



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE DES ELECTRONIQUE



N° d'ordre : M/GE/2022

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN ELECTRONIQUE

Option : électronique des systèmes embarqués

Par

Bouchiba Fatima Zohra

Intitulé du sujet

Gestion intelligente d'un carrefour par des feux tricolores

Soutenu le 18 septembre 2022 devant le jury composé de :

Président : Mr. Benaouali Mohamed

Université de Mostaganem

Examineur : M^r. Bentoumi Mohamed

Université de Mostaganem

Encadreur : Mr. Benouali abdelhak

Université de Mostaganem

Co-Encadreur : Mr. Ould Mammar Madani

Université de Mostaganem

Remerciement

Nous remerciant notre Dieux qui nous aide, nous donne la patience et le courage et nous donne le tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté pour compléter ce modeste travail.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire, ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Nous tenant à remercier sincèrement Mr. Benouali Abdelhak et Mr.Ould Mammar Madani, en tant que encadreurs, qui ont toujours montrés à l'écoute et très disponibles tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour leurs inspirations me avoir fait profiter de leurs qualités aussi bien sur le plan scientifique que sur le plan professionnel. Un grand merci pour leurs sérieux, leurs patiences et leurs aides.

Nous remerciements s'adressent également aux membres de jurys d'avoir acceptés de lire, et d'évalués notre mémoire. En fin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis qui nous ont toujours soutenue et encouragée, au cours de la réalisation de la mémoire.

Merci à tous.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à : A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leurs soutiens et leurs prières tout au long de mes études, grâce à eux que je suis arrivée jusque-là aujourd'hui, j'espère qu'un jour je serai capable de leur donner au moins le minimum car quoi qu'il arrive on arrivera jamais à leur rendre tout.

A ma petite famille, Mon Marie Mehdi et Mes chères enfants Iyad, Adam et Mohamed pour leurs soutiens et leurs courages durant toute cette période d'études du master.

A mon cher frère, Hadj Mohamed et mes sœurs Asmâa et Nadira.

Mes chères nièces Ghofrane et Rozlane

A mes chers collègues de la Raffinerie d'Arzew, Ouis chahrazed

Et Magherbi Nawel.

A notre chef département Mr Henni.

A tous nos professeurs de la filière électroniques des systèmes embarqués.

Et aux membres de jurys d'avoir accepté de juger ce modeste travail.

A mes encadreurs Mr. Benoualiabdelhak et Mr.OuldMammar Madani

A toutes mes amis (es) que je l'ai rencontrée durant cette période du master électronique des systèmes embarqués.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible,

Merci d'être toujours là pour moi.

ملخص

على مدى العقدين الماضيين، استمرت حوادث السيارات والحوادث المرورية في الزيادة، وهذه مشاكل شائعة، لا سيما في المدن الكبرى، في العالم بشكل عام وفي الجزائر بشكل خاص. كل عام يزيد عدد مستخدمي الطرق ويتجاوزها طاقة بعض الطرق التي تسبب اختناقات مرورية وطوابير طويلة

لمعالجة هذه المشاكل اقترح المتخصصون حلاً: إشارات المرور التأخير الثابتة، إشارات المرور متغيرة التأخير، إشارات المرور الذكية... الخ

في موجزنا اقترحنا حل أقل تكلفة على أساس بطاقة اردوينو وجهاز استشعار الأشعة تحت الحمراء في إشارات المرور لجعل أضواء ثلاثية الألوان التغييرات الذكية وفقاً لتدفق السيارة

Résumé

Durant les deux dernières décennies, le parc de voitures et les accidents de la circulation n'ont cessé d'augmenter, ce sont des problèmes fréquents notamment dans les grandes villes, dans le monde en général et en Algérie en particulier.

Chaque année le nombre des usagers de la route augmente et dépasse la capacité de certaines routes provoque des embouteillages et des files d'attente longues.

Pour régler ces problèmes les spécialistes ont proposé des solutions : feux de signalisation à temporisation fixé, feux de signalisation à temporisation variable, feux tricolores intelligente....etc.

Dans notre mémoire nous avons proposé une solution moins couteuse à base d'une carte Arduino et d'un capteur infrarouge au niveau des feux de signalisations pour une gestion intelligente des feux tricolores en fonction du flux de voiture.

Mots clé :

Arduino, Feux tricolores intelligents, Feu de signalisation, Capteur infrarouge, feu de circulation.

Abstract

Over the past two decades, road traffic and traffic accidents have continued to increase and these are common problems, especially in major cities, in the world in general and in Algeria in particular. Every year the number of road users increases and exceeds the capacity of some roads causes traffic jams and long queues.

To address these problems Specialists have proposed solutions: Fixed delay Traffic Lights, Variable-delay Traffic lights, Smart Traffic Lights....etc.

In our brief we proposed a less expensive solution based on an Arduino card and an infrared sensor at the traffic lights to make the tricolor lights intelligent changes according to car's flow.

Keywords:

Arduino, Smart Traffic Lights, Variable-delay Traffic Light, Infrared Sensor, Fixed delay Traffic Light.

Table des matières

| | |
|---|-----|
| Remerciement..... | i |
| Dédicaces..... | ii |
| ملخص..... | iii |
| Résumé | iv |
| Abstract..... | v |
| Table des matières | vi |
| Liste des figures..... | ix |
| Liste des Tableaux | xi |
| Abréviations | xii |
| Introduction générale..... | 1 |
| Chapitre I - Généralités sur les carrefours et les feux de signalisation..... | 3 |
| I.1 - Introduction:..... | 3 |
| I.2 - Système des feux tricolores: | 3 |
| I.2.1 Feux de signalisation classiques:..... | 4 |
| I.2.2 Système tricolore classique à temporisation variable par période:..... | 5 |
| I.2.3 Feux de circulation intelligents: | 6 |
| I.3 Feux tricolore intelligents dans le monde: | 7 |
| I.4 Conclusion: | 12 |
| Chapitre II Matériels et Logiciels Utilisés..... | 13 |
| II.1 Introduction:..... | 13 |
| II.2 solutions matérielles (hardware)..... | 13 |
| II.2.1 L'historique de la carte Arduino: | 13 |
| II.2.2 Présentation de l'Arduino MEGA 2560:..... | 15 |
| II.2.3.Caractéristique techniques : | 15 |
| II.2.4Mémoires de la carte Arduino :..... | 16 |
| II.2.5 Programmation :..... | 16 |
| II.2.6 Programmation des modules Arduino :..... | 16 |

| | |
|---|----|
| II.2.7 Tableau comparatif entre les trois cartes Arduino: | 17 |
| II.3 Diodes électroluminescente (LED) : | 18 |
| II.3.1 Description : | 18 |
| II.3.2 L.E.Ds haute luminosité : | 18 |
| II.3.3 Symbole : | 19 |
| II.4 Type de capteurs: | 20 |
| II.4.1 Capteur d'Évitement d'Obstacles (KY-032): | 21 |
| II.5 Software ou Logiciel: | 25 |
| II.5.1 Arduino IDE «IntegratedDevelopmentEnvironment»: | 25 |
| II.5.2 Le langage de programmation: | 26 |
| II.5.3 Proteus (ISIS « Intelligent Schématique Input System » et ARES «Advanced Routing and Editing Software»): | 26 |
| II.6 Organigramme: | 27 |
| II.7 Conclusion: | 28 |
| II.8 Le principe du projet à atteindre | 29 |
| II.8.1 Cahier de charge de projet à atteindre : | 29 |
| II.8.2 Démonstration de déplacement du flux des voitures : | 30 |
| II.8.3 Matériel utilisé dans notre projet..... | 32 |
| Chapitre III- Implémentation et Réalisation | 34 |
| III.1 Introduction: | 34 |
| III.2 Carrefour étudié: | 34 |
| III.3 Solution proposée: | 35 |
| III.3.1 Feux tricolore à temporisation fixée: | 35 |
| III.3.1.1 Schéma synoptique: | 35 |
| III.3.1.2 Schéma Electrique d'un feu tricolore classique: | 38 |
| III.3.2 Feux Tricolores intelligents: | 40 |
| III.3.2.1 Estimation du temps $T_r(t)$ et $T_v(t)$ | 40 |
| III.3.2.2 Positions des capteurs sur le carrefour : | 43 |

| | |
|---|----|
| III.3.2.3 Les différents cas étudiés pour assurer le bon fonctionnement du carrefour intelligent..... | 43 |
| III.3.2.4 schéma bloc | 46 |
| III.4 Conclusion:..... | 50 |
| Conclusion générale | 51 |
| BIBLIOGRAPHIE | 53 |
| Annexe : Smart trafic light final programm | 56 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Carrefour à quatre branches[1] | 3 |
| Figure 2 : feu vert [03]..... | 4 |
| Figure 3 : feu orange[03] | 5 |
| Figure 4 : feu rouge[03]..... | 5 |
| Figure 5: Feux Tricolore intelligents [04] | 6 |
| Figure 6 : Photo réelle de feu de signalisation« intelligent » à Toronto [06] | 8 |
| Figure 7: Un exemple de feu de circulation «intelligents» à Miami [07]..... | 9 |
| Figure 8 : Le système de boutons pour traverser les rues à vienne[09]..... | 10 |
| Figure 9 : Feu soumis à la vitesse en France [11] | 11 |
| Figure 10 : La mise en service du feu de circulation intelligent en Algérie[12] | 12 |
| Figure 11 : La 1 ^{er} carte Arduino [14]..... | 14 |
| Figure 12 : Vue de l'Arduino NANO, UNO, MEGA [15] | 14 |
| Figure 13 : La carte Arduino MEGA 2560 [16]..... | 15 |
| Figure 14 : différents type de LEDs[25]..... | 18 |
| Figure 15 : L.E.Ds haute luminosité..... | 18 |
| Figure 16 : Capteur KY-032 [26] | 21 |
| Figure 17 : Principe d'un IR..... | 21 |
| Figure 18 : Principe de radiation IR | 22 |
| Figure 19 : Description d'un capteur KY-032 [27]..... | 23 |
| Figure 20 : Le potentiomètre de KY-032 | 23 |
| Figure 21 : Les broches de connexion d'un KY-032 [28] | 24 |
| Figure 22 : Le branchement d'un capteur KY-032 avec la carte Arduino UNO [30]..... | 24 |
| Figure 23 : L'interface de logiciel Arduino IDE. | 25 |
| Figure 24 : Les composants d'un Barre d'actions. [34]..... | 25 |
| Figure 25 : Logiciel ISIS PROTEUS | 26 |
| Figure 26 : L'interface de logiciel ISIS Proteus | 27 |
| Figure 27 : Organigramme pour conception de notre système..... | 27 |
| Figure 28 : Gestion intelligent d'un feu tricolore par les LEDs | 29 |
| Figure 29 : Schéma des matériels utilisés..... | 33 |
| Figure Figure 30 : Présentation du carrefour..... | 34 |
| Figure 31 : Carrefour à étudié..... | 35 |
| Figure 32 : Schéma synoptique d'un feu tricolore à temporisations fixes..... | 36 |
| Figure 33 : Organigramme d'un système tricolore à temporisation fixé..... | 37 |

| | |
|--|----|
| Figure 34 : Le feu tricolore sur ISIS à base..... | 39 |
| Figure 35 : Caractéristique d'une section de route [37] | 41 |
| Figure 36 : feu tricolores à Mostaganem..... | 41 |
| Figure 37 : Organigramme d'un système tricolore intelligent. | 42 |
| Figure 38 : Carrefour avec capteur infra-rouge | 43 |
| Figure 39 : Schéma bloc d'un système de feux tricolores intelligents | 46 |
| Figure 40 : Simulation du capteur KY032 sur ISIS | 48 |
| Figure 41 : Schéma d'implémentation d'un système tricolore intelligent sur ISIS..... | 49 |
| Figure 42 : capteur WirelessMagnetometer | 51 |

Liste des Tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Comparaison entre les trois cartes Arduino NANO, UNO et MEGA 2560..... | 17 |
| Tableau 2: Comparaison entre les trois cartes Arduino NANO, UNO et MEGA..... | 17 |
| Tableau 3 : Tension de seuil des L.E.Ds selon la couleur [24] | 20 |
| Tableau 4 : Les différentes séquences de signalisation. | 36 |
| Tableau 5: Matériels utilisés pour la réalisation d'un feu tricolore classique..... | 38 |
| Tableau 6 : $T_v > T_r$ | 42 |
| Tableau 7 : Présentation des cas étudiés..... | 44 |
| Tableau 8 : état du feu tricolore en fonction des capteurs..... | 44 |
| Tableau 9 : T_v' inférieur T_v ($T_v' < T_v$)..... | 45 |
| Tableau 10 : Matériels utilisés pour la réalisation d'un feu tricolore | 47 |
| Tableau 11 : Configuration des sorties "LEDs" | 49 |
| Tableau 12 : Configuration des capteurs dans la programmation | 50 |

Abréviations

In Sync: In Synchronization Toronto:

SCATS: Sydney Coordinated Adaptive Traffic System Toronto:

EOS: Enterprise Operating SystemToronto:Miami-Dade

WWW: World Wide WebMiami-Dade

TU: TechnicalUniversityVienne:

LED: Light Emitting Diode

USB: Universal Serial Bus

WIFI: Wireless Fidelity

VCC: Voltage at the Common Collector

GND: Ground

IOREF **Input Output Voltage Reference,**

AC alternative current

DCDirect Current

ICSP: In Circuit Serial Programming

PWM: Pulse Width Modulation

FLASH. *First Laser Amplified Superluminal Hookup*

SRAM: Static Random Access Memory

EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

HB-LED High-Brightness LEDs

HP-LEDHigh Power LED

CCD: ChargedCoupledDevice

IR: Infrared

PCB: Printed Circuit Board

IO: Input /Output

MUC: Microcontroller Unit

IDE: Integrated Development Environment

Mac: Macintosh

ISIS: Intelligent Schematic Input System

ARES: Advanced Routing and Editing Software

C++; C object Oriented Programming Language

Introduction générale

Durant les deux dernières décennies, le parc de voitures dans le monde en général et en Algérie en particulier, n'a cessé d'augmenter. Chaque année le nombre des usagers de la route augmente et dépasse la capacité de certaines routes conduisant à des embouteillages et à des files d'attente longues. Il en résulte un trafic routier de plus en plus dense et la circulation est alors dégradée, créant un mécontentement des usagers. Les conséquences de ce phénomène sont nombreuses, on cite quelques-unes évolution vers le haut du risque d'accidents, le temps de déplacement et les délais de livraison des marchandises deviennent importants, augmentation de la pollution qui n'est pas sans effets sur la santé des citoyens.

Ce phénomène de congestion (encombrement de la circulation) du trafic routier est ainsi un problème socio-économique qui nécessite des solutions adaptées à chaque pays.

Face à la complexité du problème, les autorités publiques de chaque pays ont été amenées à établir une stratégie pour la gestion du trafic urbain basée sur les nouvelles technologies de métrologie et de Technologie de l'Information et de la Communication (TIC).

Depuis plusieurs années, pour les pays qui ont adopté des solutions intelligentes pour la gestion du trafic routier, la sécurité routière obtient des résultats satisfaisants en matière d'accidentologie.

Pour résoudre le problème de la congestion afin que la circulation devienne fluide, les pouvoirs publics proposent plusieurs solutions, telles que l'aménagement des infrastructures, le développement du transport public pour la réduction du nombre de véhicules, la mobilisation d'un nombre important d'agent de police au niveau de tous les carrefours importants, les feux de signalisation tricolores. Ces derniers contribuent à assurer une meilleure gestion du trafic routier et améliorer la fluidité de la circulation. Ainsi, les retards causés par les congestions sont réduits, ce qui améliore la qualité de vie des usagers et permet aux marchandises d'être livrées à temps.

Les feux tricolores sont d'une grande importance dans la de gestion du trafic routier pour assurer une sécurité dans le temps à la fois aux véhicules et aux piétons qui utilisent le même espace conflictuel tel que les carrefours. Les feux de signalisation ont évolué avec la technologie, ils sont dotés d'une intelligence artificielle leur permettant une gestion efficace du trafic routier. Ils font partie des Objets Connectés à l'Internet (IOT), on les trouve couramment dans les villes intelligentes.

Ces feux de signalisation tricolores font l'objet de notre projet de fin d'études. Le cahier des charges nous impose d'étudier et concevoir un système de feux tricolores classique dont les temporisations sont fixes et un système de feux tricolores intelligent dont les temporisations dépendent du flux routier sur chaque voie.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres. Après une introduction générale, le premier chapitre présente une Généralités sur les carrefours et les feux de signalisation. Quant au deuxième chapitre, il décrit le matériel à utiliser pour la réalisation notamment les cartes Arduino et les capteurs nécessaires. Le troisième chapitre présente les étapes de la réalisation de notre système de feux tricolores. Nous terminerons avec une conclusion générale et perspective.

Chapitre I - Généralités sur les carrefours et les feux de signalisation

I.1 - Introduction:

L'espace urbain est de plus en plus considéré comme un espace à partager entre les usagers de différents modes de transports : la voiture individuelle, les transports publics, les piétons...etc.

Actuellement, la forme des villes ainsi que le nombre d'habitants qu'elles abritent posent un problème de congestion qu'on rencontre quotidiennement dans les milieux urbains et surtout dans les carrefours.

La régulation du trafic urbain nécessite un système ou un moyen capable d'exécuter des actions entre les véhicules et les piétons en assurant leurs sécurités.[1]



Figure 1 : Carrefour à quatre branches[1]

I.2 - Système des feux tricolores:

L'amélioration de la circulation dans les villes est l'une des priorités de la mobilité des personnes se déplaçant en véhicule.

Ainsi, on peut améliorer la sécurité routière tout en économisant du temps et de l'argent. C'est dans ce sens que des feux de signalisation intelligents ont été conçus.

Un feu de circulation routière, aussi appelé feu tricolore, est un dispositif permettant la régulation du trafic routier entre les usagers de la route, les véhicules et les piétons, à des endroits sensibles telles que les intersections.

En fonction de la couleur affichée, ils permettent ou non aux usagers de franchir une intersection. C'est un système de gestion de priorité de passage, Il est basé sur plusieurs feux de signalisation généralement tricolores: vert, rouge, orange. Ces signalisations concernent à la fois les véhicules et les piétons.[02].

I.2.1 Feux de signalisation classiques:

Ce sont des systèmes basés sur des temporisations fixes avec parfois quelques options pour les piétons. Généralement, ils fonctionnent selon la séquence, Vert, Orange, Rouge, Vert ...

a. Feu vert:

Un feu vert (figure 2) indique à l'utilisateur qu'il a la priorité d'agir (tourner à gauche, continuer tout droit ou tourner à droite) après avoir cédé le passage aux véhicules et aux piétons se trouvant déjà dans l'intersection [03].



Figure 2 : feu vert [03]

b. Feu orange:

Le feu orange (figure 3) informe l'utilisateur de la route que le feu rouge est sur le point de s'allumer. Il peut continuer avec prudence s'il est déjà engagé, sinon, il doit s'arrêter [03].



Figure 3 : feu orange[03]

c. Feu rouge:

Un feu rouge (figure 4) informe l'utilisateur qu'il doit immobiliser son véhicule, soit à la ligne d'arrêt marquée sur la chaussée ou, à défaut, au passage protégé pour piétons, qu'il soit marqué ou non[03].



Figure 4 : feu rouge[03]

I.2.2 Système tricolore classique à temporisation variable par période:

Les temporisations sont définies en fonction du trafic routier de différentes voies à partir des mesures statistiques de débit de véhicules sur chaque voie.

En période de pointe, le trafic routier est dense le matin et en fin d'après-midi, correspondant aux différentes activités dans la ville.

En général le trafic n'est pas le même pour tous les sens pendant la journée.

1.2.3 Feux de circulation intelligents:

Ce sont des systèmes qui en plus des systèmes classiques sont dotés de capteurs intelligents (figure 5). Ces derniers fournissent des informations sur le trafic routier: congestion, fluide ou moyennement fluide, sur les différents axes routiers.

Ils permettent de compter le nombre de véhicules au cours du temps. En fonction de ces informations, le système intelligent calcule les temporisations nécessaires pour assurer une régulation intelligente entre les différentes voies.

Il existe plusieurs types de capteurs qui permettent l'estimation du trafic routier. Parmi ces capteurs on peut citer certains qui sont couramment utilisés:

- Boucles électromagnétiques.
- Capteurs vidéo (caméra intelligente).
- Réseaux de capteurs.
- sans fil.
- les capteurs à hyperfréquence (radar).
- les fibres optiques. les capteurs à ultrason, à infrarouge... etc.

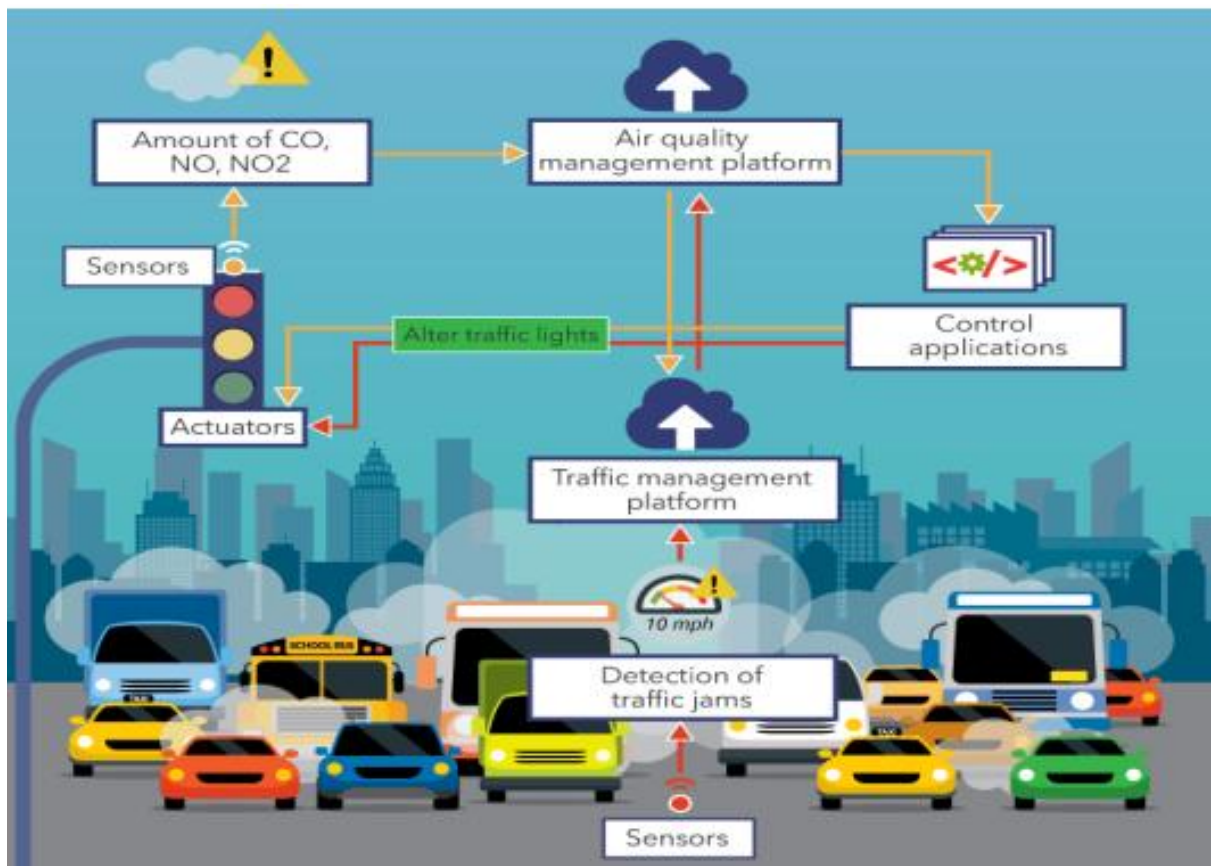


Figure 5: Feux Tricolore intelligents [04]

I.3 Feux tricolore intelligents dans le monde:

La gestion intelligente du trafic est un système dans lequel les feux de circulation et les capteurs contrôlés centralement régulent la circulation à travers les villes en réponse à des niveaux de demande spécifiques.

Ce type de mise en œuvre permet aux villes de réduire les embouteillages en lissant les flux de circulation et en priorisant la circulation en réponse à la demande en temps réel et en réduisant la pollution dans toute la ville, entre autres avantages.

Ces systèmes éliminent la conduite Stop-Start, qui est inefficace et polluante.

Un nombre croissant de villes aux États-Unis, France, Autriche, Canada et Algérie commencent à mettre en œuvre des projets de trafic intelligent.

Nous décrivons ici quelques initiatives récentes dans le domaine de la circulation intelligente [05]

a. Toronto:

La ville de Toronto, au Canada, a annoncé le lancement de deux projets pilotes de feux de circulation intelligents en 2018, qui sont en mesure de s'adapter de façon indépendante aux conditions de circulation en temps réel.

Toronto a utilisé un mélange de systèmes de circulation, dont certains ont plus de 20 ans, pour contrôler environ 2 400 feux de circulation à travers la ville.

Dans le cadre de l'initiative de trafic intelligent, Toronto a mis à l'essai deux technologies au cours de 2018 afin de déterminer les meilleures technologies à retenir.

La ville a mis à l'essai une technologie appelée In Sync « In Synchronization» qui prend des décisions basées sur la détection de caméras d'analyse vidéo qui mesure les longueurs de file d'attente à l'approche de l'intersection et transmet ces données au signal (figure 6).

Ce système est principalement utilisé aux États-Unis. Le deuxième système de trafic intelligent qui a été testé est appelé SCATS « Sydney Coordinated Adaptive Traffic System» qui est utilisé en Australie, en Asie et aux États-Unis.

Cette technologie prend des décisions à l'aide de la détection radar pour mesurer la circulation des deux côtés de l'intersection [05].



Figure 6 : Photo réelle de feu de signalisation« intelligent » à Toronto [06]

b. Miami-Dade:

En 2017, le comté de Miami-Dade avait approuvé un projet visant à installer des feux de circulation intelligents sur certaines routes du comté.

La société californienne « Econolite Control Products » a remporté le contrat de 11,1 millions de dollars avec Miami-Dade pour étendre un programme pilote qui a introduit une nouvelle technologie pour faire fonctionner les feux de circulation en fonction de l'évolution du flux de véhicules (figure 7).

Dans le cadre du contrat de trafic intelligent, la société Econolite installera un total de 300 nouveaux feux de circulation intelligents, ce qui représente près de 10% de tous les feux de circulation Miami-Dade.

Au cours du projet pilote de 2016, un certain nombre de signaux de rues intelligents avaient été installés sur certaines rues de Miami, ce qui a entraîné une réduction du temps de déplacement moyen d'environ 10 minutes. Une étude menée par la Métropolitain Planning Organisation, une division du département des transports du comté, a sélectionné les routes sur lesquelles les nouveaux feux de circulation intelligents seront installés. Le déploiement complet du projet a pris environ un an.

La société a récemment lancé son logiciel de contrôle de trafic EOS « Enterprise Operating System», qui est un logiciel de contrôle du trafic de nouvelle génération, basé sur le WWW « World Wide Web »interface utilisateur.

EOS est conçu pour étendre les capacités de contrôle de la circulation, en préparant les agences aux demandes à venir des systèmes de contrôle de la circulation des véhicules connectés et autonomes et des systèmes de contrôle de la circulation en ville intelligente [05].



Figure 7: Un exemple de feu de circulation «intelligents» à Miami [07]

c. Vienne:

À Vienne, en Autriche, les systèmes de feux de circulation à boutons peuvent « faire compter leurs jours », ces feux de circulation ne satisfont pas les piétons, qui n'ont pas la patience d'attendre le Feu vert, après avoir appuyé sur le bouton, les faisant traverser quand le signal est rouge.

D'autre part, ceux-ci sont utilisés comme amusant à "ennuyer" les conducteurs dans de nombreuses situations où personne ne traverse.

En ce qui concerne la sécurité, mais aussi l'optimisation de la gestion de la circulation, l'autorité municipale chargée de l'éclairage urbain et des feux de circulation a chargé l'Institut d'infographie et de vision de TU « technicaluniversity » Graz de développer un nouveau système de remplacement des modèles à bouton-poussoir.

Le nouveau feu de circulation utilise une caméra qui reconnaît les intentions des piétons avant de traverser la route, passant automatiquement au vert (figure 8).

Le système permettra également d'optimiser la circulation automobile et le passage des personnes.

Par exemple, le feu vert peut être étendu si de plus grands groupes de personnes sont détectés. Et si les gens traversent sans le feu encore vert, le feu de circulation enregistre l'action et n'ouvre pas le signal pour les piétons [08].

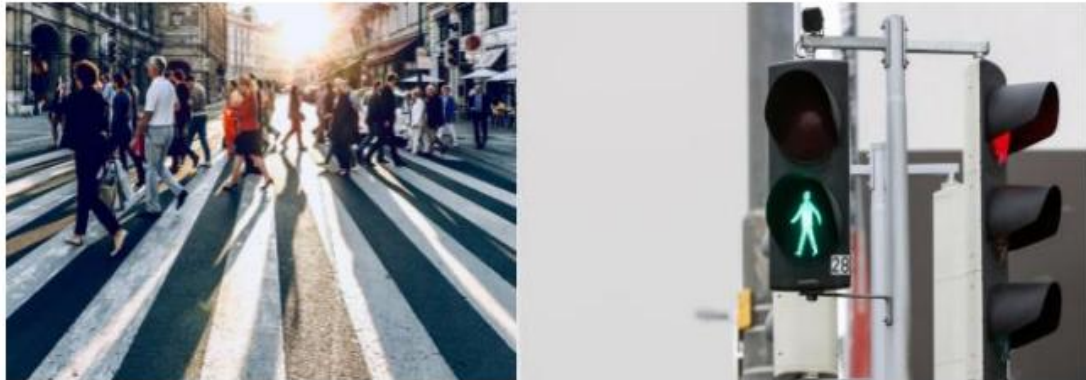


Figure 8 : Le système de boutons pour traverser les rues à Vienne[09]

d. France:

Voilà quelques années que les feux tricolores “intelligents” ou “comportementaux” sont apparus sur les bords des routes françaises.

Très répandus, ils sont utilisés pour réguler la vitesse des véhicules. En fonction de la vitesse à laquelle conduit un automobiliste ou en fonction de son comportement, le feu passe au rouge ou au vert. Les communes et agglomérations françaises installent surtout ces feux “intelligents” afin de lutter contre les excès de vitesse.

Il en existe d'ailleurs deux types différents. Tout d'abord, le “feu de sanction” : celui-ci est vert en permanence. Si jamais un conducteur dépasse la limite de vitesse autorisée, il passe immédiatement au rouge. Puis, le second est un “feu récompense” : ce feu est toujours rouge.

Si l'automobiliste respecte la vitesse maximale autorisée, il passe immédiatement au vert (figure 9).

De plus, certaines municipalités les utilisent tout particulièrement en guise d'alternative aux ralentisseurs, et aussi pour protéger les intersections où se trouvent les passages piétons [10].



Figure 9 : Feu soumis à la vitesse en France [11]

e. Algérie:

Le mois de février 2019 , la wilaya d'Alger a procédé à l'entrée en service de 25 carrefours pilotes «intelligents» sur l'axe Place du 1er mai (Sidi M'hamed) – Belouizdad dans le cadre de l'exécution de la première phase du projet algéro-espagnol portant la mise en place d'un nouveau système de régulation du trafic routier et d'éclairage public.

Dans le cadre de la concrétisation de ce projet ,qui vise à améliorer et fluidifier la circulation routière et régler le problème des embouteillages», ce projet dont la réalisation, en 3 phases, qui a été confiée à la société mixte algéro-espagnole mobilité et éclairage d'Alger (MOBEAL), composée de l'Etablissement de gestion de la circulation et du transport urbain (EGCTU), de l'Etablissement de réalisation et de maintenance de l'éclairage public de la wilaya d'Alger ainsi que de deux entreprises espagnoles spécialisées, qui permet de connaître le trafic routier en temps réel, d'améliorer les conditions de déplacement, réduire la durée d'attente et tenir informer les usagers de la route via Internet [12].



Figure 10 : La mise en service du feu de circulation intelligent en Algérie[12]

I.4 Conclusion:

La régulation du trafic est un domaine vaste dans lequel plusieurs techniques et formes de signalisation sont utilisées pour faciliter la circulation des véhicules, augmenter la sécurité des usagers, réduire toute sorte de nuisances et rationaliser l'exploitation des infrastructures routières.

Parmi les sujets les plus importants de la régulation du trafic, nous trouvons la gestion intelligente des carrefours à feux tricolores.

Ces derniers constituent un terrain sensible pour les conflits de trafic et représentent un espace de convergence de différents acteurs du transport.

Chapitre II Matériels et Logiciels Utilisés

II.1 Introduction:

Nous avons vu au chapitre précédent que le système de feux tricolores intelligents est un système de feu comportemental destiné à sensibiliser l'automobiliste pour qu'il fasse évoluer son comportement sur la route.

On sait que ces derniers assurent plusieurs tâches de commande, de contrôle et de communications. Ainsi, pour mener à bien notre projet, nous allons étudier les différentes solutions matérielles (hardware) et logicielles (software).

Normalement, une telle étude doit tenir compte de plusieurs paramètres : le coût, la fiabilité, la consommation, l'ergonomie, la rapidité, l'autonomie, intégration dans des réseaux, environnement et support logiciel etc...

En ce qui concerne notre projet, nous allons proposer une solution basée sur la carte Arduino. Cette solution doit tenir compte du cahier de charge nombre d'entrées et de sorties logiques, nombre d'entrées et sorties analogiques s'il y'a lieu, et l'affichage.

II.2 solutions matérielles (hardware)

II.2.1 L'historique de la carte Arduino:

Toute carte Arduino fait partie d'un projet italien qui a été initié en 2004 – 2005 par un groupe d'enseignants et d'étudiants d'une école de design italienne. Ils combinent l'informatique et l'électronique dans une seule plaque électronique. Son nom ' Arduino' est relatif au projet. [13].

L'Arduino est un circuit électronique comprenant un microcontrôleur dont le rôle est d'assurer un fonctionnement automatique des appareils électroniques et d'autres composants électroniques (des Leds , ports USB , etc...) (Figure 11).

Elle peut se connecter avec des modules électroniques comme les moteurs, les diodes Led, les capteurs analogiques, les claviers. Des liaisons sans fils comme Bluetooth, radio et WIFI « Wireless Fidelity»,...sont aussi possibles [14].

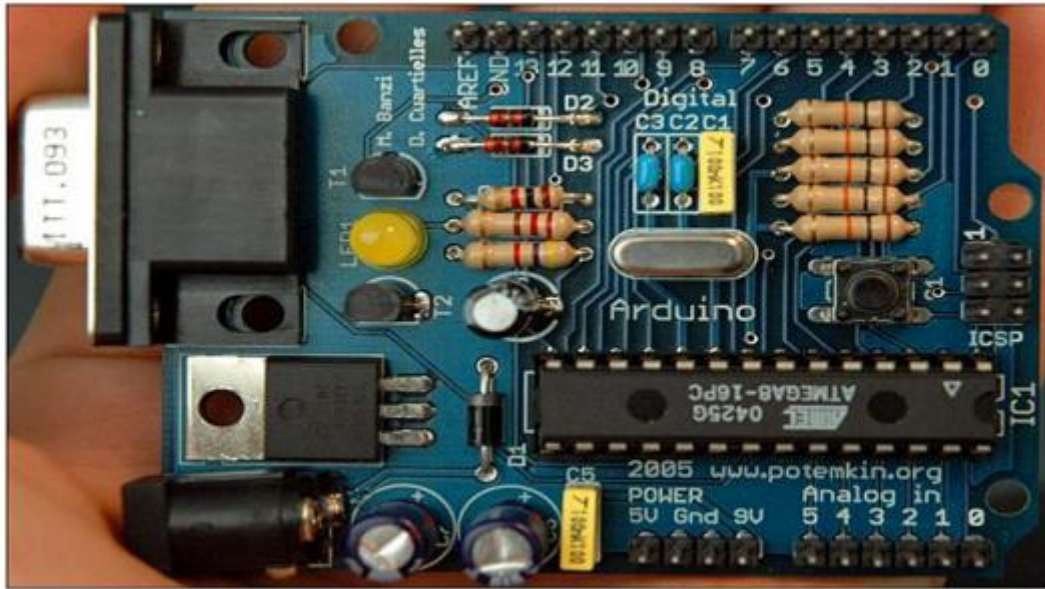


Figure 11 : La 1^{re} carte Arduino [14]

La carte Arduino peut se programmer à l'aide d'un langage informatique évolué proche du langage C, afin de réaliser des tâches très diverses dans plusieurs domaines comme le contrôle des appareils domestiques, et aussi le domaine de la robotique etc...

Il existe plusieurs types de cartes Arduino (figure 12) dont les caractéristiques sont plus ou moins similaires, elles se différencient par certains paramètres : nombre de ports, nombre d'entrées et de sorties, fréquence de travail, la figure suivante présente les trois cartes Arduino les plus répandues : la Nano, la Uno et la Mega. Chacune possède des caractéristiques intéressantes.

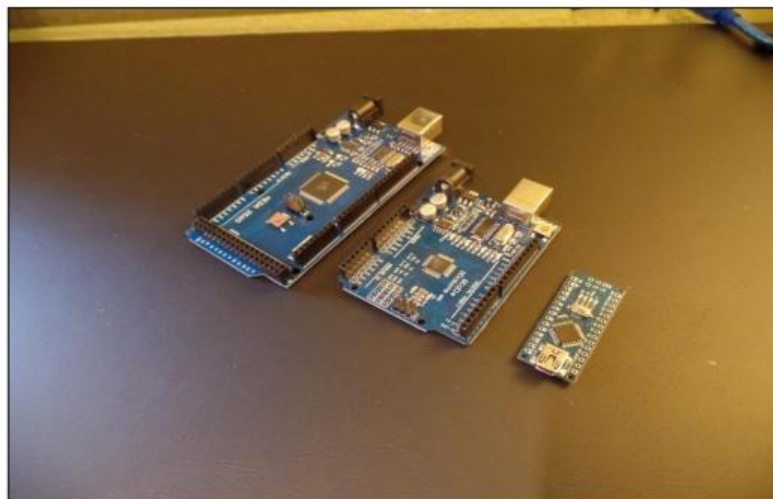


Figure 12 : Vue de l'Arduino NANO, UNO, MEGA [15]

Dans notre projet nous avons utilisé la carte ARDUINO MEGA

II.2.2 Présentation de l'Arduino MEGA 2560:

L'Arduino Mega 2560 (figure 13) est un autre produit populaire parmi les cartes Arduino.

Parfaite pour les applications Arduino un peu plus grandes, elle est constituée de tous les éléments nécessaires pour permettre la construction d'objets évolués. Elle a un nombre d'entrées/sorties plus important que les autres cartes [16].

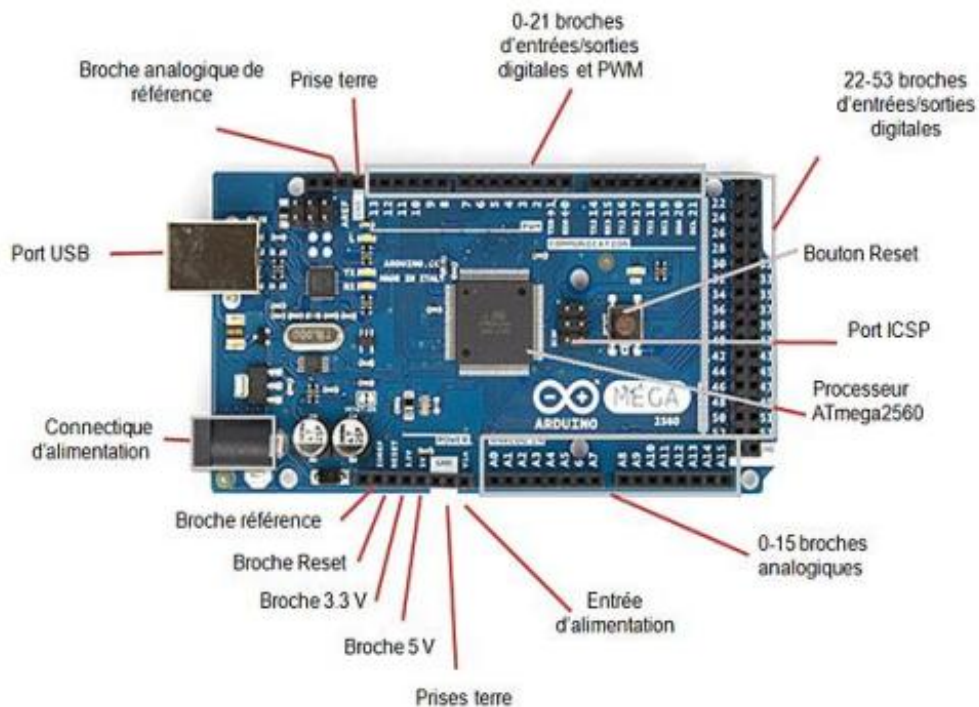


Figure 13 : La carte Arduino MEGA 2560 [16].

II.2.3.Caractéristique techniques :

- Alimentation : - via port USB
- 7a12 V sur connecteur alim
- Microprocesseur : ATmega2560
- Mémoire flash : 256KB
- Mémoire SRAM : 8KB
- Mémoire EEPROM : 4KB
- 54 broches d'E/S dont 14 PWM
- 16 entrées analogiques 10 bits
- Intensité par E/S : 40 mA
- Cadencement : 16 MHz

- 3 ports série
- Bus I2C et SPI
- Gestion des interruptions
- Fiche USB B
- Version : Rev 3
- Dimension : 107×53×15 mm[17]

II.2.4 Mémoires de la carte Arduino :

Les 3 types de mémoires qui existent au sein d'une Arduino sont:

- La mémoire FLASH : mémoire de programme, morte et vive à la fois.
- La mémoire SRAM (Static Read Access Memory) : c'est une mémoire vive.
- La mémoire EEPROM : (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory) c'est mémoire morte. [18]

II.2.5 Programmation :

La carte Arduino MEGA est programmée avec le logiciel Arduino. Il suffit de sélectionner "Arduino MEGA 2560" dans le menu Tools >Board (en fonction du microcontrôleur présent sur la carte).[19]

Le microcontrôleur ATmega2560 est livré avec un bootloader (petit programme de démarrage) préprogrammé qui permet de transférer le nouveau programme dans le microcontrôleur en utilisant le Protocol original STK500, sans avoir à utiliser un matériel de programmation externe. Nous pouvons en outre, injecter le programme via le connecteur ICSP (In-Circuit Serial Programming, "Programmation Série Dans le circuit" en français)[19]

II.2.6 Programmation des modules Arduino :

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java, il sert à la fois d'un éditeur de code et d'un compilateur, il peut transférer le firmware et le programme. à travers la liaison série (RS-232, Bluetooth ou USB selon le module).

Il est également possible de se passer de l'interface Arduino, et de compiler les programmes via l'interface en ligne de commande.[19]

II.2.7 Tableau comparatif entre les trois cartes Arduino:

Une comparaison des trois cartes (la Nano Arduino, l'Uno Arduino, et la Mega Arduino 2560) est présentée dans le tableau II-1 [14] [15] [20] [21] [22].

Tableau 1 : Comparaison entre les trois cartes Arduino NANO, UNO et MEGA 2560

| Caractéristique | Arduino NANO | Arduino UNO | Arduino MEGA 2560 |
|------------------------------|-----------------------|---|------------------------|
| Entrées/sorties numériques | 14 dont 6 sorties PWM | 14 dont 6 sorties PWM | 54 dont 15 sorties PWM |
| Entrées analogiques | 8 | 6 | 16 |
| Poids | 5g | 25g | 32g |
| Microcontrôleur | ATmega328 | ATmega328P | ATmega2560 |
| Tension de fonctionnement | 5V | 5V | 5V |
| Tension d'alimentation | 7 à 9V | Recommandée=7 à 12 V Limites=6 à 20 V | 7 à 12V |
| Courant max par broche E/S | 40mA | 40mA | 40mA |
| Courant max sur sortie 3,3 A | 50mA | 50mA | 50mA |
| Mémoire flashe | 32KB | 32KB dont 0.5 KB Utilisée par le boot loader | 256 KB |

Tableau 2: Comparaison entre les trois cartes Arduino NANO, UNO et MEGA 2560 (suite et fin)

| Caractéristique | Arduino NANO | Arduino UNO | Arduino MEGA 2560 |
|-------------------|--------------|-------------|-------------------|
| Mémoire SRAM | 2KB | 2KB | 8KB |
| Mémoire EEPROM | 1KB | 1KB | 4KB |
| Fréquence horloge | 16MHZ | 16MHZ | 16MHZ |

II.3 Diodes électroluminescente (LED) :

Le terme LED :

LED = Light Emitting Diode, diode électroluminescente.

HB-LED ou HBLED = High Brightness LED, Leds haute luminosité.

HP-LED ou HPLED = High Power LED, Leds haute puissance.

II.3.1 Description :

La LED est un composant dit passif, de la famille des semi-conducteurs (comme la diode et le transistor). Il s'agit d'une diode un peu particulière, qui a la propriété d'émettre de la lumière quand un courant la parcourt (de l'Anode vers la Cathode), et les couleurs que l'on trouve généralement sont : rouge, vert, jaune et bleu. [23]

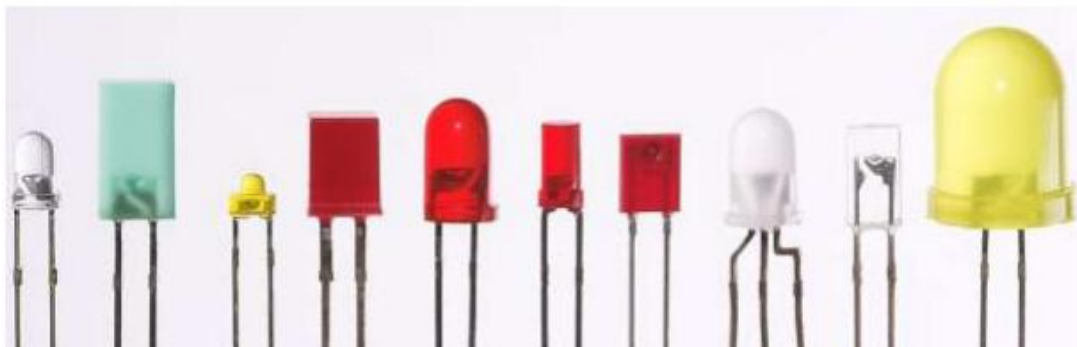


Figure 14 : différents type de LEDs[25]

II.3.2 L.E.Ds haute luminosité :

Ce type de L.E.D, qui peut émettre dans l'ensemble des couleurs vue précédemment (les L.E.Ds haute luminosité ne sont pas forcément blanches) constituera sans doute dans un très proche avenir, une solution alternative intéressante à l'éclairage grand public, voir à l'éclairage professionnel de forte puissance (ça commence à venir, il suffit de regarder un peu autour de soi quand on va dans certains petits spectacles ou dans des salons)

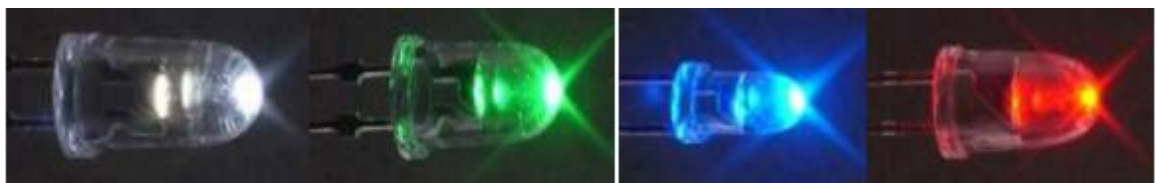
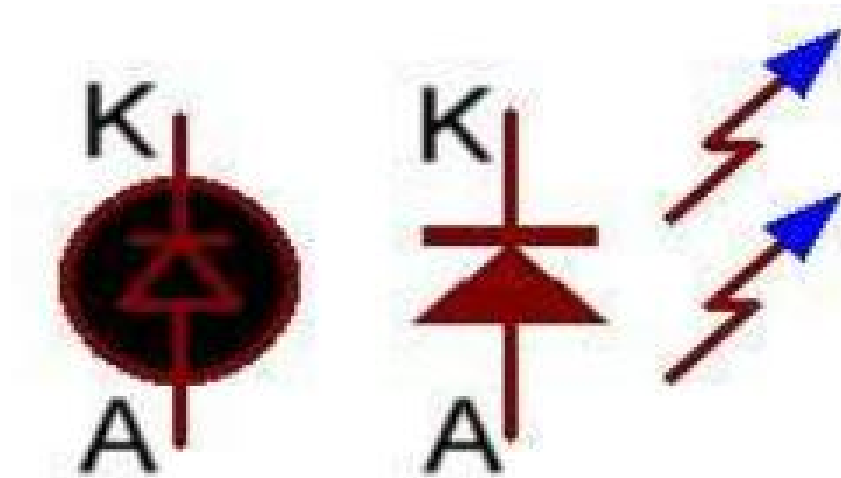


Figure 15 : L.E.Ds haute luminosité

Il est à noter que vu la puissance lumineuse développée par ces L.E.Ds (certaines atteignent ou dépassent 50000 mcd), les mêmes précautions que celle qui s'appliquent pour les LASER sont de rigueur (ne pas diriger directement ces L.E.Ds vers les yeux).

II.3.3 Symbole :



A = Anode k=catode

Le sens des L.E.D et le même que celui des diodes ordinaires. Généralement, une rainure au bas du boîtier plastique sur la périphérie permet de connaître le sens de polarisation de la diode (la cathode est située du côté de la broche la plus courte) [25]



La tension de seuil dépend de la couleur et donc de la composition chimique du dopage.

Tableau 3 : Tension de seuil des L.E.Ds selon la couleur [24]

| Couleur | Longueur d'onde λ (nm) | Tension de seuil(volt) |
|-------------|--|------------------------|
| UltraViolet | <400 | 3 .1 |
| Blanc | Pour le blanc en parle de température de couleur. Typiquement comprise entre 2500°K et 10000°K | 3.5 |
| Violet | 400 500 | 2.7 3.1 |
| Bleu | 450 500 | 2.5 2.8 |
| Vert | 525 565 | 2.1 2.5 |
| Jaune | 585 590 | 2 .1 |
| Orange | 600 620 | 2 |
| Rouge | 625 655 | 1.6 2 |
| Infra rouge | >760 | 1.6 |

Le tableau ci-dessus vous présente la tension de seuil des leds en fonction de leur couleur

II.4 Type de capteurs:

Les feux tricolores classiques fonctionnent selon un cycle de timing fixé à l'avance. Son principe repose sur des temporisations fixes. Pour les doter d'une certaine intelligence on doit utiliser différents capteurs afin d'estimer le trafic routier sur les différentes routes.

Les différentes temporisations sont calculées en fonction du trafic routier de chaque voie. Plus le trafic est dense, plus la temporisation du vert est élevée. Parmi les capteurs on peut citer les plus utilisés:

- Capteurs à boucles magnétiques
- Capteur de détection d'Obstacles : Capteurs infrarouge etc...
- Capteurs ultrasons.
- Caméra à CCD « ChargedCoupledDevice»

Nous allons décrire les capteurs qui sont à notre disposition compte tenu des circonstances actuelles que vit notre pays.

II.4.1 Capteur d'Évitement d'Obstacles (KY-032):

a. Principe de fonctionnement:

Ce type de capteur convient beaucoup pour la détection des obstacles peu distants (figure 16).

Il exploite la technologie infrarouge IR (infrared). L'onde IR est un rayonnement électromagnétique qui se situe dans une région spectrale invisible pour les êtres humains, car la fréquence de ce rayonnement est inférieure à la fréquence du rouge visible d'où vient le terme IR.



Figure 16 : Capteur KY-032 [26]

Le spectre IR est divisé en 3 zones (figure 17):

- Les ondes courtes: dont les longueurs d'onde varient entre 0.78 et 2 μm
- Les longueurs d'ondes moyennes: sont comprises entre 2 et 4 μm .
- Les longueurs d'onde des ondes longues: varient entre 4 et 10 μm .

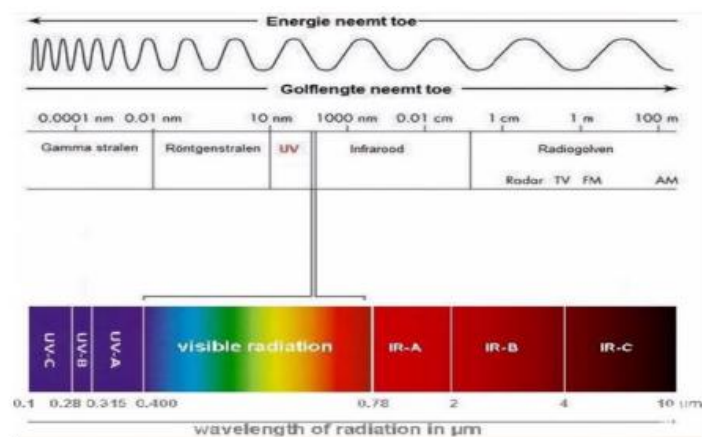


Figure 17 : Principe d'un IR

Lorsqu'une onde infrarouge est émise, une partie de la radiation IR est réfléchiée par la surface de l'objet, une autre sera absorbée et la dernière partie passe à travers l'objet (figure 18). C'est la réflexion qui nous intéresse pour la détection des obstacles.

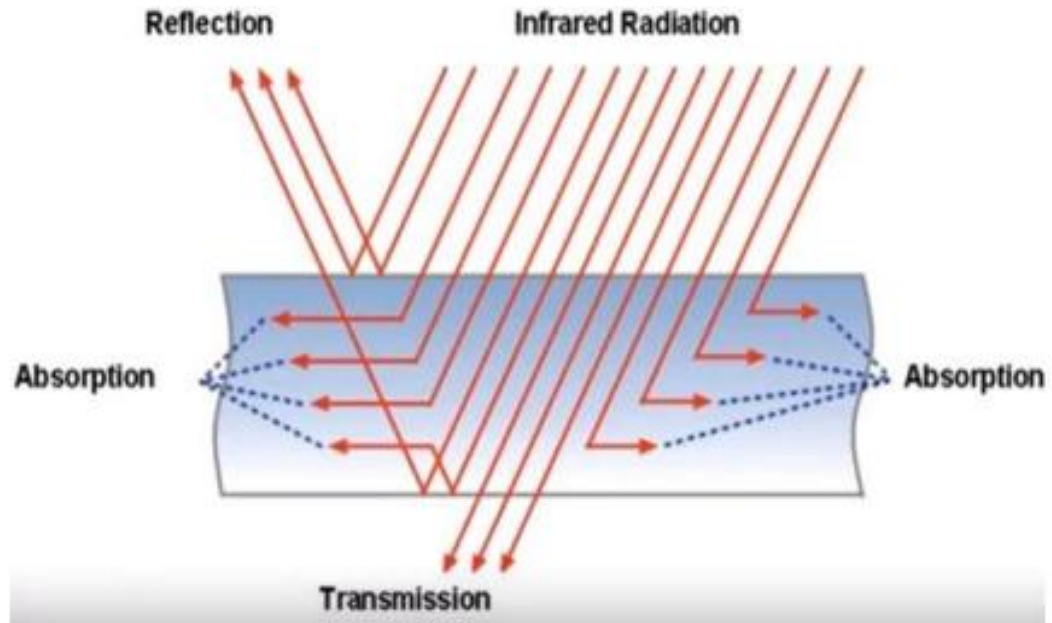


Figure 18 : Principe de radiation IR

Le capteur IR Ky-032 est basé sur le principe de réflexion. Il est constitué d'un émetteur de lumière IR et d'un récepteur qui détecte l'onde lumineuse réfléchiée (figure 19).

Son principe est simple, une onde de la lumière IR est émise, si un obstacle se trouve dans le champ de vision du capteur, une partie de la radiation sera réfléchiée et mesurée par le capteur ce qui permet la détection d'obstacle. Ce capteur est muni de deux Leds: une indique que le capteur est alimenté, alors que la deuxième une fois allumée indique la présence d'un obstacle.

Ce capteur contient aussi un potentiomètre pour le réglage de la distance.

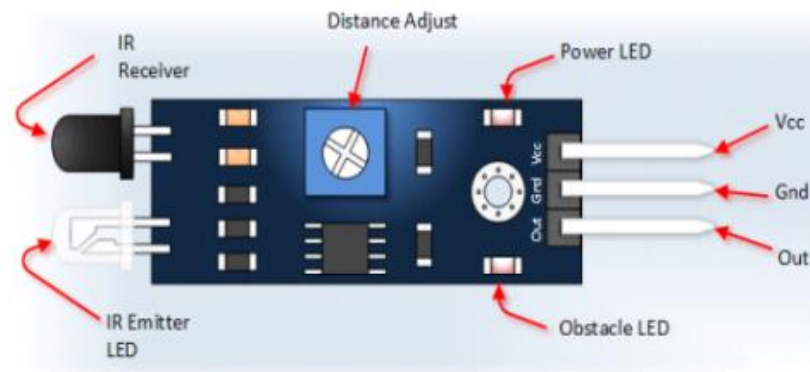


Figure 19 : Description d'un capteur KY-032 [27]

b. les caractéristiques du capteur KY-032:

Ses principales caractéristiques sont

- Dimensions de la plaque en polychlorobiphényle (PCB « printed circuit board») : 4,6 x 1,45 x 0,8 cm.
- Le port de sortie du module détecteur peut être directement connecté au port IO du microcontrôleur pour piloter directement un relais de 5V.
- Peut s'utiliser pour des modules avec une alimentation de 3-5V DC « Direct Current ».
- Température de fonctionnement: -25°C à +85 °C.
- Le module détecte une distance comprise entre 2 et 30 cm, angle de détection à 35°. [26], cette distance de détection peut être contrôlée par le potentiomètre (figure 20), il faut tourner le potentiomètre: -dans le sens horaire pour augmenter la distance de détection.

- dans le sens horaire pour augmenter la distance de détection
- dans le sens antihoraire, la distance de détection diminue



Figure 20 : Le potentiomètre de KY-032

- Les broches de connexion sont comme suit (figure 21):
- VCC « Voltage at the Common Collector »: tension externe 3,3

- 5 V (peut être directement connecté à 5
- 3,3 V MCU « Microcontroller Unit »).
- GND « Ground » : GND externe.
- OUT : interfaces de sortie numérique de petite carte (0 et 1) [29].

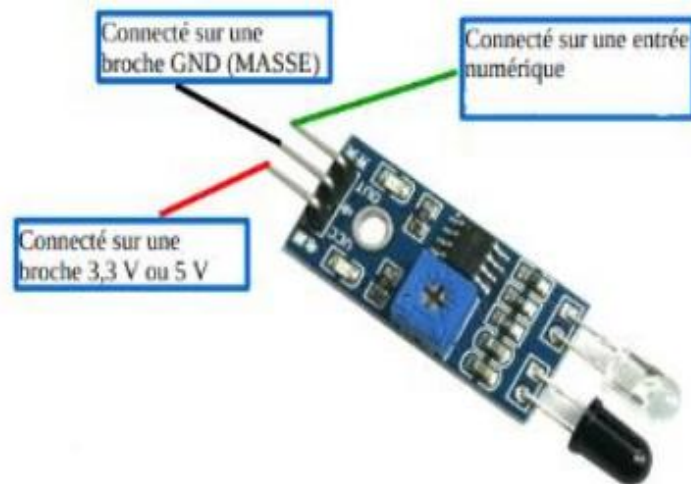


Figure 21 : Les broches de connexion d'un KY-032 [28]

- c. Le branchement (connexion) d'une carte arduino Uno avec le capteur KY032 s'effectue selon le schéma suivant (figure 22)

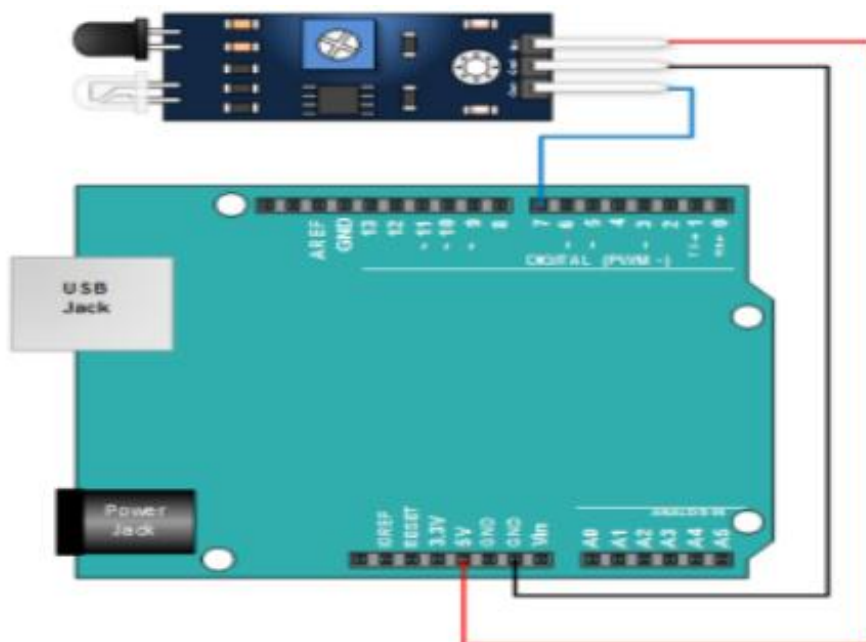


Figure 22 : Le branchement d'un capteur KY-032 avec la carte Arduino UNO [30]

II.5 Software ou Logiciel:

II.5.1 Arduino IDE «IntegratedDevelopmentEnvironment»:

Le logiciel Arduino est un environnement de développement (IDE) open source et gratuit, téléchargeable sur le site officiel Arduino. Il fonctionne sur Mac «Macintosh», Windows et Linux. C'est grâce à ce logiciel que nous allons créer, tester et envoyer les programmes sur l'Arduino [31] [32].

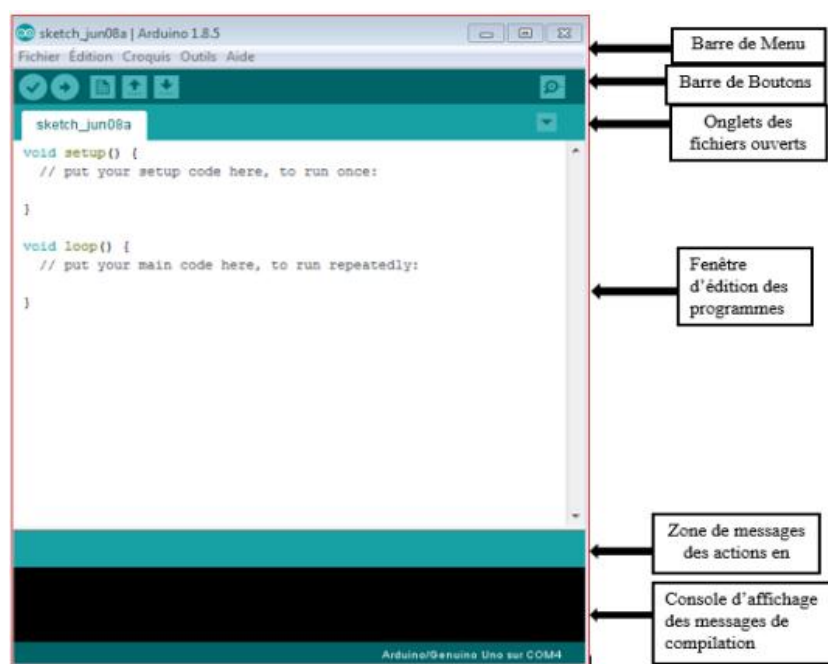


Figure 23 : L'interface de logiciel Arduino IDE.



Figure 24 : Les composants d'un Barre d'actions. [34]

- Bouton 1: Ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans votre programme
- Bouton 2: Charge (téléverse) le programme dans la carte Arduino.
- Bouton 3: Crée un nouveau fichier.
- Bouton 4: Ouvre un fichier.
- Bouton 5: Enregistre le fichier.
- Bouton 6: Ouvre le moniteur série [33].

II .5.2 Le langage de programmation:

Le langage de programmation utilisé est le C++, compilé avec avr-g++ 3, et lié à la bibliothèque de développement Arduino, permettant l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties.

La mise en place de ce langage standard rend aisé le développement de programmes sur les plates-formes Arduino, à toute personne maîtrisant le C ou le C++, et la structure de programme arduino

II.5.3 Proteus (ISIS « Intelligent Schématique Input System » et ARES «Advanced Routing and Editing Software»):

Proteus Professional est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société LabcenterElectronics, les logiciels utilisés par Proteus Professional permettent la CAO « Construction Assistée par Ordinateur » dans le domaine électronique deux logiciels principaux composent cette suite logicielle [35].

ISIS: permettant entre autres la création et la modélisation de schémas électrique (figure26), et ARES, dédié à la création de circuits imprimés grâce à des modules additionnels.

ISIS: permettant entre autres la création et la modélisation de schémas électrique [34].

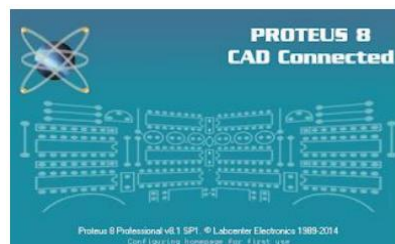


Figure 25 : Logiciel ISIS PROTEUS

Il est également capable de simuler le comportement d'un microcontrôleur, et son interaction avec les composants qui l'entourent.

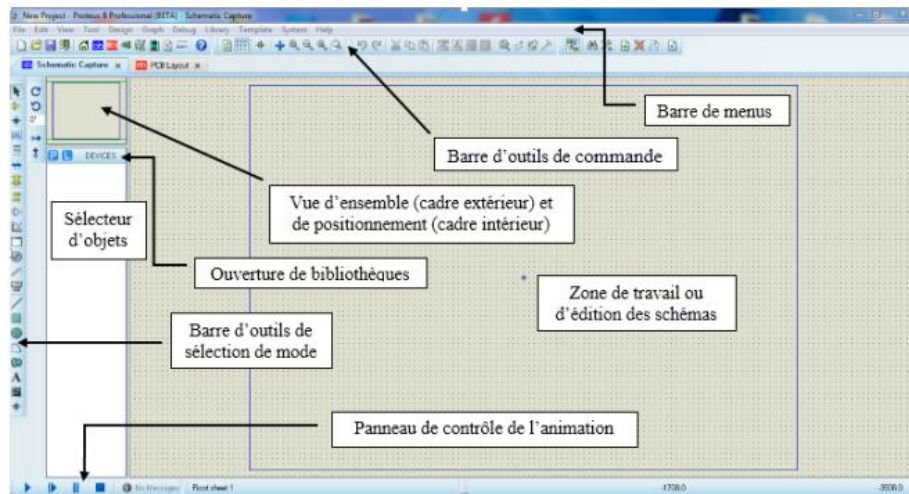


Figure 26 : L'interface de logiciel ISIS Proteus

II.6 Organigramme:

La figure 31 montre l'organigramme pour la conception de notre système:

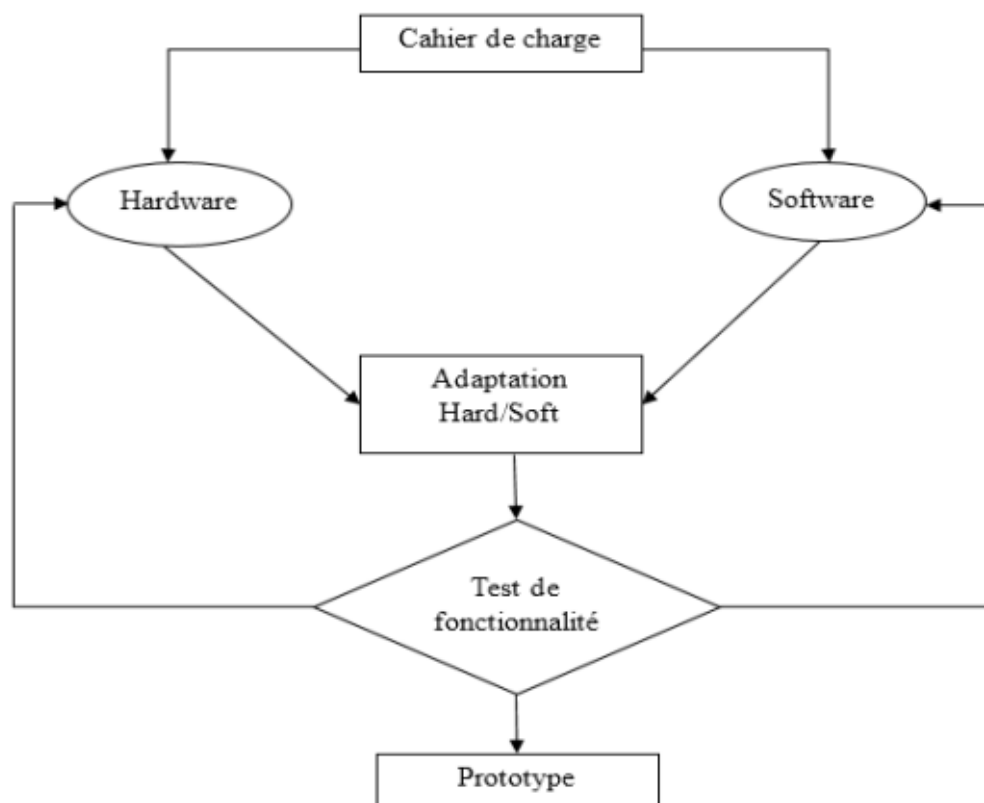


Figure 27 : Organigramme pour conception de notre système

II.7 Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons présenté les solutions pour transformer les feux tricolores classiques en feux tricolores intelligents en utilisant des différents composants (hardware) basant sur la carte Arduino, qui est la pièce maîtresse. Ainsi les logiciels (software) utilisés permettent à l'utilisateur de modifier, lire et traiter tout l'affichage.

II.8 Le principe du projet à atteindre

II.8.1 Cahier de charger de projet à atteindre :

Le projet de fin d'étude « gestion d'un carrefour intelligent à feu tricolores » c'était à la base de réaliser un programme qui permet :

Envoyer aléatoirement le flux des voitures dans les quatre voies.

Gérer intelligemment les intersections de notre carrefour (Rouge, Orange, Vert) en fonctions du nombre de véhicules entrant dans la file d'attente (huit véhicules au maximum).

Visualiser les files d'attente des quatre branches du carrefour grâce à des leds bleu en utilisant le registre de décalage vers la droite « 74 HC 595 ».

Savoir le mouvement de chaque véhicule dans la ressource commune en fonction des quatre leds jaune branchées au registre « 74 HC 595 ».

Deux possibilités de déplacement des véhicules sont prévues, continuer tout droit ou bien tourner à droite.

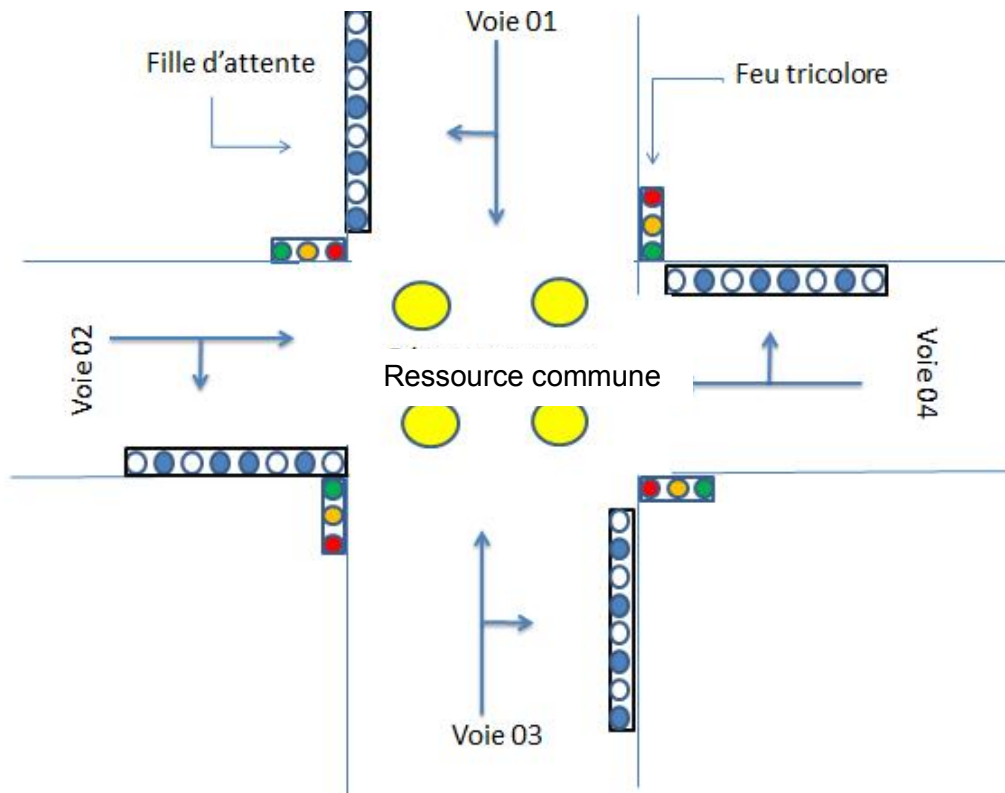


Figure 28 : Gestion intelligent d'un feu tricolore par les LEDs

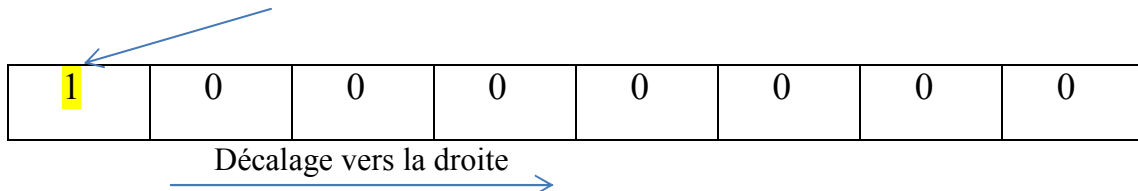
II.8.2 Démonstration de déplacement du flux des voitures :

On prendra des valeurs aléatoires pour mieux comprendre le principe à atteindre

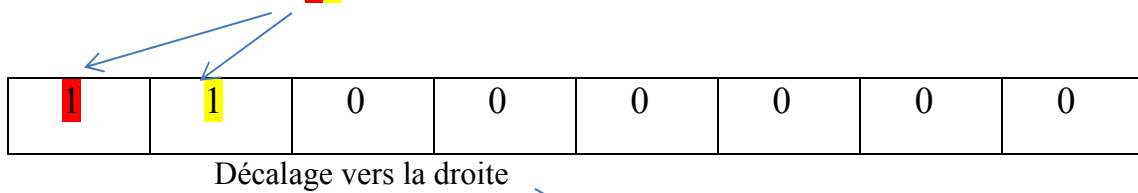
011101110001111 au début notre registre est initialisé: 0 0 0 0 0 0 0 0 dès que le microcontrôleur arduino envoie l'information au registre de décalages vers la droite, il va écraser les bits les plus faibles est les faire décaler vers la droite

Supposons que le feu est au rouge dans cette route

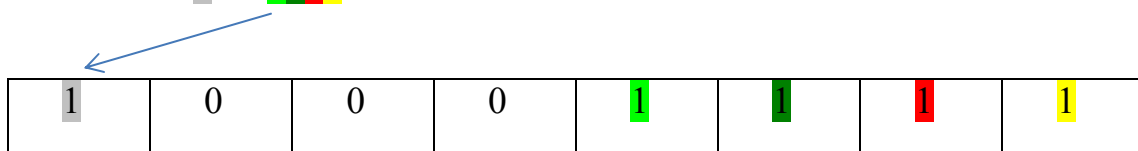
01110111000111 **1**



011101110001**11**

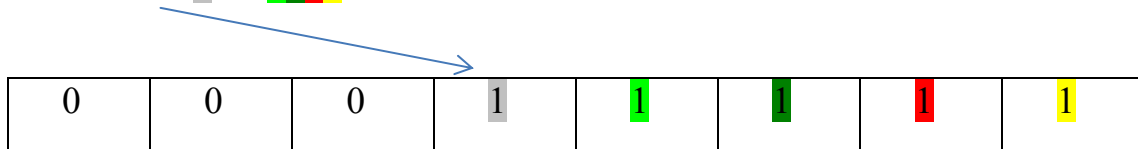


0111011**1**000**1111**

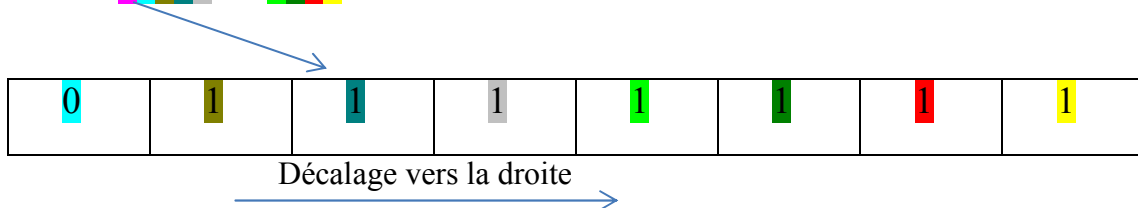


Dans ce cas-là : le véhicule **1** va se déplacé vers la droite pour écrasé les bits les plus faibles et le flux continue à envoyer les bits qui suie ;

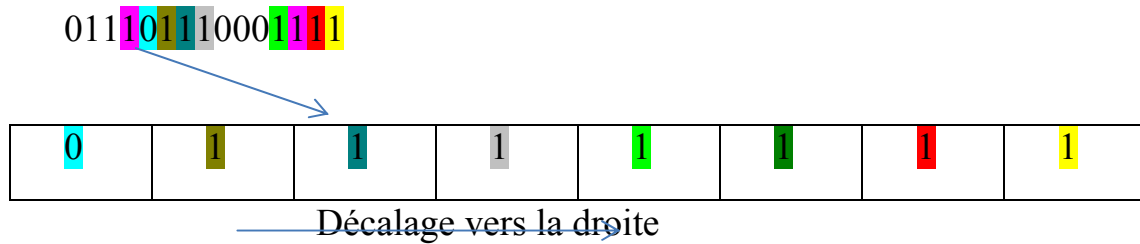
0111011**1**000**1111**



011**1011**1000**1111**



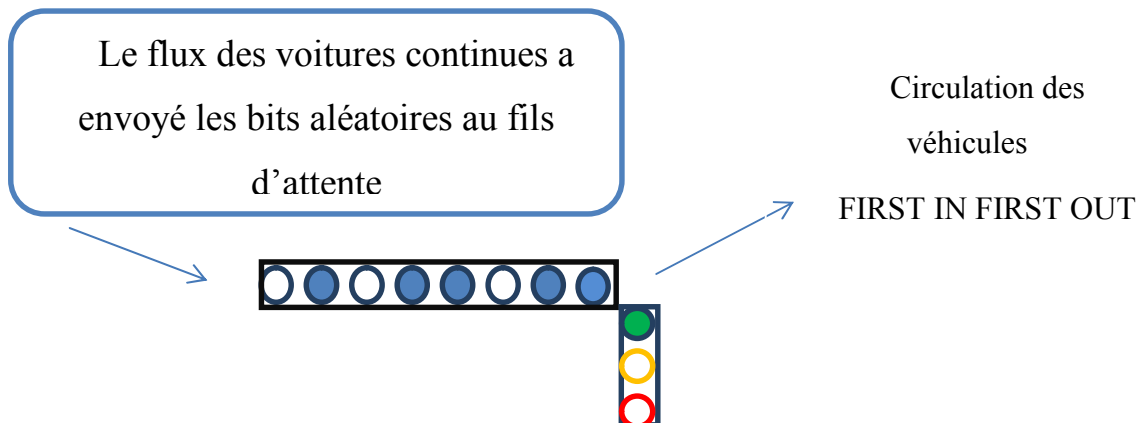
Dans ce cas-là le véhicule 1 va écraser encore le bit plus faible 0 pour libérer la place et gagner plus le temps.



Si le feu passe au vert pendant la distribution du flux de voiture le principe restera le même est :

Le déplacement vers la droite en utilisant la base FIFO (libérer les voitures existantes dans les files d'attente) ;

L'envoi du flux est une fois le bit du poids faible apparaît sur la file d'attente,



II.8.3 Matériel utilisé dans notre projet

Pour le bon fonctionnement de carrefour nous avons utilisé les composants suivants:

ARDUINO UNO (01): notre microcontrôleur est le composant de base de notre projet, on réalisant notre programme dans le logiciel ARDUINO en langage C puis on l'envoyer à notre circuit intégré ARDUINO UNO; dans ce dernier notre programme passe vers le montage DARLINGTON.

Le montage DARLIGNGTON : est utilisé pour la protection des composants électroniques, pour diminuer la charge fournie de microcontrôleur ARDUINO afin d'assurer le bon fonctionnement des composants électriques,

Le registre de décalage 74 HC 595(05) :

Le 74 HC 595 permet de stocker les données sortant de notre microcontrôleur « ARDUINO » ensuite faire le décalage vers la droite en faisant écraser le bit poids faible bit 0

Les LEDs (32 leds bleus, 04 jaunes, 03 rouges, 03 verts et 03 oranges)

C'est un composant électronique qui en étant traversé par un courant électrique, émet une lumière d'une intensité diffuse.

Résistances 220 OHM (48) pour la protection des leds

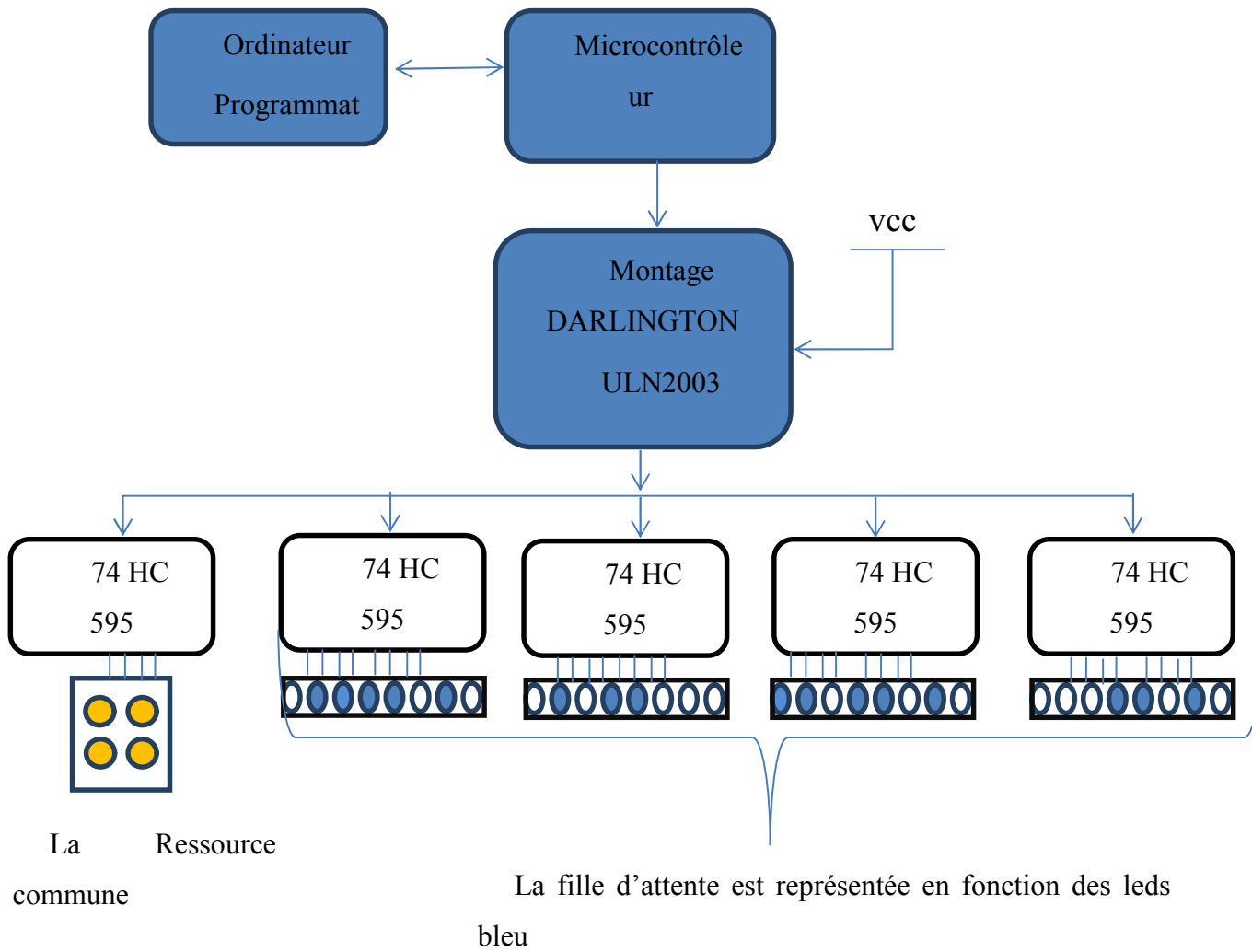


Figure 29 : Schéma des matériels utilisés

Chapitre III- Implémentation et Réalisation

III.1 Introduction:

Dans ce chapitre nous allons décrire la conception et la réalisation d'un prototype (gestion intelligente d'un carrefour par des feux tricolores) basé sur l'étude présentée au chapitre 2. Comme ce travail a été effectué durant les années du covid-19 que connaît notre pays et le monde entier, l'accès aux composants adéquats étaient impossibles ainsi on s'est limité uniquement aux composants disponibles localement.

Pour notre projet de fin d'études, nous avons pris l'exemple d'un carrefour aléatoire (figure 30). C'est un croisement de deux routes où certains conflits sont possibles. Ce carrefour est proposé pour réaliser une solution intelligente : un trafic plus fluide et moins d'accidents pour le bonheur des usagers.

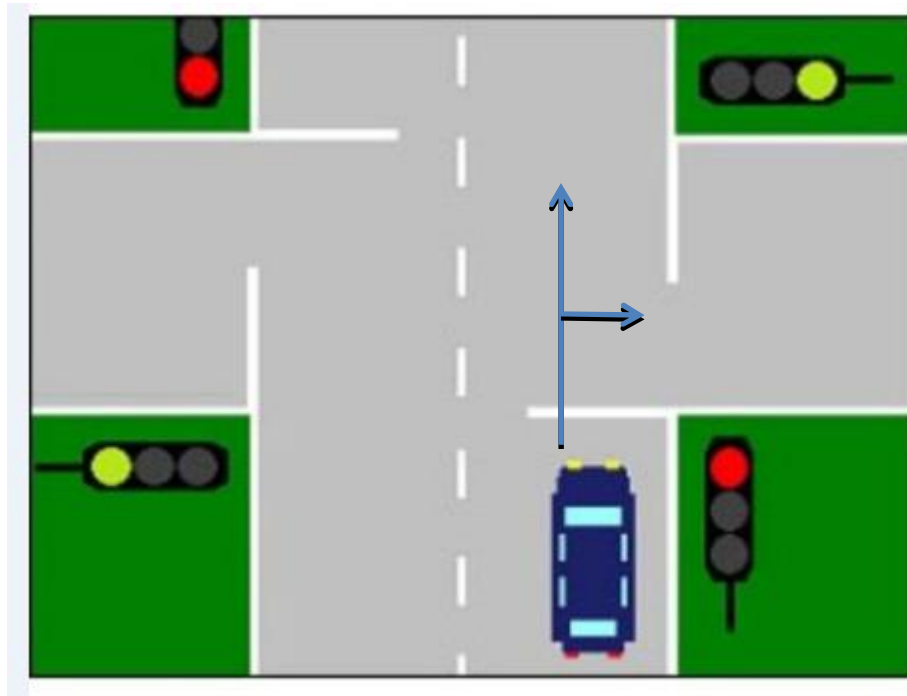


Figure Figure 30 : Présentation du carrefour.

III.2 Carrefour étudié:

Le carrefour se présente sous forme d'une intersection de deux routes, une route nommée (voie A) et une autre route perpendiculaire nommée (voie B).

Le principe de notre projet (gestion intelligente d'un carrefour par des feux tricolores) est de proposer une solution optimale qui permet de faire une comparaison

entre les deux intersections (voie A) et la (voie B) en temps réel à fin d'éviter la circulation surtout dans les périodes de pointe. (Figure 31)

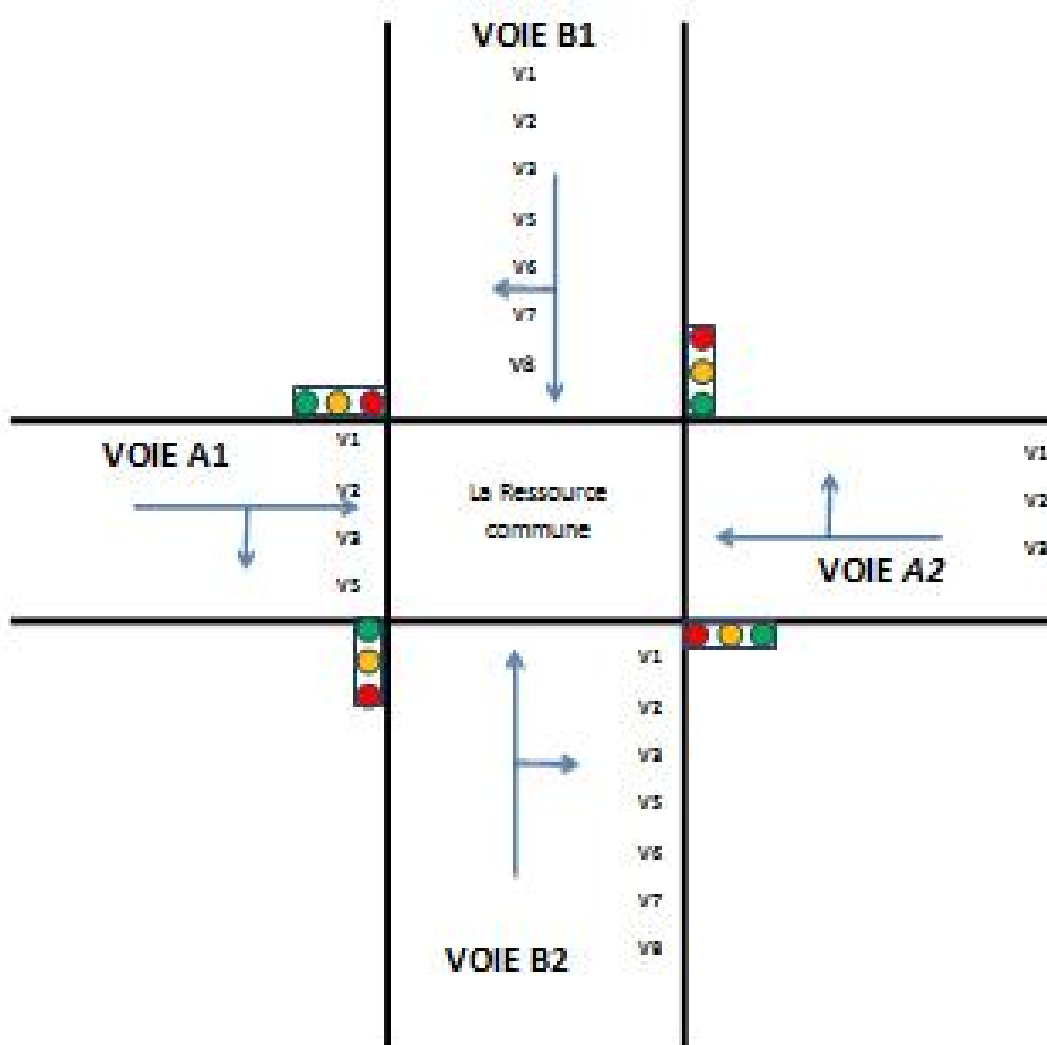


Figure 31 : Carrefour à étudié

III.3 Solution proposée:

III.3.1 Feux tricolore à temporisation fixée:

III.3.1.1 Schéma synoptique:

Le schéma synoptique d'un système tricolore est représenté par la (Figure 32)

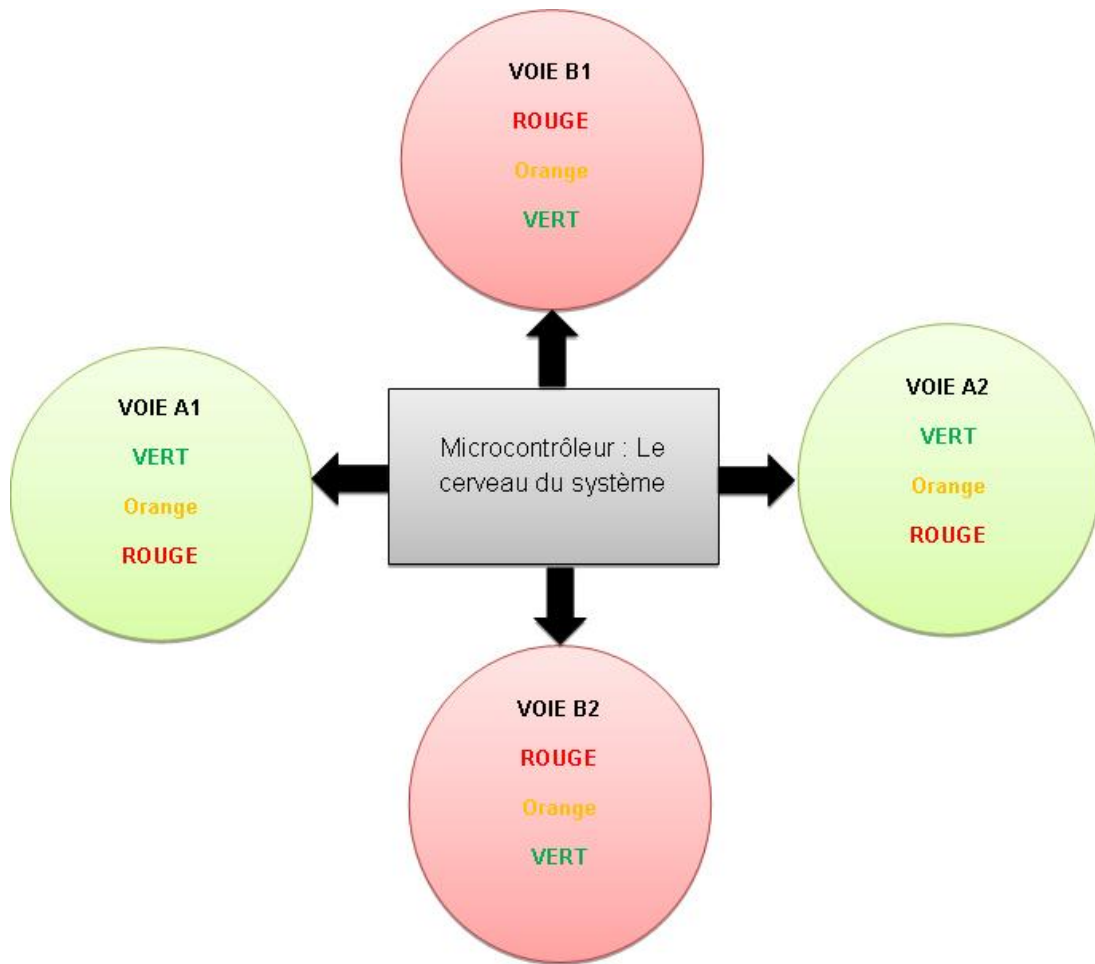


Figure 32 : Schéma synoptique d'un feu tricolore à temporisations fixes.

C'est le microcontrôleur qui gère les séquencements de signalisation Vert, orange, Rouge, Vert...etc. avec une temporisation fixée.

Le tableau 5, ci-dessous illustre les différentes séquences de signalisation

Tableau 4 : Les différentes séquences de signalisation.

| Phase | La durée(en Seconde) | Voie 'A' | La durée(en Seconde) | Voie 'B' |
|-------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| 01 | 25 secs | Vert | 25 secs | Rouge |
| 02 | 02 secs | Orange | 02 secs | Rouge |
| 03 | 03 secs | Rouge intégrale | 03 secs | Rouge intégrale |
| 04 | 25 secs | Rouge | 25 secs | Vert |
| 05 | 02 secs | Rouge | 02 secs | Orange |
| 06 | 03 secs | Rouge intégrale | 03 secs | Rouge intégrale |

La séquence de fonctionnement d'un système de signalisation présentée par le tableau ci-dessus peut être décrite par un organigramme donné par la figure suivante:

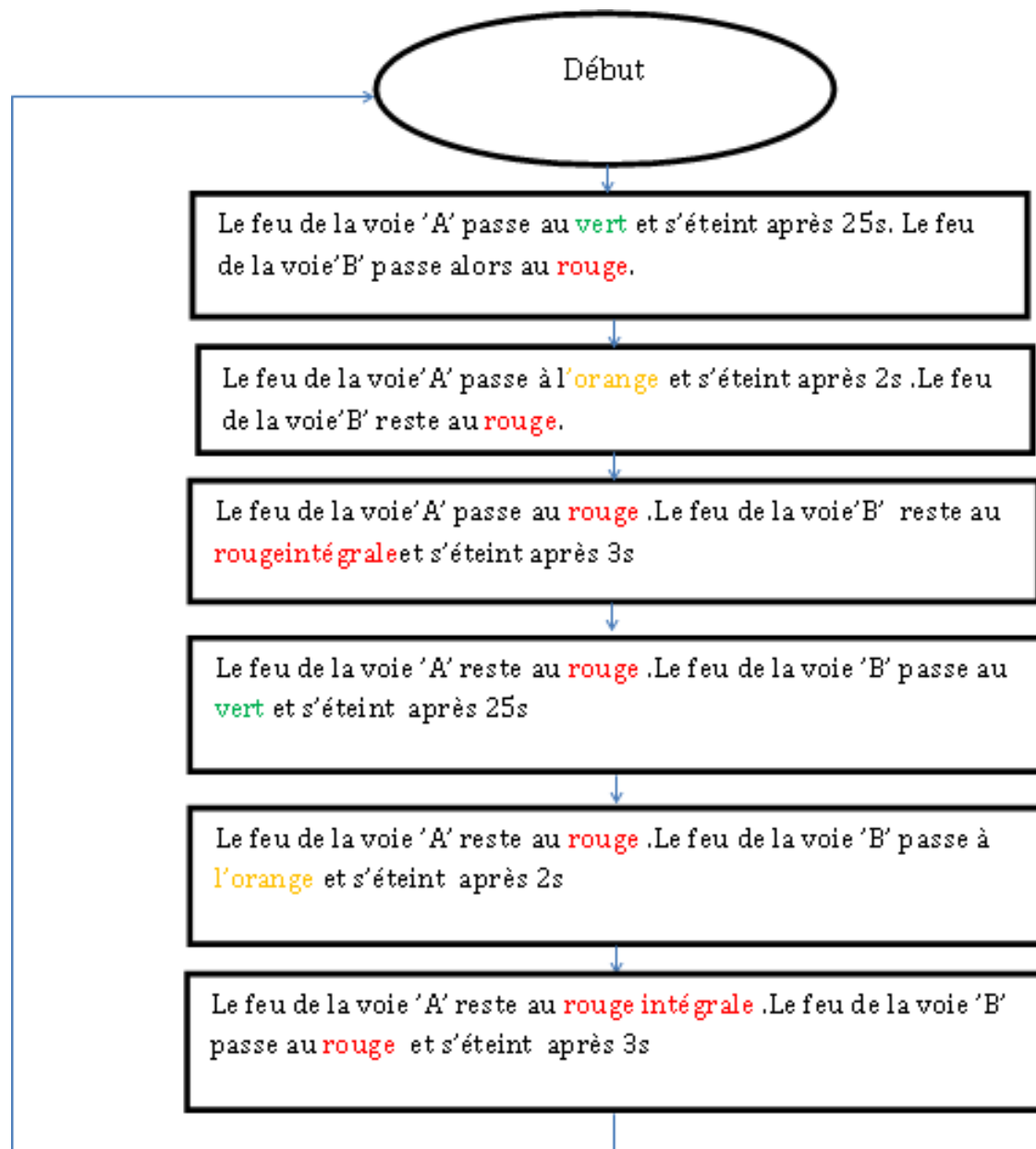


Figure 33 : Organigramme d'un système tricolore à temporisation fixé





Les lampes de signalisation reçoivent leurs commandes du microcontrôleur. Il est à noter qu'il existe une interface de puissance entre le microcontrôleur et les lampes ou les matrices d'affichage Leds.

Bien qu'il existe plusieurs types de solutions, nous avons opté pour une solution basée sur la carte Arduino Uno. Cette dernière dispose d'un environnement de développement basé sur un langage évolué ce qui permet une mise au point facile.

Le microcontrôleur de la carte Arduino permet la communication avec le monde extérieur à travers des interfaces d'entrées et de sorties configurables. La commande des feux de signalisation est effectuée par une simple instruction.

Les composants électroniques utilisés pour réaliser la version fixée figurent dans ce tableau

Tableau 5: Matériels utilisé pour la réalisation d'un feu tricolore classique

| Matériels | photos |
|--|--|
| Une carte Arduino UNO et son câble USB Microcontrôleur (01) |  |
| Une platine de prototype(01) |  |
| Des Résistances de 220 ohms |  |
| 12 Leds (04 rouges, 04 oranges et 04 vertes) |  |

III.3.1.2 Schéma Electrique d'un feu tricolore classique:

La figure 34 illustre l'implémentation du prototype d'un feu tricolore classique obtenu par le logiciel ISIS. On y voit que l'ensemble est connecté et géré par le microcontrôleur ARDUINO

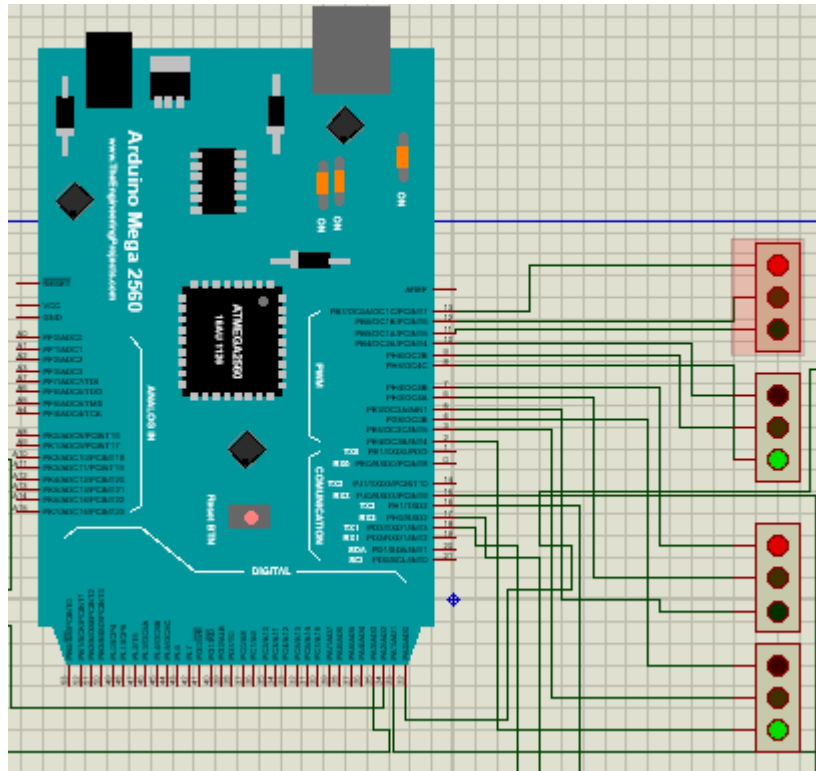


Figure 34 : Le feu tricolore sur ISIS à base

Dans notre réalisation du système tricolore à temporisation fixée nous avons utilisé 12 diodes électroluminescentes (04 rouges, 04 oranges, 04 verts) ,12 résistances et nous avons et la carte Arduino.

L'ensemble est alimenté avec une tension de 5 Volts.

La configuration des Leds est définie dans le tableau 0:

Une diode électroluminescente en anglais 'Light Emitting Diode' « Led », est un composant électronique qui s'allume lorsqu' on lui applique une tension entre ses bornes. Ces diodes sont souvent alimentées avec une tension comprise entre 3,3volts et 5 Volts. Au-delà de cette tension la diode risque de se griller, c'est pour quoi on a ajouté des résistances en série avec chaque Led. Le rôle de ces résistances est de limiter le courant pour protéger les diodes Leds contre toute surintensité.

Après avoir effectué notre code sous l'environnement IDE Arduino, et après l'avoir chargé sur la carte Arduino dans le simulateur ISIS, nous avons constaté que notre système fonctionne correctement conformément aux prévisions théoriques. Toutes les séquences de signalisation ont été respectées. (Figure 34)

Par la suite nous allons décrire des modifications à apporter au système de feux tricolores classiques pour obtenir un système de feux tricolores intelligents

III.3.2 Feux Tricolores intelligents:

Parmi les systèmes tricolores intelligents on trouve le système caractérisé par des temporisations variables au court du temps en fonction de la densité du trafic routier de chaque voie.

Il partage une durée T , entre les feux rouges et les feux verts, selon

$T = Tr(t) + Tv(t)$ où $Tr(t)$ et $Tv(t)$ sont respectivement les intervalles de temps alloués aux feux rouges et aux feux verts. La durée T représente le cycle du système tricolore.

Lorsque le trafic est dense, on prend $Tv(t)$ supérieur à $Tr(t)$ afin d'assurer une circulation fluide, ainsi on favorise la voie prioritaire. Il est à noter que les intervalles $Tv(t)$ et $Tr(t)$ varient au cours du temps, en fonction de la densité du trafic de chaque voie. Ces intervalles $Tv(t)$ et $Tr(t)$ sont déterminées à partir d'une estimation de la densité du trafic routier.

Cette estimation peut être obtenue en utilisant des capteurs spécifiques du trafic routier (boucle magnétique, capteur IR, caméra,...). En général, une opération de comptage de véhicules est nécessaire pour déterminer les paramètres $Tv(t)$ et $Tr(t)$.

Bien qu'il existe plusieurs types de capteurs adéquats à cette problématique, on s'est limité dans notre travail uniquement au capteur KY-032 d'évitement d'obstacle qui est disponible localement.

III.3.2.1 Estimation du temps $Tr(t)$ et $Tv(t)$

Le système étudié est une section de route dont les voies symétrique ont des propriétés identiques. Les véhicules sont supposés distribués de façon aléatoire entre les voies d'une section et le premier véhicule entré dans chaque section est aussi le premier véhicule à la quitté avec le tourné à gauche est interdit.

Nous pouvons considérer que chaque voie est divisée en N segments $[x_i, x_{i+1}]$ de longueur Δ_i tel qu'indiqué dans la figure 40 et supposer que, pour chaque segment, les variables caractéristiques de l'écoulement (densité, débit, vitesse) ne dépendent que du temps et non de la position D_i . En effet, une fois le modèle d'un segment défini, il est possible de l'étendre par concaténation, afin de traiter la route complète.

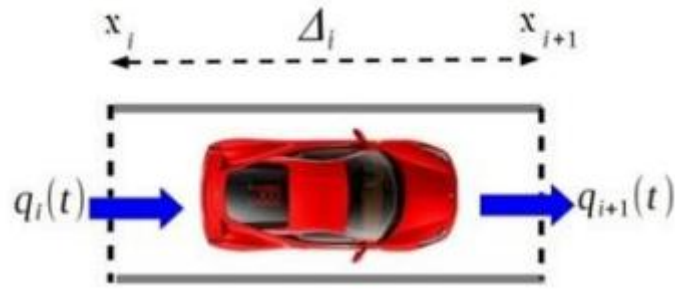


Figure 35 : Caractéristique d'une section de route [37]

Dans ce cas-là pour avoir une estimation logique nous avons déplacés au plusieurs intersections gérer par les feux tricolores à Mostaganem (Figure 40) au but de compter le nombre des véhicules traversant une section NBR dans le feu vert. En prenant la valeur du temps associer au feu vert T_v pour pouvoir extraire le temps alloué au chaque véhicule $T_{véhicule}$

$$T_{véhicule} = T_v / NBR \quad [36]$$



Figure 36 : feu tricolores à Mostaganem

$T_v = 30$ secs permis le passage de 11 véhicules

$T_v = 32$ secs permis le passage de 12 véhicules

En remarque que le temps associer au feu tricolore fixé est suffisant de faire le passage des huit véhicules dans une section, mais lorsque le trafic est dense, en aura besoin de plus de temps associer au feu vert afin d'assurer une circulation fluide, dons en favorise la voie prioritaire. (Tableau 6)

Tableau 6 : $T_v > T_r$

| Phase | La durée(en Seconde) | Voie 'A' | La durée(en Seconde) | Voie 'B' |
|-------|-------------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| 01 | 40 | Vert | 40 | Rouge |
| 02 | 2 | Orange | 2 | Rouge |
| 03 | 3 | Rouge intégral | 3 | Rouge intégral |
| 04 | 10 | Rouge | 10 | Vert |
| 05 | 2 | Rouge | 2 | Orange |
| 06 | 3 | Rouge intégral | 3 | Rouge intégral |

La séquence de fonctionnement d'un système de signalisation présentée par le tableau ci-dessus peut être décrite par un organigramme donné par la figure suivante:

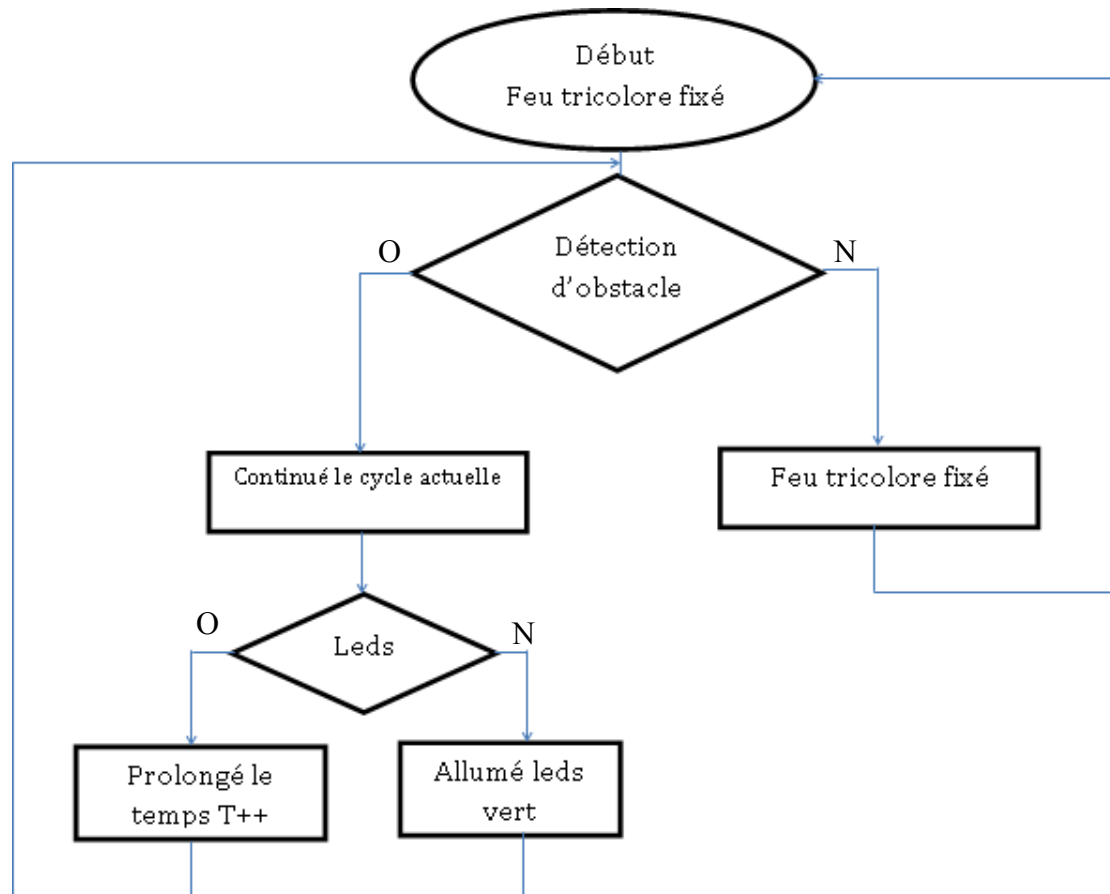


Figure 37 : Organigramme d'un système tricolore intelligent.

III.3.2.2 Positions des capteurs sur le carrefour :

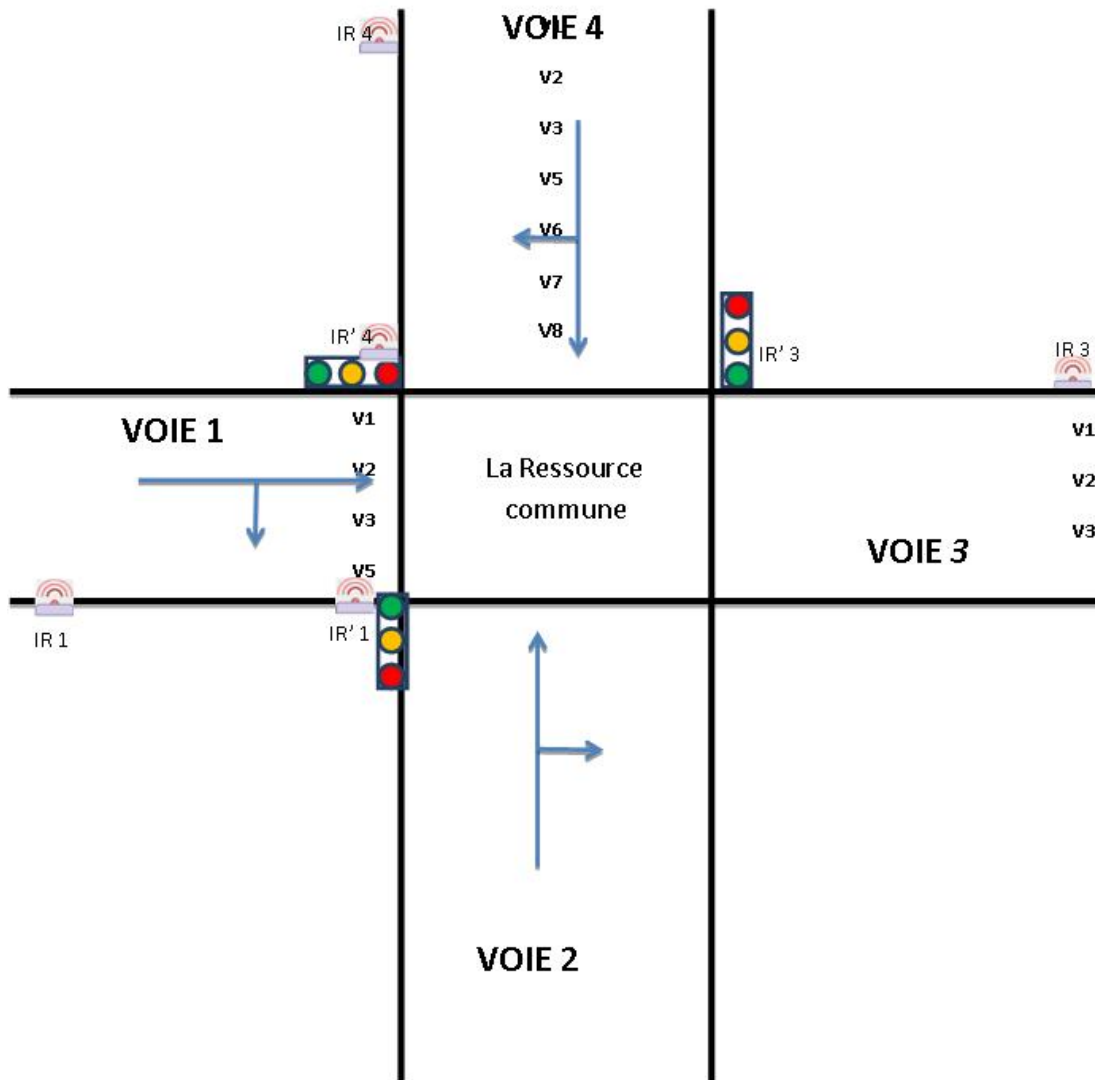


Figure 38 : Carrefour avec capteur infra-rouge

Les conditions étudiées pour assurer le bon fonctionnement du projet:

Dans la Figure 42 on remarque que nous avons utilisé huit capteurs

Quatre capteurs au début des sections appelés IR' pour indiquer l'existence d'obstacle.

Quatre capteurs à l'extrémité des sections appelés IR pour indiquer la détection d'obstacle et que notre trafic est dense

III.3.2.3 Les différents cas étudiés pour assurer le bon fonctionnement du carrefour intelligent

Tableau 7 : Présentation des cas étudiés

| Etats des capteurs | Fonctionnement | Etats des capteurs | Fonctionnement |
|--|---------------------------------------|--|---|
| $IR1=IR2=IR3=IR4=0$ $IR1=IR2=IR3=IR4=1$ $IR'1=$ $IR'2=IR'3=IR'4=0$ $IR'1=$ $IR'2=IR'3=IR'4=1$ | Feu tricolores a temporisation fixé T | $Si IR1 \mid \mid IR3=1$ ou $IR1 \& IR3 =1$ ET $IR2=IR4=0$ $IR'2 \mid \mid IR'4=1$ | Temps de feu vert G3 et G1 est supérieur au temps de feu vert G2 et G4 $T_v > T_r$ |
| $Si IR1 \mid \mid IR3=1$ ou $IR1 \& IR3 =1$ ET $IR2=IR4=IR'2=IR'4=0$ | Allume le Feu vert $G1=G3=1$ | $Si IR2 \mid \mid IR4=1$ ou $IR2 \& IR4 =1$ ET $IR3=IR1=0$ $IR'3 \mid \mid IR'1=1$ | Temps de feu vert G2 et G4 est supérieur au temps de feu vert G1 et G3 $T_v > T_r$ |
| $Si IR2 \mid \mid IR4=1$ ou bien $IR12 \& IR4 =1$ ET $IR1=IR3=IR'1=IR'3=0$ | Allume le Feu vert $G2=G4=1$ | Tous les IR=0 Un des quatre capteurs IR' est à 0 | Feu tricolores a temporisation fixé ou $T' < T$ |

1^{er}- $G2=G4=1$

Dans le cas où les deux capteurs IR2 ET IR4 indiquent un obstacle en même temps ou un seul capteur IR2 OU IR4 au niveau de la voie B, le microcontrôleur reçoit l'information provenant du capteur pour indiquer que le trafic est dense, en ce moment-là le microcontrôleur permet de :

Continué le cycle à traiter avant la détection d'obstacle pour éviter des accidents

Dès que le cycle termine Le feu passe au vert dans la voie B ou le capteur est détecté et lui donne la priorité si aucun des autres capteurs émettent (IR1, IR 3, IR'1 et IR'3).

Tableau 8 : état du feu tricolore en fonction des capteurs

| IR1 | IR2 | IR3 | IR4 | IR'1 | IR'2 | IR'3 | IR'4 | G1 | Y1 | R1 | G2 | Y2 | R2 |
|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | | 1 | 1 | | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | | | | | | |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | | | | | | |

NB : quand les capteurs IR sont à l'état 1(détection d'obstacle) → en ce moment le trafic est fluide, il faut que les capteurs IR' soit à l'état 1 pour avoir une étude logique.

En applique le même principe pour le cas du $G3=G1=1$

2^{ème} - $T_v > T_r$

On prend le même exemple précédent de la voie B ($IR2=IR4=1$) pour expliquer ce mode de fonctionnement

Supposant que le feu vert est au voie B et l'un des capteurs $IR'1$ OU $IR'3$ est émette ou les deux en même temps $IR'1$ ET $IR'3$, et les capteurs d'extrémités $IR1$ ET $IR3$ sont au repos (les sections 1et 3 ne sont pas chargé).

Dans ce cas-là on applique le système à temporisation variable par période en basant sur les capteurs d'extrémités en prioritaire (Tableau 6)

Le même principe pour la voie A

3^{ème} – $T_v' < T_v$

On prend le même exemple précédent de la voie B pour expliquer ce mode de fonctionnement

Quand les capteurs d'extrémités ($IR1$, $IR2$, $IR3$ ET $IR4$) sont éteints et l'un des capteurs placé au début des sections la voie B est émette ($IR'2$ OU $IR'4$) ou les deux en même temps($IR'2$ ET $IR'4$) et que le feu de la voie B est au vert, si l'un des capteurs qui se places au début de la voie A ($IR'1$ OU $IR'3$)émette ou bien les deux capteurs ($IR'1$ ET $IR'3$) .

Dans ce cas le microcontrôleur permet de donné un temps T_v' inférieur au T_v ($T_v' < T_v$) pour faire une circulation fluide afin d'éviter les embouteillages (Tableau 9).

Le même principe pour la voie A.

Tableau 9 : T_v' inférieur T_v ($T_v' < T_v$)

| Phase | La durée(en Seconde) | Voie 'A' | La durée(en Seconde) | Voie 'B' |
|-------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| 01 | 15 | Vert | 15 | Rouge |
| 02 | 2 | Orange | 2 | Rouge |
| 03 | 3 | Rouge intégral | 3 | Rouge intégral |
| 04 | 15 | Rouge | 15 | Vert |
| 05 | 2 | Rouge | 2 | Orange |
| 06 | 3 | Rouge intégral | 3 | Rouge intégral |

4^{ème} feu tricolore fixé

Si tous les capteurs d'extrémités n'indiquent aucun obstacle et si tous les capteurs d'extrémités détectent la présence de véhicule, cela veut dire qu'il n'existe aucune priorité dans les voies A/B.

III.3.2.4 schéma bloc

On suppose que le système commence son fonctionnement en mode classique avec des intervalles $Tr(t)$ et $Tv(t)$ fixés.

Dans le cas d'un trafic congestionné sur une voie, le capteur émet un signal indiquant que le trafic est dense ce dernier envoie l'information au microcontrôleur, le microcontrôleur traite ces conditions et agit au feu tricolore suivant ces informations qui provenant des capteurs.

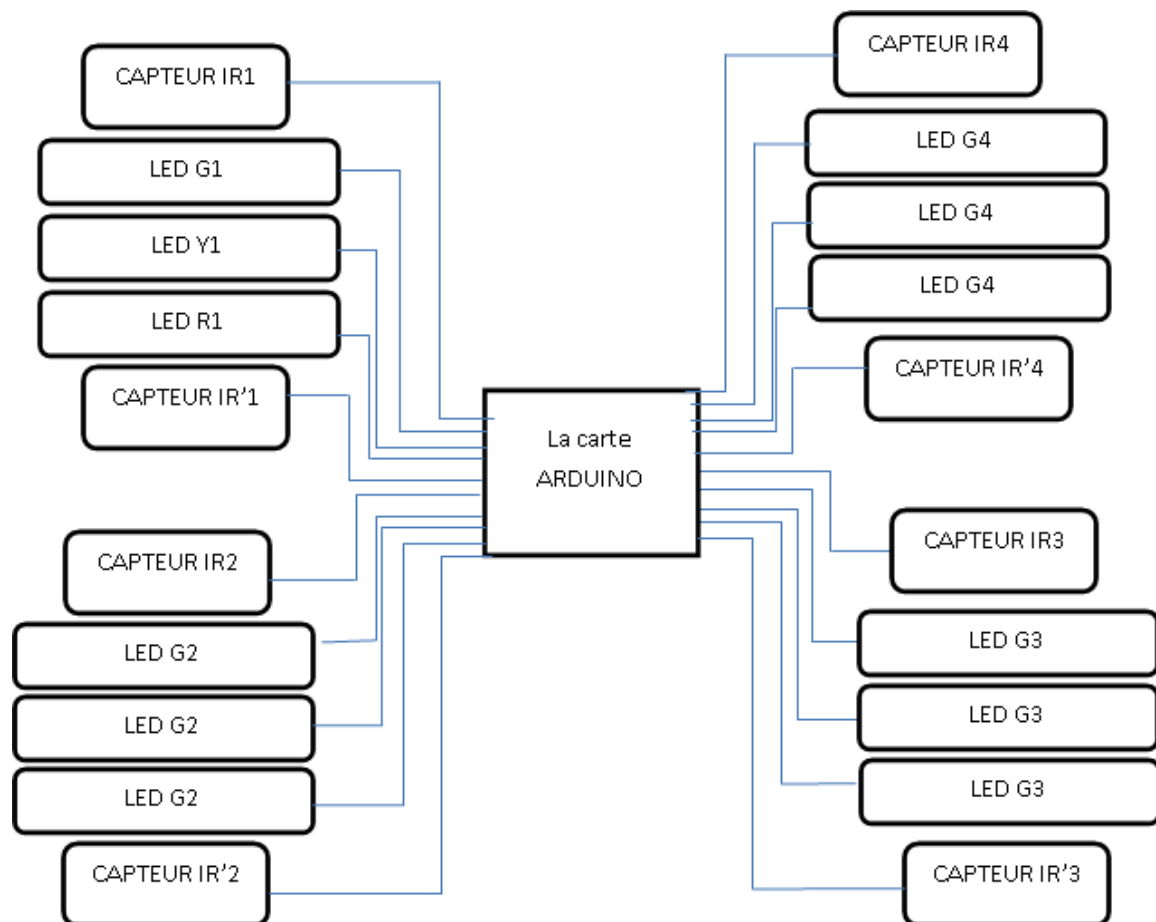







Figure 39 : Schéma bloc d'un système de feux tricolores intelligents

Matériel utilisés pour réaliser un carrefour a feu tricolores

Tableau 10 : Matériels utilisé pour la réalisation d'un feu tricolore

| Matériels | photos |
|--|--|
| Une carte Arduino et son câble USB Microcontrôleur (01) |  |
| Une platine de prototype(01) |  |
| Des Résistances de 220 ohms |  |
| 12 DEL (04 rouges, 04 oranges et 04 vertes) |  |
| Capteur à infrarouge (08) |  |

Pour rendre un système intelligent on doit utiliser le capteur à infrarouge qui est disponible localement ce qui nous permet de simuler le fonctionnement d'un système tricolores intelligent

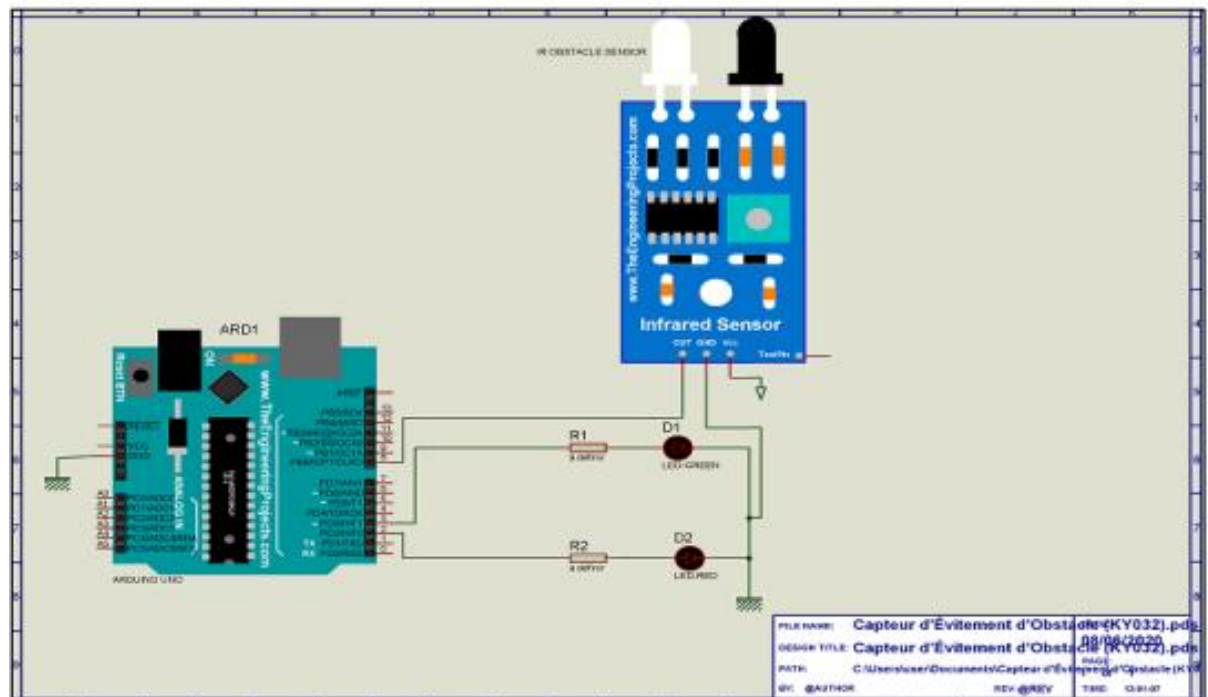


Figure 40 : Simulation du capteur KY032 sur ISIS

Ce capteur se branche à travers trois pins : alimentation (Vcc), masse (GND) et la sortie de signal de détection.

Nous avons utilisé une Led verte pour indiquer la présence d'un obstacle et une Led rouge qui indique l'absence d'un obstacle. Nous avons vérifié son fonctionnement en simulant un obstacle, les résultats obtenus sont cohérents avec nos prévisions. (Figure 40)

Schéma d'implémentation d'un système tricolore intelligent sur ISIS :

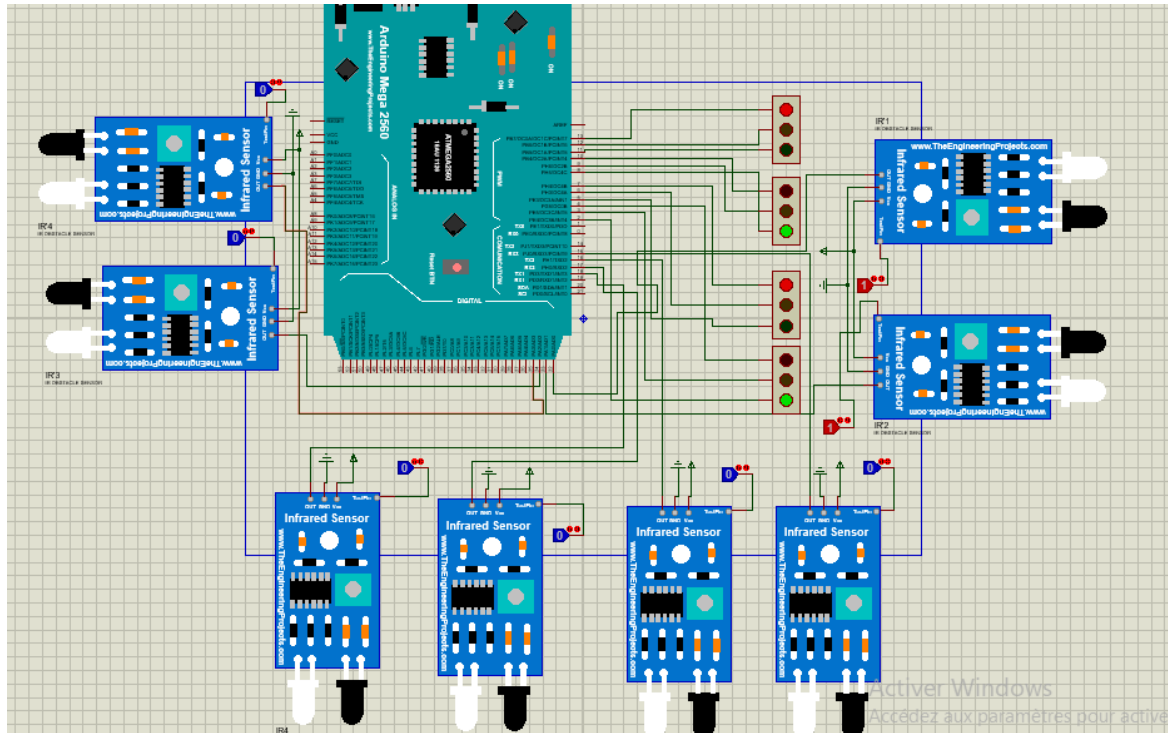


Figure 41 : Schéma d'implémentation d'un système tricolore intelligent sur ISIS

La configuration des Leds est définie dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11 : Configuration des sorties 'LEDs'

| VOIE B | | | VOIE A | | |
|------------|--------|----------|------------|--------|----------|
| Pin numéro | Mode | Fonction | Pin numéro | Mode | Fonction |
| 2 | Output | G4 | 5 | Output | G3 |
| 3 | Output | Y4 | 6 | Output | Y3 |
| 4 | Output | R4 | 7 | Output | R3 |
| 8 | Output | G2 | 11 | Output | G1 |
| 9 | Output | Y2 | 12 | Output | Y1 |
| 10 | Output | R2 | 13 | Output | R1 |

G: led vert

Y: led orange

R: led rouge

Output: sortie du microcontrôleur ARDUINO

Tableau 12 : Configuration des capteurs dans la programmation

| VOIE B | | | VOIE A | | |
|------------|-------|----------|------------|-------|----------|
| Pin numéro | Mode | Fonction | Pin numéro | Mode | Fonction |
| 16 | Input | IR2 | 15 | Input | IR1 |
| 23 | Input | IR'2 | 22 | Input | IR'1 |
| 18 | Input | IR4 | 17 | Input | IR3 |
| 25 | Input | IR'4 | 24 | Input | IR'3 |

IR1, IR2, IR3 et IR4 sont les capteurs qui se placent à l'extrémité de la route

IR'1, IR'2, IR'3 et IR'4 sont les capteurs placés au début de la route

Input entré du microcontrôleur ARDUINO

III.4 Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons commencé par réaliser le système classique de temporisation fixe du carrefour pour mieux comprendre le principe de fonctionnement et faire sortir les insuffisances de ce système à cause de l'inégalité de flux de véhicule dans les deux voies appelé A et B.

Nous terminons avec une réalisation du système intelligent basé sur capteur à infrarouge pour détecter le flux de véhicules. Les résultats de validation obtenus sont satisfaisants.

Conclusion générale

Le travail de notre projet de fin d'étude concerne la gestion intelligente d'un carrefour par des feux de tricolores. Pour pouvoir réaliser le principe souhaité nous avons choisi un exemple d'un carrefour aléatoire qui est l'intersection de deux routes.

Nous avons commencé par l'étude de la réalisation d'un système de feux de tricolores classique dont les temporisations sont fixes.

Nous avons utilisé le microcontrôleur d'Arduino comme cerveau de gestion des feux de signalisation.

Pour gérer ce carrefour de manière intelligente, nous avons besoin sur chaque voie de capteurs professionnels qui nous permettent d'effectuer un comptage des véhicules. Ce comptage nous permet de définir des temporisations variables en fonction du nombre des véhicules.

Application et fonctionnement de ces capteurs (WirelessMagnetometer) :

Ce magnétomètre sans fil est un type de capteur intégré à la chaussée qui peut également être placé sous une chaussée ou un pont.

Les applications de capteurs pour le contrôle et la gestion du trafic continuent d'évoluer. Utilisés à l'origine pour contrôle des intersections signalées, les capteurs fournissent désormais des données en temps réel pour le contrôle adaptatif des signaux de circulation, l'atténuation des embouteillages récurrents et non récurrents sur les autoroutes et la collecte d'informations sur le volume et la classification des véhicules à des fins d'utilisation et de planification des routes, entre autres applications.[37]



Figure 42 : capteur WirelessMagnetometer

Malheureusement, ces capteurs adéquats ne sont pas disponibles et on s'est limité à des capteurs d'évitement d'obstacles pour valider notre étude. Les résultats obtenus sont satisfaisants.

Nous espérons que notre projet trouve sa place réellement dans les carrefours à feux tricolores.

Comme perspective, nous proposons

Ajouté des compteurs dans notre système : placer des compteurs au début et à l'extrémité de chaque section afin de comparer le nombre des véhicules rentrant dans le carrefour par-rapport au nombre des véhicules sorties.

Autre type de capteur tels que les caméras de surveillance, et des modules de connexion comme WIFI ...etc., pour rendre un feu tricolore intelligent connecté.

BIBLIOGRAPHIE

Webographie:

[01] :

https://www.researchgate.net/publication/335928612_ETUDE_ET_SIMULATION_DES_FEUX_DE_CIRCULATION_CAS_DU_CARREFOUR_POSTE_CENTRALE_DE_YAOUNDE_CAMEROUN

[02] : <https://www.ornikar.com/code/cours/signalisation/lumineuse/feu>

[03] : <https://www.ontario.ca/fr/document/guide-officiel-de-lautomobiliste/feux-decirculation>

[04]:<https://www.scnsoft.com/blog/iot-for-smart-city-use-cases-approaches-outcomes>.

[05]:<https://enterpriseiotinsights.com/20180212/channels/fundamentals/three-smarttraffic-initiatives-north-america-tag23-tag99> nn

[06]: <https://www.cbc.ca/news/canada/toronto/smart-traffic-signals-1.4417573>

[07]: <https://miami.curbed.com/2017/7/12/15960158/miami-smart-traffic-lights>.

[08]: <https://portugalsnews.com/city-of-vienna-will-introduce-smart-traffic-lights-onthe-roads-computers/>. nn

[09]: <https://www.smartcitylab.com/blog/mobility/vienna-will-install-smart-trafficlights-that-will-recognise-when-pedestrians-want-to-cross-the-street/>

[10]: <https://dailygeekshow.com/feux-tricolores-intelligents-france/>.

[11]: <https://www.caradisiac.com/voici-le-feu-pedagogique-113670.htm>.

[12] : <https://www.letemps-dz.com/regulation-du-traffic-routier-alger-25-carrefoursintelligents-operationnels-fin-fevrier/>.

[13]:https://wiki.mdl29.net/lib/exe/fetch.php?media=robotsarduino:presentation_arduino.pdf

[13]: <https://www.locoduino.org/spip.php?article8>.

[14]:<http://scienceetudiant.blogspot.com/2015/04/arduino.html> .

[15]:<https://www.robot-maker.com/ouvrages/tuto-arduino/choisir-carte-arduinoadaptee/>.

[16]:<https://www.editionseni.fr/open/mediabook.aspx?idR=bf76cb088a2a51eabb543791cea5f592>

- [17] <https://www.gotronic.fr/art-carte-arduino-mega-2560-12421.htm?fbclid=IwAR3D4DioDEOqTZl6-ctHWS133PhlFQyb2krnp8KP9H1jiAZDSgW-mx4NZUM>
- [18] https://zestedesavoir.com/tutoriels/374/gestion-de-la-memoire-sur-arduino/?fbclid=IwAR3n3aiiGDzrT3I_YtYoa9tVQSkne38P8Mj9F1GYTUkrZmX67Y9um_fbQug
- [19] http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielUno
[caracteristique plus photos plus](#)
- [20]: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Arduino>.
- [21]: https://www.facebook.com/Arduino.TLm/?epa=SEARCH_BOX.
- [22]: http://www.mon-clubelec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielMega2560.
- [23] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Diode_%C3%A9lectroluminescente
- [24] : https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode
- [25]
: <http://www.zpag.net/Electroniques/Diode/AlimDEL.htm#:~:text=Une%20LED%20rouge%20ou%20orange,3.0%20V%20%C3%A0%203.6%20V>
- [26]: https://www.sgbotic.com/products/datasheets/sensors/IR_line_obstacle_detection.pdf.
- [27]: <https://www.amazon.fr/d%C3%A9tecteur-dobstacles-capteur%C3%A9vitement-infrarouge/dp/B07GJNK7G9>.
- [28]: <https://disciplines.actoulouse.fr/sii/sites/sii/files/ressources/didacticiels/programmation/arduino/ardublock/didacticiel-evitement-obstacle-ir.pdf>
- [29]: <https://arduino.blaisepascal.fr/presentation/logiciel-ide-arduino/>
- [30]: <https://disciplines.actoulouse.fr/sii/sites/sii/files/ressources/didacticiels/programmation/arduino/ardublock/didacticiel-evitement-obstacle-ir.pdf>.
- [31]: <https://arduino.blaisepascal.fr/presentation/logiciel-ide-arduino/>.
- [32]: http://arduino.education/wp-content/uploads/2018/01/Arduino_cours.pdf

[33]: https://zestedesavoir.com/tutoriels/686/arduino-premiers-pas-en-informatiqueembarquee/742_decouverte-de-larduino/3416_le-logiciel/.

[34]:https://disciplines.actoulouse.fr/sii/sites/sii/files/specialite_si/ressources_pedagogiques_reforme_2019/niveau_premiere_reforme_2019/sequence5a/4-tp_algorithmique.pdf.

[35]: http://www.magoie.net/coursUniv/coursUniv_146_pdf.pdf

[36] <https://www.theses.fr/2015BELF0262.pdf>

[37] <https://highways.dot.gov/public-roads/novdec-2007/new-look-sensors>

Annexe : Smart traffic light final programm

```
#define R1 13
#define Y1 12
#define G1 11
#define R2 10
#define Y2 9
#define G2 8
#define R3 7
#define Y3 6
#define G3 5
#define R4 4
#define Y4 3
#define G4 2
#define p1 15
#define p2 16
#define p3 17
#define p4 18
#define p5 22
#define p6 23
#define p7 24
#define p8 25

int IR1=0;int IR2=0;int IR3=0;int IR4=0;
int dt1=200;int dt2=500;int dt3=500;
int dt4=200;int IR10=0;int IR20=0;
int IR30=0;int IR40=0;
void setup() {pinMode(R1,OUTPUT);
pinMode(Y1,OUTPUT);
pinMode(G1,OUTPUT);pinMode(R2,OUTPUT);
pinMode(Y2,OUTPUT);pinMode(G2,OUTPUT);
pinMode(R3,OUTPUT);pinMode(Y3,OUTPUT);
pinMode(G3,OUTPUT);pinMode(R4,OUTPUT);
pinMode(Y4,OUTPUT);pinMode(G4,OUTPUT);
pinMode(p1,INPUT);pinMode(p2,INPUT);
pinMode(p3,INPUT);pinMode(p4,INPUT);
pinMode(p5,INPUT);pinMode(p6,INPUT);
pinMode(p7,INPUT);pinMode(p8,INPUT);}

void loop() {
IR1=digitalRead(p1); IR2=digitalRead(p2);
IR3=digitalRead(p3); IR4=digitalRead(p4);
IR10=digitalRead(p5); IR20=digitalRead(p6);
IR30=digitalRead(p7); IR40=digitalRead(p8);

//00010001
if(IR1==0&&IR2==0&&IR3==0&&IR4==1&&IR10==0&&IR20==0&&IR30==0&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g4 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW);digitalWrite(Y1,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW); digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);}

//01000100
else
if(IR1==0&&IR2==1&&IR3==0&&IR4==0&&IR10==0&&IR20==1&&IR30==0&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g4 high
```

```

digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW);digitalWrite(Y1,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW); digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);}

//01000101

else
if(IR1==0&&IR2==1&&IR3==0&&IR4==0&&I
R10==0&&IR20==1&&IR30==0&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g4 high

digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW);digitalWrite(Y1,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW); digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);}

//01010101

else
if(IR1==0&&IR2==1&&IR3==0&&IR4==1&&I
R10==0&&IR20==1&&IR30==0&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g4 high

digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW);digitalWrite(Y1,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW); digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);}

//00010101

else
if(IR1==0&&IR2==0&&IR3==0&&IR4==1&&I
R10==0&&IR20==1&&IR30==0&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g4 high

digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW);digitalWrite(Y1,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW); digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);}

//01010001

else
if(IR1==0&&IR2==1&&IR3==0&&IR4==1&&I
R10==0&&IR20==0&&IR30==0&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g4 high

digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW);digitalWrite(Y1,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW); digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);}

//01010100

else
if(IR1==0&&IR2==1&&IR3==0&&IR4==1&&I
R10==0&&IR20==1&&IR30==0&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g4 high

digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW);digitalWrite(Y1,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);

```

```

digitalWrite(Y3,LOW); digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);}

//10001000
else
if(IR1==1&&IR2==0&&IR3==0&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==0&&IR30==0&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);}

//00100010
else
if(IR1==1&&IR2==0&&IR3==0&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==0&&IR30==0&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);}

//10001010
else
if(IR1==1&&IR2==0&&IR3==0&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==0&&IR30==1&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);}

//10001010
else
if(IR1==1&&IR2==0&&IR3==1&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==0&&IR30==1&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);}

//00101010
else
if(IR1==0&&IR2==0&&IR3==1&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==0&&IR30==1&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);}

//10101010
else
if(IR1==1&&IR2==0&&IR3==1&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==0&&IR30==1&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);}

```



```

//00100010
else
if(IR1==0&&IR2==0&&IR3==1&&IR4==0&&I
R10==0&&IR20==0&&IR30==1&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);}

//10101000
else
if(IR1==1&&IR2==0&&IR3==1&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==0&&IR30==0&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);}

//10100010
else
if(IR1==1&&IR2==0&&IR3==1&&IR4==0&&I
R10==0&&IR20==0&&IR30==1&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH);digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);}

digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);}

//vert3 et vert1 est prioritaire
TV3=TV1=500etTV2=TV4=200TV3=TV1>TV2=
TV4
else
if(IR1==1&&IR2==0&&IR3==0&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==1&&IR30==0&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt2);
digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt1);}

else
if(IR1==1&&IR2==0&&IR3==0&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==1&&IR30==1&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);

```

```

digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt2);
digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt1);}

//10001011----
else
if(IR1==1&&IR2==0&&IR3==0&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==0&&IR30==1&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt2);
digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt1);}

//10001001
else
if(IR1==1&&IR2==0&&IR3==0&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==0&&IR30==0&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);

```

```

digitalWrite(G4,LOW);delay(dt2);
digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt1);}

//10001111

else
if(IR1==1&&IR2==0&&IR3==0&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==1&&IR30==1&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt2);
digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt1);}

//00100111

else
if(IR1==0&&IR2==0&&IR3==1&&IR4==0&&I
R10==0&&IR20==1&&IR30==1&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt2);
digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high

```

```

digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt1);}

//00101011

else
if(IR1==0&&IR2==0&&IR3==1&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==0&&IR30==1&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt2);
digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt1);}

//00101110

else
if(IR1==0&&IR2==0&&IR3==1&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==1&&IR30==1&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high

```

```

digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt2);
digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt1);}

//00100110

else
if(IR1==0&&IR2==0&&IR3==1&&IR4==0&&I
R10==0&&IR20==1&&IR30==1&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt2);
digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);

```

```

digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt1);}

//00101111

else
if(IR1==0&&IR2==0&&IR3==1&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==1&&IR30==1&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt2);
digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt1);}

//10101011

else
if(IR1==1&&IR2==0&&IR3==1&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==0&&IR30==1&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);

```

```

digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt2);
digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt1);}

//10101110

else
if(IR1==1&&IR2==0&&IR3==1&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==1&&IR30==1&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,LOW);//g3 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt2);
digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt1);}

//10101111

```

```
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt4);}

//00011001

elseif(IR1==0&&IR2==0&&IR3==0&&IR4==1&&
&IR10==1&&IR20==0&&IR30==0&&IR40==1)
{
digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt3);
digitalWrite(R1,LOW);//g1 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt4);}

//00011011

else
if(IR1==0&&IR2==0&&IR3==0&&IR4==1&&I
R10==1&&IR20==0&&IR30==1&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
```



```

digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt3);
digitalWrite(R1,LOW);//g1 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt4);}

//00011111
else
if(IR1==0&&IR2==0&&IR3==0&&IR4==1&&I
R10==1&&IR20==1&&IR30==1&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt3);
digitalWrite(R1,LOW);//g1 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt4);}

//00011101
else
if(IR1==0&&IR2==0&&IR3==0&&IR4==1&&I
R10==1&&IR20==1&&IR30==0&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt4);}

```

```

digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt3);
digitalWrite(R1,LOW);//g1 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt4);}

//01000110

else
if(IR1==0&&IR2==1&&IR3==0&&IR4==0&&I
R10==0&&IR20==1&&IR30==1&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt3);
digitalWrite(R1,LOW);//g1 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt4);}

//01001100

else
if(IR1==0&&IR2==1&&IR3==0&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==1&&IR30==0&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt3);
digitalWrite(R1,LOW);//g1 high

```



```

digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt4);}

//01001110

else
if(IR1==0&&IR2==1&&IR3==0&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==1&&IR30==1&&IR40==0)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt3);

digitalWrite(R1,LOW);//g1 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt4);}

//01001101

else
if(IR1==0&&IR2==1&&IR3==0&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==1&&IR30==0&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high

```

```

digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt3);

digitalWrite(R1,LOW);//g1 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt4);}

//01001111

else
if(IR1==0&&IR2==1&&IR3==0&&IR4==0&&I
R10==1&&IR20==1&&IR30==1&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt3);

digitalWrite(R1,LOW);//g1 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);

```

```

digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt4);}

//01010111

else
if(IR1==0&&IR2==1&&IR3==0&&IR4==1&&I
R10==0&&IR20==1&&IR30==1&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt3);

digitalWrite(R1,LOW);//g1 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt4);}

//01011101

else
if(IR1==0&&IR2==1&&IR3==0&&IR4==1&&I
R10==1&&IR20==1&&IR30==0&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);

```

```

digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt3);

digitalWrite(R1,LOW);//g1 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt4);}

//01011111

else
if(IR1==0&&IR2==1&&IR3==0&&IR4==1&&I
R10==1&&IR20==1&&IR30==1&&IR40==1)
{digitalWrite(R1,HIGH);//g2 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,LOW);
digitalWrite(R2,LOW); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,HIGH);digitalWrite(R3,HIGH);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,LOW);
digitalWrite(R4,LOW); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,HIGH);delay(dt3);

digitalWrite(R1,LOW);//g1 high
digitalWrite(Y1,LOW);digitalWrite(G1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH); digitalWrite(Y2,LOW);
digitalWrite(G2,LOW);digitalWrite(R3,LOW);
digitalWrite(Y3,LOW);digitalWrite(G3,HIGH);
digitalWrite(R4,HIGH); digitalWrite(Y4,LOW);
digitalWrite(G4,LOW);delay(dt4);}

else
// etat Classique

```

```

{
//G1 and G3 high for 500 delay V-R
digitalWrite(R1,LOW);digitalWrite(Y1,LOW);
digitalWrite(G1,HIGH);digitalWrite(R2,HIGH);
digitalWrite(Y2,LOW);digitalWrite(G2,LOW);
digitalWrite(R3,LOW);digitalWrite(Y3,LOW);
digitalWrite(G3,HIGH);digitalWrite(R4,HIGH);
digitalWrite(Y4,LOW);digitalWrite(G4,LOW);
delay(250);
//G1 and G3 and Y2 and Y4 high for 200 delayO-O
digitalWrite(R1,LOW);digitalWrite(Y1,HIGH);
digitalWrite(G1,LOW);digitalWrite(R2,HIGH);
digitalWrite(Y2,LOW);digitalWrite(G2,LOW);
digitalWrite(R3,LOW);digitalWrite(Y3,HIGH);
digitalWrite(G3,LOW);digitalWrite(R4,HIGH);
digitalWrite(Y4,LOW);digitalWrite(G4,LOW);
delay(20);
//rouge integrale
digitalWrite(R1,HIGH);digitalWrite(Y1,LOW);
digitalWrite(G1,LOW);digitalWrite(R2,HIGH);
digitalWrite(Y2,LOW);digitalWrite(G2,LOW);
digitalWrite(R3,HIGH);digitalWrite(Y3,LOW);
digitalWrite(G3,LOW);digitalWrite(R4,HIGH);
digitalWrite(Y4,LOW);digitalWrite(G4,LOW);
delay(30);
//Y1 and Y3 and G2 and G4 high for 200 delay R-
V
digitalWrite(R1,HIGH);digitalWrite(Y1,LOW);
digitalWrite(G1,LOW);digitalWrite(R2,LOW);
digitalWrite(Y2,LOW);digitalWrite(G2,HIGH);
digitalWrite(R3,HIGH);digitalWrite(Y3,LOW);
digitalWrite(G3,LOW);digitalWrite(R4,LOW);
digitalWrite(Y4,HIGH);digitalWrite(G4,LOW);
delay(20);
//rouge integrale
digitalWrite(R1,HIGH);digitalWrite(Y1,LOW);
digitalWrite(G1,LOW);digitalWrite(R2,HIGH);
digitalWrite(Y2,LOW);digitalWrite(G2,LOW);
digitalWrite(R3,HIGH);digitalWrite(Y3,LOW);
digitalWrite(G3,LOW);digitalWrite(R4,HIGH);
digitalWrite(Y4,LOW);digitalWrite(G4,LOW);
delay(30);
}
}

```