الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique
et de l'Informatique

Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Électrique

Option : Systèmes Intelligents et Communicants

Thème

SMART AUTO ROUTER 1: Étude, conception et implémentation VHDL

d'un système intelligent d'acheminement rapide de véhicules dans un réseau routier

Application au centre-ville de Médéa

Préparé et Présenté par:

⇨ *HADJADJ Hassina*

⇨ *HADJADJ Khadidja*

Proposé et Dirigé par :

⇨ *. Dr. BOUHEDDA Mounir*

Année Universitaire 2011-2012

Dédicaces

Je dédie Ce travail

A' Mes très chers parents, ma mère qu'elle a beaucoup sacrifie pour moi et qu'elle n'a jamais cessée de m'encourager, mon père qui fait beaucoup Pour nous.

A ma très chère grande mère.

Et en particulier à ma très Chère sœur et ma binôme khadidja

A ma sœur Fatiha

A mon frère Samir sa femme Samira, ses enfants Imene, Mohamed, mahfoudh et en particulier à feriel.

A Leila et Soumia

ET toute ma famille qui n'a pas cessé de

m'encourager dans les moments difficiles que

Dieu les protège

A' mes collègues de la section de

SIC

Hassina

Dédicaces

Je dédie Ce travail

A' Mes très chers parents, ma mère qu'elle a beaucoup sacrifie pour moi et qu'elle n'a jamais cessée de m'encourager, mon père qui fait beaucoup Pour nous.

A ma très chère grande mère.

Et en particulier à ma très Chère sœur et ma binôme hassina

A ma sœur Fatiha

A mon frère Samir sa femme Samira, ses enfants Imene, Mohamed, mahfoudh et en particulier à feriel.

A Leila et Soumia

ET toute ma famille qui n'a pas cessé de

m'encourager dans les moments difficiles que

Dieu les protège

A' mes collègues de la section de

SIC

Khadidja

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu

« Dieu » qui nous a donné la force pour achever ce travail.

Nous remercions vivement notre promoteur

Mr .BOUHEDDA

Nous remercions du fond du cœur nos chers parents de tout ce qu'ils ont faisaient pour nous.

Nous tenons également à remercier tous ceux qui nous ont aidés à réaliser ce travail de près ou de loin.

Remerciements vont également à tous les membres de jury, qui font l'honneur de juger notre travail.

ملخـــص

الهـــدف من هذا العمـل هو اقتـــراح نظـــام ذكي الذي يحدد اقصـــر طريـــق (من حيت الوقـــت) بين نقطتيـــن. جزء من شبكـــة الطـــرق لمدينـــة المديـــة اختير لتطبيـــق نظامنا. كمرحلـــة اولـــى, النمذجـــة الرياضيـــة لشبكـــة انجـــزت. بعـــد ذلك اقتبـــس النمـــوذج الرياضـــي لينفـــذ فـــي VHDL كمرحلـــة الثانيـــة. نتائـــج الاختبـــارات و التحاليـــل تبيـــن فعاليـــة النظـــام المقتـــرح.

كلمـــات مفتاحيـــة:VHDL ، جـــزء, حـــركـــة المـــرور, ذكـــي, شبكـــة الطـــرق, طريـــق, عقـــدة.

Abstract

The aim of this work is the proposal of an intelligent system that determines the fastest route (in terms of time) between two points. A part of the road network of the city of Médéa was chosen for our application. As the first phase, a mathematical modeling of the network was made. Then an adaptation of the mathematical model to a VHDL implementation was realized in second phase. The results of tests and analyzes have shown the performance of the proposed system.

Keywords: intelligent, node, path, road network, segment, traffic, VHDL.

Résumé

Le but de ce travail est la proposition d'un système intelligent qui détermine le chemin le plus rapide (point de vue temps) entre deux points. Une partie du réseau routier de la ville de Médéa a été choisi pour notre application. Comme première phase, une modélisation mathématique du réseau a été faite. Ensuite une adaptation du modèle mathématique à une implémentation VHDL a été réalisée en seconde phase. Les résultats des tests et analyses ont montré les performances du système proposé.

Mots clés : chemin, intelligent, nœud, segment, réseau routier, trafic routier, VHDL.

Sommaire

Liste des abréviations…….....vi

Liste des figures ……...vi

Liste des tableaux……vi

Introduction générale……..2

Chapitre I : ***Généralité sur la gestion du trafic routier***

I. Introduction ……5

II. Problème de transport…….…..... 5

III. Problème de gestion de trafic routier ……...…..... 5

III.1. Une approche stratégique de la gestion de la congestion .....……6

III.2. Amélioration de la gestion du trafic routière…….7

III.2.1. Mesures de gestion du trafic routière ……7

III.2.2. Utilisation des technologies STI pour améliorer la gestion du trafic…….…9

III.3. Systèmes de gestion dynamique de la circulation ……..…9

IV. Technologies utilisée dans la gestion de trafic ……...……..…10

IV. 1. Recueil de données de trafic …….……..…12

IV. 1.1.Capteurs et détecteurs utilisées actuellement ……12

IV. 1.2. Nouvelles technologies pour le recueil des données…… 15

IV. 2. Traitement et diffusion des données de trafic……..…….. 17

V. Usage des systèmes de transport intelligents en Algérie……..… 18

V.1.Les systèmes embarqués……..... 18

V.2.Gestion du trafic routier …….…... 18

V.3.Les systèmes installés sur l'infrastructure……...……...18

VI. Conclusion ……..……...……..19

Chapitre II : Conception et modélisation mathématique

I. Introduction ..……..21

II .Système de détection/acheminement..……21

II.1. Présentation de réseau routier……22

II .2.Système de détection……..…23

II .3.Système d'acheminement…..……24

II .3.1.Identification zone de recherche .....…...24

II .3.2.Programmation dynamique ……..……25

III. Modélisation mathématique de système détection/acheminement…...…25

III.1.Système de détection de trafic ……..25

III.1.1. Détection de trafic ……...25

III.1.2. Calculateur ……25

III.1.3.Système de mise à jour des tables de temps et de vitesses…...27

III.2.Système d'acheminement ……28

III.2.1.Identification zone ……...28

III.2.2.Programmation dynamique .....…...30

III.2.2.1.Modélisation du temps de déplacement ……..……30

III.2.2.2.Acheminement en temps réel ……..……36

IV. Application au réseau routier de la ville de Médéa ……..37

IV.1. Présentation de réseau routier ……..37

IV.2. Rond point ……...39

IV.3. Programmation dynamique ……40

IV.4. Résultat de simulation ……..44

V. Conclusion ……49

Chapitre III : Implémentation VHDL

I. Introduction ……..…...51

II. Système d'acheminement des véhicules (routage) ……51

III. Représentation des entrées/sorties de système d'acheminement des véhicules ……....53

III.1. Entrées de système d'acheminement ……...…53
III.2. Sorties de système d'acheminement ……....54
IV. Implémentation VHDL ……54
IV. 1.Mémoire ……...……56
IV.2.Circuit qui détermine les nœuds inclus ……57
IV.2.1.Le fonctionnement de circuit ……..…….57
IV.2.2.Entête du code VHDL ……....….58
IV.2.3. résultats de Simulation ……...……58
IV.3.Circuit qui détermine les vitesses dans les routes ……61
IV.3.1.Fonctionnement de circuit ……..62
IV.3.2.Entête du code VHDL …….…….62
IV.3.3. résultats de Simulation ……63
IV.4.Circuit qui détermine λ (facteur d'ajustement pour le temps) …...64
IV.4.1.Fonctionnement de circuit ……..65
IV.4.2.Entête du code VHDL …….…….66
IV.4.3. résultats de Simulation ……66
IV .5.Circuit qui Détermine la distance entre les nœuds ……..67
IV.5.1.Fonctionnement de circuit ……..68
IV.5.2.Entête du code VHDL ……69
IV.5.3. résultats de Simulation ……69
IV .6.Calculateur …….…...…70
IV .7.Machine d'état ……71
IV .8.Fonctions principaux utilisées ……75
IV .8.1.Fonction « temps de déplacement d'un segment (route) »…..75
IV .8.1.1.Fonction Mise_jour_temps ……77
IV .8.1.2.Fonction Mise_soustraction ……..78
IV .8.1.3.Fonction de division binaire ……..79

IV .8.2.Résultat de Simulation fonction « temps de déplacement d'un segment (route) » ……..81
V. Entête du code VHDL ……82
VI. Résultats de simulation ……82
VI .1.Exemple1 ……83
VI .2.Exemple2 ……84
VI .3.Exemple3 ……85
VII .Link for ModelSim ……88
VIII. Conclusion ……93
conclusion générale……95
Référence bibliographie……97
Annexe1 ……100
Annexe2 ……109

Liste d'abréviations

CCD	Charged Coupled Device
CEMT	Conférence Européenne des Ministres des Transport
CMOS	Complementary Metal Oxide Semi-Conductor
FPGA	Field Programmable Gate Arrays
GPS	Global Positinning System
GSM	Global System for Mobile communication
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
PDA	Personal Digital Assistant
PGT	Plans de Gestion de Trafic
RTMS	Remote Traffic Microwave Sensor
SIREDO	Système Informatisé de Recueil de Données
STI	Système de Transport Intelligents
VHDL	VHSIC Hardware Description Langage
VHSIC	Very High Speed Integrated Standard

Liste des figures

Figure. I.1 : schéma synoptique d'un système de gestion intelligent d'un trafic routier…….10

Figure. I.2 : schéma synoptique d'un système de gestion de trafic……..11

Figure. I.3 : boucles électromagnétiques collées……..12

Figure. I.4 : capteur Numetrics Nc97 installé……...13

Figure. I.5: utilisation du traitement d'images……..13

Figure. I.6 : capteur Traffic Master……..15

Figure. I.7: capteurs RTMS……..15

Figure. I.8 : système Neavia…….16

Figure .II.1 : schéma synoptique d'un système de détection/acheminement……...21

Figure .II.2 : Représentation graphique d'un réseau routier…….22

Figure .II.3 : Représentation schématique d'un réseau routier avec modélisation des capteurs…….24

Figure .II.4 : Représentation schématique d'un réseau routier d'exemple……...27

Figure .II.5 : représentation de la zone de recherche……29

Figure .II.6 : les segments d'un chemin……...30

Figure .II.7 : temps de déplacement de segment L(1,2)……...31

Figure .II.8 : temps de déplacement de segment L(2,3)……...33

Figure .II.9 : représentation schématique d'une partie du réseau routier de la ville du Médéa……...38

Figure .II.10 : rond point……..39

Figure .II.11 : représentation de rond-point…….40

Figure .II.12 : calculateur de facteur d'ajustement……...41

Figure .II.13 : organigramme de système d'acheminement…….42

Figure .II.14 : organigramme de fonction qui retourne le plus court chemin point vue temps……43

Figure .II.15 : simulation MATLAB de l'exemple 1……...44

Figure .II.16 : simulation MATLAB de l'exemple 2……...45

Figure .II.17 : simulation MATLAB de l'exemple 3.1……47

Figure .II.18 : simulation MATLAB de l'exemple 3.2……48

Figure .III.1 : schéma global de système d'acheminement des véhicules……52

Figure .III.2 : schéma synoptique du programme principal…….55

Figure .III.3 : schéma de circuit qui détermine les nœuds inclus…….57

Figure. III.4 : résultat de simulation de circuit qui détermine les nœuds inclus (d'exemple 1) sous MODELSIM…….59

Figure .III.5 : résultat de simulation de circuit qui détermine les nœuds inclus (d'exemple 1) sous MODELSIM…….60

Figure. III.6 : schéma de circuit qui détermine les vitesses dans les routes…….61

Figure .III.7 : résultat de simulation de Circuit qui détermine les vitesses dans les routes sous MODELSIM…….64

Figure. III.8 : schéma de circuit qui déterminer les valeurs de lamda……..…65

Figure. III.9 : résultat de simulation de Circuit qui détermine les valeurs de lamda sous MODELSIM…….67

Figure. III.10 : schéma de circuit qui détermine les distances……..68

Figure. III.11 : résultat de simulation de circuit qui détermine les distances sous MODELSIM…….70

Figure .III.12 : schéma synoptique de calculateur de lamda……70

Figure .III.13 : schéma global de machine d'état…….71

Figure .III.14 : machine d'état……..72

Figure .III.15 : schéma synoptique de la machine d'état…….……74

Figure .III.16 : schéma synoptique de process de la machine d'état……75

Figure .III.17 : organigramme de la fonction « temps de déplacement d'un segment (route) »……76

Figure .III.18 : résultat de simulation de la fonction Mise_jour_temps (exemple1) sous MODELSIM…….77

Figure .III.19 : résultat de simulation de la fonction Mise_jour_temps (exemple2) sous MODELSIM…….78

Figure .III.20 : résultat de simulation de la fonction Mise_soustraction sous MODELSIM...78

Figure .III.21 : organigramme de la fonction de division binaire……79

Figure .III.22 : résultat de simulation de la division binaire sous MODELSIM……..80

Figure .III.23 : résultat de simulation de la fonction « temps de déplacement d'un segment » sous MODELSIM…….81

Figure .III.24 : résultat de la simulation d'exemple1 sous MODELSIM……83

Figure .III.25 : résultat de la simulation d'exemple2 sous MODELSIM……84

Figure .III.26 : résultat de la simulation d'exemple 3.1 sous MODELSIM……86

Figure .III.27 : résultat de la simulation d'exemple 3.2 sous MODELSIM……87

Figure .III.28: Interface Link for ModelSim/MATLAB/SIMULINK……....89

Figure .III.29 : résultat de la simulation d'exemple 1 sous Simulink/ ModelSim……..90

Figure .III.30 : résultat de la simulation d'exemple 1 sous Simulink/ ModelSim……..91

Figure .III.31 : résultat de la simulation d'exemple 1 sous Simulink/ ModelSim……..92

Liste des Tableaux

Tableau II.1 : Tableau de vitesse……28

Tableau II.2 : Tableau de temps de déplacement……..28

Tableau II.3 : Les valeurs de données pour la simulation d'exemple 1……44

Tableau II.4 : Les valeurs de données pour la simulation d'exemple 2……45

Tableau II.5 : Les valeurs de données pour la simulation d'exemple 3.1…….46

Tableau II.6 : Les valeurs de données pour la simulation d'exemple 3.2…….47

Tableau III.1 : Liste des mémoires……56

Tableau III.2 : Les valeurs de données pour la simulation de Circuit qui détermine les nœuds inclus (d'exemple 1)…….59

Tableau III.3 : Les valeurs de données pour la simulation de Circuit qui détermine les villes inclus (d'exemple 2)…….60

Tableau III.4 : Les valeurs de données pour la simulation de Circuit qui détermine les vitesses dans les routes……63

Tableau III.5 : Les valeurs de données pour la simulation de Circuit qui détermine les valeurs de lamda……66

Tableau III.6 : Les valeurs de données pour la simulation de circuit qui détermine les distances…….69

Tableau III.7 : les valeurs de données pour la simulation de la fonction « temps de déplacement d'un segment (route) »……..81

Tableau III.8 : Les valeurs de données pour la simulation d'exemple 1……...83

Tableau III.9 : Les valeurs de données pour la simulation d'exemple 2……...84

Tableau III.10 : Les valeurs de données pour la simulation d'exemple 3.1…….85

Tableau III.11 : Les valeurs de données pour la simulation d'exemple 3.2…….86

Tableau III.12 : Tableau des résultats de simulation en MATLAB et VHDL…….88

Tableau 2.1 : Tableau de type des signaux……..109

Introduction Générale

J. Stübben, un grand architecte Allemand, spécialiste dans l'organisation des villes considère que : « parmi les diverses exigences auxquelles doit satisfaire le plan d'urbanisme, la première et la plus importante, est celle de la circulation » [1].

De nos jours, se déplacer est devenu un aspect essentiel de la vie quotidienne : qu'il s'agisse de transports en commun ou de véhicules personnels, le vaste réseau formé de ces moyens de locomotion est immensément complexe à gérer. Dans ce document, nous nous intéressons sur le cas du trafic routier urbain.

Partout dans le monde, d'importants problèmes de circulation et de congestion sont apparus, entraînant un coût non négligeable pour la collectivité à la fois au niveau humain (difficultés d'accès au marché du travail et aux services publics) et économique (en raison du temps et des ressources perdus dans les embouteillages) [2].

Le trafic routier urbain est au cœur de nombreuses problématiques : plus encore ces dernières années, cet aspect critique intervenant au quotidien est défavorable à de nombreux domaines, tels que l'économie ou encore l'écologie. Pour ces raisons, les systèmes de transport intelligents (STI) sont apparus depuis la fin des années 1990, permettant d'optimiser au mieux les dépenses et l'expérience de l'utilisateur sur des réseaux souvent complexes [3].Parmi les problèmes les plus anciens et les plus traités on trouve le problème de plus court chemin. Il consiste à rechercher le meilleur chemin entre des points, sources et destinations, afin de minimiser un critère précis, généralement le temps et/ou le coût de trajet [4].Le recueil des données de trafic se fait grâce à l'utilisation de capteurs et de détecteurs. L'objectif est d'acquérir des données que les gestionnaires utiliseront en temps réel ou différé. Le traitement de ces données a pour but de surveiller et de gérer le trafic, de diffuser de l'information routière à destination des usagers et également d'établir des statistiques et des études de trafic [5].

Un des cas importants à étudier est la recherche du plus court chemin dynamique qui consiste à trouver le meilleur chemin dans un réseau dont les temps de trajet sont variables. Ce travail a pour but de concevoir un système intelligent afin de déterminer le plus court chemin entre deux points point vue temps dans un réseau routier, comme application pour notre système , notre choix se est porte sur un partie du réseau routier de la ville de Médéa. Cette dernière a connu une forte explosion démographique et par conséquent, beaucoup de problèmes sont apparus que connaissent les grandes villes notamment le problème de circulation d'automobiles.

Le problème du trafic routier a été transformé en un problème d'optimisation et modélisation mathématique. Le modèle ainsi obtenu a fait l'objet d'une implémentation VHDL.

Tout au long de notre travail, on a été amené à utiliser plusieurs logiciels: le langage MATLAB de MATHWORKS pour tester les performances de notre modèle et le simulateur MODELSIM de MODLTECH pour l'implémentation VHDL.

Dans le cadre de la présente étude, notre mémoire a été scindé en 3 parties principales.

La première partie présente la synthèse des notions étudiées. Cette partie sera abordée en chapitre I où une vue sur le trafic routier et sa gestion sont présentés.

Dans le chapitre II on va montrer la modélisation mathématique de notre problème et ensuite on va procéder à l'application de la modélisation présentée au réseau routier choisi de la ville de Médéa afin de le valider en utilisant le logiciel MATLAB par des testes et analyses. L'adaptation du modèle mathématique à des circuits numériques ainsi qu'une implémentation VHDL du système modélisé feront l'objet du chapitre III.

A la fin notre mémoire sera achevé par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE I

Généralité sur la gestion du trafic routier

I. Introduction

Le problème de circulation est du essentiellement à un déséquilibre entre l'offre (c.-à-d routes et de leur capacité) et la demande (à savoir, les besoins de voyage). Chaque fois que ce décalage augmente, les pouvoirs publics essayent d'équilibrer par la création d'infrastructures en réalisation de nouvelles routes.

La route est un acteur essentiel de la vitalité économique des territoires… mais source de plusieurs problèmes. Sa gestion maîtrisée permet d'optimiser la performance globale assignée à chaque réseau : améliorer la sécurité et la fluidité, réduire la congestion, coordonner réseaux routiers et de transports collectifs, informer… Cette maîtrise, stratégique dans une vision d'ensemble, vise à assurer l'accessibilité et la fiabilité des trajets routiers. Des expériences récentes de gestion de la route ont permis d'adapter la capacité de la voirie aux flux de véhicules.

II. Problème de transport

Les difficultés de déplacement ne sont ressenties que dans quelques agglomérations, mais celles-ci concentrent près de 50 % de la population. Les grands déterminants de l'urbanisme en zone dense sont le fort développement des zones périphériques, le dépeuplement des centres-villes, la spécialisation des zones par type d'activités. Cette évolution entraîne une mobilité accrue, un allongement des distances de déplacement et l'accroissement du taux de motorisation des ménages. L'offre de transport collectif, moins bien adaptée que la voiture aux déplacements périurbains, est victime de la congestion des centres-villes. L'individualisation des comportements, l'augmentation du niveau de vie et le développement de la voirie urbaine favorisent l'usage de l'automobile. La marche à pied et l'usage des deux roues sont en constante perte de vitesse [6].

III. Problème de gestion de trafic routier

Partout dans le monde, l'augmentation croissante du nombre de véhicules particuliers en circulation de même que celui des véhicules de transport en commun, et des camions de marchandises, a conduit à une congestion des circulations aussi insupportable humainement que socio-économiquement. Au nombre des conséquences négatives de ce phénomène de congestion, on peut citer : les conséquences environnementales dues à la pollution, les retards de livraison pour le transport de marchandises et, non des moindres, le stress des usagers du

réseau routier passant une grande partie de leur temps dans des embouteillages interminables [7].

III.1.Une approche stratégique de la gestion de la congestion

Des recherches récentes réalisées par la CEMT (Conférence Européenne des Ministres des Transports)et l'OCDE (L'Organisation de coopération et de développement économiques) indiquent qu'avant d'examiner précisément comment des mesures de réduction de la congestion peuvent être mises en œuvre pour mieux gérer le système de transport, une approche plus stratégique devrait être adoptée pour prendre en compte à la fois les causes directes et des causes plus indirectes de la congestion. Les facteurs de congestion du réseau routier qui sont les plus évidents ou les plus directs sont d'une part le trop grand nombre de véhicules pour un tracé routier donné et d'autre part l'évolution dynamique de la capacité routière qu'induisent le changement de voie et la distance séparant les véhicules. En ce qui concerne les facteurs plus indirects, mais néanmoins déterminants, il faut retenir la structure de l'aménagement du territoire et de l'emploi, l'évolution du taux de motorisation, les investissements infrastructurels ainsi que la dynamique économique régionale.
Il convient par conséquent dans un premier temps de recenser les moyens de réduire la congestion en examinant comment tous les facteurs — à la fois les plus directs et les autres — se conjuguent pour créer une situation de congestion. C'est seulement en adoptant une démarche globale et à plusieurs niveaux, prenant en compte à la fois les micro-facteurs sur route et les macro-facteurs hors route de la congestion, que les solutions pourront être efficaces et durables. Comme le notent les conclusions de l'étude citée, « le problème ne relève pas exclusivement, ni forcément en premier ressort, de l'ingénierie de la circulation ». Trois principes stratégiques sont proposés pour améliorer la gestion du système routier [8]:

- Veiller à coordonner l'aménagement foncier (…) avec les politiques de gestion de la congestion.
- Gérer la voirie de façon à préserver le bon fonctionnement du système.
- Rendre les temps de trajet prévisibles.

L'étude souligne également un principe important pour les décideurs : lorsqu'on parvient à libérer de la capacité routière, grâce à une meilleure gestion (ou une capacité additionnelle), il importe de mettre en œuvre, pour cette nouvelle capacité, des mesures de gestion de la demande afin de « verrouiller les avantages » de la réduction de la congestion sur la route

concernée. Autrement, cette nouvelle capacité risquera d'induire ou d'attirer du trafic supplémentaire. La gestion de la demande relative à cette capacité libérée ou nouvelle fait intervenir un certain nombre de politiques et de mesures importantes, largement examinées par l'étude mentionnée, notamment [8]:

- La gestion directe de l'accès physique à la voirie par des politiques d'accès qui visent à restreindre l'accès des véhicules à certaines liaisons (contrôle des accès) ou certaines zones (centres historiques, par exemple).
- La gestion indirecte de l'accès au réseau de voirie et l'influence directe sur les déplacements automobiles vers des zones précises au moyen de politiques de stationnement appropriées, et/ou.
- La gestion du volume de trafic au moyen de politiques de tarification routière ciblées sur l'utilisation des voies de circulation et la fréquentation des zones urbaines, ou sur l'accès à ces voies et agglomérations.

Là encore, ces mesures ne devraient pas être mises en œuvre de façon isolée mais dans le cadre d'une stratégie globale de gestion de la congestion. Elles sont essentielles pour restreindre la demande pressante de nouvelles capacités sur le réseau de voirie en particulier.

III.2.Amélioration de la gestion du trafic routière

Dans une approche stratégique, les mesures de gestion du trafic jouent un rôle important dans la prévention, la réduction et la maîtrise de la congestion sur les infrastructures de transport. La présente section met l'accent sur les mesures axées sur la circulation routière.

III.2.1. Mesures de gestion du trafic routière

Les mesures de gestion du trafic ont pour but à la fois d'améliorer la fluidité (la vitesse) de la circulation existante et de réduire les volumes de trafic [9]. La présente section décrit les mesures de gestion du trafic largement utilisées pour réduire la congestion routière ainsi que la contribution des technologies récentes de systèmes de transport intelligents (STI) à leur efficacité, en particulier la gestion dynamique de la circulation et la gestion des incidents de circulation.

Il existe une grande variété de mesures de gestion du trafic qui sont en usage dans de nombreux pays de la CEMT et de l'OCDE, à savoir [10]

- ***La priorité donnée au trafic passager sur le trafic fret sur la voirie en périodes de pointe :*** cette mesure est conçue pour libérer temporairement de la capacité à des moments où le trafic est particulièrement intense [10].
- ***La circulation alternée :*** utilisée depuis les années 70 dans de nombreux pays, la circulation alternée consiste à inverser le sens de la circulation sur une ou plusieurs voies d'une autoroute ou d'une route principale en fonction des pics de volume de trafic. La signalisation de la route concernée indique quelles sont les voies utilisées et dans quel sens. Comme le changement de sens de la voie s'effectue en général sans séparation temporaire à l'aide de cônes (comme dans le cas des couloirs à contresens), cette mesure ne peut être mise en œuvre que dans des zones relativement sûres [10].
- ***Les couloirs réservés :*** il s'agit de couloirs qui ne peuvent être empruntés que par certains types de véhicules — par exemple, poids lourds ou autobus. Il existe aussi des couloirs réservés aux véhicules à fort taux d'occupation, dont les premiers ont été aménagés aux États-Unis dans les années 70. Ces couloirs sont de plus en plus utilisés pour encourager le covoiturage et d'autres modalités de déplacement et ont été associés ces dernières années à des initiatives de tarification visant à en accroître l'efficacité. Dans les zones urbaines ou le long des autoroutes qui relient la banlieue au centre-ville, les couloirs réservés aux autobus se sont révélés efficaces pour assurer la fluidité des transports publics dans des conditions de forte congestion. Ainsi, la capacité de transport de voyageurs du système (par opposition à sa capacité d'absorption de véhicules) se trouve renforcée. Par exemple, à Dublin et à Paris, un réseau de couloirs réservés aux autobus a permis d'améliorer significativement les temps de trajet des autobus [10].
- ***Le contrôle des accès:*** qui utilise les feux de circulation, a démontré depuis plusieurs décennies son utilité pour contrôler le rythme d'accès des véhicules à une autoroute à partir d'une voie d'accès. En Suisse, un système similaire de « compte-goutte » a permis de gérer efficacement la circulation dans le tunnel du Gothard [10].
- ***La limitation variable de la vitesse :*** peut être appliquée sur les autoroutes comme sur la voirie urbaine pour améliorer la fluidité de la circulation, la sécurité routière et ainsi réduire la congestion. Les contrôles variables ou dynamiques de la vitesse régulent les flux de circulation en modifiant la limite de vitesse en fonction de la vitesse de la circulation en temps réel et des données concernant les flux. Les perturbations soudaines de la circulation sont détectées par des capteurs, et des messages de

réduction de la limite de vitesse sont affichés à l'intention des conducteurs sur des panneaux à messages variables [10].

- ***L'utilisation de la bande d'arrêt d'urgence :*** consiste à autoriser la circulation sur la bande d'arrêt d'urgence des autoroutes pendant les périodes de pointe [10].
- ***La configuration dynamique :*** est une mesure relativement récente qui consiste à utiliser un marquage lumineux variable sur la chaussée pour modifier le nombre et la largeur des voies sur une autoroute afin d'en accroître provisoirement la capacité [10].

III.2.2. Utilisation des technologies STI pour améliorer la gestion du trafic

Les systèmes de transport intelligents (STI), qui font appel aux plus récentes technologies de l'information et des communications, permettent de recueillir et de mettre en commun de l'information sur les conditions et le fonctionnement du système de transport. Les agents affectés au système se fondent sur cette information pour prendre des décisions de gestion des incidents de circulation. L'information peut ensuite être communiquée aux usagers pour les aider à décider du moment et des modalités de leurs déplacements. Les STI facilitent ainsi la gestion et le fonctionnement du système et aident à assurer la fluidité des trafics de voyageurs et de marchandises. Quelques exemples d'applications STI : les caméras de télévision en circuit fermé ; les messages dynamiques qui diffusent une information actualisée sur les conditions de circulation ; les capteurs implantés dans la chaussée et les systèmes de communication sans fil qui transmettent des données de circulation et d'autres informations aux différents acteurs de l'ensemble du système de transport, notamment aux responsables des transports, aux services de police, aux organismes d'intervention en cas d'urgence et à la population en général.

Les synergies et interfaces entre les différents types de technologie ne cessent de se multiplier et de s'améliorer à mesure que se généralisent les technologies [11].

III.3. Systèmes de gestion dynamique de la circulation

Les systèmes de gestion dynamique de la circulation visent à faciliter une approche globale du processus décisionnel de gestion de la congestion. Ces systèmes font appel à des modèles de simulation ainsi qu'à des données de circulation en temps réel pour prédire les effets de différentes stratégies de réduction de la congestion (par exemple, gestion des incidents , contrôle des accès, contrôle de la signalisation, information des voyageurs) sur la structure des flux et les temps de déplacement.

Les systèmes de gestion dynamique de la circulation sont toujours en cours d'élaboration. Ils reposent sur l'utilisation de données — notamment de type origine-destination — qui demeure souvent difficiles à obtenir. Les systèmes de localisation (GPS) devraient faciliter la collecte de cette information dans les années à venir [12].

IV. Technologies utilisée dans la gestion de trafic

Il faut rendre possible l'utilisation plus "intelligente" de l'infrastructure routière existante, de manière à gérer le trafic de façon optimum.

Notre objectif est de trouver le plus rapide chemin entre deux points dans un réseau routier, ce travail rendue dans le domaine de système de transport intelligent, plus de détaille sur ce points vont être abordes dans les prochains chapitres.

La figure I.1 présente un schéma de système de gestion intelligent d'un trafic routier où ce système est composé de trois blocs essentiels qui sont le système de gestion, réseau routier et le conducteur. Le système de gestion recueille les données de trafic à partir de technologies installées dans le réseau routier et après il traite ces données, et il les diffuse au conducteur pour la bonne conduction. Les technologies de l'information joueront un rôle capital dans ce système.

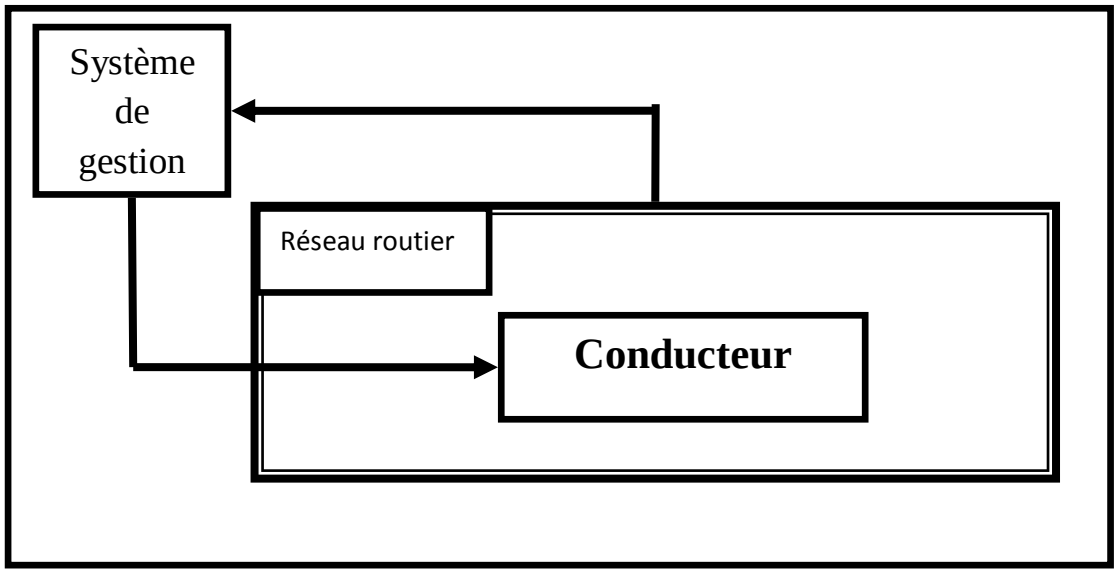


Figure I.1 : schéma synoptique d'un système de gestion intelligent d'un trafic routier.

Le bloc réseau routier présente tous les caractéristiques d'un réseau routier comme les vitesses moyennes, les routes, les véhicules,…….. (Les caractéristiques d'un réseau routier)

Et on peut présenter le système de gestion dans la figure I.2 suivante :

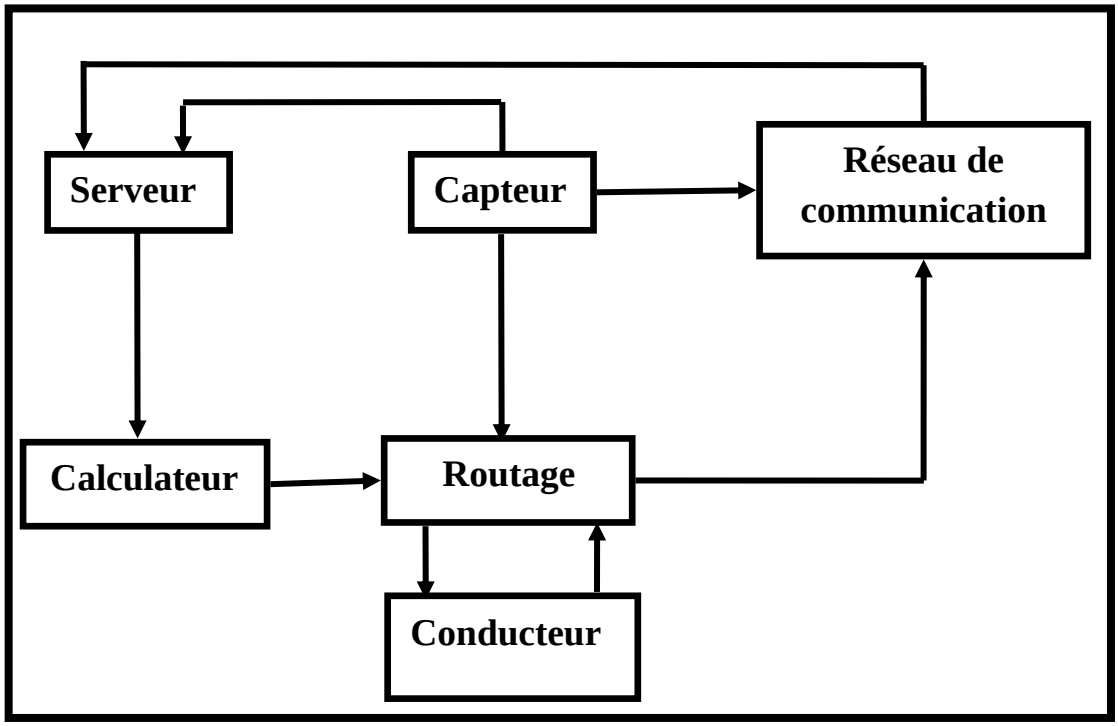


Figure I.2 : schéma synoptique d'un système de gestion de trafic.

Le fonctionnement de système de gestion intelligent d'un trafic routier est fait par coopération entre plusieurs blocs qui sont :

- **Serveur** : permet de stocker les informations ou bien les caractéristiques d'un réseau routier (les distances des routes, les vitesses moyennes dans les routes,…..).
- **Capteur** : permet de donner les informations sur l'état du trafic, les nombres de véhicules sur certaines rues ou intersections du réseau routier et on va voir par la suite les types de capteur utilisés dans le domaine de gestion de trafic routier.
- **Calculateur** : Les informations obtenues sont alors transmises à un calculateur qui a pour tache de donner au bloc routage ces informations après le traitement.
- **Routage (système d'acheminement des véhicules)** : ce bloc est le cœur de ce système après la réception des données qui reçues du calculateur, capteur, et conducteur, il les utilise pour maintenir de bonne condition la fluidité du réseau routier. Et l'objectif de notre travail est la réalisation de ce bloc, qui permet de donner le plus court chemin entre deux points dans un réseau routier point de vue temps.
- **Conducteur** : c'est l'usager de la route, il communique avec le système de routage pour attendre les informations concernant les routes point vue temps.

- **Réseau de communication** : ce bloc permet de gérer la communication entre les blocs de système de gestion intelligent d'un trafic routier.

IV. 1. Recueil de données de trafic

Le recueil des données de trafic consiste à utiliser un capteur ou un ensemble de capteurs pour mesurer les variations de paramètres physiques liés à la présence ou au passage d'un véhicule dans son champ d'action. Cette variation est à l'origine d'un signal électrique dans un détecteur associé au capteur qui est ensuite transmis dans un centre où il est traité.
Aujourd'hui, le recueil des données de trafic s'effectue essentiellement grâce à des stations sur le terrain de type SIREDO (Système informatisé de recueil de données) et des boucles électromagnétiques [13].

IV. 1.1.Capteurs et détecteurs utilisées actuellement

Voici une liste non exhaustive des principaux capteurs qui sont utilisés pour le recueil des données de trafic. Ceux-ci peuvent être intrusifs ou non suivant s'ils ont besoin d'être implantés dans le sol. Ils sont parfois qualifiés d'aériens si ce n'est pas le cas. Ils peuvent également être ponctuels ou zonaux selon l'étendue de la zone qu'ils couvrent.

✓ **Boucles électromagnétiques :**



Figure I.3 : boucles électromagnétiques collées [13].

C'est le dispositif le plus utilisé actuellement en Europe comme le montre dans la figure I.3. Constitué d'une boucle inductive enfouie à 10 centimètres de profondeur dans le revêtement de la chaussée, il est susceptible de réagir à des phénomènes d'auto-induction. Le passage d'un véhicule au dessus de la boucle engendre des courants de Foucault dans la masse métallique du véhicule. Cette variation électromagnétique peut être détectée et est ensuite

transformée en un signal électrique de type tout ou rien correspondant à la présence d'un véhicule sur la boucle. Ils peuvent aussi mesurer des taux d'occupation, des intervalles inter-véhiculaires, des vitesses instantanées, ainsi que la vitesse moyenne d'un flot de véhicules [13].

✓ ***Capteurs magnétiques ou magnétomètres***



Figure I.4 : capteur Numetrics Nc97 installé [13].

Ils sont constitués de bobines de fils de petits diamètres et sont sensibles à la variation du champ magnétique terrestre créée par le passage d'un véhicule au dessus de lui comme le montre dans la figure I.4. Ils peuvent mesurer des débits, des taux d'occupation et des vitesses en associant deux capteurs [13].

✓ ***Capteurs vidéo – traitement d'image***

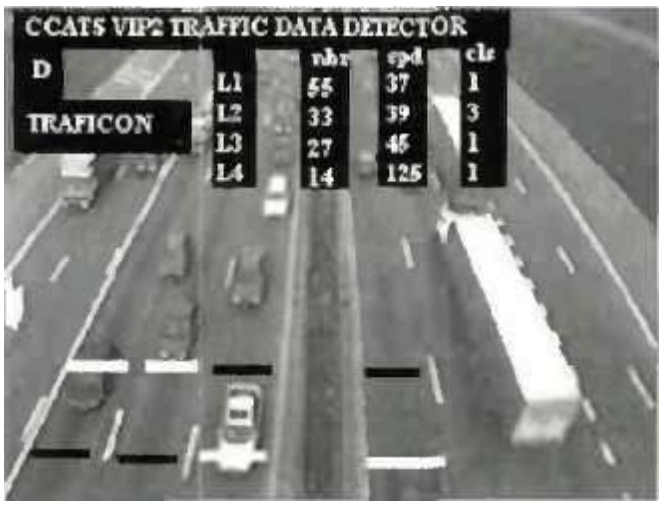


Figure I.5 : utilisation du traitement d'images [13].

Ils ont deux applications principales : l'analyse du trafic et la lecture de plaques minéralogiques.

Pour le recueil des données de trafic, les technologies de capteurs existantes reposent sur deux familles : CCD (Charged Coupled Device) et CMOS (Complementary Metal Oxide Semi-Conductor).

Les caméras utilisées comme des boucles, sur une zone limitée de la chaussée, permettent obtenir des mesures de vitesse, de taux d'occupation et d'intervalles inter-véhiculaires comme le montre dans la figure I.5.

Elles peuvent également mesurer des densités (ou concentration) du trafic sur une longueur donnée de chaussée, des mouvements tournants ou changements de voie, des longueurs de files d'attente ainsi que la détection automatique d'incidents (et notamment de véhicules arrêtés). Les capteurs vidéo sont aussi utilisés pour la reconnaissance de plaques minéralogiques (dans le cadre du péage urbain de Londres par exemple) [13].

- ✓ ***Utilisation des véhicules traceurs***

L'utilisation de flottes de véhicules traceurs pour le recueil de données de trafic a été développée ces dernières années dans de nombreux pays : France, Angleterre, Danemark, Suède, Finlande, Norvège…

Cette technique consiste à localiser les véhicules à l'aide de plusieurs techniques : GPS avec l'utilisation de boîtiers embarqués, balises fixes pour les véhicules actifs, reconnaissance de plaques pour les véhicules passifs, voire avec de nouveaux moyens comme la localisation des téléphones cellulaires.

En règle générale, les véhicules communiquent leurs vitesses et leur position grâce à un équipement GPS couplé à un système leur permettant d'envoyer des données : radio ou GSM par exemple.

Le problème avec cette technologie est qu'il faut environ 5% de véhicules traceurs sur la population totale de véhicules roulants pour obtenir une information trafic fiable. Sous réserve d'un nombre suffisant de véhicules, il est alors possible obtenir des données sur les vitesses moyennes et les débits approchés des véhicules, sur les temps de parcours, ainsi que des données pour des matrices Origine/Destination (matrices O/D).

Il existe également d'autres capteurs utilisés pour le recueil des données de trafic : capteurs microondes, infrarouges, acoustiques ou encore piézo-électriques [13].

IV. 1.2. Nouvelles technologies pour le recueil des données

Nous allons nous intéresser dans cette partie aux nouvelles générations de capteurs qui sont mises à disposition des gestionnaires ainsi qu'au développement de nouvelles méthodes telles que la localisation des véhicules à l'aide des téléphones mobiles qui est une variante de l'utilisation classique des flottes de véhicules traceurs et enfin à la perception aérienne du trafic.

✓ ***Capteur Traffic Master***



Figure I.6 : capteur Traffic Master [14].

Ces capteurs radar utilisent l'effet Doppler et permettent de compter les véhicules sur une voie, ou deux voies en sens opposés, la figure I.6 présente un capteur Traffic Master. Ils peuvent être utilisés pour enregistrer des données de vitesse, et de longueur véhicule par véhicule. Le rapatriement des données peut se faire via une connexion à distance à l'aide d'un PC ou d'un PDA (personal digital assistant), et les capteurs peuvent aussi être utilisés pour des mesures de comptage en temps réel. Leur autonomie peut aller jusqu'à un mois [14].

✓ ***Capteurs RTMS (Remote Traffic Microwave Sensor)***



Figure I.7 : capteurs RTMS [15].

Ces capteurs radar micro-ondes à zones multiples fournissent une information de présence et des mesures sur le débit, le taux d'occupation et la vitesse de circulation sur au plus 8 zones distinctes (voies) sur une longueur de 60 mètres comme le montre dans la figure I.7.

Ils sont utilisables dans le cadre du contrôle des feux de circulation, de la surveillance et de la gestion du trafic, des comptages ou comme système de sécurité des aires de travaux routiers. Leur alimentation peut se faire par du courant alternatif, par batteries ou avec des panneaux solaires [15].

✓ ***Capteur Neavia***

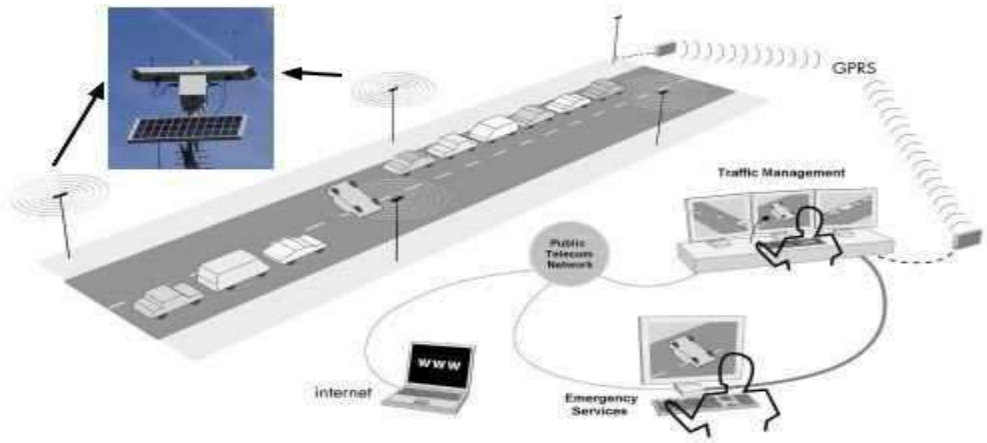


Figure I.8 : système Neavia [16].

C'est un capteur non intrusif développé par la société Neavia qui est basé sur le traitement des mesures sonores. Le système est équipé de 8 microphones qui sont alignés et placés perpendiculairement à l'axe de la chaussée. Un traitement des mesures permet ensuite des mesures de trafic par sens (débit, vitesse, taux d'occupation) comme le montre dans la figure I.8.

Les balises sont également équipées d'une caméra qui permet d'affiner les mesures, en offrant une distinction véhicules légers/poids lourds ainsi que de différencier les mesures par voie.

Le traitement du signal sonore prend en fait une place secondaire, et sert à affiner les mesures par traitement d'images et à combler certaines lacunes de la vidéo (nuit, brouillard…).

Le système utilise deux capteurs acoustiques qui mesurent les débits tous véhicules et les vitesses moyennes par période de 6 minutes.

Les balises sont alimentées par des panneaux solaires donc faiblement consommatrices en énergie. Le système permet en outre de détecter automatiquement des incidents et des congestions [16].

✓ ***Localisation par radiotéléphonie cellulaire (réseau GSM) :***

Cette technologie n'a cessé d'être améliorée ces dernières années. Elle est intéressante du fait du nombre d'utilisateurs de téléphones mobiles très important : 80% de la population de plus de 15 ans possédait un téléphone mobile en 2007 en France et par son coût qui est assez faible comparativement à l'implantation de boucles électromagnétiques.

La technologie Global System for Mobile communication (GSM) repose sur le fait qu'un réseau GSM peut toujours trouver la localisation approximative de chaque téléphone mobile et à chaque instant. Cette partie introduit les principes qui permettent la localisation des téléphones mobiles dans le réseau GSM [17].

IV. 2. Traitement et diffusion des données de trafic

Le traitement des données de trafic est destiné à fournir des données à partir des signaux des détecteurs. Il peut être centralisé ou s'effectuer au moins partiellement dans les unités locales (stations de mesure) [13].

Comme nous avons pu le voir dans la partie précédente, les gestionnaires de trafic ont à leur disposition un certain nombre de technologies pour recueillir les données de trafic qui renseignent sur l'état du réseau à chaque instant. Ils utilisent ces informations pour maintenir leur réseau dans la meilleure situation possible afin d'offrir aux usagers de la route, les meilleures conditions de conduite.

Le recueil des données de trafic permet de connaître l'état du trafic et peut avoir plusieurs utilisations [13]:

- Diffuser de l'information routière à destination du grand public dans le cas d'un incident qui a engendré une perturbation ou sur des zones qui connaissent fréquemment des congestions comme c'est le cas du boulevard périphérique parisien par exemple. Cela peut passer par des annonces sur les panneaux à messages variables, des diffusions d'information par les radios ou encore par les sites Internet d'information routière.
- Prendre des mesures, dans le cadre des Plans de Gestion de Trafic (PGT), avec des indicateurs définis au préalable (avec des mesures de débit, temps d'occupation ou de temps de parcours) pour le déclenchement de certaines actions comme des mesures de guidage des usagers vers un autre itinéraire.

V. Usage des systèmes de transport intelligents en Algérie

Les STI sont une initiative mondiale visant à intégrer les technologies de l'information et de la communication aux infrastructures de transport ainsi qu'aux véhicules [18]. Il s'agit des systèmes intégrés regroupant l'ensemble des types d'équipement assistés de systèmes experts visant une exploitation dynamique optimisée des routes. Ils recouvrent l'application de l'électronique, de l'informatique et des technologies de communication aux véhicules et aux routes [19].

L'utilisation des STI en Algérie a déjà commencé avec l'usage des technologies embarquées sur véhicules et le contrôle et la surveillance du trafic routier.

V.1.Les systèmes embarqués

Les technologies embarqués pour la sécurité recouvrent essentiellement des capteurs embarqués qui recueillent des données et des dispositifs embarqués qui émettent des alertes ou qui prennent le contrôle du véhicule. Il s'agit des systèmes de détection de l'alcool, des systèmes de détection de la somnolence, des enregistreurs d'événements (boites noirs, enregistreurs d'accidents) et des systèmes de surveillance du port de la ceinture de sécurité [20].

V.2.Gestion du trafic routier

Les Systèmes de Transport Intelligents peuvent être utilisés aussi pour la gestion du trafic routier [19].

L'expérience algérienne dans ce domaine est marquée par le lancement d'un projet de création d'un centre de régulation du trafic dans la capitale pour prendre en charge le problème de la densité du trafic dans la capitale

Parmi les mesures qui ont été prises par les pouvoirs publics pour soulager la capitale c'est le lancement d'un projet pour la réalisation et la gestion d'un système de régulation centralisée de la circulation au niveau de la capitale. Une fois opérationnel, ce centre devra permettre une gestion et un suivi en temps réel de la circulation, d'une manière permanente et ainsi orienter les automobilistes en vue de fluidifier les trafics et gérer les flux automobiles dans la capitale.

V.3.Les systèmes installés sur l'infrastructure

Les systèmes installés uniquement sur l'infrastructure se composent essentiellement de capteurs en bord de route qui recueillent les informations et d'un équipement en bord de route qui émit des alertes et des conseils. Il s'agit notamment des systèmes de détection des

animaux, des systèmes d'affichage des vitesses pratiquées, des systèmes d'affichage de l'information relative aux conditions météorologique à la route et à la circulation [21].

Il existe des systèmes coopératifs qui font appel à la fois aux systèmes installés sur l'infrastructure et aux systèmes embraqués reliés entre eux par des moyens de communication. Il s'agit des systèmes de contrôle de vitesse, des systèmes d'évitement des collisions, des systèmes de protection des piétons, des systèmes d'alerte des dangers en aval, et des systèmes de suivi de l'état et de la performance du conducteur/véhicule, des systèmes pour les véhicules commerciaux et des systèmes de contrôle automatiques.

Le contrôle de la vitesse est la première opération qui a bénéficié des avantages de ces technologies car elle demeure la raison récurrente des accidents mortels dans notre pays. Malheureusement, le nombre des radars automatisés et des caméras de télésurveillance disponibles restent insuffisants malgré qu'ils représentent une arme absolue des services de sécurité, permettant ainsi la prévention contre les contrevenants au code de la route.

VI. Conclusion

À la fin de ce chapitre on peut dit que :

- Les Systèmes de Transport Intelligents qui sont en effet un domaine déjà très prometteur, même s'il est encore relativement nouveau.
- La technologie des réseaux de capteurs s'est beaucoup développée durant ces dernières années, et son impact sur les réseaux routiers urbains peut être d'une grande importance.
- Les routes sont une composante nécessaire de l'infrastructure urbaine. Un réseau routier d'une capacité inférieure au volume de trafic entraîne des encombrements, compromet l'économie urbaine.
- Gestion de la circulation pour assurer aux personnes (pas seulement aux véhicules) des déplacements sûrs, efficaces et acceptable pour l'environnement et le confort des personnes.

CHAPITRE II
Conception et modélisation mathématique

I .Introduction

Le temps est une contrainte importante dans notre projet où le système développé consiste à acheminer les véhicules dans un réseau routier autrement, le système conçu permet de déterminer le plus court chemin entre un point A et un point B point de vue temps. Comme première phase à notre travail, une modélisation mathématique du problème s'avère nécessaire, ensuite le modèle peut être validé et utilisant le logiciel MATLAB par des tests et analyses.

II .Système de détection/acheminement

La figure II.1 donne une représentation générale d'un système de détection/acheminement il est composé essentiellement de deux blocs :

- Système de détection
- Système d'acheminement

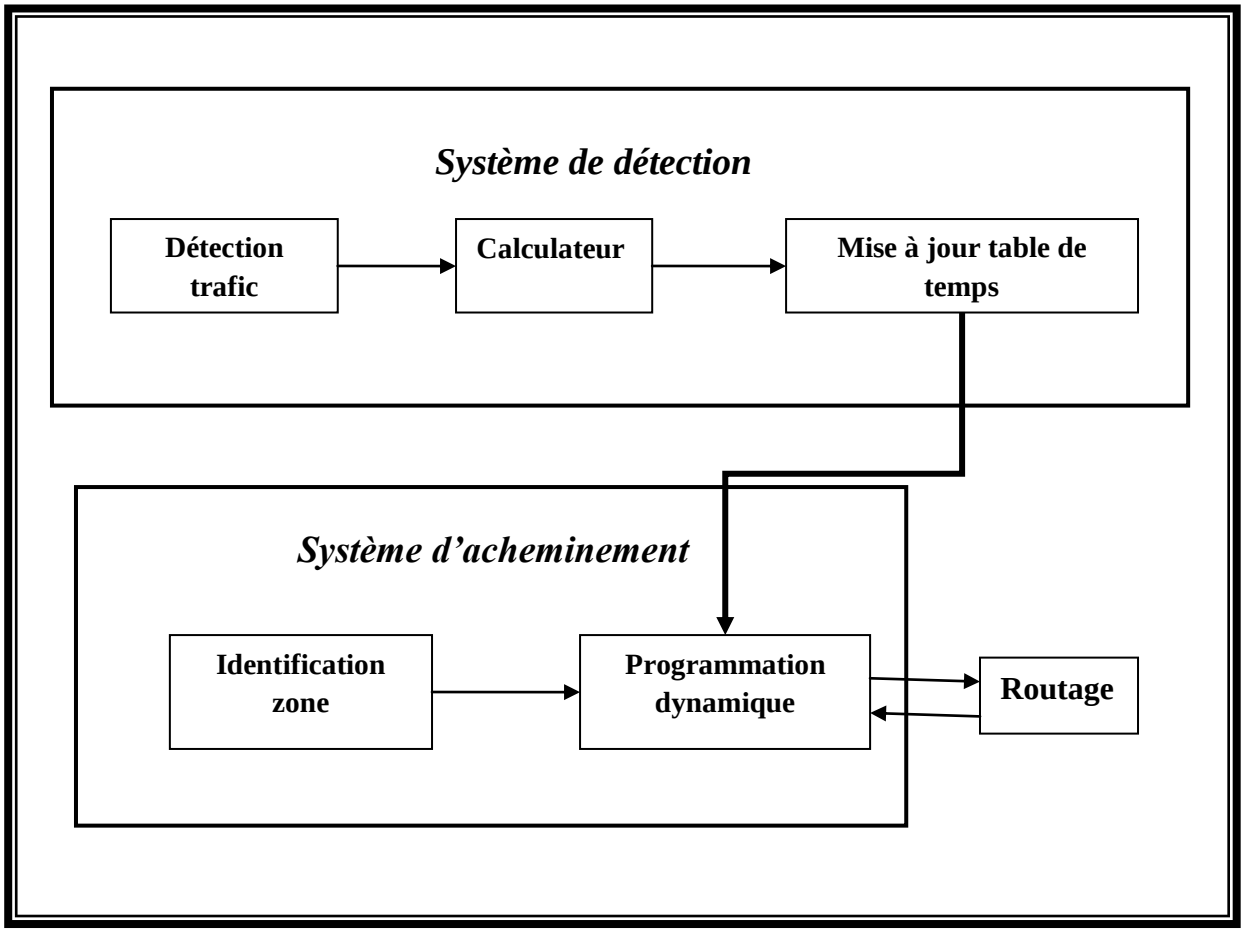


Figure II.1 : schéma synoptique d'un système de détection/acheminement

Dans notre projet on s'intéresse essentiellement à :

1) La mise à jour la table des temps
2) L'identification des zones
3) La programmation dynamique
4) L'acheminement

II.1. Présentation de réseau routier

La forme la plus couramment rencontrée pour représenter les réseaux routiers est le graphe. Un graphe valu permet de stocker, en plus de la géométrie, des informations telles que la densité de trafic, le nombre et la largeur des voies et leur sens de circulation. Comme le montre la figure II.2 le réseau routier est modélisée par un graphe orienté où chaque arc représente une voie de la chaussée sur un tronçon de route. Un axe routier représente un chemin dans le graphe.

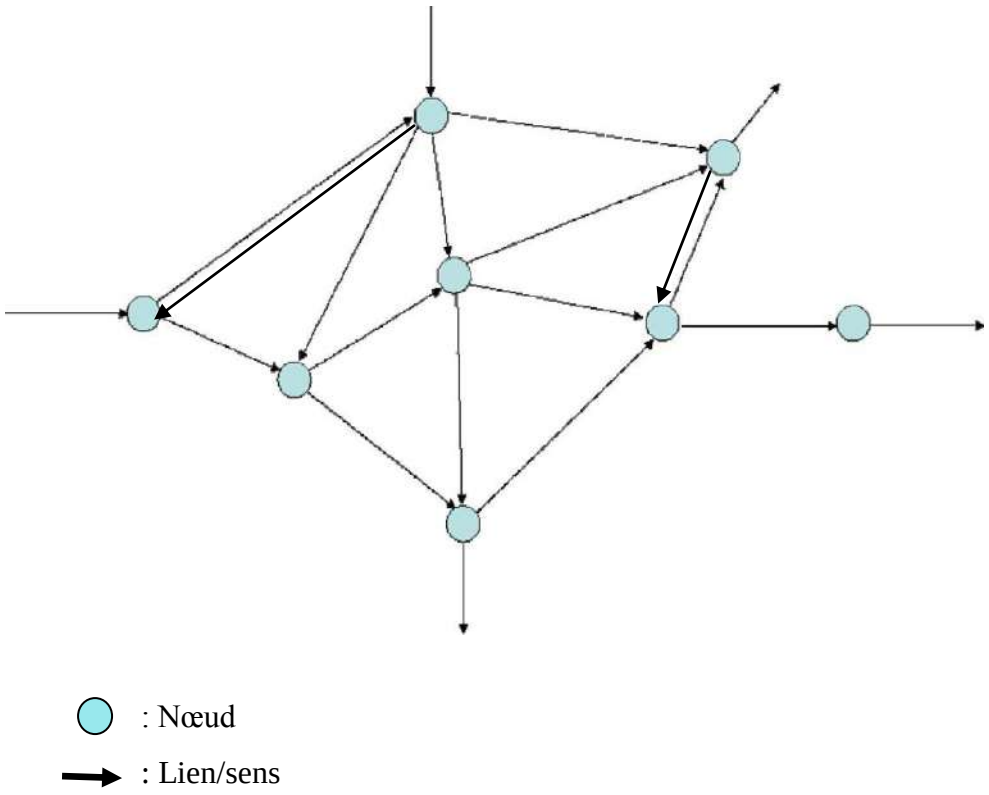


Figure II.2 : Représentation graphique d'un réseau routier

Les nœuds sont matérialisés par les intersections et les rampes d'entrée/sortie. Les intersections se situent le plus souvent ou en plus grand nombre à l'intérieur des zones urbaines et assurent le lien entre les différentes routes, Les rampes d'entrée/sortie assurent la transition entre les grands axes routiers. Les liens désignent soit des autoroutes soit de simples routes urbaines ou interurbaines.

II .2.Système de détection

Dans le domaine du transport, le trafic est décrit à l'aide de variables macroscopiques temporelles mesurées par des capteurs implantés le long des axes routiers. Les variables macroscopiques sont le débit (exprimé en nombre de véhicules par unité de temps) et le taux d'occupation. Les capteurs de mesure des variables du trafic routier sont reliés à des détecteurs, eux-mêmes faisant partie d'une station de mesure. La station de mesure est équipée d'un moyen d'acquisition en lien avec les détecteurs, d'un moyen de stockage et d'un moyen de transmission permettant de restituer les mesures effectuées. Nos données proviennent de capteurs fixes enfouis dans la chaussée et qui permettent de mesurer directement le taux d'occupation, c'est-à-dire le rapport entre le temps de passage d'un véhicule sur le capteur et l'intervalle de temps de la mesure. Par déduction, on obtient le débit, qui traduit le nombre de véhicules qui passent en un point x donné sur le réseau pendant un intervalle de temps.

Chaque capteur est placé sur un arc donné. La figure II.3 montre un exemple de cette modélisation. Ces capteurs permettent de donner des informations sur le réseau routier notamment : l'état de trafic, taux d'occupation, vitesses ……Les informations obtenues sont alors transmises à un calculateur qui permet de calculer les vitesses dans les routes, ce calcul est basé sur un modèle mathématique dans lequel la vitesse moyenne dans chaque chemin peut être mesurée chaque 20 s. Le stockage ainsi que la mise à jour de temps de voyage ainsi que les vitesses moyennes des véhicules dans chaque chemin sont effectuées chaque 20 s.

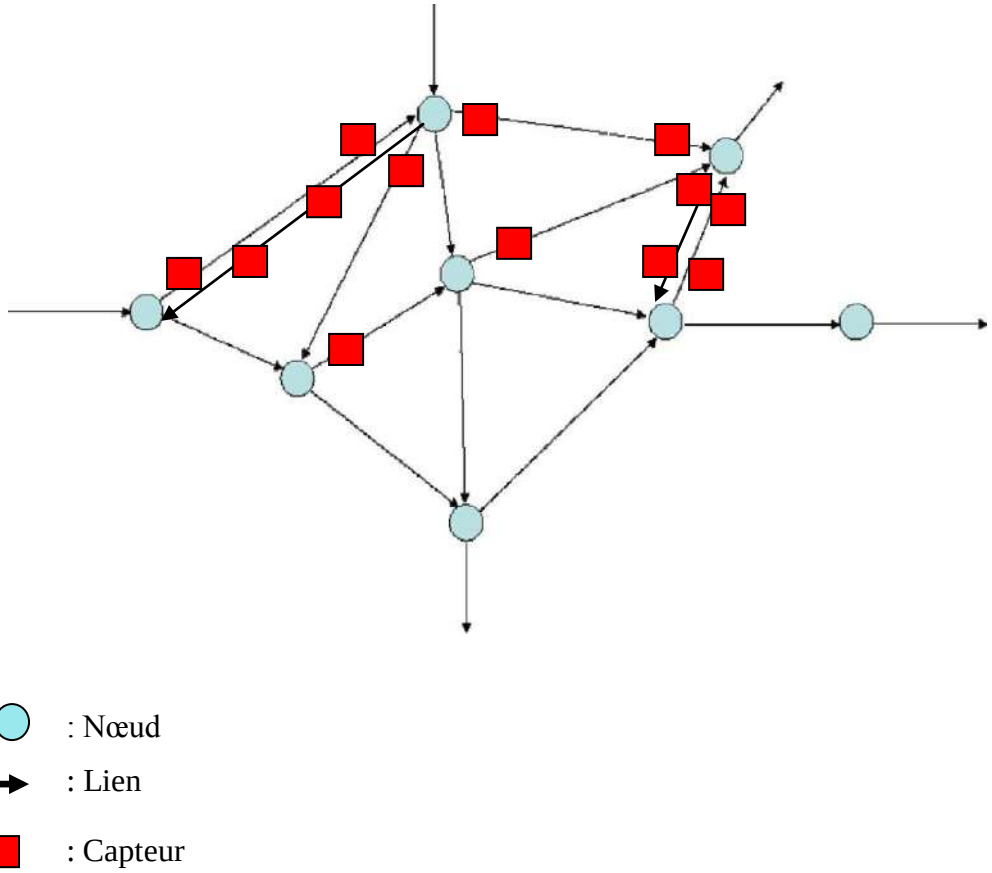


Figure II.3 : Représentation schématique d'un réseau routier avec modélisation des capteurs

II .3.Système d'acheminement

A partir des données obtenues et traitées par le système de détection, un système d'acheminement est développé pour déterminer le chemin le plus court point vue temps entre deux points. Un conducteur se trouvant dans un segment de route peut communiquer avec les systèmes d'acheminement demandant le chemin le plus court point vue temps.

Ce système est composé de deux parties :

II .3.1.Identification zone de recherche

Cette partie permet de donner la zone ou bien la partie de réseau routier pour rechercher le plus rapide chemin entre deux points. Cette zone peut être étendue si on veut élargir la zone à utiliser.

II .3.2.Programmation dynamique

Cette partie est le cœur de notre travail ou à partir les données reçues du système de détection et de l'identification zone on va donner un modèle mathématique de calcul qui va être bien sur programmé et implémenté.

III. Modélisation mathématique de système

III.1.Système de détection de trafic

III.1.1. Détection de trafic

Dans un réseau routier, des détecteurs sont installés sur les différents segments d'un chemin. Ces détecteurs donnent deux paramètres importants chaque 20 secondes :

1) Occupation : intervalle de temps durant lequel le détecteur est occupé par un véhicule (en seconde).
2) Nombre de véhicules entrant (I) ou sortant (O) dans un segment ou un chemin (en véhicules/20seconde).

III.1.2. Calculateur

Les détecteurs (installés dans les différents segments d'un chemin) émettent des données au système de calculateur .ce système est basé sur des équations mathématiques.

Considérons un modèle mathématique dans lequel la vitesse moyenne dans chaque segment de rue ou chemin L(i, j) peut être mesurée toute les 20 secondes. Les détecteurs sont supposés fonctionner 24h/24h en continu.

Soit :

D(i, j) : Nombre de véhicule dans un segment L(i, j) .

I(i, j), O(i, j) : Nombre de véhicule entrant et sortant d'un segment L(i, j) durant un temps $\Delta t_k = t_k - t_{k-1}$

Supposons qu'à l'instant $t = t_0$, il n'y a aucun véhicule dans tous les segments. Pendant l'intervalle $\Delta t_k = 20s$, le nombre de véhicule est donné par :

$$\Delta t_1 = t_1 - t_0 = 20s, \quad D(i,j,t_1) = I(i,j,t_1) - O(i,j,t_1) \qquad (II.1)$$

Avec $\mathbf{I(i,j,t_1) \geq O(i,j,t_1)}$

$$\mathbf{\Delta t_2 = t_2 - t_1 = 20s,\quad D(i,j,t_2) = D(i,j,t_1) + I(i,j,t_2) - O(i,j,t_2)} \qquad \textbf{(II.2)}$$

Avec $\mathbf{D(i,j,t_1) + I(i,j,t_2) \geq O(i,j,t_2)}$

D'une manière générale :

$$\mathbf{\Delta t_k = t_k - t_{k-1} = 20s,\quad D(i,j,t_k) = D(i,j,t_{k-1}) + I(i,j,t_k) - O(i,j,t_k)} \qquad \textbf{(II.3)}$$

Avec $(\mathbf{D(i,j,t_{k-1}) + I(i,j,t_k) \geq O(i,j,t_k)})$

Ainsi la vitesse moyenne $\mathbf{V(i,j,t_k)}$ à l'instant $\mathbf{t_k}$ est donné par :

$$\mathbf{V(i,j,t_k) = V_f(i,j) * \left(1 - \frac{D(i,j,t_k)}{B(i,j)}\right)} \qquad \textit{(II.4)}$$

Avec :

$\mathbf{B(i,j)}$**:** Nombre maximum de véhicule dans un segment (véhicule/ $L(i,j)$)

$\mathbf{V_f(i,j)}$**:** Limite de vitesse dans le segment $L(i,j)$ en km/h.

D'où le temps nécessaire pour parcourir le segment $L(i,j)$ est :

$$\mathbf{T(i,j,t_k)} = \begin{cases} \frac{\mathbf{L(i,j)}}{\mathbf{V(i,j,t_k)}} , & si\ D(i,j,\mathbf{t_k}) \neq \mathbf{0} \\ \frac{\mathbf{L(i,j)}}{\mathbf{V_f(i,j)}} , & si\ D(\mathbf{i,j,t_k}) = \mathbf{0} \end{cases} \qquad \textit{(II.5)}$$

Avec :

$\mathbf{t_k}$: Le temps où stocké dans la table des temps.

$\mathbf{T(i,j,t_k)}$: Temps moyen du voyage dans $L(i,j)$ dans l'intervalle de temps $\Delta \boldsymbol{t_k}$.

$\mathbf{V(i,j,t_k)}$**:** vitesse moyenne dans $L(i,j)$ dans l'intervalle de temps $\Delta \boldsymbol{t_k}$ (km/h).

$\mathbf{L(i,j)}$: Longueur du segment [i, j] en km.

Notons que pour un même segment les vitesses moyennes de circulation ne sont pas les mêmes pour les deux directions.

III.1.3.Système de mise à jour des tables de temps et de vitesses

Ce système permet le stockage, la mise à jour de temps de voyage ainsi que les vitesses moyennes des véhicules dans chaque segment. Les tables sont mise à jour chaque 20s.

On peut recentrer deux cas spéciaux :

- Sens interdit :

$$\mathbf{T(i,j,t_k) = \infty \quad \rightarrow V(i,j,t_k) = 0 \ , i \neq j}$$

- Déplacement vers un même nœud (même croisement) :

$$\mathbf{T(i,j,t_k) = 0 \quad \rightarrow V(i,j,t_k) = \infty \ , i = j}$$

Exemple :

Soit le réseau routier simple de la figure II.4 où les sens de circulation sont indiqués :

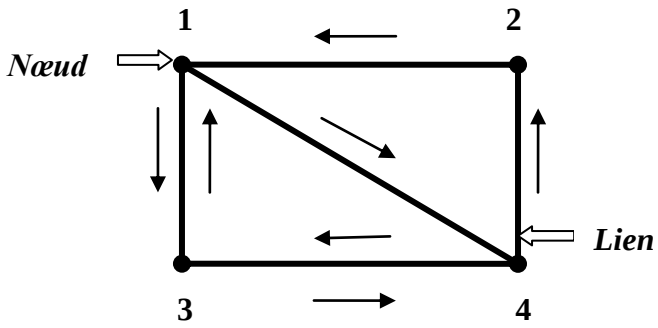


Figure II.4 : Représentation schématique d'un réseau routier d'exemple.

On donne la table de vitesse (tableau II.1) ainsi que la table des temps de déplacement (tableau II.2) comme suit :

Table de Vitesse :

Vitesse $v(i, j, t_k)$ en km/h

Tableau II.1 : Tableau de vitesse.

Nœud	1	2	3	4
1	∞	0	V(1,3)	V(1,4)
2	V(2,1)	∞	0	0
3	V(3,1)	0	∞	V(3,4)
4	0	V(4,2)	V(4,3)	∞

Table de temps de déplacement :

Tableau II.2 : Tableau de temps de déplacement.

Nœud	1	2	3	4
1	0	∞	$60\,\frac{l(1,3)}{v(1,3)}$	$60\,\frac{l(1,4)}{v(1,4)}$
2	$60\,\frac{l(2,1)}{v(2,1)}$	0	∞	∞
3	$60\,\frac{l(3,1)}{v(3,1)}$	∞	0	$60\,\frac{l(3,4)}{v(3,4)}$
4	∞	$60\,\frac{l(4,2)}{v(4,2)}$	$60\,\frac{l(4,3)}{v(4,3)}$	0

Avec : $l(i, j)$ en km

$T(i, j, t_k)$ En minute

III.2.Système d'acheminement

III.2.1.Identification zone

Supposons qu'un conducteur veut aller d'un point $\boldsymbol{\varphi(x_1, y_1)}$ à un point $\mathbf{D(x_1, y_1)}$ comme l'indique dans la figure II.5, pour trouver le chemin le plus rapide entre ces deux points il faut identifier la zone de recherche. Pour étendre la zone, un calcul sera effectué, qui est basé sur les coordonnées planes définies.

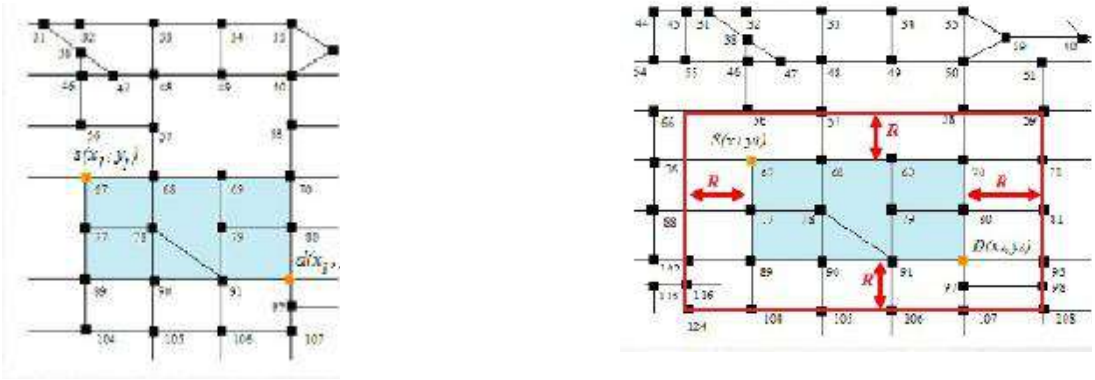


Figure II.5 : représentation de la zone de recherche

Les inéquations II.6 à II.9 définissent une zone étendue à un rayon R.

$$\begin{cases} x_1 \le x_2 \ \text{et} \ y_1 \ge y_2 \ \text{alors la zone est :} \\ x_1 - R \le x_i \le x_2 + R \\ y_2 - R \le y_i \le y_1 + R \end{cases} \qquad \textbf{(II.6)}$$

$$\begin{cases} x_2 \le x_1 \ \text{et} \ y_1 \le y_2 \ \text{alors la zone est :} \\ x_2 - R \le x_i \le x_1 + R \\ y_1 - R \le y_i \le y_2 + R \end{cases} \qquad \textbf{(II.7)}$$

$$\begin{cases} x_1 \le x_2 \ \text{et} \ y_1 \le y_2 \ \text{alors la zone est :} \\ x_1 - R \le x_i \le x_2 + R \\ y_1 - R \le y_i \le y_2 + R \end{cases} \qquad \textbf{(II.8)}$$

$$\begin{cases} x_1 \ge x_2 \ \text{et} \ y_1 \ge y_2 \ \text{alors la zone est :} \\ x_2 - R \le x_i \le x_1 + R \\ y_2 - R \le y_i \le y_1 + R \end{cases} \qquad \textbf{(II.9)}$$

Donc la zone de recherche du chemin le plus court est incluse dans la zone qui vérifie l'une des 4 conditions

III.2.2.Programmation dynamique

III.2.2.1.Modélisation du temps de déplacement

La modélisation du temps de déplacement est utilisée afin d'estimer le temps de déplacement associé avec chaque segment en prenant en compte les événements qui causent la confusion du trafic. Les jours de notre cas sont de samedi à vendredi. C'est raisonnable d'assurer que pour deux jours de la même classe. Un segment de route a approximativement le même volume de trafic à la même heure du jour au plus, le temps de déplacement peut être ajusté en le multipliant par un coefficient.

Supposons qu'en dimanche de la semaine passée, un conducteur en un point **1** décidait d'aller au point **n** comme le montre dans la figure II.6. Maintenant, on veut estimer le temps qu'il lui faut pour se déplacer du point 1 à l'instant $\boldsymbol{u_1}$ au point n.

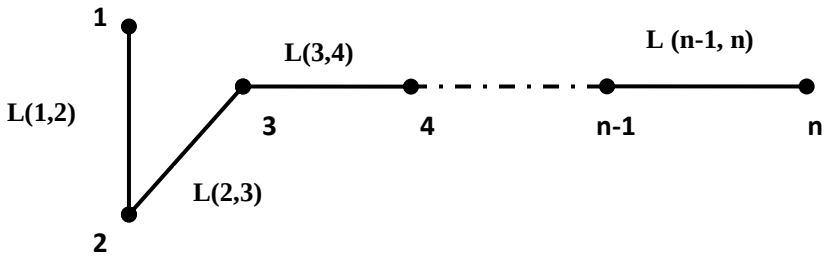


Figure II.6 : les segments d'un chemin.

1. Le temps de déplacement de segment $\mathrm{L}(1,2)$

Considérons un segment $\mathrm{L}(1,2)$, supposons qu'un conducteur étant au point 1 à l'instant u_1 ($\boldsymbol{t_0} < \boldsymbol{u_1} < \boldsymbol{t_1}$) comme le montre la figure II.7.

Par conséquent $\boldsymbol{y'}\ (\boldsymbol{1}, \boldsymbol{2}, \boldsymbol{u_1})$**,** qui est le temps nécessaire pour attendre le point 2 à l'instant $\boldsymbol{u_2}$ ($\boldsymbol{t_{m-1}} < \boldsymbol{u_2} < \boldsymbol{t_m}$) peut est donné par l'équation II.10. Notons que $\boldsymbol{t_0}, \boldsymbol{t_1}, \dots\dots\dots, \boldsymbol{t_m}, \dots\dots., \boldsymbol{t_k}$ sont les temps de création des tables des temps et des vitesses.

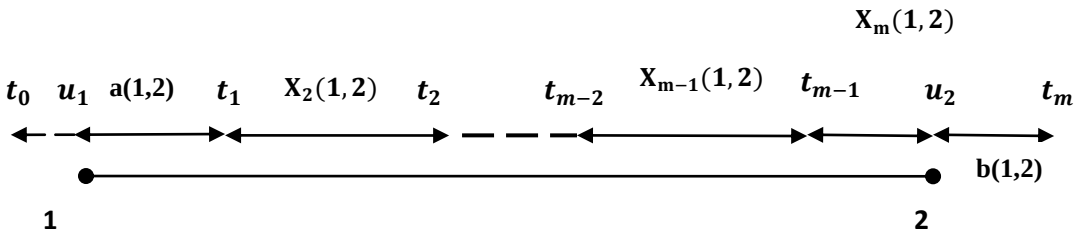


Figure II.7 : temps de déplacement de segment L(1,2).

$$y'(1,2,u_1) = (t_1 - u_1) + (t_2 - t_1) + \cdots + (t_m - t_{m-1}) - (t_m - u_2)$$

$$= (t_1 - u_1) + (t_m - t_1) - (t_m - u_2)$$

$$= (t_1 - u_1) + 20(m-1) - (t_m - u_2)$$

$$y'(1,2,u_1) = (t_1 - u_1) + 20(m-1) - (t_m - u_2) \qquad \textit{(II.10)}$$

Où :

$$(t_m - t_1) = 20(m-1) \qquad \textit{(II.11)}$$

$$(t_m - u_2) = \frac{b(1,2)}{V_y(1,2,t_m)} \qquad \textit{(II.12)}$$

On a t_1 et u_1 sont connus, **b** et **m** sont inconnus, la valeur de m doit être identifiée afin de trouver b.

Trouver m qui permet de trouver t_m , et $V_y\,(1,2,t_m)$ la vitesse moyenne durant $[t_m\ t_{m-1}\ ]$

Soit $V_y(1,2,t_1)$ la vitesse moyenne du trafic en km/h et $a(1,2)$ en km la distance parcourue durant $[u_1\ t_1]$ dans le segment **L(1,2)** par conséquent :

$$a(1,2) = V_y(1,2,t_1).(t_1 - u_1) \qquad \textit{(II.13)}$$

De la même manière $x_2(1,2)$ est la distance parcourue dans l'intervalle $[t_1\ t_2]$, $t_1 - t_2$=**20s** et $V_y\,(1,2,t_2)$ la vitesse moyenne du trafic durant$[t_1\ t_2]$**,** d'où :

$$x_2(1,2) = 20V_y\,(1,2,t_2)$$

Finalement :

$$x_m(1,2) = (t_m - t_{m-1}).V_y(1,2,t_m) \quad \textit{(II.14)}$$

$V_y(1,2,t_m)$: vitesse moyenne du trafic durant $[t_m\ t_{m-1}]$ dans le segment **L(1,2).**

On a:

$$a(1,2) + x_2(1,2) + x_3(1,2) + \ldots + x_m(1,2) \geq L(1,2) \quad \textit{(II.15)}$$

Ce qui conduit à l'équation :

$$b(1,2) = a(1,2) + x_2(1,2) + x_3(1,2) + \ldots + x_m(1,2) - \mathbf{L(1,2)}$$

$$b(1,2) = a(1,2) + \sum_{k=2}^{m} x_k(1,2) - L(1,2) \quad \textit{(II.16)}$$

En remplaçant $x_k(1,2)$ par $V_y(1,2,t_k).(t_k - t_{k-1})$

Avec $(t_k - t_{k-1}) = 20$ s

$$b(1,2) = \left[V_y(1,2,t_1).(t_1 - u_1) + 20V_y(1,2,t_2) + \cdots + 20\,V_y(1,2,t_m)\right] - \mathbf{L(1,2)}$$

$$b(1,2) = \left[V_y(1,2,t_1).(t_1 - u_1) + 20\sum_{k=2}^{m} V_y(1,2,t_k)\right] - \mathbf{L(1,2)} \quad \textit{(II.17)}$$

Donc, si dimanche passé le conducteur arrivait au point 2 à l'instant $u_2 = u_1 + y'(1,2,u_1)$.

En ce dimanche, si le conducteur est au point 1 à l'instant u_1, il est supposé arriver au point 2 à l'instant $u_2' = u_1 + \widehat{T}(1,2,u_1)$

Où : $\widehat{T}(1,2,u_1)$ est le temps de déplacement ajusté dans le segment L(1,2)

$$\widehat{T}(1,2,u_1) = \lambda(1,2,u_1)\, y'(1,2,u_1) \quad \textit{(II.18)}$$

Avec

$$\lambda(1,2,u_1) = \frac{\bar{T}(1,2,u_1)}{\bar{y}(1,2,u_1)} \quad \textit{(II.19)}$$

Où :

$y'(1,2,u_1)$: Temps de déplacement calculé pour le segment L(1,2) du dimanche passé.

$\lambda\,(\mathbf{1},\mathbf{2},\boldsymbol{u_1})$ **:** Facteur d'ajustement pour le temps de déplacement associé au segment L(1,2) à l'instant de la demande du chemin le plus court (u_1)

$\overline{\boldsymbol{T}}\mathbf{(1,2,}\boldsymbol{u_1}\mathbf{)}$: temps de déplacement (moyen/heure) associés au segment L(1,2) basé sur la table des temps établies aujourd'hui (dimanche) avant la demande du plus court chemin (u_1) puisque chaque 20s on a une valeur , le nombre total des temps en une heure est 180.

$\overline{\boldsymbol{y}}\mathbf{(1,2,}\boldsymbol{u_1}\mathbf{)}$: temps de déplacement (moyen/heure) associés au segment L(1,2) basé sur la table des temps de la semaine passée établie le dimanche avant (u_1) .

- **Exemple :**

  Actuellement, un conducteur est au point 1 a l'instant **11 :30 :14** donc la dernière valeur de temps a été enregistrée à **11 :30 :00** . $\overline{\boldsymbol{T}}\,\mathbf{(1,2,}\boldsymbol{u_1}\mathbf{)}$ est le temps de déplacement (moyen/heure) associés au segment L(1,2) basé sur les temps enregistré a

  $\boldsymbol{t_1} = \mathbf{10{:}30{:}00}, \boldsymbol{t_2} = \mathbf{10{:}30{:}20}, \ldots\ldots \boldsymbol{t_{180}} = \mathbf{11{:}30{:}00}$

$$\overline{\boldsymbol{T}}\mathbf{(1,2,11{:}30{:}14)} = \frac{\boldsymbol{T}\mathbf{(1,2,}\boldsymbol{t_1}\mathbf{)}+\boldsymbol{T}\mathbf{(1,2,}\boldsymbol{t_2}\mathbf{)}+\cdots+\boldsymbol{T}\mathbf{(1,2,}\boldsymbol{t_{180}}\mathbf{)}}{\mathbf{180}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{180}}\sum_{\boldsymbol{k}=\mathbf{1}}^{\mathbf{180}}\boldsymbol{T}\mathbf{(1,2,}\boldsymbol{t_k}\mathbf{)}$$

En plus, $\overline{\boldsymbol{y}}\mathbf{(1,2,11{:}30{:}14)}$ est le temps de déplacement (moyen/heure) associés au segment L(1,2) basé sur la table des temps de dimanche passé aux instants $\boldsymbol{t_1} = \mathbf{10{:}30{:}00}, \boldsymbol{t_2} = \mathbf{10{:}30{:}20}, \ldots\ldots \boldsymbol{t_{180}} = \mathbf{11{:}30{:}00}$

$$\overline{\boldsymbol{y}}\mathbf{(1,2,11{:}30{:}14)} = \frac{\boldsymbol{y}\mathbf{(1,2,}\boldsymbol{t_1}\mathbf{)}+\boldsymbol{y}\mathbf{(1,2,}\boldsymbol{t_2}\mathbf{)}+\cdots+\boldsymbol{y}\mathbf{(1,2,}\boldsymbol{t_{180}}\mathbf{)}}{\mathbf{180}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{180}}\sum_{\boldsymbol{k}=\mathbf{1}}^{\mathbf{180}}\boldsymbol{y}\mathbf{(1,2,}\boldsymbol{t_k}\mathbf{)}$$

2. Le temps de déplacement de segment L(2,3)

le conducteur attend le point 2 à l'instant $\boldsymbol{u_2'}$ comme le montre la figure II.8.

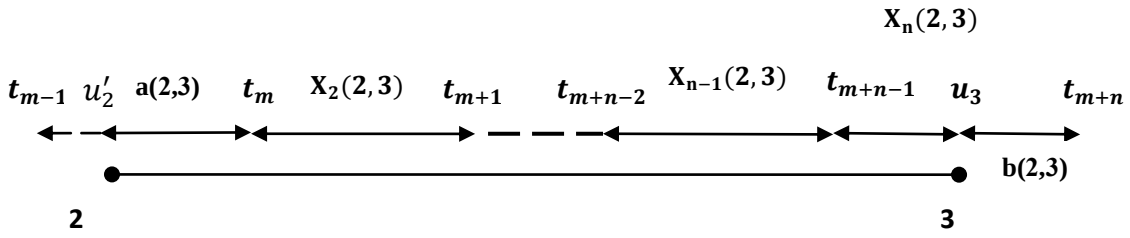


Figure II.8 : temps de déplacement de segment L(2,3).

$$y'(2,3,u'_2) = (t_m - u'_2) + (t_{m+1} - t_m) + \cdots + (t_{m+n} - t_{m+n-1}) - (t_{m+n} - u_3)$$

$$= (t_m - u'_2) + (t_{m+n} - t_m) - (t_{m+n} - u_3)$$

$$= (t_m - u'_2) + 20(n-1) - (t_{m+n} - u_3)$$

$$y'(2,3,u'_2) = (t_m - u'_2) + 20(n-1) - (t_{m+n} - u_3) \qquad \textit{(II.20)}$$

Où :

$$(t_{m+n} - t_m) = 20(n-1) \qquad \textit{(II.21)}$$

$$(t_{m+n} - u_3) = \frac{b(2,3)}{V_y(2,3,t_{m+n})} \qquad \textit{(II.22)}$$

On a t_m et u'_2 sont connus, b et n sont inconnus, la valeur n doit être identifiée afin de trouver b.

Trouver n permet de trouver t_{m+n} , et $V_y(2,3,t_{m+n})$ la vitesse moyenne durant $[t_{m+n}\ t_{m+n-1}]$

Soit $V_y(2,3,t_{m+1})$ la vitesse moyenne du trafic (km/h) et $a(2,3)$ (km) la distance parcourue durant $[t_m\ u'_2]$ dans le segment L(2,3) par conséquent :

$$a(2,3) = V_y(2,3,t_{m+1}).(t_m - u'_2) \qquad \textit{(II.23)}$$

De la même manière $x_2(2,3)$ est la distance parcourue dans l'intervalle $[t_m\ t_{m+1}]$, $t_m - t_{m+1}$ =20 s et $V_y(2,3,t_{m+1})$ la vitesse moyenne du trafic durant $[t_m\ t_{m+1}]$, d'où $x_2(2,3) = 20V_y(2,3,t_{m+1})$

Finalement :

$$x_n(2,3) = (t_{m+n} - t_{m+n-1}).V_y(2,3,t_{m+n}) \qquad \textit{(II.24)}$$

Avec $V_y(2,3,t_{m+n})$: vitesse moyenne du trafic durant $[t_{m+n}\ t_{m+n-1}]$ dans le segment L(2,3).

On a:

$$a(2,3) + x_2(2,3) + x_3(2,3) + \ldots + x_n(2,3) \geq L(2,3) \qquad \textit{(II.25)}$$

Ce qui conduit à l'équation :

$$\boldsymbol{b(2,3)} = \boldsymbol{a(2,3)} + \boldsymbol{x_2(2,3)}+\boldsymbol{x_3(2,3)}+\ldots+\boldsymbol{x_n(2,3)}\text{- L(2,3)}$$

$$\boldsymbol{b(2,3)} = \boldsymbol{a(2,3)} + \sum_{k=2}^{n} \boldsymbol{x_k}\,\boldsymbol{(2,3)} - \boldsymbol{L(2,3)} \qquad \textbf{(II.26)}$$

En remplaçant : $\boldsymbol{x_k}\,\boldsymbol{(2,3)}$ par $\boldsymbol{V_y}\,\boldsymbol{(2,3,t_k).(t_k - t_{k-1})}$

Avec $\boldsymbol{(t_k - t_{k-1}) = 20}$ **s**

$$\boldsymbol{b(2,3)}=\left[\boldsymbol{V_y(2,3,t_m).(t_m - u'_2) + 20V_y\,(2,3,t_{m+1}) + \cdots + 20\,V_y\,(2,3,t_{m+n})}\right] - \text{L(2,3)}$$

$$\boldsymbol{b(2,3)} = \left[\boldsymbol{V_y(2,3,t_m).(t_m - u'_2) + 20\sum_{k=m+1}^{m+n} V_y(2,3,t_k)}\right] - \text{L(2,3)} \qquad \textbf{(II.27)}$$

Donc, si dimanche passé le conducteur arrivait au point 3 à l'instant $\boldsymbol{u_3 = u'_2 + y'(2,3,u'_2)}$.

En ce dimanche si le conducteur est au point 2 à l'instant $\boldsymbol{u'_2}$,il est supposé arriver au point 3 à l'instant $\boldsymbol{u'_3 = u'_2 + \widehat{T}(2,3,u'_2)}$

Où $\boldsymbol{\widehat{T}(2,3,u'_2)}$ est le temps de déplacement ajusté dans le segment **L(2,3)**

$$\boldsymbol{\widehat{T}(2,3,u'_2)} = \lambda\,\boldsymbol{(2,3,u_1)\,y'(2,3,u'_2)} \qquad \textbf{(II.28)}$$

Avec

$$\lambda\,\boldsymbol{(2,3,u_1)} = \frac{\boldsymbol{\bar{T}(2,3,u_2)}}{\boldsymbol{\bar{y}(2,3,u_2)}} \qquad \textbf{(II.29)}$$

Où :

$\boldsymbol{y'(2,3,u'_2)}$: Temps de déplacement calculé pour le segment **L(2,3)** de dimanche passé.

$\lambda\,\boldsymbol{(2,3,u_1)}$: Facteur d'ajustement pour le temps de déplacement associé au segment **L(2,3)** à l'instant de la demande du chemin le plus court $(\boldsymbol{u_1})$.

$\boldsymbol{\bar{T}(2,3,u_1)}$: Temps de déplacement (moyen/heure) associés au segment L(2,3) basé sur la table des temps établis aujourd'hui (dimanche) avant la demande du plus court chemin (u_1) puisque chaque 20s on a une valeur , le nombre total des temps en une heure est 180.

$\boldsymbol{\bar{y}(2,3,u_1)}$: Temps de déplacement (moyen/heure) associés au segment L(2,3) basé sur la table des temps de la semaine passée établie le dimanche avant (u_1) .

III.2.2.2.Acheminement en temps réel

On va adopter une méthode simple d'optimisation par partie comme suit :

Pour 1 segment prendre le chemin qui correspond au temps minimal de tous les cas possibles

$$f_1(s,j) = \widehat{T}(s,j,t_k) \qquad \textbf{(II.30)}$$

Pour 2 segments prendre le chemin qui correspond au temps minimal de tous les cas possibles

$$f_2(s,j) = min_i\left[f_1(s,i) + \widehat{T}(i,j,t_k)\right] \qquad \textbf{(II.31)}$$

Pour 3 segments prendre le chemin qui correspond au temps minimal de tous les cas possibles

$$f_3\ (s,j) = min_i\left[f_2(s,i) + \widehat{T}(i,j,t_k)\right] \qquad \textbf{(II.32)}$$

Pour n segments prendre le chemin qui correspond au temps minimal de tous les cas possibles.

$$f_n(s,j) = min_i\left[f_{n-1}(s,i) + \widehat{T}(i,j,t_k)\right] \qquad \textbf{(II.33)}$$

Donc Les équations pour le calcul du chemin optimal point de vue temps sont :

$$f_1(s,j,u_1)=\begin{cases} \widehat{T}(s,j,u_1) & si \quad s\ est\ connecté\ à\ j \\ 0 & si\ s=j \\ \infty & si\ s\ est\ non\ connecté\ à\ j \end{cases} \qquad \textbf{(II.34)}$$

$$f_{n\ n\geq 2}(s,j,u_1)=min_i\begin{cases} f_{n-1}\,(s,i,u_1)+\widehat{T}(i,j,\alpha) & si \quad i\ est\ connecté\ à\ j \\ f_{n-1}\,(s,i,u_1) & si\ s=j \\ \infty & si\ i\ et\ j\ non\ connecté \end{cases} \qquad \textbf{(II.35)}$$

Avec $\alpha = u_1 + f_{n-1}\,(s,i,u_1)$

Et n : nombre de segments.

Cette méthode a été inspirée d'une méthode d'optimisation proposée par Bellman [22].

IV. Application au réseau routier de la ville de Médéa

Dans cette partie on va procéder à l'application de la modélisation présentée à une partie du réseau routier de la ville de Médéa.

IV.1. Présentation de réseau routier

Ce réseau routier tiré de google map contient 50 points (nœuds) où chaque nœud est identifié par un nombre **(1,2,….50)** et les sens de circulation sont indiqués dans la figure II.9. On a calculé les distances selon l'échelle indiqué par google map.

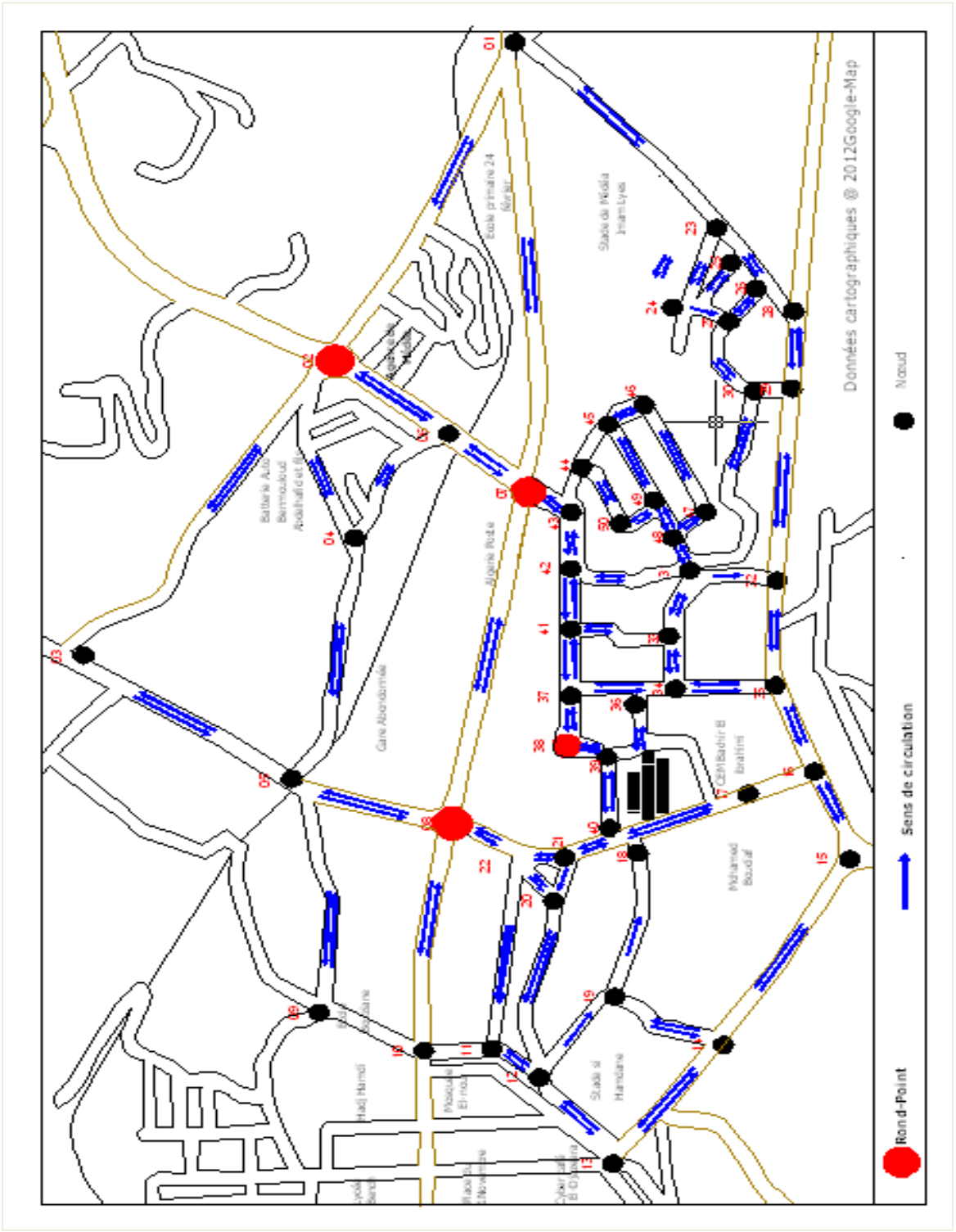


Figure II.9 : Représentation schématique d'une partie du réseau routier de la ville de Médéa

La validation du modèle présentée est évidente en utilisant la simulation sous le logiciel MATLAB.

Avant de donner les résultats de simulation, des détails sur le réseau routier doivent être présentés.

IV.2. Rond point



Figure II.10 : rond point.

Nous avons pris en compte la notion de rond-point dans notre travail, c'est une notion très importante car si le conducteur est dans un nœud qui contient un rond-point il peut retourner au nœud précédent si il y'a un sens entre ces deux nœuds sans prendre une autre trajectoire. Plus d'explication peuvent être données comme suit :

Par exemple à l'instant x1 le conducteur 1 est dans le segment [1 3] et à l'instant x2 le conducteur 2 est dans le segment [2 4]. Après un certain temps le conducteur 1 arrive à nœud 3et il veut aller au nœud 1 et même chose pour le conducteur 2 après avoir atteint le nœud 4, il veut aller au nœud 2, comme le nœud 3 contient un rond-point le conducteur 1 peut aller au nœud 1 à travers le segment [3 1], mais le conducteur 2 n'a pas le droit d'aller au nœud 2 à travers le segment [4 2] puisque le nœud 4 ne contient pas de rond-point.

La figure II.11 indique que le nœud 3 contient un rond point ainsi que le chemin de conducteur 1 et le chemin de conducteur 2:

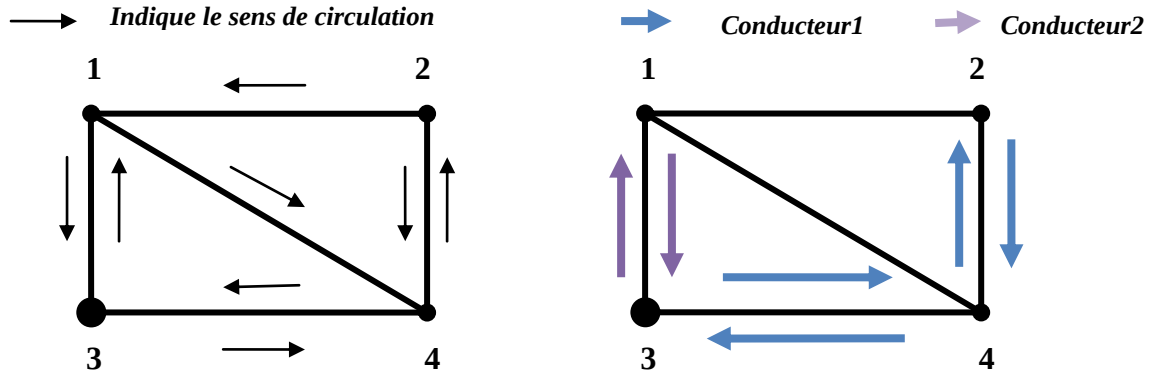


Figure II.11 : représentation de rond-point.

IV.3. Programmation dynamique

Notre programme est composé essentiellement de trois fonctions principales la première est « ***Identifier la zone*** » cette fonction permet de donner la zone de recherche, et la deuxième « ***Déterminer les nœuds inclus*** »cette fonction permet de donner les points inclus dans la zone de recherche, et la troisième «***Fonction qui retourne le plus court chemin*** » est le cœur de notre travail et cette fonction permet de donner le chemin le plus court avec le temps de déplacement entre deux points.

Les entrées de notre programme sont :

- **Point de départ** : est la position où le conducteur contacte le système d'acheminement pour donner le plus rapide chemin en point destiné
- **Point d'arrivée** : Le point où le conducteur veut aller.
- **Rayon** : est le rayon pour identifier la zone de recherche, c'est la zone que le conducteur peut utiliser.
- **Le temps de départ** : est le temps de départ du conducteur (l'heure de départ).
- **Les coordonnées** : représente les valeurs des coordonnées de chaque nœud.
- **Les distances** : représente tous les distances entre les nœuds.
- **Les vitesses de semaine passée entre les nœuds :** c'est une mémoire qui contient les valeurs des vitesses de semaine passée du tous les arcs(les chemins).
- **Vecteur des intersections qui représentent les ronds points :** c'est un vecteur qui contient tous les nœuds qui ont un rond point.
- **Facteur d'ajustement pour le temps de déplacement :** c'est une matrice qui contient les facteurs d'ajustement pour le temps de déplacement dans tous les arcs (les chemins),

ce facteur est calculé par un calculateur à partir de l'équation ***(II.19)*** comme le montre dans la figure II.12, en savant qu'il ne fait pas partie de notre travail.

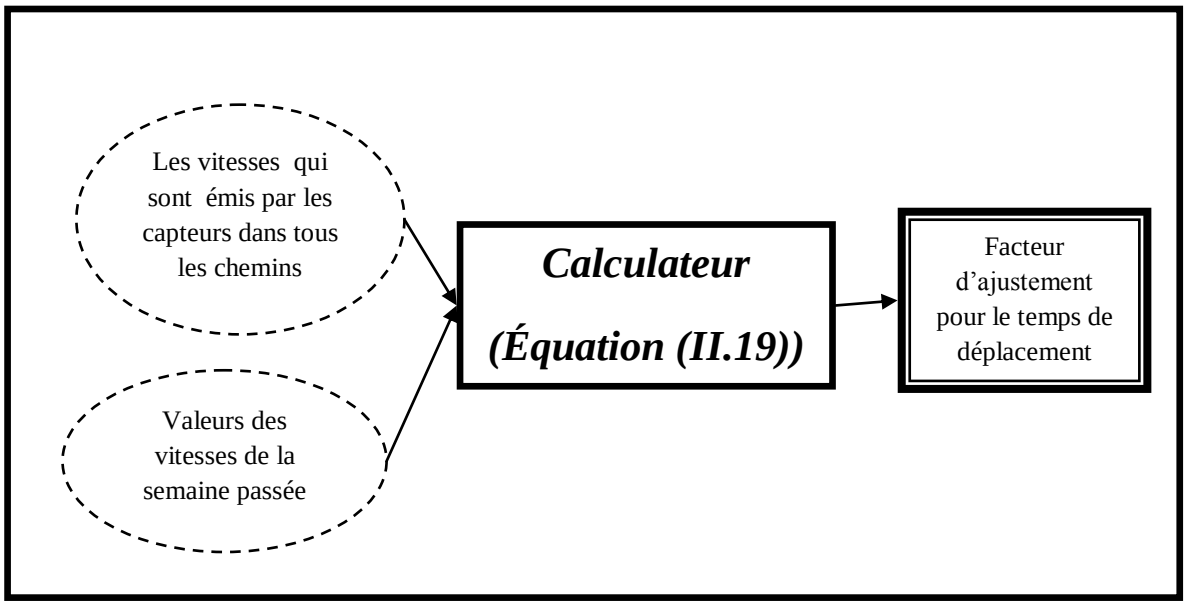


Figure II.12 : calculateur de facteur d'ajustement.

Et les sorties sont :

- **Le chemin** : est un vecteur qui contient les nœuds du chemin le plus rapide.
- **Le temps d'arrivée** : est le temps d'arrivée du conducteur au point désiré.
- **Le temps de déplacement** : est le temps total de déplacement entre le point de départ et le point d'arrivée, estimé en seconde.

On peut présenter l'organigramme de fonctionnement de système d'acheminement et de la fonction qui retourne le plus court chemin point vue temps par les figures II.13 et II.14 respectivement :

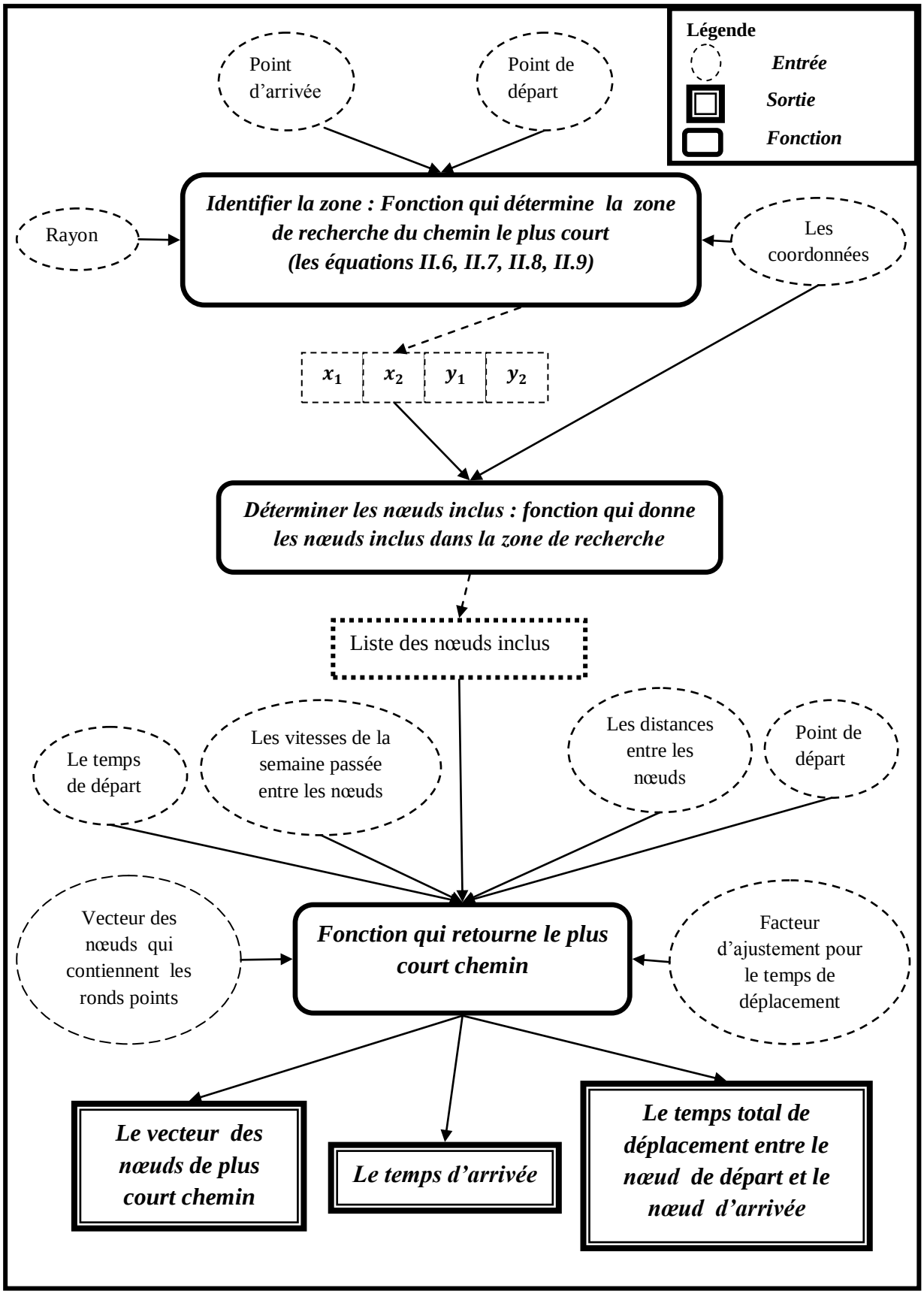


Figure II.13 : organigramme de système d'acheminement.

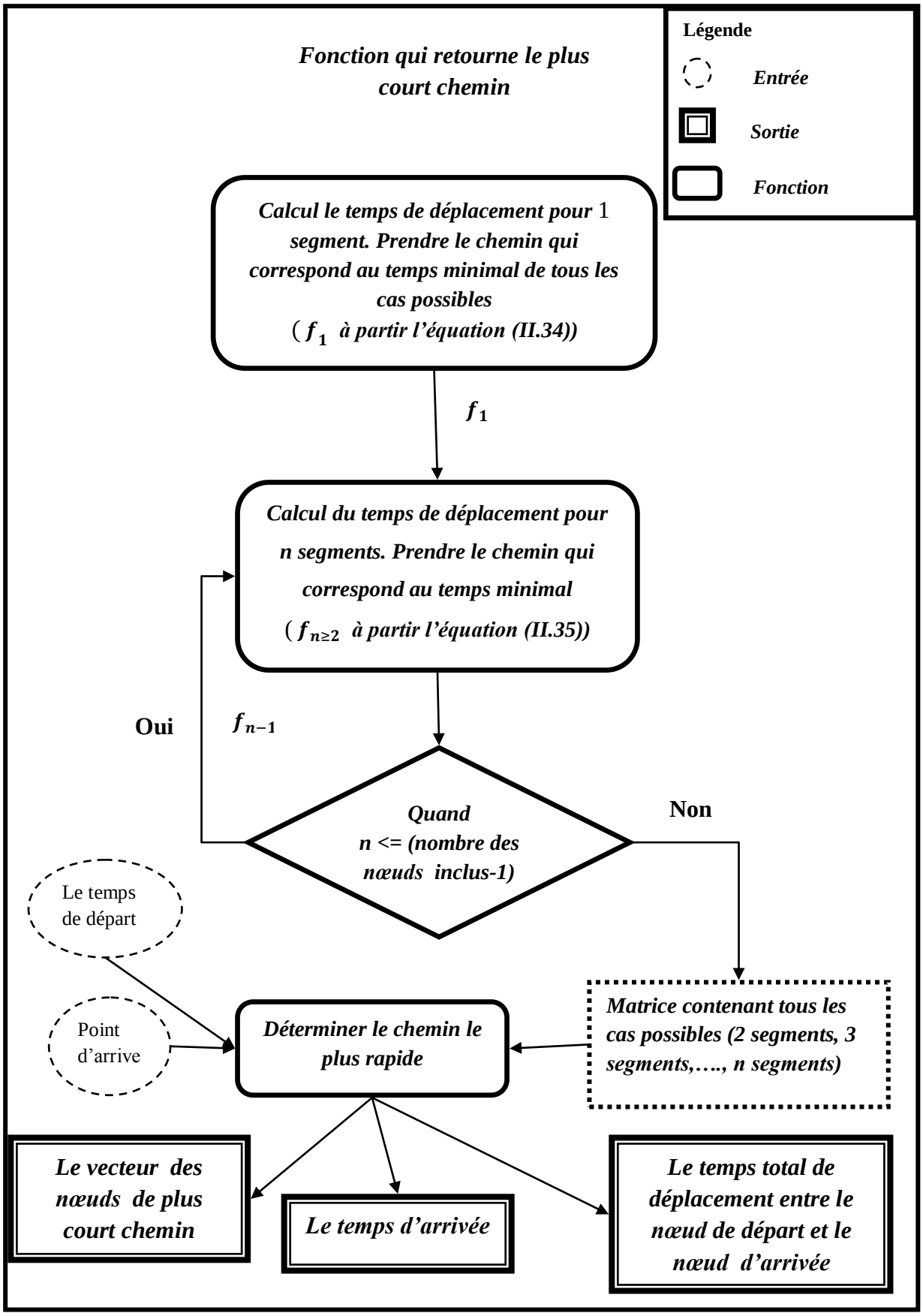


Figure II.14 : organigramme de fonction qui retourne le plus court chemin point vue temps.

IV.4. Résultat de simulation

Pour vérifier le fonctionnement de notre programme on va donner 3 exemples :

Exemple1 :

On définit les entrées par le tableau II.3 :

Tableau II.3 : les valeurs de données pour la simulation d'exemple 1.

Donnée	**Point de départ**	**Point d'arrivée**	**Rayon**	**Le temps de départ**
Valeur	1	17	500	11 : 30 : 14

Le résultat de simulation est indiqué dans la figure II.15 suivante :

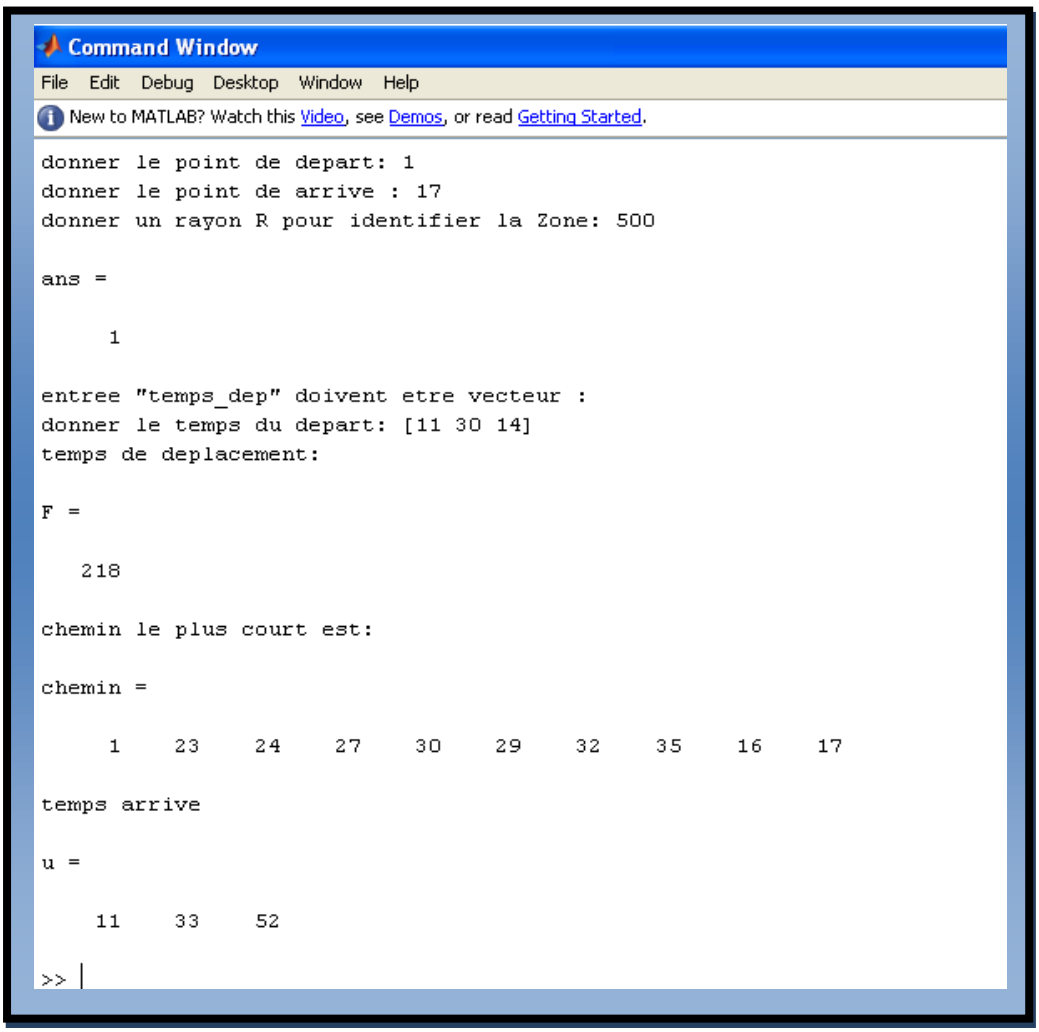


Figure II.15 : simulation MATLAB de l'exemple 1.

Exemple2 :

Dans cet exemple on va montrer l'objectif principal de notre travail où on a deux chemins courts entre deux points, le première court point vue temps et le deuxième court point vue distance.

On définit les entrées par le tableau II.4 :

Tableau II.4 : les valeurs de données pour la simulation d'exemple 2.

Donnée	**Point de départ**	**Point d'arrivée**	**Rayon**	**Le temps de départ**
Valeur	1	8	650	11 : 30 : 14

Le résultat de simulation est indiqué dans la figure II.16 suivante :

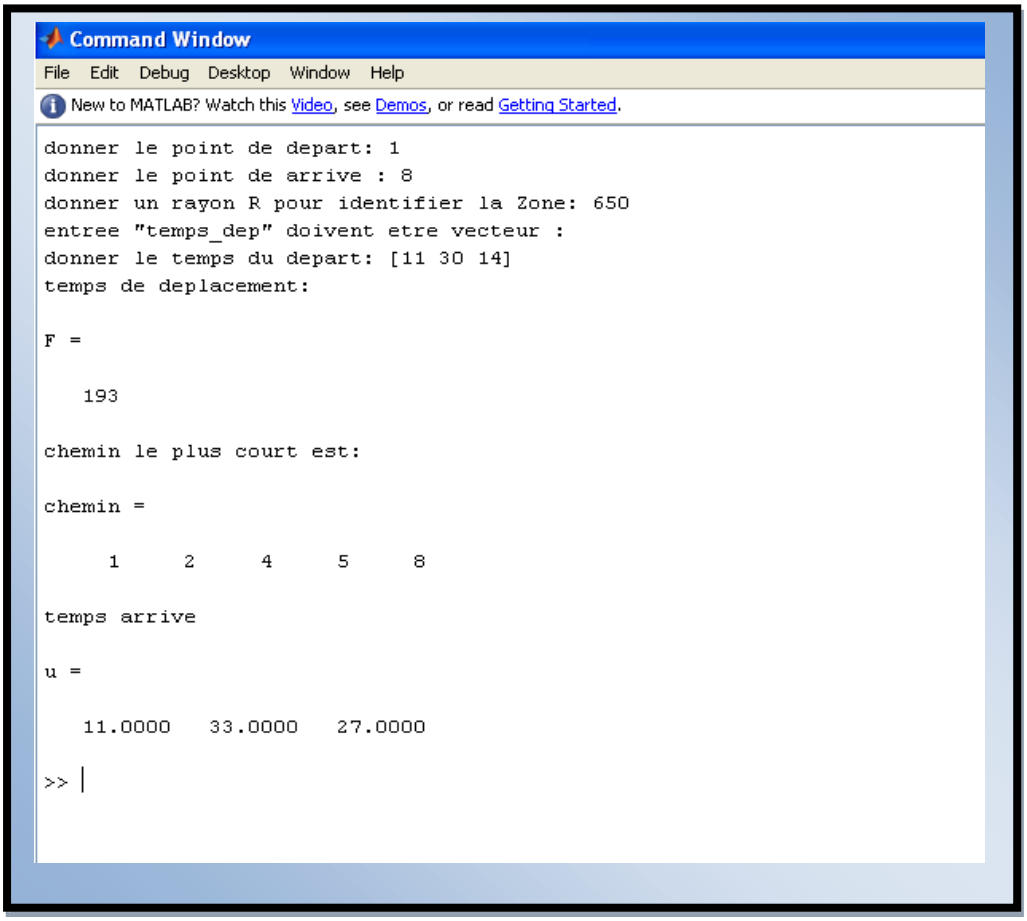


Figure II.16 : simulation MATLAB de l'exemple 2.

Cet exemple montre bien l'objectif de notre travail qu'est l'obtention de plus rapide chemin entre deux nœuds dans un réseau routier, malgré que le chemin **« 1 7 8 »** est plus court que le chemin **« 1 2 4 5 8 »** en terme de distance mais ce dernier est plus rapide point de vue temps car dans le chemin **« 1 7 8 »** il y'a plus de congestion dans le trafic d'automobile que le chemin **« 1 2 4 5 8»**.

Exemple 3 :

Dans cet exemple on va montrer l'effet de la zone de recherche pour déterminer le plus rapide chemin entre deux points.

1. On définit les entrées par le tableau II.5:

Tableau II.5 : les valeurs de données pour la simulation d'exemple 3.1.

Donnée	**Point de départ**	**Point d'arrivée**	**Rayon**	**Le temps de départ**
Valeur	16	9	400	11 : 30 : 14

Le résultat de simulation est indiqué dans la figure II.17 suivante :

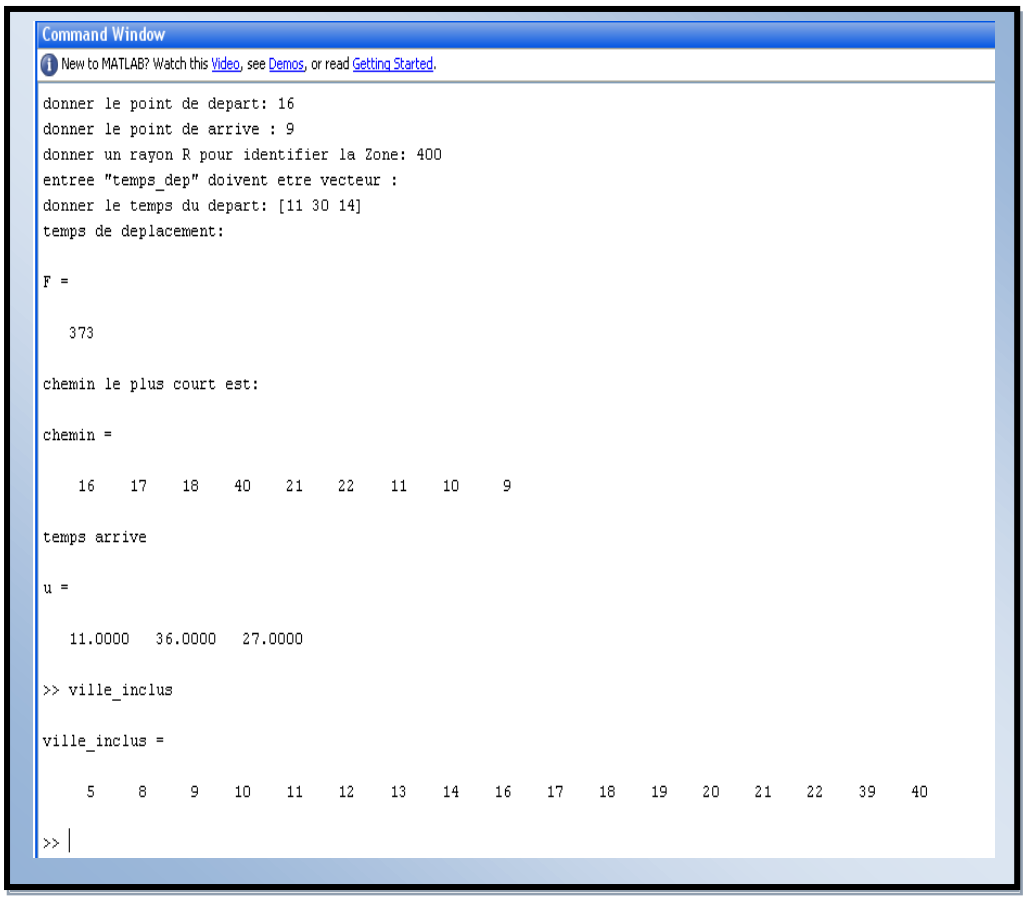


Figure II.17 : simulation MATLAB de l'exemple 3.1.

2. On définit les entrées par le tableau II.6:

Tableau II.6: les valeurs de données pour la simulation d'exemple 3.2.

Donnée	**Point de départ**	**Point d'arrivée**	**Rayon**	**Le temps de départ**
Valeur	16	9	800	11 : 30 : 14

Le résultat de simulation est indiqué dans la figure II.18 suivante :

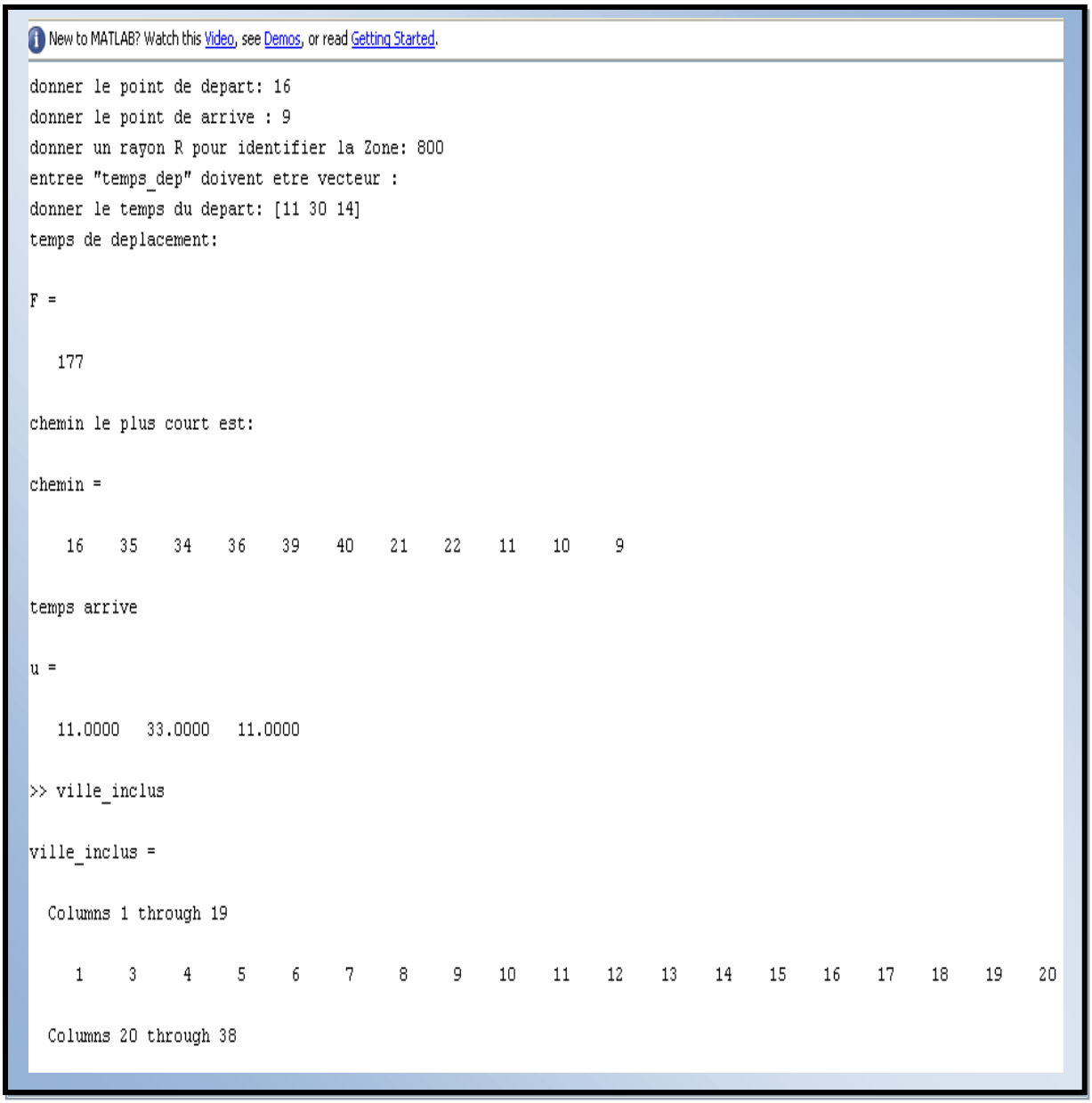


Figure II.18 : simulation MATLAB de l'exemple 3.2.

Dans cet exemple on a testé deux cas où les valeurs des entrées sont identiques sauf celle du rayon et on a remarqué que les résultats dans les deux cas sont différents. La valeur de rayon à une grande importance pour déterminer le chemin le plus rapide, si le nombre de nœuds inclus dans la zone de recherche augmente alors la possibilité de trouver le plus rapide chemin augmente ainsi.

Notre programme est applicable sur n'importe quel réseau routier, c'est un programme paramétrable. Il suffit de modifier les caractéristiques de réseau routier (les vitesses moyennes, les coordonnées, les distances, les facteurs d'ajustement).

V. Conclusion

Dans ce chapitre on a vu la modélisation mathématique de notre problématique et ensuite on a appliqué cette modélisation au réseau routier de la ville de Médéa. Et on a validé ce modèle par l'utilisation de logiciel MATLAB.

A travers plusieurs testes on a pu validée notre modèle que ce soit donner le chemin le plus court point vue temps malgré l'existence de plusieurs chemins mais en terme distance. Les tests ont montré également l'importance de la zone de recherche en augmentant le rayon R. Ce qui peut être clairement déduit de l'exemple 3.

Dans le chapitre suivant on va voir l'implémentation de ce modèle sur le langage VHDL.

CHAPITRE III
Implémentation VHDL

I. Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons pu modéliser mathématiquement un système d'acheminement pour trouver le plus rapide chemin entre deux nœuds dans un réseau routier, dans ce chapitre, nous allons implémenter ce système sur un langage matériel de haut niveau qu'est langage VHDL et modéliser ce système sur une partie de réseau routier de Médéa.

II. Système d'acheminement des véhicules (routage)

La figure III.1 présente le schéma global d'un système intelligent d'acheminement d'un véhicule où :

- **Détection de trafic (les capteurs):**les capteurs installés dans les différents segments du réseau routier permettent de donner la vitesse à chaque instant (dans notre travail chaque 20 s)
- **Serveur :** contient les valeurs de vitesse de la semaine passée dans les différents chemins.
- **Réseau routier :** contient toute les caractéristiques du réseau routier de Médéa, on a tiré ces caractéristiques à partir du navigateur google map, et ces caractéristiques sont représentés en code binaire pour les besoins d'implémentation.
- **Conducteur** : c'est l'usager de route, qui demande le plus rapide chemin au point désiré.
- **Calculateur** : permet de calculer certaines données pour les préparer au bloc de routage de véhicules.
- **Routage de véhicules** : est le circuit qu'on va développer en langage VHDL, il permet de donner le chemin le plus rapide entre la position de conducteur et la position désirée dans un réseau routier et permet de donner ainsi l'heure d'arrivée au point désiré.

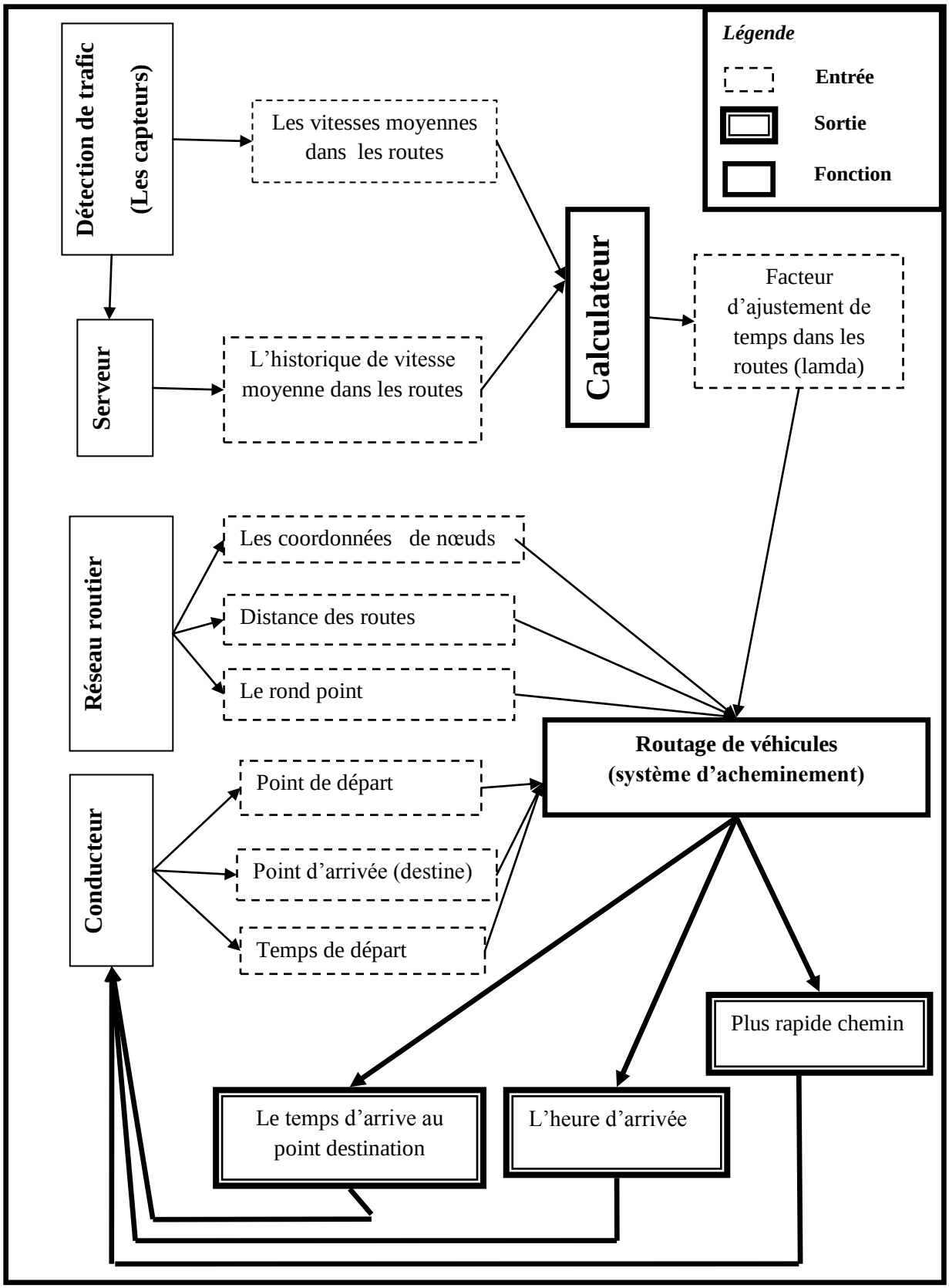


Figure III.1 : schéma global de système d'acheminement des véhicules.

III. Représentation des entrées/sorties de système d'acheminement des véhicules

III.1. Entrées de système d'acheminement

- ✓ ***Le temps de départ u :*** représente l'heure de départ du conducteur, de type array (0 to 2) of unsigned (5 downto 0).

  Le temps de départ est un tableau de 3 valeurs telles que la première valeur représente l'heure et la deuxième représente la minute et la troisième représente la seconde. Et chaque valeur est codée sur 6 bits car la valeur maximale est 59.

  On utilise le type non signé puisque les valeurs de donné u sont toujours positifs.
- ✓ ***Le point de départ*** : est la position où le conducteur contacte le système d'acheminement pour donner le plus rapide chemin du point destination, cette donnée est de type entier.
- ✓ ***Le point d'arrivée*** : représente le point d'arrivée de conducteur, cette donnée est de type entier.
- ✓ ***Rayon :*** représente le rayon pour identifier la zone de recherche, cette donnée est de type entier.
- ✓ ***Vitesse moyenne*** : représente la vitesse moyenne dans chaque chemin, cette donnée est de type binaire non signé de 9 bits.

  On utilise le type non signé puisque la vitesse est toujours positive et cette donnée est codée sur 9 bits car dans l'équation II.12, la valeur théorique maximale de **b** égale à 300 et pour diviser deux nombres en VHDL ils doivent être de même taille (voir annexe 2)**.**
- ✓ ***Distance entre deux nœuds*** : représente la distance entre chaque deux point, cette donnée est de type binaire non signé de 10 bits.

  On utilise 10 bits pour présenter la distance puisque leur valeur maximale est 710 (voir annexe 1) et on utilise le type non signé car la distance est toujours positive.
- ✓ ***Facteur d'ajustement pour le temps de déplacement de chaque segment (Lamda) :***

  Représente Facteur d'ajustement pour le temps de déplacement associé à chaque segment à l'instant de la demande du chemin le plus court. Ce facteur est un nombre réel appartenant l'intervalle] **0, 1.99** [(voir annexe 1), et c'est le raison pour laquelle on a codée ce facteur sur 6 bits non signé ou le bit fort est représenté la partie entière et les autres bits représente la valeur après la virgule.
- ✓ ***Les coordonnées :*** représente les coordonnées de chaque nœud (x,y),chaque coordonnée est de type binaire non signé de 10 bits.

  On utilise 10 bits car la valeur maximale de coordonnée est 1200 (voir annexe 1) et on utilise le type non signé puisque les valeurs des coordonnées sont toujours positives.

- ✓ ***Vecteur de rond-point :*** représente toutes les nœuds qui contient un rond point, chaque nœud est de type binaire non signé de 10 bits. On utilise 10 bits parce que le type d'identification des nœuds est de même type de coordonnées.

III.2. Sorties de système d'acheminement

- ✓ ***Le plus court chemin entre le point de départ et le point d'arrivée :*** est un vecteur de type entier contenant les nœuds parcourent.
- ✓ ***Le temps de déplacement :*** est le temps qu'il faut pour arriver au point désiré (en seconde).
- ✓ ***L'heure d'arrivée :*** est l'heure d'arrivée au point désiré.

IV. Implémentation VHDL

Dans cette partie, des détails sur les étapes ainsi que les blocs nécessaires à l'implémentation de notre système .toute la conception est basée sur la modélisation mathématique présentée au chapitre II.

Un aperçu général de notre circuit global peut être donne par la figure III.2

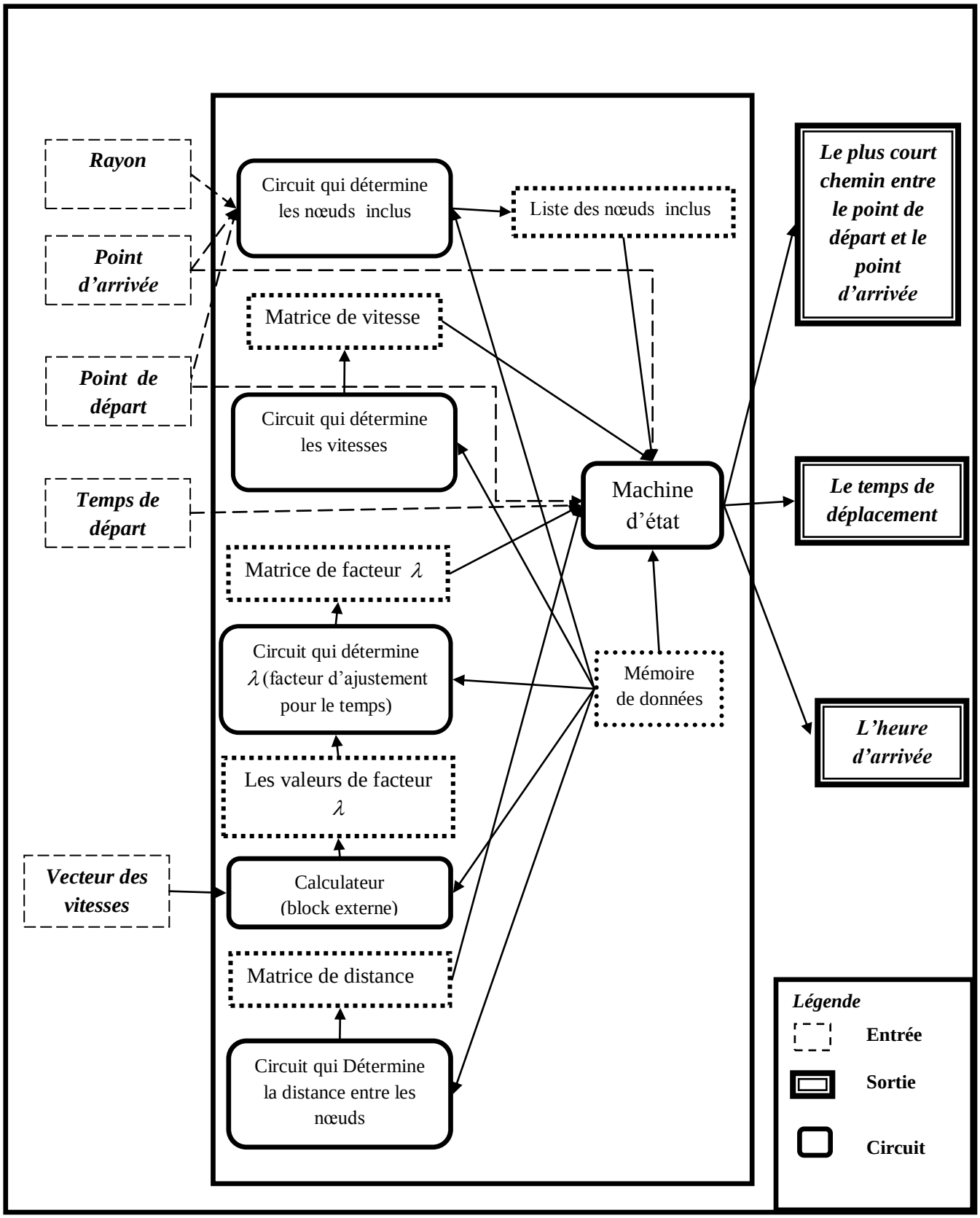


Figure III.2 : schéma synoptique du circuit principal.

Le circuit global, fait appel à plusieurs circuits et mémoire qu'on va les présenter plus en détail, telles que « circuit qui détermine les nœuds inclus », «circuit qui détermine les vitesses », « circuit qui détermine λ (facteur d'ajustement pour le temps) », et« circuit qui Détermine la distance entre les nœuds », ces circuits fonctionnement en parallèle et leurs sorties sont considérés comme des entrées de machine d'états.

IV. 1.Mémoire

Cette mémoire contient plusieurs données qui sont les caractéristiques de réseau routier de Médéa et le tableau III.1 présente ces données.

Tableau III.1 : liste des mémoires.

Nom de donnée	**Description**
Matrice de vitesses moyennes de la semaine passée	Cette matrice sauvegarde toutes les vitesses moyennes dans tous les arcs du réseau
Matrice des distances	Cette matrice contient la distance entre chaque nœud (point)
Matrice des coordonnées	Cette matrice contient l'identificateur et les coordonnées de chaque nœud
Matrice de lamda	Cette matrice contient la valeur de lamda dans chaque segment
Matrice d'indice	Cette matrice contient les arcs de chaque nœud
Vecteur de répétition de vitesse	Ce vecteur contient les nombre de répétition pour compresser la matrice de vitesse
Vecteur de rond point	Ce vecteur contient les nœuds rond-point

IV.2.Circuit qui détermine les nœuds inclus

La figure III.3 illustre le schéma synoptique de ce circuit

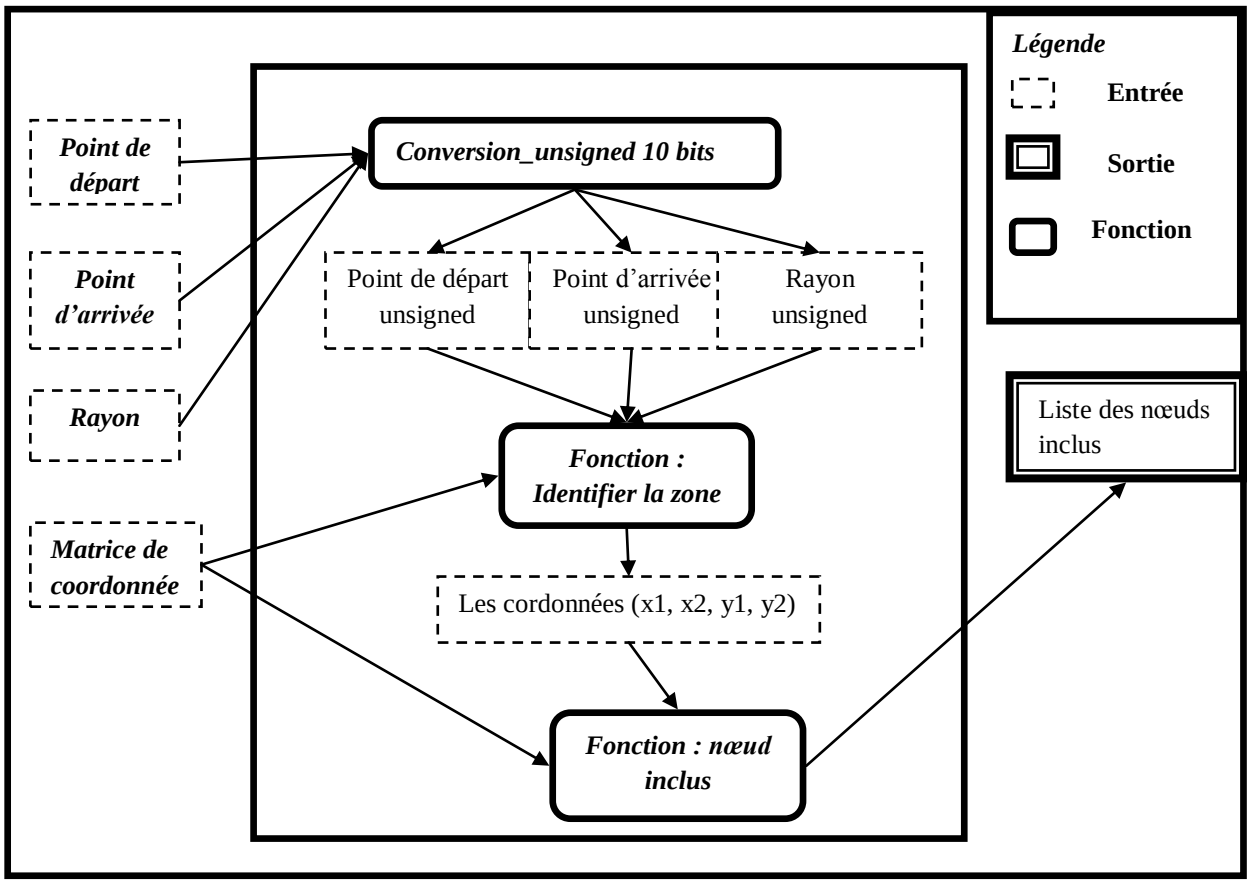


Figure III.3 : Schéma de circuit qui détermine les nœuds inclus

Le circuit contient quatre entrées : point de départ, point d'arrivée, rayon, et matrice des coordonnées, cette dernière est considérée comme une mémoire et la sortie de ce circuit est la liste des nœuds inclus.

IV.2.1.Le fonctionnement du circuit

1. Conversion_unsigned 10 bits :

   Convertir les entrées de type entier vers un type binaire non signé de 10 bits car le type d'identification des nœuds est de même type de coordonnées.

2. Fonction **« identifier la zone »** :

   Cette fonction permet d'identifier la zone de recherche pour trouver le plus court chemin dans le réseau routier de Médéa, elle contient quatre entrées le point de départ, point d'arrivée, et le rayon .Ces entrées sont identifiées après leur conversion en binaire non signé. Cette fonction a également comme entrée une matrice des

coordonnées des nœuds du réseau. Les sorties du circuit sont les coordonnées des quatre points qui déterminer la zone de recherche.

Le fonctionnement de cette fonction est selon les équations **(II.6), (II.7), (II.8), (II.9)**

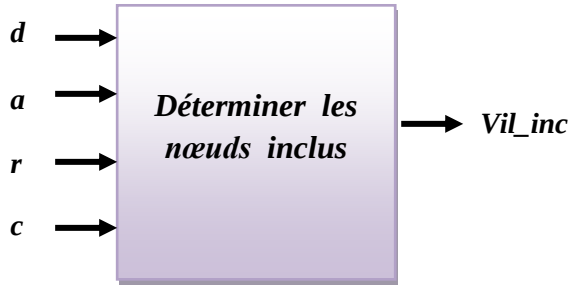
3. Fonction **« nœuds inclus »** :

Cette fonction permet de donner les nœuds qui appartiennent à la zone de recherche.

Elle contient également quatre entrées qui sont les sorties de la fonction « identifier la zone » et une sortie qui est la liste des nœuds inclus dans la zone de recherche.

IV.2.2.Entête du code VHDL

```
entitydet_vil is
port (d,a,r:in integer;
c:in matrice_1;
vil_inc:out vecteur);
enddet_vil;
```



Où : les entrées « ***d,a,r*** » sont des entrées de type entier qui présentent le point de départ, le point d'arrivée et le rayon respectivement.

« ***c*** » présente les coordonnées des nœuds, cette entrée est de type « ***matrice_1*** » (voir Annexe 2).

La sortie « ***vil_inc*** »présente les nœuds inclus dans la zone de recherche, cette sortie est de type « ***vecteur*** » (voir Annexe 2).

IV.2.3.Simulation

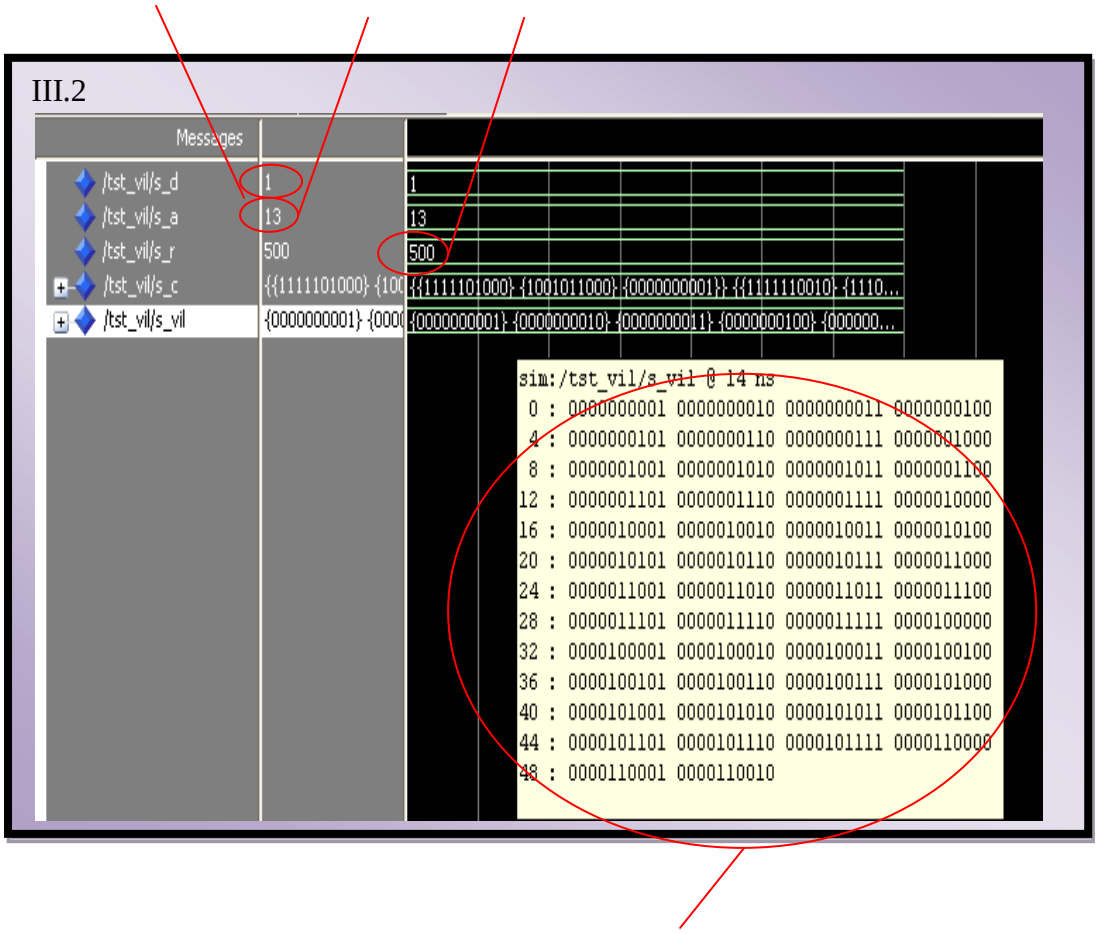
Pour vérifier le fonctionnement de notre circuit on va donner les deux exemples.

Exemple1 : On va définir les entrées avec les valeurs du tableau III.2 et le résultat est donné par la figure III.4.

Tableau III.2 : les valeurs de données pour la simulation de circuit qui détermine les nœuds inclus (d'exemple 1).

Données	Point de départ (d)	Point d'arrivée (a)	Rayon (r)	Coordonnées (c)
Les valeurs	1	13	500	Constante (mémoire)

Point de départ ***Point d'arrivée*** ***Rayon***



Les nœuds inclus sont codées en binaire sur 10 bits : « 1, 2, 3, 4, ……..50 »

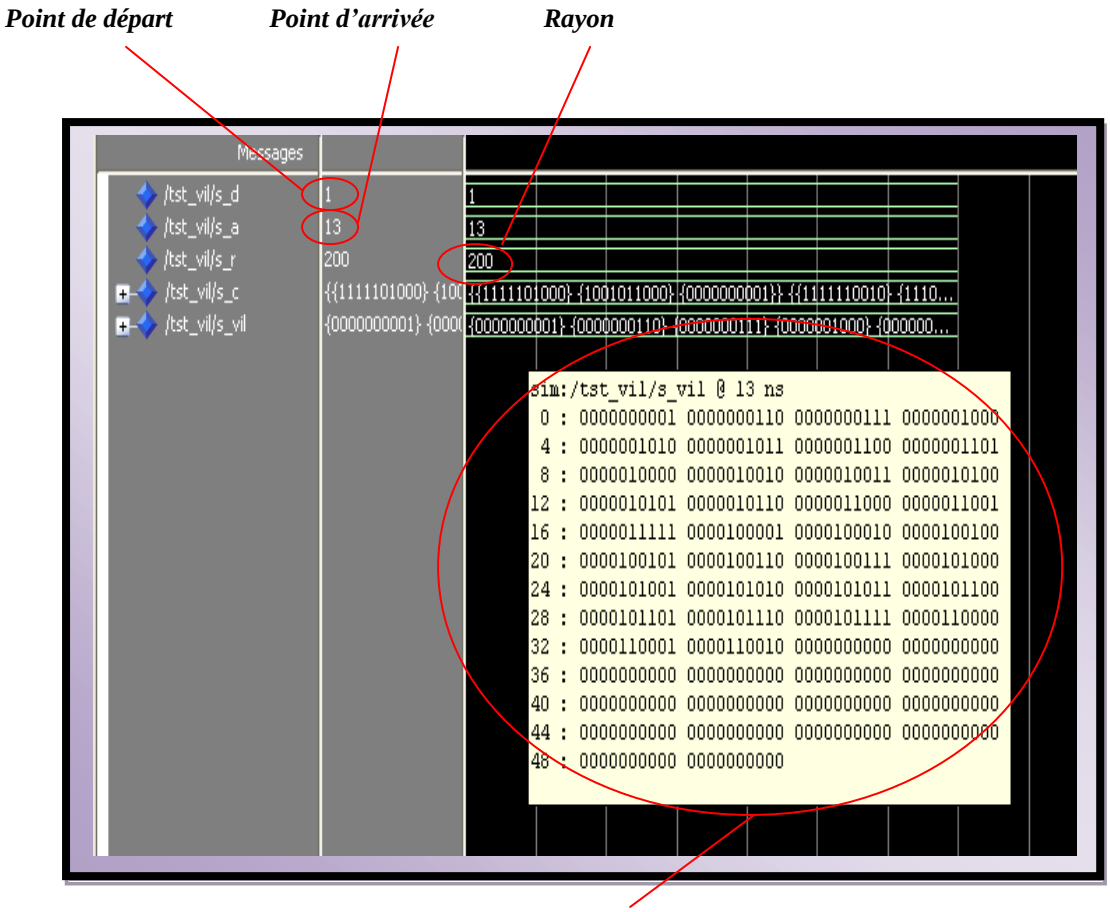
Figure III.4 : résultat de simulation de circuit qui détermine les nœuds inclus (d'exemple 1) sous MODELSIM.

Dans cet exemple tous les nœuds du réseau qui sont au nombre de 50 sont inclus dans la zone de recherche.

Exemple2 : On va définir les entrées avec les valeurs du tableau III.3 et le résultat est illustre par la figure III.5.

Tableau III.3 : les valeurs de données pour la simulation de circuit qui détermine les nœuds inclus (d'exemple 2).

Données	Point de départ (d)	Point d'arrivée (a)	Rayon (r)	Coordonnées (c)
Les valeurs	1	13	200	Constante (mémoire)



Les nœuds inclus sont codées en binaire sur 10 bits: « 1, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13,16, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 31, 34, …....., 50 »

Figure III.5 : résultat de simulation de circuit qui détermine les nœuds inclus (d'exemple 2) avec MODELSIM.

Dans cet exemple malgré que le point de départ et le point d'arrivée sont identiques à l'exemple précédent mais les nœuds inclus sont différents .cela est bien sur du au changement du rayon.

Les nœuds inclus dans la zone de recherche sont : ***« 1, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13,16, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42,43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 ».***

Donc 16 nœuds de moins (34 nœuds) par rapport à l'exemple précédent (50 nœuds).

IV.3.Circuit qui détermine les vitesses dans les routes

En premier lieu on a réfléchi à stocker toutes les valeurs de vitesses moyennes des véhicules dans chaque segment (route), mais on s'est heurté à un grand problème de taille mémoire qui était trop grande car on doit stocker la valeur de la vitesse dans chaque segment tout les 20 s donc on est amené à utilise une mémoire de 420000 valeur. Comme les vitesses dans les sens interdits sont toujours égales à zéros donc on a eu l'idée de stocker que les valeurs qui changées et pour cela on a besoin d'une autre matrice, qui présente tous les arcs de tous les nœuds (points).

La figure III.6 présente le circuit décrit :

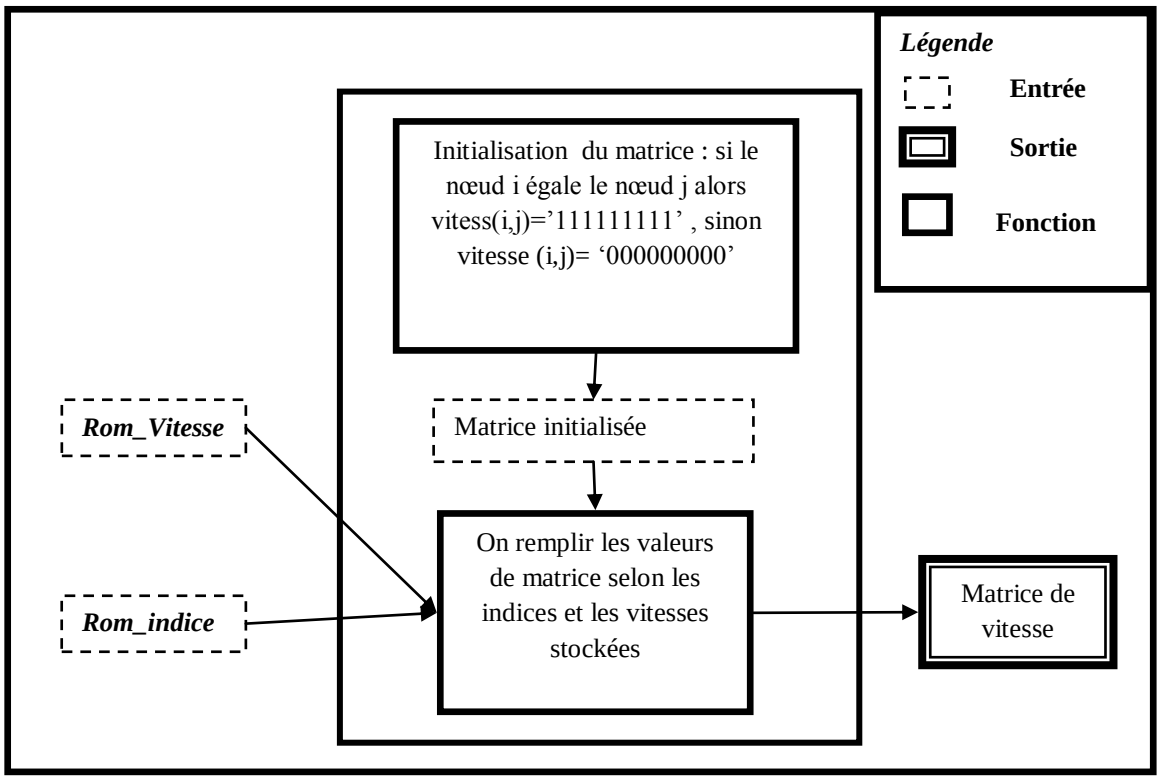


Figure III.6 : schéma de circuit qui détermine les vitesses dans les routes.

Ce circuit possède deux entrées mémoire **rom_vitesse** et **rom_indice** et une sortie de **matrice de vitesse** (les valeurs de la vitesse de la semaine passée).

IV.3.1.Fonctionnement de circuit

- **Initialisation de matrice de vitesse :**

On définie la diagonale de cette matrice par des « **111111111** » car la vitesse de déplacement vers un même nœud (même croisement) est infinie, et les autres valeurs de la matrice par « 000000000 » car la vitesse dans les sens interdit est égale a zéro.

- **Remplissage de la matrice par les valeurs de vitesse :**

A partir des entrées :

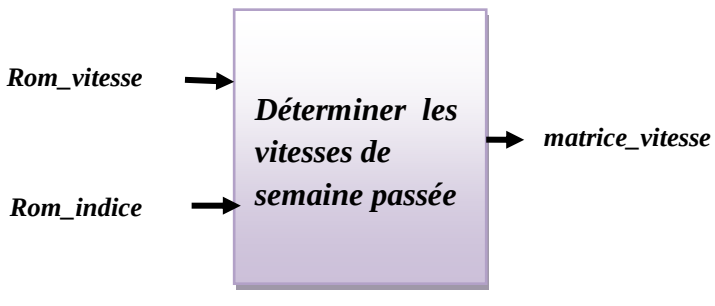
- **rom_indice** qui contient les arcs de chaque nœud.
- **rom_vitesse**l'historique des vitesses dans les arcs qui sont émises par les capteurs et ces capteurs sont placées dans les différents arcs.

On va faire une comparaison entre les indices de matrice de vitesse initialisée et les valeurs de **rom_indice** :s'ils sont identiques on va poser les valeurs de **rom_vitesse** dans la matrice de vitesse sinon la vitesse reseté est égale à zéros (sens interdit).

La sortie de ce circuit est une matrice de grande taille, c'est pour cette raison a proposé de compresser la taille de la mémoire « **rom_vitesse »** et d'ajouter un vecteur qui contient les nombres de répétition « **Nbre_reptition** »

IV.3.2.Entête du code VHDL

```
entity vitesse is
port(rom_vitesse:inram_vit;
rom_indice:inram_lamda;
matrice_vitesse:out matrice_3_1);
end vitesse;
```



Où: les entrées :

« **rom_vitesse** » présente la mémoire des vitesses dans les routes de semaine passée qui émis par les capteurs de type « **ram_vit** » (voir annexe 2).

« **rom_indice** » présente la mémoire de tous les arcs de chaque nœud (point), cette entrée est de type « **ram_lamda** » (voir annexe 2)

La sortie « **matrice_vitesse** » présente les vitesses de semaine passé dans tous les segments, cette sortie est de type « **matrice_3_1** » (voir annexe 2)

IV.3.3.Résultats de simulation

Dans ce circuit on utilise les mémoires représentées par les matrices rom_vitesse et rom_indice .On va définir les entrées avec les valeurs indiquées par le tableau III.4**.** La figure III.7 donne le résultat de simulation.

Tableau III.4 : les valeurs de données pour la simulation de Circuit qui détermine les vitesses dans les routes.

Données	Rom_vitesse	Rom_indice
Les valeurs	Voir Annexe 2	Voir Annexe 2

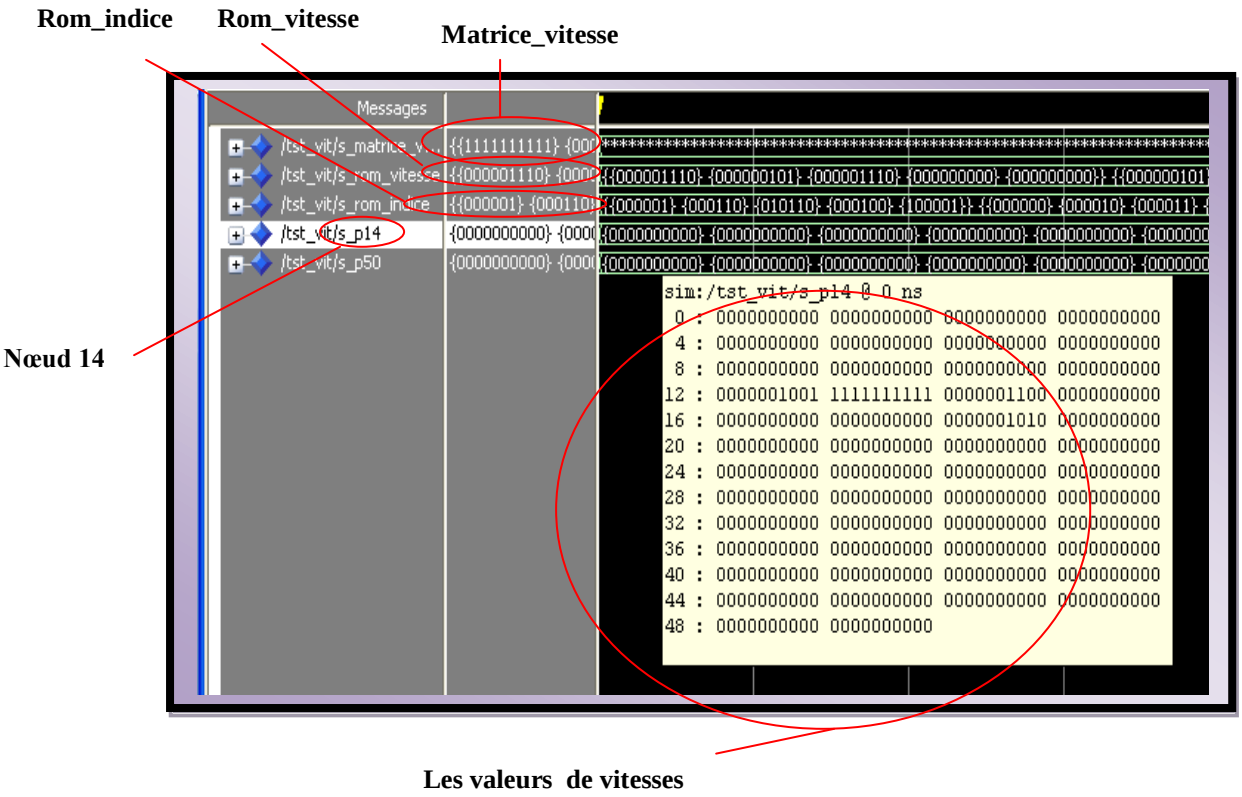


Figure III.7 : résultat de simulation de Circuit qui détermine les vitesses dans les routes sous MODELSIM

IV.4.Circuit qui détermine λ (facteur d'ajustement pour le temps)

Ce circuit représenté par la figure III.8 permet de donner les valeurs du facteur d'ajustement dans tous les arcs du graphe.

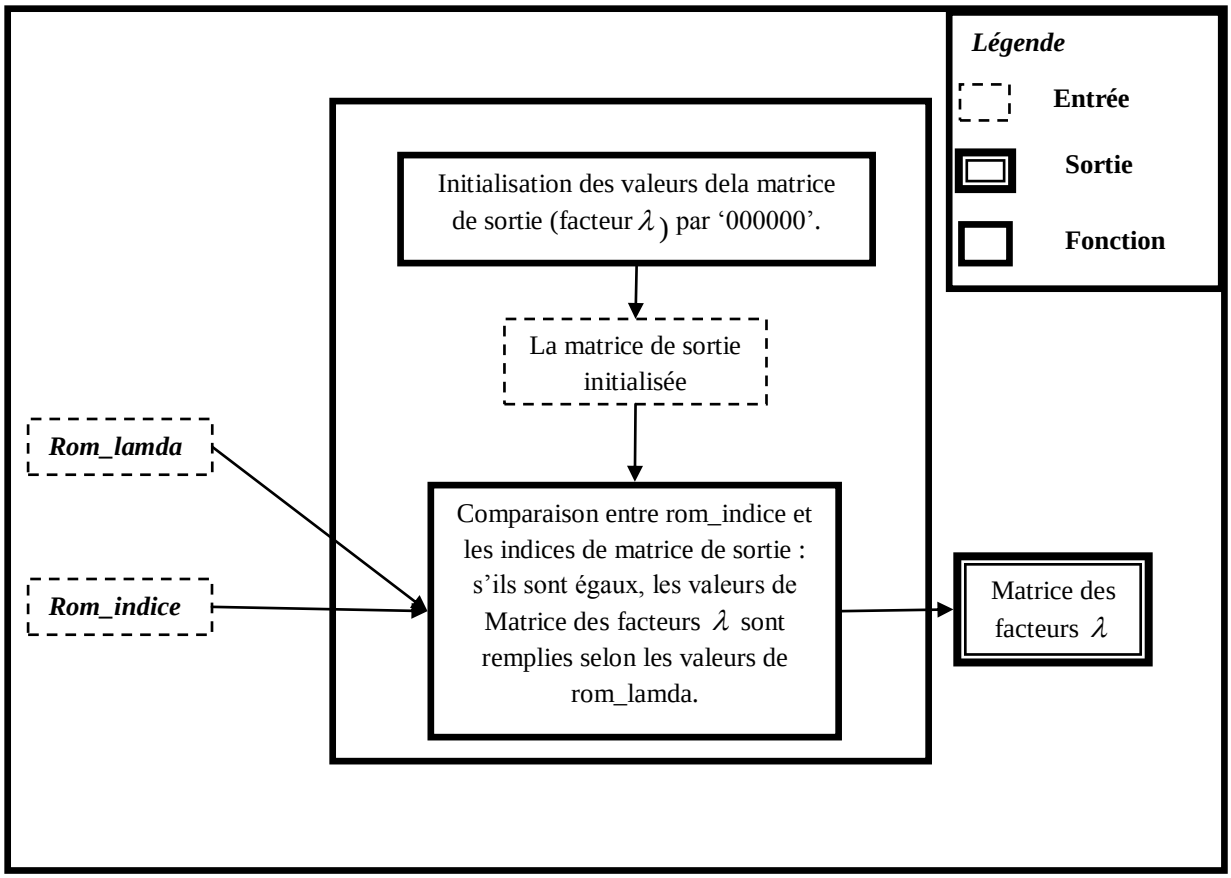


Figure III.8 : schéma de circuit qui déterminer les valeurs de lamda.

IV.4.1.Fonctionnement de circuit

- **Initialisation de matrice de facteur d'ajustement :**

On définie cette matrice par la valeur binaire « 000000 » car la valeur de lamda λ dans les sens interdit et dans le même croissement (même nœud) est égale à zéros.

- **Remplissage de la matrice par les valeurs de facteur d'ajustement lamda:**

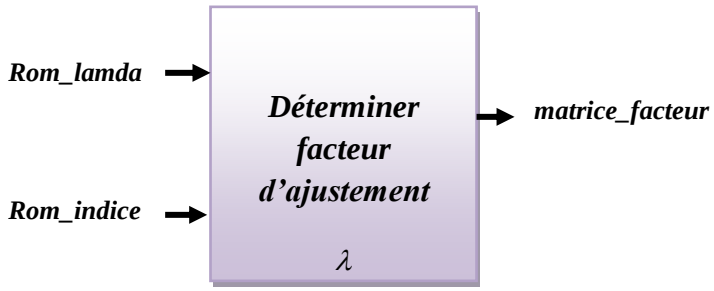
A partir des entrées :

- **rom_indice** qui contient les arcs de chaque nœud.
- **rom_lamda** qui contient les valeurs de facteur d'ajustement dans les arcs (routes), transmis par un calculateur externe.

On va faire une comparaison entre les indices de la matrice des facteurs d'ajustements initialisée et les valeurs de **rom_indice** : s'ils sont identiques on va stocker les valeurs de **rom_lamda** dans la matrice de facteur d'ajustement.

IV.4.2.Entête du code VHDL

```
entitylamda is
port(rom_lamda:inram_lamda;
rom_indice:inram_lamda;
matrice_facteur:outmatrice_lam);
endlamda;
```



Où les entrées :

« **rom_lamda** » présente la mémoire (rom) des facteurs d'ajustements « lamda » dans les routes, cette entrée est de type « **ram_lamda** » (voir annexe 2)

« **rom_indice** » présente la mémoire de tous les arcs de chaque nœud, cette entrée est de type « **ram_lamda** » (voir annexe 2)

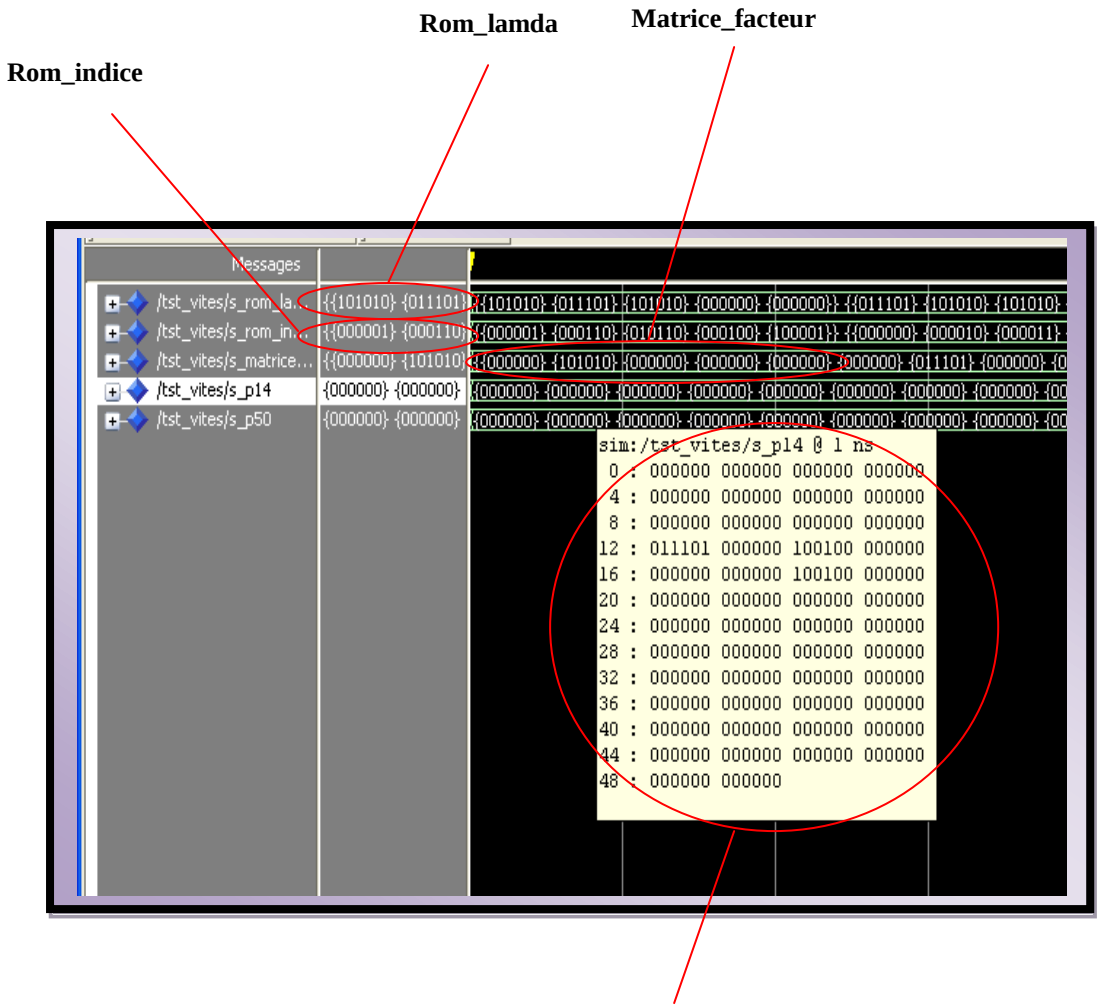
La sortie « **matrice_facteur** »présente les facteurs d'ajustements « lamda » dans tous les segments de réseau, et cette sortie est de type « **matrice_lam** » (voir annexe 2)

IV.4.3.Résultat de simulation

Dans ce circuit on utilise les mémoires représentées par les matrices rom_lamda et rom_indice. On va définir les entrées avec les valeurs du tableau III.5 et les résultats sont indiqués par la figure III.9.

Tableau III.5 : les valeurs de données pour la simulation de Circuit qui détermine les valeurs de lamda.

Données	Rom_lamda	Rom_indice
Les valeurs	Voir Annexe 2	Voir Annexe 2



Les valeurs de facteur d'ajustement de nœud 14(nœud 14 relie à les nœuds 13, 15, 19).

Figure III.9 : résultat de simulation de Circuit qui détermine les valeurs de lamda sous MODELSIM.

IV .5.Circuit qui Détermine la distance entre les nœuds

Le circuit décrit par la figure III.10 permet de donner tout les valeurs de distance entre les nœuds dans le graphe (réseau routier).

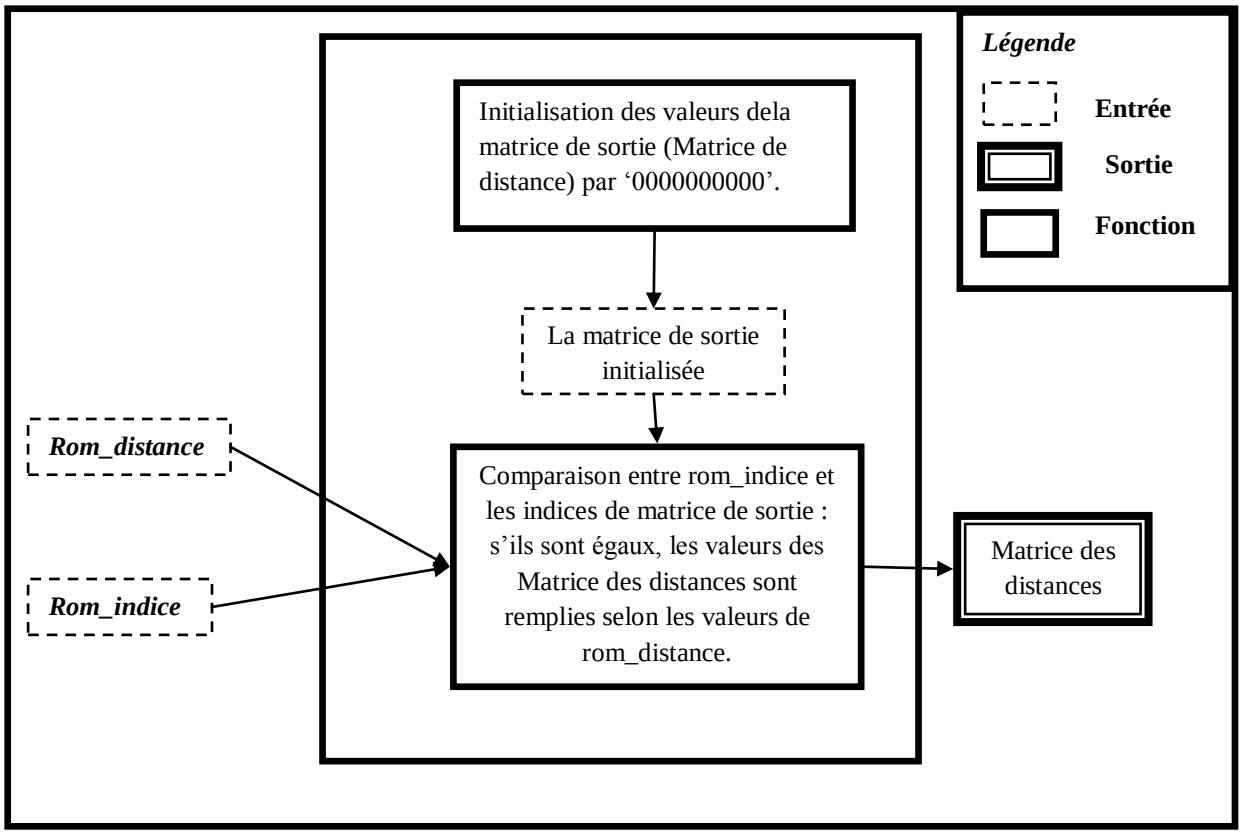


Figure III.10 : schéma de circuit qui détermine les distances.

IV .5.1.Fonctionnement de circuit

- **Initialisation de matrice de distance :**

On définie cette matrice par la valeur binaire « 0000000000 » car la valeur de distance dans les sens interdit et dans le même croissement (même nœud) est égale à zéros.

- **Remplissage de la matrice par les valeurs de distance:**

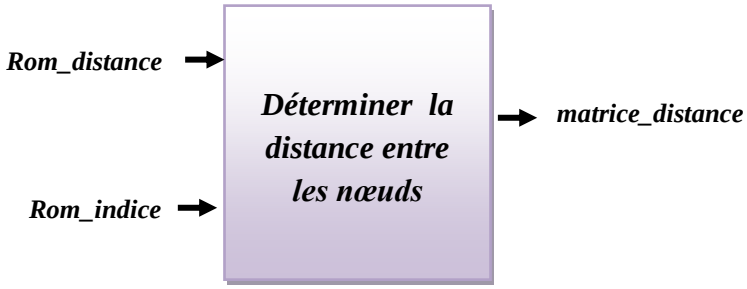
A partir des entrées :

- **rom_indice** qui contient les arcs de chaque nœud.
- **rom_distance** qui contient les valeurs des distances des arcs (routes).

On va faire une comparaison entre les indices de matrice des distances initialisée et les valeurs de **rom_indice** : s'ils sont identiques on va stocker les valeurs de **rom_distance** dans la matrice des distances.

IV .5.2. Entête du code VHDL

```
entitylam_long  is
port(rom_distance:inram_long;
rom_indice:inram_lamda;
matrice_distance:outmatrice_2);
endlam_long;
```



Où : les entrées :

« **rom_distance** » présente la mémoire (rom) de distance des routes de type « **ram_long** » (voir annexe 2).

« **rom_indice** » présente la mémoire de tous les arcs de chaque nœud de type « **ram_lamda** » (voir annexe 2).

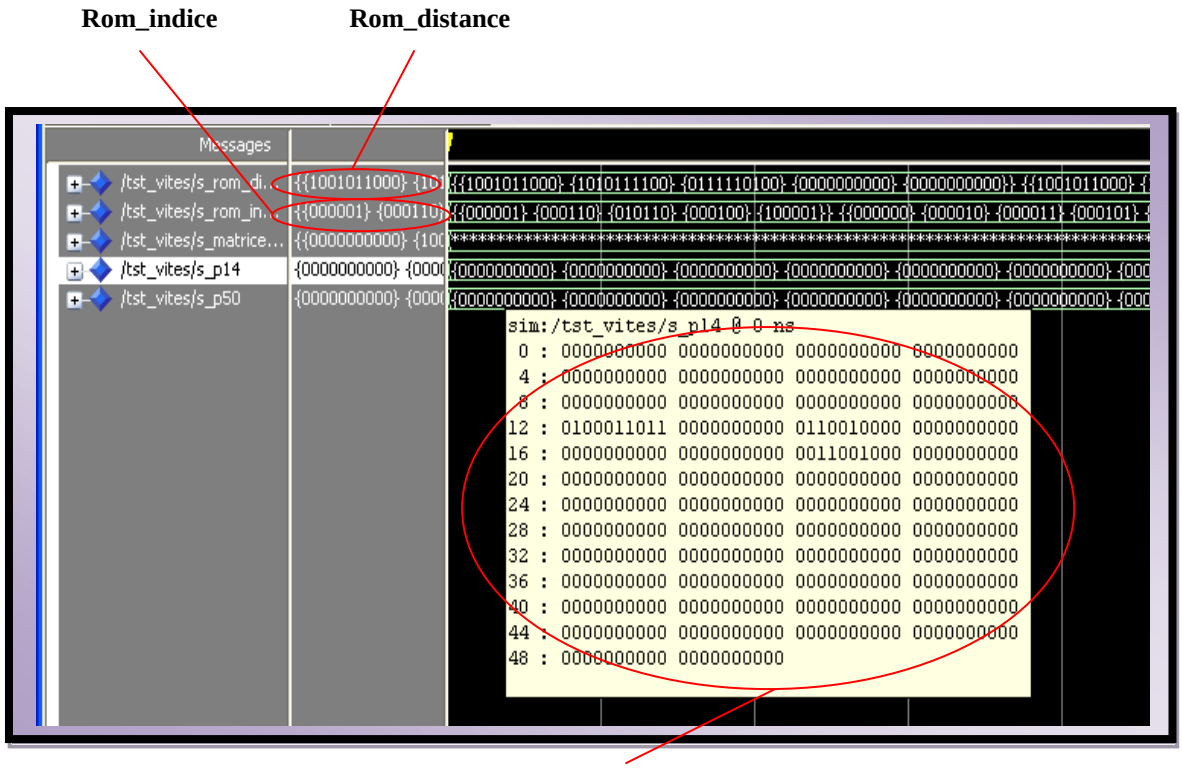
La sortie « **matrice_distance** »présente les distances dans tous les segments de réseau, cette sortie est de type « **matrice_2**» (voir annexe 2).

IV .5.3.Résultat de simulation

Dans ce circuit on utilise les mémoires représentées par les matrices rom_lamda et rom_indice .On va définir les entrées avec les valeurs données par le tableau III.6 et les résultats sont indiqués par la figure III.11.

Tableau III.6 : les valeurs de données pour la simulation de circuit qui détermine les distances.

Données	Rom_distance	Rom_indice
Les valeurs	Voir Annexe 2	Voir Annexe 2



Les valeurs de distance de nœud 14(nœud 14 relie à les nœuds 13, 15, 19).

Figure III.11 : résultat de simulation de circuit qui détermine les distances sous MODELSIM

IV .6.Calculateur

Le calculateur s'agit d'un circuit externe (figure III.12)**,** ne fait pas partie de notre travail. Sa fonction est de calculer les valeurs des facteurs d'ajustement de temps dans les routes, le calcul se fait selon l'équation **(II.19)**.

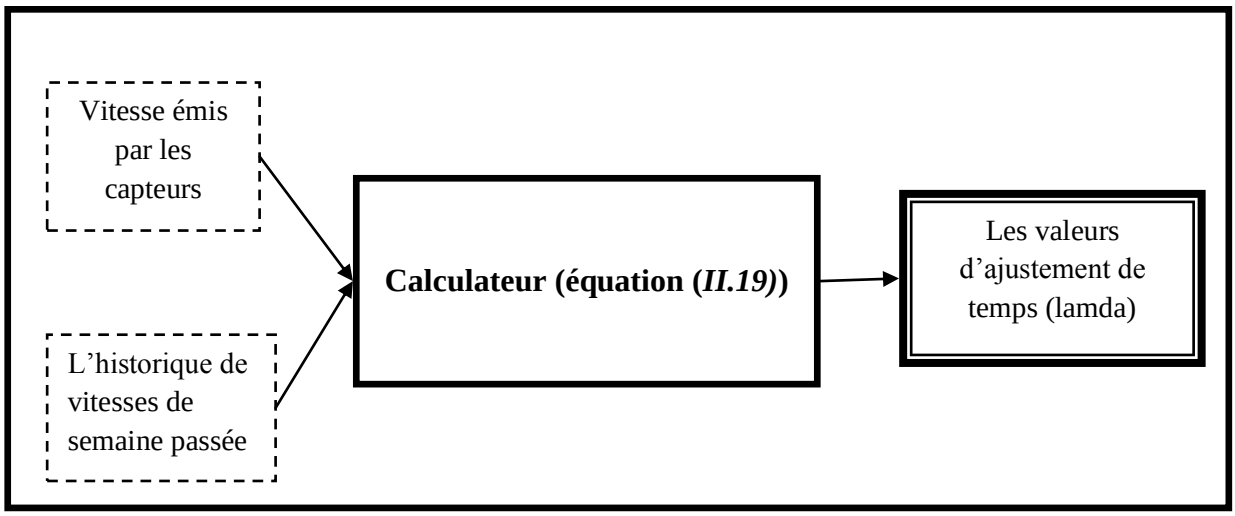


Figure III.12 : schéma synoptique de calculateur de lamda.

IV .7.Machine d'état

Ce circuit est le cœur du notre système qui permet gérer tous les circuits présentées afin de donner le plus rapide chemin entre deux nœuds. La figure III.13 montre un schéma synoptique de ce circuit.

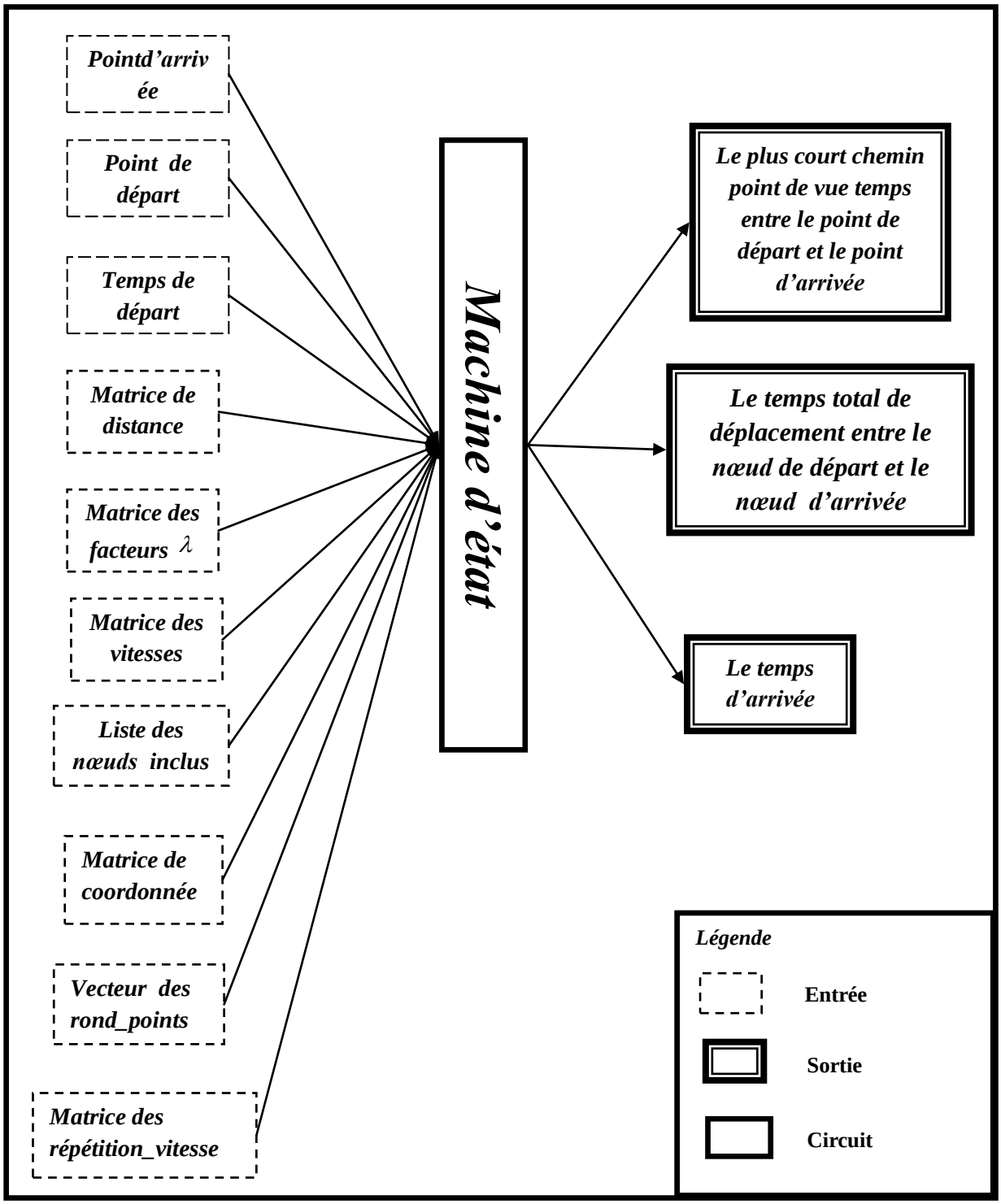


Figure III.13 : schéma global de machine d'état.

Cette machine d'état contient neuf états tells que chaque état représente une étape parmi les étapes présentées dans le chapitre II, la figure III.14 représente cette machine :

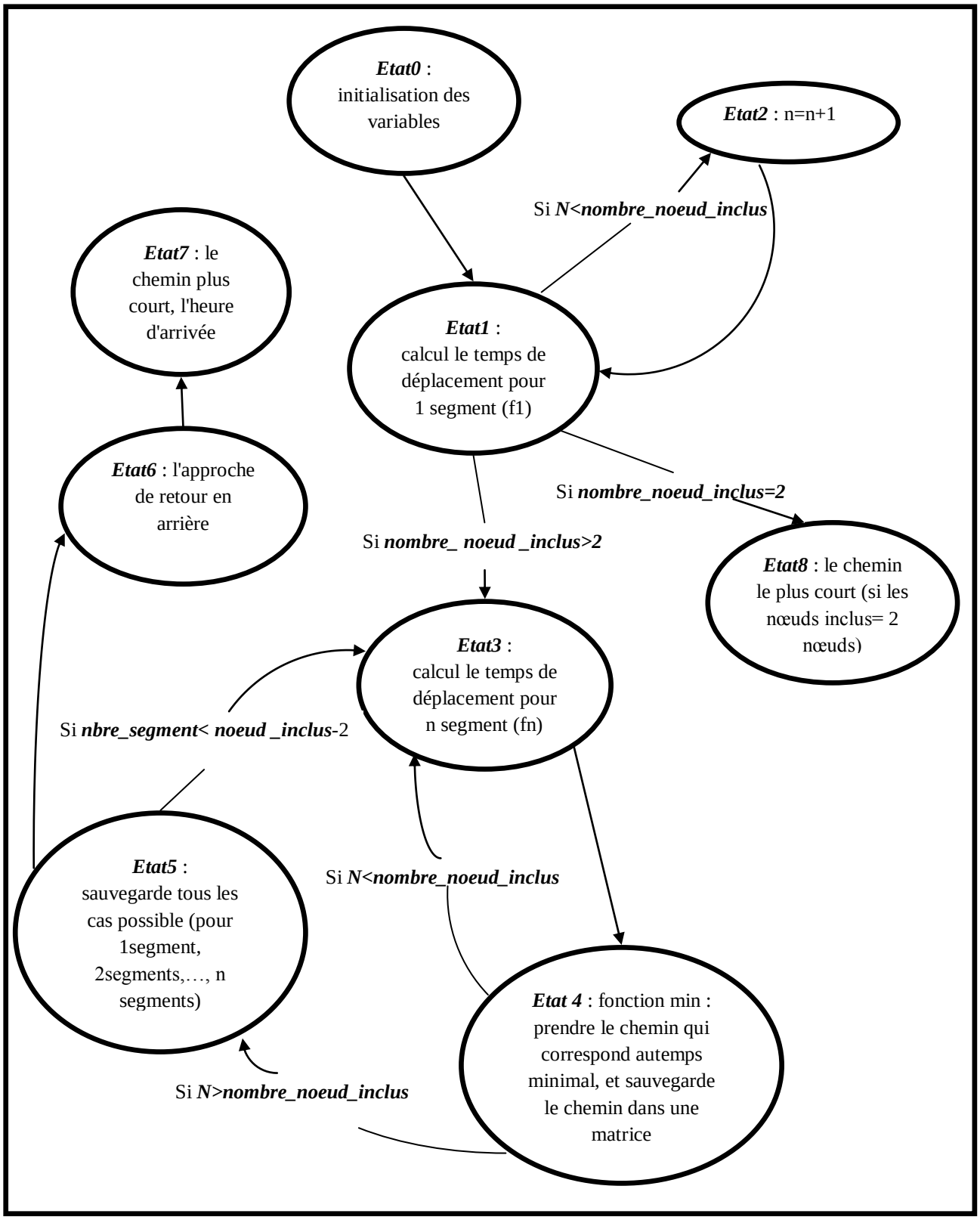


Figure III.14 : machine d'état.

Où :

Etat0 : est l'état initial permet d'initialiser tous les variables utilisés.

Etat1, Etat2 : ces états permettent de calculer le temps de déplacement pour un segment selon l'équation ***(II.34).***

Etat3 : cet état permet de calculer le temps de déplacement pour n segments, cet état fait appel à la fonction ***« temps de déplacement d'un segment (route) »*** définira. En fait, on va déterminer tous les chemins possibles entre le nœud de départ et tous les autres nœuds.

Etat4 : prendre le chemin qui correspond au temps minimal et sauvegarder le chemin dans une matrice. Le calcule se fait selon l'équation ***(II.35).***

Etat5 : cet état permet de sauvegarder les chemins le plus court pour 1 segment, 2 segment,……, n segment.

Etat6 : cet état permet de déterminer le chemin le plus rapide à partir de l'approche retour en arrière.

Etat7 : cet état permet de supprimer les répétitions des nœuds dans le chemin et de calculer l'heure d'arrivée.

L'idée générale est donc d'utiliser un « case » sur les états avec des « if » pour gérer l'ensemble des transitions. L'ajout d'une initialisation synchrone se fait dans le « if clk'event».

On peut présenter le schéma synoptique de machine d'état dans les figures III.15, III.16.

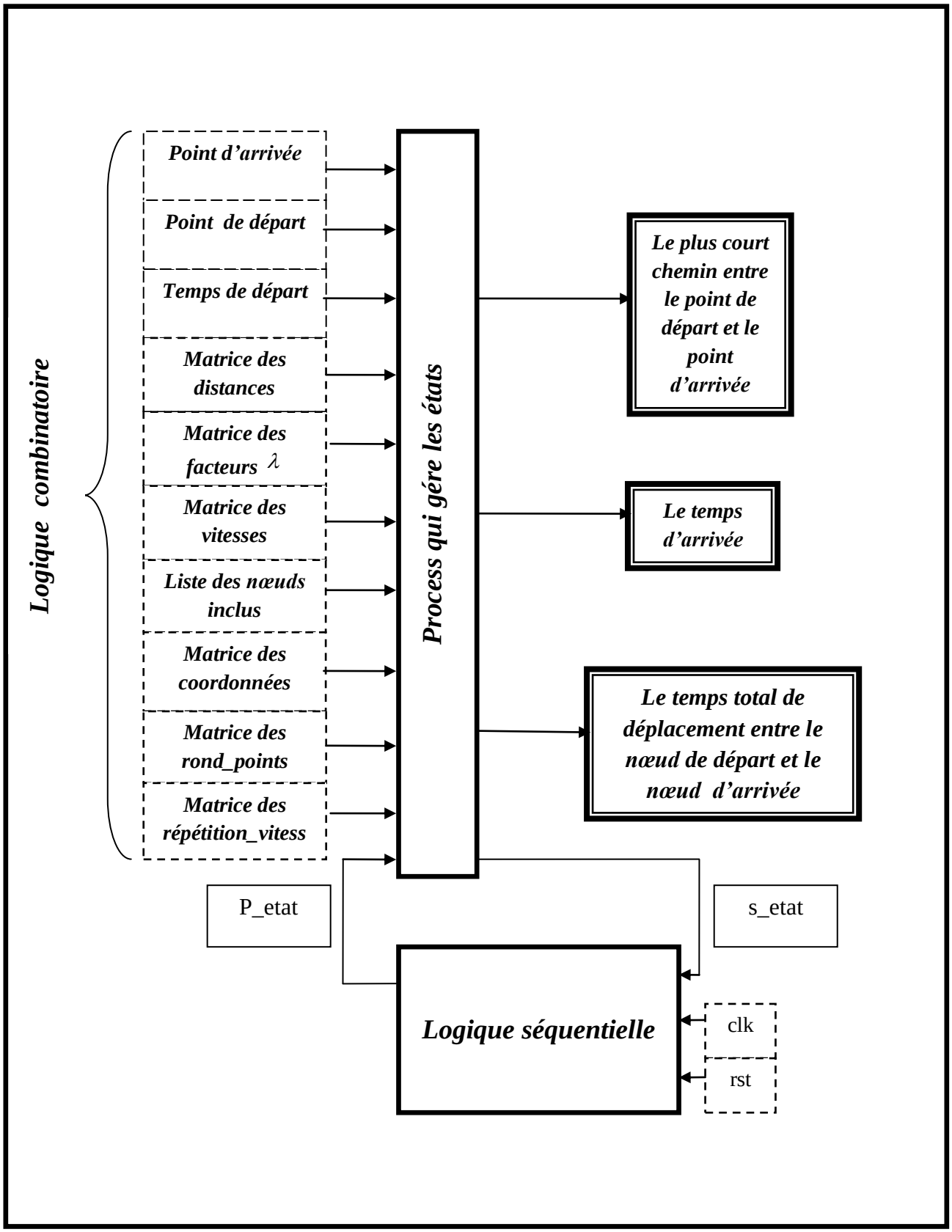


Figure III.15 : Schéma synoptique de la machine d'état.

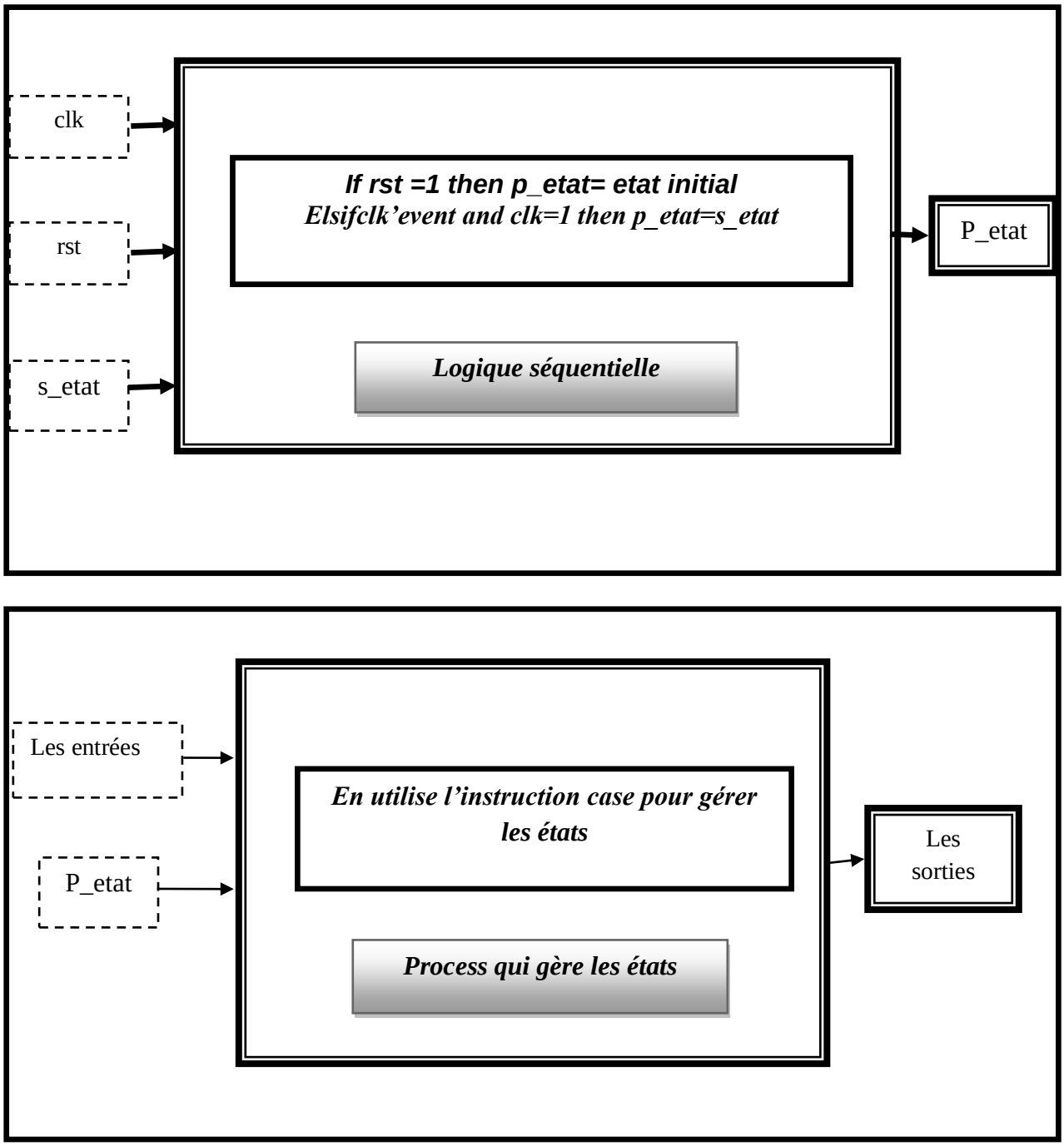


Figure III.16 : schéma synoptique de process de la machine d'état.

IV .8.Fonctions principaux utilisées

IV .8.1.Fonction « temps de déplacement d'un segment (route) »

Cette fonction permet d'estimer le temps de déplacement associé à chaque segment, elle contient neuf entrées et trois sorties.On peuvent présenter le fonctionnement de la fonction par la Figure III.17 suivante :

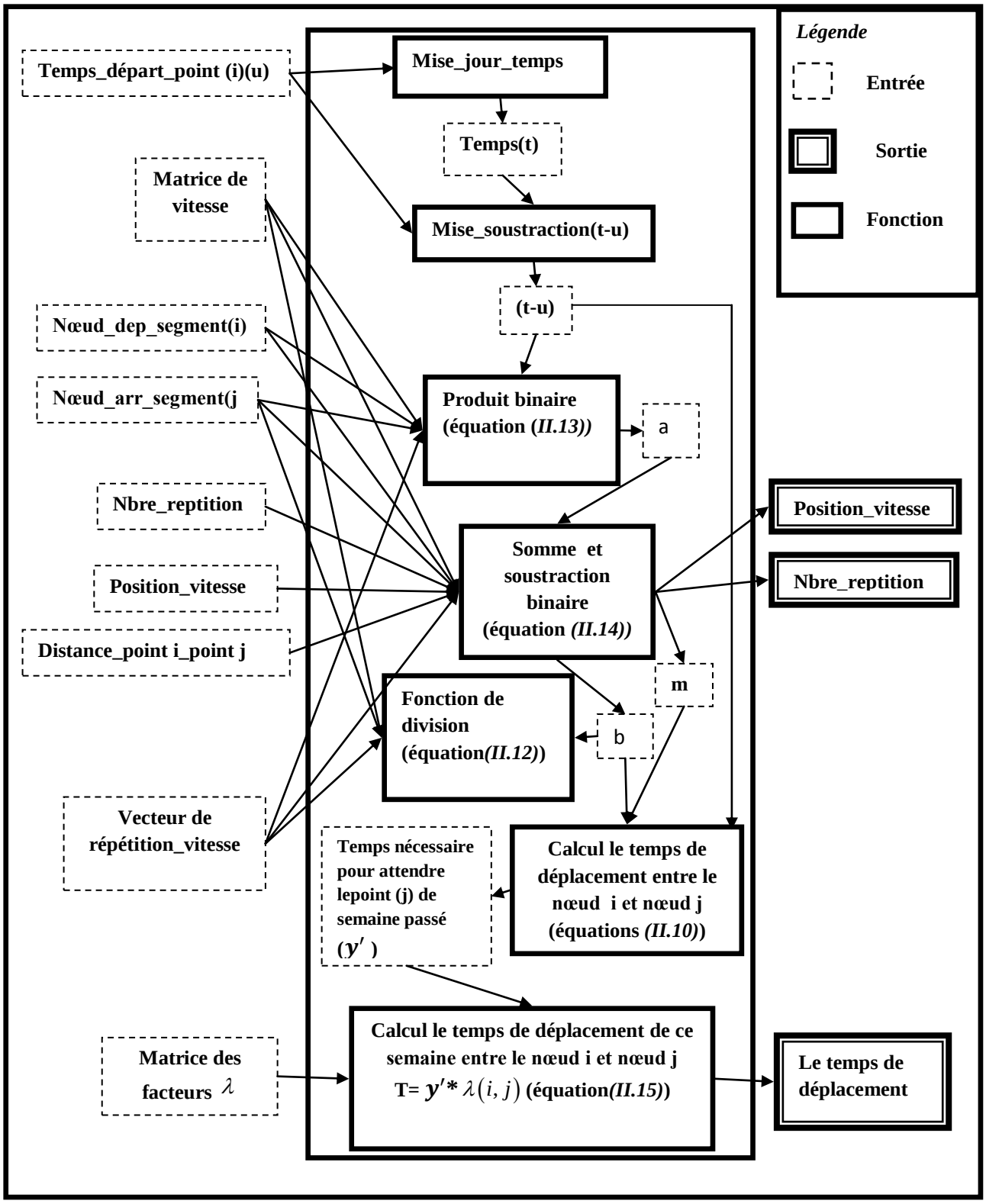


Figure III.17 : organigramme de la fonction « temps de déplacement d'un segment (route) ».

Où :

Temps_depart_point(i) : est l'instant ou le conducteur est dans le point i (le point de départ d'un segment).

Distance_point i_point j : est la longueur de segment [i, j].

Position_vitesse : est le nombre nécessaire de l'intervalle de temps pour parcourir un segment tel que l'intervalle égale 20s (m dans l'équation ***(II.10)***).

Nbre_repetition : est le nombre de répétition du bloc de vitesse (vitesse de chaque 20 s).

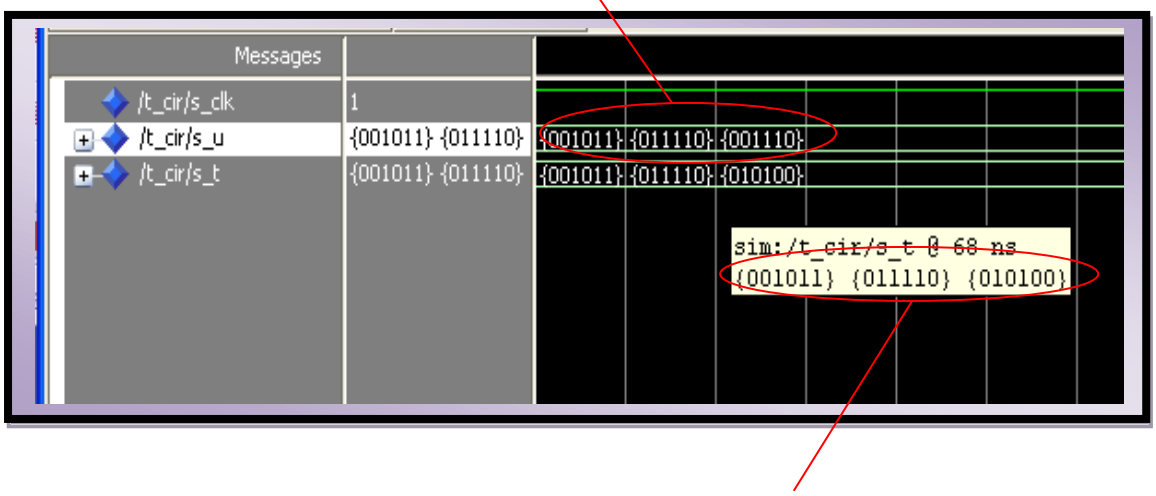
Cette fonction utilisée d'autres fonctions (fonction mise_jour_temps, fonction Mise_soustraction, fonction de division binaire) qui sont présentées à après.

IV .8.1.1.Fonction Mise_jour_temps

Cette fonction permet de mettre à jour le temps de départ, telle que chaque temps de départ situé dans un intervalle$[\boldsymbol{t_{k-1}}\ \ \boldsymbol{t_k}]$, et $\boldsymbol{\Delta t_k = t_k - t_{k-1} = 20\ s}$. Cette fonction qui est basée sur les testes (if else), permet de donner le $\boldsymbol{t_k}$.

- **résultat de simulation :**

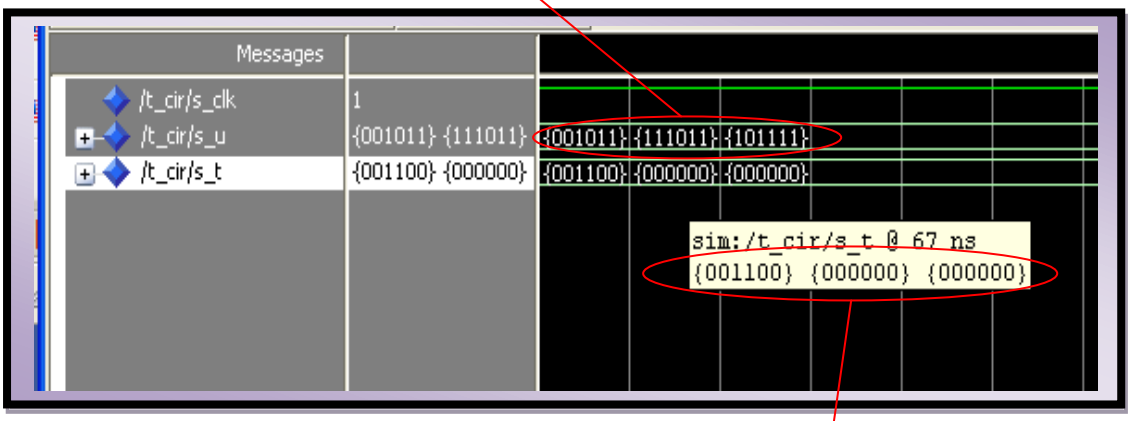
On prend le temps de départ**u=11 :30 :14**(codé en binaire), **u** situé dans l'intervalle **[11 :30 :00 11 :30 :20]** et on voit le résultat de simulation sur la figure III.18.



$\mathbf{t_k}$ **= 11 :30 :20**

Figure III.18 : résultat de simulation de la fonction Mise_jour_temps (exemple1) sous MODELSIM.

On prend le temps de départ **u=11 :59 :47**(codé en binaire), qu'est situé dans l'intervalle **[11 :59 :40 12 :00 :00]** et on voit le résultat de simulation sur la figure III.19.



t_k = 12 :00 :00

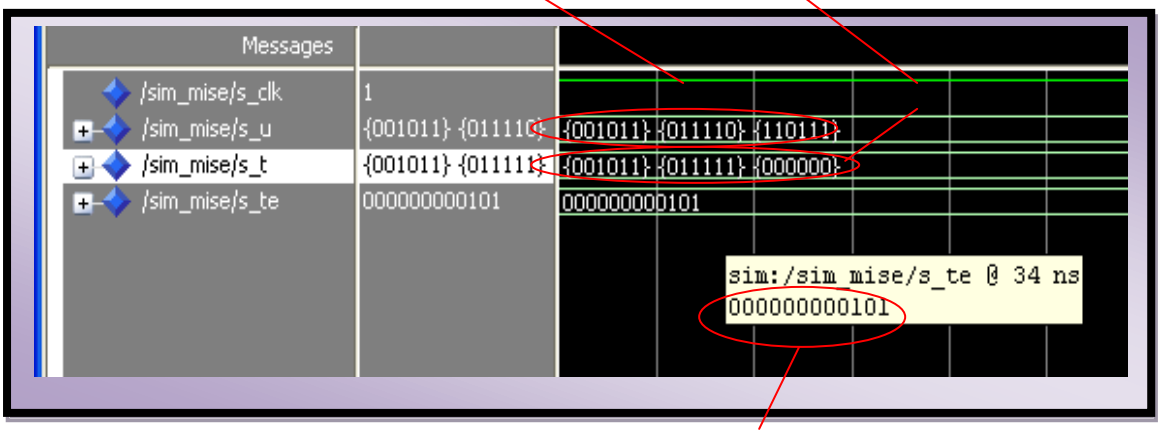
Figure III.19 : résultat de simulation de la fonction Mise_jour_temps (exemple2) sous MODELSIM.

IV .8.1.2.Fonction Mise_soustraction

Cette fonction permet de donner la différence entre deux temps, elle est basé sur les testes (if else).

- **Résultat de simulation :**

On prend temps de départ **u=11 :30 :55** et le temps **t=11 :31 :00**, les résultats sont données par la figure III.20.



t-u=5 s (101 en binaire)

Figure III.20 : résultat de simulation de la fonction Mise_soustraction sous MODELSIM.

IV .8.1.3.Fonction de division binaire

Cette fonction permet de donner le résultat estimé de division de deux nombre binaire a/b.

On peut présenter le fonctionnement de cette fonction par la figure III.21 :

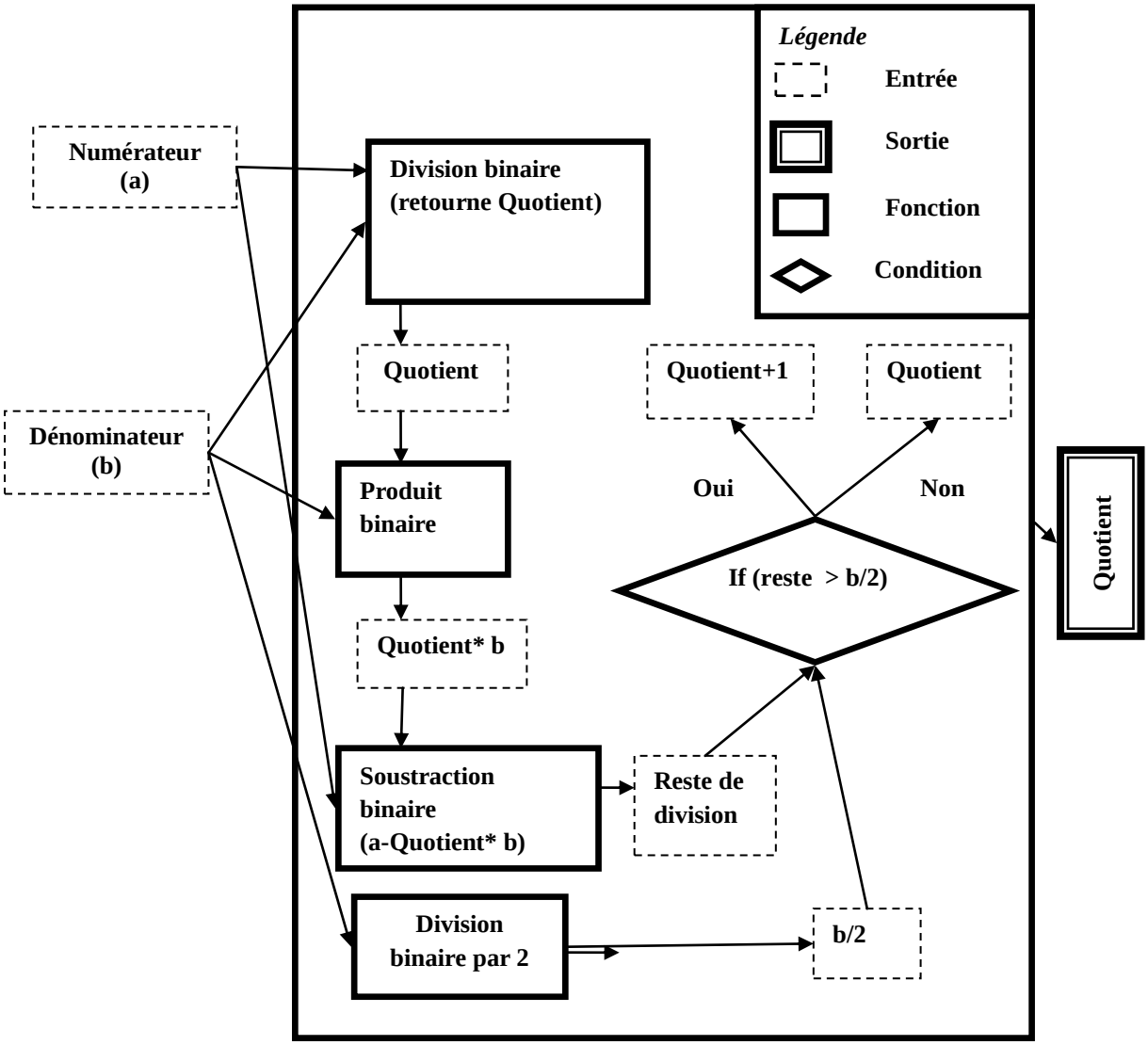
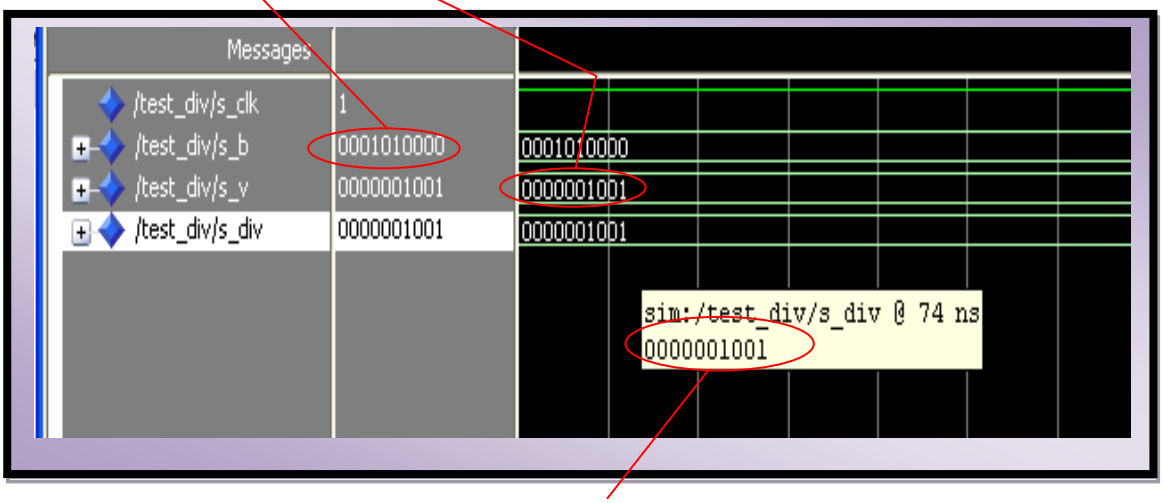


Figure III.21 : organigramme de la fonction de division binaire.

- **Résultat de Simulation de fonction de division :**

Deux résultats de divisions sont donnés par la figure III.22.

Prend a=80 et b=9 a/b=8.88



Div=a/b=8.88≈ 9

Prend a=65 et b=4 a/b=16.25



Div=a/b=16.25≈16

Figure III.22 : résultat de simulation de la division binaire sous MODELSIM.

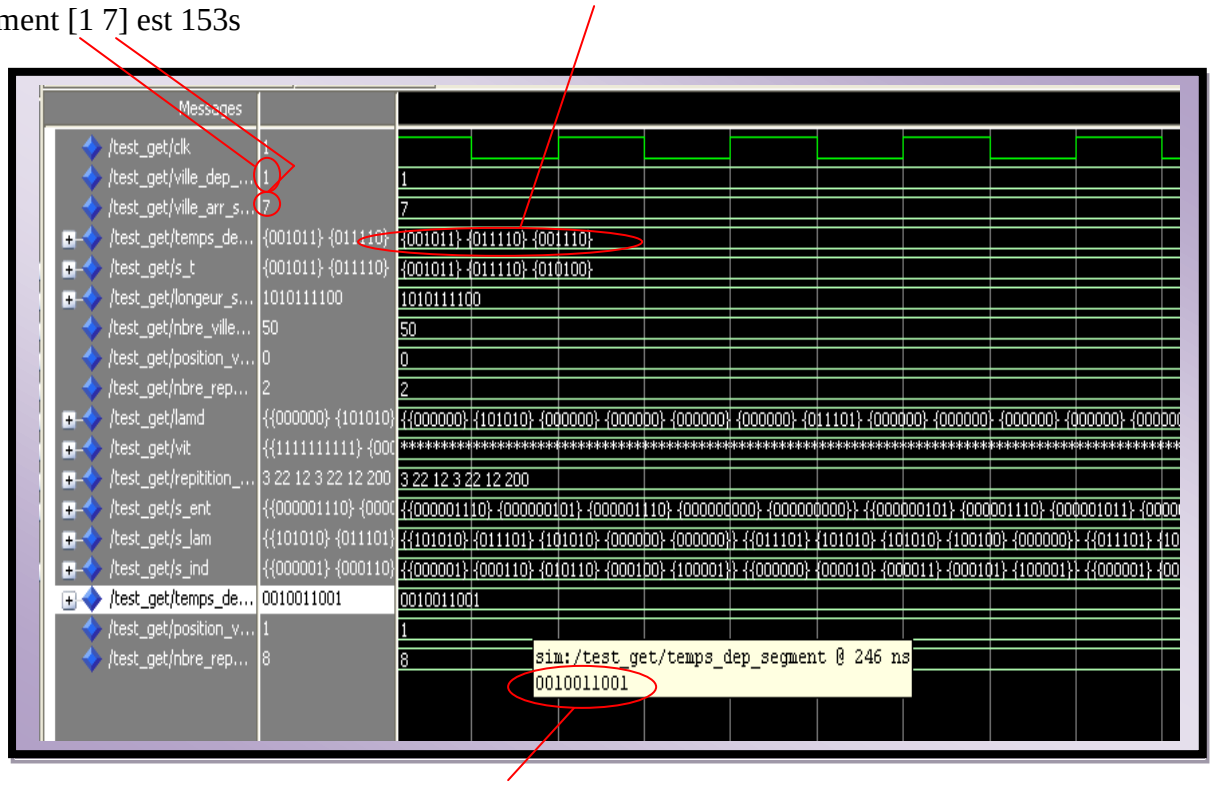
IV .8.2.Résultat de Simulation fonction « temps de déplacement d'un segment (route) »

Pour vérifier le fonctionnement de la fonction « temps de déplacement d'un segment » on va donner un exemple. On va définir les entrées avec les valeurs données par le tableau III.7 et on voit le résultat de simulation sur la figure III.23.

Tableau III.7 : les valeurs de données pour la simulation dela fonction « temps de déplacement d'un segment (route) ».

Données	Temps_depart	Vil_dep	Vil_arr	Distance	Nbre_rep	Position _vitesse
Les valeurs	u=11 :30 :14	1	7	700	2	0

Si le conducteur est on point 1 à l'instant u=11 :30 :14 alors le temps de déplacement dans le segment [1 7] est 153s



Le temps de déplacement : 153 s

Figure III.23 : résultat de simulation de la fonction « temps de déplacement d'un segment » sous MODELSIM.

V. Entête du code VHDL

L'entête du code VHDL de notre problème peut être donné ci-dessous.

```
entityplus_rapide_cheminis
   port (clk,rst:std_logic;
temps_depart:invect;
point_depart,point_arrive,rayon:in integer;
distance:inram_long;
lamda:inram_lamda;
vitesse:inram_vit;
repetition_vitesse:inrep;
coordonnees:in matrice_1;
rond_point:in rond;
indice:inram_lamda;
chemin_rapide:out mot_1;
temps_deplacement:out integer;
heure_arrive:outena);
endplus_rapide_chemin;
```

Où les entrées:

Clk : Fréquence choisie de 40MHz. Cette fréquence peut changer selon la carte FPGA cible.

Rst : Le signal Reset permet d'initialiser tous les signaux et plaçant le système dans son état initial, cette entrée est de type std_logic.

Et les autres entrées et sorties ont été déjà présentées.

VI. Résultats de simulation

Le fichier de simulation de circuit « **plus_rapide_chemin**» est compilé à l'aide de l'outil ModelSim.

Dans tous les exemples de simulation les entrées suivantes sont des mémoires (voir annexe 2) : « distance », « lamda », « vitesse », « repitition_vitesse », « coordonnees », « rond_point », « indice ».

Pour vérifier le fonctionnement de notre programme on va donner 3 exemples.

VI .1.Exemple1

On va définir les entrées par les valeurs du tableau III.8 et les résultats de simulation sont donnés par la figure III.24.

Tableau III.8 : les valeurs de données pour la simulation d'exemple 1.

Donnée	**Point de départ**	**Point d'arrivée**	**Rayon**	**Le temps de départ**
Valeur	1	17	500	11 : 30 : 14

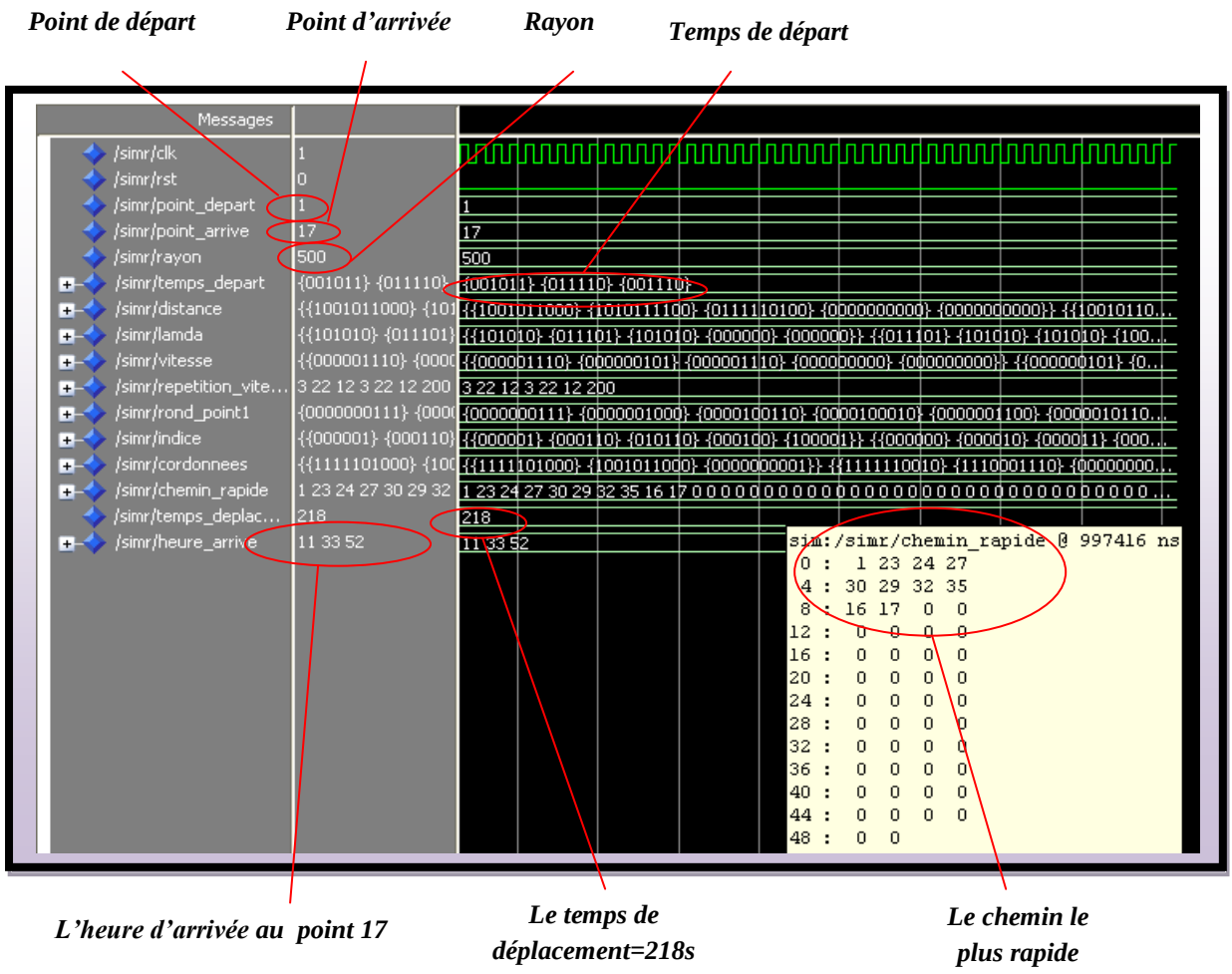


Figure III.24 : résultat de la simulation d'exemple1 sous MODELSIM.

VI.2.Exemple2

Dans cet exemple on va montrer l'objectif principal de notre travail où on a deux chemins courts entre deux points, le première court point vue temps et le deuxième court point vue distance.

On va définir les entrées par les valeurs du tableau III.9 et les résultats de simulation sont donnés par la figure III.25.

Tableau III.9 : les valeurs de données pour la simulation d'exemple 2.

Donnée	Point de départ	Point d'arrivée	Rayon	Le temps de départ
Valeur	1	8	650	11 : 30 : 14

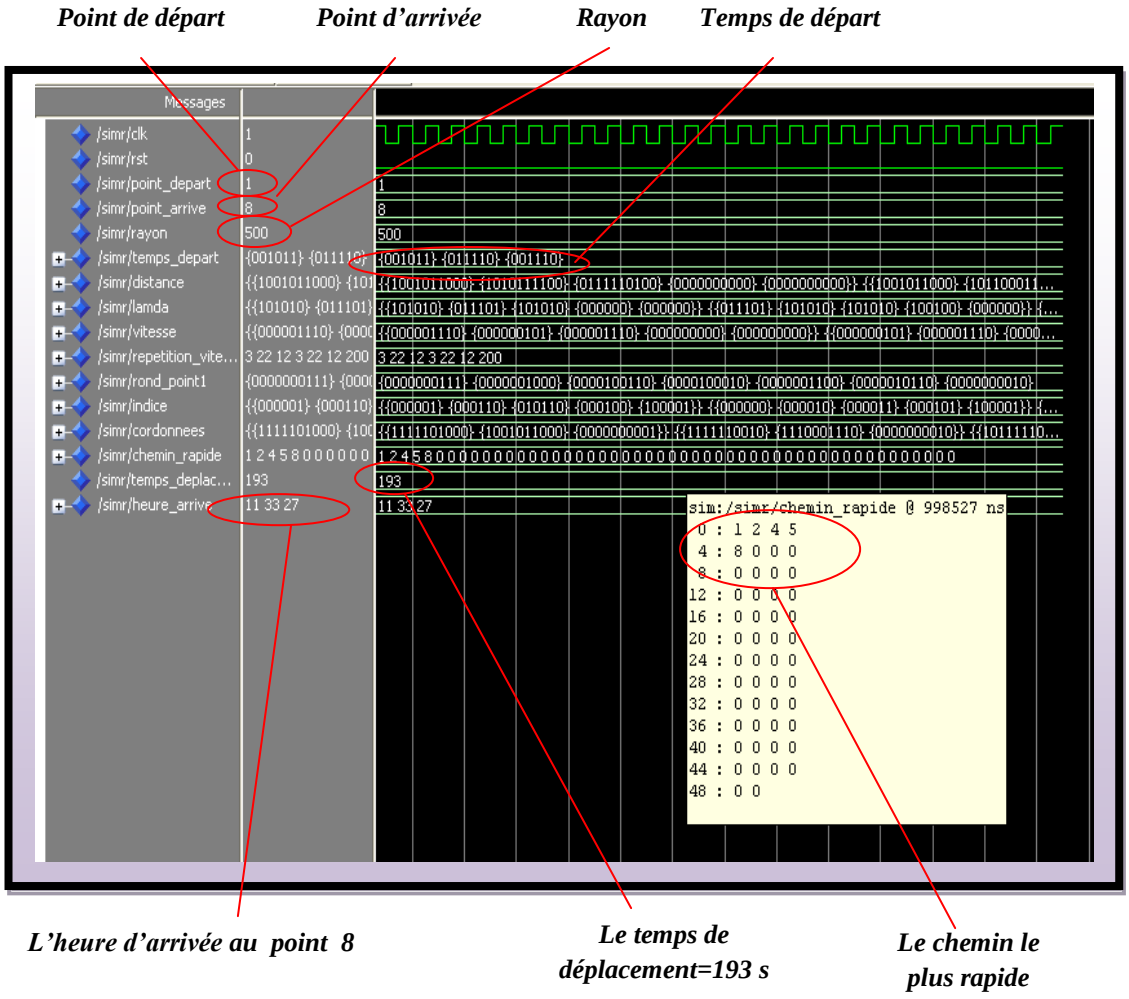


Figure III.25 : résultat de la simulation d'exemple2 sous MODELSIM.

L'exemple 2 montre bien l'objectif de notre travail qu'est l'obtenir de plus rapide chemin point de vue temps entre deux nœuds dans un réseau routier, malgré le chemin « 1 7 8 » est plus court que le chemin « 1 2 4 5 8 » en terme de distance mais ce dernier est plus rapide en point de vue temps car dans le chemin « 1 7 8 » il y'a plus de congestion dans le trafic d'automobile que le chemin « 1 2 4 5 ». .

VI .3.Exemple 3

Dans cet exemple on va montrer l'effet de la zone de recherche pour déterminer le plus rapide chemin entre deux points.

1. On va définir les entrées par les valeurs du tableau III.10 et les résultats de simulation sont donnés par la figure III.26.

Tableau III.10 : les valeurs de données pour la simulation d'exemple 3.1.

Donnée	**Point de départ**	**Point d'arrivée**	**Rayon**	**Le temps de départ**
Valeur	16	9	400	11 : 30 : 14

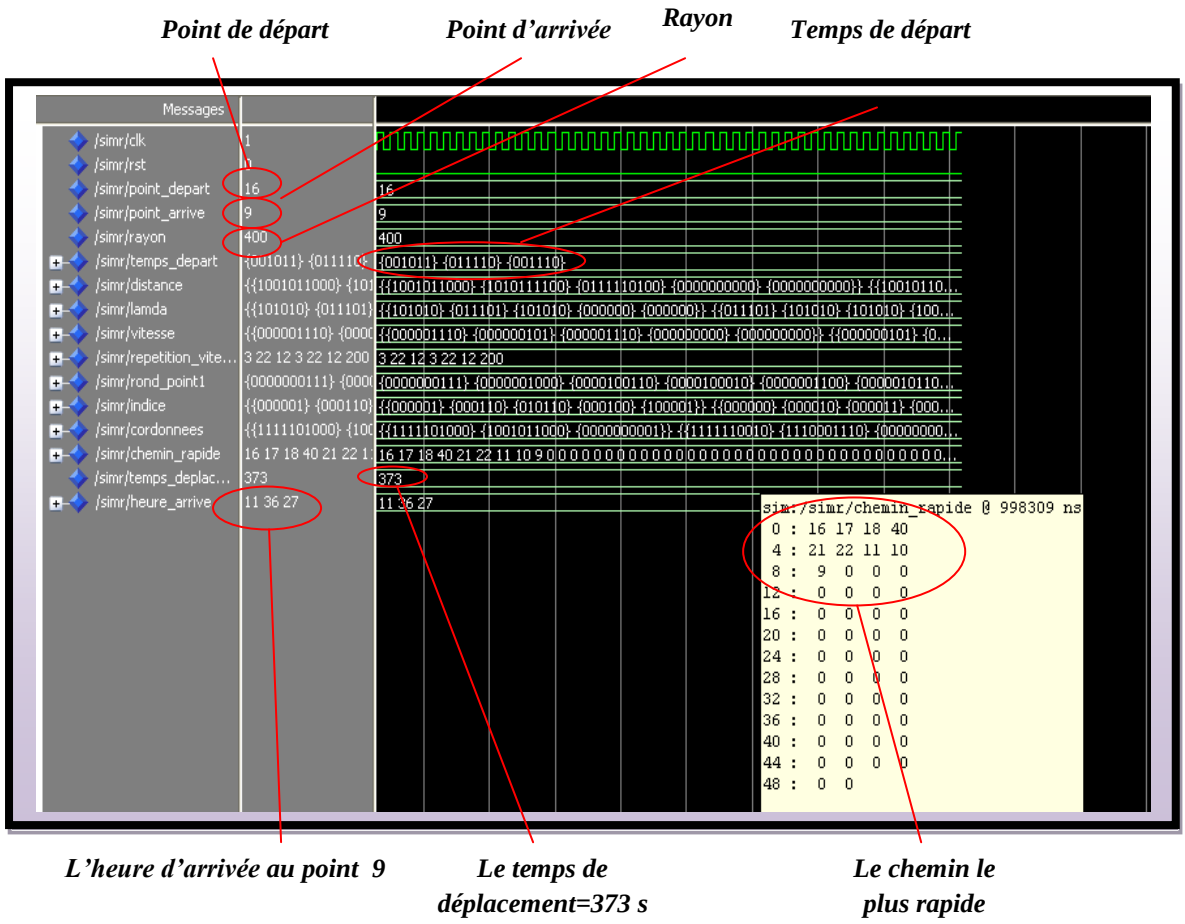


Figure III.26 : résultat de la simulation d'exemple 3.1 sous MODELSIM.

2. On va définir les entrées par les valeurs du tableau III.11 et les résultats de simulation sont donnés par la figure III.27.

Tableau III.11 : les valeurs de données pour la simulation d'exemple 3.2.

Donnée	**Point de départ**	**Point d'arrivée**	**Rayon**	**Le temps de départ**
Valeur	16	9	800	11 : 30 : 14

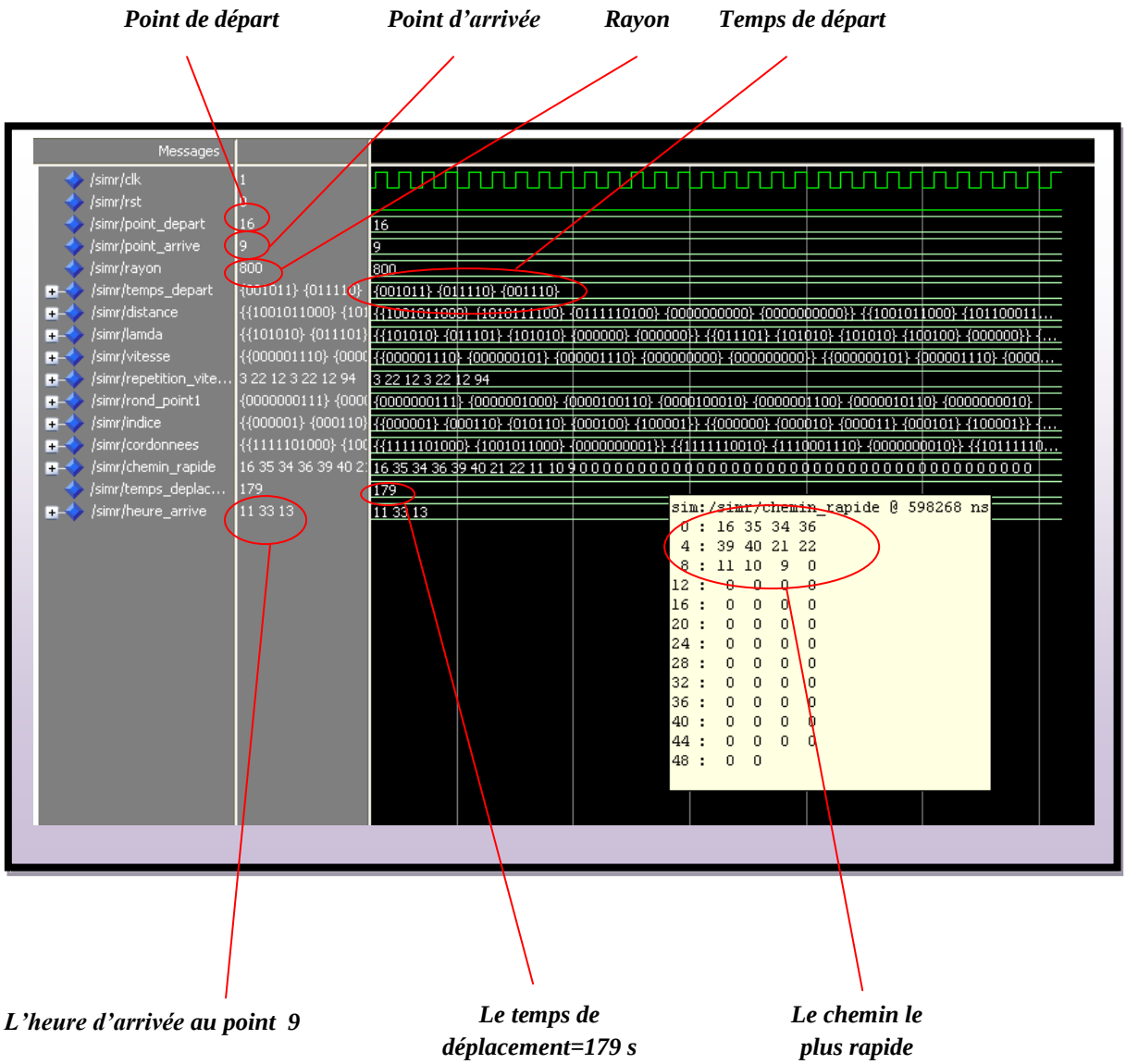


Figure III.27 : résultat de la simulation d'exemple 3.2 sous MODELSIM.

L'exemple 3.1 ainsi que l'exemple 3.2 montre bien l'effet de choisir la valeur de rayon pour déterminer la zone de recherche, donc si les nœuds inclus dans la zone de recherche augmentent alors la possibilité de trouver le plus rapide chemin augmente aussi.

Pour valider notre modèle VHDL de routage de véhicules (système d'acheminement), nous avons comparé et validé nos résultats de simulation avec ceux obtenus de manière fonctionnelle sous le logiciel MATLAB (voir chapitre II). Les détails de comparaison sont donnés par le tableau III.12.

Tableau III.12 : Tableau des résultats de simulation en MATLAB et VHDL.

	MATLAB			**VHDL**		
	Chemin le plus rapide	***Temps de déplacement***	***L'heure d'arrivée***	***Chemin le plus rapide***	***Temps de déplacement***	***L'heure d'arrivée***
Exemple 1	***[1 23 24 27 30 29 32 35 16 17]***	***218 s***	***11 33 52***	***[1 23 24 27 30 29 32 35 16 17]***	***218 s***	***11 33 52***
Exemple2	***[1 2 4 5 8]***	***193 s***	***11 33 27***	***[1 2 4 5 8]***	***193 s***	***11 33 27***
Exemple3. 1	***[16 17 18 40 21 22 11 10 9]***	***373 s***	***11 3627***	***[16 17 18 40 21 22 11 10 9]***	***373 s***	***11 3627***
Exemple3. 2	***[16 35 34 36 39 40 21 22 11 10 9]***	***177 s***	***11 33 11***	***[16 35 34 36 39 40 21 22 11 10 9]***	***179 s***	***11 33 13***

VII .Link for ModelSim

Link for ModelSim est une boîte à outils fournie par MathWorks dans l'environnement MATLAB/Simulink. Elle constitue une interface de cosimulation bidirectionnelle entre MATLAB/Simulink et le simulateur HDL ModelSim de Mentor Graphics (voir la Figure III.28). La communication entre les deux environnements est réalisée par ***sockets*** ou par ***mémoire partagée***. Avec cette interface, la modélisation des composants, le test, la vérification système, et l'analyse des résultats est réalisée au niveau des environnements (MATLAB/Simulink & ModelSim). La cosimulation est instantanée et continue pendant le temps de simulation. Cette interface permet l'intégration de code HDL automatiquement dans le système à modéliser, ce qui élimine les erreurs et le temps liés aux méthodes manuelles.

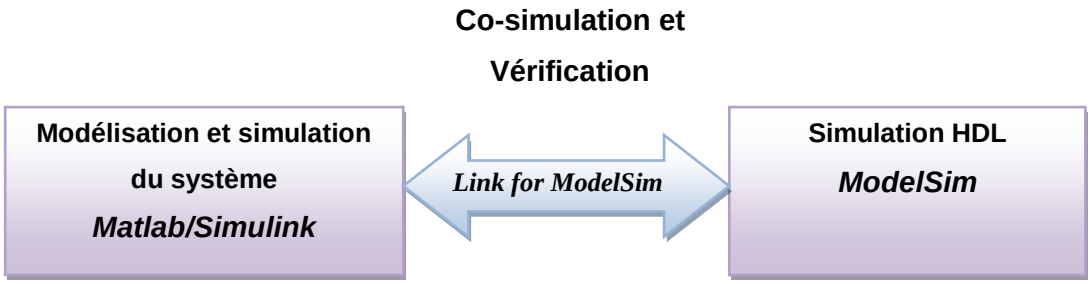


Figure III.28: Interface Link for ModelSim/MATLAB/SIMULINK.

On va tester le fonctionnement de l'outil link for ModelSim à travers les mêmes exemples, les entrées « distance, lamda, vitesse, repetition_vitesse, coordonnées, rond_point, indice » sont considérées comme des données internes et les autres entrées sont considérées comme des entrées externes.

Dans les figures III.29, III.30, III.31, on va présenter les résultats de simulation des 3 exemples.

Exemple1 : on va définir les entrées par les valeurs suivantes :

Temps de départ=11 :30 :14, le point de départ=1, le point d'arrivée=17 et rayon=500

Le résultat de simulation est donné par la figure III.29.

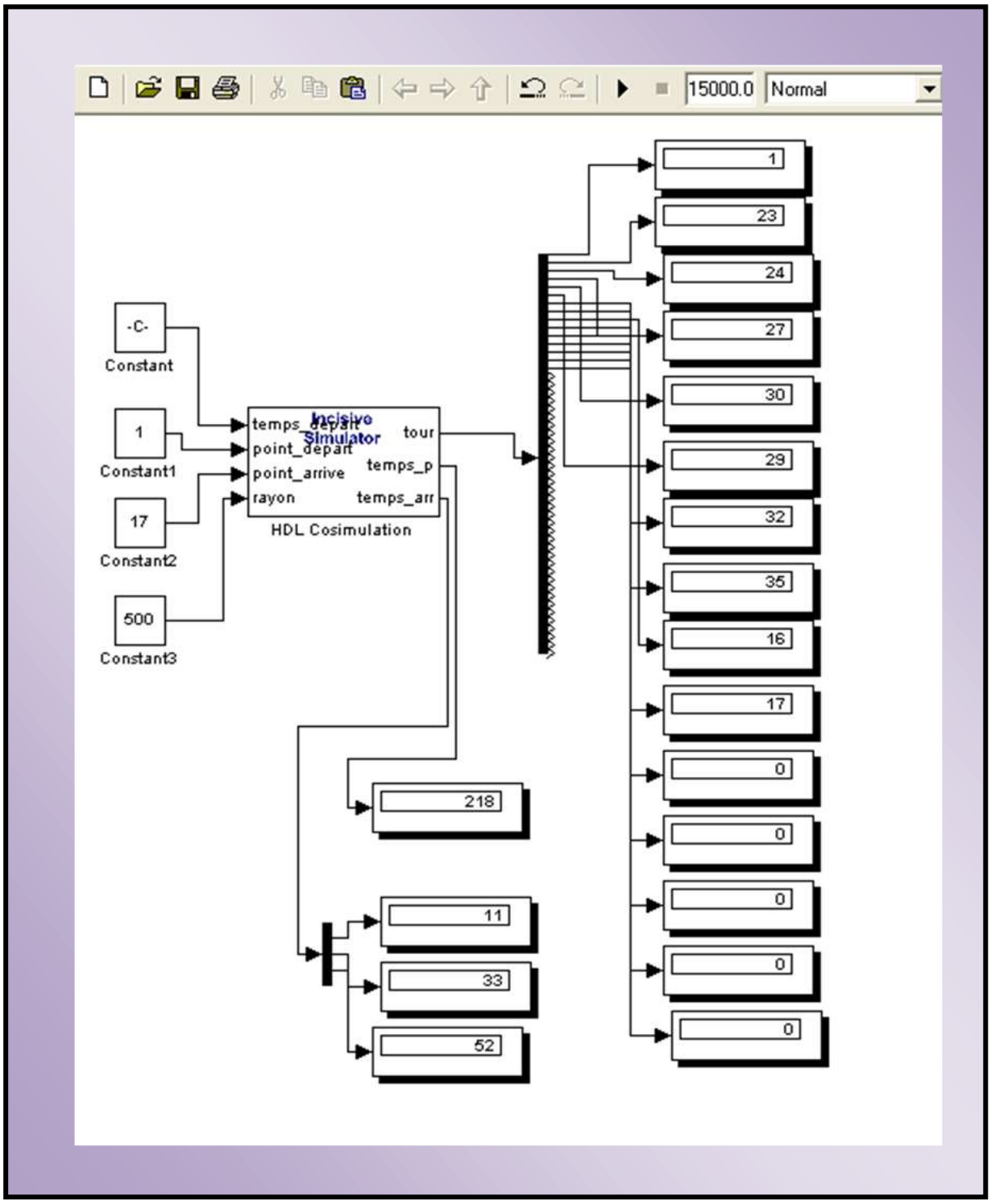


Figure III.29 : résultat de la simulation d'exemple 1 sous Simulink/ ModelSim.

Exemple2 : on va définir les entrées par les valeurs suivantes :

Temps de départ=11 :30 :14, le point de départ=1, le point d'arrivée=8 et rayon=650.

Le résultat de simulation est montré dans la figure III.30.

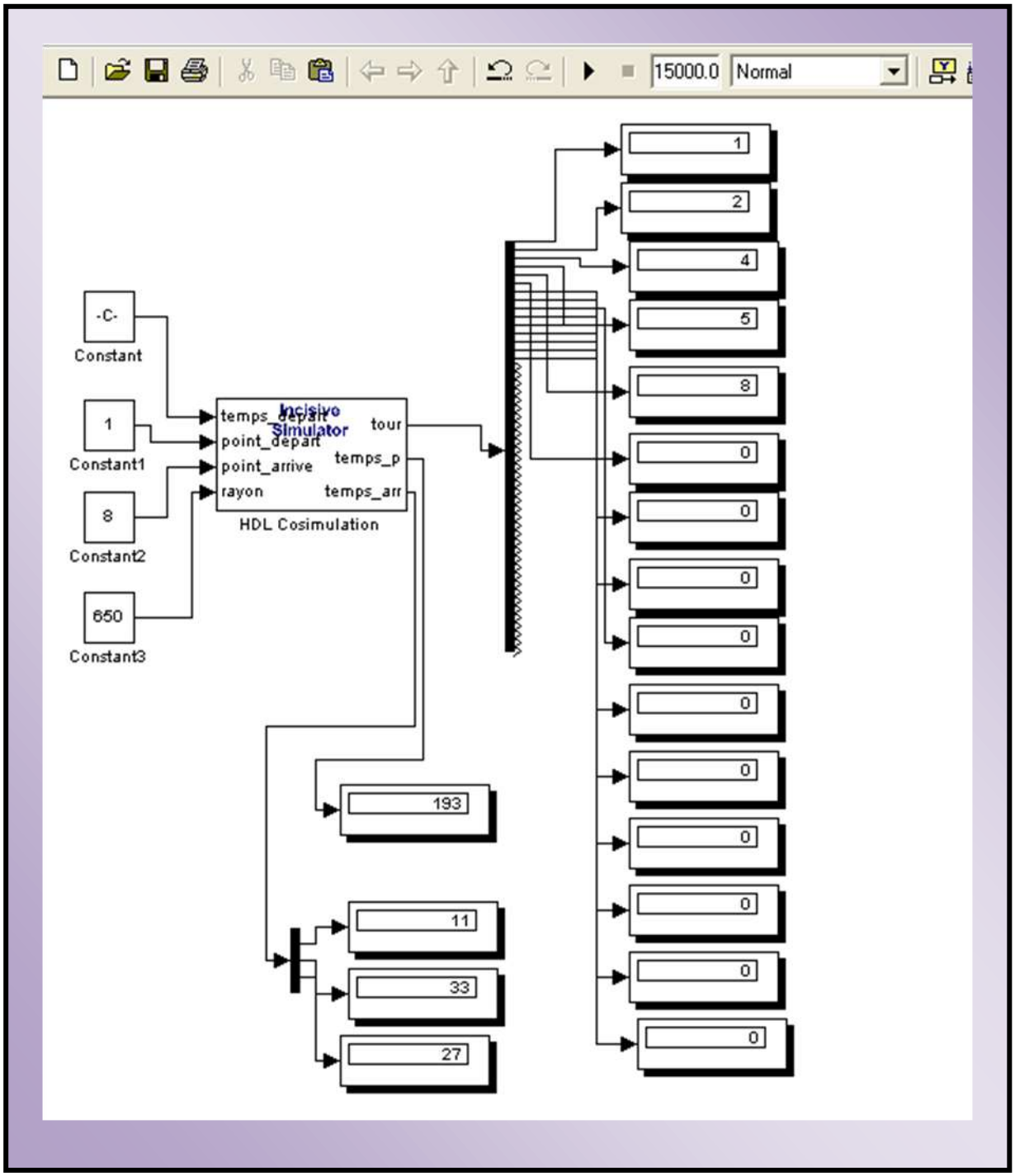


Figure III.30 : résultat de la simulation d'exemple 2 sous Simulink/ ModelSim.

Exemple3 : on donne aux entrées les valeurs suivantes :

Temps de départ=11 :30 :14, le point de départ=16, le point d'arrivée=9 et rayon=800.

Le résultat de simulation est montré dans la figure III.31.

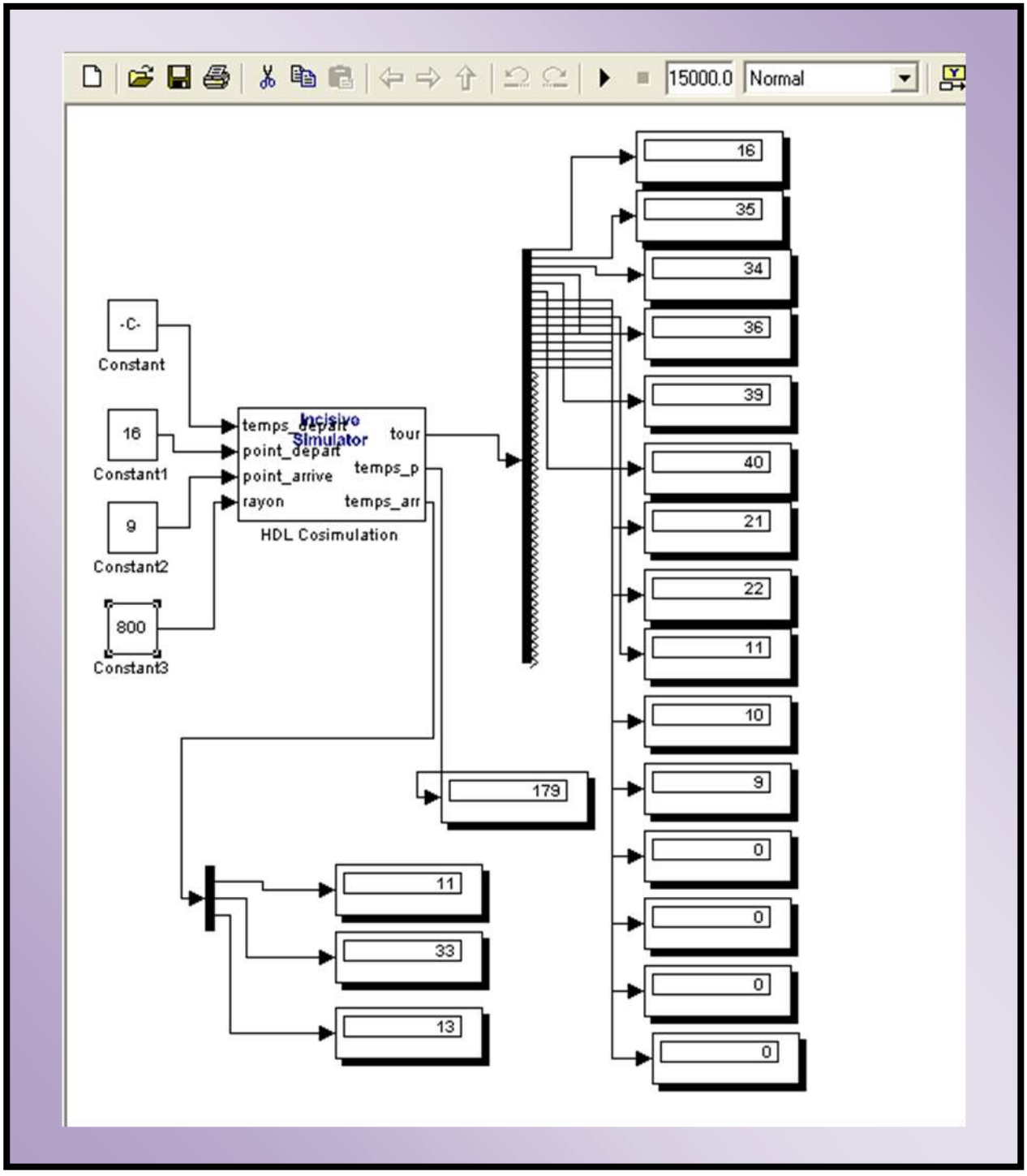


Figure III.31: résultat de la simulation d'exemple 3 sous Simulink/ ModelSim.

On remarque que les résultats de ces exemples sont identiques à celle obtenues par la simulation sous ModelSim.

VIII. Conclusion

Dans ce chapitre on a vu l'implémentation de système d'acheminement des véhicules (routage) sur VHDL et les résultats obtenus sont identiques à ceux obtenus sous le logiciel MATLAB. On a trouvé des difficultés pour passer de modélisation mathématique de système d'acheminement de véhicules à la modélisation sur VHDL surtout dans les tailles des matrices utilisées et les équations mathématiques.

Dans notre projet la machine d'état est plus adaptée et elle est la meilleure solution pour résoudre notre problématique.

Conclusion Générale

Une partie d'un système intelligent pour l'acheminement d'un conducteur au point désiré en moins de temps possible a été développé.

Pour arriver à cette fin, une étude théorique sur les réseaux routiers et leur gestion était nécessaire. Le problème traité a été transformé en un problème d'optimisation et enfin adapté à une implémentation VHDL.

Ce travail ne s'est pas fait sans difficultés. En effet, il a fallu prendre connaissance de l'étendue des différents domaines qui font l'objet de cette étude. Tout d'abord, le domaine de gestion de trafic routier ensuite la proposition d'un algorithme qui nous permet de déterminer le plus court chemin entre deux points en point vue temps.

Dans ce projet on a abordé la modélisation mathématique de notre problématique ensuite on a validé ce modèle par l'utilisation de logiciel MATLAB. Après on a vu l'implémentation de système d'acheminement des véhicules (routage) sur VHDL qui a également été une tache très délicate. Notre travail est basé surtout sur des équations mathématiques et des calculs où beaucoup de difficultés pour implémenter ce modèle sur VHDL.

L'algorithme développé a été testé sur une partie de réseau routier de la ville du Médéa, les tests effectués fournissent de bons résultats qui sont presque identiques à ceux de MATLAB.

Donc l'objectif principal de notre projet est de trouver le plus rapide chemin entre deux points dans un réseau routier et ce travail rendue dans le domaine de système de transport intelligent.

Notre travail présente beaucoup d'avantages :

- Alléger la circulation dans un réseau routier.
- Donner plus de confort au conducteur.
- Organiser le trafic routier.
- Modularité du système conçu ou il peut être appliqué à n'importe quel autre réseau routier, il suffit de remplacer une mémoire.

Comme perspectives, à court termes pourquoi pas prendre le réseau routier de la ville de Médéa et ensuite à toutes les villes de l'Algérie. À moyen termes, ce serait très intéressant d'embarquer tous ou presque tous les sous-systèmes du STI proposé en un seul circuit.

Références Bibliographiques

[1] Daniel Vieczorek ,"Camillo Sitte et les débuts de l'urbanisme moderne",Office des publications universitaires ,Alger,1984.

[2] Aziz boutakaoua ,"transport des etudiants",diplome universitaire technologique,école supérieure de technologie de casablanca , 2008

[3] Sébastien Faye , " Contrôle du trafic routier urbain par un réseau fixe de capteurs sans fil",deuxième version,Février 2011.

[4] Mounir BOUSSEDJRA, Christelle BLOCH, Abdellah EL MOUDNI, "SOLUTION OPTIMALE POUR LA RECHERCHE DU MEILLEUR CHEMIN INTERMODAL",“Organisation et Conduite d'Activités dans l'Industrie et les Services”,MOSIM'03 – du 23 au 25 avril 2003 - Toulouse (France)

[5] Jean-Christophe ROY, " UTILISATION D'INTERNET DANS LA GESTION DU TRAFIC",rapport scientifique ,29 juin 2009.

[6] Jean-Jacques Duby, "Système de transports", 2000, source : http://www.evariste.org/100tc/D3-Transp-Determ-Maux.html, dernière date de consultation : 22/06/2012.

[7] Serigne Gueye, Claude Yugma, Blaise Somé, "Modèles Mathématiques et Algorithmes pour la Gestion du Trafic Routier" ,[Université du Havre, Ecole de Mines de Saint-Etienne, Université d'Ouagadougou],rapport scientifique, 2007.

[8] "Meilleure gestion du système" de la réunion ministérielle de Sofia des 30-31 mai 2007. Rapport scientifique.

[9] Banquemondiale, Impact of Better Traffic Management,2002.

[10] UK National Audit Office (2004) intitulé: Tackling congestion by making better use of England's motorways and trunk roads, rapport scientifique.

[11] Jeff Paniati"Operational Solutions to Traffic Congestion",Public Roads,rapport scientifique, (novembre/décembre, 2004).

[12] California Center Forinnovative Transport, http://www.calccit.org, dernière date de consultation : 22/06/2012.

[13] Jean-Christophe ROY, " UTILISATION D'INTERNET DANS LA GESTION DU TRAFIC",rapport scientifique, 29 juin 2009.

[14] Equipements électroniques de haute technologie dans la gestion et le comptage du trafic routier et la transmission de données par radio IP, http://www.magsys.net/ (capteur de trafic Traffic Master), dernière date de consultation : 22/06/2012.

[15] ElectronicIntegratedSystems, http://www.rtms-by-eis.com (capteurs RTMS), dernière date de consultation : 22/06/2012.

[16] Neavia, http://www.neavia.com , dernière date de consultation : 22/06/2012.

[17] David Simplot-Ry, l'architecture du réseau GSM ", 2004, source : http://interstices.info/ l'architecture du réseau GSM, dernière date de consultation : 22/06/2012.

[18] Swov, Leidschendam, "Intelligents Transport Systems (ITS) and road safety", the Netherlands, Institute for Road Safety research, juin 2008.

[19] Centre de prospective et de vielle scientifique, ''L'ITS aux Etats-Unis et au japon dans le domaine du transport : Innovation technologique et société', Etude de l'agence pour la diffusion de l'information technologique, juillet 2003.

[20] Nouvier, ''Sécurité routière et télématique : où sommes-nous'', CERTU, 20 novembre 2000.

[21] Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE),'' sécurité routière : L'impact des nouvelles technologies, 2003.

[22] Richard Bellman, "Dynamic Programming", Dover Publications, N.Y., USA, 2003.

Annexe 1

On va présenter tous les données qui utilisé pour l'implémentation du système d'acheminement de véhicules en langage MATLAB.

I .Matrice de distance entre les nœuds

C'est une matrice de taille (50,50) contenant les distances entre les nœuds de réseau routier, ces valeurs de distance sont calculées selon l'echelle indiqué dans le navigateur google map.

Distance=[0 600 0 0 0 0 700 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 500 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

600 0 710 250 0 250 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 710 0 0 483 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 250 0 0 400 267 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 483 400 0 0 0 300 350 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 267 0 0 150 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

700 400 0 0 0 0 0 567 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 350 0 567 0 0 400 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 150 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 350 0 0 0 0 200 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 400 200 0 150 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 150 0 100 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 100 0 200 0 0 0 0 0 200 276 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 200 0 283 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 283 0 400 0 0 0 200 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 400 0 133 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 133 0 160 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 150 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 160 0 200 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 200 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 50 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 200 0 0 0 267 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 276 0 0 0 0 0 0 0 0 100 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 83 0 100 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 67 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 150 0 0 317 0 0 0 0 0 0 0 0 100 100 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

500 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 150 83 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 150 0 133 0 67 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 83 133 0 67 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 67 0 133 83 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 133 0 0 0 150 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 83 0 0 133 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 133 0 67 0 300 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 150 0 67 0 350 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 350 0 150 133 0 0 0 0 0 0 0 233 0 0 0 0 0 0 50 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 300 0 0 0 0 0 200 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 133 0 0 83 0 0 0 0 0 0 150 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 83 0 200 67 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 150 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 200 0 200 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 67 0 0 100 0 150 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 100 0 100 0 0 100 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 100 0 83 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 150 0 83 0 117 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 50 0 0 67 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 117 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 150 0 0 0 100 0 0 0 0 100 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 233 0 0 0 0 0 0 0 0 0 100 0 117 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 83 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 117 0 67 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 67 0 67 0 0 0 0 133

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 67 0 50 0 0 150 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 50 0 233 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 233 0 50 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 50 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 50 0 33 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 150 0 0 33 0 33

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 133 0 0 0 0 33 0]

II. Matrice de coordonneés des nœuds

C'est une matrice de taille (50,3) contenant les coordonneés de chaque nœud de réseau routier.

Coordonneés =

[1000 600 1
1010 910 2
760 1020 3
920 880 4
520 1000 5
1000 700 6
980 580 7
500 700 8
200 960 9
180 760 10
180 600 11
140 540 12
10 440 13
200 160 14
0 0 15
60 560 16
520 160 17
400 400 18
240 360 19
360 520 20
420 420 21
420 600 22
1020 180 23
1018 260 24
1020 300 25
1018 160 26
1018 180 27
1018 85 28
1010 90 29
1010 140 30
860 250 31
860 130 32
760 320 33
710 310 34
710 90 35
710 360 36
715 460 37
620 500 38
560 440 39
400 440 40
760 460 41
850 460 42
1000 470 43
1000 440 44
1008 380 45
1008 340 46
1000 240 47
940 300 48
1000 350 49
960 400 50]

III. Vecteur de rond-point

C'est un vecteur contenant tous les nœuds qui sont considérés comme rond-point.

Rond-point=[7 8 38 34 12 22 2]

IV. Matrice de lamda

C'est une matrice de taille (50,50) contenant les valeurs de facteur d'ajustement de temps dans tous les arcs (routes) de réseau routier.

Lamda=

[inf 1.3125 0 0 0 0 0.90625 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.3125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0.90625 inf 1.3125 1.3125 0 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0.90625 0 inf 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 1.3125 0 inf 1.3125 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 1 1.3125 inf 0 0 1 0.90625 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 1.3125 0 inf 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0.90625 1.125 0 0 0 0 inf 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 1.125 0 0.90625 inf 0 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.90625 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0.90625 0 0 0 inf 1.3125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 1.125 1.125 inf 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 inf 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 inf 1.125 0 0 0 0 0 0.90625 0.90625 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 inf 0.90625 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.90625 inf 1.125 0 0 0 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.90625 inf 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 inf 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.90625 inf 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.8125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 0 0 0 0.8125 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.90625 0 0 0 0 0 0 0 inf 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 inf 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.8125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0.8125 0 0 0.8125 0 0 0 0 0 0 0 0 0.8125 1 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 inf 1.125 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 inf 1 0 0.90625 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 1 inf 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 inf 1 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 inf 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 0 inf 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 inf 1 0 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 inf 0.90625 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 inf 1.125 0.90625 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 0 0 inf 0 0 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.90625 0 inf 1 0 0 0 0 0 0 0.90625 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 inf 1.125 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 0 1.125 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 0 inf 1.125 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 inf 1.125 0 0 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 inf 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.90625 0 1.125 inf 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.8125 0 0 0.90625 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 0 0 0 1.125 0 0 0 inf 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 inf 1.125 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 inf 1.125 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.90625 inf 1.125 0 0 0 0 1

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.90625 inf 0.90625 0 0 1 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.90625 inf 1.125 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 inf 0.90625 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.90625 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.90625 inf 1 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.125 0 0 1 inf 1

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 inf]

V. Matrice de vitesse de la semaine passée

C'est une matrice de taille (8400,50) contenant les valeurs de la vitesse de la semaine passée, on va donner les vitesses pendant 40s seulement.

Vitesse=[inf 14 0 0 0 0 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

5 inf 14 11 0 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 10 inf 0 8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 14 0 inf 14 13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 8 14 inf 0 0 8 12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 14 0 inf 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

9 11 0 0 0 0 inf 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 13 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 10 0 9 inf 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 9 0 0 0 inf 14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 10 13 inf 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 9 inf 8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 8 inf 10 0 0 0 0 0 9 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 9 inf 12 0 0 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 12 inf 8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 9 inf 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 inf 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 0 0 0 6 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 6 0 0 0 0 0 0 0 inf 0 8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 inf 8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 8 0 0 7 0 0 0 0 0 0 0 0 7 8 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 inf 14 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 13 0 12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 13 inf 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 13 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 13 inf 0 0 13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 0 inf 12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 inf 13 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 13 0 13 inf 12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 11 12 0 0 0 0 0 0 0 12 0 0 0 0 0 0 13 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 0 0 inf 0 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 12 0 inf 13 0 0 0 0 0 0 12 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 13 inf 9 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 0 10 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 0 inf 10 0 13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 10 0 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 inf 11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 12 0 11 inf 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4 0 0 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 13 0 0 0 10 0 0 0 inf 10 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 10 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 11 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 inf 12 0 0 0 0 11

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 inf 11 0 0 12 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 inf 11 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 inf 13 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 12 inf 13 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 0 0 13 inf 13

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 12 0 0 0 0 13 inf

inf 14 0 0 0 0 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

5 inf 14 11 0 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 10 inf 0 8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 14 0 inf 14 13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 8 14 inf 0 0 8 12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 14 0 inf 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

9 11 0 0 0 0 inf 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 13 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 10 0 9 inf 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 9 0 0 0 inf 14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 10 13 inf 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 9 inf 8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 8 inf 10 0 0 0 0 0 9 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 9 inf 12 0 0 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 12 inf 8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 9 inf 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 inf 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 0 0 0 6 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 6 0 0 0 0 0 0 0 inf 0 8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 inf 8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 8 0 0 7 0 0 0 0 0 0 0 0 7 8 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 inf 14 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 13 0 12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 13 inf 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 13 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 13 inf 0 0 13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 0 inf 12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 inf 13 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 13 0 13 inf 12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 11 12 0 0 0 0 0 0 12 0 0 0 0 0 0 13 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 0 0 inf 0 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 12 0 inf 13 0 0 0 0 0 0 12 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 13 inf 9 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 0 10 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 0 inf 10 0 13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 10 0 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 inf 11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 12 0 11 inf 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4 0 0 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 13 0 0 0 10 0 0 0 inf 10 0 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 12 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 10 0 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 inf 11 0 0 0 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 inf 12 0 0 0 0 11

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 inf 11 0 0 12 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 inf 11 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 inf 13 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 12 inf 13 0

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 0 0 13 inf 13

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 12 0 0 0 0 13 inf

…..

…..]

Annexe 2

I. Types de signaux utilisés

On va présenter dans le tableau 2.1 tous les types des signaux utilisés dans notre programme.

Tableau 2.1 : Tableau de type des signaux.

Type	Description
ena	array (0 to 2) of integer
k	Nombre de nœud dans le réseau routier =50
K1	Nombre des arcs d'un point (nœud)
lam	array (0 to (k1-1)) of unsigned(5 downto 0) (avec k1: nomber des arcs d'un point)
long	array (0 to (k1-1)) of unsigned(9 downto 0)
Long1	array (0 to (k1-1)) of unsigned(8 downto 0)
Mat	array (0 to 2) of unsigned (9 downto 0)
mat_1	array(0 to k-1)of unsigned(9 downto 0)
mat_2	array(0 to k-1)of unsigned(5 downto 0)
mat_5	array (0 to k-1)of mm
matrice_1	array (0 to k-1) of mat
matrice_2	array (0 to k-1) of mat_1
matrice_3_1	array(0 to k3-1) of mat_1 (avec k3:integer:=k*nb_rept)
matrice_lam	array (0 to k-1) of mat_2
mm	array (0 to ((k)*6-1))of integer
mot_1	array (0 to k-1)of integer
nb_rept	length(rep)
ram_lamda	array (0 to (k-1)) of lam
ram_long	array (0 to (k-1)) of long
ram_vit	array (0 to (k2-1))of long1(avec k2:integer:=k*7)

rep	array(0 to nb_rept-1)of integer
rond	array (0 to nb_rp-1)of unsigned (9 downto 0) (avec nb_rp: number rond point=7)
vect	array (0 to 2) of unsigned(5 downto 0)
Vecteur	array (0 to k-1) of unsigned (9 downto 0)

II. Les entrées de système d'acheminement de véhicules

On va présenter tous les données qui utilisé pour l'implémentation du système d'acheminement de véhicules en langage VHDL.

II.1.Matrice de rom_indic

C'est une matrice de taille (50,5) contenant les arcs de chaque nœud de réseau routier et chaque valeur est codée sur 6 bits.

Rom_indic=
(("000001","000110","010110","000100","100001"),
("000000","000010","000011","000101","100001"),
("000001","000100","000101","001000","100001"),
("000001","000100","000101","000111","100001"),
("000010","000011","000111","001000","100001"),
("000011","000110","000010","001000","100001"),
("000000","000001","000111","101010","100001"),
("000100","000110","001001","010101","100001"),
("000100","001001","000100","000010","100001"),
("000111","001000","001010","010100","100001"),
("001001","001011","000100","000101","100001"),
("001010","001100","010010","010011","100001"),
("001011","001101","001111","000100","100001"),
("001100","001110","010010","010100","100001"),
("001101","001111","000100","000011","100001"),

("001110","010000","100010","000100","100001"),

("001111","010001","000100","000011","100001"),

("010000","100111","001000","000011","100001"),

("001101","010001","000110","000010","100001"),

("001011","010101","000010","000100","100001"),

("010011","010101","100111","000010","100001"),

("000111","001010","010011","010100","100001"),

("000000","010111","011000","001000","100001"),

("010110","011000","011010","000101","100001"),

("010110","010111","011001","000101","100001"),

("011000","011010","011011","011101","100001"),

("011001","011101","000001","000100","100001"),

("011001","011100","000100","000011","100001"),

("011011","011101","011111","000100","100001"),

("011010","011100","011110","000100","100001"),

("011101","011111","100000","101001","101111"),

("011100","100010","000100","001000","000011"),

("011110","100001","101000","000100","000011"),

("100000","100010","100011","000100","000011"),

("001111","011111","100001","000100","000011"),

("100001","100100","100110","000100","000011"),

("100011","100101","101000","000100","000011"),

("100100","100110","000100","000011","000010"),

("100011","100101","100111","000100","000011"),

("010001","010100","100110","000100","000011"),

("100000","100100","101001","000100","000011"),

("011110","101000","101010","000100","000011"),

("000110","101001","101011","000100","000011"),

("101010","101100","110001","000100","000011"),

```
("101011","101101","110000","000100","000011"),
("101100","101110","000100","000011","000010"),
("101101","101111","000100","000011","000010"),
("011110","101110","110000","000100","000011"),
("101100","101111","110001","000100","000011"),
("101011","110000","000100","000011","000010"));
```

II.2.Matrice de rom_vitesse

C'est une matrice de taille (350,5) contenant les valeurs de vitesse de chaque 20s de la semaine passée dans tous les arcs et chaque valeur est codée sur 9 bits. On va donner les vitesses pendant 40s seulement.

```
Rom_vitesse=
(("000001110","000000101","000001110","000000000","000000000"),
("000000101","000001110","000001011","000001001","000000000"),
("000001010","000001000","000000000","000000000","000000000"),
("000001110","000001110","000001101","000000000","000000000"),
("000001000","000001110","000001000","000001100","000000000"),
("000001110","000001001","000000000","000000000","000000000"),
("000001001","000001011","000001010","000001101","000000000"),
("000001010","000001001","000001010","000001001","000000000"),
("000001001","000001110","000000000","000000000","000000000"),
("000001010","000001101","000001001","000000000","000000000"),
("000001001","000001000","000000000","000000000","000000000"),
("000001000","000001010","000001001","000000110","000000000"),
("000001010","000001001","000000000","000000000","000000000"),
("000001001","000001100","000001010","000000000","000000000"),
("000001100","000001000","000000000","000000000","000000000"),
("000001001","000000100","000001010","000000000","000000000"),
("000000011","000000011","000000000","000000000","000000000"),
```

```
("000000011","000000100","000000000","000000000","000000000"),
("000001011","000000110","000000000","000000000","000000000"),
("000000110","000001000","000000000","000000000","000000000"),
("000001011","000001000","000000101","000000000","000000000"),
("000001000","000000111","000000111","000001000","000000000"),
("000001010","000001110","000001001","000000000","000000000"),
("000001010","000001101","000001100","000000000","000000000"),
("000001010","000001101","000001001","000000000","000000000"),
("000001010","000001101","000001001","000000000","000000000"),
("000001101","000001101","000000000","000000000","000000000"),
("000001010","000001100","000000000","000000000","000000000"),
("000001011","000001101","000001010","000000000","000000000"),
("000001101","000001101","000001100","000000000","000000000"),
("000001010","000001011","000001100","000001100","000001101"),
("000001010","000001010","000000000","000000000","000000000"),
("000001100","000001101","000001100","000000000","000000000"),
("000001101","000001001","000001010","000000000","000000000"),
("000001010","000001011","000001010","000000000","000000000"),
("000001010","000001010","000001101","000000000","000000000"),
("000001010","000001010","000001010","000000000","000000000"),
("000001011","000001011","000000000","000000000","000000000"),
("000001100","000001011","000001001","000000000","000000000"),
("000000100","000000110","000001010","000000000","000000000"),
("000001101","000001010","000001010","000000000","000000000"),
("000001100","000001010","000001010","000000000","000000000"),
("000000111","000001010","000001011","000000000","000000000"),
("000001011","000001100","000001011","000000000","000000000"),
("000001011","000001011","000001100","000000000","000000000"),
("000001011","000001011","000000000","000000000","000000000"),
("000001011","000001101","000000000","000000000","000000000"),
```

("000001100","000001101","000001101","000000000","000000000"),
("000001011","000001101","000001101","000000000","000000000"),
("000001100","000001101","000000000","000000000","000000000"),
("000001100","000000100","000001011","000000000","000000000"),
("000000101","000001101","000001011","000001000","000000000"),
("000001010","000001000","000000000","000000000","000000000"),
("000001110","000001100","000001101","000000000","000000000"),
("000001000","000001010","000000101","000001010","000000000"),
("000001110","000000110","000000000","000000000","000000000"),
("000000110","000001001","000001000","000001011","000000000"),
("000000111","000001001","000001010","000001001","000000000"),
("000001001","000001011","000000000","000000000","000000000"),
("000001010","000001101","000001001","000000000","000000000"),
("000001001","000001000","000000000","000000000","000000000"),
("000001000","000001010","000001000","000000101","000000000"),
("000001010","000001001","000000000","000000000","000000000"),
("000001001","000001100","000001010","000000000","000000000"),
("000001100","000000110","000000000","000000000","000000000"),
("000001001","000000011","000001010","000000000","000000000"),
("000000011","000000001","000000000","000000000","000000000"),
("000000001","000000010","000000000","000000000","000000000"),
("000001011","000000110","000000000","000000000","000000000"),
("000000100","000000110","000000000","000000000","000000000"),
("000001011","000000110","000000100","000000000","000000000"),
("000000110","000000111","000000110","000000110","000000000"),
("000001000","000001110","000001000","000000000","000000000"),
("000001010","000001101","000001100","000000000","000000000"),
("000001010","000001011","000001001","000000000","000000000"),

```
("000001010","000001101","000001001","000000000","000000000"),
("000001101","000001101","000000000","000000000","000000000"),
("000001010","000001100","000000000","000000000","000000000"),
("000001011","000001101","000001010","000000000","000000000"),
("000001101","000001101","000001100","000000000","000000000"),
("000001010","000001011","000001100","000001100","000001101"),
("000001010","000001010","000000000","000000000","000000000"),
("000001100","000001101","000001100","000000000","000000000"),
("000001101","000001001","000001010","000000000","000000000"),
("000001010","000001011","000001010","000000000","000000000"),
("000001010","000001010","000001101","000000000","000000000"),
("000001010","000001010","000001010","000000000","000000000"),
("000001011","000001011","000000000","000000000","000000000"),
("000001100","000001011","000001001","000000000","000000000"),
("000000100","000000110","000001010","000000000","000000000"),
("000001101","000001010","000001010","000000000","000000000"),
("000001100","000001010","000001010","000000000","000000000"),
("000000111","000001010","000001011","000000000","000000000"),
("000001011","000001100","000001011","000000000","000000000"),
("000001011","000001011","000001100","000000000","000000000"),
("000001011","000001011","000000000","000000000","000000000"),
("000001011","000001101","000000000","000000000","000000000"),
("000001100","000001100","000001101","000000000","000000000"),
("000001011","000001101","000001101","000000000","000000000"),
("000001100","000001101","000000000","000000000","000000000"),
…..
…..);
```

II.3.Matrice de rom_lamda

C'est une matrice de taille (50,5) contenant les valeurs de facteur d'ajustement de temps dans les arcs (les routes) de réseau routier et chaque valeur est codée sur 6 bits.

Rom_lamda=
(("101010","011101","101010","000000","000000"),
("011101","101010","101010","100100","000000"),
("011101","100000","000000","000000","000000"),
("101010","101010","100000","000000","000000"),
("100000","101010","100000","011101","000000"),
("101010","100100","000000","000000","000000"),
("011101","100100","100100","100000","000000"),
("100100","011101","100100","011101","000000"),
("011101","101010","000000","000000","000000"),
("100100","100100","100100","000000","000000"),
("100100","100100","000000","000000","000000"),
("100100","100100","011101","011101","000000"),
("100100","011101","000000","000000","000000"),
("011101","100100","100100","000000","000000"),
("011101","100100","000000","000000","000000"),
("100100","100100","100100","000000","000000"),
("011101","100000","000000","000000","000000"),
("100000","011010","000000","000000","000000"),
("100010","011010","000000","000000","000000"),
("011101","100000","000000","000000","000000"),
("100000","100100","011010","000000","000000"),
("011010","011010","011010","100000","000000"),
("100100","100100","100100","000000","000000"),
("010100","100000","011101","000000","000000"),

```
("100100","100000","100100","000000","000000"),
("100100","100000","100100","000000","000000"),
("100000","100000","000000","000000","000000"),
("100100","100100","000000","000000","000000"),
("010100","100000","100100","000000","000000"),
("100000","100000","011101","000000","000000"),
("100100","100100","011101","100000","100000"),
("100100","100100","000000","000000","000000"),
("011101","100000","011101","000000","000000"),
("100000","100100","100100","000000","000000"),
("100100","100100","100100","000000","000000"),
("100100","100100","100100","000000","000000"),
("100100","100100","100100","000000","000000"),
("100100","100100","000000","000000","000000"),
("011101","100100","100100","000000","000000"),
("011010","011101","100100","000000","000000"),
("100100","100100","100100","000000","000000"),
("100100","100100","100100","000000","000000"),
("100000","100100","100100","000000","000000"),
("011101","100100","100000","000000","000000"),
("011101","011101","100000","000000","000000"),
("011101","100100","000000","000000","000000"),
("100100","011101","000000","000000","000000"),
("011101","011101","100000","000000","000000"),
("100100","100000","100000","000000","000000"),
("100000","100000","000000","000000","000000"));
```

II.4.Matrice de rom_distance

C'est une matrice de taille (50,5) contenant les valeurs de distances entre les nœuds de réseau routier et chaque valeur est codée sur 10 bits.

rom_distance=
(("1001011000","1010111100","0111110100","0000000000","0000000000"),
("1001011000","1011000110","0011111010","0011111010","0000000000"),
("1011000110","0111100011","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0011111010","0110010000","0100001011","0000000000","0000000000"),
("0111100011","0110010000","0100101100","0101011110","0000000000"),
("0100001011","0010010110","0000000000","0000000000","0000000000"),
("1010111100","0110010000","1000110111","0001010011","0000000000"),
("0101011110","1000110111","0110010000","0010010110","0000000000"),
("0101011110","0011001000","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0110010000","0011001000","0010010110","0000000000","0000000000"),
("0010010110","0001100100","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0001100100","0011001000","0011001000","0100010100","0000000000"),
("0011001000","0100011011","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0100011011","0110010000","0011001000","0000000000","0000000000"),
("0110010000","0010000101","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0010000101","0010100000","0010010110","0000000000","0000000000"),
("0010100000","0011001000","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0011001000","0000110010","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0011001000","0100001011","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0100010100","0001100100","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0001010011","0001100100","0001000011","0000000000","0000000000"),
("0010010110","0100111101","0001100100","0001100100","0000000000"),

```
("0111110100","0010010110","0001010011","0000000000","0000000000"),
("0010010110","0010000101","0001000011","0000000000","0000000000"),
("0001010011","0010000101","0001000011","0000000000","0000000000"),
("0001000011","0010000101","0001010011","0000000000","0000000000"),
("0010000101","0010010110","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0001010011","0010000101","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0010000101","0001000011","0100101100","0000000000","0000000000"),
("0010010110","0001000011","0101011110","0000000000","0000000000"),
("0101011110","0010010110","0010000101","0011101001","0000110010"),
("0100101100","0011001000","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0010000101","0001010011","0010010110","0000000000","0000000000"),
("0001010011","0011001000","0001000011","0000000000","0000000000"),
("0010010110","0011001000","0011001000","0000000000","0000000000"),
("0001000011","0001100100","0010010110","0000000000","0000000000"),
("0001100100","0001100100","0001100100","0000000000","0000000000"),
("0001100100","0001010011","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0010010110","0001010011","0001110101","0000000000","0000000000"),
("0000110010","0001000011","0001110101","0000000000","0000000000"),
("0010010110","0001100100","0001100100","0000000000","0000000000"),
("0011101001","0001100100","0001110101","0000000000","0000000000"),
("0001010011","0001110101","0001000011","0000000000","0000000000"),
("0001000011","0001000011","0010000101","0000000000","0000000000"),
("0001000011","0000110010","0010010110","0000000000","0000000000"),
("0000110010","0011101001","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0011101001","0000101100","0000000000","0000000000","0000000000"),
("0000101100","0000101100","0000100001","0000000000","0000000000"),
("0010010110","0000100001","0000100001","0000000000","0000000000"),
("0010000101","0000100001","0000000000","0000000000","0000000000"));
```

II.5.Vecteur de rond-point

C'est un vecteur contenant tous les nœuds qui sont considérés comme rond-point et chaque valeur est codée sur 10 bits

Rond-point= (("0000000111"),("0000001000"),("0000100110"),("0000100010"),

("0000001100"),("0000010110"),("0000000010"));

II.6.Matrice de coordonnées

C'est une matrice de taille (50,3) contenant les valeurs de coordonnées de chaque nœud de réseau routier et chaque valeur est codée sur 10 bits.

Coordonnées= (("1111101000","1001011000","0000000001"),
("1111110010","1110001110","0000000010"),
("1011111000","1111111100","0000000011"),
("1110011000","1101110000","0000000100"),
("1000001000","1111101000","0000000101"),
("1111101000","1010111100","0000000110"),
("1111010100","1001000100","0000000111"),
("0111110100","1010111100","0000001000"),
("0011001000","1111000000","0000001001"),
("0010110100","1011111000","0000001010"),
("0010110100","1001011000","0000001011"),
("0010001100","1000011100","0000001100"),
("0000001010","0110111000","0000001101"),
("0011001000","0010100000","0000001110"),
("0000000000","0000000000","0000001111"),
("0000111100","1000110000","0000010000"),
("1000001000","0010100000","0000010001"),
("0110010000","0110010000","0000010010"),
("0011110000","0101101000","0000010011"),
("0101101000","1000001000","0000010100"),

("0110100100","0110100100","0000010101"),

("0110100100","1001011000","0000010110"),

("1111111100","0010110100","0000010111"),

("1111111010","0100000100","0000011000"),

("1111111100","0100101100","0000011001"),

("1111111010","0010100000","0000011010"),

("1111111010","0010110100","0000011011"),

("1111111010","0001010101","0000011100"),

("1111110010","0001011010","0000011101"),

("1111110010","0010001100","0000011110"),

("1101011100","0011111010","0000011111"),

("1101011100","0010000010","0000100000"),

("1011111000","0101000000","0000100001"),

("1011000110","0100110110","0000100010"),

("1011000110","0001011010","0000100011"),

("1011000110","0101101000","0000100100"),

("1011001011","0111001100","0000100101"),

("1001101100","0111110100","0000100110"),

("1000110000","0110111000","0000100111"),

("0110010000","0110111000","0000101000"),

("1011111000","0111001100","0000101001"),

("1101010010","0111001100","0000101010"),

("1111101000","0111010110","0000101011"),

("1111101000","0110111000","0000101100"),

("1111110000","0101111100","0000101101"),

```
("1111110000","0101010100","0000101110"),
("1111101000","0011110000","0000101111"),
("1110101100","0100101100","0000110000"),
("1111101000","0101011110","0000110001"),
("1111000000","0110010000","0000110010"));
```

II.7.Vecteur de répétition de vitesse

C'est un vecteur contenant les valeurs de répétition de matrice de vitesse pour la compresser.

nb_reptition=(3,22,12,3,22,12,94);

III. Les entêtes des fonctions utilisées pour l'implémentatoin VHDL

- **Fonction de division**

  function divise (a : UNSIGNED; b : UNSIGNED) return UNSIGNED;

- **Fonction mise à jour sur le temps de depart [u t]**

  function M_temp(t:vect) return vect;

- **procedure qui return les coordonnées d'un point**

  procedure return_cord(C :in matrice_1;

  p : in unsigned (9 downto 0);

  variable x,y: out unsigned (9 downto 0));

- **Fonction qui determiner les nœuds inclus dans la zone de recherche**

  function ville_inclus (constant C : matrice_1; x1,x2,y1,y2:unsigned (10 downto 0)) return vecteur;

- **Fonction qui fait la mise à jour sur le temps de depart temps_dep = temps_dep + temps_deplacement**

  function mise(t : vect; u: vect) return unsigned ;

- **Procedure qui calcule le temps de deplacement dans un segment**

  procedure get(u,t : in vect; L : in unsigned(9 downto 0); i1,j,k,t2,len_c: in integer;

  lamda:in matrice_lam; vy :in matrice_3_1;n_rep:in rep;

  variable T1:out unsigned(9 downto 0);

  variable p,p1:out integer);

- **Procedure qui fait la mise à jour de temps de départ**

procedure mise_jour_temps(u:in ena; m:in integer;

variable u1:out ena);

- **Procedure qui identifier la zone de recherche**

  procedure ident_zone (d,a,r:in unsigned (9 downto 0);C :in matrice_1;

  variable x1,x2,y1,y2:out unsigned (10 downto 0));

- **Function de division d'a/b**

  function divise_v_f (a : UNSIGNED; b : UNSIGNED) return UNSIGNED;