

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Mathématiques et Informatique**

Filière : **Informatique**

Spécialité : **Réseaux, Mobilité et Systèmes
Embarqués.**

Présenté par
Hassina AIT ISSAD
Lilia TERKI

Thème

Déploiement d'un réseau de capteurs sans fil pour la gestion de l'éclairage public

Mémoire soutenu publiquement le 26/06/ 2016 devant le jury composé de :

Président : Mr Mehammed DAOUI

Encadreur : Mme Rachida AOUDJIT

Examineur : Mme Rebiha HADAOUI

Examineur : Mme Malika BELKADI



Nous dédions ce travail :

- *A nos parents, qui ont été toujours présents pour Nous soutenir et nous encourager ;*
- *A nos frères et sœurs ;*
- *A toutes nos familles ;*
- *A tous nos amis.*

***AIT ISSAD HASSINA
TERKI LILIA***

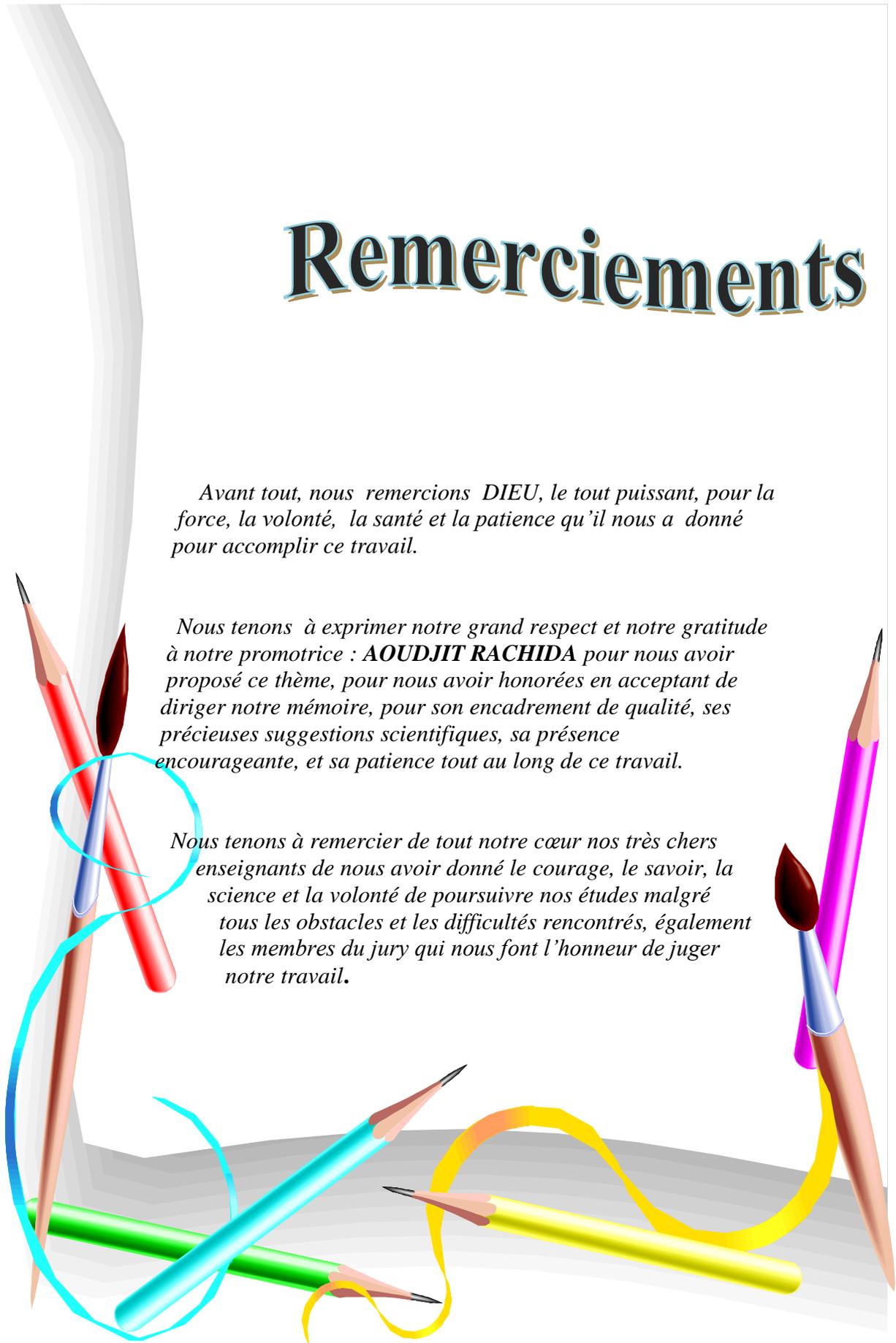


Remerciements

Avant tout, nous remercions DIEU, le tout puissant, pour la force, la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné pour accomplir ce travail.

*Nous tenons à exprimer notre grand respect et notre gratitude à notre promotrice : **AUDJIT RACHIDA** pour nous avoir proposé ce thème, pour nous avoir honorées en acceptant de diriger notre mémoire, pour son encadrement de qualité, ses précieuses suggestions scientifiques, sa présence encourageante, et sa patience tout au long de ce travail.*

Nous tenons à remercier de tout notre cœur nos très chers enseignants de nous avoir donné le courage, le savoir, la science et la volonté de poursuivre nos études malgré tous les obstacles et les difficultés rencontrés, également les membres du jury qui nous font l'honneur de juger notre travail.



Sommaire

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

Chapitre I

La Ville intelligente

I-1 Introduction	3
I-2 Historique de l'élaboration des indicateurs des villes intelligentes de l'UIT	4
I-3 Définition	5
I-4 Les caractéristiques du une ville intelligente.....	6
I-4-1 Une économie intelligente	7
I-4-2 Une mobilité intelligente	8
I-4-3 Un environnement intelligent	8
I-4-4 Des habitants intelligents.....	8
I-4-5 Un habitat intelligent	9
I-4-6 Une gouvernance intelligente.....	9
I-5 Réseaux de capteurs sans fil pour villes intelligentes	9
I-6 les Domaines des villes intelligentes	10
I-6-1 la sécurité de l'eau	10
I-6-2 la domotique.....	11
I-6-3 l'économie d'énergie	11
I-6-3-1 Le réseau d'éclairage public et la fondation d'une ville intelligente	11
I-7 quelques technologies de réseaux sans fils déployées	12
I-8 Les défis des villes intelligentes déployées	13
I-9 Les avantages.....	14
I-10 Conclusion.....	15

Chapitre II

Le Protocole ZigBee

II-1 Introduction	16
II-2 Historique	16
II-3 la norme IEEE 802.15.4.....	17
II-4 Définition	17
II-5 Les entités réseaux	17
II-6 La topologie.....	19
II-7 les couches de protocole ZigBee	20
II-8 Interface ZigBee	23
II-8-1 Présentation du Xbee.....	23
II-8-2 Les principales Caractéristiques du Xbee	25
II-8-3 Communication avec le module Xbee	27
II-8-4 Modes de Communication.....	27
II-8-5 Modes de fonctionnement	29
II-9 Comparaison entre les différentes technologies sans fils.....	31
II-10 Conclusion.....	31

Liste des Figures

Figure I-1 : la ville intelligente	6
Figure I-2 : les six critères d'une ville intelligente	7
Figure I-3 : Les catégories de réseaux sans fil.....	12
Figure II-1 : les différentes topologies d'un réseau ZigBee	20
Figure II-2 : les couches de protocole ZigBee.....	21
Figure II-3 : Format des trames Zigbee.....	22
Figure II-4 : le module XBee.....	23
Figure II-5 : un Adaptateur XBee	24
Figure II-6 : l'architecture interne du XBee	24
Figure II-7 : les boches du Xbee	25
Figure II-8 : Système de communication RF utilisant des modules XBee	27
Figure II-9 : Structure d'une trame API.....	28
Figure II-10 : les modes de fonctionnement.....	28
Figure II-11 : Transmission de données	30
Figure III-1 : Un réseau d'éclairage public traditionnel	32
Figure III-2 : nombre moyen d'heures éclairées	33
Figure III-3 : la puissance annuelle du système classique en KWH	34
Figure III-4 : l'architecture du réseau d'éclairage proposé.....	35
Figure III-5 : organigramme de fonctionnement des routeurs du réseau dans le cas d'une autoroute urbaine	36
Figure III-6 : organigramme de fonctionnement des routeurs du réseau dans le cas d'un quartier	37
Figure III-7 : organigramme de fonctionnement de coordinateur du réseau	38
Figure III-8 : les matériels intégrés au niveau de chaque lampadaire routeur	39
Figure III-9 : La carte Arduino Due	40
Figure III-10 : l'écran LCD.....	43
Figure III-11 : le câblage de LCD avec arduino.....	43
Figure III-12 : Câblage du Capteur de mouvement à la carte arduino	44
Figure III-13 : Capteur de mouvement	44
Figure III-14 : câblage de la photorésistance	45
Figure III-15 : la photo résistance.....	45
Figure III-16 : câblage du XBee à l'arduino	46

Figure III-17 : module Xbee.....	46
Figure III-18 : le schéma du câblage des composants des nœuds routeurs.....	47
Figure III-19 : le schéma du câblage des composants du coordinateur	47
Figure III-20 : l'environnement de programmation arduino	48
Figure III-21 : X-CTU	50
Figure III-22 : Déroulement du système	51
Figure III-23 : capture représentant un retour en absence de mouvement.....	55
Figure III-24 : capture représentant un retour en présence de mouvement	56
Figure III-25 : capture représentant un retour en absence de mouvement.....	56
Figure III-26 : capture représentant un retour en présence de mouvement	57
Figure III-27 : capture représentant le coordinateur surveillant les pannes	57
Figure III-28 : nombre moyen d'heures éclairées dans une journée	60
Figure III-29 : la comparaison des consommations par zones	60

Liste des tableaux

Tableau II-1 : Description des différentes broches du Xbee.....	26
Tableau II-2 : la comparaison entre Zig Bee, Bluetooth, Wifi	31
Tableau III-1 : les heures de fonctionnement du système classique	33
Tableau III-2 : les broches de l'écran.....	44
Tableau III-3 : configuration des Xbee.....	50
Tableau III-4 : les heures de fonctionnement du nouveau système	59

Introduction
générale

Introduction générale

L'introduction des technologies de l'information et de la communication dans l'espace urbain ouvre la voie à de nouvelles fonctionnalités, de nouvelles manières de gérer, de gouverner et de vivre la ville. Ces solutions technologiques permettraient de répondre aux difficultés que rencontrent les pouvoirs publics, essentiellement en matière de gestion des infrastructures des grandes villes, pour faire face à la croissance continue de la population. La ville intelligente devrait pouvoir régler plusieurs problématiques liées aux réseaux de transport collectif, de congestion routière, de gestion des matières résiduelles, de gestion des infrastructures d'eau et d'énergie, et de télécommunication.

Le concept de ville intelligente n'est pas une finalité en soi, mais un moyen pour arriver à atteindre des objectifs, tel que le maintien ou l'amélioration de la qualité de vie des habitants, le développement durable, l'économie des ressources ou encore la mobilité durable.

Notre problème se focalise sur l'éclairage public, qui est responsable d'une partie prédominante des dépenses énergétiques d'une ville, ces pertes énergétiques engendrées par cet éclairage peu agile sont énormes. A titre d'exemples pendant la nuit, nos routes sont éclairées parfois sans interruption à pleine puissance pour nous permettre de circuler en toute sécurité, qu'on soit piéton, cycliste, automobiliste, etc. Cet éclairage permanent représente un réel confort pour l'utilisateur mais est un vrai point noir dans le budget des communes et des gestionnaires de réseau de distribution et afin d'apporter une solution à ce problème nous avons déployé un réseau de capteurs sans fils, dont lequel on intègre dans chaque lampadaire des équipements intelligents capables de gérer l'éclairage.

Dans cette optique, nous avons organisé notre mémoire de la manière suivante :

 **Chapitre I** : est consacré pour but de donner un aperçu général sur les villes intelligentes.

 **Chapitre II** : est consacré à l'étude du standard de communication sans fils ZigBee en présentant une de ses interfaces matérielle qui est le module « XBee »

 **Chapitre III** : nous aborderons l'approche que nous avons adoptée pour l'analyse et la conception de notre projet de déploiement du réseau de capteurs sans fil. En présentant les démarches de conception matérielle et logicielle. et nous

finissons notre travail par une conclusion générale qui récapitule les points cruciaux de celui-ci.

Chapitre I

I-1 L'introduction

Il y a quelques mois se tenait à Paris la conférence sur le climat où les décideurs du monde entier ont débattu sur les actions à entreprendre afin de limiter l'impact de l'activité humaine sur notre environnement. Quand on parle de préservation de l'environnement, on comprend bien que chacun a son rôle à jouer.

Les technologies joueront un rôle majeur dans l'optimisation de nos activités. Aujourd'hui, nous assistons à une digitalisation de nos infrastructures : nos maisons, nos immeubles, nos usines, nos villes. Grâce à cette digitalisation nous sommes capables de mesurer et contrôler plus finement nos objets afin d'économiser.

L'expression « ville intelligente » ou smart city, désigne une ville utilisant les technologies numériques pour « améliorer » la qualité des services urbains ou réduire ses coûts. Ce nouveau concept désigne un type de développement urbain apte à répondre à l'évolution des besoins des institutions, des entreprises et des citoyens, tant sur le plan économique, social et environnemental.

Pour autant, l'avenir de la « smart city » n'est pas lié aux technologies mais à la capacité qu'aura la ville de devenir intelligente en mettant en place de nouvelles formes de gouvernance, en favorisant l'appropriation par les usagers de ces nouveaux dispositifs, en identifiant des modèles économiques viables et en contrôlant l'usage qui sera fait des données. La ville intelligente c'est d'abord et avant tout l'intelligence de ceux qui font la ville.

Dans ce chapitre introductif, nous présentons les villes intelligentes, en mettant en lumière la définition de ce concept, après nous donnons les caractéristiques de ce concept, leur domaines puis nous parlerons ensuite sur quelques technologies de réseaux sans fil déployées dans les Smart Cities. A la fin nous citons quelques avantages des villes intelligentes.

I-2 Historique de l'élaboration des indicateurs des villes intelligentes de l'UIT :

En février 2013, l'UIT (L'Union internationale des télécommunications) a créé le Groupe spécialisé sur les villes intelligentes et durables (groupe FG-SSC) chargé d'évaluer les besoins des villes en matière de normalisation, le but étant d'encourager leur durabilité sociale, économique et environnementale en intégrant les TIC dans leurs infrastructures et activités.

Le groupe FG-SSC a achevé avec succès son mandat en mai 2015, après avoir élaboré 21 spécifications techniques et rapports. Tout en reconnaissant le rôle que les TIC pourraient jouer pour résoudre les problèmes urbains et offrir une meilleure qualité de vie aux habitants, le groupe FG-SSC a pris conscience du fait que chaque ville n'aurait pas le niveau requis de savoir-faire ou ne disposerait pas d'un ensemble défini de directives pour devenir une ville intelligente et durable.

Il est important que les villes puissent comprendre et évaluer le stade de transition dans lequel elles se trouvent pour pouvoir prendre les mesures qu'il faut pour avancer. Il importe également que les acteurs urbains soient à même de mesurer l'efficacité de diverses entreprises de transition une fois qu'elles ont commencé. À cet égard, le groupe FG-SSC a élaboré un ensemble d'indicateurs fondamentaux de performance pour les villes désireuses de devenir intelligentes et durables. Ces indicateurs fondamentaux de performance proposés par le groupe FG-SSC sont conformes à la définition des villes intelligentes et durables et au cadre fournis par ONU-Habitat dans son indice de prospérité des villes. Elles comprennent six dimensions :

- Technologies de l'information et de la communication;
- Durabilité environnementale;
- Productivité;
- Qualité de vie;
- Équité et intégration sociale;
- Infrastructure physique.

Et ils se basent sur les principes suivants : l'Exhaustivité, Comparabilité, Disponibilité, Indépendance, Simplicité, Actualité.

Après huit (8) réunions en face à face et plus de vingt (20) réunions en ligne, le groupe FG-SSC a finalisé et approuvé la série suivante de spécifications techniques et de rapports concernant les indicateurs fondamentaux de performance des villes intelligentes et durables :

- Spécifications techniques concernant une présentation générale des indicateurs fondamentaux de performance dans les villes intelligentes et durables (octobre 2014);
- Spécifications techniques concernant les indicateurs fondamentaux de performance relatifs à l'utilisation des TIC dans les villes intelligentes et durables (mars 2015);
- Spécifications techniques concernant les indicateurs fondamentaux de performance relatifs à l'incidence des TIC sur la durabilité dans les villes intelligentes et durables (mars 2015);
- Rapport technique sur les définitions des indicateurs fondamentaux de performance pour les villes intelligentes et durables (mars 2015).

L'ensemble des indicateurs de la série des spécifications techniques du groupe FG-SSC de l'UIT-T comprend 78 indicateurs principaux et 30 indicateurs additionnels que les villes pourront choisir selon qu'il sera approprié. Les villes sont aussi encouragées à ajouter de nouveaux indicateurs selon les principes précités.

En mai 2015, l'UIT et la ville de Doubaï (Émirats arabes unis) ont signé un accord de coopération pour faire de Doubaï la première ville au monde à assurer une gestion urbaine efficace et durable sur la base des indicateurs fondamentaux de performance élaborés par le groupe FG-SSC de l'UIT-T..

I-3 Définition

De nombreuses définitions de « ville intelligente » existent, et les approches « intelligentes » ont été interprétées de différentes manières par des personnes et selon des secteurs. Certaines définitions soulignent que des villes intelligentes sont celles « qui ont des infrastructures physiques, sociales, institutionnelles et économiques réfléchies tout en

reconnaissant le rôle central joué par les citoyens dans un environnement durable »[13] ; elles font référence à des caractéristiques fondamentales définies par des facteurs distincts (par ex., dans une perspective « raisonnée », en matière d'économie, mobilité, personnes, environnement, mode de vie, gouvernance) ;[14] et se concentrent sur l'utilisation stratégique de nouvelles technologies et approches innovantes pour améliorer l'efficacité et la compétitivité des villes.[20]

L'Union internationale des télécommunications (UIT) du groupe spécialisé sur les villes intelligentes durables (FG-SSC) propose la définition suivante : « *Une ville intelligente et durable est une ville novatrice qui utilise les technologies de l'information et de la communication (TIC) et d'autres moyens pour améliorer la qualité de vie, l'efficacité de la gestion urbaine et des services urbains ainsi que la compétitivité tout en respectant les besoins des générations actuelles et futures dans le domaine économique ou social et dans celui de l'environnement.* »

I-4 Les caractéristiques d'une ville intelligente :

Les changements organisationnels, technologiques et sociétaux des villes actuelles sont induits par leur volonté d'être une partie de la réponse au changement climatique. La ville intelligente cherche, ainsi, à concilier les piliers sociaux, culturels et environnementaux à travers une approche systémique qui allie gouvernance participative et gestion éclairée des ressources naturelles afin de faire face aux besoins des institutions, des entreprises et des citoyens. Elle est intégrée dans plusieurs modules voire la figure suivante :

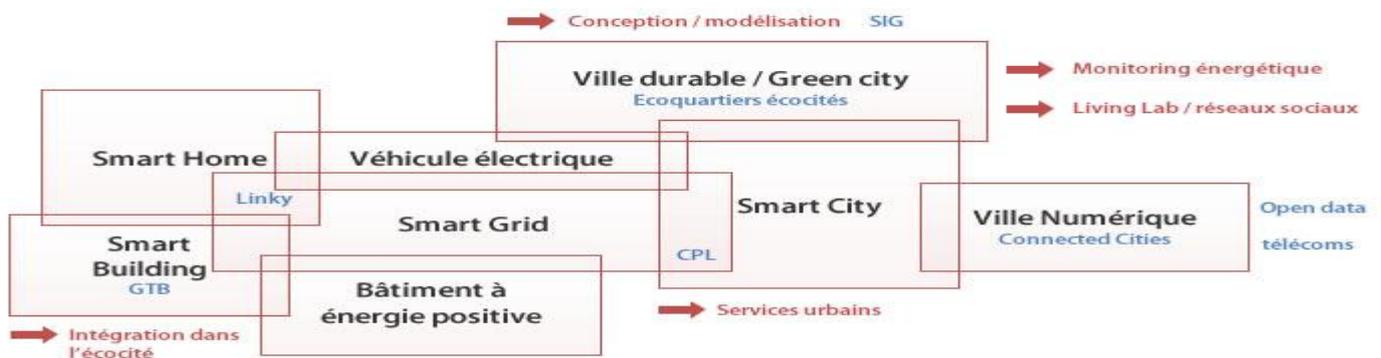


Figure I-1 : la ville intelligente[18]

Selon Rudolf Giffinger, expert en recherche analytique sur le développement urbain et régional à l'université technologique de Vienne, les villes intelligentes peuvent être

classées d'après six critères principaux, liés aux théories régionales et néoclassiques de la croissance et du développement urbain et respectivement fondés sur les théories de la compétitivité régionale, l'économie des transports et des technologies de l'information et de la communication, les ressources naturelles, les capitaux humains et sociaux, la qualité de vie et la participation des citoyens à la vie démocratique de la ville.

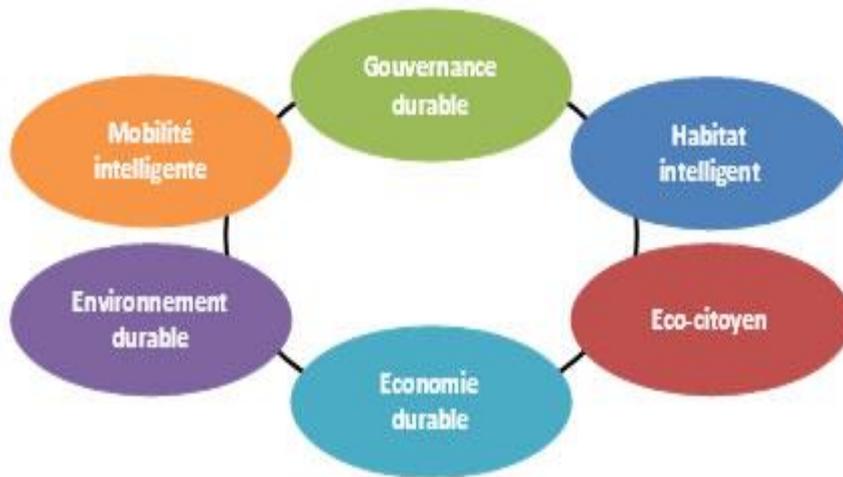


Figure I-2 : les six critères d'une ville intelligente

I-4-1 Une économie intelligente :

Une économie intelligente, c'est un pilier économique dont on se sert comme vecteur pour l'innovation et la création d'emplois durables pour la ville. Selon Giffinger, une économie intelligente est basée sur un esprit d'innovation et d'entreprenariat, sur la productivité et la flexibilité du marché. Elle possède aussi une aptitude à se transformer et à enchâsser le marché international. [2]

L'analyse d'une multitude de données en plus de l'accès à de nouvelles sources d'information permettra aux villes de créer de nouvelles opportunités, de la prospérité et de nouveaux emplois. Une des principales motivations de devenir intelligente est le pouvoir de devenir une ville attrayante sur la scène internationale, mais surtout un désir de développement économique. [6]

I-4-2 Une mobilité intelligente :

L'accès aux données de transport en temps réel via des écrans électroniques dans les stations, dans les wagons de métro ou dans les autobus ou encore via les téléphones intelligents personnels permettrait aux usagers de connaître une foule d'informations. C'est-à-dire, l'état de la circulation sur le réseau routier, le temps d'attente aux arrêts et stations de transport en commun, les pannes et en somme une meilleure gestion des flux urbains. Une mobilité intelligente qui serait possible grâce aux divers centres de gestion des données, aux capteurs d'informations et aux caméras. Ainsi, les utilisateurs des transports deviennent des producteurs de données. Une mobilité intelligente passe aussi par le développement et l'accès aux applications qui permettront aux usagers de vivre l'expérience d'une mobilité intelligente.

I-4-3 Un environnement intelligent :

La gestion de l'eau, la gestion des déchets et la gestion de l'énergie sont au cœur des préoccupations d'une ville en matière d'environnement. Dans une ville intelligente, les divers outils technologiques permettent notamment une protection et une préservation de nos ressources naturelles et des milieux naturels, comme par exemple, des capteurs pour détecter les fuites dans le réseau d'aqueduc, des senseurs pour suivre le transport des matières résiduelles ou des capteurs pour mesurer le niveau de pollution de l'air. Il s'agit là de nouvelles technologies qui permettent de fournir une panoplie d'informations en temps réel.

En matière d'énergie, les « smart grids », une technologie informatique des réseaux de distribution d'électricité intelligents, peut optimiser la production et la distribution d'électricité tout en s'ajustant à la demande. Économiser de l'énergie via de nouvelles technologies c'est aussi ça un environnement intelligent.

Équiper les infrastructures de la ville et mettre en place des NTIC dans le domaine de l'environnement a pour objectifs la protection de l'environnement, une utilisation durable des ressources et la mise en valeur des milieux naturels.

I-4-4 Des habitants intelligents :

Le citoyen est une importante partie prenante dans la ville intelligente. En effet, sa participation est requise, que ce soit dans la phase de consultation en amont ou pendant la

phase de mise en œuvre, comme acteur pour la protection de l'environnement, en matière d'économie ou dans le volet social au sein de sa communauté. Ensuite, le citoyen intelligent est celui qui utilisera les nouveaux outils technologiques, notamment pour participer aux débats publics et à la vie de quartier.

I-4-5 Un habitat intelligent :

L'habitat intelligent peut être applicable à différentes échelles. À l'échelle du milieu de vie, il peut s'agir d'un milieu de vie sécuritaire, où foisonne la culture et qui offre des services de santé et d'éducation. De plus, il peut s'agir de développer des quartiers verts ou des éco quartiers qui peuvent être par exemple élaborés dans le cadre de différents programmes, dont l'Agenda 21. [7]

À l'échelle de l'habitat, il peut s'agir d'habitations écologiques, voire des habitations qui sont certifiées selon le Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) ou encore des habitations qui comprennent certaines composantes écologiques.

I-4-6 Une gouvernance intelligente :

Les nouvelles technologies de l'information et des communications servent de levier entre les décideurs, les acteurs publics ainsi que les citoyens. Pensons notamment à des tableaux électroniques dans des lieux publics qui peuvent afficher de l'information à l'intention des citoyens ou encore à une diffusion web simultanée des rencontres du conseil pour permettre à un plus grand nombre de personnes d'y assister. Cette gouvernance qui est dite intelligente est celle qui saura briser les silos au sein de l'administration et des services municipaux et qui permettra la collaboration étroite entre les différents acteurs et les citoyens. La ville devrait interagir avec les citoyens en direct, et ce, grâce à divers outils web dont des interfaces d'accès instantané. [6]

I-5 Réseaux de capteurs sans fil pour villes intelligentes :

Un réseau de capteurs sans fil est une technologie spécifique qui aide à la création de villes intelligentes. Leur but est de créer un réseau réparti de noyaux de capteurs intelligents qui peuvent mesurer plusieurs paramètres intéressants pour une meilleure gestion

de la ville. Toutes les données sont transmises en temps réel aux citoyens ou aux autorités concernés.

Par exemple, les citoyens peuvent surveiller le niveau de pollution dans chaque rue de la ville ou encore recevoir une alerte quand le niveau de radiations atteint dépasse une certaine limite. Cela offre aussi la possibilité aux autorités d'optimiser l'irrigation des parcs ou l'éclairage de la ville. De plus, les fuites d'eau peuvent être facilement détectées, et des cartes dressant l'état de la pollution sonore peuvent être créées. Les poubelles peuvent aussi être plus intelligentes, des capteurs permettant de déclencher une alarme lorsqu'elles sont presque pleines.

Le trafic routier peut être contrôlé pour modifier l'éclairage urbain de manière dynamique. De même, le trafic peut être réduit grâce à des systèmes détectant la place de parking la plus proche. Les automobilistes sont informés en temps réel et peuvent rejoindre rapidement une place libre, économisant ainsi du temps et du carburant. Tout cela réduit la pollution et les embouteillages tout en améliorant la qualité de vie.

I-6 Domaines des villes intelligentes :

Plusieurs fonctionnalités des villes intelligentes sont assurées, parmi ces fonctionnalités on site :

I-6-1 Sécurité de l'eau :

Protéger les ressources naturelles d'une ville est également un enjeu capital, et sur ce front aussi, le secteur privé développe des produits et des services innovants.

Les systèmes d'approvisionnement en eau en milieu urbain sont complexes, étendus – une ville moyenne compte environ 400 kilomètres de conduites – et vulnérables aux contaminations accidentelles ou délibérées en divers points du réseau. Par ailleurs, les procédés d'analyse et de prélèvement d'eau sont lourds et peuvent durer jusqu'à trois jours lorsqu'il s'agit de déceler des polluants.

Diverses sociétés ont développé des dispositifs et des procédés efficaces permettant une détection rapide de pollution bactériologique ou chimique ; des équipements de détection de contamination par radiation ont également été conçus et sont d'ores et déjà mis à contribution dans les régions touchées par la catastrophe nucléaire de Fukushima au Japon.

I-6-2 La domotique :

La domotique est l'ensemble des techniques de l'électronique, de physique du bâtiment, d'automatisme, de l'informatique et des télécommunications utilisées dans les bâtiments, plus ou moins « interopérables » et permettant de centraliser le contrôle des différents systèmes et sous-systèmes de la maison et de l'entreprise (chauffage, volets roulants, porte de garage, portail d'entrée, prises électriques, etc.). La domotique vise à apporter des solutions techniques pour répondre aux besoins de confort (gestion d'énergie, optimisation de l'éclairage et du chauffage), de sécurité (alarme) et de communication (commandes à distance, signaux visuels ou sonores, etc.) que l'on peut retrouver dans les maisons, les hôtels, les lieux publics, etc.

I-6-3 Economie d'énergie :

Les villes intelligentes sont des villes modernes, capables de mettre en communication et de façon durable des infrastructures diverses telles que les équipements publics, les réseaux d'éclairage, les services de transport et les services d'urgence. Ce concept évolutif permet aux villes d'être plus efficaces et compétitives, tout en se développant dans le respect de l'environnement.

I-6-3-1 Le réseau d'éclairage public, et la fondation d'une ville intelligente :

Dans cette optique, les systèmes de contrôle de l'éclairage permettent de mettre en communication plusieurs éléments et d'interagir sur eux. On peut penser aux réseaux d'éclairage urbain, aux capteurs environnementaux, aux panneaux indicateurs, aux bornes de recharge pour véhicules électriques, aux compteurs d'eau, aux réseaux sans fil, etc. Ces systèmes effectuent des tâches de réglage d'intensité, d'allumage et de fermeture sur demande, des vérifications de l'état des infrastructures à distance et produisent des rapports d'énergie et de puissance. Ils assurent des économies d'énergie remarquables et ils diminuent considérablement l'empreinte environnementale des villes en réduisant les émissions de GES (Gaz à Effet de Serre) et la pollution lumineuse.

I-7 Quelques technologies de réseaux sans fil déployées dans les Smart Cities :

On distingue habituellement plusieurs catégories de réseaux sans fil, selon le périmètre géographique offrant une connectivité (appelé zone de couverture) :

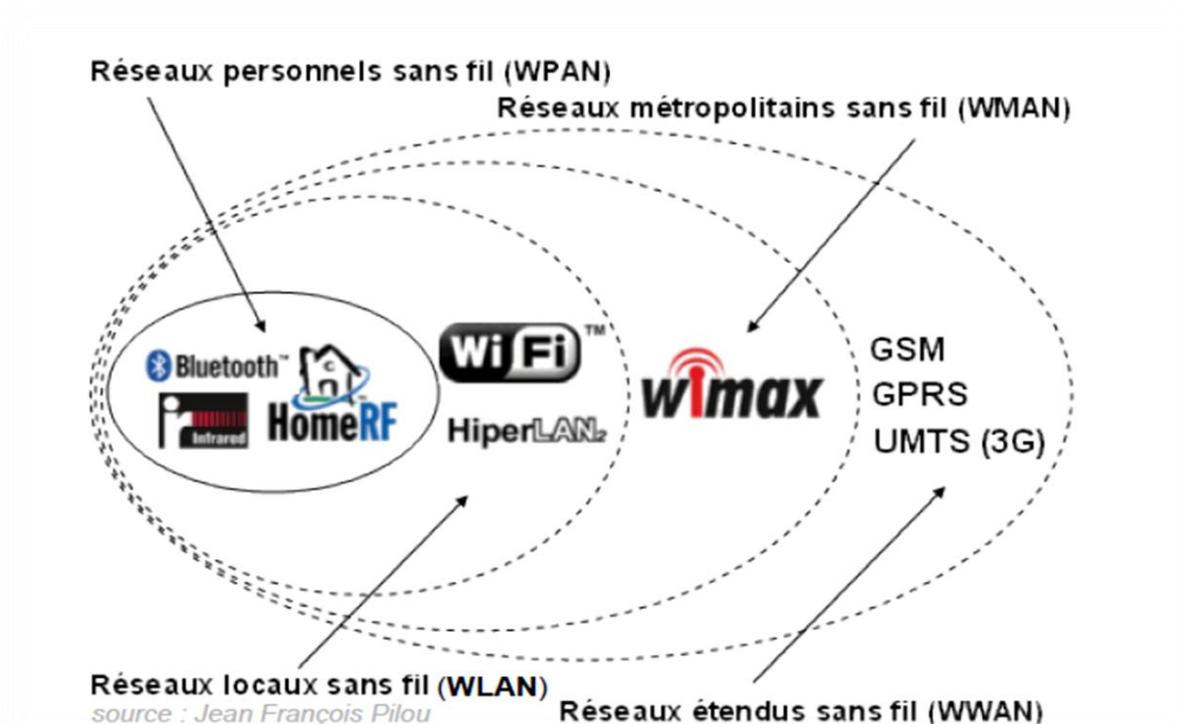


Figure I-3 : Les catégories de réseaux sans fil

Bluetooth :

La principale technologie WPAN est la technologie Bluetooth, lancée par Ericsson en 1994, proposant un débit théorique de 1 Mbps pour une portée maximale d'une trentaine de mètres. Bluetooth, connue aussi sous le nom IEEE 802.15.1, possède l'avantage d'être très peu gourmande en énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée à une utilisation au sein de petits périphériques.

HomeRF :

HomeRF (pour Home Radio Frequency), lancée en 1998 par le HomeRF Working Group (formé notamment par les constructeurs Compaq, HP, Intel, Siemens, Motorola et Microsoft) propose un débit théorique de 10 Mbps avec une portée d'environ 50 à 100 mètres

sans amplificateur. La norme HomeRF soutenue notamment par Intel, a été abandonnée en Janvier 2003, notamment car les fondateurs de processeurs misent désormais sur les technologies Wi-Fi embarquée (via la technologie Centrino, embarquant au sein d'un même composant un microprocesseur et un adaptateur Wi-Fi).

ZigBee :

La technologie **ZigBee** (aussi connue sous le nom IEEE 802.15.4) permet d'obtenir des liaisons sans fil à très bas prix et avec une très faible consommation d'énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée pour être directement intégré dans de petits appareils électroniques (appareils électroménagers, hifi, jouets, ...).

L'irDA :

Les liaisons **infrarouges** permettent de créer des liaisons sans fils de quelques mètres avec des débits pouvant monter à quelques mégabits par seconde. Cette technologie est largement utilisée pour la domotique (télécommandes) mais souffre toutefois des perturbations dues aux interférences lumineuses. L'association **irDA** (infrared data association) formée en 1995 regroupe plus de 150 membres.

Le WiFi :

Le **WiFi** (ou IEEE 802.11), soutenu par l'alliance WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) offre des débits allant jusqu'à 54Mbps sur une distance de plusieurs centaines de mètres.

I-8 Les défis des villes intelligentes :

trouver le financement :

L'une des principales préoccupations des villes est de trouver des moyens de financement suffisants pour couvrir l'ensemble des coûts associés aux projets de création d'une ville intelligente. Les villes cherchent également à trouver des solutions de financement permettant de couvrir la durée du projet (à court ou à long terme).

Le manque de renseignements sur les coûts et les avantages :

Outre la nécessité de trouver les financements appropriés, les responsables municipaux ont également signalé l'incapacité à estimer correctement les coûts et le rendement du capital investi associés à ces projets. Cela a été clairement démontré par les réponses données par les responsables municipaux lorsqu'ils ont été interrogés sur la planification financière.

Des défis juridiques

Les défis juridiques sont multiples en matière de données urbaines et se rapportent à plusieurs champs du droit : données personnelles, données publiques, propriété intellectuelle, passation de marchés et contrats, droit sectoriel (code de l'environnement, code de l'urbanisme, code de l'énergie ou du transport...).

Par exemple dans le cadre de données personnelles : Il faut rendre effectif les droits des citoyens sur leurs données dans un monde qui s'est transformé car les risques sont bien concrets : diffusion de données personnelles au-delà de la volonté des citoyens (ce qui pose la question du consentement), réception de publicités personnalisées, pratique commerciale abusive (différenciation de l'offre selon le client), risques de réputation, utilisation malveillante ou criminelle des données, abus de pouvoir de l'État au nom de l'ordre public.

Alors il faut trouver une approche permettant de profiter des apports du numérique tout en limitant les risques pour les citoyens.

I-9 Les avantages clés de la ville intelligente

- Réduction de l'empreinte carbone
- Efficacité énergétique et réduction du coût de l'électricité
- Fiabilité et stabilité du réseau
- Intégration des énergies renouvelables

I-10 Conclusion :

Au cours de ce chapitre nous avons présenté une définition du concept de ville intelligente. Ensuite, nous avons expliqué ses différentes caractéristiques et ses domaines de déploiement.

Puis, nous avons donné Quelques technologies de réseaux sans fil déployées dans les villes intelligentes. En fin, nous avons fini par citer quelques avantages des smart cities.

Dans le chapitre suivant nous allons parler sur la technologie sans fils ZigBee.

Chapitre II

Le protocole ZigBee

II-1 Introduction :

Après l'arrivée sur le marché depuis quelques années des réseaux locaux sans fil WiFi et Bluetooth, une nouvelle technologie semble, elle aussi, promise à un bel avenir commercial, aussi bien pour des applications grand public telles que celles liées à la domotique, que pour des domaines plus liés aux communications sans fil en milieu industriel : il s'agit du réseau ZigBee.

Ce réseau personnel sans fil ou Wireless Personal Area Network (WPAN) se démarque de ses deux principaux concurrents précédemment cités par sa **simplicité d'implémentation** et par ses **modes de faible consommation énergétique**.

La technologie ZigBee, associée à la norme IEEE 802.15.4, propose une pile protocolaire légère, déclinable sous plusieurs versions en fonction des besoins et de la topologie souhaitée, pour des objectifs de transferts de données à faibles débits et de faibles taux d'utilisation du médium.

Dans ce chapitre nous allons présenter la norme zigbee en donnant un bref historique de sa création, son architecture et ses différentes topologies. Nous allons aussi présenter une interface matérielle très connue de la norme ZigBee, le module « XBee ».

II-2 Historique :

1998 : Dès l'arrivée des technologies sans fil Wi-Fi 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. La technologie Bluetooth a beaucoup inspiré le protocole ZigBee.

2003 : Le standard IEEE 802.15.4 est lancé. Et peu après cela, Philips abandonne la ZigBee Alliance.

2004 : Au mois d'**Octobre** Le nombre d'inscriptions à la ZigBee Alliance devient assez suffisant pour continuer les recherches. Le **14 décembre 2004** ils présentent les premières spécifications de ZigBee.

2005 : A la date du **13 juin**, la ZigBee Alliance publie les premières spécifications officielles de la version ZigBee 1.0 qui sont désormais disponibles.

II-3 La norme IEEE 802.15.4 :

Le **802.15.4** est un protocole de communication défini par l'IEEE. Il est destiné aux réseaux sans fil de la famille des LR WPAN (Low Rate Wireless Personal Area Network) du fait de leur faible consommation, de leur faible portée et du faible débit des dispositifs utilisant ce protocole.

802.15.4 est utilisé par de nombreuses implémentations basées sur des protocoles propriétaires ou sur IP (Internet Protocol), comme le ZigBee et le 6LoWPAN. [19]

Le protocole 802.15.4 utilisé par ZigBee définit 3 bandes de fréquences utilisables: 2.4 GHZ, 868MHZ, 915MHZ.

II-4 Définition :

ZigBee est un protocole de haut niveau permettant la communication radios, à consommation réduite, conçu par **zigbee alliance** basée sur la norme IEEE 802.15.4 pour les réseaux à dimension personnelle (Wireless Personal Area Networks : WPANs).

Cette technologie a pour but de fournir les mêmes services que la technologie Bluetooth, tout en étant moins chère et plus simple, avec une plus longue portée et une moindre consommation d'énergie.

II-5 Les entités réseau : [3]

Le protocole ZigBee prévoit deux types d'entités réseau :

- **Les FFD (Full Function Device)** : implémentent la totalité de la spécification. Ils ont trois rôles possibles : coordinateurs PAN (Personal Area Network), routeur ou dispositif terminal (End-Device).

- **Les RFD (Reduce Function Device)** : sont des entités allégées dans un objectif de moindre consommation énergétique et de moindre utilisation mémoire pour le microcontrôleur. Ils sont généralement des nœuds terminaux du réseau (End-Device).

1. Le coordinateur :

Ce module va gérer les fonctions de haut niveau du réseau comme l'authentification, la sécurité... Un seul coordinateur doit être présent pour le même réseau (même identifiant de réseau PAN ou PANID). Il est obligatoire pour la mise en place du réseau.

Ce dernier doit être présent tout au long de la vie du réseau. Il est donc fortement conseillé d'alimenter en permanence ce module (pas de pile). Il est aussi possible de mettre le coordinateur sur onduleur (batterie de grande capacité avec recharge automatique).

2. Les routeurs :

Ces modules disposent de toutes les fonctions d'un module End-Device (dispositif terminal du réseau) avec en plus des fonctions de haut niveau utiles pour étendre le réseau. Ils permettent :

- D'étendre la taille du réseau en permettant aux autres modules de s'enregistrer auprès d'eux et non exclusivement auprès du coordinateur. Cela évite de saturer le coordinateur en nombre de modules inscrits. La taille maximum d'un réseau peut ainsi atteindre 65536 modules.
- D'étendre la portée du réseau. Chaque module routeur répète les signaux reçus aux autres modules qui lui sont enregistrés. Le signal se répercute ainsi de module en module pour atteindre le End-device concerné.

Ces fonctions augmentent fortement la consommation de ces modules. De plus, en cas d'indisponibilité d'un routeur tous les modules enregistrés auprès de lui deviennent invisibles. Il est donc fortement conseillé de choisir une alimentation conséquente et continue. La plupart du temps la fonction routeur est dédiée aux modules sur prise de courant (actionneur de lampe, chauffage ...).

3. Les End-Devices :

Ce sont tous les modules terminaux comme les capteurs, actionneurs... Ils ne sont actifs que sur changement de leurs états ou sur réponse à une trame, leur consommation est donc très faible et ils peuvent tout à fait être alimentés par des piles ou des batteries.

II-6 La Topologie :

- Le réseau ZigBee est un réseau maillé sans fil. Chaque nœud (module) doit s'identifier avant de rejoindre le réseau.
- La norme IEEE 802.15.4 met en place les topologies suivantes :

- **Topologie étoile :**

Dans cette configuration, la pièce maîtresse, celle par qui tous messages transitent, est le coordinateur (PAN coordinator). Il joue en quelque sorte le rôle de passerelle. Dans cette topologie, les dispositifs sont très simples et n'embarquent qu'une couche simplifiée du protocole Zigbee. Le coordinateur est en général fixe et alimenté pour garantir le fonctionnement du réseau.

- **Topologie Point à Point :**

Les dispositifs sont capables de dialoguer directement entre eux s'ils sont à proximité ou bien d'utiliser le coordinateur pour contacter un dispositif à plus longue distance. Dans cette topologie, les dispositifs sont plus compliqués et intègrent entièrement le protocole Zigbee. Une mécanique de tables de liaison permet également à chaque dispositif de jouer le rôle de coordinateur, permettant à deux dispositifs éloignés de dialoguer par l'intermédiaire d'un élément à portée.

- **Topologies plus complexes :**

Avec l'aide d'une couche réseau et d'un système de routage des paquets de données, il est possible d'élaborer des topologies plus complexes. La technologie ZigBee propose une couche réseau permettant de créer facilement de telles topologies grâce à des

algorithmes de routage automatique tels que le *cluster tree* (arborescence de cellules) ou les réseaux maillés *mesh*.

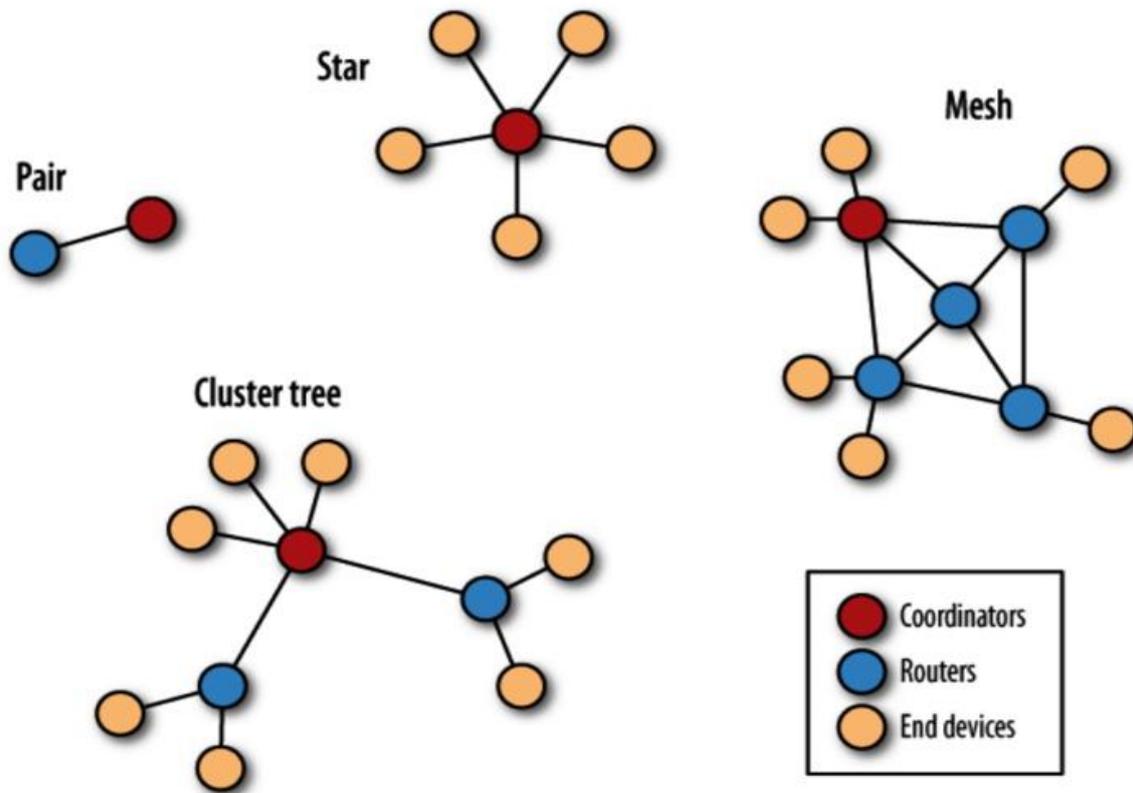


Figure II-1 : les différentes topologies d'un réseau ZigBee

II-7 Les couches de protocole ZigBee :

La spécification d'un protocole complet de communication, qu'il soit filaire ou non, passe par l'établissement des règles qui régiront les transmissions entre chaque nœud du réseau. Ces règles sont contenues dans une pile logicielle qui sera implémentée dans chaque nœud du réseau.

Pour un protocole sans-fil, il est indispensable de définir à la base quelles seront les fréquences d'émission et de réception des signaux, avec quels débits seront envoyés les signaux et quel sera le type de modulation et de codage numérique des informations. Toutes ces spécifications sont contenues dans la couche physique (PHY ; Physical Layer) définie par

l'IEEE qui se divise en deux parties suivant la bande de fréquences utilisée (868/915 MHz ou 2400 MHz).

Au-dessus de cette couche vient s'appuyer la couche d'accès au médium (MAC : Medium Access Control Layer), c'est la charnière centrale de la pile logicielle, qui définit et gère la façon dont un nœud ZigBee va « prendre la parole » dans le réseau et pouvoir émettre un message ou recevoir de l'information circulant sur celui-ci. Puis, lorsque les couches PHY et MAC sont fixées, il faut ensuite définir précisément les règles d'établissement d'un réseau, de l'association et de l'interconnexion des nœuds, ainsi que la structure détaillée des messages qui seront échangés . Ces fonctions sont assurées par la couche de gestion du réseau (NWK, Network Layer).

Enfin la couche de plus haut niveau, appelée couche d'application, déterminera la façon dont sont utilisés tous les niveaux inférieurs pour une application donnée, notamment la signification des informations contenues dans une trame.

Un des rôles principaux de l'alliance ZigBee est de déterminer, pour chaque domaine d'application auquel ce protocole est destiné, une couche d'application commune à tous les fabricants qui proposeront des systèmes ZigBee dans un même domaine (e.g., sécurité, domotique, médical). Elle est la garante de l'interopérabilité entre les produits compatibles ZigBee commercialisés par des sociétés différentes.

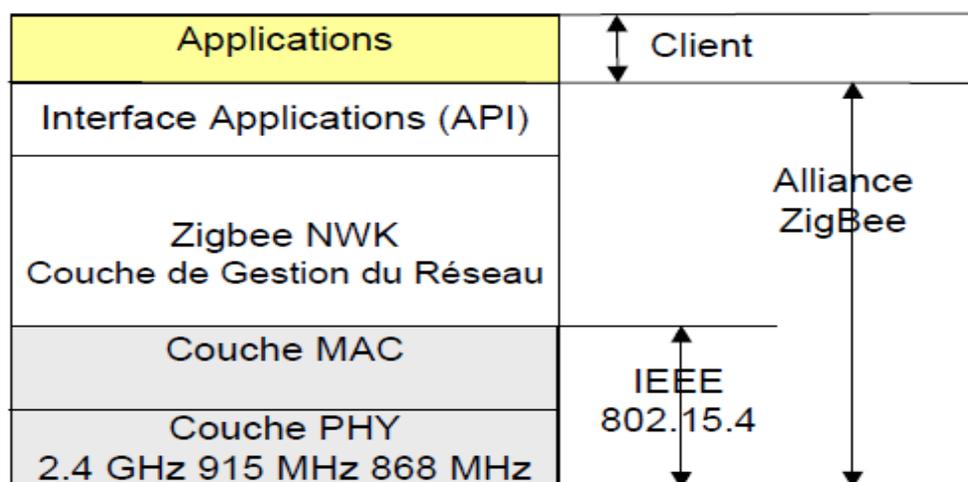


Figure II-2 : les couches de protocole ZigBee

Format des trames Zigbee :

Les trames Zigbee ont une taille maximale de 128 Bytes (ou encore 128 octets) incluant l'overhead du protocole. Il y a donc au total de la place pour 104 octets de données.

L'IEEE 802.15.4 MAC définit 4 structures de trames :

- Trame dite "Beacon" ou encore SuperFrame
- Trame de données, utilisée pour tous les transferts de données.
- Trame de confirmation, utilisée pour confirmer qu'une trame de données a été reçue avec succès.
- Trame de commande MAC, utilisée pour gérer tous les transferts de contrôle MAC.

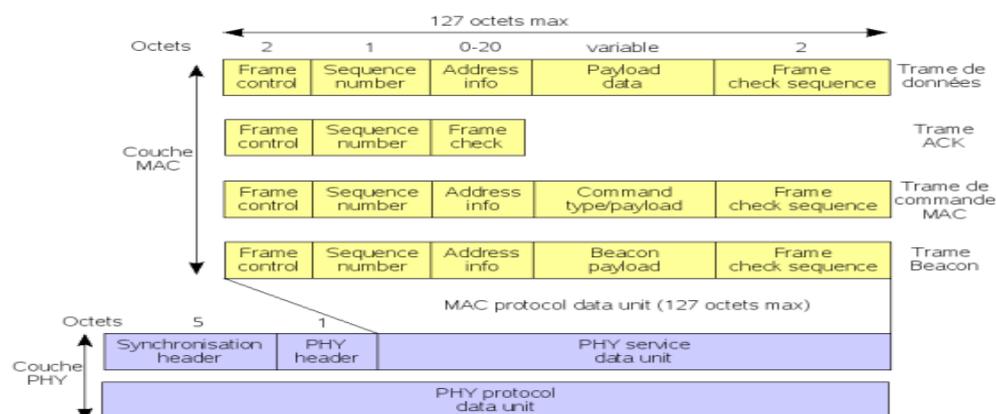


Figure II-3 : Format des trames Zigbee [9]

La structure de la trame MAC est flexible pour s'adapter aux différentes applications. Elle est définie comme suit :

- **MPDU (MAC Protocol Data Unit) = MHR (MAC Header) + MSDU (MAC Service Data Unit) + MFR (MAC Footer)**
- **MHR (MAC Header) :**
 - ✓ Le champ Frame Control indique le type de trame MAC et spécifie le format du champ adresse
 - ✓ Le champ Sequence Number assure l'ordre à la réception et permet l'acquittement des trames MAC
 - ✓ Le champ adresse est variable de 0 à 20 octets en fonction du type de trame
- **MSDU (MAC Service Data Unit) :**
 - ✓ La trame de données permet une charge utile jusqu'à 104 octets.
- **MFR (MAC Footer) :**

- ✓ Le FCS (Frame Check Sequence) assure que la trame est transmise sans erreur.
- ✓ CRC sur 16 bits

II-8 Interface ZigBee (Le module XBee) :

II-8-1 Présentation du XBee :

Les modules XBee sont des circuits de communication sans-fil qui se basent sur la norme ZigBee, fabriqués par l'entreprise Digi International. Ils ont été certifiés par la communauté industrielle ZigBee Alliance en 2006 après le rachat de MaxStream par Digi International.

Il existe plusieurs catégories de modules. xbee standard a une puissance d'émission de 1mW avec une portée de 10 à 100 mètre (série 1 et 2) et le xbee pro dispose d'une puissance d'émission de 60mW avec une portée pouvant aller jusqu'à 1000 mètres. il existe différents types d'antennes du module : filaire, chip... ect.



Figure II-4 : le module XBee

Ces modules existent en plusieurs séries (S1, S2, SPO). Les modules de séries différentes ne peuvent pas communiquer entre eux.

Le module XBee se monte sur une carte à l'aide d'un support (Interface de programmation USB alimentée par câble USB) permettant de connecter ses 20 broches comme le montre la figure suivante :



Figure II-5 : un Adaptateur XBee

La figure suivante présente une vue interne du module XBee. Etant connecté à un circuit présentant une liaison série asynchrone, le module utilise le « buffer DI » pour stocker les données transmises par ce circuit via le port DI. Ce flux de données est contrôlé par le signal \overline{CTS} de la manière suivante : lorsque le buffer DI ne dispose que d'un espace libre de 138 bits, \overline{CTS} est mis à 1 afin de signaler au circuit d'arrêter l'envoi de données. Il est remis à 0 que lorsque le buffer DI dispose de 276 bits d'espace mémoire libre.

Par ailleurs, le buffer DO est utilisé pour stocker les données envoyées par un autre module XBee par exemple. Lorsque le buffer DO atteint sa capacité maximale, toute donnée envoyée par voie RF est perdue. Ce flux est également contrôlé par le signal \overline{RTS} : lorsqu'il est au niveau haut, les données restent stockées dans le buffer DO et elles ne sont transmises via le port DO que lorsqu'il est au niveau bas.

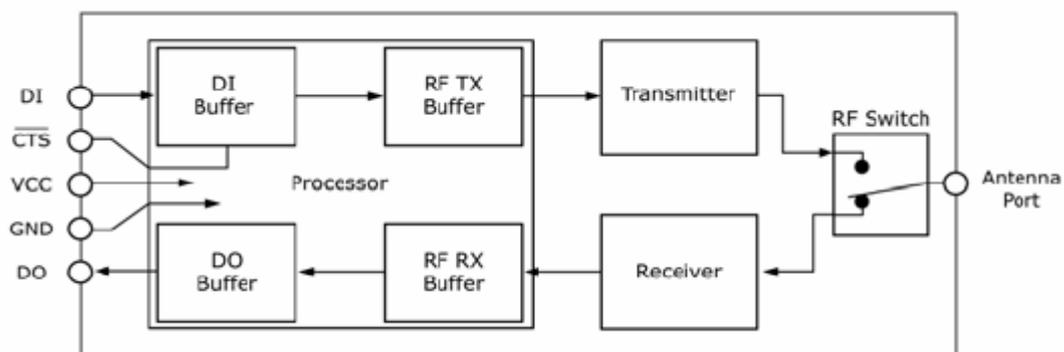


Figure II-6 : l'architecture interne du Xbee [5].

II-8-2 Les principales caractéristiques du XBee:[4]

- 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
- 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
- Description des broches :

Une caractéristique intéressante de ces modules est qu'ils disposent de plusieurs entrées/sorties analogiques et numériques configurables, avec plusieurs options. Ces modules sont programmables de manière assez fine pour réaliser différentes fonctions.

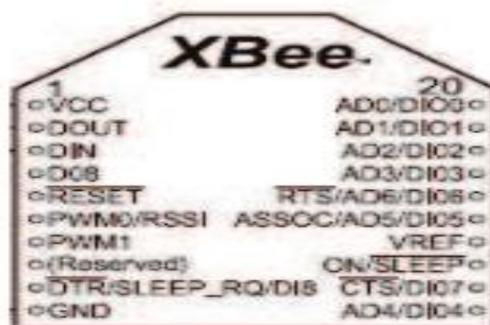


Figure II-7 : les boches du Xbee [11]

Broche	Nom	Direction	Description
1	VCC	-	Alimentation
2	DOUT	Out	Sortie UART
3	DIN/CONFIG	In	Entrée UART
4	DIO8	InOut	Entrée/Sortie digitale 8
5	RESET	-	Reset
6	PWM0/RSSI/DIO10	Out	Sortie PWM0/Indication puissance Rx/ E/S digitale 10
7	PWM1	Out	Sortie PWM1
8	Réservé	-	-
9	DTR*/SLEEP_RQ/DI8	In	Contrôle Sleep/Entrée digitale 8
10	GND	-	Ground
11	AD4/DIO4	InOut	Entrée analogique 4 ou E/S digitale 4
12	CTS/DIO7	Inout	Clear To Send/ E/S digitale 7
13	ON/SLEEP	Out	Indicateur état
14	VREF	-	Tension de référence pour conversion
15	Associate/AD5/DIO5	Inout	Indication association/Entrée analogique 5 ou E/S digitale 5
16	RTS/AD6/DIO6	Inout	Reday To Send/Entrée analogique 6 ou E/S digitale 6
17	AD3/DIO3	Inout	Entrée analogique 3 ou E/S digitale 3
18	AD2/DIO2	Inout	Entrée analogique 2 ou E/S digitale 2
19	AD1/DIO1	Inout	Entrée analogique 1 ou E/S digitale 1
20	AD0/DIO0	Inout	Entrée analogique 0 ou E/S digitale 0

Tableau II-1 : Description des différentes broches du Xbee

II-8-3 Communication avec le module XBee :

Le module peut être connecté à n'importe quel système (microcontrôleur, ordinateur ...etc) possédant une interface série UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)

Les paramètres par défaut de la liaison série sont les suivants : 9600 bauds, pas de parité, pas de contrôle de flux, 8 bits et 1 bit de stop.

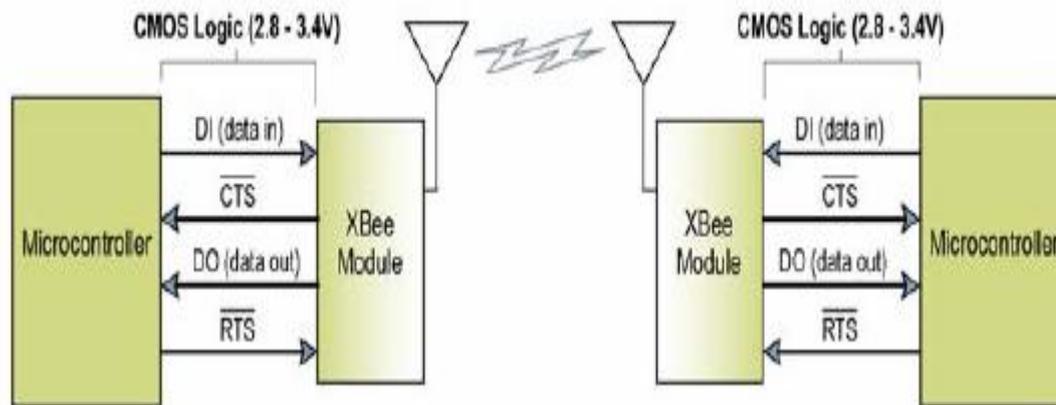


Figure II-8 : Système de communication RF utilisant des modules XBee

II-8-4 Modes de communication :

Les modules XBee peuvent fonctionner selon deux modes:

- *Mode Transparent* : les données sont directement envoyées/reçues par le module. Aucune information détaillée n'est nécessaire pour la construction des trames.
- *Mode API (Application Programming Interface)* : permet de contrôler plus finement la configuration des modules aussi bien en réception qu'en émission de trame. Il faut construire ses propres trames et les envoyer au module, permet également d'entrer dans le détail des trames reçues.

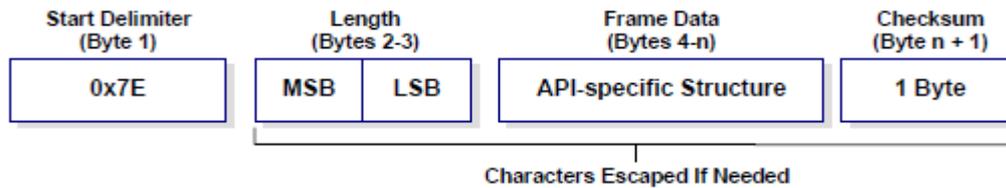
Dans le mode API, toutes les données entrantes (sur la broche Din) sont mises sous forme de trames qui définissent des opérations ou des événements sur le module.

□ □ Spécification des trames API :

Il existe deux types de modes API, et tous les deux sont activables grâce à la commande.

AP=1 : Mode API.

AP=2 : Mode API avec caractères ignorés.



MSB = Most Significant Byte, LSB = Least Significant Byte

Figure II-9 : Structure d'une trame API.

- **Start Delimiter** : Ce champ est toujours égal à 0x7E.
- **Length** : Le champ de longueur a une valeur de deux octets qui spécifie le nombre d'octets qui seront contenus dans le champ de données de trame. Il ne comprend pas le champ de somme de contrôle(Checksum).
- **Frame Data** : Le contenu de ce champ est composé de l'identifiant de l'API et l'identifiant des données spécifiques de l'API. En fonction de l'identificateur de l'API(également appelé API de type de trame) , le contenu des données spécifiques change.
- **Checksum** : Pour tester l'intégrité des données, le checksum (somme de contrôle) est calculé. Pour calculer le checksum, il faut additionner tous les bytes(sans les champs délimiteur de début et longueur) et ne garder que les 8 bits de poids faible, et les soustraire à 0xFF.
- **Caractères ignorés** : (Si AP=2), lors de la transmission ou la réception de données, certaines valeurs de données doivent être ignorées afin qu'elle n'interfère pas avec le séquençage de trame de données. Pour ignorer des caractères, il faut insérer 0x7D suivit des 8 bits à ignorer mit en XOR avec 0x20.

II-8-5 les modes de fonctionnement :

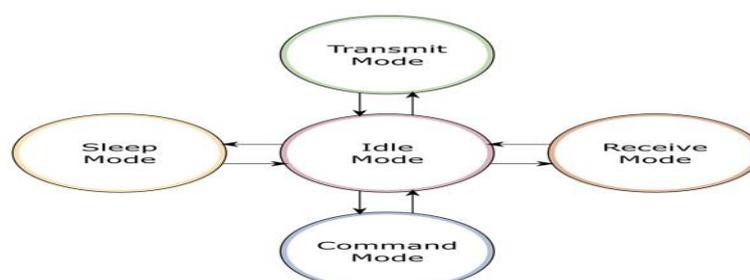


Figure II-10 : les modes de fonctionnement

Le module XBee peut être dans l'un des modes suivants :

 **Mode scrutation :**

Quand le module n'envoie pas et ne reçoit pas de données, il se met en mode scrutation. Dans le mode attente, le module attend des données valides à transmettre ou à recevoir.

Le module passe aux autres modes dans les cas suivants :

- **Mode transmission :** Lorsque des données se trouvant dans le « Serial Receive Buffer » sont prête à être envoyée.
- **Mode réception :** Lorsque des données sont reçues par l'antenne.
- **Mode veille :** sur les « End Device » Uniquement.
- **Mode commande :** Lorsqu'une trame de mode commande est envoyée.

 **Mode transmission :**

Le diagramme de la figure II-11 montre les états du module au fil de la transmission de données.□

 **Mode réception :**

Lorsqu'un paquet est correctement reçu et que son adresse correspond au paramètre MY (l'adresse source de 16 bits) du module, les données sont mises dans le « Serial Transmit Buffer ».

 **Mode commande :**

Le module se met dans ce mode lorsqu'on a besoin de lire ou de modifier les paramètres du module. Dans ce mode toutes données reçues sont interprétées comme étant des commandes.

 **Mode veille :**

Le mode veille n'est supporté que dans les « End Device », car les routeurs et les coordonneurs participent au routage de données et qu'ils sont supposés être alimentés par secteur.

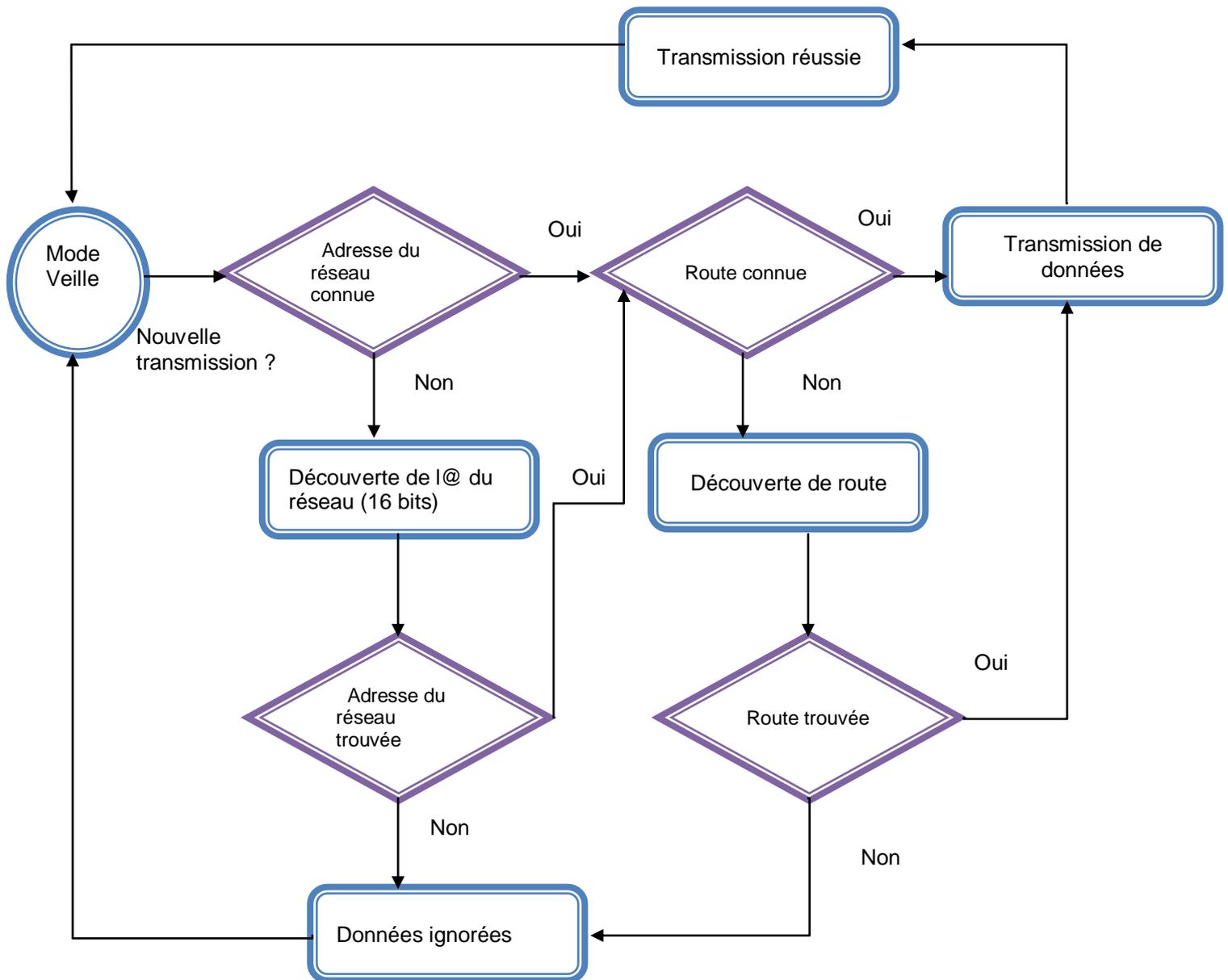


Figure II-11 : Transmission de données

II-9 La comparaison entre les technologies sans fils :

La figure ci-dessous montre la différence entre les technologies de communication sans fils Zig Bee, Bluetooth, Wifi :

Caractéristique	Zigbee	Bluetooth	Wi-Fi
IEEE	802.15.4	802.15.1	802.11a/b/g/n/ac
Besoins mémoire	4-32 ko	250 ko +	1 Mo +
Autonomie avec pile	Années	Mois	Jours
Nombre de nœuds	65 000+	7	256+
Vitesse de transfert	250 kb/s	1 Mb/s	11-54-108-320-1000 Mb/s
Portée (environ)	100 m	10 m	300 m

Tableau II-2 : la comparaison entre Zig Bee, Bluetooth, Wifi

Toutes les caractéristiques du protocole ZigBee sont bien adaptées aux systèmes embarqués. En effet, le protocole ZigBee se distingue des autres protocoles par ses faibles besoins en mémoire, ce qu'est favorable pour son implémentation. De plus, il présente une durée de vie très importante qu'est de l'ordre de plusieurs années, ainsi qu'un très large nombre de nœuds à supporter dans son réseau. Enfin, ce protocole convient parfaitement aux applications nécessitant une faible vitesse de transfert de l'ordre de 250 Kb/s.

II-10 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné une brève définition de la norme 802.15.4. Ensuite, nous avons présenté les principaux points du protocole Zig Bee qui s'appuie sur cette norme notamment son architecture, ses topologies et les différents éléments qui forment les réseaux ZigBee.

Par la suite, nous avons expliqué les modes de communication des modules Xbee. Puis, nous avons fini par une petite comparaison entre les technologies sans fil.

Le prochain chapitre sera consacré pour l'analyse et la conception de l'application réalisée.

Chapitre III

Conception et Réalisation

III-1 Introduction

Dans ce chapitre nous présentons une description détaillée de la solution adoptée pour réduire la consommation énergétique en abordant la conception détaillée de chaque partie du système afin d'obtenir une schématisation complète et précise.

III-2 Un réseau d'éclairage public traditionnel :

Dans de nombreuses villes, l'énergie consommée par l'éclairage public représente la plus grande proportion de leur facture d'électricité annuelle à cause d'utilisation d'anciens systèmes de commande [8].

Dans l'éclairage public traditionnel, nos routes sont éclairées parfois sans interruption et à pleine puissance pendant la nuit pour nous permettre de circuler en toute sécurité, qu'on soit piéton, cycliste, automobiliste, etc. (de 06:00 H de soir jusqu'à 07 :00 H du matin et en dehors de ces heures l'extinction des lampadaires) voir la figure suivante :

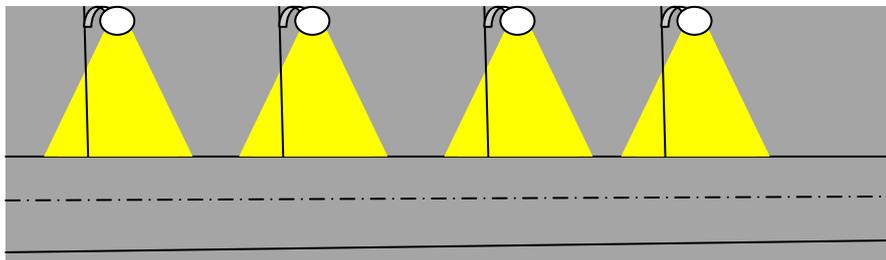


Figure III-1 : Un réseau d'éclairage public traditionnel.

Cet éclairage permanent représente un réel confort pour l'utilisateur mais est un vrai point noir dans le budget des communes et des gestionnaires de réseau de distribution. Afin d'estimer la consommation de ce système on a utilisé les résultats du site web [15] (un site qui se spécialise dans le calcul des heures de lever et de coucher du soleil) pour la wilaya de Alger Voir le tableau suivant :

le système classique

	l'hiver	Printemps	l'été	l'automne
lever du soleil	08:00	07:00	05:45	07:00
coucher de soleil	17:50	18:50	19:45	18:15
nombre moyen d'heures éclairées	13:50	12:10	10:00	12:45
nombre moyen d'heures éclairées dans un mois	415:00:00	365:00:00	300:00:00	382:30:00
nombre moyen d'heures éclairées dans une saison	1245:00:00	1095:00:00	900:00:00	1147:30:00
Nombre moyen d'heures éclairées dans une année	4387:00			

Tableau III-1 : les heures de fonctionnement du système classique.

La figure III-2 représente le nombre moyen d'heures éclairées dans une journée de l'hiver, de printemps, de l'été et de l'automne.

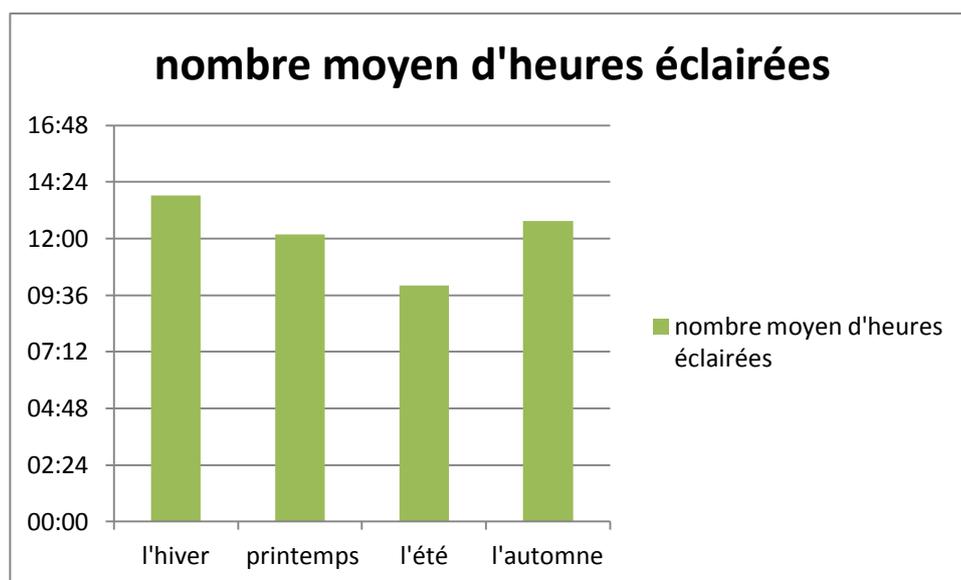


Figure III-2 : nombre moyen d'heures éclairées.

Pour calculer la puissance annuelle en KWH d'une ville qui possède 500 lampadaires dotés de 500 lampes dans un quartier, et de 1000 lampadaires dotés de 1000 lampes dans une autoroute urbaine on a utilisé la formule suivante :

La puissance annuelle en KWH = (le nombre de lampes dans un quartier* la puissance d'une lampe*le nombre moyen d'heures éclairées dans une année)/1000.

Le résultat du calcul est résumé dans l'histogramme ci-dessous dans les deux cas :

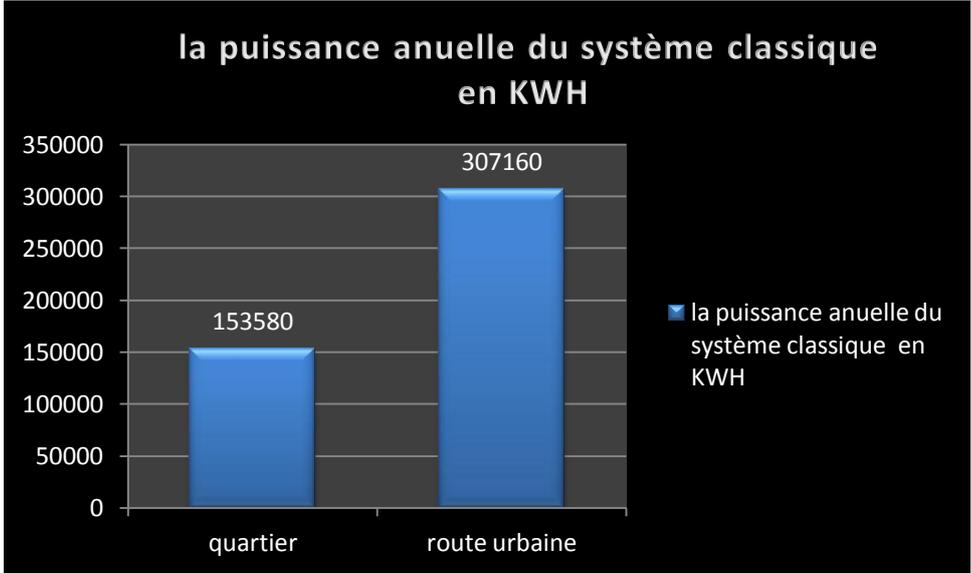


Figure III-3: la puissance annuelle du système classique en KWH.

III-3 Conception d'un plan du réseau de gestion d'éclairage :

III-3 -1 L'architecture :

L'architecture de notre réseau est montrée par la figure suivante :

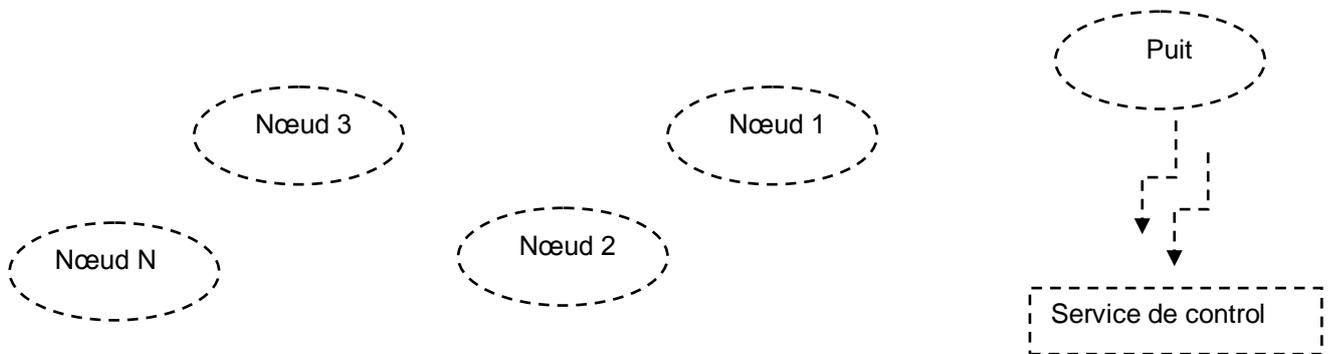


Figure III-4 : l'architecture du réseau d'éclairage proposé.

II-3 -2 Fonctionnement du réseau :

III-3 -2-1 Fonctionnement général du réseau :

Chaque nœud routeur est relié à un microcontrôleur (l'arduino) qui peut décider à n'importe quel moment d'envoyer des commandes aux nœuds voisins dans le réseau. Les arduino des autres nœuds du réseau recevant un message peuvent décider de s'allumer pendant une période bien déterminée ou non en fonction des valeurs retournées par les capteurs (lumière, mouvement).

Le coordinateur a pour rôle de vérifier le fonctionnement des nœuds routeur, en diffusant une trame de vérification de pannes dans le réseau.

Dans le cas d'une défaillance, une trame contenant l'adresse du nœud défaillant est envoyée par le coordinateur vers une station de contrôle (où elle sera affichée).

Le fonctionnement des nœuds de notre réseau dans une autoroute urbaine est résumé dans l'organigramme de la figure III-5, et dans un quartier est résumé dans l'organigramme de figure III-6.

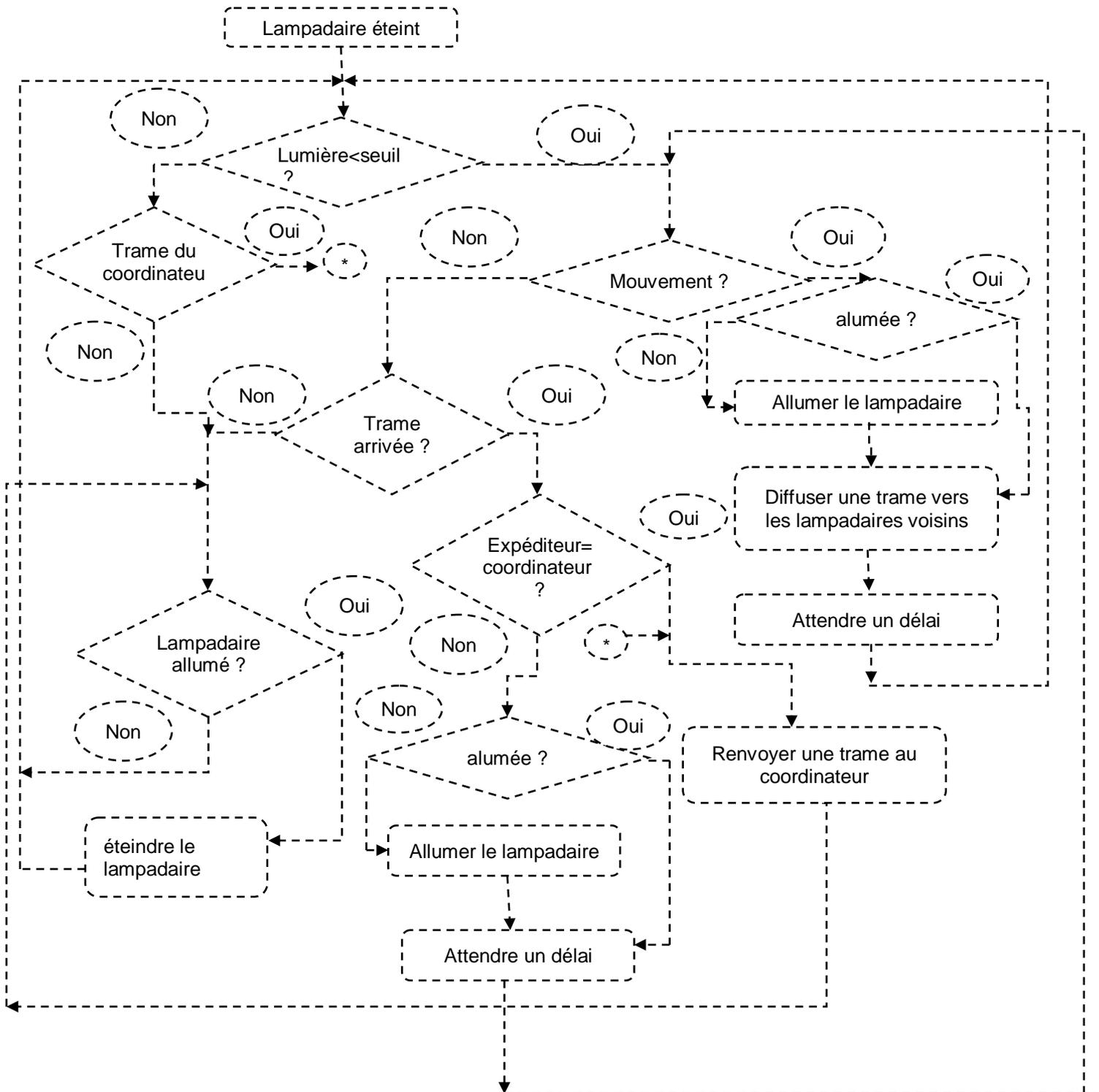


Figure III-5 : organigramme de fonctionnement des nœuds du réseau dans le cas d’une autoroute urbaine.

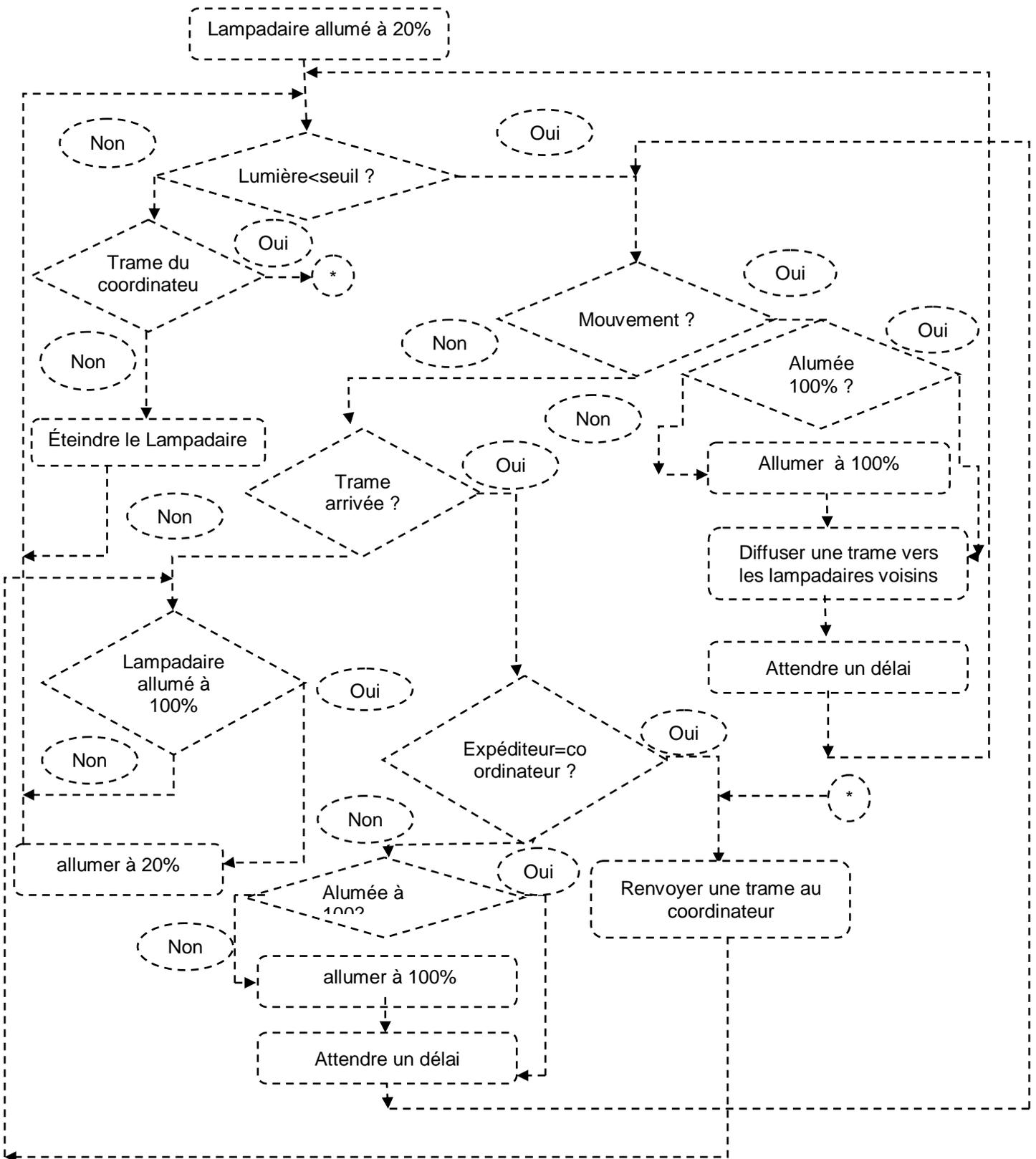


Figure III-6 : organigramme de fonctionnement des nœuds du réseau dans le cas d'un quartier

Le fonctionnement de coordinateur est illustré dans la figure suivante :



Figure III-7 : organigramme de fonctionnement de coordinateur du réseau.

III-3 -2-2 Gestion d'allumage :

Comme il est décrit précédemment par les organigrammes, c'est en fonction de la lumière du jour et du mouvement qu'on allume et on éteint les lampadaires :

- **l'éclairage dans les grands axes routiers :**

Les lampadaires sont éteints lorsqu'aucun mouvement n'est détecté et sont allumés à pleine puissance dans le cas contraire durant la nuit (la lumière est faible).et sont complètement éteints pendant la journée (lorsque la lumière est forte)

- **L'éclairage dans les quartiers résidentiels ou des parcs :**

Pendant la nuit il est possible de baisser l'intensité des lampadaires à 20-30% de leur puissance nominale et de l'augmenter à une tension maximale lorsqu'un usager est détecté. Et pendant la journée les lampadaires restent éteints (lorsque la lumière est forte).

III-3 -3 Vue matériel :

Le système est constitué de

- deux types de capteurs : Un capteur de mouvement, un capteur de luminosité.
- des modules XBee.
- des microcontrôleurs (cartes arduino).
- Un écran LCD.

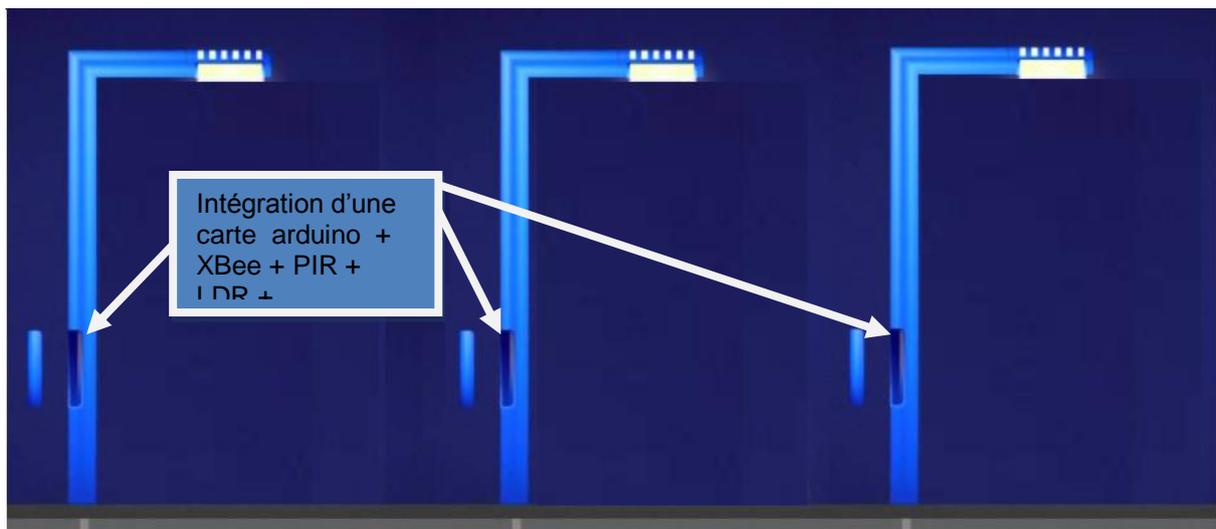


Figure III-8 : les matériels intégrés au niveau de chaque lampadaire routeur.

III-3 -3 -1 L'Arduino :

C'est une plate-forme open-source d'électronique programmée qui est basée sur une simple carte à microcontrôleur, et un logiciel, véritable environnement de développement intégré, pour écrire, compiler et transférer le programme vers la carte à microcontrôleur.

Arduino peut être utilisé pour développer des objets interactifs, pouvant recevoir des entrées d'une grande variété d'interrupteurs ou de capteurs, et pouvant contrôler une grande variété de lumières, moteurs ou toutes autres sorties matérielles.

Les projets Arduino peuvent être autonomes, ou bien ils peuvent communiquer avec des logiciels tournant sur votre ordinateur (tels que Flash, Processing ou MaxMSP). Les cartes électroniques peuvent être fabriquées manuellement ou bien être achetées pré-assemblées ; le logiciel de développement open-source peut être téléchargé gratuitement.

III-3 -3 -1-1 La carte Arduino Due

La carte Arduino Due est basée sur le micro-contrôleur Atmel ATSAM3X8E ARM Cortex-M3. C'est la première carte arduino qui dispose d'un micro-contrôleur 32 bits.

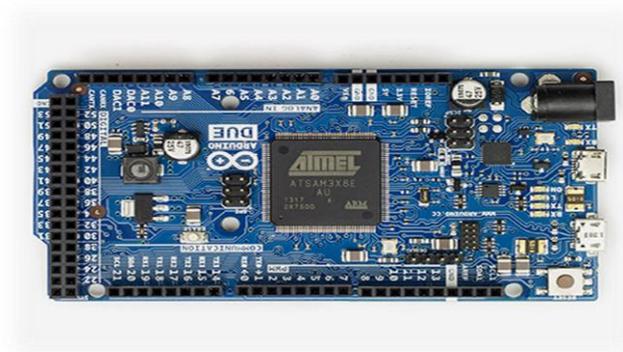


Figure III-9 : La carte Arduino Due.

III-3 -3 -1-2 Caractéristiques techniques de la carte Arduino Due [16]:

Elle dispose de:

- 54 entrées/sorties numériques (dont 12 peuvent être utilisées comme sorties PWM)
- 12 entrées analogiques
- 4 UART (port série hardware)
 - Serial: 0 (RX) and 1 (TX)

- Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX)
- Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX)
- Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX)
- 2 DAC (conversion numérique-analogique)
- 1 SPI
- 2 TWI : SDA and SCL pins qui sont proches d'AREF pin.
- connexion JTAG
- un oscillateur à quartz de 84 MHz
- une connexion USB OTG
- elle possède deux connecteurs USB (le programming port et le native USB Port. Les deux sont utilisables pour injecter le programme dans la carte).
- une prise d'alimentation
- un bouton de reset.
- AREF voltage de Reference pour les entrées analogiques.Utilisé avec analogReference().
- VIN : L'entrée de voltage à la carte Arduino quand elle utilise une source d'énergie externe.

Elle contient tout le nécessaire pour piloter le microcontrôleur, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur avec un câble USB pour l'utiliser simplement.

Remarque :

La carte Arduino DUE fonctionne en 3,3V. Tous les pins acceptent donc un maximum de 3,3V, si vous injecter une tension supérieure comme du 5V, cela peut être destructif pour la carte.

III-3 -3 -1-3 Avantages du microcontrôleur ARM Cortex-M3 :

Le Cortex-M3 propose plus de performance que les habituels microcontrôleurs 8bits que l'on trouve sur les autres cartes Arduino. En particulier, l'ARM Cortex-M3 de la carte Arduino Due permet :

- Un noyau 32 bits qui autorise des opérations sur 4 octets dans un seul cycle d'horloge.
- Une vitesse d'horloge de la CPU de 84Mhz
- 96 Ko de SRAM
- 512 Ko de mémoire Flash pour le code
- Un contrôleur DMA qui peut soulager la CPU lors des tâches intensives en mémoire.

III-3 -3 -1-4 Applications :

Le système Arduino nous permet de réaliser un grand nombre de choses qui ont une application dans tous les domaines, l'étendue de l'utilisation de l'Arduino est gigantesque.

Quelques exemples:

- Faire communiquer les appareils domestiques.
- fabriquer votre commun robot.
- faire un jeu de lumières.
- communiquer avec l'ordinateur.
- télécommander un appareil mobile
- etc.

III-3 -3 -2 un écran LCD :

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA). Pour commander l'afficheur LCD, on utilise deux modes de fonctionnement qui sont le mode 4 bits et le mode 8 bits

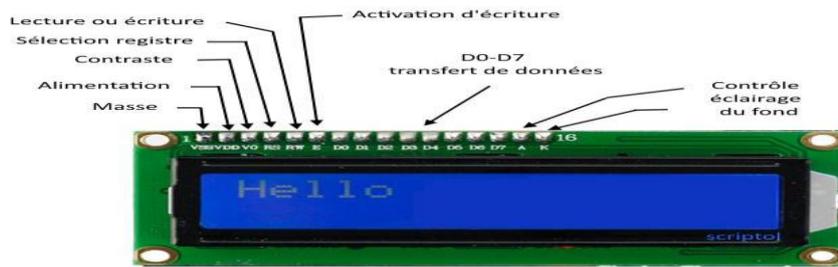


Figure III-10 : l'écran LCD.

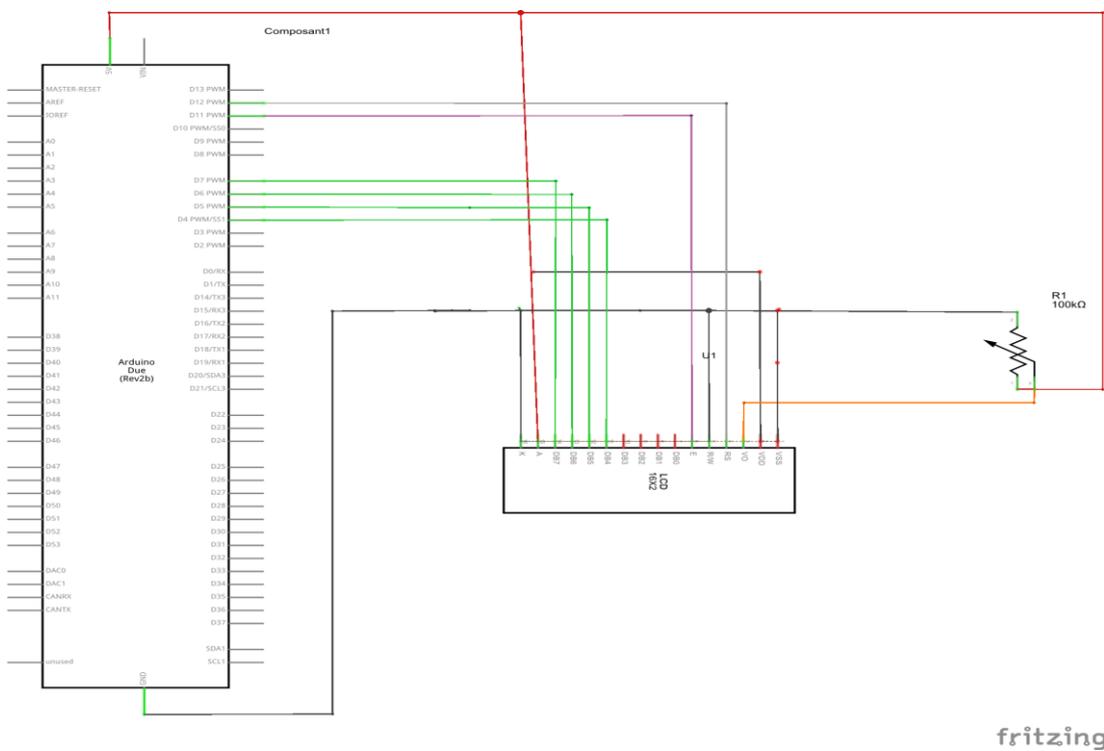


Figure III-11 : le câblage de LCD avec arduino.

III-3 -3-2-1 Les broches de l'écran :

Broche	Libellé	Acronyme	Rôle
1	Vss	Voltage Source	Relié à la masse (Gnd).
2	Vdd	Voltage Drain	Relié à une alimentation de 5 volts.
3	Vo	Voltage cOntrast (c est déjà utilisé)	Ajuster le contraste, par un potentiomètre ou par programme.
4	RS	Register Select	Sélection du registre à utiliser pour recevoir les codes (haut=donnée, bas=instruction).
5	RW	Read Write	Sélection du mode lecture ou écriture (haut=lecture, bas=écriture).
6	E	Enable	Autorise l'écriture sur les registres de l'écran
7-10	D0 à D3	Data 0 à 3	Envoi en parallèle de 4 bits supplémentaire pour un mot de 8 bits
11-14	D4 à D7	Data 4 à 7	Transfert de données pour 4 bits en parallèle.
15	A	Anode pour le fond	A et K servent à ajuster la lumière du fond ou l'éteindre.
16	K	Cathode pour le fond	Relié à la masse.

Tableau III-2 : les broches de l'écran.

III-3 -3 -3 Un capteur de mouvement :

Les capteurs PIR (*Passive Infrared Sensor*), capteur infrarouge passif, permettent de détecter la présence mobile dans le champ du capteur grâce au rayonnement infrarouge émis par ce dernier. Ils sont utilisés dans divers systèmes de sécurité et détecteurs de mouvements. On en trouve à bas coût, et ils sont très simples à utiliser.

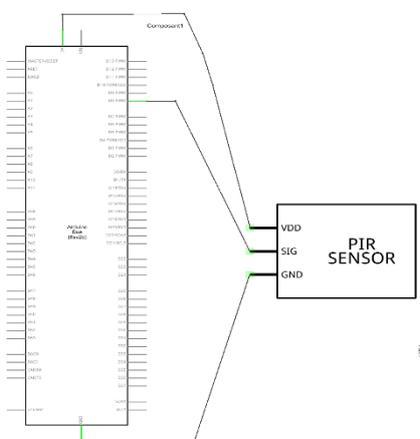


Figure III-12 : Câblage du Capteur de mouvement à la carte arduino.



Figure III-13 : Capteur de mouvement.

III-3 -3 -3-1 Caractéristiques [17]:

- Capteur de type HC SR501
- Tension de fonctionnement : 5V à 20V continu (DC).
- Consommation statique de 65 micro Ampères
- Niveaux de sortie : High 3.3 V, Low 0 V.
- Temps de délai ajustable de 0.3 secondes à 18 secondes.
- Temps mort 0.2 secondes.
- Déclenchement : L sans répétition, H répétition possible, valeur H par défaut.
- Portée de détection : angle de moins de 120°, 7 mètres.
- Température de fonctionnement de -15°C à +70 °C.
- Dimensions dus PCB 32x24 mm
- Ecart entre les trous de 28mm, diamètre de vis du capteur de 2 mm
- Capteur de 23 mm de diamètre.

III-3 -3 -4 Capteur de luminosité : (la photo résistance)

C'est un composant électronique dont la résistance varie en fonction de la quantité de lumière incidente. On peut également la nommer résistance photo-dépendante (light dependent resistor (LDR)) ou cellule photoconductrice.

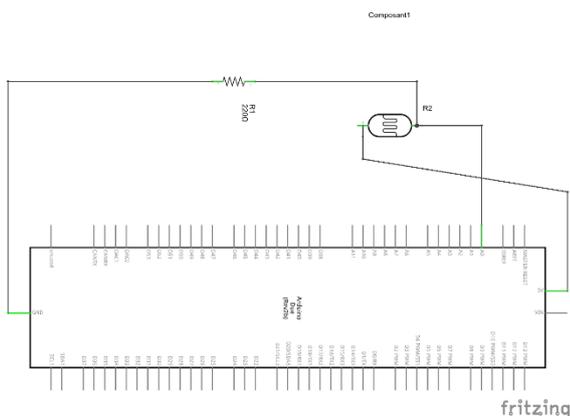


Figure III-14 : câblage de la photorésistance.



Figure III-15 : la photo résistance.

III-3 -3 -5 Xbee :

Le module XBee est relié à la carte arduino selon le schéma de la figure

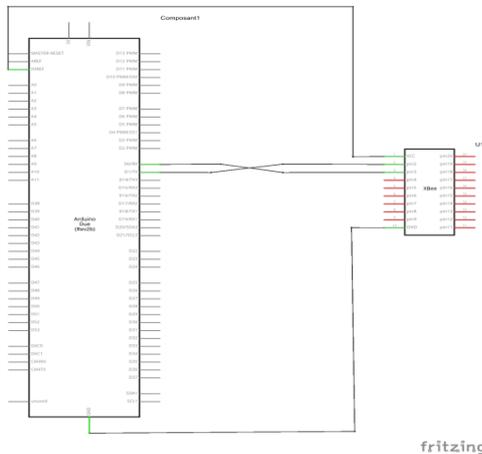


Figure III-16: câblage du XBee à l'arduino.



Figure III-17: module Xbee.

III-3 -3 -6 Le schéma de câblage des composants de notre système :

Les figures suivantes présentes les schémas de câblage globales des composants décrites précédemment.

Le câblage nécessite d'autres composants qui sont :

La plaque d'essai (Bread Board).

Une LED.

Des fils.

Des résistances.

Un potentiomètre.

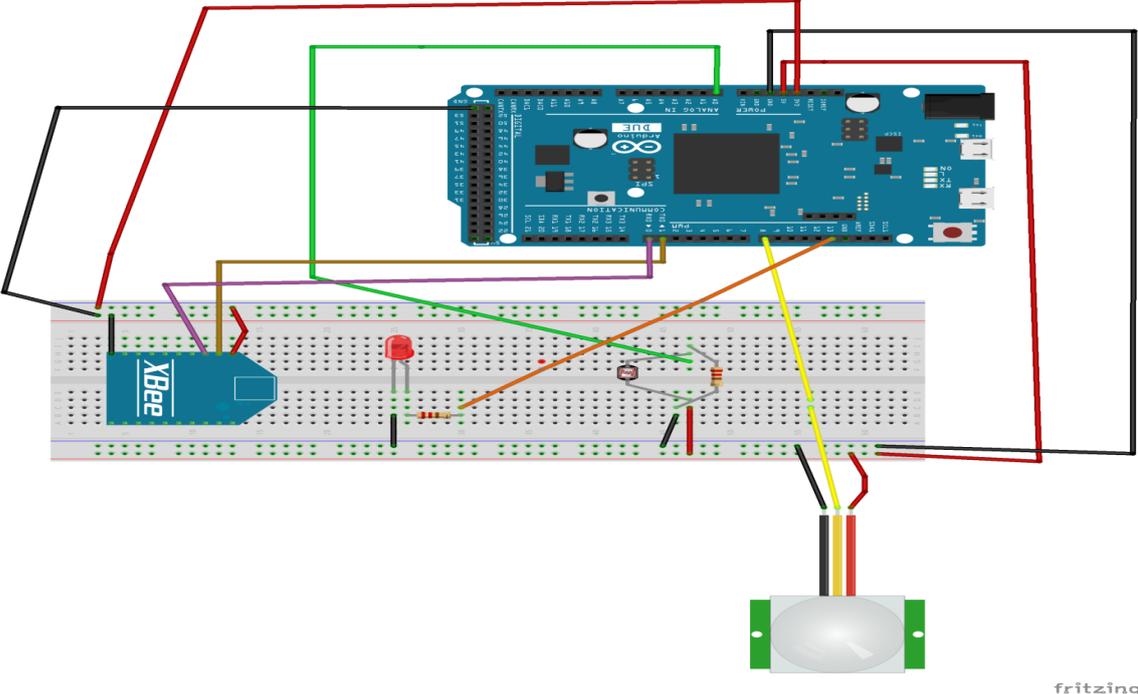


Figure III-18 : le schéma du câblage des composants des nœuds.

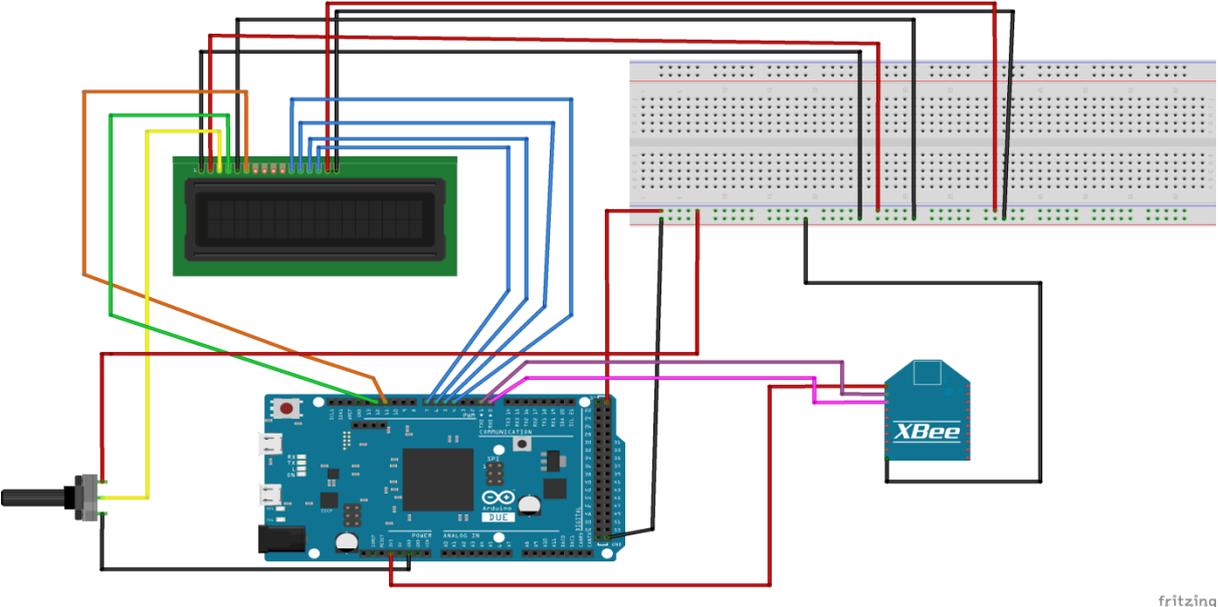


Figure III-19 : le schéma du câblage des composants du coordinateur.

III-4 Conception logicielle :

III-4-1 L'environnement de programmation Arduino :

L'environnement de programmation Arduino (IDE en anglais) est une application écrite en java inspirée du langage Processing.

L'IDE permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série d'instructions compréhensibles pour la carte.

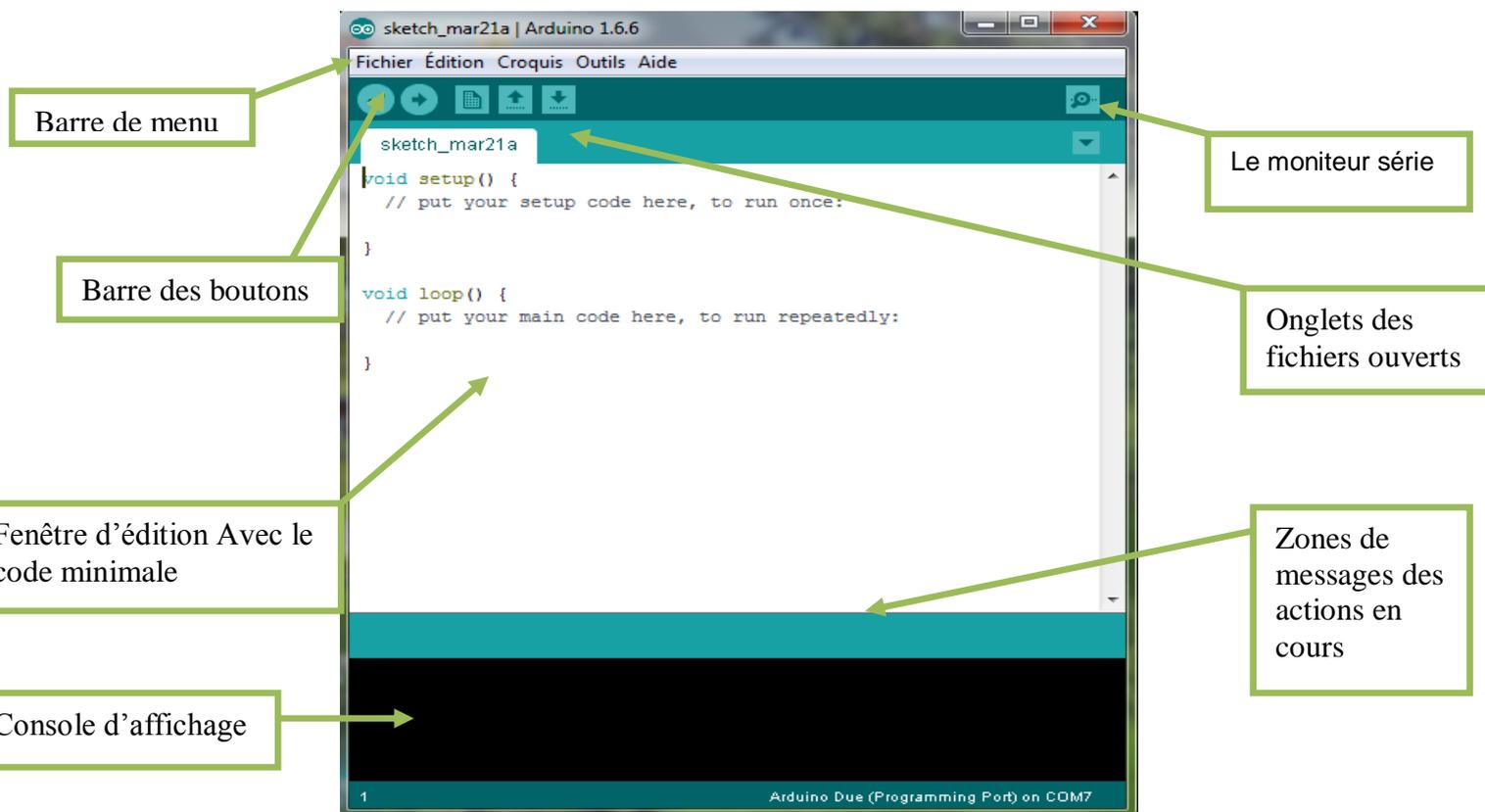


Figure III-20: l'environnement de programmation arduino.

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 (EDI) dédié au langage Arduino et à la programmation des cartes Arduino comporte :

- ❖ une BARRE DE MENUS comme pour tout logiciel.

- ❖ une BARRE DE BOUTONS qui donne un accès direct aux fonctions essentielles du logiciel et fait toute sa simplicité d'utilisation,
- ❖ un EDITEUR (à coloration syntaxique) pour écrire le code des programmes, avec onglets de navigation,
- ❖ une ZONE DE MESSAGES qui affiche indique l'état des actions en cours,
- ❖ une CONSOLE TEXTE qui affiche les messages concernant le résultat de la compilation du programme

III-4-2 X-CTU :

X-CTU est une application multi-plateforme libre conçu pour permettre aux développeurs d'interagir avec des modules RF Digi grâce à une interface graphique simple à utiliser. Il comprend de nouveaux outils qui facilitent la mise en place, la configuration et le test de modules RF XBee.

X-CTU comprend tous les outils dont un développeur a besoin afin de manipuler rapidement les modules XBee. Il comprend aussi des caractéristiques uniques comme une vue graphique du réseau, qui représente graphiquement le réseau XBee avec la force du signal de chaque connexion, et le générateur de trames API XBee, qui contribue de manière intuitive à construire et interpréter ces dernières [10].

Dans ce projet, XCTU est utilisé pour configurer les modules Xbee, parmi les paramètres inclus :

PAN ID, 64 bits addresses, Baud rate, API enable.

On a Trois modules Xbee : deux comme des nœuds routeur et un comme coordinateur. Leurs paramètres sont listés par le tableau de configuration

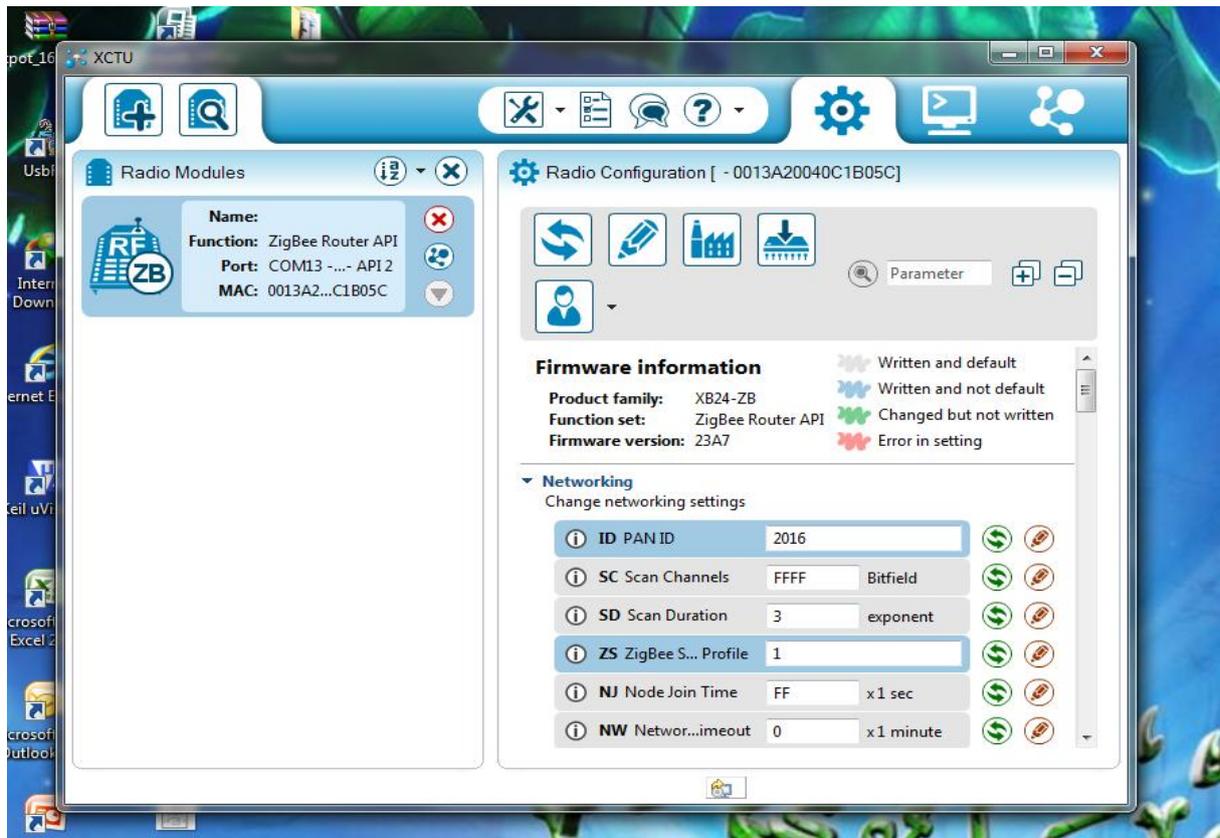


Figure III-21 : X-CTU.

	Coordinateur	Routeur 1	Routeur 2
PAN ID	2016	2016	2016
64 bits adresses	0013A200 40C1B05C	0013A200 40B79EAB	0013A200 40CAA581
Baud rate	9600	9600	9600
API enable	2	2	2

Tableau III-3 : configuration des Xbee.

III-4-3 Développement du software

Le système conçu doit permettre la vérification périodique de la lumière et du mouvement (assuré par le programme qu'on installe au niveau des lampadaires) en plus de

la vérification de panne par un coordinateur à fin d'assurer le fonctionnement du réseau. Le diagramme suivant illustre le fonctionnement du système :

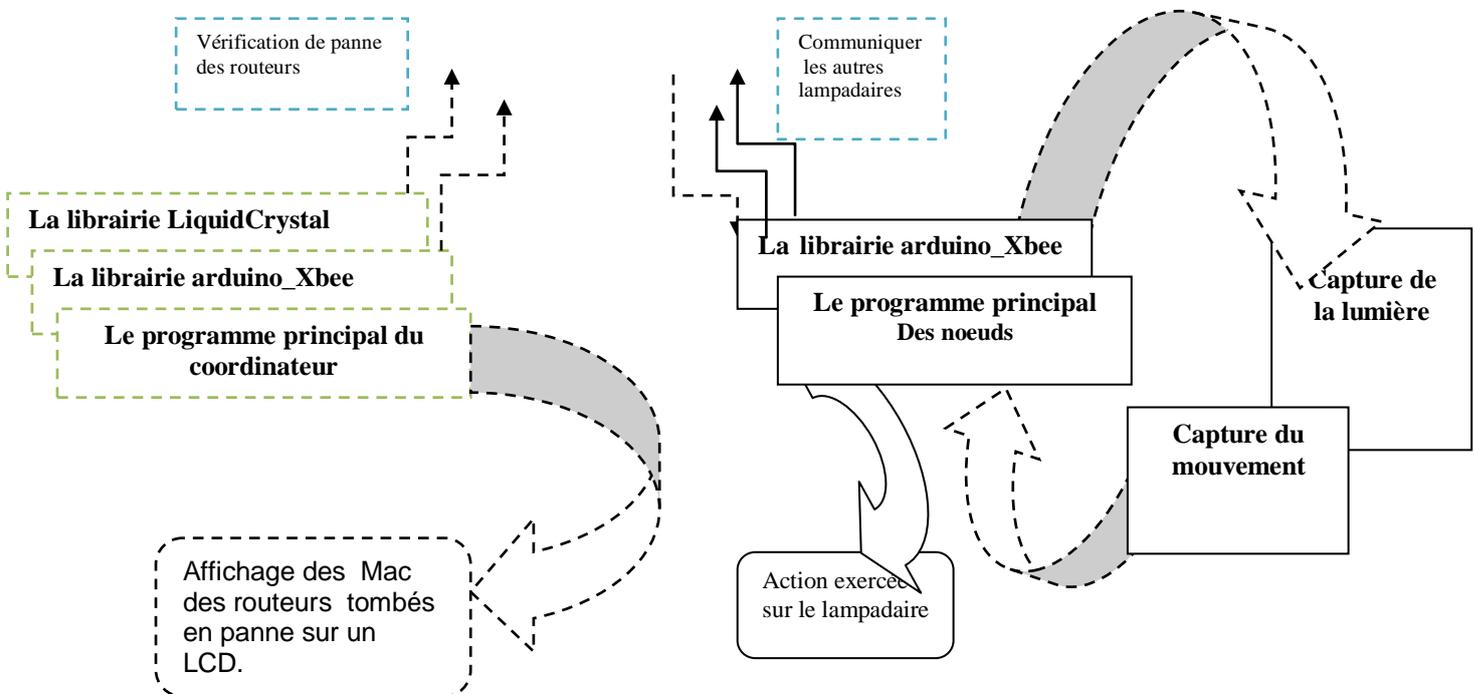


Figure III-22 : Déroulement du système.

Le code sources est organisé en deux parties :

- Le programme principal
- La librairie arduino_Xbee
- La librairie LiquidCrystal

III-4-4 Le programme principal :

Notre application est constituée de deux programme : un pour les routeurs qui permet de :

- Moduler l'éclairage suivant la luminosité ambiante :

Un extrait de code utilisé pour relever les valeurs de la lumière depuis le capteur de lumière :

```
const int lum = A0; // Définition de la broche à utiliser

void setup()
{Serial.begin(9600);
 pinMode(lum, INPUT); // configurer lum comme une entrée
}
void loop()
{ int vallum = analogRead(lum) ;
  Serial.print(" Reading lum = ");
  Serial.println(vallum);
}
```

- Moduler l'éclairage suivant la présence d'un usager :

Un extrait de code utilisé pour détecter le mouvement par le capteur du mouvement :

```
int mov = 8;
void setup()
{Serial.begin(9600);
 pinMode(mov, INPUT); } // configurer mov comme une entrée
void loop()
{ valmov =digitalRead(mov) ;
  Serial.print(" Reading mov = ");
  Serial.println(valmov);}
```

- Communiquer la présence de l'utilisateur aux autres lampadaires via le ZigBee :

Un extrait de code utilisé pour que le lampadaire communique les autres :

```
char msg[] = "presence\r";
XBee xbee = XBee();
XBeeAddress64 Broadcast = XBeeAddress64(0x00000000, 0x0000ffff);
ZBTxRequest zbtx = ZBTxRequest(Broadcast, (uint8_t *)msg, strlen(msg));
xbee.send(zbtx);
```

- Répondre à une vérification d'une panne :

Un extrait de code utilisé pour que le lampadaire réponde à une vérification d'une panne :

```
XBee xbee = XBee();
Rx64Response rx64 = Rx64Response();
xbee.readPacket();
if (xbee.getResponse().isAvailable() {
xbee.send(zbtx);
```

Et le deuxième pour le Coordinateur qui permet de :

- Diffuser des trames de vérification de panne dans le réseau :

Un extrait de code utilisé pour que le lampadaire diffuse une trame de vérification d'une panne :

fonctionnalités supplémentaires pour une utilisation dans des croquis, par exemple, travailler avec le matériel ou la manipulation de données.

On a inclus la bibliothèque `arduino_Xbee` qui permet de communiquer avec XBees en mode API, avec prise en charge à la fois de la série 1 (802.15.4) et série 2 (ZB Pro / ZNet). Cette bibliothèque Inclut le support pour la majorité des types de paquets, y compris: TX / RX, commande AT, AT à distance, I / O et échantillons Modem Statut.

III-4-6 La librairie LiquidCrystal :

Cette bibliothèque permet à une carte Arduino de contrôler un afficheur LiquidCrystal (LCD) sur la base du Hitachi HD44780 (ou compatible) chipset, qui se trouve sur la plupart des écrans LCD à base de texte. La bibliothèque fonctionne en mode avec 4 ou 8 bits (par exemple à l'aide de 4 ou 8 lignes de données en plus des RS, E et éventuellement les lignes de commande de RW).

III-5 Tests et Résultats :

- Dans le cas d'un quartier :

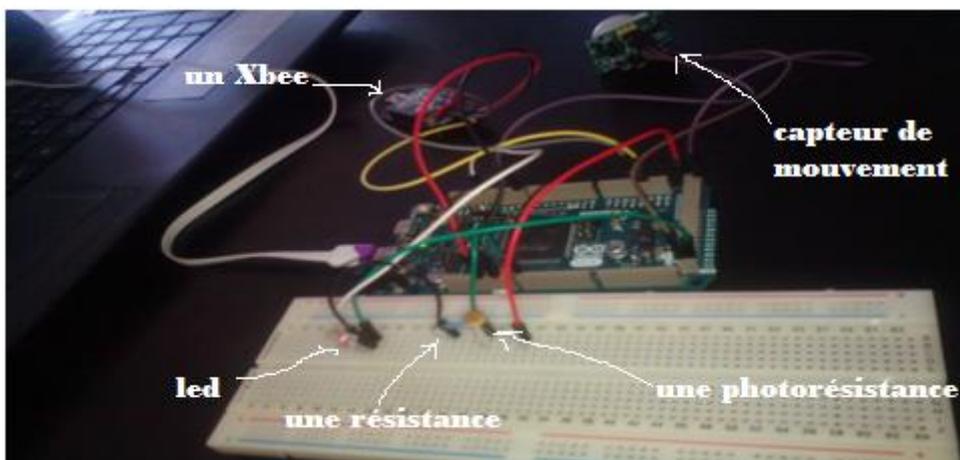


Figure III-23 : capture représentant un nœud en absence de mouvement.

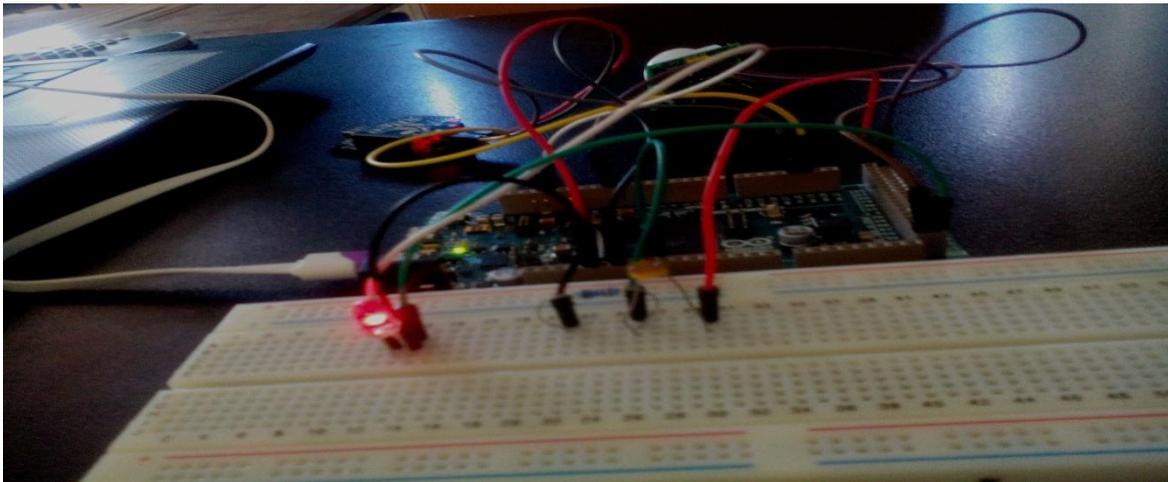


Figure III-24: capture représentant un nœud en présence de mouvement.

➤ Dans le cas d'une autoroute urbaine :

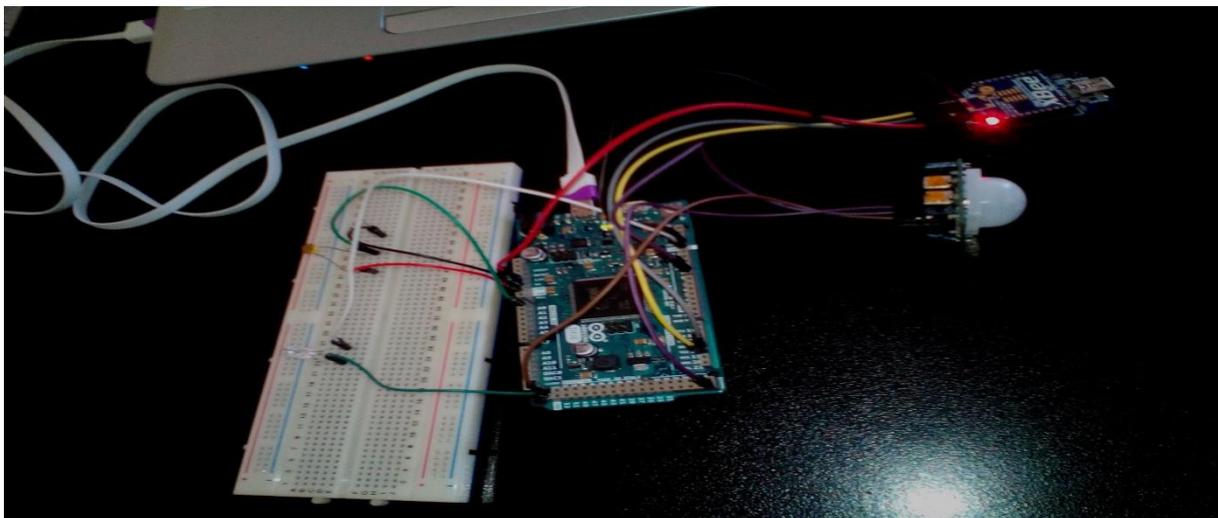


Figure III-25: capture représentant un nœud en absence de mouvement.

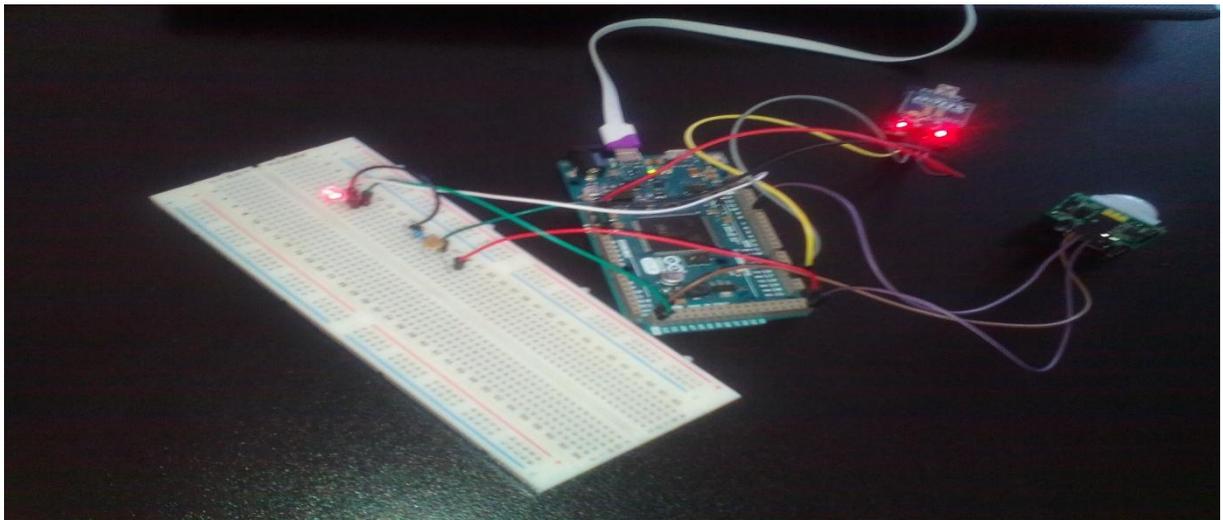


Figure III-26 : capture représentant un nœud en présence de mouvement.

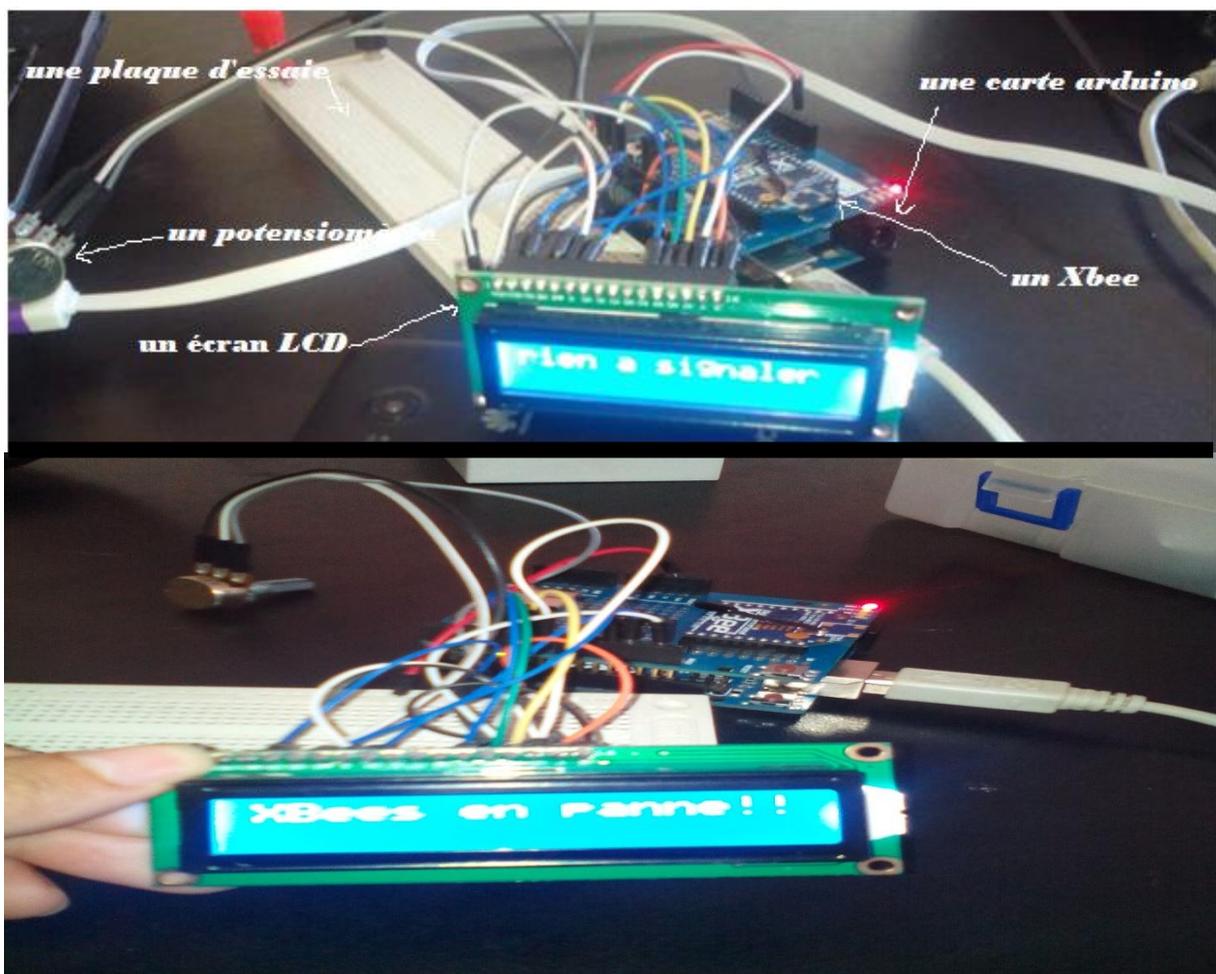


Figure III-27 : capture représentant le coordinateur du réseau surveillant les pannes.

III-6 La comparaison du système proposé avec le système classique :

Avec les mêmes données supposées au départ pour le calcul de la consommation du système classique, on calcule la consommation du système proposé, tout en se basant sur les heures de lever et de coucher du soleil.

A noter que le nombre d'heures est calculé en utilisant le pourcentage d'heures où c'est probable d'avoir un mouvement.

On prend un échantillon de l'hiver, de printemps, de l'été, et de l'automne, qu'on divise en quatre périodes

Pour celui de l'hiver de :

- 17:50 jusqu'à 22 :00 h 95% de ce temps les lampadaires sont allumés
- 22:00 jusqu'à 01:00 h 40% de ce temps les lampadaires sont allumés
- 01:00 jusqu'à 05:00 h 20% de ce temps les lampadaires sont allumés
- 05:00 jusqu'à 08:00 h 95% de ce temps les lampadaires sont allumés

Pour celui de printemps :

- 18:50 jusqu'à 23 :00 h 95% de ce temps les lampadaires sont allumés
- 23:00 jusqu'à 02:00 h 40% de ce temps les lampadaires sont allumés
- 02:00 jusqu'à 05:00 h 20% de ce temps les lampadaires sont allumés
- 05:00 jusqu'à 07:00 h 95% de ce temps les lampadaires sont allumés

Pour celui de l'été de :

- 19:45 jusqu'à 23 :00 h 95% de ce temps les lampadaires sont allumés
- 23:00 jusqu'à 02:00 h 40% de ce temps les lampadaires sont allumés
- 02:00 jusqu'à 04:00 h 20% de ce temps les lampadaires sont allumés
- 04:00 jusqu'à 05:45 h 75% de ce temps les lampadaires sont allumés

Pour celui de l'automne de :

- 18:15 jusqu'à 22 :00 h 95% de ce temps les lampadaires sont allumés
- 22:00 jusqu'à 01:00 h 40% de ce temps les lampadaires sont allumés
- 01:00 jusqu'à 05:00 h 20% de ce temps les lampadaires sont allumés
- 05:00 jusqu'à 07:00 h 95% de ce temps les lampadaires sont allumés

Le tableau qui suit représente un récapitulatif sur le nombre moyen d'heures d'allumage à forte puissance et à basse puissance.

le nouveau système

	l'hiver	printemps	l'été	l'automne
lever du soleil	08:00	07:00	05:45	07:00
coucher de soleil	17:50	18:50	19:45	18:15
nombre moyen d'heures éclairées	08:39	07:30	05:57	07:42
nombre moyen d'heures éclairées dans un mois	259:30:00	225:00:00	178:30:00	231:00:00
nombre moyen d'heures éclairées dans une saison	778:30:00	675:00:00	535:30:00	693:00:00
Nombre moyen d'heures éclairées à haute puissance dans une année	2682			
nombre moyen d'heures éclairées à faible puissance dans une année	1705			

Tableau III-4 : les heures de fonctionnement du nouveau système.

La figure III-25 nous représente le nombre moyen d'heures éclairées de l'hiver et de printemps, de l'été, et de l'automne dans le nouveau système par rapport à l'ancien système.

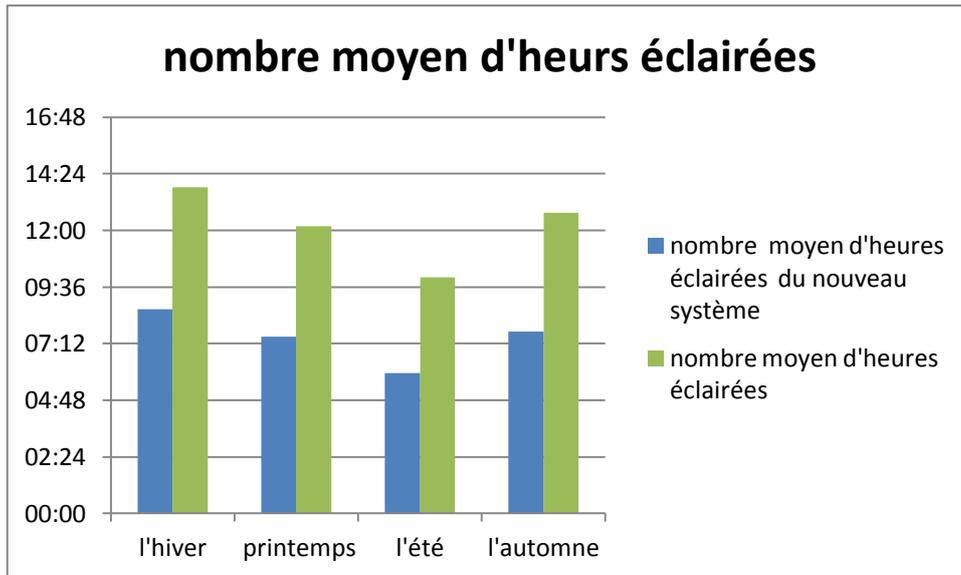


Figure III-28 : nombre moyen d'heurs éclairées.

L'estimation de l'énergie consommée par les lampadaires dans les deux cas par notre système par rapport à l'ancien système nous a menés au résultat de la **figure III-26**

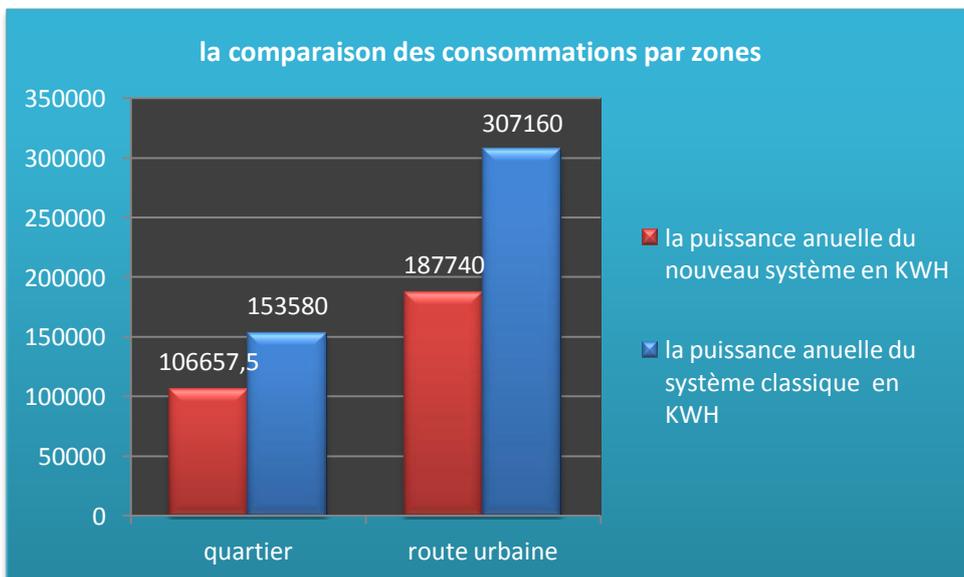


Figure III-29 : la comparaison des consommations par zones.

D'après les résultats montrés par la figure précédente, on constate que la consommation énergétique est réduite à 31% dans un quartier et à 39% dans une route urbaine.

III-7 Conclusion :

Ce chapitre nous l'avons entamé par une petite introduction sur le fonctionnement des systèmes d'éclairage classiques, ensuite nous avons abordé notre solution tout en décrivant son architecture, son fonctionnement, puis nous avons donné un aperçu sur les principaux matériels déployés et le câblage du système.

Par la suite nous sommes passés à la description logicielle où nous avons présenté les environnements de programmation et de configuration, l'allure générale de l'application réalisée.

A la fin nous avons donné une comparaison avec l'ancien système d'éclairage après avoir fait quelques tests.

Conclusion
générale

Conclusion générale

L'objectif de notre étude est de donner une solution possible pour une commande optimale de l'éclairage public et pour la réduction de la consommation d'énergie dans le cadre d'une ville intelligente utilisant les nouvelles technologies d'information et de communication. Cette réduction de la consommation répond à plusieurs impératifs : économiser l'électricité, diminuer les coûts, limiter les émissions de gaz à effet de serre et réduire les impacts de la pollution lumineuse sur l'environnement nocturne : ne pas éclairer moins, mais éclairer juste.

Ce travail nous a permis de découvrir un nouveau concept est celui de la ville intelligente, et de manipuler une jeune technologie très prometteuse qui est le ZigBee, et enrichir nos connaissances et améliorer notre expérience dans le système embarqué.

En perspective, nous essayerons d'améliorer notre solution en adoptant une autre démarche concernant : la gestion de l'éclairage en modulant l'intensité d'allumage suivant la lumière du jour, l'utilisation d'une carte RaspBerry-Pi pour la communication entre le coordinateur et le centre de surveillance, et la mise en œuvre de notre application.

Annexe

Technologies de l'information et de la communication (TIC) :

(transcription de l'anglais *information and communication technologies, ICT*) est une expression, principalement utilisée dans le monde universitaire, pour désigner le domaine de la *télématique*, c'est-à-dire les techniques de l'informatique, de l'audiovisuel, des multimédias, d'Internet et des télécommunications qui permettent aux utilisateurs de communiquer, d'accéder aux sources d'information, de stocker, de manipuler, de produire et de transmettre l'information sous toutes les formes : texte, musique, son, image, vidéo et interface graphique interactive (IHM). Les textes juridiques et réglementaires utilisent la locution communications électroniques.

Ville durable :

est une expression qui désigne une ville ou une unité urbaine respectant les principes du développement durable et de l'urbanisme écologique, qui cherche à prendre en compte simultanément les enjeux sociaux, économiques, environnementaux et culturels de l'urbanisme pour et avec les habitants par exemple au travers d'une architecture HQE (haute qualité environnementale), en facilitant les modes de travail et de transport sobres, en développant l'efficacité du point de vue de la consommation d'énergies et des ressources naturelles et renouvelables. Ce sont souvent des éco-villes ou éco-quartiers cherchant à diminuer leur empreinte écologique en compensant leurs impacts et en tendant à rembourser leur « *dette écologique* ».

Le développement durable :

(En anglais : sustainable development) est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins.

Définition d'un réseau de capteurs(RCSF) [1]

Un réseau de capteurs sans fil(Wireless Sensor Network:WSN) est un réseau adhoc Multi saut à grande échelle (composé de centaines voire milliers de capteurs) dédiées pour la surveillance de zones d'intérêts appelée **zone de captage**

Le déploiement de ces réseaux se fait généralement dans des endroits hostiles où l'intervention humaine n'est pas facile, voire impossible.

Capteur: [1]

Un capteur sans fil est un petit dispositif électronique capable de mesurer une valeur physique environnementale (température, lumière, pression, humidité, vibration, ..., etc.), et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base (puits, sink). Chaque capteur assure l'acquisition des données, le Calcul des informations à l'aide des valeurs collectées, la Communication de ces données à travers le réseau.

Fritzing

Fritzing est un logiciel open-source multi-plateforme permettant de construire des schémas des circuits que nous utilisons avec Arduino. Plusieurs vues sont disponibles : platine d'essai, schémas électriques et circuit imprimé. Il permet aussi l'export en image pour figurer sur internet.

Il permet un export en image, le partage. Mais surtout de sauvegarder le schéma des connections pour reprendre plus tard un montage qui marche bien.

Aqueduc [10]:

Un **aqueduc** est un système de transport d'eau par des canaux couverts et des canalisations (tuyaux) servant à amener l'eau d'un endroit, où elle est disponible et de bonne qualité (source...), vers un autre, où elle est nécessaire (ville...); et ce, par le moyen de la gravité, c'est-à-dire en utilisant la pente du terrain, comme une rivière naturelle.

Un aqueduc permet d'obtenir de l'eau courante et assez abondante sans pompe, tandis que l'eau d'un puits doit être puisée pour être utilisée.

6LoWPAN:

est l'acronyme de *IPv6 Low power Wireless Personal Area Networks* C'est également le nom d'un groupe de travail de l'[IETF](#) (L'Internet Engineering Task Force). Le groupe 6LoWPAN a défini les mécanismes d'encapsulation et de compression d'entêtes permettant aux paquets IPv6 d'être envoyés ou reçus via le protocole de communication IEEE 802.15.4. IPv4 et IPv6 sont efficaces pour la délivrance de données pour les réseaux locaux, les réseaux métropolitains et les réseaux étendus comme l'internet.

UIT :

L'Union internationale des télécommunications (UIT), qui est l'agence spécialisée des Nations Unies en charge des technologies de l'information et de la communication (TIC), est aussi une organisation de normalisation internationale.

Groupe spécialisé sur les villes intelligentes et durables (Groupe FG-SSC) :

Le Groupe FG-SSC (*Focus Group on Smart Sustainable Cities*) constituera une plate-forme ouverte au sein de laquelle les parties prenantes travaillant sur les villes intelligentes (par exemple, municipalités, établissements universitaires et instituts de recherche, organisations non gouvernementales (ONG), ainsi qu'organisations du domaine des TIC et forums et consortiums du secteur privé) pourront échanger des connaissances en vue de définir les cadres normalisés nécessaires à l'intégration des services TIC dans les villes intelligentes.

Bibliographie

- [1] : Madame HADAoui, Cours Réseaux de capteurs sans fil, chapitre II, 2014 /2015.
- [2] : Giffinger, R. (s.d.). The smart city model. In European smart cities.
<http://www.smart-cities.eu/model.html>
- [3] : Anthony AMBROGI, Jérémy THIMONT, Etude du protocole, de la sécurité et création d'une application ZigBee, Master SSIC, 2010 - 2011, Metz University, Ile du Saulcy, 57045 Metz, France.
- [4] : Jérôme Abel , XBee Arduino, Jan 21, 2013 et aussi sur URL :
<http://jeromeabel.net/ressources/xbee-arduino>
- [5] : Le manuel du XBee 802.15.4 :
http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982_B.pdf
- [6] : Harrison, C. et Donnelly, I. (2011). A theory of smart city. In Journal iss
<http://journals.iss.org/index.php/proceedings55th/article/viewFile/1703/572>
- [7] : Article « Ensemble, construisons un avenir durable et solidaire », Octobre 2011.
- [8] : Commande de l'éclairage public et mesure de la température à base de PIC18F4550 (Mémoire), 2012/ 2013.
- [9]: <https://github.com/andrewrapp/xbee-arduino>.
- [10]: www.digi.com/xctu.
- [11]: <http://www.supinfo.com/articles/single/1622-module-xbee-avec-arduino>.
- [12]: <https://fr.wikidial.org/wiki/Aqueduc>.
- [13]: [http://indiansmartcities.in/downloads/CONCEPT_NOTE_--3.12.2014_REVISIED AND LATEST .pdf](http://indiansmartcities.in/downloads/CONCEPT_NOTE_--3.12.2014_REVISIED_AND_LATEST_.pdf).
- [14]: http://www.smart--cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf.
- [15]: www.sunrise-and-sunset.com , «Lever et coucher du soleil ».
- [16]: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue>.
- [17]: <http://tiptopboards.com/124-module-d%C3%A9tecteur-de-mouvements-infra-rouge-hcsr501-.html>.
- [18]: <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=smartcities-caracteristiques>.
- [19]: Norme IEEE 802.15.4 sur Wikipedia : <http://fr.wikipedia.org/wiki/802.15.4>.
- [20]: (<https://eu--smartcities.eu/>) definitions from the European Commission and from the private sector (http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter_cities/overview/;
http://www.cisco.com/web/strategy/smart_connected_communities.htm).