

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 8Mai 1945 \_GUELMA  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département d'Electronique et Télécommunications



## **Mémoire de Fin d'Etude Pour l'obtention du Diplôme de Master Académique**

**Domaine : Sciences et Technologie**  
**Filière : Télécommunications**  
**Spécialité : Systèmes des Télécommunications**

---

**CONTROLE DE FEUX DE CARREFOURS PAR ARDUINO, MODULE  
XBEE ET ALIMENTE PAR PANNEAUX SOLAIRE**

---

Présenté par :

-----  
**CHAIB HASSINA  
TABA SOMIA**  
-----

Sous la direction de:  
**Dr. TABA MOHAMED TAHAR**

Juillet 2019

## *Remerciement*

*Nos remerciements vont tout premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donnée durant toutes ces longues années.*

*Nous exprimons nos profondes gratitudes à nos parents pour leurs encouragements, leur soutien et pour les sacrifices qu'ils ont enduré.*

*Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur MONSIEUR " TABA MOHAMED TAHAR" pour avoir d'abord proposé ce thème.*

*Nous remercions les membres de jury d'examen pour l'honneur qu'ils nous font en participant au jugement de ce travail.*

*Nous tenons à remercier vivement tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.*

*Nous remercions vont aussi à tous les enseignants du département d'électronique et Télécommunications qui ont contribué à notre formation.*

*Enfin nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour leur soutien moral et matériel...*

# Dédicace

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...*

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,*

*L'amour, le respect, la reconnaissance...*

*Aussi, c'est tout simplement que :*

*Je dédie ce mémoire :*

## ***A MON PÈRE NOUAR***

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.*

*Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.*

*Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

## ***A MA TRÈS CHÈRE MÈRE***

*Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence,*

*la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.*

*Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices*

*que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.*

*Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant,*

*te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.*

## ***A MA BELLE... MA BINOME SOMIA***

## ***A MES CHÈRS ET ADORABLE FRÈRES ET SOEUR :***

*ATHMANE, RAMZI, SADDEK, ALI, MOHAMED YAZID, LOUAI ;*

*AMEL, SAIDA, HABIBA ET AMIRA*

## ***ET TOUTS LA PROMOTION ET MES PROFESSEURS***

**HASSINA**

# *Dédicace*

*À ma très chère mère*

*Quoi que je fasse ou je dise, je ne saurais point te remercier comme il se doit. ton affection me couvre, ta bienveillance me garde et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.*

*À mon très cher père*

*Tu as été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, tu m'as donné beaucoup d'amour. Que ce travail traduise ma gratitude et mon affection.*

*À ma chère tante Mouni et son mari Abdallah, à mon cher frère Salah et mes chères sœurs Zahra, Yasmine et Zoubida.*

*À tous mes amis qui m'ont toujours encouragé et à qui je souhaite plus de succès.*

*À tous ceux que j'aime*

***Merci!***

***Somia***

## Résumé

La technologie a toujours été au service de l'être humain. Les feux de carrefours ont été inventés pour rendre la vie des gens dans les villes plus facile, mais l'installation, la mise au point et la maintenance des feux de carrefours sont très délicates. L'idée de notre projet est venue en tant que solution à ce problème en améliorant l'installation et la mise au point des feux de carrefours par une solution sans fil.

Le système est piloté par un Arduino, la communication sans fil entre les poteaux de signalisation est assurée par un module XBee.

L'alimentation électrique est assurée par énergie solaire.

## Abstract

Technology has always been at the service of the human being. Crossroads fires were invented to make life easier in cities, but the installation, development and maintenance of traffic lights are very delicate. The idea of our project came as a solution to this problem by improving the installation and development of traffic lights with a wireless solution.

The system is driven by an Arduino, the wireless communication between the signal poles is provided by an XBee module.

The power supply is provided by solar energy.

## ملخص

كانت التكنولوجيا دائما في خدمة الإنسان. تم اختراع اشارات المرور لجعل الحياة أسهل في المدن ، لكن تركيب وتطوير وصيانة إشارات المرور حساس للغاية ، وكانت فكرة مشروعنا بمثابة حل لهذه المشكلة عن طريق تحسين تركيب وتطوير إشارات المرور مع حل لاسلكي.

يتم تشغيل النظام بواسطة Arduino، ويتم توفير الاتصالات اللاسلكية بين أقطاب الإشارة بواسطة وحدة XBee. يتم توفير إمدادات الطاقة عن طريق الطاقة الشمسية.

# Sommaire

Liste des symboles	I
Liste des figures	II
Liste des tableaux	III
Introduction générale	1
<b>CHAPITRE 1 : ETUDE SUR LES CARREFOURS A FEUX</b>	
1.1 Généralités	2
1.2 Bref aperçu historique	2
1.3 Règles de conception d'un carrefour	4
1.3.1 Fonctionnement à deux phases	4
1.3.2 Orthogonalité des voies en conflit	5
1.3.3 Alignement des voies en phase	5
1.3.4 Réduction de la taille de la zone de conflits	5
1.4 Types de carrefours	6
1.5 Caractéristiques du carrefour à feux	7
1.6 Domaines d'emploi	9
1.7 Différentes catégories des feux de carrefour	9
1.7.1 Signaux lumineux d'intersection	10
1.7.2 Autres signaux lumineux de circulation	14
1.8 Gestion d'un carrefour à feux	16
1.9 Contraintes des carrefours à feux	18
1.9.1 Réglementation routière	18
1.9.2 Simplicité du carrefour	18
1.9.3 Lisibilité et la légitimité du carrefour	18
1.9.4 Prendre en compte les véhicules hors norme	19
1.9.5 Prendre en compte la traversée des piétons	19
1.9.6 Assurer un débit adéquat	19
<b>CHAPITRE 2 : ETUDE ET DEVELOPPEMENT SUR LA TECHNOLOGIE ZIGBEE</b>	
2.1 Introduction	20
2.2 Présentation d'IEEE802.15.4/ZigBee	20
2.2.1 Historique	20
2.2.2 Généralités	20

2.2.3 Architecture de ZigBee	22
2.2.4 Type d'objets ZigBee	24
2. 2.5 Modes de ZigBee	24
2.2.6 Topologie ZigBee	25
2.2.7 Création d'un réseau	26
2.2.8 Sécurité dans le ZigBee	26
2.2.9 Comparaison entre ZigBee, Bluetooth et Wifi	27
2.2.10 Domaines d'applications	28
2.3 Présentation du module XBee	29
2.3.1 Généralités	29
2.3.2 Principales caractéristiques du module XBee	29
2.3.3 Catégories de l'XBee	30
2.3.4 Antennes utilisées	30
2.3.5 Brochage	31
2.4 Présentation et utilisation du logiciel XCTU	32
2.4.1 Généralités	32
2.4.2 Branchement d'un module XBee sur le pc	34
2.4.3 Reprogrammation du canal d'émission et du PAN ID	34
2.5 Conclusion	38
<b>CHAPITRE 3 : REALISATION PRATIQUE</b>	
3.1 Introduction	39
3.2 Schéma synoptique	40
3.2.1 Panneau solaire	40
3.2.1.1 Arduino Uno	40
3.2.1.2 Module XBee S2C	41
3.2.1.3 Leds	42
3.2.2 Régulateur de charge	44
3.2.3 Batterie	44
3.2.4 Unité de commande	45
3.3 Conclusion	52
Conclusion générale	54
Bibliographie	55
Annexe	57

## **I. LISTE DES SYMBOLES**

AD: Analog Digital

AES: Advanced Encryption Standard

AF: Application Framework

API: Application Programming Interface

APL : Couche Application

APS : Sous-couche Application Support Sub-Layer

AT: Application Transparent

CLI : l'interface de ligne de commande

DIO: Digital Input Output

FFD: Full Function Device

ID : un identifiant

IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers

ISM: Industrial, Scientific, Medical

HA: ZigBee Home Automation

LP-WPAN: Low Power-Wireless Personal Area Network

MAC : Medium Access Control (La couche d'accès au médium)

NWK : Couche Network

PAN ID : Personal Area Network, Identifiant du réseau personnel

PHHC: ZigBee Personal Home & Hospital Care

PWM: sortie analogique

RFD: Reduce Function Device

R11 : signal tricolore circulaire

R12 : signal piéton

R13 : signaux tricolores modaux

R13c : signaux tricolores modaux en forme de cycle

R13b : signaux tricolores modaux en forme de bus

R14 : signaux tricolores directionnels

R14 tg : signaux tricolores directionnels (tourne à gauche)

R14dtg : signaux tricolores directionnels (direct tourne à gauche)

R14d : signaux tricolores directionnels (direct)

R14dtd : signaux tricolores directionnels (direct tourne à droite)

R14td : signaux tricolores directionnels (tourne à droite)

R15 : signaux d'anticipation modaux

R16 : signaux d'anticipation directionnels

R17: signal pour véhicules des services réguliers de transport en commun

R18 : signaux directionnels pour véhicules des services réguliers de transport en commun

R19 : signaux d'autorisation conditionnelle de franchissement pour cycles

R22 : signal tricolore de contrôle de flot

R23 : signal bicolore de contrôle individuel

R24 : signal d'arrêt

R25 : signal d'arrêt pour piétons

SAP: Service Access Point

SE : ZigBee Smart Energy

SSP: Module Security Service Provider

TC: Trust Center

WPANs: Wireless Personal Area Networks

ZC: ZigBee Coordinator

ZDO : Module ZigBeeDevice Object

ZED : ZigBee End-Device (équipements finaux) , ZR: ZigBee Router

## **II. LISTE DES FIGURES:**

<b>Figure N°</b>	<b>Titre</b>
1	ancienne photo des feux de carrefour
2	carrefour en croix fonctionnant à deux phases
3	adaptation de la géométrie d'un carrefour sans feux
4	types de carrefour
5	zone fonctionnelle d'un carrefour simple de deux routes à sens unique
6	signal tricolore circulaire
7	signal piéton
8	signaux tricolores modaux
9	signaux tricolores directionnels
10	signaux d'anticipation modaux
11	signaux d'anticipation directionnels
12	signal pour véhicules des services réguliers de transport en commun
13	signaux directionnels pour véhicules des services réguliers de transport en commun
14	signaux d'autorisation conditionnelle de franchissement pour cycles
15	signal tricolore de contrôle de flot
16	signal bicolore de contrôle individuel
17	signal d'arrêt
18	signal d'arrêt pour piétons
19	problème de la circulation au niveau du carrefour
20	deux exemples de dysfonctionnements dus à une inadéquation entre les débits de chaque courant et l'infrastructure
21	XBee S2C
22	pile ZigBee détaillée
23	Bandes de fréquence définies pour la norme IEEE 802.15.4
24	topologies ZigBee
25	sécurités des couches NWK et APS
26	Domaines d'application du ZigBee

27	les différents types d'antennes XBee
28	les entrées/sorties XBee
29	Insertion du module XBee sur la platine explorer USB
30	Découvert des modules radios connectés à ta machine
31	la Sélection du port COM correspondant
32	vérification des paramètres du port COM
33	la sélection du module détecté
34	Cliquant sur le module affiché
35	carrefour en T
36	Schéma synoptique
37	Arduino UNO
38	xbec S2C
39	Led rouge
40	Led verte
41	Led jaune
42	montage du circuit COORDINATOR
43	montage réel du circuit coordinateur
44	montage du circuit ROUTER 1
45	montage réel du circuit ROUTER 1
46	montage du circuit ROUTER 2
47	montage réel du circuit ROUTER2
48	Communication COORDINATOR- ROUTERS (1 et 2)
49	montage réel du notre système
50	Communication COORDINATOR- ROUTERS (1 et 2)

### **III. LISTE DES TABLEAUX:**

**Tableau 1 : Comparaison entre les différentes technologies sans fils**

**Tableau 2 : les exigences d'alimentation pour le module RF ZigBeeXBee / XBee-PRO**

**Tableau 3: temps d'ensoleillement moyen par mois**

# **Introduction Générale**

## Introduction générale

Au cours des dernières décennies, l'Algérie a connu une augmentation considérable et difficilement contrôlable des zones urbaines. La demande en déplacements a fortement augmenté et les villes algériennes supportent d'infinies pressions du à leur impossibilité de fournir des services de mobilité et de transport adapté aux nécessités de la population.

Face à cette augmentation urbaine notamment rapide, le système de mobilité urbaine et de transport public devient de plus en plus compliqué. Son bon fonctionnement et son évolution permanente nécessitent un remaniement complet englobant l'aménagement des carrefours.

Notre travail consiste en une étude et réalisation d'un feu de carrefours piloté par un Arduino et la communication de données se fait sans fil par le biais d'un module XBee et alimenté par panneaux solaires.

Ce sujet nous mène à nous poser la question: Comment résoudre le problème de mise au point de la commande des feux, la gestion de la communication entre les feux et l'alimentation du système en énergie électrique ?

Pour bien expliciter ce travail, notre mémoire est organisé comme suit :

- Le premier chapitre présente une étude générale sur les carrefours à feux.
- Le deuxième chapitre est consacré à la technologie ZigBee et le module XBee.
- Dans le troisième chapitre, nous présentons la partie pratique du travail, en expliquant les différentes étapes de la réalisation de ce projet.

# **CHAPITRE 1**

## **ETUDE SUR LES CARREFOURS A FEUX**

## 1.1. Généralités

Le croisement de plusieurs voies routières peut être une source grave d'insécurité. La plupart des accidents et des morts sur les routes se créent au niveau des carrefours.

Un carrefour est un terrain stratégique et lieu d'intersection de plusieurs routes au même niveau (ou de niveau différent). Le bon fonctionnement d'une route dépend essentiellement de la performance des carrefours car ceux-ci découvrent des places des permutations et de facilité du mouvement et la sécurité du trafic sont indispensables. Une bonne coordination des feux de carrefours permet d'améliorer les conditions d'écoulement du trafic urbain et diminuant la durée des arrêts et augmentant la vitesse de déplacement.

## 1.2. Bref aperçu historique

Les feux de signalisation sont à la circulation routière ce que les robinets sont à la distribution de l'eau : ils contrôlent et régulent les flux. Un feu qui passe au vert, c'est un robinet qui s'ouvre pour laisser passer le flux de véhicules. Le robinet doit s'ouvrir autant que nécessaire, ni plus ni moins, afin de réguler le débit [1].

**En 1868**, le premier feu de signalisation du monde fut installé sur la place du parlement à Londres, près du palais de Westminster. La circulation était régulée par des bras mécaniques le jour et par une lanterne à gaz émettant une lumière rouge ou verte la nuit. Le feu était contrôlé par un policier qui décidait quand mettre une autre lampe pour changer le signal[1].

Il fallut attendre près de cinquante ans après l'explosion à Londres pour que le premier feu de signalisation électrique soit mis en fonction **à Cleveland le 5 août 1914**. Il était composé de deux feux, un rouge et un vert, et contrôlé par un agent de la circulation qui changeait les feux depuis une cabine proche et faisait signalait le changement de couleur avec une cloche. Ce système permettait un lien constant avec les pompiers et la police. Il aidait aussi à dégager les carrefours pour les véhicules de secours [1].

Les premiers feux de signalisation tricolores furent installés **en 1920 à détroit et à new York**. Les couleurs venaient de la signalisation ferroviaire. À la fin du dix-neuvième siècle, rouge signifiait « stop », vert « avancer prudemment » et blanc « voie dégagée ». Mais il y avait un problème : si le verre rouge était cassé, le feu paraissait blanc. C'est ainsi que sont nés les feux rouge-orange-vert [1].

L'Europe ensuite adopta le feu tricolore **en 1922**, d'abord à paris au croisement de la rue de Rivoli et du boulevard Sébastopol, puis à Hambourg sur la stephansplatz. La célèbre tour de signalisation à cinq côtés fabriquée par **siemens en 1924** fut installée sur les pots damer platz de Berlin, qui était alors le carrefour le plus fréquenté d'Europe [1].

**En 1933**distingua l'installation du premier feu pour piétons à **Copenhague**. Le premier feu automatique pour piétons affichant le message « ne pas traverser » fut utilisé pour la première fois le **5 février 1952, à new York** [1].

Le même système fut également introduit en Allemagne peu de temps après, mais avec les messages « attendez » et « traversez », que les piétons respectaient rarement. Enfin, **le bonhomme vert fut inventé en 1961** en Allemagne de l'est par **le psychologue de la circulation routière Karl peglau**. Il fallut attendre **2004** pour qu'une femme apparaisse sur les feux de signalisation pour piétons [1].



**figure1.1** : ancienne photo des feux de carrefour.

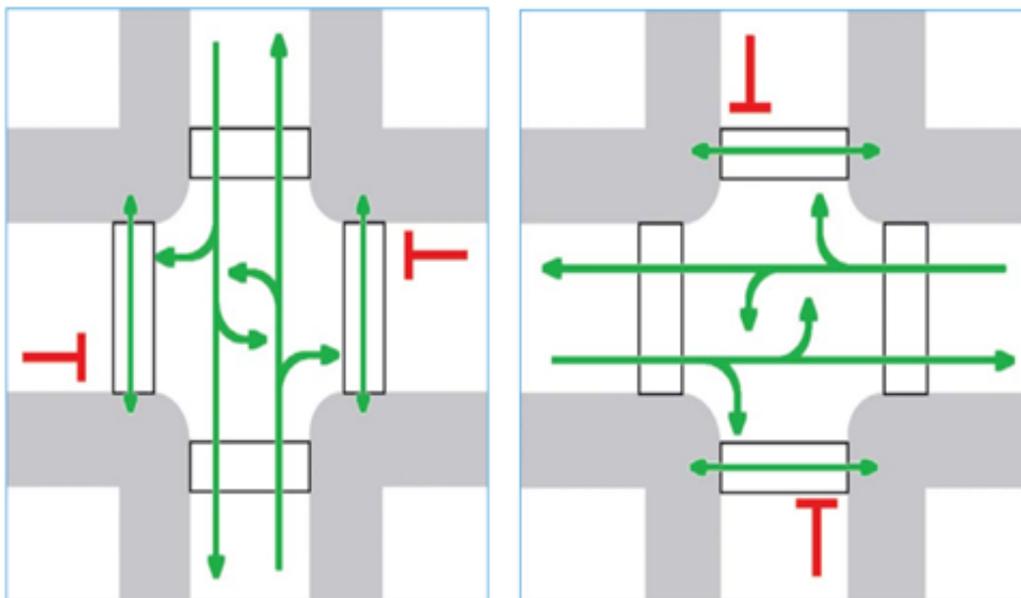
## 1.3. Règles de conception d'un carrefour

La conception d'un carrefour est un pas non linéaire qui nécessite bien souvent de nombreux allers et retours entre les esquisses de tracés géométriques et l'évaluation fonctionnelle de ces tracés. On peut citer dans ce travail quelques points de repères ainsi que les outils permettant d'évaluer un avant-projet de carrefour à feux. On y trouvera également les termes utilisés dans ce domaine : [2]

### 1.3.1. Fonctionnement à deux phases

À chaque phase de trafic, un temps pendant lequel aucun véhicule ne passe est inmanquablement généré. Il se compose du temps nécessaire au démarrage (environ 1 seconde), du temps de jaune (3 secondes) et du temps de rouge de dégagement de la zone de conflit.

Le fonctionnement à deux phases doit être le principe de base car il est plus simple et plus lisible pour l'utilisateur. De plus, les cycles courts permettent d'éviter le stockage d'un nombre important de véhicules tournant à gauche au milieu du carrefour.



**Figure1.2** : carrefour en croix fonctionnant à deux phases.

## **1.3.2. Orthogonalité des voies en conflit**

Dans la traversée d'un carrefour à feux, tout automobiliste en mouvement tournant doit céder la priorité à un mouvement piétons (et éventuellement cyclistes) autorisé simultanément sur l'axe transversal.

L'application de cette priorité nécessite une identification précise et sans ambiguïté des directions à droite, à gauche et directe. Elle est spontanément obtenue dans les carrefours en croix ou en t classiques dans les réseaux maillés angle droit. Lorsque ce n'est pas le cas, on s'en approche le plus possible, par exemple en redressant l'arrivée des voies sur le carrefour.

L'orthogonalité du passage piéton et de la chaussée permet aux personnes malvoyantes de traverser sans s'éloigner du passage piéton et d'atteindre le refuge ou le trottoir opposé au bon endroit.

Elle minimise également la distance à parcourir.

## **1.3.3. Alignement des voies en phase**

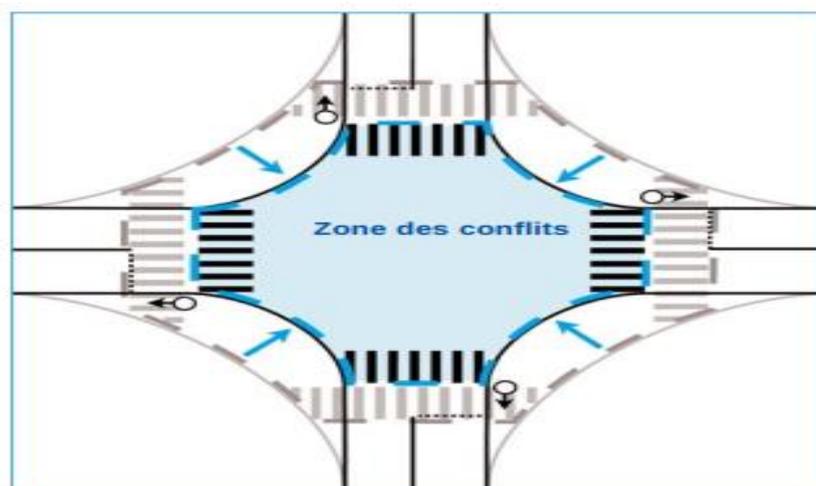
Pour optimiser le rendement des carrefours à feux, on cherche à admettre dans la même phase deux courants adverses, les véhicules qui tournent à gauche doivent alors céder le passage aux véhicules du flux adverse.

Plus les axes des voies admises au vert simultanément sont parallèles, plus la perception de devoir céder le passage au trafic adverse est intuitive.

## **1.3.4. Réduction de la taille de la zone de conflits**

la gestion des conflits dans le temps impose que la taille de la zone de conflits soit la plus réduite possible pour des raisons de sécurité et de capacité, sachant que les limites à cette réduction sont :

- d'une part, la possibilité de giration des véhicules les plus contraignants (bus, poids lourds...);
- d'autre part, le stockage des véhicules en tourne à gauche à l'intérieur du carrefour, si nécessaire.



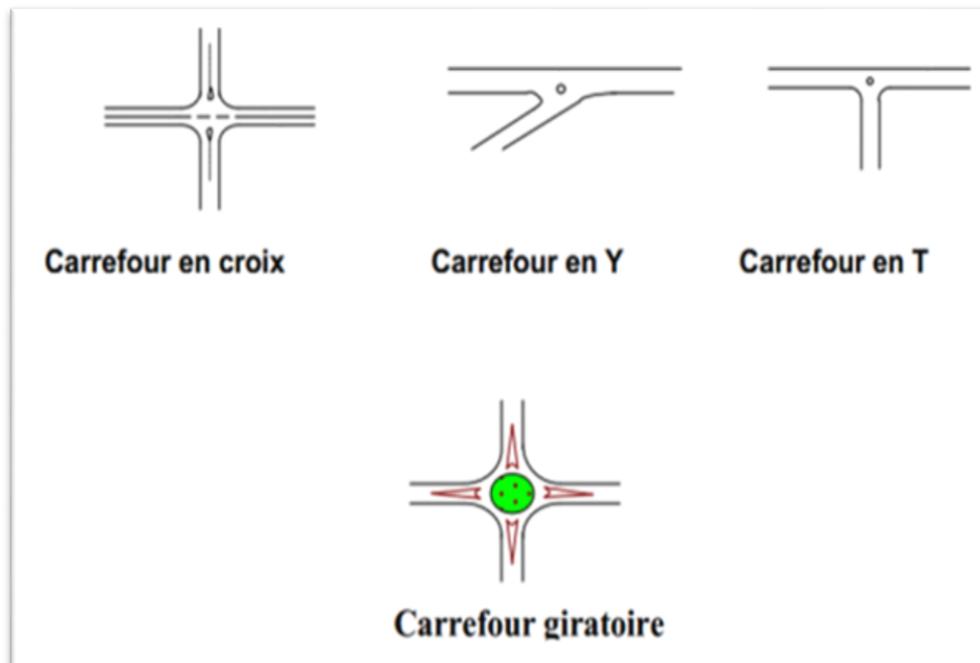
**Figure1.3:**adaptation de la géométrie d'un carrefour sans feu.

## 1.4. Types de carrefours

Le classement des carrefours en familles homogènes doit favoriser une collecte par les utilisations la plus nette possible, là encore l'image d'un carrefour aménagé doit renvoyer à un mode de fonctionnement facilement et rapidement compréhensible. Dans la pratique, un classement par grandes familles techniques de carrefours aménagés (suivant leur configuration et leur fonctionnement) répond bien à cette nécessité. Ils sont classés en fonction du nombre de branches:[3]

- **Carrefour en croix:** c'est un carrefour plan à quatre branches deux à deux alignées (ou quasi).
- **Carrefour en Y :** c'est un carrefour plan ordinaire à trois branches, comportant une branche secondaire uniquement et dont l'incidence avec l'axe principal est oblique (s'éloignant de la normal de plus de  $20^\circ$ ).
- **Carrefour en T:** c'est un carrefour plan ordinaire à trois branches secondaires, le courant rectiligne domine, mais les autres courants peuvent être aussi d'importance semblable.
- **Carrefour giratoire:** c'est un carrefour plan comportant un îlot central (normalement circulaire) matériellement infranchissable, ceinturé par une chaussée mise à sens unique par la droite, sur laquelle débouchent différentes routes et annoncé par une signalisation spécifique. Les carrefours giratoires sont

utiles aux intersections de deux ou plusieurs routes également chargées, lorsque le nombre des véhicules virant à gauche est important.



**Figure1.4:** types de carrefour.

## 1.5. Caractéristiques du carrefour à feux

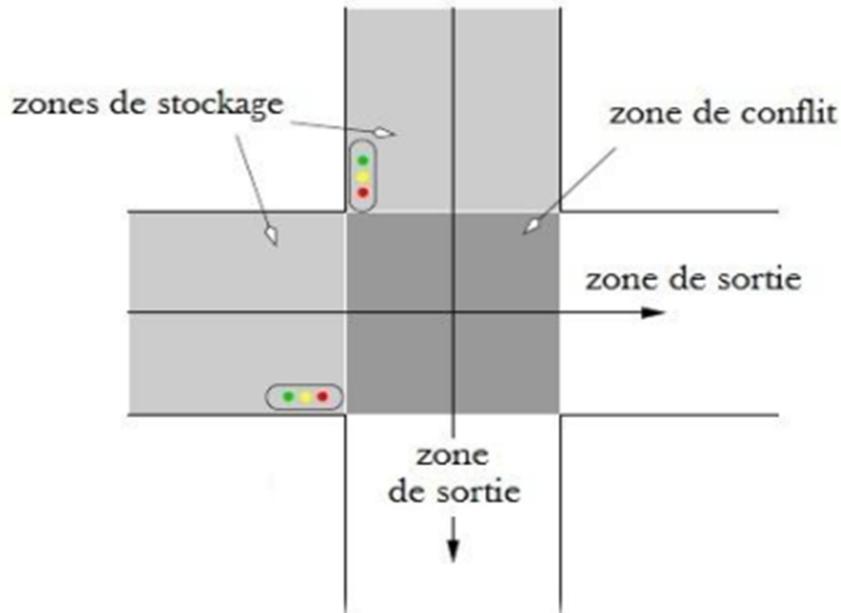
les carrefours sont les lieux de croisement d'au moins deux routes où un flux de véhicules venant d'une même origine se divise en deux ou plusieurs flux vers plusieurs destinations suivant des coefficients appelés taux des mouvements tournants. Un tel croisement peut revêtir de nombreuses formes. Une route est caractérisée par sa longueur et son nombre de voies ainsi que le sens de la circulation et la vitesse maximale autorisée sur les voies [4].

La figure 1.5 en montre les zones fonctionnelles.

Dans chaque intersection, nous pouvons identifier trois zones fonctionnelles [4]:

- Une zone de stockage, placée: en amont de la zone de conflit, constitue l'entrée empruntée par les véhicules ;
- Une zone de conflit, relative à l'espace de croisement des routes ; i.e. La ressource critique partagée par tous les véhicules qui traversent l'intersection ;

- Une zone de sortie, placée en aval de la zone de conflit, permet le soulagement de cette zone.



**Figure 1.5 :** zone fonctionnelle d'un carrefour simple de deux routes à sens unique.

Le caractère conventionnel de la signalisation lumineuse concerne les couleurs à utiliser mais également leur ordre de succession d'apparition. En effet, l'allumage des feux est séquentiel, c'est-à-dire astreint à une procédure ordonnée, en l'occurrence la séquence vert-jaune-rouge. un vocabulaire technique commun, désignant le fonctionnement de la signalisation tricolore, est également utilisé par l'ensemble de la communauté des ingénieurs concernés par le domaine[4] :

- **L'état des feux** : le signal lumineux commandant le passage libre (feu vert), toléré (feu orange) ou interdit (feu rouge) du trafic des véhicules ;
- **Une phase** : la durée pendant laquelle un feu passe par les trois états, c'est-à-dire effectue une séquence de signal lumineux ;
- **Un cycle** : la période pendant laquelle l'ensemble des feux effectuent leur phase permettant successivement l'admission de tous les courants de véhicules dans ce carrefour ;

•**Un plan de feu** : la durée et l'ordre de déroulement de l'allumage des trois états, pendant un cycle, de l'ensemble des groupes de feu ; un même carrefour peut suivre alternativement plusieurs plans de feu.

## 1.6. Domaines d'emploi

L'emploi des feux de circulation a pour but d'assurer la sécurité des piétons et des usagers des véhicules et d'améliorer la fluidité de la circulation. On peut citer comme exemples d'emploi [5]:

- La gestion du trafic aux intersections ;
- La traversée des piétons ;
- L'exploitation par sens uniques alternés d'une section où le croisement est impossible ou dangereux (ouvrage d'art étroit, etc.) ;
- L'affectation de certaines voies d'une chaussée à un sens de circulation en fonction des besoins, ou leur condamnation momentanée ;
- Le contrôle d'accès à certaines voies rapides ;
- La gestion d'un point de contrôle des personnes ou des véhicules nécessitant leur arrêt (péage) ;
- La protection d'obstacles intermittents (passages à niveau, traversées de voies exclusivement réservées aux véhicules des services réguliers de transport en commun, ponts mobiles, passages d'avions, avalanches, etc.).

## 1.7. Différentes catégories des feux de carrefour

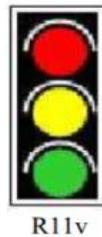
Les feux de circulation sont verts, jaunes ou rouges, sauf ceux spécifiquement réservés aux véhicules des services réguliers de transport en commun, qui sont blancs. Ils peuvent être groupés en signaux tricolores, bicolores ou unicolores. Ils sont généralement circulaires et, pour les feux destinés aux véhicules des services réguliers de transport en commun, peuvent comporter un pictogramme ou des signes spécifiques. Les feux jaunes, rouges et le disque des feux pour véhicules des services réguliers de transport en commun peuvent être clignotants (c'est-à-dire alternativement allumés ou éteints chaque seconde, pendant des durées sensiblement égales)[5].

## 1.7.1. Signaux lumineux d'intersection

les signaux lumineux d'intersection forment une première famille de signaux. Ils comprennent neuf grands types de signaux, R11 à R19 [5] :

### R11 : signal tricolore circulaire

Il est normalement composé de trois feux circulaires vert, jaune, rouge (R11v) : voir figure 1.6 Exceptionnellement, et sous réserve d'une étude le justifiant, le vert peut être remplacé par du jaune clignotant (R11j)



**Figure 1.6 :** signal tricolore circulaire.

### R12 : signal piéton

Il est constitué de deux feux vert et rouge, normalement disposés dans cet ordre de droite à gauche ; éventuellement ils peuvent être disposés l'un au-dessus de l'autre, le vert en bas.



**Figure 1.7:**signal piéton.

## R13 : signaux tricolores modaux

Ils sont composés de trois feux verts, jaune, rouge, dans cet ordre de bas en haut, munis chacun d'un même pictogramme.

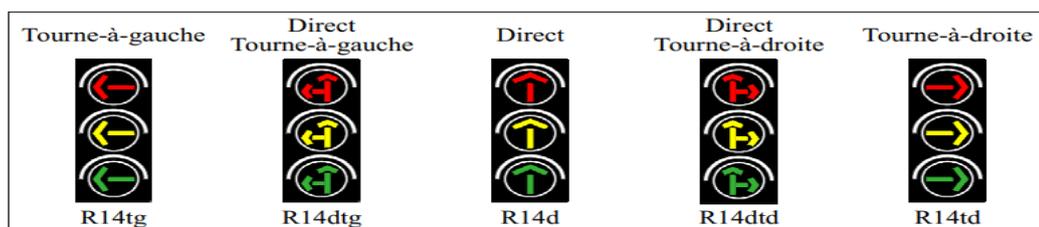
Le feu vert peut être remplacé par un feu jaune clignotant, les signaux se dénommant alors respectivement : R13cj et R13bj.



**Figure 1.8:**signaux tricolores modaux.

## R14 : signaux tricolores directionnels

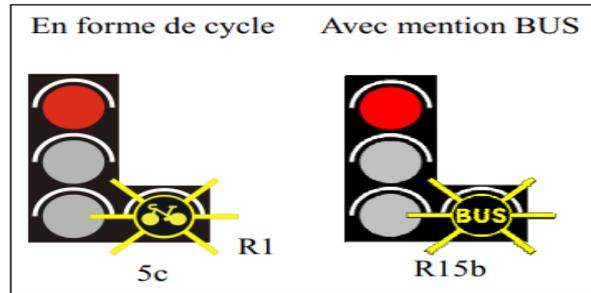
Ils sont destinés chacun à l'ensemble des véhicules qui ont pour destination la direction indiquée par la flèche, ou l'une des directions indiquées. En aucun cas le feu vert ne peut être remplacé par un feu jaune clignotant.



**Figure 1.9:**signaux tricolores directionnels.

## R15 : signaux d'anticipation modaux

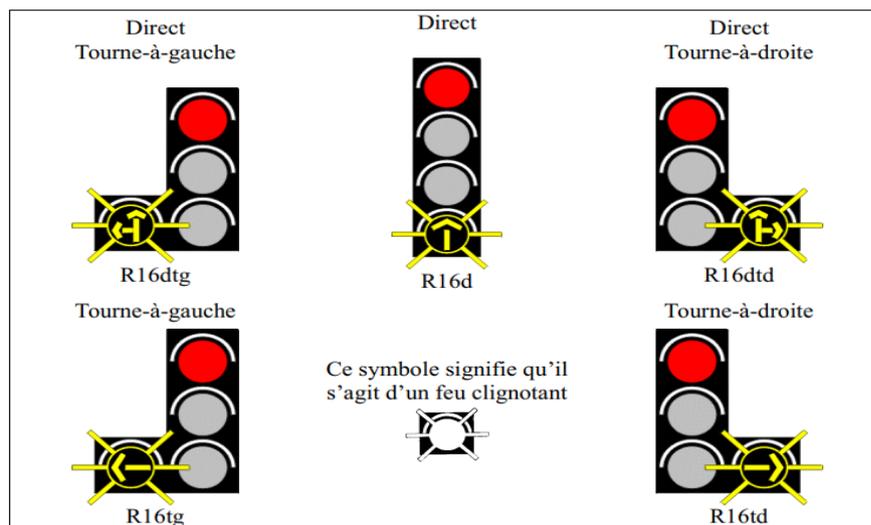
Ils sont composés d'un feu jaune clignotant et sont obligatoirement associés à un ensemble de feux tricolores circulaires du type R11v (vert sur le feu du bas). Ils sont munis d'un pictogramme.



**Figure 1.10:** signaux d'anticipation modaux

## R16 : signaux d'anticipation directionnels

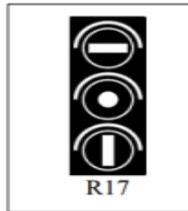
Ils sont composés d'un feu jaune clignotant et sont obligatoirement associés à un ensemble de feux tricolores circulaires R11v (vert sur le feu du bas).



**Figure 1.11 :** signaux d'anticipation directionnels.

## R17: signal pour véhicules des services réguliers de transport en commun

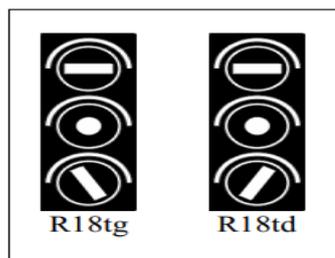
Il est composé de trois feux blancs présentant. De bas en haut, une barre verticale, un disque et une barre horizontale, sur fond noir circulaire. Le feu central comportant le disque peut être clignotant.



**Figure 1.12:** signal pour véhicules des services réguliers de transport en commun.

**R18 : signaux directionnels pour véhicules des services réguliers de transport en commun**

Ils sont composés comme le signal R17, à l'exception de la barre du feu inférieur qui est inclinée à gauche ou à droite. Ils s'adressent exclusivement aux véhicules des services réguliers de transport en commun qui ont pour destination la direction indiquée par la barre du feu inférieur.

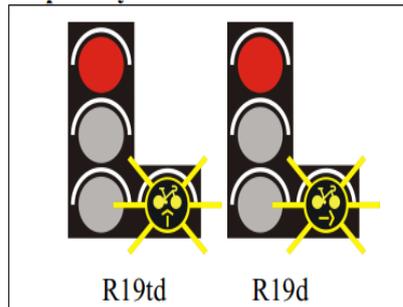


**Figure 1.13:**signaux directionnels pour véhicules des services réguliers de transport en commun.

**R19 : signaux d'autorisation conditionnelle de franchissement pour cycles**

Ils sont composés d'un feu jaune clignotant munis de deux pictogrammes et sont obligatoirement associés à un ensemble de feux tricolores circulaires dont le feu du bas est vert.

Ils autorisent les cycles à ne pas marquer l'arrêt au feu pour s'engager dans la direction indiquée.



**Figure1.14:** signaux d'autorisation conditionnelle de franchissement pour cycles.

## 1.7.2. Autres signaux lumineux de circulation : [5]

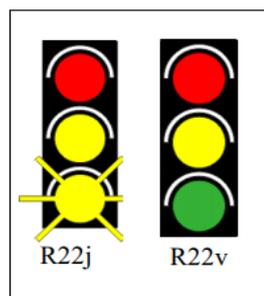
les autres signaux lumineux de circulation comprennent deux familles de signaux : les feux de contrôle de flot ou de contrôle individuel et les signaux d'arrêt.

### **R22 et R23 : signaux de contrôle d'accès**

#### **R22 : signal tricolore de contrôle de flot**

Il se compose des mêmes feux que le signal R11 vertical et se présente sous deux aspects : le feu du bas peut être soit vert : R22v, soit jaune clignotant : R22j.

Le signal tricolore de contrôle de flot est destiné à limiter le débit de véhicules par exemple sur une bretelle d'entrée à une voie rapide pour en contrôler l'accès.



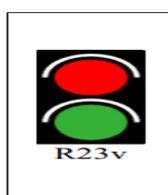
**Figure 1.15:**signal tricolore de contrôle de flot.

## **R23 : signal bicolore de contrôle individuel**

Il se compose de deux feux circulaires fixes, vert et rouge : R23v, ou jaune clignotant et rouge : R23j, dans cet ordre de bas en haut.

Il est destiné au contrôle de tous les véhicules. Il s'applique à une seule voie de circulation où l'arrêt de chaque véhicule est requis pour une opération de contrôle : douane, péage... Par exemple.

Il peut aussi réguler l'accès à une voie rapide « en goutte-à-goutte », c'est-à-dire véhicule par véhicule.



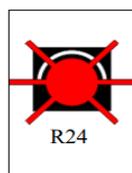
**Figure 1.16:**signal bicolore de contrôle individuel

## **R24 : signal d'arrêt**

Il est composé d'un feu circulaire rouge clignotant. Eventuellement, deux de ces signaux peuvent être assemblés ou rappelés, et clignoter en synchronisme ou en alternance.

Il est destiné à interdire momentanément la circulation à tout véhicule routier, devant un obstacle ou un danger particulier (passage à niveau, traversée de voies exclusivement réservées aux véhicules des services réguliers de transport en commun, pont mobile, avalanche...).

Il peut être employé pour favoriser le débouché sur la voie publique des véhicules prioritaires des pompiers.



**Figure 1.17:**signal d'arrêt.

## **R25 : signal d'arrêt pour piétons**

Il est composé d'un pictogramme rouge fixe figurant un piéton surmontant un pictogramme rouge clignotant portant la mention stop.

Il est destiné à interdire la traversée par les piétons des sites exclusivement réservés aux véhicules des services réguliers de transport en commun.



**Figure1.18:**signal d'arrêt pour piétons.

## **1.8. Gestion d'un carrefour à feux**

Dans la rue, les usagers doivent réussir à cohabiter qu'ils soient piétons, cyclistes, motocyclistes ou automobilistes. La régulation du trafic doit permettre de minimiser les conflits générés par le partage d'un même espace tout en assurant le confort des déplacements et la sécurité des utilisateurs. Les carrefours sont les principaux générateurs de conflits notamment entre les piétons et les autres véhicules (voir figure 1.19) [6].

La gestion du trafic par les feux permet de réduire les problèmes mais présente de nombreuses difficultés à surmonter : phasages des carrefours, optimisation des décalages par synchronisation des carrefours, de la durée des cycles et des verts. Les modèles adoptés doivent également pouvoir surmonter les problèmes de saturation du réseau [1.6].



**Figure1.19** : problème de la circulation au niveau du carrefour.

Pour une bonne gestion d'un carrefour on doit prendre en considération [6] :

- Les différents usagers et modes présents : véhicules légers, piétons (adultes, personnes à mobilité réduite, jeunes...), cyclistes, transports collectifs (TC), poids lourds (PL), transports exceptionnels...
- Les flux par mouvements directionnels (tout droit, tourne à droite, tourne à gauche...) notamment aux heures de pointe ;
- Les vitesses d'approche du carrefour ;
- L'exploitation du carrefour existant et des carrefours amont et aval ;
- L'emprise disponible, les possibilités d'extension ;
- Les dysfonctionnements, le comportement des usagers, les pratiques locales des usagers riverains du carrefour, y compris en matière de stationnement (par observations sur le site) ;
- La nature du tissu urbain environnant ;
- L'insécurité routière (accidents corporels survenus les cinq dernières années) ;
- La place et le rôle du carrefour dans la hiérarchie du réseau de voirie afférent...etc.

## **1.9. Les contraintes des carrefours à feux**

### **1.9.1.La réglementation routière**

le fonctionnement d'un carrefour à feux doit respecter la réglementation décrite dans l'instruction interministérielle sur la signalisation routière (lien). Le maître mot dans le fonctionnement d'un carrefour à feux est **sécurité**. Ce critère essentiel se traduit notamment par des temps de feu minimum, en particulier pour permettre aux piétons de traverser sans encombre. Des minima et des maxima sont ainsi définis. Si les minima sont toujours respectés, on observe sur le terrain que les maxima sont parfois transgressés [7].

### **1.9.2. La simplicité du carrefour**

Le fonctionnement du carrefour doit être le plus compréhensible possible, et donc le plus simple afin que les usagers ne se trompent pas dans l'utilisation du carrefour.

Le fonctionnement de tout carrefour à feux implique également un minimum incompressible de temps perdu. Ainsi, le rouge de dégagement qui conserve une période tampon entre deux phases, à la fois pour permettre au carrefour de se vider mais aussi pour conserver des marges de sécurité, ou encore le temps de redémarrage des véhicules au vert font couramment perdre 4 à 8 secondes par cycle.

Il est donc impératif de conserver un nombre de phases le plus réduit possible pour limiter les pertes de temps [7].

### **1.9.3. La lisibilité et la légitimité du carrefour**

Le respect des feux est directement lié à leur légitimité apparente. Si un feu est ou semble inutile ou que son fonctionnement est trop contraignant, les infractions augmenteront, grevant la sécurité et l'efficacité du carrefour. Planter un carrefour à feux est donc un exercice délicat qui impose une efficacité optimale [7].

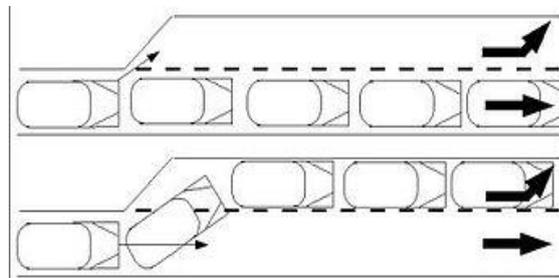
## 1.9.4. Prendre en compte les véhicules hors norme

Si la voiture particulière est prédominante, il n'en demeure pas moins que les bus et les deux roues circulent également sur la voirie. Le cycle de feu doit donc leur être adapté, tout particulièrement quand une infrastructure spécifique leur est dédiée (comme par exemple les couloirs de bus ou les pistes cyclables). Le problème est particulièrement sensible dans le cas d'une phase escamotable déclenchée par une boucle d'induction magnétique noyée dans la chaussée, si celle-ci n'est pas suffisamment sensible le feu risque de ne pas se déclencher à l'arrivée d'un véhicule hors norme[7].

## 1.9.5. Prendre en compte la traversée des piétons

La sécurité des piétons est particulièrement importante parce qu'ils sont très difficiles à canaliser. Il faut donc veiller à leur offrir des possibilités de traverser qui ne rallongent néanmoins pas leur trajet ni leur temps de traversée [7].

## 1.9.6. Assurer un débit adéquat



**Figure 1.20** : deux exemples de dysfonctionnements dus à une inadéquation entre les débits de chaque courant et l'infrastructure.

Un carrefour à feux ralentit nécessairement le trafic mais, dans la mesure où le plan de feu est souvent préprogrammé, une erreur provoquerait plus qu'un ralentissement, un blocage du carrefour. Il ne s'agit donc pas uniquement de ne pas trop ralentir le flux des véhicules mais aussi de s'assurer qu'il demeure possible [1.7].

# **Chapitre 2**

## **Etude et Développement sur La technologie Zigbee**

### **2.1. Introduction**

Après l'arrivée sur le marché des réseaux locaux sans fil wifi et Bluetooth, une nouvelle technologie est apparue, elle apporte une nouvelle dimension des technologies de communications. Cette nouvelle technologie de contrôle à distance d'un équipement électronique ou autre, c'est la technologie ZigBee! Cette nouvelle technologie possède plusieurs points forts, tel que la simplicité d'implémentation et des modes de faible consommation énergétique. De plus, la pile protocologique proposée par cette technologie est déclinable en plusieurs versions adaptables selon les besoins et la topologie souhaitée.

### **2.2. Présentation d'IEEE802.15.4/ZigBee**

#### **2.2.1. Historique**

- **1998** : Dès l'arrivée des technologies sans fil Wifi et Bluetooth, les premières ébauches de réseaux de type ZigBee firent leur apparition dans le cadre d'applications où les technologies précédentes n'étaient pas utilisables. En particulier, de nombreuses recherches ont été menées sur des réseaux s'organisent automatiquement et composés de petites radios. La technologie Bluetooth a beaucoup inspiré le protocole ZigBee.
- **Mai 2003** : Le standard IEEE 802.15.4 est annoncé (souvent associé à tort au protocole ZigBee).
- **Eté 2003** : Philips décide d'abandonner le regroupement autour de ZigBee au sein de la ZigBee Alliance. C'est un coup dur pour le projet qui ne bénéficie plus du soutien de ce grand groupe.
- **Octobre 2004** : La ZigBee Alliance annonce que le nombre d'inscriptions a doublé pour arriver à plus d'une centaine d'entreprises dans 22 pays.
- **14 Décembre 2004** : Ratification des premières spécifications de ZigBee.
- **13 Juin 2005** : La ZigBee Alliance publie les premières spécifications officielles de la version ZigBee 1.0 qui sont alors disponibles en libre téléchargement [8].

#### **2.2.2. Généralités**

Lancé dans les années 2000, ZigBee est un LP-WPAN (Low Power-Wireless Personal Area Network) : c'est un réseau sans fil à courte portée et à faible consommation Énergétique. Il est

caractérisé par une portée maximum de quelques centaines de mètres et un débit faible (250kbit/s max) [9].



**Figure 2.1:**XBee S2C

La norme a été conçue pour interconnecter des unités embarquées contraintes énergétiquement comme des capteurs, à des unités de contrôle ou de commande.

La spécification ZigBee propose une pile protocolaire propriétaire et légère. Elle s'appuie sur la norme IEEE 802.15.4 pour les couches physique et liaison et propose ses propres couches supérieures (réseau, etc.) [9].

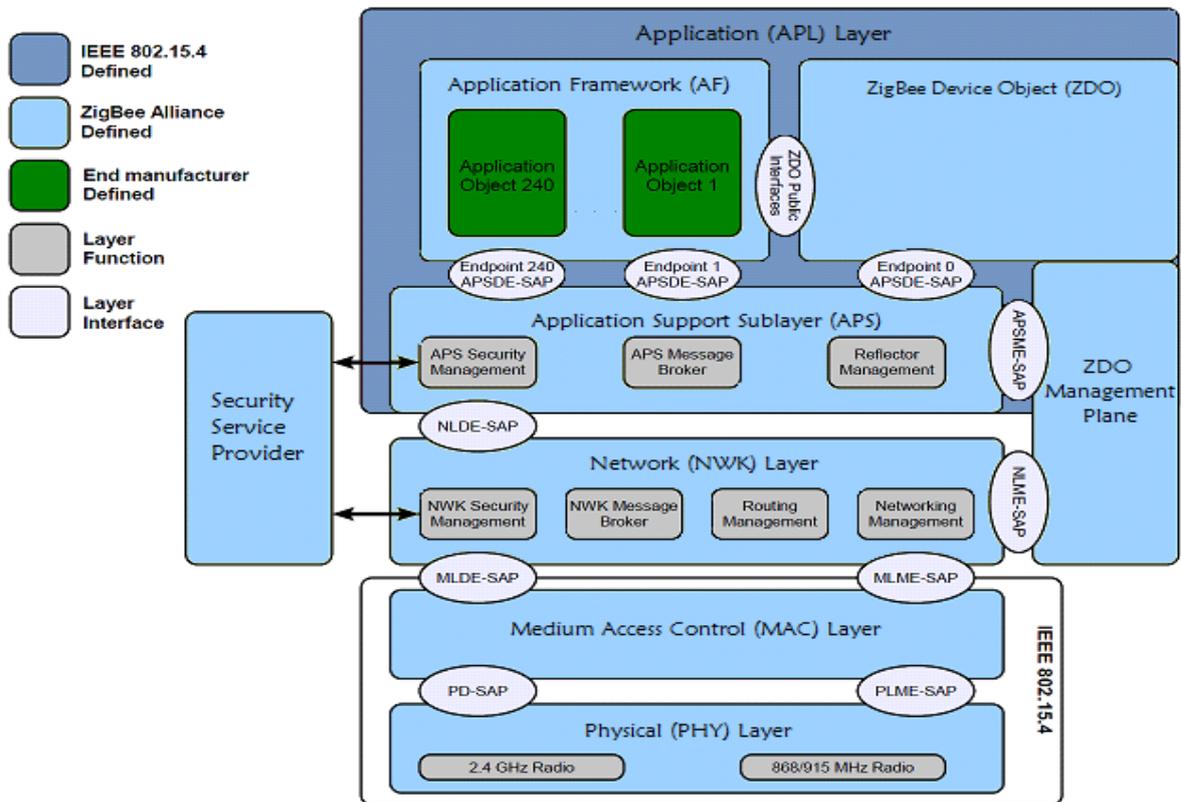
ZigBee alliance propose plusieurs versions pour le protocole ZigBee : ZigBee (2004/2006/2007), ZigBee PRO qui définit une pile et des caractéristiques supplémentaires (2007/2012), ZigBee 3.0 en cours de développement et des protocoles spécifiques tels ZigBee IP, ZigBee RF4CE, ZigBee Green Power [10].

La communication entre les équipements ZigBee repose sur la définition de profils qui se décompose en deux types : privés et publics. Chaque profil public possède un identifiant (ID) allant de  $0x0000$  à  $0x7FFF$  et  $0xBF00$  à  $0xFFFF$  pour les profils privés. Ci-dessous quelques exemples de profils publics :

- ZigBee Smart Energy (SE -  $0x0109$ ) : gestion de l'énergie.
- ZigBee Personal Home & Hospital Care (PHHC -  $0x0108$ ) : monitoring de patients, équipements de santé, fitness, etc.
- ZigBee Home Automation (HA -  $0x0104$ ) : contrôle de la maison, domotique [10].

• **2.2.3. Architecture de ZigBee**

ZigBee est structuré en 4 couches comme le montre la figure 2.2, dont les deux couches inférieures (PHY et MAC) sont définies par les spécifications de l'IEEE 802.15.4.



**Figure 2.2:** pile ZigBee détaillée.

- **Couche physique IEEE 802.15.4 :** La norme IEEE 802.15.4 supporte les 3 bandes ISM (Industrial, Scientific, Medical) de 868 MHz, 915 MHz et 2,4 GHz.

	<b>Bande</b>	<b>Usage</b>	<b>Débit</b>	<b>Nombre de canaux</b>	
	2.4 GHz	ISM	Mondial	250 kb/s	26
	915MHz	ISM	Amérique	40 kb/s	10
	868MHz	ISM	Europe	20 kb/s	1

**Figure 2.3:** Bandes de fréquence définies pour la norme IEEE 802.15.4.

- **La couche d'accès au médium ou MAC** (Medium Access Control) s'appuie sur les ressources de la couche physique.

C'est la couche principale pour les aspects logiciels qui définit la façon dont un nœud du réseau pourra dialogué (transmettre ou recevoir). Ces mécanismes sont tous détaillés dans la spécification du standard IEEE 802.15.4 [11].

- **La couche « Network » (NWK)** : est responsable de la topologie maillée (mesh net working) permettant à un nœud de communiquer à un autre grâce à un routage automatique. Elle fournit des mécanismes pour joindre, quitter et former un réseau, sécuriser le routage et la transmission des trames, identifier les chemins entre les équipements connectés, découvrir le voisinage réseau, la gestion des types de services applicatifs, etc. Les paquets de la couche réseau peuvent être envoyés en unicast, broadcast ou encore multicast [10].
- **La couche « Application » (APL)** : est associée à plusieurs éléments :
  - **La sous-couche Application Support Sub-Layer (APS)** : assure l'interface entre la couche de réseau et la couche d'application à travers un ensemble de services. Elle gère le maintien des tables de routage, le transfert des messages entre les appareils reliés, le management des adresses, le mapping des adresses étendues de 64 bits en adresse de 16 bits pour la couche NWK, la fragmentation et réassemblage des paquets, ou encore dispose d'un mécanisme de multiplexage (cas de plusieurs applications sur la même adresse) [10].
  - **L'Application Framework (AF)** : qui accueille les différents profils d'application. Elle propose également des API pour les développeurs. Chaque application dispose d'une adresse sur le nœud ZigBee comprise entre 0 et 255[10].
  - **Le module Security Service Provider (SSP)** : qui s'occupe de fournir des services de sécurité aux couches NWK et APS [10].
  - **Le module ZigBee Device Object (ZDO)** : qui est responsable du management des équipements notamment pour la définition du rôle (coordinateur, routeur), de la découverte ou encore des services d'applications du dispositif qui seront fournis[10].

Chaque couche expose un certain nombre de services pour la couche supérieure et chaque service fournit une interface à la couche supérieure au travers d'un Service Access Point (SAP). Ces SAP offrent les API pour permettre aux couches de communiquer tout en isolant le travail interne à chacune des couches [10].

### 2.2.4. Les type d'objets ZigBee

Identiquement à la norme 802.15.4, le protocole ZigBee prévoit deux types d'objets :

- **Les FFD (Full Function Device) :** implémentent toutes les spécifications du protocole. Ces derniers ont trois rôles possibles : **coordinateurs** (ZigBeeCoordinator - ZC), **routeurs** (ZigBee Router - ZR) ou **équipements finaux** (ZigBee End-Device - ZED).
- **Les RFD (Reduce Function Device) :** sont des équipements allégés qui sont peu gourmands tant au niveau énergétique que sur l'utilisation mémoire du microcontrôleur. Les équipements RFD sont donc des équipements finaux et ne peuvent être des coordinateurs ou routeurs [10].

### 2. 2.5. Les modes de ZigBee

Ces modules peuvent être utilisés avec un ordinateur ou une carte micro-contrôlée mais ils peuvent aussi fonctionner seuls. Ils disposent de six entrées analogiques et de huit entrées numériques dont ils peuvent transmettre l'état tout seul si on les a préalablement configurés correctement. Ils existent deux gammes de modules, la gamme XBee « normale » et la gamme XBee « pro » [12].

Les modules peuvent fonctionner dans deux modes principaux distincts :

- **Le mode transparent:** qui permet le remplacement immédiat de n'importe quelle liaison série asynchrone filaire par une liaison radio sans aucune manipulation particulière au niveau des modules XBee, ce mode peut supporter ou non, au gré de l'utilisateur, la programmation d'un certain nombre de fonctions du modem au moyen de commande dites commande AT [12].

- **Le mode API** : qui permet d'accéder aux possibilités plus fines de mise en réseau des modules mais ne se justifie vraiment que lorsque l'on veut gérer tout un groupe de modules avec des possibilités de diffusion multiple, d'adressage, etc.

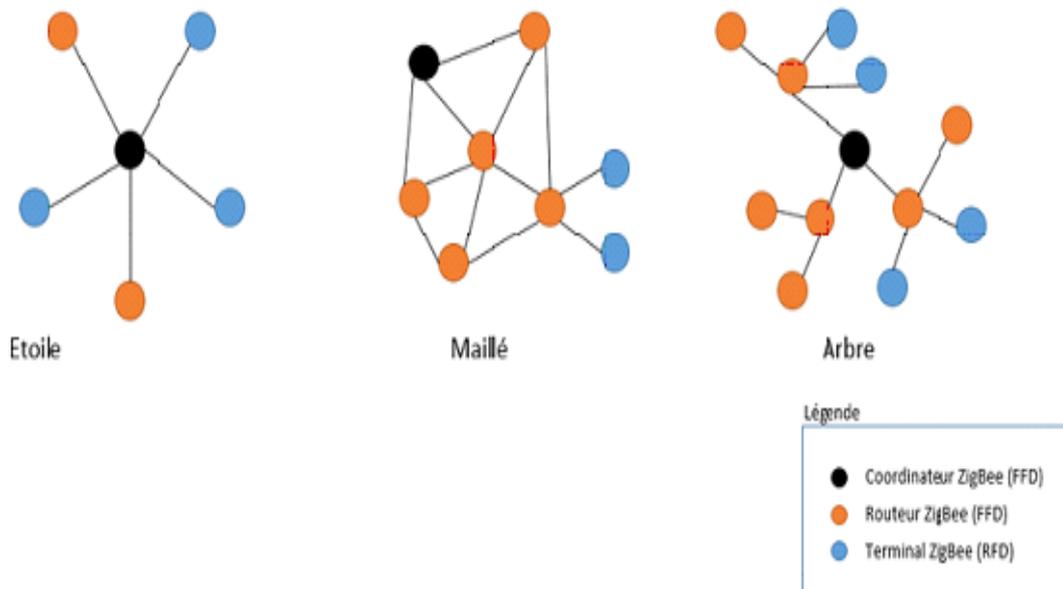
Quel que soit le mode utilisé, les modules XBee sont capables de transmettre les données jusqu'à une vitesse maximum de 250 kbit/s et la transmission peut être sécurisée si on le souhaite au moyen d'un algorithme de cryptage de type AES (Advanced Encryptions Standard) avec une clé sur 128 bits [12].

Les modules XBee (série 1) ont une puissance haute fréquence de 1 mW, ce qui leur confère une portée moyenne de 30 m en intérieur et de 100 m en extérieur, tandis que les modules XBee pro voient cette puissance portée à 60 mW (100 m pour l'intérieur et jusqu'à 1 500 m pour l'extérieur). Ces modules s'alimentent sous une tension pouvant varier de 2,8 à 3,4 V.

### **2.2.6. La topologie ZigBee**

La couche réseau ZigBee supporte 3 topologies différentes :

- **Topologie en étoile** : le coordinateur contrôle les équipements (nœuds) qui ne communiquent qu'avec lui.
- **Topologie maillée** : aussi référencé comme réseau pair-à-pair, il est composé de routeurs et terminaux ZigBee. Chaque routeur est généralement connecté par plusieurs chemins et achemine les paquets de données de ses voisins (multi-sauts, meilleur chemin, tolérance aux pannes et aux interférences).



**Figure 2.4:**topologies ZigBee

- **Topologie en arbre :** dans les réseaux en arbre, les routeurs transmettent les données et contrôlent les messages en utilisant un routage hiérarchique, ils utilisent de plus une communication de type annonce (beacons). Ce type de topologie permet des réseaux très étendus 255 clusters comprenant chacun 254 nœuds soit : 64770 nœuds [10].

### 2.2.7. Création d'un réseau

Dans un premier temps, le coordinateur cherche un canal utilisable qui n'interfère pas avec les fréquences en cours d'utilisation puis il envoie en broadcast via un message d'annonce (beacon) le numéro de PAN-ID choisi sur le canal sélectionné (la spécification précise une plage entre  $0x0000$  à  $0x3FFF$  pour l'adresse du PAN-ID). Ce dernier doit être unique par canal pour les réseaux non capables de changements de canaux dynamiques (ZigBee 2006) et unique sur tous les canaux (ZigBee 2007, ZigBee PRO). Le coordinateur doit également inclure dans sa requête un numéro de PAN-ID étendu (EPID sur 8 octets) en supplément à l'ID-PAN afin de faciliter la sélection d'un réseau spécifique pour les nœuds qui vont s'y joindre [10].

### 2.2.8. La sécurité dans le ZigBee

Le niveau de sécurité offert par l'architecture de sécurité ZigBee dépend de la protection des clés symétriques, des mécanismes de protection utilisés, ainsi que de la bonne mise en œuvre des mécanismes cryptographiques et des politiques de sécurité.

ZigBee utilise certains éléments de sécurité de la norme 802.15.4. Il étend les fonctionnalités de cette norme en utilisant :

- Des clés de chiffrement AES d'une taille de 128 bits ;
- Définition de différentes clés pour sécuriser les communications : Master, Link, Network ;
- Utilisation de l'algorithme CCM\* ;
- Utilisation d'un Trust Center (TC) ;
- Sécurité qui peut être personnalisée par application.

Bien que plusieurs protections de sécurité soient présentes sur la couche MAC de la norme 802.15.4, le protocole ZigBee intègre également les différentes sécurités dans les couches NWK et APS :



**Figure 2.5:** sécurités des couches NWK et APS.

Cependant, la spécification indique que les sécurités de la couche MAC doivent être désactivées pour certains paquets : « Route Request », « Route Reply », « Network Status », « Route Record », « Link Status », « Network Report » et « Network Update ». De ce fait, les constructeurs désactivent souvent l'intégralité des sécurités sur cette couche [10].

### 2.2.9. Comparaison entre ZigBee, Bluetooth et Wifi

En raison des avantages de la technologie ZigBee tels que les modes de fonctionnement à faible coût et à faible consommation d'énergie et de ses topologies, cette technologie de communication à courte portée convient mieux à plusieurs applications que d'autres communications propriétaires, telles que Bluetooth, Wi-Fi, etc. Certaines de ces comparaisons telles que la gamme de ZigBee, normes, etc., sont données ci-dessous [13].

Protocole	Zigbee	Bluetooth	Wi-Fi
Bande de fréquence	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
IEEE	802.15.4	802.15.1	802.11a/b/g
Besoins mémoire	4-32 K0	> 250 K0	> 1 M0
Autonomie avec pile	Années	Jours	Heures
Nombre de nœuds	> 65 000	7	32
Vitesse de transfert	250 Kb/s	1 Mb/s	11-54-108 Mb/s
Portée	100 m	10-100 m	300 m

**Tableau 2.1** : Comparaison entre les différentes technologies sans fils.

### 2.2.10. Domaines d'applications

ZigBee est aujourd'hui utilisé dans de nombreux équipements, très généralement embarqués, qui imposent une très faible consommation, et se suffisent d'un très faible débit de données et une portée de quelques dizaines de mètres (jusqu'à 100m).

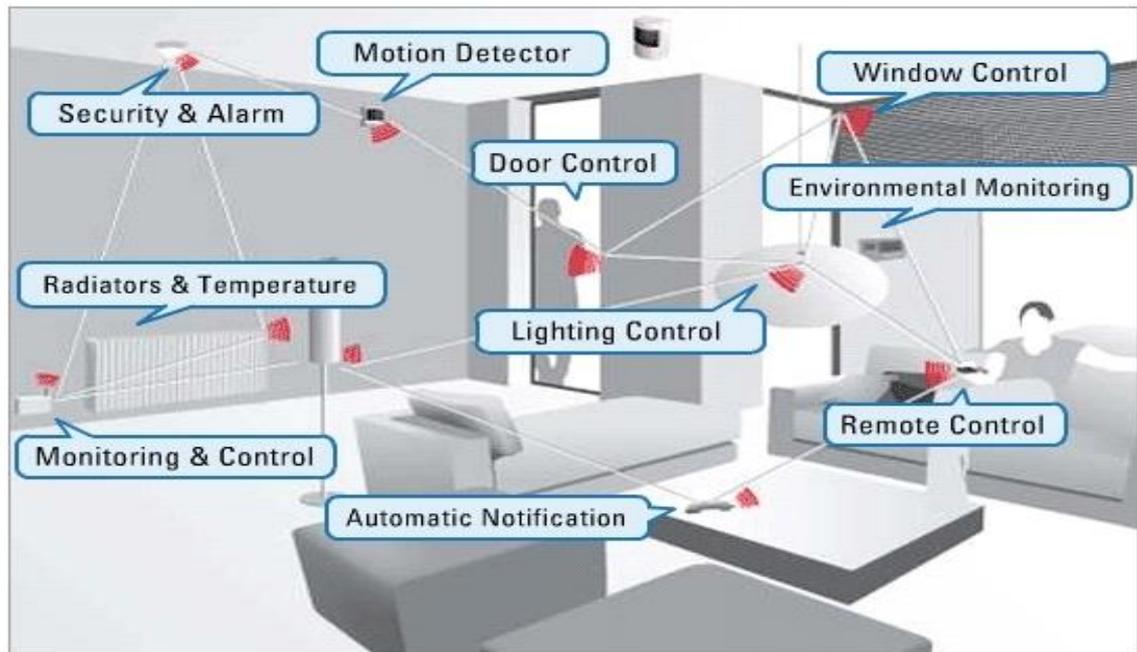


Figure 2.6: Domaines d'application du ZigBee

- **Automatisation industrielle** : dans les industries de fabrication et de production, une liaison de communication surveille en permanence divers paramètres et équipements critiques. Ainsi, ZigBee réduit considérablement ces coûts de communication et optimise le processus de contrôle pour une plus grande fiabilité [13].
- **Domotique** : ZigBee est parfaitement adapté au contrôle à distance d'appareils ménagers tels que la commande de système d'éclairage, le contrôle d'appareils, le contrôle de systèmes de chauffage et de refroidissement, le fonctionnement et le contrôle d'équipements de sécurité, la surveillance, etc[13].
- **Comptage intelligent** : les opérations à distance de ZigBee dans le comptage intelligent incluent la réponse à la consommation d'énergie, la prise en charge des prix, la sécurité contre le vol d'énergie, etc [13].
- **Surveillance Smart Grid** : les opérations ZigBee dans ce réseau intelligent impliquent la surveillance à distance de la température, la localisation des pannes, la gestion de l'alimentation réactive, etc[13].

### 2.3. Présentation du module XBee

#### 2.3.1. Généralités

Les produits XBee sont des modules de communication sans fil certifiés par la communauté industrielle ZigBee Alliance. La certification ZigBee se base sur le standard IEEE 802.15.4 qui définit les fonctionnalités et spécifications des réseaux sans fil à dimension personnelle (Wireless Personal Area Networks : WPANs) [14].

#### 2.3.2. Les principales caractéristiques du module XBee

- fréquence porteuse : 2.4Ghz
- portées variées : assez faible pour les XBee 1 et 2 (10 - 100m), grande pour le XBee Pro (1000m)
- faible débit : 250kbps
- faible consommation : 3.3V @ 50mA (inférieure à 10  $\mu$ A en mode "sleep").
- entrées/sorties : 6 10-bit ADC input pins, 8 digital IO pins
- sécurité : communication fiable avec une clé de chiffrement de 128-bits
- faible coût : ~ 25€
- simplicité d'utilisation : communication via le port série
- ensemble de commandes AT et API
- flexibilité du réseau : sa capacité à faire face à un nœud hors service ou à intégrer de nouveaux nœuds rapidement
- grand nombre de nœuds dans le réseau : 65000
- topologies de réseaux variées : maillé, point à point, point à multipoint [14].

#### 2.3.3. Catégories de l'XBee

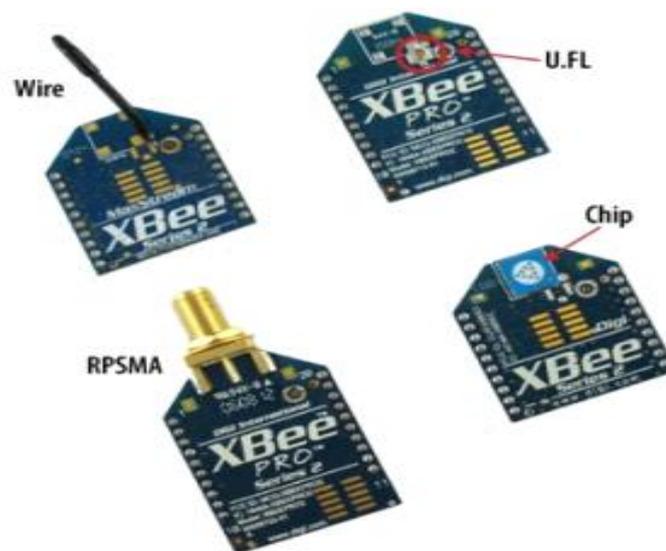
Il y a deux catégories de XBee : la série 1 et la série 2. **Les modules de la série 1** ont souvent un "802.15.4" qui s'ajoutent à leurs noms. **Les modules de la série 2** sont disponibles en plusieurs versions : XBee ZNet 2.5 (obsolète), le ZB (l'actuel) et le 2B (le plus récent). Des XBee Pro font la même chose, mais avec de plus grandes capacités, notamment la portée qui peut aller jusqu'à 1000 mètres !

- les modules des séries 1 et 2 ne sont pas compatibles entre eux ;

- la portée et la consommation sont sensiblement les mêmes ;
- le nombre d'entrées et sorties est différent et surtout la série 2 ne possède pas de sorties analogiques PWM ;
- les topologies de réseaux possibles ne sont pas les mêmes. Avec **la série 1**, l'architecture est simple : point à point (pair) ou multipoint (star). **La série 2** permet en plus de créer des réseaux plus complexes : maillés (mesh) ou en "arbre" (cluster tree) [14].

### 2.3.4 .Antennes utilisées

Il existe de différents types d'antennes placés sur l'XBee comme le montre la figure 2.7 Ci-dessous :

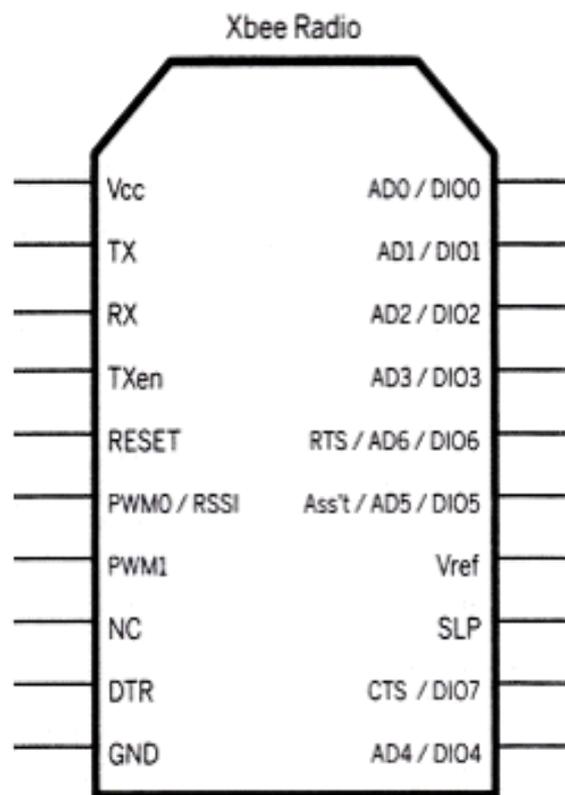


**Figure 2.7:**les différents types d'antennes XBee.

- **Wire:** simple, radiations omnidirectionnelles ;
- **Chip :** puce plate en céramique, petite, transportable (pas de risques de casser l'antenne), radiations cardioïdes (le signal est atténué dans certaines directions) ;
- **U.FL :** une antenne externe n'est pas toujours nécessaire;
- **RPSMA :** plus gros que le connecteur U. FL, permet de placer son antenne à l'extérieur d'un boîtier [14].

### 2.3.5. Brochage

Le XBee séries 1 possède un certain nombre d'entrées et sorties. Les sorties analogiques sont PWM0 et PWM1. Les entrées et sorties numériques sont DIO1, DIO2, DIO3, DIO4, DIO5, DIO6, DIO7 ("DIO" pour Digital Input Output). Les entrées analogiques sont : AD1, AD2, AD3, AD4, AD5 ("AD" pour Analog Digital, l'échantillonnage des tensions analogiques converties en numérique) [14].



**Figure 2.8:** les entrées/sorties XBee

## 2.4. Présentation et utilisation du logiciel XCTU

### 2.4.1. Généralités

La société **DIGI** qui commercialise les modules XBee met à disposition en libre téléchargement le logiciel X-CTU permettant de configurer les modules XBee Digi XCTU inclut tous les outils logiciels dont vous avez besoin pour démarrer rapidement avec Digi

XBee. La vue réseau graphique unique présente visuellement votre réseau Digi XBee ainsi que la puissance du signal de chaque connexion. De plus, le système d'établissement de trame API intuitif vous aide à créer et à interpréter des trames API pour les modules Digi XBee utilisés en mode API. Digi XCTU est une boîte à outils pour développeur qui rend le développement de modules Digi XBee plus facile que jamais [15].

On peut réaliser plusieurs tâches en utilisant le logiciel X-CTU on cite parmi lesquelles :

- **Analyseur de spectre pour mesurer la bande radio**

À partir de l'interface Digi XCTU, les utilisateurs peuvent tester et mesurer le spectre de la bande radio. L'analyse affiche les valeurs moyennes, maximales et minimales de chaque canal. Cela permet de déterminer le canal sur lequel configurer vos radios DigiXBee, et de résoudre les problèmes de réseau [15].

- **Outil de débit pour mesurer la vitesse de transfert**

Avec l'outil de débit, les utilisateurs peuvent mesurer la vitesse de transfert maximale d'un module radio à un autre sur le même réseau. L'outil propose trois modes de session et plusieurs options de configuration de charge utile, afin de tester différentes combinaisons et de comprendre les performances de votre réseau sans fil [15].

- **API Digi XBee**

Avec le mode API Digi XBee, il est facile de configurer un réseau, d'en modifier les paramètres et d'exposer une variété d'informations supplémentaires codées dans chaque paquet [15].

- **Interface de ligne de commande pour une flexibilité supérieure**

La prise en charge de l'interface de ligne de commande (CLI) est une nouveauté pour XCTU. Les utilisateurs peuvent maintenant exécuter l'application en mode CLI sans l'interface graphique. Cette fonction est particulièrement utile pour le script et l'automatisation

lors de la gestion de déploiements XBee à grande échelle, car elle permet aux programmeurs de choisir l'interface la plus utile pour leur application [15].

- **Vue réseau graphique**

Digi XCTU inclut tous les outils dont un développeur a besoin pour rapidement mettre en route une solution Digi XBee. Des fonctionnalités uniques sont combinées pour faciliter le développement sur la plateforme Digi XBee : la vue réseau graphique, qui offre une représentation graphique du réseau XBee avec la puissance de signal de chaque connexion, et le système d'établissement de trame API, qui permet d'établir et d'interpréter de manière intuitive des trames API pour Digi XBee en mode API [15].

- **Bibliothèques de codes publiées**

Qu'il s'agisse d'un simple projet point-à-point ou de réseaux de dispositifs maillés complexes, vous pouvez démarrer rapidement grâce aux bibliothèques de codes DigiXBee publiées ainsi qu'à la vaste gamme de bibliothèques tierces créées par la communauté Digi XBee. Les exemples s'étendent des raccourcis au simple code API, en passant par une logique de codes plus élaborée pour nos modules et nos passerelles programmables [15].

### 2.4.2. Branchement d'un module XBee sur le pc

Le module XBee doit être inséré sur une platine Explorer USB comme indiqué sur la photo suivante (Attention au sens) [17].

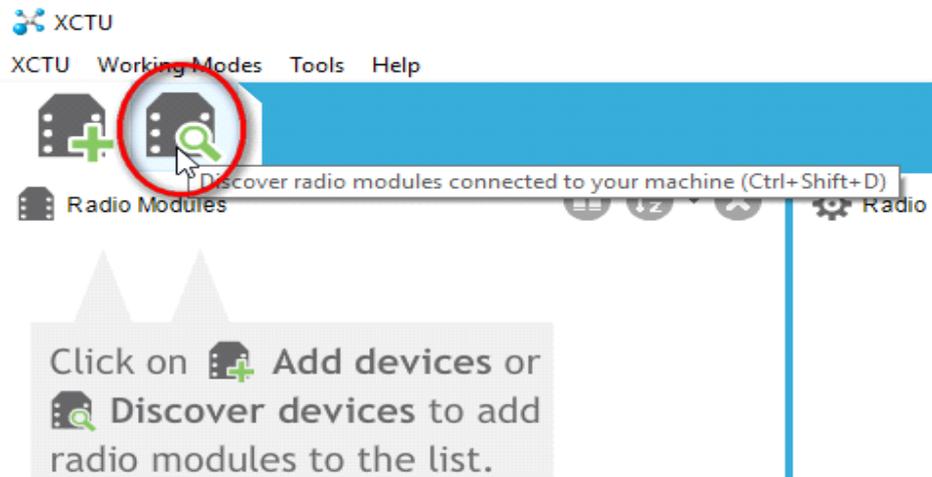


**Figure 2.9:**Insertion du module XBee sur la platine explorer USB.

### 2.4.3. Reprogrammation du canal d'émission et du PAN ID

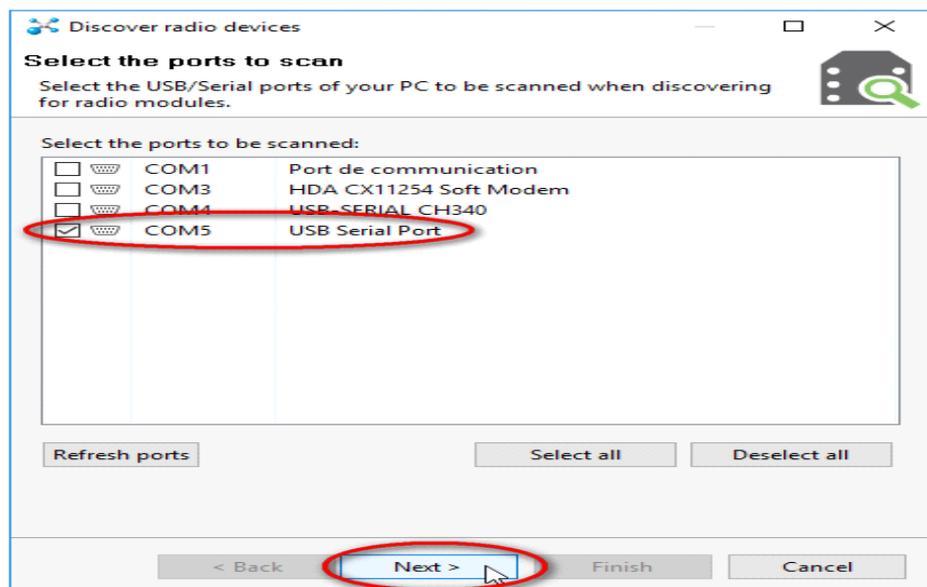
Installez tout d'abord le logiciel X-CTU, puis branchez le XBee USB Explorer muni d'un module XBee. Si c'est la première fois que vous effectuez cette opération, Windows installera les drivers nécessaires [16].

Exécutez ensuite le logiciel X-CTU, et cliquer sur le bouton "**Discover radio modules**" :



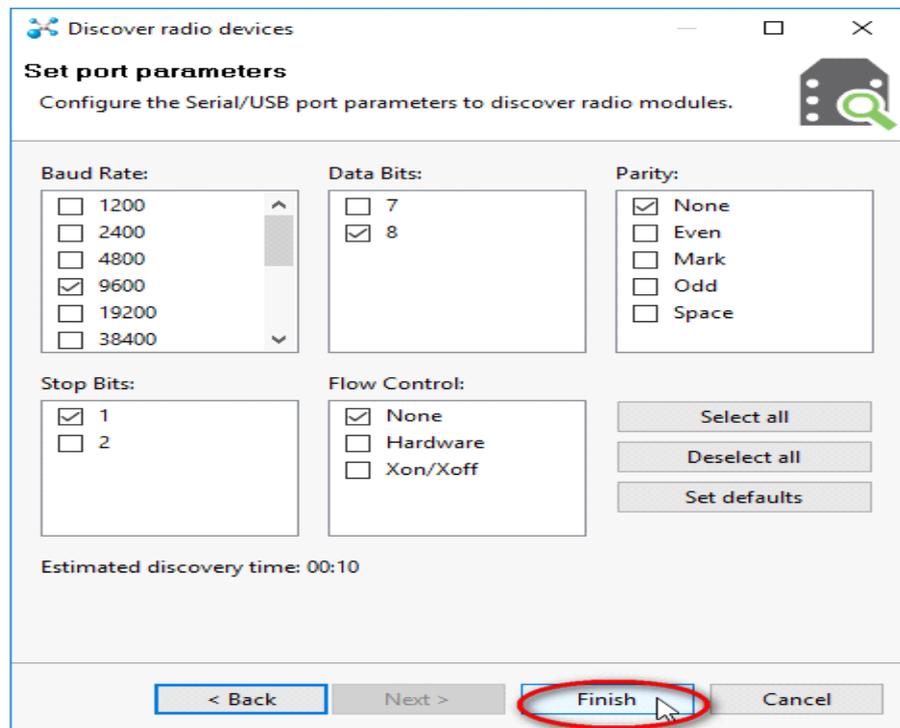
**Figure 2.10:**Découvert des modules radios connectés à ta machine.

Sélectionner le port COM correspondant au "**XBee USB Explorer**" :



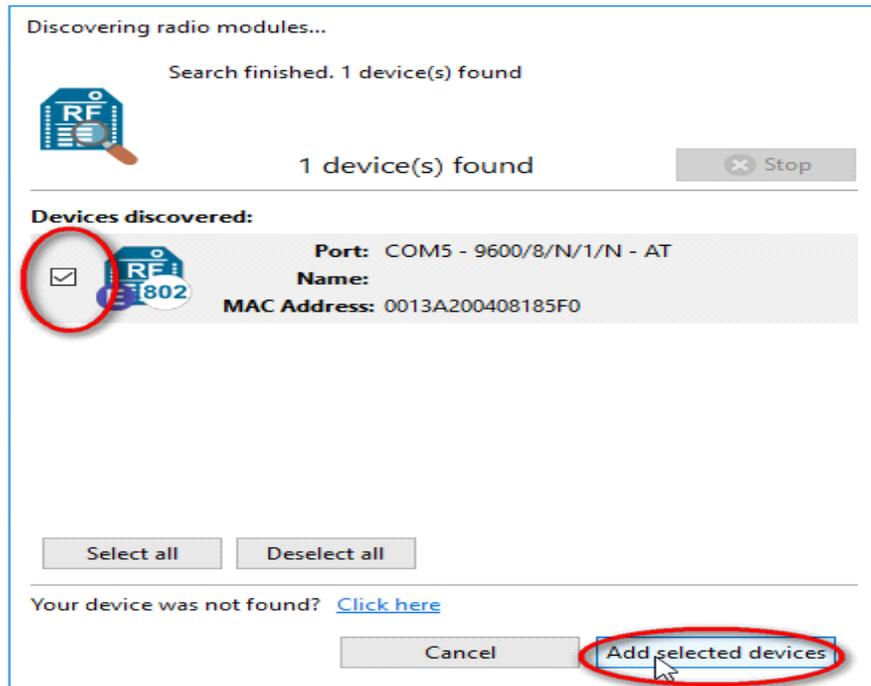
**Figure 2.11:**la Sélection du port COM correspondant

Vérifier le paramétrage du port COM, normalement les paramètres par ci-dessous conviennent (9600 8N1) :



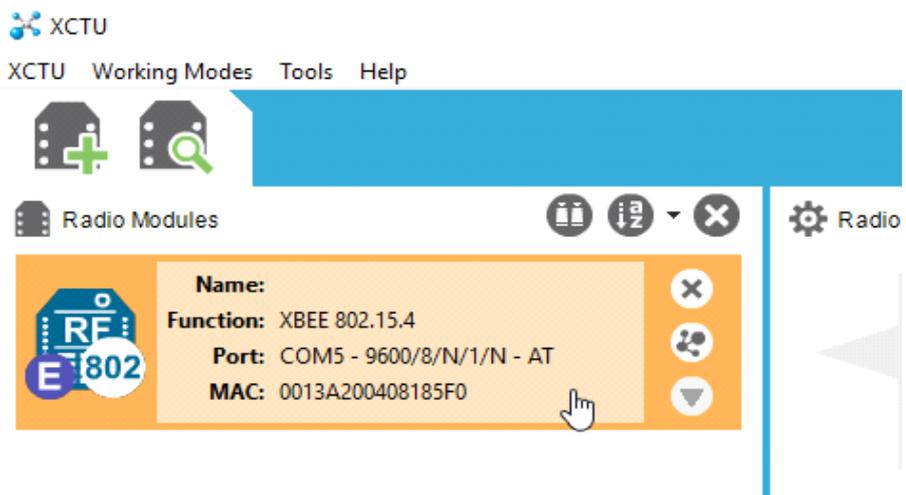
**Figure 2.12:** vérification des paramètres du port COM

Sélectionner le module détecté et cliquer sur le bouton "Add selected devices" :



**Figure 2.13:** la sélection du module détecté

Cliquer sur le module affiché :



**Figure 2.14:** Cliquant sur le module affiché.

Généralement les paramètres à modifier son CH et ID. Pour que 2 modules puissent communiquer entre eux ils doivent avoir le même Channel ET le même PAN ID

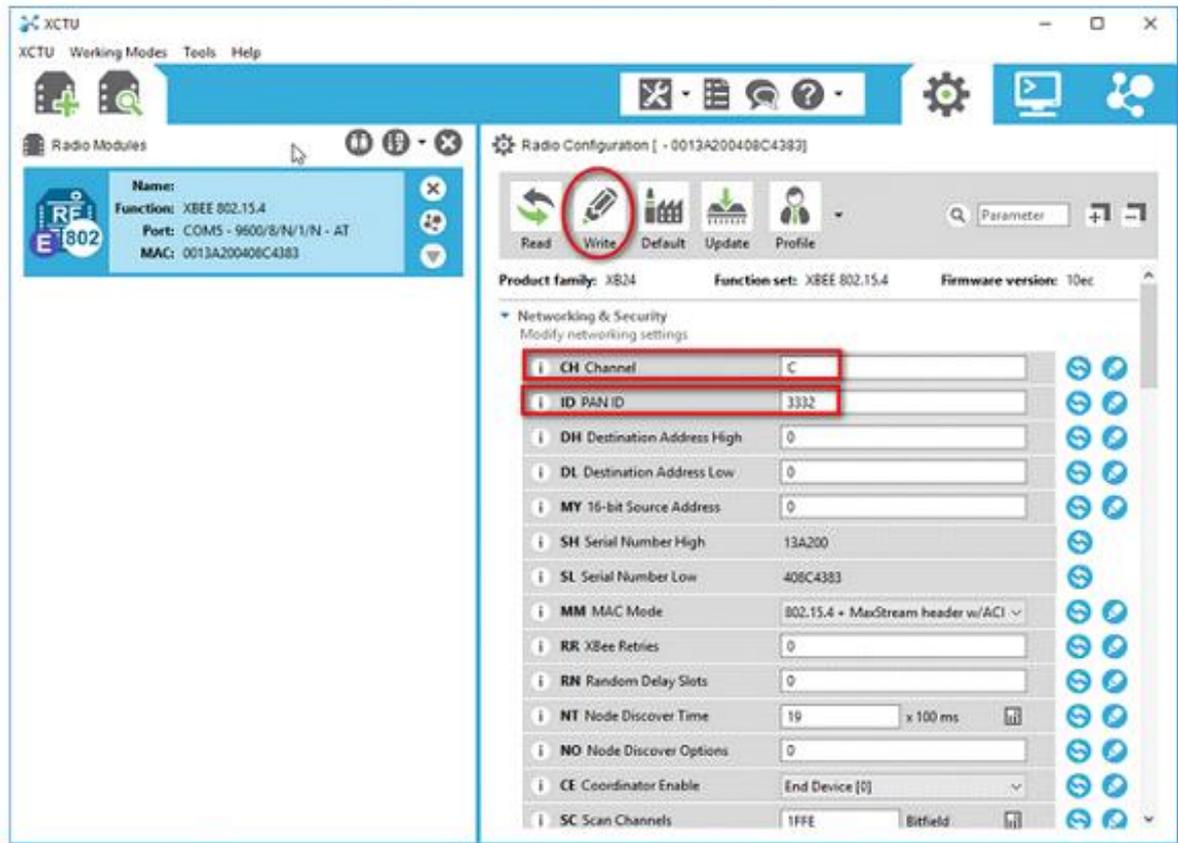


Figure 2.15: paramètres à modifier.

### 2.5. Conclusion

Dans ce chapitre on a défini le protocole ZigBee avec ses différentes caractéristiques et topologies ensuite on a entamé l'XBee S2C dont on va travailler avec dans notre projet en citons son principe de fonctionnement et son interface de simulation (XCTU) qui seront utiles pour nous pour la réalisation de nos feux de carrefour.

# **Chapitre 3**

## **Réalisation Pratique**

## CHAPITRE 3 : REALISATION PRATIQUE

### 3.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons décrire le processus de réalisation de notre système de carrefour qui n'est rien d'autre que la mise en application de ce qui a été énoncé dans les chapitres précédents, ceci en mettant en évidence l'ensemble des environnements (logiciels et matériels).

Dans notre Réalisation nous allons faire un exemple de carrefour en T, nous avons une voie principale qui contient deux poteaux de feux qui marche en phase, tandis que le poteau dans la voie secondaire marche en contradiction par rapport à eux.

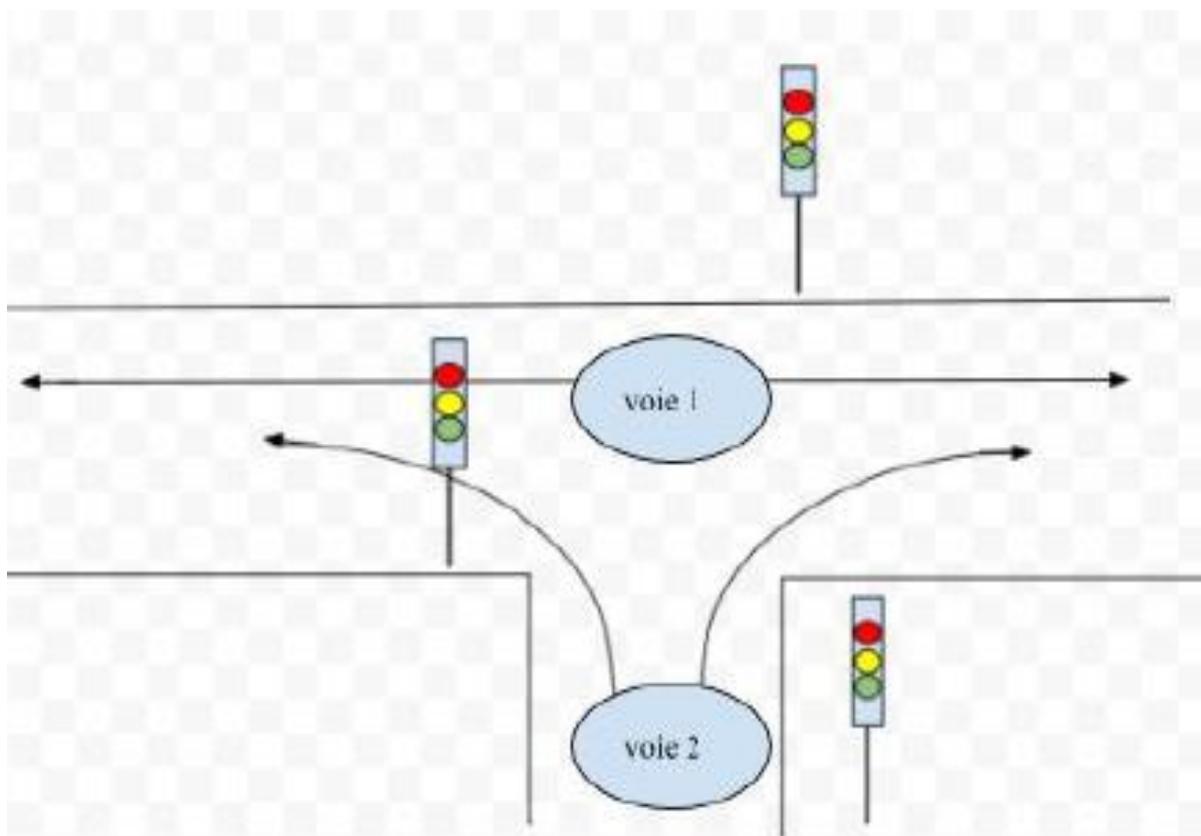


Figure 3.1: carrefour en T

**Voie 1** : principale

**Voie 2** : secondaire

## 3.2. Schéma synoptique

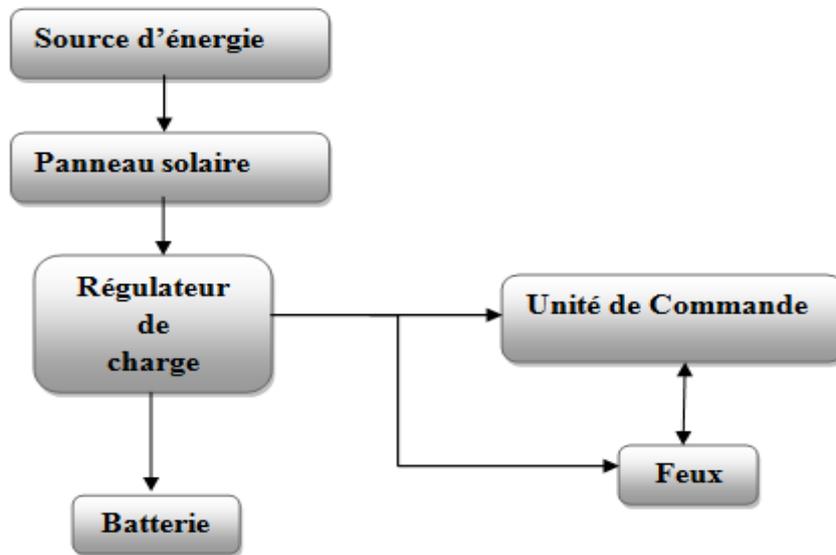


Figure 3.2: Schéma synoptique

Ce schéma synoptique représente notre système que nous allons le mettre en plan réel.

Premièrement nous avons la source d'énergie qui est le panneau solaire :

### 3.2.1. Panneau solaire

Pour choisir la puissance du panneau solaire il faut faire un bilan de consommation totale du système.

Tout d'abord nous allons estimer la consommation en énergie électrique de chaque composant du système.

#### 3.2.1.1. Arduino Uno

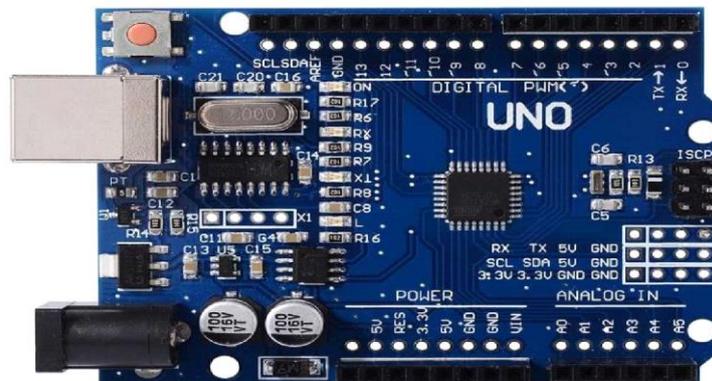


Figure 3.3: Arduino UNO

## CHAPITRE 3 : REALISATION PRATIQUE

La carte Arduino peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V et la carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait chauffer et endommager la carte. Ainsi, la plage idéale recommandée pour alimenter la carte Uno est entre 7V et 12V.

Dans n'importe quel cas de figure la puissance de consommation maximale c'est 2.5W. [18]

### 3.2.1.2. Module XBee S2C

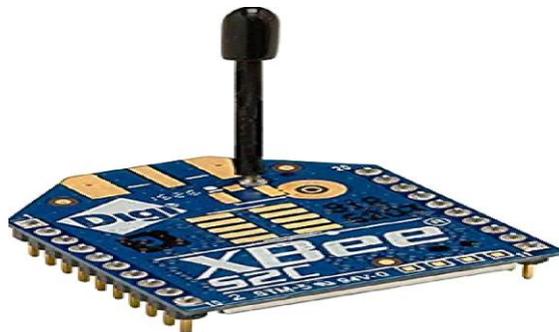


Figure 3.4:XBee S2C

Le tableau suivant décrit les exigences d'alimentation pour le module RF ZigBeeXBee/ XBee-PRO. [19]

Specification	XBee Zigbee S2C	XBee-PRO Zigbee S2C	XBee Zigbee S2D
Adjustable power	Yes		
Supply voltage	2.1 - 3.6 V 2.2 - 3.6 V for programmable version	2.7 - 3.6 V	2.1 - 3.6 V
Operating current (transmit)	45 mA (+8 dBm, boost mode) 33 mA (+5 dBm, normal mode)	120 mA @ +3.3 V, +18 dBm	45 mA
Operating current (receive)	31 mA (boost mode) 28 mA (normal mode)	31 mA	31 mA
Power-down current	< 1 $\mu$ A @ 25°C		< 3 $\mu$ A @ 25°C

Tableau 3.1 : les exigences d'alimentation pour le module RF ZigBeeXBee / XBee-PRO

## CHAPITRE 3 : REALISATION PRATIQUE

---

La puissance instantanée =  $120 \text{ mA} * 3.3\text{V}$ , La puissance instantanée=396 mW,

La puissance instantanée = 0.396W

### 3.2.1.3. Les Leds

#### - Led rouge



Figure 3.5: Led rouge

C'est une LED très basique de 5mm avec une lentille rouge. Elle a une tension directe typique de 2,0 V et un courant direct nominal de 20 mA donc sa consommation en watt aura la valeur de 40 mW.

#### - Led verte



Figure 3.6: Led verte

C'est une LED très basique de 5mm avec une lentille verte. Il a une tension directe typique de 2,0 V et un courant direct nominal de 20 mA donc sa consommation en watt aura la valeur de 40 mW.

#### - Led jaune



Figure 3.7: Led jaune

## CHAPITRE 3 : REALISATION PRATIQUE

C'est une LED très basique de 5mm avec une lentille jaune. Il à une tension directe typique de 2,0 V et un courant direct nominal de 20 mA donc sa consommation en watt aura la valeur de 40 mW. [20]

**Alors, la consommation totale de notre système sera calculée de la façon suivante :**

$$\begin{aligned} \text{Consommation Totale(W)} &= \text{consommation Arduino(W)} + \text{consommation XBee S2C(W)} \\ &+ \text{consommation des trois Leds(W)}. \end{aligned}$$

$$\text{Consommation Totale(W)}=2.5W+0.396W+0.04W$$

$$\text{Consommation Totale(W)} = 2.936W$$

- **Consommation quotidienne en watt. Heure (Wh):**

On la calcule suivant l'équation suivante :

$$\text{Consommation (Watt. Heure)} = \text{puissance (Watt)} * \text{durée de fonctionnement (Heures)}$$

Alors :

$$\text{La consommation quotidienne totale (Wh)}=2.936W*24h$$

$$E_c=70.46Wh$$

Pour choisir la puissance suffisante de notre panneau solaire pour la consommation de notre système, nous devons diviser la totalité de l'énergie consommée des équipements (WH) par jour par le temps d'ensoleillement journalier moyen.

Pour cela on va calculer ce temps dans la région de Guelma.

## CHAPITRE 3 : REALISATION PRATIQUE

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temps d'ensoleillement journalier moyen par mois(h)	9.38	11	11.64	13	13.8	15	14.67	13	12.53	11	10.2	9

**Tableau 3.2:** temps d'ensoleillement journalier moyen par mois

Ces valeurs sont prises du site électronique CDER Dz. [21]

Nous devons tenir compte du cas le plus défavorable (le temps d'ensoleillement journalier moyen =9h)

Donc:

**La puissance suffisante du panneau solaire=70.46/9**

**La puissance suffisante du panneau solaire =7.83w**

### 3.2.2. Le régulateur de charge:

Les panneaux produisent de l'énergie, les batteries la stockent. Entre les deux, il est nécessaire d'avoir un régulateur de charge qui évite d'endommager la batterie par une surcharge non contrôlée.

De même que les équipements du système consomment l'électricité, soit en provenance des panneaux, soit en puisant dans la batterie. Il faut éviter dans la très grande majorité des cas de puiser trop d'énergie dans la batterie pour éviter de la détériorer.

C'est le rôle du régulateur de charge et de décharge, que par abus de langage nous appelons souvent régulateur de charge photovoltaïque [20]

### 3.2.3. La batterie :

La batterie de stockage nous permet de stocker puis consommer notre énergie solaire quand on le souhaite.

## CHAPITRE 3 : REALISATION PRATIQUE

L'électricité produite par vos panneaux solaires en journée y sera stockée, avant d'être utilisée au moment où vous en avez vraiment besoin (le soir et la nuit notamment). La capacité de la batterie solaire doit être dimensionnée en fonction de la consommation de notre système et de la puissance des panneaux photovoltaïques. La technologie utilisée dans la batterie solaire impacte la sécurité et la performance du système de stockage. Aujourd'hui, le type de technologie le plus souvent utilisé pour du stockage solaire en résidentiel est **le lithium-ion**. Il existe plusieurs types de batteries au lithium-ion. Les plus communes sont constituées de cellules lithium Nickel Manganèse Cobalt (NMC), principalement utilisées pour les voitures électriques, et de cellules lithium fer phosphate (LFP).

La technologie LFP est reconnue pour être la meilleure en termes de durée de vie et de sécurité. Elle a une meilleure stabilité thermique (réaction à l'augmentation de température) par rapport à une cellule NMC. Les cellules LFP supportent des intensités de courant élevées ce qui leur permet à la fois de fournir beaucoup de puissance et d'être rechargées rapidement.

La capacité d'une batterie diminue après un certain nombre de recharges. Les batteries Sonnen, par exemple, sont conçues de manière à conserver au moins 70 % de leur capacité initiale pendant les 10 000 premiers cycles de charge. [21]

### 3.2.4. L'Unité de commande

L'unité de commande contient le circuit de notre projet, il est branché comme suit:

Premièrement on a le circuit du coordinateur:

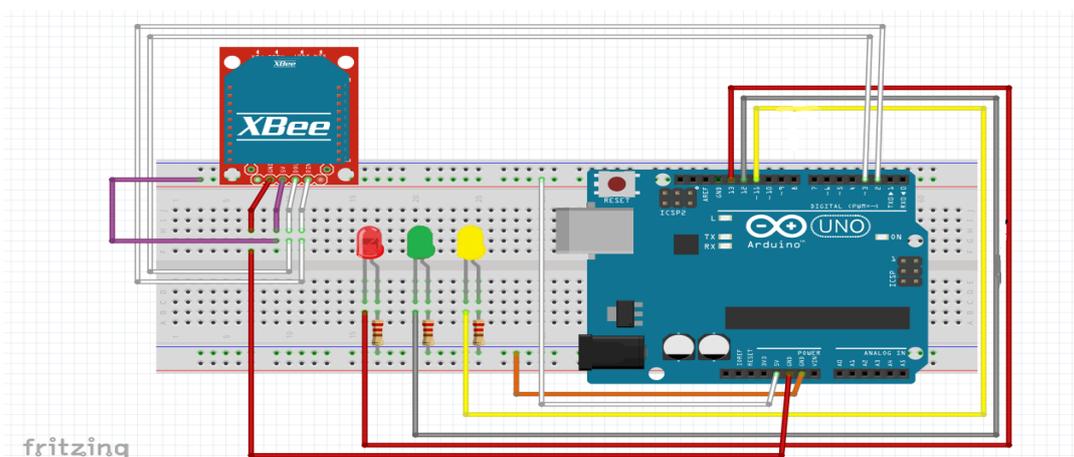
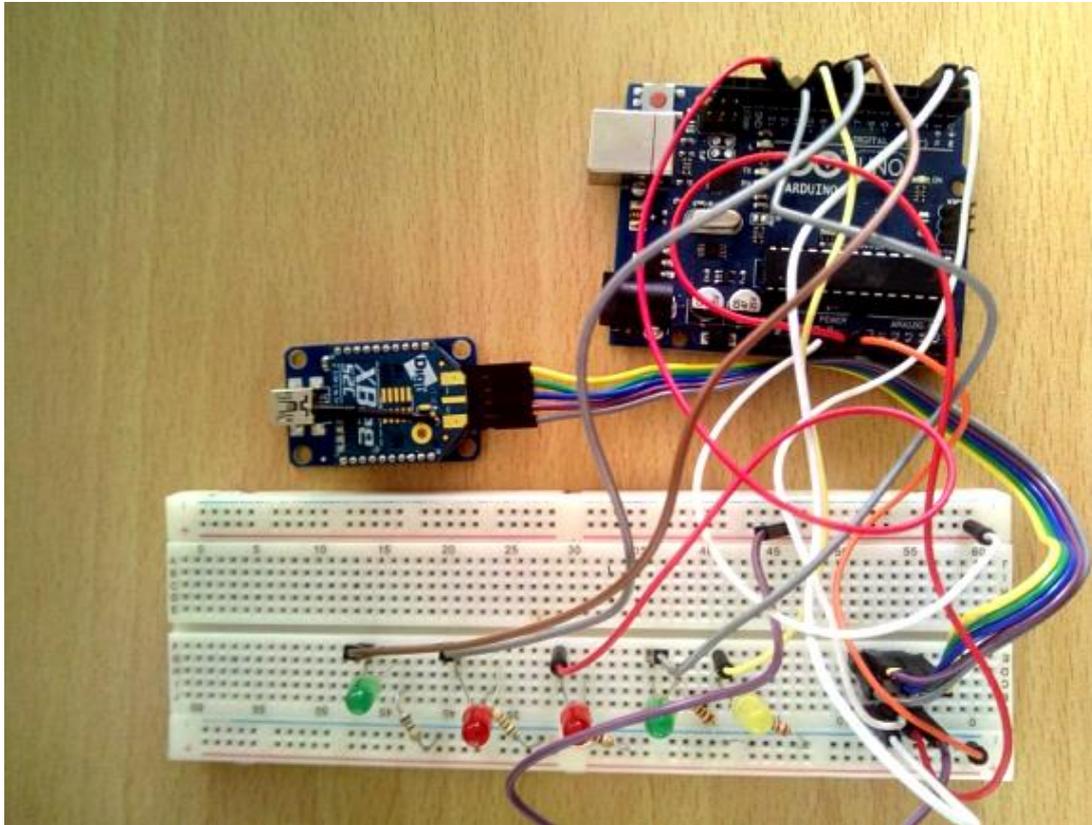


Figure 3.9: montage du circuit COORDINATOR.

## CHAPITRE 3 : REALISATION PRATIQUE

Dans la réalité le circuit est comme suit:



**Figure 3.10:** montage réel du circuit coordinateur

Le module XBee S2C implémenté dans ce circuit est configuré en mode **COORDINATOR** suivant les paramètres suivants:

Product family: XB24C	Function set: ZIGBEE TH Reg	Firmware version: 4060
▼ Networking Change networking settings		
i ID PAN ID	<input type="text" value="1234"/>	 
i SC Scan Channels	<input type="text" value="7FFF"/> Bitfield 	 
i SD Scan Duration	<input type="text" value="3"/> exponent	 
i ZS ZigBee Stack Profile	<input type="text" value="2"/>	 
i CE Coordinator Enable	<input type="text" value="Enabled [1]"/>	 

## CHAPITRE 3 : REALISATION PRATIQUE

▼ Addressing  
Change addressing settings

i DH Destination Address High	0	⚡ 🔒
i DL Destination Address Low	FFFF	⚡ 🔒
i NI Node Identifier	COORDINATOR	⚡ 🔒
i NO Node Discovery Options	3	⚡ 🔒

▼ AT Command Options  
Change AT command mode behavior

i CT AT Command Mode Timeout	A	x 100ms	⚡ 🔒
------------------------------	---	---------	-----

▼ Sleep Modes  
Configure low power options to support end device children

i ST Time before Sleep	3E8	x 1 ms	⚡ 🔒
------------------------	-----	--------	-----

### Deuxièmement on a le circuit de ROUTER 1

C'est le même branchement du premier circuit(COORDINATOR) notamment c'est juste le côté programmation et configuration qui sera changé.

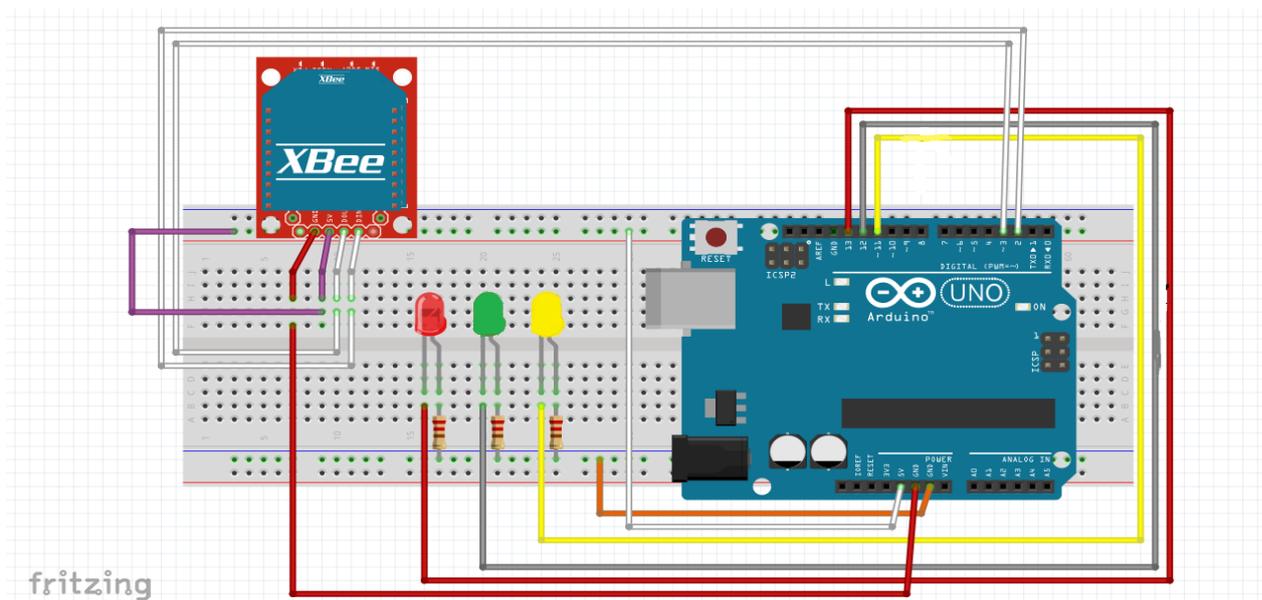
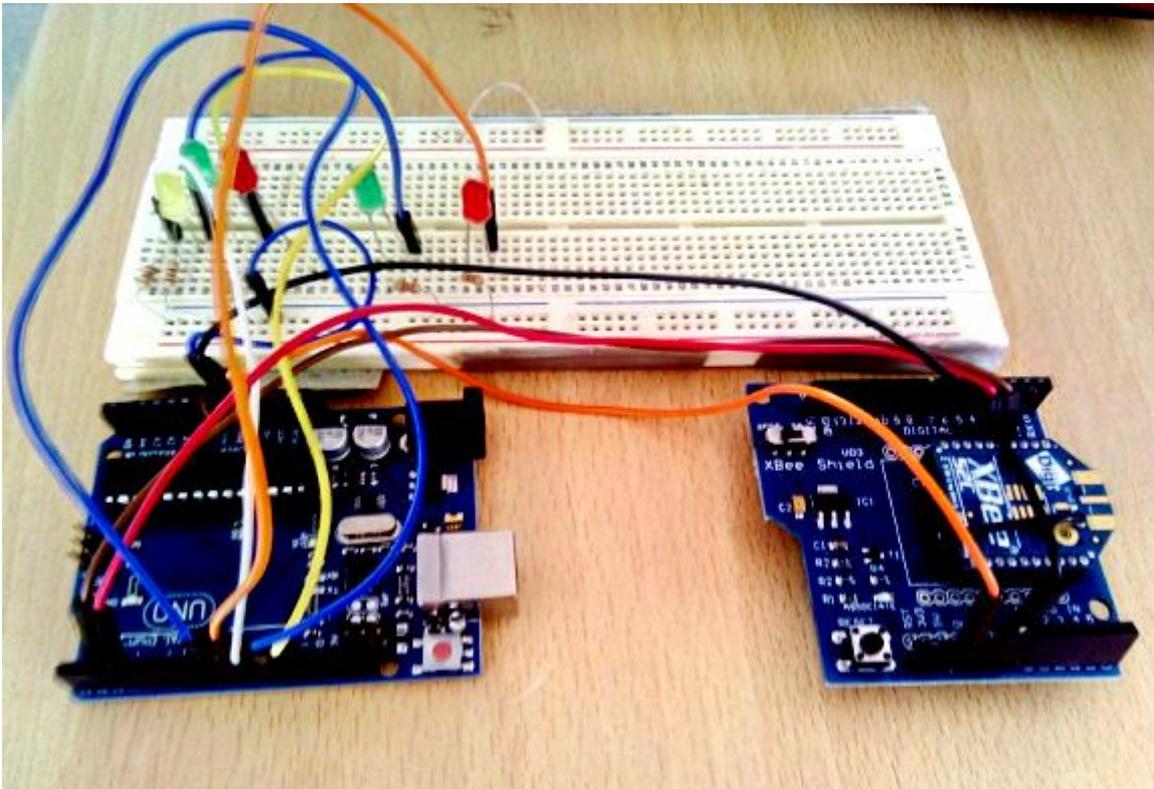


Figure 3.11: montage du circuit ROUTER 1

## CHAPITRE 3 : REALISATION PRATIQUE

Dans la réalité le circuit est comme suit:



**Figure 3.12:** montage réel du circuit ROUTER 1

Le module XBee S2C implémenté dans ce circuit est configuré en mode routeur 1 suivant les paramètres suivants:

Product family:	XB24C	Function set:	ZIGBEE TH Reg	Firmware version:	4060
▼ Networking Change networking settings					
i ID PAN ID	1234				
i SC Scan Channels	7FFF	Bitfield			
i SD Scan Duration	3	exponent			
i ZS ZigBee Stack Profile	2				
i JV Channel Verification	Enabled [1]				
i CE Coordinator Enable	Disabled [0]				

## CHAPITRE 3 : REALISATION PRATIQUE

---

### ▼ Addressing

Change addressing settings

i	DH Destination Address High	<input type="text" value="0"/>	 
i	DL Destination Address Low	<input type="text" value="FFFF"/>	 
i	NI Node Identifier	<input type="text" value="ROUTER1"/>	 

### ▼ AT Command Options

Change AT command mode behavior

i	CT AT Command Mode Timeout	<input type="text" value="A"/>	x 100ms	 
---	----------------------------	--------------------------------	---------	---

### ▼ Sleep Modes

Configure low power options to support end device children

i	ST Time before Sleep	<input type="text" value="3E8"/>	x 1 ms	 
---	----------------------	----------------------------------	--------	---

### ▼ I/O Settings

Modify DIO and ADC options

i	D0 Pin 20 - DIO0/AD0/CB Configuration	<input type="text" value="Digital Input [3]"/>	 
---	---------------------------------------	--	---

### ▼ I/O Sampling

Configure IO sampling parameters

i	IR IO Sampling Rate	<input type="text" value="1388"/>	x 1 ms	 
---	---------------------	-----------------------------------	--------	---

### Troisièmement on a le circuit de ROUTER2

C'est le même branchement du premier circuit(COORDINATOR) notamment c'est juste le coté programmation et configuration qui sera changé.

## CHAPITRE 3 : REALISATION PRATIQUE

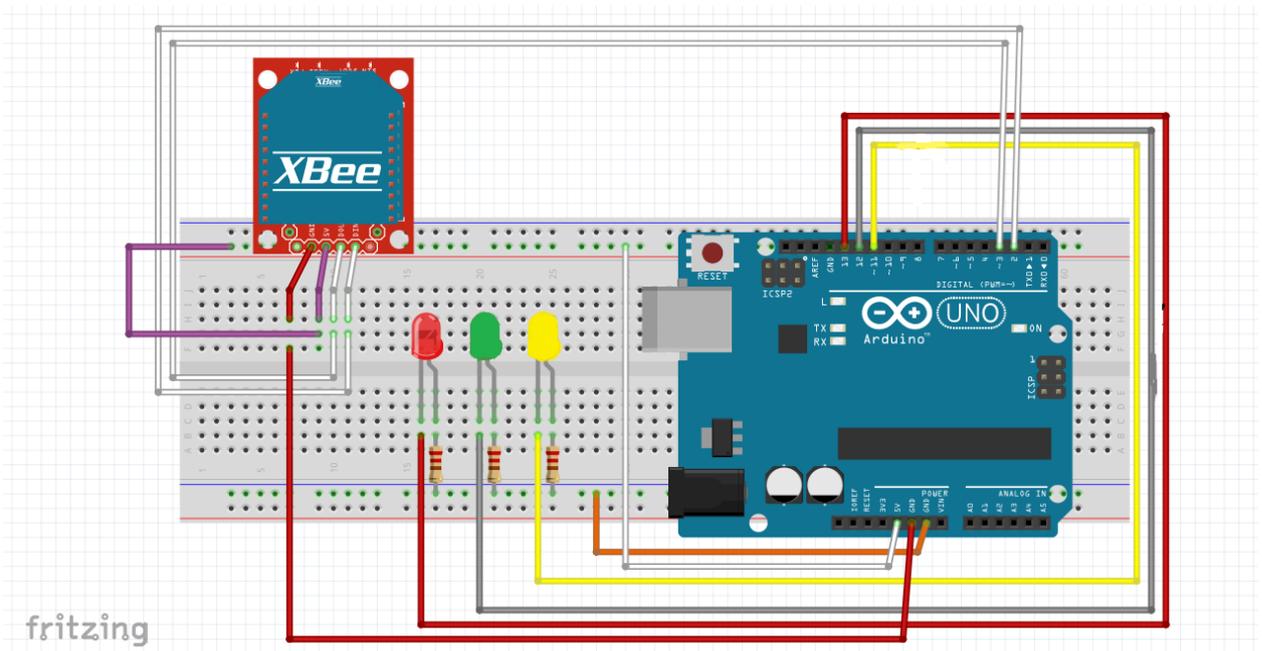


Figure 3.13: montage du circuit ROUTER 2

Dans la réalité le circuit est comme suit :

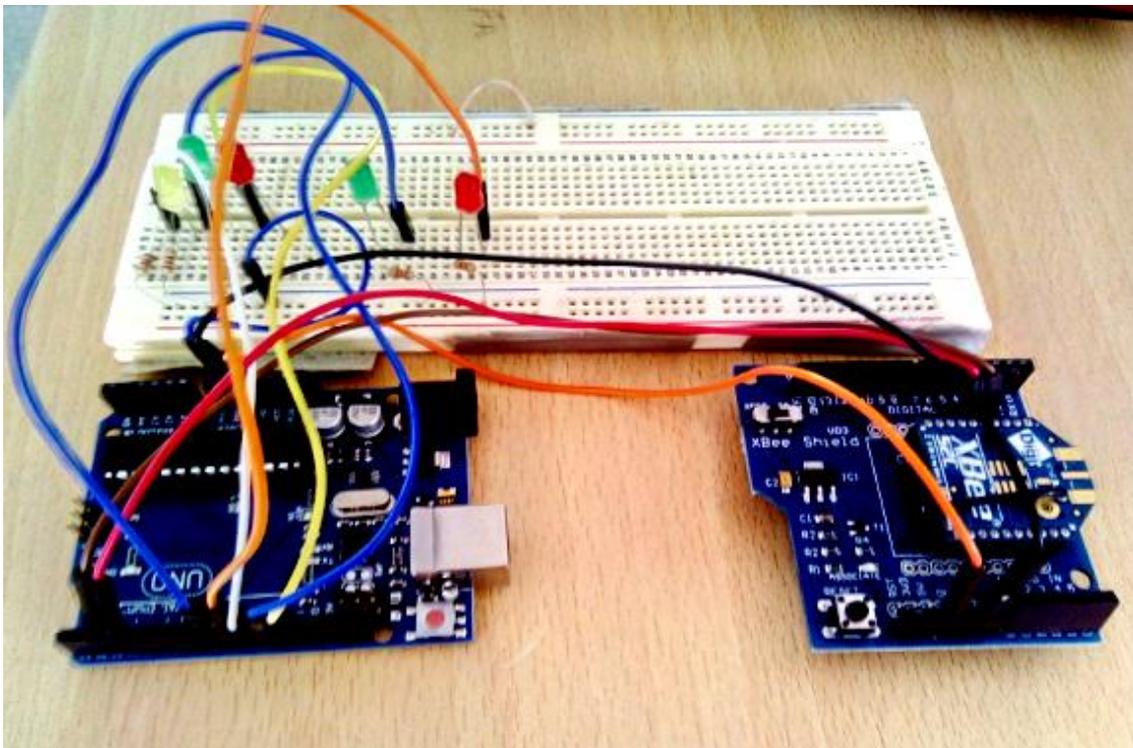


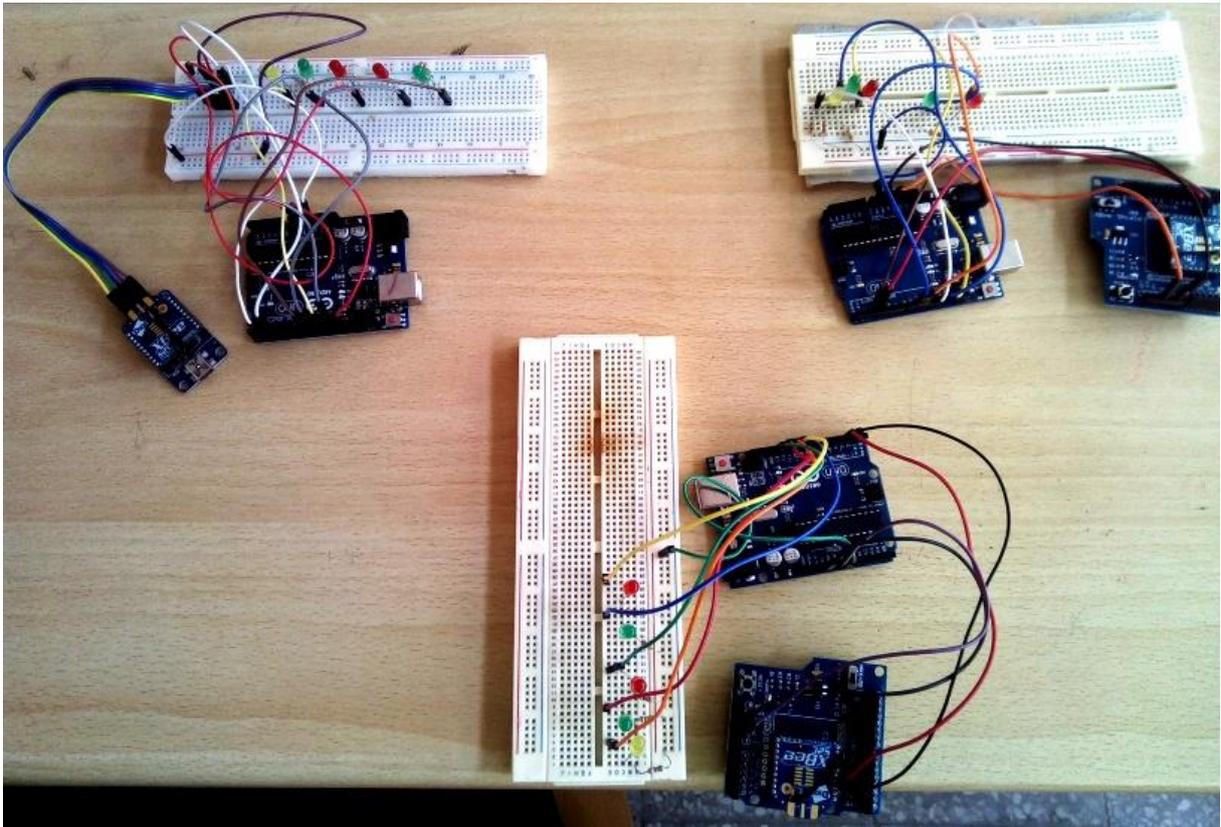
Figure 3.14: montage réel du circuit ROUTER2

## CHAPITRE 3 : REALISATION PRATIQUE

---

Le module XBee S2C implémenté dans ce circuit est configuré en mode routeur 2 (c'est la même configuration de routeur 1).

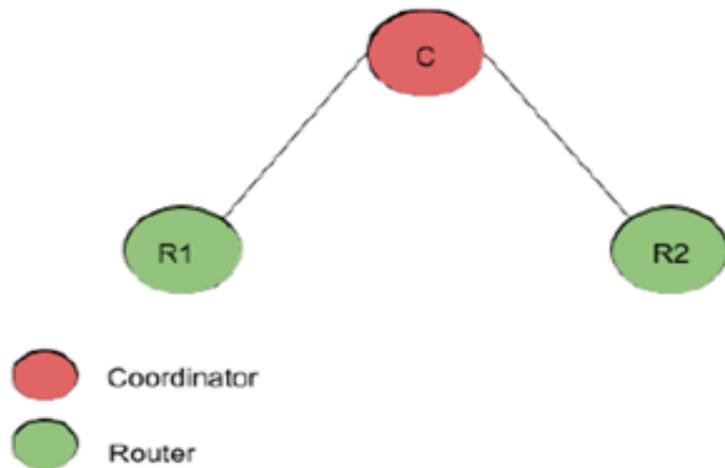
**Enfin, voici notre système :**



**Figure 3.15:** montage réel du notre système

Le programme Arduino de chaque circuit est donné dans l'annexe

- Les trois Arduino vont communiquer entre eux à travers les trois modules XBee, le COORDINATOR et deux ROUTERS.



**Figure 3.16:** Communication COORDINATOR- ROUTERS (1 et 2)

- Dans ce réseau de communication sans fil, le circuit coordinateur-Arduino va envoyer des commandes vers les deux autres circuits (ROUTER 1 et ROUTER 2).

Le coordinateur et le routeur 1 sont en phase les mêmes Leds seront allumés dans les mêmes périodes, alors ces deux circuits là seront placés dans la voie 1 du carrefour et le routeur 2 dans la voie 2

### 3.3. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons calculé la puissance du panneau solaire, Nous avons aussi réalisé le réseau de communication sans fil entre les différents Arduino via les modules xbeeS2C.

La programmation des modules XBee à nécessiter trop d'efforts vue le manque de bibliographie nécessaire à leurs programmations que nous avons pu récolter de part et d'autre à travers les moteurs de recherches et la plate-forme DIGI le constructeur de XBee.

Nos efforts ont été fructueux par la mise en place du réseau et le bon fonctionnement du système.

Toutefois, il reste à expérimenter notre système sur un feu de carrefour réel.

# **Conclusion Générale et perspectives**

# CONCLUSION GENERALE

---

## Conclusion Générale

Durant ces dernières années les technologies de communication sans fil ont suivi un développement rapide. Durant ce développement, plusieurs technologies sans fil sont apparues, chaque technologie a des caractéristiques différentes (portée, débit, etc.). Alors le choix d'une technologie sans fil dépend de l'usage que l'on souhaite en faire.

Dans notre projet nous avons choisi une technologie de communication sans fil à cause de sa portabilité, son coût, sa capacité à mettre facilement en œuvre un réseau de communication, sa consommation très faible de l'énergie, sa portée qui peut aller jusqu'à mille mètres, c'est la technologie ZigBee!

Dans le premier chapitre nous avons parlé un peu sur les feux de carrefours, leur principe de fonctionnement et les différents types, dans le deuxième chapitre nous avons fait une étude détaillée sur la technologie ZigBee et son interface software (XCTU). Enfin, dans le troisième chapitre nous avons réalisé un prototype du système autour d'un arduino, module XBee assurant la communication sans fil et une alimentation en énergie solaire.

Le but du travail demandé a été atteint. La plateforme expérimentale ainsi réalisée fonctionne parfaitement.

Ce travail nous a permis de se familiariser avec l'environnement arduino et XBee sur toute la plateforme de programmation XCTU de DIGI (inc). Ce dernier a été une nouvelle chose pour nous, une chose que nous n'avions pas connue avant.

Ce projet nous a permis d'améliorer nos connaissances et compétences dans ce domaine ainsi de pouvoir s'adapter à des différents environnements de travail et la possibilité de travailler avec différents matériels.

Les problèmes que nous avons rencontrés au cours de la réalisation de ce projet sont:

- L'acquisition des modules et les shields XBee non disponible au niveau du département ainsi que leur programmation.

## CONCLUSION GENERALE

---

- l'indisponibilité des panneaux solaires et accessoires.

### **Perspectives**

- application dans un carrefour réel cela nécessite des autorisations.
- l'amélioration du système par un système de reconnaissance des objets

# **Bibliographie**

## Bibliographie

[1] : <https://w5.siemens.com/france/web/fr/sts/actualite/press/releases/Pages/cents-ans-signalisation.aspx?Ismobile=true>, .date de consultation :1 mars 2019.

[2] : f. Monti, les carrefours à feux, fiche n° 20, certu, août 2010.

[3] : <https://fr.slideshare.net/MehdidHichem/10etude-des-carffours>.date de consultation: 1 mars 2019.

[4] : sammoudb,contribution à la modélisation et à la commande des feux de signalisation par réseaux de petrihybride,septembre 2015.

[5] : <https://docplayer.fr/29185644-Sixieme-partie-feux-de-circulation-permanents-instruction-interministerielle-sur-la-signalisation-routiere.html>.date de consultation: 1 mars 2019.

[6] : karima aksa, faiza titouna, bilal benali&bilel djettaou, gestion dynamique des carrefours à feux 1-10, laboratoire lastic, faculté des mathématique et de l'informatique, université batna2, 05000,batna, algérie.Thèse de doctorat.

[7] : <https://www.techno-science.net/definition/832.html> .date de consultation :1 mars 2019.

[8] : <https://blog.domadoo.fr/guides/generalites-sur-le-zigbee/>

[9] : [https://LES\\_METHODES\\_DACCES\\_TOTALEMENT\\_DETERMINISTE\\_POUR\\_U.pdf](https://LES_METHODES_DACCES_TOTALEMENT_DETERMINISTE_POUR_U.pdf)

[10] : <https://connect.ed-diamond.com/MISC/MISC-086/Tout-tout-tout-vous-saurez-tout-sur-le-ZigBee#R%C3%A9f%C3%A9rences> .date de consultation 9/5/2019

[11]: IEEE 802.15.4TM – 2011, IEEE Standard for local and metropolitan area networks – Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) - <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2011.pdf>

[12]: <http://robert.cireddu.free.fr/SIN/Protocole%20ZigBee.pdf>

[13] : <https://www.elprocus.com/what-is-zigbee-technology-architecture-and-its-a-Applications/>  
.date de consultation 9/5/2019

[14] : <http://projet.eu.org/pedago/sin/1ere/9-Xbee.pdf>

[15] : <https://www.digikey.fr/fr/product-highlight/d/digi-intl/world-of-digi-xbee> .date de  
consultation : 9/5/2019

[16] : <http://www.electro-info.ovh/index.php?id=231> .date de consultation : 9/5/2019

[17] : <http://blog.ouiaremakers.com/wp-content/uploads/formidable/Guide-X-CTU-STI2D.pdf>

[18]: [http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki\\_reference\\_arduino/pmwiki.php?n=Main.Materiel](http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.Materiel) U no  
date de consultation : 3/6/2019

[19]:[https://www.digi.com/resources/documentation/Digidocs/90002002/Content/Reference/r  
\\_specs\\_power\\_reqs.htm?TocPath=Technical%20specifications%7C\\_\\_\\_\\_\\_2](https://www.digi.com/resources/documentation/Digidocs/90002002/Content/Reference/_specs_power_reqs.htm?TocPath=Technical%20specifications%7C_____2)

[19]:<https://www.sparkfun.com/products>

[20]: [https://www.solaire-diffusion.eu/photovoltaique-en-site-sole/les-regulateurs-  
photovoltaiques.html](https://www.solaire-diffusion.eu/photovoltaique-en-site-sole/les-regulateurs-photovoltaiques.html)

[21]: <http://data.cder.dz:81/#>

# **Annexe**

## Annexe

### Programme Arduino transmitter

---

```
#include <Software Serial.h>

Software Serial xbee(2, 3);

int led11=11;//jaune

int led12=12;//vert

int led13=13;//rouge

int led10=10;//led rouge piéton

int led9=9;//led verte piéton

void setup() {

Serial.begin(9600);

xbee.begin(9600);

pinMode(led11,OUTPUT);

pinMode(led12,OUTPUT);

pinMode(led13,OUTPUT);

pinMode(led10,OUTPUT);

pinMode(led9,OUTPUT);

digitalWrite(led11,LOW);

digitalWrite(led12,LOW);

digitalWrite(led13,LOW);

digitalWrite(led10,LOW);

digitalWrite(led9,LOW);}

void loop() {
```

```

xbee.print('1');

digitalWrite(led13,HIGH);//allumer led rouge

digitalWrite(led9,HIGH);//allumer led verte piéton

delay(10000);

////////////////////////////////////

xbee.print('2');

digitalWrite(led13,LOW);//eteindre led rouge

digitalWrite(led9,LOW);//eteindre led verte piéton

////////////////////////////////////

xbee.print('3');

digitalWrite(led12,HIGH);//allumer led verte

digitalWrite(led10,HIGH);//allumer led rouge piéton

delay(8000);

////////////////////////////////////

xbee.print('4');

digitalWrite(led12,LOW);//eteindre led verte

digitalWrite(led10,LOW);//eteindre led rouge piéton

////////////////////////////////////

xbee.print('5');

digitalWrite(led11,HIGH);

//delay(3000);

digitalWrite(led9,HIGH);

delay(300);

digitalWrite(led9,LOW);

```

```
delay(300);  
digitalWrite(led9,HIGH);  
delay(300);  
digitalWrite(led9,LOW);  
delay(300);  
digitalWrite(led9,HIGH);  
delay(300);  
digitalWrite(led9,LOW);  
delay(300);  
digitalWrite(led9,HIGH);  
delay(300);  
digitalWrite(led9,LOW);  
delay(300);  
digitalWrite(led9,HIGH);  
delay(300);  
digitalWrite(led9,LOW);  
delay(300);  
////////////////////////////////////  
xbee.print('6');  
digitalWrite(led11,LOW);  
digitalWrite(led9,LOW);  
}
```

### **Programme Arduino receiver1**

---

```

#include <Software Serial.h>

Software Serial xbee(2, 3);

constint led13=13;//led rouge

constint led12=12;//led verte

constint led11=11;//led jaune

int led10=10;//led rouge piéton

int led9=9;//led verte piéton

char receive;

void setup() {

Serial.begin(9600);

xbee.begin(9600);

pinMode(led13,OUTPUT);

pinMode(led12,OUTPUT);

pinMode(led11,OUTPUT);

pinMode(led10,OUTPUT);

pinMode(led9,OUTPUT);

digitalWrite(led13,LOW);

digitalWrite(led12,LOW);

digitalWrite(led11,LOW);

digitalWrite(led10,LOW);

digitalWrite(led9,LOW);}

void loop() {

// put your main code here, to run repeatedly:

if(xbee.available()){

```

```
receive=xbee.read();  
  
Serial.println(receive);  
  
//led verte  
  
if(receive=='1'){  
    digitalWrite(led12,HIGH);  
    digitalWrite(led10,HIGH);}  
  
if(receive=='2'){  
    digitalWrite(led12,LOW);  
    digitalWrite(led10,LOW);}  
  
//led rouge  
  
if(receive=='3'){  
    digitalWrite(led13,HIGH);  
    digitalWrite(led9,HIGH);}  
  
if(receive=='4'){  
    digitalWrite(led13,LOW);  
    digitalWrite(led9,LOW);}  
  
//led jaune  
  
if(receive=='5'){  
    digitalWrite(led11,HIGH);  
    digitalWrite(led9,HIGH);  
    delay(300);  
    digitalWrite(led9,LOW);  
    delay(300);  
    digitalWrite(led9,HIGH);
```

```
delay(300);  
digitalWrite(led9,LOW);  
delay(300);  
digitalWrite(led9,HIGH);  
delay(300);  
digitalWrite(led9,LOW);  
delay(300);  
digitalWrite(led9,HIGH);  
delay(300);  
digitalWrite(led9,LOW);  
delay(300);  
digitalWrite(led9,HIGH);  
delay(300);  
digitalWrite(led9,LOW);}  
if(receive=='6'){  
digitalWrite(led11,LOW);  
digitalWrite(led9,LOW);}  
}  
}  
}
```

## **Programme Arduino receiver2**

---

```
#include <Software Serial.h>  
Software Serial xbee(2, 3);
```

```

constint led13=13;

constint led12=12;

constint led11=11;

int led10=10;//led rouge piéton

int led9=9;//led verte piéton

char receive;

void setup() {

Serial.begin(9600);

xbee.begin(9600);

pinMode(led13,OUTPUT);

pinMode(led12,OUTPUT);

pinMode(led11,OUTPUT);

pinMode(led10,OUTPUT);

pinMode(led9,OUTPUT);

digitalWrite(led13,LOW);

digitalWrite(led12,LOW);

digitalWrite(led11,LOW);

digitalWrite(led10,LOW);

digitalWrite(led9,LOW);}

void loop() {

// put your main code here, to run repeatedly:

if(xbee.available()){

receive=xbee.read();

```

```
Serial.println(receive);

//led rouge

if(receive=='1'){

digitalWrite(led13,HIGH);

digitalWrite(led9,HIGH);

////////////////////////////////////

}

if(receive=='2'){

digitalWrite(led13,LOW);

digitalWrite(led9,LOW);

////////////////////////////////////

}

//led verte

if(receive=='3')

{

digitalWrite(led12,HIGH);

digitalWrite(led10,HIGH);

////////////////////////////////////

}

if(receive=='4'){

digitalWrite(led12,LOW);

digitalWrite(led10,LOW);

////////////////////////////////////

}
```

```
//led jaune
if(receive=='5'){
digitalWrite(led11,HIGH);
digitalWrite(led9,HIGH);
delay(300);
digitalWrite(led9,LOW);
delay(300);
digitalWrite(led9,HIGH);
delay(300);
digitalWrite(led9,LOW);
delay(300);
digitalWrite(led9,HIGH);
delay(300);
digitalWrite(led9,LOW);
delay(300);
digitalWrite(led9,HIGH);
delay(300);
digitalWrite(led9,LOW);
delay(300);
digitalWrite(led9,HIGH);
delay(300);
digitalWrite(led9,LOW);}
////////////////////////////////////
if(receive=='6'){
```

```
digitalWrite(led11,LOW);
```

```
digitalWrite(led9,LOW);}
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```