



# ÉCOLE NATIONALE DES SCIENCES APPLIQUÉES DE KÉNITRA

Moroccan foundation for Advanced Science, Innovation and  
Research  
(MAScIR)

Rapport de Projet de Fin d'Année

## **Étude et réalisation d'un system RFID**

Réalisé par :  
Otmane BOUAYAD

Encadré par :  
Mme Ilham BOUZIDA : Encadrante professionnelle

(Du 15 Février au 25 Août 2016)



# Dédicace

I would like to dedicate this work to my wife, Oumaima, for her love, encouragement, and continuous support, my parents, who has taught me many things in life and include the one thing I've tried to live by : *“Never give up on your dreams. Hard work and diligence will see you through so long as you never give up.”* So it is with all my love, respect, and admiration that I dedicate this to you. My sister and my best friends forever Reda and Nouhaila, my future engineers. remember *“Accomplishment is product of thoughts, mind is everything”*.



# Remerciements

*Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de commencer ce rapport de stage par des remerciements, à ceux qui nous ont beaucoup aidé au cours de ce stage, et même à ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce stage un moment très profitable.*

*Aussi, Nous tenons plus particulièrement à remercier Mme Ilham BOUZIDA, ingénieur qualité dans l'équipe packaging à MAScIR, et à M. Brahim LAKSSIR, chef de service packaging à MAScIR, nos maîtres de stage qui ont la part de lion dans notre formation et accompagnement professionnels avec beaucoup de patience et de savoir-faire.*

*Je souhaite remercier mon promoteur et mon encadrant à l'école Pr. Tomader MAZRI pour ses instructions et son aide lors du stage.*

*Finalement , nous remercions l'ensemble des employés de la Fondation MAScIR pour les conseils qu'ils ont pu nous prodiguer au cours de ce stage.*

*Enfin, j'adresse tous mes remerciements les plus sincères à tous les enseignants de l'ENSA de Kenitra pour avoir contribué à la formation que j'ai acquise lors de mon cursus.*



# Table des matières

|  |           |
|--|-----------|
| Remerciements . . . . .  | 5         |
| Introduction . . . . .   | 13        |
| <b>1 Persentation de l’entreprise d’accueil</b>                  | <b>15</b> |
| 1.1 Présentation générale de MAScIR . . . . .                    | 15        |
| 1.1.1 Partenaires de la foundation . . . . .                     | 16        |
| 1.1.2 Structure et hiérarchie . . . . .                          | 16        |
| 1.2 Présentation du département microélectronique . . . . .      | 17        |
| 1.2.1 Mission . . . . .  | 17        |
| 1.2.2 Laboratoires . . . . .                                     | 17        |
| 1.2.3 Équipements . . . . .                                      | 17        |
| 1.3 Description et déroulement du stage . . . . .                | 18        |
| 1.3.1 Activités exercées . . . . .                               | 18        |
| 1.3.2 Répartition des tâches . . . . .                           | 19        |
| <b>2 Contexte Général du projet</b>                              | <b>21</b> |
| 2.1 Cahier des charges . . . . .                                 | 21        |
| 2.1.1 Objectif . . . . .   | 21        |
| 2.1.2 Cachier des charges . . . . .                              | 21        |
| 2.1.3 Mise au point de la problématique . . . . .                | 21        |
| 2.2 Deroulement chronologique du stage . . . . .                 | 22        |
| 2.2.1 Etapes de réalisaion . . . . .                             | 22        |
| 2.2.2 Diagrammes de Gantt . . . . .                              | 23        |
| 2.3 Décomposition du projet . . . . .                            | 23        |
| <b>3 Etude détaillée du Projet</b>                               | <b>25</b> |
| 3.1 Description de la solution . . . . .                         | 25        |
| 3.1.1 Le system de base RFID . . . . .                           | 25        |
| 3.1.2 Les composants essential d’un system RFID . . . . .        | 26        |
| 3.1.3 Source d’énergie d’un Tag . . . . .                        | 28        |
| 3.1.4 Fréquences de fonctionnement . . . . .                     | 29        |
| 3.1.5 Fonctionnalité . . . . .                                   | 32        |
| 3.1.6 Normes . . . . .   | 33        |
| 3.1.7 Modes de transfert d’énergie et de communication . . . . . | 33        |
| 3.1.8 Liaison montante et liaison descendante . . . . .          | 34        |
| Conclusion . . . . .   | 37        |
| <b>A CENELEC - EN 50065-1</b>                                    | <b>39</b> |
| <b>B CSMA</b>  | <b>41</b> |





# Table des figures

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.1 | Localisation de la fondation MAScIR . . . . .                | 15 |
| 1.2 | Salle blanche . . . . .                                      | 18 |
| 1.3 | Laboratoire de fiabilité et analyse de défauts . . . . .     | 18 |
| 3.1 | Illustration du système RFID . . . . .                       | 26 |
| 3.2 | Tag RFID . . . . .   | 26 |
| 3.3 | Interaction du Lecteur RFID avec son environnement . . . . . | 27 |
| 3.4 | Mode de transfert d'énergie non simultané . . . . .          | 34 |
| 3.5 | Mode de transfert d'énergie simultané . . . . .              | 34 |
| 3.6 | On Off Keying . . . . .                                      | 36 |



# Liste des tableaux

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.1 | QQOQCP . . . . .  | 22 |
| 2.2 | Répartition des tâches . . . . .                            | 23 |
| 3.1 | Comparaison de tag passif , semi- passif et actif . . . . . | 29 |
| 3.2 | fréquences de fonctionnement RFID . . . . .                 | 30 |
| 3.3 | Classes de fonctionnalité des Tags . . . . .                | 33 |



# Introduction

Le terme RFID englobe toutes les techniques qui utilisent les ondes radio pour identifier automatiquement des objets ou des personnes. Le système RFID autrement dit l'identification par radio fréquence est une technique qui permet de mémoriser et de récupérer des informations à distance grâce à une étiquette qui émet des ondes radio. Le système RFID (audiofréquence identification) est une technique très attractive pour l'entreprise qui offre la possibilité d'une gestion automatique du nombre conséquent d'informations qu'elle doit traiter. Les équipements adaptés à ce système permettent de synchroniser les flux physiques avec les flux d'informations.

Dans le cadre du projet de fin d'études, j'ai eu l'opportunité de travailler sur cette technique avec la fondation MAScIR qui occupe une position leader sur le marché de la micro-électronique.

Le projet de fin d'études porte alors, sur l'étude et la réalisation d'une solution RFID UHF qui assure l'identification et la traçabilité des entrées et sorties des palettes. Choisir les tags adaptés aux besoins en respectant les conditions d'utilisation et type de lecteur. Développer un logiciel de gestion des palettes. D'autre part, la réalisation d'un transpondeur RFID UHF et une application Android pour gestion du secteur d'agriculture.

Le mémoire que je présente est organisé en 6 chapitres.

- Chapitre 1 : présentation de l'entreprise d'accueil ainsi qu'une description du déroulement du stage.
- Chapitre 2 : contexte général du Projet.
- Chapitre 3 : étude bibliographique, et principe de fonctionnement d'un système RFID.
- Chapitre 4 : conception et test de la partie logiciel.
- Chapitre 5 : étude du besoin du secteur agriculture et développement de l'application Android.
- Chapitre 6 : conception d'un transpondeur RFID UHF.



# Chapitre 1

## Presentation de l'entreprise d'accueil

### 1.1 Présentation générale de MAScIR

MAScIR (Moroccan foundation for Advanced Science, Innovation and Research) est un organisme de recherche à caractère scientifique et technologique. Il est voué à la recherche en nanotechnologie, en biotechnologie, en technologie numérique, en microélectronique, en énergie et en environnement, la fondation se veut présenter là où les enjeux de la société l'exigent.

La figure suivante montre l'emplacement de l'entreprise.

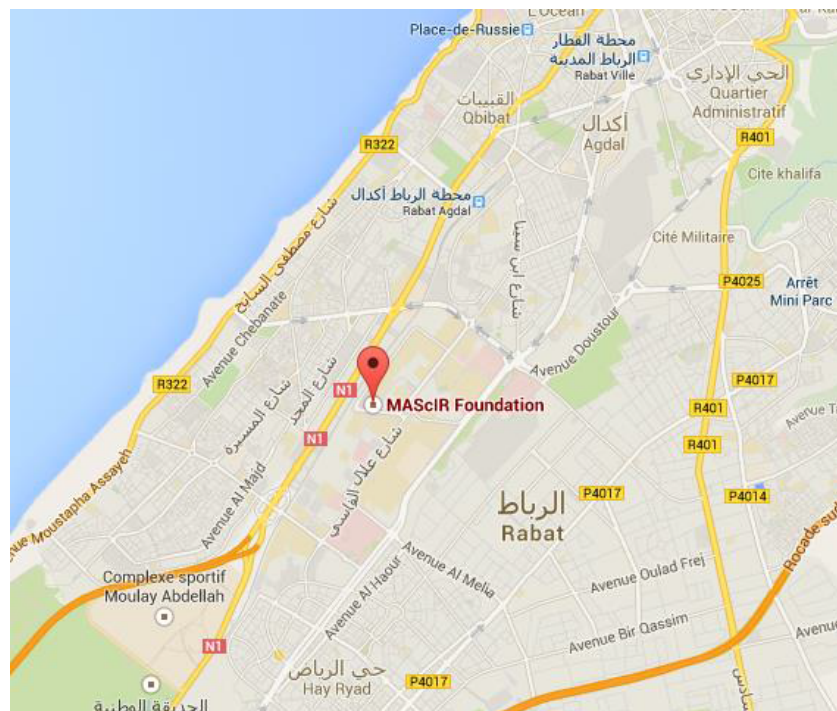


FIGURE 1.1 – Localisation de la fondation MAScIR

Rassemblant d'éminents chercheurs des quatre coins du monde, MAScIR regroupe

des équipes scientifiques œuvrant dans des domaines innovants et complémentaires et met à leur disposition une infrastructure scientifique de pointe.

Initialement fondée en 2007 par le Gouvernement Marocain en tant que fondation à but non lucratif MAScIR a continué son expansion en créant :

**MAScIR MicroElectronics** a pour objectif de devenir un centre de Recherche et Développement dans le domaine de la microélectronique.

**MAScIR BioTechnology** deuxième centre inscrit dans MAScIR œuvrant dans le domaine de la biotechnologie : recherche et développement des médicaments ou des biocides.

**NanoTechnology** qui a pour mission de mener des recherches appliquées, innovantes et à la fine pointe de la technologie dans le domaine des nanomatériaux et des nanotechnologies. Ces recherches sont menées par une équipe internationale de haut calibre travaillant dans un environnement unique et utilisant une infrastructure de pointe.

### 1.1.1 Partenaires de la foundation

Les principaux partenaires de la fondation MAScIR MicroElectronics sont :

**Lear Corporation** est l'un des principaux fournisseurs mondiaux de sièges automobiles et les systèmes de gestion de l'énergie électrique.

**Thales** figure parmi les leaders européens de la fabrication et de la commercialisation d'équipements et de systèmes électroniques destinés aux secteurs de l'aérospatial, du transport, de la défense et de la sécurité.

**OCP** est un acteur incontournable sur le marché des phosphates et de ses produits dérivés. Présent sur toute la chaîne de valeur, il est le premier exportateur de cette matière dans le monde.

**COSUMAR** est un groupe marocain, filiale de la Société nationale d'investissement, spécialisé dans l'extraction, le raffinage et le conditionnement du sucre sous différentes formes. Il est devenu l'unique opérateur sucrier marocain après l'acquisition de SUTA, SUCRAFOR, SUNABEL et SURAC en 2005.

**STERIMED** est une société spécialisée dans le domaine de l'eau et des technologies de l'environnement. Son objectif est d'accompagner les entreprises et collectivités dans la résolution des problématiques liées à l'eau, l'environnement.

### 1.1.2 Structure et hiérarchie

La Fondation est gérée par un conseil d'administration qui est investi de pouvoirs de gestion à cet égard. Le Conseil dispose de quatre comités distincts : un Comité d'Investissement, un Comité de suivi, un comité de vérification et un Comité de Rémunération ; qui assurent une gestion rapprochée des sujets relatifs à leur mission.

**Conseil d'administration** détermine les orientations stratégiques de MAScIR et veille à leur mise en œuvre dans des réunions régulières. En prenant des décisions, le Conseil compte sur le travail des comités spécialisés.

**Comité de vérification** le rôle principal du Comité d'audit est de permettre à la Commission de veiller à la qualité des contrôles internes et l'intégrité de l'information divulguée aux intervenants et aux partenaires.



**Comité des Rémunérations** est responsable de faire des recommandations au Conseil sur la nomination des administrateurs. Il est également responsable de l'examen de la politique en matière de rémunération de la haute direction au sein de MAScIR.

**Comité de suivi** surveille la mise en œuvre effective et correcte des projets dans le cadre de l'accord signé entre MAScIR et le Gouvernement marocain.

**Comité d'Investissement** assiste le Conseil d'administration dans l'accomplissement de sa responsabilité de surveillance pour les actifs d'investissement liés à l'équipement scientifique.

## 1.2 Présentation du département microélectronique

MAScIR Micro est un centre d'innovation et développement de technologie dans le domaine de la microélectronique. Il se focalise sur la simulation, les tests, le design, le packaging, la qualification et le prototypage des produits microélectroniques.

### 1.2.1 Mission

Le programme Microélectronique a réuni une équipe de direction de classe mondiale pour assurer la traction initiale sous licence des technologies de pointe qui sont disponibles pour une utilisation immédiate.

Le programme Microélectronique a réuni une équipe de direction de classe mondiale pour assurer la traction initiale sous licence des technologies de pointe qui sont disponibles pour une utilisation immédiate.

MAScIR Micro fournit des services pour des clients industriels, mais elle développe aussi son propre business dans les domaines suivants :

- L'intégration et la miniaturisation des systèmes microélectroniques.
- L'analyse de fiabilité et défaillance des produits.
- Modélisation des systèmes complexes.
- Prototypage et industrialisation des produits innovants.
- Industrialisation des idées et résultats académiques.

### 1.2.2 Laboratoires

Le département microélectronique de MAScIR possède plusieurs laboratoires équipés de technologie avancée :

- Salle blanche
- Laboratoire de fiabilité et analyse de défauts
- Laboratoire électronique

### 1.2.3 Équipements

- Ligne CSP (Chip Scaled Packaging)
- Ligne SMT (Surface Mount Technology)
- SAM (Scanning Acoustic Microscope)
- X-Ray
- Chambres climatiques



FIGURE 1.2 – Salle blanche



FIGURE 1.3 – Laboratoire de fiabilité et analyse de défauts

Pour plus d'informations, visiter le site de l'entreprise : <http://www.mascir.ma>.

## 1.3 Description et déroulement du stage

### 1.3.1 Activités exercées

Durant ce stage de fin d'études, j'ai eu l'opportunité de côtoyer le monde industriel et plus précisément de la microélectronique ce qui m'a permis d'assister et participer à plusieurs missions et projets que ce soit au sein de MAScIR ou à l'extérieur.

Mis à part le travail sur mon projet, j'ai pu suivre le processus du packaging allant

du découpage wafer au marquage boîtier et sciage.

Parallèlement, J'ai assisté à des manœuvres de vérification de qualité des produits livrés à MAScIR.

Par ailleurs, j'ai pu bénéficier d'un encadrement étroit en préparant des réunions pour garantir un bon état d'avancement du projet.

### 1.3.2 Répartition des tâches

1<sup>ÈRE</sup> ET 2<sup>ÈME</sup> SEMAINES :

- Visite du local et réunions pour cerner le projet.
- Bibliographie sur les system RFID.

3<sup>ÈME</sup> ET 4<sup>ÈME</sup> SEMAINES :

- Etude du marcher et choix des tags et lecteur rfid.
- Participer à la résolution des problèmes du lecteur existant.

5<sup>ÈME</sup> ET 6<sup>ÈME</sup> SEMAINE :

- Etude et familiarisation avec le langage *.NET C#*
- Realisation d'un prototype de test de lecture de tages.

7<sup>ÈME</sup> ET 8<sup>ÈME</sup> SEMAINE :

- Proposition d'algorithme d'amelioration des performance de la commincation client-lecteur
- Implementation final du prototype du nouveau protocol de communion client lecteur.

9<sup>ÈME</sup> SEMAINE :

- Developpement d'une interface utilisateur pour le control du flux des donnee et gestion de stockage.
- Etude du marcher marcaïne de l'agrigulture et Etude de besoin .

10<sup>ÈME</sup> ET 11<sup>ÈME</sup> SEMAINE :

- Developpement de la Version une de l'application SmartFlah.
- Amelioration de la version une de l'application SmartFlah

12<sup>ÈME</sup> ET 13<sup>ÈME</sup> SEMAINE :

- Etude Profondis sur les Tag RFID UHF.
- Realisation du 1er prototype d'antenne UHF RFID

14<sup>ÈME</sup> ET 15<sup>ÈME</sup> SEMAINE :

- Etude des methode d'optimisation du taillet performance d'antenne.
- simulation sur CST du 2eme prototype d'antenne

16<sup>ÈME</sup> ET 17<sup>ÈME</sup> SEMAINE :

- simulation sur CST du 3eme prototype d'antenne
- Redaction du rapport



## Chapitre 2

# Contexte Général du projet

Le but de ce chapitre est de présenter la problématique du projet, le cahier des charges, la démarche suivie pour répondre au besoin de l'ensemble des parties prenantes du projet et le plan d'action.

### 2.1 Cahier des charges

#### 2.1.1 Objectif

L'objectif de ce projet est l'étude et la réalisation d'une solution RFID UHF qui assure l'identification et la traçabilité des entrées et sorties des palettes. Choisir les tags adaptés aux besoins en respectant les conditions d'utilisation et type de lecteur et de développer un logiciel de gestion des palettes. Et comme deuxième axe, la réalisation d'un transpondeur RFID UHF et une application Android pour gestion du secteur d'agriculture qui permet à l'utilisateur de profiter des fonctions offertes par le système à distance.

#### 2.1.2 Cahier des charges

Assurer l'identification et la traçabilité des entrées / sorties palettes

- Choix des puces/tags adaptés aux besoins (conditions d'utilisation et type de lecteur).
- Etablir un pgr de gestion des palettes en assurant la traçabilité de leur mouvement.
- Réalisation et test d'un proto.

#### 2.1.3 Mise au point de la problématique

Ce projet consiste à développer un système de traçabilité des entrées et sorties des palettes. Trouver les causes racines, choisir les solutions optimales pour un problème ou une situation nécessite une grande compréhension du problème. Dans ce sens, la méthode QQOQCP permet d'avoir des informations élémentaires suffisantes sur toutes les dimensions du problème, pour identifier ses aspects essentiels.

|          |  |
|----------|--|
| Quoi     | Activité : Développement d'un système de traçabilité<br>Produit : logiciel de reconnaissance faciale, Application Android, Tag UHF |
| Qui      | Division : Client MAcIR  |
| Où       | MAcIR  |
| Quand    | Du 15/02/2016 au 15/06/2015  |
| Comment  | Etat d'art sur les techniques RFID<br>existantes afin de développer un autre plus adapté.  |
| Pourquoi | Fournir un système de traçabilité des entrées et sorties des palettes.   |

TABLE 2.1: QQQQCP

## 2.2 Deroulement chronologique du stage

Durant les 4 mois de mon stage, les tâches relatives à mon projet de stage sont organisées de la façon suivante :

### 2.2.1 Etapes de réalisation

| Tâche   | Date de début | Date de fin | Durée    |
|---|---------------|-------------|----------|
| Visites et réunions   | 16/02/16      | 18/02/16    | 3 jours  |
| Bibliographie RFID  | 15/02/16      | 26/02/16    | 10 jours |
| Etude du marché et choix des tags et lecteur rfid   | 29/02/16      | 04/03/16    | 5 jours  |
| Participer à la résolution des problèmes du lecteur existant.   | 07/03/16      | 11/03/16    | 5 jours  |
| Etude et familiarisation avec le langage .NET C#  | 14/03/16      | 18/03/15    | 5 jours  |
| Réalisation d'un prototype de test de lecture de tags   | 14/03/15      | 25/03/15    | 10 jours |
| Etude et proposition d'algorithme pour amélioration des performances de la communication client-lecteur | 28/03/16      | 30/03/16    | 3 jours  |
| Implémentation finale du prototype du nouveau protocole de communication client-lecteur.                | 30/03/16      | 10/04/16    | 11 jours |
| Développement d'une interface utilisateur pour le contrôle du flux des données et gestion de stock.     | 11/04/16      | 19/04/16    | 7 jours  |
| Etude du marché agricole et étude des besoins   | 20/04/16      | 22/04/16    | 3 jours  |
| Développement de la Version 1 de l'application Smart-Flah.  | 20/04/16      | 25/04/16    | 5 jours  |

|   |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|
| Etude Profondis sur les Tag RFID UHF                              | 25/04/16 | 28/04/16 | 4 jours  |
| Presenation de MAsIR a SIAM                                       | 29/04/16 | 29/04/16 | 1 jours  |
| Amelioration de la version une de l'application SmartFlah         | 02/05/16 | 04/05/15 | 3 jours  |
| Realisation du 1er prototype d'antenne UHF RFID                   | 05/05/16 | 13/05/16 | 7 jours  |
| Etude des methode d'optimisation du tailet performance d'antenne. | 16/05/16 | 20/05/16 | 2 jours  |
| simulation sur CST du 2eme et 3eme prototype d'antenne            | 23/06/16 | 10/06/16 | 15 jours |
| Redaction du rapport  | 11/06/16 | 15/06/16 | 4 jours  |

TABLE 2.2: Répartition des tâches

### 2.2.2 Diagrammes de Gantt

When you write a scientific article, you should lay out your ideas in such a way that your readers can follow them easily. Every new concept should flow directly from the previous material. Yet more often than not, scientific prose can be difficult to understand. What is going on? Readers expect certain pieces of information in certain positions in a sentence. Satisfy these expectations, and your readers will find your writing clear and convincing. Violate them, and your readers will be confused. All readers expect more or less the same things in the same places. And writers commonly violate these expectations. The two most important expectations readers have concern the kind of material that is presented at the beginning of a sentence, in the topic position, and at the end, in the stress position [1]. Here I present my take on how to make the best use of these positions to produce clear and coherent prose.

## 2.3 Décomposition du projet

Le projet est décomposé principalement en 3 parties :

- Developpement du Middleware et interface graphique : une partie qui consiste a assurer la communication entre le serveur et le lecteur RFID.
- Develeppoement de l'application SmartFlah pour la getion des tag animal.
- Le transpondeur : la conception du transpondeur UHF RFID de petite taill.

Chaque partie sera étudiée indépendamment dans les chapitres qui suivent.





## Chapitre 3

# Etude détaillée du Projet

RFID ou identification par fréquence radio, est une technologie en croissance rapide qui a le potentiel de faire de grands impacts économiques sur de nombreuses industries. Bien que la RFID est une technologie relativement ancienne, les progrès les plus récents dans la technologie de fabrication de puces RFID font pratique pour de nouvelles applications et paramètres.

Ce chapitre est dédié à l'étude détaillée de la solution RFID.

### 3.1 Description de la solution

Cette section présente les bases des systèmes RFID et offre la taxonomie des différents types de systèmes RFID. Nous discutons brièvement deux normes RFID majeures et comment ils se rapportent à la pratique.

#### 3.1.1 Le system de base RFID

La discussion de la technologie RFID a tendance à se concentrer uniquement sur les étiquettes. Il est plus exact de voir RFID comme un système complet qui comprend non seulement des étiquettes, mais aussi d'autres éléments importants. Les systèmes RFID sont constitués d'au moins trois composants principaux :

- Les étiquettes RFID ou transpondeurs, qui transportent des données d'objet d'identification.
- Lecteurs RFID, ou des émetteurs-récepteurs, lire et écrire des données dans l'étiquette.
- Bases de données associés pour l'enregistrements de la donnée d'identification

Nous illustrons l'interaction de ces composants dans la figure 3.1. Sur cette figure, trois étiquettes sont lisibles par un ou les deux lecteurs, A et B. Par exemple, l'étiquette 1 est lisible que par A, tandis que l'étiquette 2 est lisible par A et B, peut-être en raison de restrictions l'accès. Les lecteurs peuvent alors se connecter à des bases de données avec des enregistrements associés à des données d'identification. Dans ce cas, deux bases de données ont chacun leur propre record.

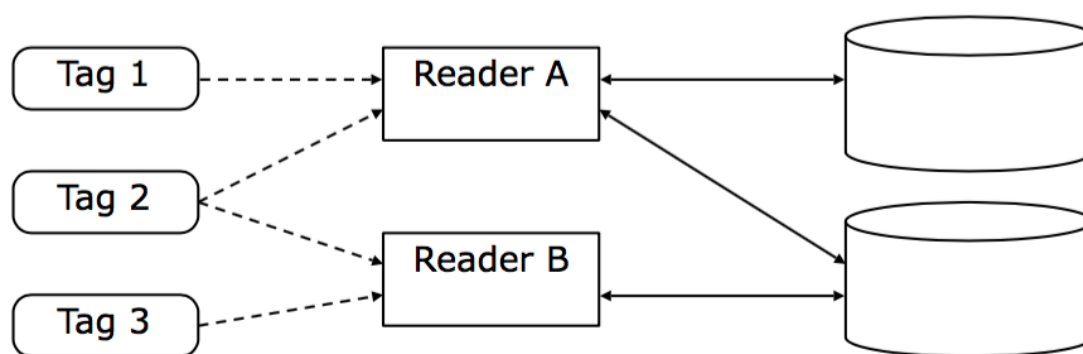


FIGURE 3.1 – Illustration du système RFID

### 3.1.2 Les composants essentiels d'un système RFID

#### Les tags

Les tags sont attachés à tous les objets à identifier dans un système RFID. Un tag est généralement composé d'une antenne ou d'un élément de couplage, et d'un circuit intégré. Une importante distinction qui sera discutée plus tard est la source d'alimentation d'un tag. Souvent, les étiquettes ne portent pas une source d'alimentation et doivent passivement récolter toute l'énergie d'un signal RF.

Il existe plusieurs types de tag qui offrent des fonctionnalités différentes, ont des puissances différentes de sources ou fonctionnent à des fréquences radio différentes. Chacune de ces variables permet de déterminer quelles applications une étiquette particulière peut être appropriée. Ces différences seront examinées plus loin dans ce chapitre.

Les étiquettes modernes ont tendance à mettre en œuvre la fonctionnalité d'identification sur un circuit intégré (IC) qui assure le calcul et le stockage. Dans le procédé de fabrication, ce circuit intégré est fixé ou "Attaché" à une antenne avant d'être emballés dans un facteur de forme, comme une capsule de verre ou d'une feuille, qui est intégré dans un produit final.

Dans la pratique, les différents fournisseurs effectuent souvent chacune de ces étapes de fabrication. Autres RFID peuvent être «chipless» ou avoir des informations d'identification au moment de la fabrication, à savoir "Écriture une fois, lecture nombreuse".

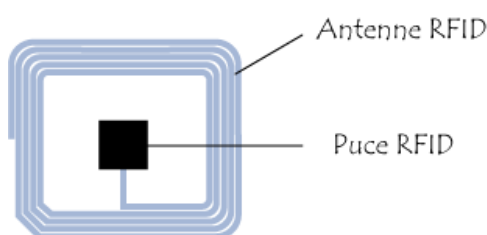


FIGURE 3.2 – Tag RFID

### Reader/Lecteur

Les lecteurs RFID communiquent avec des tag à travers un canal RF pour obtenir l'identification. Selon le type d'étiquette, cette communication peut être un simple ping ou peut être un protocole plus complexe de caractère multi-tour. Dans les environnements avec de nombreux points, un lecteur peut avoir à effectuer un algorithme d'anti-collision pour veiller à ce que les conflits ne peuvent pas se produire. Les protocoles anti-collision permettent aux lecteurs de communiquer rapidement avec beaucoup de tag en série.

Les lecteurs alimentent souvent ce que l'on appelle les étiquettes passives à travers leur canal de communication RF. Ces types d'étiquettes ne portent aucune puissance à bord et comptent uniquement sur un lecteur pour fonctionner. Étant donné que ces tag sont si limitées, il compte sur un lecteur pour effectuer des calculs. Les lecteurs se présentent sous plusieurs formes, fonctionnent sur de nombreuses fréquences différentes, et peuvent offrir un large éventail de fonctionnalités. Les lecteurs peuvent avoir leur propre puissance de traitement et de stockage interne, et peuvent offrir une connectivité réseau. Les lecteurs pourraient être une simple conduit à un système externe, ou pourraient stocker toutes les données pertinentes au niveau local.

À l'heure actuelle, de nombreuses applications reposent sur des dispositifs de lecture fixes. Les premiers essais de EPC à une grande chaîne de supermarchés intégrés dans les lecteurs entrées accueil baies fixes. Ces lecteurs scannent les étiquettes au niveau de la palette que les livraisons de produits arrivent.

À long terme, les lecteurs peuvent être intégrés à un niveau d'étagère comme une «étagère intelligente». étagères intelligentes seraient scanner pour les balises au niveau de l'article et de surveiller quand ils sont ajoutés et supprimés d'une étagère.

Les lecteurs RFID peuvent également être intégrés dans des appareils mobiles portatifs. Ces lecteurs mobiles permettraient à quelqu'un, par exemple, faire l'inventaire d'un entrepôt en marchant à travers ses allées. Le fabricant de téléphone cellulaire Nokia propose déjà des fonctionnalités RFID de lecture dans certains de leurs téléphones cellulaires [16]. Si les balises de type EPC deviennent très réussie, intéressante et les applications grand public utiles pourraient se poser. Si cela se produit, la fonctionnalité de lecture RFID pourrait devenir une caractéristique commune sur les téléphones, PDA, ou d'autres dispositifs informatiques portables cellulaires

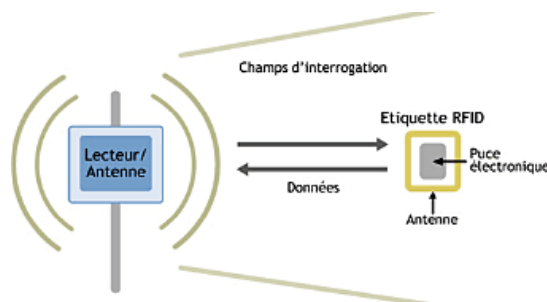


FIGURE 3.3 – Interaction du Lecteur RFID avec son environnement

### La bases de donnée

bases de données RFID associent l'identifiant de tag avec un enregistrements. Ces enregistrements peuvent contenir des informations sur les produits, les journaux de suivi,

les données de ventes, ou les dates d'expiration. Des bases de données indépendantes peuvent être construites tout au long de la chaîne d'approvisionnement par des utilisateurs indépendants, ou peuvent être intégrés dans un système de base de données centralisée ou fédérée.

Les bases de données sont supposées avoir une connexion sécurisée aux lecteurs. Bien qu'il existe des scénarios où les lecteurs peuvent ne pas être dignes de confiance, il est souvent utile de faire écrouler les notions de lecteur et la base de données en une seule entité. Par exemple, si les étiquettes contiennent toutes les informations de produits en cause, il n'y a pas besoin de faire un appel à une base de données hors site. On peut imaginer un système fédéré de bases de données back-end, peut-être où chaque fabricant de produit conserve son propre service de consultation produit. Dans ces paramètres, il peut être utile de déployer un service Object Naming (ONS) pour localiser les bases de données associées à une valeur d'identification d'étiquette. Un ONS permet au lecteur de trouver un ensemble de bases de données associées à une valeur d'identification d'étiquette particulière. Ceci est analogue à l'Internet Domain Naming Service (DNS) qui renvoie les adresses des serveurs de noms qui peuvent se traduire les noms de domaine en adresses IP numériques. ONS n'a pas encore été largement adopté dans la pratique.

### 3.1.3 Source d'énergie d'un Tag

Comme brièvement mentionné précédemment, les étiquettes peuvent obtenir leur pouvoir de plusieurs manières différentes. La source d'énergie est une propriété essentielle d'une étiquette, car il va déterminer la distance de lecture potentielle d'une balise, la durée de vie, le coût, et quel genre de fonctionnalités qu'il peut offrir. La source d'énergie sera également important pour déterminer comment une étiquette peut être orienté et quelles formes physiques qu'il peut prendre. Il existe trois catégories principales de sources d'énergie de tag : actifs, semi-passifs, et passifs.

Les étiquettes actives ont leur propre source d'énergie, telle qu'une batterie, et peuvent initier une communication à un lecteur ou d'autres balises actives. Parce qu'ils contiennent leur propre source d'alimentation, les étiquettes actives ont généralement une plage de fonctionnement beaucoup plus large que passifs-tags. Une caractéristique clé de balises actives est qu'ils sont en mesure de lancer leur propre communication avec les lecteurs. Les balises actives avancées, pourraient même former des réseaux ad hoc les uns avec les autres. Une application utile est les balises actives dans des conteneurs d'expédition, qui peuvent tomber hors navires sur les mers agitées. Ces conteneurs manquants parfois ne sont pas reconnus jusqu'à ce que le navire à quai. Une étiquette à puce avec un capteur accéléromètre pouvait détecter quand il est tombé et distribuer un journal de sa disparition avant de sombrer dans l'océan.

Par contre, un semi-passif (ou semi-actif) tag ont une batterie interne, mais ne sont pas en mesure d'initier des communications. Cela garantit que les étiquettes semi-passives ne sont actives que lorsqu'il est interrogé par un lecteur. Parce que les étiquettes semi-passives ont une source d'énergie interne, ils offrent un lecteur plus large que les passives, mais à un coût plus élevé. Un exemple d'application qui utilise souvent des étiquettes semi-passives est *tollbooths* électroniques. les étiquettes passives sont généralement collée à l'intérieur du pare-brise d'une voiture. Lorsque la voiture passe par

un péage, il lancera une requête à l'étiquette et lire un compte identifiant de l'étiquette. La batterie de bord permet la balise être lues à une distance considérable. Cependant, étant donné que l'étiquette ne doit diffuser lorsqu'il est interrogé, il peut rester inactif la plupart du temps et économiser de l'énergie. Les étiquettes semi-passives sont également souvent utilisés dans les palettes au niveau de suivi ou de suivi des composants tels que des pièces d'automobile lors de la fabrication.

Les étiquettes passives ont ni leur propre source d'énergie, ni la capacité d'initier la communication. Les étiquettes passives obtiennent de l'énergie par la récolte à partir d'un signal de communication RF entrant. À des fréquences plus basses, cette énergie est typiquement récoltées par induction, tandis qu'à des fréquences plus élevées, il est récolté par capacité.

Bien que les étiquettes passives ont la plus courte distance de lecture de tous les trois types alimentant, ils sont les moins chers à fabriquer et plus facile à intégrer dans des produits. Les batteries sont relativement coûteux et ne peuvent pas facilement être incorporés dans certains articles, comme les emballages en papier. Pour cette raison, les étiquettes passives sont des balises les plus courantes.

En l'absence d'une source d'énergie interne dicte de nombreuses propriétés des étiquettes passives. D'abord, ils ne peuvent pas fonctionner sans la présence d'un lecteur, bien que étiquette passive pourrait temporairement en cache un peu d'énergie dans un condensateur. En raison de leur faible nécessairement signal de réponse, les étiquettes passives sont souvent plus sensibles au bruit ambiant ou des interférences. Le tableau 1 compare diverses propriétés des étiquettes passives, semi-passives et actives.

| Type                 | Passif                  | Semi-Passif       | Active                    |
|----------------------|-------------------------|-------------------|---------------------------|
| Source d'énergie     | énergie récolté du RF   | Batterie          | Batterie                  |
| Communication        | Réponse seulement       | Réponse seulement | Répondre ou initier       |
| Max Range            | 10 M                    | 100 M             | 100 M                     |
| Coût relatif         | Le moins cher           | Plus cher         | Très cher                 |
| Exemple Applications | EPC cartes de proximité | télé péage        | <i>Livestock tracking</i> |

TABLE 3.1: Comparaison de tag passif , semi- passif et actif

#### 3.1.4 Fréquences de fonctionnement

Les systèmes RFID a une variété de fréquences radio. Chaque bande de fréquences offre sa propre avantage d'exploitation, les exigences de puissance et de performance. Différentes gammes peuvent être soumis à des règlements ou des restrictions qui limitent ce que les applications peuvent être utilisés pour. Les métaux et les liquides présentent généralement le plus gros problème dans la pratique. En particulier, les balises actives dans l'ultra-haute fréquence (UHF) ne fonctionnent pas correctement à proximité de liquides ou de métal.

Fréquence de fonctionnement est également important dans la détermination des dimensions physiques d'une étiquette RFID. Différentes tailles et formes des antennes fonctionnent à des fréquences différentes. La fréquence de fonctionnement détermine

également la possibilité d'interagir physiquement avec les autres. Par exemple, l'empilage des étiquettes plates feuille d'incrustation sur le dessus de l'autre peut interférer ou empêcher les balises de la lecture correctement. Le tableau 2 énumère les fréquences standard et leurs distances de lecture passifs respectifs.

| Gamme de fréquences         | fréquences      | Distance de lecture |
|-----------------------------|-----------------|---------------------|
| Basse fréquence             | 120-140 KHz     | 10-20 cm            |
| Haute Fréquence (HF)        | 13,56 MHz       | 10-20 cm            |
| Ultra-haute fréquence (UHF) | 868-928 MHz     | 3 mètres            |
| Micro onde                  | 2,45 et 5,8 GHz | 3 mètres            |
| Ultra-Wideband (UWB)        | 3,1-10,6 GHz    | 10 m                |

TABLE 3.2: fréquences de fonctionnement RFID

### Basse fréquence (LF)

Basse fréquence (LF) étiquettes RFID fonctionnent généralement dans la gamme 120-140 kilohertz. Le plus souvent, les balises LF sont passivement alimentés par induction. En conséquence, ils ont généralement de très courts intervalles de lecture 10-20 centimètres.

Les balises LF peuvent être utilisés dans des environnements difficiles et peuvent fonctionner à proximité de métal, des liquides, ou de la saleté. Cela les rend utiles pour des applications comme les étiquettes d'identification pour animaux de compagnie implantables ou des étiquettes de gestion de blanchisserie. Un inconvénient de balises LF est qu'ils ont une très faible taux de lecture de données par rapport à d'autres fréquences de fonctionnement.

LF balises sont souvent utilisés dans les systèmes d'immobilisation de la voiture et de contrôle d'accès. Dans ces systèmes, une voiture ne démarre que si une balise de LF, généralement attaché à la clé de contact, est à proximité de l'allumage. Cela prend avantage de courte portée de lecture de LF et l'utilise comme un élément de sécurité.

En 2016, LF étiquettes passives peuvent être achetés en vrac pour 10 DH par tag ou moins. Deux grands fabricants de balises LF sont Texas Instruments et Phillips Semiconductor. La norme *ISO 18000-2 standard* [11] offre des spécifications pour les étiquettes RFID LF.

### Haute fréquence

Haute fréquence (HF) étiquettes RFID fonctionnent à la fréquence de 13,56 MHz. étiquettes HF sont souvent emballés dans un facteur d'incrustation de feuille ou sous forme de carte de crédit. Cela rend les balises HF utiles pour la construction de contrôle d'accès, les cartes de crédit sans contact, et des badges d'identification. Encore une fois.

Les étiquettes HF sont également utilisés dans de nombreuses applications de suivi. Les bibliothèques et les librairies utilisent souvent HF incrustations de feuilles pour suivre les livres. Certains aéroports ont commencé à utiliser HF RFID étiquettes à bagages pour les applications de manutention de bagages.

les étiquettes HF offrent un taux de lecture de données plus élevé que les balises LF, mais ne réussissent pas aussi bien que les balises de LF à proximité de métaux ou de

liquides. balises HF font, cependant, offrent de meilleures performances à proximité de métaux ou de liquides que les tags UHF font.

La gamme de fréquence HF se trouve sur une partie fortement réglementée du spectre radio. Les signaux transmis par les lecteurs doivent fonctionner dans une bande de fréquence étroite. Cela pose un problème pour les environnements électroniques sensibles, tels que les équipements médicaux, qui fonctionnent sur des fréquences voisines. Cela rend les balises HF inappropriée pour les environnements comme les hôpitaux.

En 2016, HF étiquettes passives peuvent être achetés pour 5DH ou moins par étiquette en quantité. Texas Instruments et Phillips offrent tous deux lignes tag HF, bien qu'il existe de nombreux fabricants plus petits et spécialisés ou intégrateurs dans l'espace de HF. Organisation internationale de normalisation (ISO) spécifications pour les étiquettes RFID HF sont spécifiées par la norme *ISO 18000-3 norme* [11]. spécifications connexes HF sans contact des cartes à puce et les cartes de proximité apparaissent dans les normes ISO 14443 [9] et 15693 [10].

### Ultra-haute fréquence

Ultra-haute fréquence (UHF) étiquettes RFID fonctionnent dans la gamme de 868 à 928 mégahertz. balises européennes fonctionnent généralement dans la gamme 868-870 MHz, tandis que les États-Unis et au Canada fonctionnent à 902-928 MHz. tags UHF sont les plus couramment utilisés pour les applications de suivi et de gestion de la chaîne logistique article. Ceci est en grande partie parce qu'ils offrent une gamme plus lu et sont moins chers à fabriquer en vrac que LF ou HF tags. Les étiquettes EPC de première génération fonctionnent à des fréquences UHF.

Un inconvénient majeur de tags UHF est qu'ils éprouvent des interférences à proximité de liquides ou de métaux. De nombreuses applications telles que le suivi des animaux, suivi des conteneurs en métal, ou même de nombreux systèmes de contrôle d'accès sont irréalisables avec des étiquettes UHF. Certains matériaux ont été développés qui peuvent protéger les tags UHF de distorsion liés à métal, mais ceux-ci peuvent être coûts prohibitifs à utiliser dans la pratique. lecteurs UHF peuvent également interférer avec l'électronique sensible comme l'équipement médical.

tags UHF sont une technologie relativement récente que LF ou HF, et les coûts de lecteur sont généralement plus élevés que les lecteurs de LF faible largeur de bande. En 2016, les tags UHF peuvent être achetés en quantités pour moins de 1DH par étiquette passive. étiquettes UHF coûts aussi bas 0.5DH sont susceptibles d'arriver sur le marché dans les prochaines années. Spécifications pour les étiquettes RFID fonctionnant à des fréquences UHF sont définies à la fois par l'ISO 18000-6 [11] et à la norme EPCGlobal [6].

### Micro-ondes

étiquettes de micro-ondes fonctionnent soit à 2,45 ou 5,8 gigahertz. Cette gamme de fréquences est parfois appelée fréquences de super-haute (SHF). La technologie RFID de micro-ondes est entré en usage assez récemment et se développe rapidement. étiquettes à micro-ondes utilisées dans la pratique sont généralement semi-passif ou actif, mais peuvent aussi se présenter sous forme passive. balises à micro-ondes semi-passives sont souvent utilisés dans l'identification de la flotte et des applications de télépéage. Les systèmes à micro-ondes offrent plus les taux de lecture que UHF et gammes équivalentes de lecture passive. Plages de lecture semi-passives et actives des systèmes de micro-ondes

sont souvent plus grandes que leurs homologues UHF. Certains micro-ondes balises actives peuvent être lues à partir des distances allant jusqu'à 30 mètres, ce qui est moins de tags UHF comparables. Cependant, les implémentations physiques des micro-ondes étiquettes RFID peuvent être beaucoup plus petit et compact que basse fréquence des étiquettes RFID. Il y a plusieurs inconvénients à des balises à micro-ondes. La première est qu'ils consomment relativement plus d'énergie que leurs homologues de fréquence inférieure. étiquettes de micro-ondes sont généralement plus chers que les tags UHF. Commercialement balises actives disponibles coûtent autant que 250 DH par tag en 2016. Un autre problème est que le sans fil 802.11b / g réseaux (WiFi) peuvent interférer avec les systèmes micro-ondes RFID. Dispositifs d'application de la ZigBee 802.15 prochaine norme sans fil pourraient potentiellement entrer en conflit avec des dispositifs micro-ondes RFID ainsi. L'ISO 18000-4 et ISO 18000-5 rejeté [11] Les normes offrent des spécifications respectives pour 2,45 et 5,8 gigahertz étiquettes RFID.

### Ultra-Wideband

Ultra-wideband (UWB) appliquée à la RFID est assez récente. Plutôt que d'envoyer un signal fort sur une fréquence particulière, UWB utilise des signaux de faible puissance sur une très large gamme de fréquences. Le signal sur une fréquence particulière utilisée par UWB est très faible, mais dans l'ensemble, la communication est assez robuste. Dans la pratique, certaines implémentations de UWB fonctionnent de 3,1 à 10,6 GHz. Les avantages de l'UWB sont qu'il a une très longue portée en ligne de mire de lecture, peut-être 200 mètres dans certains contextes. UWB est également compatible avec le métal ou les liquides. Comme le signal sur une fréquence particulière est très faible, UWB ne pas interférer avec les équipements sensibles. Par conséquent, une application anticipée était suivi des actifs dans un milieu hospitalier. Un inconvénient d'implémentations actuelles de UWB est qu'il doit être actif ou au moins semi-passive. Cependant, étant donné que les balises UWB diffusent des signaux très faibles, ils ont relativement faible consommation d'énergie. En 2006, il est difficile de savoir si la technologie existe pour créer un UWB tag2 passive. La technologie RFID UWB est encore dans ses premières phases et il y a peu de produits disponibles dans le commerce. Les coûts de 50DH par tag en vrac sont raisonnables dans un proche avenir.

#### 3.1.5 Fonctionnalité

La fonctionnalité RFID de base est l'identification. Lorsqu'il a été interrogé par un lecteur, les balises retournent un autre identificateur qui peut être utilisé pour récupérer d'autres enregistrements de données. Cependant, les étiquettes peuvent offrir d'autres fonctionnalités utiles dans différentes applications. Les principes et les technologies de ces différents types de balises sous-jacentes sont si étroitement liés aux étiquettes RFID strictes, qu'ils ont souvent collectivement appelés «RFID». Bien que pas strictement RFID, nous discutons de plusieurs classes majeures d'appareils liés à la RFID.

Nous avons partagé des étiquettes RFID de style en cinq grandes catégories : EAS, en lecture seule EPC, EPC, étiquettes de capteurs, et motes. Ceux-ci seront appelés classes A à E. EPCglobal propose cinq classes similaires de tag basé sur la fonctionnalité baptisée classe 0 à la classe 4 [6]. Les classes EPCglobal aligner étroitement avec les nôtres, mais différent quelque peu. Ces cinq classes sont résumés dans le tableau 3.



| Classe | Nom               | Mémoire           | Source d'énergie | Caractéristiques          |
|--------|-------------------|-------------------|------------------|---------------------------|
| A      | EAS               | Aucun             | Passif           | article surveillance      |
| B      | Lecture seule EPC | Lecture seulement | Passif           | identification seulement  |
| C      | EPC               | Lire et écrire    | Passif           | Enregistrement de données |
| D      | capteur Balises   | Lire écrire       | Semi-passif      | capteurs environnementaux |
| E      | motes             | Lire écrire       | actif            | Réseautage ad hoc         |

TABLE 3.3: Classes de fonctionnalité des Tags

### 3.1.6 Normes

Les deux normes RFID les plus pertinents sont l'Organisation internationale de la norme ISO / IEC 18000 de normalisation norme [11] et les normes de EPCglobal [6]. Ces normes ne sont pas en concurrence, et il est concevable que la norme EPCglobal pourrait éventuellement être adopté dans une norme ISO. EPCglobal définit des spécifications pour les étiquettes de type EPC fonctionnant dans la gamme UHF. La norme ISO 18000 a 6 parties d'adressage différentes gammes de fréquences :

- Partie 1 - Généralités normes
- Partie 2 - LF
- Partie 3 - HF
- Partie 4 - Micro-ondes, 2,45 GHz
- Partie 5 - Micro-ondes, 5,8 GHz
- Partie 6 - UHF

### 3.1.7 Modes de transfert d'énergie et de communication

Dans ce premier cas ( figure 3.4) , l'onde RF se propageant de la base station vers le tag n'a pour but unique que de fournir de l'énergie au tag de façon à charger la capacité d'alimentation présente à son bord afin que celle-ci puisse être capable d'alimenter l'ensemble du tag pour assurer son bon fonctionnement. Après cette phase d'alimentation, le tag est apte à recevoir des ordres de commande provenant de la base station et de retourner des informations vers celle-ci. Puis le cycle recommence et il est à nouveau nécessaire de lui fournir de l'énergie pour continuer la communication et ainsi de suite. Bien évidemment, ceci prend du temps et manque parfois de souplesse.

Dans ce deuxième cas ( figure 3.5), au travers des principes et types de modulation utilisés, l'onde provenant de la base station est capable pendant la phase de l'échange base station vers tag d'assurer simultanément la fourniture de l'énergie et l'échange des informations (données).

**Note :**



FIGURE 3.4 – Mode de transfert d'énergie non simultané

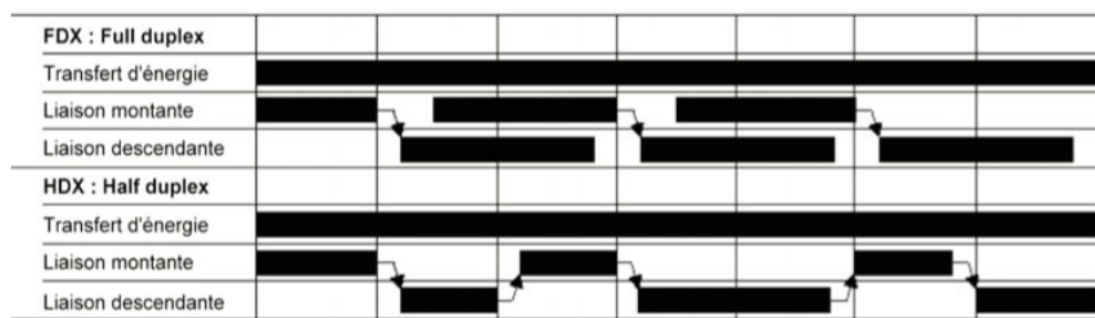


FIGURE 3.5 – Mode de transfert d'énergie simultané

*À noter que la très grande majorité des tags du commerce fonctionnent selon ce dernier principe.*

### 3.1.8 Liaison montante et liaison descendante

Intéressons-nous d'abord aux échanges ayant lieu entre bases stations et tags. Ils sont de deux sortes et seront définis une fois pour toutes dans cet ouvrage de la manière suivante :

- de la base station vers le tag, dits liaison montante ;
- du tag vers la base station, dits liaison descendante.

De plus afin d'éviter quelques problèmes de compréhension, quelle que soit l'intelligence embarquée dans le tag, nous supposons que celui-ci ne fonctionne que sous des ordres commandes provenant de la base station.

#### Liaison montante ( forward link) de la base station vers le tag

La liaison montante (de la base station vers le tag) a pour mission :

- d'assurer, si cela est possible, le transport de l'énergie vers le tag afin que celui-ci puisse assurer la tâche qui lui incombe ;
- de servir de support à l'envoi de données de la base station vers le tag ;
- d'assurer, si cela est possible, le transport de l'énergie vers le tag afin que celui-ci puisse assurer
- dans le cas des systèmes fonctionnant en mode passif (voir définition un peu plus loin), lors de la phase de communication en liaison descendante, d'assurer la présence d'un support physique à la communication du tag vers la base station.

La communication montante est par principe assurée par un dispositif – la base station – qui émet une onde radiofréquence. Celle-ci est donc dotée d'un émetteur, un TRANsmitter. De par la présence de cet émetteur, la liaison montante est dite active.

De plus, la base station comporte également à son bord un récepteur, un **reCEIVER**. La base station est donc un **TRANSCEIVER**. Dans le sens montant, la base station doit se faire comprendre par le tag au travers d'un codage numérique (binaire), d'un protocole de communication et d'un système de modulation de la fréquence porteuse ne devant pas ou peu affecter (le plus faiblement possible) la qualité d'une hypothétique télé-alimentation simultanée. Pour cela on peut employer des techniques de modulation de fréquence FSK<sup>1</sup>, ou encore de nombreuses méthodes de modulation d'amplitude ASK<sup>2</sup>

### **Liaison descendante de la modulation**

Contrairement à ce qu'on pourrait initialement penser, le transpondeur ne peut pas se comporter comme un émetteur de signaux RF. En effet, il ne dispose pas, dans son interface RF, des mécanismes permettant d'émettre un signal radio-fréquence vers la station de base. Les transpondeurs utilisent ce qu'on appelle la réflexion d'ondes pour se faire comprendre des lecteurs.

Pour cela, les tags utilisent une modulation différente que l'on nomme modulation de charge (Load Modulation) qui consiste à faire varier la charge résistive du circuit. Effectivement, en faisant varier la charge, le tag fait varier l'intensité du courant dans son circuit et donc l'intensité qui circule dans l'antenne. La consommation d'énergie qu'il représente dans le champ magnétique s'en trouve alors également modifiée et, par couplage magnétique, cela influe sur l'intensité du courant dans l'antenne de la station de base. De proche en proche, les signaux RF reçus de la station de base, qui sont réfléchis par le transpondeur, permettent donc de transporter des réponses en faisant varier l'intensité du circuit du lecteur.

Il s'agit ici d'un procédé assez complexe mais qui repose à la base sur de la modulation. Cette modulation de charge résistive à l'origine de la transmission de la réponse s'appuie sur une modulation courante appelée OOK<sup>3</sup> et correspond à la modulation d'amplitude "tout ou rien". A l'aide d'une modulation de type OOK, comme présentée précédemment, on crée une modulation de charge qui fait varier la charge résistive du circuit et donc la tension aux bornes du circuit RF du transpondeur comme montré dans la figure 3.5.

---

1. Frequency-Shift Keying  
2. Amplitude-Shift Keying  
3. On Off Keying

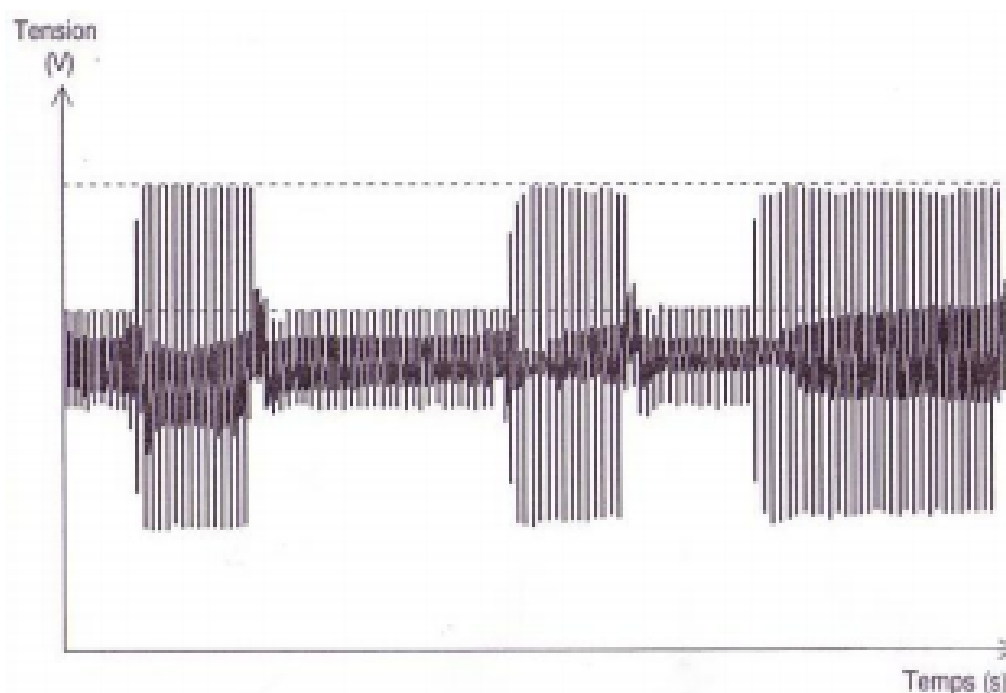


FIGURE 3.6 – On Off Keying

### 3.1.9 Paires torsadées

C'est une ligne de transmission formée de deux fils conducteurs enroulés en hélice l'un autour de l'autre, pour maintenir précisément la distance entre les fils et de diminuer la diaphonie. Elle permet une connexion permanente sans interruption avec un débit



FIGURE 3.7 – Paires torsadées

qui peut atteindre les 10 Gbits/s. La longueur du câble ne doit pas dépasser 100m, les répéteurs s'avèrent indispensables si on dépasse cette longueur.

### 3.1.10 Fibre optique

C'est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'un conducteur de lumière et sert dans la transmission de données et de lumière.

Le fibre optique présente un avantage au niveau de la portée du signal avec un débit très élevé. Son insensibilité au champs électromagnétique lui permet de fonctionner sans problème dans les milieux industriels (présence des moteurs...). Mais, un câble fibre optique contient un cœur très fragile ne lui permettant pas d'être courbé. De plus, son coût élevé présente un majeur point négatif.

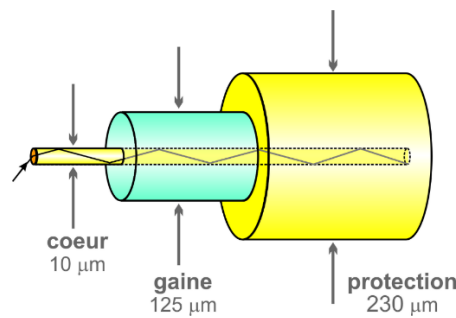


FIGURE 3.8 – Fibre optique

### 3.1.11 Wifi

C'est un réseau sans-fil qui relie des appareils informatiques par des ondes électromagnétiques, donc absence de câbles et facilité d'installation avec un coût moins élevé. L'atténuation des signaux avec la présence des obstacles et le problème des interférences provoquent des ruptures de connexions fréquentes donc une instabilité de connexion.

### 3.1.12 Power Line Communication

C'est une technique de communication qui utilise les câbles du réseau électrique pour transmettre et recevoir les données en mode half-duplex. Il présente une technologie pratique pour des applications sur les smart-grids :

- Automated meter reading (AMR).
- Communications SCADA (Supervisory control and data acquisition).

### 3.1.13 Tableau Comparative

Le tableau suivant représente un récapitulatif comparatif entre les différents supports cités dessus suivant les critères suivants :

|                       | <b>Paires torsadés</b>                                      | <b>Fibre optique</b>                    | <b>Wifi</b>                             | <b>Power line Communication</b>                          |
|-----------------------|---|---|---|--|
| <b>Débit</b>          | Jusqu'à 10Gbits/s   | Dépassant le 1Gbits/s                   | 450Mbits/s                              | 500Mbits/s   |
| <b>Portée</b>         | Câbles <100m  | ~Kms                                    | ~140m                                   | ~Kms   |
| <b>Coût</b>           | Moyen   | Elevé                                   | Faible                                  | Faible   |
| <b>Points forts</b>   | Protocole de communication très connu et facile à implanter | Insensible aux champs électromagnétique | Installation facile                     | Pas d'installation, développée pour les smart-grids      |
| <b>Points faibles</b> |   | Cœur fragile                            | Interférences, instabilité de connexion | Ne fonctionne pas en triphasé, communication half-duplex |

TABLE 3.4: Tableau comparatif

Après une discussion rigoureuse, le support de communication opté pour ce projet

est la communication **Ethernet (Paires torsadés)**, et **Power Line Communication (PLC)**.

## 3.2 Power Line Communication (PLC)

### 3.2.1 Principe

La technologie PLC consiste à superposer au signal électrique (50Hz), un 2ème signal à plus haute fréquence (de 1KHz à des MHz) et de faible énergie, ce signal se propage sur l'installation électrique et qui peut être reçu et décodé à distance.

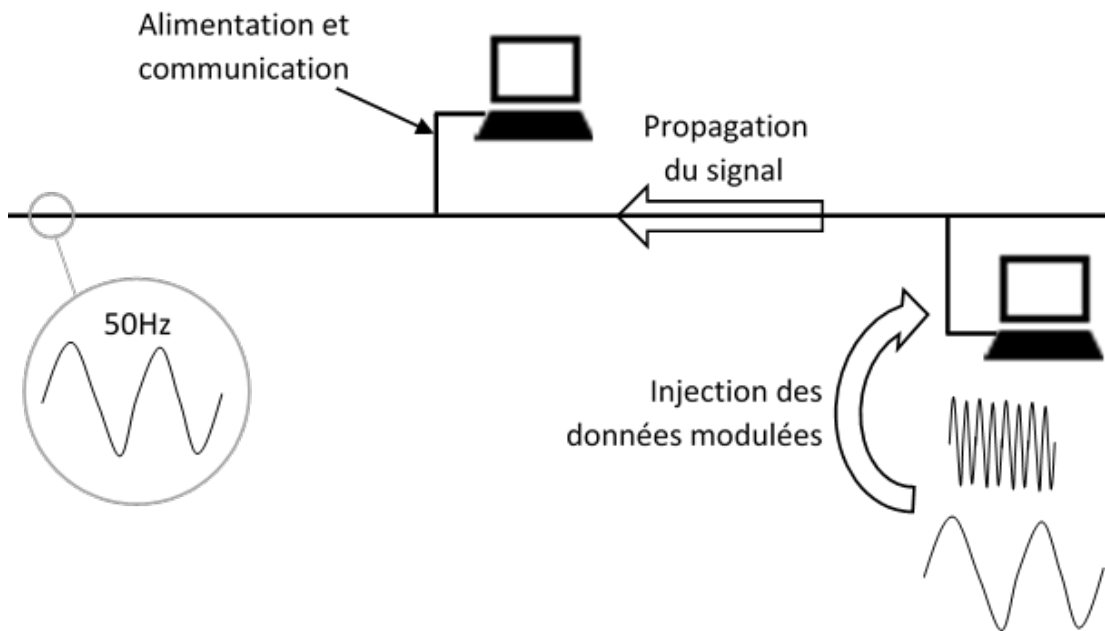


FIGURE 3.9 – Principe du PLC

Pour faire communiquer deux équipements par un réseau PLC, il faut que chaque dispositif dispose d'un modulateur/démodulateur et un circuit de couplage et d'injection du signal dans le réseau.

### 3.2.2 Caractéristique du Modulateur/Démodulateur choisi

Le modulateur choisi est ST7538Q du fabricant ST Microelectronics, c'est un modem FSK<sup>4</sup> qui fonctionne en mode Half Duplex, il est conçu pour les applications PLC. Il est commandé par une interface série synchrone ou asynchrone.

Ses principales caractéristiques sont :

- Modulation par déplacement de fréquence (FSK) Half duplex.
- Une seule tension alimentation (entre 7.5V et 12.5V).
- Consommation très faible (5mA).
- 8 fréquences de modulation programmables.
- Vitesse de transmission allant jusqu'à 4800B/s.

---

4. Frequency-Shift Keying

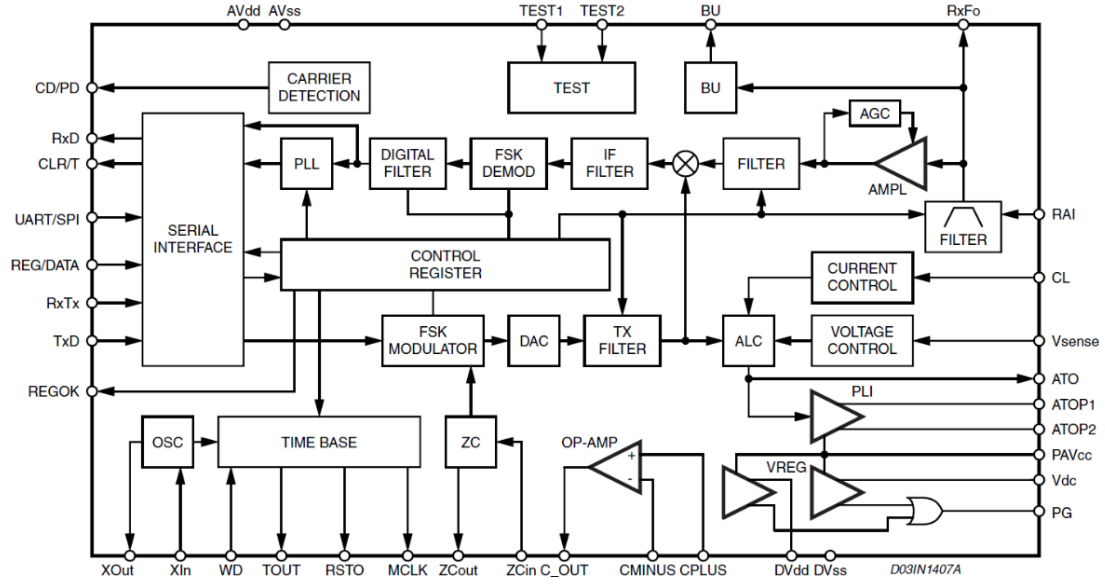


FIGURE 3.10 – Diagramme de ST7538Q

- Sensibilité de réception jusqu'à 250  $\mu\text{Vrms}$ .
- Conforme avec la norme EN 50065 CENELEC.
- CSMA/CA<sup>5</sup>.
- Compatible avec les interfaces UART et SPI.

Dans ce projet, on utilisera la fréquence porteuse maximale (132.5KHz) avec une vitesse de transmission de 4800B/s et une déviation de 1.

$$\Delta f = \text{Baud} \cdot \text{Deviation} = 4.8\text{KHz} \quad (3.1)$$

Les fréquences mark et space utilisées sont défini par les formules suivantes :

$$F(0) = f + \frac{\Delta f}{2} = 134.9\text{KHz} \quad (3.2)$$

$$F(1) = f - \frac{\Delta f}{2} = 130.1\text{KHz} \quad (3.3)$$

**Note :**

*Pour plus d'informations sur les fréquences et les débits supportées par ST7538Q consulter son datasheet.*

### 3.2.3 Méthode d'accès à ST7538Q

Ce modulateur échange les données avec le microcontrôleur à travers une des deux communications séries :

- Synchrone à l'aide du protocole SPI
- Asynchrone à l'aide du protocole UART

Les pins RxD et Tx sont pour recevoir et envoyer respectivement les documents du microcontrôleur vers le modem. RxD est pour spécifier si on est en mode réception(1) ou transmission(0), REG\_ DATA est pour spécifier si les données vont être modulées et injecté

5. Carrier Sense Multiple Access (Collision Avoidance)

ou une configuration de registre, finalement, CLR/T est le signal d'horloge imposé par le modem dans le mode synchrone.

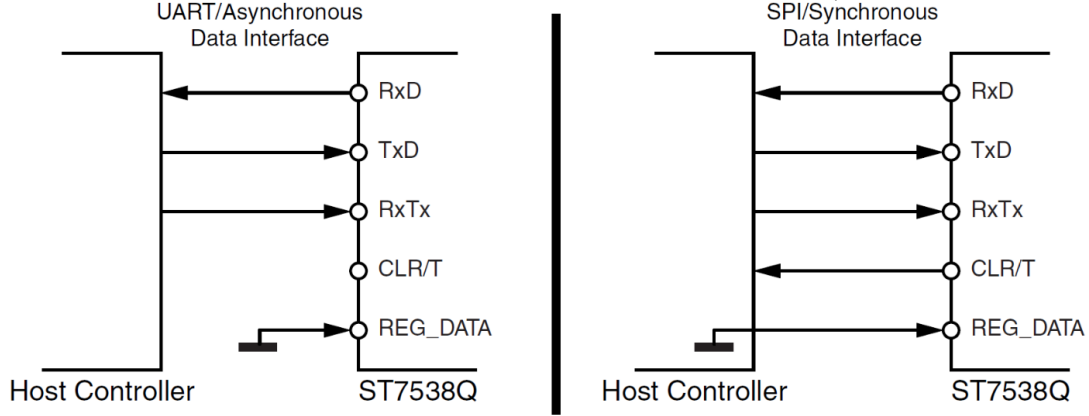


FIGURE 3.11 – Interface synchrone et asynchrone entre Microcontrôleur et ST7538Q

Le protocole utilisé dans ce projet est la communication asynchrone moyennant l'UART.

### 3.2.4 Circuit de couplage et d'injection

Le circuit de couplage lie le modulateur avec la ligne pour transmettre et recevoir le signal modulé efficacement, et il contient un système de filtrage de la tension de réseau (220V~50Hz ou 110V~60Hz) et les bruits qui vont surgir lors du transfert.

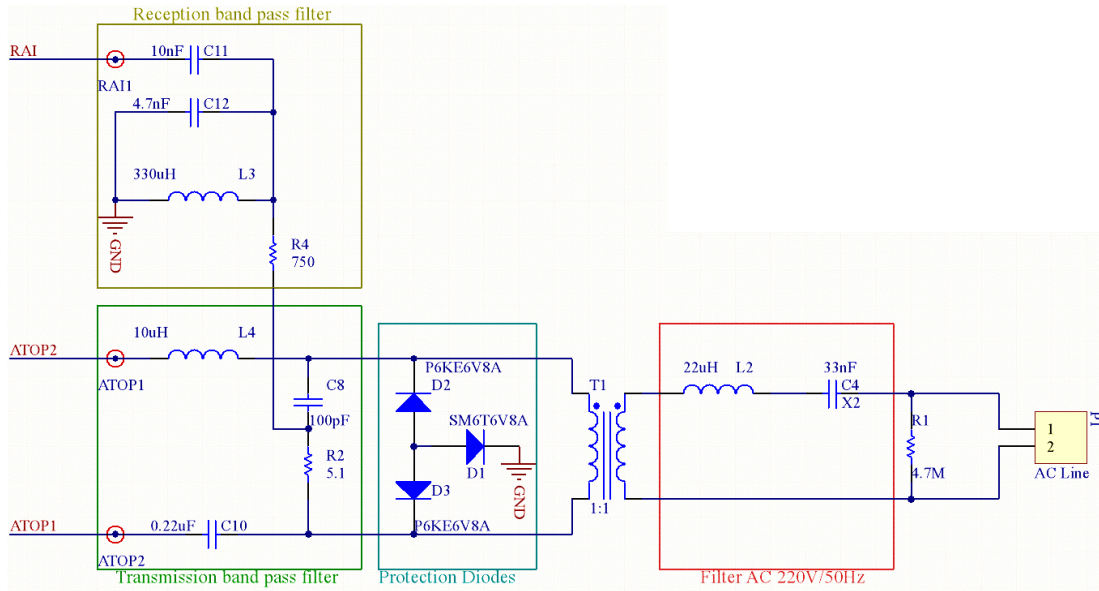


FIGURE 3.12 – Circuit de couplage



Il est possible de mettre en œuvre différentes topologies de circuits de couplage. Une première classification est comprise entre une solution isolée avec un transformateur de ligne ou une double capacité et une solution non isolée avec un seul condensateur de découplage à haute tension. La dernière est plus simple et plus économique, tandis que la première permet d'obtenir de meilleures performances en utilisant efficacement la puissance de sortie différentiel des dispositifs.

La solution de différentiel a été également plus pratique pour l'avantage pour réduire les harmoniques paires des signaux transmis.

La solution implémentée est conforme à la norme CERELEC - EN 50065-1, il est composé d'un circuit isolé avec un transformateur 1 :1 et une capacité de class X2<sup>6</sup> pour éliminer la fréquence 50Hz (220V). Le circuit de transmission n'a aucune influence sur le circuit de réception, donc les deux structures peuvent être analysées séparément. Les filtres sont dimensionnés pour la fréquence 132.5 kHz et pour avoir une communication fiable.

### Partie de transmission

La fonction du circuit de transmission est d'injecter le signal sortant de l'amplificateur de puissance (ATOP1/ATOP2) du modem dans le réseau électrique avec une efficacité maximale en filtrant le bruit suivant la norme CENELEC (EN50065-1, SECTION 7 : DISTURBANCES LIMITS).

Le filtre utilisé dans la transmission est un filtre de 4<sup>ème</sup> ordre (4 pôles et 2 zéros). Pour avoir une bonne distribution d'échauffement et une insensibilité à la variation de la charge, le filtre a une bande de 60kHz (voir figure ??). Pour avoir cette caractéristique les deux pôles vont être mis dans les deux fréquences 100kHz et 160kHz.

Pour un dimensionnement correcte, l'influence entre les composants doit être prise en considération : L'inductance de fuite du transformateur (de 0.1μH à 10μH), la capacité interne du diode Transil (presque 2nF), la résistance équivalente en série des capacités et bobines (entre 100mΩ et 1Ω).

De plus il faut prendre en considération les impédances existant dans le réseau électrique, le réseau artificiel CISPR16-1 :

---

6. Une capacité conçue pour opérer entre la phase et le neutre (200V-240V)

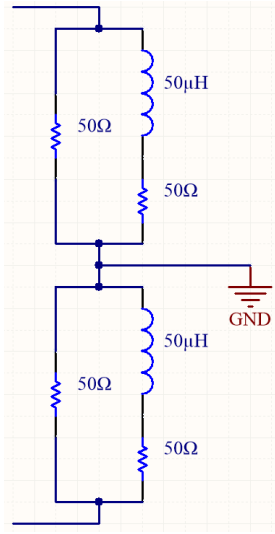


FIGURE 3.13 – Réseau artificiel CISPR16-1

Pour une première approximation des valeurs des composants, on considérera que les parties réactives, et que le transformateur T1 est idéal :

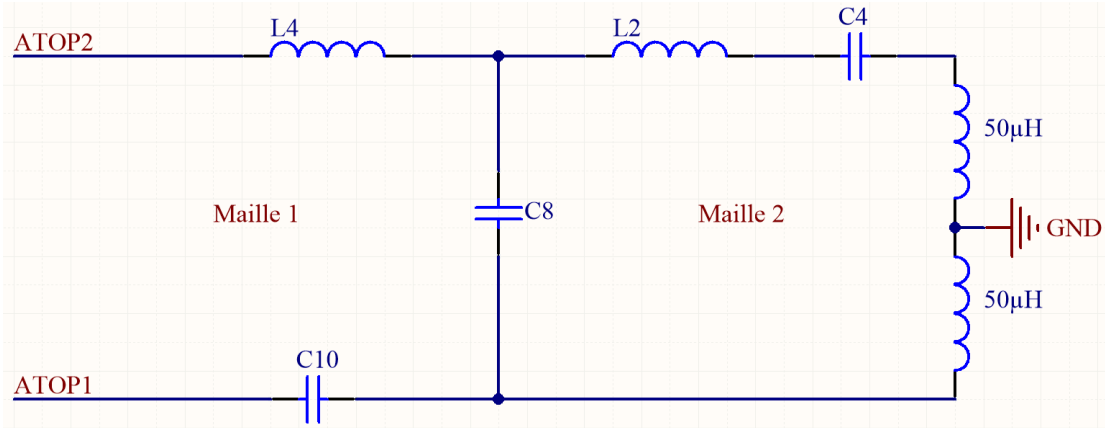


FIGURE 3.14 – Schéma simplifié du filtre de transmission

Les formules des quatre pôles est données par :

$$f_{p1} = f_{p2} \cong \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_4 \cdot C_A}} \cong 160kHz \quad (3.4)$$

$$f_{p3} = f_{p4} \cong \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_B \cdot C_B}} \cong 160kHz \quad (3.5)$$

$$\text{avec : } \frac{1}{C_A} = \frac{1}{C_8} + \frac{1}{C_{10}} ; \frac{1}{C_B} = \frac{1}{C_8} + \frac{1}{C_4}$$

Pour que l'ESR<sup>7</sup> des bobines soit le plus faible, que leurs inductances soit faible aussi ( $L_4=10\mu\text{H}$  et  $L_2=22\mu\text{H}$ ).

7. Equivalent series resistance : Résistance équivalente en série

Une autre contrainte concerne la capacité  $C_4$ . Il est une capacité de classe X2 qui a une fonction principale de découpler le transformateur du réseau électrique. Il est préférable que sa valeur soit la plus faible possible pour des raisons économique, tout en gardant le courant de la fréquence 50Hz très faible pour éviter la saturation du transformateur. La valeur choisi est **33nF**. Donc le courant passant par le transformateur est d'ordre de :

$$|I_{rms}| \cong 220V_{rms} \cdot 2\pi \cdot 50Hz \cdot C_4 = 2.3mA_{rms} \quad (3.6)$$

Après ces suppositions et en utilisant les équations ?? et ??, on obtient  $C_8=100nF$  et  $C_{10}=220nF$ . La résistance  $R_2$  est ajouté pour ajuster l'impédance de sortie du filtre de réception.

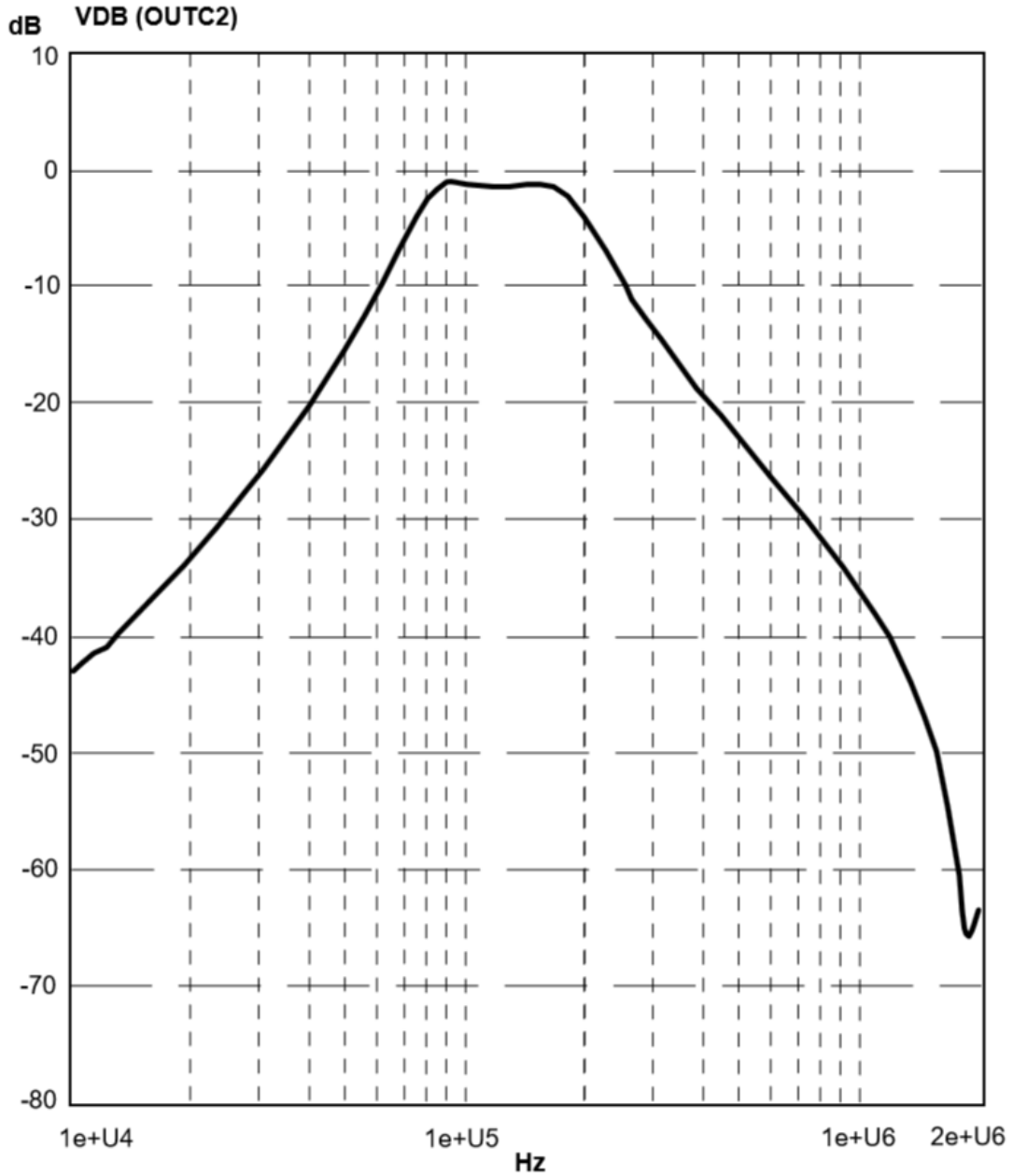


FIGURE 3.15 – Fonction caractéristique du filtre de transmission

### Partie de réception

Le filtre de réception a pour but de filtrer les bruit venant du réseau qui peuvent dépasser les grandeurs maximales supportés par l'entrée RAI, ou dégrader les performances de démodulation (EN50065-2-1, SECTION 7.2.3 : NARROW-BAND CONDUCTED INTERFERENCE).

La solution adopté est un filtre passif de second ordre ( $C_{12}$ ,  $L_3$ ,  $R_4$ ),  $C_{11}$  est une capacité de découplage.

En mode de réception, la sortie ATOP1 est en haute impédance tandis que la sortie ATOP2 est lié à la masse (avec une résistance de quelque milliohm). Avec cette configuration,  $L_2$ ,  $C_4$ ,  $L_4$ ,  $C_8$  et  $R_2$  peuvent être négligés. Avec ces hypothèses, le dimensionnement du filtre de réception dépend principalement de  $C_{12}$ ,  $L_3$  et  $R_4$ , qui constitue un filtre passe-bande de second ordre d'une fréquence de :

$$f_0 \cong \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_3 \cdot C_{12}}} = 132.5kHz \quad (3.7)$$

Un autre paramètre à prendre en considération est le facteur de qualité(Q) qui doit être le plus grand possible :

$$Q \cong R_4 \cdot \sqrt{\frac{C_{12}}{L_3}} \quad (3.8)$$

Pour ne pas influencer la partie de transmission et de réduire le courant qui va parcourir le transformateur, la valeur de  $R_4$  doit être assez grande sans qu'elle participe à l'augmentation du bruit blanc. la valeur  $750\Omega$  satisfait ces deux conditions. En fixant cette résistance on peut facilement déduire les valeur de  $C_{12}$  et  $L_3$  à partir des deux équations ?? et ?? :

$$C_{12}=4.7nF \text{ et } L_3=330\mu H$$

## 3.3 Ethernet

Physiquement, les composants qui participant à la communication Ethernet sont : Le processeur, Contrôle d'accès au support<sup>8</sup> et le PHY chip.

### 3.3.1 Contrôle d'accès au support

C'est la moitié basse de la couche liaison de données du modèle OSI, elle sert d'interface entre la partie logicielle contrôlant la liaison d'un nœud (Contrôle de liaison logique) et la couche physique. Le rôle de la sous-couche MAC est principalement de :

- reconnaître le début et la fin des trames dans le flux binaire reçu de la couche physique ;
- délimiter les trames envoyées en insérant des informations (comme des bits supplémentaires) dans ou entre celles-ci, afin que leur destinataire puisse en déterminer le début et la fin ;
- détecter les erreurs de transmission, par exemple à l'aide d'une somme de contrôle (checksum) insérée par l'émetteur et vérifiée par le récepteur ;

---

8. Media Access Control en anglais ou MAC

- insérer les adresses MAC de source et de destination dans chaque trame transmise ;
- filtrer les trames reçues en ne gardant que celles qui lui sont destinées, en vérifiant leur adresse MAC de destination ;
- contrôler l'accès au média physique lorsque celui-ci est partagé.

### 3.3.2 PHY chip

C'est un composant qui opère dans la couche physique du modèle OSI. Techniquement, Le PHY est un circuit intégré qui envoie et reçoit les trames Ethernet, il est l'interface entre le domaine analogique de la modulation en ligne et le domaine numérique. Souvent on trouve que le MAC et le PHY sont groupés dans un seul circuit intégré comme le cas DP83816 de Texas Instrument.

***Note :***

*Dans ce projet le composant MAC/PHY est intégré dans le microcontrôleur choisi, et il sera discuté dans le paragraphe ??.*



# Chapitre 4

## La partie commande

Dans ce chapitre, on s'intéresse à la conception de la partie commande du micro-onduleur pour pouvoir intégrer la partie communication efficacement.

### 4.1 Micro-onduleur

Le micro-onduleur est un onduleur qui fonctionne avec un seul panneau photovoltaïque, il convertit le courant issue de ce dernier et le convertit en sinusoïdale de fréquence 50Hz ou 60Hz pour un but d'alimentation, stockage ou injection dans le réseau électrique.

Les micro-onduleurs ont plusieurs avantages sur les onduleurs classiques. Le principal avantage est que la présence de petites quantités d'ombrage, de débris ou de neige sur un quelconque module solaire, ou même un échec complet pour le module, ne réduisent pas de façon disproportionnée la sortie de l'ensemble du réseau. Chaque micro-onduleur récolte la puissance optimale en effectuant le suivi du point de puissance maximale(MPPT) pour son module connecté.

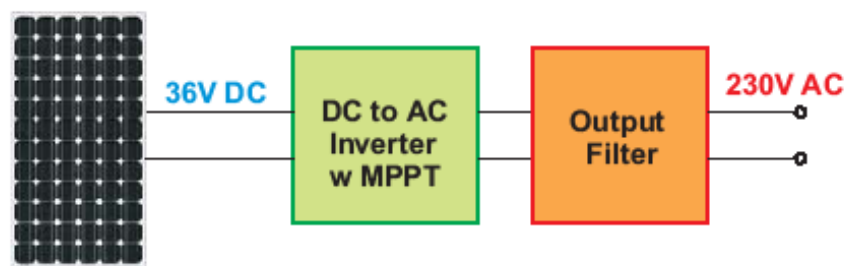


FIGURE 4.1 – Structure d'un micro-onduleur

### 4.2 Architecture existante

Le micro-onduleur existant est composé de deux parties, chacune des parties est réalisé dans un circuit imprimé(PCB).

La première partie est l'optimiseur. Elle composé de deux hacheurs élévateurs de tension en parallèle qui sont commandé par un signal PWM venant du microcontrôleur

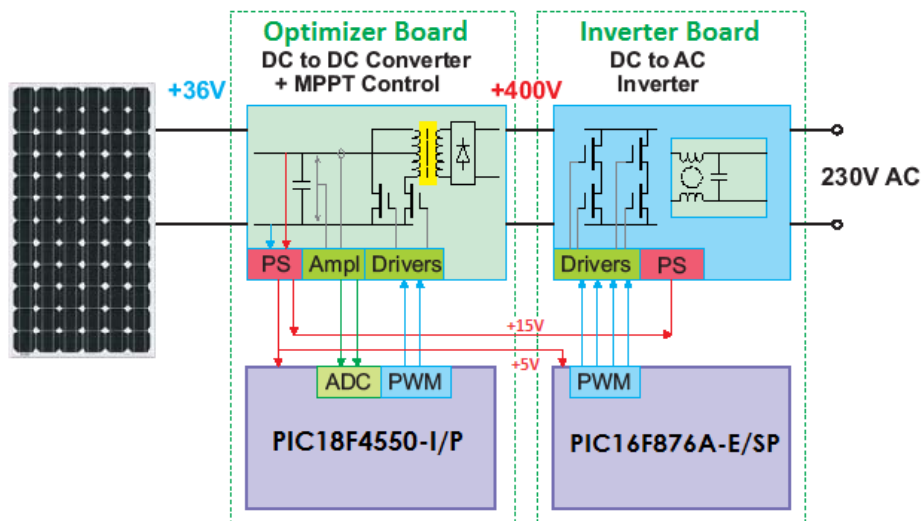


FIGURE 4.2 – Structure du micro-onduleur existante

PIC18 à travers des Drivers. Ce microcontrôleur fait aussi une lecture de tension et courant généré par le panneau photovoltaïque pour pouvoir exécuter l'algorithme MPPT. Elle contient aussi des régulateur à l'entrée pour extraire une tension pour alimenter le microcontrôleur(5V) et une autre pour commander les MOSFETs(15V).

La deuxième partie contient un pont en H pour générer une ondulation commandé par un deuxième microcontrôleur PIC16 à travers des Drivers.

### 4.3 Architecture proposée

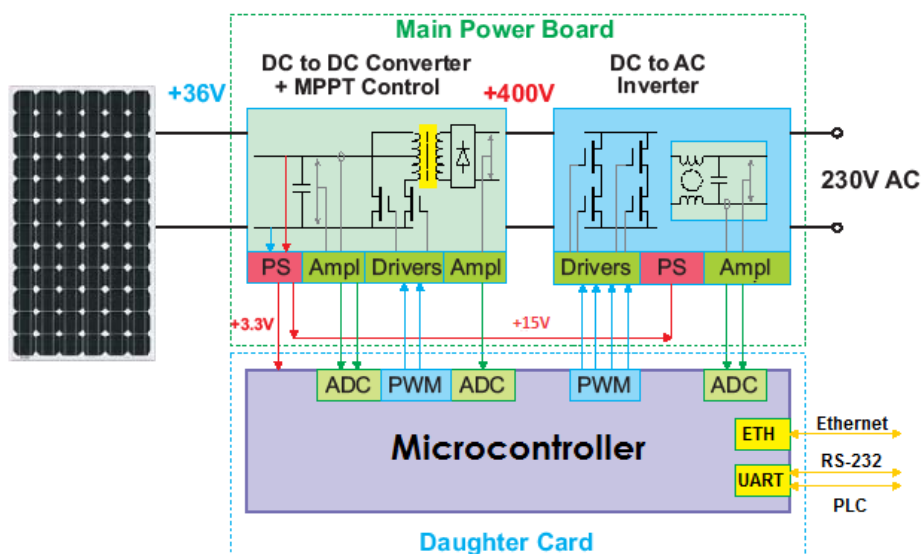


FIGURE 4.3 – Structure du micro-onduleur proposé



Pour ajouter la partie communication au micro-onduleur, il faut un microcontrôleur capable de communiquer en utilisant les deux supports de communication cité précédemment, Or l'existence de deux unités de commande rend l'appareil encombrante et plus coûteuse, sachant bien que la tâche fournit ne demande pas trop de calcul. Pour cela une seule unité de commande s'occupant de ces tâche est préférable.

La partie puissance est implanté dans un seul circuit imprimé, alors que la partie commande et la partie communication sont implanté dans un seul circuit imprimé appelé Carte-fille, cela donnera une flexibilité pour un futur changement (Par exemple changement de support de communication, ajout d'un écran...).

Cette solution fait appel à plus de convertisseur analogique numérique (ADC). Ils vont être utilisé pour faire une lecture du courant et tension à l'entrée de l'optimiseur, déduisant ainsi la puissance produite par le panneau solaire. La lecture de la tension à la sortie de l'optimiseur sera utile pour maintenir la tension de sortie à 220V. La lecture de la tension et le courant à la sortie de l'onduleur permettra de calculer la puissance fournie.

## 4.4 Choix du microcontrôleur

La topologie proposé précédemment et les supports de communications choisis nous indique les critères suivantes :

- Avoir un module PWM de 6 canaux, et d'être compatible avec un DMA de préférence.
- Un convertisseur analogique numérique de 5 canaux.
- Deux module d'UART.
- Un module d'Ethernet.

Après une étude détaillée, le microcontrôleur adapté à ces contraintes est MCF52230 d'architecture Coldfire V2 de Freescale. Il est principalement caractérisé par :

- Noyau Coldfire V2 avec 56 MIPS @ 60MHz en exécutant à partir de la mémoire Flash interne.
- Fast Ethernet Controller (FEC)
- Ethernet Transceiver (EPHY)
- Trois universal asynchronous/synchronous receiver/transmitters (UARTs)
- 8 canaux de 12bits d'ADC
- 4 canaux de direct memory access (DMA)
- 8/4 canaux de 8/16 bits PWM

### 4.4.1 Ethernet

Ce microcontrôleur dispose d'un Fast Ethernet Controller (FEC) qui s'occupe de la communication avec le protocole Ethernet. Ce module utilise les broches suivantes :

- PHY\_RXN et PHY\_RXP pour la réception.
- PHY\_TXN et PHY\_TXP pour la transmission.
- PHY\_VDDA, PHY\_VDDTX et PHY\_VDDRX pour l'alimentation, ils ont lié à la masse à travers une capacité de découplage de 100nF.
- PHY\_RBIAIS pour une tension de référencement, doit être lié à une résistance lié à la masse de 12.4k $\Omega$  1%.
- PHY\_VSSA, PHY\_VSSTX et PHY\_VSSRX lié directement à la masse.
- PHY\_ACT et PHY\_LNK pour commander les LEDs d'activité et de connexion.

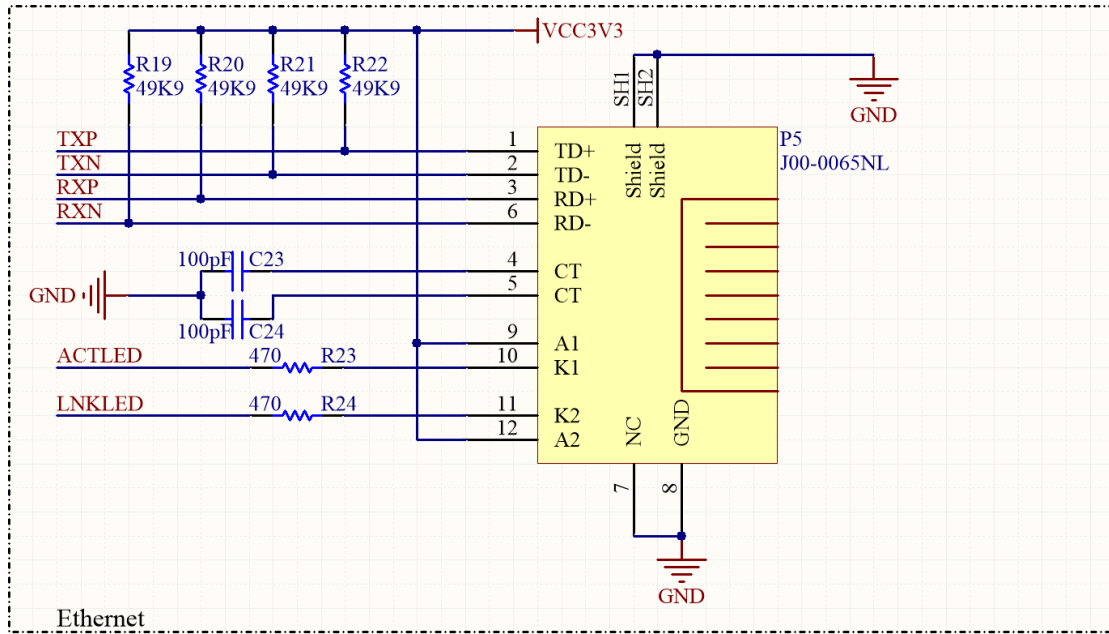


FIGURE 4.4 – La connexion du connecteur RJ-45

Les broches PHY\_RXN, PHY\_RXP, PHY\_TXN et PHY\_TXP sont connecté aux RD-, RD+, TD- et TD+ respectivement avec une résistance de rappel d'une valeur de 49.9k $\Omega$ . Les résistances  $R_{23}$  et  $R_{24}$  limite le courant pour les LEDs. Le connecteur RJ-45 inclue des transformateurs de d'isolement.

#### 4.4.2 RS-232

Le schéma de la communication RS-232 est assez simple, il fait appel à un circuit intégré qui fait la conversion de 3.3V issue du microcontrôleur à  $\pm 12V$  et inversement.

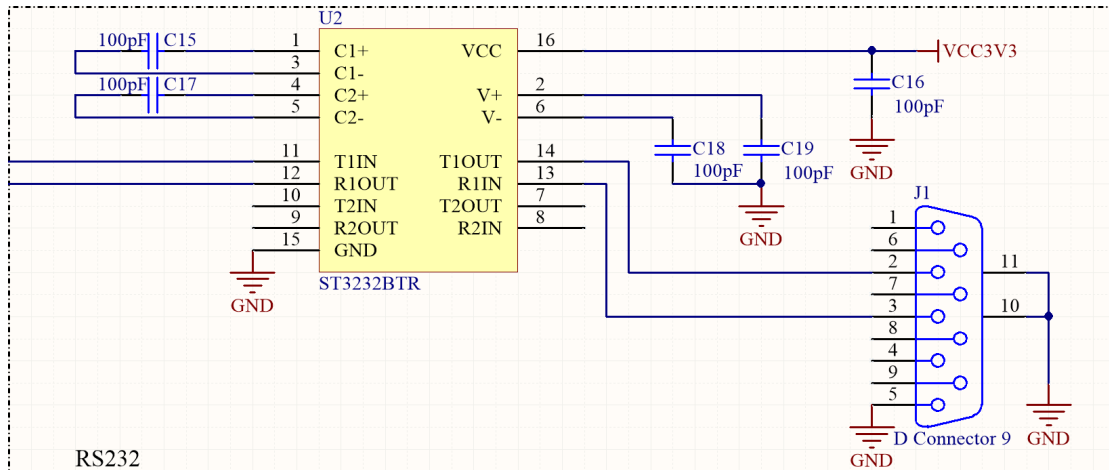


FIGURE 4.5 – La communication RS-232

## Chapitre 5

# Algorithme et implantation

Ce chapitre va cerner le programme avec toute ses parties (algorithme, système d'exploitation...) qui sera implanté dans le microcontrôleur.

### 5.1 Système d'exploitation MQX

Freescall MQX est un système d'exploitation temps réel (RTOS) qui offre des performances en temps réel dans des microcontrôleurs de taille petite. Il est très intégré avec les derniers microcontrôleurs 32bit de Freescall.

MQX est conçu pour avoir une architecture microkernel basé sur des blocs, permettant ainsi une personnalisation des options, de la taille et la vitesse en activant seulement les blocs voulu.

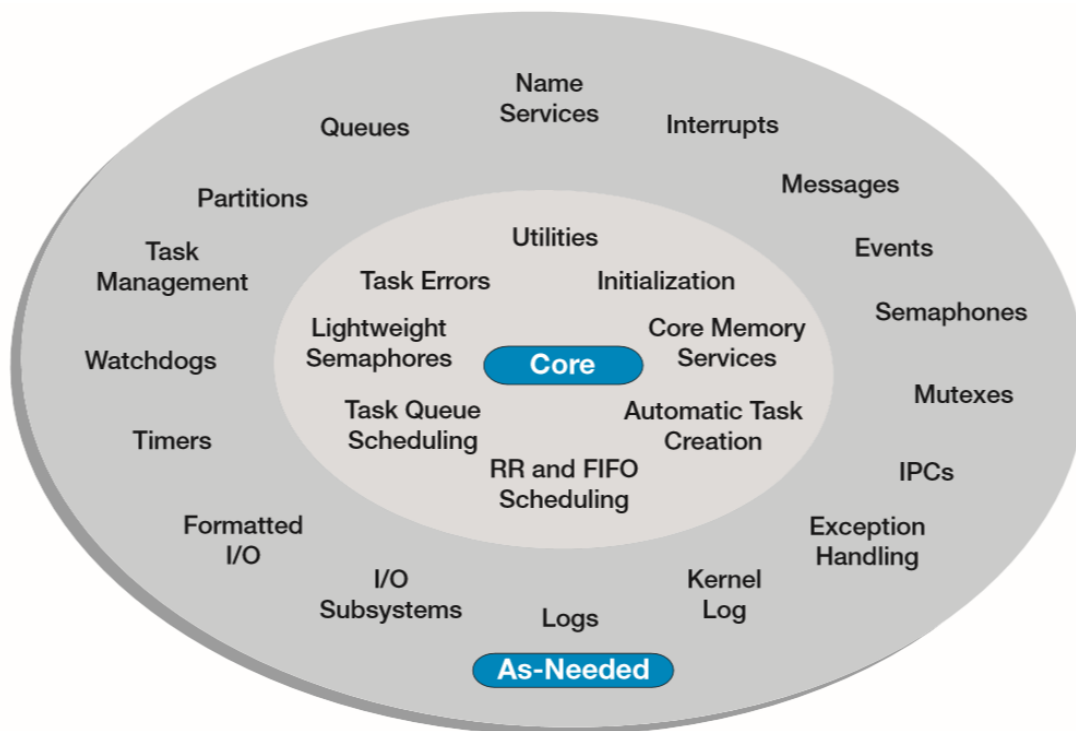


FIGURE 5.1 – Blocs personnalisables de MQX RTOS

La robustesse et la fiabilité de MQX RTOS donne une plateforme de confiance pour les applications critiques. MQX est certifié pour les applications médicales ((CFR 820.30 PART 21, IEC 60601-1) et aérospatiales (DO-178B). Les applications critiques de sécurité basé sur MQX comprennent l'équipement de chirurgie de l'œil, matériel d'injection de drogues, de l'équipement de surveillance de la dose de rayonnement, les systèmes de freinages des avions, et les équipements de navigation de l'avion.

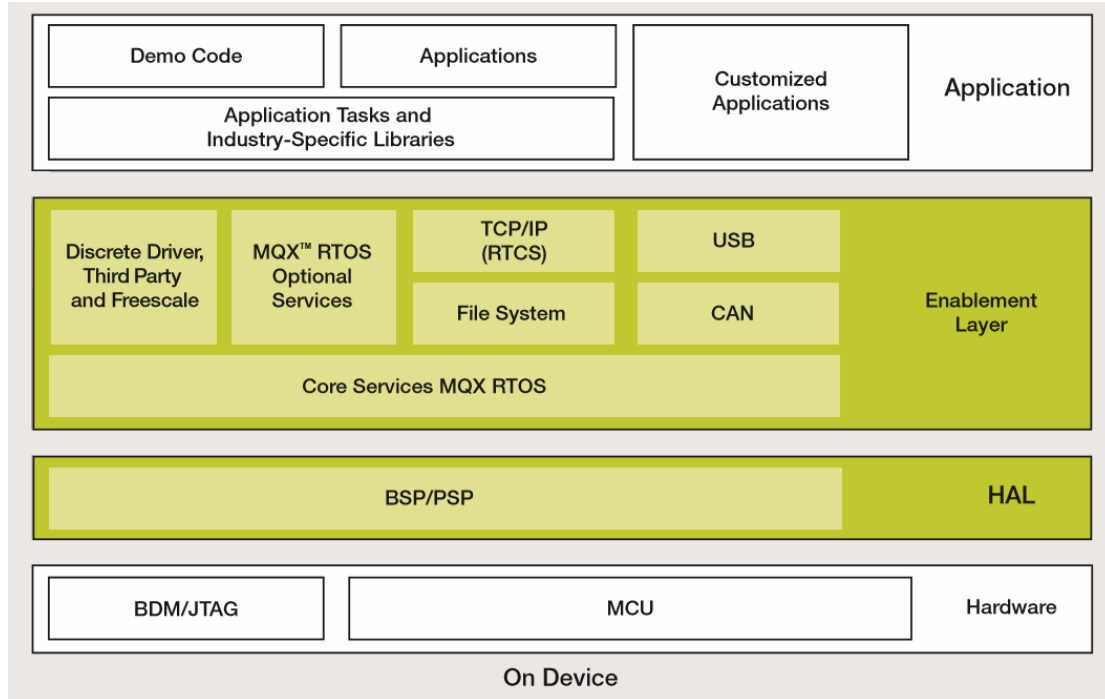


FIGURE 5.2 – Solution Freescale MQX

## 5.2 Les tâches

En utilisant le système d'exploitation MQX RTOS, tout ce qui reste à faire dans la partie programme est de créer des sous-programmes appelés les tâches. Ces tâches seront exécuté en parallèles par ordre de priorité en utilisant l'algorithme Round-Robin. Durant ce stage, je n'ai pas pu réaliser les programmes, par faute de temps. Mais, je vais présenter brièvement les tâches planifiés.

### 5.2.1 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

C'est une tâche qui s'occupera de la maximisation de la puissance en utilisant l'algorithme P&O. cette tâche sera exécuté périodiquement suivant un intervalle qui varie selon le changement de puissance. L'annexe C présente en détail l'algorithme de la MPPT.

### 5.2.2 Régulation

La tâche de la régulation consiste à maintenir la tension sinusoïdale de sortie à 220V. il s'occupera de la lecture de la tension de sortie, prendre une décision, et agir sur les signaux PWM.

### 5.2.3 Communication

La tâche de la communication va devoir s'occuper de trouver le serveur qui va stocker les informations collecté régulièrement. Ces informations seront éventuellement la puissance délivré par le panneau, la puissance absorbé par les charges, les valeurs de tensions et courant mesuré au fil du temps... Elle doit aussi exécuter des commandes délivré par le serveur qui seront défini ultérieurement.



# Conclusion

Lors de mon stage qui a duré deux mois à MAScIR, j'ai eu l'occasion de travailler sur le module communication du micro-onduleur. En commençant par l'étude et le choix du support de communication le mieux adapté pour ces types d'applications, la communication Ethernet et Power Line Communication s'avèrent les plus qualifiés pour un tel usage.

L'implémentation de la communication PLC commence par le choix d'un modulateur du signal, suivi d'un dimensionnement du circuit d'injection qui est composé de filtres de transmission et de réception et d'un montage d'isolation. La communication Ethernet dans ce projet dépend fortement du microcontrôleur, par ce que le microcontrôleur choisi inclus les composants nécessaires pour ce type de communication.

La deuxième partie de mon stage était de regrouper la partie commande et communication en un seul circuit imprimé et en utilisant un seul microcontrôleur. Le travail a été surtout focalisé sur le choix idéal du microcontrôleur pour l'intégrer avec le reste des modules, et le design du circuit imprimé.

Parmi les difficultés rencontrées, l'insuffisance de deux mois pour développer les programmes, que ça soit du côté client (micro-onduleur) ou côté serveur.





# Annexe A

## CENELEC - EN 50065-1

SIGNALLING ON LOW-VOLTAGE ELECTRICAL INSTALLATIONS IN THE FREQUENCY RANGE 3 KHZ TO 148,5 KHZ - PART 1 : GENERAL REQUIREMENTS, FREQUENCY BANDS AND ELECTROMAGNETIC DISTURBANCES

**Scope** This standard applies to electrical equipment using signals in the frequency range 3 kHz to 148,5 kHz to transmit information on low voltage electrical systems, either on the public electricity distribution network or within installations in consumers' premises.

It specifies the frequency bands allocated to the different applications, limits for the terminal output voltage in the operating band and limits for conducted and radiated disturbance. It also gives the methods of measurement.

It does not specify the modulation methods, the coding methods or functional features (except those for the prevention of mutual interference).

Environmental requirements and tests are not included.

NOTE 1 Compliance with this standard does not imply permission to establish communication with locations outside the consumer's installation or with other consumers through the public electricity distribution network where this would not otherwise be allowed.

The object of the standard is to limit mutual influence between transmission equipment in electrical installations and between such equipment and other equipment. In addition this standard is intended to limit interference caused by signal transmission equipment to sensitive electronic equipment. However, complete freedom from such interference cannot be assured.

NOTE 2 Designers should consider signalling systems in conformance with this standard when determining immunity for electrical equipment.



## Annexe B

# CSMA

CSMA est l'acronyme de "Carrier Sense Multiple Access" (Écoute d'un Support à Accès Multiple). Il s'agit d'un ensemble de protocoles d'accès à un média. Ceux-ci vérifient que le support est disponible avant de commencer l'envoi d'une trame. Ils permettent également de détecter ou bien éviter les collisions de messages dans les transmissions.

Pour éviter des erreurs lors de la transmission de données, il est nécessaire d'éviter les collisions. Cependant, selon le média et d'autres paramètres (débit, distance, codage...), il n'est pas possible d'utiliser une seule et unique méthode.

Il existe trois méthodes employées dans les réseaux :

CSMA/CD : Collision Detection.

CSMA/CA : Collision Avoidance.

CSMA/CR : Collision Resolution (aussi appelé CSMA/BA pour "Bitwise Arbitration" ou CSMA/AMP pour "Arbitration on Message Priority").

Avant d'entrer dans la technique, il est utile pour une bonne compréhension de faire une analogie avec un groupe de personnes souhaitant discuter entre elles :

CSMA/CD correspond à un groupe dans lequel chaque personne peut prendre la parole quand elle le souhaite (lors d'un silence). Si deux personnes parlent en même temps, elles s'arrêtent et attendent un petit temps (aléatoire pour chaque personne).

CSMA/CA ressemble plus à un groupe d'élèves dans une classe : lorsqu'un élève veut parler, il doit lever la main et l'enseignant va l'autoriser à parler pour une durée définie. Si un élève au premier rang lève la main, il ne peut pas voir celui qui a levé également la main au fond, d'où l'importance du rôle de l'enseignant.

CSMA/CR sera plus difficile à imaginer : dans un groupe de personnes, si deux personnes parlent en même temps, elles continuent de le faire tant qu'elles disent strictement la même chose. Dès que les paroles divergent, un arbitrage logique est fait et l'une des personnes s'arrête, laissant l'autre terminer sa phrase.

**CSMA/CD (Collision Detection)** La méthode CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection) est dérivée d'un système de transmission radio appelé Aloha. Son principe est de laisser chacun libre de gérer ses émissions en fonction de ses

besoins et de la disponibilité du média.

En l'absence d'information à transmettre, la station écoute (ou reçoit) les paquets qui circulent sur le média dans un sens ou dans l'autre. Quand la station a besoin d'émettre un ou plusieurs paquets, elle vérifie qu'aucune trame n'est émise sur le média. Si c'est le cas elle commence à émettre son paquet. Si ce n'est pas le cas elle attend la fin de la transmission en cours.

Chaque machine ayant à tout instant la possibilité de commencer une transmission de manière autonome, la méthode d'accès est distribuée : elle est dite à accès multiple (Multiple Access : MA). La machine observe le média en cherchant à détecter une porteuse (Carrier Sense : CS). Si aucune trame n'est transmise, elle ne trouve pas de porteuse.

Elle envoie ses paquets sur le support physique et reste à l'écoute du résultat de son émission pendant quelque temps, pour vérifier qu'aucune autre machine n'a suivi le même comportement qu'elle au même instant.

La méthode d'accès étant à détection de collision (Collision Detect : CD), lors de son émission une machine peut déceler un problème de contention, et s'arrêter avec l'intention de renvoyer son paquet ultérieurement quand elle aura de nouveau la parole. De façon à minimiser le risque de rencontrer une deuxième collision avec la même machine, chacune attend pendant un délai aléatoire avant de tenter une nouvelle émission.

Cependant, de manière à ne pas saturer un réseau qui s'avérerait déjà très chargé, la machine n'essaiera pas indéfiniment de retransmettre un paquet si à chaque tentative elle se trouve en conflit avec une autre ; après un certain nombre d'essais infructueux (le nombre maximum de reprises est de 16) le paquet est éliminé. On évite ainsi l'effondrement du réseau. Les couches supérieures sont averties que la transmission du message a échoué.

**CSMA/CA (Collision Avoidance)** La méthode CSMA/CA s'utilise dans les réseaux sans-fil. En effet, contrairement aux réseaux filaires, deux stations peuvent émettre vers une troisième sans se détecter (la première étant hors de portée de la seconde).

Pour éviter cela, une station est considérée comme le maître des transmissions qui autorise une station à communiquer lorsque celle-ci le demande. Pour cela, la station doit émettre une courte trame RTS (Ready To Send) contenant quelques informations sur la communication (débit, longueur de la trame, etc.)

Si la station maître accepte cette communication, elle renvoie alors une trame CTS (Clear To Send) et la station peut transmettre son message. En revanche, si la station ne reçoit pas de message elle doit attendre à nouveau avant de redemander une autorisation d'émettre.

C'est la méthode utilisée dans les réseaux WiFi (802.11) et la station maître est généralement le point d'accès (AP).

**CSMA/CR (Collision Resolution)** Cette méthode est légèrement plus évoluée que la méthode CSMA/CD : si plusieurs stations transmettent un message, elles appliquent un ET logique entre le signal reçu et le signal émis. Dans le cas d'une inégalité, la station s'arrête de transmettre. Comme le 0 est une valeur dominante, elle écrase donc le 1 (état récessif) : cela signifie que la communication de l'une des stations n'est pas modifiée et permet ainsi de terminer cette communication sans délai d'attente ou de retransmission.

Un réseau utilisant cette méthode peut alors être déterministe. C'est la méthode employée dans les réseaux CAN.



## Annexe C

# Description de MPPT

La puissance de sortie en courant continu provenant du panneau solaire est périodiquement calculée à l'aide de l'algorithme P&O pour MPPT.

Cette méthode est basée sur l'algorithme simple et efficace P&O. Dans le point d'une puissance  $P_1$ , vous pouvez essayer d'avoir une puissance supérieure du panneau solaire en augmentant le courant à partir du panneau. Cela donne un nouveau point de puissance  $P_2$ . La nouvelle puissance actuelle est calculée par le produit de la tension d'entrée et le courant d'entrée. Cette valeur est comparée avec la valeur échantillonnée précédente. Si la nouvelle valeur de puissance est supérieure à la valeur précédente, la puissance d'entrée augmente. Ainsi, la direction de déplacement de la courbe de puissance est correcte. Dans l'étape suivante, vous pouvez essayer de couler courant encore plus élevé à partir du panneau. La mesure de puissance dans le nouveau point peut être  $P_3$  en comparaison avec la valeur précédente. La prochaine étape est analogique — c'est dans le cas où la puissance de sortie du panneau solaire est plus faible ( $P_n$ ) — Retournez et essayer de trouver le point où la puissance provenant du panneau est la plus élevée. Les flèches de la figure ?? montrent la direction de déplacement du nouveau point de puissance. Le pas d'incrémentement dépend du changement de la puissance à l'étape précédente. Si la variation de puissance est plus élevée, le pas suivante est plus élevée. Si la variation de puissance est plus faible, le pas de la prise de courant est également plus petit suivant. La puissance en haut de la courbe (dans le point  $P_{max}$ ) est horizontalement plat. Cela signifie que la variation de puissance est faible et la variation du pas est également faible. Ainsi, le point de puissance maximale est prise très précis. La fréquence de la vérification de la puissance délivrée par le panneau solaire doit être suffisamment élevée pour suivre correctement le MPP lorsque les conditions d'éclairage sont rapidement changées.

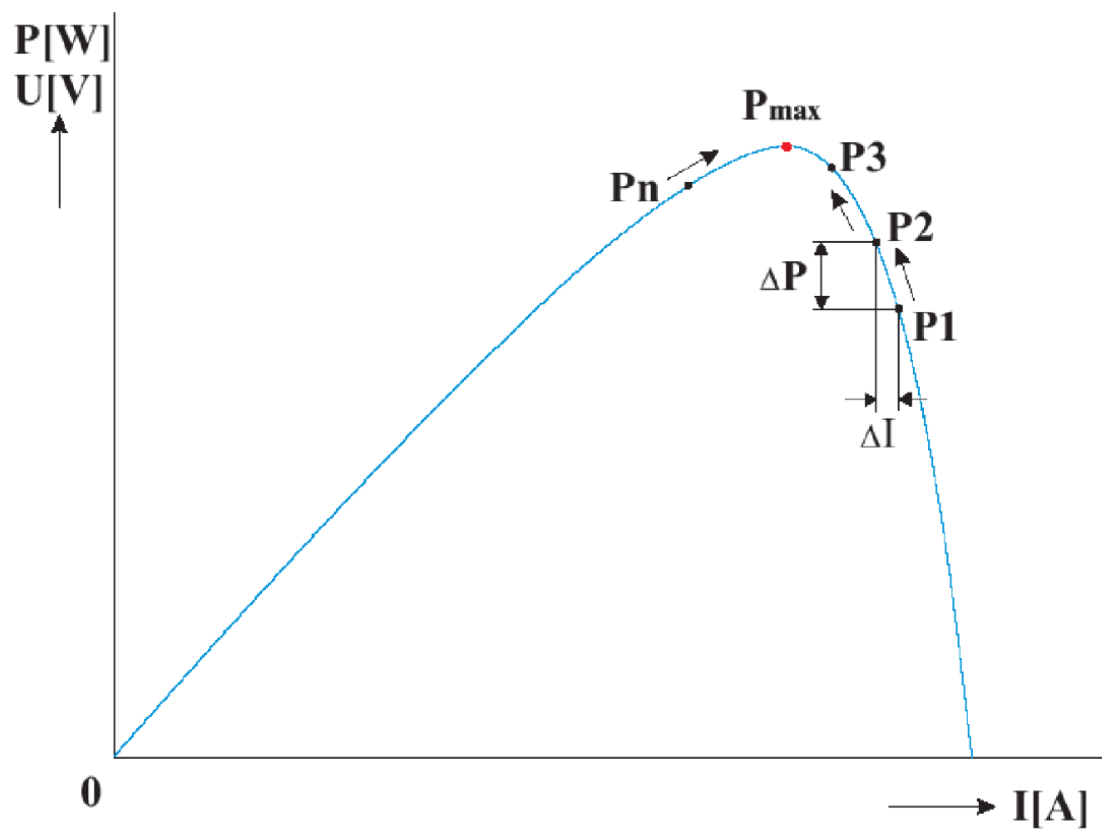


FIGURE C.1 – l'algorithme MPPT



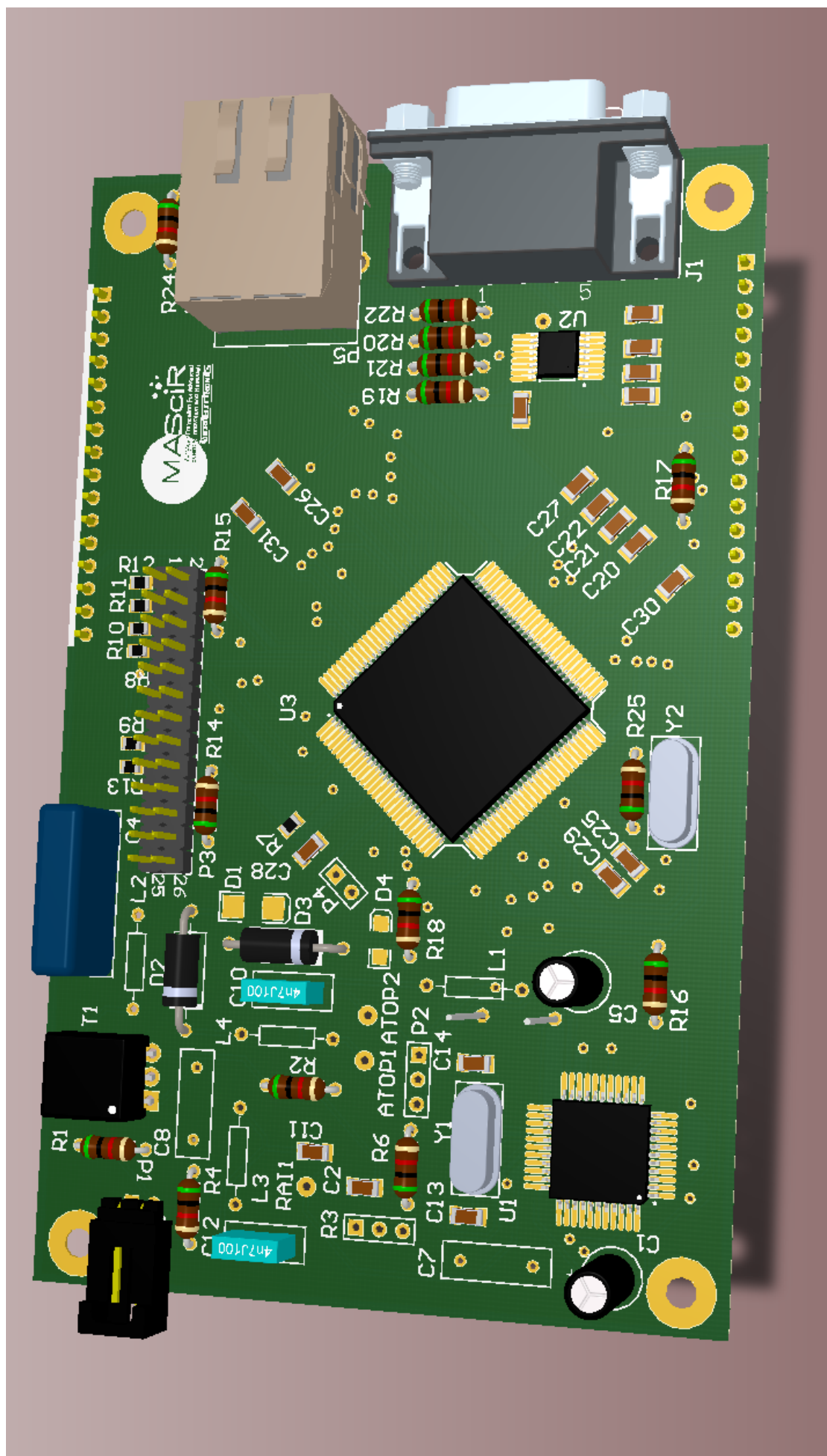
## Annexe D

### Schéma du Daughter-card



## Annexe E

### Schéma du circuit imprimé



# Bibliographie

- [1] (fr) Etienne DURIS, Loïc Heuzé, Woollams Kwame, Zidouri Hakima, *Courants porteurs en ligne*, Université Paris-Est Marne-la-Vallée(UPEM), Février 2005.
- [2] (en) ST Microelectronics, *ST7538Q*, Datasheet, Rev 1, July 2006.
- [3] (en) European Committee for Electrotechnical Standardization, *Standard : CENELEC - EN 50065-1*, April 01, 2011.
- [4] (en) ST Microelectronics, *ST7538Q FSK powerline transceiver demonstration kit description*, Application note, Rev 4, February 2008.
- [5] (en) Freescale Semiconductor, *Inverter for the Solar Panel using an MC56F8023*, Application note, Rev 0, September 2011.
- [6] (en) Freescale Semiconductor, *MCF52235*, Datasheet, Rev 10, March 2011.
- [7] (en) Axiom Manufacturing, *MCF52235 AXM-0384*, Schematics, Rev E1.
- [8] (en) Freescale Semiconductor, *Freescale MQX<sup>TM</sup> Software Solutions, Complimentary proven RTOS, TCP/IP, file system and USB*, Fact Sheet, Rev 10.