

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
ECOLE NORMALE SUPERIEUR
D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
D'EBOLOWA
DEPARTEMENT DE DE GENIE
INFORMATIQUE



REPUBLIC OF CAMEROUN

Peace – Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I
HIGHER TECHNICAL TEACHER
TRAINING COLLEGE OF
EBOLOWA
DEPARTMENT OF OF
COMPUTER ENGINEERING

**Filière
Informatique Industrielle**

**CONCEPTION ET REALISATION D'UN SYSTEME
INTELLIGENT DE GESTION OPTIMAL DU TRAFIC
ROUTIER A L'AIDE DES CAPTEURS
INFRAROUGE AUX INTERSECTIONS**

Mémoire rédigé et soutenu en vue de l'obtention du Diplôme de
Professeur d'Enseignement Technique deuxième grade (DIPET II)

Par : **NANGOU NGOUFACK Lauriale**
Ingénieur de travaux en informatique

Sous la direction de
Dr. KOUMI NGOH Simon
Maitre de conférences

Année Académique : 2019 - 2020



FICHE DE CERTIFICATION DE L'ORIGINALITE DU TRAVAIL

Je soussigne, NANGOU NGOUFACK Lauriale, atteste que le présent mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du grade de PLET en Génie Informatique, option Informatique Industrielle est le fruit de mes propres travaux effectués à l'Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique (ENSET) de l'université de Yaoundé I à Ebolowa sous la direction du Docteur KOUMI NGOH Simon, chargé de cours.

Ce travail est authentique et n'a pas encore fait l'objet d'une présentation pour l'obtention d'un diplôme universitaire.

Visa de l'auteur

NANGOU NGOUFACK Lauriale

Dédicace

A MA FAMILLE

REMERCIEMENTS

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'intervention, consciente, d'un grand nombre de personnes. Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Nous pensons notamment à :

- **Pr. Salomé NDJAKOMO ESSIANE**, Directeur de l'Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique de Yaoundé à Ebolowa, pour le cadre convivial qu'ils ont mis à notre disposition ;
- **Dr. OLLE OLLE Daniel**, chef de département du Génie Informatique, qui nous a apporté ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail ;
- **Dr KOUMI Simon**, notre encadreur qui nous a permis de bénéficier de son expérience, de ses précieux conseils et surtout de sa grande disponibilité ;
- Ma grande famille pour le soutien indéfectible dont elle a fait part à mon égard ;
- Ma famille **ZEBAZE** ;
- Tous les enseignants du département du génie informatique ;
- **M. SIGHA NDACHIMOUKOU Josué** électronicien, qui a bien voulu nous épauler pour la conception du dispositif ; sa grande connaissance dans le domaine, ainsi que son expérience, ont joué un rôle important dans la conception du dispositif ;
- Tous mes camarades de l'ENSET EBOLOWA, en particulier à ceux du département informatique filière informatique industrielle niveau 5 ;
- **DAKA Magellan Paul**, une personne très chère à mon cœur qui m'a beaucoup soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce travail ;
- Toutes les personnes qui ont œuvré de près ou de loin dans l'accomplissement de ce mémoire.

TABLE DE MATIERES	
FICHE DE CERTIFICATION DE L'ORIGINALITE DU TRAVAIL.....	
Erreur ! Signet non défini.	
DEDICACE.....	iii
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DE MATIERES.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES ABREVIATIONS.....	vii
RESUME.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LE TRAFIC ROUTIER ET LES FEUX DE SIGNALISATION.....	3
I. GENERALITES SUR LES FEUX DE SIGNALISATION.....	3
1. Historique des feux de signalisation.....	3
2. Généralités sur le trafic routier.....	8
II. PRESENTATION DE QUELQUES TECHNOLOGIES.....	10
1. La technologie utilisant les programmeurs cycliques à arbre à cames.....	10
2. La Technologie utilisant les capteurs.....	10
3. La Technologie utilisant l'automate programmable.....	10
III. LES SYSTEMES DE TRANSPORT INTELLIGENTS (STI).....	11
1. Présentation de quelques modèles de références.....	11
2. Limites des approches de référence.....	14
CONCLUSION.....	15
CHAPITRE 2 : CONCEPTION DE LA SOLUTION.....	16
I. SYNOPTIQUE DE LA SOLUTION.....	16
II. DESCRIPTION DES OUTILS CONSTITUANT LE SYSTEME.....	17
1. Le hardware.....	17
2. Software.....	27
III. DESCRIPTION DE LA SOLUTION PROPOSEE.....	30
CONCLUSION.....	31
CHAPITRE 3 : IMPLEMENTATION ET RESULTATS.....	32
I. REALISATION ET SIMULATION DE LA MAQUETTE.....	32
1. Organigramme du programme.....	33

2. Réalisation et simulation de la maquette sous PROTEUS /ISIS.....	35
II. REALISATION ET PRESENTATION PRATIQUE DU PROTOTYPE.....	41
1. Réalisation pratique.....	41
2. Tests du système et présentation des résultats.....	42
III. INTERPRETATION DES RESULTATS.....	44
1. Discussion.....	44
2. Difficultés rencontrées.....	44
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	45
REFERENCES.....	46
ANNEXES.....	48

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : premier feu bicolore électrique de l'histoire à Salt Lake City ([4])	4
Figure 2 : Premier feu tricolores et à 4 faces à Détroit ([4])	4
Figure 3 : système de signalisation tricolore en forme de T ([4])	5
Figure 4 : Commande manuelle pour piétons pont des arts, 1930([4]).....	5
Figure 5 : Premier contrôleur électromécanique S.E.A Deloge ([4]).....	6
Figure 6 : premier radar feu rouge à Lyon ([4]).....	6
Figure 7 : feux mixtes piétons/vélos ([4])	7
Figure 8 : Synoptique globale du système	16
Figure 9 : Schéma de la Carte Arduino Uno	18
Figure 10 : Schéma de la Carte Arduino Méga.....	20
Figure 11 : Boucle électromagnétique ([20])	22
Figure 12 : Schéma d'un capteur ultrason.....	22
Figure 13 : Schéma d'un capteur émetteur-récepteur Infrarouge	23
Figure 14 : Capteur vidéo TrafiCam x-stream ([21]).....	24
Figure 15 : Logigramme de choix des détecteurs ([22])	25
Figure 16 : Schéma d'une LED.....	26
Figure 17 : Schéma de l'ULN	27
Figure 18 : Espace de travail du logiciel ISIS ([24]).....	28
Figure 19 : Espace de travail du logiciel ARES ([25])	28
Figure 20 : Vue de l'environnement IDE Arduino	29
Figure 21 : Illustration du principe de détection et de comptage des véhicules.....	30
Figure 22 : Schéma synoptique de la solution proposée (Sources : Auteur).....	31
Figure 23: Organigramme du programme de notre solution.....	35
Figure 24: Alimentation : à gauche 12V/2A et à droite 5V/1A	35
Figure 25: Circuit utilisé pour simuler un capteur émetteur-récepteur infrarouge	35
Figure 26: schéma d'une signalisation lumineuse du système.....	36
Figure 27: schéma de la signalisation sonore du système	36
Figure 28: schéma globale 1ère partie.....	38
Figure 29: schéma globale 2eme partie.....	38
Figure 30: schéma globale 3ème partie.....	39
Figure 31: simulation de système matériel en fonctionnement normal	39
Figure 32: simulation de système matériel en fonctionnement anormal (rond-point saturé)...	40
Figure 33: simulation de système matériel en fonctionnement intelligent (tient compte du nombre de véhicule par voie).....	40
Figure 34: Schéma du test des composants	41
Figure 35: schéma de montage des capteurs	41
Figure 36: schéma du montage global du système.....	42
Figure 37: Schéma de fonctionnement normal des feux	42
Figure 38: Schéma de fonctionnement intelligent des feux	43
Figure 39: Schéma de fonctionnement anormal des feux	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Evolution du parc automobile national entre 2005 et 2009	2
Tableau 2 : Récapitulatif des différents modèles	14

LISTE DES ABREVIATIONS

Sigles	Significations
CAO	Conception Assisté par Ordinateur
CIGT	Centres d'Ingénierie et de Gestion du Trafic
CHU	Centre Hospitalier Universitaire
CUY	Communauté Urbaine de Yaoundé
EEPROM	Erasable Electrically Programmable Random Access Memory
EMIA	Ecole Militaire Inter Armée
IR	Infra-Rouge
LED/DEL	Light Emetting Diode / Diode Electroluminescente
MOVA	Microprocessor Optimized Vehicule Actuation
PWM	Pulse Width Modulation
SCART	Sydney Coordinated Adaptive Traffic System
SCOOT	Split Cycle and Offset Optimization Technique
S.E.A	Signalisation Electro-Automatique
SRAM	Static Random Access Memory
STI/ITS	Systèmes de Transport Intelligent/ Intelligent Transportation System
TRANSYT	Traffic Network Study Tool

RESUME

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous proposons de concevoir un outil permettant de gérer les flux de trafic en temps réel au niveau des intersections. Ce travail consiste à mettre sur pied un système intelligent de comptage de véhicules à l'aide de la technologie infrarouge en permettant la gestion de la durée d'un feu en fonction de la densité du trafic de ladite intersection, et en alertant par un signal sonore au cas où le niveau du rond-point serait saturé de véhicules immobiles. Ce système de gestion du trafic en temps réel est constitué de deux capteurs présents sur chaque voie sur une distance bien définie et de quatre capteurs présents au niveau du rond-point. Ces-dits capteurs émettent périodiquement des rayons infrarouges permettant la détection des véhicules en approche d'une intersection. Ainsi, à chaque instant l'on connaît le nombre de véhicules présents sur la distance définie. Pour y parvenir, nous avons utilisé le logiciel de simulation Proteus pour faire le montage électronique et le logiciel Arduino pour programmer le microcontrôleur avec ses différentes fonctionnalités. C'est cette programmation qui confère à ce système tout son dynamisme ; car elle permet d'attribuer un temps variable au feu vert en fonction du taux d'occupation de chaque voie. Notre prototype réalisé s'appuie sur notre maquette.

Mots clés : régulation du trafic, capteurs, temps d'attente.

ABSTRACT

Traffic lights have been created in order to manage the circulation of road users (cars and people) at the level of intersections/junctions thus ensuring the fluidity of traffic and preventing accidents. Due to the great variability of traffic, the existing traffic management systems in Cameroon have been proven to be ineffective, obliging a policeman to station himself to ensure the regulation of the circulation manually. In regards to this end of year memory, we proposed to ourselves the conception of a tool enabling the management of traffic flows in real time at the level of the intersection. This work consists rendering traffic management dynamic in a three-colored junction. This system of traffic management in real time is made-up of two sensors located on each way on a well-defined distance. These sensors periodically emit infrared rays enabling the detection of vehicles present at a precised distance is instantly known. To achieve this, we have used the software Proteus to do the electronic set-up containing all the components which will serve at the implementation of the system and next to generate the artwork. The software menu Arduino Mega on its part, helped us at programming the microcontroller with its different functionalities. It is the programming which gives this dynamism; for it permits the assignation of a variable time period to the green light depending on the occupational rate of each way. The much appreciated results of the proposed in simulation have been very useful at the implementation of an advanced lay-out promoting the reduction of drivers' waiting time at junctions.

Keywords : Traffic regulation, sensors, waiting time

INTRODUCTION

Depuis l'invention de l'automobile, le nombre de véhicules en circulation n'a cessé d'augmenter. Pour des raisons évidentes de sécurité, il a fallu rapidement mettre en place des mécanismes pour réglementer la circulation au niveau des intersections. Les feux de circulation constituent le moyen le plus répandu, utilisé pour gérer les flux des automobiles et des personnes aux intersections en zone urbaine. Leur rôle est de rendre fluide les déplacements des automobilistes et de rendre ceux-ci le plus sécuritaire possible en prévenant les accidents entre véhicules et impliquant des piétons. Depuis quelques temps, la gestion de la circulation en général et celle des feux de circulation en particulier ont grandement évolué suite à l'avènement des STI.

Les STI sont les applications des nouvelles technologies de l'information et de la communication au domaine des transports [1]. On les dit "Intelligents" parce que leur développement repose sur des fonctions généralement associées à l'intelligence : capacités sensorielles, mémoire, communication, traitement de l'information et comportement adaptatif. Ces systèmes permettent, à l'aide de différents types de détecteurs, de déceler la présence de véhicules à une intersection et de recueillir en temps réel plusieurs informations : la vitesse de véhicules, la distance entre deux véhicules, le nombre de véhicules, etc.

Au Cameroun, l'un des aspects le plus marquant du transport routier est l'augmentation du parc automobile (voir Tableau 1). Cependant, malgré tous les efforts consentis par les pouvoirs publics en matière de développement qui se traduisent par la construction des routes dans le domaine des transports, fort est de constater que le problème de la congestion du trafic aux intersections des routes reste toujours d'actualité ; c'est le cas par exemple de l'intersection DOLCE VITA de Yaoundé qui fait objet de notre étude. Cette mauvaise gestion du temps au niveau des feux d'intersection impacte plusieurs secteurs d'activités. Cela se manifeste au quotidien sur plusieurs secteurs.

Sur le secteur économique, nous avons pour coutume de dire « le temps c'est de l'argent ». Donc une perte de temps est égale à une perte d'argent. C'est dans ce sens qu'un ralentissement des approvisionnements des industries en zone urbaine engendrait des pertes énormes d'argent.

Sur le secteur social, elle est à l'origine des comportements irrespectueux à l'instar des tensions entre les automobilistes. Ces tensions sont elles-mêmes dues à une perte d'argent qui est liée à une perte de temps. Ces différents comportements irrespectueux les exposent à des éventuels accidents.

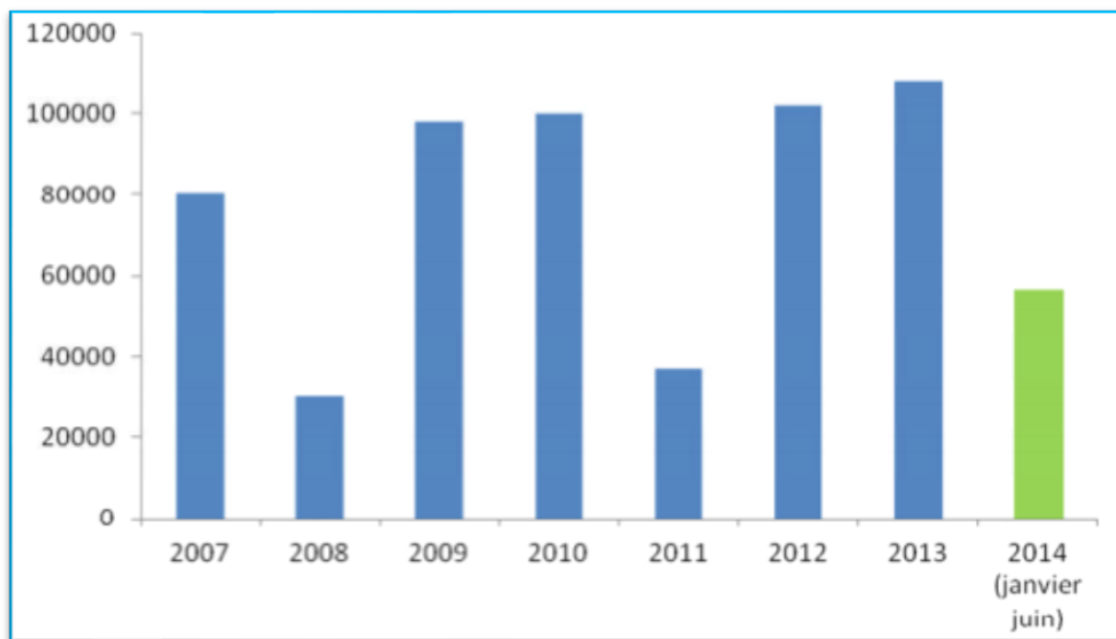
Sur le secteur environnemental, la stagnation prolongée des véhicules sur un tronçon occasionne d'important dégagement des gaz d'échappement ce qui contribue davantage à détruire la couche d'ozone.

Cette congestion ressentie au niveau des différentes intersections relève de l'inefficacité du système de régulation du trafic routier existant au Cameroun, ce qui oblige le policier à devoir se positionner pour assurer la régulation manuellement de la circulation. C'est donc dans ce cadre d'idée que s'inscrit notre projet de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme de

professeurs d'enseignement technique, qui a pour thème : « **Conception et réalisation d'un système de gestion de trafic routier à l'aide des capteurs Infrarouge aux intersections** » et dont la problématique est de fluidifier la congestion du trafic routier au niveau des intersections.

Notre objectif étant de mettre sur pied un système intelligent permettant la gestion de la durée d'un feu de signalisation en fonction de la densité du trafic routier de ladite intersection en temps réel, pour l'atteindre, notre travail a été divisé en trois chapitres et présentés comme suit : Tout d'abord le premier chapitre intitulé « **Généralités sur les feux de signalisations et le trafic routier** », ici nous nous appesantirons sur les généralités sur les feux de circulations, sur la revue de littérature sur le plan technologique tout en relevant éventuellement à chaque fois les insuffisances /faiblesses de chaque technologie. Le deuxième chapitre en suite, se nommé « **Conception de la solution** », il s'agira de présenter les principaux composants (hardware et software) qui constituent notre système, leurs caractéristiques et leurs principes de fonctionnement. Et enfin le troisième chapitre s'intitule « **Implémentation et résultats** » où nous décrirons de manière technique notre système suivi des différentes étapes de réalisation et où nous présenterons les résultats obtenus suite à notre simulation.

Tableau 1 : Evolution du parc automobile national entre 2009 et 2014



Sources : Ministère des Transports Direction des transports terrestres et Institut National de la Statistique

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LE TRAFIC ROUTIER ET LES FEUX DE SIGNALISATION

Dans ce chapitre, il sera question pour nous de présenter l'historique des feux de signalisation en général dans le monde et en particulier dans le Cameroun, et de leurs modes de fonctionnement. Nous présenterons quelques technologies et limites utilisés dans la gestion du trafic routier.

I. GENERALITES SUR LES FEUX DE SIGNALISATION

Un feu de signalisation routier est un dispositif permettant la régulation du trafic routier entre les usagers de la route, les véhicules et les piétons. L'emploi des feux de circulation a pour but d'assurer la sécurité de tous les usagers de la voirie, piétons et conducteurs, et de faciliter l'écoulement des flux de circulation denses. On peut citer comme exemples d'emploi [2] :

- La gestion de la circulation aux intersections ;
- La traversée des piétons, au niveau des intersections ;
- L'exploitation par sens uniques alternés d'une section où le croisement est impossible ou dangereux (ouvrage d'art étroit, emprise de travaux, etc.) ;
- L'affectation de certaines voies d'une chaussée à un sens de circulation en fonction des besoins, ou pour leur condamnation momentanée ;
- Le contrôle d'accès à certaines voies rapides ;

Les feux destinés aux véhicules à moteurs sont généralement de type tricolore, auxquels peuvent s'ajouter des flèches directionnelles. Auparavant, les feux de signalisation étaient commandés de façon manuelle ; avec l'évolution des technologies, nous sommes passés du manuel à l'automatique.

1. Historique des feux de signalisation

1.1 Dans le monde

Bien qu'il existe très peu de sources historiques sur les signaux routiers en générale et en particulier sur les feux de signalisation, il y'a lieu de noter que c'est l'afro-américain **Garrett Morgan** qui est considéré comme le père du feu de signalisation moderne [3].

Le premier feu de signalisation du monde fut installé le 10 décembre 1868 sur la place du Parlement à Londres, près du palais de Westminster, par l'ingénieur spécialiste de la

signalisation ferroviaire **J. P. Knight** [4]. Ce nouvel appareil est implanté à l'intersection de Georges et Bridge Street, afin de réguler la circulation des chariots, boguets et piétons. Un agent de police placé au pied du mât tourne une manivelle pour actionner le mécanisme permettant de faire pivoter les bras sur lesquels sont inscrites les mentions "STOP" et "PRUDENCE" [4]. L'invention si prometteuse sera un échec. Il faudra attendre 40 ans pour qu'un nouveau feu de signalisation électrique soit installé à Londres. En 1912, les américains installent le premier feu bicolore électrique de l'histoire à Salt Lake City (figure 1). Invention de **Lester Wire**, officier de police de la ville.



Figure 1 : premier feu bicolore électrique de l'histoire à Salt Lake City ([4])

En 1920, l'officier de police américain William Potts installe à Detroit le premier feu à trois couleurs et à 4 faces. Un exemplaire original est exposé au musée Henry Ford de Detroit (voir figure 2).



Figure 2 : Premier feu tricolores et à 4 faces à Détroit ([4])

En 1923, l'américain **Garett Morgan** fait breveter un système de signalisation tricolore en forme de T (voir Figure 3).



Figure 3 : système de signalisation tricolore en forme de T ([4])

En 1924, on assiste à l'installation du premier contrôleur électromécanique à Paris permettant d'enchaîner de façon automatique les cycles des feux du carrefour de boulevard de Strasbourg et des Grands Boulevards.

Les premiers dispositifs à l'intention de la traversée des voies par les piétons apparaissent au début des années 1930. En 1930, le préfet de paris **Jean CHIAPPE**, donne son autorisation pour l'installation d'une commande manuelle à destination des piétons. Cette nouvelle installation est ainsi décrite : "**quand un passant pressé voudra traverser la chaussée, il n'aura qu'à appuyer sur un bouton, une lampe rouge s'allumera et les voitures devront stopper pour permettre à l'isolé de circuler**". La traversée piétonne du Pont des Arts sera la première à être équipée d'un système de bouton poussoir (voir figure 4) permettant aux piétons de commander l'arrêt des voitures à partir du 11 février 1930. Ce dispositif se révélera très efficace, mais peu de piétons prendront l'habitude de l'utiliser. Le comité de la circulation de la ville de Paris décide alors en 1932 d'étendre ces dispositifs à d'autres carrefours.



Figure 4 : Commande manuelle pour piétons pont des arts, 1930([4])

En 1947, le constructeur S.E.A. Deloge invente le tout premier contrôleur électromécanique (voir figure 5).



Figure 5 : Premier contrôleur électromécanique S.E.A Deloge ([4])

En 1968, on assiste à l'apparition de figurines piétonnes en France. Dix ans plus tard, le premier contrôleur de carrefour à micro-processeurs mis au point par S.E.A. Deloge voit le jour [4].

En 1987, la diode électroluminescente (DEL) fait son apparition dans les feux tricolores, chez les constructeurs Silec et Théry Hindrick.

En 2009, mise sur le marché des feux de nouvelle génération Alumix 2 qui sont équipés des radars. C'est ainsi qu'on assiste à l'installation du premier feu à Lyon (Voir figure 6).



Figure 6 : premier radar feu rouge à Lyon ([4])

En 2014, Le Royaume-Uni expérimente les répéteurs vélos. Puis, on assiste à Strasbourg à l'expérimentation de décompteurs piétons et de feux mixtes piétons/vélos (voir figure 7).



Figure 7 : feux mixtes piétons/vélos ([4])

1.2 Au Cameroun

Au Cameroun, les premiers feux tricolores apparaissent dans les années 70. A cette époque, la technologie utilisée était basée sur les commandes à relais d'horloge à gauche et à droite. Cette technologie a très vite montré ses limites face à la densité de la population et l'augmentation rapide du parc automobile. Dans l'intervalle 1980 à 1990, c'est l'électronique qui mène la danse avec l'intégration de la boucle magnétique et d'un contrôleur à distance dans quelques carrefours à feux. Après cette période, on assiste à une crise économique qui se manifeste par la chute des investissements publics. En conséquence, certaines installations des feux de signalisation font face à l'usure du temps et sont très vite abandonnées faute d'entretien. Entre 1994 et 2006, une nouvelle technologie domine le marché ; c'est celle utilisant les programmeurs cycliques à arbre à came. Ainsi, à partir de 2006, huit carrefours sont réhabilités à savoir la Poste centrale, CCF, Brasserie, Mokolo Sapeur, CHU, WARDA, EMIA, Bata Nlongkak. D'autres sont aménagés dont celui de la Province, Olézoa, rond-point Nlongkak, Tongolo, vallée, Mokolo et Mont Fébé. Auparavant, c'est le Ministère de l'Eau et de l'Energie (MINEE) qui était chargé de la pose, de l'entretien et de réhabilitation des feux au Cameroun. En 2006, la loi portant sur la décentralisation a conféré cette tâche à la Communauté Urbaine de Yaoundé (CUY) pour le cadre de la ville en question. Pour la mise en œuvre de ce vaste chantier, la CUY fait appel à un prestataire du nom de MMMCHIMIE pour les travaux d'entretien de ces derniers jusqu'au début de l'année 2012. Au courant de la même année, l'entreprise MMMCHIMIE se fera remplacer par une autre dénommée CEGELEC qui détiendra le monopole durant plus de deux années. Depuis 2015, l'on retrouve principalement deux entreprises sur le terrain à savoir CEGELEC et SATELEC.

Au plan technologique, le Cameroun n'est pas resté à la traîne. C'est ainsi qu'à présent on retrouvera en lieu et place des feux tricolores basés sur la technologie utilisant les arbres à came pour leur fonctionnement, des feux dotés d'une intelligence concentrée sur un contrôleur d'un type particulier dénommé « Automate Programmable » du constructeur AXIMUM-Produits électroniques (voir Annexe 1). Ce nouveau système est capable d'offrir une grande flexibilité quant à la gestion du trafic routier mais qui jusqu'ici est malheureusement sous-exploité.

Principe de fonctionnement des feux de signalisations

Lorsque le volume de la circulation excède la capacité d'une intersection à quatre panneaux d'arrêt, il faut songer à installer des feux. Les critères qui gouvernent l'installation de feux sont basés sur :

- Le volume des voitures et des piétons traversant un carrefour ;
- Les retards subis par les véhicules et les piétons en provenance des rues transversales ;
- Le nombre de collisions à ce carrefour.

Un système de feux bien ajusté peut augmenter considérablement le nombre de véhicules traversant une intersection pour améliorer la sécurité des piétons et des voitures. Les feux sont généralement déclinés à partir de deux couleurs de base : le rouge pour fermer, le vert (ou encore le bleu plus rarement) pour ouvrir. Le jaune-orangé est également utilisé et sert à signaler le passage du feu vert au feu rouge (et aussi, dans certains pays, du feu rouge au feu vert).

Aux intersections, un feu tricolore de couleur Rouge indique que toutes les usagères et tous les usagers de cet axe doivent s'arrêter à proximité immédiate du feu, en général sur une ligne, tracée au sol du feu de signalisation pour les automobilistes et les cyclistes ou matérialisée par un trottoir pour les piétons. Ceci laisse le temps à différents usagers de passer en évitant de bloquer certaines voies de circulation.

Il existe trois principales séquences de feux.

- Feux de signalisation à trois états
 - **Rouge** : « Tout conducteur doit marquer l'arrêt absolu devant un feu de signalisation rouge, fixe ou clignotant. »
 - **Vert** : « Les feux de signalisation verts autorisent le passage des véhicules » ;
 - **Orange** ou **Jaune** : « Tout conducteur doit marquer l'arrêt devant un feu de signalisation. **Orange** ou **Jaune** fixe, sauf dans le cas où, lors de l'allumage dudit feu, le conducteur ne peut plus arrêter son véhicule dans des conditions de sécurité suffisantes. ».
- Feux de signalisation à quatre états : Le deuxième état, **Orange** ou **Jaune** bref sans extinction du **Rouge**, permet aux conducteurs de se préparer à démarrer mais n'autorise pas le passage.
- Feux de signalisation à cinq états : L'état supplémentaire, **Vert** clignotant entre les états du **Vert** et **Orange** ou **Jaune**, prévient la fin de l'état **Vert**.

2. Généralités sur le trafic routier

Les centres d'ingénierie et de gestion du trafic. Les réseaux routiers urbains sont gérés par des centres d'ingénierie et de gestion du trafic (CIGT). Le rôle de tels organismes, généralement attachés à une zone géographique bien particulière, est de coordonner au mieux les différents éléments routiers, et de faire face aux situations de la vie de tous les jours (travaux, accidents, gestion du trafic routier et des pics, etc.). Ces centres, instaurés à la fin des années 90 en France ([5]), possèdent généralement un centre de contrôle permettant la manœuvre d'un

ensemble de technologies placées sur le terrain. Ces systèmes sont au centre d'une infrastructure urbaine. Citons, par exemple, le P.C Lutèce situé au cœur de Paris, qui analyse environ 2000 équipements en quasi-temps réel ([6]). Les missions des CIGT sont multiples : recueillir les données en provenance directe des routes afin de remplir un rôle de superviseur et d'agir en cas de problème, gérer le trafic en cas d'imprévu, informer les usagers, assurer le suivi des événements et, d'une manière générale, s'assurer du maintien et du bon fonctionnement de l'ensemble des équipements du réseau. Remarquons que dans les pays anglo-saxons, la gestion du trafic est généralement divisée en plusieurs domaines et est gérée par des organismes tels que l'Institute of Transportation Engineers en charge des aspects suivants : caractéristiques du trafic, planification des transports, conception des infrastructures, contrôle, et maintenance organisationnelle / administrative / matérielle ([7, 8, 9]).

Le trafic routier suscite un vif intérêt scientifique depuis plus d'une soixantaine d'année. Il est important de décrire très trivialement le trafic routier comme étant le processus de transport depuis une origine et vers une destination par le moyen des infrastructures routières en opposition à l'aérien, au ferroviaire, au fluvial ou au maritime. Le processus de transport se définit alors comme étant le parcours d'un chemin donné, permettant de relier l'origine à la destination. Le trafic routier résulte alors de la somme de comportement individuels des usagers cherchant à rejoindre chacun leur destination, depuis leur point d'origine sur un réseau donné.

Gestion du trafic, sécurité et environnement

En voirie urbaine, les feux tricolores permettent de réguler et sécuriser les flux denses de véhicules rapides, à condition d'être utilisés et réglés avec pertinence.

➤ Avantages

- En imposant l'arrêt total aux usagers susceptibles de croiser leur trajectoire, les feux de circulation sont supposés permettre aux usagers observant le feu vert de franchir en toute sécurité et à une vitesse inférieure à la vitesse maximale autorisée les intersections de voirie.
- Idéalement, la synchronisation adéquate des feux sur un axe de circulation permet de créer des « ondes vertes » qui facilitent la traversée rapide de zones urbaines.
- La réduction des cycles freinage - arrêt - accélération améliore le confort de conduite et réduit la consommation de carburant.
- Sur des axes rapides à fort trafic, ils facilitent et sécurisent l'insertion des véhicules provenant d'axes secondaires et la traversée des piétons.

➤ Inconvénients

- Le feu de circulation peut parfois donner un faux sentiment de sécurité, alors qu'un tiers des accidents urbains se produisent au franchissement de feu rouge.

- Les feux de circulation sécurisent le franchissement d'une intersection à plus de 30 km/h, et des accidents graves peuvent survenir s'ils ne sont pas observés correctement.
- De plus, les feux en phase verte incitent les usagers à rouler en survitesse pour franchir l'intersection avant la fin de la phase verte, ce qui accroît l'insécurité des usagers plus lents (ex. cyclistes), les nuisances sonores et la consommation d'énergie.

II. PRESENTATION DE QUELQUES TECHNOLOGIES

Parmi les évolutions technologiques il faut noter celles liées au temps de transit au niveau des intersections à savoir la technologie à arbre à came, et les détecteurs de présence permettant le comptage.

1. La technologie utilisant les programmeurs cycliques à arbre à cames

C'est une technologie encore en vigueur au Cameroun, elle consiste à attribuer de manière statique le temps de passage du vert de l'orange et du rouge à des intervalles de temps fixe ne tenant pas en compte la variabilité du trafic au cours du temps. Mais le temps de transit des automobiles peut être élevé dans la mesure où le contrôleur ne tient pas compte de la présence ou non des véhicules sur les différents axes mais leur accorde le même temps de manière cyclique.

2. La Technologie utilisant les capteurs

Cette technologie permet de déceler la présence des véhicules arrivant à une intersection sur une certaine distance du feu et de transmettre plusieurs informations (nombre de véhicules, espace entre deux véhicules, vitesse, taux de dégagement des particules, etc.) à un contrôleur, afin de réguler le trafic. Le capteur le plus utilisé est la boucle à induction magnétique. Cependant, cette boucle présente un réel inconvénient dans la mesure où sa mise en œuvre nécessite d'importants travaux de génie civil car elle est placée sous la chaussée.

3. La Technologie utilisant l'automate programmable

C'est une technologie possédant une grande flexibilité d'utilisation car elle peut être utilisée suivant plusieurs modes. Suivant le mode statique ou traditionnel, ici le contrôleur se comportera comme celui utilisant un programmeur cyclique à arbre à came à la seule différence qu'ici, un programme est introduit au niveau de l'automate pour le contrôle des feux. Suivant le mode adaptatif ou temps réel, le contrôleur tiendra compte de l'extrême variabilité du trafic et agira en conséquence. Au Cameroun, cette technologie est en cours d'installation et est utilisée suivant le mode statique.

Il ressort que les feux de signalisation traditionnels à eux seuls ne suffisent pas pour assurer la régulation du trafic. Pour faire face à ce problème, les spécialistes du domaine ont doté ceux-ci des outils de détection plus connu sous le nom de capteur. Dès lors, on parle de systèmes de transport intelligent (STI).

III. LES SYSTEMES DE TRANSPORT INTELLIGENTS (STI)

L'arrivée des systèmes de transport intelligents (STI) a relancé l'étude de la gestion des feux de circulation en permettant l'utilisation de l'information sur l'évolution de l'état de la circulation aux carrefours. Ceci a amené la possibilité d'optimiser les décisions de commutation à un carrefour donné en fonction de ces informations. L'apport des STI a permis l'échange des informations au sein d'un carrefour ou d'un ensemble de carrefour (réseau) offrant ainsi un éventail de possibilités pour la gestion de la circulation en fonction des conditions du trafic.

Les premiers détecteurs de conditions de trafic en temps réel utilisés pour gérer les feux de circulation étaient sonores et ont été introduits dès 1927 [10]. Afin d'être décelés et d'avoir du temps de vert, les véhicules devaient klaxonner en arrivant au carrefour. Cette méthode n'était utilisée que lorsque la circulation des flux était faible. Depuis cette époque, les détecteurs ont évolué et on retrouve maintenant aux carrefours des réseaux équipés de STI des boucles à détection magnétique, à détection photoélectrique, à détection infrarouge, ainsi que les détecteurs vidéo. Ces appareils permettent de recueillir l'information sur le déplacement des véhicules et ainsi prévoir leur déplacement futur. On peut donc envisager d'utiliser ces informations afin d'améliorer la gestion des carrefours.

Les systèmes de feux adaptatifs et semi-adaptatifs sont tous deux des systèmes qui utilisent des données en temps réel. Ces systèmes peuvent détecter la présence de véhicules d'un flux donné dans un carrefour et leur donner priorité au vert. Un système adaptatif détecte les véhicules sur tous les flux du carrefour et peut donc s'ajuster à la demande sur l'ensemble du carrefour. Le système semi-adaptatif n'a des détecteurs que sur les artères principales. Il ne s'ajuste donc qu'à la demande de ces derniers. Les artères secondaires ayant une demande moins élevée ne sont généralement pas équipées de détecteurs. Leur temps de vert sera donc ajusté en fonction des conditions observées dans les artères principales et non des leurs, ce qui peut réduire la fluidité de la circulation pour ces approches.

1. Présentation de quelques modèles de références

Plusieurs modèles de gestion des feux de circulation ont été commercialisés. Ceux-ci utilisent soit des capteurs qui déterminent la position des véhicules en temps réel, soit une méthode qui permet de simuler le déplacement des véhicules ou bien les deux. L'objectif de cette section est de présenter quelques modèles parmi les plus répandus dans le monde.

1.1 Traffic Network Study Tool (TRANSYT)

TRANSYT est le premier modèle à être commercialisé [11]. C'est un modèle à temps fixe qui fonctionne avec des données historiques et suppose que les débits sont constants. Il permet l'optimisation des décalages et de la répartition des durées de vert. Le cycle est, dans ce cas, une donnée qui est commune à chaque carrefour du réseau. Le module d'optimisation, cherche à minimiser un indice de performance. Cet indice est une fonction de la somme de tous les véhicules à l'arrêt sur l'ensemble des intersections considérées ainsi que la somme du nombre moyen de véhicules dans les files d'attente pour chaque flux à chaque intersection. Le modèle utilise un histogramme de flux qui permet d'évaluer les déplacements des véhicules selon une fonction de dispersion. La méthode consiste à déterminer le décalage optimal d'un

carrefour en considérant que les décalages des autres carrefours sont fixes. Une fois un carrefour optimisé, on passe au prochain carrefour en considérant encore une fois que les décalages des autres carrefours sont fixes pour cette « itération » et ainsi de suite. La même méthode est utilisée pour la durée de vert. La solution optimale est trouvée en utilisant une méthode de descente.

Cette méthode consiste à passer d'une solution à une autre en vérifiant si la nouvelle solution est meilleure que la solution précédente. Si oui, on l'adopte, sinon on passe à la prochaine itération. Plusieurs solutions incluant un plan de feux et des décalages sont construites pour différentes périodes de la journée et les degrés de saturation leur correspondant. Ceux-ci sont emmagasinés dans des bibliothèques. Une solution optimale est ensuite sélectionnée dans les bibliothèques soit par commutation manuelle, soit par la programmation horaire ou en analysant le degré de saturation de l'état réel des carrefours du réseau et en implantant le plan de feux et le décalage « optimal » obtenu pour les conditions de circulation les plus proches de celles observées.

1.2 Split Cycle and Offset Optimization Technique (SCOOT)

SCOOT a été développé entre 1972 et 1980 [2]. C'est un système adaptatif qui permet l'optimisation en temps réel de la répartition des temps de vert, des **temps de cycle** ainsi que des décalages de feux de circulation à l'intérieur d'un réseau. Les capteurs utilisés dans ce cas sont des boucles magnétiques situées en amont du carrefour. L'emplacement des capteurs est un aspect primordial au bon fonctionnement du réseau mais qui dépasse largement le cadre de ce mémoire. Nous ne le traiterons donc pas ici et ne ferons pas la recension de la littérature scientifique traitant de cette question. Le débit et la durée d'occupation des véhicules aux carrefours proviennent des capteurs et cette information est mise à jour quatre fois par seconde. La durée d'occupation des véhicules est tout simplement une donnée qui permet d'estimer le nombre moyen de véhicules en arrêt et permet ainsi de prédire, avec l'état du plan de feux ainsi que de la vitesse à laquelle la file d'attente se décharge, si la file d'attente est sous-estimée. L'information provenant des capteurs est utilisée afin de générer un histogramme de flux [12] qui est en fait une prédiction du comportement des véhicules afin de gérer les feux en tenant compte des véhicules déjà dans le carrefour. L'histogramme permet d'estimer les files d'attente, les arrêts et les retards des véhicules.

SCOOT se base sur une division du réseau en plusieurs zones disjointes. Le nombre total de carrefours pouvant être traité est cependant limité. Le cycle des carrefours à l'intérieur de chaque zone est identique. SCOOT prédit les retards et les arrêts des véhicules en utilisant l'information des capteurs. La fonction objective du module d'optimisation est un indice de performance que l'on définit comme étant la somme pondérée des deux facteurs suivants : le nombre de véhicules arrêtés sur tous les flux du carrefour et la longueur de la file d'attente sur tous les flux. Deux constantes sont utilisées afin de pondérer la somme des véhicules arrêtés et la proportion du temps d'un cycle où les détecteurs sont occupés. Les détecteurs sont dits « occupés » lorsqu'ils détectent la présence de véhicules.

1.3 Sydney Coordinated Adaptive Traffic System (SCATS)

SCATS. Citons ensuite SCATS ([4], Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) qui a été à l'origine développé pour Sydney et d'autres villes Australiennes. Il est pour sa part entièrement adaptatif et utilise une notion de hiérarchie (ce qui forme une certaine distribution sur le réseau) : entre le recueil des données sur le terrain et le centre de contrôle, des contrôleurs intermédiaires sont insérés, permettant d'alléger la charge globale du système et d'avoir un contrôle découpé en plusieurs zones, l'ensemble des acteurs utilisant des communications synchronisées. De manière similaire à SCOOT, ce système ajuste le temps des cycles et autres paramètres en fonction des données recueillies afin de diminuer le délai et les arrêts, mais n'utilise pas la même stratégie : les valeurs recueillies permettent la sélection de plans de feux parmi une large librairie, sur lesquels le système va se baser pour proposer des plans adaptés. De plus, contrairement à SCOOT, les détecteurs sont uniquement placés au niveau des feux de circulation. Notons que les conventions utilisées par SCATS sont éloignées des standards NEMA, ce qui ne facilite pas son intégration sur les réseaux urbains ([14]).

Selon [15], l'installation de l'une de ces solutions prendrait en moyenne 365 heures (630h pour SCOOT), coûterait au total en moyenne 55.000\$ par intersection, et nécessiterait un temps d'entraînement moyen de 41 heures (dont 60h pour SCATS). Des chiffres considérables dont le prix peut être expliqué en premier lieu par l'équipement utilisé ([16]). Les auteurs de [17] estiment que par rapport à un système fixe, SCATS réduit globalement les temps de déplacement de 8%, les retards de 28% et les arrêts de 42%. SCOOT pour sa part réduit globalement les temps de déplacement de 8%, les retards de 22% et les arrêts de 17%.

1.4 Microprocessor Optimized Vehicule Actuation (MOVA)

MOVA a été développé durant les années 1980 [18]. C'est un système qui optimise la gestion des feux mais au niveau des carrefours isolés. Ce système est muni de deux capteurs par voie, l'un situé à 40 mètres des lignes de feu et l'autre à 100 mètres qui permet de détecter les conditions de circulation saturées. Le module d'optimisation de MOVA a comme objectif de minimiser les retards et les arrêts. Il permet de mesurer l'intervalle entre deux véhicules pour déterminer s'il est nécessaire d'apporter une correction au statut du feu en se basant sur le degré de saturation. MOVA reconnaît d'autre part lorsqu'une file d'attente ne s'écoule pas. À ce moment, un changement automatique se fait pour choisir une méthode maximisant la capacité.

Tableau 2 : Récapitulatif des différents modèles

NOMS	OBJECTIFS	MODULES D'OPTIMISATIONS
TRANSYT	Optimisation des décalages et de la répartition des durées de vert.	Minimise l'indice de performance : la somme de tous les véhicules à l'arrêt sur l'ensemble des intersections considérés ainsi que la somme du nombre moyen de véhicules dans les files d'attentes pour chaque flux à chaque intersection.
SCOOT	Optimisation de la répartition des temps de vert, de cycle et les décalages des feux de circulation à l'intérieur d'un réseau.	Minimise l'indice de performance : la somme pondérée du nombre de véhicules sur tous les flux du carrefour et la longueur de la file d'attente sur tous les flux donc les pourcentages sont les suivants : les temps de déplacement de 8%, les retards de 22% et les arrêts de 17%.
SCART	Optimisation de la répartition des temps de déplacements, des retards et des arrêts au niveau des feux de circulation	Minimise l'indice de performance : la somme pondérée du nombre de véhicules sur tous les flux du carrefour et la longueur de la file d'attente sur tous les flux donc les pourcentages sont les suivants : les temps de déplacement de 8%, les retards de 28% et les arrêts de 48%.
MOVA	Optimisation de la gestion des feux au niveau des carrefours isolés.	Minimise les retards et les arrêts.

2. Limites des approches de référence

Plusieurs aspects peuvent être perçus comme des limitations de ces systèmes. Nous présentons ici ceux que nous avons pu déceler à partir des caractéristiques que nous avons recueillies dans la littérature.

Le premier problème est que ces différents systèmes font recours à des hypothèses simplificatrices (prédiction du trafic pour TRANSYT, variation des durées de feux selon des pas prédéfinis pour SCOOT et SCART, bibliothèques prédéfinies de décalages et de prédiction du comportement des véhicules pour MOVA, etc....) [19] qui ne reflètent pas forcément la réalité. Un autre problème de ces différents systèmes est que les optimisations proposées

favorisent le plus souvent les routes principales (dotées des capteurs), généralement les plus congestionnées, et défavorisent les routes secondaires, sachant que dans les grandes villes ces dernières sont devenues de plus en plus importantes dû à la saturation des axes traditionnels. Cela dû au fait que l'on considère que le trafic est faible sur les routes secondaires, or cette considération n'est valable que si l'on ne tient pas compte de l'extrême variabilité du trafic dans le temps.

CONCLUSION

Aux vues de ce qui précède, les modèles de régulation (STI) utilisés dans le monde se révèlent toujours inefficace face à la complexité du problème. Cela peut se justifier par le fait qu'ils ont été conçus pour le cas des villes bien précises et leur mode de fonctionnement n'étant en temps réel au « sens strict » (utilisation des bibliothèques...), leur adoption ailleurs pose problème. Raison pour laquelle pour palier ses manquements, nous proposons une solution qui est un compromis entre le nombre de véhicules présent sur un tronçon en temps réel et le temps du vert pour améliorer la fluidité du trafic.

CHAPITRE 2 : CONCEPTION DE LA SOLUTION

Ce chapitre présente les concepts théoriques qui intègrent le système que nous avons mis sur pieds. Ensuite, nous allons faire une étude sommaire des différents composants clés (carte Arduino et capteurs) qui intégreront notre solution suivie de la justification du choix de chaque matériel.

I. SYNOPTIQUE DE LA SOLUTION

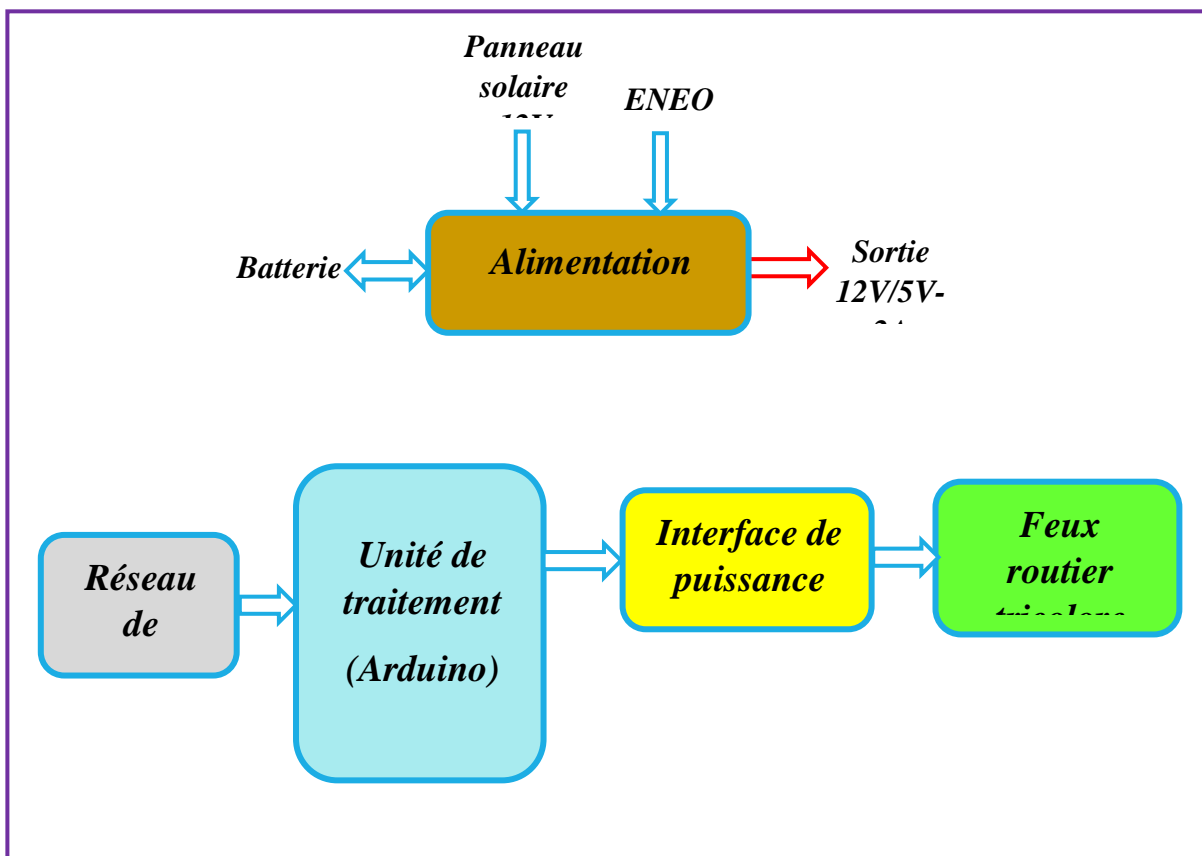


Figure 8 : Synoptique globale du système

Principe de fonctionnement

Notre solution est de mettre sur pied un système intelligent permettant la gestion de la durée d'un feu en fonction de la densité du trafic du dis carrefour en temps réel. Tout ceci d'explique par le fait que dans notre carrefour, la voie du marché centrale (A) pour le dis carrefour a un effectif de trente véhicules dont le feu de signalisation de cette voie est au rouge alors que la voie Rue 1.016 (B) a en elle-même un effectif de huit véhicules et le feu de signalisation de cette voie est au vert ce qui signifie que les véhicules de cette voie sont en priorité de passage mais ont un taux réduit de véhicule par rapport à la voie précédente. En effet nous allons rendre la voie A en priorité de passage en basculant le feu rouge de ladite voie au feu vert pendant une durée bien délimité afin qu'un certains nombres de véhicules puissent passer.

Cependant pour évaluer le nombre de véhicule de ses différentes voies nous allons positionner à une certaine distance de nos différents panneaux de signalisations un capteur Infra-rouge qui permettra de détecter des objets (véhicules) de chaque voie à une certaine distance ; ces capteurs communiqueront avec notre système dans lequel est implémenté notre algorithme afin de donner la priorité du passage des véhicules à la voie qui a le plus de véhicule. Par ailleurs cette solution présente une limite dans la mesure où la voie A étant en priorité de passage pendant un certain nombre temps et que le temps alloué pour le passage de cette voie est épuisé et immédiatement le feu de cette voie bascule au rouge pour donner la priorité passage à la voie B ; Mais étant donné que le nombres de véhicules de la voie A pendant le feu vert n'ont pas encore totalement libérer le tronçon routier pour permettre aux véhicules de la voie B de circuler normalement pour aller vers leurs destinations en tenant compte des différentes directions possible, il sera dont judicieux pour nous de positionner un capteur central au niveau de notre rondpoint afin qu'il puisse détecter les véhicules présents dans un rayon bien précis et d'allouer un temps pour la libération ces véhicules tout en maintenant les différentes voies au feu rouge.

II. DESCRIPTION DES OUTILS CONSTITUANT LE SYSTEME

1. Le hardware

Ici nous présenterons les outils matériels ayant permis de concevoir notre système.

1.1 Unité de traitement : Cartes Arduino

D'après le synoptique, nous avons besoin d'une unité de traitement qui doit recevoir les informations des différents capteurs, leurs analyser afin de commander les feux. Pour cela nous devons choisir une carte parmi les différentes cartes de traitement existantes sur le marché. Nous avons orienté notre choix sur les cartes Arduino, dès lors nous allons effectuer une bièvre description des deux cartes les plus couramment utilisés qui sont Arduino Uno et Arduino Méga afin posséder à un choix judicieux.

1.1.1 Définition

La carte Arduino est une carte électronique programmable qui sert de microcontrôleur pour la conception et le pilotage de montages électronique, mécaniques, domotiques ou robotiques. En effet grâce à Arduino, il est possible de créer des systèmes

ingénieurs amateurs ou professionnels. Cette carte possède un logiciel appelé : Logiciel Arduino permettant à l'utilisateur de programmer ces codes en fonction de ses attentes.

1.1.2 Présentation de quelques types de cartes Arduino

Il existe plusieurs versions de cartes Arduino. La version courante de base, Duemilanove (2009 en Italie-les créateurs de l'Arduino sont des italiens...), utilise les microcontrôleurs Atmel ATmega328. La version précédente Diecimila, et les première versions de la Duemilanove utilisent le microcontrôleur ATmega168, tandis que les cartes plus anciennes utilisent le microcontrôleur ATmega8. La carte Arduino Méga est basée sur l'ATmega1280. Compte tenu des évolutions technologiques, nous allons nous appesantir sur les principaux types couramment utilisés.

1.1.2.1 La carte Arduino Uno

➤ Définition

L'Arduino Uno est un microcontrôleur programmable qui permet de contrôler les éléments mécaniques : systèmes, lumière, moteurs, etc. cette carte électronique permet donc à son utilisateur de programmer facilement des choses et créer des mécanismes automatisés. Il est un outil pensé et destiné aux inventeurs, artistes ou amateurs qui souhaitent créer leurs propres systèmes automatiques en codant de toute pièce. Il suffit de connecter votre électronique sur votre ordinateur (Windows, Mac, Linux) et vous pouvez commencer à programmer à partir du logiciel Arduino.

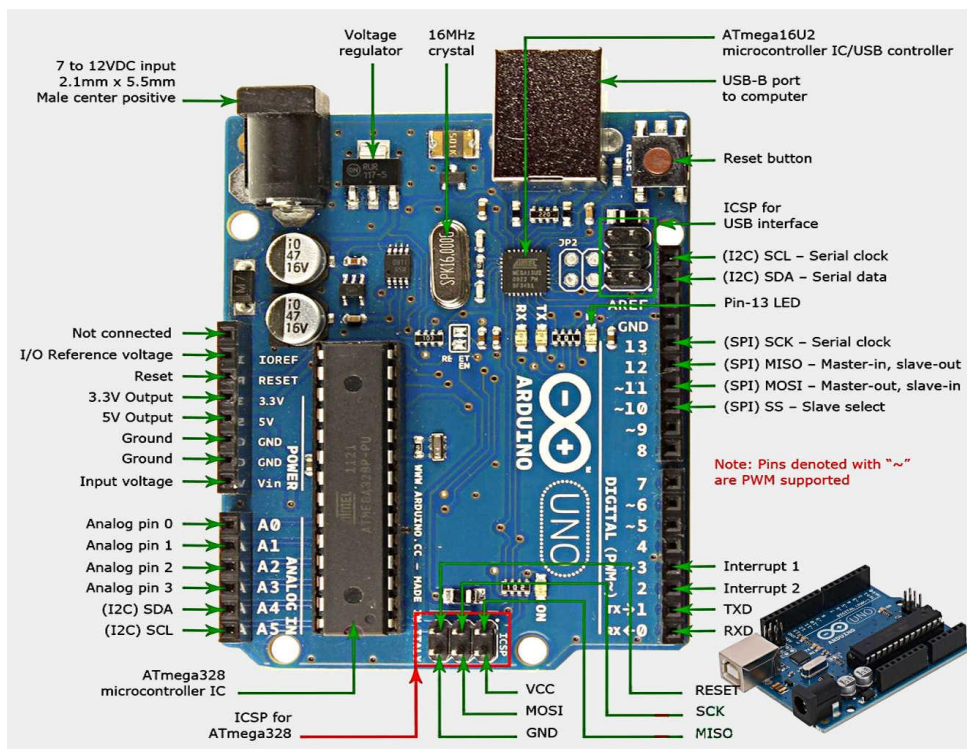


Figure 9 : Schéma de la Carte Arduino Uno

➤ Avantages

La carte Arduino Uno est une carte à microcontrôleur basée sur l'ATmega328 et constitué d'un Shield Ethernet dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Alimentation 12V ;
- 6 entrées analogiques /14 entrées numériques ;
- Horloge 16 Mhz ;
- Un pont UART ;
- Une mémoire vive de 2Ko ;
- Une mémoire programmable de 32 Ko.

L'un des avantages indéniables de ce microcontrôleur est sa facilité d'utilisation qui fait qu'il est accessible à tous

➤ Inconvénients

Pour comprendre un minimum et maîtriser l'Arduino Uno, il faudra tout de même passer par un petit apprentissage du langage de la programmation. Il dispose de la configuration minimale prévue pour des débutants et convient donc à de petits projets, avec cette carte il est possible de se passer d'apprendre les fondamentaux de la programmation. Mais pour cela, il faudra se procurer des modules externes qui augmenteront inévitablement le coût total de votre achat.

1.1.2.2 La Carte Arduino MEGA

➤ Définition

L'Arduino Méga est le modèle le plus perfectionné et puissant de la célèbre carte électronique. Elle permet d'effectuer un maximum d'actions et délivre un potentiel tel, qu'il est possible de se pencher sur les montages les plus lourds et gourmands en code. Cette carte peut être utilisée par les amateurs confirmés, mais est principalement destinée aux experts qui pourront en faire un usage plus professionnel.

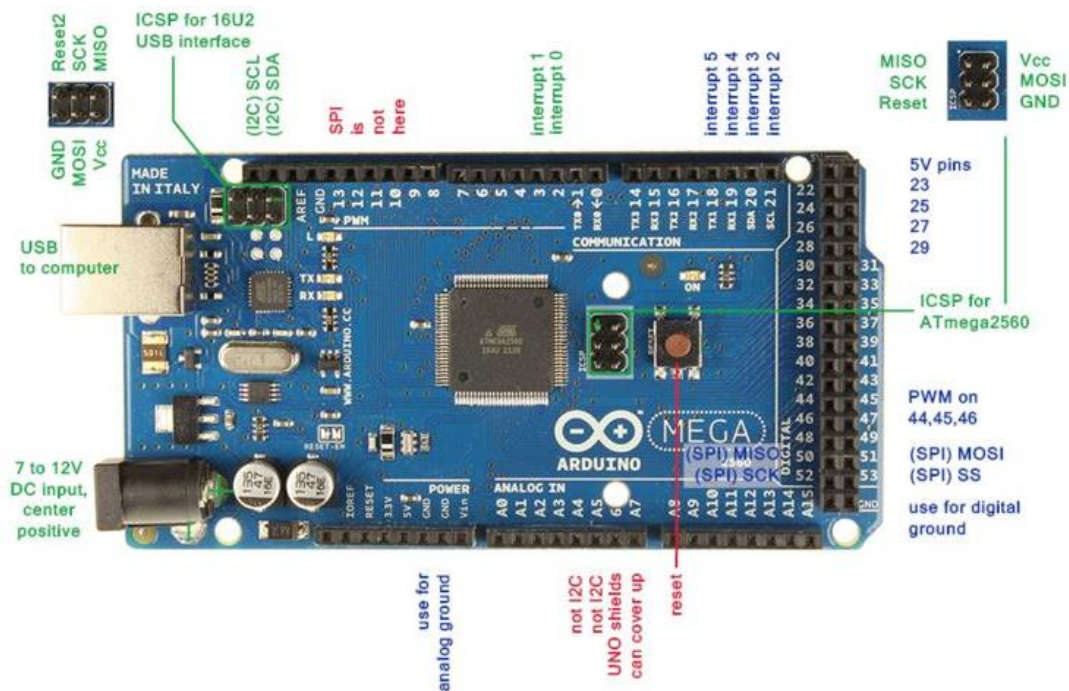


Figure 10 : Schéma de la Carte Arduino Méga

➤ Avantages

L'Arduino Méga, en sa qualité de carte de gamme, présente des caractéristiques supplémentaires par rapport aux autres modèles Arduino. La carte Arduino Méga est une carte à microcontrôleur basée sur l'ATmega2560, elle est constituée des caractéristiques suivantes :

- 16 entrées analogiques ;
- Mémoire flash de 256 kB ;
- Mémoire SRAM de 8 kB ;
- Mémoire EEPROM de 4 KB ;
- 54 broches d'Entrées/Sorties dont 14 PWM, 3 ports série.

Ces caractéristiques sont alors plus complètes que celle du modèle Uno. La carte Méga est donc plus puissante, permet une marge de manœuvre beaucoup plus importante et des montages plus poussés qu'avec d'autres cartes Arduino. Toutes les broches d'E/S permettent de connecter plus de Shields (modules qui permettent d'améliorer sa carte Arduino : étendre la capacité de stockage de programme de la carte, ajouter des options supplémentaires.

➤ Inconvénients

Comme toute carte Arduino, elle a également quelques défauts. L'Arduino Méga est réservée aux experts et confirmés en programmation car elle nécessite beaucoup plus de

connaissances en en codage (C et C++) pour réussir à établir un système de prototypage électrique, électronique, domotique ou robotique. Etant un modèle plus performant, la carte est aussi plus chère que les autres modèles.

1.1.3 Choix et justification de la carte Arduino

Compte tenu de la complexité et de la lourdeur des opérations à exercer dans la réalisation de notre système, nous avons besoin d'un grand espace mémoire capables de stocker et de réaliser les tâches qui lui sont confiées et aussi d'un grand nombre de port d'entrée sorties pour recevoir l'ensemble des capteurs. C'est pour cette raison que nous avons porté notre choix sur la carte Arduino Méga, car de part ces caractéristiques qui sont d'ailleurs plus puissante que celle de la carte Arduino Uno. Cette carte est utilisée pour des capacités de programmation plus poussées et induit donc de posséder des compétences beaucoup plus avancées.

1.2 Les capteurs

1.2.1 Définition

Un capteur est un système qui sert à détecter un phénomène physique afin de le représenter. En fonction de l'usage que l'on veut en faire et de la grandeur physique que l'on veut récupérer, ces capteurs sont souvent de plusieurs types.

1.2.2 Présentation de quelques types de capteurs

Il existe de nombreux types de capteurs permettant la mesure directe ou indirecte des variables de circulation. Ces capteurs sont généralement des éléments transducteurs, sensibles à la grandeur physique que l'on veut saisir : présence, passage, vitesse d'un véhicule. Le capteur peut changer l'information en un signal élémentaire, transmis au détecteur. Le signal reçu est transformé en une information électrique simple, significative du paramètre de circulation. Compte tenu des évolutions technologiques, nous allons nous appesantir sur les principaux types couramment utilisés.

1.2.2.1 La boucle électromagnétique

C'est aujourd'hui le dispositif de mesure des paramètres de circulation le plus répandu dans de nombreux pays d'Europe, tant en ville que sur les voies rapides et les autoroutes urbaines. Le capteur est constitué d'une boucle inductive, noyée dans le revêtement de la chaussée. Le passage de la masse métallique d'un véhicule au-dessus de la boucle provoque une variation du champ électromagnétique. Cette variation se traduit par un créneau de tension dont la longueur est liée à celle du véhicule et à son temps de passage. Bien qu'ils soient d'usage courant, ces capteurs nécessitent d'importants travaux de génie civil aussi bien lors de la première installation que pour l'entretien.



Figure 11 : Boucle électromagnétique ([20])

1.2.2.2 Les capteurs Ultrasons

C'est un type particulier de capteur acoustique constitué d'une antenne directive fixée sur un support. Cette antenne émet une onde ultra sonore se propageant avec une vitesse connue. Lors du passage d'un véhicule, l'onde ultra sonore rencontre une surface réfléchissante. Une fraction de cette onde réfléchiée par le mobile est ensuite captée par le récepteur au bout d'un certain temps de détection. Cette durée du temps de détection permet le calcul du taux d'occupation. Le détecteur permet aussi un comptage des véhicules. Le capteur peut souvent être fixé sur un portique au-dessus et dans l'axe de la voie de circulation. Le temps de détection est alors variable selon la hauteur des véhicules. Cette caractéristique permet de discriminer plusieurs catégories. Un montage adéquat permet d'éviter la réception d'échos parasites. Dans les conditions d'un fonctionnement normal, la précision sur la mesure des distances est de ± 0.5 m. La vitesse de propagation des ondes ultra sonores étant fonction de la température et de l'humidité de l'air.



Figure 12 : Schéma d'un capteur ultrason

1.2.2.3 Les capteurs Infrarouges (IR)

Ces capteurs se classent en 02 grandes familles :

- Les capteurs IR passifs : Ces capteurs servent principalement à détecter la présence des véhicules ou des piétons pour la commande des feux de carrefour. Etant donné qu'ils ne possèdent pas une grande autonomie, ils n'ont pas une grande portée (quelques centimètres voire quelques mètres).
- Les capteurs IR actifs : Ces capteurs permettent la mesure de la distance d'une cible. Ils peuvent être implantés sur une potence ou sur un portique au-dessus d'une voie de circulation : un émetteur envoie périodiquement une impulsion qui se réfléchit soit sur le sol, soit sur le toit d'un véhicule. La mesure du temps de parcours du signal entre l'émetteur et le récepteur associé permet de détecter le passage d'un véhicule.

Ces capteurs peuvent servir aux mesures des débits, du taux d'occupation, de la classification des véhicules en fonctions de leur hauteur, de la vitesse des véhicules, etc. Leur principal inconvénient est la non-différenciation entre véhicules et piétons lors de l'interception du signal. En fonction du besoin, ils sont installés en accotement ou en surplomb des voies de circulation.



Figure 13 : Schéma d'un capteur émetteur-récepteur Infrarouge

1.2.2.4 Les capteurs vidéo

Ce domaine fait aujourd'hui l'objet de nombreuses recherches, particulièrement dans le cadre européen. Le principe de base est de paramétrer sur l'image de la route des boucles virtuelles dont le comportement sera analogue aux boucles inductives (électromagnétiques) standards. A ceci près que ce n'est plus la masse métallique qui est détectée mais la présence de groupes de pixels. Afin d'améliorer les performances globales du système, d'autres techniques de traitement d'image sont appliquées afin d'éliminer le bruit dans l'image, mais surtout de déterminer les mouvements des groupes de pixels, d'extraire les contours des objets, les

reconnaître et les classifier via des processus de reconnaissance des formes. D'autres processus de traitement d'image comme l'extraction des ombres ou des halos et faisceau de phare viennent également renforcer la fiabilité de ces systèmes, spécialement pour le recueil de données précis par voie et le calcul de longueur de véhicule.



Figure 14 : Capteur vidéo TrafiCam x-stream ([21])

1.2.3 Choix et justification du capteur

Compte tenu des contraintes économiques, de la faisabilité (distance objet-détecteur) et de la nature (solide, liquide ou gazeuse) des objets à détecter, nous avons porté notre choix sur les détecteurs photoélectriques (infrarouge, ...). Dans le cadre de la simulation que nous allons réaliser, nous avons choisi les capteurs IR actifs. Pour la réalisation proprement dite de la solution proposée sur le terrain, le choix du type de capteur importera peu car il existe un éventail de capteur pouvant effectuer le comptage des véhicules en approche d'un carrefour. La figure ci-dessous présente le logigramme de choix des différents types de capteurs.

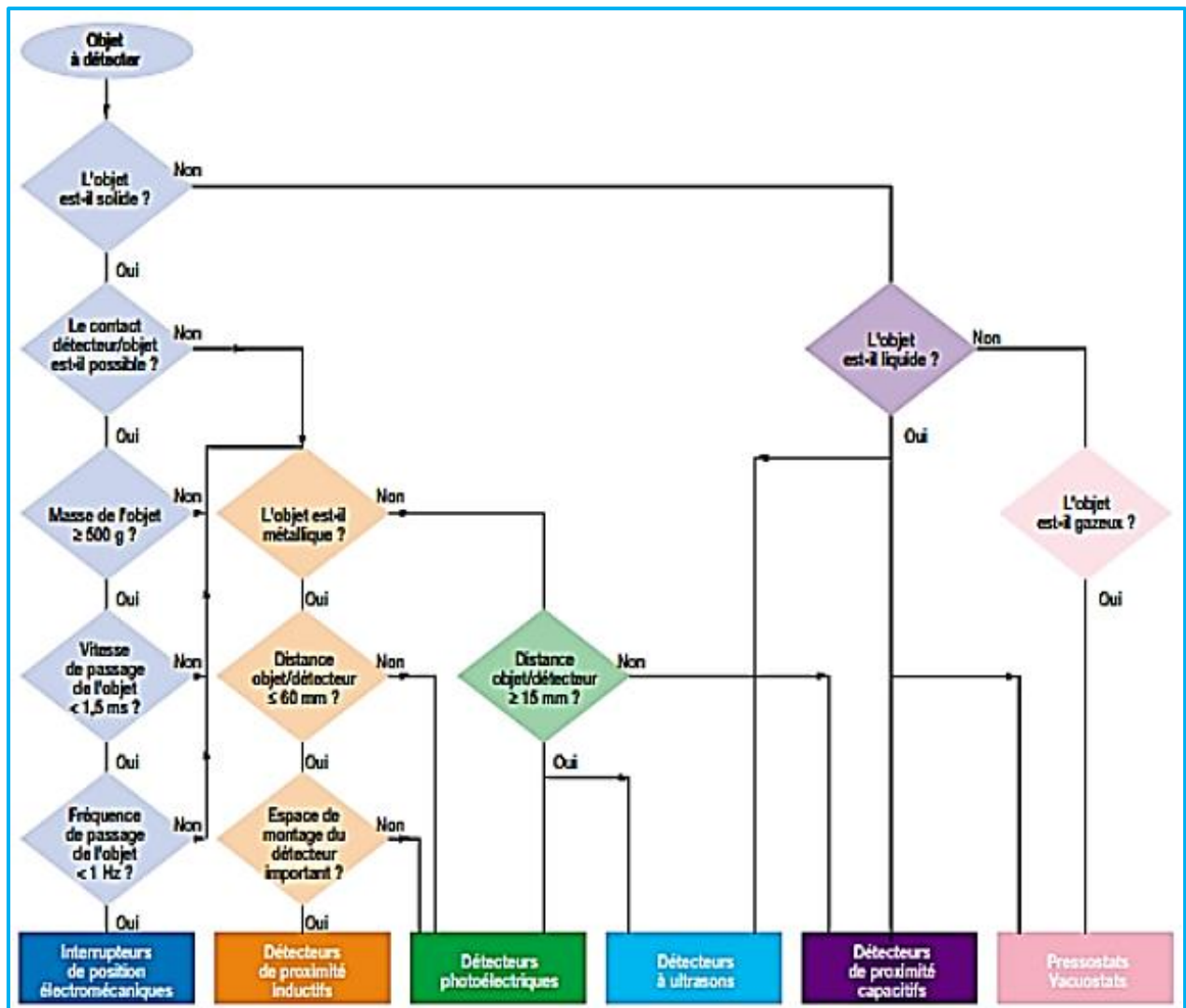


Figure 15 : Logigramme de choix des détecteurs ([22])

1.3 Bloc d’Alimentation

Ce bloc est le point de départ du fonctionnement de notre module. En effet, le système est constitué principalement de modules électroniques fonctionnant avec des tensions et intensités spécifiques. Le choix de la carte d’alimentation c’est fait dans la mesure où, les tensions supportées par la carte Arduino sont différentes des autres tensions. D’où la carte Arduino nécessite une tension de 12 V avec une intensité de 2 A maximale.

De plus, le bloc d’alimentation permet de protéger notre dispositif des surtensions et surintensités grâce aux éléments suivants :

- Le fusible (qui intervient en cas de surintensité) ;
- La variscante (qui intervient en cas de surtension).

1.4 LED

1.4.1 Définition

La LED (Diode électroluminescente) en anglais ou encore DEL en français, signifie Diode électroluminescente est un dispositif opto-électronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique, c'est -à-dire une puce de semi-conducteur. Les LED pourraient représenter 75 % du marché de l'éclairage domestique et automobile avant 2020[23].

1.4.2 Principe de fonctionnement

Sa structure est simple et son intégration dans un circuit électrique s'avère facile. Dans son principe de fonctionnement, le mouvement des électrons provoque une émission de lumière suivant le principe de l'électroluminescence.

Contrairement aux ampoules à incandescence, la LED ne possède pas de filament, c'est la raison pour laquelle la chaleur émise est bien moindre. La lampe LED est constituée d'une puce LED montée sur un socle réflecteur, une cathode (-) et d'une anode (+) et un verre en époxy qui protège la diode. Elle a un fonctionnement variable selon le type d'ampoule mais généralement suivant deux principes.

- Le premier est en tension réseau(220V), avec les culots spécifiques GU10 ou GU5, mais aussi est depuis peu avec les culots E14 et E27.
- Le second principe est en basse tension (12V) avec les culots MR16 ou GU5.3. Il faut noter qu'il existe des LED de puissance qui s'avèrent plus fortes en pouvoir lumineux. Cette puissance est toutefois limitée car elles nécessitent un système de refroidissement assez puissant étant donné qu'elles dégagent beaucoup de chaleur.

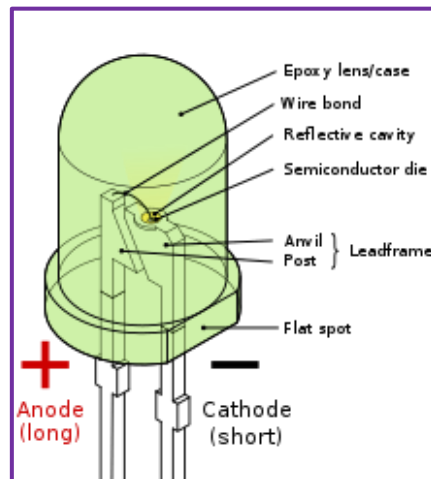


Figure 16 : Schéma d'une LED

1.5 Interface ULN 2003

L'ULN 2003 (U1) est un composant capable d'écouler un courant maximal de 500mA par transistor et supporte une tension maximale de 50V. Dans notre montage, il sert à injecter un fort courant (rôle d'amplificateur) aux LEDs. Il permet d'optimiser (maximiser) l'illumination de celles-ci. Il faut noter que le microcontrôleur ne peut pas supporter un tel courant ;

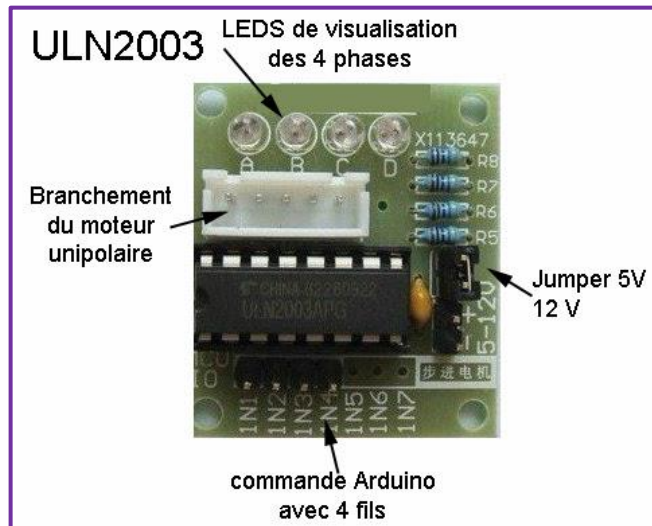


Figure 17 : Schéma de l'ULN

2. Software

Dans cette section nous allons faire une brève présentation des différents logiciels ayant servis à l'élaboration de notre solution. Il s'agit de Proteus et Arduino. Ces logiciels sont les suivants :

- Logiciel Proteus ;
- Logiciel Arduino.

2.1 Logiciel Proteus

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développée par la société Labcenter Electronics, les logiciels incluent dans Proteus permettent la conception assistée par ordinateur (CAO) dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle : ISIS et ARES.

1.1.1 ISIS

Le logiciel ISIS est un éditeur de schéma intelligent qui facilite l'apprentissage de l'activité fondamentale de saisie des circuits. Nous l'utilisons également pour des simulations avec des modules programmés (mémoire) à l'aide du fichier exécutable du programme (écrit en un autre langage C, Assembleur...). Par ailleurs, le logiciel permet de détecter certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits. La figure ci-dessus présente l'espace de travail de ce logiciel.

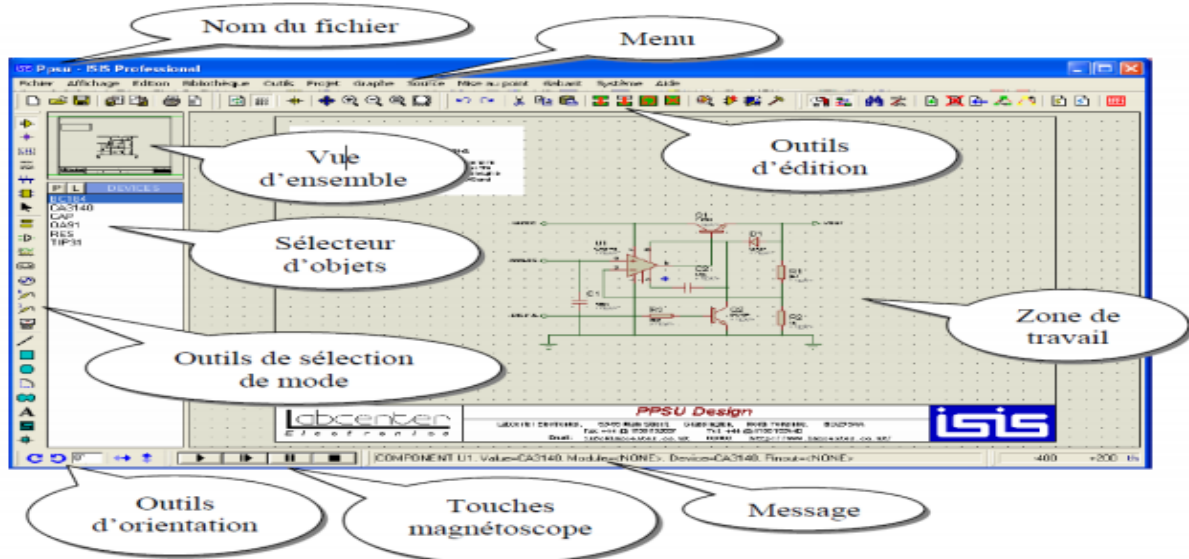


Figure 18 : Espace de travail du logiciel ISIS ([24])

2.1.2 ARES

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complète parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique (le typon). Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement. La figure ci-dessous présente les principales parties du logiciel ARES.

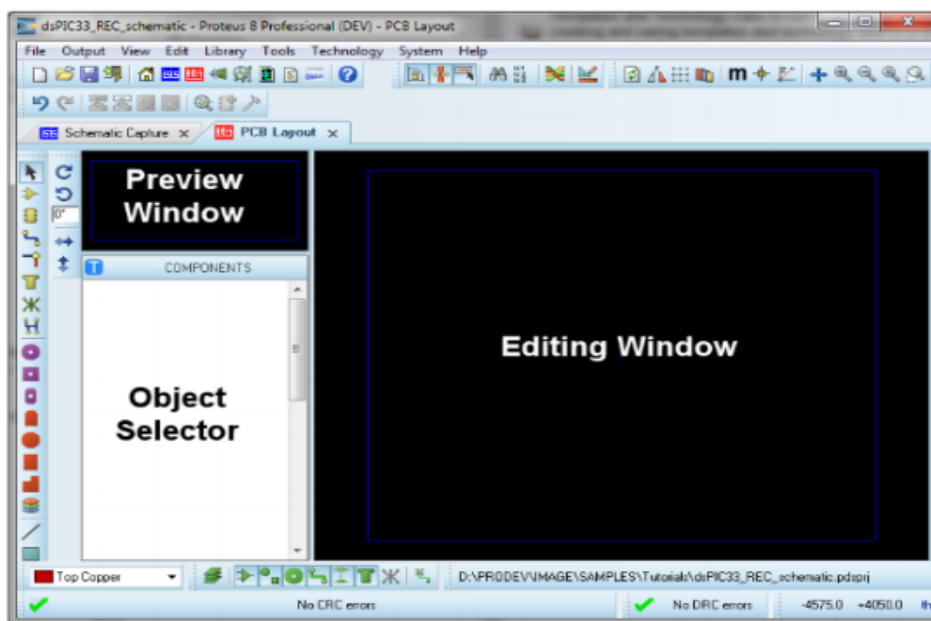


Figure 19 : Espace de travail du logiciel ARES ([25])

2.2 Logiciel Arduino

2.2.1 Définition

Les créateurs de Arduino ont développé un logiciel pour que la programmation des cartes Arduino soit visuelle, simple et complète à la fois. C'est ce que l'on appelle une IDE, qui signifie Integrated Development Environment ou Environnement de Développement « Intégré » en français (donc EDI). L'IDE Arduino est le logiciel qui permet de programmer les cartes Arduino.

1.2.2 Fonctionnement du logiciel

L'interface de l'IDE Arduino est plutôt simple, il offre une interface minimale et épurée pour développer un programme sur les cartes Arduino. Il est doté d'un éditeur de code avec coloration syntaxique et d'une barre d'outils rapide. Ce sont les deux éléments les plus importants de l'interface, c'est ceux que l'on utilise le plus souvent. On retrouve aussi une barre de menus, plus classique qui est utilisé pour accéder aux fonctions avancées de l'IDE. Enfin, une console affichant les résultats de la compilation du code source, des opérations sur la carte, etc...



Figure 20 : Vue de l'environnement IDE Arduino

Le langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. On retrouve notamment des similarités avec le C, le C++, le Java et le Processing. Le langage impose une structure particulière typique de l'informatique embarquée.

- La fonction « **setup** » contiendra toutes les opérations nécessaires à la configuration de la carte (directions des entrées sorties, débits de communications série, etc...).
- La fonction « **loop** » elle, est exécutée en boucle après l'exécution de la fonction setup. Elle continuera de boucler tant que la carte n'est pas mise hors tension, redémarrée (par le bouton reset). Cette boucle est absolument nécessaire sur les

microcontrôleurs étant donné qu'ils n'ont pas de système d'exploitation. En effet, si l'on omettait cette boucle, à la fin du code produit, il serait impossible de reprendre la main sur la carte Arduino qui exécuterait alors du code aléatoire.

III. DESCRIPTION DE LA SOLUTION PROPOSEE

La solution que nous entendons mettre en place est un système de régulation du trafic en temps réel utilisant les capteurs. Pour ce faire, nous sommes partis du principe simple de détection qui régit les capteurs photoélectriques en général et les capteurs infra-rouges (IR) en particulier. En effet, nous disposons de deux capteurs IR par voie (capteur départ et capteur arrivée) que nous plaçons en hauteur sur des portiques ou sur des poteaux tous deux séparés d'une distance d . Dans le cadre de notre montage expérimental, nous avons choisi de les placer au sol dans le but de détecter et compter le nombre de véhicules présent dans la voie concernée. Les capteurs IR émettent périodiquement un faisceau de lumière, lorsque celui-ci rencontre un obstacle, il est dévié sur le récepteur qui détectera la présence d'un véhicule. Dans le cas où aucune déviation n'est observée, cela se traduit par l'absence de véhicules (voir figure 21).

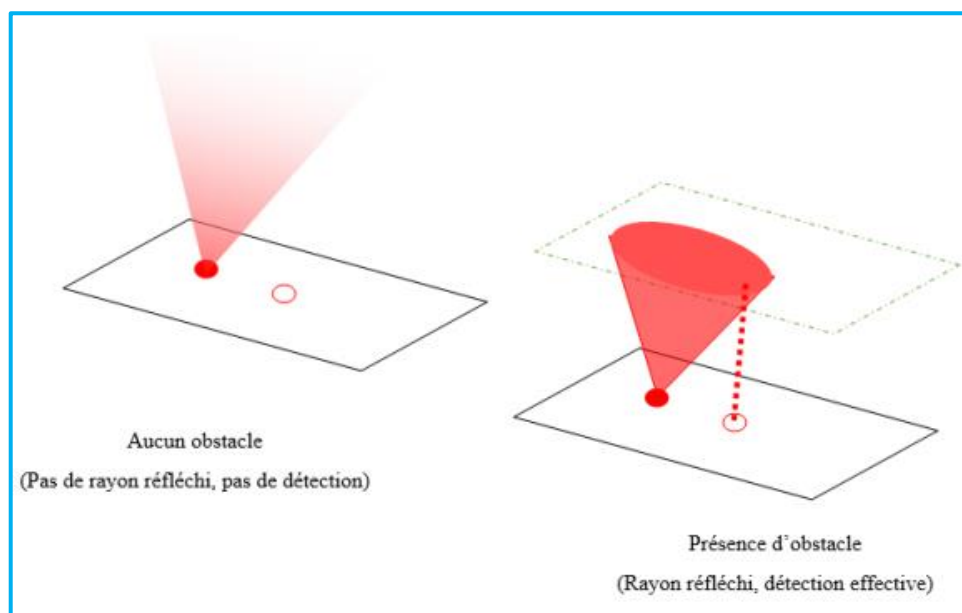


Figure 21 : Illustration du principe de détection et de comptage des véhicules

Après la détection et le comptage du nombre de véhicule (N_i)¹, cette information est transmise à un bloc central de traitement et commande (en pratique on parle de la carte Arduino Méga) qui représente ici l'organe intelligent qui effectuera un calcul en arrière-plan (voir Annexe 2) pour attribuer un temps de feu vert judicieux en fonction du nombre de véhicules présent sur chaque voie (voir figure 22).

N_i : représente le nombre de véhicule présent sur la voie i .

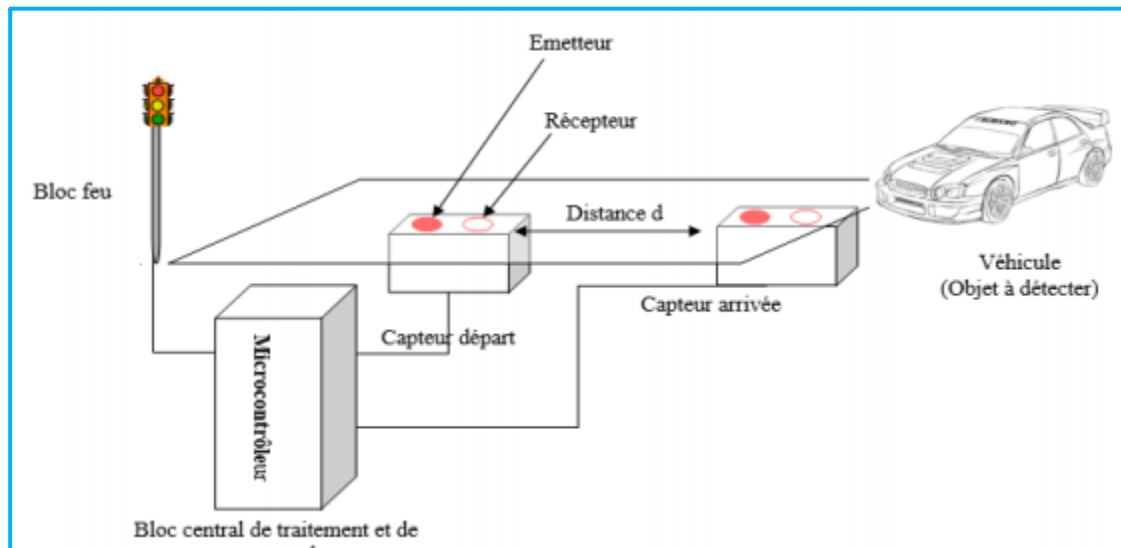


Figure 22 : Schéma synoptique de la solution proposée (Sources : Auteur)

CONCLUSION

Parvenue au terme de ce chapitre, il était question pour nous de présenter notre solution en décrivant son synoptique, les différents composants matériels et logiciels du système et enfin la description de la solution proposée. Nous avons utilisé un capteur IR pour permettre le comptage des véhicules, l'alimentation 12V pour fournir de l'énergie à notre système, la carte Arduino Méga pour traiter les données fournies par les capteurs et ensuite, les transmettre dans l'interface ULN qui à son tour va traiter ; et enfin ces données seront transmises aux feux tricolores qui fournira la couleur de feu approprié. Dans le dernier chapitre, nous présenterons l'implémentation de notre système.

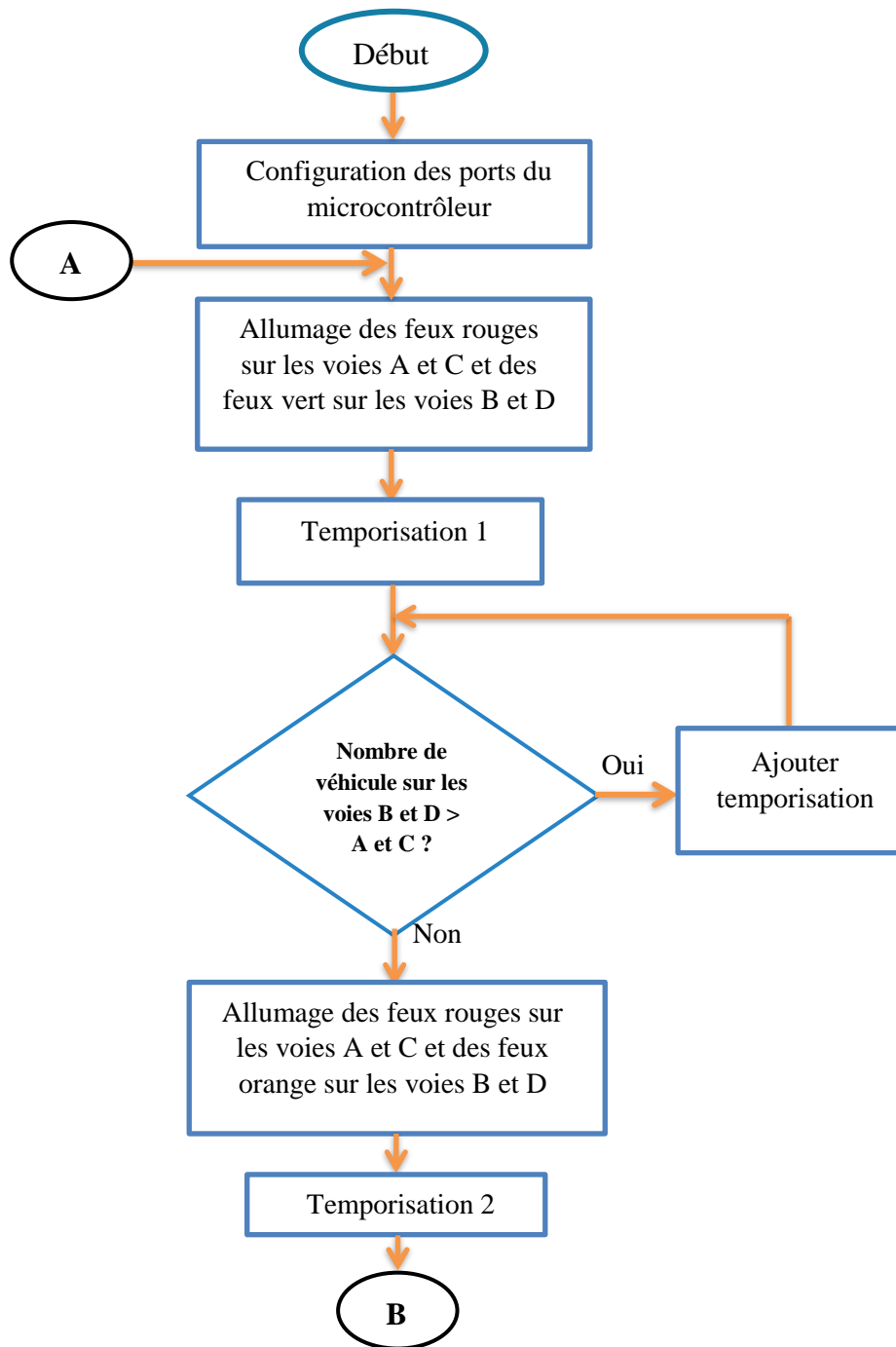
CHAPITRE 3 : IMPLEMENTATION ET RESULTATS

Dans ce chapitre, il sera question pour nous décrivons de manière technique notre système suivi des différentes étapes de réalisation et où nous présenterons les résultats obtenus suite à notre simulation.

I. REALISATION ET SIMULATION DE LA MAQUETTE

Avant de passer à la réalisation pratique de notre système nous avons eu recours à la simulation des différentes parties du système. Pour cela nous avons utilisé le logiciel ISIS pour la réalisation virtuelle et la simulation du système ainsi que le logiciel Arduino où nous avons édité et compilé le programme servant à la gestion autonome des différents éléments du système.

1. Organigramme du programme



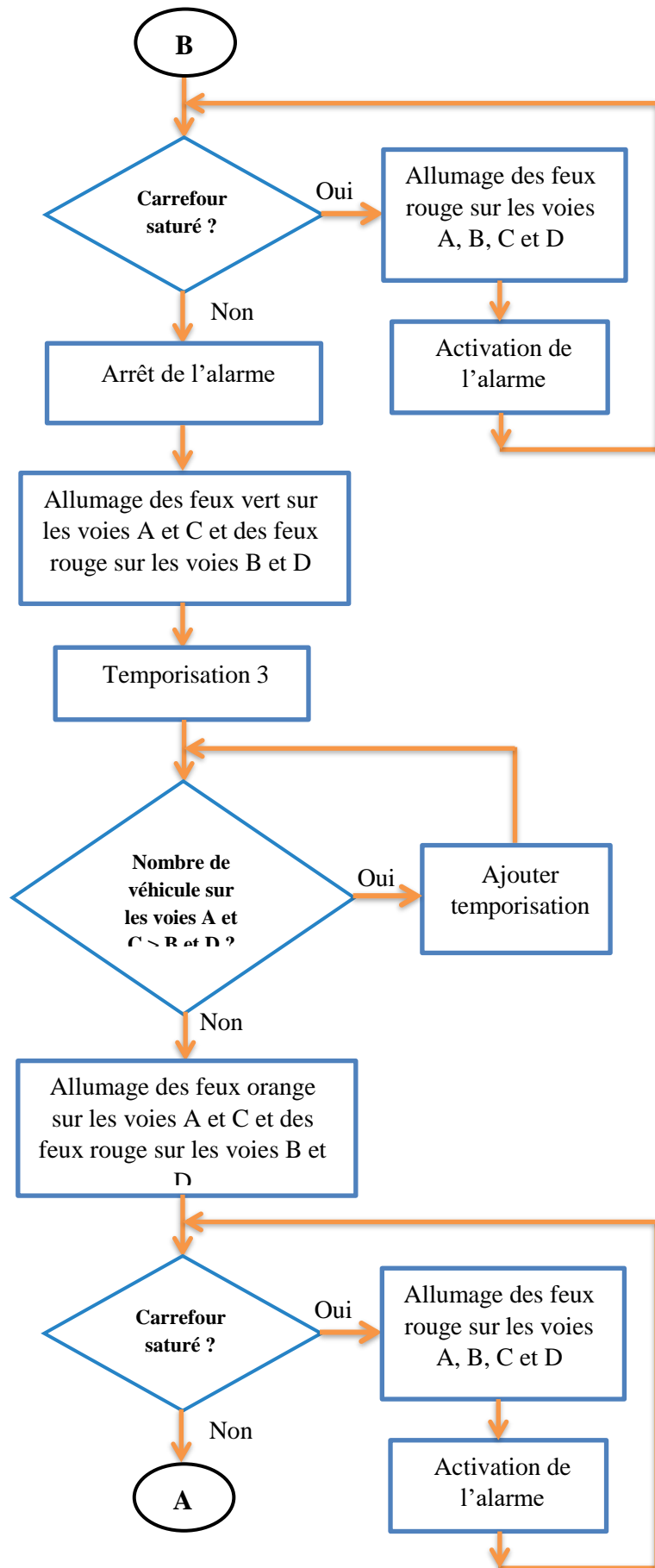


Figure 23: Organigramme du programme de notre solution

2. Réalisation et simulation de la maquette sous PROTEUS /ISIS

Après conception et montage de notre système, nous avons obtenu les différents circuits présentés ci-dessous.

2.1 Bloc d'alimentation

L'alimentation permettant de fournir de l'énergie à notre système sous forme continue en provenance du secteur 220V et régulée en 5V et en 12V pour alimenter les éléments, est présentée ci-dessous.

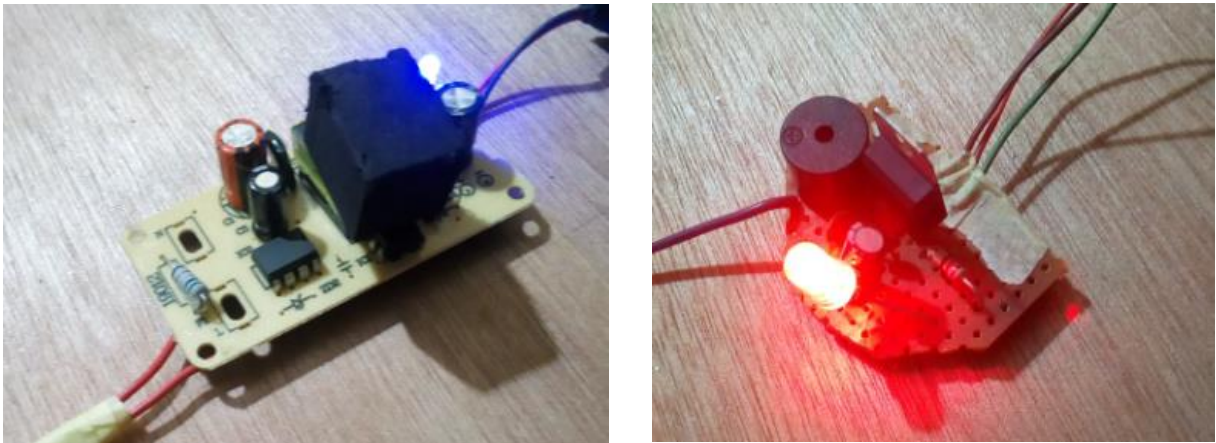


Figure 24: Alimentation : à gauche 12V/2A et à droite 5V/1A

2.2 émetteur-récepteur infrarouge

Pour pouvoir simuler le système avec les modules infra rouge, nous avons réalisés le circuit ci-dessous constitué d'une LED, d'une résistance et d'un optocoupleur à transistor.

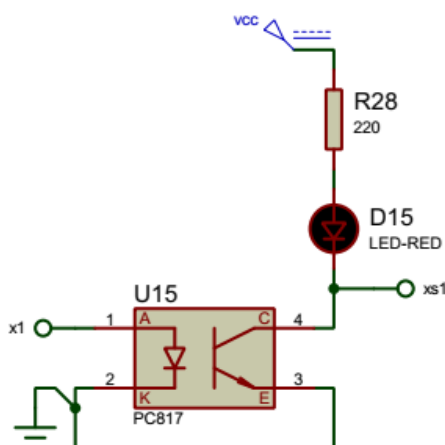


Figure 25: Circuit utilisé pour simuler un capteur émetteur-récepteur infrarouge

2.3 Signalisation lumineuse

Afin d'informer l'utilisateur sur le fonctionnement du montage, des bips sonores ou les LED de signalisation ont été utilisés. Des LEDs verte, rouge et Jaune indiquent l'état des feux ainsi que ceux des capteurs actifs.

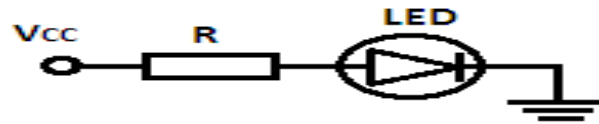


Figure 26: schéma d'une signalisation lumineuse du système

✚ Dimensionnement de la signalisation

La plage de courant prise est de 15 mA avec une tension seuil moyenne de 1.8V pour toutes les couleurs, on obtient alors les valeurs des résistances de protection des LED suivantes :

$$V_S - R_P I_D - V_D = 0 \rightarrow R_P = \frac{V_S - V_D}{I_D} \text{ et } P = \frac{V_S^2}{R}$$

$$\text{Sous 5V on obtient : } R_P = \frac{5-1.8}{15 \times 10^{-3}} = 213\Omega.$$

Comme valeur normalisée on choisit 220Ω pour une puissance $P = \frac{25}{220} = 0,114$ Soit $\frac{1}{4}$ W

on choisit donc une résistance de 220Ω / $\frac{1}{4}$ W

$$R = 220\Omega / \frac{1}{4} W$$

2.4 Signalisation sonore

Afin d'informer l'utilisateur (le contrôleur) en cas d'anomalie dans le système, des bips sonores de signalisation ont été utilisés.

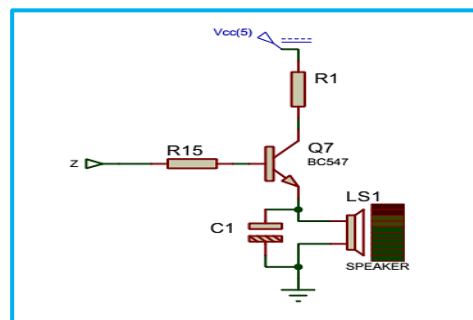


Figure 27: schéma de la signalisation sonore du système

✚ Dimensionnement des composants

On choisit les composants suivants et on dimensionne R1 et R15 :

- Buzzer BZ12E avec pour caractéristiques (Intensité sonore : 85 dB, Courant : 10mA, Tension : 5V, Fréquence sonore : 4,5 kHz, Rinterne = 4Ω) ;
- Transistor bipolaire BC547 avec pour caractéristiques ($P_{\max} = 500\text{mW}$, $V_{ce\max} = 30\text{V}$, $I_{c\text{sat}} = 10\text{mA}$, $V_{ce\text{sat}} = 0.1\text{V}$, $\beta = 100$).

On a : $V_z - R_{15}I_b - V_{be} - V_{Buzzer} = 0$ et

$$V_{cc} - R_1 I_c - V_{ce} - V_{Buzzer} = 0$$

Ainsi lorsque le transistor est saturé, on a :

$$R_{15} \leq \frac{V_z - V_{be} - V_{Buzzer}}{I_{bsat}} \text{ et } R_1 = \frac{V_{cc} - V_{cesat} - V_{Buzzer}}{I_{csat}}$$

L'application numérique donne :

$$R_{15} \leq \frac{5 - 0.7 - (4 * 0.01)}{\left(10 \times \frac{10^{-3}}{100}\right)} = 42.6\text{k}\Omega \text{ et } R_1 = \frac{5 - 0.1 - (4 * 0.01)}{(10 \times 10^{-3})} = 486\Omega$$

On choisit comme valeur normalisée :

$$R_1 = 470\Omega / \frac{1}{4}\text{W}$$

$$R_{15} = 10\text{k}\Omega / \frac{1}{4}\text{W}$$

Le condensateur C1 ayant pour rôle d'éliminer les parasites dû à la commutation, on prend :

$$C1 = 1\mu\text{F}/10\text{v électrochimique}$$

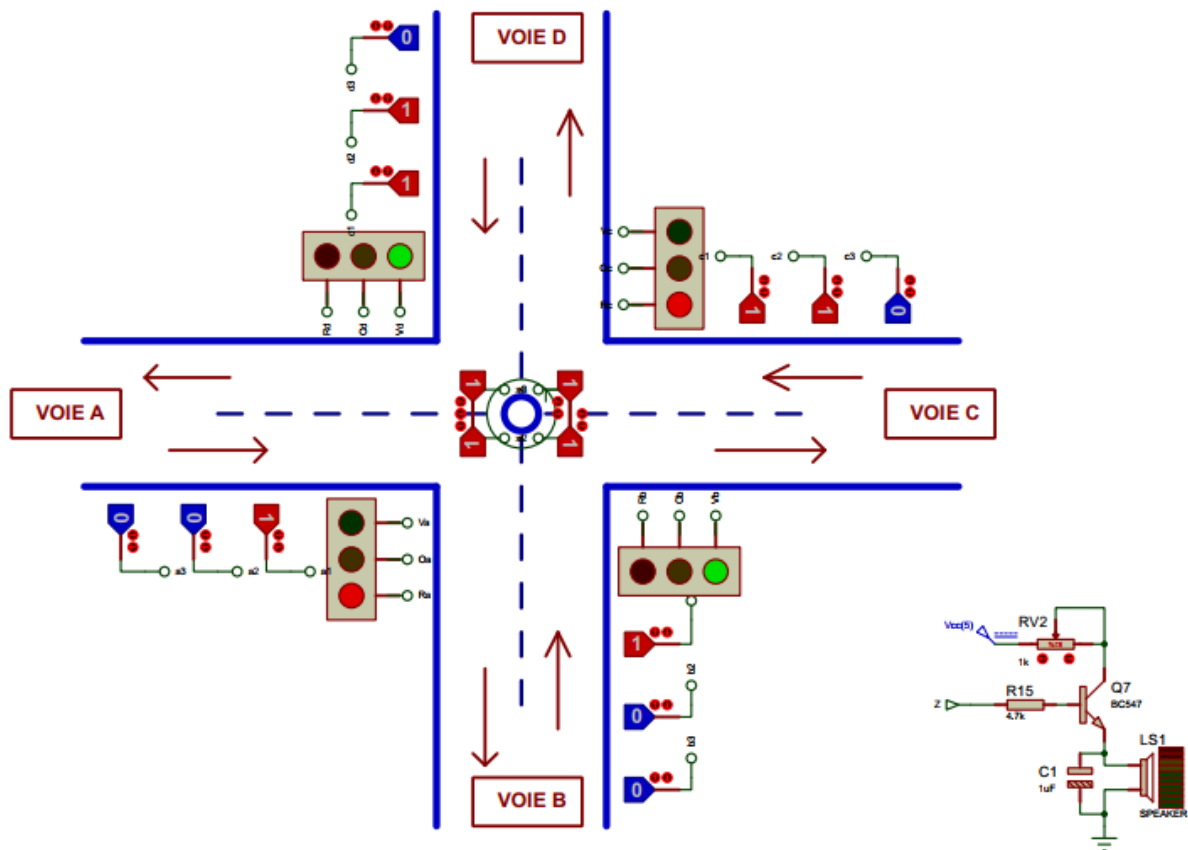


Figure 28: schéma globale 1ère partie

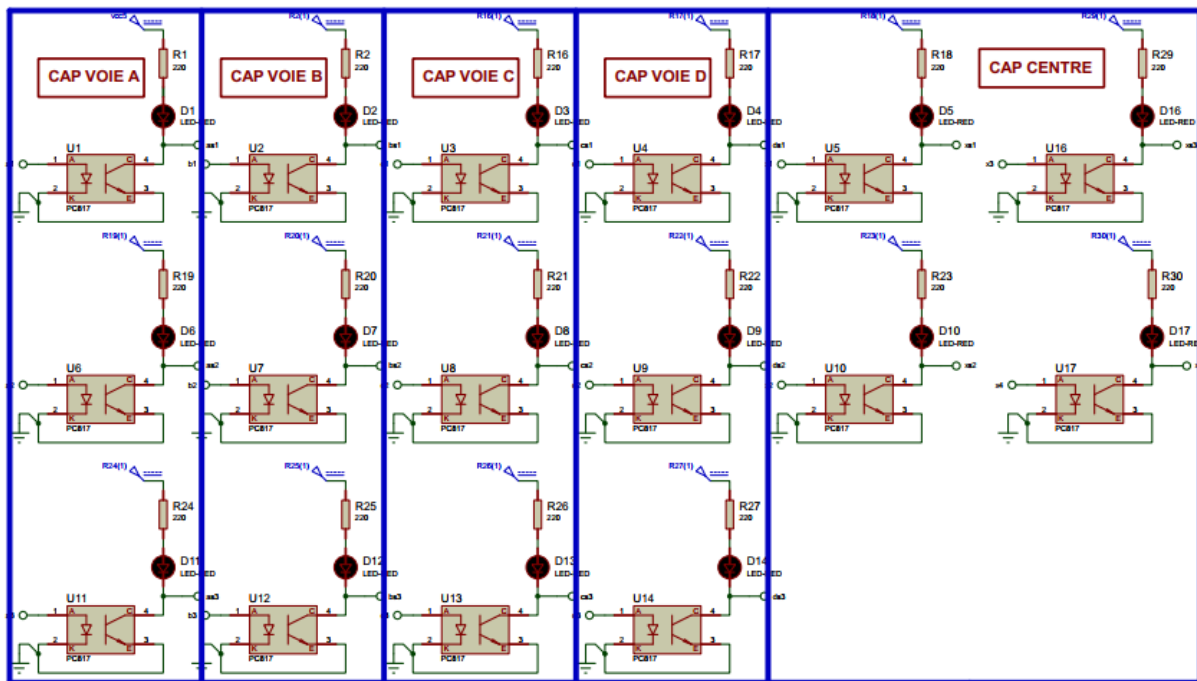


Figure 29: schéma globale 2eme partie

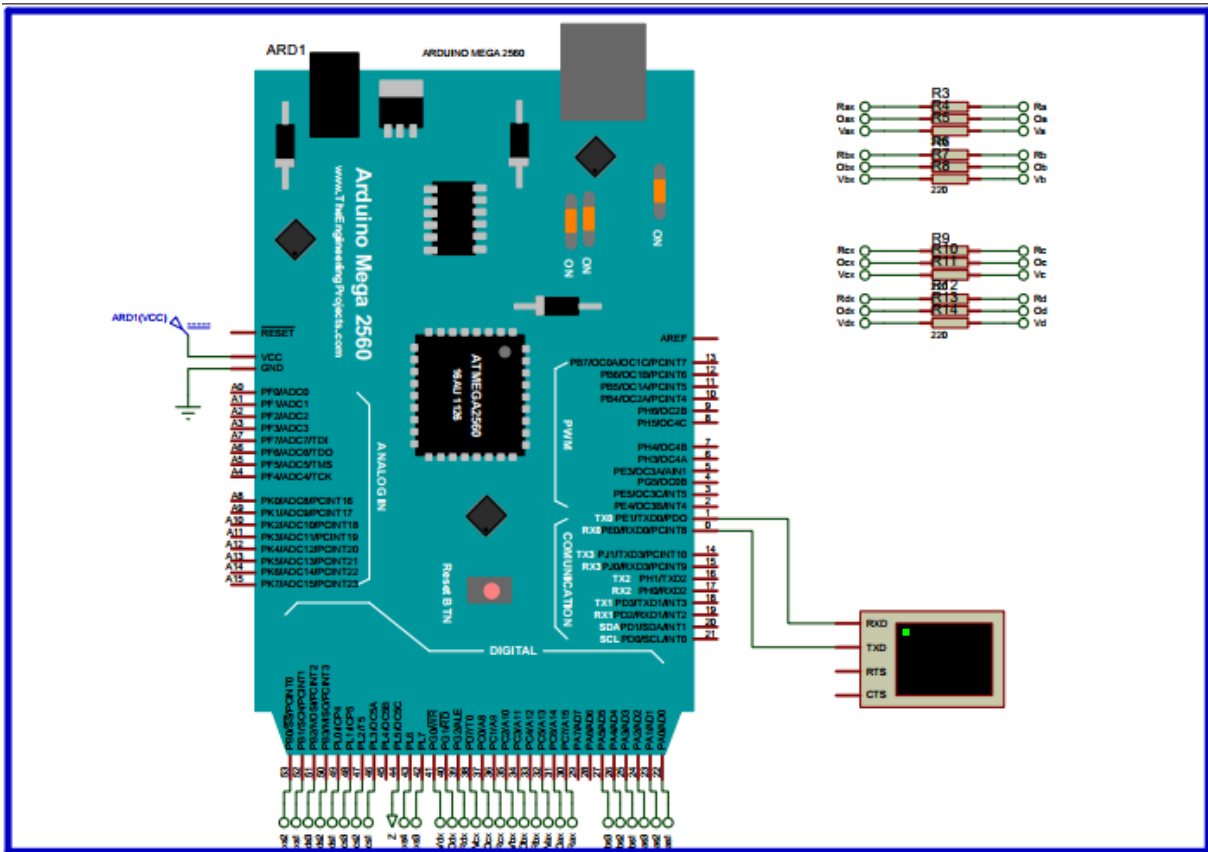


Figure 30: schéma globale 3ème partie

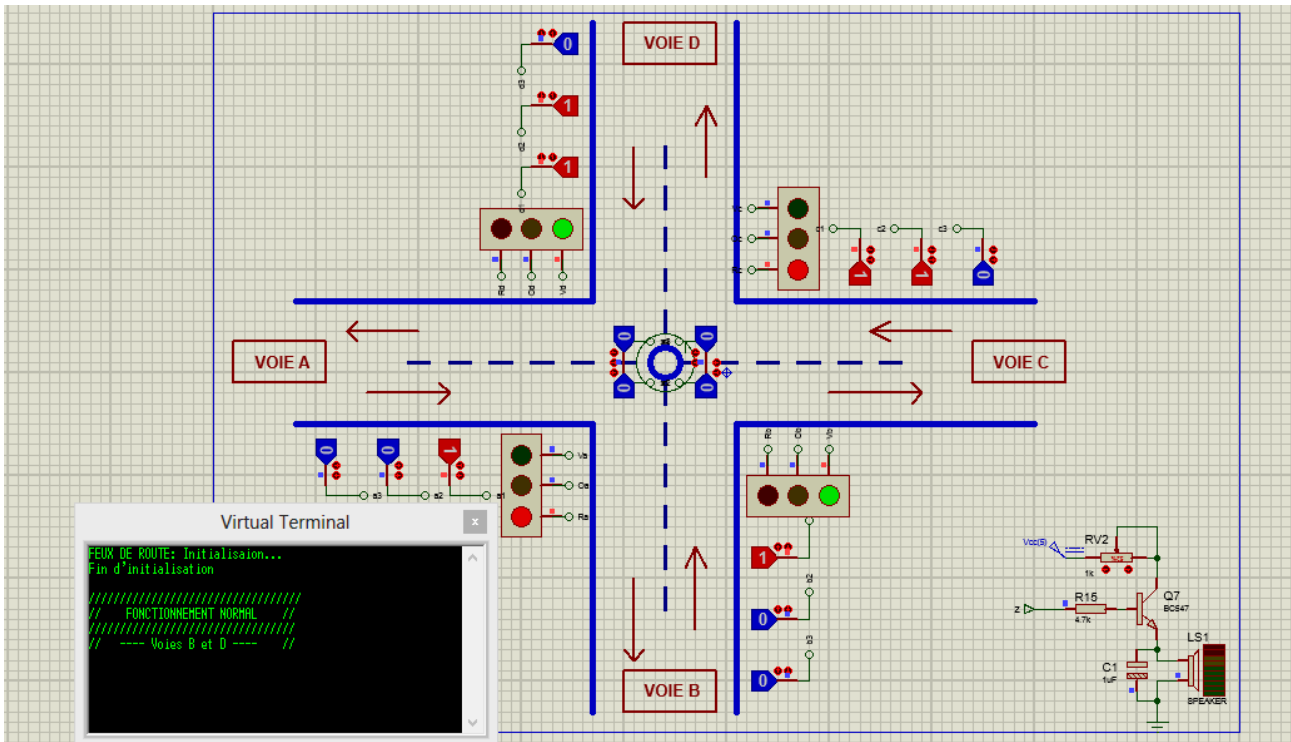


Figure 31: simulation de système matériel en fonctionnement normal

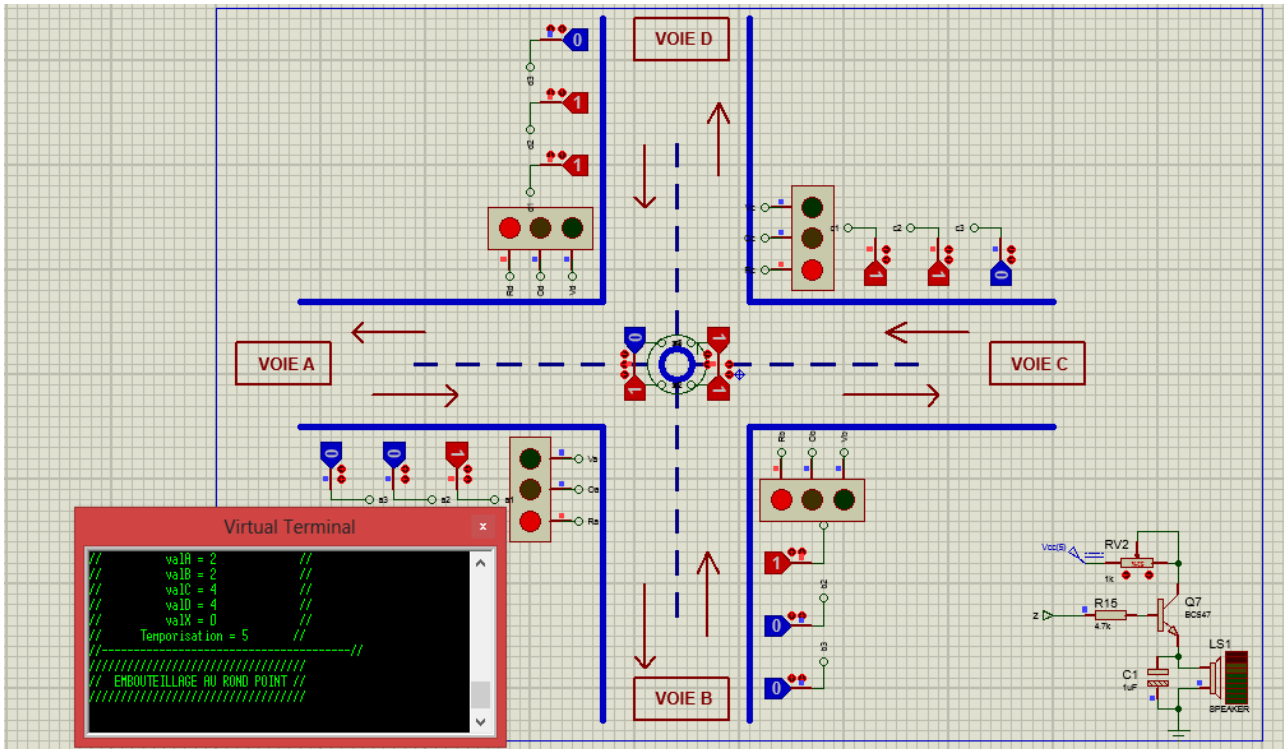


Figure 32: simulation de système matériel en fonctionnement anormal (rond-point saturé)

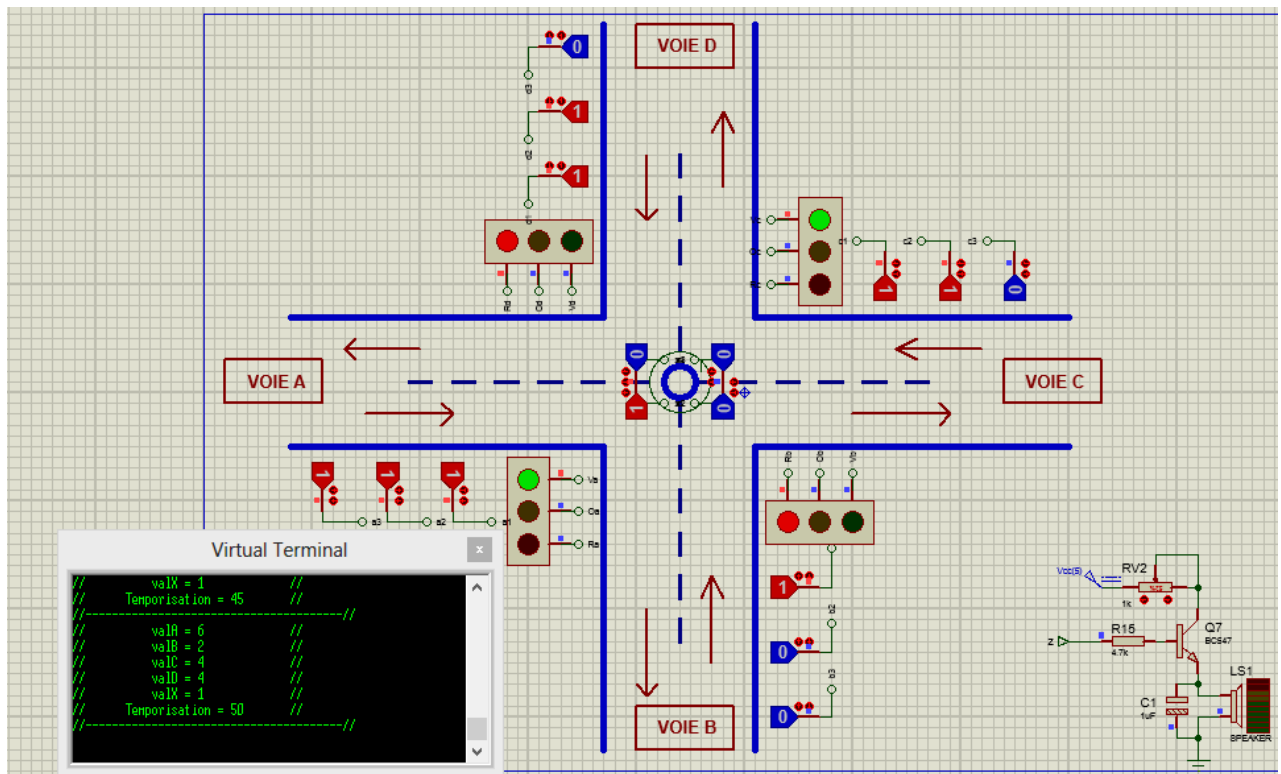


Figure 33: simulation de système matériel en fonctionnement intelligent (tient compte du nombre de véhicule par voie)

II. REALISATION ET PRESENTATION PRATIQUE DU PROTOTYPE

Il est question dans ce chapitre de mettre en œuvre notre dispositif après sa réalisation et simulation dans notre laboratoire virtuel d'étude qui nous a apporté une certitude sur la faisabilité des objectifs visés. Nous effectuerons différents tests en temps réel et nous commenterons les différents résultats obtenus afin de constater si oui, les différents manquements qui devons être améliorés par la suite.

1. Réalisation pratique

1.1 Test des composants

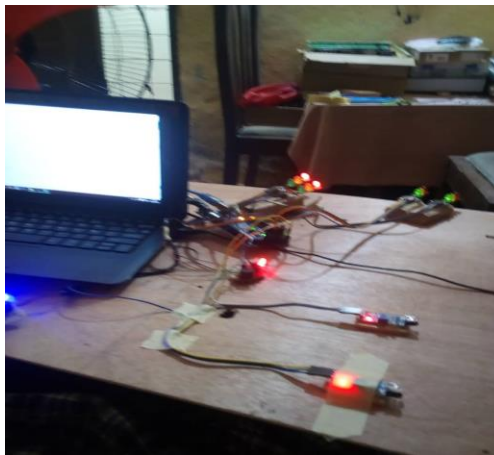


Figure 34: Schéma du test des composants

1.2 Montage des capteurs

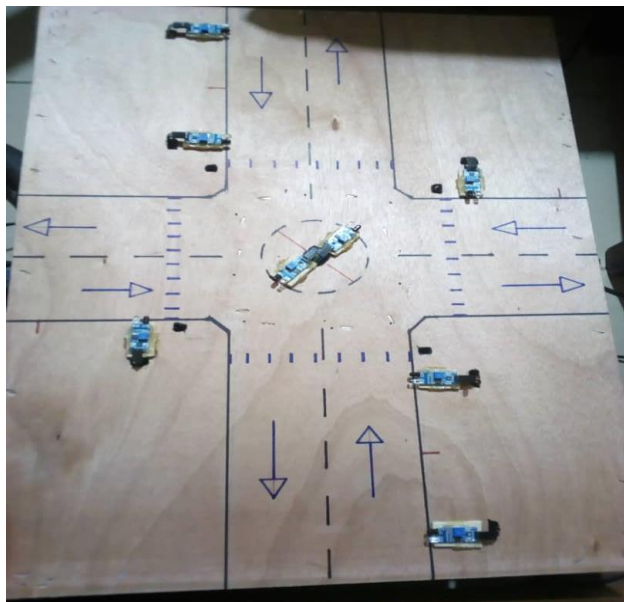


Figure 35: schéma de montage des capteurs

1.3 Montage complet de système

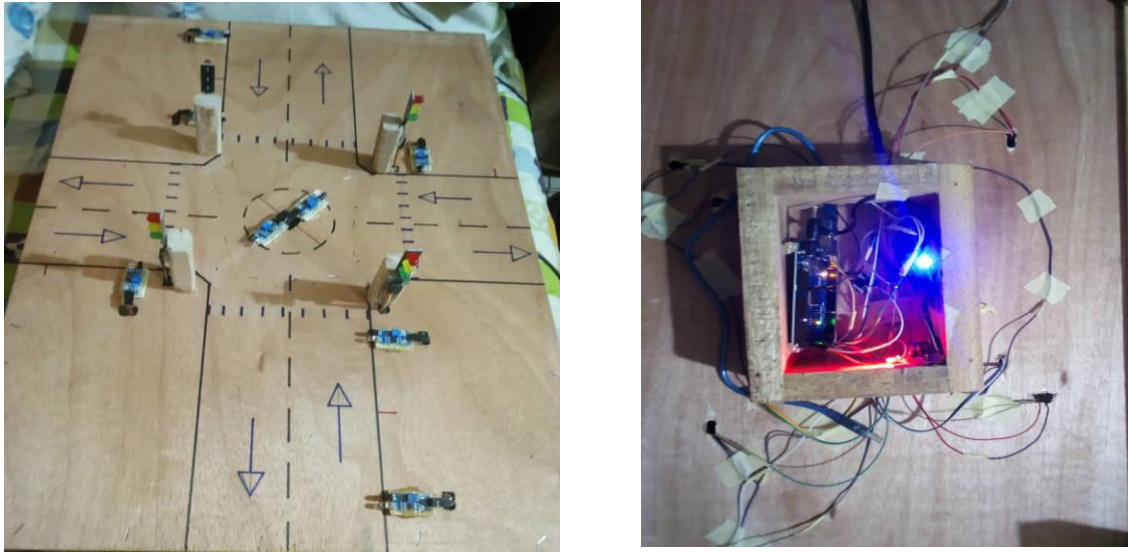


Figure 36: schéma du montage global du système

2. Tests du système et présentation des résultats

2.1 Fonctionnement normal de feux

Dans ce cas, on observe qu'au moment où les voies A et C sont au feu vert ce qui signifie que les véhicules sont en pleine circulation, et les voies B et D sont au feu rouge donc les véhicules stationnement. Après temporisation de 25s pour les feux verts et de 10s pour les feux Oranges des voies A et C, on constate un changement des feux. Donc les feux des voies B et D bascules au vert et celle des voies A et C au feu rouge ; ainsi de suite (voir figure 37).

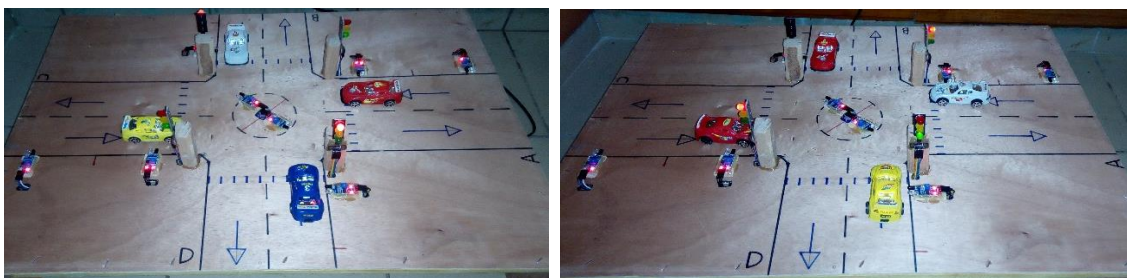


Figure 37: Schéma de fonctionnement normal des feux

2.2 Fonctionnement intelligent du système

Dans ce cas, on observe que notre système détecte quatre véhicules sur les voies A et C et aucun véhicule sur les voies B et D. par la suite, on observe que les 25s normalement initiés pour les temporisations des feux verts et rouges ne sont plus respectés, en ce moment les voies A et C ont la priorité, on se retrouve donc à plus de 25s de temporisation. Tant que le nombre de véhicules sur les A et C est supérieur au nombre sur les voies B et D, il y a ajout de temporisation au niveau des feux des voies A et C. une fois que le nombre de véhicules sur les voies B et D atteint ou dépasse le nombre de véhicule sur les voies A et C, on observe que le système rebascule au mode de fonctionnement normal en donnant la priorité au voies B et D.

Si le nombre de véhicule augmente au niveau de B et D, le système va rebasculer mais va caler au niveau de voies B et D car le nombre de véhicules étant supérieur à celle des voies A et C, cela restera ainsi jusqu'à ce que le nombre de véhicule soit supérieurs ou égale au nombre de véhicules se trouvant sur les voies A et C. Ainsi, on constate que nous sommes déjà au-delà de 25s de temporisation initialement attribuée et la priorité est toujours donné au voies B et D. Mais si à un moment donné le nombre de véhicule sur les voies B et D devient inférieur ou égale à celle des voies A et C, alors on observe que le système va basculer et redonner la main aux voies A et C (voir figure 38).

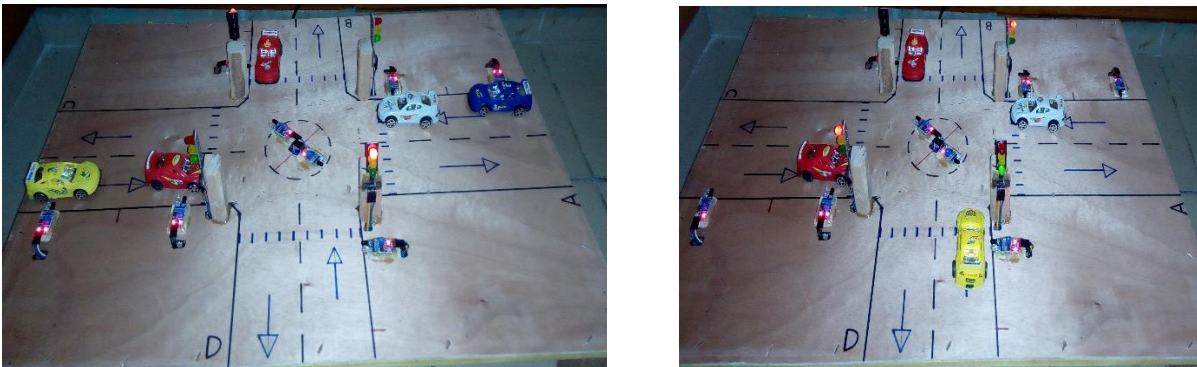


Figure 38: Schéma de fonctionnement intelligent des feux

2.3 Fonctionnement du système anormal

Dans cette partie, si à un moment donné de la circulation l'intersection se retrouve bloquée par les véhicules, alors le système à la période de transition va évaluer l'intersection et détecter une saturation. Une fois cela fait, le système va faire basculer tous les feux au rouge et faire retentir une alarme. Cette alarme a pour but d'alerter le poste de police se trouvant à proximité afin qu'ils viennent décanter la situation présente comme l'indique la figure 39. Une fois le problème résolu, le système se remet en marche automatiquement.

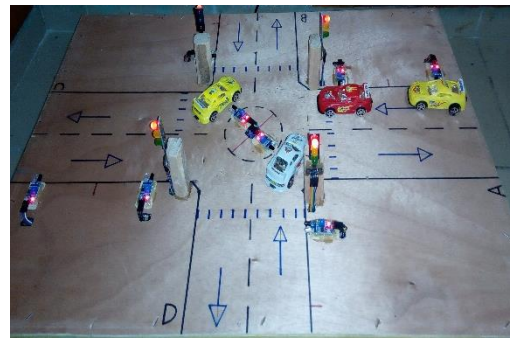
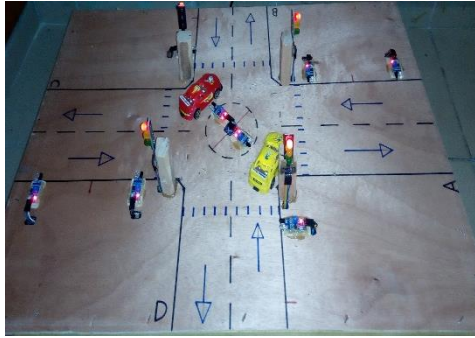


Figure 39: Schéma de fonctionnement anormal des feux

III. INTERPRETATION DES RESULTATS

1. Discussion

Lors de la réalisation de notre prototype, nous avons commencé par la première phase qui était le montage et la simulation de nos différents composants dans Proteus, ce qui fut un succès. Puis nous sommes passé à la deuxième phase qui consistait à réaliser une maquette permettant de simuler en temps réel le système. Les différents tests ainsi effectués sur ladite maquette nous ont été satisfaisants. Ces résultats ont été très positifs et démontrent la capacité des capteurs Infrarouge en matière de détection et comptage des véhicules. Dans le cas de l'implémentation réelle de notre prototype, il faudra disposer plusieurs capteurs infrarouges sur les différentes voies et les séparer chacun d'une distance d que nous définirons en fonction de la distance qui sépare deux véhicules comme indiqué dans les documents du code de la route. Une cette distance connue, nous pouvons donc partitionner le nombre de véhicules pouvant être entre deux capteurs sur une voie.

2. Difficultés rencontrées

Lors de la mise en place de notre système de gestion optimal du trafic routier, nous avons rencontré quelques difficultés :

- Lorsque nous avons commencé à effectuer des tests sur notre système de gestion optimal du trafic routier, il nous a semblé difficile d'effectuer la détection et le comptage des véhicules à cause de la sensibilité de résistance des capteurs au rayonnement solaire. Afin que ces capteurs puissent bien fonctionner nous avons dû effectuer un bon réglage de ces capteurs dans le but de détecter et de compter les véhicules sur une voie.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En somme, à travers ce mémoire nous avons proposé un nouveau système pour la régulation du trafic. Celui-ci est basé sur la technologie des capteurs. Grâce à cette technologie, nous pouvons récolter plusieurs paramètres du trafic en temps réel (distance entre véhicules, vitesse, nombres de véhicules, etc.). Ce système vient répondre à la problématique de fluidité du trafic au niveau des intersections. Il était question de concevoir et de simuler ce système de régulateur du trafic.

C'est ainsi que pour mieux aborder ce mémoire, nous d'abord passé en revue l'historique des feux tricolores et les différents modèles de gestion du trafic existant afin de relever leurs insuffisances. Ensuite, nous avons élucidé brièvement les concepts théoriques qui jalonnent la solution proposée. Et enfin, nous avons conçu à titre expérimental une maquette dont l'intelligence est concentrée dans une carte électronique permettant l'allocation dynamique du temps de vert à chaque tronçon d'une intersection en croix en fonction de leur taux d'occupation respectif. Pour y parvenir, nous avons équipé notre système d'une carte Arduino Méga, des capteurs IR et d'une interface puissance ULN permettant de fournir un courant suffisant aux LEDs. Les simulations logicielle et physique ont été réalisées et celles-ci se sont avérées être satisfaisantes. Néanmoins, nous avons rencontré d'un problème de sensibilité des capteurs en plein rayonnement solaire lors des tests. Pour résoudre ce problème, il a fallu effectuer un réglage au niveau des capteurs. Il est important de signaler que ce système purement adaptatif peut être utilisé dans des carrefours.

Bien que notre système dispose déjà de nombreuses fonctionnalités, celles-ci pourraient être améliorées par l'ajout de quelques fonctionnalités supplémentaires :

- Tout d'abord, le système étant alimenté par le réseau d'électricité, en cas de coupure l'ensemble du système ne sera plus fonctionnel. Une solution alternative serait l'utilisation des panneaux solaires couplés des batteries d'accumulateurs pour stocker de l'énergie. Celles-ci offriraient une autonomie au système en cas de panne d'électricité ;
- La gestion isolée d'une seule intersection n'est pas optimale, l'on pourrait penser à mettre en réseau les intersections à feux tricolores à l'échelle d'une ville pour commencer. Ainsi, via une application mobile cela permettrait aux usagers de prévoir le trajet à emprunter afin d'éviter les embouteillages ;
- Enfin, l'ajout d'une plate-forme (application mobile) permettant d'être avertis de manière instantanée (via un SMS par exemple) en cas de dysfonctionnement des feux tricolores d'une intersection permettra une meilleure maintenance du système.

REFERENCES

- [1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_de_transport_intelligent
- [2] Hunt et al., « SCOOT, A Traffic Responsive Method of Coordinating Signals », Transport and Road Research Laboratory, Laboratory Report 1014, 1981 ;
- [3] <http://www.histoire-pour-tous.fr/iventions/5135-linvention-des-feux-de-signalisation-1914.html>.
- [4] <http://www.feu.routier.free.fr> .
- [5] <http://www.cete-normandie-centre.developpement-durable.gouv.fr/les-centres-d-ingenierie-et-de-a511.html>
- [6] http://www.paris.fr/pratique/voirie-chantiers-en-cours/boulevard_peripherique/p367.
- [7] <http://recits.inrets.fr/article32.html>.
- [8] W. Homburger, J. Kell, and P. D.D. Fundamentals of traffic engineering, institute of transportation studies, university of california at berkeley, (13th edition). 1992.
- [9] R. R. McShane W.R. Traffic engineering, prentice hall. 1990
- [10] Me Shane et W.R, Traffic Engineering, Prentice Hall, 1998
- [11] Robertson et D.I., " TRANSYT : Method of Area Traffic Control ", Traffic Engineering and Control, pp, 276-283
- [12] Martin et al., "SCOOT – An Update ", Institute of Transportation Engineers Journal, January 1995, pp.44-48
- [13] A. Sims and K. Dobinson. The sydney coordinated adaptive traffic (scat) system philosophy and benefits. IEEE Transactionson Vehicular Technology, 29(2) :130 – 137, May 1980.
- [14] M. Abbas, H. Charara, N. Chaudhary, and Y. s. Jung. Distributed architecture and algorithm for robust real-time progress evaluation and improvement. Texas Transportation Institute, Texas A & M University System, 2006.
- [15] M. Selinger and L. Schmidt. A review of the cost, maintenance and reliability of popular adaptive traffic control technologies. Adaptive Traffic Control Systems in the United States, sep 2009.
- [16] L. E. Y. Mimbela and L. A. Klein. Summary of vehicle detection and surveillance technologies used in intelligent transportation systems. Federal Highway Administration, Intelligent Transportation Systems Joint Program Office, 2007.
- [17] D. W. Dey, S. Fitzsimons, A. Morris, and D. Ng. Adaptive traffic signal interconnect in menlo park and sunnyvale, ca. 2002

[18] Vincent et al., "Self Optimising Traffic Signal Control Using Microprocessors, The TRRL, MOVA strategy for Isoled Intersections", Traffic Engineering and Control, July/August 1986,pp.385-387 ;

[19] Mohamed Tlig, "Coordination locale et optimisation distribuée du trafic de véhicules autonomes dans un réseau routier", Thèse de doctorat : Informatique, Lorraine : Ecole doctorale IAEM, 2015,169 p

[20] <http://www.flir.fr/traffic>, dernière visite le 11 Mai 2020

[21] <http://www.traficon.com/>, dernière visite le 15 Mai 2020

[22] Jean-Claude Hénon et al.,G-10_detection, intersection-guide Schneider-Electric, novembre 2003, 17p

[23]http://fr.wikipedia.org/w/index.php?Title=Diode_électroluminescente&oldid=172013779 Dernière visite le 15 Mai 2020

[24]<http://www.mikroc.com/eng/produits/view/7/mikroc-pro-for-pic/>, dernière visite le 15 Mai 2020

[25] Mini_guide_Isis_v6,le 15/11/2005, pp.2-3

ANNEXES

Annexe 1 : Automate programmable (AXIMUM-Maestro T16)



Sources : Auteur

Annexe 2 : Gestion du trafic manuellement par un agent de la police



Sources : Auteur

Annexe 3 : Bout de code du programme mis dans Arduino

```
//=====FONCTIONS=====

//-----
void modeNormal(){
  while(!start)
  {
    digitalWrite(Rax, HIGH);digitalWrite(Oax, LOW);digitalWrite(Vax, LOW);
    digitalWrite(Rcx, HIGH);digitalWrite(Ocx, LOW);digitalWrite(Vcx, LOW);
    digitalWrite(Rbx, LOW);digitalWrite(Obx, LOW);digitalWrite(Vbx, HIGH);
    digitalWrite(Rdx, LOW);digitalWrite(Odx, LOW);digitalWrite(Vdx, HIGH);
    temporisation1();

    Serial.println("//  ---- Transition BD ==>> AC ----  //");
    Serial.println("//-----//");
    digitalWrite(Rax, HIGH);digitalWrite(Oax, LOW);digitalWrite(Vax, LOW);
    digitalWrite(Rcx, HIGH);digitalWrite(Ocx, LOW);digitalWrite(Vcx, LOW);
    digitalWrite(Rbx, LOW);digitalWrite(Obx, HIGH);digitalWrite(Vbx, LOW);
    digitalWrite(Rdx, LOW);digitalWrite(Odx, HIGH);digitalWrite(Vdx, LOW);
    temporisation3();

    Serial.println("//          ---- Voies A et C ----          //");
    Serial.println("//-----//");
    digitalWrite(Rax, LOW);digitalWrite(Oax, LOW);digitalWrite(Vax, HIGH);
    digitalWrite(Rcx, LOW);digitalWrite(Ocx, LOW);digitalWrite(Vcx, HIGH);
    digitalWrite(Rbx, HIGH);digitalWrite(Obx, LOW);digitalWrite(Vbx, LOW);
    digitalWrite(Rdx, HIGH);digitalWrite(Odx, LOW);digitalWrite(Vdx, LOW);
    temporisation2();
  }
}
```

```

Serial.println("//  ----- Transition AC ==>> BD -----  //");
Serial.println("//-----//");
digitalWrite(Rax, LOW);digitalWrite(Oax, HIGH);digitalWrite(Vax, LOW);
digitalWrite(Rcx, LOW);digitalWrite(Ocx, HIGH);digitalWrite(Vcx, LOW);
digitalWrite(Rbx, HIGH);digitalWrite(Obx, LOW);digitalWrite(Vbx, LOW);
digitalWrite(Rdx, HIGH);digitalWrite(Odx, LOW);digitalWrite(Vdx, LOW);
temporisation3();
Serial.println("//          ---- Voies B et D ----          //");
Serial.println("//-----//");
}
}
//-----
void temporisation1()
{temporisation = 0;
  time1 = millis();
  while (millis() - time1 < 25000)
  {
    if (millis() - time2 >= 5000)
    {
      temporisation += 5;
      time2 = millis();
      LectureCapteurs();
    }
  }
  while((VallB + VallD)>(VallA+VallC))
  {
    delay(5000);
  }
}

```

```

    delay(5000);
    LectureCapteurs();
    temporisation += 5;
}
}
//-----
void temporisation2()
{temporisation = 0;
  time1 = millis();
  while (millis() - time1 < 25000)
  {
    if (millis() - time2 >= 5000)
    {
      temporisation += 5;
      time2 = millis();
      LectureCapteurs();
    }
  }
  while(((VallA + VallC) > (VallB + VallD)))
  {
    delay(5000);
    LectureCapteurs();
    temporisation += 5;
  }
}
//-----
void temporisation3()
{temporisation = 0;

```



```

//-----
void temporisation3()
{temporisation = 0;
  time1 = millis();
  while (millis() - time1 < 8000)
  {
    if (millis() - time2 >= 4000)
    {
      temporisation += 5;
      time2 = millis();
      LectureCapteurs();
    }
  }
  if(error == 1)
  {
    digitalWrite(Rax, HIGH);digitalWrite(Oax, LOW);digitalWrite(Vax, LOW);
    digitalWrite(Rcx, HIGH);digitalWrite(Ocx, LOW);digitalWrite(Vcx, LOW);
    digitalWrite(Rbx, HIGH);digitalWrite(Obx, LOW);digitalWrite(Vbx, LOW);
    digitalWrite(Rdx, HIGH);digitalWrite(Odx, LOW);digitalWrite(Vdx, LOW);
    alarme();
    //LectureCapteurs();
    Serial.println("////////////////////////////////////////");
    Serial.println("//      FONCTIONNEMENT NORMAL      //");
    Serial.println("////////////////////////////////////////");
    ot = 0;
  }
}
//-----

```

```

//-----
void LectureCapteurs() {
  unsigned int oldValA = 0,oldValB = 0,oldValC = 0, oldValD = 0, oldValX = 0;
  VallA = 0; VallB = 0; VallC = 0; VallD = 0; VallX = 0;

  recup();
  oldValA = ValA; oldValB = ValB; oldValC = ValC; oldValD = ValD;oldValX = ValX;
  delay(3000);
  recup();
  if(oldValA == ValA) VallA = ValA; if(oldValB == ValB) VallB = ValB;
  if(oldValC == ValC) VallC = ValC; if(oldValD == ValD) VallD = ValD;
  if(oldValX == ValX) VallX = ValX;

  if (VallX >= 3) {error = 1;}
  else {
    error = 0;
    if (ot == 0){
      Serial.print("//      valA = ");Serial.print (VallA);Serial.println("      //");
      Serial.print("//      valB = ");Serial.print (VallB);Serial.println("      //");
      Serial.print("//      valC = ");Serial.print (VallC);Serial.println("      //");
      Serial.print("//      valD = ");Serial.print (VallD);Serial.println("      //");
      Serial.print("//      valX = ");Serial.print (VallX);Serial.println("      //");
      Serial.print("//      Temporisation = ");Serial.print (temporisation);Serial.println("      //");
      Serial.println("//-----//");
    }
  }
}
//-----

```

