**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA**

**FACULTE DE LA TECHNOLOGIE**

**Département de Génie Électrique**

# Projet De Fin d'Etude

***Pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunication***

***Option:* Systèmes Intelligents et Communicants**

***Thème***

# Contrôle Coopératif des Feux de Circulation d'un Groupe d'Intersections à base d'un Algorithme Génétique

**Proposé et dirigé par** :

*Dr. M.BOUHEDDA*

**Préparé et présenté par :**

*BENSARI Hadjer* *OUALI Ahlem*

Année universitaire 2016-2017

Mémoire préparé au sein de Laboratoire des Systèmes Electroniques Avancés (LSEA)

de l'Université de Médéa

*« Les prouesses réalisées par des individus*

*Exceptionnels, grâce à leur art et à leur*

*intelligence, tôt*

*ou tard la technologie les rend possibles à*

*tout le monde »*

*« Roland Topor »*

# DEDICACE

*Louange à Dieu pour tous ses dons que je ne saurais compter.*

*Une chance m'a été offerte aujourd'hui pour vous parler des*
*personnes qui me sont chères et à qui je dois tout.*
*Je voudrais leur exprimer tous mes remerciements et ma profonde gratitude.*

*Je dédie ce modeste travail*
*A mes chers parents et beaux-parents que Dieu les accueille dans son vaste Paradis,*
*A mon cher mari Badis qui m'a toujours soutenu,*
*aidé et encouragé à poursuivre mes études, que Dieu le protège.*
*A mes chers enfants Nahwan, Nawfal et Mafaz.*
*A mes deux familles BENSARI et KOUIDRI*
*A ma chère amie Ahlem*
*A toutes mes amies.*
*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

*Hadjer*

Http://maomao520.yeah.net

# DEDICACE

*Je remercie **Dieu** tout puissant qui m'a donné toute la volonté et la patience nécessaires à la réalisation de ce travail.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ma source de tendresse, d'amour et d'affection, à ma très **chère Mère** pour tous ses encouragements, pour tous ses sacrifices.*

*A ma très chère **grand-Mère.***

*A mon très cher frère **Abd El Djallil***

*A mon très **cher oncle Zoheir**, qui a toujours fait preuve d'un soutien infaillible, il a tout fait pour assurer mon éducation.*

*A mon oncle Kamel.*

*A mes très chers parents Mama **Houria** et Papa **Boualem***

*A mon mari **Mohamed** que Dieu le garde*

*Une pensée à mes tantes : Djaouida, Fifi, Assia, Fatiha, Halima, Manel*

*A ceux qui m'ont soutenue et encouragée,*

*Ils ont créé le milieu favorable et l'ambiance joyeuse qui m'ont permis de mener à bien ce mémoire,*

*A mes chers Rayen, Rania, Ilham, Manal, Taki, Nadhir, Mourad et Djillali.*

*A mes chères amies avec lesquelles j'ai partagé de bons moments.*

*A ma chère amie **Hadjer***

*A Toute ma famille….*

*A tout ceux que j'aime et qui m'aiment.*

*A **tous, je** dédie ce modeste travail et à tous j'exprime ma profonde gratitude.*

*Ahlem*

Http://maomao520.yeah.net

# REMERCIEMENT

*Tout d'abord,*

*Nous tenons remercier* ***le grand dieu*** *tout puissant qui nous a donné la force*

*Et la volonté pour arriver au maximum de notre travail*

*Nous tenons à remercier notre promoteur*

***Mr. BOUHEDDA Mounir***

*Pour son assistance et sa disponibilité pour ce travail.*

*Qui nous a guidé, soutenu et éclairé dés le début notre projet.*

*Nous remercions le corps administratif de notre institut.*

*Enfin nous tenons à remercier les membres de jury pour l'honneur qu'ils*

*nous font en jugeant ce modeste travail.*

***Que toute personne ayant de prés ou de loin à l'élaboration de cette étude***

***trouve ici l'expression de notre profonde sympathie.***

Hadjer - Ahlem

# ملخص

الهدف من هذا المشروع هو اقتراح نظام ذكي لمراقبة إشارات المرورمن شبكة مفترقات الطرق وتحسين عملياتها من خلال خفض متوسط وقت الانتظار من المركبات. وقد تم البحث على شبكة تغطي عدة تقاطعات واقترح خوارزمية توزيعها على التعاون وضبط وقت الإشارة الخضراء على ظروف حركة المرور باستخدام التكنولوجيا الذكية على أساس الخوارزميات الجينية. بتطبيق الخوارزمية على عدة مفترقات طرق من خلال المحاكاة نتج لنا أنه يمكن التحسين بشكل كبير من متوسط وقت الانتظار من المركبات و هذا بالتكيف مع التغيرات في حركة المرور، بالمقارنة مع الطرق التقليدية.

**الكلمات المفتاحية :**الخوارزمية الجينية، مفترق طرق، التعاونية، التنسيق، إشارات المرور و حركة المرور على الطرق.

# *Résumé*

Le but de ce projet est la proposition d'un système intelligent pour le contrôle coopératif des feux de circulation d'un réseau de carrefours routier et l'optimisation de son fonctionnement en réduisant le temps moyen d'attente des véhicules. Une recherche a été faite sur un réseau couvrant plusieurs intersections et un algorithme distribué a été proposé, permettant de coopérer et d'adapter constamment le temps de vert aux conditions du trafic à l'aide d'une technique intelligente basée sur les algorithmes génétiques. Les simulations montrent que l'algorithme appliqué à plusieurs intersections, permet d'améliorer considérablement le temps moyen d'attente des véhicules en s'adaptant mieux aux variations de trafic, en comparaison à des méthodes classiques.

**Mots clés :** Algorithme génétique, Carrefour, Coopératif, Coordination, Feux de signalisation, Trafic routier.

# *Abstract*

The aim of this project is to propose an intelligent system for the cooperative control of the traffic signals of a road network junctions and to optimize its operation by reducing the average waiting time of vehicles. A search was made on a network spanning several intersections and a distributed algorithm was proposed to cooperate and constantly adapt the green time to traffic conditions using an intelligent technique based on genetic algorithms. The simulations show that the algorithm applied at several intersections makes it possible to considerably improve the average waiting time of the vehicles by adapting better to the variations in traffic compared to more classical methods.

**Key words:** Genetic algorithm, Carrefour, Cooperative, Coordination, Traffic lights, Traffic.

# *Sommaire*

Liste des acronymes..... I
Liste des figures……. II
Liste des tableaux…….. IV

Introduction générale …… 01

## CHAPITRE I : Généralité sur la gestion du trafic routier

I.1 Introduction…… 03
I.2 Problématique……...…….. 03
I.3 Le trafic routier…… 03
I.3.1. Variables élémentaires du trafic routier…….……... 04
I.3.2. La régulation du trafic routier …… 04
I.4 Les feux de signalisation...…….. 05
I.4.1. Principe des feux de circulation…….. 05
I.4.2. La gestion des feux de circulation…… 06
I.4.3. Les contrôleurs des feux ……...……. 06
I.5 Le carrefour à feux...……. 06
I.5.1. Quelques définitions…….. 07
I.5.2. La gestion des feux de circulation classique……...…… 08
I.6 Nomenclature……...…… 09
I.7 Régulation des carrefours à feux…….……. 10
I.8 La gestion des feux de circulation intelligente……. 10
I.8.1. Les systèmes de transports intelligents…….....…..……. 10
I.8.2. Métriques et paramètres……..……..……. 11
I.8.3. Les systèmes coopératifs…….……..... 12

I.9 La régulation des carrefours……..…….. 13
I.9.1. Flux des véhicules compatibles et incompatibles…….. 14
I.9.2. Les données des véhicules…….……. 15
I.9.3. Les critères à optimiser…...……. 16
I.10 Modélisation mathématique du problème…….. 16
I.11 La régulation des véhicules sur plusieurs carrefours voisins…….. 17
I.12 Conclision …… 18

# CHAPITRE II : Synthèse du contrôleur par un algorithme génétique

II.1 Introduction……...…… 19
II.2 Fonctionnement des algorithmes génétiques……. 20
II.2.1. Codage des solutions……..…….…….. 21
a) Le codage binaire…….. 21
b) Le codage de permutation..…… 22
II.2.2. Le choix de méthode de codage……..…..…….…… 22
II.2.3. L'opérateur de sélection…….……. 23
II.2.4. L'opérateur de croisement……..……. 23
II.25 L'opérateur de mutation…...…….…… 25
II.3 Schéma de codage binaire proposé…… 25
II.4 Calcule des estimateurs……...…….. 29
II.5 Les croisements et les mutations pour le codage binaire.…… 29
II.5.1. Le Croisement……...……..... 29
II.5.2. La mutation……...……. 29
II.6 Génération de la population initial et critère d'arrêt……. 29
II.7 Les coordinations entre les carrefours voisins……..…… 30
II.8 Conclusion…..…….. 31

# CHAPITRE III : Simulations et tests

III.1 Introduction……... 32

III.2 Configuration du réseau testé…… 33

III.3 Exemple de simulation…….. 34

III.4 Performance de calcul……... 40

III.5 Conclusion…… 43

Conclusion générale…….. 44

Références bibliographiques…… 46

# *Liste des Figures*

# *Liste des Figures*


| | | |
|---|---|---|
| Figure I.1 | Modèle de carrefour généralement utilisé dans la littérature…….. | 06 |
| Figure I.2 | Les 12 mouvements possibles sur un carrefour à 4 voies…….. | 07 |
| Figure I.3 | Exemple d'un plan de feux……..… | 08 |
| Figure I.4 | NEMA - affectation de labels aux voies, affectation des phases..... | 09 |
| Figure I.5 | Les systèmes coopératifs……..……..…. | 12 |
| Figure I.6 | Illustration du carrefour à 4 directions……..…….... | 13 |
| Figure I.7 | Exemple des flux compatibles et des flux incompatibles……..…..... | 14 |
| Figure I.8 | Définition d'un groupe de passage dans la séquence des groupes de passage des véhicules……. | 17 |
| Figure I.9 | Schéma général d'un modèle se reposant sur plusieurs intersections. | 17 |
| Figure II.1 | Etape d'algorithme génétique…...……. | 21 |
| Figure II.2 | Illustration du codage binaire.……..... | 22 |
| Figure II.3 | Illustration du codage de permutation.……... | 22 |
| Figure II.4 | Croisement avec un point.……..…….. | 24 |
| Figure II.5 | Croisement avec deux points……... | 24 |
| Figure II.6 | Exemple de codage binaire pour l'algorithme génétique proposé…. | 27 |
| Figure II.7 | Un deuxième exemple de codage binaire pour l'algorithme génétique proposé…….……... | 27 |
| Figure II.8 | Individu impossible généré par le codage binaire…….. | 28 |
| Figure II.9 | Mutation pour le codage binaire……. | 29 |
| Figure II.10 | Coordination de deux carrefours voisins……. | 30 |
| Figure III.1 | Coordination de 4 carrefours voisins……... | 33 |
| Figure III.2 | La matrice de la population initiale……. | 34 |
| Figure III.3 | Les groupes de passages générer par l'algorithme génétique……. | 35 |
| Figure III.4 | Exemple d'individu……..……. | 35 |
| Figure III.5 | La population POP crée par l'AG ……. | 36 |
| Figure III.6 | Les fitness de tous les individus de POP……. | 36 |
| Figure III.7 | Résultat sur le temps d'attente moyen et le temps du vert…….... | 37 |

# *Liste des Figures*


| | | |
|---|---|---|
| Figure III.8 | Amélioration du temps d'attente moyen en fonction du nombre de générations…….. | 38 |
| Figure III.9 | Amélioration du temps d'attente moyen en fonction de répétition des mêmes individus……... | 38 |
| Figure III.10 | Chronogramme du feu vert dirige par un algorithme génétique…… | 39 |
| Figure III.11 | Les valeurs du temps d'attente moyen par l'AG et la méthode classique…… | 41 |
| Figure III.12 | Résultat sur le temps du vert calculé par l'AG pour 140 véhicules…. | 41 |
| Figure III.13 | Résultat sur le temps du vert calculé par l'AG pour 300 véhicules…. | 42 |
| Figure III.14 | Résultat sur le temps du vert calculé par l'AG pour 800 véhicules…. | 43 |

# *Liste des Tableaux*

# *Liste des Tableaux*


| | | |
|---|---|---|
| Tableau II.1 | Données des véhicules dans les quatre GFCs. Chaque véhicule a une date d'arrivée a et un temps de passage *p*. Les véhicules dans chaque GFC sont divisés en deux ou trois voies…….. | 26 |
| Tableau III.1 | Paramètres des expérimentations pour l'algorithme génétique… | 34 |
| Tableau III.2 | Performances de calcul de l'AG proposé……. | 40 |

# *Liste des Acronymes*

# *Liste des Acronymes*

| | |
|---|---|
| **AG** | Algorithmes Génétiques |
| **$a_{GP}$** | Le temps d'arrivée du groupe de passage |
| **$a_i$** | Le temps d'arrivée du véhicule $v_i$ |
| **FIFO** | First In First Out |
| **GFC** | Groupe de Flux Compatible |
| **GP** | Groupe de Passage |
| **MANET** | Mobile Ad hoc NETworks |
| **MG** | Mini-Groupe |
| **NEMA** | National Electrical Manufacturers Association |
| **$\eta_i$** | Le nombre de véhicule du groupe $GFC_i$ |
| **$P_i$** | Le temps de passage (ou de traversée) du véhicule $v_i$ |
| **POP** | Population |
| **$S_i$** | L'instant de départ du véhicule $v_i$ pour traverser le carrefour |
| **SGP** | La Séquence des Groupes de Passage |
| **STI** | Système de Transport Intelligent |
| **TA** | Temps d'Attente |
| **TG** | Time of the Green |

# *Introduction Générale*

# INTRODUCTION GENERALE

Depuis la seconde moitié du 20ème siècle, le phénomène de la congestion routière est devenu prédominant en raison de l'augmentation rapide du nombre de véhicules et de la demande en transport. Surtout au cours de la dernière décennie, la congestion a attiré une grande attention en raison de la crise énergétique mondiale et les préoccupations environnementales. Parmi les différents leviers, la régulation aux niveaux des intersections est au centre des développements actuels pour améliorer la circulation routière dans les villes modernes [11].

La méthode classique adoptée pour prévenir ou réduire les congestions dans les villes modernes est basée sur la signalisation routière. Le droit de passage est attribué aux usagers par l'utilisation de feux de couleurs standards (rouge-orange/jaune-vert), ce qui permet de résoudre les conflits entre les différents flux de circulation aux carrefours. Le contrôle de la signalisation du trafic pour les carrefours se divise généralement en deux catégories : la stratégie de contrôle à plan de feux fixe, c'est-à-dire avec un cycle fixé, et la stratégie de contrôle adaptative, qui permet des changements de durées de phases en fonction de la demande du trafic. Les deux stratégies sont basées sur l'estimation du débit du trafic. Puisque le débit est une variable continue qui nécessite une période de temps donnée pour être estimée, il y a toujours des écarts importants entre le débit estimé et le débit réel. Cela rend difficile l'exploitation du potentiel des infrastructures de la circulation à un niveau maximum [11].

Dans ce travail, nous introduisons tout d'abord la problématique de régulation du trafic ainsi que quelques termes relatifs au trafic routier. Nous modélisons ensuite la régulation du trafic au niveau des carrefours. Puis, nous appliquons le schéma de codage binaire appliqué par un algorithme génétique sur des carrefours adjacents afin de trouver une séquence de passage optimale. A la fin, une comparaison a été faite entre notre approche et la méthode classique pour montrer l'efficacité de cette méthode adaptative.

La congestion dans les grandes villes est généralement causée par plusieurs carrefours adjacents situés dans des réseaux de rues denses. Alors, nous appliquons l'approche de contrôle proposée sur un réseau de carrefours. Un des inconvénients de l'installation d'un contrôleur à chaque intersection est qu'elle augmente le coût de construction [16]. Il serait donc intéressant d'étendre l'approche de contrôle sur un réseau de carrefours tout en considérant un seul contrôleur au lieu de plusieurs contrôleurs. D'après des études déjà faites, un algorithme exact appliqué sur plusieurs carrefours ne peut être assez rapide surtout lorsqu'on a besoin de communiquer rapidement des informations aux véhicules (en temps

réel). Nous proposons donc une méthode de résolution approchée afin de trouver en un temps raisonnable une séquence de passage satisfaisante pour chaque carrefour. Cet algorithme est en effet, a besoin de moins de temps de calcul tout en assurant une bonne qualité de solution [11].

Enfin, nous illustrons la mise en œuvre de notre approche proposée à travers des résultats de simulation afin d'évaluer leur performances.

Tout au long de notre travail, on a été amené à utiliser le logiciel de calcul mathématique MATLAB.

Ce mémoire a été scindé en trois chapitres principaux :

Le premier chapitre présente des généralités sur le trafic routier, explique la gestion des feux de circulation classique et intelligente, introduit la notion des flux des véhicules compatibles et incompatibles et par la suite donne une brève explication sur la régulation des véhicules sur plusieurs carrefours voisins.

Dans le deuxième chapitre un algorithme génétique a été proposé pour résoudre le problème de régulation des véhicules en utilisant un type de codage appelé « le schéma de codage binaire ».

Le troisième chapitre présente les résultats des tests sur le temps d'attente moyen obtenus par l'algorithme génétique, le temps du feu vert, ainsi les résultats de la comparaison avec la méthode classique.

A la fin, ce mémoire est achevé par une conclusion générale.

# Chapitre I :

# Généralités sur la gestion du trafic routier

## I.1 Introduction

La croissance permanente de la population dans les villes modernes a augmenté le nombre des véhicules et aussi la nécessité d'une circulation fluide des personnes et des marchandises dans les réseaux urbains. Ainsi, le problème de la congestion du trafic est devenu l'un des principaux problèmes à résoudre par les systèmes de régulation du trafic d'aujourd'hui. Particulièrement, au cours de la dernière décennie, la congestion du trafic a attiré une attention significative à cause de la crise énergétique mondiale et les préoccupations environnementales. Malgré qu'il existe de bons systèmes de gestion de la route et des infrastructures routières suffisantes pour le transport, nous faisons encore face à une congestion du trafic, en particulier, aux carrefours à feux.

## I.2 Problématique

L'embouteillage et l'encombrement des routes en Algérie augmentent sans cesse ces dernières années à cause notamment de l'augmentation du nombre total des véhicules en circulation et la mauvaise gestion des intersections qui constitue une des causes majeurs d'encombrements des routes dans les grands villes. Pour remédier à ce problème, plusieurs solutions ont été mise en place par l'autorité concernée comme le système de feux de signalisation qui est l'un des outils employés pour gérer les flux de circulation automobile dans les intersections. Cependant, cette solution présente des limitations vu qu'elle n'est pas optimisée pour tenir en compte le flux de trafic de chaque route en temps réel ce qui engendre souvent des bouchons et nécessite l'introduction de nouvelles solutions plus efficaces.

## I.3 Le trafic routier

En général, le trafic est constitué de deux composantes majeures: l'infrastructure et les mobiles.

- L'infrastructure est un ensemble d'éléments structuraux interconnectés qui fournissent le cadre pour supporter la totalité de la structure du trafic. Par exemple, pour les réseaux routiers et autoroutiers, l'infrastructure contient les structures : ponts, ponceaux, signalisation et marquages, systèmes électriques (lampes d'éclairage public et de circulation) et les traitements de bord (bordures, trottoirs, aménagement paysager).
- Les mobiles sont les individus qui utilisent l'infrastructure, principalement dit, des véhicules. Les piétons ne sont pas considérés car leurs mouvements sont supposés dépendre de celui des mobiles.

Notons que les véhicules à l'arrêt ou en stationnement, au sens défini par le code de la route, sont considérés comme faisant partie de l'infrastructure et ne sont généralement pas pris en compte. Autrement dit, seuls les mobiles en mouvement sur la route et en interaction avec la signalisation sont considérés [3].

Nous introduisons les variables élémentaires utilisées et les mesures usuelles pour l'analyse du trafic :

### I.3.1. *Variables élémentaires du trafic routier*

Le développement considérable de la circulation automobile et l'accroissement constant de la motorisation ont rendu nécessaire l'élaboration des théories du trafic, capables de décrire, d'expliquer et de prévoir les interactions entre les véhicules ainsi que les mouvements d'ensemble sur les infrastructures routières. Ces théories, déterministes ou probabilistes s'introduisent au moyen d'un certain nombre de variables, de relations ou de distributions caractéristiques [6]:

- *L'écart du temps inter-véhiculaire :* c'est le temps qui s'écoule entre les instants de passage de deux véhicules successifs.
- *Le débit* **:** Il correspond à la répartition des véhicules dans le temps.
- *La densité :* Elle décrit la répartition des véhicules dans l'espace.
- *La vitesse des véhicules et les vitesses moyennes.*
- *Le taux d'occupation :* Grandeur sans dimension, définie par la proportion de temps durant laquelle la boucle est occupée [11].

### I.3.2 *La régulation du trafic*

La régulation du trafic en milieu urbain se donne différents objectifs : avant tout assurer la sécurité des véhicules et des piétons sur la voirie, en particulier dans les carrefours où les conflits sont plus nombreux, mais aussi maitriser les retards, les congestions, la pollution, le bruit, conséquence d'une augmentation incessante du trafic, enfin assurer un certain confort [7].

Pour répondre à ces objectifs, la régulation revêt plusieurs aspects : d'abord un aspect statique par le choix d'une infrastructure urbaine doublée d'une signalisation appropriée ; ensuite un aspect dynamique par des actions sur le flux de véhicules et de piétons au moyenne [7]:

- De feux tricolores.
- De présence d'agent de la circulation.
- De panneaux à messages variables.
- De systèmes embarqués d'information et de guidage.

## I.4 Les feux de signalisation

Les feux de circulation constituent le moyen le plus répandu de gérer le flux des automobiles aux carrefours routier (tant au milieu urbain que rural). Leur rôle est de rendre fluide le déplacement des automobiles et de rendre ceux-ci le plus sécuritaire possible en prévenant les accidents entre véhicules et impliquant des piétons. Plusieurs méthodes ont été utilisées afin de gérer efficacement les feux de circulation. Au tout début, le changement des feux était réalisé manuellement, puis des systèmes automatisés ont été introduits et avec le temps, ceux-ci sont devenus de plus en plus sophistiqué. Certain d'entre eux sont d'ailleurs basés sur des modèles mathématiques plus ou moins complexes et sont commercialisés depuis plusieurs années. De tels modèles sont utilisés dans de nombreuses villes à travers le monde [21].

### I.4.1 *Principe de feux de circulation*

Le feu tricolore autorise ou non le passage des véhicules sur les voies en fonction de la couleur du feu. Il est important de bien respecter les arrêts imposés par le feu tricolore sous peine d'être en situation d'infraction ; le feu tricolore règle la circulation selon trois couleurs de feux : rouge, orange et vert [21].

- Rouge : tout conducteur doit marquer l'arrêt absolu devant un feu de signalisation rouge, fixe ou clignotant.
- Vert : tout conducteur est autorisé à passer (ce qui signifie en aucun cas qu'il ne faut pas être prudent sauf pour les immortels téméraires).
- Jaune (dit également orange) : tout conducteur doit marquer l'arrêt devant le feu de signalisation jaune fixe sauf dans le cas où, lors de l'allumage du dit feu, le conducteur ne peut plus arrêter son véhicule dans des conditions de sécurité suffisantes.

### I.4.2 *La gestion des feux de circulation*

Dans cette partie nous orientons notre étude sur les systèmes de gestion des feux de circulation, en abordant des solutions et termes traditionnellement utilisés dans les zones urbaines [21].

### I.4.3 *Les contrôleurs de feux*

De nos jours, les feux de circulation d'une intersection sont généralement gérés par une boite de contrôle, qui va posséder plus ou moins de propriétés en fonction des constructeurs. Typiquement, une boite est rattachée à une seule intersection et possèdent les éléments principaux suivants [19]:

- Une unité d'énergie.
- Une unité de détection.
- Une unité de contrôle.
- Une unité d'avertissement rapide.
- Une unité de gestion des conflits.
- Une unité d'administration.

## I.5 Carrefour à feux

Un carrefour à feux, comme illustre la figure I.1, est une intersection dont le trafic est réglé par des feux de signalisations lumineux pilotés par un contrôleur. Le réglage des cycles de feux doit permettre d'assurer la sécurité des automobiles et des piétons tout en permettant un débit maximal [21].

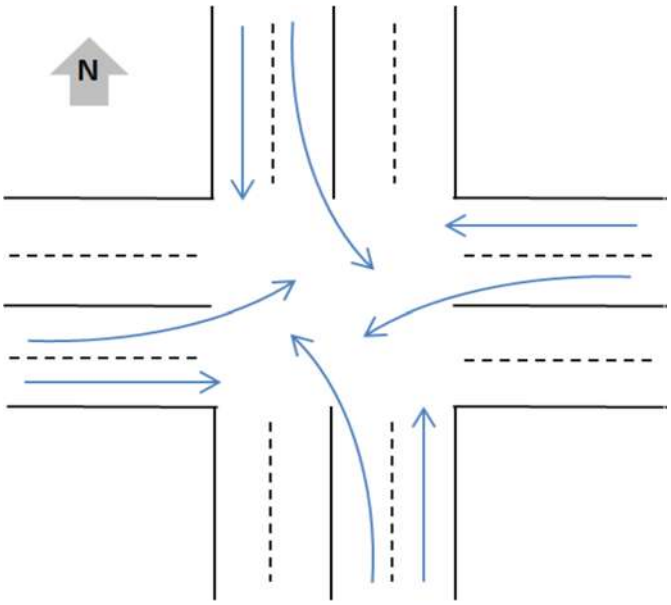



**Figure I.1:** Modèle de carrefour généralement utilisé dans la littérature.

### I.5.1 *Quelques définitions*

1. Conflit : croisement de deux mouvements de véhicules ou de piétons [21].
2. Courant : ensemble de mouvements réunis sur une même voie [21].
3. Cycle de feux : correspond à l'enchainement d'un ensemble de phases. Ce cycle est typiquement fixé au minimum à 45 secondes et ne dure pas plus de 90 secondes pour éviter de perdre du temps à arrêter et redémarrer le trafic. Classiquement, un cycle déroule l'ensemble des phases et mouvements possibles, de manière à ce que toutes les voies aient au moins une fois le feu au vert. Lorsque l'intersection est suffisamment équipée, cette règle n'est pas nécessairement applicable (par exemple, les voies sans véhicules peuvent ne pas être sélectionnées) [21].
4. Mouvement : la figure (I.2) montre le déplacement des véhicules dont on distingue l'origine et la destination [21].
5. Phase : représente un intervalle durant lequel une combinaison de feux verts autorisés par l'unité de gestion des conflits va être activée. Les phases sont déterminées à partir des mouvements que chaque direction peut effectuer [21].
6. Temps de dégagement **:** temps de latence entre deux phases qui admettent des courants antagonistes dans le carrefour afin de permettre la libération complète du point de conflit (par exemple, les véhicules effectuant une tourne à gauche, stockés au centre de carrefour) [21].
7. Vitesse moyenne : le réglage de la durée de différentes phases se fait en considérant des vitesses moyennes d'1m/s pour les piétons (sauf devant une école, un hôpital ou une maison de retraite) et de 10m/s pour les véhicules [21].
8. Voie : portion de la chaussée dédiée à un courant [21].

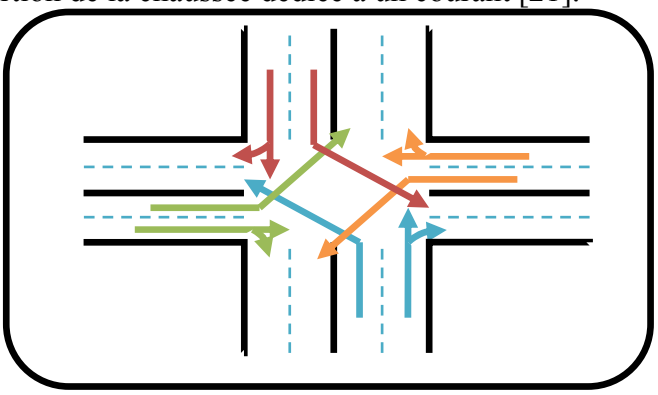


**Figure I.2:** Les 12 mouvements possibles sur un carrefour à 4 voies.

### I.5.2 *La gestion des feux de circulation classique*

Dans cette partie nous orientons notre étude sur les systèmes de gestion des feux de circulation, en abordant des solutions et termes traditionnellement utilisés dans les zones urbaines [21].

- Un plan de feux correspond à la description d'un cycle donné, et défini les différentes phases que le cycle va dérouler ainsi que leur durée. Exemple donné à la figure I.3 où le plan de feux est constitué d'un cycle de deux phases [21].

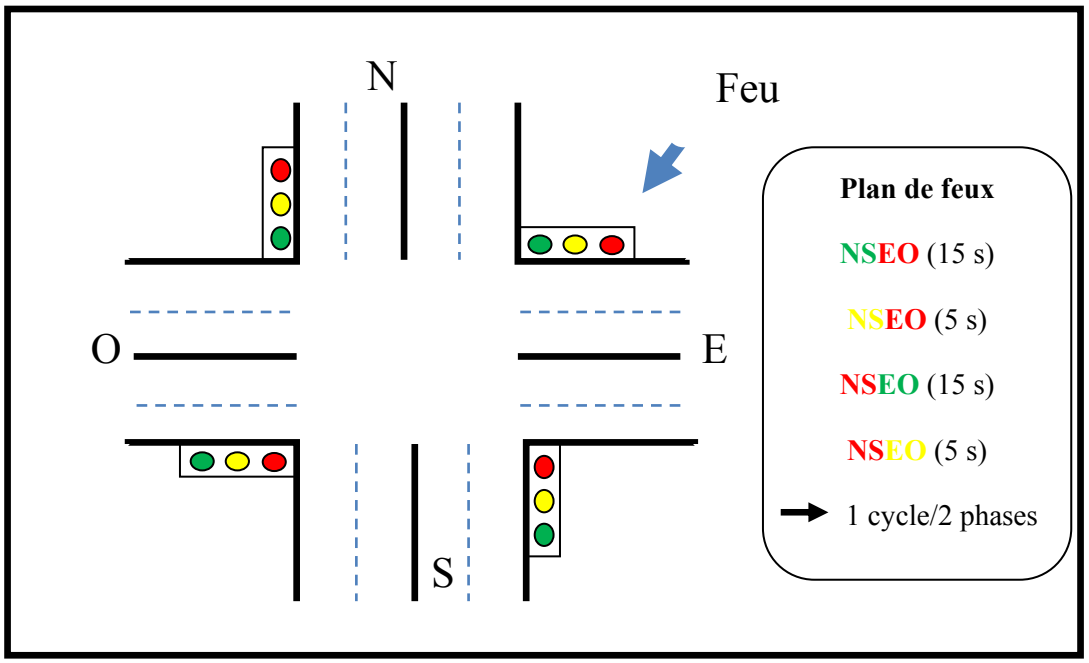



**Figure I.3 :** Exemple d'un plan de feux.

## I.6 Nomenclatures

Face à la multitude de constructeurs existant dans la gestion du trafic routier urbain, et des spécifications souvent différentes amenant à des incompatibilités techniques et fonctionnelles, plusieurs organisations se sont regroupées dans le but de mettre en place des nomenclatures, afin de favoriser le développement des STI « Système de Transport Intelligent » [22].

- Numérotation des phases : L'une des normes rédigées par la NEMA « National Electrical Manufacturers Association », définit la mise en place des phases possibles d'une intersection, en les numérotant en fonction de labels bien spécifiques affectés aux mouvements possibles, comme l'illustre la figure I.4. Par exemple, les voies de la direction sud allant tout droit auront le label 6 d'affecté, celles de la direction ouest le label 8. La définition des phases va se faire en fonction de la numérotation des mouvements : plusieurs techniques existent, mais il suffit généralement de prendre le plus petit numéro affecté à un mouvement allant tout droit afin de nommer une phase [20].

Exemple sur la figure I.4 : si nous prenons la phase représentée par les mouvements bleus, soit les numéros 2, 5, 1 et 6, dont 2 et 6 correspondent à des mouvements allant tout droit, alors le numéro de la phase est 2. Pour une phase ne possédant pas de mouvement allant tout droit, alors le plus petit label parmi les autres mouvements est sélectionné. Notons qu'ici, les mouvements à droite ne sont pas représentés car confondus avec les mouvements allant tout droit (nous pouvons poser l'hypothèse que ces derniers reprennent les mêmes propriétés : si un mouvement de droite entre en conflit avec un autre mouvement, alors cela est nécessairement le cas pour le mouvement tout droit associé).

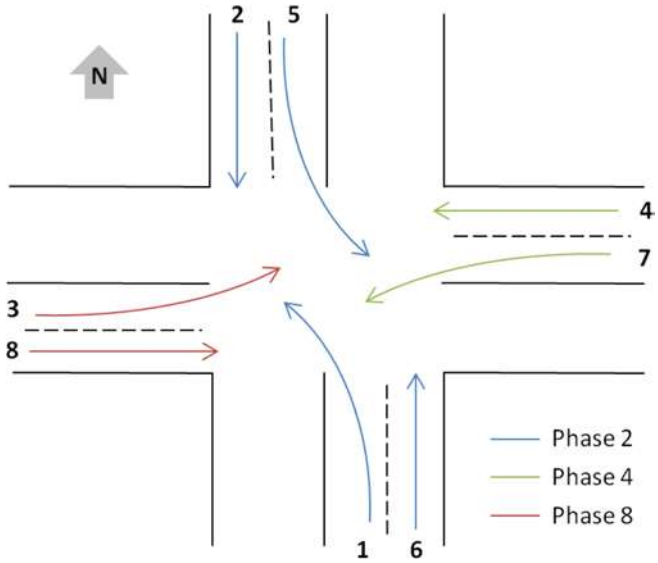



**Figure I.4 :** NEMA - affectation de labels aux voies, affectation des phases.

Cette logique de numérotation n'est évidemment pas prise au hasard, et permet notamment de ne pas mettre certaines voies en conflit lors de la constitution des phases : certains mouvements ne pourront jamais être associés les uns avec les autres, comme par exemple le 8 et le 6, ceci pour des questions de sécurité minimale. Pour cette raison, des diagrammes de phases et en anneaux existent [21].

- Nombre de phases : Le nombre de phases dans un cycle est un élément important dans la fluidification du trafic routier : plus leur nombre est petit, plus la gestion du temps de feux et du cycle est souple et confortable, les arrêts de véhicules sont également plus rares. Cette minimisation est effectuée en fonction de la charge et de l'importance de certaines voies pouvant être en situation d'inter blocage [21].

## I.7 Régulation des carrefours à feux

Dans les villes, la plupart des systèmes de régulation des carrefours sont de deux types :

- Régulation à plan de feux fixe
- Régulation adaptative.

Le premier type de régulation est plus ancien et moins coûteux, tandis que le deuxième est plus complexe et performant [11].

## I.8 La gestion des feux de circulation intelligente

**I.8.1** ***Les systèmes de transport intelligents (STI)*** apparaissent comme étant "l'application des technologies de l'information et de la communication au domaine des transports" [16]. Le terme système est vague et se décline en un ensemble de moyens mis en place pour gérer au mieux les contraintes liées au trafic routier, telles que les embouteillages, la sécurité ou même la pollution. En particulier, ces systèmes offrent un caractère réactif à une infrastructure pourtant fixe, mais dont la population peut grandement varier.

Les réseaux de capteurs sans fil appartiennent à la famille des réseaux mobiles ad hoc (MANET) et se composent d'un large ensemble de capteurs à capacité et énergie généralement limitées. Dans de nombreux cas, les capteurs sont constitués des unités suivantes [1]:

- Unité d'acquisition, permet le recueil de données environnementales et la conversion analogique vers numérique.
- Unité de calcul, permettant le lancement de procédures, protocoles et autres.
- Unité de communication, permettant la connexion au réseau (émission et réception). Ceci, en sans-fil (ex : radio), souvent en multi-sauts et permettant de s'affranchir des inconvénients filaires (temps d'installation et facilité d'accès). La logique est ici distribuée.

- Unité d'énergie, qui permet la répartition de l'alimentation entre les différents constituants. Dans de nombreux cas, les capteurs sont dispersés dans des zones pauvres en énergie, et sont dotés d'une batterie non-rechargeable et non-renouvelable [10]. Dans le cas du trafic routier, il est néanmoins possible voire nécessaire de s'abstenir de contrainte énergétique.

Le rôle de chaque capteur est de récolter un ensemble de données dans son environnement, et le transmettre de proche en proche jusqu'à atteindre généralement une station de base, qui peut jouer le rôle de coordinatrice du réseau et communiquer vers l'extérieur les données importantes recueillies [1].

L'utilisation de tels réseaux est répandue dans de nombreux domaines et applications : nous pouvons par exemple citer la surveillance de forêts, d'infrastructures critiques, ou encore la détection d'agents biochimiques dans le secteur militaire [21].

### I.8.2 *Métriques et paramètres*

L'application des technologies de l'information et de la communication au domaine des transports peut être vu de différentes manières. La plupart de ces dernières sont dites réactives car permettent de recueillir des données propres à la circulation routière afin de la surveiller ou même tenter de la contrôler.

Globalement, leur utilisation requière donc la connaissance de certaines métriques propre à l'environnement urbain dans lequel elles se situent. A une échelle plus locale, les technologies sont utilisées à des endroits stratégiques du réseau, comme les intersections dont nous détaillons le fonctionnement classique dans la partie suivante [21]:

- Un capteur électromagnétique est un type de capteur sans fil fixe utilisé notamment pour la gestion du trafic routier. L'unité d'acquisition utilisée est un magnétomètre, permettant d'enregistrer les variations du champ magnétique terrestre. Comme indiqué ci-dessus, la contrainte énergétique peut facilement être levée, mais certains auteurs considèrent toutefois l'utilisation de batteries en conseillant leur durée à 2 ou 3 ans. Dans le cadre des STI, le rôle de tels dispositifs va être de relever des informations sur le trafic routier [15].
- Un détecteur est une technologie permettant de récolter et transmettre des informations à un nœud traitant. Ce terme englobe donc les capteurs électromagnétiques, mais également les autres technologies existantes et détaillées plus loin dans le document [21].
- Un réseau fixe regroupe un ensemble de technologies (dont détecteurs) étant fixes sur le terrain: leur position n'est pas amenée à être changée, mis à part pendant des

périodes d'entrainement où l'objectif va être de déterminer leur emplacement définitif. Dans ce document, nous étudions essentiellement ce type de réseau [21].

- Un réseau véhiculaire est un cas des réseaux de capteurs sans fil où les capteurs sont mobiles. Par ce terme, nous désignons des réseaux de véhicules où chaque acteur possède un capteur embarqué, ceci rendant possible la mobilité [21].
- Un système coopératif est un réseau hybride où des acteurs mobiles vont pouvoir interagir avec des acteurs fixes [21].

### I.8.3 *Systèmes coopératifs*

Contrairement aux modèles reposant uniquement sur des capteurs électromagnétiques fixes, les systèmes coopératifs (Figure I.5) vont permettre une interaction entre plusieurs véhicules, ou entre plusieurs véhicules et l'infrastructure déjà en place. Ainsi, l'intelligence est répartie entre différents éléments du réseau, fixes ou mobiles, ce qui va nous permettre de développer des applications plus souples, plus efficaces et qu'il serait parfois impossible de mettre en place avec une architecture uniquement statique. Notons que le domaine des systèmes coopératifs est vaste et que nous n'en faisons ici qu'une introduction rapide [21].

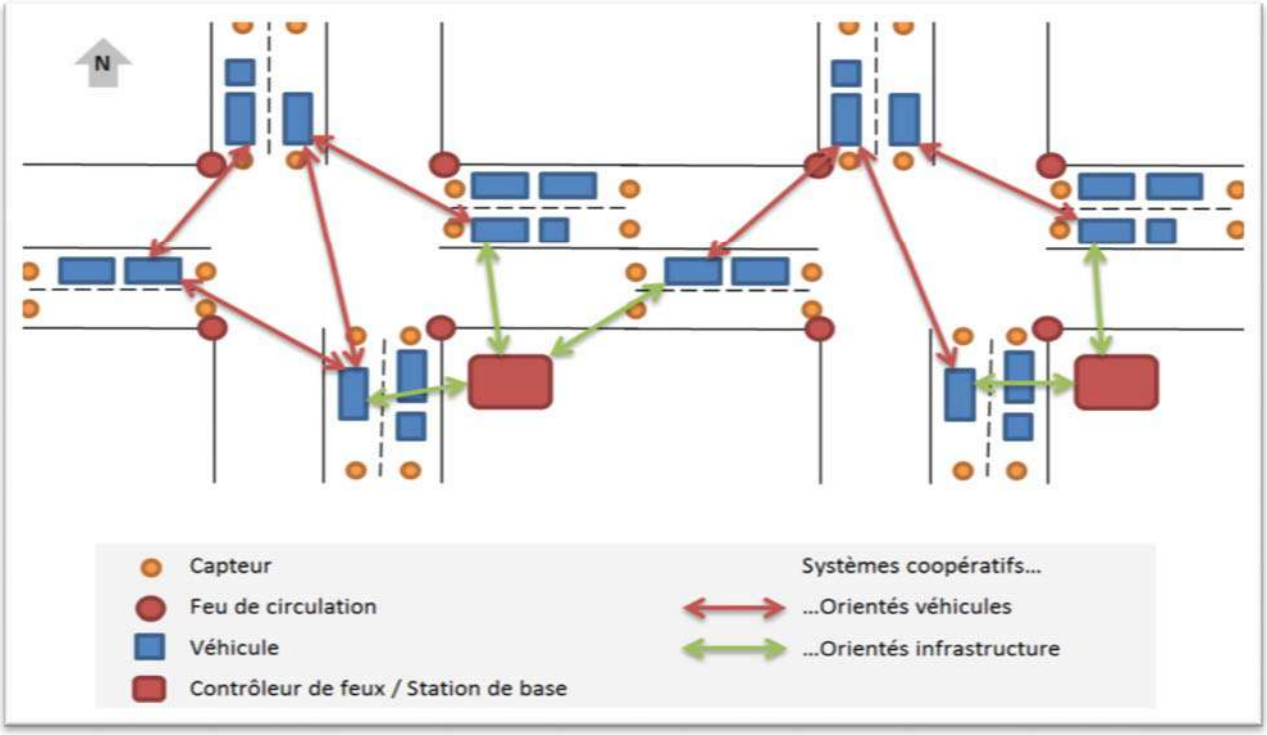



**Figure I.5:** Les systèmes coopératifs.

## I.9 Régulation des carrefours

Tout d'abord, nous allons introduire quelques notions nécessaires sur la configuration du carrefour étudié. Typiquement, un carrefour se compose d'un certain nombre de directions et de la zone traversée (espace de croisement des routes). L'objectif de la régulation du trafic dans un carrefour isolé est de transformer les flux d'entrée en des flux de sorties tout en évitant les conflits et en maximisant en même temps le débit.

Une illustration du carrefour étudié est présentée dans la Figure I.6. Ce carrefour apparaît fréquemment dans les réseaux actuels de trafic. Il s'agit d'un carrefour à quatre directions avec des voies directes (pouvant aussi servir de voies de « *tourne à droite* ») et des voies de « *tourne à gauche*» exclusive.

Les véhicules – une fois entrés dans la zone de couverture – doivent envoyer au contrôleur (antenne située au centre du carrefour) toutes leurs données. Notons que le dépassement des véhicules sur une même voie n'est pas autorisé et les piétons ne sont pas considérés [11].

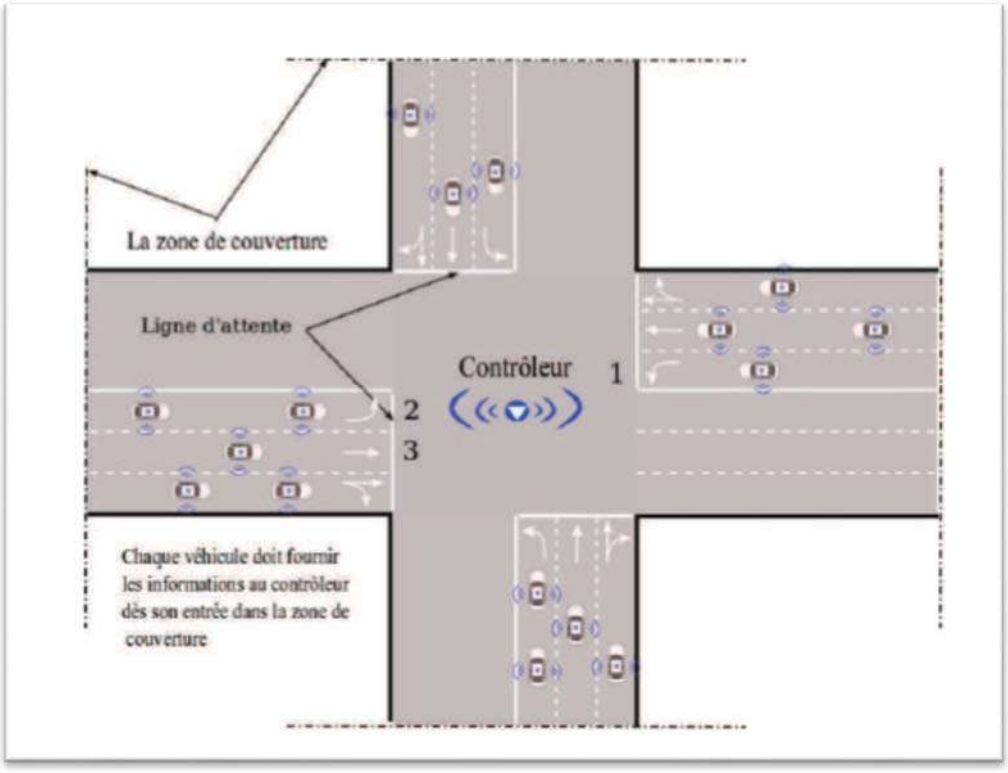



**Figure I.6:** Illustration du carrefour à 4 directions.

### I.9.1 *Flux des véhicules compatibles et incompatibles*

Un carrefour se compose d'un certain nombre de routes (ou directions) et une zone de conflits (l'intersection). Chaque direction peut être utilisée par plusieurs flux de véhicules. Par exemple, dans la Figure I.7, la direction Ouest-Est se compose de 2 flux : le flux 1 et le flux 2. Chaque flux a son propre voie et une file d'attente indépendante.

Comme le dépassement des véhicules n'est pas autorisé, les véhicules dans chaque voie doivent traverser le carrefour en mode **FIFO** « *First in First out* » [11].

Le chemin pris par un flux de véhicules pour traverser le carrefour est appelé une trajectoire. Une trajectoire relie une voie par lequel les véhicules entrent dans la zone de couverture du carrefour à une autre voie par lequel ces mêmes véhicules sortent de cette zone de couverture. Notons que les véhicules appartenant à un flux donné peuvent avoir plusieurs trajectoires. Exemple, les flux 2 et 6 [11].

Afin d'éviter les conflits entre les différents flux, on utilise fréquemment la notion des « *flux compatibles*» et « *flux incompatibles* ». Évidemment, quand les trajectoires de deux flux de trafic ne se croisent pas, ces flux peuvent obtenir l'autorisation de traverser le carrefour simultanément, nous appelons ces deux flux des flux compatibles. Par exemple, dans la Figure I.7, le flux 1 et le flux 5 sont deux flux compatibles. A l'inverse, lorsque les trajectoires des deux flux se croisent, les flux sont en conflit et par conséquent incompatibles (par exemple, le flux 1 et 8), et leur mouvement simultané ne devrait donc pas être autorisé.




**Figure I.7 :** Exemple des flux compatibles et des flux incompatibles.

Lorsque plusieurs flux de trafic sont compatibles entre eux, nous appelons l'ensemble de ces flux de trafic un « *Groupe de Flux Compatibles* (GFC) ». Dans cet exemple, nous pouvons donc diviser les 12 flux du trafic en 4 groupes de flux compatibles :

- GFC 1 : flux du trafic 1 et 5 ;
- GFC 2 : flux du trafic 2 et 6 ;
- GFC 3 : flux du trafic 3 et 7 ;
- GFC 4 : flux du trafic 4 et 8.

Il faut noter que chaque véhicule peut appartenir à un et seulement un GFC. Aussi, la division de ces groupes peut être différente d'une situation à une autre. Par exemple, En heure de pointe du matin ou encore en heure de pointe du soir, il peut y avoir plus de véhicules pour certaines directions. Toutefois, cette division reste généralement la même au cours d'une période donnée.

Par ailleurs, et pour des raisons de sécurité, il y a toujours un temps perdu (ou un temps de changement) quand on change l'autorisation de passage entre deux véhicules appartenant à des GFCs différents et ceci afin d'éviter les interférences de flux incompatibles (même principe qu'avec le temps de rouge intégral dans la méthode traditionnelle). Pendant ce laps de temps, aucun véhicule en attente de passage n'est autorisé à traverser le carrefour [11].

### I.9.2 *Les données des véhicules*

Supposons qu'à un instant initial $t_0 = 0$, il existe $n$ véhicules qui s'approchent du carrefour. Ces véhicules sont détectés dès leur entrée dans la zone de couverture. Les données de tous ces véhicules sont alors reçues instantanément par le contrôleur du carrefour. Les informations pouvant être envoyées de chaque véhicule contiennent les parties suivantes [11] :

- Identificateur du véhicule : utilisé pour identifier chaque véhicule.
- Numéro de voie : à quel flux le véhicule appartient. C'est à dire, la voie sur laquelle le véhicule se déplace.
- Temps (ou date) d'arrivée du véhicule : le temps exact auquel un véhicule arrive à la ligne d'attente à partir de $t_0$.
- Temps (ou durée) de traversée du véhicule : le temps qu'un véhicule utilise pour traverser le carrefour.

### I.9.3 *Les critères à optimiser*

Typiquement, il y a trois critères utilisés fréquemment pour évaluer la performance d'une stratégie de régulation du trafic, à savoir [11] :

- Débit de sortie (en anglais, « *throughput* ») ;
- Longueur moyenne de queue (en anglais, « *average queue length* ») ;
- Temps moyen d'attente (en anglais, « *average waiting time* »).

## I.10 Modélisation mathématique du problème :

En raison des propriétés du problème étudié, le problème de régulation de carrefour peut être abordé comme étant un problème d'ordonnancement. Nous pouvons ainsi modéliser ce carrefour isolé comme une ressource qui peut laisser un certain nombre de véhicules traversant le carrefour en parallèle. Chaque véhicule sera donc considéré comme une tâche qui attend d'être traitée. Les véhicules sont divisés en différents GFCs (comme dans familles différentes). Chaque véhicule a une date d'arrivée et une durée de traversée (comme chaque tâche a une date au plutôt *« release date »* et une durée d'exécution « *processing time* » [11].

**Modèle proposé**

Au lieu de considérer des véhicules, on considère des groupes de véhicules. Nous définissons un groupe de passage *GP* comme un ensemble de véhicules d'un même groupe GFC qui vont traverser le carrefour sans qu'ils soient interrompus par d'autres véhicules appartenant à d'autres groupes GFCs (voir Figure I.8).

## I.11 Régulation des véhicules sur plusieurs carrefours voisins :

Comme les congestions dans les villes modernes sont généralement causées par plusieurs intersections adjacentes situées dans des zones denses, nous étendons la stratégie de contrôle proposée à plusieurs carrefours dans un réseau d'intersections. Un algorithme exact ne peut pas être assez rapide pour de multiples intersections. Dans notre étude, nous étudions le problème de régulation des véhicules dans un réseau de carrefours. Nous proposons un algorithme génétique pour trouver une séquence optimale ou quasi-optimale de passage des véhicules pour chaque intersection. Cet algorithme requiert moins de temps et en même temps, assure la qualité de la solution trouvée [11].

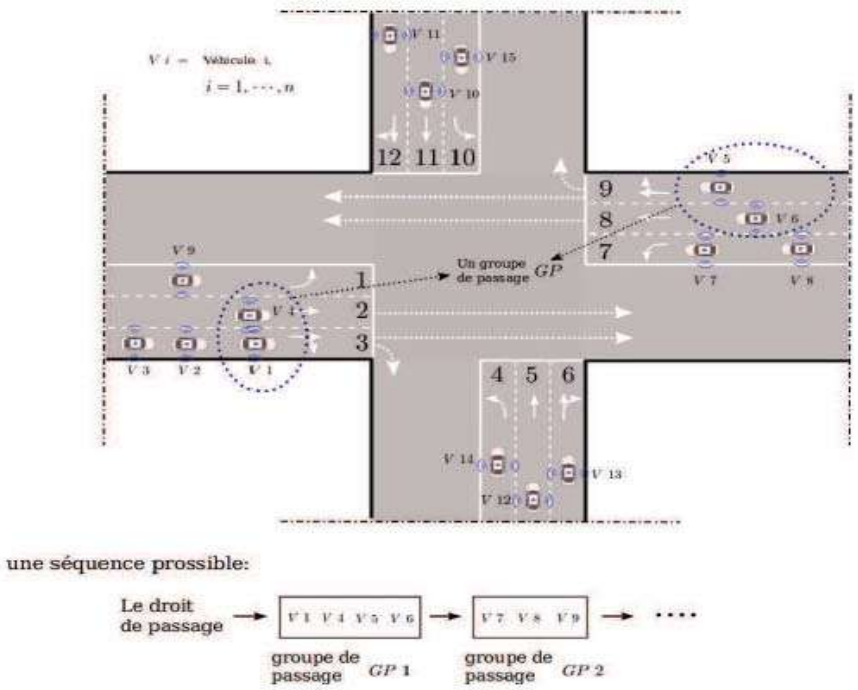



**Figure I.8 :** Définition d'un groupe de passage dans la séquence des groupes de passage des véhicules.

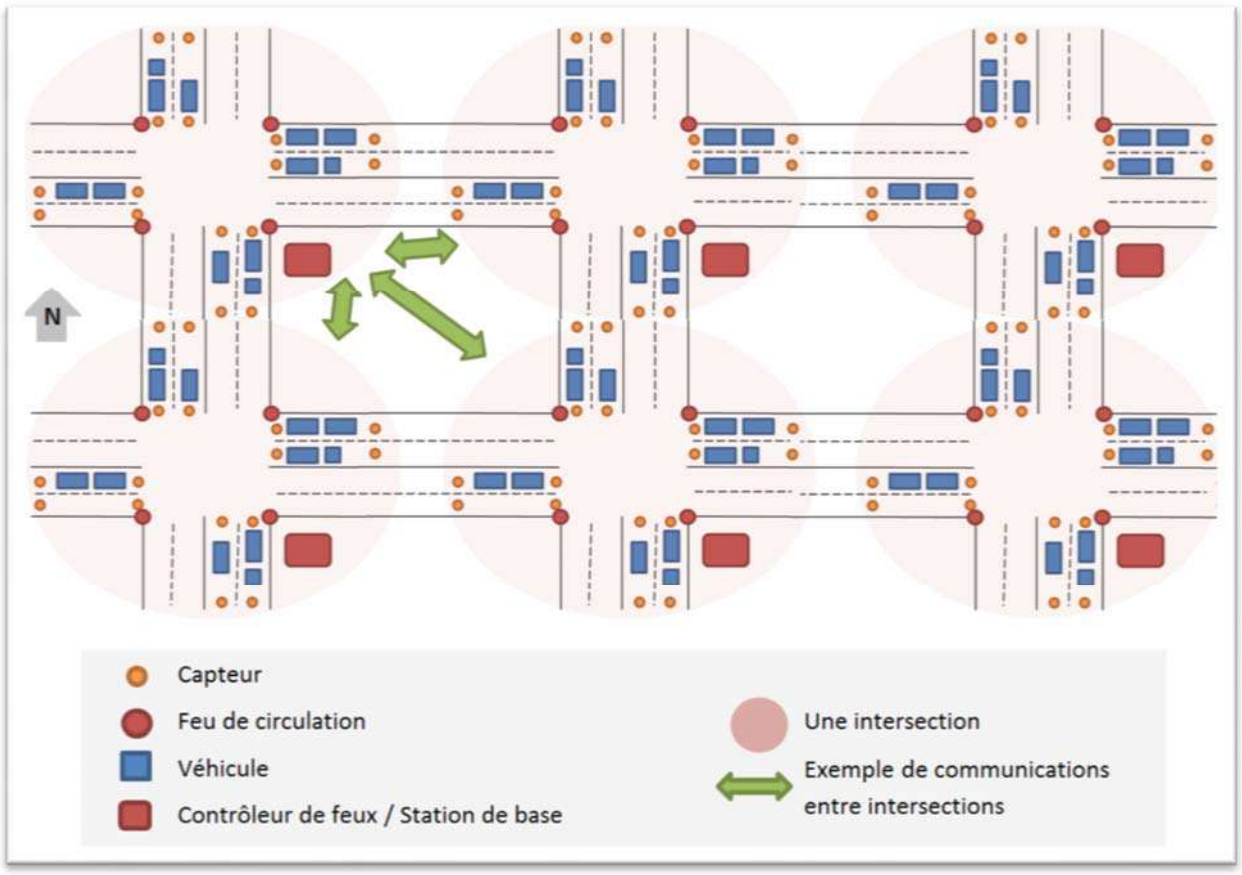



**Figure I.9 :** Schéma général d'un modèle se reposant sur plusieurs intersections

## I.12 Conclusion

La régulation du trafic routier est devenue une branche d'étude à part entière après que le premier feu de signalisation ne soit fixé. Il est important que la sécurité et l'efficacité de la circulation soient assurées. Toutefois, depuis le début du 21ème siècle, le phénomène de la congestion ne cesse d'accroître. D'une part, parce que le nombre de véhicules augmente fortement ; d'autre part, parce que les infrastructures de transports arrivent à leurs limites de capacité. Cela pousse les chercheurs à chercher d'autres stratégies afin d'améliorer la régulation du trafic routier.

Dans ce chapitre nous avons vu des généralités sur la gestion du trafic routier et quelques définitions relatifs au trafic routier qui permet d'étudier le problème du trafic au carrefour et cela pour atteindre à une solution efficace pour mettre une coordination entre les carrefours adjacents afin d'éliminer la congestion dans les carrefours, minimiser le temps d'attente des véhicules aux feux de carrefour.

# Chapitre II :

# Synthèse du contrôleur par un algorithme génétique

## II.1 Introduction

Les algorithmes génétiques (AGs) appartiennent à la famille des algorithmes évolutionnistes. Leur but est d'obtenir une solution approchée à un problème d'optimisation, lorsqu'il n'existe pas de méthode exacte (ou que la solution est inconnue) pour le résoudre en un temps raisonnable. Les algorithmes génétiques utilisent la notion de sélection naturelle et l'appliquent à une population de solutions potentielles au problème donné. La solution est approchée par « *bonds* » successifs, comme dans une procédure de séparation et d'évaluation [11].

Par analogie, dans un algorithme génétique, un individu (une solution) est caractérisé par une structure de données qui représente son empreinte génétique qu'on appelle le chromosome, ce chromosome contient un ensemble de codes appelés gènes qui représentent les variables d'optimisation et qui peuvent prendre plusieurs valeurs appelées allèles [23].

Ce n'est que vers la fin des années 60 que les chercheurs [13] et [8] ont pu adapter ces algorithmes pour la recherche des solutions pour des problèmes d'optimisation en faisant l'analogie entre un individu dans une population et une solution d'un problème dans un ensemble de solutions [11].

Les algorithmes génétiques appliqués à un problème d'optimisation font évoluer un ensemble de solutions candidates, appelé population d'individus. Un individu représente une solution possible du problème donné. A chaque individu est attribué une « *fitness* » qui mesure la qualité de la solution qu'il représente, souvent c'est la valeur de la fonction coût à optimiser. Ensuite, une nouvelle population de solutions possibles est produite en sélectionnant les parents parmi les meilleurs de la génération actuelle pour effectuer des croisements et des mutations. La nouvelle population contient une plus grande proportion de caractéristiques des meilleurs individus de la génération précédente. Les algorithmes génétiques ont montré de nombreuses applications réussies à de nombreux domaines, par exemple, dans le domaine d'optimisation [2], [25], le domaine d'ordonnancement [4], [14] et dans le domaine de transport [9].

## II.2 Fonctionnement des Algorithmes Génétiques

Le mécanisme d'évolution et de sélection est indépendant du problème à résoudre : seules changent trois fonctions [11] :

- la fonction qui s'occupe de représenter le problème en codant chaque information caractérisant une solution possible selon un codage bien particulier. Chaque information représente alors un gène et toutes les valeurs que peuvent prendre cette caractéristique représentent les allèles possibles pour ce gène, et en concaténant tous ces gènes pour obtenir un chromosome qui lui représente une solution dans son intégralité.
- la fonction inverse qui à partir d'un chromosome permet d'obtenir une solution par décodage du génome.
- la fonction qui évalue l'adaptation d'une solution à un problème et sa pertinence.

En effet, quand on utilise les algorithmes génétiques, aucune connaissance de la manière pour résoudre le problème n'est requise, il est seulement nécessaire de fournir une fonction permettant de coder une solution sous forme de gènes (et donc de faire le travail inverse) ainsi que de fournir une fonction permettant d'évaluer la pertinence d'une solution au problème donné. Cela en fait donc un modèle minimal et canonique pour n'importe quel système évolutionnaire et pour n'importe quel problème pouvant être abordé sous cet angle, sous ce paradigme [2].

Cette représentation nous permet donc d'étudier des propriétés quasiment impossibles à étudier dans leur milieu naturel, ainsi que de résoudre des problèmes n'ayant pas de solutions calculables en des temps raisonnables si on les aborde sous d'autres paradigmes, avec des performances quantifiables, facilement mesurables et qu'on peut confronter aux autres stratégies de résolution [11].

Le critère de convergence peut être de nature diverse, par exemple :

- Un taux minimum qu'on désire atteindre d'adaptation de la population au problème.
- Un certain temps de calcul à ne pas dépasser.
- Une combinaison de ces deux points.

Un algorithme génétique générique peut être donné comme suit :

1. Initialiser la population initiale *POP*.
2. Evaluer *POP*.
3. **Tant que** (pas convergence) **faire :**
   a) *POP'*= Sélection des parents dans *POP*.
   b) *POP'*=Appliquer opérateur de croisement sur *POP'*
   c) *POP'*=Appliquer opérateur de mutation sur *POP'*
   d) *POP*=remplacer les anciens de *POP* par leurs descendants de *POP'*
   e) Evaluer *POP*.

   **Fin Tant que**

**Figure II.1 :** Etape d'algorithme génétique.

Les différents points introduits ci-avant vont maintenant être étudiés en détail dans la section suivante.

### II.2.1 *Codage des solutions*

Chaque paramètre d'une solution est assimilé à un gène, toutes les valeurs qu'il peut prendre sont les allèles de ce gène, on doit trouver une manière de coder chaque allèle différent de façon unique (établir une bijection entre l'allèle «*réel*» et sa représentation codée). Un chromosome est une suite de gêne, on peut par exemple choisir de regrouper les paramètres similaires dans un même chromosome (chromosome à un seul brin) et chaque gène sera repérable par sa position : son locus sur le chromosome en question.
Il y a deux principaux types de codage utilisables, et on peut passer de l'un à l'autre relativement facilement [4]:

a) Le codage binaire : c'est le plus utilisé. Chaque gène dispose du même alphabet binaire 0/1. Un gène est alors représenté par un entier long, les chromosomes qui sont des suites de gènes sont représentés par des tableaux de gènes et les individus de notre espace de recherche sont représentés par des tableaux de chromosomes. Un exemple est présenté dans la Figure II.2 [11].

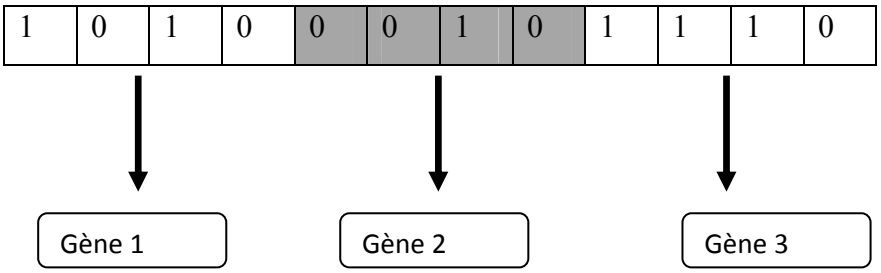
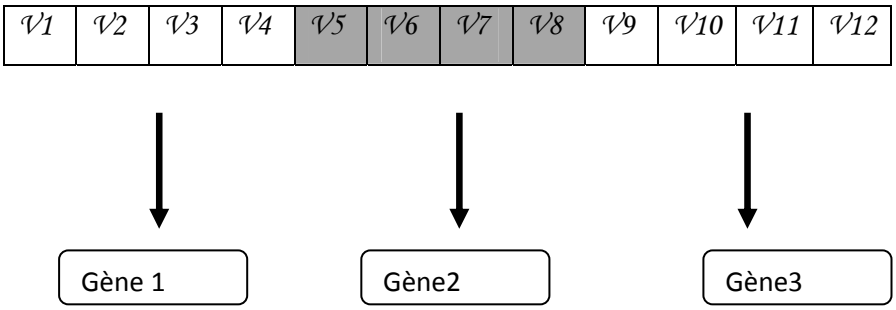



**Figure II.2 :** Illustration du codage binaire.

b) Le codage de permutation : Chaque bit d'un gène représente une valeur, les chromosomes sont composés de tableaux de gènes et les individus de notre espace de recherche sont représentés par des tableaux de chromosomes. Un exemple est présenté dans la Figure II.3 [11].




V : valeur.

**Figure II.3:** Illustration du codage de permutation.

### II.2.2 *Le Choix de méthode de codage*

D'après les recherches précédentes et d'après [11], les chercheurs déduit que :
« Pour la plupart des cas, le schéma de codage binaire réalise une meilleure solution que le schéma de codage de permutation ».
Et pour cela dans la suite de ce travail on va utiliser le schéma de codage binaire.

### II.2.3 *Opérateurs de sélection*

L'opérateur de sélection est chargé de définir quels seront les individus de la population initiale *pop* qui vont être dupliqués dans la nouvelle population *pop'* et vont servir de parents (application de l'opérateur de croisement) [11].

Cet opérateur est peut-être le plus important puisque il permet aux individus d'une population de survivre, de se reproduire ou de mourir. En règle générale, la probabilité de survie d'un individu sera directement reliée à son efficacité relative au sein de la population.

On trouve essentiellement quatre types de méthodes de sélection différentes [5] :

- La méthode de la « *loterie biaisée* » (roulette wheel).
- La méthode « *élitiste* ».
- La sélection par tournois.
- La sélection universelle stochastique.

### II.2.4 *Opérateurs de croisement (« crossover »)*

Le crossover utilisé par les algorithmes génétiques est la transposition informatique du mécanisme qui permet, dans la nature, la production de chromosomes qui héritent partiellement des caractéristiques des parents. Son rôle fondamental est de permettre la « *recombinaison* » des informations présentes dans le patrimoine génétique de la population.

Cet opérateur est appliqué après avoir appliqué l'opérateur de sélection sur la population *pop*; on se retrouve donc avec une population *pop'* de $N_{pop}/2$ individus et on doit doubler ce nombre pour que la nouvelle génération soit complète.

On va donc créer de manière aléatoire $N_{pop}$ /4 couples et on les fait se « *reproduire* ». Les chromosomes (ensembles de paramètres) des parents sont alors copiés et recombinés de façon à former deux descendants possédant des caractéristiques issues des deux parents.

Ci-dessous dans les Figure II.4 et Figure II.5, un schéma illustrant un croisement en un point, un autre un croisement en deux points [11].

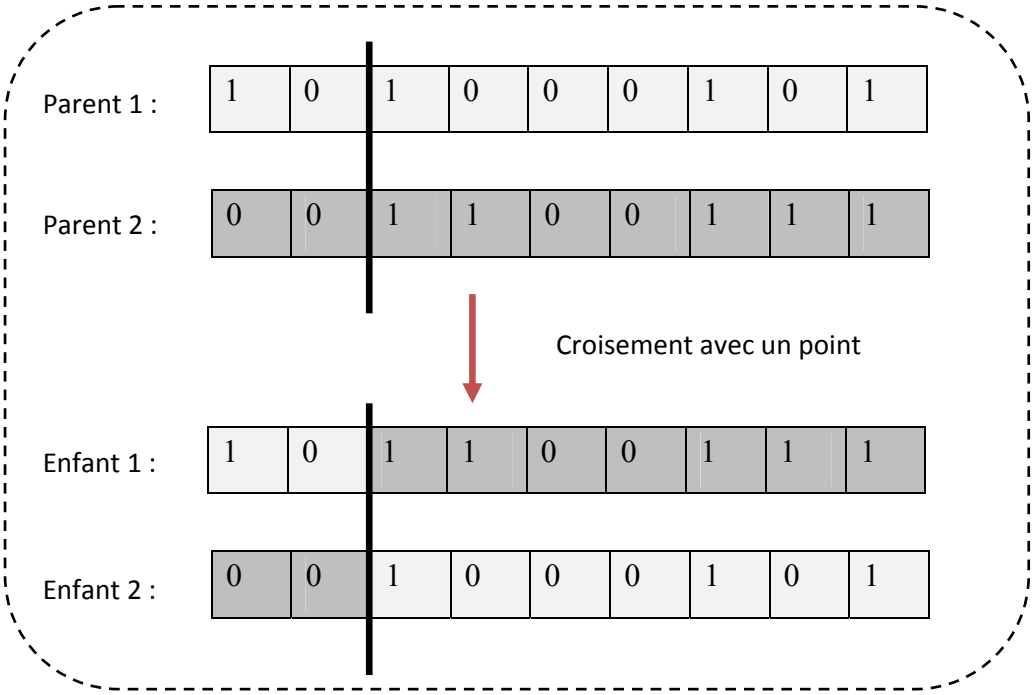



**Figure II.4:** Croisement à un point.

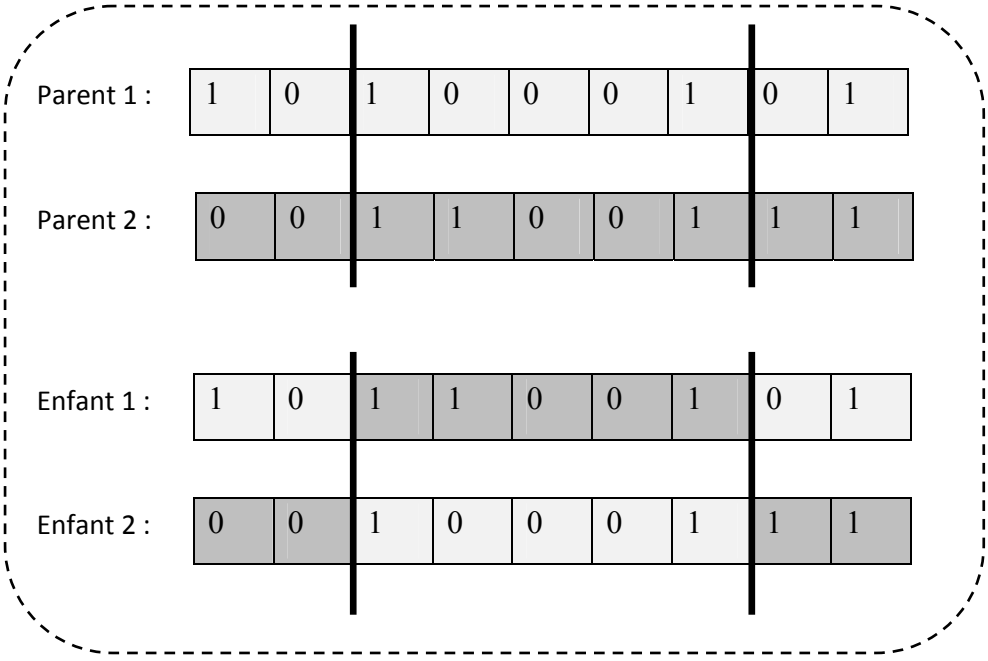



**Figure II.5:** Croisement à deux points.

### II.2.5 *Opérateurs de mutation*

Cet opérateur consiste à changer la valeur allénique d'un gène avec une probabilité $\mathcal{P}_m$ très faible. On peut aussi prendre

$$\mathcal{P}_m = 1/long \tag{II.1}$$

où $\mathcal{L}ong$ est la longueur de la chaîne de bits codant le chromosome.

Une mutation consiste simplement en l'inversion d'un bit (ou de plusieurs bits, mais vu la probabilité de mutation c'est extrêmement rare) se trouvant en un locus bien particulier et lui aussi déterminé de manière aléatoire.

L'opérateur de mutation modifie donc de manière complètement aléatoire les caractéristiques d'une solution, ce qui permet d'introduire et de maintenir la diversité au sein de la population de solutions.

Cet opérateur joue le rôle d'un « *élément perturbateur* ». Il introduit du « *bruit* » au sein de la population [11].

## II.3 Schéma de codage binaire proposé

Basé sur les mini-groupes obtenus, nous proposons une méthode d'encodage pour cet algorithme : un schéma de codage binaire.

Tout d'abord, nous adoptons le schéma d'encodage binaire pour l'AG proposé. Supposons qu'il existe ŋ mini-groupes et le nombre de mini-groupes *MG* dans chaque *GFCi* est $ŋ_i$. Nous avons alors :

$$ŋ = \sum_{i-1}^{m} ŋ_i \tag{II.2}$$

Dans ce schéma de codage binaire pour l'AG, nous avons besoin de décider si nous devons combiner deux mini-groupes *MGs* adjacents dans le même *GFC* pour former un groupe de passage de véhicules.

Comme il y a ŋ mini-groupes dans $GFC_i$, i = *1*,*2*,…,m, il y aura $ŋ_i$-1 bits pour $GFC_i$ et la longueur de la chaîne binaire pour le chromosome est:

$$\text{longueur} = \sum_{i=1}^{m} \{ŋ_i - 1\} = ŋ - m \tag{II.3}$$

Donc, si $MG_{i-1}$ et $MG_i$ appartiennent au même groupe de flux compatible $GFC_k$, nous définissons les bits binaires *b* entre les deux *MGs* comme suit [11]:

$$b_{i-k} = \begin{cases} 1 & Si\ MG_{i-1} et MG_i\ sont\ ensemble \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \text{(II.4)}$$

Un exemple numérique est présenté ici. Supposons qu'il y a quatre GFCs qui contiennent 24 véhicules et les données des véhicules sont dans le Tableau II.1 [11].

**Tableau II.1 :** Données des véhicules dans les quatre GFCs. Chaque véhicule a une date d'arrivée a et un temps de passage *p*. Les véhicules dans chaque GFC sont divisés en deux ou trois voies.

| **Véhicule** | **$GFC_1$** | | **$GFC_2$** | | **$GFC_3$** | | **$GFC_4$** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **a** | **p** | **a** | **p** | **a** | **p** | **a** | **p** |
| **$V_1$** | 1 | 3 | 4 | 2 | 2 | 1 | 14 | 4 |
| **$V_2$** | 2 | 4 | 5 | 2 | 2 | 2 | 18 | 2 |
| **$V_3$** | 5 | 3 | 17 | 2 | 19 | 2 | 25 | 2 |
| **$V_4$** | 7 | 3 | 18 | 2 | 20 | 2 | 27 | 3 |
| **$V_5$** | 14 | 4 | X | X | 25 | 1 | 32 | 3 |
| **$V_6$** | 15 | 2 | X | X | X | X | X | X |
| **$V_7$** | 22 | 3 | X | X | X | X | X | X |
| **$V_8$** | 23 | 4 | X | X | X | X | X | X |
| **$V_9$** | 32 | 3 | X | X | X | X | X | X |
| **$V_{10}$** | 33 | 3 | X | X | X | X | X | X |

Dans cet exemple, après la procédure de pré-partition, les véhicules des quatre GFCs peuvent former 5 mini-groupes, 2 mini-groupes, 3 mini-groupes et 3 mini-groupes.

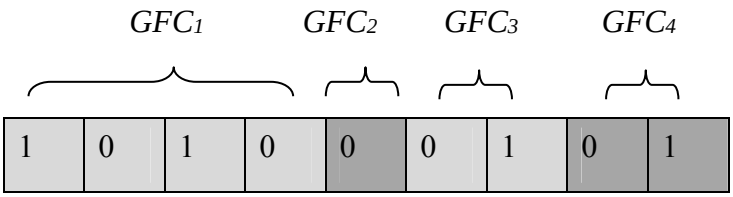
D'après l'équation (II.3) la longueur du chromosome pour cet algorithme génétique est de 4+1+2+2=9 bits [11].

Par exemple, l'individu 1 dans la Figure II.6 représente la solution dans laquelle on laisse $MG_1$ et $MG_2$ du $GFC_1$ traverser le carrefour sans interruption. C'est-à-dire, qu'ils forment un

groupe de passage *GP*, et $MG_3$ et $MG_4$ traversent le carrefour ensemble. Finalement, le mini-groupe $MG_5$ va former seul un groupe de passage. Pendant la procédure de passage du groupe $GFC_1$, le droit de passage est changé deux fois aux autres GFCs. Une fois après le passage de $MG_2$, et une autre fois après le passage de $MG_4$.

Les autres GFCs peuvent être déduits de la même façon.

**Individu 1 :**

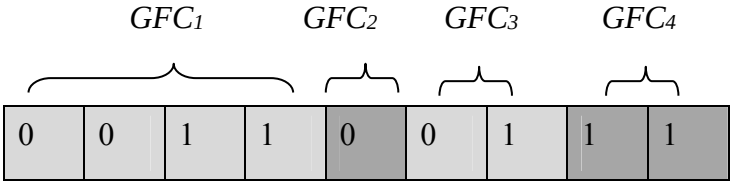



| **Groupes de passage correspondant dans chaque *GFC* :** |
|---|
| $GFC_1$ : $\{MG_1, MG_2\}$ $\{MG_3, MG_4\}$ $\{MG_5\}$ |
| $GFC_2$ : $\{MG_6\}$ $\{MG_7\}$ |
| $GFC_3$ : $\{MG_8\}$ $\{MG_9, MG_{10}\}$ |
| $GFC_4$ : $\{MG_{11}\}$ $\{MG_{12}, MG_{13}\}$ |

**Figure II.6 :** Exemple de codage binaire pour l'algorithme génétique proposé.

De la même manière, un deuxième individu est représenté sur la Figure II.7.

**Individu 2 :**




| **Groupes de passage correspondant dans chaque *GFC* :** |
|---|
| $GFC_1$ : $\{MG_1\}$ $\{MG_2\}$ $\{MG_3, MG_4, MG_5\}$ |
| $GFC_2$ : $\{MG_6\}$ $\{MG_7\}$ |
| $GFC_3$ : $\{MG_8, MG_9, MG_{10}\}$ |
| $GFC_4$ : $\{MG_{11}, MG_{12}, MG_{13}\}$ |

**Figure II.7 :** Un deuxième exemple de codage binaire pour l'algorithme génétique proposé.

- ***Faisabilité des individus***

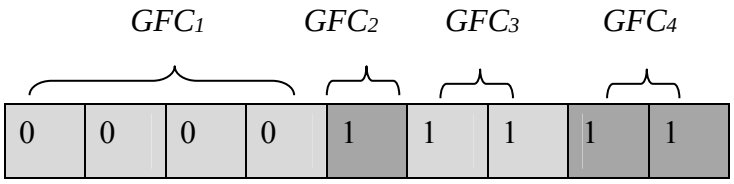
Après la procédure d'encodage des chromosomes, il est nécessaire de vérifier si un chromosome est possible car dans les chromosomes avec le codage binaire, on ne considère que la combinaison de mini-groupes. Par exemple, la Figure II.8 montre un individu impossible [12].

Donc, si on considère pour $GFC_1$, i = *1,2*, … , m, soit le nombre des groupes de passages contenus dans $GFC_i$ selon la structure d'un chromosome est $NGP_i$ , nous pouvons avoir la relation suivante pour s'assurer de la faisabilité de l'individu :

*Pour tout* $GFC_i$, i = *1,2*, … , m

$$NGPi - 1 \leq \sum_{\substack{i'=1 \\ i' \neq i}}^{m} NGPi' \qquad \text{(II.5)}$$

## Individu impossible :




| **Groupes de passage correspondant dans chaque *GFC :*** |
|---|
| ***GFC1* : {*MG1*} {*MG2*} {*MG3*} {*MG4*} {*MG5*}** |
| ***GFC2* : {*MG6* , *MG7*}** |
| ***GFC3* : {*MG8* , *MG9* , *MG10*}** |
| ***GFC4* : {*MG11* , *MG12* , *MG13*}** |

**Figure II.8 :** Individu impossible généré par le codage binaire.

D'après le codage binaire de l'individu dans la Figure II.8, le nombre de groupes de passage dans $GFC_1$ est 5, tandis que la somme des GPs dans les autres GFCs est 3, d'où la formule (II.5) n'est pas vérifiée.

### II.4 Calcul des estimateurs

Dans l'AG proposé, la « *fitness* » d'un individu est définie par l'inverse de temps d'attente(*TA*) obtenu par le schéma de décodage. La sélection des individus est réalisée par la roulette. Le croisement sera appliqué pour produire deux descendants et la mutation sera appliquée aléatoirement aux descendants. Parmi les parents et les descendants, deux individus avec la plus haute valeur de « fitness » vont remplacer les parents [12].

### II.5 Les croisements et les mutations pour le codage binaire

#### II.5.1 *Croisement :*

Pour deux parents, la procédure de croisement est de produire les descendants par des structures des gènes des parents. Comme les schémas de codage différents ont des structures et des contraintes différentes, chaque schéma de codage a son propre opérateur de croisement adapté. Pour le schéma de codage binaire, comme un chromosome ne contient que des bits binaires, le croisement à 2 points est applicable, comme indiqué dans la Figure II.5 [11].

#### II.5.2 *Mutation :*

Pour le schéma de codage binaire, la mutation est appliquée de façon probabiliste. Quand une mutation est réalisée, nous choisissons d'abord au hasard un point dans le chromosome, puis modifions la valeur de 0 (respectivement 1) à 1 (respectivement 0). La faisabilité du nouvel individu doit également être vérifiée (voir Figure II.9) [11].

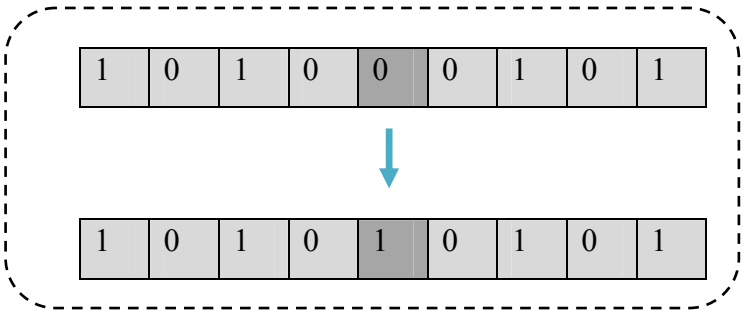



**Figure II.9** : Mutation pour le codage binaire

### II.6 Génération de la population initiale et critère d'arrêt

La population initiale de l'AG proposé est générée aléatoirement selon les schémas de codage de chromosomes. Chaque individu dans le cadre du schéma de codage binaire doit être vérifié après la génération, le croisement et la mutation. L'algorithme s'arrête si la meilleure solution reste inchangée après $N_{NOBETTER}$ générations continues ou lorsque le nombre maximum de génération $N_{MAXGEN}$ est atteint [11].

### II.7 Les coordinations entre les carrefours voisins

Comme dans un carrefour isolé ou plusieurs carrefours voisins, les véhicules entrent dans la zone de couverture du contrôleur en continu, l'algorithme doit être exécuté séparément pour chaque carrefour isolé à chaque fois qu'il y a des nouveaux véhicules détectés. Cependant, si un groupe de passage du véhicule a le droit de passage pour traverser le carrefour, le processus de re-calcul doit être reporté jusqu'à ce que tous les véhicules dans ce groupe de passage aient fini de traverser l'intersection [18].

D'ailleurs, les coordinations entre les carrefours doivent suivre les règles suivantes :

- Dans l'espace partagé entre deux intersections voisines, par exemple, compte tenu de la voie Ouest-Est entre le carrefour *I1* et carrefour *I2* dans la Figure II.10 du réseau, le flux de trafic de sortie du carrefour *I1* est également le flux de trafic d'entrée du carrefour *I2*. Les véhicules qui ont déjà traversé le carrefour *I1* dans le sens Ouest-Est peuvent être considérés comme les nouveaux véhicules entrants pour le carrefour *I2* et vice versa [11].
- En outre, comme la configuration des deux intersections adjacentes est fixée au niveau du nombre de voies et de distance, nous supposons que tous les véhicules vont utiliser le même temps pour traverser l'intersection en amont jusqu'à l'intersection en aval (voir Figure II.10). Par conséquent, lorsque certains véhicules sont groupés dans le même groupe de passage pour traverser l'intersection en amont, ils peuvent aussi être groupés dans le même groupe de passage si leurs directions sont toujours les mêmes (voir Figure II.10). De cette façon, le temps de calcul sera donc réduit [11].

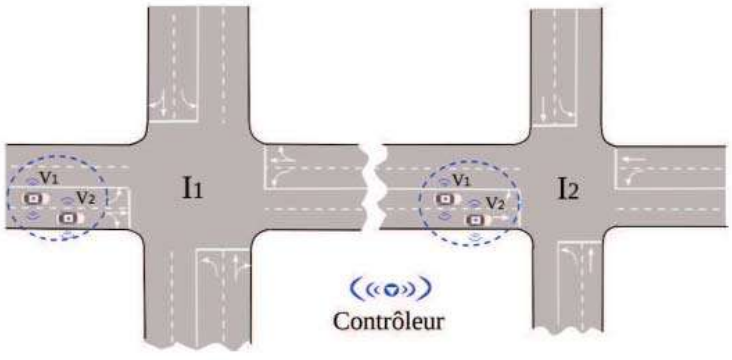



**Figure II.10 :** Coordination de deux carrefours voisins.

## II.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé un algorithme génétique pour résoudre les problèmes de régulation des véhicules. La première étape de cet algorithme est de diviser les véhicules dans des mini-groupes par la procédure de pré-partition. Ensuite, nous avons proposé un type de codage pour encoder chaque individu « le schéma de codage binaire ».

Le codage binaire décide si les véhicules dans deux mini-groupes voisins vont passer le carrefour ensemble ou non. Généralement, la longueur de la chaîne du codage binaire dépend au nombre des mini-groupes, et ce type de codage a besoin d'une procédure de décodage pour déterminer une séquence complète de passage des véhicules.

On notera aussi que cet algorithme peut être utilisé pour les critères : temps totale d'évacuation et longueur moyenne de file d'attente. Il est nécessaire de changer la « *fitness* » d'un individu par l'inverse du temps total d'évacuation et l'inverse de la longueur moyenne de file d'attente. Les résultats de calcul et simulations donnés dans le chapitre suivant montreront que cet algorithme est très efficace pour le problème proposé.

# Chapitre III:

# Simulation et TESTS

## III.1 Introduction

Comme mentionné dans le chapitre précédent, la congestion dans les villes modernes est généralement causée par une structure de plusieurs intersections adjacentes situées dans des endroits denses, nous avons étendu la stratégie de contrôle proposé à plusieurs carrefours voisins dans un réseau d'intersections. Les séquences de passage de chaque carrefour dans ce réseau doivent être trouvées par un algorithme efficace.

Ainsi, une méthode approchée de résolution utilisant les algorithmes génétiques, a été proposée pour trouver une solution satisfaisante pour chaque carrefour pendant un temps raisonnable.

Alors, afin d'évaluer la performance de cette nouvelle stratégie de contrôle, nous ferons dans ce chapitre les expérimentations complètes qui expliquent les étapes de l'algorithme génétiques.

Tout d'abord, nous ferons des tests sur le critère choisi pour prouver l'efficacité de l'algorithme génétique dans un réseau de carrefour. Parmi les trois critères de contrôle qui existent (le temps total d'évacuation, le temps moyen d'attente et la longueur moyenne de file d'attente), le temps d'attente moyen est le critère qui sera étudié par notre algorithme.

Ensuite, nous chercherons les temps du feu vert des différentes voies des carrefours.

Enfin, nous comparerons les résultats de simulation avec ceux de la méthode classique.

### III.2 Configuration du réseau testé

Le réseau de carrefours sur lequel nous allons réaliser les expérimentations est présenté dans la figure III.1 :

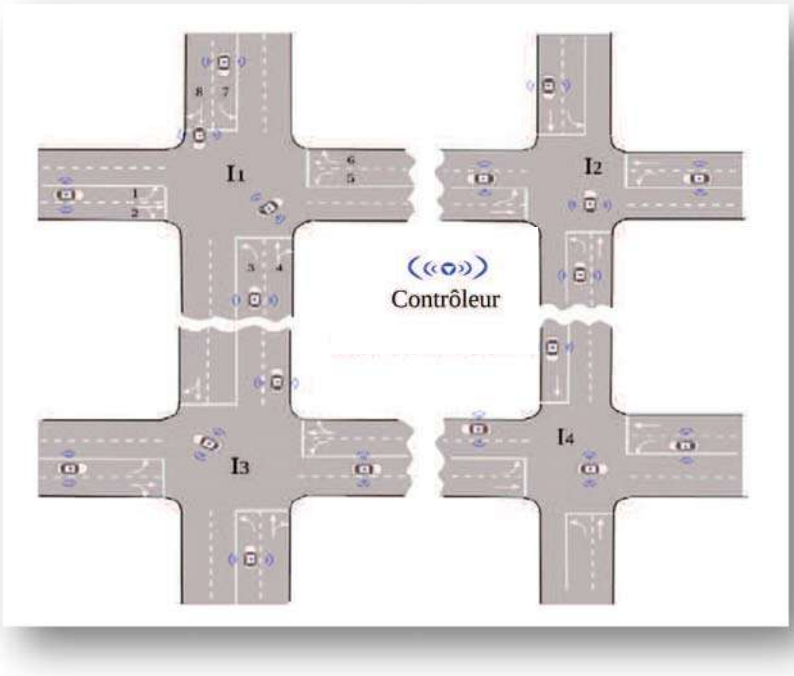



**Figure III.1 :** Coordination de 4 carrefours voisins.

Afin de pouvoir conclure quant à l'efficacité des approches proposées, il est très important de choisir les bons paramètres de notre algorithme génétique. Ces paramètres reflètent l'efficacité de l'algorithme génétique et agissent fortement sur le temps de calcul. Les paramètres dont il faut tenir compte sont les probabilités de croisement et de mutation, la taille de la population initiale et le nombre de générations (ou le critère d'arrêt). Nous testons notre algorithme génétique proposé pour de probabilité de croisement (Pc=1) et de mutation (Pm=0.2). Tous les paramètres des expérimentations sont résumés dans le tableau III.1.

**Tableau III.1 :** Paramètres des expérimentations pour l'algorithme génétique.

| Paramètres | Valeurs configurées |
|---|---|
| **Nombre des GFCs dans chaque carrefour.** | 4. |
| **Nombre des voies dans chaque GFC.** | 2. |
| **Nombre des véhicules.** | 20,24, 32, 40,52, 60, 100, 140, 300, 800 |
| **Taille de population.** | 10. |
| **Nnobetter/ Maxgen.** | 5 / 30. |

Comme nous avons cité dans les étapes d'algorithme génétique, nous devons commencer par la création de la population N.

### III. 3 Exemple de simulation

Pour un exemple de 40 véhicules, le contrôleur doit détecter dans la zone de couverture du carrefour leurs arrivées dans les huit voies comme indique la figure III.2.

Comme chaque deux voies appartiennent au même groupe de flux compatible, donc l'étude des huit voies est équivalentes à l'étude des quatre phases où une phase représente deux voies compatible ce qu'on appelle **un groupe de flux compatible « GFC ».**

```
arrivee =

  1.0e+003 *

    0.0462    0.4645    0.5649    0.6020    0.6809    0.7903    0.8591    0.9053    1.0355    1.1578
    0.1697    0.5322    1.0356    1.7805    1.8381    2.0566    2.3604    2.8095    2.9593    3.0809
    0.2548    0.2674    0.5273    1.0893    1.1686    1.2231    1.4028    1.4178    1.5633    1.6011
    0.1634    0.1734    0.3606    0.6791    0.8229    1.1215    1.2069    1.2541    1.4667    1.5096
```

**Figure III.2 :** La matrice de la population initiale obtenue à partir la fonction du poisson.

L'algorithme doit faire une classification de ces véhicules sous formes de mini-groupes. Ensuite, il doit prendre une décision au hasard de la séquence des groupes de passage.

La figure III.3 présente un cas de formation des groupes de passages.

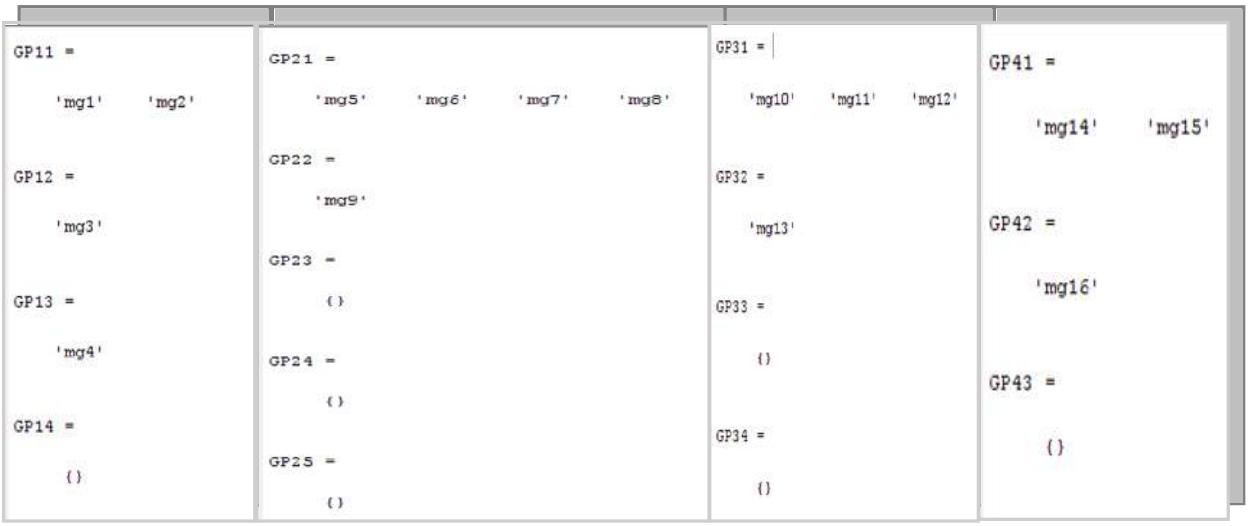



**Figure III.3 :** Les groupes de passages générés par l'algorithme génétique.

Le codage binaire de cet individu est fait comme l'indique la figure III.4.




**Figure III.4 :** Exemple d'individu.

Les bits : 1 0 0 concernent le premier GFC car il contient 4 mini-groupes.

Les bits : 1 1 1 0 concernent le deuxième GFC car il contient 5 mini-groupes.

Les bits : 1 1 0 concernent le troisième GFC. Il contient 4 mini-groupes.

Les bits : 1 0 concernent le quatrième GFC. Il ne contient que 3 mini-groupes seulement.

Cette boucle se répète suivant le nombre de population choisi dans les paramètres de configuration. Une fois qu'il termine, il passe au calcul des fitness et le choix des parents.

La figure III.5 et la figure III.6 affichent la matrice des codages binaire des dix individus et leurs fitness

```
Population =

     0     0     0     0     1     1     0     1     1     0     0     0
     0     0     0     1     1     0     0     0     0     0     1     0
     1     0     0     1     1     1     0     0     1     0     1     0
     1     1     0     0     0     1     1     1     0     0     0     0
     0     1     0     1     0     1     0     1     1     0     1     0
     1     1     0     1     0     1     0     0     0     0     1     0
     1     0     0     1     1     0     0     1     1     0     1     0
     1     0     0     0     1     1     0     0     0     0     1     0
     1     1     0     1     1     0     0     0     1     0     0     0
     1     0     0     1     1     1     0     1     1     0     1     0
```

**Figure III.5 :** La population POP crée par l'AG.

```
fitness =

    0.0362    0.0340    0.0364    0.0395    0.0371    0.0366    0.0370    0.0363    0.0384    0.0362
```

**Figure III.6 :** Les fitness de tous les individus de POP.

Parmi les 10 individus crées, l'algorithme génétique doit choisir deux parents en utilisant la méthode de sélection de la roulette .Par la suite, il applique le croisement et la mutation selon des probabilités afin d'obtenir les nouveaux descendants. Dans cette nouvelle famille (parents et enfants), l'algorithme génétique cherche les deux individus qui ont la fitness la plus grande, il les considère comme deux nouveaux parents et il réapplique le croisement et la mutation. Ces itérations se répètent jusqu'à la confirmation d'un des deux critères d'arrêt ( Maxgen =30, le nombre de générations crées ou Nnobetter =5, nombre de répétition du même individus résultant).

A la fin de cette boucle, la valeur moyenne du temps d'attente est obtenue, ainsi les durées du feu vert correspondent à la séquence de passage choisi par l'algorithme (figure III.7).

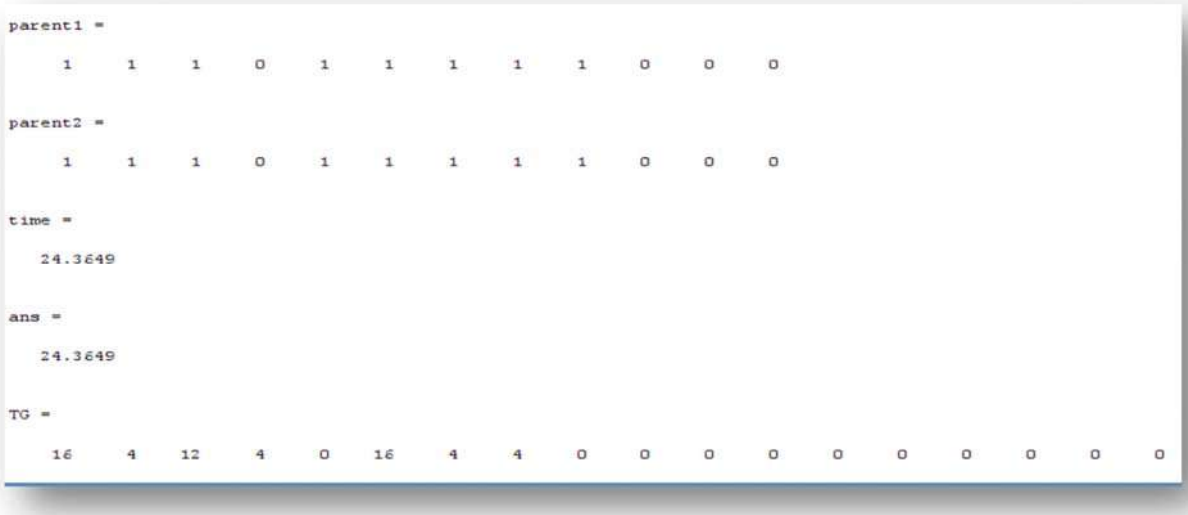



**Figure III.7 :** Résultat sur le temps d'attente moyen et le temps du vert.

- **Remarques :**

1) le codage binaire obtenu à la fin de l'exécution est tout à fait différent à celui du premier individu choisi au hasard.
2) Les durées du feu vert dépendent du nombre de mini-groupes dans chaque groupe de passage et le nombre de véhicules dans chaque mini-groupe.

Les figures III.8 et III.9 montrent l'amélioration du temps moyen d'attente au cours de l'exécution en fonction du nombre de génération et le $N_{nobetter}$.

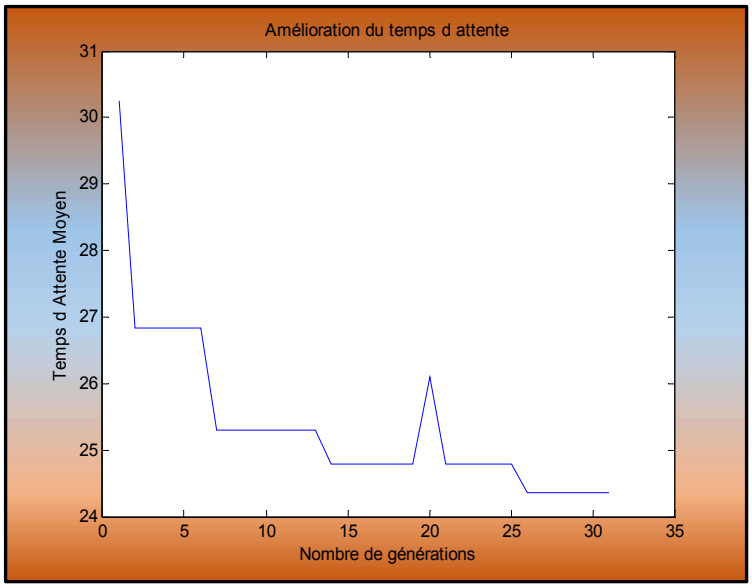



**Figure III.8 :** Amélioration du temps d'attente moyen en fonction du nombre de générations.

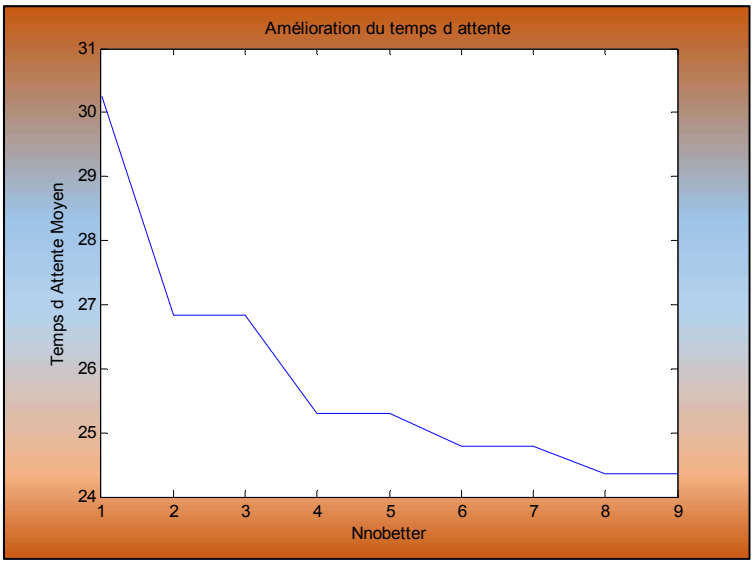



**Figure III.9 :** Amélioration du temps d'attente moyen en fonction de répétition des mêmes individus.

3) Les valeurs du temps du feu vert 'TG' se diffèrent d'un groupe de passage vers un autre tout dépend le nombre de mini-groupes qui appartient au même groupe de passage.

16 : Le temps en secondes pour le premier GP du $GFC_1$.

04 : Le temps en secondes pour le premier GP du $GFC_2$.

12 : Le temps en secondes pour le premier GP du $GFC_3$.

04 : Le temps en secondes pour le premier GP du $GFC_4$.

00 : Le temps en secondes pour le deuxième GP du $GFC_1$ « Pas de mini-groupes, il passe directement au $GFC_2$ ».

16 : Le temps en secondes pour le deuxième GP du $GFC_2$.

04 : Le temps en secondes pour le deuxième GP du $GFC_3$.

04 : Le temps en secondes pour le deuxième GP du $GFC_4$.

La figure III.10 montre la variation du temps du feu vert entre les huit voies.

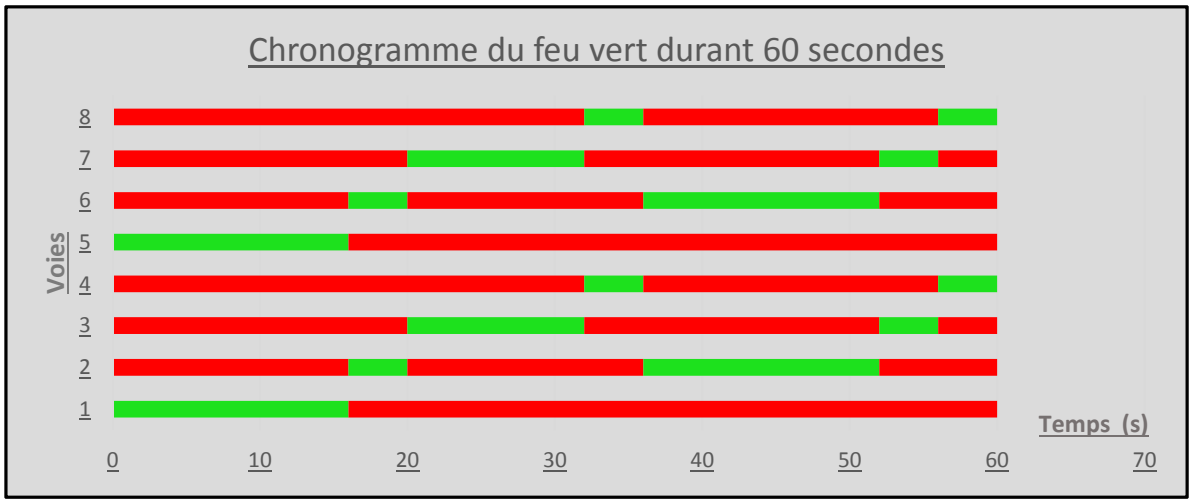



**Figure III.10 :** Chronogramme des feux des 8 voies obtenu par l'algorithme génétique.

Remarquons que les voies qui appartiennent au même GFC (1-5, 2-6, 3-7 et 4-8) ont la même distribution du temps du feu vert.

### III.4 Performance de calcul

Dans ce qui suit, nous allons comparer la solution trouvée par l'algorithme génétique avec le système de control classique. Le but de cette comparaison est de conclure quant à l'efficacité de cet algorithme. Les résultats de la méthode classique sont obtenues à partir un programme a intervalle de temps. Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau III.2 :

**Tableau III.2 :** Performances de calcul de l'AG proposé.

| Nombre de véhicule | Algorithme génétique « Temps d'attente moyen » | Temps d'exécution | Méthode classique « Temps d'attente moyen » | Temps d'exécution |
|---|---|---|---|---|
| **20** | 20.1347 | 0.051146 | 30.01111 | 0.001185 |
| **24** | 22.5692 | 0.051487 | 29.9445 | 0.001826 |
| **32** | 24.3558 | 0.092627 | 30.3882 | 0.002351 |
| **40** | 27.4943 | 0.329346 | 29.6473 | 0.001793 |
| **52** | 28.1106 | 0.305060 | 30.0754 | 0.004707 |
| **60** | 27.3006 | 0.600304 | 30.3084 | 0.008024 |
| **100** | 31.7613 | 0.516245 | 33.1851 | 0.005111 |
| **140** | 29.2560 | 0.642410 | 33.4939 | 0.017566 |
| **300** | 31.1884 | 1.722378 | 33.2366 | 0.027403 |
| **800** | 35.1754 | 1.991168 | 34.3156 | 0.039641 |

Les valeurs obtenues par les méthodes d'optimisations sont représentées sur la figure III.11.

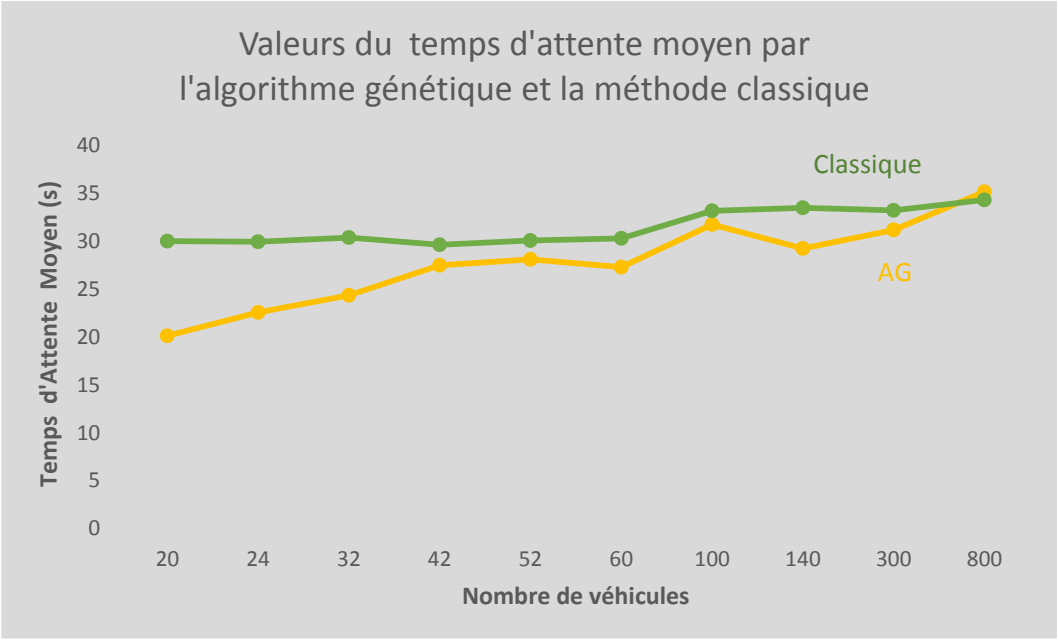



**Figure III.11 :** les valeurs du temps d'attente moyen par l'AG et la méthode classique.

D'après les valeurs du tableau III-2, on remarque qu'à partir 300 véhicules, le temps d'exécution dépasse 1.5 secondes et les durées du temps vert sont élevées car le nombre de véhicules de chaque mini-groupe est considérables ce qui peut devenir un inconvénient pour l'AG .

Les figures III.12, III.13 et III.14 montrent les variations des durées du vert en fonctions du nombre de véhicules détecté par le contrôleur.

```
TG =

    48    48    32    16    16    16    16    16     0    32    16     0     0     0
```

**Figure III.12 :** Résultat sur le temps du vert calculé par l'AG pour 140 véhicules.




**Figure III.13 :** Résultat sur le temps du vert calculé par l'AG pour 300 véhicules.

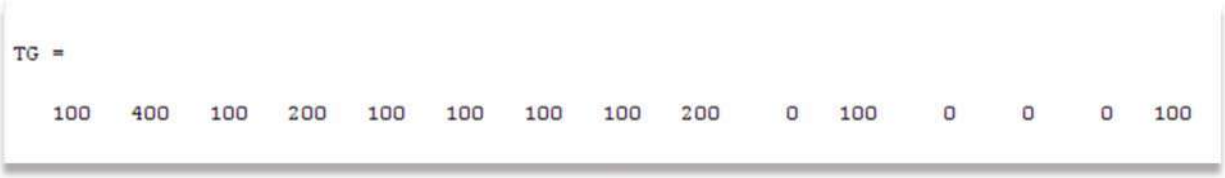



**Figure III.14 :** Résultat sur le temps du vert calculé par l'AG pour 800 véhicules.

Ces résultats illustrent les faits suivants:

1) L'AG proposé peut traiter 150 véhicules dans la couverture de contrôle avec un temps de calcul ne dépassant pas une seconde.
2) Pour tous les cas étudiés, le schéma de codage binaire réalise une meilleure solution que la méthode classique.
3) Les durées du feu vert seront trop élevées à partir 300 véhicules qui peut nous conduisent à des états de saturation (environ 800 véhicules).

### III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons appliqué une méthode classique et une méthode intelligente sur un réseau de carrefours voisins. D'abord, les tests ont été appliqués afin de calculer le temps d'attente moyen de chaque algorithme Les résultats montrent que l'algorithme génétique proposé peut trouver une solution satisfaisante pour chaque intersection du réseau de carrefours voisins pour un nombre de véhicules ne dépassant pas 300 véhicules. Une simple comparaison avec la méthode classique nous a confirmé l'efficacité de l'algorithme génétique pour régulation du trafic.

# Conclusion Générale

# CONCLUSION GENERALE

Dans ce mémoire, nous avons introduit une nouvelle stratégie pour la régulation du trafic au niveau d'un réseau de carrefour. Avec les informations récoltées des véhicules, nous pouvons savoir l'état précis de chaque véhicule pendant sa traversée du carrefour. En utilisant ces informations reçus des véhicules, nous avons pu formuler mathématiquement notre problème et proposer un algorithme efficace pour évacuer tous les véhicules présents en un temps optimal.

Nous avons passé en revue les éléments de base qui composent la régulation du trafic aux intersections. Le travail bibliographique réalisé a montré que les méthodes existantes pour la régulation du trafic au niveau des carrefours avec des véhicules autonomes sont peu efficaces. Cela rend difficile d'exploiter le potentiel des infrastructures de la circulation à son niveau maximum. Une séquence de passage plus efficace sera donc nécessaire afin d'améliorer la situation du trafic.

En effet, puisque chaque véhicule autonome peut être traité comme un individu indépendant qui a un temps d'arrivée et une durée de traversée, la recherche pour une séquence de passage devient alors un problème d'optimisation combinatoire. Comme il peut y avoir de nombreux véhicules dans un carrefour, le temps de calcul mis par l'algorithme de régulation peut devenir très élevé ce qui rend le problème encore plus complexe.

Pour bien faire l'étude, nous avons modélisé mathématiquement le problème de régulation du trafic au niveau des carrefours avec des véhicules autonomes. Un modèle général pour minimiser le temps total d'attente moyen de tous les véhicules est ainsi construit et sa complexité est bien étudiée.

D'ailleurs, nous avons appliqué cette nouvelle approche de contrôle basée sur des véhicules autonomes dans un réseau de carrefours contenant plusieurs carrefours voisins. Les véhicules qui entrent l'un des carrefours sont automatiquement détectés et contrôlés par un seul contrôleur. Ainsi, les coûts de construction et d'entretien des infrastructures seront réduits.

Cependant, nous avons constaté que pour un réseau de carrefours voisins, un algorithme exact n'est pas assez rapide pour trouver une solution optimale. Nous avons alors proposé une méthode approchée (algorithmes génétiques) afin de trouver une séquence de passage satisfaisante dans chaque carrefour et surtout en un temps raisonnable.

Afin de valider notre approche, nous avons réalisé une grande série d'instances de tailles et de types différents. Leur nature dépend du nombre des véhicules et de la configuration du carrefour. D'abord, nous avons effectué des tests sur le temps d'attente moyen. Les résultats ont montré que l'algorithme génétique proposé peut traiter jusqu'à 150 véhicules dans la couverture de contrôle avec un temps de calcul ne dépassant pas une seconde.

On peut conclure que l'approche de contrôle basée sur l'utilisation des algorithmes génétiques peut améliorer la situation de trafic de façon significative.

Les résultats que nous avons obtenus dans le cas des réseaux de carrefours voisins nous semblent prometteurs et encourageants pour une application réelle. Il serait alors intéressant d'approfondir la recherche dans les travaux futurs envisagés.

# Bibliographie

# *Références Bibliographiques*


**[1]** A.Knaian. A wireless sensor network for smart roadbeds and intelligent transportation systems. PhD thesis, Citeseer, 2000.

**[2]** AkpInar, S. et G. Mirac Bayhan (2011). "A hybrid genetic algorithm for mixed model assembly line balancing problem with parallel workstations and zoning constraints." Engineering Applications of Artificial Intelligence.

**[3]** Aurélien, C. (2007). Modélisation de conflits dans l'algèbre des dioïdes - application à la régulation de trafic dans les carrefours. Laboratoire Système et Transport. Belfort, l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard. Thèse. Docteur en automatique.

**[4]** Aytug, H., M. Khouja, et F. E. Vergara (2003). "Use of genetic algorithms to solve production and operations management problems: a review." International Journal of Production Research.

**[5]** Chen, Q. (2009). Research on Signal Control of Urban Intersection Based on Genetic Algorithms. Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation.

**[6]** Cohen, S. (1993). Ingénierie du Trafic Routier. Eléments de théorie du trafic et applications, Presses de l'Ecole National des Ponts et Chaussées.

**[7]** Corinne BRABAN, Florence BOILLOT. Avril 2003, LES SYSTEMES TEMPS REEL DE COMMANDE DE FEUX EN MILIEU URBAIN, Université du Dalarna, S-78188 Borlänge, Suède. INRETS – GRETIA Laboratoire Génie des Réseaux de Transport et Informatique Avancée.

**[8]** Davis, L. (1991). Handbook of Genetic Algorithms, Van Nostrand Reinhold.

**[9]** Dridi, M. et I. Kacem (2004). "A hybrid approach for scheduling transportation networks." Inernational Journal of Applied Mathematics and Computer Science.

**[10]** F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. Wireless sensor networks : a survey. Computer Networks, 38(4) :393–422, 2002.

**[11]** Fei Yan, (2012). Contribution à la modélisation et à la régulation du trafic aux intersections : Intégration des communications Véhicule-Infrastructure. l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, THÈSE Docteur en automatique.

**[12]** Graham, R., E. Lawler, J. Lenstra et A. Rinnooy Kan (1979). "Optimization and approximation in deterministic machine scheduling: A survey." Annuals of Discrete Mathematics.

**[13]** Goldberg, D. E. (1989). Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning, Addison wesley.

**[14]** Hart, E., P. Ross, et D. Corne (2005). "Evolutionary scheduling: A review." Genetic Programming and Evolvable Machines.

**[15]** I.Corredor, A. García, J. Martínez, and P. López. Wireless sensor network-based system for measuring and monitoring road traffic. 2008.

**[16]** Les transports intelligents.
http ://www.transport-intelligent.net/. (visité le 16/03/2017).

**[17]** Li, L. et W. Fei-Yue (2006). "Cooperative Driving at Blind Crossings Using Intervehicle Communication." IEEE Transactions on Vehicular Technology.

**[18]** Ma, L. et W. Liu (2008). A coordination model of game theory for multi-intersection-agents and the algorithm for solving equilibrium based on the reinforcement learning method.

**[19]** Minnesota Département of Transportation. Traffic signals 101, 2006.
http://www.dot.state.mn.us/trafficeng/publ/signals101/index.html. (visité le 16/03/2017)

**[20]** National Electrical Manufacturers Association. NEMA ts2 traffic controller assemblies with ntcip requirements, 1998.

**[21]** Sébastien Faye, Claude Chaudet, Isabelle Demeure. Jan 2013, Contrôle du trafic routier urbain par un réseau fixe de capteurs sans fil, Institut Télécom, Télécom ParisTech CNRS LTCI UMR 5141 ; 46 rue Barrault, 75013 Paris.

**[22]** R. Gordon, W. Tighe, U.S.F.H.A.O. of Operations, D. E. Associates, and I. Siemens. Traffic control systems handbook. US Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Operations, 2005.

**[23]** Renders, J. M. (1995). Algorithmes Génétiques et Réseaux de Neurones. Paris, Hermès.

**[24]** University of Idaho-Moscow. Traffic signal training.
Http: //www.webs1.uidaho.edu/niattproject/. (visité le 27/01/2017)

**[25]** Xing, L.-N., Y.-W. Chen, K. W. Yang, F. Hou, X . S. Shen et H. P. Cai (2008). "A hybrid approach combining an improved genetic algorithm and optimization strategies for the asymmetric traveling salesman problem." Engineering Applications of Artificial Intelligence.