

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A/Mira de Béjaïa  
Faculté des Sciences Exactes  
Département d'Informatique

## MÉMOIRE DE MASTER PROFESSIONNEL

En  
Informatique

Option  
*Administration et Sécurité des Réseaux*

Thème

Réalisation d'un parking intelligent

Présenté par : Mr. Alia Lounes  
Mr. Ghera Elyes

Soutenu le 01 Juillet 2017 devant le jury composé de :

Président Mme S. ALOUI  
Rapporteur Mr A. BAADACHE  
Examineur Mr M.CHEKRID  
Examinatrice Mlle N. SAADI

Béjaïa, Juillet 2017.

## *\* Remerciements \**

*Avant tout, nous remercions Dieu de nous avoir donné le courage  
et la foie pour mener à bien ce travail, malgré tous les  
obstacles.*

*Nos plus vifs et profonds remerciements vont au Dr A.  
BAADACHE qui fut  
pour nous un superviseur attentif et disponible malgré ses  
responsabilités nombreuses. Sa compétence, sa clair voyance, son  
humanisme, son dynamisme, sa rigueur et sa patience nous ont  
beaucoup appris,  
nous lui témoignons notre respectueuse gratitude.*

*Nos plus sincères remerciements s'adressent également au membres de  
jury : M. NAFI, M<sup>me</sup>. ALOUI et M<sup>le</sup> SAADI pour avoir accepté  
d'examiner notre travail.*

*Que toute personne qui, d'une manière ou d'une autre, nous a  
encouragé  
et aidé à l'aboutissement de ce modeste travail, trouve ici  
l'expression de nos sincères reconnaissances.*

*Elyes et Lounes.*

※ *Dédicaces* ※

Je dédie ce travail à :

Les êtres les plus chers à moi, mes parents qui m'ont toujours soutenu et qui croient toujours en moi :

toutes les lettres ne sauraient trouver les mots pour vous exprimer mon amour, ma gratitude et reconnaissance.

Mon cher frère YOUNES.

Ma chère sœur ZINA.

Ma chère fiancée LYDIA.

Mes chers cousins MOH, AHMED, HOUARI, IMAD, ANIS, MAMINOU.

Mon cher binôme ELYES pour son bon cœur.

Mes chers amis DODO, DJIDJI, HASSAN, SAMIR, MENOVAR et LYES.

A toute ma famille.

*Lounes*

※ *Dédicaces* ※

Je dédie ce travail à :

Les êtres les plus chers à moi, mes parents qui m'ont toujours soutenu et qui croient toujours en moi :

toutes les lettres ne sauraient trouver les mots pour vous exprimer mon amour, ma gratitude et reconnaissance.

Mon cher frère IDIR.

Ma chère sœur KATIA.

Mon cher cousin KHALED ET MOUMOUH.

Mon cher binôme LOUNES pour son bon cœur.

Mes chers amis MENOUAR, LYES, YOUNES, DJAA, MOUMOUH, HAMZA.

A toute ma famille.

*Elyes*

# Table des matières

<b>Table des matières</b>	<b>i</b>
<b>Table des figures</b>	<b>v</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>vii</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Généralités sur les réseaux de capteurs sans fils</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction . . . . .	4
1.2 Définition des réseaux de capteurs RCSFs . . . . .	5
1.3 Architecture de communication dans les RCSFs . . . . .	6
1.4 Type de Topologie . . . . .	7
1.4.1 Réseau en étoile . . . . .	7
1.4.2 le réseau arbre (” cluster ” en anglais) . . . . .	8
1.4.3 le réseau maille (” mesh ” en anglais) . . . . .	9
1.5 Caractéristiques des RCSFs . . . . .	9
1.6 Routage des données dans un RCSF . . . . .	12
1.7 applications des RCSF [18] . . . . .	13
1.7.1 Découvertes de catastrophes naturelles . . . . .	13
1.7.2 Détection d’intrusions . . . . .	13
1.7.3 Applications métier . . . . .	13
1.7.4 Contrôle de la pollution . . . . .	13
1.7.5 Agriculture . . . . .	14
1.7.6 Surveillance médicale . . . . .	14

---

1.7.7	Contrôle d'édifices . . . . .	14
1.8	Contraintes de conception des RCSFs . . . . .	15
1.8.1	La tolérance aux fautes . . . . .	15
1.8.2	Passage à l'échelle . . . . .	16
1.8.3	Coûts de production . . . . .	16
1.8.4	L'environnement . . . . .	16
1.8.5	Topologie de réseau . . . . .	16
1.8.6	Contraintes matérielles . . . . .	16
1.8.7	Les médias de transmission . . . . .	17
1.8.8	La consommation d'énergie . . . . .	17
1.9	Conclusion . . . . .	17
<b>2</b>	<b>Architecture matérielle et logicielle d'un nœud capteur</b>	<b>19</b>
2.1	Introduction . . . . .	19
2.2	Architecture d'un nœud capteur . . . . .	19
2.2.1	Unité de mesure ou de capture (Sensing unit) . . . . .	20
2.2.2	Unité de calcul ou de traitement . . . . .	21
2.2.3	Unité de communication (Transceiver unit) . . . . .	21
2.2.4	Unité d'énergie (Power unit) . . . . .	21
2.3	Etude matérielle d'un nœud capteur . . . . .	22
2.3.1	unite de traitement . . . . .	22
2.3.1.1	FPGA . . . . .	22
2.3.1.2	INTEL 8051 . . . . .	23
2.3.1.3	LES PICS DE MICROCHIP . . . . .	24
2.3.1.4	Microcontrôleur ATMEGA128 . . . . .	24
2.3.1.5	Microcontrôleur ATMEGA 328 . . . . .	25
2.3.2	Les unités de communication . . . . .	26
2.3.2.1	Module radiofréquence . . . . .	26
2.3.2.2	Communication série . . . . .	29
2.3.3	Unité de capture (Sensing unit) . . . . .	30
2.3.3.1	Capteur passif . . . . .	30
2.3.3.2	Capteur actif . . . . .	33

---

2.3.4	Unité d'énergie . . . . .	34
2.3.5	Le systèmes d'exploitation pour les réseaux de capteurs sans fil	35
2.3.5.1	Système d'exploitation TinyOS . . . . .	36
2.4	Conclusion . . . . .	37
<b>3</b>	<b>Réalisation d'une maquette pour un parking intelligent</b>	<b>38</b>
3.1	Introduction . . . . .	38
3.2	Définition de la domotique . . . . .	39
3.2.1	Principe et fonctionnement de la domotique . . . . .	39
3.3	Définition d'un système de stationnement intelligent . . . . .	40
3.3.1	Avantages du système de stationnement intelligent . . . . .	40
3.3.2	Catégories de système de stationnement intelligent . . . . .	40
3.3.2.1	Système de guidage et d'information sur le stationnement (SIGP) . . . . .	41
3.3.2.2	Système d'information basé sur le transport en commun	41
3.3.2.3	Système de paiement intelligent . . . . .	41
3.3.2.4	E-parking . . . . .	42
3.3.2.5	Stationnement automatisé . . . . .	42
3.4	Notre parking intelligent miniature . . . . .	43
3.4.1	Matériels utilisés . . . . .	43
3.4.1.1	Présentation de la carte Arduino Uno . . . . .	43
3.4.1.2	Présentation de la carte aduino MEGA . . . . .	46
3.4.1.3	Caractéristique des différentes cartes Arduino . . . . .	47
3.4.1.4	Capteurs utilisés et leurs branchements . . . . .	47
3.4.2	Environnement logiciel utilisé . . . . .	51
3.4.2.1	Présentation de l'Espace de développement Intégré (IDE) Arduino . . . . .	51
3.4.3	Caractéristiques de notre maquette . . . . .	53
3.4.4	Contraintes du réalisation . . . . .	54
3.4.5	Organigrammes d'exécution de l'algorithme . . . . .	54
3.4.5.1	Organigramme de l'algorithme de detection de la présence d'un véhicule . . . . .	54

---

3.4.5.2	Organigramme de l'algorithme du barriere . . . . .	55
3.4.5.3	Organigramme de l'algorithme de détection d'incendie	56
3.4.5.4	Organigramme d'algorithme du guidage . . . . .	56
3.4.6	Plan de l'application . . . . .	57
3.4.7	Résultat final de notre l'application . . . . .	58
3.5	Conclusion . . . . .	59
<b>Conclusion et perspectives</b>		<b>60</b>
<b>Bibliographie</b>		<b>62</b>

# Table des figures

1.1	Exemple d'un réseau de capteurs sans fil . . . . .	6
1.2	Architecture de communication dans les RCSFs [3] . . . . .	7
1.3	Topologie en Etoile du RCSF [16] . . . . .	8
1.4	Topologie en Arbre du RCSF . . . . .	9
1.5	Topologie Maillé . . . . .	9
1.6	Clustérisations d'un RCSF [5] . . . . .	12
1.7	Applications des RCSFs [18] . . . . .	15
2.1	Architecture d'un nœud capteur . . . . .	20
2.2	Microcontrôleur FPGA . . . . .	23
2.3	Microcontrôleur INTEL 8051 . . . . .	23
2.4	Microcontrôleur ATMEGA128 . . . . .	25
2.5	Capteur d'humidité et de température DHT11 . . . . .	31
2.6	Capteur d'humidité et de température DHT22 . . . . .	32
2.7	Capteur de gaz . . . . .	32
2.8	Capteur de luminosité . . . . .	33
2.9	Capteur sonar (ultrason) . . . . .	33
2.10	Les différents type de batteries . . . . .	35
3.1	Carte arduino Uno . . . . .	44
3.2	Shield Ethernet . . . . .	46
3.3	Carte Arduino MEGA, vue de face et de derrière . . . . .	46
3.4	Caractéristique des différentes cartes Arduino . . . . .	47
3.5	Branchement d'un capteur ultrason sur l'Arduino UNO . . . . .	48
3.6	Branchement d'un servo moteur sur l'Arduino UNO . . . . .	48

---

3.7	branchement d'une LED rouge sur l'Arduino UNO . . . . .	49
3.8	Branchement du capteur DHT11 sur l'Arduino UNO . . . . .	49
3.9	Branchement du moteur à courant continue à l'Arduino UNO . . . . .	50
3.10	Branchement du capteur de gaz MQ2 et d'un buzzer . . . . .	50
3.11	Présentation global des éléments de l'interface programmation de l'Ar- duino . . . . .	52
3.12	Présentation des fonctionnalités des boutons de l'interface de program- mation (IDE) . . . . .	53
3.13	Organigramme d'algorithme de detection de la présence d'un véhicule	55
3.14	Organigramme d'algorithme du barriere . . . . .	55
3.15	Organigramme d'algorithme de détection d'incendie . . . . .	56
3.16	Organigramme d'algorithme du guidage . . . . .	57
3.17	Plan de la maquette du parking intelligent miniature . . . . .	57
3.18	Présentation de la maquette du parking intelligent . . . . .	58

# Liste des tableaux

2.1 Comparaison des standards de communication . . . . . 29

# Introduction générale

Depuis quelques décennies, le besoin d'observer éventuellement de contrôler les phénomènes physiques est essentiel pour de nombreuses applications. Cette tâche est déléguée aux capteurs dont la fonction est l'acquisition de l'information sur les phénomènes observés. L'utilisation des capteurs n'est pas une nouveauté en soi. En effet, grâce aux récents progrès des technologies sans fil, les capteurs peuvent communiquer non seulement de proche en proche mais aussi d'acheminer de l'information à tous les nœuds connectés au réseau. Nous sommes ainsi affranchi de la contrainte du câblage, qui limitait considérablement le déploiement d'un grand nombre de nœud de capteurs collaboratifs afin de surveiller une zone plus large pour plus d'efficacité.

Les réseaux de capteurs sans fil ont été classés parmi les 21 technologies les plus importantes du 21<sup>ème</sup> siècle. En effet, la recherche dans le domaine des capteurs est en train de vivre une révolution importante, ouvrant des perspectives d'impacts significatifs dans de nombreux domaines telle que la domotique, le transports, la santé ou encore la surveillance de phénomènes environnementaux, ceux-ci pourront énormément tirer parti de dispositifs innovants. Ceci fait référence au concept de l'intelligence ambiante.

Les limites imposées sont la limitation des capacités de traitement, de stockage et surtout d'énergie. La liberté laissée à l'implantation est forte et impose une conception complète de l'infrastructure, des mécanismes et des protocoles en

fonction de l'application visée.

Pour ce qui nous concerne, nous nous sommes intéressé au domaine d'application des RCSFs "la domotique " se domaine très vaste qui peut être appliqué à toute les bâtisses moderne et aussi il s'adapte aux anciennes des avantage visé comme économiser l'énergie, améliorer le confort, la flexibilité, la communication et la sécurité du bâtiment dans notre cas, nous sommes intéressés sur le cas de la réalisation d'un parking intelligent.

Le smart parking (stationnement intelligent) a été développé pour diverses raisons. Depuis plusieurs années, les responsables de plusieurs villes ont remarqué que leurs conducteurs avaient de réels problèmes pour trouver une place de parking facilement. Il y peu de places et le délai de stationnement est souvent mal adapté. Cela entraine un bouchonnement des villes, d'après une étude, Un problème de pollution se pose également, les automobilistes qui tournent dans la ville pour chercher une place de parking polluent la ville sans se rendre compte. Le temps de recherche entraine aussi l'énerverment des usagers ce qui n'aide pas à trouver une place, En effet un milliard d'heures sont perdues tous les jours pour chercher une place de parking dans le monde. Il a été calculé que dans les grandes villes comme Sydney, New York ou Londres, le temps moyen pour trouver une place se situe entre 3.5 et 14 minutes ce qui peut être largement diminué avec le smart parking.

Pour cela nous proposons une solution sous forme d'une maquette d'un parking intelligent miniature avec toutes les commodités nécessaires pour le guidage à l'intérieure et à l'extérieure du parking et l'accès à distance de l'information. Pour mener à bien notre travail, nous l'avons organisé en trois chapitres comme suite : dans le premier chapitre, nous allons donner des généralités sur les RCSFs , ce chapitre constitue une introduction au domaine très vaste des RCSFs. Nous présenter les concepts les plus importants liés à la mise en œuvre d'un réseau de capteur, ces caractéristiques et différents exemples domaines d'application. Dans le deuxième nous allons détailler l'architecture Matérielle et logicielle des nœuds capteurs, Ce chapitre est consacré à définir chaque unité qui compose un nœud capteur, donner

les composent les plus utilisés dans les réseaux de capteur sans fil et la différence entre les systèmes d'exdestiné aux réseaux de capteurs et les sytemes d'exploitation classiques ainsi des base sur le system tinyOS. Le troisième chapitre à la réalisation d'une maquette d'un parking intelligent, dans ce chapitre, nous allons définir la domotique et ses avantage et puis une introduction sur le stationnement intelligent. Ensuite, nous présenterons notre Project on détail sur le plan matérielle et logicielle de RSCF spécifique sur l'aide au stationnement. Nous allons conclure ce mémoire par une conclusion qui recapitule notre travail.

# Généralités sur les réseaux de capteurs sans fils

## 1.1 Introduction

Le progrès dans le domaine des communications sans fil ont donné naissance à des composants capables de prélever des mesures physiques et des données environnementales. Ces composants sont appelées des noeuds capteurs et ils ont la capacité de s'auto-organiser pour former un réseau de capteurs sans fils<sup>1</sup> (RCSF). Les RCSFs permettent de faciliter le suivi et le contrôle à distance avec une meilleure précision. Ils peuvent aussi être déployés pour exploiter diverses applications (environnementales, militaires, médicales, etc.). Un réseau de capteurs est constitué généralement d'un grand nombre de noeuds capteurs car ces derniers sont des sujets de panne diverse. Chaque noeud est composé principalement d'un ou plusieurs capteurs, d'une unité de traitement et d'un module de communication. Ces noeuds communiquent entre eux selon une certaine topologie du réseau afin d'acheminer les informations à un centre de contrôle distant de la zone de leurs déploiement appelée une station de base. La mise en place d'un RCSF pose de nombreux problèmes, par exemple le routage des informations vers la station de base via les différents noeuds du réseau. Pour résoudre les contraintes des RCSFs, plusieurs contributions ont été proposées dans la littérature. Ces contributions visent à minimiser la consommation d'énergie afin d'optimiser l'autonomie des noeuds qui constituent le réseau, dans le but de garantir une longue durée de vie pour le réseau entier. Dans ce chapitre, nous allons

donner un aperçu sur les réseaux de capteurs sans fil. Pour cela, nous allons commencer par la définition, leurs architecture, leurs caractéristiques, ensuite nous allons présenter la topologie, les différents facteurs de conception, ainsi que les domaines d'application des réseaux de capteurs sans fil et nous allons conclure ce chapitre par une conclusion.

## 1.2 Définition des réseaux de capteurs RCSFs

La figure 1.1 représente un exemple d'un réseau de capteurs sans fil, Les réseaux de capteurs sont des systèmes qui regroupent plusieurs capteurs afin de couvrir une zone cible. Cette zone peut être géographique ou délimitée par un système plus ou moins étendu : un ouvrage d'art, un ensemble mécanique, un outillage, un réseau télécoms, Les réseaux de capteurs connaissent de multiples applications telles que la métrologie environnementale, urbaine ou industrielle.

Dans un réseau, ces capteurs peuvent interagir entre eux ou avec un système externe (par exemple Internet), par des communications sans fil ou filaire. Les réseaux de capteurs sans-fils ou " Wireless Sensor Networks ". Concentrent les dernières avancées technologiques et représentent l'opportunité de nouvelles applications.

Les capteurs sans fil communiquent entre eux par des ondes radioélectriques. N'étant pas intégrés à un réseau préexistant : les capteurs communiquent grâce à un réseau dit " ad hoc ", capable de s'organiser sans infrastructure définie préalablement. Ceci implique que chaque capteur puisse retransmettre une information indépendamment ou avec l'aide des autres capteurs et ceci afin d'envoyer l'information à une " station de base " capable de transmettre l'information à l'utilisateur final, par internet ou un réseau télécom GSM dans la majorité des cas.

Les capteurs sont capables de mesurer des grandeurs physiques (distance, coordonné GPS, vitesse, poids...etc.), chimiques ou biologiques, de traiter ces informations et de les stocker. Ils sont alimentés par batteries pour exécuter des tâches comme le traitement de l'information et la communication.[3]

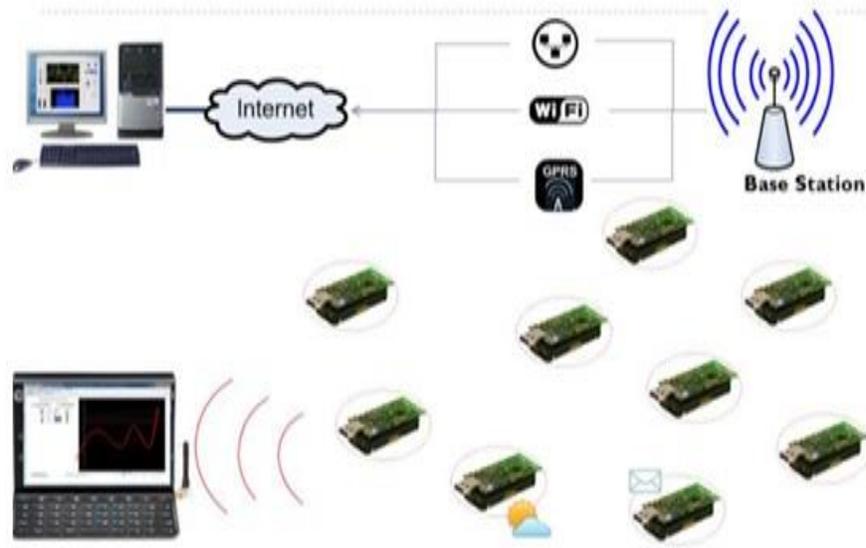


Figure 1: Fonctionnement des réseaux de capteurs

FIGURE 1.1 – Exemple d'un réseau de capteurs sans fil

### 1.3 Architecture de communication dans les RCSFs

Le processus d'acheminement de l'information des capteurs L'information vers la station de base peut prendre quatre formes. Dans les architectures à plat, les capteurs peuvent communiquer directement avec la station de base en utilisant une forte puissance (figure 1.2 (a)), ou via un mode multi-sauts avec des puissances très faibles (figure 1.2 (b)), alors que dans les architectures hiérarchisées, le nœud représentant le cluster, appelé cluster-head , transmet directement les données à la station de base (figure 1.2 (c)), ou via un mode multi-saut entre les cluster-heads (figure 1.2 (d))[13].

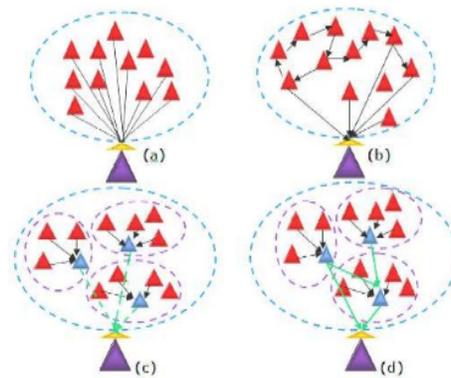


FIGURE 1.2 – Architecture de communication dans les RCSFs [3]

## 1.4 Type de Topologie

### 1.4.1 Réseau en étoile

Une architecture de réseau étoile est composée d'un coordinateur du réseau de capteurs sans fil et d'une pluralité de nœuds capteurs sans fil. Le réseau étoile est particulièrement adapté à deux types d'applications :

- " Transmission RF en dynamique : l'absence de nœuds de routage permet de réduire fortement le temps de latence due aux mécanismes de re-routage des données de mesure.
- " Transmission RF en champs libre, où très peu d'obstacles sont présents [9].

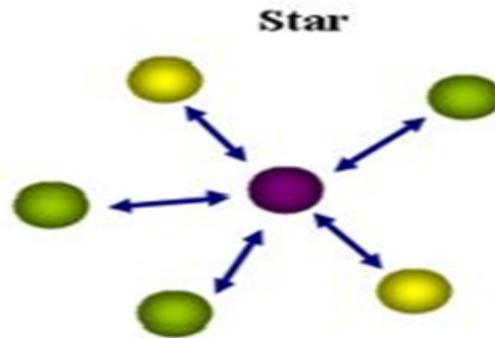


FIGURE 1.3 – Topologie en Etoile du RCSF [16]

### 1.4.2 le réseau arbre (” cluster ” en anglais)

Un réseau arbre est composé d’une ” route principale ” par laquelle transitent toutes les Informations échangées entre les capteurs sans fil. Ce type de réseau est constitué de la façon suivante :

- ” Des capteurs sans fil qui enregistrent et transmettent les informations des capteurs.
- ” Des routeurs sans fil qui constituent la route principale d’échange d’informations.
- ” Un coordinateur du réseau de capteur sans fil qui organise et transmet les informations en provenance du réseau sans fil vers l’application de supervision du réseau sans fil [9].

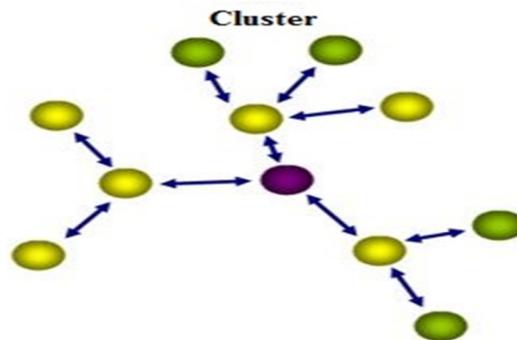


FIGURE 1.4 – Topologie en Arbre du RCSF

### 1.4.3 le réseau maille (" mesh " en anglais)

Le principal point fort d'un réseau mesh est de s'adapter rapidement vis-à-vis de l'environnement du client. Une topologie de réseau maillé offre la possibilité de faire circuler les données de mesure en empruntant plusieurs chemins possibles.

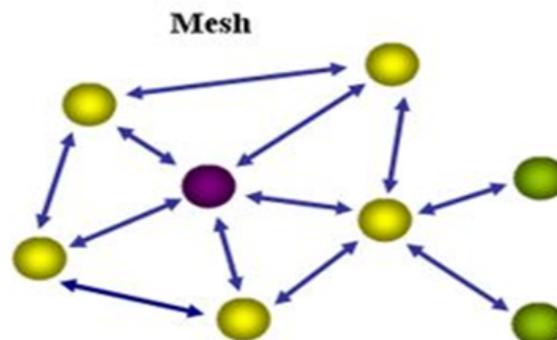


FIGURE 1.5 – Topologie Maillé

## 1.5 Caractéristiques des RCSFs

- **Durée de vie** C'est l'intervalle de temps qui sépare l'instant de déploiement du réseau de l'instant où l'énergie du premier nœud s'épuise. Selon l'applica-

tion, la durée de vie exigée pour un réseau peut varier entre quelques heures à plusieurs années selon l'emplacement de la zone d'intérêt[16].

- **Tolérance aux fautes, adaptabilité et fiabilité dans un RCSF** Les réseaux de capteurs devraient être capables de s'auto-organiser. La fiabilité est la capacité de maintenir les fonctionnalités de réseau de capteurs sans la moindre interruption qui sera due à l'échec du nœud capteur. Ce dernier peut échouer en raison du manque d'énergie, de dommages physiques, de problèmes de communication, d'inactivité, ou d'interférence environnementale. De ce fait, le réseau devrait pouvoir détecter l'échec d'un nœud et s'organiser, se reconfigurer et récupérer des échecs de nœud sans desserrer aucune information.
- **Passage à l'échelle dans un RCSF** Le nombre de capteurs utilisés dans les réseaux de capteurs sans fil peut varier de quelques entités à plusieurs dizaines de milliers. C'est pour cela là les réseaux de capteurs doivent pouvoir s'auto-organiser à une grande échelle et être efficace quel que soit leur nombre. Pour cela les protocoles des réseaux de capteurs sans fil doivent être capables de fonctionner et de s'adapter selon le nombre de nœuds.
- **Faible puissance de calcul dans un RCSFs** Malgré les progrès récents dans la fabrication de capteurs de plus en plus puissants, les capteurs actuels souffrent d'un manque de puissance de calcul. Cette faible puissance ne permet pas d'utiliser des algorithmes complexes, et particulièrement des algorithmes cryptographiques qui demandent des ressources CPU. De plus, la vocation des capteurs sans fil est d'être en très grand nombre et leur utilisation dans des applications avec un nombre de nœuds élevé nécessite l'utilisation de capteurs bon marché, ce qui implique des capteurs avec une puissance de calcul très faible. La faiblesse de puissance de calcul est aussi préjudiciable pour le temps de réponse du réseau. Si l'on demande à un capteur d'effectuer de nombreux calculs, la latence va sensiblement augmenter.
- **Bande passante limitée** Afin de minimiser la consommation d'énergie lors de transfert de donnée, les nœuds capteurs opèrent à bas débit. Typiquement, le débit utilisé est de quelques dizaines de Kb/s. Or, un débit de transmission

réduit n'est pas handicapant pour un réseau de capteurs où les fréquences de transmission ne sont pas importantes.

- **Sécurité** En fonction de l'application, la sécurité peut être critique. Le réseau devrait permettre la détection des intrusions pour assurer un fonctionnement correct contre les mauvaises manipulation ou attaques. L'écoute, le brouillage, et les attaques de en s'adaptant aux changements environnementaux que les retransmissions peuvent entraver ou empêcher l'opération. Par conséquent, le contrôle d'accès, l'intégrité des messages, et la confidentialité doit être garanti.
- **Qualité de Service** La qualité de service se réfère à la capacité du réseau à fournir des données fiable et à temps. Un grand nombre de service, à savoir, le débit ou la capacité de transport, ne sont pas généralement suffisant pour satisfaire un délai requis par une application, par conséquent, la vitesse de propagation de l'information peut être aussi cruciale que le débit. En plus de la capacité du réseau, de nombreux travaux importants dans les réseaux de capteurs sans fil se font pour garantir la qualité de service. Par exemple, dans certaines les applications de contrôle en temps réel, la valeur de l'information dégrade rapidement quand la latence augmente.
- **Energie d'un RCSF** Les capteurs sont équipés de batteries, L'énergie de ces batteries est limitée (plusieurs jours à quelques mois). De plus, les RCSF quand ils sont déployés, ils sont souvent dans des zones difficiles d'accès pour l'homme et les capteurs sont en général déployés pour ne plus être modifiés. Il devient alors inenvisageable de vouloir changer les batteries des capteurs. Si le nombre de capteurs dépasse la centaine d'entités, il est encore plus difficile d'intervenir pour trouver le capteur défaillant et changer sa batterie. La consommation de l'énergie des réseaux de capteurs sans fil doit être la plus faible possible. Dans ce but, les capteurs actuels ont des périodes de veille durant leur inactivité pour préserver leur batterie. Enfin les communications sont les actions qui coûtent le plus cher en termes d'énergie. Pour cela, il est donc fortement nécessaire de limiter le nombre de communications entre capteurs.

## 1.6 Routage des données dans un RCSF

Pour limiter le nombre de communications coûteuses en énergie, les réseaux de capteurs sans fil requièrent des protocoles de routage efficaces. Une des solutions employées par les protocoles de routage est la clustérisation, qui permet de diviser le réseau en plusieurs clusters. Dans chacun de ces clusters, un nœud maître (clusterhead) est élu et aura pour mission de récupérer les informations des nœuds du cluster dont il a la charge pour les transmettre aux autres clusters et inversement. Le choix du nœud maître dans un protocole de routage va être fait en désignant par exemple le nœud qui possède la plus grande quantité d'énergie, pour augmenter la durée de vie du réseau.

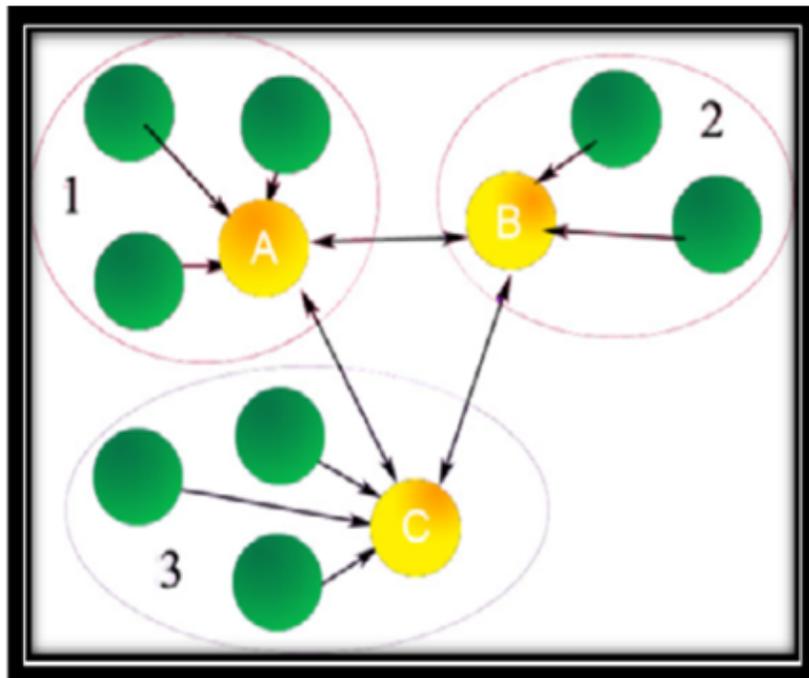


FIGURE 1.6 – Clustérisation d'un RCSF [5]

## 1.7 applications des RCSF [18]

Les RCSF peuvent avoir beaucoup d'applications. Parmi elles, nous citons :

### 1.7.1 Découvertes de catastrophes naturelles

On peut créer un réseau autonome en dispersant les nœuds dans la nature. Des capteurs peuvent ainsi signaler des événements tels que feux de forêts, tempêtes ou inondations. Ceci permet une intervention beaucoup plus rapide et efficace des secours.

### 1.7.2 Détection d'intrusions

En plaçant, à différents points stratégiques des capteurs, on peut ainsi prévenir des cambriolages ou des passages de gibier sur une voie de chemin de fer (par exemple) sans avoir à recourir à de coûteux dispositifs de surveillance vidéo.

### 1.7.3 Applications métier

On pourrait imaginer devoir stocker des données nécessitant un certain taux d'humidité et une certaine température (minimale ou maximale). Dans ces applications, le réseau doit pouvoir collecter les différentes informations et alerter en temps réel si les seuils critiques sont dépassés.

### 1.7.4 Contrôle de la pollution

On pourrait disperser des capteurs au-dessus d'un emplacement industriel pour détecter et contrôler des fuites de gaz ou de produits chimiques. Ces applications permettraient de donner l'alerte en un temps record et de pouvoir suivre l'évolution de la catastrophe.

### 1.7.5 Agriculture

Des nœuds peuvent être incorporés dans la terre. On peut ensuite questionner le réseau de capteurs sur l'état du champ (déterminer par exemple les secteurs les plus secs afin de les arroser en priorité). On peut aussi imaginer équiper des troupeaux de bétail de capteurs pour connaître en tout temps, leurs positions ce qui éviterait aux éleveurs d'avoir recours à des chiens de berger.

### 1.7.6 Surveillance médicale

En implantant sous la peau de mini capteurs vidéo, on peut recevoir des images en temps réel d'une partie du corps sans aucune chirurgie pendant environ 24h. On peut ainsi surveiller la progression d'une maladie ou la reconstruction d'un muscle.

### 1.7.7 Contrôle d'édifices

On peut inclure sur les parois des barrages des capteurs qui permettent de calculer en temps réel la pression exercée. Il est donc possible de réguler le niveau d'eau si les limites sont atteintes. On peut aussi imaginer inclure des capteurs entre les sacs de sables formant une digue de fortune. La détection rapide d'infiltration d'eau peut servir à renforcer le barrage en conséquence. Cette technique peut aussi être utilisée pour d'autres constructions tels que les ponts, les voies de chemins de fer, les routes de montagnes, les bâtiments et autres ouvrages d'art.

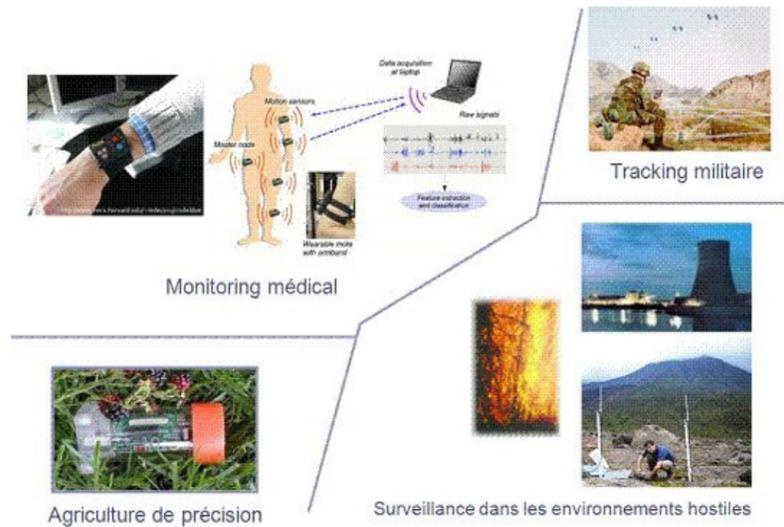


FIGURE 1.7 – Applications des RCSFs [18]

## 1.8 Contraintes de conception des RCSFs

Les principaux facteurs et contraintes influençant l'architecture des réseaux de capteurs peuvent être résumés comme suit :

### 1.8.1 La tolérance aux fautes

Certain nœuds peuvent générer des erreurs ou ne plus fonctionner à cause d'un manque d'énergie, un problème physique ou une interférence. Ces problèmes n'affectent pas le reste du réseau, c'est le principe de la tolérance de fautes. La tolérance de fautes est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau sans interruptions dues à une erreur intervenue sur un ou plusieurs capteurs.

### 1.8.2 Passage à l'échelle

Le nombre de nœuds déployés pour un projet peut atteindre le million. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de communications entre les nœuds capteurs et nécessite que la station de base doive être équipée d'une grande mémoire pour stocker les informations reçues.

### 1.8.3 Coûts de production

Souvent, les réseaux de capteurs sont composés d'un très grand nombre de nœuds. Le prix d'un nœud est critique afin de pouvoir concurrencer un réseau de surveillance traditionnel.

### 1.8.4 L'environnement

Les capteurs sont souvent déployés en masse dans des endroits tels que des champs de bataille au-delà des lignes ennemies, à l'intérieur de grandes machines, au fond d'un océan, dans des champs biologiquement ou chimiquement souillés. Par conséquent, ils doivent pouvoir fonctionner sans surveillance dans des régions géographiques éloignées.

### 1.8.5 Topologie de réseau

Le déploiement d'un grand nombre de nœuds nécessite une maintenance de la topologie. Cette maintenance consiste en trois phases : Déploiement, Post-déploiement (les capteurs peuvent bouger, ne plus fonctionner,...etc), Redéploiement de nœuds additionnels.

### 1.8.6 Contraintes matérielles

La principale contrainte matérielle est la taille du capteur. Les autres contraintes sont que la consommation d'énergie doit être moindre pour que le réseau survive le

plus longtemps possible, qu'il s'adapte aux différents environnements (fortes chaleurs, eau,..), qu'il soit autonome et très résistant vu qu'il est souvent déployé dans des environnements hostiles.

### 1.8.7 Les médias de transmission

Dans un réseau de capteurs, les nœuds sont reliés par une architecture sans-fil. Pour permettre des opérations sur ces réseaux dans le monde entier, le média de transmission doit être normalisé. On utilise le plus souvent l'infrarouge (qui est License-free, robuste aux interférences, et peu onéreux), le Bluetooth et les communications radio ZigBee.

### 1.8.8 La consommation d'énergie

Dans les RCSFs, les nœuds capteurs sont alimentés par des batteries qui sont limitées en énergie (2V). Dans la plupart des applications des RCSFs le remplacement de la batterie est impossible. Ce qui veut dire que la durée de vie d'un nœud capteur dépend grandement de la durée de vie de la batterie. Dans un RCSF (multi-sauts) chaque nœud collecte des données et envoie ou transmet des valeurs. Le dysfonctionnement de quelques nœuds nécessite un changement de la topologie du réseau et un re-routage des paquets. Toutes ces opérations demandent beaucoup de consommation d'énergie, c'est pour cette raison que les recherches actuelles se concentrent principalement sur les moyens de réduire cette consommation.

## 1.9 Conclusion

Les réseaux de capteurs sans fil présentent un intérêt considérable et une nouvelle étape dans l'évolution des technologies de l'information et de la communication. Cette nouvelle technologie suscite un intérêt croissant vu la diversité de ces applications : santé, environnement, industrie et même dans le domaine sportif. Nous avons présenté les RCSFs, leurs caractéristiques et les concepts nécessaires à la compréhension des réseaux de capteurs. Ensuite, dans le deuxième chapitre nous

définirons les nœuds capteurs en général et détailleront leurs architectures matérielles et logicielles pour guider notre choix sur les outils que nous allons utiliser pour notre projet.

# Architecture matérielle et logicielle d'un nœud capteur

## 2.1 Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil ont été conçus pour répondre aux besoins croissants d'observation et de contrôle de certains phénomènes physiques et biologiques. Pour surveiller l'environnement par exemple, on peut utiliser des capteurs de luminosité, de température, de mouvement, d'accélération, etc, associés à un microcontrôleur, à une puce radio et à une batterie. Dans ce chapitre, nous allons détailler les différents composants d'un nœud capteur à savoir l'unité de traitement, l'unité de stockage, l'unité de transmission et l'unité de l'énergie. Ainsi que le système d'exploitation destiné pour les RCSFS.

## 2.2 Architecture d'un nœud capteur

Un nœud capteur contient quatre unités de base : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de transmission et l'unité d'énergie. Il peut contenir également, suivant son domaine d'application des modules supplémentaires tels qu'un système de localisation (GPS), un système générateur d'énergie (cellule solaire) un système mobilisateur chargé de déplacer le micro-capteur en cas de nécessité [14].

On peut voir sur la figure ci-dessous les différents composants qui constituent



### 2.2.2 Unité de calcul ou de traitement

Cette unité est composée de mote, processeur, RAM : On appelle généralement mote la carte physique utilisant le système d'exploitation pour fonctionner. Celle-ci a pour cœur le bloc constitué du processeur et des mémoires RAM, cet ensemble est à la base du calcul binaire et du stockage temporaire pour les données et définitif pour le système d'exploitation. Cette unité est chargée d'exécuter les protocoles de communications qui permettent de faire collaborer le nœud avec les autres nœuds du réseau. Elle peut aussi analyser les données captées pour alléger la tâche du nœud puits [14].

### 2.2.3 Unité de communication (Transceiver unit)

Les équipements étudiés sont donc généralement équipés d'une radio ainsi que d'une antenne. Cette unité est responsable d'effectuer toutes les émissions et réceptions des données sur un medium sans fil. Elle peut être de type optique (comme dans les nœuds Smart Dust), ou de type radiofréquence. Les communications de type optique sont robustes vis-à-vis des interférences électriques. Néanmoins, elles présentent l'inconvénient d'exiger une ligne de vue permanente entre les entités communicantes. Par conséquent, elles ne peuvent pas établir de liaisons à travers des obstacles[14] .

### 2.2.4 Unité d'énergie (Power unit)

Batterie : Un micro-capteur est muni d'une ressource énergétique (généralement une batterie de type AAA) pour alimenter tous ses composants. Cependant, en conséquence de sa taille réduite, la ressource énergétique dont il dispose est limitée et généralement irremplaçable. Cette unité peut aussi gérer des systèmes de rechargement d'énergie à partir de l'environnement observé telles que les cellules solaires, afin d'augmenter la durée de vie totale du réseau

## 2.3 Etude matérielle d'un nœud capteur

Pour effectuer un choix judicieux du matériel composant un nœud capteur, il est essentiel de passer par une étude technologique de ce dernier. Nous commencerons par l'unité de traitement, ensuite l'unité de communication, l'unité de capture et enfin l'unité d'énergie. Concernant l'unité de capture, elle dépend du type d'application.

### 2.3.1 unite de traitement

Le choix de l'unité de traitement est fondamental dans la conception d'un nœud capteur vu qu'elle joue un rôle important dans la gestion de consommation d'énergie du nœud et dans la vitesse d'exécution de l'algorithme de commande du réseau et comporte la mémoire programme qui doit être assez grande pour pouvoir implémenter des programmes assez volumineux et complexe. Parmi les différentes unités de traitement existantes pouvant être utilisées dans un RCSF, nous évoquons les plus intéressantes :

#### 2.3.1.1 FPGA

Les FPGA (Field-Programmable Gate Array) sont des circuits intégrés reprogrammables carte de développement Nexys3 La carte de développement Nexys3 de Diligent utilise le FPGA Spartan (XC6LX16) de Xilinx. Cette carte offre un environnement de conception très adapté pour le prototypage d'applications variées dont celles des systèmes numériques à usage général et des systèmes embarqués. Cette carte est de plus idéale pour les applications de traitement vidéo et de traitement de signal en général. Ces circuits sont très puissants pour un simple nœud capteur, c'est pourquoi ils sont peu utilisés dans les RCSFs [2].



FIGURE 2.2 – Microcontrôleur FPGA

### 2.3.1.2 INTEL 8051

Le microcontrôleur Intel 8051 est l'un des microcontrôleurs les plus populaires à usage général. Il est l'origine de la famille MCS-51 de microcontrôleurs, qui comprend des puces de fournisseurs tels que : OKI, Dallas SC, Phillips, Siemens, groupe Atme. Les caractéristiques de ce microcontrôleur sont les suivantes : - CPU de 8 bits - une mémoire de programme ROM de 4Ko, - une mémoire de donnée RAM de 128 octets, - 32 entrées/sorties, - 2 compteurs/temporisateurs de 16 bits, - 1 Port série, Le C8051 n'est pas conçu pour la consommation faible énergie, et a une faible capacité mémoire qui ne peut supporter l'implémentation d'algorithme de commande[2].



FIGURE 2.3 – Microcontrôleur INTEL 8051

### 2.3.1.3 LES PICS DE MICROCHIP

Il existe une large gamme de microcontrôleur de Microchip, les PICs en est une. Les plus développés et utilisés sont les 16F 18F exemple caractéristique du microcontrôleur 18F 18F4520

- MCU de 8 bits.
- 48 MHz de fréquence d'horloge.
- Mémoire programme : 32 kbyte.
- Mémoire de donnée : SRAM 1536 byte, EEPROM 256 bytes.
- Nombre d'entrée/sortie 36.
- Courant en mode Sleep : 0.1A.
- Bus de communication SPI, I2C et Série.
- Convertisseur analogique numérique de 10 bits (13 canaux).
- Voltage de 5V.

### 2.3.1.4 Microcontrôleur ATMEGA128

Le microcontrôleur Microchip ATmega128 est un microcontrôleur 8 bits avec les caractéristiques suivantes :

- Fréquence d'horloge maximale 16 MHz.
- Taille de mémoire programme : 128 kB.
- Taille de la SRAM de données : 4 kB.
- Convertisseur analogique numérique 10 bits (8 canaux).
- Tension d'alimentation de fonctionnement de 4.5V à 5V.
- Température de fonctionnement de -40 °C à +85 °C.
- Taille de la mémoire de données : EEPROM 4 kB.
- Nombre d'entrées/sorties 53.
- Tension d'alimentation de fonctionnement entre 4,5-5,5 volts.
- Types d'interfaces : I2C, JTAG, SPI et USART.

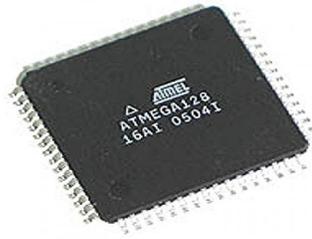


FIGURE 2.4 – Microcontrôleur ATMEGA128

Ce type de microcontrôleur contient une très bonne capacité mémoire et plusieurs protocoles de communication il est intéressant sauf que sa vitesse n'est pas aussi rapide et qu'il n'est pas dédié à la faible consommation [1].

#### 2.3.1.5 Microcontrôleur ATMEGA 328

L'ATmega328 est aussi un microcontrôleur de 8 bits qui est plus puissant que l'ATMEGA128, ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- Fréquence d'horloge va à 20 MHz.
- Taille de mémoire de programme (flash) : 32 kB.
- Taille de la SRAM de données : 2 kB.
- Tension d'alimentation de fonctionnement de 1,8 V à 5,5 V.
- Convertisseur analogique numérique de 10 bits (6 canaux)
- Température de fonctionnement allons de -40 °C à +85 °C.
- Nombre d'entrées/sorties 23. Ce microcontrôleur est aussi très intéressant comme unité de traitement pour un nœud capteur, il contient une grande capacité mémoire, et n'est pas figé en termes de communication et de programmation, il peut fonctionner en très grande vitesse, de plus il est dédié au circuit faible consommation. C'est le microcontrôleur choisi comme unité de traitement pour les nœuds capteurs [10].

## 2.3.2 Les unités de communication

Comme cité précédemment l'unité de communication comporte deux modules : celui de radiofréquence et celui de la communication série, d'où il faut choisir deux composants compatibles avec l'unité de traitement.

### 2.3.2.1 Module radiofréquence

Il existe différents types de communication RF, chacun avec ses avantages et ses inconvénients. Les trois principales caractéristiques qu'il faut considérer lors du choix d'une méthode de communication sans fil sont :

- La consommation d'énergie.
- Étendue du réseau.
- Débit de données.

Pour pouvoir faire un choix judicieux de l'unité de communication, nous allons tout d'abord introduire les normes IEEE 802.11 (Wifi) et IEEE 802.15 qui sont primordiales à connaître

- **La norme IEEE 802.11** : La norme IEEE 802.11 est un standard international décrivant les caractéristiques d'un réseau local sans fil (WLAN Wireless Local Area Network). Le nom Wi-Fi (Wireless Fidelity) correspond initialement au nom donné à la certification délivrée par la Wi-Fi Alliance. Ce type de réseau possède un taux élevé de transmission de données (54Mbps théorique) mais aussi une forte consommation d'énergie. Il est utilisé lorsqu'on a besoin de se connecter directement à Internet (connecter un dispositif à Internet), mais il doit disposer d'une source d'alimentation externe.
  
- **La norme 802.15** : La norme 802.15 définit les PAN sans fil appelé WPAN : Wireless Personal Area Network dont les technologies sont : le Bluetooth, les normes IEEE 802.15.3 (WPAN haut débit) et IEEE 802.15.4 (WPAN faible débit, Zigbee).
  
- **Norme 802.15.4** : La norme IEEE 802.15.4 a été développée par IEEE 802.15

Groupe de Tâche 4, qui spécifie les couches physiques et MAC pour le WPANs (Wireless Personal Area Network) faible débit appelé LR-WPAN (Low Rate). La première sortie de l'IEEE 802.15.4 norme a été livrée en 2003 et est librement distribuée. Cette sortie a été révisée en 2006, mais la nouvelle version n'est pas encore libre. Sa pile de protocole est simple, flexible et n'exige pas d'infrastructure. La norme 802.15.4 se caractérise par :

- Débits des données de 250k bps (2400 - 2483.5 MHz), 40k bps (902 - 928 MHz) et 20k bps (868 - 868.6 MHz).
  - Deux modes d'adressage : 16 bits et 64 bits (court et étendu).
  - Accès au canal en utilisant la technique CSMA-CA.
  - Coordination automatique du réseau.
  - Protocole de handshaking pour la fiabilité de transfert.
  - La gestion d'énergie pour garantir la consommation à faible puissance.
- **La norme zigbee** : La norme IEEE 802.15.4 définit seulement les couches physiques et MAC sans spécifier les protocoles des couches supérieures (réseau et application). La norme Zigbee est basée à partir de la norme IEEE 802.15.4 et définit les couches réseau et application. La couche d'application permet le développement d'application et de communication et La couche réseau définit les fonctions de routages pour les différentes topologies. Cela permet une communication sans fil à faible débit et courte portée, implémentée dans un dispositif alimenté seulement avec une batterie. Cette norme est appliquée dans les capteurs, les jouets interactifs, les commandes à distance et la domotique. Elle permet l'utilisation de 3 topologies : Etoile, arbre et maillée, et deux mode d'accès sont possible, le mode coordonné (avec balise) et le mode non coordonné (sans balise) en utilisant la technique CSMA-CA sans RTS/CTS. La topologie étoile permet seulement une communication à un saut. Pour une large zone de déploiement, cette topologie n'est pas satisfaisante car la portée du transceiver est limitée. La topologie maillée permet les communications multi-saut pour un déploiement massif sur une large zone. Cependant, les nœuds n'ont pas de méthodes pour économiser la consommation d'énergie.
- **La norme bluetooth** : Le Bluetooth est normalisé selon la norme 802.15.1, il permet une communication radio courte distance dans la bande 2.4 GHz

avec un débit allant jusqu'à 250 kbps et une possibilité d'atteindre une distance allant jusqu'à 10m avec une puissance de transmission de 100 mW. Un système Bluetooth emploie une technique de saut de fréquence avec un espace inter-porteuse de 1 MHz, généralement jusqu'à 80 fréquences différentes sont utilisées pour constituer une bande passante totale de 80 MHz. Grâce aux sauts de fréquence (1600 sauts par seconde), il est possible de partager une même bande de fréquence entre plusieurs équipements localisés dans une même zone. Ainsi, un canal logique peut être défini à tout moment sur une bande de 1 MHz. La Topologie utilisée par le Bluetooth est la topologie étoile : jusqu'à 8 équipements dans une étoile logique [?]. La technologie Bluetooth est largement utilisée dans certaines industries parce que elle permet :

- L'accès de programmation sans fil d'une commande industrielle.
  - Liaison de données entre un appareil tiers doté d'une interface Bluetooth intégrée et une commande industrielle.
  - Mise en réseau d'équipements bus mobiles.
  - Utilisation à l'échelle mondiale grâce à la puissance d'émission réglable (-28 ... 20 dBm).
- 
- **La norme NRF24L01** : La famille NRF24 du constructeur norvégien Nordic Semiconductor regroupe des puces de communications utilisant la bande des 2.4 GHz. Dans cette famille, le chipset NRF24L01+ connaît un succès important. Depuis 2010 ce composant est embarqué dans la plupart des claviers et souris sans fils qui inondent le marché grand public. Le NRF24L01+ offre une communication radio accessible via une interface SPI standard. La même puce permet de recevoir et d'émettre (transmetteur), et peut fonctionner en plus d'une centaine de canaux et consomme très peu d'énergie.

Tableau récapitulatif de la comparaison entre les différents standards est présenté ci-dessous :

Protocole	Zigbee	Bluetooth	Wifi	NRF24101+
IEEE	802.15.4	802.15.1	802.11a/b/g	-
Autonomie avec pile	Années	Jours	Heures	Années
Nombre de nœuds	65 000	7	32	127 (6 VPN)
Vitesse de transfert	250 Kbps	1 Mbps	11 - 54 - 108 Mbps	2 Mbps
Portée	100 m	10 - 100 m	300 m	100 m

TABLE 2.1 – Comparaison des standards de communication

Le choix d'une technologie dépend des services proposés, ainsi que des besoins du concepteur du réseau. Certains paramètres comme la puissance, le débit, la portée, le coût, la sécurité, et le nombre de nœuds supportés doivent être pris en compte.

### 2.3.2.2 Communication série

Concernant le module de communication série, il faut faire le choix entre deux chipsets permettant la conversion Série/Usb pour créer une interface entre les nœuds et un PC pour la reprogrammation et l'adaptation des nœuds au changement d'algorithmes et de pouvoir rajouter des capteurs à l'unité de traitement. Il est à savoir que le circuit périphérique qui gère le port série de l'unité de traitement est l'UART (Universel Asynchrones Receiver Transmitter). Les circuits, FT232 de la FTDI (Future Technology Devices International) et le MCP2200 de Microchip, permettent de convertir les signaux de transmission et réception TX et RX de l'unité de traitement (microcontrôleur) en un signal avec protocole USB (Universal Serial Bus) existant dans tout ordinateur. Ci-dessous nous allons citer des exemples de communication série :

- **MCP2200** Le MCP2200 est un convertisseur USB-UART qui permet la connectivité USB dans les applications qui ont une interface UART. Ce dispositif réduit les composants externes en intégrant les résistances d'arrêt de l'USB. Le MCP2200 intègre une EEPROM de 256 bytes pour l'utilisateur. Il a 8 broches d'usage universel d'entrée/sortie.

- **FTDI232** Le circuit FTDI232r permet la conversion de l'UART au protocole USB, et dispose de plusieurs caractéristiques on cite les plus importantes :
  - Intégration EEPROM, générateur d'horloge interne, et résistance de terminaison (tirage) USB embarquées
  - Flexibilité 5 broches d'E/S peuvent être configurées chacune en broche Sleep, Transmit Enable, Power Enable, MCU Clock Output Fonctionnalité : Intègre les fonctions d'UART/ USB, de générateur MCU et un d'ongle de sécurité dans un unique circuit.
  - **Sécurité** La technologie FTDICHIP-ID aide à protéger le logiciel d'application : Il existe une application web qui répertorie tous les dispositifs à base de FT232R connectés à l'ordinateur du client et permet à l'utilisateur de sélectionner les périphériques à s'inscrire auprès d'un serveur. L'enregistrement fonctionne en lisant les uniques de l'appareil, les cryptant avec la date et l'heure, puis écrit les données chiffrées de nouveau dans la zone utilisateur EEPROM embarquée. Les informations chiffrées sont décryptées et comparées à la permanente pour vérifier l'enregistrement. Si le décrypté ne correspond pas, l'appareil n'est pas enregistré
  - **Capacité d'attaque des E/S** Niveau descendant de 5,5V jusqu'à 1,8 V à des intensités de programmation de 4 ou 12 mA

### 2.3.3 Unité de capture (Sensing unit)

On peut classer les capteurs en deux grandes familles : les capteurs passifs et les capteurs actifs.

#### 2.3.3.1 Capteur passif

Dans la plupart des cas, les capteurs passifs ont besoin d'une énergie extérieure pour fonctionner (comme dans le cas des jauges de contraintes, thermistances. . .), ils sont souvent modélisés par une impédance. Une variation du phénomène physique étudié (mesuré) engendre une variation de l'impédance. Il faut leur appliquer une tension pour obtenir un signal de sortie.

- **Capteur d'humidité et de température DHT11**

- Alimentation de 3.3V - 5V,
- Consommation maximale de 2.5mA (lors de la collecte de données), DHT11
- Efficace pour 20-80
- Efficace sur la plage 0 à 50  $\mu\text{EC}$  avec une précision de 2  $\mu\text{EC}$ ,
- Fréquence maximale d'échantillonnage : 1Hz,
- Dimensions : 15.5mm x 12mm x 5.5mm.

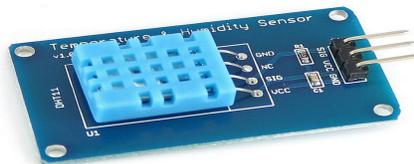


FIGURE 2.5 – Capteur d'humidité et de température DHT11

- **Capteur d'humidité et de température DHT22** Ci-dessous les différentes caractéristiques :

- Alimentation de 3.3V - 5V,
- Consommation maximale de 2.5mA (lors de la collecte de données).
- Efficace pour 0-100
- Efficace sur la plage -40 à 80°C avec une précision de 0.5°C.
- Fréquence maximale d'échantillonnage : 0.5Hz. DHT22
- Dimensions : 27mm x 59mm x 13.5mm.



FIGURE 2.6 – Capteur d'humidité et de température DHT22

- **Capteur de gaz** Le Capteur de gaz MQ2 simple d'utilisation est dédié à la détection des fuites de gaz, Il peut détecter du GPL, butane, méthane, alcool, hydrogène, fumée, etc. Avec un temps de réponse court, les mesures peuvent être prises rapidement. La sensibilité peut également être ajustée par un potentiomètre.



FIGURE 2.7 – Capteur de gaz

- **Capteur de luminosité** La photorésistance est un semi-conducteur dont la résistance évolue en fonction de son exposition à la lumière, son principe est le suivant : Ce sont 2 électrodes séparées par un semi-conducteur très résistant généralement en forme zigzag lorsque ce semi-conducteur va absorber les photons qui constitue la lumière, ces mêmes photons vont fournir de l'énergie aux électrons pour faciliter leur déplacement entre les 2 électrodes.

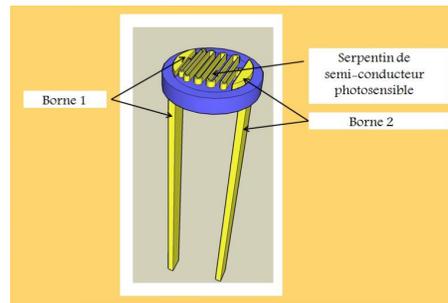


FIGURE 2.8 – Capteur de luminosité

### 2.3.3.2 Capteur actif

Lorsque le phénomène physique qui est utilisé pour la détermination du Grandeur physique à mesurer effectue directement la transformation en grandeur électrique, on est en présence d'un capteur actif. C'est la loi physique elle-même qui relie le mesurande et grandeur électrique de sortie. La sortie du capteur est assimilée à un générateur.

- **Capteur sonar (ultrason)** Capteur ultrason c'est fait pour calcule la distance entre les Object de l'environnement extérieur et se capteur pour un cas étude donner comme le dispositif si de sous qui et le hc-r04 qui est un capteur de cous moindre avec une précision de 3 millimètre

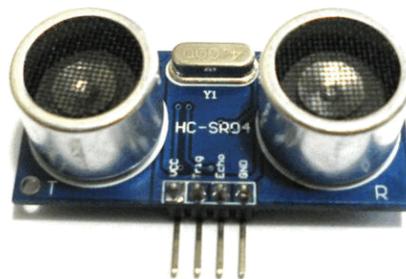


FIGURE 2.9 – Capteur sonar (ultrason)

- **Capteur Actionneur**

- Ouverture ou fermeture (exemple le bouton poussoir) d'un commutateur ou d'un relai pour actionner un moteur ou une lampe électrique.
- Allumé et étendre d'une LED

### 2.3.4 Unité d'énergie

Comme mentionné précédemment, la consommation d'énergie représente une affaire critique dans les réseaux de capteurs sans fil, en effet la durée de vie de la batterie détermine celle du nœud et bien évidemment celle du réseau. Pour le choix de la batterie il faut tenir essentiellement compte de sa capacité (Ah) et de sa taille pour ne pas agrandir le nœud.

Les piles sont divisées en deux catégories principales : Les cellules primaires qui sont jetables et les cellules secondaires, celles qui peuvent être rechargées. Les cellules primaires sont principalement les piles alcalines ou au lithium. Elles sont relativement économiques à produire et sont conçues pour être jetées ou recyclées après la distribution de leur charge initiale, mais elles ne sont pas très écologiques. Les cellules secondaires, d'autre part, sont généralement fabriquées à partir d'acide de plomb, de nickel, de la chimie lithium-ion et sont généralement plus chères que les primaires. Elles peuvent être réutilisées de nombreuses fois et sont donc plus économiques et respectueuses de l'environnement à long terme. La capacité d'une batterie correspond à sa capacité totale d'énergie disponible. Donc, si une batterie est évaluée à 2500 mAh, autant de piles alcalines AA, devront fournir 2500 mA d'énergie pendant une heure. Toutefois, la comparaison entre les piles sur la seule capacité ne fonctionne que lorsque l'on compare des piles de taille et de composition égale. La composition de la pile et le type de dispositif utilisé jouent un rôle significatif dans la durée de vie d'une pile.

Les piles primaires à base alcaline ont habituellement des évaluations de capacité d'environ 2500 mAh, mais sont beaucoup plus susceptibles de livrer leur capacité nominale totale si l'alimentation est tirée lentement dans les appareils.

Les piles secondaires au lithium-ion (rechargeables), d'autre part, sont généralement moins bien classées (2000 mAh) mais sont plus performantes et durent

plus longtemps que les piles jetables lorsqu'elles sont utilisées dans des appareils à forte consommation comme les appareils photo numériques. Les piles pouvant servir de source d'alimentation pour les nœuds capteurs accessible sont les pile au lithium-ion pour pouvoir les recharger à tout moment, tandis que pour les nœuds non/difficilement accessible nous utiliserons les piles primaires à base alcaline de 9 V.



FIGURE 2.10 – Les différents type de batteries

### 2.3.5 Le systèmes d'exploitation pour les réseaux de capteurs sans fil

Les systèmes d'exploitation classiques sont généralement conçus pour un usage générique. Ils sont ainsi conçus en supposant une disponibilité sans limite des ressources. Leurs objectif est la facilité d'usage, la rapidité et efficacité. Parmi leurs caractéristiques, on peut citer :

- Architecture Multi-thread
- Modèle Entrer/Sortie.
- Séparation entre espace noyau et utilisateur.
- Pas de contraintes d'énergie.
- Grande ressources disponibles.

Les systèmes d'exploitation classiques ne sont pas appropriés aux nœuds capteurs, vus que ces derniers sont caractérisés par :

- Potentielle CPU qui est lente.
- Capacité Mémoire limitée.

- Ressources énergétiques faible.
- Composent électronique de Petite taille.
- Parallélisme matériel limité.
- Communication radio Bande passante faible et d'une Portée radio courte

Propriétés de systèmes d'exploitation souhaités pour les nœuds capteurs :

- Image mémoire petite.
- Efficacité en calcul et consommation d'énergie.
- La communication est fondamentale.
- systèmes d'exploitation De type évènement.

Tout c'est propriété et caractéristique des RCSFs impose d'utilise des systèmes d'exploitation spécifiques aux nœuds capteurs exemples des systèmes d'exploitation les plus connu : TinyOS, MANTIS, Contiki, LIMOS...etc. Dans ce qui suit nous présenterons le système TinyOS et ces fondamentaux car c'est l'OS le plus adapté et utilisé dans les RCSFs.

### 2.3.5.1 Système d'exploitation TinyOS

- **Définition de TinyOS** TinyOS est un système d'exploitation développé et soutenu par l'université américaine de Berkeley, ce système open-source est conçu pour les systèmes embarqués sans fil à faible puissance. Fondamentalement, il s'agit d'un planificateur de travail et d'une collection de pilotes pour microcontrôleurs et d'autres circuits intégrés utilisés couramment dans des plates-formes embarquées sans fil Il écrit dans nesC, un dialecte du langage C
- **Propriétés de TinyOS** Un système basé sur TinyOS s'appuie sur la gestion des évènements se produisant. Ainsi, l'activation de tâches, leur interruption ou encore la mise en veille du capteur s'effectue à l'apparition d'évènements, ceux-ci ayant la plus forte priorité. Ce fonctionnement évènementiel (event-driven) s'oppose au fonctionnement dit temporel (time-driven) où les actions du système sont gérées par une horloge donnée [6]. TinyOS a été créé pour répondre aux caractéristiques et aux nécessités des réseaux de capteurs, telles que :
  - Une taille de mémoire réduite

- Une basse consommation d'énergie.
- Des opérations d'assistance intensives et robustes.
- Il est optimisé en termes d'usage de mémoire et d'énergie.
- **Langage NesC** Le système d'exploitation TinyOS s'appuie sur le langage NesC. Celui-ci propose une architecture basée sur des composants permettant de réduire considérablement la taille mémoire du système et de ses applications. Chaque composant correspond à un élément matériel (LEDs, timer, ADC . . .) et peut être réutilisé dans différentes applications. Ces applications sont des ensembles de composants associés dans un but précis. Les composants peuvent être des concepts abstraits ou bien des interfaces logicielles aux entrées sorties matérielles de la cible étudiée (carte ou dispositif électronique exemple carte arduino, etc.).

## 2.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé l'architecture d'un nœud capteur qui est composé de quatre unités indispensable à son fonctionnement qui sont : l'unité de capture, l'unité de traitement, l'unité de communication et l'unité d'énergie. Pour chaque unité, nous avons donné des exemples pour permettre aux lecteurs de bien comprendre ces différents types d'unités d'un nœud capteur. Ensuite nous avons présenté les systèmes d'exploitations dédiés pour les nœuds de capteur et exposé les contraintes qui imposent l'utilisation de ce système d'exploitation pour les RCSF. Ce chapitre nous a permis de donner tous les concepts nécessaires qui vont être utilisés dans le chapitre suivant.

# Réalisation d'une maquette pour un parking intelligent

## 3.1 Introduction

De nos jours, l'homme est à la recherche permanente pour améliorer sa qualité de vie et son confort et aussi assuré une bonne gestion de ressources énergétiques, en protégeant l'environnement. Pour cela, la domotique a émergé dans le domaine du bâtiment. En effet la domotique représente toutes les techniques de plusieurs disciplines qui font communiqués un ensemble d'équipements électriques d'un bâtiment en favorisant les RCSFs pour la gestion de ces installations programmables et automatisées. Il existe plusieurs applications dans notre vie quotidienne de la domotique en fonction de but fixé et aussi de l'infrastructure d'installation (maison, hôtel, entreprise, etc.). Notre projet d'étude se portera sur les parkings intelligents car le stationnement est devenu un problème dans nos villes contemporaines car le nombre de possession de véhicules augmentent d'une façon exponentielle chaque année, ce qui cause un engorgement des routes et un manque de places de stationnement. Des solutions ont étaient étudiées, ses dernières pencherons sur le stationnement intelligent. Dans ce chapitre, nous allons définir le stationnement intelligent, ses avantages, sans oublier de passer par une définition générale de la domotique, ensuite nous allons présenter notre application, qui consiste à réaliser un parking intelligent miniature, en montrant un aperçu de notre travail sur les outils matériels et logiciels. Nous terminerons avec une discussion sur les contraintes de réalisation.

## 3.2 Définition de la domotique

La Domotique est l'ensemble de techniques de l'électronique, de physique du bâtiment, d'automatismes, de l'informatique et des télécommunications utilisées dans les bâtiments. La domotique a pour but d'accroître l'économie d'énergie, le confort, la flexibilité, la communication et la sécurité. La domotique vise à apporter des fonctions de confort (optimisation de l'éclairage, du chauffage), de gestion d'énergie (programmation), de sécurité (comme les alarmes) et de communication (comme les commandes à distance) que l'on peut retrouver dans les maisons, les hôtels, les stationnements privés ou bien publiques et tous les lieux publics.

### 3.2.1 Principe et fonctionnement de la domotique

Le principe de la domotique consiste à faire communiquer un ensemble d'équipements électriques d'un bâtiment. Son installation peut être pilotée localement ou à distance depuis un smartphone, un écran tactile ou encore un ordinateur. Les quatre créneaux suivants sont ainsi visés par la domotique :

- **La santé et environnement** (télésanté, télémédecine, réduire l'émission de CO<sub>2</sub> et d'autres gaz nocifs, favoriser l'utilisation d'énergie renouvelable, etc.).
- *La sécurité* (mise en place d'alarmes, de caméras IP ou d'autres équipements permettant la télésurveillance).
- **Le confort de vie** (la cafetière fait le café automatiquement tous les jours à 8h du matin, aide au stationnement dans les grandes villes, lampe qui s'allume dès que l'on entre dans une pièce à partir de 19h et qui s'éteint à volonté avec un seul claquement des mains, etc.).
- **Les économies d'énergies** (régulation du chauffage, économie d'eau est d'énergie fossiles, réduire la consommation d'électricité, etc.).

### 3.3 Définition d'un système de stationnement intelligent

Le système de stationnement intelligent mis en œuvre principalement en Europe, aux États-Unis et au Japon est développé avec l'intégration de technologies de pointe et des recherches de diverses disciplines académiques. Avec son déploiement dans le parking, on espère que cela résoudra les problèmes rencontrés par les clients dans le parking [17].

#### 3.3.1 Avantages du système de stationnement intelligent

La mise en œuvre d'un système de stationnement intelligent est considéré comme bénéfique pour les opérateurs de parkings, les clients des parkings ainsi que pour la conservation de l'environnement [15]. Pour les opérateurs de parkings, les informations recueillies grâce à la mise en œuvre du smart parking systeme peuvent être exploitées pour prédire les futurs modèles de stationnement. Les stratégies de tarification peuvent également être manipulées en fonction de l'information obtenue pour augmenter le bénéfice d'entreprise spécialisé. En termes de conservation de l'environnement, le niveau de pollution peut être réduit en diminuant les émissions de véhicules (polluants atmosphériques) dans l'air [15]. Cela peut être attribué au fait que le déplacement du véhicule est réduit. Étant donné que la consommation de carburant est directement liée aux distances parcourus, cela aussi réduira également son impact sur l'environnement.

#### 3.3.2 Catégories de système de stationnement intelligent

Le système de stationnement intelligent peut être divisé en quatre grandes catégories :

**3.3.2.1 Système de guidage et d'information sur le stationnement (SIGP)**

La mise en place d'un système d'information sur le stationnement (SIGP) englobe deux grandes catégories [15] et le PGIS (guidage à l'extérieur du parking) peut inclure l'ensemble de la zone de la ville ou fonctionner uniquement l'installation du parking [15]. Le PGIS a été mis en œuvre dans de nombreuses grandes villes d'Europe, du Japon, du Royaume-Uni et des États-Unis offrent des avantages semblables à ceux d'un système de stationnement intelligent tel que discuté précédemment [8].

**3.3.2.2 Système d'information basé sur le transport en commun**

la fonctionnalité du système d'information basé sur le transport en commun implanté dans des pays comme la France, l'Allemagne, l'Irlande, le Japon, la Suisse, le Royaume-Uni et les États-Unis [15] est en fait similaire au PGIC. La différence existe dans le fait que le système d'information basée sur le transport en commun se concentre sur le guidage des utilisateurs pour les installations de stationnement et de routage. Il fournit des informations en temps réel sur l'état de chaque stationnement et les transports publics tels que les horaires et les conditions de circulation pour le public. Les informations supplémentaires fournies permettent aux clients de planifier leurs transits à l'avance sans se gêner. Parmi ses avantages, on peut citer l'augmentation de l'utilisation des transports publics comme principal moyen de transport car ils peuvent laisser leurs véhicules dans le parking et passer aux transports publics avec facilité. Cela entraînera indirectement une augmentation des revenus de transport en commun [8].

**3.3.2.3 Système de paiement intelligent**

Le système de paiement intelligent est mis en œuvre dans le but de surmonter la limitation des méthodes de paiement conventionnelles en réorganisant le mode de paiement par le stationnement et en introduisant de nouvelles technologies. C'est parce que la méthode conventionnelle entraîne des retards et des inconvénients pour les clients car ils doivent faire face à l'argent comptant. Cela réduit également les

besoins de maintenance et de dotation en matière de traitement des paiements ainsi que le contrôle de la circulation [8],[11]. En général, le système de paiement intelligent a été mis en place dans des pays comme la Finlande, l'Italie, Londres et les États-Unis consiste en une méthode de contact, une méthode sans contact et des appareils mobiles. Bien que la méthode de contact implique l'utilisation de cartes à puce, de cartes de débit et de cartes de crédit, la méthode sans contact implique l'utilisation de cartes sans contact, d'appareils mobiles ainsi que d'étiquettes d'identification automatisée des véhicules (AVI), selon lesquelles les technologies RFID sont utilisées . Comme les méthodes de contact nécessitent le contact des cartes avec un compteur de stationnement ou des machines de paiement dans l'installation, ce dernier offre plus de commodité aux clients [4].

#### **3.3.2.4 E-parking**

Le parking électronique offre une alternative aux clients pour se renseigner sur la disponibilité ou réserver une place de stationnement dans leurs stationnements souhaités pour assurer la disponibilité des places de stationnement vacantes lorsqu'ils arrivent au parking. Vous pouvez accéder au système via de nombreuses méthodes telles que SMS ou via Internet. Certains des avantages supplémentaires de l'utilisation du système de stationnement E-parking, indépendamment de ceux qui sont collectivement acquis par un système de stationnement intelligent, sont qu'il peut être facilement étendu pour intégrer le mécanisme de paiement du système de paiement intelligent, selon lequel les paiements effectués par les clients sont sans tracas en utilisant les technologies discutées précédemment. Des informations personnalisées peuvent également être fournies aux clients avant ou pendant leurs voyages dans le parking.

#### **3.3.2.5 Stationnement automatisé**

Le stationnement automatisé implique l'utilisation d'un mécanisme contrôlé par ordinateur, qui permet aux clients de conduire jusqu'à la baie, de verrouiller les voitures et de laisser les machines placer automatiquement le véhicule dans l'espace

alloué. Ce type de parking offre une utilisation maximale de l'espace car il est commandé par machine à la différence du parking conventionnel où l'espace est nécessaire pour la navigation du véhicule dans le parking. Parmi ses avantages est la mise en œuvre fonctionne bien dans les endroits où il y a peu de place pour l'expansion en raison de sa structure.

## **3.4 Notre parking intelligent miniature**

Notre projet consiste à réaliser un parking intelligent dans le but d'informer l'utilisateur sur la disponibilité d'une place de stationnement via un serveur web, auquel nous pouvons y accéder sur un réseau local ou sur internet en temps réel. Amener l'utilisateur directement sur une place libre offre plusieurs avantages tel que : réduire le temps, économiser le carburant et diminuer le trafic " parasite " ainsi que réduire les émissions de CO<sub>2</sub>.

### **3.4.1 Matériels utilisés**

Les matériels ont été choisis d'une manière judicieuse pour un bon fonctionnement avec les moyens que nous avons à notre portée pour réaliser un parking intelligent miniature tout aussi fonctionnel à l'échelle réelle. Nous avons choisi l'environnement de développement Arduino, une plate-forme de développement électronique et informatique embarqué qui met en disposition plusieurs cartes électroniques programmables, pour la réalisation de l'application nous avons utilisé Arduino Uno et Arduino Mega.

Dans ce qui suit, nous allons détailler les cartes électroniques, en particulier la carte arduino UNO et la carte arduino Mega ainsi que tous les composants électroniques et outils logiciels utilisés pour notre projet.

#### **3.4.1.1 Présentation de la carte Arduino Uno**

la figure 4.1 représente une carte Arduino Uno, elle possède des pistes électriques disposées sur une, deux ou plusieurs couches (en surface et/ou en interne) qui permettent la mise en relation électrique des composants électroniques. Chaque piste

relie un composant à un autre, de façon à créer un système électronique qui fonctionne et qui réalise les opérations demandées [10].

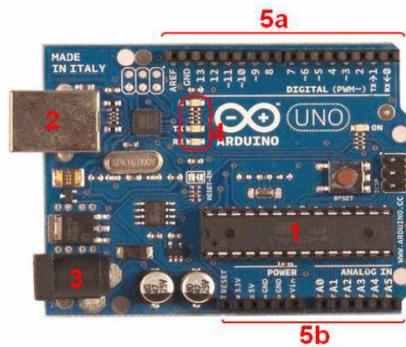


FIGURE 3.1 – Carte arduino Uno

- **Microcontrôleur** Les caractéristiques de microcontrôleur ATmega328 représenté dans la partie 1 sur la figure ci-dessus, ont été détaillées dans le chapitre 2.
- **Alimentation** Le microcontrôleur fonctionnant sous 5V, la carte peut être alimentée en 5V par le port USB représenté dans les parties 2 ou bien par une alimentation externe (la partie 3) qui est comprise entre 7V et 12V. Cette tension doit être continue et elle peut être fournie par une pile 9V. Un régulateur se charge ensuite de réduire la tension à 5V pour le bon fonctionnement de la carte
- **Visualisation** Les trois "points blancs" entourés en rouge (la partie 4) sont en fait des LED dont la taille est de l'ordre du millimètre. Ces LED servent à deux choses : Celle tout en haut du cadre : elle est connectée à une broche du microcontrôleur et va servir pour tester le matériel. Les deux LED du bas du cadre : servent à visualiser l'activité sur la voie série (une pour l'émission et l'autre

pour la réception). Le téléchargement du programme dans le microcontrôleur se faisant par cette voie, on peut les voir clignoter lors du chargement.

– **Les branches de la connectique** La carte Arduino ne possédant pas de composants qui peuvent être utilisés pour un programme, mis à part la LED connectée à la broche 13 du microcontrôleur, il est nécessaire de les rajouter. Mais pour ce faire, il faut les connecter à la carte. C'est là qu'intervient la connectique de la carte (la partie 5a représente les PIN analogique et la partie 5b représente les PIN numérique). Ces pins de la carte Arduino Uno peuvent être étendus sa fonctionnalité avec des shields, comme le "Shield Ethernet" qui permet de connecter cette dernière à un serveur pour une diffusion sur internet compatible aussi avec l'Arduino MEGA

– **Les Shields d'arduino** Les Shields sont des cartes qui peuvent être branchés sur la platine Arduino pour étendre ses capacités. Les différents Shields suivent la même philosophie que la boîte à outils d'origine : ils sont faciles à monter, et pas cher à produire. Dans notre cas nous avons utilisé un Shield Ethernet connecté à l'arduino et à l'internet pour l'affichage des informations envoyées par les capteurs.

– **Le Shield Ethernet Arduino**

La figure 3.2 illustre un Shield Arduino Ethernet, qui est un module Arduino additionnel aux cartes Uno, Duemilanove ou Mega qui permet de les rendre communicantes sur un réseau filaire Ethernet (RG45). On peut l'utiliser pour créer une Interface Homme Machine, pour piloter à distance ou visualiser l'état de notre carte arduino en utilisant un câble réseau relié à une box internet dans notre cas en le connecte à un ordinateur.

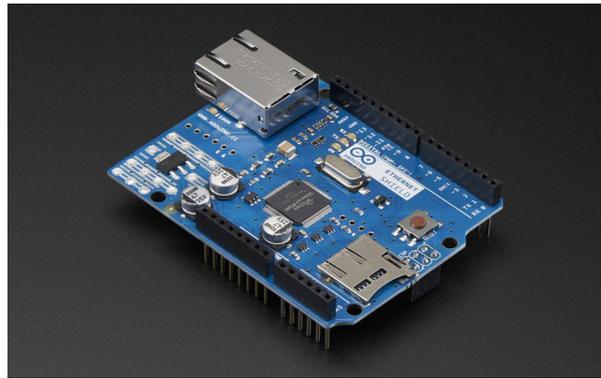


FIGURE 3.2 – Shield Ethernet

### 3.4.1.2 Présentation de la carte arduino MEGA

La figure 3.3 représente une carte Arduino Mega, cette carte possède un microcontrôleur basé sur l'ATmega1280. elle dispose de 54 broches numériques d'entrée / sortie (dont 14 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 16 entrées analogiques, 4 UART (ports série matériels), une MHz oscillateur en cristal de 16, d'une connexion USB, une prise d'alimentation, d'une embase ICSP et un bouton de réinitialisation. elle contient tout le nécessaire pour soutenir le microcontrôleur, il suffit de le connecter à un ordinateur avec un câble USB ou avec un adaptateur AC-DC ou batterie. La carte arduino Mega est compatible avec la plupart des boucliers conçus pour l'Arduino Duemilanove ou Diecimila.

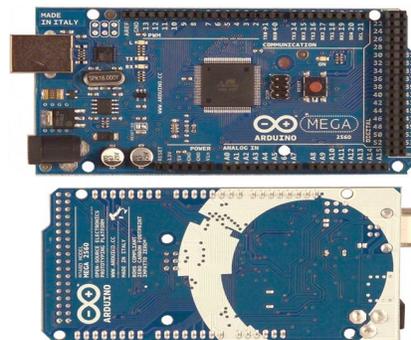


FIGURE 3.3 – Carte Arduino MEGA, vue de face et de derrière

### 3.4.1.3 Caractéristique des différentes cartes Arduino

le tableau ci-dessous représente les caractéristiques des différentes cartes Arduino

Arduino	uC	Fréq MHz	Alim (limite) en V	Mémoire en ko			Bus	E/S Num	Entrée Analog	Conso par E/S	Dimension en mm
				Flash	SRAM	EEPROM					
Mega2560	ATmega2560	16	6-20	256	8	4	Série (3) I2C SPI	56	16	40 mA	107x53x15
UNO	ATmega328	16	6-20	32	2	1	Série I2C SPI	14	6	40 mA	74x53x15
NANO	ATmega328	16	6-20	32	2	1	Série I2C SPI	14	6	40 mA	45x18x18

FIGURE 3.4 – Caractéristique des différentes cartes Arduino

### 3.4.1.4 Capteurs utilisés et leurs branchements

#### – Capteur ultrason

la figure 3.4 présente un capteur ultrason, Dans notre application, nous l'avons utilisé pour détecter la présence des véhicules sur les places de parking et aussi pour l'ouverture de la barrière à l'entrée et à la sortie du parking. Le branchage de l'ultrason HS-SR04 sur la carte arduino UNO est représenté ci-dessous

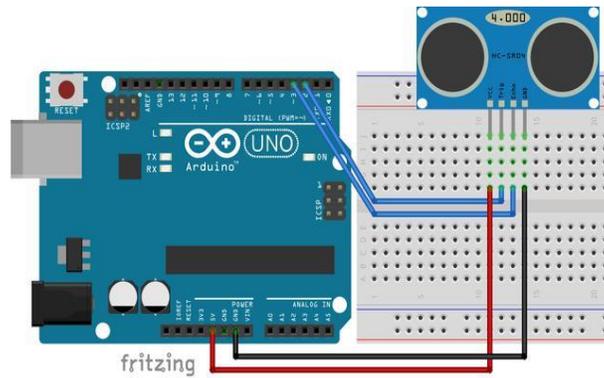


FIGURE 3.5 – Branchement d'un capteur ultrason sur l'Arduino UNO

- *Le servo moteur* la figure 3.5 un servo moteurs. Nous avons utilisé deux servo moteurs pour les deux barrières de l'entrée et de la sortie du parking avec deux état qui sont :
  - Etat 1 : Ouverte à 90° avec une durée suffisant d'ouverture pour le passage d'un véhicule.
  - Fermeture à 0° juste après le passage d'un véhicule.

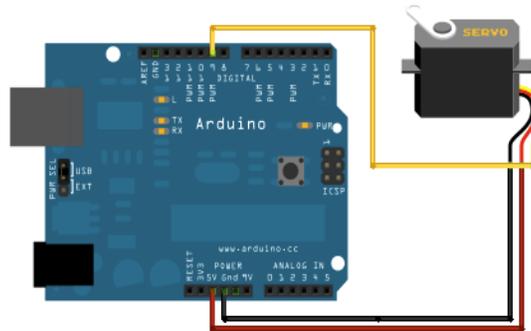


FIGURE 3.6 – Branchement d'un servo moteur sur l'Arduino UNO

- **LEDs** la figure 3.6 montre branchement d'une LED rouge sur une carte Arduino UNO. Les LED sont utilisées pour le guidage des automobilistes à l'intérieur du parking pour trouver une place libre rapidement et aussi pour l'éclairage de l'intérieur dans le cas du'un véhicule pénètre dans le parking

puis les LED s'éteint pour une question d'économies d'énergie.

Deux LED on était mis au-dessus de chaque place une LED rouge pour indiquer que la place est occupée et une LED verte pour prévenir que la place est libre et plusieurs LED blanche en ligne centrale du parking au plafond.

Pour le branchement sur l'Arduino nous avons mis une résistance 220v pour chaque LED pour un bon fonctionnement.

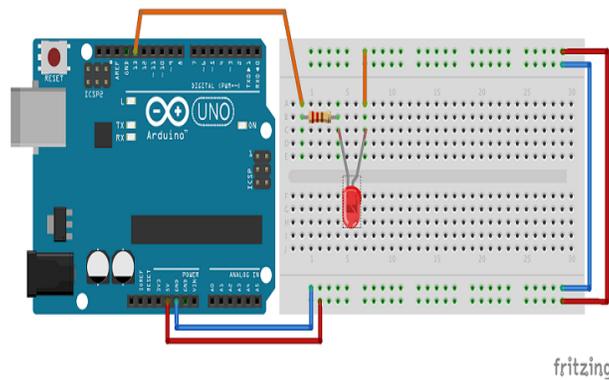


FIGURE 3.7 – branchement d'une LED rouge sur l'Arduino UNO

- **Capteur d'humidité et de température (DHT11)** Nous avons utilisé ce capteur pour afficher de la température et le taux d'humidité à l'extérieur du parking.

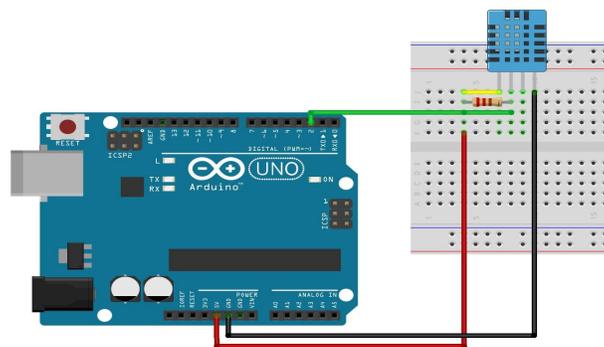


FIGURE 3.8 – Branchement du capteur DHT11 sur l'Arduino UNO

- **Moteur à courant continu** la figure 3.7 montre le branchement du capteur de gaz MQ2 et d'un buzzer. Dans le cas où le gaz émis par les véhicules dépasse un taux nocif au sein du parking pour remédier à ce problème on a placé un moteur muni d'un ventilateur qui permet d'évacuer les gaz excédentaires et cela est possible grâce au capteur de gaz MQ2 qui détecte tout type de gaz. Le branchement du moteur à courant continu est représenté sur la figure suivante :

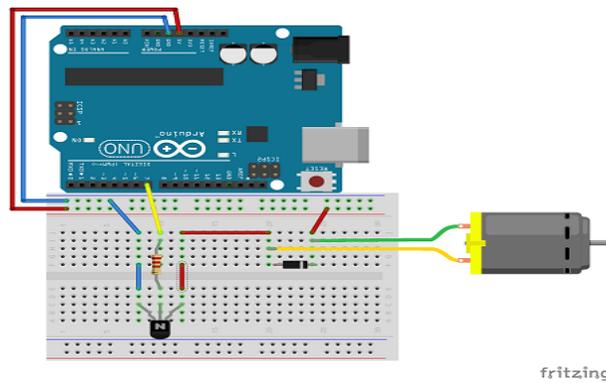


FIGURE 3.9 – Branchement du moteur à courant continu à l'Arduino UNO

- **Capteur de gaz MQ2** Dès que le taux de fumée et de gaz CO2 dépasse le taux programmé le buzzer émet un son aigu comme signal d'avertissement et le ventilateur (moteur à courant continu) s'enclenche pour aérer le parking. Le schéma suivant montre le branchement du buzzer et du capteur MQ2 :

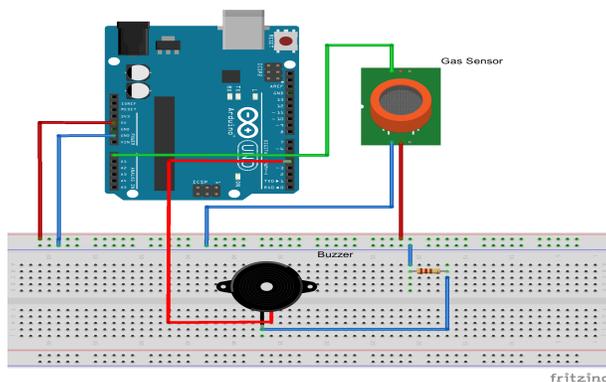


FIGURE 3.10 – Branchement du capteur de gaz MQ2 et d'un buzzer

## 3.4.2 Environnement logiciel utilisé

### 3.4.2.1 Présentation de l'Espace de développement Intégré (IDE) Arduino

Dans un premier temps, nous avons effectué nos tests (développement et téléversement) à travers l'IDE Arduino que nous allons présenter par la suite :

- **Description de l'interface** Le logiciel Arduino a pour fonctions principales
  - De pouvoir écrire et compiler des programmes pour la carte Arduino
  - De se connecter avec la carte Arduino pour y transférer les programmes
  - De communiquer avec la carte Arduino

Cet espace de développement intégré (IDE) dédié au langage Arduino et à la programmation des cartes Arduino comporte

- une barre de menu comme pour tout logiciel une interface graphique (GUI).
- une barre de bouton qui donne un accès direct aux fonctions essentielles du logiciel et fait toute sa simplicité d'utilisation.
- une zone de texte qui affiche indique l'état des actions en cours.
- une console texte qui affiche les messages concernant le résultat de la compilation du programme.
- un terminal série (fenêtre séparée) qui permet d'afficher des messages textes reçus de la carte Arduino et d'envoyer des caractères vers la carte Arduino. Cette fonctionnalité permet une mise au point facilitée des programmes, permettant d'afficher sur l'ordinateur l'état de variables, de résultats de calculs ou de conversions analogique-numérique : un élément essentiel pour améliorer, tester et corriger ses programmes.

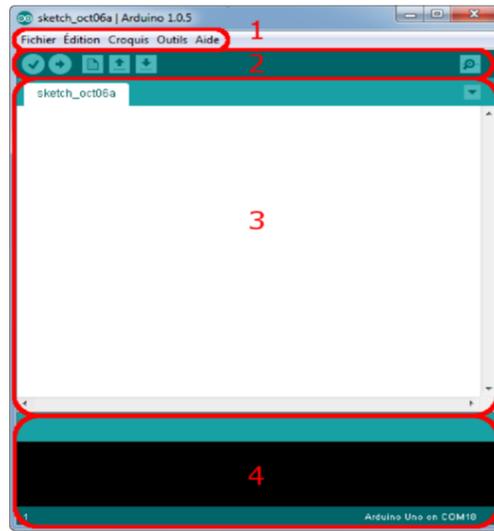


FIGURE 3.11 – Présentation global des éléments de l'interface programmation de l'Arduino

- Le cadre numéro 1 : ce sont les options de configuration du logiciel
- Le cadre numéro 2 : il contient les boutons qui vont nous servir lorsque l'on va programmer nos cartes
- Le cadre numéro 3 : ce bloc va contenir le programme que nous allons créer
- Le cadre numéro 4 : celui-ci est important, car il va nous aider à corriger les fautes dans notre programme. C'est le débogueur.

Dans la figure ci-dessous nous allons détailler la fonctionnalité des boutons :

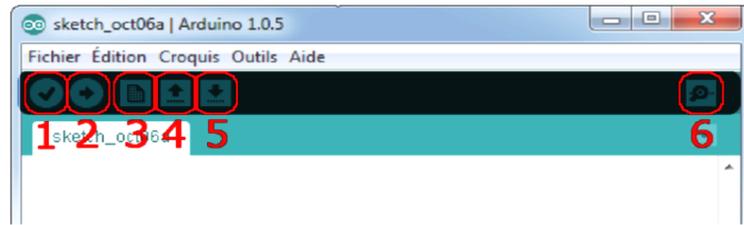


FIGURE 3.12 – Présentation des fonctionnalités des boutons de l'interface de programmation (IDE)

- Bouton 1 : Ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans votre programme
- Bouton 2 : Charge (téléverse) le programme dans la carte Arduino
- Bouton 3 : Crée un nouveau fichier
- Bouton 4 : Ouvre un fichier
- Bouton 5 : Enregistre le fichier

### 3.4.3 Caractéristiques de notre maquette

- Capacité de stationnement est de 6 véhicules.
- Deux barrières une à l'entrée l'autre à la sortie.
- Deux LED vert et rouge devant la barrière de l'entrée
- Deux LED vert et rouge dans chaque place de parking.
- Des LED jaune pour l'éclairage 3 à gauche et 3 à droite au minimum.
- Des LED vert et rouge pour le guidage de véhicule (droite /gauche)
- Un capteur ultrason dans chaque place du parking

- Un détecteur de gaz avec un buzzer
- Un capteur de température et d'humidité.
- Un ventilateur d'aération.
- Un afficheur LCD à l'entrée de parking

#### **3.4.4 Contraintes de réalisation**

- Le manque de matériels
- la manque de cas applicatifs au niveau de l'université
- La non disponibilité de la documentation sur les applications réelles des RCSF

#### **3.4.5 Organigrammes d'exécution de l'algorithme**

Dans cette partie nous allons présenter les différents algorithmes de mise en exécution de l'application :

##### **3.4.5.1 Organigramme de l'algorithme de détection de la présence d'un véhicule**

La figure ci-dessous montre l'algorithme qui permet de détecter la présence d'un véhicule dans une place de parking

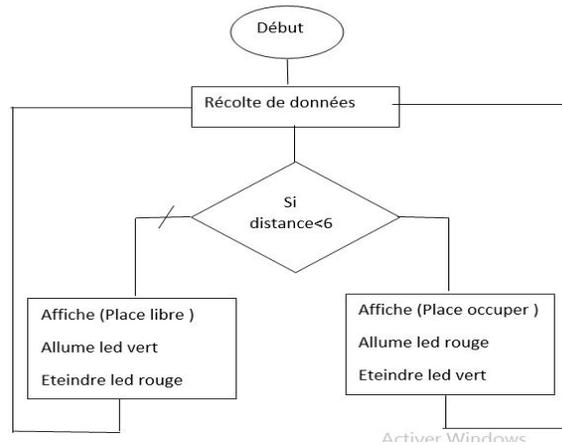


FIGURE 3.13 – Organigramme d’algorithme de detection de la présence d’un véhicule

### 3.4.5.2 Organigramme de l’algorithme du barriere

Cet algorithme permet d’ouvrir la barriere quand un véhicule rentre et de la fermer quand il sort.

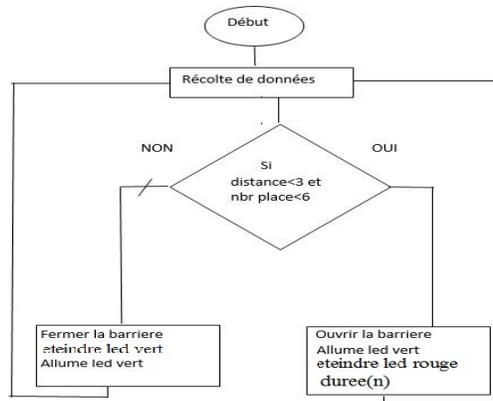


FIGURE 3.14 – Organigramme d’algorithme du barriere

### 3.4.5.3 Organigramme de l'algorithme de détection d'incendie

Cet algorithme permet d'activer l'alarme et de mettre en marche le ventilateur dans le cas de détection du fumé

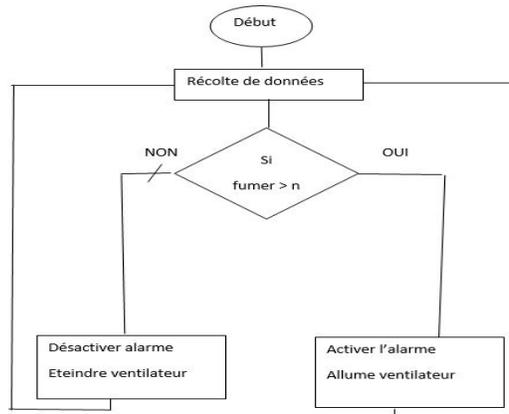


FIGURE 3.15 – Organigramme d'algorithme de détection d'incendie

### 3.4.5.4 Organigramme d'algorithme du guidage

Cet algorithme permet de guider les véhicules pour stationner à l'intérieur de parking

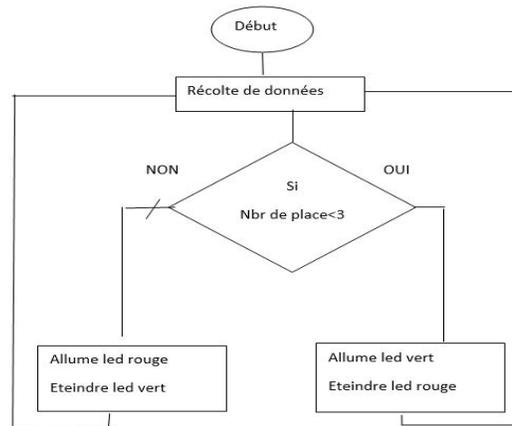


FIGURE 3.16 – Organigramme d’algorithme du guidage

### 3.4.6 Plan de l’application

La figure 3.17 montre le plan de la maquette du parking que nous avons réalisé.

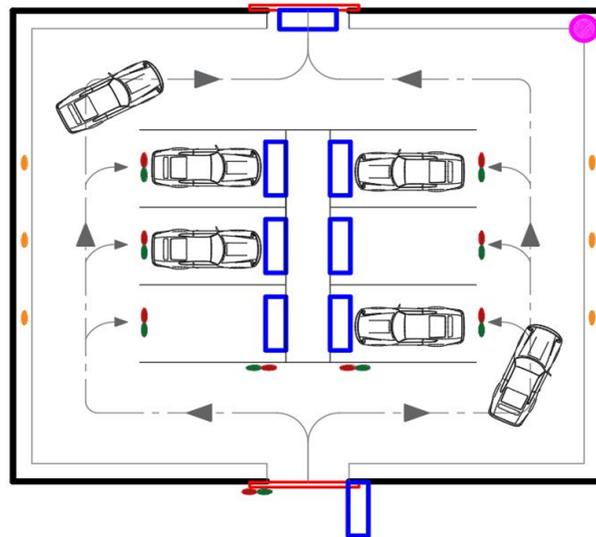


FIGURE 3.17 – Plan de la maquette du parking intelligent miniature

### 3.4.7 Résultat final de notre l'application

Comme il est montré dans la figure 3.18, le parking est équipé d'une barrière qui se compose d'un servo moteur et un capteur ultrason. Quand une voiture arrive, le capteur ultrason mesure la distance et détecte la voiture, la barrière s'ouvre. Nous avons utilisé le même principe pour la barrière de sortie. La capacité de notre parking est de 6 places 3 à droite et 3 à gauche, à l'entrée du parking, nous avons des feux de guidage s'il y a des places disponibles du côté droit le feu vert s'allume sinon le feu rouge s'allume et le même principe pour le côté gauche. Chaque place du parking est équipée d'un capteur ultrason pour détecter si une place est libre ou non, dans des grand parking on trouve des grandes fils de places de stationnement et c'est difficile de reconnaître les places libres, donc nous avons utilisé une LED vert et une LED rouge pour chaque place, la LED verte pour informer l'utilisateur que la place est libre et la LED rouge si la place est occupé. Le nombre de place de stationnement disponible et l'état de chaque place ( libre/occupé) est affiché sur une page web à l'aide d'un serveur web.

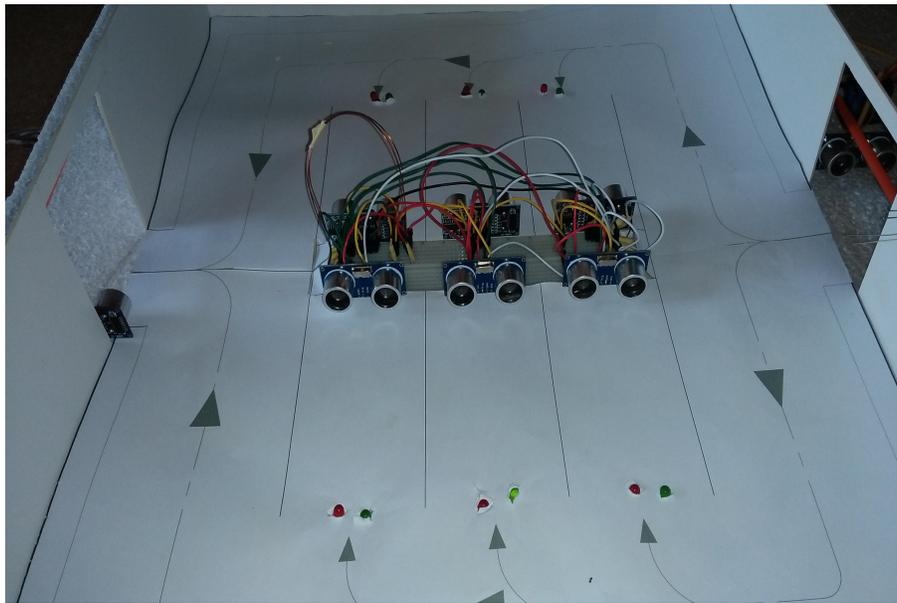


FIGURE 3.18 – Présentation de la maquette du parking intelligent

## 3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le thème de la domotique car notre projet est basé sur un parking intelligent pour le stationnement des véhicules. Ensuite, nous avons présenté notre maquette d'un parking intelligent conçu en utilisant des cartes arduino avec un environnement de programmation IDE, nous avons utilisé plusieurs capteurs et actionneurs pour aboutir à un résultat final qui est représenté dans ce chapitre. Nous avons terminé par une discussion sur les contraintes de réalisation de notre projet qui est le prix des équipements utilisés, qui sont chères, celui-ci l'obstacle le plus difficile.

## Conclusion et perspectives

Le secteur du transport routier est un domaine complexe. Il nécessite la consolidation de plusieurs champs de compétence, dans l'optique de rendre son fonctionnement efficace dans le respect de l'environnement.

L'objectif de la réalisation d'une maquette d'un parking intelligent pour une perspective de l'implémenter dans le cas réel afin de diminuer le problème de la congestion urbaine et réduire l'impact écologique de l'émission de gaz à effet de serre (gaz d'échappements des véhicules). Nous s'appuyons sur les réseaux de capteur sans fil avec le système des cartes programmables Arduino ainsi que plusieurs capteurs (ultrason, DHT11) et plusieurs actionneurs (servo moteur, moteur à courant continu). Au fil de ce document nous avons parlé sur les réseaux de capteurs sans fil, nous avons vu l'architecture de communication et ses caractéristiques, nous avons constaté que les équipements possèdent un avantage d'être petit et à bas prix, de ce fait les réseaux de capteur sans fil s'adapte facilement au parking automobile existant ou en construction.

Par la suite, nous avons fait un état l'art sur les outils hardwares et softwares dédiés aux nœuds capteurs, il existe une multitude de nœuds capteur et de plusieurs taille et capacité de traitement de données et ainsi les systèmes d'exploitation qui soumis à plusieurs contrainte spécifique au réseau de capteur tel que : petite capacité mémoire, autonomie d'énergie limitée. Enfin, une introduction au domaine de la domotique on particulier le stationnement intelligent et c'est avantage incontesté sur la diminution de l'encombrement des milieux routier des villes à cause du grand pourcentage des automobilistes cherchant une place de parking et une diminution de la pollution.

Nous terminons par une présentation de notre application, les capteurs utilisés et leurs branchements, leurs caractéristiques, l'algorithme d'exécution de l'application et plan de notre parking intelligent miniature. Toutefois, les résultats obtenus dans le cadre de ce projet ouvrent de nouvelles perspectives telles que :

- L'ajout des nœuds dédiés à la surveillance comprenant par exemple, des caméras et des capteurs de mouvement, etc.
- Prise en compte de tolérance aux pannes des outils utilisés.
- Possibilité de réserver une place à distance.
- L'ajout des panneaux de guidage.
- Réalisation d'une application dans le cas réel.

# Bibliographie

- [1] B.Cottenceau. Les microcontrôleurs de la famille mcs-51. Technical report, ISTIA, 2007.
- [2] B.Gosselin. Systèmes logiques programmables. Technical report, École Polytechnique de Montréal et Université de Lille 1, 2009.
- [3] B.Rivollet and C.Serre. Les reseaux de capteurs. Technical report, 2013.
- [4] D.Hinze. Les italiens conduisent pour le stationnement de cartes à puce dans les grandes villes. Technical report, Card Technol, 2000.
- [5] D.Martins. *Sécurité dans les réseaux de capteurs sans fil Stéganographie et réseaux de confiance*. PhD thesis, L'U.F.R. des Sciences et Techniques de l'université de Franche-Comté, 2010.
- [6] Z.Bouzidi et A.Benameur. Mise en place d'un reseau de capteurs sans fil pour l'irrigation intelligente. Master's thesis, Université de Tlemcen, 2012.
- [7] K. Takada et H. Akiyama H.Kurogo. Concept d'un système de guidage de stationnement et ses effets dans la zone de shinjuku : configuration, performance et amélioration future du système. *avec la Conférence TransTech de Pacific Rim. 6ème International VNIS*, 1995.
- [8] U. Sunantachaikul et S. Triamlumlerd J.Chinrungrueng. Stationnement intelligent : une application de réseau de capteurs sans fil optique. *Actes du Symposium international sur les applications et les ateliers sur Internet*, 2007.
- [9] J.DINIS. Les différentes topologies de réseaux de capteurs sans fil. Technical report, Université Cergy Pontoise, 2009.

- 
- [10] Shanghai Jiao. Introduction to the arduino microcontroller. Technical report, Tong University, 2012.
- [11] M. Boile et N. Parker KC. Mouskos. Des solutions techniques aux installations de stationnement et de carlingues surpeuplées. Technical report, Centre de recherche sur les transports universitaires, 2007.
- [12] K.MEDJHOUM. Les système embarqué tinyos. Technical report, Université de Brest, 2009.
- [13] M. LEHSAINI. *Diffusion et couverture basées sur le clustering dans les réseaux de capteurs : application à la domotique*. PhD thesis, Université de Tlemcen et Université de Franche Comté, 2009.
- [14] M.L.MESSAI. *Gestion d'un Parking par un Réseau de Capteurs Sans Fils*. PhD thesis, Ecole doctorale d'informatique, université Abderrahman Mira. Béjaia, 2009.
- [15] C.J.Rodier et AM.Eaken SA.Shaheen. Test de terrain de gestion de stationnement intelligent : une démonstration de stationnement de district de stationnement rapide. *Actes du Symposium international sur les applications et les ateliers sur Internet*, 2005.
- [16] S.Descharles and B.Waïa. Zigbee protocole pour wpans. Technical report, L'école ENIC - TELECOM LILLE 1, 2006.
- [17] WD.Jones. Sight for sore ears : visual aids for the blind. *IEEE Spectrum*, 2004.
- [18] Y.Challal. les réseaux de capteurs sans fils. Technical report, Creative Commons, 2006.

## RÉSUMÉ

Les Réseaux de Capteurs Sans Fils (RCSFs) ont connu une grande attention aux niveaux académiques et industriels ces dernières années. Les RCSFs peuvent être déployés dans divers types d'applications de surveillance d'environnement et de collecte d'information. Dans ce mémoire, nous avons présenté une architecture d'un réseau de capteurs sans fils pour la gestion d'un parking. Dans un système de gestion de parking, un nombre de noeuds capteurs est déployé dans un champ de stationnement, indiquant l'occupation des places de stationnements. Les informations sur l'état des places de stationnements sont envoyées à une station de base située à la rentrer du parking pour guider les conducteurs. La conception d'un parking est basée sur un RCSF fournit une grande précision et répond aux exigences citées des conducteurs. L'utilisation des RCSFs pour la gestion des parkings offre une commodité pour les clients, une robustesse et une flexibilité dans la gestion. Notre motivation est donc de fournir une gestion d'un parking via un RCSF.

**Mots clés :** Réseau de capteur sans fil (RCSF), Parking intelligent.

## ABSTRACT

Wireless Sensor Networks (RCSFs) have enjoyed a considerable attention to academic and industrial levels in recent years. WSN can be deployed in various types of monitoring of environment and applications of collection of information's. In this work, we presented architecture of a network of wireless sensors for parking management. In a parking management system, a number of sensor nodes are deployed in a parking field, indicating the occupancy of the parking places. The information on the status of the parking places is sent to the base station located at the entrée of the parking in the goal to guide the drivers. The design of a parking is based on a WSN provides high accuracy and meets the requirements of drivers. The use of WSN for the management of car parking offers a convenience for customers, robustness and flexibility in management. Our motivation is therefore to provide a parking management via a WSN.

**Key words :** Wireless sensor network (WSN), Smart Parking.