçue par l'interrogateur :

$$P_{recue} = P_t \sigma G_t^2 G_r^2 \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^4 \quad (1.3)$$

Formule de l'atténuation du médium air :

$$attenuation = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \quad (1.4)$$

Plus la distance est élevée, plus l'atténuation est forte et cela évolue en puissance carrée. Plus la longueur d'onde est courte (c'est à dire plus la fréquence est élevée), plus l'atténuation est forte.

Exemple d'atténuation dans l'air pour une distance de communication de 5 mètres à une fréquence de 865MHz :

$$attenuation = \left(\frac{4 * 5\pi}{0,347} \right)^2 = 32786(\text{soit } 45,25\text{dB}) \quad (1.5)$$

Pour une communication de 5 mètres, la puissance de l'onde incidente va donc être divisée par 32 786. Sur la résultante une partie va être rediffusée en fonction du coefficient de rétro-diffusion σ , cette puissance va de nouveau être atténuée par 32 786. Les échelles paraissent grandes en linéaires, en décibel la perte due au médium s'élève à -90,5 dB. **Une des questions que l'on peut se poser est quel est le chemin limitant la communication ?** La liaison montante pour télé-alimenter le tag ou le chemin global que parcourt l'onde incidente et qui est atténuée deux fois par le médium air ? La réponse dépend du niveau de sensibilité de l'interrogateur. Aujourd'hui les interrogateurs du commerce ont une sensibilité allant de -80 à -90dBm. En prenant en compte l'état de l'art actuel un seuil de détection de -17,5dBm et un seuil de sensibilité de -90dBm, comparons les puissances P_r par rapport au seuil de détection et P_{recue} par rapport au seuil de sensibilité pour une portée de 5m dans un cas typique avec une puissance de 1W et des antennes de gain unitaire :

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 = \frac{1 * 1 * 1}{32786} = 0,03\text{mW} \quad (1.6)$$

$$P_{recue} = P_t G_t^2 G_r^2 \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^4 = \frac{1 * 1^2 * 1^2}{32786^2} = 9,310^{-7}\text{mW} \quad (1.7)$$

En comparant les seuils mentionnés ci-dessus, on se rend compte que pour la télé-alimentation le seuil est tout juste respecté, alors que pour le signal retour vers l'interrogateur le seuil est largement respecté, il y a un facteur 10^3 entre le résultat obtenu et le seuil limite. Le chemin limitant est donc bien la liaison montante qui permet la télé-alimentation du tag RFID [PerfLim]. Ce constat pourra évoluer lorsque les puces RFID consommeront moins d'énergie. Pour consommer moins d'énergie il faudra améliorer conjointement l'architecture du dispositif de récupération de l'énergie d'un tag et le module radio.

Remarque : ceci est valable pour les tags télé-alimentés. Dans le cas des tags actifs et semi-passif la problématique est inversée c'est la liaison descendante qui doit être optimisée et notamment la sensibilité de l'interrogateur.

1.5.2 Le tag

Le tag, ou étiquette électronique, est l'élément qui permet de rendre un objet communicant par ondes radio. Les tags ne cessent de se perfectionner tout en ayant un coût qui décroît fortement (figure 1.11). Les spécialistes du secteur de la distribution estiment qu'une fois le seuil des 5 centimes d'euro [IBMTAG] atteint le tag sera adopté en masse sur un maximum de produits.

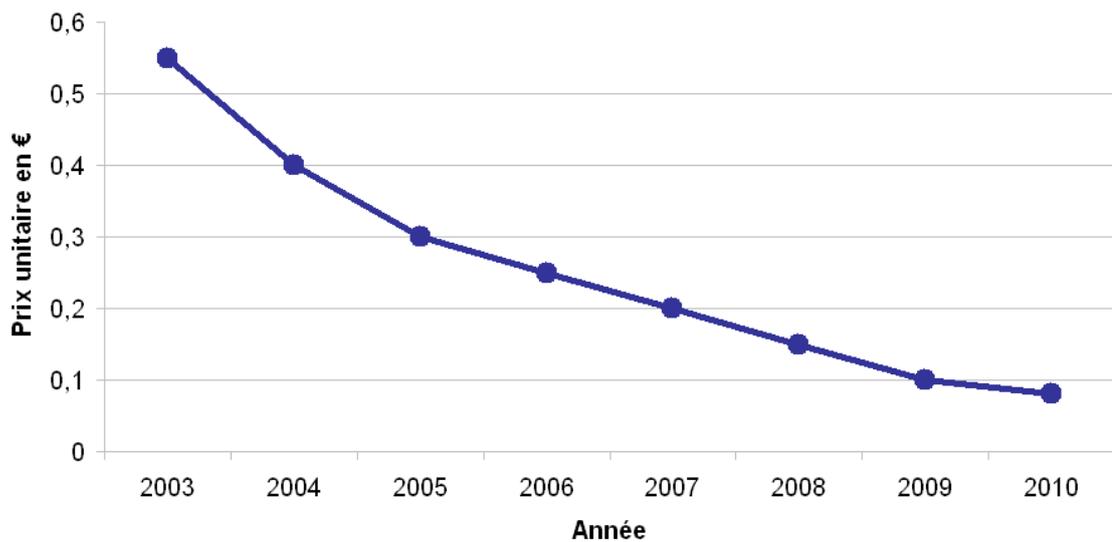


FIGURE 1.11 – Évolution du cout d'un tag (Source : IDTechEx)

Architecture de la puce

La puce électronique du tag contient tous les éléments permettant de traiter les signaux analogiques et numériques. La puce intègre une partie gestion de l'alimentation avec un redresseur de tension et un régulateur afin de fournir une tension continue pour alimenter la puce. La tension source de ce mécanisme est l'onde incidente reçue par l'antenne. Afin de maximiser le transfert de puissance, les impédances de l'antenne et de la puce doivent être adaptées. C'est en affectant ce paramètre que le signal de retour peut-être modulé. En effet en modifiant l'impédance de la puce

on fait varier la réflexion de l'onde incidente qui constitue le signal retour vers l'interrogateur.

Voici les différentes fonctions de la puce utilisées durant une communication RFID :

1. redresser le signal alternatif provenant du lecteur ;
2. récupérer le rythme ;
3. démoduler le signal analogique ;
4. décoder le signal numérique ;
5. analyser le signal numérique par la brique logique pour interpréter les communications et se conformer au protocole défini par le standard ;
6. coder les communications et les moduler en faisant varier l'impédance appliquée à l'antenne.

Enfin un dernier point crucial, la puce intègre une zone mémoire pour stocker l'identifiant de l'objet. Cette mémoire comporte des zones en accès lecture seule et d'autres en lecture et écriture.

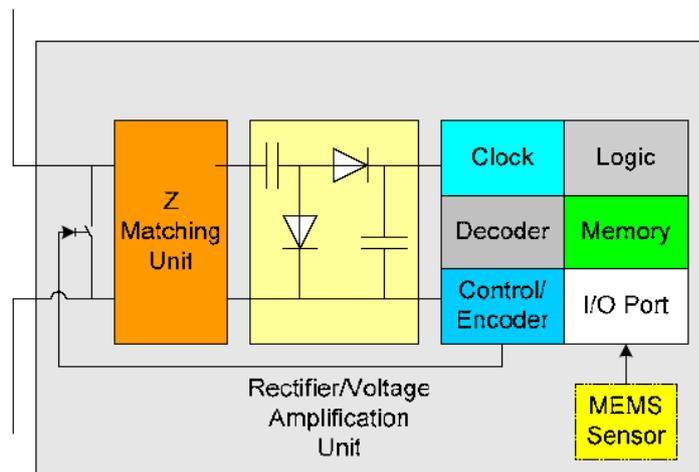


FIGURE 1.12 – Architecture simplifiée d'une puce RFID (source [TagDiag])

Antenne

La puce électronique est une partie du tag très normée alors que l'antenne est une partie qui nécessite souvent une conception spécifique à l'application. Cette conception de l'antenne va influencer de nombreux paramètres dont :

- le gain et la directivité ;
- l'accord de l'antenne en fréquence ;
- l'adaptation d'impédance pour optimiser le transfert de la puissance reçue par la puce ;
- la largeur de bande ;
- la polarisation de l'antenne : orientation du tag vis à vis de l'interrogateur.

Généralement, les tags sont équipés d'une antenne dipôle qui permet d'avoir un bon compromis entre gain, encombrement, directivité et largeur de bande. Les performances d'une antenne varient en fonction de l'objet qui est à identifier. La problématique sera totalement différente

suivant qu'il s'agit de tagguer un produit textile ou une caisse contenant des fruits et légumes. La différence entre ces deux types d'objets est la présence ou non de matériaux qui vont interagir avec les ondes électromagnétique à la fréquence de la RFID UHF. Dans le cas des caissettes, la contenance en eau des fruits et légumes va influencer les performances du tag. Un tag réglé pour fonctionner en espace libre va fonctionner normalement s'il est apposé sur du textile. Par contre s'il est apposé sur une caisse de fruits et légumes, il va être désaccordé et ne fonctionnera plus de façon optimale, ce qui aura pour première conséquence une distance de communication fortement réduite.

Le rayonnement 3D d'un dipôle est en forme de tore à collier nul, il y a donc des zones dans lesquelles le dipôle ne rayonne pas. Il existe donc une contrainte quant au positionnement du tag par rapport à l'antenne de l'interrogateur. Cette contrainte peut être levée avec des antennes omnidirectionnelles.

La polarisation linéaire des antennes dipôles est un paramètre à prendre en compte. Il faut s'assurer de la compatibilité des polarisations entre le tag et l'interrogateur, sans quoi il y a un risque d'impossibilité de communication RFID. En effet, deux antennes polarisées linéairement, l'une verticalement et l'autre horizontalement ne permettent pas de transmettre un signal de façon optimale. Ce cas se produit fréquemment avec des lecteurs mobiles équipés d'une antenne dipôle. Quand les deux polarisations ne sont pas alignées il apparaît une dégradation de la qualité de la communication.

Fabrication des tags

Les tags sont fabriqués à partir de quatre éléments :

- une puce électronique (ex : NXP U-CODE, Imping Monza, Alien) ;
- une antenne (Dipôle en aluminium ou en cuivre) ;
- un substrat (PET : polyéthylène téréphtalate) ;
- un facteur de forme (étiquette cartonnée, adhésive, tag moulé dans un pièce de plastique).

Les puces électronique sont fabriquées à partir de substrats silicium. L'unité de production est une galette qui contient des milliers de puces RFID. Plus la taille de la puce est petite et plus le diamètre des substrats est important, plus on obtient de puces sur ce substrat et donc plus le prix unitaire de la puce baisse.

Les antennes sont réalisées par dépôt de matière métallique sur le substrat diélectrique (plastique, carton,...) suivant le dessin de l'antenne et on vient ensuite coller la puce à l'extrémité des brins de l'antenne dans le cas d'un dipôle. Cette étape est critique car l'alignement des connecteurs de l'antenne et de la puce est un facteur influant sur les performances du tag. Pour faciliter l'assemblage puce-antenne on peut utiliser un couplage magnétique entre la puce et l'antenne. A ce stade, l'ensemble réalisé est nommé inlay et il ne reste plus qu'à l'intégrer dans un facteur de forme (étiquette, tag plastifié, étiquette autocollante...).

Lors de la fabrication des tags, il y a une forte contrainte quant à la régularité des performances. En effet, si tout un système est conçu pour une communication à 5 mètres, le tag est optimisé et accordé en fonction de l'objet à identifier. Si les tags ne sont pas identiques en performance le système ne va pas fonctionner de façon optimale. D'où un fort besoin de reproductibilité et de précision notamment sur l'étape de collage de la puce sur le substrat d'où l'intérêt d'un couplage magnétique.

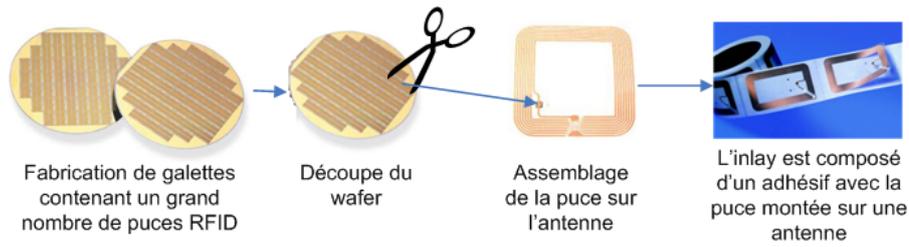


FIGURE 1.13 – Fabrication des Inlay

1.5.3 Les interrogateurs

Architecture des interrogateurs

Les interrogateurs sont des systèmes de communication intégrant une partie logiciel de contrôle, une partie électronique numérique et une partie électronique analogique. Ils comportent une autre partie de communication dédiée à la transmission des informations numériques collectées auprès des tags et généralement les interrogateurs communiquent via Ethernet ou port série vers les systèmes d'information.

Ci-dessous la figure 1.14 illustre l'architecture RF d'un lecteur mono-statique, c'est à dire qu'une seule antenne est utilisée pour émettre et recevoir les informations. La séparation des deux liaisons est réalisée grâce à un circulateur ou à un coupleur directif.

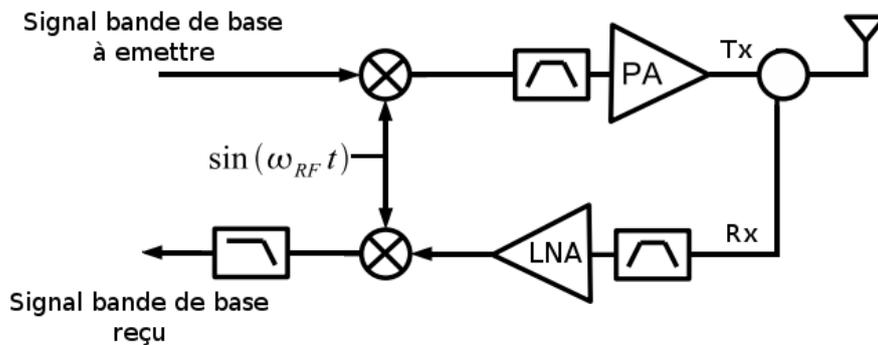


FIGURE 1.14 – Émetteur récepteur hétérodyne

Les grandes fonctions des deux chaînes de transmission/réception sont résumées dans le tableau 1.2 ci-dessous :

L'architecture de la puce Impinj Indy [RFIDIndy] (figure 1.15) montre l'architecture complète d'une puce "System on Chip". Il s'agit d'un émetteur/récepteur hétérodyne avec donc un mélange de fréquences et un modulateur/démodulateur I-Q.

Émission	Réception
Génération du signal numérique	Réception
Codage du signal	Amplification
Modulation	Filtrage
Amplification du signal	Démodulation
Émission	Décodage
	Traitement du signal numérique

TABLE 1.2 – Grandes fonctions de l'émission et de la réception

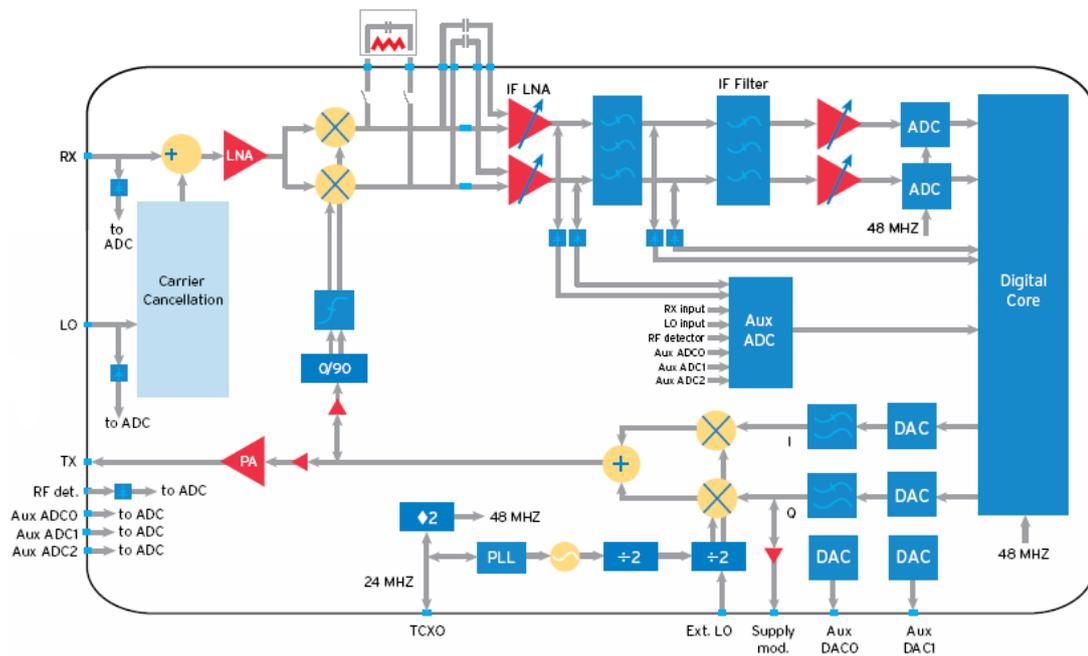


FIGURE 1.15 – Architecture du lecteur SoC RFID Impinj Indy 2000

Antennes pour interrogateurs

L'antenne est un élément important dans le système d'interrogations RFID et sa conception doit répondre à plusieurs questions : souhaite-t-on émettre dans toutes les directions de l'espace ou doit-on se focaliser dans une direction ? Les tags vont-ils toujours être dans la même position ? Sous entendu existe-t-il une convention concernant l'alignement du dipôle du tag RFID et donc une possibilité de réglage de la polarisation de l'antenne en adéquation avec la position du tag ?

Les paramètres définissant les contraintes de l'antenne sont :

- l'encombrement ;
- la polarisation ;
- le compromis distance/gain ;
- l'angle d'ouverture/directivité.

Les principaux types d'antennes (non exhaustif) sont :

- les dipôles ;

- les antennes patch ;
- les antennes fentes ;
- les antennes Yagi.

Suivant les contraintes, on va sélectionner une antenne parmi les différents types possibles, chacune ayant sa spécificité. Ainsi généralement pour un interrogateur de type portique les antennes patch seront privilégiées pour leur gain et leur directivité. Elles permettent aussi facilement d'être polarisées circulairement. Pour une imprimante et encodeuse de tag, une antenne microstrip ou Slot sera privilégiée pour sa compacité. De plus, l'alignement des tags étant connu, il n'y a pas de problème de polarisation. Enfin pour un interrogateur embarqué dans un terminal mobile, les antennes dipôles sont favorisées pour leur compacité. Pour s'affranchir des contraintes de polarisation des antennes d'émission et de réception, certains terminaux mobiles embarquent deux dipôles croisés (Cross dipôle) permettant soit de faire de la double polarisation horizontale et verticale, soit de la polarisation circulaire en déphasant de 90° les sources d'alimentation des deux dipôles.

Nous avons présenté une architecture mono-statique mais il existe aussi des lecteurs avec une architecture bi-statique où deux antennes sont utilisées. Une antenne est dédiée à l'émission et l'autre à la réception pour éviter d'utiliser un duplexeur émission/réception. La sensibilité de l'interrogateur est meilleure dans ce cas. Par contre l'utilisation de deux antennes augmente l'encombrement et le coût du système RFID.

De plus en plus de systèmes RFID embarquent des réseaux d'antennes. Ces réseaux sont utilisés afin de créer des rayonnements par faisceaux (Beam Forming) avec une fort gain et une forte directivité. La formation de faisceau peut être obtenue par commutation ou par l'utilisation de réseaux déphasés plus complexes. Pour alimenter un réseau d'antennes à formation de faisceau il faut mettre en place une architecture spécifique qui permet de contrôler les alimentations, soit par une architecture avec une matrice de Butler [FEP02] [NPA07], soit par une architecture utilisant des composants actifs.

Facteur de forme pour les interrogateurs

“Interrogateur” est le terme générique pour nommer toutes les stations de base capables de communiquer avec les tags RFID. Les interrogateurs peuvent prendre différentes forme suivant leur usages :

- portique : Lire en quantité des flux entrées/sorties ;
- tunnel : Lecture unitaire dans un environnement confiné ;
- lecteur de bureau : lecteur connecté directement à un ordinateur pour lire unitairement des tags ;
- lecteur mobile : lecteur intégré dans un PDA utilisé pour faire des inventaires dans une surface déterminée ;
- imprimante : lecteur dans une imprimante pour encoder les tags.

1.5.4 Optimisation des canaux disponibles

Chaque pays attribue des canaux pour la RFID. Ils sont caractérisés principalement par une fréquence centrale, une largeur de bande et une puissance maximale. En Europe, c'est l'ETSI qui

fixe les canaux (ERC/REC 70-03). L'ARCEP peut y intégrer des dérogations supplémentaires, notamment pour des raisons militaires.

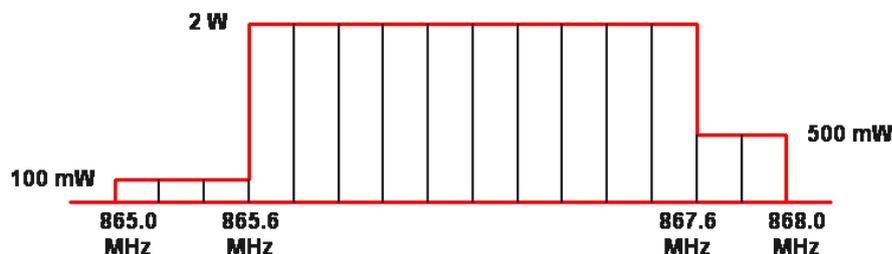


FIGURE 1.16 – Gabarit spectral des canaux RFID pour la France

Sur la figure 1.16, on peut remarquer qu'il n'existe que 10 canaux disponibles pour émettre à la puissance maximale de 2W. Cela devient très contraignant lorsqu'il y a beaucoup d'interrogeurs qui doivent fonctionner en même temps dans un lieu délimité. C'est le cas par exemple dans un entrepôt qui dispose de plusieurs dizaines de quais de chargement tous équipés de portiques RFID. La RFID n'utilise pas de réelle technologie de multiplexage temporel mais un mécanisme appelé Listen Before Talk (LBT) plus simple qui permet de veiller à ce qu'un interrogeur n'utilise pas un canal déjà occupé en écoutant avant d'interroger. Il existe aussi des solutions pour répartir dans l'espace les interrogeurs en fonction de leur canal afin d'optimiser l'espacement physique entre deux lecteurs utilisant le même canal [RFIDSync]. Cela ne résout cependant pas le problème de la coexistence de dizaines d'interrogeurs qui émettent avec la même puissance qu'un téléphone mobile et donc avec une portée comparable à celle d'un téléphone cellulaire. Le réel problème est que deux interrogeurs sur le même canal se perturbent l'un et l'autre en parasitant la réponse des tags qu'ils cherchent à lire. Le signal modulé du tag se retrouvant dans la même bande que celle des interrogeurs, il devient inaudible. En effet, vu les échelles de puissance entre l'émission d'un interrogeur et le signal modulé réfléchi d'un tag, les réponses des tags se retrouvent noyées par le bruit des interrogeurs. En fait, deux interrogeurs occupant un même canal ne se perturbent pas directement mais perturbent le signal réfléchi par le tag qui est de faible puissance.

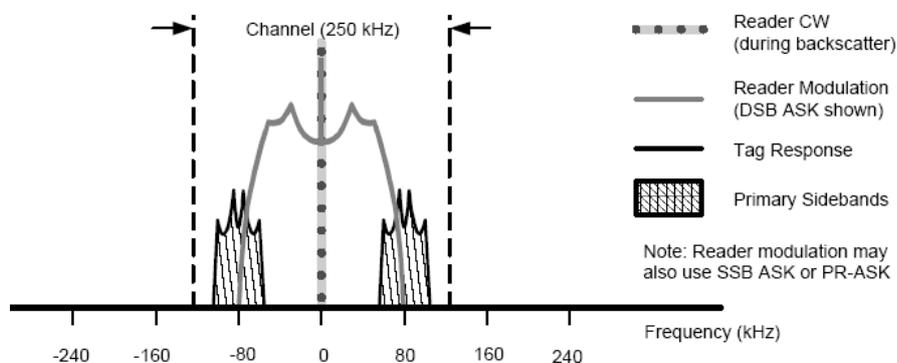


FIGURE 1.17 – Liaison RFID sans mode DRM

Ce problème a conduit à une amélioration de la réglementation pour l'Europe. Il a été ajouté un mécanisme spécial : le Dense Reader Mode (DRM). Ce mode réduit le nombre de canaux de 10 à 4 pour les interrogateurs mais garantit 6 canaux dédiés aux signaux rediffusés par les tags et sans pollution spectrale provenant des interrogateurs. Ainsi les interrogateurs continuent d'émettre sur les mêmes canaux mais ne perturbent plus la réponse des tags.

On précise que cet ajout est dédié à l'Europe car les autres régions du monde sont moins concernés par ce problème, leur législation autorise d'autres mécanismes : le FHSS et le DSSS.

DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum, étalement de spectre à séquence directe, permet l'étalement de spectre (moins de densité spectrale de puissance) de façon à résister aux interférences. La puissance est diluée sur la bande du canal.

FHSS : Frequency Hopping Spread Spectrum, étalement de spectre par saut de fréquence. L'émetteur choisit pseudo-aléatoirement une fréquence dans une large plage de fréquences. Le FHSS permet une utilisation efficace de la bande de fréquence et comme précédemment la transmission est plus résistante aux interférences.

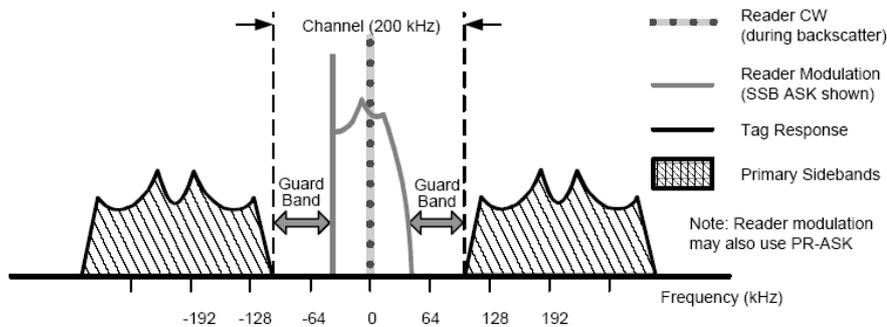


FIGURE 1.18 – Liaison RFID avec mode DRM

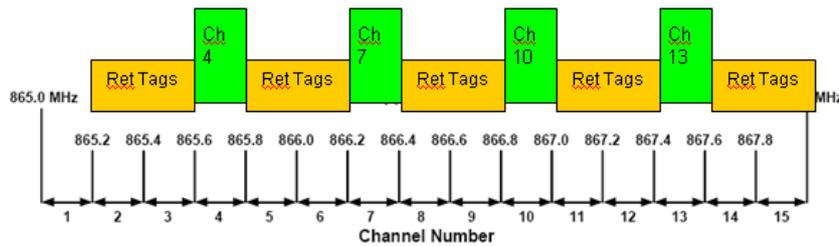


FIGURE 1.19 – Illustration de tous les canaux RFID autour de 860MHz avec mode DRM

1.5.5 Modulation et codage

La modulation consiste en la modification d'un des paramètres du signal (amplitude, fréquence, phase,...) suivie d'une transposition du signal en bande de base à une fréquence porteuse UHF en vue d'une transmission sans fil. La technique la plus utilisée est l'ASK (Amplitude Shift Keying) à x%. Le but est de transmettre l'information et dans le cas précis de la RFID avec tag passif, de transmettre aussi l'énergie tout au long de la communication. Le choix de la modu-

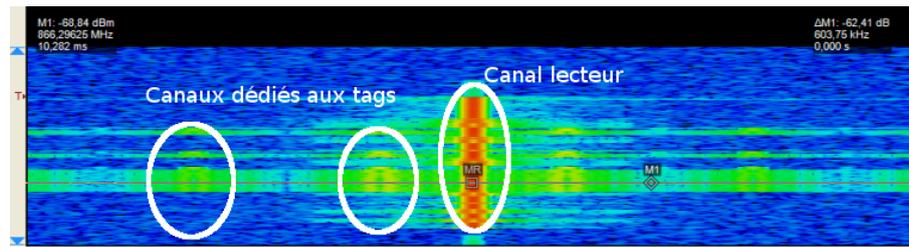


FIGURE 1.20 – Vue temporelle d'une communication RFID en mode DRM

lation est déterminant pour les performances d'un système RFID. La modulation FSK (Phase Shift Keying) permettrait d'avoir une meilleure efficacité que l'ASK pour la fourniture d'énergie au tag. Cependant la démodulation FSK rend plus complexe l'architecture analogique d'un tag. L'ASK est donc la technologie privilégiée car elle constitue un bon compromis entre simplicité pour le circuit de détection et capacité de télé-alimenter un tag.

Le codage, lui, transforme les données numériques afin de limiter les erreurs d'interprétations des bits en réception (décision 1 ou 0). Le codage permet aussi de détecter les collisions (émissions simultanées d'un 1 et d'un 0 par deux sources distinctes (figure 1.21)). Le type de codage influe de plus sur le débit d'informations, par exemple le codage FM0 [EPCair] permet d'avoir un débit supérieur au codage Miller M8 [EPCair]. Le tableau 1.3 synthétise les combinaisons possibles de codage et de modulation en fonction de l'émetteur du signal. Le récepteur doit savoir de son côté démoduler et décoder le signal.

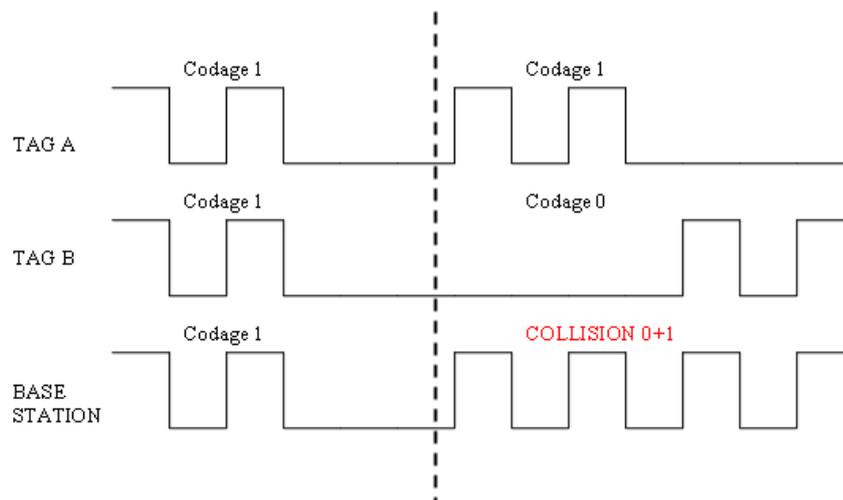


FIGURE 1.21 – Collision de deux réponses de tag

1.6 Protocole de communication

Le protocole de communication sert à gérer l'ordonnancement des communications et à définir un langage commun entre les interrogateurs et les tags. Il permet aussi de sécuriser certains

	Modulation	Codage
En sortie du lecteur et en entrée du tag	ASK (DSB ou SSB)	PIE
En sortie du tag et en entrée du lecteur	ASK ou PSK	FM0 ou Miller Modulated subcarrier

TABLE 1.3 – Les différentes combinaisons de modulation et de codage pour la norme 18000-6C

éléments du système.

1.6.1 Ordonnancement des communications

Les communications en RFID se déroulent de pair à pair suivant le mode Half-Duplex, c'est à dire qu'il n'est pas possible que le tag et l'interrogateur parlent en même temps. L'interrogateur initie toujours la communication. On parle de mode RTF pour Reader Talk First. Une des premières tâches de la couche protocole de l'interrogateur est d'ordonner les communications avec les tags. Les communications étant de pair à pair, si deux tags communiquent en même temps on parle de collision car lors du décodage du signal on se retrouvera avec des informations incohérentes constituées par le mélange des deux réponses. Pour gérer ces collisions, l'interrogateur doit orchestrer une procédure afin d'isoler chaque tag pour communiquer avec celui-ci et ainsi de suite pour chaque tag. Cette étape est appelée la "singularisation". La technique employée est celle du "Slot-Count" [EPCair], technique basée sur l'estimation du nombre de tag dans le champ d'action de l'interrogateur. En fonction du nombre de tag on choisit une plage de nombre plus ou moins grande et dans cette plage définie par 2^n les tags auront à choisir un nombre aléatoire. Ensuite l'interrogateur va appeler systématiquement le tag ayant le nombre zéro et à chaque appel tous les tags devront décrémenter leur nombre de 1. Des collisions peuvent néanmoins se produire et dans ce cas les tags concernés doivent re-choisir un nouveau nombre. On réduit le nombre de collisions possibles en augmentant la taille de la plage. Cependant ceci pénalise la vitesse de lecture. Le tag ayant son nombre à zéro entre en communication avec l'interrogateur, le tag est isolé ("singularisé").

1.6.2 Commandes de communications

Il y a trois types de commandes :

- les commandes de sélection pour sélectionner une population de tags répondant à un critère spécifié par l'interrogateur ;
- les commandes d'inventaires pour inventorier une population de tags et obtenir les codes EPC ;
- les commandes d'accès pour lire une zone mémoire précise, pour écrire dans une zone mémoire, pour protéger une zone mémoire d'une écriture ou pour tuer un tag.

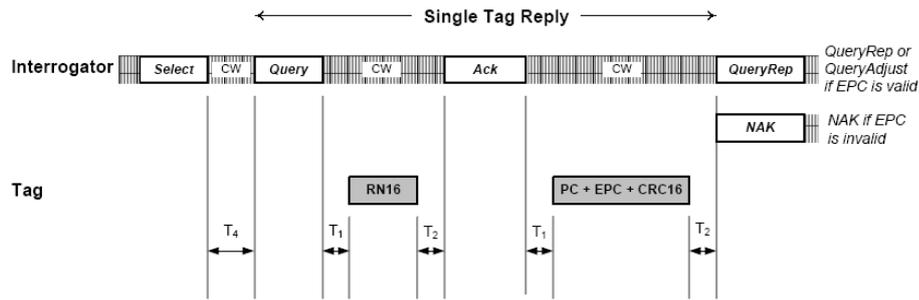


FIGURE 1.22 – Commande d’inventaire, vue temporelle

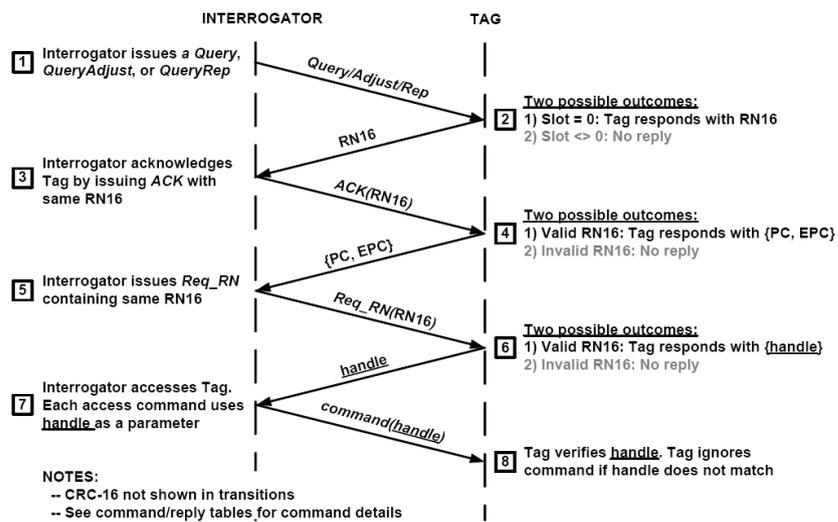


FIGURE 1.23 – Commande d’inventaire, vue séquentielle (spécification EPC)

1.6.3 Sécurité

On peut distinguer deux éléments concernant la sécurité : le contrôle d’intégrité des messages et la sécurité concernant certaines commandes, notamment celles qui permettent d’écrire dans la mémoire de la puce. Le contrôle d’intégrité est réalisé via un code CRC (Contrôle de Redondance Cyclique) sur 16 bit. Le CRC est construit en fonction du message et si celui-ci est altéré le CRC ne correspondra plus au message et indiquera donc une altération.

Les commandes “Access” permettent d’écrire sur la mémoire de la puce, de bloquer l’écriture et de neutraliser définitivement un tag. Ces commandes doivent être verrouillées par mot de passe afin d’éviter que n’importe qui puisse modifier l’identité d’un objet, s’en attribuer le contrôle ou encore neutraliser un tag qui ne devrait pas l’être. Ces commandes sont donc protégées avec des mots de passe de 32 bits. Pour qu’un mot de passe soit efficace il faut qu’il soit différent pour chaque objet et cela pose le problème de la gestion des mots de passe pour des millions voir des milliards d’objets.

Bibliographie

- [TagDiag] Bing Jiang, Joshua R. Smith, Matthai Philipose, Sumit Roy, Kishore Sundara-Rajan, and Alexander V. Mamishev. Energy Scavenging for Inductively Coupled Passive RFID Systems. IMTC 2005, Instrumentation and Measurement, Technology Conference, Ottawa, Canada, 17-19 May 2005.
- [Reg] Gérard-André Dessenne RFID : règlements et standards DATAcollection Octobre 2005
- [CEPT] CEPT CEPT ERC/REC 70-03 Relating to the use of Short Range Devices (SRD) CEPT ECC Report 037 Compatibility of planned SRD applications in 863-870 MHz
- [SanteEurope] Directive 2004/40/CE Prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques Parlement européen et du conseil du 29 avril 2004
- [Norme18000] ISO/IEC 18000-6, Information technology, Radio frequency identification for item management, Part 6 Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz
- [EPCair] EPC ; Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz to 960 MHz Version 1.0.9 2005 EPC Global
- [TDS] Tag Data Standards Version 1.3.1 EPCglobal
- [RFIDParet] RFID en ultra et super hautes fréquences UHF-SHF Dominique Paret Edition Dunod
- [RFIDIndy] UHF GEN 2 RFID Transceivers Indy Reader Chip Family Impinj <http://www.impinj.com/>
- [FEP02] Four-Element Planar Butler Matrix Using Half-Wavelength Open Stubs Hitoshi Hayashi, Member, IEEE, Donald A. Hitko, Student Member, IEEE, and Charles G. Sodini, Fellow, IEEE IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, VOL. 12, NO. 3, MARCH 2002
- [NPA07] A New Planar Artificial Transmission Line and Its Applications to a Miniaturized Butler Matrix Chao-Wei Wang, Student Member, IEEE, Tzyh-Ghuang Ma, Member, IEEE, and Chang-Fa Yang, Member, IEEE IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 55, NO. 12, DECEMBER 2007
- [IBMTag] IBM - La Gaude <http://www-935.ibm.com/services/fr/bcs/html/deep-rfid-les-experts-montent-au-creneau.html>
- [RFIDSync] Dense RFID Reader Deployment in Europe using Synchronization Kin Seong Leong, Mun Leng Ng, Alfio R. Grasso, Peter H. Cole Auto-ID Laboratory, School of Electrical and

Bibliographie

Electronic Engineering, the University of Adelaide Journal of communications, VOL.1, N°0.7,
Nov/Dec 2006

[PerfLim] Performance Limitations of Passive UHF RFID Systems

Pavel V.Nikitin, K. V. S. Rao Intermec Technologies Corporation 1-4244-0123-2/06/ 2006
IEEE

La RFID appliquée à la grande distribution

Sommaire

2.1	Qu'est ce que la grande distribution	27
2.2	Applications EPC Gen 2 en UHF et applications en HF	28
2.3	Enjeux	28
2.4	Usages	29
2.5	Caisses plastiques RFID pour les fruits et légumes	30
2.6	Expérimentation Textile RFID au magasin de Roncq	38
2.7	Problèmes rencontrés	47

2.1 Qu'est ce que la grande distribution

La grande distribution a pris son essor dans les années 1960 avec les concepts du libre service et du multi-généraliste. Avec le libre service, le client est autonome pour se servir dans le magasin. la notion du multi-généraliste est caractérisée par le fait d'avoir tous les produits de consommation sous le même toit.

La praticité du libre service et du tout sous le même toit a été appuyée par une politique commerciale basée sur le principe de vendre à des prix bas au plus grand nombre. Pour cela, il a fallu développer les achats et la logistique de masse pour la vente au détail. Pour être efficace il faut avoir le bon produit, au bon moment, au bon endroit. Ces trois éléments lient le commerce et le besoin d'une logistique organisée.

- le bon produit : le produit qui répond aux attentes des clients (fonctionnalité, qualité, prix) ;
- le bon moment : on ne vend des parapluie que lorsqu'il pleut, le commerce est souvent dépendant des saisons (charbon de bois pour l'été), de la météo (les parapluies), des événements (les écrans plats pour la coupe du monde), etc ;
- le bon endroit : les produits bloqués en entrepôt ou en réserve sont des produits qui ne sont pas disponibles pour être vendus, c'est souvent une cause de ruptures en rayon, on a le produit en stock mais il n'est pas à la bonne place.

2.2 Applications EPC Gen 2 en UHF et applications en HF

Les applications sont différentes suivant la technologie employée, nous l'avons vu précédemment il y a une distinction forte entre les technologies en bande HF et UHF concernant la distance de communication. La première servant pour des communications de l'ordre du mètre, la seconde de l'ordre d'une dizaine de mètres. L'application la plus connue dans le domaine de la grande distribution concerne l'anti-volage EAS (Electronical Article Surveillance [EAS]), c'est une application avec communication en bande HF pour transmettre une information sur 1 bit de mémoire pour indiquer si oui ou non l'article est vendu lorsqu'il passe à proximité d'un portique de détection. L'application se limite donc à identifier si un article est volé ou non. Par contre la RFID en bande UHF permet d'identifier intrinsèquement l'objet. Ces deux technologies sont utilisées aujourd'hui et provoquent souvent de la confusion auprès des utilisateurs. Comme énoncé précédemment nous serons focalisés sur la technologie UHF et nous présenterons ensuite les enjeux de cette technologie et pourquoi elle apparait si intéressante à développer.

Récemment, avec la démocratisation des smartphones, on a vu émerger une nouvelle technologie RFID, la NFC pour Near Field Communication (Standard ISO/CEI 14443 [NFC]) qui est une application sans-contact de l'ordre de quelques centimètres maximum en distance de communication. La NFC a la capacité d'identifier des objets par télé-alimentation, cependant les usages sont plus larges allant de l'identification d'objets jusqu'à la transaction bancaire. On a donc dépassé le strict sens de la RFID et la NFC est donc un système de communication à part entière.

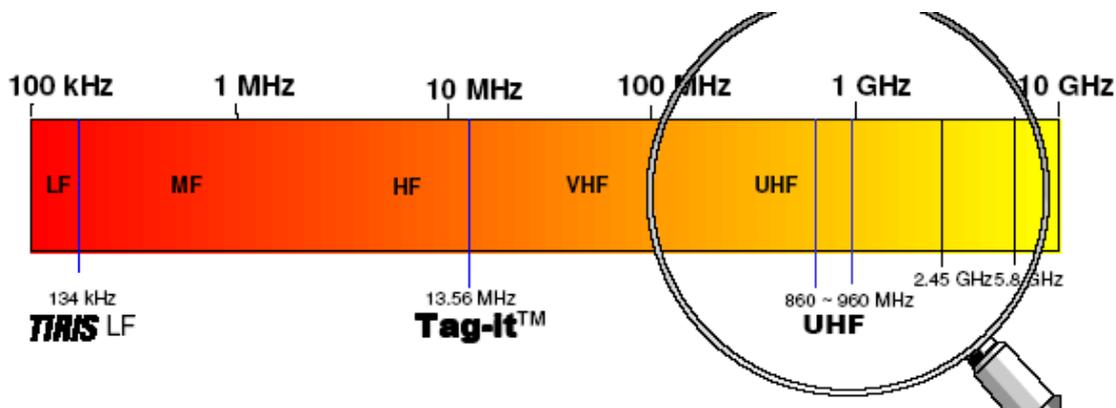


FIGURE 2.1 – Focus sur la RFID en bande UHF avec le standard EPC Gen 2 Class 1

2.3 Enjeux

La technologie RFID apporte plus d'informations que le code à barre et permet d'inventorier plusieurs dizaines d'articles chaque seconde. Avec ces qualités la RFID apporte une richesse d'informations tout en offrant des gains de productivité. Ces atouts permettent d'envisager des enjeux dans différents domaines :

- **Réduire les coûts de logistique**, la RFID permet d'identifier rapidement les objets à manipuler, cela permet d'éviter les erreurs et donc d'être plus productif.

- **Réduire les temps d’inventaire**, en augmentant le débit, les inventaires de stocks sont plus rapides qu’avec le code à barre.
- **Améliorer les prévisions et les planifications**, avec des audits de stocks plus fréquents et plus fiables, la RFID permet au final d’améliorer les prévisions de ventes et de planifier les réapprovisionnements.
- **Réduire le vol**, la traçabilité s’applique sur la chaîne logistique jusqu’à la vente, sur toute la chaîne il est possible de détecter une sortie de stock anormale. La détection d’un vol étant facilitée cela dissuade les voleurs.
- **Réduire les ruptures**, grâce aux inventaires on peut localiser les articles et détecter les articles qui ne sont pas à leur bonne place, enfin la RFID permet de détecter l’absence de certaines références et de déclencher une commande.
- **Réduire le stocks**, si sur certaines références d’articles on peut être en sous-stock, l’inverse est aussi fréquent. La RFID permet de détecter les sur-stocks de certains articles et au final d’optimiser la gestion du stock.
- **Améliorer la productivité en surface de vente**, en améliorant la productivité sur certaines tâches, la RFID permet de ré-allouer du temps aux équipes pour être centrées sur les produits, les clients et la vente.

2.4 Usages

On liste trois usages majeurs de la RFID en grande distribution. Le plus important et qui est la base de tout est l’inventaire exhaustif et rapide. L’inventaire permet de faire un état des stocks par références dans un périmètre déterminé (exemple : surface de vente, réserves) et il est daté donc n’est valide qu’à un instant précis. On parle de PI pour Perpetual Inventory ou l’inventaire permanent qui caractérise le fait d’effectuer des inventaires très régulièrement, cependant ce n’est pas encore du temps réel à cause de la problématique d’exposition aux ondes. En comparaison sans la RFID, les produits sont inventoriés tous les 2 mois pour les produits alimentaires et tous les 6 mois pour les produits non-alimentaires.

Le second usage est la traçabilité des objets. La traçabilité est établie grâce à des inventaires et permet d’enregistrer quoi, où et quand. A partir d’une lecture RFID, un identifiant de tag est lu, il est enrichi d’une information de localisation obtenue grâce à l’identité de l’interrogateur (l’interrogateur est géo-localisé) et d’une donnée de temps. Dès lors on peut suivre les flux d’un produit et établir sa traçabilité. Un des usages en grande distribution est de savoir où est actuellement une marchandise dont on a besoin immédiatement en rayon.

Quelques usages de traçabilité d’objets :

- **traçabilité alimentaire**, suivre les lots notamment en cas de rappel de produits ;
- **suivi des contenants réutilisables**, afin d’éviter la dispersion de ces actifs ;
- **suivi des flux en service après vente**, gérer les entrées et sorties de matériels à réparer et aussi des matériels de prêts ;
- **anti-vol**, c’est l’application de la traçabilité des articles non vendus et qui sortent du stock.

Enfin, l’usage rêvé est la facturation automatique d’un panier en quelques secondes pour lister tous les achats d’une personne et ainsi calculer le montant total du panier. Cet usage n’est pas encore prêt pour la grande distribution généraliste à cause des problèmes de fiabilité dus à

l'hétérogénéité des produits et aux sur-coûts des tags. Cependant il est atteignable pour certains distributeurs spécialisés notamment ceux du textile.

2.5 Caisses plastiques RFID pour les fruits et légumes

2.5.1 Principe

En 2009, Auchan décide de déployer les caisses plastiques comme contenant pour les fruits et légumes en place du colis carton. La décision est motivée par le besoin d'avoir une approche de développement durable et par des enjeux de la distribution :

- amélioration du visuel en rayon en créant plus d'uniformité avec une couleur unie mettant en avant le produit au lieu de l'emballage ;
- réduction de la gestion des déchets cartons : temps passé au compacteur, coûts des bennes et du recyclage ;
- optimisation de la logistique : moins d'effondrement de palette vis à vis du carton ;
- limitations des accidents du travail : coupure due au carton, blessures à cause des caissettes en bois.

L'investissement dans une caissette réutilisable vis à vis du carton à usage unique apporte la contrainte de gérer cet actif afin de l'amortir financièrement dans le temps. Une caissette coûte dix fois plus cher qu'un carton mais elle sera utilisée 50 fois. Cependant il faut gérer une nouvelle étape logistique concernant le retour en station de lavage puis la remise dans le cycle d'approvisionnement. Lors de ces étapes il y a des risques et des contraintes qui n'existaient pas avec le carton :

- la perte d'une caisse, une caisse peut être égarée ou sortir de la boucle ;
- le vol d'une caisse, les caisses peuvent être détournées par exemple pour être utilisées sur les marchés ;
- la casse d'une caisse, une caisse peut-être cassée à cause d'une mauvaise manipulation ;
- l'immobilisation d'une caisse, chaque point du réseau peut conserver la caisse durant 14 jours, après on considère que la caisse est immobilisée. C'est un cas très fréquent qui cause un problème de disponibilité des caisses plastiques car si trop de caisses sont immobilisés il faut ré-investir de l'argent pour en fabriquer de nouvelles et éviter une rupture ;
- l'obligation légale de nettoyer les contenants réutilisables alimentaires.

Ces nouveaux risques ont justifié la mise en place d'un système de traçabilité RFID afin de les réduire en responsabilisant chaque acteur.

Le système RFID permet donc de tracer les caisses plastiques et de trancher rapidement les litiges concernant les risques que nous avons précédemment identifiés. En effet sans suivi des caisses, il est impossible de déterminer quel acteur du réseau a perdu, cassé ou immobilisé une caisse plastique.

Le schéma 2.2 montre le chemin suivi par une caisse plastique. A chaque point du cycle de rotation, la caisse est lue en entrée et en sortie de stock. Le point 1 est le loueur de caisses plastiques qui met des caisses plastiques propres à disposition des producteurs de fruits et légumes. Le producteur, point 2, réceptionne les caisses et prend possession de celles-ci en effectuant une réception RFID. Le producteur conditionne ses produits et les expédie à la plateforme logistique Auchan (point 3). Les plateformes sont équipées de portiques de lectures, les produits sont ven-

tilés suivant les commandes des magasins et les caisses partent ensuite vers les magasins en point 4. Une fois la marchandise vendue, les caisses sont renvoyées en plateforme logistique pour être concentrées et réexpédiées pour lavage au loueur de caisse au point 1. Ainsi de suite les cycles s'enchaînent.

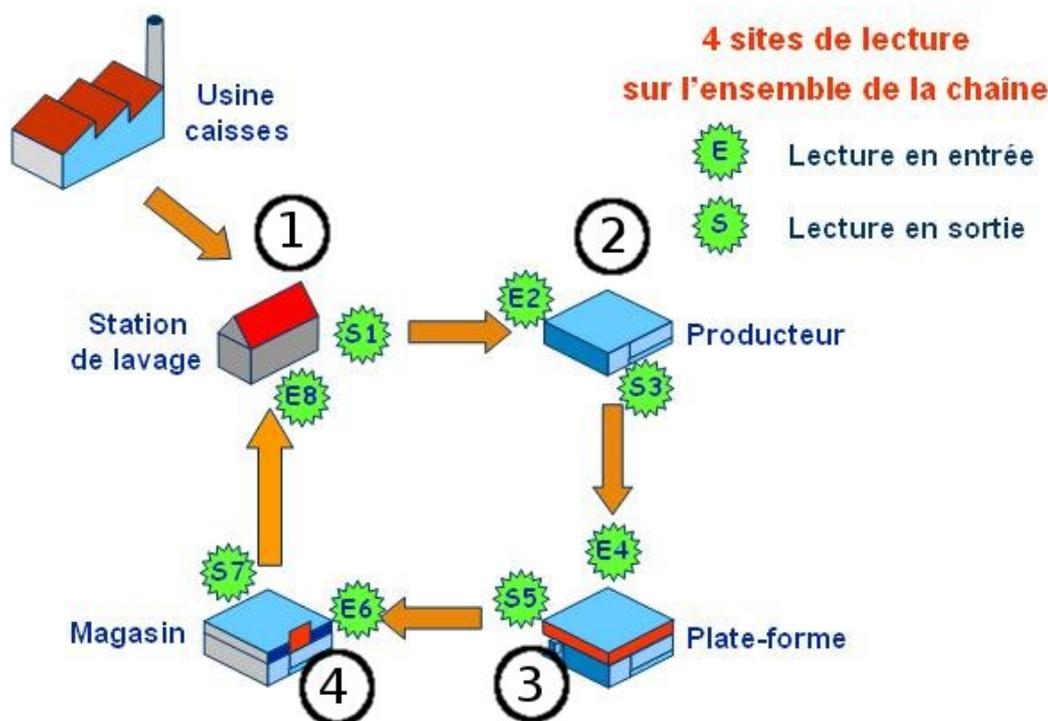


FIGURE 2.2 – Schéma de principe du système de traçabilité des caisses plastiques (source Orange)

2.5.2 Architecture de capture de données

Lire les identifiants des tags n'est qu'une partie de l'architecture permettant de capter les données. Une fois l'information des identifiants des caisses plastiques lue via des antennes connectées à un interrogateur, il existe toute une chaîne pour consolider les données capturées sur un serveur. Le schéma 2.3 montre les différentes couches matérielles appliquées aux lectures via des portiques. Pour des terminaux mobiles l'architecture est très similaire.

Les photos 2.4 montrent une palette de caisses plastiques prête à passer sous un portique.

2.5.3 Problèmes rencontrés

Le projet a démarré en 2009 avec une phase prototype dédiée à la mise au point du système. La RFID n'avait pas encore fait ses preuves dans ce domaine et nous devions donc nous assurer qu'il était techniquement possible de tracer des caisses plastiques via la RFID et à un coût raisonnable. Cela nous a permis de valider la compatibilité de cette approche avec nos contraintes détaillées ci-après mais aussi de découvrir de nouveaux problèmes.

Voici plusieurs contraintes que nous avons identifiées :

1. Obtenir un taux de lectures des tags de 98%

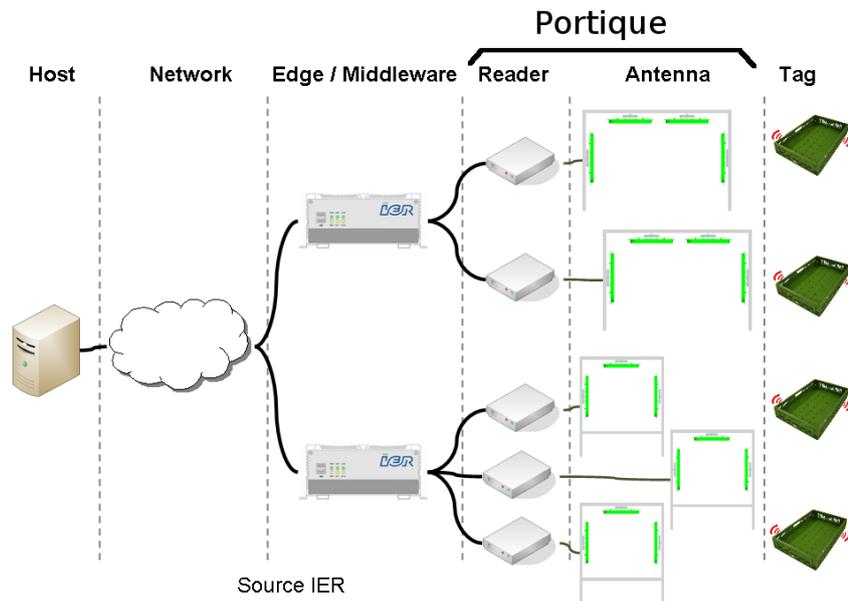


FIGURE 2.3 – Architecture matérielle pour collecter les données via des portiques



FIGURE 2.4 – Palette de caisses plastiques et portiques RFID

2. Pouvoir lire les tags sous un portique avec une vitesse de passage de 12km/h (environ 3,3 mètres par seconde)
3. Lire en 30 secondes une palette de 200 caisses plastiques avec un terminal mobile
4. Prendre en compte en 2 heures maximum les données captées
5. Ne pas apporter de nouvelles contraintes aux opérateurs concernant le placement des caisses plastiques sur une palette
6. Fonctionner dans un environnement froid : température de 8°C, taux d'humidité >80%
7. Résister aux lavages haute pression et résister à la vapeur d'eau

Levée des contraintes

La levée de la première contrainte dépend de la performance du tag et du placement de celui-ci sur l'objet à tagger. Pour un bon taux de lecture, il faut que tous les tags à inventorier soient télé-alimentés. Pour cela il faut remplir les conditions concernant la distance de lecture donnée par l'équation de Friis. Le tag doit donc être optimisé pour bien fonctionner lorsqu'il est

apposé sur la caisse plastique. Le tag et son antenne sont accordés pour fonctionner au mieux aux fréquences de la RFID 865-868MHz.

L'autre axe d'amélioration est le positionnement du tag sur la caisse plastique. En effet les matériaux à proximité du tag influent sur leurs performances et donc sur la capacité à inventorier au moins 98% des tags. Il a donc fallu chercher un placement optimum pour atteindre ce taux. Le principal élément perturbateur est l'eau contenue dans les fruits et légumes. Nous verrons ensuite que suivant le produit, le tag a des performances différentes. Pour éviter les perturbations, nous avons défini une zone espacée des produits d'au moins 10 millimètres. Avec le modèle initial des caisses plastiques cette condition n'était pas respectée. Nous avons donc dû nous résoudre à modifier le moule (figure 2.5) de la caisse plastique pour intégrer un espace dédié à la pose du tag et distant d'au moins 10mm des produits contenus dans la caisse plastique.



FIGURE 2.5 – Test de positionnement du tag et modification de la caisse

Enfin un dernier aspect à souligner, la couleur de l'objet peut influencer sur la conception du tag. En effet pour réaliser une couleur rouge on utilise des oxydes de fer ce qui modifie le rayonnement électro-magnétique. Dans notre cas les caisses plastiques sont vertes, il n'y a pas de perturbations.

La seconde contrainte vient augmenter la sévérité de la première : il faut lire 98% des tags qui se déplacent à une vitesse de 12Km/h sous un portique. C'est la vitesse maximale atteinte avec des transpalettes électriques auto-portées. Il a fallu s'assurer de pouvoir lire 200 tags en 2 secondes, le transpalette parcourt durant ce temps une distance de 6,6 mètres. Pour cela il a fallu apporter une attention particulière aux réglages des interrogateurs, choisir le bon codage permettant d'avoir le meilleur débit et aussi régler au mieux le mécanisme d'anti-collision. Enfin une dernière optimisation très importante concerne le multiplexage des antennes. Nos portiques sont équipés de 4 antennes et une seule est utilisée à la fois. Nous avons donc un multiplexage temporel. Il faut par conséquent régler la plage temporelle allouée à chaque antenne. Si cette période est trop longue, on risque de mettre trop l'accent sur une antenne particulière et sur son périmètre d'action au détriment des périmètres d'action des autres antennes. L'inverse se produit aussi si cette période est trop courte, on ne va pas avoir assez de temps pour inventorier tous les tags dans le périmètre d'action d'une antenne. Nous avons donc réalisé un compromis et réglé la période à 250ms, c'est à dire qu'en une seconde l'interrogateur peut agir sur 4 antennes.

Les paramètres de réglages de codage et de réglages anti-collision sont aussi appliqués au PDA en prenant en compte la contrainte de lire 200 tags en 30 secondes. Avec un terminal mobile, l'opérateur doit manipuler l'appareil autour de la palette et le passer devant chaque tag à une

distance de 10 à 30 cm maximum. C'est le geste ici qui prend le plus de temps.

Enfin dernier point de difficulté, la RFID ne devait pas ajouter de contrainte opérationnelle sur les équipes manipulant les caisses plastiques. Il aurait été contreproductif d'imposer un placement des caisses dans une certaine position sur les palettes. Nous savions qu'un tag qui se retrouverait au centre d'une palette entouré de produits fortement aqueux serait très difficile à lire. D'un coté il faut garantir la productivité et de l'autre le taux de lecture. Une solution a été trouvée : poser deux tags contenant la même information d'identifiant sur chacune des caisses plastiques (figure 2.6). Avec deux tags, il y a en a toujours un qui se retrouve sur l'extérieur de la palette et un autre à l'intérieur. Il revient bien sûr plus cher de poser deux tags, cependant cela évite d'imposer des manipulations aux opérateurs.

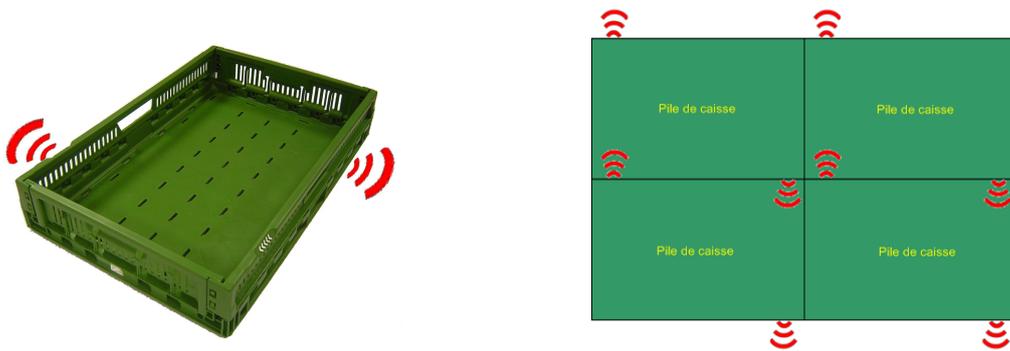


FIGURE 2.6 – Deux tags par caisses

Distance de lecture en fonction du produit

*Procédure d'expérimentation

Nous l'avons vu précédemment, le produit contenu dans la caisse plastique influe sur les performances du tag. Les paramètres touchés sont l'accord fréquentiel du tag et l'atténuation du signal. Pour prendre connaissance des écarts entre le produit le moins et le plus perturbant, nous avons monté un banc de mesure (Fig 2.7) pour caractériser les grandes familles des fruits et légumes.

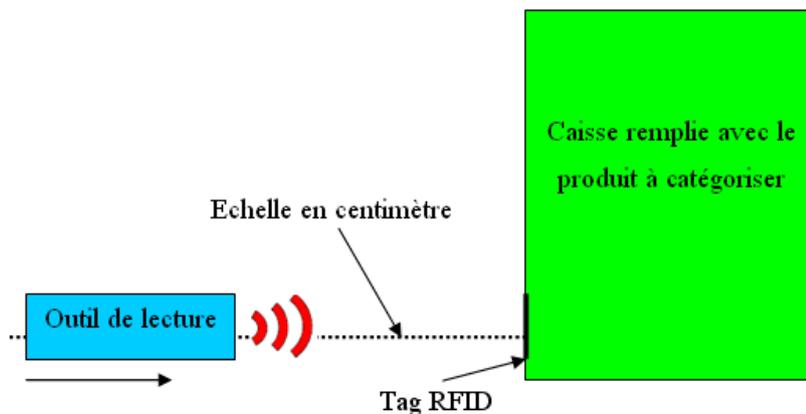


FIGURE 2.7 – Schéma pour le banc de mesure

L'interrogateur est un PDA, nommé outil de lecture sur le schéma, on le déplace sur un guide pour observer le point mort entre lecture et non lecture. Cela définit la distance maximum de communication. Nous n'avons cependant pas pu tester tous les produits (plus de 220 références) et nous avons donc privilégié les produit d'importance en fonction de la volumétrie de vente.

Démarche :

1. Prendre un lecteur PDA, garder le même avec une configuration identique pour toutes les mesures. De même pour la caisse plastique, faire toutes les mesures avec le même tag.
2. Mesurer la distance maximale de lecture du tag sans aucun produit dans la caisse plastique.
3. Mesurer la distance maximale de lecture du tag en remplissant la caisse avec le produit étudié.
4. Les résultats sont consignés dans un tableur.

***Résultats :** Les résultats de distance de lecture avec produits vont de 47cm à 10 cm. La lecture de référence sans produit dans la caisse plastique se fait à 65cm du tag.

Le produit réduit la distance de lecture d'au moins 18cm et au maximum de 55cm. Cette réduction différente suivant les produits provient de deux paramètres principaux :

Consistance en eau du produit : c'est une des caractéristiques des fréquences UHF, les milieux aqueux atténuent ces fréquences. Ainsi entre une échalote et une mandarine, la distance de lecture se réduit fortement.

La forme du produit (Typologie des produits), le paramètre ici est la proximité avec le tag. Suivant la typologie du produit il y a plus ou moins d'espace entre le tag et le produit. Différents paramètres déterminent l'espace entre le tag et le produit :

- La taille : plus un produit est petit plus il y a de chance qu'il soit collé au bord de la caisse et donc très proche du tag. En revanche une pastèque laisse beaucoup plus d'espace en raison de sa taille, de sa forme et du fait qu'elle soit stockée dans une caisse rectangulaire.
- La forme : les produits allongés et cylindriques (poireaux, carottes, courgettes) se logent très bien dans le bas de la caisse, ils sont à proximité du tag et alignés tout le long de l'antenne. la forme est le paramètre qui influence le plus la distance de lecture. La courgette est le produit que nous avons utilisé le plus fréquemment pour nos tests.
- Le conditionnement : un produit peut être petit, cylindrique, cependant s'il n'est pas allongé le long du tag mais disposé perpendiculairement son influence est bien moins forte. Les distances de lectures dépendent donc fortement du conditionnement du produit dans la caisse plastique.



FIGURE 2.8 – Plateau de poires sur alvéoles (distance de lecture maximum 39cm)



FIGURE 2.9 – Oignons filets 1kg (distance de lecture maximum 34cm)



FIGURE 2.10 – Oignons filet 5kg (distance de lecture maximum 17cm) FIGURE 2.11 – Courgettes en filet (distance de lecture maximum 14cm)

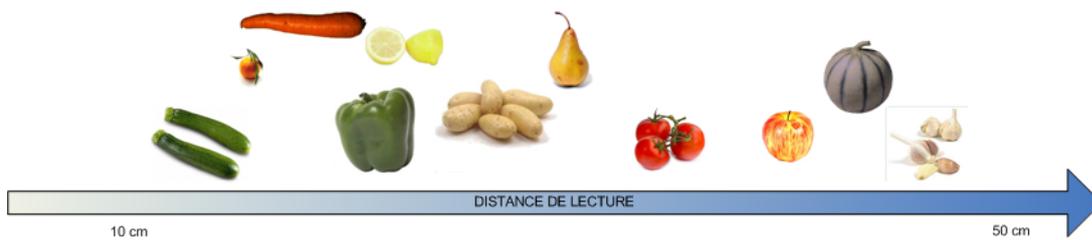


FIGURE 2.12 – Distance de lecture avec un terminal mobile en fonction du produit dans la caisse

2.5.4 Nouveaux problèmes apparus

La phase de prototypage du projet de traçabilité des caisses plastiques a permis de valider le respect de nos contraintes. Nous avons aussi découvert de nouveaux problèmes que nous ne soupçonnions pas car ils ne se manifestaient pas en utilisant la lecture de codes à barre.

Autant on a parfois du mal à lire tous les tags d'une population, autant il est aussi probable de lire plus de 100% de tags. Cela provient du diagramme de rayonnement des antennes et de la portée de la liaison. Il faut en effet émettre une puissance suffisante pour télé-alimenter tous les tags et parfois par excès de puissance la lecture s'effectue plus loin que prévu. Ces tags lus en plus peuvent être comptés comme des tags parasites. On distingue deux types de lectures parasites : une lecture adjacente et une lecture croisée avec un autre portique (cross reading). On remarque la dualité entre les non lectures et les lectures parasites dans la table 2.1.

Non lecture	Lecture parasite
Espace couvert par l'antenne insuffisant	Espace couvert par l'antenne trop grand
Puissance insuffisante	Puissance trop élevée
Trous dans le diagramme de rayonnement	Point chaud

TABLE 2.1 – Comparatif des facteurs affectant la qualité de lecture

Les lectures parasites concernent les portiques mais aussi les terminaux mobiles.

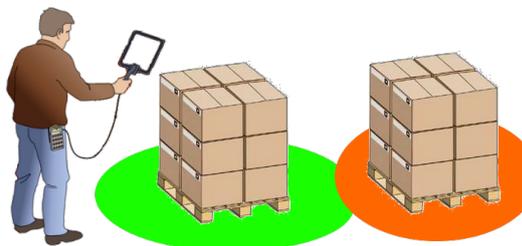


FIGURE 2.13 – Risque de lectures croisées avec un terminal mobile

La raison qui pousse à régler les interrogateurs à une puissance où des lectures parasites non voulues apparaissent provient de la variété des besoins en puissance pour télé-alimenter les tags dans le périmètre de lecture. Certains tags sont lus facilement, d'autres sont plus difficiles à lire, ils nécessitent plus de puissance en raison de perturbations multiples déjà mentionnées : tag endommagé, performance non constante des tags, tag masqué par des matières réfléchissantes ou atténuantes. Nous proposerons dans le chapitre suivant une solution pour maximiser le taux de lectures des tags visés tout en corrigeant les erreurs dues aux lectures croisées et parasites.

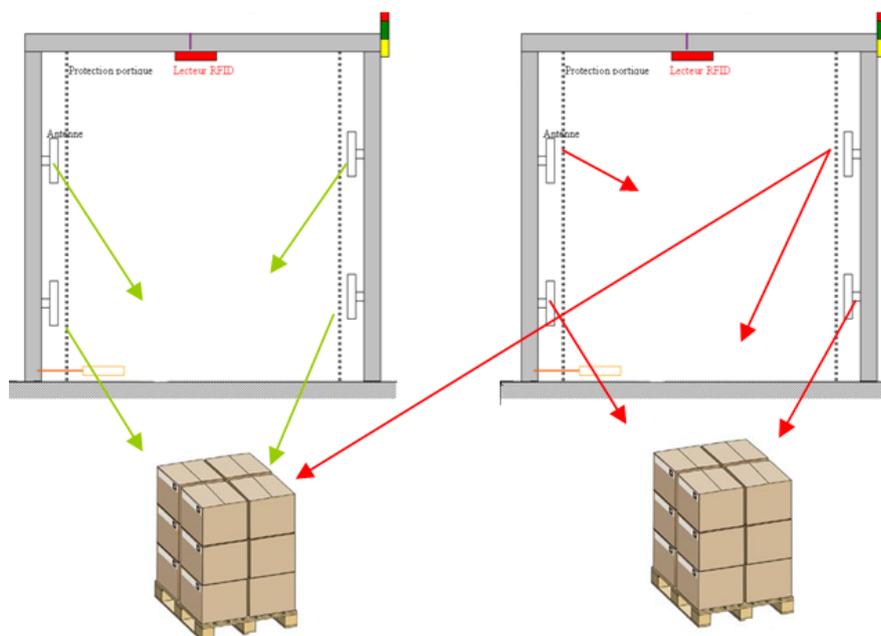


FIGURE 2.14 – Origine des lectures croisées



FIGURE 2.15 – Portiques RFID dans un entrepôt logistique

2.6 Expérimentation Textile RFID au magasin de Roncq

2.6.1 Introduction

Nous reprenons ici un thème essentiel de la grande distribution, “Le bon produit au bon moment, au bon endroit” et nous cherchons à mettre en oeuvre la technologie RFID pour améliorer ces paramètres avec de nouvelles informations.

Les produits textile sont indiqués pour la RFID pour plusieurs raisons :

- le textile ne perturbe pas ou peu les ondes électromagnétiques ;
- les inventaires textile sont complexes et donc coûteux : différentes tailles, styles et couleurs pour un même article ;
- le textile est saisonnier, la demande peut varier fortement en fonction de la météo, de la mode...
- les articles ont une valeur relativement élevée avec de la marge qui peut être dévalorisée (soldes, stockage) ;
- le textile est concerné par la démarque inconnue (la démarque inconnue est définie plus loin).

La RFID permet une lecture de masse et des codes uniques à l’infini ; elle est donc tout naturellement un allié de poids pour une meilleure gestion du commerce et en particulier de celui du textile, où la multiplicité des produits et la rotation rapide des collections compliquent de plus en plus la gestion manuelle.

L’expérimentation sur les produits textiles a servi à tester les usages d’inventaire de type fiscal et d’inventaire de ruptures. Le premier type d’inventaire est bi-annuel en juin et en décembre, le but est de compter tous les articles afin de valoriser le stock de produits. C’est une obligation légale. Les inventaires de ruptures sont réalisés toutes les deux semaines et sont limités à certains produits. Ces inventaires permettent de déterminer les ruptures de stock et générer des commandes aux fournisseurs pour réapprovisionner les rayons. Normalement le système informatique doit piloter automatiquement les commandes en fonction des ventes. Par exemple, si l’on vend un t-shirt noir taille L le système réapprovisionne automatiquement cet article. Cependant

le système ne fonctionne plus si l'article est passé en caisse sans que le code barre ait été lu (exemple l'étiquette code barre s'est désolidarisée du produit), ou si le produit a été volé. Toutes ces sorties de stocks sans que le code ait été scanné sont appelées "la démarque inconnue". Des produits sont aussi déplacés et peuvent être immobilisés dans un endroit où l'article ne se vendra plus par exemple dans un chariot retour des produits trouvés dans les rayonnages.

Pour résumer, l'inventaire fiscal a pour but de comptabiliser ce qui est disponible en stock et l'inventaire de ruptures a pour but d'évaluer ce qu'il manque dans le stock.

Périmètre de l'expérimentation

L'expérimentation s'est située sur le magasin de Roncq. Nous avons suivi 267 références taille-coloris. 123 références concernaient le textile femme dessus : des sous-pull manche longue, des pulls de demi-saison et des débardeurs. 144 références concernaient la lingerie. Nous avons dû démarré l'inventaire de la lingerie avec du retard à cause d'un problème d'approvisionnement en tag car nous avons besoin de tags plus petits pour la lingerie que ceux utilisés pour le textile femme dessus. L'expérimentation a duré 3 mois, de juillet à septembre 2011.

Pré-requis de l'expérimentation

Les articles par défaut ne sont pas équipés de tag RFID et nous ne pouvions faire réaliser la pose d'un tag en amont du magasin sans poser des problèmes d'approvisionnement (besoin d'identifier les produits dédiés au magasin pour les étiqueter). Nous avons donc dû mettre en place un processus d'étiquetage des produits sélectionnés durant l'expérimentation.

Voici dans l'ordre les étapes du nouveau processus :

1. réceptionner tous les articles ;
2. identifier et trier les articles de l'expérimentation et les autres ;
3. scanner un à un les articles de l'expérimentation ;
4. apposer l'étiquette RFID générée sur l'article ;
5. mettre l'article en rayon.

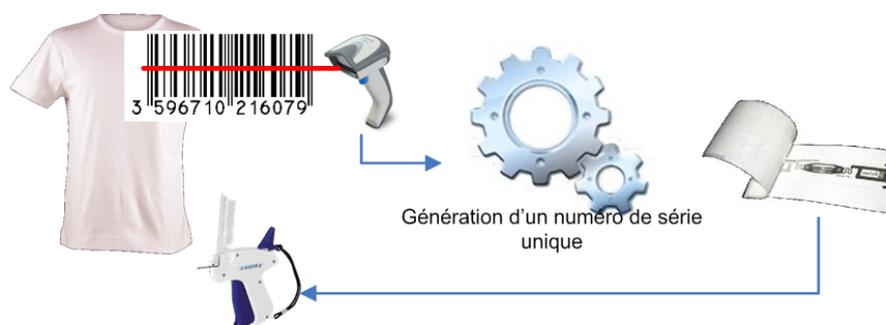


FIGURE 2.16 – Processus de tagage RFID des articles

Pour réaliser les inventaires nous avons besoin d'un interrogateur mobile que l'on dénomme souvent TIM (Terminal Interface Mobile) ou encore PDA (Personal Digital Assistant). Nous

avons retenu le Nordic Id Merlin avec son antenne Cross Dipôle qui permet de s'affranchir des questions de polarisation pour la lecture des tags. Le module RFID délivre une puissance maximum en émission de 500mW suffisante pour commencer à lire des tags à 1 mètre.



FIGURE 2.17 – PDA et étiquettes RFID pour les vêtements et la lingerie

2.6.2 Objectifs de l'expérimentation

Nous avons pour objectif d'expérimenter la technologie RFID et de démontrer l'apport supplémentaire de l'application de la RFID pour le textile dans le périmètre du magasin. Nous avons voulu mesurer les performances et la fiabilité de la RFID sur site réel et à l'échelle. Si cette technologie est plus rapide que le code à barre et aussi plus fiable, nous souhaitons donc connaître les gains en productivité. La question est très intéressante car si un inventaire est plus facile à réaliser il est possible d'en réaliser plus et de se concentrer sur les phases d'analyses de corrections que permettent l'inventaire. Enfin le dernier objectif est d'estimer les gains en chiffre d'affaires car des inventaires plus précis et des actions correctrices permettent d'améliorer l'utilisation du stock et de diminuer les ruptures.

2.6.3 L'inventaire

Dans cette partie nous nous sommes concentrés sur l'analyse des performances de la RFID ainsi que de la fiabilité de cette technologie.

Nous avons testé la rapidité d'un inventaire. Théoriquement le standard EPC Gen 2 permet de lire 800 tags/seconde mais en pratique, avec un interrogateur fixe et une antenne de type patch, on se trouve limité à 100 tags/seconde et avec un interrogateur mobile équipé d'une antenne compacte et une puissance d'émission limitée à 500mW on arrive à des performances bien en deçà. L'expérimentation sur le magasin de Roncq nous a permis de plus d'enregistrer des résultats pratiques qui ont mis en évidence des vitesses d'inventaire différentes suivant le type d'article inventorié.

Pour la lingerie où beaucoup d'articles sont concentrés sur un seul "élément" (meuble de 1,5m de large et de 2m de haut) le taux de lecture est élevé, on lit en moyenne 5,6 articles par seconde. Une autre raison pour ce taux de lecture est que les produits sont présentés sur des broches, hors structure de l'élément sans plans métallique qui cloisonnent le rayonnement électromagnétique.

Pour les articles femme dessus, la configuration est différente. Les articles sont pliés et sont présentés à plat sur des étagères. Les plateaux des étagères sont en métal pour des questions de

rigidité. L'élément est moins haut, il mesure 1,40m. La concentration des produits est plus faible. Nous atteignons ici en moyenne 2,99 articles par seconde.

Pour la grande distribution la vitesse de lecture tag/seconde n'est pas forcément l'indicateur le plus adapté. Durant les inventaires les rayons sont découpés par "élément". Nous avons donc mesuré une vitesse de lecture par "élément" en prenant en compte les différents cas : meubles avec et sans perturbation, meuble avec plus ou moins de concentration d'articles. Nous obtenons donc un indicateur précis pour les inventaires RFID : 1 minute et 30 secondes sont nécessaires en moyenne pour inventorier un "élément".

Cas pratique : Pour un magasin de 312 éléments en textile et pour un inventaire au code à barre, 20 personnes sont mobilisées durant 5h, soit 100h de travail. Avec le RFID, 90 secondes sont nécessaires par élément, soit $312 \times 90 = 28\,080$ secondes soit 7h48. Nous obtenons donc un gain de facteur 10 entre un inventaire au code à barre et un inventaire RFID.

Après la performance en terme de rapidité nous avons cherché à contrôler la fiabilité. Un inventaire RFID peut-il lire 100% des tags en respectant la distance de lecture d'un mètre maximum ? Que veut dire réaliser un inventaire RFID ? Y-a t-il une manière de le faire spécifiquement ? Nous pouvons nous poser toutes ces questions car les communications par radio-fréquence sont moins perceptibles que la lecture d'un code à barre. D'après nos constatations la fiabilité d'un inventaire peut varier de 80% à 99% en fonction du temps de lecture, du geste de lecture, de la qualité de la liaison radio-fréquence.

Voici les recommandations que nous avons mises en place à la suite de nos tests :

- Temps : il faut compter 1 seconde pour lire 3 à 5 articles. Il ne faut donc pas balayer une pile de 30 t-shirts d'un geste bref, mais compter 6 secondes afin de lire tous les articles dans ce cas précis. Cela permet de gérer les cas de collisions et d'avoir plus de chances de télé-alimenter certains tags qui se trouvent dans des conditions difficiles.
- Geste de lecture : il faut balayer l'espace tout en gardant l'antenne de l'interrogateur face aux étiquettes. Le balayage doit respecter les contraintes de temps pour lire tous les tags. Par contre le balayage apporte de la mobilité et permet de faire évoluer la direction et l'angle du diagramme de rayonnement. Cela permet de télé-alimenter des tags dans des zones perturbés par l'environnement métallique. La distance entre antenne et tags doit aussi varier durant le geste, tout en précisant qu'il est contre productif de coller les tags à l'antenne de l'interrogateur.
- Espacement des tags : les vêtements sont souvent rangés en pile et l'étiquette se trouvant toujours au même endroit cela revient à coller plusieurs dizaines de tags l'un contre l'autre. Cette proximité entre les tags conduit à un désaccord en fréquence et à un effet de masquage : les tags en bas de la pile ne reçoivent pas assez d'énergie pour être télé-alimentés. Durant la lecture RFID nous recommandons donc d'espacer les étiquettes.

Ces conditions de fiabilité font que chaque opérateur d'inventaire à son propre résultat de fiabilité, un utilisateur averti au radio-fréquence obtient un taux de 98 à 99% de fiabilité. Quelqu'un mettant en pratique consciencieusement les recommandations obtient entre 95 et 99% de fiabilité.

Aujourd'hui il est facile de calculer l'état de stock avec la formule 2.1, cependant cette équation ne prend pas en compte certains facteurs qui ne sont pas estimables facilement. Ces facteurs sont inclus dans la formule 2.2. L'utilisation de la formule 2.1 engendre donc une divergence entre



FIGURE 2.18 – Environnement : étagère métallique

le stock réel et le stock connu dans le système d'information. L'intérêt d'un inventaire RFID est de pouvoir corriger les états de stocks qui ont été calculés avec la formule 2.1.

$$\text{Stock} = \text{entrées} - \text{ventes} \quad (2.1)$$

$$\text{Stock} = \text{entrées} - \text{ventes} - \text{vols} - \text{casses} - \text{pertes} \quad (2.2)$$

Voici le processus de test que nous avons mis en place pour estimer la fiabilité d'un inventaire RFID et celle du stock calculé :

1. réaliser un inventaire précis des articles par comptage manuel ;
2. réaliser un inventaire RFID ;
3. éditer les états de stocks calculés avec la formule 2.1 par le système d'information ;
4. comparer les trois résultats (Inventaire manuel, inventaire RFID, états de stocks).

Le comptage manuel nous a permis d'identifier les articles où l'étiquette RFID s'était détachée ainsi que les non lectures. Nous avons compté 1749 articles en rayon et grâce à la RFID nous en avons compté 1715. Soit un taux de fiabilité de 98% (NB : l'inventaire manuel ne permet pas d'atteindre ce taux de fiabilité).

Ensuite nous avons pu comparer l'inventaire RFID et l'état de stock calculé suivant la formule 2.1. Cette formule indique que nous devons avoir 1871 articles en rayon, soit 122 articles manquants par rapport au chiffre constaté. Nous expliquerons dans la partie suivante comment les écarts se creusent entre le stock calculé et le stock réel. En comparant référence par référence, nous nous sommes rendus compte que pour certaines références nous avons des sur-stocks physiques et pour d'autres des sous-stocks par rapport au système d'informations. La figure 2.19

illustre les proportions de ces écarts. Nous pouvons aussi noter que pour 59% des produits le stock calculé est égale au stock réel.

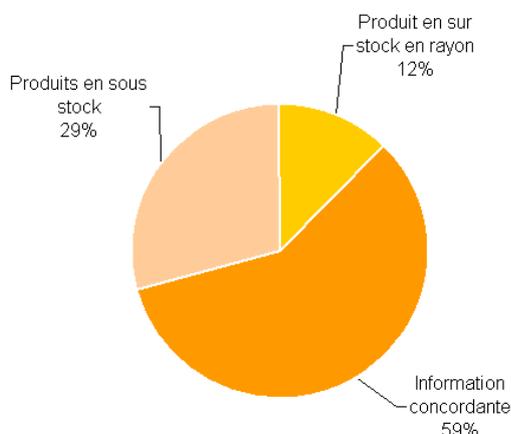


FIGURE 2.19 – Écart entre inventaire RFID et état de stock

Nous avons aussi remarqué que le système d'informations a 4% de ruptures en moins que le taux fourni par l'inventaire RFID. Le système d'information n'a donc pas connaissance que 4% des produits sont en rupture et sur ces produits aucune action n'est déclenchée pour les réapprovisionner. Cet état est causé par les écarts entre le stock calculé et le stock réel et cela conduit à des blocages car les réapprovisionnements sont déclenchés par les ventes. Cet état est appelé un stock gelé. Seul un inventaire de rupture peut faire redémarrer le cycle des ventes et des réapprovisionnement.

2.6.4 La détection des ruptures

La détection des ruptures de stock est très importante pour la grande distribution, car en cas de rupture on ne considère pas avoir manqué une vente, mais on considère avoir perdu du chiffre d'affaires.

En effet l'université de l'Arkansas [StudyArkansas] a étudié le comportement des clients face à une rupture :

N'achète pas	9%
Achète dans un autre magasin	31%
Reporte l'achat à plus tard	15%
Achète un produit de substitution	45%

TABLE 2.2 – Comportement des clients face à un produit en rupture

Ainsi 40% des ruptures sont des pertes de chiffres d'affaires pour un distributeur. Plus il y a de ruptures plus y a de pertes. Il y a donc un fort intérêt à réduire au maximum les ruptures. Les causes de ruptures sont multiples :

- Le fournisseur est en rupture, nous ne pouvons plus réapprovisionner les produits
- Les stocks en magasin ont été épuisés, ils sont en cours d'approvisionnement
- Une référence a subi plusieurs pertes sans que le système d'informations intègre ces mouvements de stocks : articles volés ou cassés. Cela mène à une rupture de la référence sans réapprovisionnement programmé.
- Des articles sont biens physiquement dans le magasin mais pas au bon endroit : article en cabine d'essayage, article en réserve, article en caisse. Sur ce point l'université de l'Arkansas estime à 25% les ruptures dues aux produits qui ne sont pas rangés au bon endroit. En anglais ce phénomène est défini par la phrase Not On the Shelf But On the Stock (NOSBOS, pas sur l'étagère mais dans le stock).

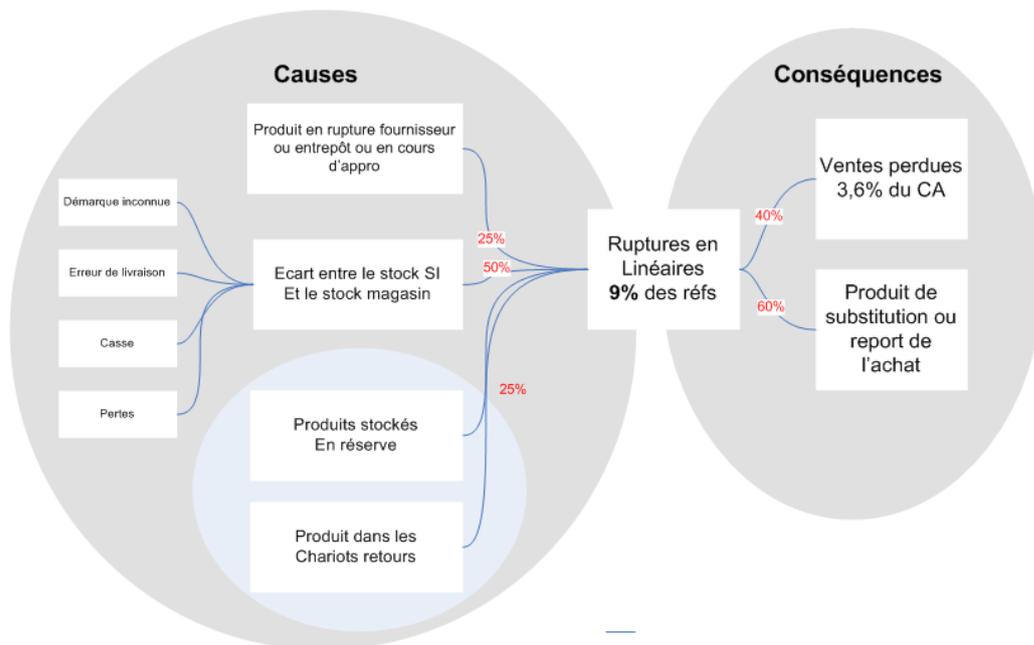


FIGURE 2.20 – Synthèse des causes de ruptures de produits en surface de vente

L'inventaire de rupture est facilité avec la RFID, il suffit de charger dans le lecteur mobile ce que nous nous attendons à trouver dans les rayons et de décrémenter la liste à chaque produit inventorié. Les articles restant à la fin de l'inventaire représentent le relevé de ruptures.

	Assortiment théorique	Assortiment constaté	Différence = ruptures
chemise blanche XL	3	3	0
chemise blanche L	4	2	2
chemise blanche M	4	2	2
chemise blanche S	1	0	1

TABLE 2.3 – Écarts sur l'assortiment idéal et l'assortiment constaté



FIGURE 2.21 – Inventaire RFID avec un lecteur mobile

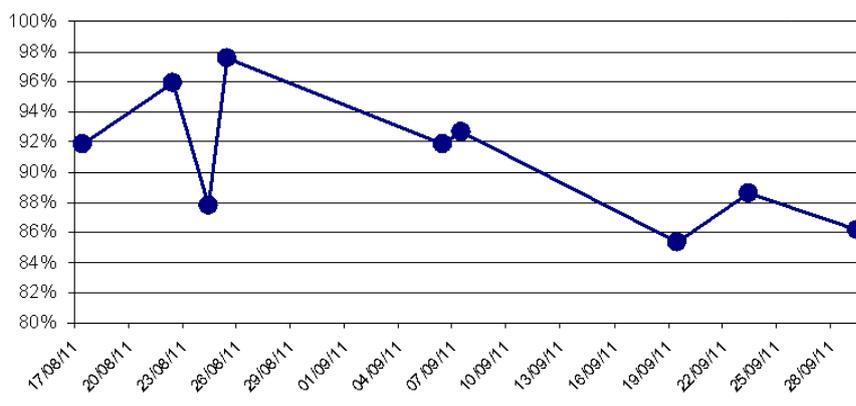


FIGURE 2.22 – Taux de disponibilités des articles dans le temps

Sur la figure 2.22, la courbe Taux de disponibilités des articles (au moins un article par référence) montre l'évolution des ruptures. Si on prend la moyenne, on obtient un taux de disponibilité de 91% soit un taux de 9% de ruptures en moyenne.

Grâce au taux de ruptures donnés par l'inventaire RFID ($Tx_{ruptures} = 9\%$), le taux des produits NOSBOS ($Tx_{NOSBOS} = 25\%$) et le taux de vente perdue ($Tx_{venteperdue} = 40\%$) donnés par les études de l'université d'Arkansas on peut calculer l'incidence des produits non à leur place sur le chiffres d'affaires (P_{CA}).

$$\begin{aligned}
 P_{CA} &= CA * Tx_{ruptures} * Tx_{NOSBOS} * Tx_{venteperdue} \\
 P_{CA} &= CA * 9\% * 25\% * 40\% \\
 P_{CA} &= CA * 0,9\% \\
 P_{CA} &\approx CA * 1\%
 \end{aligned}$$

Les produits en stock mais non rangés à la bonne place induisent une perte de chiffre d'affaires P_{CA} d'environ 1%.

Si on reprend les causes d'une rupture, les deux premiers cas sont des ruptures normales : ruptures fournisseurs, ruptures par épuisement du stocks. Les deux autres cas (démarque inconnue et NOSBOS) échappent au contrôle du système d'informations, le problème n'est pas visible dans l'état de stock. Les inventaires fréquents du rayon permettent de détecter ces problèmes, de constater les ruptures et de corriger les états de stock dans le système d'informations. Ainsi le rayon peut-être mieux achalandé. La technologie RFID allie donc les bienfaits de l'inventaire à un processus simplifié et rapide.

2.6.5 Synthèse de l'expérimentation

La technologie RFID appliquée à l'habillement nous a démontré sa rapidité et sa fiabilité. L'inventaire RFID permet d'aller 10 fois plus vite qu'avec les codes à barre et avec une fiabilité accrue de 15 à 25%. La RFID permet donc d'améliorer la productivité. Les travaux menés sur les inventaires de ruptures nous permettent aussi de dire que la RFID permet d'améliorer les ventes en limitant les ruptures. Nous nous appuyons sur nos constatations durant l'expérimentation et sur les travaux déjà menés par l'université de l'Arkansas. Ces gains sont très intéressants et constituent le réel intérêt de la technologie. Cependant il faut mettre ces gains en relation avec les coûts de la technologie RFID.

2.6.6 Autres usages non testés

La RFID est une technologie coûteuse, plus la puce sera utilisée plus il sera facile de justifier son coût. Ci-dessous, nous présentons d'autres usages que l'inventaire qui profiteraient de la présence d'une puce RFID sur les produits.

La technologie anti-vol EAS pourrait être remplacée par la RFID UHF (Fig.2.23), nous aurions alors une seule technologie d'identification. De plus, la RFID UHF permet de détecter quel objet déclenche l'alarme d'un portique. Cela permettrait de confondre ou dédouaner très rapidement le client en vérifiant le statut de l'article détecté.

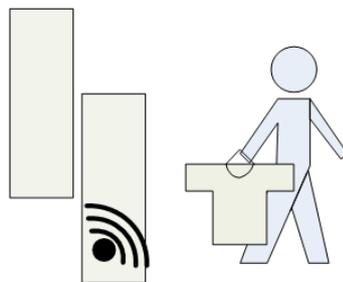


FIGURE 2.23 – Antivol appliqué à la RFID UHF

La traçabilité sur toute la chaîne d'approvisionnement (Fig.2.24) permettra de suivre toutes les étapes logistiques, on pourra contrôler les possibles erreurs et le respect des délais.

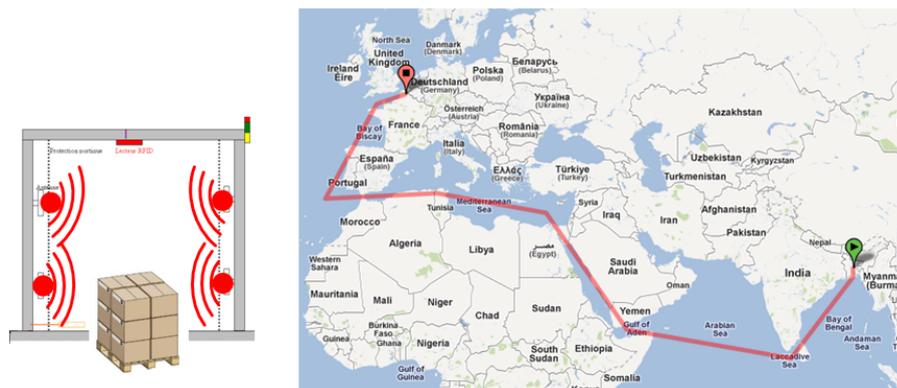


FIGURE 2.24 – Traçabilité logistique, visibilité sur les marchandises

La traçabilité à l'intérieur d'un magasin (Fig.2.25) donnera instantanément la répartition des articles dans chaque lieu : en rayon, en réserve, en cabine d'essayage. Cela permettra de réduire le nombre de produits NOSBOS.

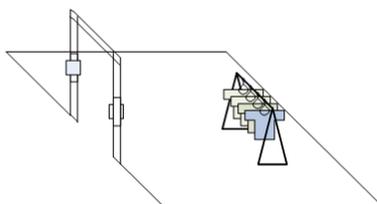


FIGURE 2.25 – Localisation des articles qui ne sont pas à leur place par détection lors de leur passage sous le portique

2.7 Problèmes rencontrés

2.7.1 Récapitulatif des problèmes de lecture RFID

La sévérité des problèmes rencontrés s'échelonne entre des problèmes de performance jusqu'à un fonctionnement partiel ou totalement perturbé. Ces problèmes peuvent s'expliquer en fonction des choix techniques (logiciel, protocole et matériel) et de l'environnement dans lequel fonctionne le système RFID. Les problèmes de **performances** sont caractérisés par une distance de lecture réduite, ou la nécessité de prendre plus de temps pour lire une population de tag. Les dysfonctionnements débutent lorsque la qualité des données baisse. La qualité des données est influencée par le taux de lectures ratées lors de l'inventaire d'une population de tags et par

les lectures de tags RFID parasites. On retrouve donc des lectures manquées qui génèrent de la **perte d'information** et des lectures parasites et cross reading qui créent des **informations erronées**. Pour faire une analogie avec le secteur bancaire, si la RFID venait à faire baisser la qualité des données, cela aurait des conséquences similaires à des erreurs de flux sur votre compte bancaire. Ces problèmes de qualité des données limitent donc les usages de la RFID : par exemple, il est impossible d'automatiser la validation d'un bon livraison par lecture RFID car on ne peut pas garantir à 100% l'exactitude des informations.

La mise en pratique des projets RFID sur le terrain avec les utilisateurs nous a permis aussi de prendre conscience que la RFID est une technologie assez complexe à appréhender par ces derniers. En effet, la communication avec les objets est totalement invisible si bien que les actions réalisées ne sont pas transparentes pour l'utilisateur.

Voici quelques cas pratiques auxquels nous avons été confrontés :

- Il y a 10 articles empilés à lire, le lecteur mobile en a capté 9, où se trouve le manquant dans la pile ?
- Il y a 10 articles, le lecteur mobile en capte 11, d'où vient le tag supplémentaire ? S'agit-il d'une lecture parasite ?

Dans ces problèmes de compréhension il y a trois éléments qui entrent en jeu : la formation de l'utilisateur à l'application RFID, le bon réglage de la puissance d'émission, le bon choix d'antenne et donc du diagramme de rayonnement. Sur ces deux derniers points, l'utilisateur peut avoir du mal à appréhender la portée de lecture et les directions de lecture. Les repères ne sont plus les mêmes qu'avec une identification par code à barre où il y a un laser qui pointe précisément le champ d'action de lecteur. La RFID serait mieux acceptée si l'**ergonomie** permettait de visualiser le champ d'action via un diode laser ou un autre système visuel. Une autre piste pourrait être de changer la forme des lecteurs mobiles, l'Université Technique Dresde en Allemagne a travaillé sur le concept d'intégration de l'antenne dans un gant [GantRfid]. Le principe est simple lorsque je touche un objet je l'identifie. L'utilisateur appréhende mieux le système notamment vis à vis de la distance et de la direction de lecture. De plus l'intégration de l'antenne dans un gant permet d'avoir les mains libres et donc d'effectuer plusieurs tâches en même temps.

2.7.2 Les défis d'un projet RFID

Pour conclure cette partie il est important de comprendre que les conditions de réussite d'un projet RFID dépendent fortement des choix techniques et de la connaissance des phénomènes physiques mais qu'il faut aussi avoir une réflexion intégrant tous les problèmes posés par le système RFID.

Voici les défis auxquels nous sommes confrontés :

- la fiabilité des données captées : Exhaustivité des données, qualité des données ;
- la fiabilité des équipements dans la durée ;
- l'industrialisation des solutions , maitriser la répliquabilité des usages et services dans des situations très hétérogènes ;
- la volumétrie des données et le dimensionnement des réseaux de communication ;
- la sécurité des hommes et des données ;

- le coût ;
- la transparence pour l'utilisateur ;
- la conduite du changement, affecter au minimum les processus métiers existants.

Bibliographie

- [StudyArkansas] Justin Patton, David Cromhout
RFID and Retail Out of Stocks A brief overview University of Arkansas, RFID Research Center
- [EAS] Wikipédia, Electronic article surveillance
http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_article_surveillance
- [NFC] Wikipédia, Communication en champ proche
http://fr.wikipedia.org/wiki/Communication_en_champ_proche
- [GantRfid] Advanced Interaction Metaphors for RFID-Tagged physical Artefacts
Jens Ziegler, Leon Urbas Université Technique de Dresde, Allemagne RFID-TA 2011

Travaux : Amélioration de la technique RFID, expérimentations et analyses

Sommaire

3.1	Système de correction des lectures croisées	53
3.2	Évolution du standard actuel	64

Dans ce chapitre nous allons étudier des pistes d'améliorations techniques de la RFID pour résoudre certains des problèmes évoqués précédemment. Nous présenterons une solution pour réduire les lectures croisées entre portiques dans un entrepôt, le but étant d'améliorer la qualité des données collectées. Enfin, nous terminerons par quelques pistes qui contribueraient à améliorer les performances de la RFID dans le cadre de la grande distribution.

3.1 Système de correction des lectures croisées

3.1.1 Problématique et solution envisagée

Aujourd'hui, la puissance d'émission des lecteurs est souvent bridée afin de limiter le périmètre de lecture d'un portique. Si ce périmètre est trop grand il induit des lectures croisées entre portiques et des lectures parasites. Cependant, limiter la puissance d'émission fait chuter le taux de lecture car certains tags sont défectueux (mauvaise connexion de la puce sur l'antenne, antenne non adaptée), abimés (mauvais collage pour les étiquettes, coup sur l'antenne), ou encore masqués par l'environnement (objets métallique ou aqueux proches du tag). Ces tags demandent donc plus de puissance pour être lus. De plus concernant les problèmes de dégradation de tag, ces phénomènes apparaissent dans le temps causant donc une dégradation progressive du nombre de lectures du système.

L'idée est donc d'augmenter la puissance d'émission afin de lire tous les tags visés et de corriger les lectures croisées et les lectures parasites.

Pour gérer les lectures parasites nous souhaitons nous baser sur un système qui déterminera les tags statiques (ils n'ont pas été en mouvement donc ils ne sont pas passés sous le portique).

Pour corriger les lectures croisées nous proposons de synchroniser la direction et le sens de propagation de tous les portiques afin de créer des zones de recoupement entre portiques et

attribuer la lecture d'un tag au portique étant le plus proche du sens du rayonnement (voir fig.3.1 et 3.2).

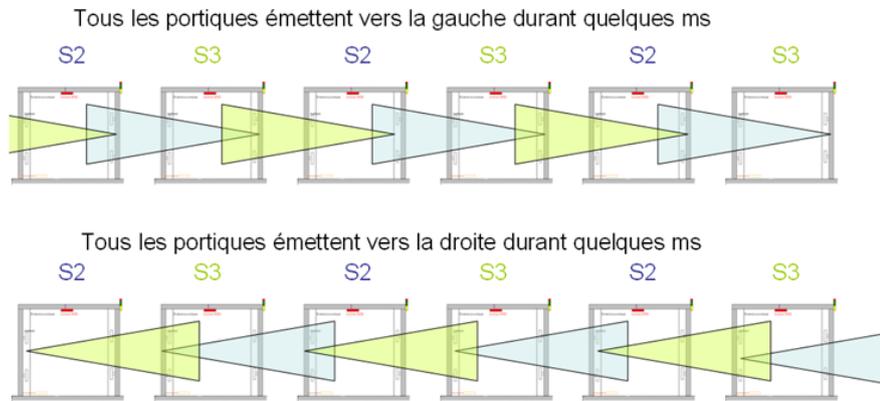


FIGURE 3.1 – Schéma d'une rangée de portique, les triangles représentent les diagrammes de rayonnement des antennes actives

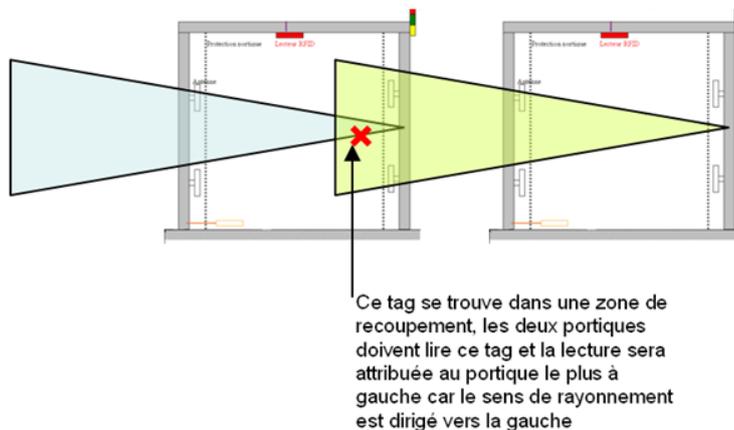


FIGURE 3.2 – Expérimentation du système de correction des cross reading

Des solutions existent déjà pour supprimer les lectures croisées : des tunnels de lecture assurent le confinement du rayonnement électro-magnétique, ou encore des portiques avec du blindage métallique. Cependant ces solutions sont coûteuses et consommatrices d'espace dans les entrepôts.

3.1.2 Objectif

Pour aligner le rayonnement de tous les portiques dans la même direction il faut être capable de synchroniser la commutation des différentes antennes. Dans le but d'en vérifier la faisabilité nous avons cherché à mesurer les écarts de temps de plusieurs lecteurs RFID réagissant au même ordre (exemple : lecture RFID sur l'antenne 1). Nous avons testé une première solution qui s'est

révélée insatisfaisante et cela nous a amené à mettre au point une seconde solution qui nous a permis d'obtenir des délais courts de synchronisation.

Nous avons ensuite cherché à mettre en pratique ce mécanisme. Nous avons reproduit la configuration de deux portiques pour nos tests afin de créer les problèmes de lectures croisées. Nous avons ensuite testé notre solution afin de corriger ces problèmes.

3.1.3 Démonstration expérimentale

La correction des lectures croisées ne peut fonctionner que si nous connaissons la direction de propagation. Ainsi les antennes doivent être directives et ne pas avoir de lobes arrière. De plus, il faut considérer que la probabilité de réflexion arrière est faible.

Il faut s'assurer que deux portiques soient capables d'inventorier une même population dans une zone de recoupement. Le protocole EPC prend en charge cette fonctionnalité avec les sessions de lectures. L'objectif final est d'arriver à un taux de lectures des tags de 100% et à des lectures RFID attribuées au bon portique. Pour ce test nous avons utilisé :

- deux lecteurs RFID Impinj Speedway. Nous avons choisi le même modèle afin que les configurations soient identiques ;
- un analyseur de spectre ;
- une alimentation en courant continu pour déclencher les lecteurs par signal logique ;
- un PC pour contrôler les lecteurs.

Les lecteurs ont été configurés suivant la norme RFID UHF EPC GEN2 C1G2 et en conformité avec l'ETSI 302-208 sans LBT. Un lecteur était réglé à la fréquence 865,7MHz et l'autre à 867,5MHz.

3.1.4 Synchronisation logicielle des portiques

Nous avons testé en premier la solution la plus simple, c'est-à-dire un logiciel de démonstration fourni par Impinj (le fabricant des lecteurs) qui permet de contrôler deux lecteurs simultanément.

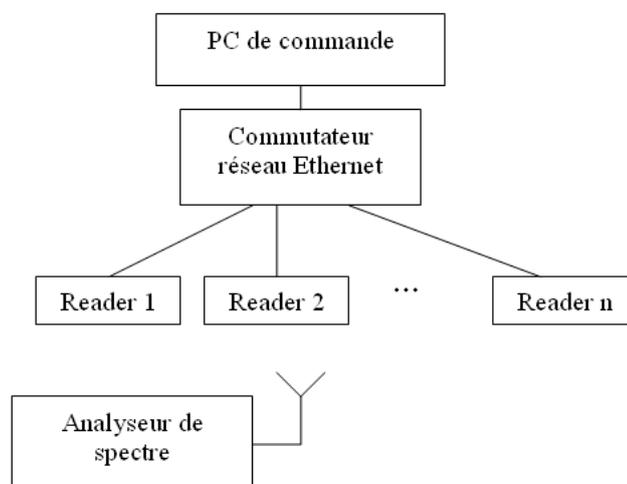


FIGURE 3.3 – Schéma d'interconnexion des interrogateurs

Nous souhaitons visualiser le synchronisme des deux lecteurs qui étaient chacun sur une fréquence différente. Nous avons donc mesuré plusieurs fois (8 mesures) l'écart de temps entre l'apparition de la première fréquence et celle de la deuxième.

Tableau de mesures :

5,37 ms	5,223 ms	10,044 ms	5,312 ms	5,089 ms	6,25 ms	5,357 ms	5,312 ms
---------	----------	-----------	----------	----------	---------	----------	----------

Retard moyen 5,994 ms, Maximum 10,044 ms, Minimum 5,089 ms

TABLE 3.1 – Écarts de synchronisation en ms entre deux lecteurs, mesure répétée 8 fois

Les résultats ne sont pas convaincants car 10ms représente le temps pour lire deux tags ce qui n'est pas compatible avec notre besoin d'émettre au même moment dans la même direction. Sur la figure 3.4 on peut observer le retard entre les deux lecteurs. De plus nous remarquons que ce délai est cumulatif en fonction du nombre de lecteur dans la mesure où les commandes sont séquentielles. Il y a un effet cascade S'il faut 10ms pour chaque lecteur, le dernier lecteur aura un retard égale au nombre de lecteur x 10ms. L'intérêt étant de commuter toutes les antennes des lecteurs de façon synchrone, la méthode de contrôle par ordinateur n'est pas efficace. Ces résultats s'expliquent simplement, l'ordinateur est incapable, dans le montage réalisé, de déclencher les lecteurs en parallèle. Il traite itérativement chaque déclenchement de lecteur.

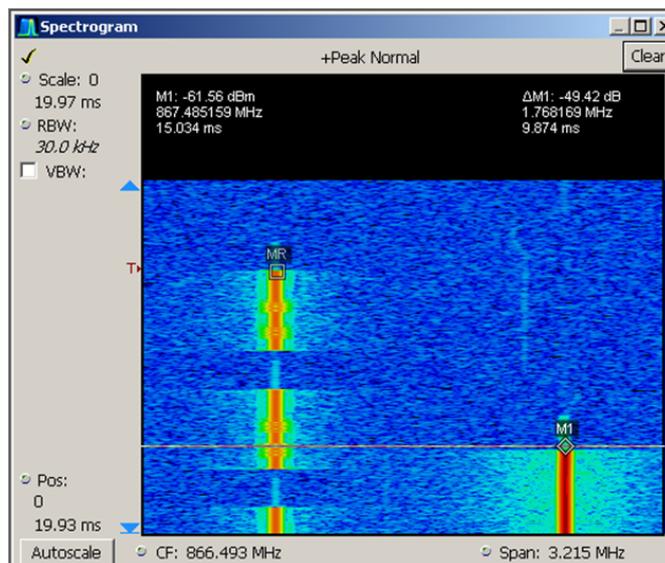


FIGURE 3.4 – Visualisation au spectrogramme de l'écart temporel pour démarrer un cycle de lecture RFID

3.1.5 Synchronisation des portiques par signal de commande

Nous avons vu que le traitement itératif et les temps réseau induisent un délai entre les lecteurs. Nous avons donc essayé d'agir directement au niveau du lecteur en indiquant au lecteur quand commuter via un signal logique. Pour cela nous avons utilisé la capacité de programmation

des lecteurs ainsi que les possibilités de déclenchement via les GPI (General Purpose Input). La GPI est une connexion sur le lecteur qui permet de recevoir un signal logique 0 ou 1. Nous allons donc créer un déclencheur (trigger) sur un état logique qui sera fourni en même temps à tous les lecteurs et qui permettra donc de choisir l'antenne utilisée et donc la direction de rayonnement.

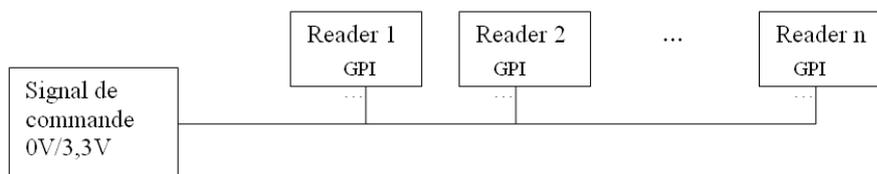


FIGURE 3.5 – Schéma d'interconnexion des interrogateurs avec un signal de commande

Tableau de mesures :

519,68 μs	672,0 μs	445,440 μs	515,2 μs	668,160 μs	436,8 μs
347,200 μs	246,4 μs	750,400 μs	526 μs	604,000 μs	504 μs

Écart moyen 519,6 μs , Maximum 750,4 μs , Minimum 246,4 μs

TABLE 3.2 – Écarts de synchronisation en ms entre deux lecteurs

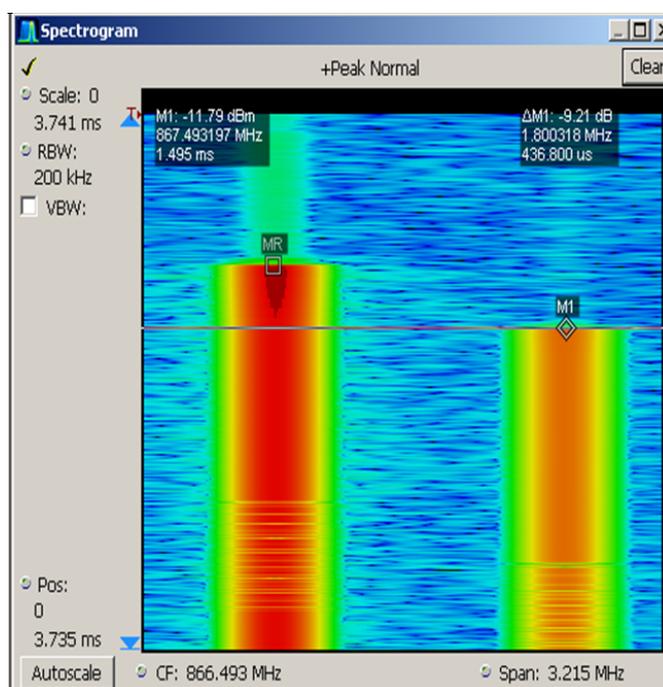


FIGURE 3.6 – Visualisation au spectrogramme de l'écart temporel pour démarrer un cycle de lecture RFID

Par rapport à la méthode précédente on divise par 1000 le temps nécessaire pour synchroniser la direction de rayonnement des portiques. Le temps de commutation est largement acceptable et surtout, une fois l'ordre de commutation effectué, tous les lecteurs agissent en parallèle. Il n'y a plus d'effet de cascade.

La seconde expérimentation démontre qu'il est possible de commuter temporellement les antennes de façon synchronisée en utilisant des déclencheurs sur les GPI des lecteurs RFID sans perte d'efficacité temporelle. A noter que cela n'est vrai que pour le lecteur utilisé, il faut donc tester chaque modèle de lecteur et de plus rien ne garantit qu'il sera possible de faire cohabiter différents types de lecteur.

3.1.6 Étude expérimentale des corrections de lectures croisées

Le banc de test est décrit Figure 3.7, il se compose de :

- 2 lecteurs RFID Impinj Speedway ;
- 4 antennes 8dBi ;
- 4 trépieds ;
- 1 PC de contrôle ;
- 1 signal de contrôle pour commuter les antennes ;
- 2 populations de 100 tags.

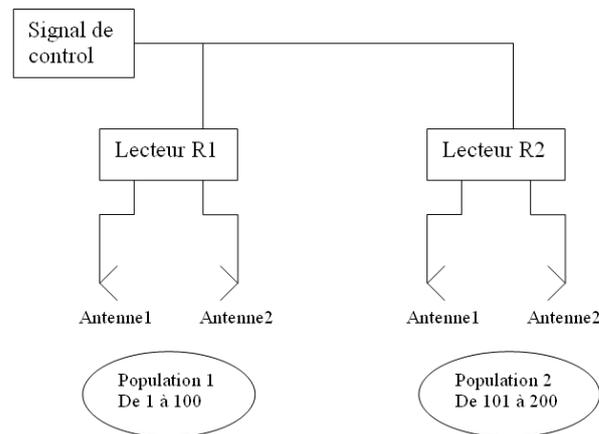


FIGURE 3.7 – Synoptique du banc du test

Sur la figure 3.8 on peut observer la disposition des éléments. Les antennes sont à 1,2m de hauteur, deux antennes d'un même portique sont écartées de 4m. Enfin les deux portiques sont espacés de 1 mètre.



FIGURE 3.8 – Expérimentation du système de correction des cross reading

1er test : définition de la population de tags sous le lecteur

Ce test nous permet de vérifier que :

- tous les tags de la population 1 sont fonctionnels ;
- nous sommes capables d’inventorier avec un seul lecteur toute la population 1.

Pour ce test nous n'utilisons que le lecteur R1 avec la population de tags P1. Nous faisons varier la puissance de sortie de R1 pour observer à partir de quelle puissance il est possible de lire 100% de P1.

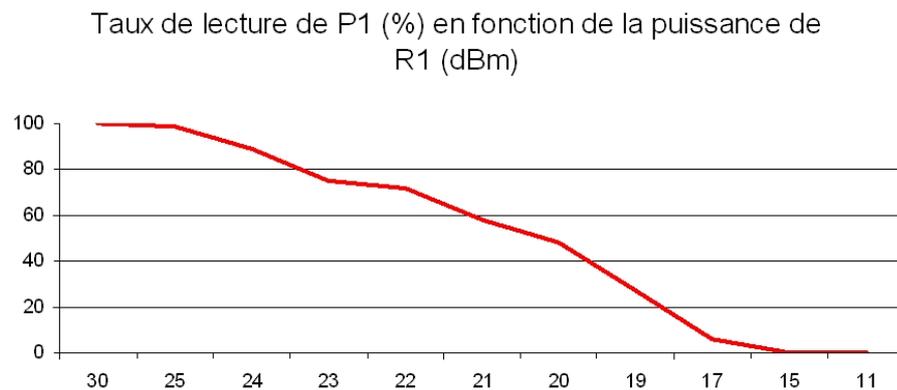


FIGURE 3.9 – Taux de lecture de P1 en fonction de la puissance de R1 (dBm)

Remarque : nous nous sommes aussi assurés que tous les tags de P2 étaient fonctionnels.

2nd test : vérification de l'influence des lobes arrière

Ce test nous a permis de confirmer que nous avons des antennes directives et que lorsque nous activions une antenne, le tag se trouvait bien en face d'elle. Pour réaliser ce test nous avons utilisé un lecteur avec une seule antenne activée, nous avons lancé une session d'inventaire avec une puissance réglée à 30dBm. Si le tag est présenté face à l'antenne il est lu, si le tag est présenté derrière l'antenne il faut le rapprocher à environ 30cm pour qu'il soit détecté ; au delà de cette distance le tag n'est jamais lu. Les portiques étant espacés d'un mètre, nous sommes donc sûrs que les lobes arrière du rayonnement de l'antenne ne viendront pas provoquer des lectures croisées.

3eme test : mesure des lectures croisées avec un seul portique actif

La population P1 est placée entre les deux antennes du portique 1 et la population P2 est placée entre les antennes du portique 2 (voir figure 3.8). On active un portique à la fois tout en faisant varier la puissance et l'on observe le taux de lecture sur la population visée ainsi que le nombre de lectures croisées.

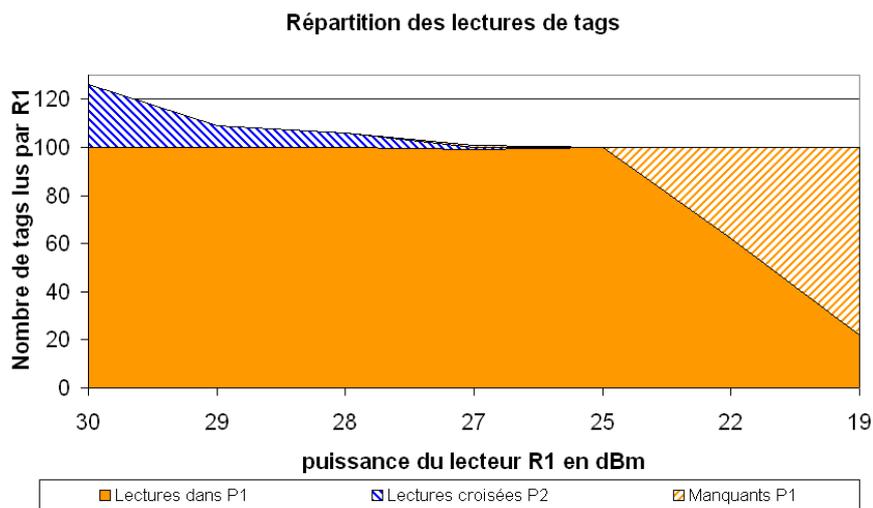


FIGURE 3.10 – Répartition des lectures de tags sur R1

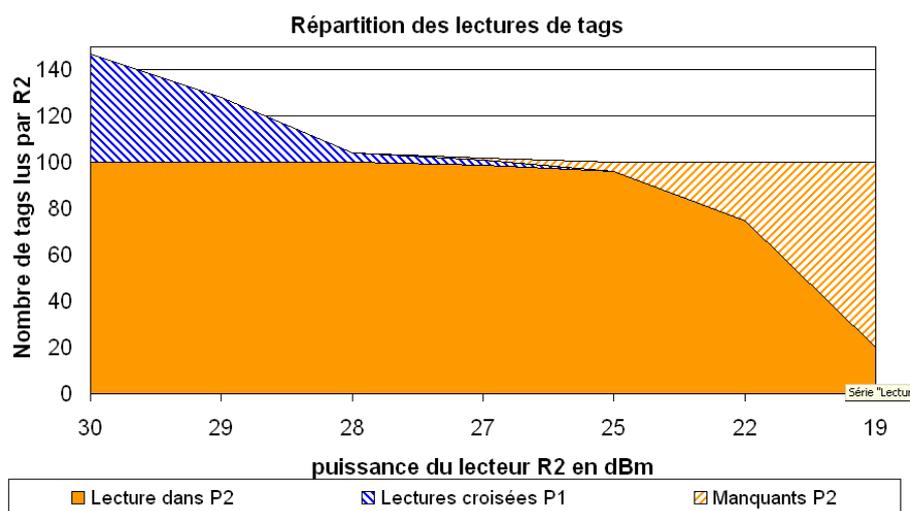


FIGURE 3.11 – Répartition des lectures de tags sur R2

Sur les figures 3.10 et 3.11 nous voyons bien les deux zones à éviter en hachuré. Le meilleur compromis se trouve entre 28 et 27 dBm. Si on émet avec trop de puissance on obtient des lectures parasites, à l'inverse si on émet avec une puissance trop faible on ne lit pas toutes les étiquettes visées.

4eme test : mesure du cross reading avec les deux portiques actifs

Nous mesurons la répartition des lectures avec les deux portiques en fonctionnement. Les portiques fonctionnent indépendamment et aucun traitement n'est appliqué aux lectures RFID.

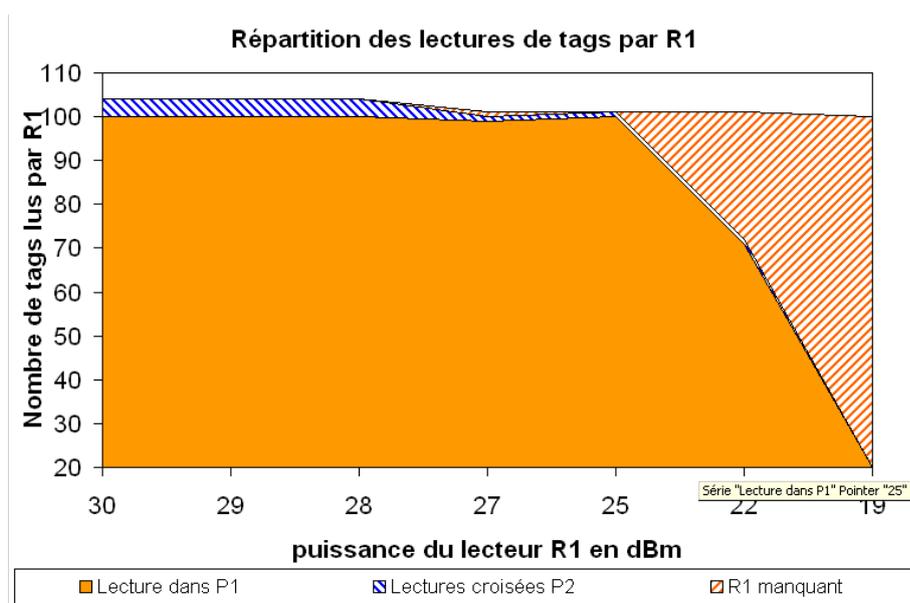


FIGURE 3.12 – Répartition des lectures de tags sur R1

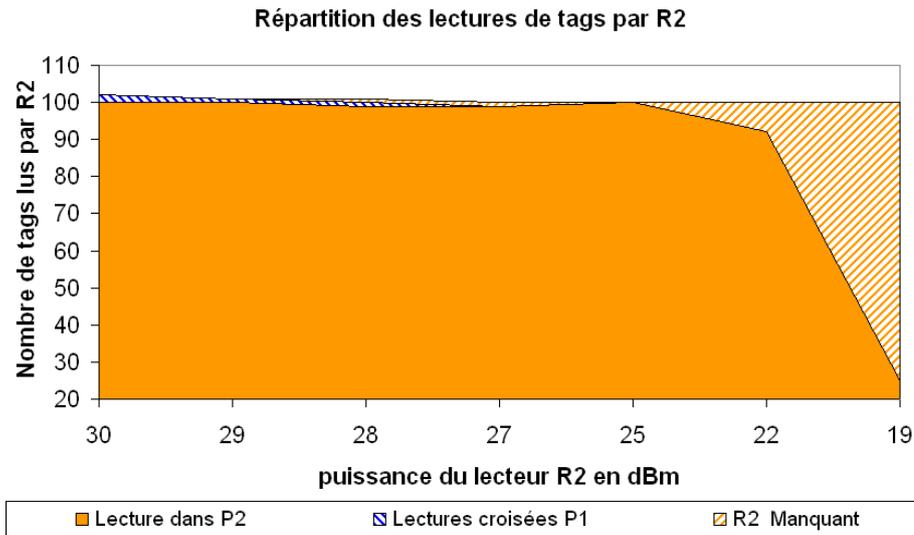


FIGURE 3.13 – Répartition des lectures de tags sur R2

Sur les figures 3.12 et 3.13 nous remarquons que dans le cas où les deux lecteurs fonctionnent en même temps le nombre de lectures croisées baisse par rapport aux cas précédents. Cependant, pour avoir 100% de taux de lecture sur la population visée, inéluctablement le niveau de puissance requis induit des lectures croisées. Cela se caractérise par l'apparition de lectures croisées dès qu'on atteint la lecture de 100% de la population visée. Ce phénomène s'observe autour de 25dBm pour les deux portiques.

5eme test : mesure des cross reading avec synchronisation des rayonnements

Nous avons listé dans la table 3.3 les cas de lectures croisées. Les "x" marquent avec quelle antenne et quel portique la lecture a été effectuée, ainsi chaque portique dans le cadre de lectures croisées a au moins une lecture. La colonne "Correction" indique en gras si l'on peut corriger la lecture croisée.

R1		R2		Correction
A1<	>A2	A1<	>A2	
x	x	x	x	Conflit
x	x		x	Lecture R1
x	x	x		Conflit => lobes arrière R2 antenne A1 ?
	x	x	x	Conflit => lobes arrière R1 antenne A2 ?
	x		x	Lecture R1
	x	x		Conflit lobes arrières soit de R1 avec A2, soit R2 avec A1
x		x	x	Lecture R2
x			x	Conflit
x		x		Lecture R2

TABLE 3.3 – Combinaisons possibles de lectures croisées

Nous avons maintenant appliqué le système de synchronisation de la direction des rayonnements sur les deux portiques et nous appliquons sur les lectures RFID les règles de corrections. Nous faisons varier la fréquence de commutation entre les deux directions de 6Hz à 2Hz. Les résultats sont contenus dans la table 3.4.

Soit τ le temps de basculement entre chaque antenne en ms, n_{R1} le nombre de tags lus par R1 et n_{R2} le nombre de tags lus par R2.

τ en ms	n_{R1}	n_{R2}	Nombre de lectures croisées	Nombre de corrections	Taux de lectures croisées	Taux de correction	Taux final de lectures croisées
500	101	100	1	0	0,50%	0,00%	0,50%
500	100	100	1	1	0,50%	100,00%	0,00%
500	100	99	5	5	2,45%	100,00%	0,00%
500	100	100	1	1	0,50%	100,00%	0,00%
500	101	99	4	3	1,97%	75,00%	0,49%
500	100	99	2	2	1,00%	100,00%	0,00%
250	102	99	7	5	3,40%	71,43%	0,97%
250	102	95	11	9	5,34%	81,82%	0,97%
250	104	99	12	9	5,66%	75,00%	1,42%
166	105	99	15	11	6,98%	73,33%	1,86%
166	106	99	18	13	8,26%	72,22%	2,29%

TABLE 3.4 – Résultats et corrections de lectures croisées

Dans la table 3.4 nous retrouvons donc le nombre de lectures pour chaque portique avec des résultats qui dépassent parfois 100, ce qui indique des lectures croisées. Nous retrouvons aussi le nombre de lectures croisées (minimum 1, maximum 18) ainsi que le nombre de corrections que nous pouvons appliquer en suivant les cas que nous listés dans la table 3.3.

Le taux de correction moyen des lectures croisées est de 77%, ce qui permet de passer d'un taux moyen de lectures croisées de 3,3% à 0,7%. C'est-à-dire que nous avons diminué d'un facteur 4,7 les données fausses collectées par les portiques. Les résultats auraient pu être meilleurs en utilisant 4 antennes par lecteur, en effet nous avons constaté que lorsque les 100% de lecture ne sont pas atteints, c'est toujours un tag qui se trouve en extrémité du champ de l'antenne (soit un tag placé en bas, soit en haut). On observe ce phénomène notamment dans dans la table 3.4 avec le nombre de lecture du portique R2 qui atteint rarement 100 lectures dans la population P2. Les lectures croisées non corrigées sont dues à ce même problème d'ouverture de l'antenne. Les antennes extrêmes (antenne 1 de R1 et antenne 2 de R2) arrivent à lire un tag, alors que les antennes au centre des deux portiques n'arrivent pas à lire ce tag et ne nous permettent donc pas de déterminer à quel portique l'attribuer. Ce problème aurait pu être totalement corrigé avec la présence de 4 antennes par portique.

On remarque que plus la fréquence de basculement entre les antennes est élevée, plus les résultats se dégradent. Il faut donc privilégier une fréquence basse de commutation entre antennes

1 et antennes 2. La fréquence de basculement est un paramètre à prendre en compte en fonction de la vitesse de déplacement des tags sous le portique. Plus la vitesse de passage est élevée, plus la fréquence de basculement doit l'être aussi.

3.1.7 Conclusion

Le système fonctionne et permet déjà avec 2 antennes de **corriger 77% des erreurs**. Il serait d'autant plus efficaces avec 4 antennes par portique. Nous notons grâce aux tests de lectures croisées que la configuration avec un seul portique en fonctionnement est le cas qui engendre le plus de lectures croisées (3ème test). C'est un constat à prendre en compte car il indique que les lectures parasites sont un danger plus important pour la qualité des informations que les lectures croisées entre portiques. L'idée initiale du système était d'utiliser le maximum de puissance (30dBm) afin d'être sûr de lire tous les tags et de corriger les éventuelles lectures croisées. Nous revenons donc sur cette idée, il est préférable de fixer une puissance qui assure 100% du taux de lecture plus quelques lectures croisées qui seront corrigées via la synchronisation des lecteurs. Si on analyse les résultats donnés par les figures 3.10 et 3.11 nous aurions choisi une puissance d'au moins 28dBm qui représente le seuil à partir du quel on lit 100% de la population visée et quelques lectures croisées que nous pouvons corriger à hauteur de 77%.

La réalisation de ce travail a donné lieu à la publication d'un article intitulé "RFID Reader's Synchronization to Get a Coordinated Beam Direction for Warehouse Application" (Annexes A.5).

3.2 Évolution du standard actuel

Le standard actuel permet déjà d'appliquer la RFID comme nous l'avons vu dans le cas des caisses plastiques ou de l'inventaire des produits textile. Des problèmes subsistent pour capter des données de qualité, il existe des solutions à ces problèmes mais cela est coûteux. La RFID va continuer à se développer et les restrictions de canaux dues à la largeur de bande attribuée risquent d'engendrer de nouveaux problèmes. Plus il y aura de lecteurs plus les canaux seront encombrés. Ainsi l'AFNOR et GS1 dirigent actuellement des groupes de travail pour augmenter le nombre de canaux. La bande de fréquence 915-921 MHz pourrait être libérée pour être affectée à la RFID, cependant d'autres systèmes sont intéressés par ces fréquences. La bande 915-921 MHz permettrait d'avoir une meilleure harmonisation mondiale des fréquences. Nous utiliserions une bande similaire à celle des États Unis d'Amérique, cela permettrait d'avoir des tags avec un fonctionnement optimisé dans cette bande alors qu'aujourd'hui ils doivent couvrir la bande 860-960MHz. Enfin une meilleure harmonisation permettrait de faire baisser le coût des tags et des équipements.

Un des grands problèmes de la RFID est de garantir l'exhaustivité d'un inventaire : "est ce que tous les tags visés ont été lus ?" Pour répondre à cette question, la condition majeure est la télé-alimentation des tags. Précédemment, nous avons vu que le principe de télé-alimentation limite la distance de fonctionnement. En annexes A.3 nous avons mené une étude sur la collecte d'énergie sur toute la bande RFID. L'idée de l'étude était double : tester la collecte d'énergie en utilisant plusieurs canaux (energy harvesting) mais aussi baisser la puissance d'émission sur un canal afin de limiter les perturbations entre lecteurs et utiliser un canal dédié et commun à

tous les portiques pour la télé-alimentation des tags. Ce système viendrait à séparer le signal de données du signal de télé-alimentation.

Les lectures parasites et lectures croisées sont causées par une trop grande portée de lecture. On ne peut malheureusement pas programmer une onde qui se propage pour qu'elle s'évanouisse à x mètres. Les lectures parasites et lectures croisées sont donc plus des problèmes de localisation du tag. On est actuellement incapable de décrire précisément la direction d'un tag et à quelle distance il se trouve avec un système basique composé d'un interrogateur et d'une antenne. Les lectures croisées ne seraient plus une problématique si un portique A lisait un colis du portique B tout en étant capable d'affecter le colis au bon portique. Il y a donc un fort besoin de localiser précisément le tag. Une des solutions pourrait être apportée par plus de corrélations entre les différentes antennes et une densité d'interrogeurs RFID plus élevée pour affiner la localisation. Le chapitre suivant décrira justement un système qui explore une possible solution.

Réseaux de capteurs RFID

Sommaire

4.1	Cas d'usages métiers	67
4.2	Pourquoi un réseau de capteur	68
4.3	Réseau de capteurs Zigbee	71
4.4	RFID	72
4.5	Énergie	75
4.6	Réalisation	76
4.8	Réseaux d'antennes	81
4.9	Conclusion	86

Dans ce chapitre dédié aux travaux sur les réseaux de capteurs RFID nous avons voulu mettre en place un système de visibilité en temps réel. Par ce terme on comprend la traçabilité à tout instant des objets taggués RFID que nous souhaitons suivre. La visibilité en temps réel permet de répondre aux questions suivantes :

- Où se trouve le produit que je cherche ?
- Combien d'articles ai-je ?
- Combien d'articles disparaissent sans explication (pas sur l'étagère, pas vendu, pas cassé) ?
- Quels produits ne sont pas à la bonne place ?
- Combien de produit sont en sous-stock ou en sur-stock ?

Dans un premier temps nous verrons les cas d'usages métiers qui seraient affectés si la grande distribution avait un système de visibilité en temps réel sur les produits. Nous justifierons cette approche en la comparant à d'autres. Nous verrons ensuite plus en détail ce que représente un réseau de capteurs. Nous décrirons les composants RFID et antennes qui permettent de réaliser un capteur performant. Enfin nous présenterons notre prototype ainsi que les problèmes résolus.

4.1 Cas d'usages métiers

Nous avons listé plusieurs scénarios mêlant l'usage d'un réseau de capteurs RFID avec des applications de la grande distribution. Ces scénarios impliquent Jean, chef de rayon dans un hypermarché.

Inventaire RFID et mise à jour du stock dans l'outil de gestion

Jean, chef de rayon, consulte un état de stock listant une vingtaine de références. La quantité en stock par référence évolue suivant les entrées de stock et les ventes. Jean souhaite vérifier ses états et déclenche un inventaire RFID. Après 1 minute, l'état est modifié avec deux nouvelles colonnes : état de stock RFID (écrit en rouge lorsque une référence est à zéro) et delta (différence entre État de stock initial et RFID). Le delta est écrit en rouge lorsqu'il est différent de zéro. Un taux indique tout de suite le pourcentage de références en rupture.

Alerte d'incohérence

L'inventaire RFID a permis de lister quelques écarts, il permet de lister dans une rubrique toutes les actions à entreprendre pour Jean : vérifier les sur-stock (Stock RFID > Etat de stock initial), Passer des commandes pour les références en ruptures. Ces actions sont présentées sous la forme d'une check list.

A la recherche de la palette promo

Jean doit mettre en rayon un nouveau produit qui est très attendu par les clients. Jean se rend compte que le produit n'est pas rangé au bon endroit dans la réserve. Il ne lui reste plus que quelques heures pour préparer son rayon. Jean utilise le réseau de capteur RFID pour détecter dans quelle zone se trouve les produits.

Visibilité sur les événements

Jean souhaite avoir une vision d'ensemble de ses produits, il a besoin de prendre du recul. Avec le réseau de capteur RFID il lance le mode plan et profite de la visibilité offerte par la RFID : mise en avant des produits pas à la bonne place (ex : en cabine d'essayage), alertes sous formes de pastilles pour montrer où se trouvent les ruptures.

4.2 Pourquoi un réseau de capteur

Un capteur permet de traduire une grandeur physique en une grandeur électrique. Les données collectées peuvent ensuite être transmises et serviront à optimiser une opération complexe. L'utilisation de capteurs était freinée par la contrainte du câblage nécessaire à la transmission des informations. Depuis quelques années des technologies radio permettent de se passer de câblage pour la transmission des données. Ces technologies radio fonctionnent en réseau, chaque point est capable de router et de contribuer à l'acheminement des paquets, ainsi des réseaux se forment [ResCap].

Pour l'application visée dans ce chapitre, les données à capter sont les identifiants des objets aux alentours du capteurs.

Afin de comprendre le positionnement de la solution d'un réseau de capteurs RFID, nous allons décrire différentes approches et nous comparerons les différentes solutions.

4.2.1 Approche flux d'entrée et de sortie

La lecture RFID par portique génère des événements de type mouvement d'une zone A vers une zone B. Cette approche doit prendre en compte certains problèmes :

- les lectures croisées entre deux portiques ;
- la vitesse de lecture au moment de la transition zone A vers zone B ;
- les lecture parasites dus aux points chauds ;

- les zones d’ombre (inverse des points chauds). Il en résulte des zones où le lecteur ne télé-alimente pas les tags ;
- l’intégration des portiques : câblage (courant fort et faible), montage de la structure métallique.

Dans l’idéal un portique ne devrait lire que dans un plan séparant la zone A et la zone B et limité dans un périmètre rectangulaire (pour un portique environ 4m x 3m).

4.2.2 Approche tunnel de lecture

Le tunnel est une structure mécanique en métal (blindage) qui confine le rayonnement électromagnétique. Dans cet espace on peut donc contrôler le rayonnement des antennes pour la lecture des tags. Le confinement permet d’avoir de très bons résultats en lecture et en écriture, c’est pour cela que le tunnel est très utilisé pour l’encodage des tags unitairement. La lecture de masse est envisageable, en fonction du volume contenu dans le tunnel et aussi de la vitesse de défilement dans le tunnel. Le point négatif du tunnel est son coût en matériel et en espace. (exemple : confiner la lecture d’une palette de 2 mètres de hauteur nécessiterait une structure métallique conséquente.)

4.2.3 Approche interrogateur mobile

Les interrogateurs mobiles réalisent des inventaires avec une portée de 1 à 2 mètres. La remontée des données se fait au travers d’un système de communication (Bluetooth, Wifi, dock). L’information de localisation peut-être captée par la lecture de tags fixes qui identifient un lieu précis. Par association, les objets peuvent être localisés.

Les problèmes rencontrés sont :

- processus nécessitant une personne ;
- batterie limitée ;
- couverture limitée, l’exhaustivité de l’inventaire dépend de la zone parcourue par la personne.

4.2.4 Approche de la société Mojix

La surface est quadrillée par des noeuds commandés en Wifi qui sont chargés de télé-alimenter les tags et de transmettre les signaux d’interrogation. Les noeuds ne fonctionnent qu’en transmission. Ils sont localisés dans l’espace et sont actionnables un à un pour illuminer les tags. Un réseau d’antennes est chargé lui de recevoir les réponses des tags. Cet équipement peut couvrir plusieurs noeuds. La distance de fonctionnement peut aller jusqu’à 100 mètres grâce aux antennes en réseau qui apportent un fort gain. Cette approche coûte relativement cher, elle permet de réaliser des inventaires avec une indication de localisation suivant le périmètre d’action du noeud qui est actif. Les points faibles de cette solution sont la faible précision de la localisation, car le maillage des noeuds est de plusieurs mètres. De plus, l’exhaustivité de l’inventaire peut dépendre fortement de l’environnement : orientation des tags, polarisation, zones d’ombre, réflexions.

Les noeuds en rouge transmettent la porteuse pour télé-alimenter les tags, ils sont localisés et commandables via la technologie de communication sans fils Wifi. L’équipement chargé de recevoir les réponses des tags est constitué d’un panneau d’antennes permettant de créer des

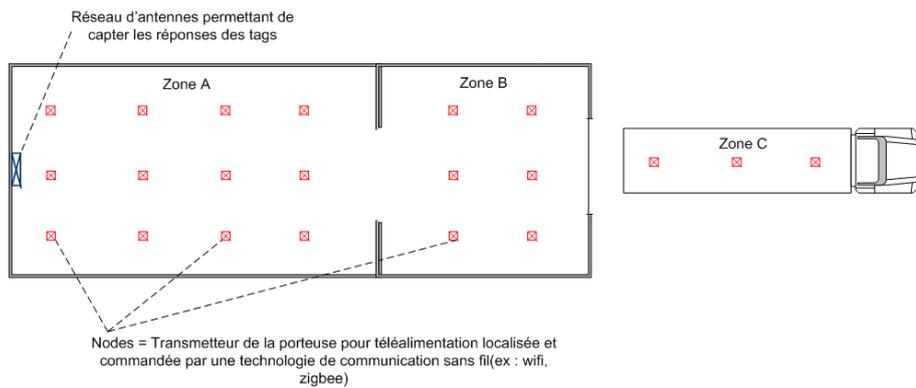


FIGURE 4.1 – Approche de la solution de Mojix

faisceaux directs avec un fort gain. Il en résulte une bonne sensibilité qui permet de capter les réponses des tags à plusieurs dizaines de mètres.

4.2.5 Interrogateurs répartis en réseau de capteurs

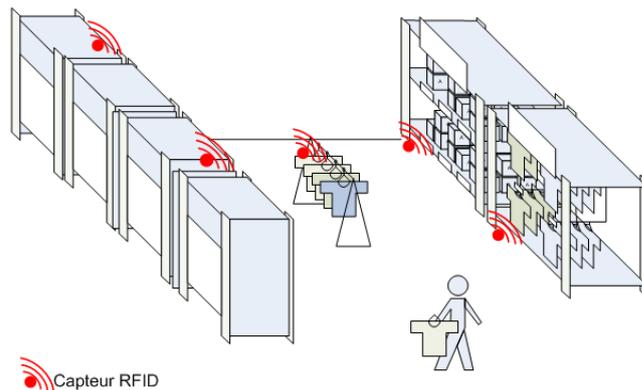


FIGURE 4.2 – Schéma d'un réseau de capteurs dans un rayon textile

Avec un réseau de capteurs, il est possible d'identifier tous les objets et de les localiser grâce à la localisation des lecteurs/capteurs. En fait, on capture trois données : l'identification, le lieu et le temps.

Des capteurs sont répartis sur toute la surface à couvrir, plus le maillage est dense, plus la localisation des articles est précise. Les capteurs peuvent être soit localisés en établissant un référentiel où chaque capteur est positionné, soit en utilisant des techniques pour que les capteurs se localisent entre eux [GeorgiaTech].

En déployant les capteurs, on crée le réseau d'acheminement des données, il n'y a pas besoin de fil de communications ou d'équipement dédié au réseau.

Aujourd'hui, les applications RFID sont pour la plupart basées sur le suivi des entrées et sorties avec des portiques et sur des inventaires réalisés via un lecteur mobile. Un réseau de capteurs RFID prend le meilleur de ces deux approches :

- pour le portique : connaître ce qui entre et sort d'un lieu de façon automatique ;
- pour le lecteur mobile : connaître ce qui se trouve à l'intérieur du lieu.

4.2.6 Comparaison des différentes solutions

	Portique/tunnel	PDA	Mojix	Réseau de capteurs
Détection des flux	Oui	Non	Oui	Oui
Inventaire localisé	Non	+++	+	+++
Temps réel	Oui	Non	Oui	Oui
Perturbations de l'environnement	+	+	+++	++
Requiert une action manuelle	Non	Oui	Non	Non
Coût	++	+++	+++	+++

La solution basée sur un réseau de capteurs possède de nombreux avantages et permettrait d'avoir une meilleure qualité de données que la solution existante de Mojix. Cependant, de nombreuses questions demeurent quant au coût, à la volumétrie des données, à la densité de maillage et à la fiabilité des données capturées suivant l'hétérogénéité des environnements. Nous avons donc décidé de contribuer à l'état de l'art de cette solution. Nous avons notamment mis au point un prototype de réseau de capteurs qui permet de répondre en partie aux précédentes difficultés.

4.3 Réseau de capteurs Zigbee

Pour constituer notre réseau de capteurs nous nous sommes intéressés à la technologie basée sur la norme IEEE 802.15.4 [IEEE802] : le Zigbee est supporté et maintenu par la Zigbee Alliance [ZigAll].

C'est une technologie qui permet de communiquer sans fils sur des distances allant jusqu'à 100 mètres à faible consommation d'énergie. Le Zigbee est résistant aux interférences et il est facile à déployer. En effet un réseau peut contenir plusieurs milliers de capteurs. Enfin, la dernière caractéristique importante est le coût du Zigbee : en grande quantité un noeud simple Zigbee coûterait 1 euro seulement.

Le Zigbee peut utiliser 3 bandes de fréquences :

- 2.4 GHz mondial (250 kbps)
- 868 MHz Europe (20 kbps)
- 915 MHz US (40 kbps)

La bande de 2.4 GHz dispose de 16 canaux, elle permet une portée 100 mètres et offre des débits plus conséquents. Nous avons donc retenu cette fréquence au lieu de celle à 868MHz.

Le Zigbee est une technologie adaptée aux capteurs fonctionnant sur batterie car il est très économe en énergie. Des capteurs peuvent avoir une longévité de 2 ans avec une simple pile. Ceci est possible grâce aux mécanismes conçus pour laisser le capteur en veille la majorité du temps. Le Zigbee a de faibles temps de connexion : <25 ms. De même les noeuds peuvent se réveiller rapidement, envoyer des données et revenir à un état dormant. Cela participe donc à la faible consommation du Zigbee.

Lors de la transmission d'un paquet, le routage est optimisé pour assurer la fiabilité de la transmission et ainsi ne pas à avoir à re-émettre un paquet, cela contribue à économiser l'énergie.

Pour cela, le Zigbee dispose de plusieurs mécanismes [ZigAll] : le Link Quality Indication (LQI), le Channel Selection et le Clear Channel Assessment (CCA)

Au niveau de la couche MAC, la pile protocole est très compacte (entre 25 et 60ko) suivant le type de noeud. En fonctionnement le besoin de mémoire RAM varie de 4 à 32 Kb. C'est un élément important et qui justifie le bas coût du Zigbee : il a besoin de peu de mémoire ce qui est un avantage pour la gestion d'une mémoire réduite dans un micro-contrôleur.

Enfin, dernier point important, le Zigbee intègre le cryptage AES 128bit qui permet un usage en entreprise avec un bon niveau de sécurité.

4.3.1 Caractéristiques réseau

Les noeuds d'un réseau Zigbee possèdent deux adresses, une adresse MAC 64 bits et une adresse courte sur 16 bits. Cela permet $2^{16} = 65536$ noeuds disponibles dans un réseau. La taille d'un paquet est 128 octets, la charge utile est donc de 104 octets de données. Nous verrons par la suite que c'est un des points faibles de la technologie dans notre application.

Éléments constitutifs

Pour constituer un réseau, il existe différents rôles pour les noeuds :

- **le coordinateur** : il y en a un seul par réseau Zigbee. C'est le point central car il initialise le réseau ;
- **le routeur** : élément du réseau qui participe au routage des paquets ;
- **end device** : c'est un noeud qui rejoint le réseau mais n'a pas de capacité de routage.

Topologies de réseau

En étoile : le coordinateur est en communication directe avec tous les autres noeuds

En arbre : le réseau est hiérarchisé en branche et sur le principe parent-enfant. Le noeud coordinateur est le parent de plus haut niveau.

En réseau maillé (Mesh), les noeuds communiquent librement de point à point suivant le chemin le plus optimisé, notamment par rapport à la question de la consommation d'énergie. L'algorithme de routage utilisé est l'AODV (Ad hoc On Demand Vector). C'est ce type de réseau que nous avons retenu pour sa facilité de déploiement, sa souplesse au niveau des routages grâce à l'auto-organisation. Enfin c'est une topologie qui s'adapte lors de défaillances de certains noeuds grâce à sa capacité d'auto-réparation (Self healing).

4.4 RFID

Dans le réseau de capteur, la RFID est utilisée comme pourrait l'être un capteur de température. La RFID capte les identifiants aux alentours du capteurs via l'antenne RFID.

Le lecteur RFID doit être efficace et fiable pour la collecte de données, ce qui implique de bonnes performances de taux de lectures via la puissance d'émission et la sensibilité du récepteur.

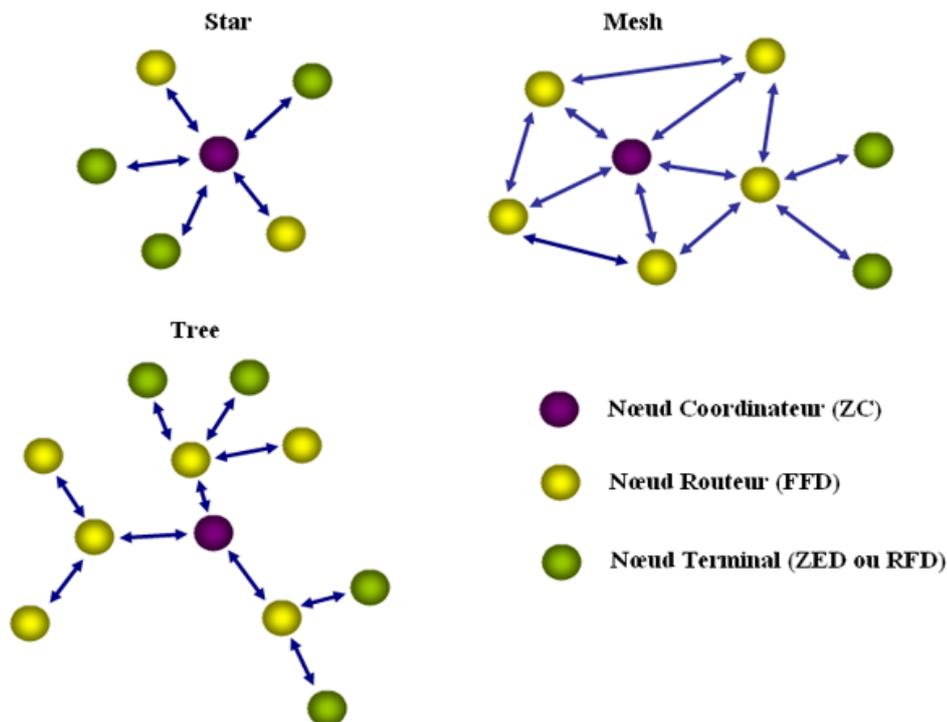


FIGURE 4.3 – Topologies des réseaux Zigbee

4.4.1 Paramétrage du lecteur

Nous avons identifié plusieurs paramètres de configuration qui influent sur les performances :

- puissance d'émission ;
- protocole de communication utilisé : UHF Gen2 ;
- configuration du protocole : Session, facteur Q [EPCair1] ;
- régulation à appliquer : Européenne, USA, Japon, ...
- Dense Reader Mode : Utilisation de 4 canaux dédiés aux lecteurs ;
- fréquences de fonctionnement : on peut paramétrer une fréquence ou une liste de fréquence à utiliser.

Ci-dessous nous présentons le processus d'inventaire. Il comporte deux parties ce qui permet de vider la mémoire tampon contenant les identifiants des tags. Pour chaque partie on réalise plusieurs phases de lectures

1. lire durant x secondes ;
2. lire durant x secondes ;
3. récupérer les lectures ;
4. vider le buffer ;
5. lire durant x secondes ;
6. lire durant x secondes ;
7. récupérer les lectures ;

8. vider le buffer.

4.4.2 Volumétrie des données

La volumétrie des données est un paramètre très important car elle dimensionne le réseau notamment concernant le débit. La volumétrie dépend du nombre d'objets taggués et aussi du nombre de flux.

EPC	00 80 30 00 AD 89 15 00 15 FC 05 91 31 00 00 99
CRC	F6 C0
Données (antenne, RSSI, lectures)	01 6D 11

TABLE 4.1 – Données de lecture pour 1 identifiant en octets

D'après le tableau 4.1 on note que pour un tag il faut 21 octets. Sachant que la charge utile d'un paquet Zigbee est de 104 octets, on ne peut transmettre que 4 lectures de tag par paquet.

La formule suivante donne le nombre de paquets qu'il est possible d'émettre par seconde en fonction du débit binaire et de la taille d'un paquet en octets : $250\text{Kb} / (8 * 128\text{B}) = 244$ paquets.

Le résultat d'après le débit maximum théorique, nous donne la capacité de transmettre les données de 976 tags par seconde via le réseau Zigbee. C'est une contrainte à prendre en compte et à mettre en relation avec le nombre de tags à inventorier. On peut mettre en place des mécanismes pour contrôler les flux de données. Premièrement en ordonnant les inventaires : le noeud coordinateur indique aux noeuds RFID lorsqu'ils peuvent utiliser le réseau pour communiquer les données de lectures RFID. Secondement, il faut réaliser des traitements de filtrage et de consolidation des données directement sur le capteur, ce qui impose d'avoir une mémoire locale suffisante. Un mécanisme très efficace est de communiquer un inventaire complet lors du démarrage, puis de ne communiquer que les changements, c'est à dire de ne communiquer que le différentiel par rapport à la précédente communication (exemple : les tags qui n'avaient jamais été lus avant, les tags qui ne sont plus lus).

Enfin, il existe des pistes pour le futur avec d'autres technologies radio comme l'UWB (Ultra Wide bande) qui fonctionne à une fréquence plus élevée et dispose d'une large bande. L'UWB permettra d'avoir de grands débits mais sur des distances de communications trop courtes actuellement.

4.4.3 Maillage

Le maillage définit la répartition spatiale des capteurs. Un élément caractéristique est la densité de capteurs sur une surface donnée. Nous avons vu que l'intérêt principal d'un réseau de capteurs et d'obtenir la localisation des tags, cet intérêt dépend fortement du maillage. Plus le maillage est fin, plus la densité de capteurs est forte et plus la localisation devient précise. Une forte densité de capteurs permet aussi d'améliorer la qualité des données et de garantir un bon taux de lectures. L'inconvénient est que plus le maillage est fin plus il faut de capteurs plus cela coûte cher en investissement, en installation et en maintenance. Il y a donc un équilibre à trouver. La

figure 4.4 présente une modélisation qui répond à la contrainte selon laquelle un capteur doit couvrir un volume de 1,5 mètre de large et de 50 centimètres de profondeur et de hauteur.

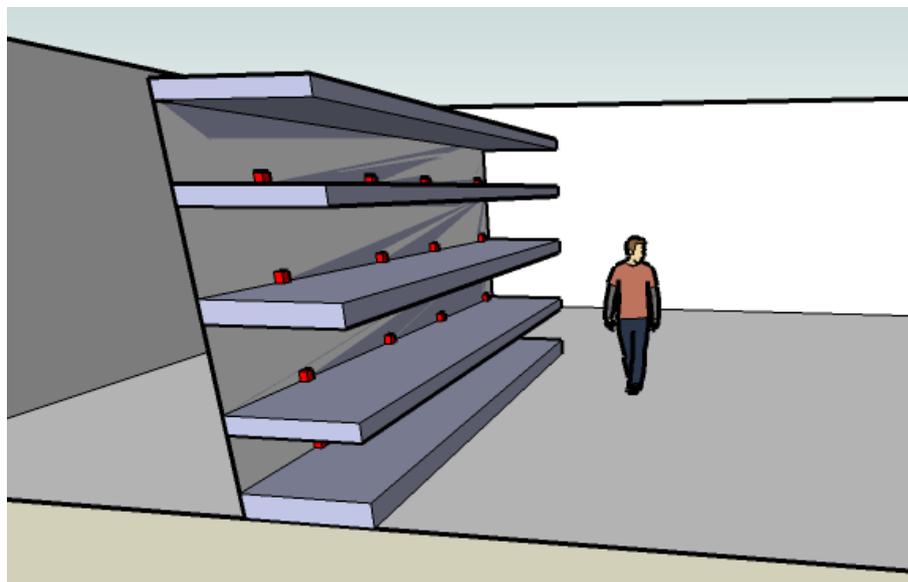


FIGURE 4.4 – Schéma d'implantation des capteurs (en rouge)

Plus le maillage devient dense plus nous risquons de générer des lectures croisées. Nous pouvons donc revenir à notre système de correction des lectures croisées si le système a besoin de rattacher précisément chaque lecture RFID à un noeud localisé. Le paramètre Received Signal Strength Indication (RSSI) du signal de réponse du tag sert aussi d'indication concernant la distance entre le lecteur et le tag.

4.5 Énergie

Nous avons étudié la gestion de l'énergie pour les noeuds du réseau. Là où certains noeuds Zigbee captant des données simples (températures, pression, etc.) peuvent fonctionner avec une simple pile jusque 2 ans, nous avons été confronté à une forte contrainte liée à la consommation du lecteur RFID. Les lecteurs du marchés consomment de 3 à 6W pour émettre avec une puissance de sortie de 30dBm. Avec ce niveau de consommation une batterie ne tiendrait pas longtemps. L'utilisation de super-capacité et de système de recharge par récupération d'énergie ne permettrait pas un fonctionnement continu. Nous avons donc dû très rapidement restreindre notre étude à l'utilisation d'une alimentation connectée au réseau électrique.

A titre indicatif, nous avons calculé l'énergie que l'on peut récupérer avec un capteur photovoltaïque en fonction de sa surface en cm^2 :

- densité de puissance pour une **lumière intérieure** 5W par m_2
- rendement silicium 0,2
- puissance disponible = rendement x surface x densité de puissance

D'après la figue 4.5, il est impossible d'avoir assez de puissance avec une surface de taille compacte.

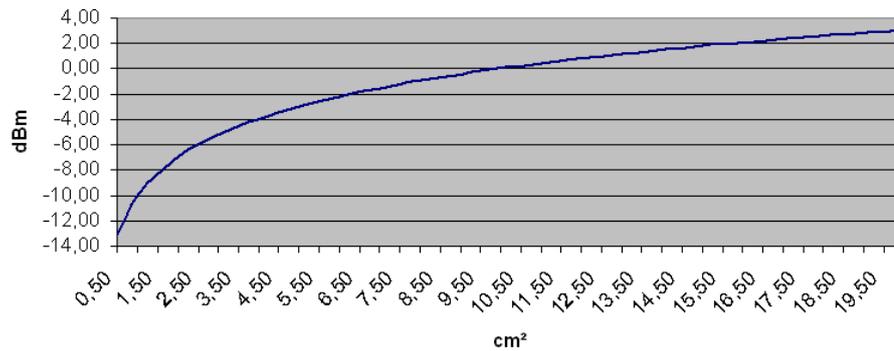


FIGURE 4.5 – Puissance disponible photovoltaïque en fonction de sa surface

4.6 Réalisation

Nous avons réalisé un prototype de réseau de capteurs avec dix noeuds. Sachant que nous avons besoin d'une forte densité de capteurs, nous avons essayé de rendre le capteur le plus compact possible. Nous avons sélectionné des composants déjà commercialisés pour les modules Zigbee ainsi que pour le lecteur RFID. Nous n'avons par contre pas trouvé d'antenne compacte pour notre fréquence et répondant à nos besoins. Nous avons donc réalisé nous même plusieurs types d'antennes afin d'équiper nos capteurs.

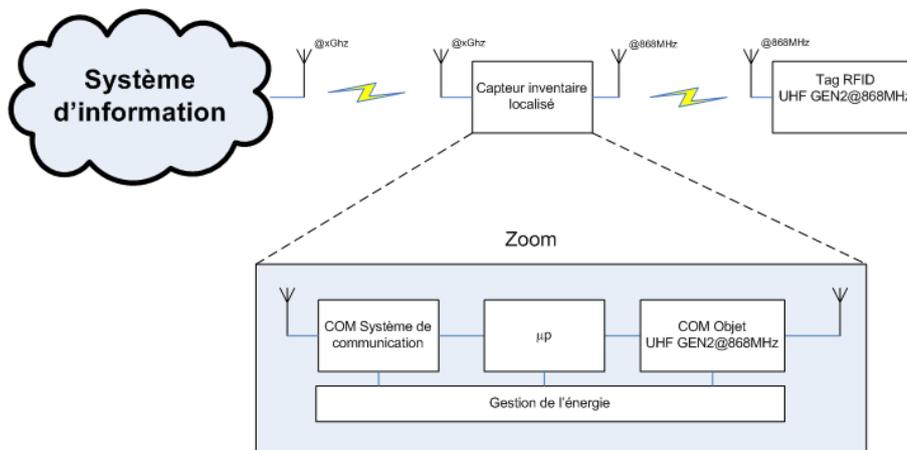


FIGURE 4.6 – Briques fonctionnelles

Sur la figure 4.6 le zoom sur la brique "capteur inventaire localisé" représente un noeud du réseau, voici les opérations effectués par celui-ci :

1. le microprocesseur μP initialise le lecteur RFID (COM Objet UHF GEN2) ;
2. le μP initialise le module Zigbee (COM Système de communication) ;
3. le module Zigbee se connecte le réseau ;
4. le μP transmet l'ordre d'inventaire au lecteur RFID ;
5. le lecteur RFID réalise plusieurs cycle d'inventaires et enregistre les identifiants collectés dans sa mémoire ;

6. le μp récupère auprès du lecteur RFID les identifiants ;
7. le μp effectue des traitements sur les identifiants, il supprime notamment les doublons ;
8. le μp crée un ou plusieurs paquets pour transmettre les identifiants sur le réseau via le module Zigbee.

Voici une liste non exhaustive des composants utilisés :

- lecteur RFID M5E de ThingMagic ;
- microprocesseur Atmel ATmega 1281 avec 128Ko de mémoire Flash ;
- module Zigbee Atmel AT86RF230 ;
- antenne dipôle à 2,4GHz gravée sur le circuit imprimé ;
- connectique JTAG pour la programmation du microprocesseur ;
- commutateur 3 bits pour piloter le rôle d'un capteur : Coordinateur, routeur, end device ;
- capteurs additionnels : température, luminosité ;
- bloc d'alimentation à découpage, 5V, 2A.

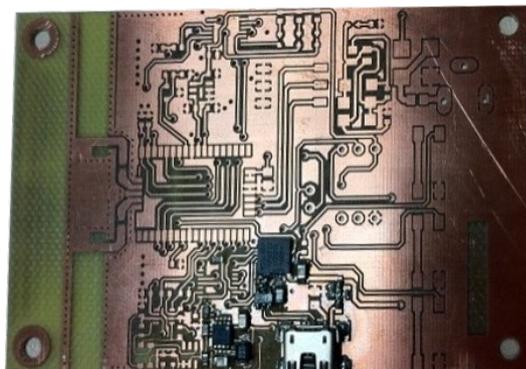


FIGURE 4.7 – Le prototype du circuit imprimé

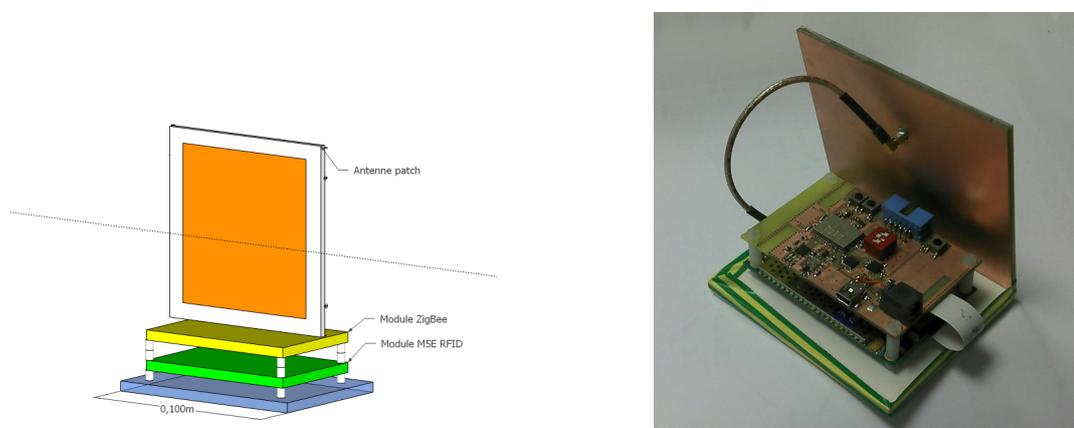


FIGURE 4.8 – Schéma de réalisation en 3D et le premier prototype fonctionnel



FIGURE 4.9 – Les différents états du circuit imprimés

En annexes A.7 nous présentons le schéma électronique intégrant toute l'électronique de la partie Zigbee ainsi que les connexions vers le lecteur RFID. Après la réalisation d'un prototype complet (Figures 4.7 et 4.8) avec l'utilisation d'un typon pour créer le circuit imprimé nous avons sous-traité celui-ci afin d'avoir une carte électronique plus robuste (figure 4.9).

Nous avons conçu les schémas électroniques et effectué le routage automatique des cartes électroniques grâce au logiciel Eagle PCB. Nous avons exporté ce travail dans des fichiers Gerber intégrant les différentes couches et les trous métallisés (Annexes A.8). Via le logiciel Circuitcam nous avons interprété les fichiers Gerber afin d'effectuer le détourage des contours des circuits.

Concernant la partie logicielle qui est contenue dans le microprocesseur, nous avons programmé en langage C avec l'aide de l'environnement de développement AVR Studio. Nous avons scindé le développement en 3 parties. La première est la partie commune qui initie la connexion au réseau Zigbee. La seconde partie sert exclusivement au noeud ayant le rôle de coordinateur. Cette partie permet de collecter les inventaires RFID et de les transmettre via une connexion filaire vers un ordinateur. La troisième partie est dédiée à la gestion du lecteur RFID et concerne donc les noeuds routeurs. Cette partie du programme doit initier le lecteur RFID avec le paramétrage retenu puis elle effectue périodiquement des inventaires RFID et transmet les lectures au coordinateur du réseau Zigbee.

4.7 Antennes RFID

Précédemment nous avons évoqué la contrainte de taille du capteur qui crée une difficulté pour concevoir des antennes compactes à la fréquence de la RFID UHF. La longueur d'onde à 868MHz est de 34 centimètres. La taille des antennes [AntPrin] dépend à la longueur d'onde. Les antennes de bases (antenne patch, dipôle) avec une taille en fonction de $\lambda/2$ ne sont pas compactes par rapport à la taille de l'électronique d'un noeud (dimension de notre carte : 8cm x 5,5cm).

Nous avons donc réalisé :

- des dipôles rétractés : en créneaux (crossed meander) et en escalier ;

- des antennes patchs à polarisation rectiligne sur des substrats épais.

On ne peut se permettre de fixer la position et l'orientation d'un tag car les produits sont disposés différemment. Il faut donc un système de lecture le plus flexible possible. Ce constat nous a naturellement amené à réaliser des antennes polarisées circulairement.

- Des dipôles croisés
- Des antennes patch à polarisation circulaire

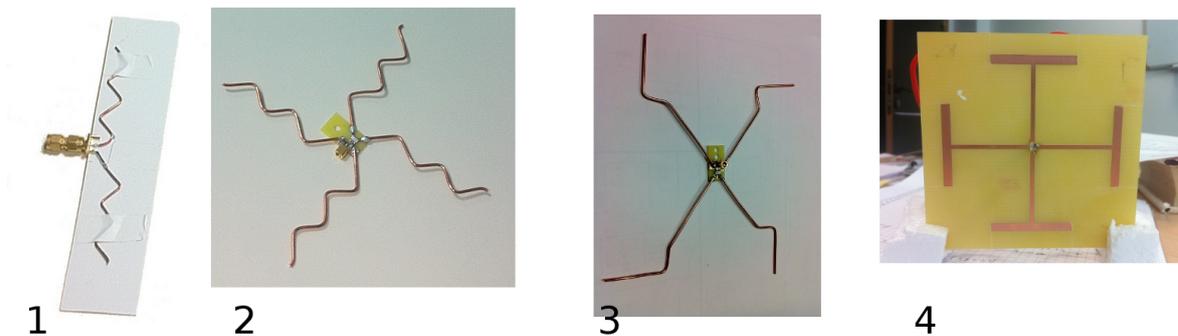


FIGURE 4.10 – Antennes dipôles

Pour réduire la taille de nos antennes nous avons donc dû plier les brins des dipôles pour qu'ils soient plus compacts. Pour les antennes patchs, nous avons utilisés des substrats à forte permittivité avec une épaisseur de plusieurs millimètres. Les conséquences sont que les antennes ont un plus faible gain, une largeur de bande réduite et enfin une moindre efficacité de rayonnement. Sur la figure 4.10 nous montrons nos réalisations d'antennes dipôles. L'antenne numéro 1 est un dipôle avec les brins en escaliers. L'antenne 2 reprend les mêmes brins mais est composée de deux dipôles ce qui permet de couvrir les deux polarisations (verticale et horizontale) ou d'émettre en polarisation circulaire avec une alimentation adéquate des deux dipôles. Les antennes 3 et 4 sont aussi des dipôles croisés avec une conception différentes des brins. Chaque antenne a été modélisée et simulée préalablement avec le logiciel CST Microwave Studio. Nous avons ainsi pu obtenir après simulation l'accord en fréquence, l'adaptation et le gain des antennes.

Entre les dipôles et les antennes patchs il y a un paramètre très différenciant : la directivité. Les dipôles ont un diagramme de rayonnement plus ouvert que les antennes patchs. Nous avons travaillé avec ces deux types d'antennes car elles répondent à des besoins différents suivant l'intégration du capteur dans l'environnement. L'antenne patch permet d'avoir une meilleure indication sur la localisation grâce à sa directivité.

Sur la figure 4.11 nous montrons nos réalisations d'antennes patchs. La première antenne est un patch rectangulaire à polarisation rectiligne, l'alimentation se fait par via. La seconde antenne est un patch à alimentation par ligne microstrip. Nous utilisons des fentes (Encoches [Notches]) pour permettre la réduction de la taille de l'antenne. Pour la troisième antenne nous avons testé un antenne patch fractale [AntennaHandHeld] à base de rectangles, sur la photo l'antenne se trouve dans une mini-chambre anéchoïque. Pour les trois premières antennes nous avons utilisé des substrats FR4. Enfin, la quatrième antenne est une antenne patch à polarisation circulaire pour cela nous avons coupé deux des angles du rectangle. Pour cette antenne, nous avons utilisé un substrat Taconic RF60 avec une permittivité relative de 6,14.

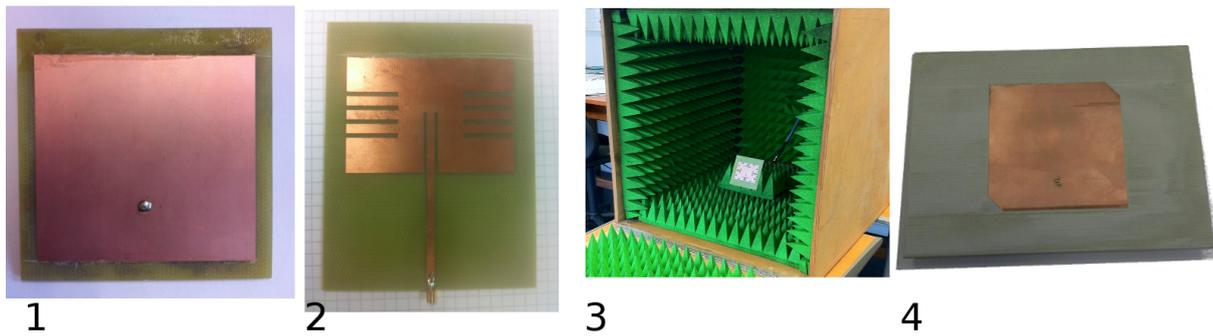


FIGURE 4.11 – Antennes Patch

Nous avons testé ces antennes avec nos capteurs RFID. Nous avons rencontré un problème que nous avons déjà évoqué : les évanouissements sélectifs en fréquence dans le rayonnement électro-magnétique. Concrètement, ce phénomène affecte la fiabilité des systèmes RFID car il cause des non lectures de tags alors que ces tags se trouvent à une distance inférieure à la distance maximum de télé-alimentation.

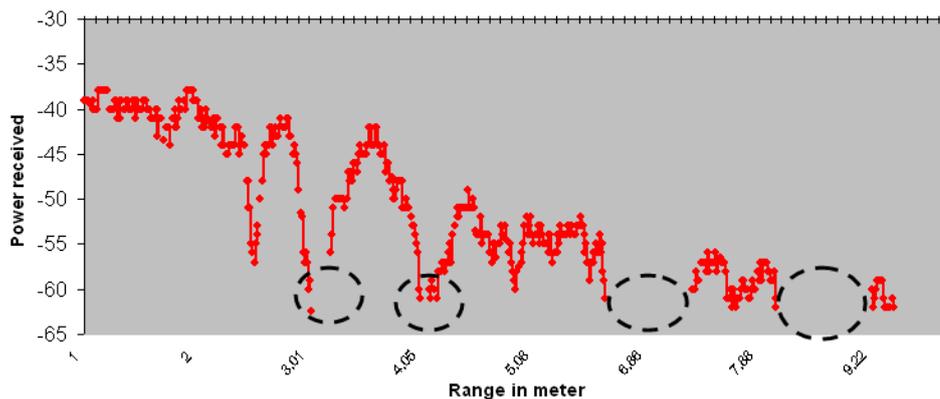


FIGURE 4.12 – Problématique d'évanouissement dans le rayonnement

La figure 4.12 illustre le problème d'évanouissements dans le rayonnement causé par un environnement métallique. Sur l'axe des abscisses nous avons reporté la distance entre le tag et le lecteur et sur l'axe des ordonnées le niveau de puissance reçu par le lecteur. On observe qu'à certaines distances le tag ne répond plus : ces zones sont marqués d'un cercle en pointillé. Une fois le tag éloigné de la zone d'évanouissements d'ondes il est de nouveau télé-alimenté et on reçoit donc un niveau de puissance suffisant en réception du lecteur.

Le phénomène d'évanouissements dans le rayonnement électro-magnétique est gênant lorsque ni le tag, ni le lecteur, ni l'environnement ne bougent, ce qui est le cas de notre réseau de capteur (l'objet est statique, le lecteur est fixe, l'environnement ne varie pas). Pour résoudre ce problème de rayonnement il faut rajouter un élément variable qui apporte de la diversité.

Pour cela nous avons testé :

- le **changement de fréquence dans la bande 865-868MHz** : une variation de 3MHz n'est pas assez ample pour modifier suffisamment les effets d'évanouissement ;

- **la variation de puissance** n'a apporté aucune amélioration, nous avons émis à la puissance maximum puis nous avons baissé progressivement la puissance sans obtenir de résultats ;
- **le changement de modulation** : le lecteur RFID peut moduler son signal avec trois types de modulations (DSB-ASK, SSB-ASK, PR-ASK). Ces modulations affectent les performances mais la diversité ne permet pas de résoudre les problèmes d'évanouissement ;
- **l'utilisation de diverses polarisation** : avec nos différentes réalisations d'antennes nous avons pu tester différentes combinaisons (linéaire horizontale, verticale, circulaire). Cependant, si le changement de polarisation permet de limiter certains cas d'évanouissements nous pouvons nous retrouver dans une configuration où le rayonnement est correcte mais où la polarisation du tag n'est pas compatible avec celle utilisée par le lecteur ;
- **la modification du diagramme de rayonnement par diversité d'antennes** : C'est sur ce dernier point que nous avons obtenu les résultats les plus significatifs. Nous allons donc présenter nos résultats sur la conception d'un réseau d'antennes afin de pallier aux non lectures RFID dues aux trous dans le diagramme de rayonnement.

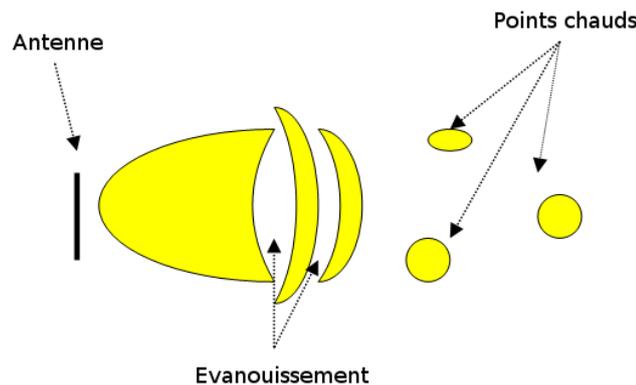


FIGURE 4.13 – schéma représentant des évanouissements d'onde dans le rayonnement

4.8 Réseaux d'antennes

4.8.1 Principe

L'intérêt d'un réseau d'antennes est la possibilité de créer des faisceaux. Les faisceaux constituent des lobes à fort gain. Pour créer des faisceaux nous avons besoin de plusieurs antennes qui sont alimentées individuellement. En additionnant les diagrammes de rayonnement et en faisant varier le déphasage entre chaque alimentation d'antennes nous obtenons :

- une meilleure directivité donc un gain plus élevé ;
- une agilité permettant d'orienter le faisceau en fonction de l'alimentation de chaque antenne ;
- une diversité de rayonnement qui permet d'atténuer les non lectures de tags dues aux évanouissements d'ondes.

Nous proposons donc l'utilisation d'un réseau d'antennes afin de créer une diversité de rayonnement. Les réseaux d'antennes ont d'autres qualités comme améliorer la distance de lecture [ActiveAntenna] ou encore améliorer la précision de la localisation [JNM2011].

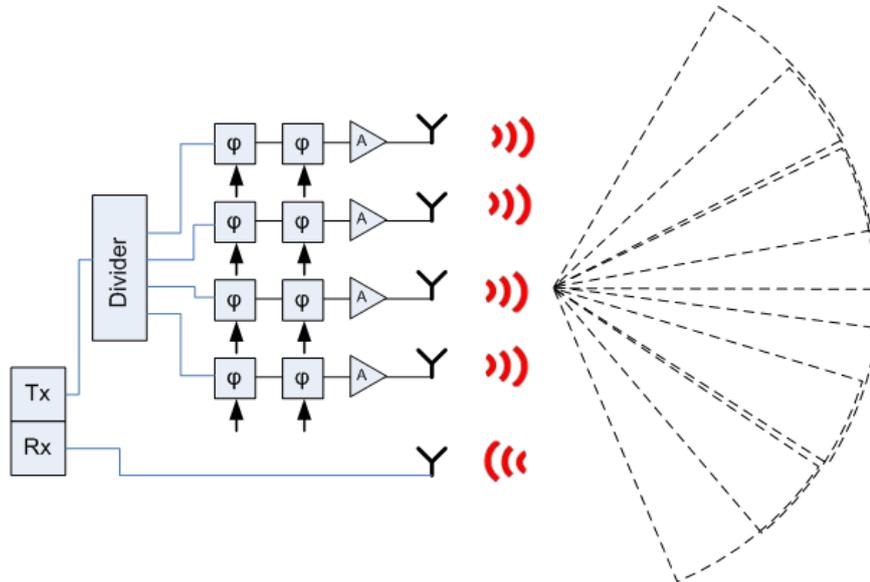


FIGURE 4.14 – Architecture pour la gestion des faisceaux

La figure 4.14 présente l'architecture d'un réseau d'antennes bi-statiques. Une antenne est dédiée aux signaux reçus, elle est connectée directement à la partie réception du lecteur. Le signal à transmettre de puissance P_i est divisé par le nombre d'antennes, dans le cadre de notre synoptique il y a 4 antennes, chaque antenne va donc recevoir une puissance incidente de $P_i - 6dB$ sans prendre en compte les pertes d'insertion de chaque composant. Chaque alimentation d'antenne peut être déphasée en fonction d'une tension variable appliquée aux déphaseurs. Deux déphaseurs ($0-180^\circ$) sont utilisés pour permettre le déphasage sur 360° . Avant de connecter l'antenne, nous insérons un amplificateur afin d'avoir un niveau de sortie de 24dBm par antenne. L'amplificateur permet de compenser les pertes d'insertion des composants.

4.8.2 Simulations

Nous avons démarré notre étude par une phase de simulations permettant de valider l'intérêt d'un réseau d'antennes pour faire évoluer les évanouissements d'ondes. Nous avons procédé par étape en simulant chaque élément à part. Nous avons pour objectif de simuler un système proche de la réalité avec un réseau d'antennes et une antenne dipôle représentant le tag. Pour causer des phénomènes d'évanouissements nous avons ajouté un plan métallique générant des trajets multiples. Pour nos simulations nous avons utilisés les logiciels Ansoft HFSS et Designer.

Nos différentes étapes sont :

1. simulation d'une antenne dipôle ;
2. simulation d'une antenne patch à polarisation circulaire ;

3. simulation d'un réseau d'antenne avec 4 antennes patches ;
4. simulation du réseau d'antennes avec l'antenne dipôle (tag) ;
5. simulation du système avec un plan métallique.

L'étape 4 nous permet de calculer le paramètre S_{21} qui définit notre bilan de liaison entre le réseau d'antennes et le tag en espace libre. Ce paramètre va définir avec la puissance d'alimentation la capacité à télé-alimenter ou pas le tag. Dans l'étape 5 nous pouvons donc mesurer les variations du paramètre S_{21} en fonction de la position du plan métallique réflecteur et du déphasage des alimentations des antennes. Entre l'étape 4 et l'étape 5 nous notons une baisse du paramètre S_{21} indiquant des trajets multiples qui causent des évanouissements d'ondes sélectifs. L'inverse est possible et dépend de la position du tag et du réflecteur métallique.

La figure 4.15 illustre la dernière étape. Nous retrouvons le réseau d'antennes à gauche, le dipôle à droite et le plan métallique.

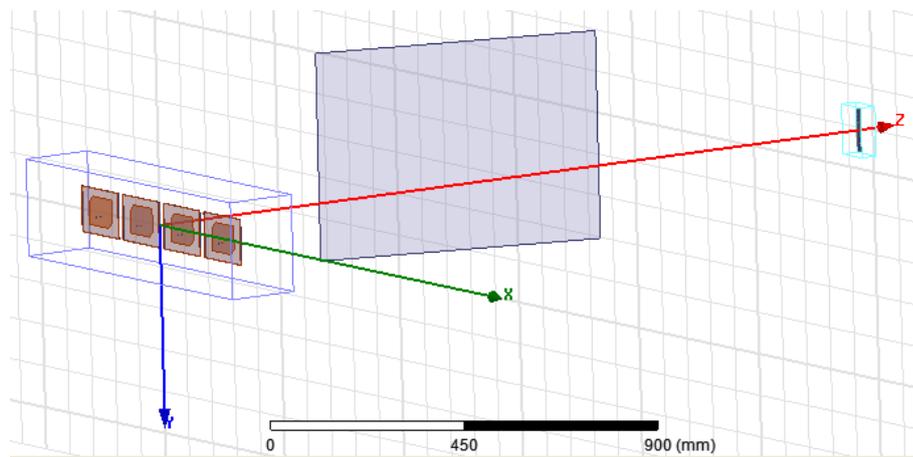


FIGURE 4.15 – Modélisation d'un réseau d'antenne

La figure 4.16 montre la modélisation du système avec le pilotage des alimentations. Nous avons intégré la simulation HFSS du rayonnement électromagnétique dans le logiciel Designer. Nous connectons à chaque antenne une alimentation avec un déphasage réglable du signal source. Le tag est lui connecté à un circuit RC permettant de simuler la puce. Une sonde nous permet de visualiser l'évolution de la tension au niveau du tag. Lorsque nous n'appliquons aucun déphasage, le faisceau est orienté sur l'axe Z, il est donc en vue directe vers le tag comme l'indique la figure 4.15. Lorsque nous faisons varier le déphasage nous modifions l'orientation du faisceau et nous remarquons que la tension au niveau du tag évolue positivement alors que le faisceau n'est plus pointé directement sur le tag. La diversité de rayonnement permet donc de favoriser la télé-alimentation.

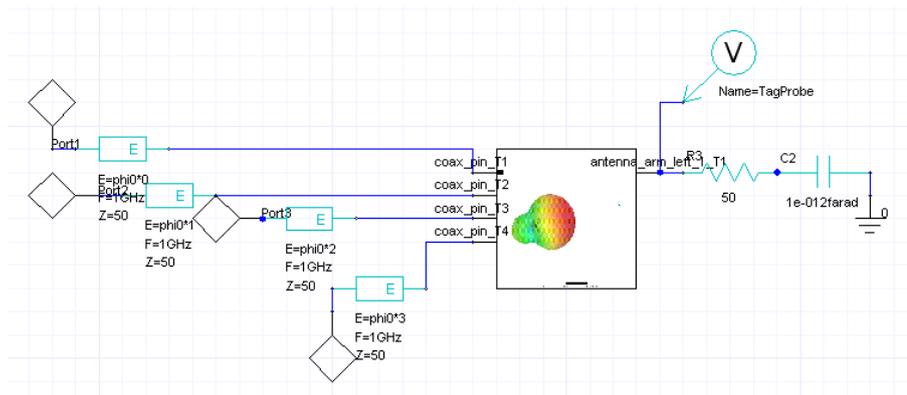


FIGURE 4.16 – Système avec alimentation du réseau d’antenne

4.8.3 Expérimentation

Réalisation d’un réseau d’antennes

Nous avons validé par simulation l’intérêt d’un réseau d’antennes pour favoriser la télé-alimentation et donc le nombre de lectures dans un environnement métallique. Nous avons souhaité vérifier pratiquement cet intérêt avec le bénéfice de pouvoir communiquer avec de nombreux tags ce qui est impossible à réaliser en simulation.

Nous avons choisi de réaliser une antenne bi-statique sur le modèle de la figure 4.14 : le réseau d’antennes est dédié à l’émission et nous utilisons une antenne supplémentaire pour recevoir les signaux réfléchis par les tags. Ce choix a été motivé par le fait que nous utilisons des amplificateurs dans la chaîne d’émission et nous souhaitons éviter de rajouter des circulateurs ou des coupleurs.

Les étapes de la réalisation sont :

1. simulation des antennes en réseau ;
2. fabrication de 5 antennes (4 TX et 1 RX) ;
3. conception du système de déphasage des alimentations (diviseur de puissance, déphaseurs) ;
4. conception du système de contrôle des déphasages ;
5. Ajout d’amplificateurs afin de pouvoir atteindre 24dBm par antenne.

Sur la figure 4.17 nous montrons notre réalisation. Nous retrouvons donc un noeud de notre réseau de capteur, ce noeud est connecté à l’antenne de réception. Le signal d’émission est lui envoyé vers la carte de déphasage (4 phase Shifters), les quatre signaux d’alimentation sont ensuite amplifiés puis connectés aux antennes patches en réseau. Le module “Beam control” pilote les déphaseurs en tension, il commande le faisceau. En annexes A.9 nous avons recopié le programme qui s’exécute dans le micro-contrôleur qui fournit les tensions de contrôle pour les déphaseurs (0v-16v). Nous avons défini le programme avec 40 séquences de déphasages donnant la possibilité d’avoir 40 combinaisons de faisceau. Chaque combinaison est maintenue durant 300ms avant de passer à la suivante. Le programme nous a aussi permis de corriger les différentes sources d’alimentation. Ainsi lorsque nous appliquons la même tension sur les déphaseurs, les 4 signaux d’antennes sont en phase. Nous avons des décalages à cause de la marge d’erreur des

composants et de la conception de notre carte qui présentait des lignes en sortie du diviseur de longueurs différentes.

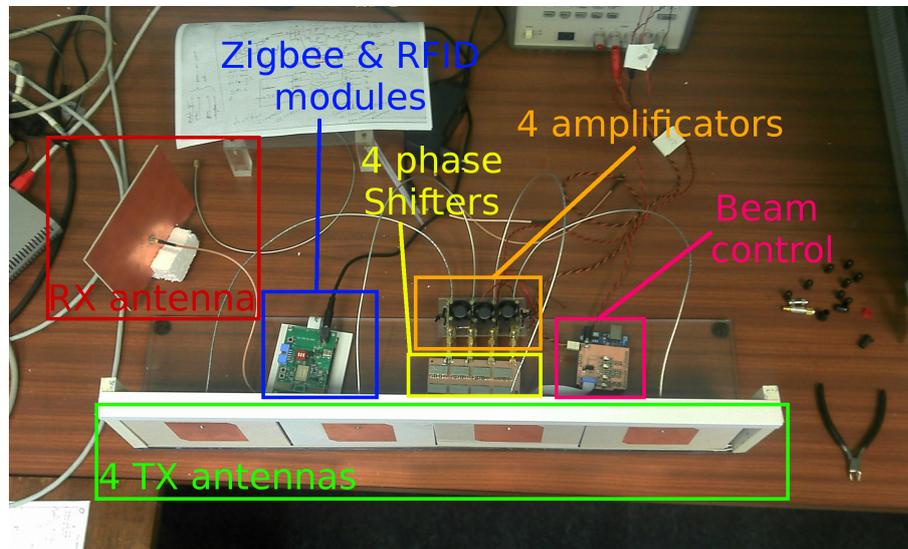


FIGURE 4.17 – Implémentation du réseau d'antennes

Mesures pour comparer le taux de lectures entre une antenne et un réseau d'antennes

Nous étions confrontés avec le réseau de capteurs à des configurations où tous les éléments du système étaient statiques : noeud, tags, environnement. Dans ces conditions, certains tags se trouvaient dans les zones défavorables pour la télé-alimentation à cause de trajets multiples. La conséquence étant que de nombreux tags n'étaient pas inventoriés. Pour nos mesures nous avons donc laissé tous les éléments statiques et nous avons comparé le nombre de lectures avec une antenne puis avec un réseau d'antenne. La figure 4.18 montre notre banc de mesures. Les tags étaient disposés à 3 mètres de distance.

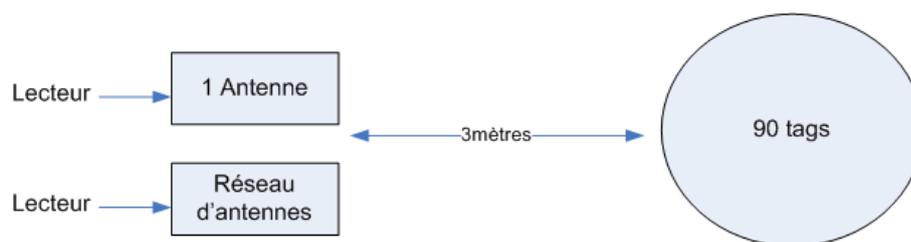


FIGURE 4.18 – Comparaison d'un lecteur avec une antenne et d'un lecteur avec un réseau de 4 antennes

Nous avons procédé à 4 cycles de lectures, chaque cycle durait 1 minute. Les nombres de lectures sont présentés dans la table 4.2. Le taux de lecture moyen sur la population de 90 tags est de 59% avec une antenne, avec le réseau d'antenne nous passons à un taux de 84% de lectures. Nous gagnons donc 25% de la population ce qui représente un gain de 42% par rapport à l'utilisation d'une seule antenne.

	1 Antenne	Réseau d'antennes
Nombre de tags lus	56	69
	53	77
	53	78
	52	79
Moyenne	53,50	75,75
Taux de lecture moyen	59%	84%

TABLE 4.2 – Résultats en taux de lectures sur une population de 90 tags

4.9 Conclusion

Le tableau 4.3 illustre la problématique du coût des lecteurs RFID. Le lecteur RFID représente plus de 90% du coût des composants. Un lecteur RFID n'est pas plus complexe qu'une puce GSM mais les volumes de production sont aujourd'hui bien moins importants. On peut donc s'attendre qu'avec le temps les lecteurs deviennent meilleur marché, notamment grâce à l'arrivée de lecteur RFID en "System on Chip" où le lecteur entier tient sur une puce [rfidSoC].

Composant	Coût en euros
Module Zigbee	20
Électronique	5
Alimentation	5
Lecteur RFID	410
Antenne RFID	10
Total	450

TABLE 4.3 – Coût d'un prototype de noeud RFID

Le coût est d'autant plus important que le maillage doit être fin pour pouvoir résoudre les problématiques de non lecture de tag, de lectures croisées et de lecture parasites. Ces deux derniers problèmes sont liés, comme nous l'avons vu précédemment, au fait qu'il faut pouvoir **localiser un tag pour avoir une donnée de qualité**.

La technologie de réseau de capteur Zigbee était adaptée à notre démonstration avec 10 noeuds et un nombre limité de tags. Néanmoins a problématique de volumétrie pourrait rapidement saturer les réseaux Zigbee. Il faut donc chercher d'autres solutions notamment à plus fort débit. Enfin, le Zigbee est une technologie de communication à faible consommation. Nous n'avons pas pu utiliser cette qualité. Il est aujourd'hui encore illusoire d'imaginer un capteur RFID autonome en énergie.

Notre dernier point soulevé concernait le manque de diversité avec un réseau de capteurs, tous les éléments sont statiques et certaines configurations dues à l'environnement amènent à des zones où les tags ne peuvent être télé-alimentés. La seule solution efficace trouvée est l'utilisation d'un réseau d'antennes permettant de modifier le diagramme de rayonnement. Les résultats sont

probants au niveau du taux de lectures. Cependant, la taille de ces antennes est moins compacte, il y a donc un effort industriel à apporter pour miniaturiser cet apport en diversité.

Ce travail sur les réseaux de capteurs RFID a donné lieu à une publication intitulée “A Sensor Network Based On RFID Inventory for Retail Application” (Annexes A.5) à la conférence RFID Technologies and Applications (IEEE RFID-TA 2011). A partir des noeuds réalisés nous avons mis au point une démonstration afin de présenter les possibilités de la visibilité en temps réel sur les articles (Photo et capture d’écran en Annexes A.6).

Bibliographie

- [GeorgiaTech] Vasileios Lakafosis, Manos M. Tentzeris From Singre to Multihop : the Status of Wireless Localization Georgia Institute of Technology IEEE microwave magazine, December 2009
- [ResCap] Khaldoun AL AGHA Réseaux de capteurs. DOSSIER TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR
- [AntPrin] Joseph ROGER Antennes - Bases et principes. DOSSIER TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR
- [AntennaHandHeld] Leena Ukkonen, Lauri Sydänheimo, and Markku Kivikoski, Tampere University of Technology. Read Range Performance Comparison Of Compact Reader Antennas For A Handheld UHF RFID Reader. IEEE Applications and Practice, April 2007.
- [ActiveAntenna] Premysl Hudec, Milan Svanda, Milan Polivka. Active UHF Antennas for Demanding RFID Applications. Proceedings of the 40th European Microwave Conference, 2010.
- [JNM2011] Juvenal Alarcon, matthieu Egels, Philippe Pannier Antenne réseau pour lecteurs UHF RFID. 17emes journées Nationales Microondes - Mai 2011- Brest
- [EPCair1] EPC ; Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz to 960 MHz Version 1.0.9 2005 EPC Global
- [rfidSoC] Ickjin Kwon, Yunseong Eo, Heemun Bang, Kyudon Choi, Sangyoon Jeon, Sungjae Jung, Donghyun Lee, Heungbae Lee A Single-Chip CMOS Transceiver for UHF Mobile RFID Reader. IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol.43 No.3 March 2008.
- [ZigAll] Le site internet de la Zigbee Alliance <http://www.zigbee.org>
- [IEEE802] La norme IEEE 9802.15.4 <http://ieee802.org/15/pub/TG4.html>
- [Notches] Réduction de la taille des antennes « Patch » par structuration de forme : une étude paramétrique Sean JOORDAN, Sylvain REED, Laurent DESCLOS, Serge TOUTAIN 12èmes Journées Nationales Microondes, 16-17-18 mai 2001 - POITIERS

Conclusion générale et perspectives

En conclusion, il semble évident que la technologie RFID est destinée à un large développement compte tenu des enjeux qu'elle représente. La RFID permet la lecture en masse et à distance d'objets. Elle apporte une richesse d'information grâce à l'identifiant unique. Ses qualités permettent de gagner du temps sur les étapes de contrôles, d'optimiser la gestion des stocks et d'apporter de nouveaux services de traçabilité. La RFID va donc fortement contribuer à l'efficacité opérationnelle dans la grande distribution et fera ainsi progresser le métier.

Aujourd'hui, le coût de la technologie est encore un frein à son déploiement généralisé. Les tags et les équipements de lectures sont jugés trop coûteux par rapport aux gains attendus. Pour amortir le coût, il faut développer un ensemble d'usages qui additionne les enjeux : la traçabilité, l'inventaire permanent et l'anti-vol, cependant une difficulté subsiste car une multiplication des usages nécessite un investissement conséquent dès le début du projet. Cela est d'autant plus complexe dans le cadre de la grande distribution du fait de la grande ampleur des projets et de la grande volumétrie. C'est notamment le cas dans l'application de traçabilité des caisses plastiques où il y a déjà plus d'un million de caisses plastiques équipées de tags RFID.

Cette thèse a permis d'identifier les problèmes posés par l'utilisation de la RFID. Après avoir analysé les causes, nous avons pu tester un système de correction des lectures croisées entre portiques. Cette solution nous a permis de constater une réduction d'un facteur 4,7 du nombre de lectures croisées. Cependant, nous n'avons pas pu montrer un système fiable à 100%, tant au niveau de la lecture de toutes les étiquettes visées qu'au niveau de la correction de toutes les lectures croisées et parasites. L'analyse des résultats nous a permis d'avancer qu'une localisation plus précise du tag permettrait de résoudre les problèmes de lectures parasites et de lectures croisées. Afin de localiser les tags, nous avons sélectionné une approche par réseau de capteurs RFID. Le maillage du réseaux définit la résolution de la localisation. Cependant cette approche, où tous les éléments du système sont statiques, est très sensibles aux perturbations du rayonnement électro-magnétique notamment dues aux trajets multiples et à l'évanouissement d'ondes. Cela nous a conduit à approfondir nos recherches par la conception d'un réseau d'antennes. Nous avons comparé le nombre de lectures avec une antenne puis avec un réseau d'antenne et nous avons obtenu une nette augmentation du nombre de lectures ce qui montre l'utilité des réseaux d'antennes pour améliorer les performances de la RFID notamment dans les environnements métalliques. Cette thèse constitue donc une ouverture sur les réseaux de capteurs appliqués à la RFID. Elle a permis de soulever les problèmes principaux, dont un majeur qui est le coût

d'un tel réseau. Ce problème dépend fortement des moyens mis en oeuvre pour industrialiser et commercialiser à grande échelle ce type de capteurs.

Une des perspectives que nous avons identifiées est l'amélioration de l'ergonomie des systèmes de lecture RFID. C'est une technologie qui remet en cause les processus existants, il y a donc une gestion de changement à opérer. Pour que ces changements soient compris il faut que la RFID soit appréhendable par tous. Il faut que les utilisateurs confrontés aux problèmes de la RFID ne soient pas perturbés par des phénomènes qu'ils ne peuvent expliquer. Nous avons pu lister au cours de ce manuscrit plusieurs propositions concernant la compréhension du diagramme de rayonnement et de la portée des antennes ainsi que l'adaptation souple de l'approche RFID aux usages en vigueur dans la grande distribution.

Table des figures

1.1	Historique	2
1.2	Historique	2
1.3	Bande de fréquence	4
1.4	RFID en onde longue	4
1.5	RFID longueur d'onde courte et vecteur de Poynting	5
1.6	Communication lecteur / tag	6
1.7	EPCglobal Standards Overview, source : EPCglobal	9
1.8	Codage d'un identifiant suivant le standard EPC	10
1.9	Principe de communication RFID	10
1.10	Bilan de liaison montante et descendante	12
1.11	Évolution du cout d'un tag (Source : IDTechEx)	13
1.12	Architecture simplifiée d'une puce RFID (source [TagDiag])	14
1.13	Fabrication des Inlay	16
1.14	Émetteur récepteur hétérodyne	16
1.15	Architecture du lecteur SoC RFID Impinj Indy 2000	17
1.16	Gabarit spectral des canaux RFID pour la France	19
1.17	Liaison RFID sans mode DRM	19
1.18	Liaison RFID avec mode DRM	20
1.19	Illustration de tous les canaux RFID autour de 860MHz avec mode DRM	20
1.20	Vue temporelle d'une communication RFID en mode DRM	21
1.21	Collision de deux réponses de tag	21
1.22	Commande d'inventaire, vue temporelle	23
1.23	Commande d'inventaire, vue séquentielle (spécification EPC)	23
2.1	Focus sur la RFID en bande UHF avec le standard EPC Gen 2 Class 1	28
2.2	Schéma de principe du système de traçabilité des caisses plastiques (source Orange)	31
2.3	Architecture matérielle pour collecter les données via des portiques	32
2.4	Palette de caisses plastiques et portiques RFID	32
2.5	Test de positionnement du tag et modification de la caisse	33
2.6	Deux tags par caisses	34
2.7	Schéma pour le banc de mesure	34
2.8	Plateau de poires sur alvéoles (distance de lecture maximum 39cm)	35
2.9	Oignons filets 1kg (distance de lecture maximum 34cm)	35
2.10	Oignons filet 5kg (distance de lecture maximum 17cm)	36

2.11	Courgettes en filet (distance de lecture maximum 14cm)	36
2.12	Distance de lecture avec un terminal mobile en fonction du produit dans la caisse	36
2.13	Risque de lectures croisées avec un terminal mobile	37
2.14	Origine des lectures croisées	37
2.15	Portiques RFID dans un entrepôt logistique	38
2.16	Processus de taggage RFID des articles	39
2.17	PDA et étiquettes RFID pour les vêtements et la lingerie	40
2.18	Environnement : étagère métallique	42
2.19	Écart entre inventaire RFID et état de stock	43
2.20	Synthèse des causes de ruptures de produits en surface de vente	44
2.21	Inventaire RFID avec un lecteur mobile	45
2.22	Taux de disponibilités des articles dans le temps	45
2.23	Antivol appliqué à la RFID UHF	46
2.24	Traçabilité logistique, visibilité sur les marchandises	47
2.25	Localisation des articles qui ne sont pas à leur place par détection lors de leur passage sous le portique	47
3.1	Schéma d'une rangée de portique, les triangles représentent les diagrammes de rayonnement des antennes actives	54
3.2	Expérimentation du système de correction des cross reading	54
3.3	Schéma d'interconnexion des interrogateurs	55
3.4	Visualisation au spectrogramme de l'écart temporel pour démarrer un cycle de lecture RFID	56
3.5	Schéma d'interconnexion des interrogateurs avec un signal de commande	57
3.6	Visualisation au spectrogramme de l'écart temporel pour démarrer un cycle de lecture RFID	57
3.7	Synoptique du banc du test	58
3.8	Expérimentation du système de correction des cross reading	59
3.9	Taux de lecture de P1 en fonction de la puissance de R1 (dBm)	59
3.10	Répartition des lectures de tags sur R1	60
3.11	Répartition des lectures de tags sur R2	61
3.12	Répartition des lectures de tags sur R1	61
3.13	Répartition des lectures de tags sur R2	62
4.1	Approche de la solution de Mojix	70
4.2	Schéma d'un réseau de capteurs dans un rayon textile	70
4.3	Topologies des réseaux Zigbee	73
4.4	Schéma d'implantation des capteurs (en rouge)	75
4.5	Puissance disponible photovoltaïque en fonction de sa surface	76
4.6	Briques fonctionnelles	76
4.7	Le prototype du circuit imprimé	77
4.8	Schéma de réalisation en 3D et le premier prototype fonctionnel	77
4.9	Les différents états du circuit imprimés	78
4.10	Antennes dipôles	79

4.11	Antennes Patch	80
4.12	Problématique d'évanouissement dans le rayonnement	80
4.13	schéma représentant des évanouissements d'onde dans le rayonnement	81
4.14	Architecture pour la gestion des faisceaux	82
4.15	Modélisation d'un réseau d'antenne	83
4.16	Système avec alimentation du réseau d'antenne	84
4.17	Implémentation du réseau d'antennes	85
4.18	Comparaison d'un lecteur avec une antenne et d'un lecteur avec un réseau de 4 antennes	85
A.1	Portique RFID dans un entrepôt logistique	100
A.2	Problématique de pose du tag	100
A.3	Nombre de lecture par seconde en fonction de $P_{bs_{tag}}$ (lecteur RFID), $P_{cw_{tag}}$ (source CW) et de la fréquence de la source CW (MHz)	102
A.4	Puissance RSSI (Received Signal Strength Indication) en dBm mesurée au niveau du lecteur RFID en fonction de $P_{bs_{tag}}$ (lecteur RFID), $P_{cw_{tag}}$ (source CW) et de la fréquence de la source CW (MHz)	103
A.5	Agencement de la démonstration avec trois lieux : réserve magasin, rayon de vente, caisses. Un produit est mobile pour montrer le suivi de l'article	114
A.6	Logiciel montrant les articles lus par les capteurs localisés	115
A.7	Périmètre de lecture d'un portique	116
A.8	Schéma électronique	117
B.1	Démarche d'expérimentation	123
B.2	Écran de suivi des ruptures	124
B.3	Évolution du nombre d'articles étiquetés et du nombre d'articles présents en rayon	124

Première partie

Annexes

A

Annexes scientifiques

A.1 Environnement entrepôt

Les différents environnements étudiés :

Lieux	Espace	Fonctions	Cas d'usages
Entrepôt logistique	indoor	Réceptionner, stocker, dispatcher	Inventaire, localisation, flux in/out
Transport	indoor	Transporter	Inventaire, géolocalisation
Réserve magasin	indoor	Réceptionner, classer, stocker	Inventaire, localisation
Surface de vente	indoor	Présenter les produits et les mettre à disposition du client	Information, inventaire et localisation
Parking	outdoor	Emplacement pour les voitures des clients	Localisation, identification
Caddy/panier	indoor	Stockage des produits choisis par le client	Facturation, information
Caisses	indoor	Facturation et paiement	Facturation, paiement
Drive	outdoor	Paiement et retrait des produits	Identification, paiement

TABLE A.1 – Environnements et caractéristiques

La grande particularité de ces environnements est la variété de configurations, chaque lieu à ses spécificités et la présence de nombreux mobiliers en métal.



FIGURE A.1 – Portique RFID dans un entrepôt logistique

A.2 Placement du tag sur les produits

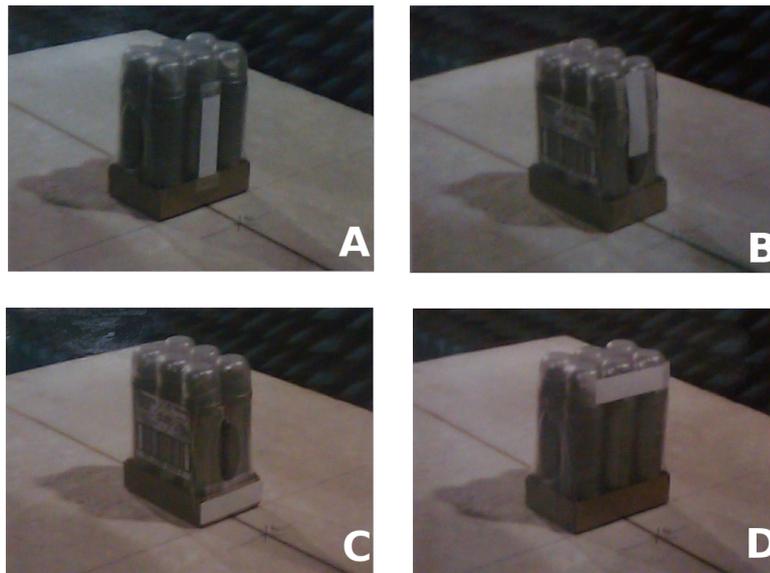


FIGURE A.2 – Problématique de pose du tag

A.3 Dissocier la télé-alimentation et le protocole

A.3.1 Objectif de l'expérimentation

Aujourd'hui, un seul canal fournit au tag l'information nécessaire à la communication et l'énergie par télé-alimentation. Ce canal peut être perturbé par un autre lecteur émettant dans le même canal, les perturbations sont assez fortes car les niveaux d'émissions des lecteurs sont élevés (30dBm) justement pour permettre la télé-alimentation. D'où l'intérêt de tester une solution

visant à réduire la puissance d'émission dans le canal afin de limiter les perturbations. Pour ne pas réduire l'efficacité de la télé-alimentation et donc la distance de lecture, nous utilisons un autre canal dédié à la fourniture d'une partie de l'énergie. Nous souhaitons donc mettre en évidence la capacité ou non d'un tag à réaliser de la collecte d'énergie (Energy Harvesting) sur toute la bande RFID UHF (865-868MHz).

L'objectif de l'expérimentation est de tester une architecture multi-sources d'énergie en télé-alimentation RFID UHF afin d'augmenter la distance de lecture et être plus robuste aux perturbations entre lecteurs.

A.3.2 Matériel utilisé

Un lecteur RFID interroge une puce RFID avec une puissance de sortie donnée et un canal donné (865,7 MHz). Une source sinusoïdale (CW : Continuous Wave) fournit une autre source de puissance à une autre fréquence.

Les deux sources d'énergie sont connectées au même type d'antenne à polarisation circulaire.

A.3.3 Mesure du bilan de liaison en fonction de la puissance de sortie

Les antennes étant identiques, cela a permis de mesurer ce que fournirait comme puissance le lecteur RFID et la source CW. L'antenne de mesure a été positionnée à la place du tag, l'antenne du lecteur RFID et celle de la source CW sont disposées à 40cm du tag.

Puissance réglée au niveau du lecteur RFID	Mesure au niveau du tag ($P_{bs_{tag}}$)
15dBm	-7,15dBm
20dBm	-2,37dBm
25dBm	3dBm

TABLE A.2 – Bilan de liaison en fonction de la puissance RFID émise

Le lecteur ne peut pas fournir une puissance inférieure à 15dBm. L'atténuation est d'environ 22dB : Atténuation du médium, atténuateur 10dB, circulateur, atténuation du câble

Puissance réglée au niveau du générateur de signal	Mesure au niveau du tag ($P_{cw_{tag}}$)
5 dBm	-8dBm
10 dBm	-3dBm
15 dBm	1,9dBm
18dBm	5dBm

TABLE A.3 – Bilan de liaison en fonction de la puissance CW émise

Il y a une atténuation d'environ 13dB : atténuation du médium, atténuation du câble

Ces mesures nous permettent d'avoir un ordre d'idée de la puissance fournie par les deux types de sources en fonction des réglages effectués sur les appareils. Cela nous permettra notamment de distinguer les cas où le lecteur RFID fournit le plus de l'énergie et à l'inverse les cas où la source CW fournit l'essentiel de l'énergie.

A.3.4 Mesure du seuil de télé-alimentation

Fonctionnement du lecteur RFID seul sans autre source.

$P_{bs_{tag}}$	$RSSI_{tagbs}$	Taux de lecture /s
-7,15 dBm	X	0
-2,37 dBm	X	0
3 dBm	-62dBm	70

TABLE A.4 – Seuil de télé-alimentation en fonction de $P_{bs_{tag}}$

On remarque que pour les deux premières valeurs le niveau de puissance ne sont pas suffisantes soit pour télé-alimenter le tag. La dernière mesure montre qu'à ce niveau de puissance la puce est télé-alimentée sans problème et répond en moyenne 70 fois par seconde.

A.3.5 Mesure du seuil de télé-alimentation en fonction de la fréquence

Fonctionnement du lecteur RFID avec la source CW :

Légende : Les cases orange indiquent que dans ces conditions il ne se produisait aucune transaction RFID dans une durée d'au moins 30 secondes. Les cases avec un X indiquent des mesures non effectuées.

$P_{bs_{tag}}$ dBm	$P_{cw_{tag}}$ dBm	860	861	862	863	864	865	865.7	866	867	868	869	870	875	880	890	900	915
-7,15	NULL																	
-7,15	-8																	
-7,15	-3																	
-7,15	1,9																	
-7,15	5																	
-2,37	NULL																	
-2,37	-8	1,7	0,3	0,2	0,1	0,1												
-2,37	-3	2,2	2,3	1,9	1,8	1,3				1	1,9	0,3	0,8				0,1	0,1
-2,37	1,9												1,2	1,9	2,1			
-2,37	5																	
3	NULL	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
3	-8	68	X	X	70		2,2		X	X	69	X	70	X	X	70	X	
3	-3	70	X	X	70				X	X	69	X	70	X	X	69	X	
3	1,9	70	X	X	68				X	X	68	X	68	X	X	69	X	
3	5	70	X	X	69				X	X	70	X	69	X	X	70	X	

FIGURE A.3 – Nombre de lecture par seconde en fonction de $P_{bs_{tag}}$ (lecteur RFID), $P_{cw_{tag}}$ (source CW) et de la fréquence de la source CW (MHz)

Pbs_tag dBm	Pcw_tag dBm	860	861	862	863	864	865	865.7	866	867	868	869	870	875	880	890	900	915
-7,15	NULL																	
-7,15	-8																	
-7,15	-3																	
-7,15	1,9																	
-7,15	5																	
-2,37	NULL																	
-2,37	-8	-84	-83	-86	-83	-86												
-2,37	-3	-85	-82	-83	-83	-83				-83	-83	-85	-84				-86	-85
-2,37	1,9												-83	-83	-84			
-2,37	5																	
3	NULL	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-62
3	-8	-60	X	X	-60	X		-81		X	X	-63	X	-64	X	X	-62	X
3	-3	-62	X	X	-62	X				X	X	-62	X	-62	X	X	-62	X
3	1,9	-63	X	X	-63	X				X	X	-62	X	-62	X	X	-63	X
3	5	-63	X	X	-63	X				X	X	-63	X	-63	X	X	-64	X

FIGURE A.4 – Puissance RSSI (Received Signal Strength Indication) en dBm mesurée au niveau du lecteur RFID en fonction de $P_{bs_{tag}}$ (lecteur RFID), $P_{cw_{tag}}$ (source CW) et de la fréquence de la source CW (MHz)

A.3.6 Bilan des mesures

Trois constatations :

- Lorsque CW est à une fréquence proche (864 ; 865,7 ; 866 MHz) du canal RFID utilisé, les transactions RFID sont dans la majorité des cas impossible quelque soit la puissance de CW et du lecteur RFID.
- Lorsque $P_{bs_{tag}} = 3$ dB, les transactions RFID s’effectuent parfaitement sans la source CW. Avec la source CW les paramètres de mesure RSSI et taux de lecture ne sont ni améliorés ni détériorés (hormis pour les fréquences proche du canal RFID, voir ci-dessus)
- Lorsque $P_{bs_{tag}} = -2,37$ dBm, les transactions RFID ne s’effectuent pas sans la source CW. On remarque qu’à certaines fréquences et puissance de CW, cela permet de télé-alimenter suffisamment le tag afin d’établir des communications. Il y a donc une amélioration, des tags illisibles avec le lecteur RFID deviennent lisibles, cependant les taux de lecture demeurent faibles. A noter que la majorité des cas de fonctionnement se produisent pour une puissance $P_{cw_{tag}}$ inférieure à celle de $P_{bs_{tag}}$.

Conclusion

Cette expérimentation visait à juger la pertinence d’utiliser plusieurs sources d’énergie pour la télé-alimentation de tag en norme EPC UHF Gen 2. L’expérimentation montre que fournir une source d’énergie supplémentaire via une porteuse à une fréquence proche ($\Delta > 1$ MHz pour ne pas perturber le canal RFID) est bénéfique, on constate donc une possibilité d’augmenter les distances de lectures. Cependant le gain est minime, le niveau de signal est proche des limites de la sensibilité du récepteur (-80dBm), les taux de lectures sont donc très faibles ce qui se traduit en pratique par une faible probabilité de lire le tag et donc de ne pouvoir garantir un taux de lecture de 100% à une distance fixée. Enfin une dernière constatation pénalisante, il semble que pour observer des bénéfices, il faut que le canal RFID fournisse la majorité de l’énergie. La fourniture de l’énergie au tag ne peut donc être reléguée majoritairement à la source CW.

A.4 Module RFID M5E



MERCURY5e-EU

World-class UHF RFID Engine



Mercury 5e-EU is an EU-region-specific version of ThingMagic's best-in-class Mercury5e RFID reader module. About the same size as a PCMCIA Type II PC card, it concentrates full-size reader performance into a tiny package so you can design ThingMagic RFID into your own device. It is ideal for adding UHF RFID read/write capabilities to a wide range of devices, from high speed label printing to inlay testing to mobile and handheld computers.

Ordering Information	
Module	M5E-EU
Development Kit	M5E-EU-DEVKIT

Tag / Transponder Protocols	
RFID Protocol Support	EPCglobal Gen 2 (ISO 18000-6C) with Anti-Collision, DRM, and advanced anti-jamming

RF Interface	
Antenna	Two MMCX connectors supporting two monostatic antennas, or one bistatic antenna, with VSWR < 1.5:1 @ 50 ohms
RF Power Output	Separate read and write levels, command-adjustable from 5 dBm to 30 dBm (1 W), +/- 1.0 dBm accuracy.*
Frequency	Pre-configured for the following regions: ETSI (EU) EN 302 208: 865.6-867.6 MHz ETSI (EU) EN 300 220: 869.85 MHz Open (Custom) 863-870 MHz

Data/Control Interface	
Physical	12-pin ZIF connector providing power, communications signals, and GPIOs
Signaling	Asynchronous Serial interface with 3.3/5V logic levels; baud rates from 9600 to 921,600 bps
I/O	Two 3.3/5V serial input (sensor) ports and 2 output (indicator) ports
Protocol	Command-response protocol protected by length field and 16-bit CRC

Physical	
Dimensions	82 mm L x 54 mm W x 5 mm H (3.23 in L by 2.13 in W by 0.20 in H)



Power	
DC Power Required	DC Voltage: 5.0 VDC +/- 4% DC power: 3.5 - 6.5W max when transmitting (depends on RF level)
Idle Power Consumption and Command Response Times (Typical Values)	1.13 W with 15 msec response time Power Saving Options: 0.33 W with 20 msec response time 0.08 W with 95 msec response time 0.03 W with 100 msec response time

Environment	
Regulatory	ETSI EN 302 208 v1.11 ETSI EN 302 208 v1.2.1 ETSI EN 300 220
Operating Temp.	-20C to +60C

Storage Temp.	-40C to +85C
---------------	--------------

Electrostatic Discharge	10kV to antenna shield conductor with antenna that presents a short to DC
-------------------------	---

Shock and Vibration	Designed to be installed in host devices which are required to survive 5-foot drops to concrete
---------------------	---

Architecture	
RFID Processor	Indy R1000
User-accessible Flash Memory	16 kB
Tag Buffer	200 tags

Performance	
Tag Read Rate	Up to 190 tags/second
Tag Read Distance	Over 30 feet (9 m) with 6 dBiL antenna (36 dBm EIRP)
Max Receive Sensitivity	-65 dBm at full transmit power with typical antenna**

*Maximum power may have to be reduced to meet regulatory limits, which specify the combined effect of the module, antenna, cable, and enclosure shielding of the integrated product

** Receive sensitivity will improve as transmit power is reduced

Specifications subject to change without notice

A.5 Publications

- Publication EuMC 2011 Paris
- Publication RFID-TA 2011 Sitges

RFID Reader's Synchronization to Get a Coordinated Beam Direction for Warehouse Application

Charles Anssens^{#1}, Nathalie Rolland^{#2}, Paul-Alain Rolland^{#3}

[#]*IEMN/IRCICA, Villeneuve d'Ascq, BP 59652, France*

¹*canssens@auchan.fr*

²*nathalie.rolland@iemn.univ-lille1.fr*

³*paul-alain.rolland@iemn.univ-lille1.fr*

^{*}*Auchan France, 200 rue de la Recherche, Villeneuve d'Ascq, 59650, France*

Abstract— This document presents a system designed to improve the reliability of RFID reader in warehouse, specially for logistics applications with dock doors. The aim is to use the regulation's maximum power to get the best reading rate and to control the cross reading between readers. A special focus will be put on UHF RFID with European regulation EN 302 208.

I. INTRODUCTION

Currently, in the warehouses equipped with RFID, there is a trade off between radiated power which determines the ability to read 100% of the targeted tag's population and the quality of the information. To ensure a 100% reading rate of this population, the risk is to read others tags in another tag population: the adjacent portal or in the warehouse stock.

The reason is clear, more power gives more reading distance. Today, it is not hard to get 10 meters of reading range with passive tags. On the other hand, there are lots of reasons not to read a tag at 3 meters: damaged tag, tag detuning, or items next to the tags which can be reflective or absorbing. But if one wants to be sure to read the targeted tag's population, the maximum power is needed but it induces the risk of reading wrong information.

Currently most RFID users choose a compromise to read less than 100% of tags and keep a good information quality.

A low rate of good information does not enable to implement high value process in the warehouses: billing, delivery slip, etc. The RFID in warehouse has to improve the information quality to get a rise of deployment in industry.

II. BACKGROUND

We will present some fundamental elements as an introduction.

A. ETSI 302 208

Since the version 1.2.1 of the regulations ETSI 302 208 [1], the Listen Before Talk (LBT) mechanism is facultative. This regulation specifies the use of only 4 channels at 2W ERP (Effective Radiated Power) in Dense-Mode Reader, with 200 KHz of bandwidth (The channels are shown in Table 1). The adjacent channels are used by the tags to communicate with

the reader. This configuration allows a better reliability and cohabitation between several RFID readers in warehouse.

With this new configuration, the ETSI 302 208 recommends to set a distance of 10 meters between two readers on the same channel. When there are two adjacent readers it is necessary to choose channels with a spacing of 1MHz. These recommendations are hard to deploy in a warehouse with dozens readers, which would need a wider frequency bandwidth for radio identification application in order to deploy more channels and to be in conformance with these recommendations.

TABLE I
CHANNELS USED IN DENSE READER MODE

Channel number	Channel band
4	865,6 to 865,8 MHz
7	866,2 to 866,4 MHz
10	866,8 to 867,0 MHz
13	867,4 to 867,6 MHz

B. EPC Class 1 Generation 2 Protocol

In supply chain, a standard determines the air protocol for the communication between a tag and a reader. The air protocol [2] specifies the modulation, the coding, and the protocol communications. All these parameters have great effects on the RFID's performance and help to optimise a RFID system.

This standard defined by EPC Global (Electronic Product Code) covers all layers from the air interface to the layer where the information is consulted. A special attention will be given to the Air Interface and to the Low Level Reader Protocol (LLRP) [3] which will be used to program the readers.

C. Dock doors in warehouse

In the warehouses, RFID is usually used for movements' traceability. Tunnels are used, on a production line, to identify each item individually. The tunnel is restricted so that the unitary reading is guaranteed. We will concentrate on dock doors which have a mass reading capacity (for boxes, items or pallets). The readers are located in order to capture movements' events which will be related to the serial number of the tag, based on the EPC. A warehouse is generally composed of several reception docks IN movement (goods entering the docks) and expedition docks OUT movement (goods leaving the docks) (Fig. 1). Dock doors can also be implemented for an internal use, for example traffic from the production line to the storage area. Because In and Out movements at the dock doors are typical of a warehouse activity, a special attention will be paid to this type of activity. A parallel truck reception dock is the most frequently used configuration in warehouses. Docks are 3 meters wide and there is 1 meter space between each of them. Most often there are a dozen of docks side by side. They can be used all at the same time – particularly for stores supply and mail handling.

Each dock door is equipped with a RFID reader and one or several antennas. When pallets are used it is possible to use only one antenna if all pallets cross the dock with the same tag orientation. If not the reading is not sure and it is better to install two antennas. In order to read as much tags as possible the dock door are equipped with four antennas, two on each side. Another possibility is to install an antenna at the top of the dock door and to steer it to read the tags. These antennas are directional.

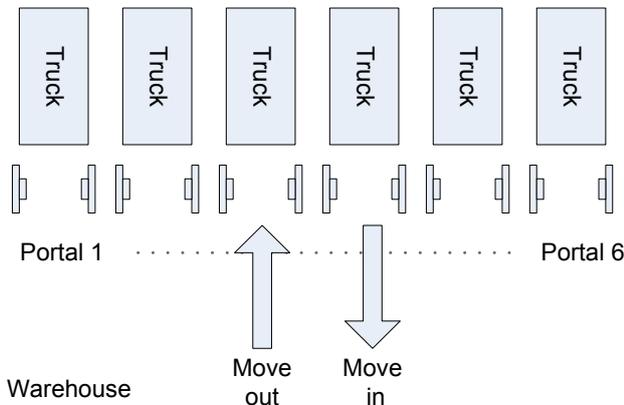


Fig. 1 Warehouse with dock doors equipped with RFID readers

D. Read rate

In RFID, it is complex to have stationary performance, since the communication is sensitive to the environment.

A goal for tag manufacturers is to have tags which answer to a reader with the same performance. Performance means a specified and precise read range. But several factors can cause variations in performance. The chip has to be carefully

connected on the antenna, if not; the tag's performance can change.

If the tag is a sticker, the process to stick the tag has to be reproducible. But if the operation is realised by a person there is a margin of error.

Another problem is that a tag is sensitive to shocks which can affect the reading performance.

The performance of the tag depends of the surface on which it adheres; for example a tag stucked on woods and a tag stucked on plastic will behave differently. If a tag is on a box, the performance evolves depending of the content of the box. It is called tag detuning.

For all these reasons, a reader can be able to read a tag, but another tag may be affected by these phenomena.

The conclusion is that it is not easy to read 100% of the goods which cross a dock door.

E. Cross Reading

Cross reading occurs when two adjacent docks doors are reading the same tags which are located under one dock door [4]. Both of them read the same identifier so a decision has to be taken to choose to which reader should be attributed the reading.

The same thing can happen when the good reader is faulty, there will be a wrong information. It happens generally when a reader has a consequent number of tags to read, and when another adjacent reader is waiting for a tag detection to launch an inventory cycle.

F. Unwanted reads

This phenomenon is caused by a too long read range. The perimeter of reading exceeds the dock door and the reading could extend to the storage area. The tag's reading is considered as an input or output from the warehouse whereas it is static in the stock zone.

III. A NEW APPROACH FOR RFID READING

In warehouse, the readers are not synchronised, the antennas radiate independently. To choose an antenna time multiplexing is used, and none reader is coordinated with the others.

Currently the state of art is to synchronize readers to optimize the spectrum management [5] but not to synchronize the beam direction.

If we reduce the emitted power we limit cross reading and unwanted reads, but the reading of the whole tag's population may decrease. That is why we study a system witch enables to emit more power to read the whole tag's population and control cross reading and the reading of unwanted tags.

G. Description

Our approach is to synchronise all the antennas with the beams in the same direction to create an intersection perimeter of reading between readers (Fig. 2). A part of each tag population under a dock door will be read by the reader next

to it because the emitted power will be increased and maximize the read rate. Consequently cross reading will occur but the reading can be allocated to the reader which is the closest to the intersection perimeter (see fig.2). Periodically the beam direction is switched from left to right and reciprocally (Fig. 3).

Unwanted reads have to be processed by analysing remanent and static tags. If a tag is read during a long period we can correct the reading and do not take it into account.

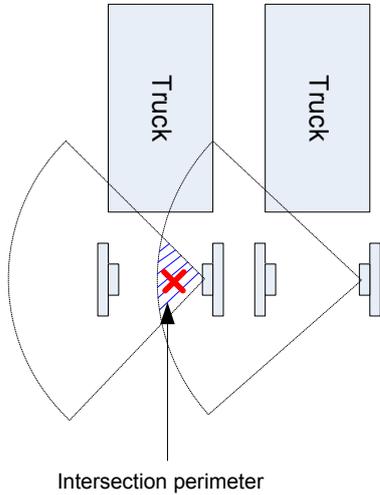


Fig. 2 A tag in the intersection perimeter, it is read by both readers but is attributed to the reader the closest to the intersection

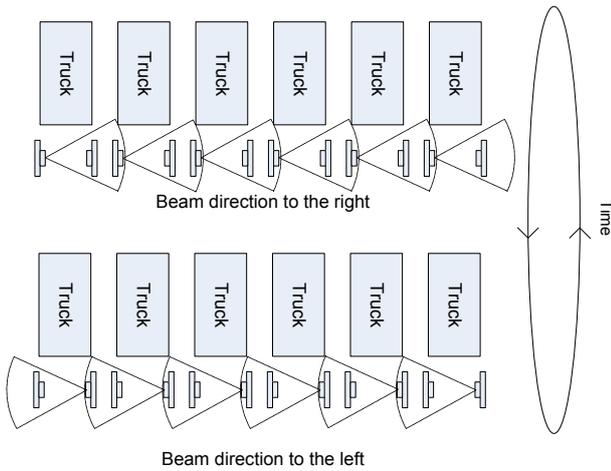


Fig. 3 switching left side to right side for antenna beams

IV. CONDITIONS

H. Synchronisation of beam direction

Each reader has to activate the good antenna at the right time. If the beam directions are not coordinated, the processing rule to determine the right reader when cross reading occurs is unavailable. The commutation time between left and right radiation has to be very short, not to lose reading during this operation.

I. Antennas

The beam direction is quite important but we have to control rear side lobe levels of each antenna. It is possible if dock doors with RF absorbing materials are used.

J. Protocol : type of session

According to EPC protocol, we can specify a kind of session which enables to set a tag in an inventoried state. In our approach, it is necessary to provoke cross reading between two readers, which need two complementary sessions (session S2 and S3). If each sequential reader alternates between these two complementary sessions, the readers can independently inventory a common tag population (fig; 4).

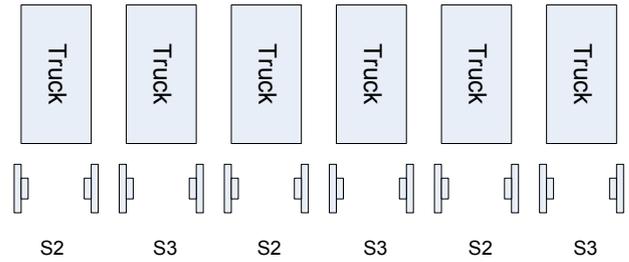


Fig. 4 Sessions 2 and 3 are alternated

V. EXPERIMENTATIONS

K. Synchronisation of readers

The first step was to study quickly if it was possible to synchronise the beam direction of many readers. It was necessary to verify the ability to start reading at the same time and to switch quickly from left side antennas to right side antennas. For this we used two readers from the same manufacturer. Since today there is no standard rule to synchronize readers.

The first experimentation was to control readers with a computer via Ethernet (Fig. 5). The computer was programmed to construct the reading command packets for the readers one by one and to send them one by one via Ethernet. With a real time spectrum analyser we have studied the trigger time between two readers, this average delay is of about 6 ms. Two main problems were encountered : this delay (6ms) corresponds to the time necessary to read 4 tags and this delay will be multiplied by the number of readers (60ms for 10 readers) which is too much.

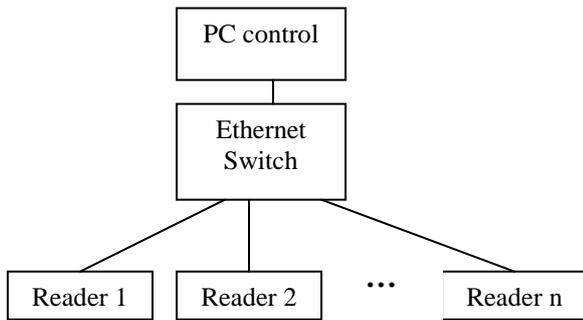


Fig. 5 The commutation is controlled by a PC

To improve this approach a second experimentation was achieved, using LLRP, which permits to program the reader inside itself to suppress the time spent in Ethernet latency. To command the beam, we use a digital signal 0V/3,3V which interacts with the reader via the General Purpose Input (GPI) [6] (Fig. 6). A trigger is programmed by the GPI to switch the antennas side. With this method we get an average delay of about 484 us, which is twelve time lower than the previous one and is lower than the reading time of a single tag. In addition this delay is not cumulative since it only depends on the signal propagation delay plus the response time of the reader.

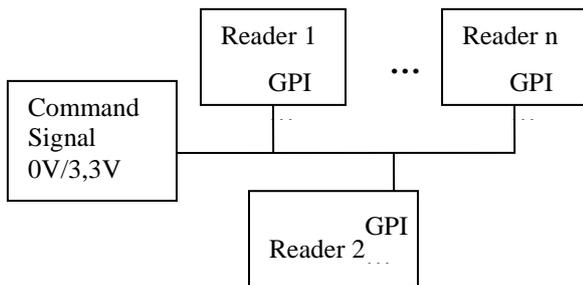


Fig. 6 The commutation is controlled by a logic signal

With a Teflon coaxial line, for a warehouse with 20 adjacent dock doors (corresponding to about 100 meters) we got a propagation latency of 483ns. It is a parameter to take into account to synchronize the readers but it is really lower than the previous result.

L. Future Work

To verify the benefit of this system we have to test it in a real situation with at least two dock doors to create the intersection zone between the readers and to measure the reading rate increase.

VI. CONCLUSIONS

This paper presents a new approach to improve the reading rate of a tag population by increasing the emitted power. Phenomena like cross reading increase but they can be corrected by RFID beam direction synchronization. Up to now we have only tested the possibility to implement this mechanism; we have programmed readers to be synchronized using the GPI with a digital signal of command. The latency of the synchronization is not damageable. The next step is to test the concept in real environment to conclude on its benefits.

This will be presented at the conference.

REFERENCES

- [1] ETSI EN 302 208-1 V1.2.1 (2008-04), www.etsi.org.
- [2] EPC Global, "EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 869 MHz – 960 MHz Version 1.2.0".
- [3] EPC Global, "LLRP Standard v. 1.0.1"
- [4] Pattabhiraman Krishna, David Husak, "RFID Infrastructure", IEEE E-PUB, 10 Jun 2008.
- [5] Kin Seong Leong, Mun Leng Ng, Alfio R.Grasso, Peter H.Cole, "Dense RFID Reader Deployment in Europe using Synchronisation", *Journal of communications*, vol. 1, NO.7 Nov/Dec 2006.
- [6] Impinj, "Speedway GPIO Applications REV 1.0 01-22-08", Impinj documentation

A Sensor Network Based On RFID Inventory for Retail Application

First Charles Anssens^{#1}, Second Nathalie Rolland[#], and Third Paul-Alain Rolland[#]

[#]IEMN/IRCICA, Villeneuve d'Ascq, BP 59652, France

¹canssens@auchan.fr

Abstract—RFID is a trend in the retail sector and made possible a quick inventory of a large stock, therefore it is expected to improve productivity. Currently the solutions are based on inventories which record the input and the output of the goods and provide the stock situation. In this paper, we develop another solution based on the real-time visibility of the items. With a sensor network, it is possible to detect all the items and locate them. In fact, we capture three data: the item identification, the place and the time. This paper presents our work on this solution, some simulations in the warehouses' environment, and our realization of a sensor network based on the Zigbee protocol coupled to a UHF RFID reader.

I. INTRODUCTION

THIS document presents an application designed to collect RFID data [1] on goods with additional information such as the location and the time. Our goal is to improve the efficiency in stock management for warehouses or retail stores.

The purpose is to provide a system which can answer to simple questions: Where is a product? How many items do I have? How many items disappear without explanation (not on the shelf, not sold, not broken...)? Which products are not at the right place? In the stock, which products are too numerous? Etc.

To answer those questions, we decided to consider the implementation of a RFID sensor network. This technology is based on a network of nodes in which each node collects data of its environment. By placing the nodes and meshing the surface it is now possible to cover a space.

First we will explain the context and the standards of RFID for the retail. Then we will present a sensor network system design to make the inventory of items. Finally we will examine the optimization for the retail environment.

II. RFID STANDARDS FOR RETAIL

UHF EPC GEN 2 Class 1

Since the version 1.2.1 of the regulations ETSI 302 208 [2], the Listen Before Talk (LBT) mechanism is facultative. This regulation specifies the use of only 4 channels at 2W ERP (Effective Radiated Power) in Dense-Mode Reader, with 200 KHz of bandwidth. The adjacent channels are used by the tags to communicate with the reader. This configuration allows a better reliability and cohabitation between several RFID readers in warehouse.

With this new configuration, the ETSI 302 208 recommends to set a distance of 10 meters between two readers on the same channel. When there are two adjacent readers it is necessary to choose channels with a spacing of 1MHz. These recommendations are hard to deploy in a warehouse with dozens readers, which would need a wider frequency bandwidth for radio identification application in order to deploy more channels and to be in conformance with these recommendations.

III. PRINCIPE

Before starting, we determined some conditions. We wanted the node to be compact for it to be easy to integrate to a warehouse. One of advantages of a sensor network is that it is able to create different network topologies because we didn't want to construct a network infrastructure (backbone). The mesh of the sensor has to be the network's backbone.

The most important is that we determined the need of a good efficiency and reliability on the data quality. It is a challenge for RFID to reach a high level of performance in the reading rate. To answer the precedent questions, we need to read all RFID tags to be relevant.

A. Architecture of a sensor network based on Zigbee

Our network is based on the IEEE 802.15.4-2003 standard (Zigbee) and our sensor is a RFID reader EPCglobal Gen 2 [3] (ISO 18000-6C). The item identification is the acquired data.

We can determine three types of nodes in a Zigbee network [4]:

- Coordinator: it is the initiator of a network, we consider it as being the point where the data are converging
- Router: it is a node with the ability of transferring a packet between the nodes
- End point: it is the end of a tree, this node does only point to point communication.

Nodes are in a tree. The node N0 is the coordinator and it is static, the other nodes N1, N2, Nx are dynamic and depend on the physical implementation in the space. The route table is dynamic and can be adapted if a node is in failure. The network topology is in the shape of a tree

because the coordinator centralizes the data. For other functions like localization with range measurement it is possible to use a mesh network.

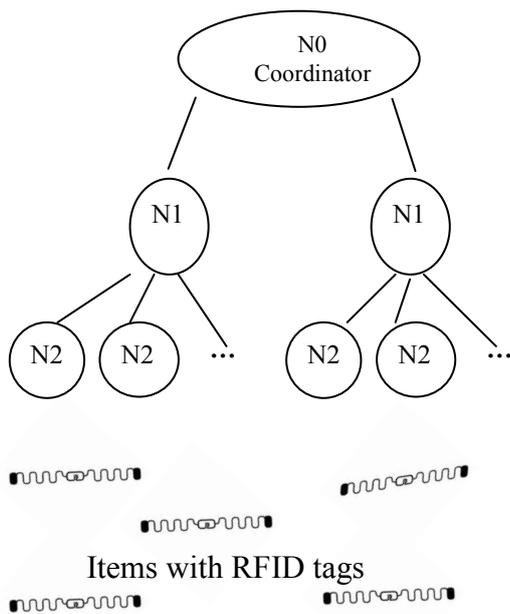


Fig. 1 Network architecture

For the first step we decided to consider the nodes as being static and integrated to the furniture. They are distributed in the space to cover all the items to read. Then, we put in place the nodes on a map, so that, when a RFID tag is read by a node, we can find its location with the precision of the reading range of the node.

With a concentrated network, the best solution would be to use the Zigbee's potential of localization. Therefore we can have mobile nodes.

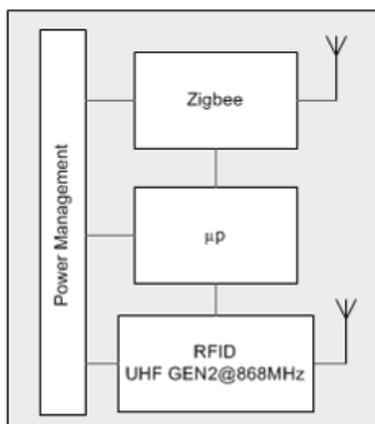


Fig. 2 Node Architecture

As you can see on the figure 2, the first box Zigbee is the communication module of the node, the second box is the microprocessor to command the communication and the sensor represented by the third box the RFID module.

IV. ENVIRONMENT FOR RFID

A. Retail context

In a warehouse or in a retail store you can encounter the same types of environment. The buildings have a metal structure and generally the shelves are in metal. A warehouse is a metal box with furniture in metal. This fact induces many disruptions for the RF signal.

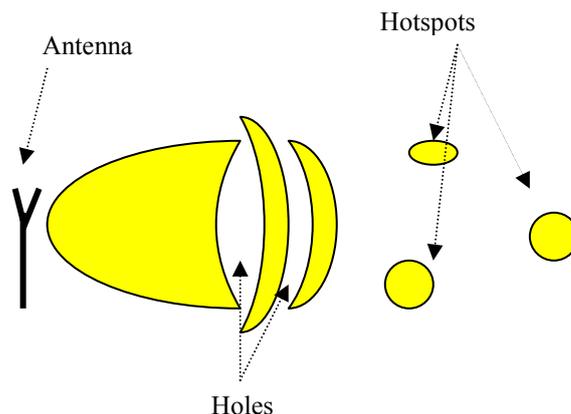


Fig. 3 Radiation field with disruptions

This figure 3 shows the effects of a metal environment on the radiation fields, the reflections induce deep nulls in the received signal for the RFID tag or in the opposite case hotspots with an outstanding reading range. The worst case is to have deep nulls in the radiation fields, because it makes the reading efficiency lower. The deep nulls are destructive interferences: a part of the signal is in late of a half of the wave length.

The next figure 4 shows the power received from the backscattering signal depending on the distance between the reader and the tag. We can observe some deep nulls in the circle marked 1, even though there are located before the maximum reading range. In the circle 2 we notice two outstanding places where the tag is powered and then can backscatter.

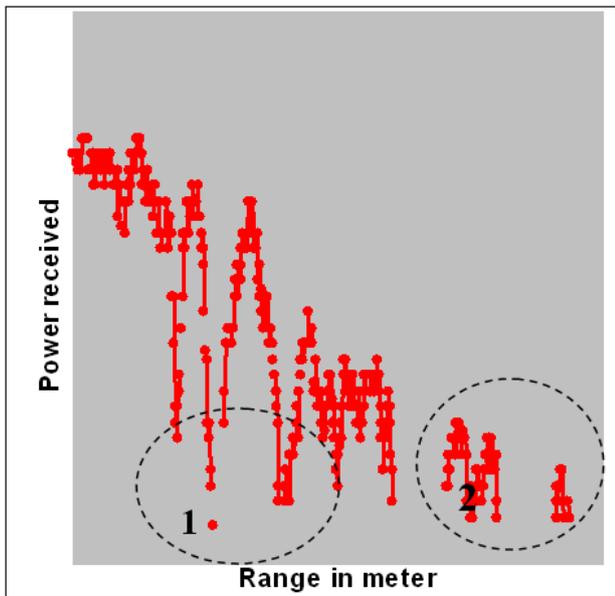


Fig. 4 Power received by a reader in function of the distance of the tag

This phenomenon of deep null is not catastrophic if a part of the system is mobile:

- Reader mobility
- Environment mobility
- Tag mobility (on a pallet or on a conveyor)

The mobility enables to pass from a deep null to a better situation.

But in our case everything is static. When a tag is not powered it is impossible to get its identification. In the inventory process there is one missing and then the inventory quality is lower.

B. Tags

The tag is very important for the communication. After a good selection of the chip and of the antenna functions of the item, other parameters can affect the performance and determine the environment.

We have to consider that the position and the orientation of the tag can not be organized and then can not be determinist. The RFID system has to be as flexible as possible to be effective in every case. This point shows the need of a strong parameterization of the RF communication.

C. The need of diversity

To fight against the deep null in the radiation field we tried to influence parameters in order to affect the environment conditions. We tested polarized antenna, frequency hopping (in the RFID band), power sweeping and a variable radiation pattern.

We still have a parameter to test: the modulation aspect. We will test it by a simulation with co-simulation of a circuit part with a RF part.

For each parameter, only one gives results: the variable radiation pattern. This solution makes possible to avoid

multiple reflections of electromagnetic waves [5] thanks radiation field mobility.

D. Work on Antenna

We tested many antennas before the study of the benefits of diversity in radiation field. We tried to reduce the size by using a substrate with high permittivity [6]. Different shape and polarization configuration were tested. We used the techniques of Notches [7] in a patch to reduce the distance required to radiate. The results were not good because the substrate used was not stable in permittivity. We observed with these antennas the phenomenon of deep null, that why we considered the phased antenna with beam forming.

The diversity is one benefit of the antenna phased array: the ability to modify the environment effects on the radiation field. It is possible because there is a better directivity, focusing on the target with a controllable beam orientation.

We did several simulations on HFSS 13 to verify the gain in performance:

- Reader antenna with a tag antenna in free space
- The same simulation with metal parts. (Fig.5)
- Rotation of the antenna to simulate a beam forming

The first simulation allow us to get a reference of the best case possible, the second simulation is to create some disruptions in the radiation field by adding some metal parts which represent a shelf. The last simulations are to test the improvements of a beam forming with a variation of directivity.

We are still analyzing the results to determine the angle variation required to affect the environment conditions.

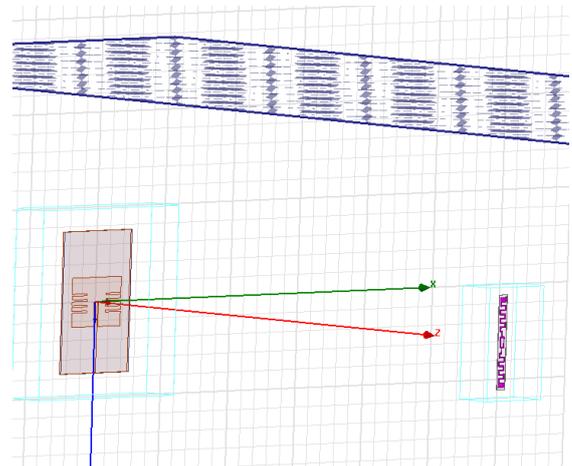


Fig. 5 HFSS, the patch antenna, a RFID tag, and a metal plane to create reflections

For the implementation, the antennas used for the beam forming are patch antennas, and the antenna used for the received signal is a simple dipole. The forward link is more important than the reverse link. As mentioned in the

environment context, the main problem is to power up the tag to establish a communication. With the sensibility of the reader, a simple dipole antenna is enough to get the backscattered signal from the tag.

V. REALIZATION

To test our RFID sensor network approach, we build some nodes (figure 6) and different types of RFID antenna in order to determine the best solution to get a high RFID reading rate. To be meaningful, we built ten RFID sensor nodes and one coordinator. It enables to cover an area of 50m² depending on the RFID antenna's performance.

We tested five types of compact antennas: dipole, cross dipole, patch, fractal patch and patch with notches [7]. To manage all nodes, we coded the embedded software with specific batch of operation to optimize the reading procedure (frequency hopping, many inventory cycles ...) and to communicate the data to the network.

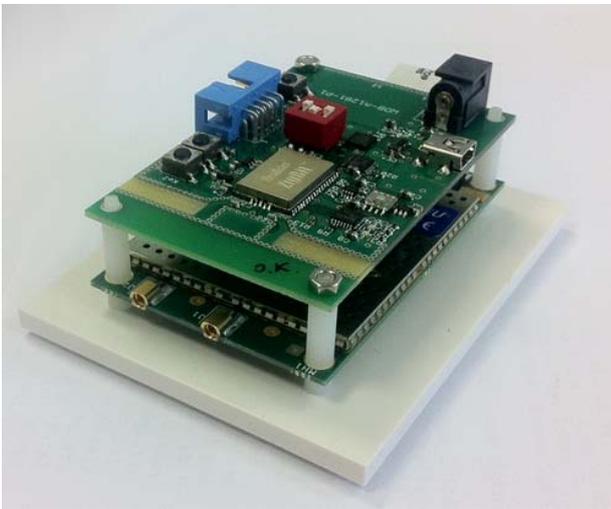


Fig. 6 Photography of a node without the RFID antennas

We designed software to aggregate and to analyze the sensor data. This software had the task to communicate with the coordinator to manage the network. We worked specially on the data visualization because there is a lot of information to display: items, localization and time.

A sensor network is an opportunity to collect many sensors: light, temperature, fire, activity, etc. We took the opportunity to integrate a light sensor and a temperature sensor.

VI. CONCLUSION

We demonstrated the efficiency of sensor network for the inventory and localization application. It is the best way to implement a solution for real-time visibility in order to follow goods. For a system where the emitter and the receptor are statics, we need diversity to achieve communication in all environment conditions. We showed

that a phased antenna enables to get diversity and resolves some problems due to the environment. Up to now, we realized a sensor network with some compact antenna, we simulated the benefit of a phased antenna for disrupted environment and the next step is to realize this type of antenna with a compact size to be integrated to a RFID node.

VII. FURTHER WORK

This application has been studied with actual technology to implement it quickly. It is important to study this application with new technologies like sensor nodes at higher frequency. This has two benefits: more compact antenna and the available bandwidth.

Some aspects have to be developed like the life time of the sensor and the energy management.

Another point to study is the integration in the environment. The solution might be to integrate the nodes to an existing object like a lighting system. An analogy to the light system is the need to light the entire area, and it solves the energy problem.

ACKNOWLEDGMENT

Auchan France made possible the study on this subject.

Special thanks to Bernard Verbeke and Rédha Kassi, for their help in the realization of the prototypes.

REFERENCES

- [1] Huanjia Yang, Shuang-Hua Yang, "Connectionless Indoor Inventory Tracking in Zigbee RFID Sensor Network", 978-1-4244-4649-0/09 IEEE
- [2] ETSI EN 302 208-1 V1.2.1 (2008-04), www.etsi.org.
- [3] EPC Global, "EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 869 MHz – 960 MHz Version 1.2.0"
- [4] Ivan Cabrera Altamirano, Francisco Rodriguez Henrique, "A Scalable Intelligent Room Based on Wireless Sensor Networks and RFIDs", 2010 7th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE 2010)
- [5] Premysl Hudec, Milan Svanda, Milan Polivka, "Active UHF Antennas for Demanding RFID Applications", 40th European Microwave Conference, September 2010 Paris
- [6] Leena Ukkonen, Lauri Sydänheimo, and Markku Kivikoski, Tampere University of Technology, "Read Range Performance Comparison Of Compact Reader Antennas For A Handheld UHF RFID Reader", IEEE Applications & Practice, April 2007
- [7] Sean JOORDAN, Sylvain REED, Laurent DESCLOS, Serge TOUTAIN, « Réduction de la taille des antennes « Patch » par structuration de forme : une étude paramétrique », 12èmes Journées Nationales Microondes, 16-17-18 mai 2001 - POITIERS

A.6 Démonstration du réseau de capteurs RFID

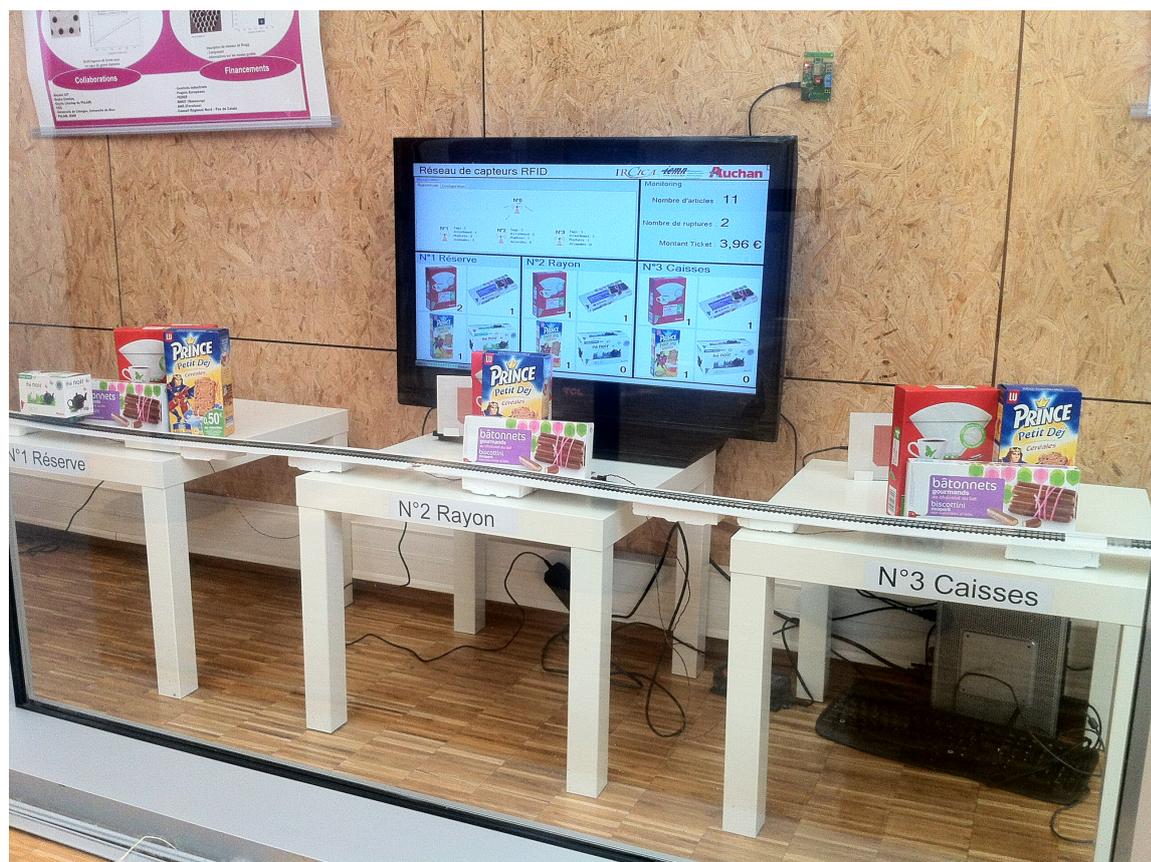


FIGURE A.5 – Agencement de la démonstration avec trois lieux : réserve magasin, rayon de vente, caisses. Un produit est mobile pour montrer le suivi de l'article

Auchan Sensor Network

Monitoring

Réseau de capteurs RFID

Visualisation

SuperVision

Configuration

N°0

N°1 Tags : 2
Assortiment : 1
Ruptures : 3
Anomalies : 1

N°2 Tags : 3
Assortiment : 2
Ruptures : 2
Anomalies : 0

N°3 Tags : 19
Assortiment : 2
Ruptures : 2
Anomalies : 17

Monitoring

Nombre d'articles :	6
Nombre de ruptures :	7
Montant Ticket :	3,59

N°1 Réserve

	1
	0

N°2 Rayon

	2
	0

N°3 Caisses

	0
	1
	0
	1

MAJ :

Nodes : 3

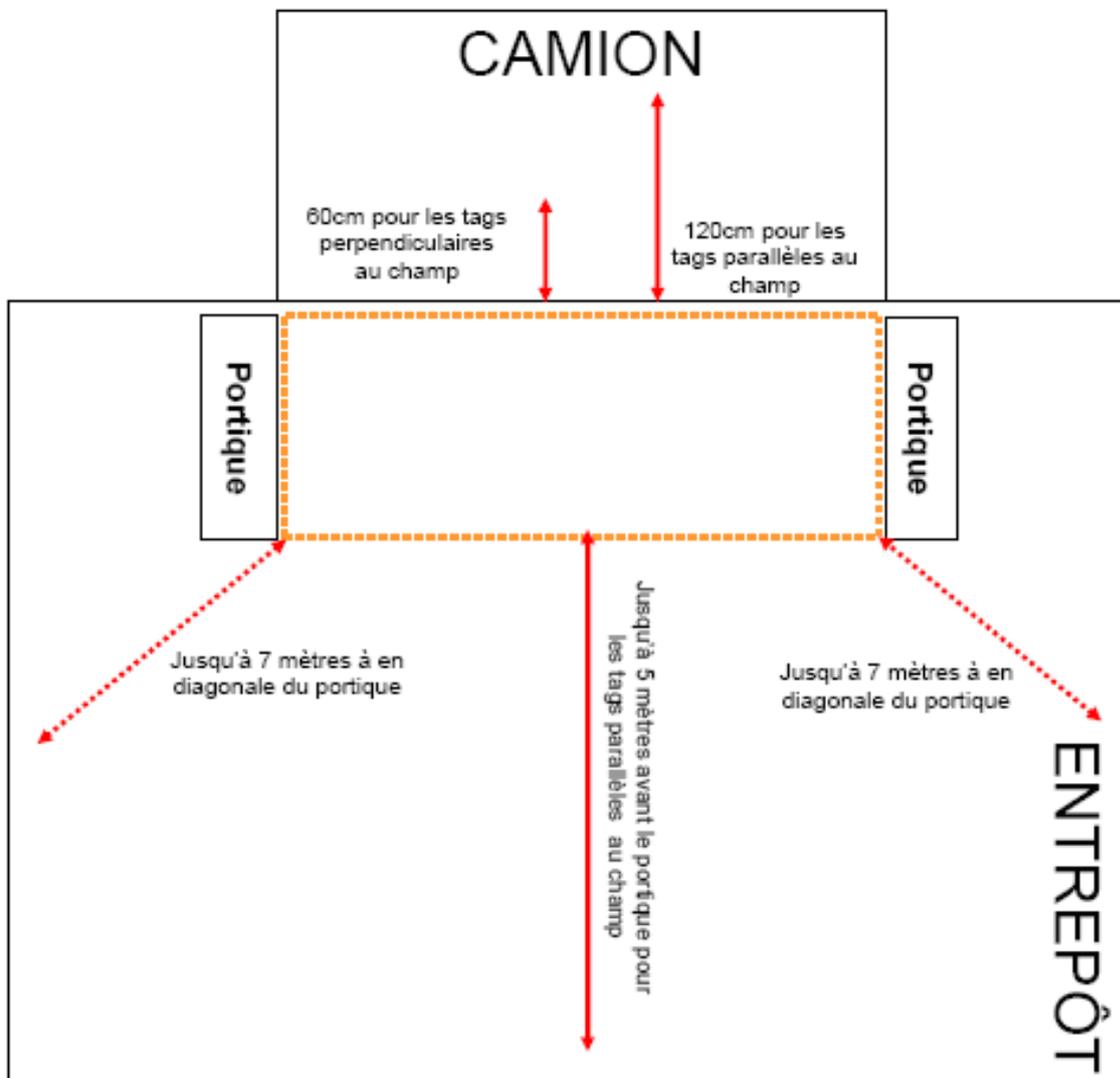


FIGURE A.7 – Périmètre de lecture d'un portique

A.7 Schéma électronique de notre capteur

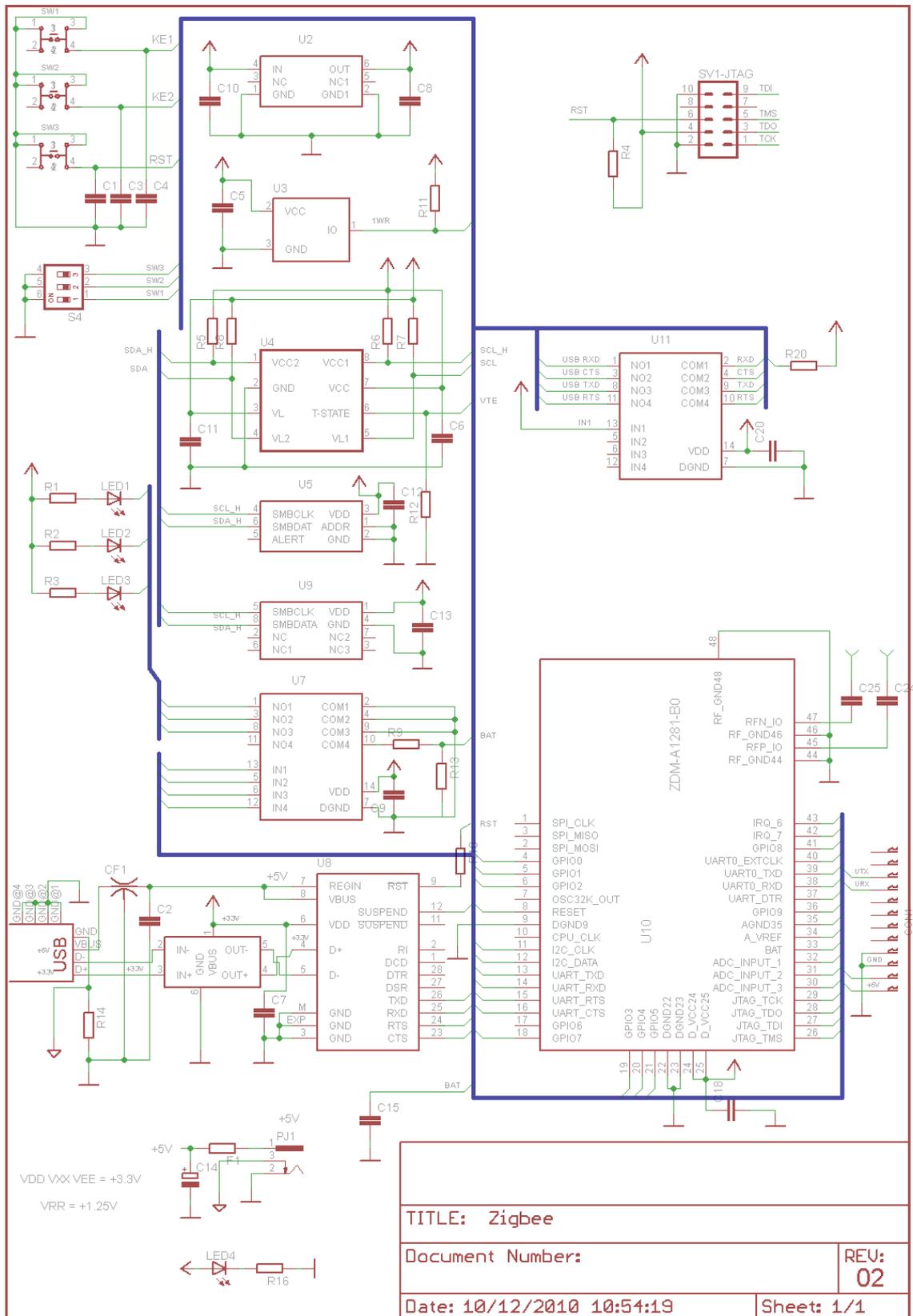
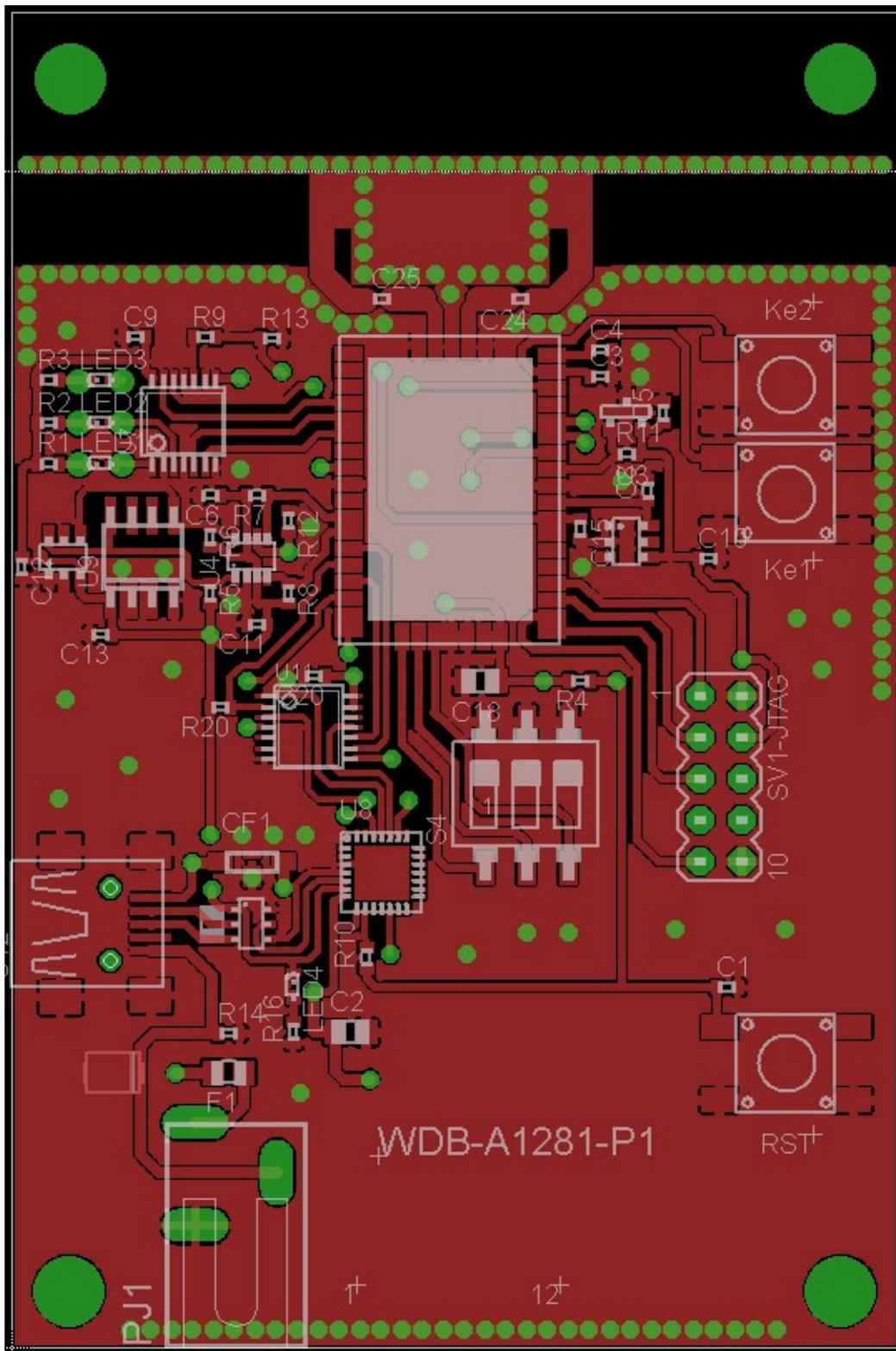
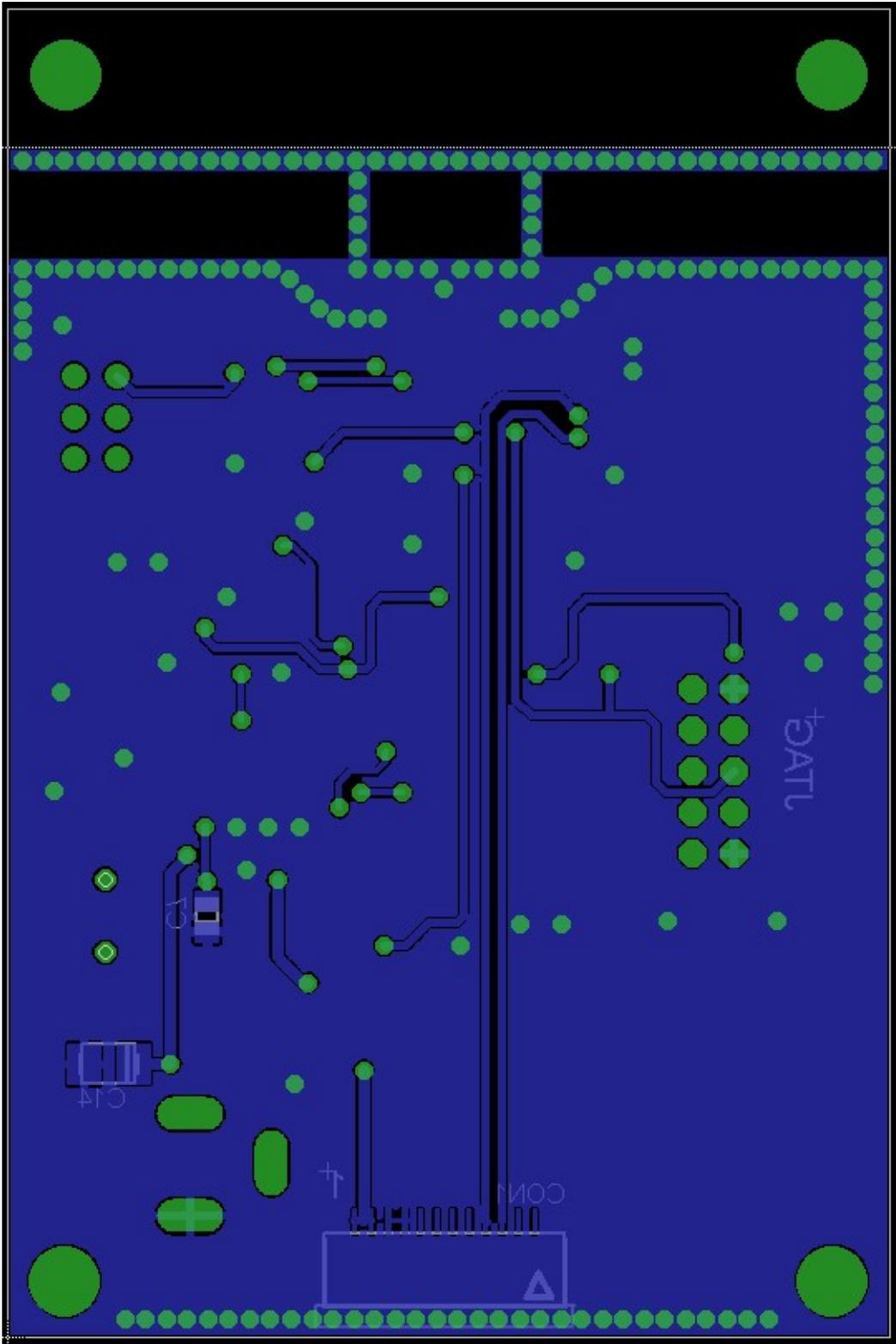


FIGURE A.8 – Schéma électronique

A.8 Carte électronique au format Gerber





A.9 Programme pour piloter les déphaseurs alimentant le réseau d'antennes

```
/* Alimentation des antennes - Les déphaseurs sont commandés en
//Offset de correction pour avoir un déphasage constant entre les
int offset9 = 30;
int offset6 = 0;
int offset5 = 35;
int offset3 = 66;
int val =0;//
int nbstep =10 ;//nombre de positions à parcourir, à multiplier p
int tempsPosition = 300;//temps en ms avant modification du faisce

void setup() {
  //initiation des sortie controlant les dephaseurs
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
  //synchronisation des phases
  analogWrite(9,offset9);
  analogWrite(6,offset6);
  analogWrite(5, offset5);
  analogWrite(3, offset3);//val+66
}

void loop() {
  // 0 -45 -90 -135
  for(val=0; val<nbstep ; val++)
  {
    delay(tempsPosition);
    analogWrite(9, offset9);
    analogWrite(6,offset6+(val*(255-offset6)/nbstep)*1/3);
    analogWrite(5,offset5+(val*(255-offset5)/nbstep)*2/3);
    analogWrite(3,offset3+(val*(255-offset3)/nbstep)*3/3);
  }
  // -135 -90 -45 0
  for(val=0; val<nbstep ; val++)
  {
    delay(tempsPosition);
    analogWrite(9,offset9+(val*(255-offset9)/nbstep)*3/3);
    analogWrite(6,offset6+(val*(255-offset6)/nbstep)*2/3);
    analogWrite(5,offset5+(val*(255-offset5)/nbstep)*1/3);
    analogWrite(3, offset3);
  }
}
```

```
}
//0 -270 -180 -90
for(val=0; val<nbstep ; val++)
{
    delay(tempsPosition);
    analogWrite(9, offset9);
    analogWrite(6,offset6+(val*(255-offset6)/nbstep)*3/3);
    analogWrite(5,offset5+(val*(255-offset5)/nbstep)*2/3);
    analogWrite(3,offset3+(val*(255-offset3)/nbstep)*1/3);
}
//-90 -180 -270 0
for(val=0; val<nbstep ; val++)
{
    delay(tempsPosition);
    analogWrite(9,offset9+(val*(255-offset9)/nbstep)*1/3);
    analogWrite(6,offset6+(val*(255-offset6)/nbstep)*2/3);
    analogWrite(5,offset5+(val*(255-offset5)/nbstep)*3/3);
    analogWrite(3, offset3);
}
}
```


B

Annexes Auchan

B.1 Expérimentation RFID Textile

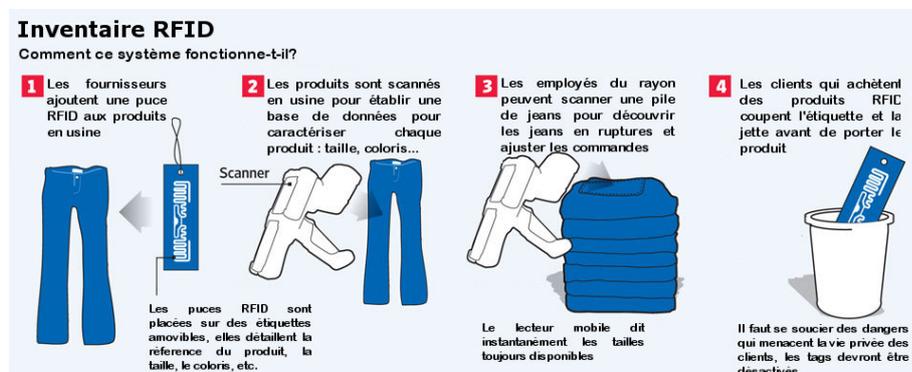


FIGURE B.1 – Démarche d'expérimentation

Article	Total tags	Taille	Coloris	Qté Optimum	Inventaire
3254561322683	8	S	NOIR	1	2
3254561322690	16	M	NOIR	1	6
3254561322706	24	L	NOIR	1	6
3254561322713	28	XL	NOIR	1	4
3254561322720	10	S	BLANC	1	0
3254561322737	24	M	BLANC	1	1
3254561322744	32	L	BLANC	1	1

FIGURE B.2 – Écran de suivi des ruptures

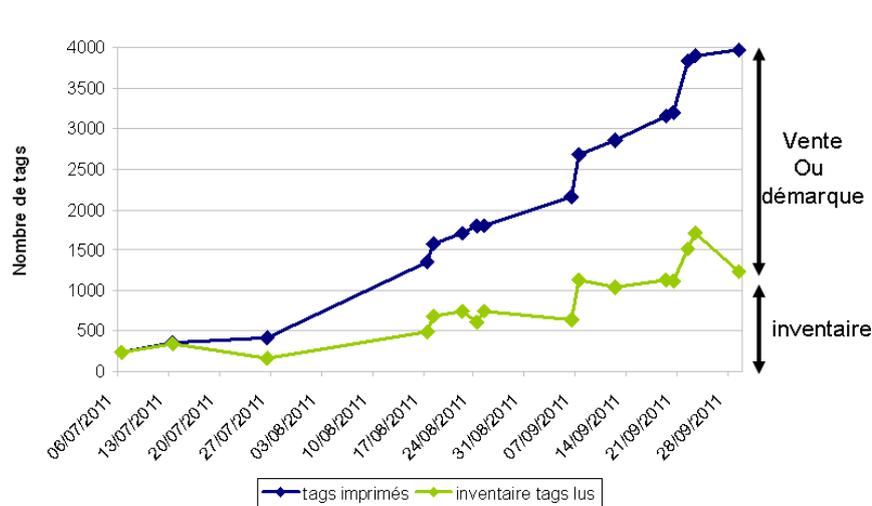


FIGURE B.3 – Évolution du nombre d'articles étiquetés et du nombre d'articles présents en rayon

B.2 Poster de communication sur les travaux accomplis

Déploiement de la technologie RFID pour de nouveaux usages dans les industries du commerce

Doctorant : Charles ANSENS (IEMN – Université Lille1)
Encadrant universitaire : Nathalie ROLLAND (IEMN),
Encadrant industriel : François LAVEISSIERE (AUCHAN)



Groupe : CSAM
Localisation : IRCICA
Date de démarrage : Février 2009
Thématique : Réseau de capteurs
Mots clés : rfid, capteur, réseau, UHF
Email : canssens@auchan.fr

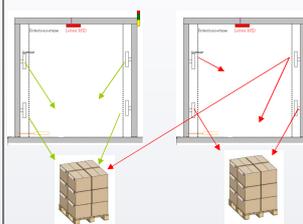
Contexte de la thèse (Abstract) :

L'émergence d'un internet des objets se dessine et va permettre la création de nouveaux usages dans tous les domaines (commerce, environnement, médical, communication, etc.). La grande distribution espère en tirer partie afin d'améliorer les processus logistiques cependant il reste de nombreux défis pour fiabiliser la technologie et permettre un déploiement en masse.

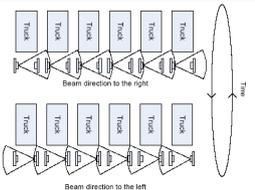
Cette thèse est réalisée avec une convention CIFRE entre l'IEMN/IRCICA et Auchan France.

Optimisation des lectures RFID en entrepôt

Aujourd'hui personne n'est capable de **garantir le 100% de taux de lecture** sous un portique, la tendance est d'augmenter la puissance d'émission pour être certains d'envoyer assez d'énergie pour téléalimenter tous les tags passant sous un portique. Le problème est que dans certains cas la puissance devient suffisante pour lire les tags du portique adjacent, c'est le phénomène de cross-reading.



Cross Reading



Principe de synchronisation des lectures.

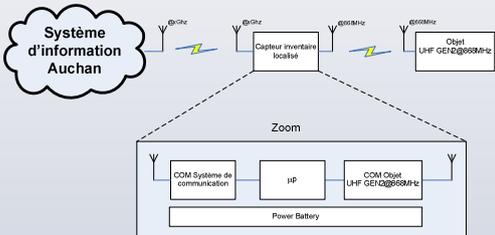
Pour s'affranchir de ce problème nous avons développé une **technique de synchronisation des lectures de portique** visant à maximiser le taux de lecture et à corriger les cross reading.

Réseau de capteurs RFID

La RFID en logistique sert majoritairement à établir la traçabilité d'un produit, les architectures en place sont axées sur la captation de données en entrée puis en sortie pour déterminer les flux (Lectures RFID input/output).

Dans le cadre de ma thèse je me suis orienté vers une architecture basée sur l'inventaire temps réel et couvrant toute la surface d'un entrepôt et non plus seulement les entrées et sorties. Pour mettre en place cette architecture il faut un maillage de lecteurs RFID et ceux-ci doivent être communicants. Nous réalisons donc un réseau de capteurs RFID qui permet une **traçabilité plus fine**, des **inventaires temps réel** et de nouveaux services tel que la **localisation d'articles**.

Nous avons pu réaliser des prototypes fonctionnels de réseau de capteurs RFID dans la bande UHF (868MHz).



Architecture d'un nœud présent dans le réseau



Implémentation d'un nœud RFID

Réseau d'antennes : faisceau dynamique

Nous avons pu voir que le taux de lecture à 100% est complexe à obtenir car les conditions d'environnements varient. De nombreux facteurs influent sur les performances. Un de ces facteurs est le phénomène de trous dans le rayonnement d'une antenne. Les trous sont causés par des réflexions de signal, ce phénomène n'est pas très dommageable lorsque les produits sont en mouvement mais devient problématique dans le cas de réseau de capteurs où tous les éléments sont statiques.

D'où le besoin de développer des **antennes qui modifient leur rayonnement** afin de déplacer les trous et ainsi s'assurer de couvrir 100% de l'espace en lecture RFID.

=> Implémentation

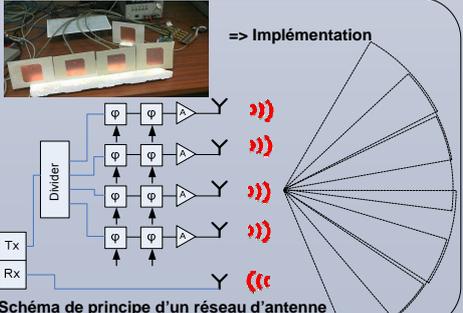


Schéma de principe d'un réseau d'antenne




Résumé



DOCTORAT DE L'UNIVERSITE LILLE1

**Discipline : Micro et Nano
technologies Acoustique et
Télécommunication**

NOM/PRENOM DU CANDIDAT : Anssens Charles

N° d'ordre :

JURY :

Directeur de Thèse : Pr Nathalie Rolland, Pr Paul-Alain Rolland

Rapporteurs : Pr Mohamed Himdi, Pr Raymond Quéré

Membres : Mr Lionel Buchailot, Mr Laurent Dussopt, Pr Gilles Grimaud, Mr Benoit Courouble

TITRE DE LA THESE :

Déploiement de la technologie RFID pour de nouveaux usages dans les industries du commerce

RESUME :

L'émergence d'un internet des objets se dessine et va permettre la création de nouveaux usages dans tous les domaines (commerce, environnement, médical, communication, etc.). La grande distribution espère en tirer partie afin d'améliorer les processus logistiques cependant il reste de nombreux défis pour fiabiliser la technologie et permettre un déploiement en masse.

Aujourd'hui personne n'est capable de garantir le 100% de taux de lecture d'objets à identifier sous un portique, la tendance est d'augmenter la puissance d'émission pour être certains d'envoyer assez d'énergie pour téléalimenter tous les tags passant sous un portique. Cependant la puissance émise devient suffisante pour lire les tags du portique adjacent, c'est le phénomène de lectures croisées. Pour s'affranchir de ce problème nous avons développé une technique de synchronisation des lectures RFID visant à maximiser le taux de lecture et à corriger les lectures croisées. Nous avons démontré un bénéfice en augmentant la fiabilité des données captées et nous avons acquis la conviction qu'avec une localisation précise du tag ces phénomènes pourraient être totalement pris en compte.

La RFID en logistique sert majoritairement à établir la traçabilité d'un produit, les architectures en place sont axées sur la captation de données en entrée puis en sortie pour déterminer les flux (Lectures RFID entrée/sortie). Dans le cadre de ma thèse je me suis orienté vers une architecture basée sur l'inventaire temps réel et couvrant toute la surface d'un entrepôt et non plus seulement les entrées et sorties. Pour mettre en place cette architecture il faut un maillage de lecteurs RFID et ceux-ci doivent être communicants. Nous réalisons donc un réseau de capteurs RFID qui permet une traçabilité plus fine, des inventaires temps réel et de nouveaux services tel que la localisation d'articles. Nous avons pu réaliser des prototypes fonctionnels de réseau de capteurs RFID dans la bande UHF (868MHz).

Obtenir un taux de lecture à 100% est complexe à obtenir car les conditions d'environnements varient. De nombreux facteurs influent sur les performances. Un de ces facteurs est le phénomène d'évanouissements d'ondes sélectifs. Les évanouissements sont causés par des réflexions de signal, ce phénomène n'est pas très dommageable lorsque les objets sont en mouvement mais devient problématique dans le cas d'un réseau de capteurs où tous les éléments sont statiques. D'où le besoin de développer des antennes qui modifient leur rayonnement afin de déplacer les évanouissements et ainsi s'assurer de couvrir 100% de l'espace en lecture RFID.

**Soutenance le 13/06/2012 à 14h30 Heures
Lieu IRCICA – 50 av Halley, Villeneuve d'Ascq**

