

N/004.473

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE DE GUELMA  
Faculté des Sciences et de L'ingénierie  
Mémoire de Master



Département de : Informatique  
Spécialité : Ingénierie des Médias

14/861

« *Detector* »

Analyse d'un tronçon routier et suivi des  
véhicules pour le monitoring du trafic urbain

« *Application a un tronçon de la ville de Guelma* »

Présenté par :

- FARDJALLAH Rachid
- BOUGHAZI Wafa

Sous la Direction de : D<sup>r</sup> Bencheriet Chemesse ennehar

Juin 2014





## *Remerciement*

*Au nom de Dieu le clément, le miséricordieux*

*Nous aimons remercier tout spécialement notre encadreur Dr. M<sup>me</sup> Bencheriet Chemesse ennahhar, qui nous a entretenus toute l'année avec patience.*

*Nous la remercions pour sa confiance en nous, ses encouragements, son dévouement, sa patience, son aide et sa compréhension, et pour la motivation qu'elle nous a apportée.*

*Nous tenons à remercier l'ensemble du personnel du laboratoire d'automatique (LAIG) pour son aide fructueuse.*

*Nous tenons à remercier aussi énormément M<sup>rs</sup> Bouriachi Fares et Brahmia Nadjib pour l'aide qu'ils nous ont apportée pour une meilleure réalisation de ce projet.*

*Enfin sans oublier tous nos amis qui nous ont aidés et encouragés, même par leurs pensées, qui nous aiment et que nous aimons.*

*Merci a dieu le grand*



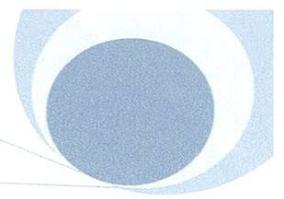
	<u>Page</u>
<i>Introduction Générale</i>	1-3
<i>Chapitre I : La Vidéo-Surveillance – Etat de l’art</i>	<i>05-14</i>
1- Introduction.....	05
2-Motivations pour la Vidéosurveillance.....	05
3- Système de vidéosurveillance .....	06
4- Caractéristiques d'une scène autoroutière .....	07
5- Techniques de mesure du trafic routier.....	08
6- Difficultés rencontrées dans la surveillance.....	09
7- Exemple des systèmes de vidéosurveillance .....	10
7.1-Le Système Media Tunnel de la Société Française CITILOG .....	10
7.1.1- Les solutions MediaTunnel .....	11
7.1.2- Déploiement de MediaTunnel.....	11
7.2- Le Système MediaTD de CITILOG .....	12
7.2.1- Solutions basées sur MediaTD .....	12
7.2.2- Déploiements de MediaTD .....	12
7.3- Le Système MediaCity .....	13
7.3.1- Solutions Media City .....	13
7.3.2- Avantages Offerts par Media City .....	14
8- Conclusion .....	14
<i>Chapitre II : Systèmes de Recueil de Données</i>	<i>16-30</i>
1- Introduction .....	16
2- Types de Capteurs du trafic routier.....	16
2.1- Technologies de recueil de données de trafic routier .....	16
3- Capteurs Intrusif .....	17
3.1- Capteurs à boucle inductive.....	17
3.2- Les capteurs « magnétomètres » en chaussée .....	17
3.3- Les capteurs à effet « Piézo-électrique » .....	18
3.4- Les capteurs à Tubes pneumatiques .....	19
3.5- Les capteurs Résistifs .....	19
3.6- Les capteurs à « Fibres optiques » .....	20
4- Capteurs Non-Intrusif .....	21
4.1- Les capteurs hyperfréquences utilisant l’effet Doppler .....	21
4.2- Les capteurs hyperfréquences utilisant deux antennes .....	22
4.3- Les capteurs Laser .....	22
4.4- Les capteurs Vidéo visibles et infrarouges .....	23
4.5- Les capteurs acoustiques passifs (microphone) .....	25

# Introduction Générale

- Dans le troisième chapitre nous décrivons en détails les différentes méthodes de traitements existantes pour réaliser chaque module décrit dans le chapitre 1.
- Dans le dernier chapitre nous détaillons les différents algorithmes utilisés pour implémenter notre système ainsi que les résultats obtenus et leurs interprétations.

## *Trafic Urbain – Etat de l’art*

- 1- Introduction.
- 2- Motivation pour la Vidéo surveillance.
- 3- Systèmes de Vidéo surveillance.
- 4- Caractéristique d’une scène autoroutière.
- 5- Technique de mesure du trafic routier.
- 6- Difficultés rencontrés dans la vidéosurveillance.
- 7- Exemples des systèmes de vidéosurveillance.
- 8- Conclusion.



*Je s'agit d'une référence voir page 6/11*

## 1. Introduction

Les systèmes de vidéo-surveillance [1] jouent un rôle de plus en plus important dans la surveillance de sites sensibles ou de lieux publics et privés. Ses premières utilisations remontent historiquement aux années 1950 pour la surveillance de lancées de missiles. Cependant, la surveillance à l'aide de systèmes en circuit fermé (CCTV) ne s'est réellement développée qu'à partir des années 1970 avant de s'intensifier au cours des années 1990 [2].

Les attentats du 11 septembre 2001 aux Etats-Unis et de 2005 à Londres ont contribué au développement fulgurant du nombre de caméras installées par exemple pour la surveillance de sites. Ces systèmes se sont largement déployés pour surveiller des entrepôts ou des parkings afin de lutter contre le vol, pour filtrer les entrées et sorties dans les banques et réduire les risques de braquages, pour lutter contre le vol à l'étalage dans les magasins, pour repérer d'éventuelles tricheries dans les casinos, pour la surveillance du trafic routier ou d'un site industriel sensible et prévenir un incident.

## 2. Motivations pour la Vidéosurveillance

Devant le nombre croissant de caméras et l'impossibilité de placer un opérateur humain derrière chacune d'elles, la demande et le besoin d'outils d'analyse automatique des données récupérées a fortement augmenté. La répétitivité de la tâche et le faible nombre d'évènements ou de situations anormales entraînent une forte lassitude et baisse de l'attention des agents de sécurité.

Les efforts de recherche et la diminution du coût matériel des caméras ont ouvert la possibilité d'utilisation des systèmes de vidéo surveillance intelligents dans une large gamme d'applications à travers des fonctionnalités telles que la reconnaissance et le suivi automatique d'objets, l'interprétation de la scène et l'extraction ou l'indexation d'évènements particuliers [2].

On retrouve des applications dans la surveillance de sites industriels [3] (contrôle d'accès ou encore le contrôle de qualité de la production), dans la surveillance de lieux publics hautement fréquentés (gares, métro, commerces), dans la surveillance et l'analyse d'activités de personnes âgées (indexation d'activités ou la détection de chute, dans le milieu sportif (football, golf), . . .

### 3. Système de vidéosurveillance

Les systèmes de vidéo-surveillance [4] ( *figure I.1* ) suivent généralement les étapes suivantes :

1. Détection de mouvement.
2. Extraction et classification des objets.
3. Suivi des objets au cours du temps.
4. Analyse de comportement et détection d'incidents.

#### a) Détection de mouvement

La détection de mouvement est généralement la base de tout système de vidéo-surveillance. Elle permet de déceler une activité dans la scène sous surveillance, comme le déplacement d'un objet, l'apparition ou la disparition d'un objet.

#### b) Extraction et classification des objets

Une fois les objets détectés, [4]. ils sont extraits et classés en différentes catégories (véhicule, piéton, poids-lourd, . . .) De façon générale cette classification s'effectue à l'aide de primitives de niveau intermédiaire, telles que les caractéristiques de forme d'un objet et ses propriétés de mouvement.

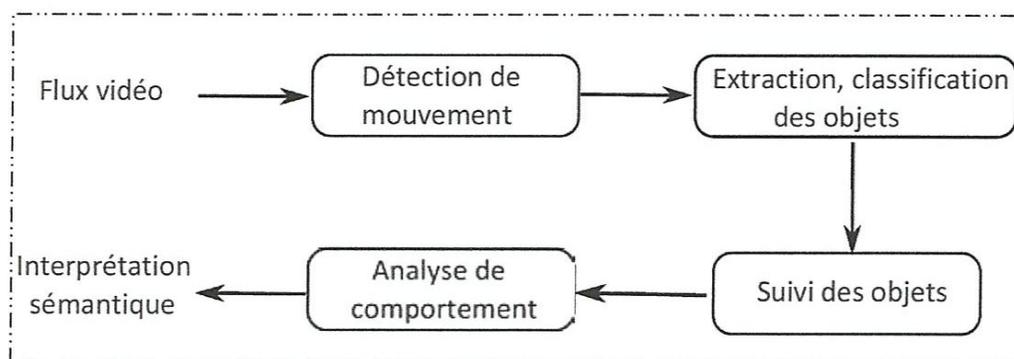
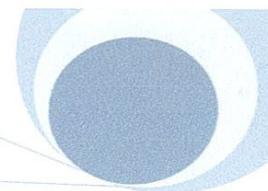
#### c) Suivi des objets au cours du temps

Le suivi d'objet consiste à localiser et maintenir l'identité des objets détectés au cours du temps. Suivre plusieurs objets simultanément présente plusieurs difficultés et de nombreux défis, notamment lorsqu'une occlusion se produit (région cachée par une autre) ou lorsque deux objets sont très proches.

#### d) Analyse de comportement et détection d'incidents

Cette dernière étape consiste à interpréter les comportements des objets de la scène. Cette étape requiert une analyse sémantique souvent très dépendante du contexte d'application.

Initialement développés pour des situations relativement simples ne faisant intervenir que peu d'objets, les systèmes actuels s'attaquent à des problèmes plus complexes dans des conditions bien moins contrôlées et plus proches de situations réelles.



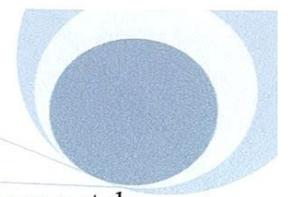
*Figure I.1* : Composition d'un système de vidéo-surveillance

#### 4- Caractéristiques d'une scène autoroutière

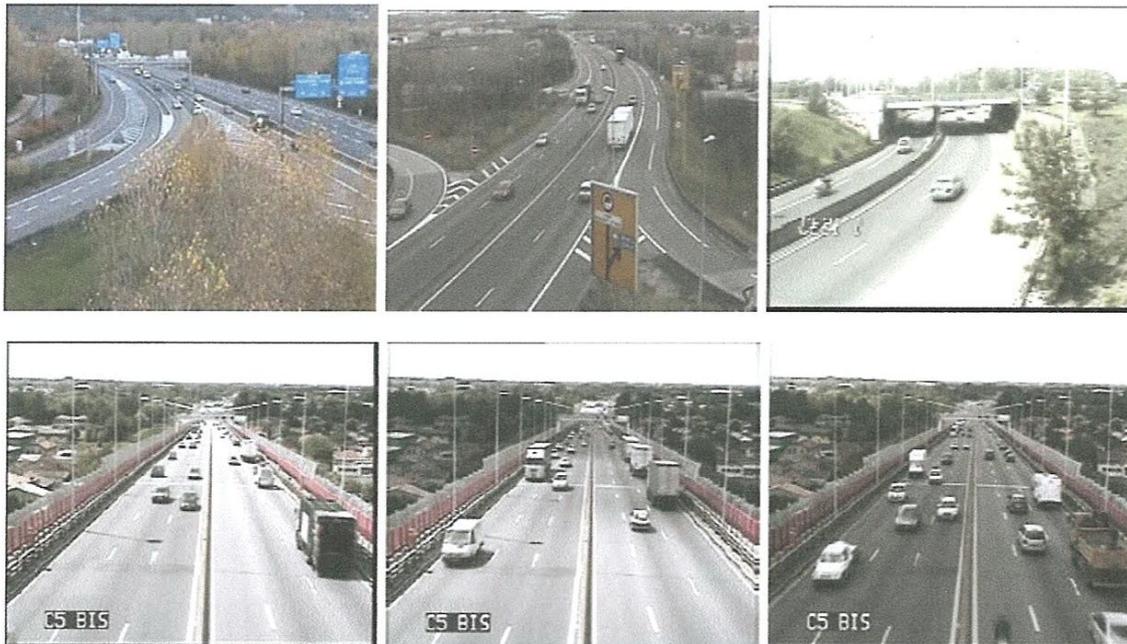
Une scène autoroutière est un environnement dynamique dans lequel des objets (véhicules) se déplacent essentiellement sur une zone (route) réservée à la circulation des véhicules motorisés. Cette zone contient une ou plusieurs chaussées définissant le sens de circulation (à sens unique). Chaque chaussée est elle-même composée d'une ou plusieurs voies de circulation. Dans le cas d'une autoroute ou d'une voie rapide, elle peut également contenir sur le coté extérieur une bande d'arrêt d'urgence pour permettre aux usagers de s'arrêter (en cas d'urgence) sans gêner la circulation. Les chaussées sont le plus souvent séparées par un terre-plein central ou des glissières de sécurité permettant de limiter les chocs frontaux.

La composition du revêtement des routes (bitume pour 95% du réseau autoroutier Algérien ou goudrons pour les voies anciennes) donne une couleur à la route généralement grise, peu texturée. Certains éléments de la scène, extérieurs à la route, peuvent altérer la détection des véhicules (*Figure I.2*). Il s'agit par exemple d'arbres, de lampadaires ou de panneaux d'affichages...etc. Ces éléments externes ont une influence directe sur l'analyse de la scène, puisqu'ils peuvent perturber les algorithmes de détection lorsqu'ils occultent partiellement la route, ou parce qu'ils sont en mouvement et qu'ils projettent des ombres dans la zone sous surveillance.

L'environnement sous surveillance est une scène extérieure, soumise à des conditions climatiques variables telles que la pluie, la neige, le brouillard, etc. Par conséquent, de



nombreux changements de luminosité peuvent être provoqués et le simple déplacement du soleil dans le ciel ou le passage de nuages peuvent en être responsable. Plusieurs effets sont visibles sur l'image : par exemple la pluie fait apparaître des taches sur l'image et réduit l'intensité lumineuse. Quant au brouillard, il réduit le contraste ainsi que la visibilité dans l'image. En ce qui concerne le soleil, celui-ci peut aveugler le système lorsque l'angle de vue de la caméra est trop faible.



*Figure I.2 : Exemples de scènes autoroutières*

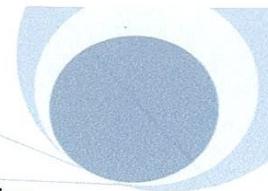
## 5- Techniques de mesure du trafic routier

On distingue généralement Trois catégories de systèmes [5][6] (*développés en chapitre 2*) de mesures.

### a) Systèmes Intrusifs

Ils sont installés dans la chaussée [6], les capteurs intrusifs sont la plupart du temps des boucles inductives, placées dans chaque voie de circulation, qui vont réagir au passage des véhicules. La mise en place d'une double boucle permet de mesurer également la vitesse et la longueur des véhicules.

L'inconvénient majeur des boucles inductives est la nécessité d'intervenir dans la route pour l'installation et la maintenance ce qui engendre la perturbation du trafic. De plus, les



boucles sont limitées à des fonctions de comptage et de mesure et de classification individuelle par bande de circulation.

**b) Systèmes Non-intrusifs**

Installés aux abords des routes, en portique ou berne centrale ou encore embarqué dans des véhicules, les capteurs non-intrusifs sont des senseurs distants qui utilisent diverses technologies: radar, laser, ultrasons ou vidéo.

**c) Systèmes Embarqués**

Ces capteurs [6] mesurent des grandeurs ou des paramètres à bord des véhicules. Ce sont ces capteurs qui instrumentent les « véhicules traceurs ». Ils permettent de fournir des données de position ou de trajectoire et des données de vitesse. Ces données sont issues soit de capteurs installés spécifiquement à l'intérieur ou à l'extérieur, soit de données du constructeur automobile qui transitent par le micro réseau du véhicule (Bus CAN). Les mesures peuvent être stockées dans un fichier informatique pour une analyse *a posteriori* ou bien envoyées en temps réel via un support de communication sans fils (GPRS ou 3G). Ces moyens peuvent être mis en œuvre pour évaluer finement des temps de parcours, estimer des profils de vitesse sur un itinéraire, ou encore renseigner les opérateurs d'une flotte de véhicules.

## **6-Difficultés rencontrées dans la surveillance**

En pratique, la conception d'un système de vidéo-surveillance doit faire face à un certain nombre de contraintes et de difficultés :

**a) Contraintes techniques liées au matériel**

Comme par exemple la résolution de l'image, le taux de rafraichissement de la vidéo, l'ajustement automatique de gain, le placement de la caméra . . . etc.

**b) Contraintes environnementales liées à la scène**

Comme les changements de luminosité, les conditions climatiques, l'arrière-plan en mouvement . . . etc.

**c) Contraintes sémantiques liées au contexte de l'application visée**

Il est très difficile de définir la notion de normalité en informatique sans en définir le contexte. Par exemple la présence d'un piéton sur la route n'est normale que s'il se trouve sur un passage piéton.



Ces contraintes entraînent de nombreux problèmes [1] et difficultés dans les étapes de l'analyse. Les algorithmes doivent être robustes face à de nombreuses situations :

- 1- Une image est une représentation 2D d'une scène 3D. La projection perspective lors de la formation de l'image sur le capteur caméra entraîne une perte d'information relative à la profondeur dans l'image. Un même objet, observé selon un point de vue de la caméra différent, peut avoir une apparence très différente dans l'image.
- 2- Les conditions d'acquisition de l'image peuvent varier d'un environnement à l'autre et les systèmes sont soumis aux conditions environnementales extérieures (météo par exemple).
- 3- Lorsque les objets sont proches, il peut y avoir des occultations rendant difficile la tâche d'extraction et de suivi d'objets. Les algorithmes doivent faire face aux occlusions provoquées par la projection perspective lors de la formation de l'image.

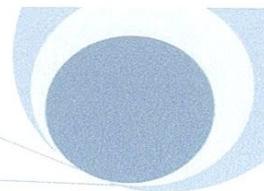
#### **7- Exemple des systèmes de vidéosurveillance**

De nombreux projets ont vu le jour afin d'évaluer l'efficacité et la faisabilité d'un système de vidéo-surveillance intelligent dont l'objectif a été de fournir des outils d'analyse en temps réel pour la gestion du trafic routier, l'intervention et la prévention d'incidents, dont voici quelques exemples :

- Le Système Media Tunnel de la Société Française CITILOG
- Le Système MediaTD de CITILOG
- Le système SYMART
- Le système VisioPaD
- Le système MediaCity

##### **7-1- Le Système Media Tunnel de la Société Française CITILOG**

MediaTunnel est un système [7] de Détection Automatique d'Incidents (DAI) dédié aux tunnels routiers. Il permet la détection d'incidents en temps réel ainsi que le recueil des données trafic à l'aide d'un algorithme de traitement d'images vidéo. Suite à plusieurs accidents dramatiques survenus en tunnel ces dernières années à travers le monde, la sécurité dans les tunnels est devenue une priorité de plus en plus importante pour sauver des vies et réduire les dommages causés aux infrastructures.



*Figure I.3 : Image extraite du Système Media Tunnel*

#### 7-1-1 Les solutions MediaTunnel

MediaTunnel offre une détection en temps réel des incidents routiers. Quelques secondes après un incident le déclenchement d’alarmes sonores et/ou visuelles permet une réaction rapide des opérateurs afin de minimiser les conséquences de l’incident et de limiter le risque d’incidents secondaires (sur-accidents). Couplé à d’autres systèmes d’information, il permet de prévenir suffisamment tôt les usagers de la route en amont de l’incident. MediaTunnel fournit de nombreuses fonctionnalités telles que la détection :

- de véhicules arrêtés
- de piétons
- de véhicules à contre sens
- de véhicules lents
- de débris
- de perte de visibilité (incendie, fumée...)

#### 7-1-2- Déploiement de MediaTunnel

MediaTunnel est une solution éprouvée et facilement intégrable dans les outils existants de gestion de trafic:

- Technologie éprouvée sur plus de 400 sites
- Technologie compatible avec les systèmes standards de vidéosurveillance, caméras analogiques ou numériques (IP).
- Algorithme flexible et auto-adaptatif aux changements de conditions environnementales (nuit ou jour, soleil ou pluie) permettant de maximiser les capacités de détection.
- Base de données d’enregistrement vidéo des incidents détectés



5- Les capteurs embarqués .....	25
5.1- Traceurs continus .....	26
5.1.1- Localisation GNSS (global navigation satellite system).....	26
5.1.2- Les Satellites .....	26
5.1.3- Les communautés d'utilisateurs.....	27
5.1.4- Les données mobiles flottantes (floating mobile data).....	28
5.2- Traceurs points à points .....	28
5.1.1- Captures d'adresses Bluetooth .....	28
5.1.2- Le RFID : infrastructures de péage.....	29
5.1.3- Positionnement par bornes WiFi (WPS) .....	29
6- Conclusion .....	30

## *Chapitre III : Traitements en Vidéo Surveillance* 32-58

1- introduction.....	32
2- Détection d'objets en mouvement.....	33
2.1- - Différences temporelles .....	34
2.2- Soustraction d'arrière-plan.....	36
2.2.1- Soustraction d'arrière-plan par image.....	36
2.2.2- Soustraction d'arrière-plan avec un Modèle gaussien.....	38
2.2.3- Soustraction d'arrière-plan par Filtrage prédictif.....	38
2.2.4- Soustraction d'arrière-plan par Dictionnaire de mots visuels ...	40
2.3- Segmentation par mélange de gaussiennes .....	41
2.4- Estimation basée sur un noyau .....	42
2.5- Détection par analyse en composantes principales .....	42
2.6- Approches de détection hybrides .....	43
3- Suivi d'objets .....	45
3.1- Représentation des objets .....	46
3.1.1- Représentation de la forme d'un objet .....	46
3.1.2- Représentation de l'apparence d'un objet .....	47
3.2 - Primitives pour le suivi d'objets .....	48
3.3 - Techniques de suivi d'objets .....	50
3.3.1- Approches basées sur l'apparence .....	51
a- Template Matching .....	51
b- L'algorithme Mean-Shift .....	51
c- Le flux optique.....	53
3.3.2- Approches basées sur la forme géométrique .....	54
a- Les contours actifs.....	54
3.3.3- Approches fondées sur des modèles prédictifs .....	55
a- Le Filtrage de Kalman.....	56

b- Le filtrage particulaire .....	57
4- Conclusion .....	58
<b>Chapitre IV : Conception &amp; Implémentation</b>	<b>60- 83</b>
1- Introduction .....	60
2- Contexte du travail.....	61
3- Statistique routiere en Algérie.....	62
3.1- La ville de Guelma.....	63
3.2- Choix du site .....	63
3.3- Matériels utilisés.....	65
3.4- Mis en Place de la caméra.....	67
3.5- Liaison du matériels.....	67
3.6- Acquisition de données.....	68
4- Conception du système .....	69
4.1- Prétraitement .....	70
4.2- Détection d'objets dans la scène .....	71
4.2.1- Modélisation d'arrière plan.....	71
4.2.2- Séparation d'arrière plan.....	73
4.2.3- Filtrage des régions.....	74
4.3- suivi des véhicules et mesure des paramètres.....	75
4.3.1-Suivi des véhicules.....	75
4.3.2- Mesure des paramètres.....	76
5- Implémentation.....	78
5.5- Test & Résultat .....	80
5.6- Discussions des résultats obtenus .....	83
6-Conclusion. ....	83

# Liste des figures

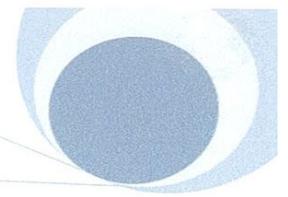
<i>Figure I.1:</i> Composition d'un système de vidéo-surveillance	07
<i>Figure I.2:</i> Exemples de scènes autoroutières	08
<i>Figure I.3:</i> Image extraite du Système Media Tunnel	11
<i>Figure I.4 :</i> Image extraite du Système Media TD	12
<i>Figure I.5 :</i> Image extraite du Système Media City	13
<i>Figure II.1:</i> Capteurs Intrusifs 1	19
<i>Figure II.2:</i> Capteur a fibre optique	20
<i>Figure II.3:</i> Capteur Intrusif 2	22
<i>Figure II.4:</i> Exemples de capteurs Laser	23
<i>Figure II.5:</i> Capteurs vidéo : (a) Caméra CCD , (b) Caméras CMOS	24
<i>Figure II.6:</i> Localisation par satellites	27
<i>Figure III.1:</i> Structure d'un système de vidéosurveillance	32
<i>Figure III.2:</i> Illustration du Background et Foreground	33
<i>Figure III.3:</i> Illustration du problème d'ouverture	35
<i>Figure III.4:</i> Exemple des travaux de P.Spagnolo en 2006	36
<i>Figure III.5:</i> Illustration d'une opération de soustraction d'arrière plan	37
<i>Figure III.6:</i> représentation de Modélisation par dictionnaire de mots visuels	40
<i>Figure III.7:</i> Détection de mouvement par méthode hybride	45
<i>Figure III.8:</i> représentation de la forme d'un objet.	46
<i>Figure III.9:</i> Illustration de l'algorithme mean-shift	52
<i>Figure III.10:</i> Exemple de suivi d'objet à l'aide de l'algorithme CamShift	52
<i>Figure III.11:</i> Le flux optique. Région de la bouche sur deux images.	53
<i>Figure III.12:</i> Exemple de suivi par contours actifs des objets	55
<i>Figure III.13:</i> 3 étapes ( <i>hors initialisation</i> ) du filtrage de Kalman	57
<i>Figure IV.1:</i> Evolution du parc national d'automobile.	60
<i>Figure IV.2:</i> Illustration avec Google Maps du carrefour a étudié	64
<i>Figure IV.3:</i> Illustration deux dimensions de la zone d'étude	65
<i>Figure IV.4:</i> Equipements utilisés pour l'enregistrement	66
<i>Figure IV.5:</i> Mis en place de la caméra d'enregistrement	67
<i>Figure IV.6:</i> Liaison du matériels utilisés	67
<i>Figure IV.7:</i> Caractéristique d'acquisition de données	68
<i>Figure IV.8:</i> Principaux modules du système	69
<i>Figure IV.9:</i> Illustration du redimensionnement des frames	70

# Liste des figures

<i>Figure IV.10:</i> Processus de détection d'objets dans la scène	71
<i>Figure IV.11</i> suivi d'objets en mouvement par le flux optique	72
<i>Figure IV.12:</i> Etapes de séparation d'arrière plan	73
<i>Figure IV.13:</i> Illustration des méthodes de séparation d'arrière plan	74
<i>Figure IV.14:</i> Application du filtre Médian	74
<i>Figure IV.15:</i> Détection des véhicules	75
<i>Figure IV.16:</i> Exemple de suivi des véhicules	76
<i>Figure IV.17:</i> Illustration du tronçon étudié	76
<i>Figure IV.18:</i> Etapes de mesure des paramètres du trafic	77
<i>Figure IV.19:</i> Exemples de la base de tests	78

« Commençons avant tout par définir les termes de "Vidéo-Surveillance " : Ce problème peut s'énoncer de la façon suivante :

*Considérant une vidéo d'entrée, la vidéo surveillance est un processus qui consiste à identifier automatiquement dans cette vidéo, des objets, des comportements ou des événements particuliers (prédéfinis par un utilisateur ou appris par le système). Elle analyse et transforme les données issues d'une (ou plusieurs) caméra en une interprétation sémantique directement exploitable par un opérateur humain ».*



- Recueil de données trafic

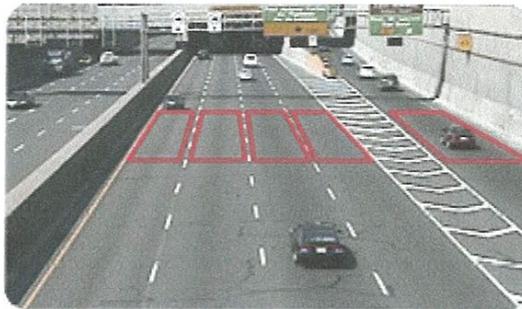
De plus, MediaTunnel est flexible et adaptable aux changements environnementaux, particulièrement à l'entrée et à la sortie des tunnels, pour une surveillance vidéo plus efficace.

#### 7-2 Le Système MediaTD de CITILOG

MediaTD est le logiciel développé par Citilog [8][9] dédié au recueil de données trafic telles que le débit, le comptage classifié, le taux d'occupation, le temps inter-véhiculaire ou la vitesse. MediaTD fournit des mesures fiables pour le recueil de données trafic, l'analyse statistique ou la planification de trafic. MediaTD est un détecteur de surface, remplaçant les boucles à induction enfouies dans le sol.

##### 7-2-1 Solutions basées sur MediaTD

MediaTD fournit le comptage de véhicules ainsi que la classification des véhicules en trois catégories basées sur la longueur des véhicules. MediaTD fournit aussi la vitesse moyenne du flux, l'occupation moyenne (pourcentage du temps pendant lequel une zone est occupée par un véhicule) ainsi que le temps inter-véhiculaire moyenné (temps moyen entre deux fronts de véhicules consécutifs).



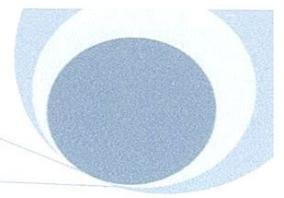
*Figure I.1 : Image extraite du Système Media TD*

##### 7-2-2 Déploiements de MediaTD

MediaTD est très simple à installer. Le nombre de zones de mesure est illimité en dehors des contraintes optiques (voir les contraintes de positionnement des caméras).

Les déploiements de MediaTD permettent principalement de gérer:

- Le recueil de données trafic en temps réel
- Les applications d'émulation de boucles
- Les études de trafic ainsi que la surveillance du trafic



- L'analyse des niveaux de trafic
- Le péage à l'ombre

MediaTD fonctionne sous toutes conditions environnementales et gère de façon optimale les situations extrêmes telles que les ombres en mouvement, les pelotons de véhicules, les changements de luminosité ou de conditions météo.

### 7-3 Le Système MediaCity

MediaCity est une solution de détection [11] basée sur l'analyse d'images vidéo qui fournit des informations en temps réel sur la présence de véhicules aux carrefours à feux. Le logiciel MediaCity est compatible avec les caméras analogiques ou IP et fonctionne en toutes conditions (variations de lumière, changements climatiques ou différentes conditions de trafic).

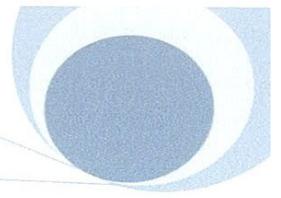


*Figure I.5* : Image extraite du Système Media City

#### 7-3-1 Solutions Media City

MediaCity a été conçu pour fonctionner en toutes conditions. Il fournit de nombreuses fonctionnalités afin d'améliorer sensiblement la sécurité routière et réduire la congestion aux carrefours à feux:

- Détection de présence adaptable aux nécessités des contrôleurs de feux en ce qui concerne la présence ou l'absence de véhicules à l'intérieur d'une zone spécifique. Cette fonctionnalité permet d'identifier les véhicules arrêtés ou en mouvement
- Détection modifiable selon la direction du trafic afin d'activer la détection de véhicule en fonction de leur sens de circulation à l'intérieur de la zone de détection.
- Détection de véhicule arrêté sur une voie spécifique ou au centre du carrefour
- Longueur de file de véhicules arrêtés à la ligne de feu



- Temps d'attente moyen des véhicules arrêtés à la ligne de feu
- Détection de piétons à l'intérieur d'une zone

#### 7-3-2 Avantages Offerts par Media City

MediaCity fournit de nombreux avantages d'intégration et d'usage:

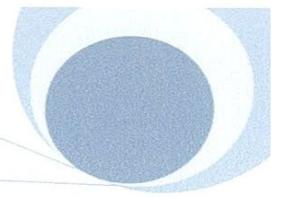
- Le client peut définir facilement la zone de détection directement à l'écran
- MediaCity permet l'utilisation de zones de formes variées afin de reproduire avec précision la configuration de la route
- Chaque zone peut être ajustée pour augmenter les seuils de détection spatial et temporel
- La détection peut être liée à l'état des feux envoyé par le contrôleur afin de bloquer les appels. Cela permet de:
  1. Maintenir la détection de véhicule activée jusqu' à ce que le feu ne passe au vert
  2. Maintenir la détection de piéton activée jusqu' à ce que le feu piéton ne passe au rouge

## 8- Conclusion

Malgré la diversité de systèmes mis aux points pour le trafic routier, l'efficacité de ces systèmes reste dépendante du système autoroutier variant d'un pays à un autre, d'où la nécessité de concevoir un système de surveillance et de control routier ou autoroutier Algérien.

## *Systemes de Recueil de Données*

- 1- Introduction
- 2- Types de capteurs du trafic routier.
- 3- Capteurs Intrusif.
- 4- Capteur Non Intrusif.
- 5- Capteurs Embarqués.
- 6- Conclusion



## **1- Introduction**

Les variables caractérisant le trafic routier sont nombreuses [6][12]. Les configurations et les géométries de chaussées sont également déterminantes dans le choix d'un système de recueil de données de trafic. Ce chapitre se propose de présenter de manière synthétique les différentes grandes technologies de recueil de données de trafic.

Une attention particulière est portée sur les principes de fonctionnement, sur l'intrusivité des capteurs et sur la description des mesures disponibles, associées aux limites de fonctionnement pour chaque technologie.

## **2- Types de Capteurs du trafic routier**

On recense trois catégories de capteurs dans le domaine du trafic routier [6][13]:

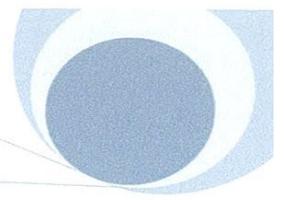
- 1- Les capteurs intrusifs** : lorsqu'ils sont posés en chaussée.
- 2- Les capteurs non intrusifs** : lorsqu'ils ne nécessitent pas un travail sur la chaussée.
- 3- Les capteurs embarqués** : capteurs spécifiques (satellites ...etc.) dont la donnée pourrait être utilisée pour du recueil de données trafic, comme les téléphones mobiles et les GPS par exemple.

### **2-1- Technologies de recueil de données de trafic routier**

Les technologies ont considérablement progressé au cours des dernières années dans les domaines des télécommunications, de l'informatique, et de l'internet, élargissant les perspectives pour les systèmes de transport intelligent.

Avec ces progrès technologiques, les besoins se sont progressivement diversifiés : information trafic, temps de parcours, détection automatique de bouchon (DAB) et d'incident (DAI), observatoire de l'évolution du trafic...etc.

Dans le domaine du recueil de données trafic [6][12], qui joue un rôle important pour l'exploitation de la route, de nouveaux besoins apparaissent dans les différents domaines, en données individuelles ou des besoins plus spécifiques comme la détection de certaines catégories de véhicules (poids lourds, deux-roues motorisées ou non motorisées, piétons...) ou des besoins en taxation (taxe poids lourds nationale par exemple).



### **3- Capteurs Intrusif**

Ce sont des équipements posés dans la chaussée destinés à collecter des informations spécifiques du trafic routier.

#### **3-1- Capteurs à boucle inductive**

Ce capteur intrusif (*Figure II.1*)[6] est composé d'une ou de plusieurs boucles inductives dont la forme la plus répandue en Europe est le rectangle ainsi que d'une queue de boucle.

À chaque passage d'un véhicule au dessus de la boucle, la masse métallique en mouvement du véhicule perturbe le champ magnétique rayonnant, ce qui a pour effet de modifier le courant induit de la boucle et donc la fréquence du signal électrique émis. Ce décalage de fréquences est converti en tension à l'aide d'une boucle à verrouillage de phase. Cette dernière est seuillée pour fournir un signal « tout ou rien » directement lié à la présence du véhicule. A l'aide de deux boucles inductives, il est possible de déduire la vitesse du véhicule ainsi que sa longueur. Des boucles plus étroites permettent de déduire la silhouette de chaque véhicule en détectant leurs essieux.

##### ▪ **Mesures disponibles :**

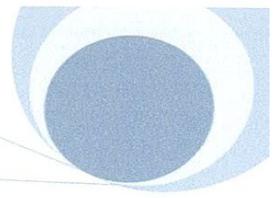
Débits, vitesses, longueur, silhouettes, temps de présence, taux d'occupation, temps et distance inter-véhiculaire.

##### ▪ **Facteurs perturbant les mesures :**

Champs magnétiques, véhicules circulant à basse vitesse (inférieure à 5km/h), véhicules très proches les uns des autres et remorques, véhicule présentant une garde au sol importante, très petit gabarit de véhicules.

#### **3-2- Les capteurs « magnétomètres » en chaussée**

Ce capteur intrusif (*Figure II.1*) [5] intègre de très petites self pouvant être réalisées sur des circuits imprimés de très petite taille. Il fonctionne grâce à une analyse de la variation du champ magnétique terrestre causée par le passage des véhicules (comme une boussole). Le signal délivré par le capteur est un signal électrique proportionnel aux variations des champs magnétiques terrestres sur les 3 axes x, y et z. Une de ses particularités réside donc dans sa petite taille (quelques centimètres).



De forme cylindrique en général, il est souvent posé en chaussée via un petit carottage à quelques centimètres en dessous de l'enrobé.

▪ **Mesures disponibles :**

Débits, vitesses, longueur, silhouettes, signatures magnétiques de véhicules, temps de présence, taux d'occupation, temps et distance inter-véhiculaire.

▪ **Facteurs perturbant les mesures :**

Champs magnétiques, véhicules circulant à basse vitesse (inférieure à 10km/h), véhicules très proches les uns des autres et remorques, véhicule non centrés dans la voie, véhicule présentant une garde au sol importante, très petit gabarit de véhicules.

**3-3- Les capteurs à effet « Piézo-électrique »**

Ces capteurs intrusifs (*Figure II.1*) [12] présentent la propriété physique qu'ont certains matériaux diélectriques de générer une tension sous l'effet d'un déplacement de charges électriques lorsqu'ils sont soumis à une contrainte mécanique. Cette tension électrique  $U$  est proportionnelle à la pression exercée sur le capteur (*force que nous appellerons pression  $P$  par la suite*). Trois types de capteurs sont utilisées aujourd'hui pour cette technologie : les capteurs céramiques, les capteurs quartz et les capteurs polymères. Le capteur piézo-électrique à base de céramique est très utilisé aujourd'hui dans le domaine du trafic routier. Ce capteur est conditionné sous la forme d'un câble coaxial comportant une gaine et une âme conductrice en cuivre. Ce câble est inséré de manière transverse dans la chaussée, il est enrobé dans un barreau de résine pour qu'il conserve sa rigidité, la tension électrique créée dans la céramique lorsque la force d'impact des pneus d'un véhicule lui est appliquée est mesurée entre l'âme et la gaine.

▪ **Mesures disponibles :**

Ce type de capteur permet de mesurer le poids à l'essieu, au groupe d'essieu, le poids total, la silhouette, le débit, la vitesse, la distance inter-essieux et la position du véhicule dans la voie.

▪ **Facteurs perturbant les mesures :**

Véhicules très proches les uns des autres (et remorques), véhicules mal positionnés dans la voie et très petit gabarit de véhicules présentant de faibles forces d'impact.

Ces dernières années le trafic routier et autoroutier a été un sujet d'étude et de débats importants pour les pouvoirs publics. Les thèmes de la mobilité, de la sécurité et de l'environnement sont souvent des sujets d'actualité et le trafic routier est régulièrement mis en cause. Des outils de mesure et d'analyse ont donc été mis en place pour fournir une information rapide et fiable sur les conditions de circulation.

Parmi ces outils des systèmes capables de fournir, en temps réel, une évaluation du volume et des caractéristiques du trafic à un point donné du réseau routier. Après fusion et analyse, ces données seront utilisées pour répondre à nombreuse préoccupations, comme par exemple:

- La mobilité, avec la diffusion instantanée des conditions de circulation (info trafic), la réalisation de péage automatique ou la gestion intelligente des feux de circulation et des priorités, la planification de nouveaux aménagements ou nouvelles infrastructures, voire un jour la variabilité des capacités de circulation.
- La sécurité avec la détection automatique d'incident ou suivi de véhicule dans les tunnels.
- L'environnement et la santé publique avec le contrôle de la pollution et la régulation des infrastructures (éclairage, ventilation des tunnels).

Les problématiques de sécurité, ainsi que le coût de moins en moins élevé des caméras numériques, amènent aujourd'hui à un développement rapide des systèmes de vidéosurveillance.

L'objectif consiste à concevoir un système de vidéo-surveillance destiné à l'analyse automatique de scènes routières (*carrefour par exemple*). Le système doit être le moins supervisé possible et doit fournir une détection en temps réel d'un évènement.

En Algérie l'augmentation de motorisation a un impact direct sur l'explosion de la mobilité urbaine et le volume de déplacement des voyageurs et des marchandises. Semble donc pertinent de chercher des solutions pour y faire face. La plus simple et rapide serait de construire

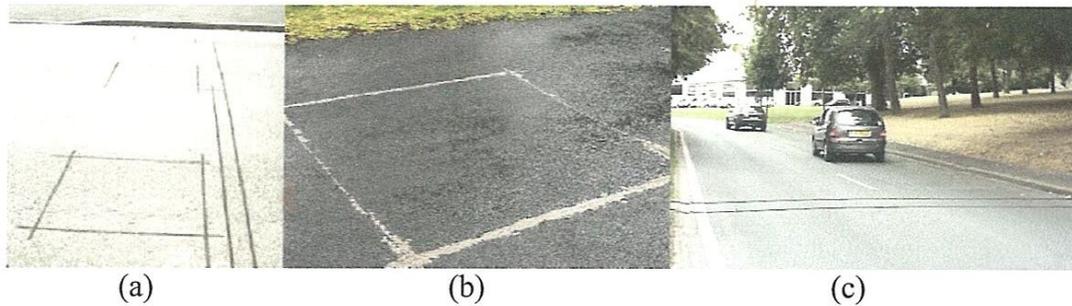
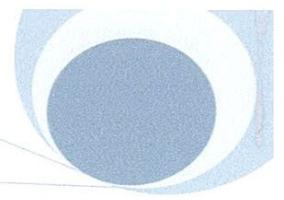
de nouvelle infrastructures, mais elles sont très coûteuses et réduisent l'espace naturel disponible. Il est donc plus logique de penser à utiliser l'infrastructure routière existante et de trouver des algorithmes de commande pour fluidiser le trafic (réduire le phénomène de la file d'attente) et prévenir l'application de la congestion. C'est la solution adoptée dans notre projet pour résoudre le problème de la file d'attente au niveau de la ville de Guelma.

Notre travail est dans le cadre d'un projet CMEP en collaboration entre le laboratoire GIPSA-LAB de Grenoble (France) et le laboratoire LAIG de Guelma (Algérie), ayant pour objectif d'étudier le comportement du trafic routier d'un tronçon urbain au niveau de la ville de Guelma dont le but est de :

- Recueillir les données du trafic sous forme d'une scène vidéo.
- Créer une première base de données du trafic de la ville de Guelma.
- Réaliser une interface de mesure des paramètres (débit, concentration, longueur de file d'attente et taux d'occupation)
- Détecter et suivre des véhicules pour des traitements ultérieurs.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres tel que :

- Dans le premier chapitre on a fait un tour d'horizon sur l'historique de la vidéo surveillance, les principaux modules composant un système de vidéo surveillance, et aussi les difficultés rencontrées dans ce domaine, et on a conclu avec la description de quelques systèmes actuels de vidéos surveillance.
- Le deuxième chapitre est consacré à étudier les différentes techniques et technologies de mesure du trafic routier, principes de fonctionnement, mesures disponibles ainsi que les facteurs perturbant les mesures.



**Figure II.1 :** (a) Capteur inductive, (b) Capteur magnétique, (c) Capteur électrique

### 3-4- Les capteurs à Tubes pneumatiques

Il s'agit de capteurs faiblement intrusifs [6][14]. Les capteurs à tubes pneumatiques sont utilisés exclusivement dans le cadre de recueils de données de trafic temporaires.

Ces capteurs se présentent, pour les plus courants, sous la forme de tubes pneumatiques en caoutchouc noir d'un diamètre intérieur de 6mm pour un diamètre extérieur de 15mm. Plusieurs dimensions et types de tubes sont proposés par les fabricants.

Les tuyaux sont attachés à l'aide de collier et de tire-fond sur la chaussée dans l'enrobé. Le principe de fonctionnement est simple, les tuyaux transmettent des variations de pression d'air, provoquées par le passage des essieux des véhicules, vers des vannes ou détecteurs pneumatiques qui transforment ces variations de pression en signaux électriques.

#### ▪ *Mesures disponibles :*

Débits, vitesses et distinction Véhicule Léger (VL)/Poids Lourd (PL).

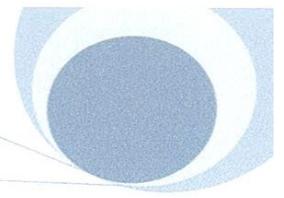
#### ▪ *Facteurs perturbant les mesures :*

Les tubes pneumatiques sont sensibles à l'arrachage si leur installation est d'une durée importante. Ils ne sont pas recommandés pour les routes à chaussées séparées et pour les axes présentant un trafic journalier supérieur à 10 000 v/j.

### 3-5- Les capteurs Résistifs

Ces capteurs intrusifs sont basés sur le principe de la variation d'une mesure de résistivité électrique [5]. Une pression exercée sur deux surfaces conductrices séparées par un composant diélectrique élastique provoque un rapprochement voire un contact faisant varier la résistivité.





L'application la plus connue est le tapis détecteur de piétons utilisé dans de nombreux domaines. Dans le domaine de l'exploitation de trafic, il trouve son usage en milieu urbain :

- Sur les passages piétons implantés en section courante et non équipés de feux ;
- Sur les carrefours équipés de feux, pour l'adaptation du « temps de vert piéton ».

▪ **Mesures disponibles :**

Détection de piétons, temps de présence.

### 3-5- Les capteurs à « Fibres optiques »

Les capteurs à fibre optique [12] (Figure II.2) sont définis selon la norme NF C 93-800 (1991) : « Un capteur à fibre optique est un dispositif comprenant une ou plusieurs fibres, permettant de recueillir des informations représentatives de grandeurs mesurées sans autre apport d'énergie que celui des phénomènes observés et/ou des ondes lumineuses circulant dans la (ou les) fibre(s) ». Deux qualifications s'emploient :

- intrinsèque : lorsque la fibre est le transducteur ;
- extrinsèque : lorsque l'élément transducteur n'est pas sur la fibre optique.

Une gaine mécanique est rajoutée à la fibre afin de la protéger de créer le mesurande par contrainte à chaque passage de véhicule.

▪ **Mesures disponibles :**

Débits, vitesses, longueurs et formes de véhicules, temps de présence, taux d'occupation, temps et distance inter-véhiculaire, distance capteur/véhicule.

▪ **Limites de fonctionnement :**

- pertes engendrées par la courbure de la fibre
- fragilité et coût des connecteurs

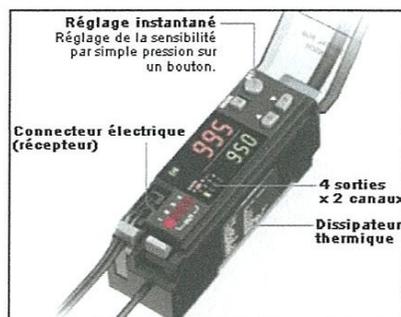
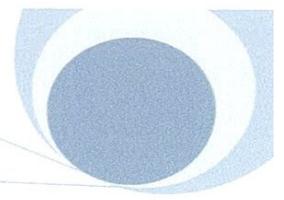


Figure II.2: Capteur à fibre optique





#### **4- Capteurs Non-Intrusif**

Ce sont des équipements de mesure du trafic qui ne nécessitent pas une installation sur la chaussée, assure une meilleure performance et précision.

##### **4-1-Les capteurs hyperfréquences utilisant l'effet Doppler**

Système non-intrusif (Figure II.3) installé en accotement de chaussée, sur mât, ou portique. Un train d'ondes électromagnétiques pulsées est émis à une fréquence de l'ordre de 10 et 25GHz par une antenne radar en direction d'un véhicule. Au contact du véhicule, l'onde est réfléchiée et renvoyée modifiée vers le capteur.

L'onde renvoyée par le véhicule permet de calculer la vitesse à partir du décalage de fréquence entre le signal émis et reçu. La forme et l'amplitude du signal reçu sont directement liées à la forme du véhicule et à sa surface de réflexion. La valeur de la SER (Surface Équivalente Radar exprimée en  $m^2$ ) analysée permet de distinguer la silhouette des véhicules, le capteur peut aussi estimer la longueur du véhicule

▪ **Mesures disponibles:**

Débit, vitesse, débit classifiés (VL/PL) la classification est faite à partir de la longueur ou du SER.

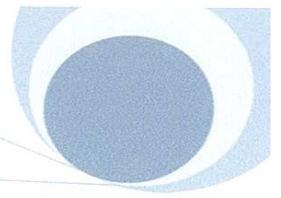
▪ **Facteurs perturbant les mesures :**

Véhicules circulant à basse vitesse (inférieure à 20km/h), véhicules très proches les uns des autres, véhicules en forte accélération ou décélération, très petit gabarit de véhicules.

##### **4-2- Les capteurs hyperfréquences utilisant deux antennes**

Système non-intrusif [6] (Figure II.3) installé généralement en hauteur, face ou perpendiculairement aux voies de circulation. Un train d'ondes électromagnétiques pulsées est émis à une fréquence de l'ordre de 10 et 25GHz par deux antennes radar. Au contact du véhicule, l'onde est réfléchiée et renvoyée modifiée vers le capteur.

Dans le cas d'un capteur utilisant deux faisceaux, de la même façon que les boucles électromagnétiques, les mesures se font par l'analyse des temps de présence et des temps de coupure entre des faisceaux. (Formant l'équivalent de deux barrières). En mesurant le temps de renvoi d'un train d'onde pulsés, il est possible de mesurer une distance d'un véhicule coupant les faisceaux du radar pour indiquer sa voie de circulation.

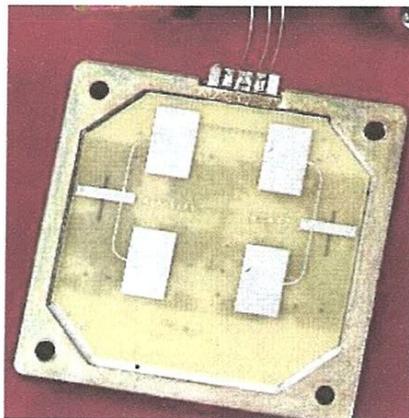


▪ *Mesures disponibles:*

Débits, vitesses, longueur, silhouettes, temps de présence, taux d'occupation, temps et distance inter-véhiculaire.

▪ *Facteurs perturbant les mesures :*

Champs magnétiques, véhicules circulant à basse vitesse (inférieure à 5km/h), véhicules très proches les uns des autres et remorques, véhicule présentant une garde au sol importante, très petit gabarit de véhicules.



(a)



(b)

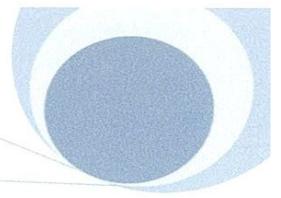
*Figure II.3 : (a) Capteur inductive a effet Doppler , (b) Capteur a hyperfréquences*

#### 4-3- Les capteurs Laser

Un Laser est un appareil [5][6] émettant un rayonnement lumineux puissant non visible, amplifié par une « émission stimulée » à l'aide de deux miroirs partiellement et totalement réfléchissant. Une des particularités du Laser est sa pureté spectrale et la possibilité d'obtenir une émission autour d'une seule longueur d'onde.

Ces capteurs (Figure II.4) permettent de réaliser de la détection de véhicules, de la mesure de distance capteur/véhicules, de la mesure de vitesse et de l'analyse de longueurs et de formes de véhicules.

Tous les compteurs / analyseurs de trafic Laser sont non intrusifs, ils peuvent selon l'utilisation être installé en accotement : sur le sol, sur mâts ou en surplomb de voies de circulation : sur potences, portiques ou ouvrages d'art.

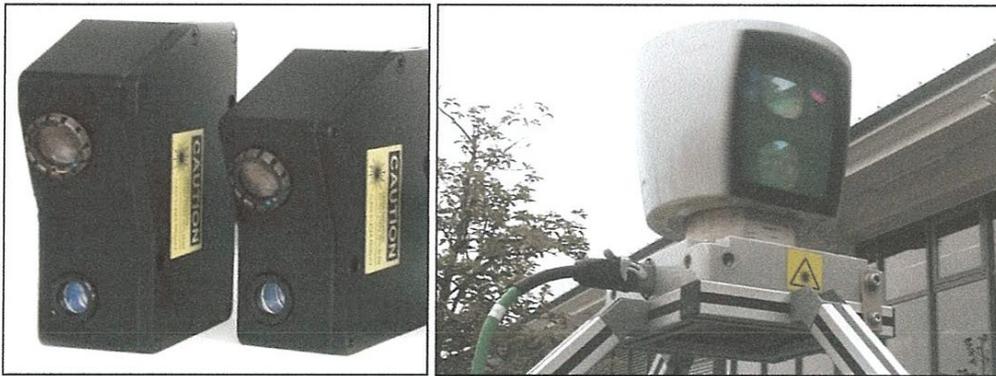


▪ **Mesures disponibles :**

Débits, vitesses, longueurs et formes de véhicules, temps de présence, taux d'occupation, temps et distance inter-véhiculaire, distance capteur/véhicule.

▪ **Facteurs perturbant les mesures :**

Les Lasers à balayage ou 1D ont une vitesse d'analyse limitée ( $< 1\text{kHz}$ ) qui bornent leurs précisions pour les véhicules « rapides », les Lasers monopoint sont très sensibles à la pluie et leurs faisceau « étroit » ne permet pas de détecter tous les véhicules (moto par exemple).

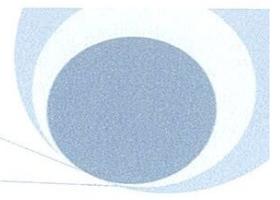


*Figure II.4* : Exemples de capteurs Laser

#### 4-4- Les capteurs Vidéo visibles et infrarouges

Le principe de base [6][13] est de paramétrer sur l'image de la route des boucles virtuelles dont le comportement sera analogue aux boucles inductives (électromagnétiques) standards. A ceci près que ce n'est plus la masse métallique qui est détectée mais la présence de groupes de pixels. Afin d'améliorer les performances global du système, d'autres techniques de traitement d'image sont appliquées afin d'éliminer le bruit dans l'image, mais surtout de déterminer les mouvements des groupes de pixels, d'extraire les contours des objets, les reconnaître et les classifier via des processus de reconnaissance des formes. D'autres processus de traitement d'image comme l'extraction des ombres ou des halos et faisceau de phare viennent également renforcer la fiabilité de ses systèmes, spécialement pour le recueil de données précis par voie et le calcul de longueur de véhicule.





Les caméras utilisées pour l'acquisition des séquences d'images sont toutes matricielles. Dans le domaine visible, deux types de capteur sont utilisés, les CCD et les CMOS. De par leur nature, les capteurs CCD sont plus sensibles que les CMOS, mais ils sont aussi plus coûteux. Toutefois, le développement des applications vidéo et de la demande dans les capteurs rendent, de nos jours les capteurs CCD plus abordables tout en ayant bénéficié d'améliorations effaçant leurs défauts tels que la lecture séquentielle, ainsi, les fonctions de pilotage et de traitement sont plus facilement intégrables sur le support du capteur. De nos jours, les capteurs CCD permettent d'avoir des caméras HD en couleur. Toutefois, ces caméras sont réservées au cas où il y a un éclairage minimal de la scène.

▪ **Mesures disponibles :**

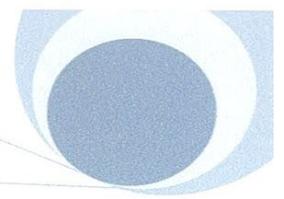
Selon les matériels : débit tous véhicules, débits VL/PL, taux d'occupation, temps inter-véhiculaire, distance inter-véhiculaire et vitesse, par sens et par voie.

▪ **Facteurs perturbant les mesures :**

Sensibilité aux conditions météorologiques (pluie, neige), aux illuminations fortes (soleil), aux masquages et occlusions (végétation, véhicules de grand gabarit), aux flous de bougé (occasionné par le support). Résultats dépendants de l'implantation, en bord de voie, terre plein central ou en surplomb. Nécessité de maintenance : Nettoyage de la vitre du caisson de caméra. Dans le cas des PL, il n'y a pas de distinction entre un camion et un autocar. Il n'est également pas possible, à ce jour, de déterminer la catégorie de PL et/ou de compter le nombre d'essieu.



**Figure II.5 :** Capteurs vidéo : (a) Caméra CCD , (b) Caméras CMOS



#### **4-5- Les capteurs acoustiques passifs (microphone)**

Ces capteurs détectent les bruits de roulement et / ou de moteur émis par les véhicules. Ces capteurs sont donc peu directifs, et ne peuvent servir que pour détecter la présence ou l'absence de véhicules sur une certaine zone de la chaussée. Il est possible d'avoir une mesure précise, par voie en utilisant un faisceau de capteurs situés à intervalles réguliers en bord de route et associées à un dispositif de traitement de signal relativement complexe. Certains capteurs de ce type sont utilisées en complément de la vidéo pour palier les baisses de performances de nuit de ces derniers.

▪ **Mesures disponibles :**

Débit tous véhicules, débits VL/PL selon les matériels et vitesse. Le séquençement des mesures recueillies dépend du module de traitement électronique couplé au compteur.

▪ **Facteurs perturbant les mesures :**

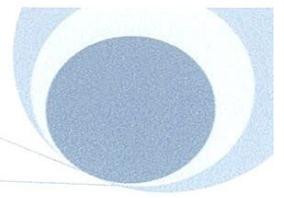
Fonctionne en trafic fluide, baisse de performance en congestion. Pas de mesure de vitesse, Uniquement de la présence de véhicule.

#### **5- Les capteurs embarqués**

Les nouveaux besoins d'informations trafic [6] pour les gestionnaires et pour les utilisateurs de la route ne sont plus des besoins ponctuels en différents points d'un itinéraire, mais plutôt des besoins en temps réel en tous points de l'itinéraire. Pour répondre à ces demandes, plusieurs pistes peuvent être développées.

Les nouvelles technologies de l'information ouvrent des perspectives de recueil de données de trafic grâce aux réseaux sociaux ou les applications logiciels de type Smartphone ou encore les GPS interactifs. Ces sources d'information temps réel ne sont actuellement pas exploitées par les gestionnaires routiers.

Les performances accrues des transmissions de données ouvrent aussi des perspectives intéressantes pour acheminer à moindre coût des quantités importantes de données de type vidéo par exemple. Grâce aux services des fournisseurs d'accès et aux réseaux de téléphonie mobile, il est possible de transmettre des données de trafic d'un site non équipé en systèmes de recueil quasiment en permanence.



Généralement les capteurs embarqués peuvent être devisés en deux catégories :

1. **Traceurs continus.**
2. **Traceurs points à points.**

### 5-1- Traceurs continus

Les véhicules traceurs [6] sont des véhicules instrumentés stockant et/ou transférant à un opérateur des données de trafic. L'instrumentation peut être légère, un simple GPS, un téléphone portable ou encore un système de navigation peuvent suffire lorsque les données de vitesse et de positionnement permettent d'élaborer l'information souhaitée.

#### 5-1-1- Localisation GNSS (*global navigation satellite system*)

La puce ou récepteur GPS utilise le système de positionnement par satellites pour calculer sa position. La précision de la mesure de positionnement n'est pas suffisante pour localiser le véhicule au niveau de la voie de circulation. Pour localiser le véhicule sur le réseau, un algorithme est généralement utilisé. Pour améliorer la précision du positionnement, d'autres sources de données peuvent être utilisées par exemple l'odomètre et le gyromètre.

Les véhicules traceurs sont localisés, toutes les secondes en général, grâce au GNSS (GPS, GALILEO, GLONASS, BEIDOU) et les données sont récupérées, depuis un récepteur GPS et ce à intervalles réguliers, par l'intermédiaire d'un moyen de communication mobile (GSM, GPRS, UMTS, Wi-Fi etc.). Ces données sont ensuite filtrées et projetées sur le réseau routier (Map-Matching).

#### ▪ **Mesures disponibles :**

Vitesses moyennes, sens de déplacement, temps de parcours, détection de congestions.

#### ▪ *Facteurs perturbant les mesures .*

Pas de distinction des voies (mais distinction de la chaussée empruntée), intégration d'un moyen de communication mobile (notion de coût et de fréquence d'envoi des données)

#### 5-1-2-Les Satellites

Des véhicules possédant un moyen de communication par satellite [14] sont suivis sur le réseau routier par un ou plusieurs satellites. A la différence de la localisation GNSS, les données de positionnement sont renvoyées au(x) satellite(s). Les données trafic, transitant par le centre de contrôle des satellites, sont ensuite envoyées au serveur FCD central.



Les positions horodatées (*date et heure de détection*) obtenues par le suivi des véhicules permettent d'obtenir des temps de parcours et des vitesses moyennes.

▪ **Mesures disponibles :**

Vitesses moyennes, temps de parcours, sens de déplacement, détection de congestions.

▪ **Facteurs perturbant les mesures :**

Taux d'équipement en moyen de communication par satellites (*cout des opérations*).



*Figure II.6 : Localisation par satellites*

### 5-1-3-Les communautés d'usagers

Produire des informations sur le trafic [6] à partir des communautés d'usagers d'un service d'information trafic consiste à utiliser l'utilisateur lui-même comme source d'information trafic. Le terme anglais pour ce principe de fonctionnement est « crowdsourcing »

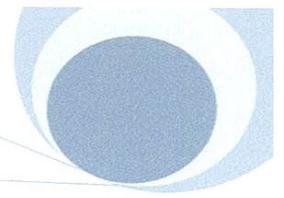
L'instrumentation est simple (équipement de navigation personnel PND, « Personal Navigation Device », Smartphone) et permet de recueillir des données de positionnement, de vitesse et de sens de déplacement.

▪ **Mesures disponibles :**

Vitesses moyennes, temps de parcours.

▪ **Facteurs perturbant les mesures :**

Nombres de véhicules instrumentés, qualité de la donnée fournie.



#### **5-1-4-Les données mobiles flottantes (*floating mobile data*)**

Le Floating Mobile Data ou plus exactement les données FMD, sont des données issues des réseaux des operateurs de téléphonie mobile et permettant de recueillir des informations utiles pour la connaissance et la gestion du trafic comme par exemple la localisation, la vitesse et le sens de déplacement.

Après exploitation, des données FMD peuvent donner des informations sur la localisation, le sens de déplacement du véhicule traceur, les temps de parcours. Chaque operateur a sa façon de recueillir des données FMD dont le recueil par événements de handover (positions, sens de déplacement).

##### **▪ Mesures disponibles :**

Vitesses instantanées/moyennes, temps de parcours, détection de congestions.

##### **▪ Facteurs perturbant les mesures :**

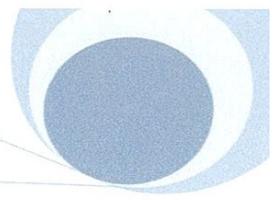
Précision (faible), disponibilité des mobiles (mobiles en communication et sur la route), risque de saturation du réseau mobile à certaines périodes de l'année, pas de distinction des voies de circulation.

#### **5-2-Traceurs points à points**

Contrairement aux Traceurs continus, les Traceurs points à points permettent d'acquérir des données seulement au niveau de relais sur le terrain. C'est un mode de recueil dit passif.

##### **5-2-1-Captures d'adresses Bluetooth :**

Les données sont récupérées via la capture d'adresses IP Bluetooth [12] émanant d'appareils mobiles équipés par Bluetooth qui sont embarqués dans les véhicules (téléphone, GPS, autoradio, etc..). Des stations "bord de voie" équipées d'une antenne détectent les adresses IP Bluetooth dans les véhicules passant à proximité. Ces adresses sont géo-localisées (position des balises le long de la route) et horodatées. Les données sont transmises en temps réel à l'exploitant via un moyen de communication mobile, ou transférées sur un support de stockage numérique. Les adresses identiques repérées le long d'un itinéraire permettent de calculer des temps de parcours ou des vitesses moyennes. Le débit peut être approximé mais il reste peu précis et dépend du taux d'équipement Bluetooth a bord des véhicules.



▪ **Mesures disponibles :**

Vitesses moyennes, temps de parcours, sens de déplacement.

▪ **Facteurs perturbant les mesures :**

Les Facteurs perturbant les mesures sont essentiellement liées au taux d'équipement en appareils Bluetooth a bord des véhicules. Certaines configurations environnementales peuvent impacter la précision des mesures comme par exemple la présence de lignes de transport en commun à proximité de l'antenne.

**5-2-2-Le RFID : infrastructures de péage (*Radio-frequency identification*)**

Dans le but d'atténuer les congestions à l'entrée des péages [6], les sociétés d'autoroute ont équipé leurs péages de bornes RFID ou DSRC (*Dedicated Short Range Communications*) capables de communiquer avec un appareil RFID/DSRC (badge, téléphone) a l'intérieur du véhicule. C'est le principe du télépéage (Electronic Toll Collection).

Aussi, des portiques RFID/DSRC peuvent être installés le long des voies. Ainsi il devient possible d'associer un véhicule a un identifiant RFID/DSRC anonymisé et chaque véhicule équipé devient alors une sonde de trafic sur le réseau emprunté.

Les transactions de péage étant datées et localisées a l'entrée, le long et a la sortie de l'autoroute, on peut avoir accès a des temps de parcours et, donc, des vitesses moyennes, et aux débits en se basant sur le pourcentage d'utilisateur du télépéage.

Le télépéage permet aussi d'avoir une idée plus précise des plans de gestion du trafic à associer a chaque situation grâce aux classifications possibles par badge (nombre de voyages, type de voyages, heures de voyages...)

▪ **Mesures disponibles :**

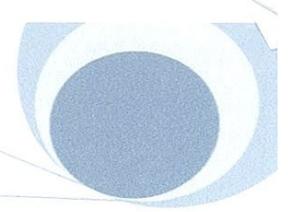
Vitesses moyennes, temps de parcours.

▪ **Facteurs perturbant les mesures :**

Taux d'équipement des usagers en badges, téléphones RFID/DSRC, cout d'installation et d'exploitation, continuité de la mesure (arrêts sur l'autoroute, interférences), qualité de lecture a haute vitesse, les lecteurs peuvent être endommagés par certains badge étrangers.

**5-2-3-Positionnement par bornes WiFi (WPS)**

Le WPS [14] (WiFi positioning System) permet de se positionner grâce aux bornes d'accès WiFi (hotspots) de plus en plus répandues en milieu urbain et notamment dans



tous les lieux publics. Cette technique permet de palier les défauts de positionnement relatifs au GPS en milieu urbain, d'avoir une couverture intéressante au niveau des villes et d'être complètement gratuit.

Après identification par ces bornes d'accès WiFi, il est donc possible de localiser ces terminaux Wi-Fi avec une précision inférieure à 50 mètres. A partir de ces positions horodatées, il est possible d'estimer la vitesse moyenne et le temps de parcours d'un véhicule équipé.

Avec cette technologie et une base de données contenant les localisations exactes des bornes Wi-Fi, le programme est capable de localiser l'endroit où chacun se trouve.

### ▪ **Mesures disponibles :**

Localisation (précision < 50m), vitesses moyennes, temps de parcours, suivi des déplacements urbains.

### ▪ **Facteurs perturbant les mesures :**

Utilisation en milieu urbain, zone couverte par les bornes WiFi.

## **6- Conclusion**

Malgré les nombreuses recherches dans le domaine de la vision par ordinateur, l'analyse et la compréhension automatique du trafic reste un challenge.

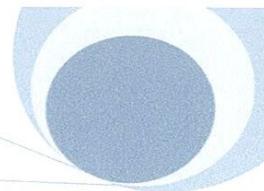
Le capteur vidéo semble être le choix d'avenir parce qu'il offre toutes les données nécessaires à la réalisation de nombreuses fonctions (aussi bien du comptage de véhicule que de la détection d'incident). C'est un capteur très flexible et économiquement intéressant. Cependant, les processus de traitement chargés d'analyser ce flux vidéo sont des systèmes complexes et difficiles à développer. Ils doivent être efficaces pour tous types de trafic (et jusqu'à 2x3 bandes de circulation) et dans toutes les conditions possibles d'observation.

Ils doivent réaliser plusieurs fonctions et générer des résultats en temps réel. Plusieurs produits existent aujourd'hui qui répondent partiellement à ces critères, mais les nouveaux développements en matière d'algorithmique et les puissances de calcul offertes par les ordinateurs modernes ouvrent de nouvelles perspectives dans l'analyse de trafic.

# Chapitre III

## *Traitements en Vidéo Surveillance*

- 1- Introduction.
- 2- Détection d'objets en mouvement.
- 3- Suivi d'objets en mouvement.
- 4- Conclusion.



### 1- Introduction

La vidéosurveillance intelligente (*smart vidéo surveillance*) [1] est un processus qui consiste à identifier automatiquement dans des séquences vidéo, des objets, des comportements ou des événements particuliers (*prédéfinis par un utilisateur ou appris par le système*). Elle analyse et transforme les données issues d'une (*ou plusieurs*) caméra en une interprétation sémantique directement exploitable par un opérateur humain. Par exemple, lorsqu'une anomalie est détectée, le système peut envoyer une alerte au personnel afin qu'il puisse prendre une décision sur l'intervention adéquate à mettre en place.

Un système de vidéosurveillance est composé de 3 modules (*Figure III.1*) [15]:

1. Module de détection de mouvement.
2. Module de suivi des objets.
3. Module de reconnaissance.

#### 1. Module de détection de mouvement

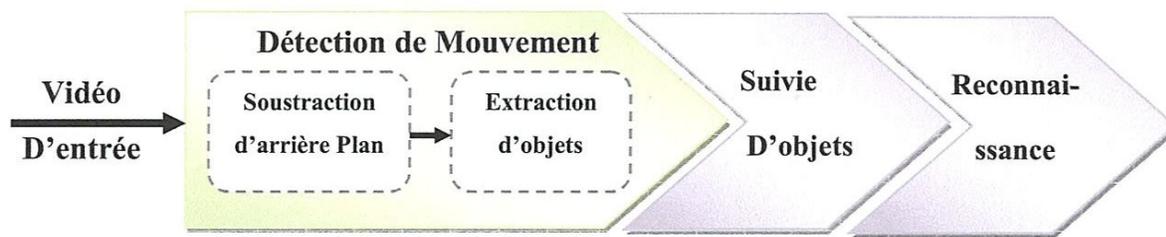
La détection est la première étape d'un système de vidéosurveillance. Elle permet l'extraction des objets mobiles présents sur les images de la séquence vidéo en les séparant de l'arrière-plan. C'est une étape de traitement de bas niveau.

#### 2. Module de suivi des objets

Le suivi des objets mobiles est une estimation temporelle des trajectoires des différents objets mobiles.

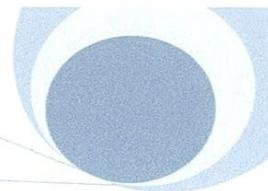
#### 3. Module de reconnaissance

Il permet de reconnaître des comportements suspects et génère une prise de décision appropriée à ce comportement.



*Figure III.1* : Structure d'un système de vidéosurveillance





## 2-Détection d'objets en mouvement

Nous considérons le problème de détection de mouvement comme un problème de segmentation consistant à séparer ou classer les pixels en 2 classes distinctes, l'arrière-plan (*background*) et l'avant-plan (*foreground*).

Les zones de l'arrière-plan font référence à toute structure ou objet situé dans le champ de vision de la caméra et ne subissant pas (*ou peu*) de changements au cours du temps, tandis que les régions du **foreground** correspondent aux éléments de la scène en déplacement (*ou susceptible de l'être*). L'estimation de l'arrière-plan est une étape importante dans de nombreuses applications de vidéo-surveillance.

En pratique, certains éléments de l'arrière-plan peuvent changer d'apparence (*conditions climatiques, changements de luminosité*) et/ou être en mouvement (*mouvement des branches d'un arbre*). Les principales différences entre les méthodes de soustraction d'arrière-plan résident dans la modélisation de l'arrière-plan et la façon de calculer la différence entre l'image et le modèle.

Ces méthodes ont un point commun, elles reposent sur l'analyse spatio-temporelle de l'intensité des pixels. Il s'agit d'analyser temporellement les valeurs des pixels afin d'en extraire une information, dite de bas-niveau, mais essentielle aux traitements de plus haut niveau (*extraction et suivi d'objets, analyse de comportement*).

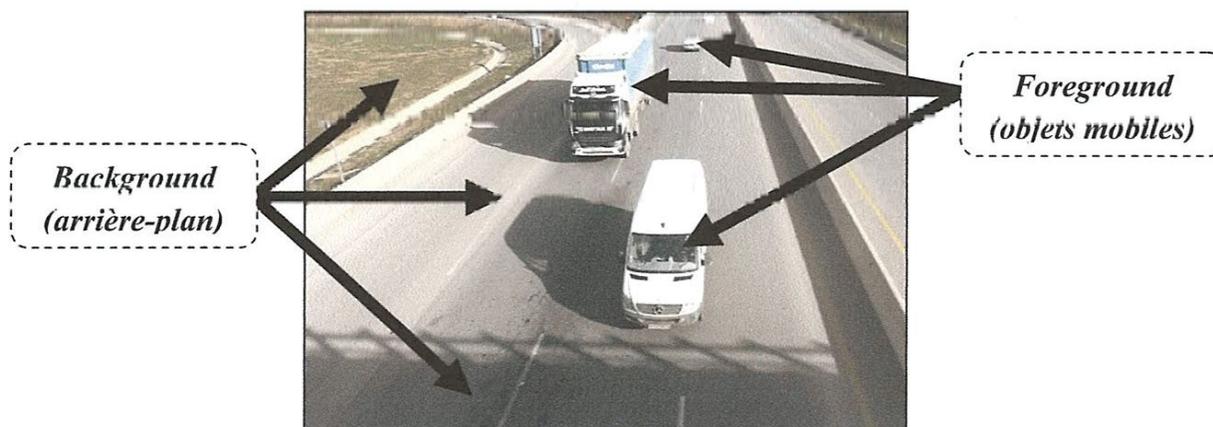
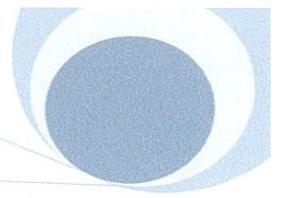


Figure III.2: Illustration du Background et Foreground (Autoroute Est-Ouest Algérie)



### 2-1- Différences temporelles

Les approches basées sur la différence entre images [1][15] (ou *différence temporelle*, *DT*) ne nécessitent pas de modèles d'arrière-plan et extraient les régions en mouvement par analyse de la variation temporelle de l'intensité lumineuse des pixels. L'approche la plus simple consiste à observer la différence absolue entre deux images (ou *plus*) d'entrée. Un seuillage permet ensuite de déterminer les changements dans la scène observée. Si  $I_t$  est l'intensité lumineuse de la  $t^{\text{ième}}$  image et  $(u, v)$  les coordonnées d'un pixel de cette image, alors la différence en valeur absolue s'exprime par :

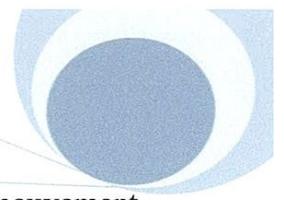
$$\Delta_t(u, v) = |I_t(u, v) - I_{t-1}(u, v)| \quad \text{(III.1)}$$

Avec généralement une valeur faible pour  $\tau$  compris entre 1 et 5. L'image des zones en mouvement (*foreground*), notée  $M(u, v)$  est extraite par seuillage telle que :

$$M_t(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{si } \Delta_t(u, v) \geq \tau \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \text{(III.2)}$$

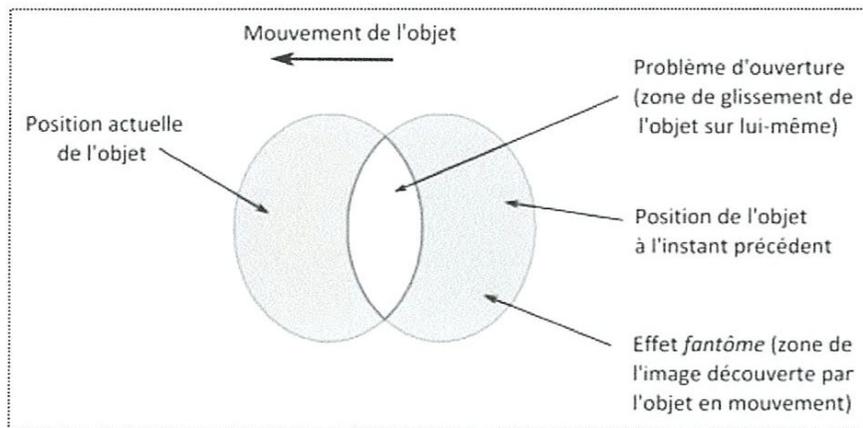
Cette approche s'adapte très rapidement aux changements de luminosité, mais elle est peu robuste face aux bruits d'acquisition. Les résultats de la segmentation dépendent uniquement du choix de la méthode de seuillage utilisée et souvent un simple seuillage ne permet pas d'extraire de façon précise les zones mobiles. Notamment, lorsque les objets sont uniformes en intensité et/ou qu'ils se déplacent lentement, cette méthode laisse apparaître à l'intérieur et à proximité des objets des erreurs de segmentation comme illustré sur la *Figure III.3 (problème d'ouverture)*. Pour palier à ces problèmes, certains auteurs [16] suggèrent l'utilisation d'une double différence à partir de 3 images consécutives. Les régions en mouvement sont extraites à partir de l'image résultante de la double différence de la façon suivante :

Dans un premier temps, deux différences entre images sont calculées et un seuillage est effectué afin d'extraire deux masques binaires. Une opération ET logique permet ensuite d'obtenir l'image de double-différence (binaire). Malgré les limitations des méthodes



basées sur la différence temporelle, elles permettent une extraction rapide du mouvement à travers l'analyse de l'intensité lumineuse des pixels. Elles ne sont cependant pas adaptées lorsque les objets se déplacent lentement ou lorsque les objets sont homogènes en couleur. Elles sont donc rarement employées seules et sont utilisées afin d'extraire une information de bas-niveau sur le mouvement dans la scène.

Lorsque l'objet se déplace lentement et qu'il possède une couleur uniforme, la soustraction laisse apparaître un effet *fantôme*.



**Figure III.3** : Illustration du problème d'ouverture

Des méthodes hybrides ont été proposées combinant cette information avec une soustraction d'arrière-plan utilisant un modèle de fond. Citons par exemple la méthode proposée par Spagnolo en 2006 [17] (*Figure III.4*) où une double différence permet d'obtenir les régions en mouvement. Une fois estimées, une soustraction d'arrière-plan à l'aide d'une image de référence est utilisée pour affiner les résultats. Une approche semblable a été proposée dans Migliore en 2006 [18], où la différence inter-image est combinée à une différence avec une image d'arrière-plan afin de résoudre le problème d'ouverture et d'effet *fantôme*.

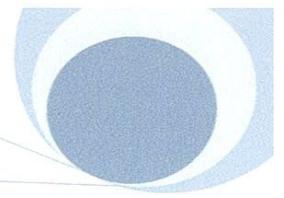


Figure III.4 : Exemple des travaux de P.Spagnolo en 2006

### 2-2- Soustraction d'arrière-plan

Généralement on peut faire la soustraction d'arrière plan à l'aide de quatre méthodes distincte [15]:

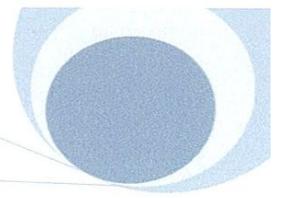
1. Soustraction d'arrière-plan par image.
2. Soustraction d'arrière plan avec un Modèle gaussien.
3. Soustraction d'arrière-plan par Filtrage prédictif.
4. Soustraction d'arrière-plan par Dictionnaire de mots visuels.

#### 2-2-1 Soustraction d'arrière-plan par image

Dans sa forme la plus simple, l'arrière-plan [19] consiste en une image  $B$  dans laquelle la scène est représentée sans objet. La segmentation consiste à étudier chaque pixel de l'image et à les comparer avec l'image de référence  $B$ . Si la différence est supérieure à un seuil  $T$ , le pixel est classé en tant que *foreground*, sinon il est classé en tant que background. Le résultat de la segmentation est une image binaire  $M$  donnée par :

$$M_t(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{si } |I_t(u, v) - B(u, v)| \geq \tau \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \text{(III.3)}$$

Il est souvent difficile d'obtenir l'image d'arrière-plan et il est nécessaire de la mettre à jour régulièrement pour prendre en compte les changements de luminosité. L'estimation de l'image  $B$  peut être effectuée de différentes façons. Elle peut être représentée par la valeur moyenne estimée de façon incrémentale à l'aide de l'Equation (III.4).

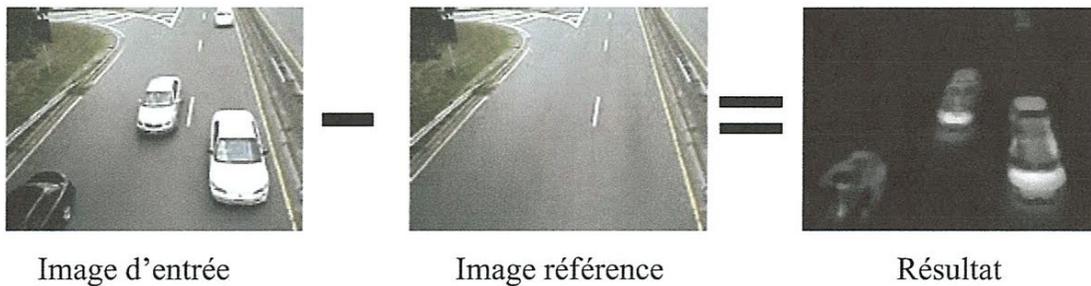


$$B_t(u, v) = \frac{t-1}{t} B_{t-1}(u, v) + \frac{1}{t} I_t(u, v) \quad (III.4)$$

De façon générale, la valeur moyenne récursive permet d'estimer la moyenne récursive (*mean average*) à l'aide du filtrage adaptatif suivant :

$$B_t(u, v) = \alpha B_{t-1}(u, v) + (1-\alpha)I_t(u, v) \quad (III.5)$$

Le paramètre  $\alpha$  est appelé le taux d'apprentissage et permet de contrôler la vitesse de mise à jour de l'image d'arrière-plan. Une valeur élevée aura pour conséquence de ne prendre que très peu en compte la nouvelle image, tandis qu'une valeur très faible permettra une adaptation très rapide de l'arrière-plan (lorsque  $\alpha = 0$ , l'image d'arrière-plan correspond à l'image précédente).

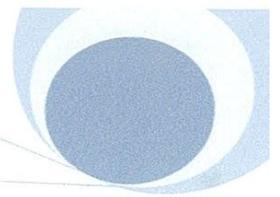


**Figure III.5** : Illustration d'une opération de soustraction d'arrière plan

Une approche alternative [15] consiste à estimer la valeur médiane des intensités des pixels à partir des  $n$  derniers échantillons d'une fenêtre temporelle telle que :

$$B_t(u, v) = \text{Median}\{I_{t-n+1}(u, v), \dots, I_{t-1}(u, v), I_t(u, v)\} \quad (III.6)$$

L'inconvénient de cette approche est la nécessité de conserver en mémoire les images précédentes pour l'estimation. Une implémentation récursive a été proposée [20] où la valeur médiane est incrémentée de 1 si le pixel est supérieur à sa valeur, et décrétementée de 1 le cas échéant. L'inconvénient est une lente adaptation et demande par conséquent une longue période d'apprentissage. De manière générale l'incrémentation (ou la décrémentation) de la valeur médiane s'effectue à l'aide d'une constance notée  $c$  telle que :



$$B_t(u, v) = \begin{cases} B_t(u, v) + c & \text{si } I_t(u, v) > B_{t-1}(u, v) \\ B_t(u, v) - c & \text{si } I_t(u, v) < B_{t-1}(u, v) \\ B_t(u, v) & \text{sinon} \end{cases} \quad (\text{III.7})$$

### 2-2-2 Soustraction d'arrière plan avec un Modèle gaussien

Les pixels d'arrière-plan sont indépendamment distribués selon une distribution gaussienne  $N$ . Cette approche [1][15] probabiliste permet de prendre en compte les faibles variations d'intensité lumineuse considérées comme étant des bruits de mesures dans le modèle. Le mode de la distribution (*moyenne*) caractérise la couleur dominante prise par le pixel (*couleur d'arrière-plan*) et la variance caractérise la variabilité autour de cette valeur. Pour prendre en compte les changements de luminosité, les paramètres de moyenne et de variance sont mis à jour régulièrement de façon récursive à l'aide d'un paramètre  $0 \leq \alpha \leq 1$  appelé *taux d'apprentissage* et permettant de régler la vitesse d'adaptation. L'arrière-plan et sa variance sont estimés, pour chaque image, avec :

$$\begin{aligned} B_t &= \alpha \cdot B_{t-1} + (1-\alpha)I_t \\ V_t &= \alpha \cdot V_{t-1} + (1-\alpha)(B_t - I_t)^2 \end{aligned} \quad (\text{III.8})$$

L'utilisation d'un tel modèle permet de définir la vraisemblance  $L$  pour chaque pixel d'appartenir à l'arrière-plan selon :

$$L(I_t) = N(I_t | B_t, V_t) \quad (\text{III.9})$$

L'image foreground est construite en définissant les pixels d'arrière-plan comme étant ceux suffisamment éloignés de la valeur moyenne. Généralement, la valeur de la variance est directement exploitée dans la décision de la façon suivante :

$$M_t(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{si } |I_t(u, v) - B_t(u, v)| < 2.5\sqrt{V_t(u, v)} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (\text{III.10})$$

### 2-2-3 Soustraction d'arrière-plan par Filtrage prédictif

Plusieurs travaux [21] proposent un algorithme basé sur un filtrage prédictif à l'aide d'un filtre de Wiener. Une prédiction linéaire basée sur l'historique des anciennes valeurs



est effectuée ; si un pixel s'écarte de la prédiction, alors il est déclaré en tant que pixel en mouvement. La prédiction de la valeur du pixel est donnée par :

$$x_t = - \sum_{k=1}^p a_k x_{t-k} \quad (\text{III.11})$$

Avec  $a_k$  les coefficients de prédiction du filtre,  $x_t$  la prédiction de la valeur du pixel à l'instant  $t$ . Le filtre utilise les  $p$  échantillons les plus récents de l'historique pour effectuer la prédiction, et les coefficients  $a_k$  sont déterminés à partir de la covariance des valeurs de  $x_t$ . La décision de classification utilise l'erreur de prédiction  $e$ , définie par :

$$E[e_t^2] = E[s_t^2] + \sum_{k=1}^p a_k E[s_t s_{t-k}] \quad (\text{III.12})$$

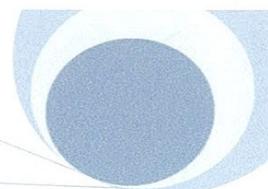
Pour chaque pixel, cette erreur est évaluée et si un pixel s'écarte de plus de  $4.0\sqrt{E[e_t^2]}$  de la prédiction, il est considéré comme étant en mouvement. Le filtrage de Kalman est une autre approche prédictive fournissant une solution optimale lorsque le système dynamique relatif au problème est représentable sous forme linéaire et qu'il est perturbé par un bruit supposé gaussien. Dans le cadre de la modélisation d'arrière-plan, de nombreuses versions différentes ont été proposées [22][23][24] et se différencient généralement par le choix des caractéristiques utilisées. Notons  $x_t$  le vecteur d'état d'un pixel  $p$  à l'instant  $t$ . Ce vecteur décrit la valeur d'intensité lumineuse du pixel ainsi que sa dérivée temporelle et s'écrit :

$$x_t = [I_t, \dot{I}_t]^T \quad (\text{III.13})$$

Chaque pixel de l'image est mis à jour récursivement selon :

$$\begin{bmatrix} I_t \\ \dot{I}_t \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} I_{t-1} \\ \dot{I}_{t-1} \end{bmatrix} + K \cdot \left( I_t - H \cdot A \cdot \begin{bmatrix} I_{t-1} \\ \dot{I}_{t-1} \end{bmatrix} \right) \quad (\text{III.14})$$

Avec  $A$  la matrice d'évolution décrivant la dynamique de l'arrière-plan et  $H$  la matrice d'observation décrivant la relation entre la mesure et l'état. Le gain  $K$  du filtre caractérise généralement le *taux d'apprentissage* et s'écrit :  $K = [\alpha \quad \alpha]^T$



### 2-2-4 Soustraction d'arrière-plan par Dictionnaire de mots visuels

L'utilisation d'un dictionnaire de mots visuels pour modéliser l'arrière-plan a été proposée dans [25]. Cette approche consiste à construire pour chaque pixel un modèle représenté par un ensemble de variables appelées mots visuels caractérisant son état actuel.

Dans le modèle W4 (Minimum-Maximum filter) [26], chaque pixel est caractérisé par un jeu de 3 valeurs, le minimum d'intensité (*Min*), le maximum d'intensité (*Max*) et la différence maximum d'intensité entre 2 images consécutives (*Diff*). Ces valeurs sont initialement estimées durant une phase d'apprentissage et mises à jour régulièrement au cours du temps. Un pixel est considéré comme étant en mouvement si une des deux conditions suivantes est remplie :

$$|Min - I_t| > D_t \quad \text{o u} \quad |Max - I_t| > D_t \quad (III.15)$$

La Figure III.6 représente la Modélisation par dictionnaire de mots visuels [26]. (À gauche) L'ensemble des mots visuels forment un cylindre dans l'espace couleur caractérisant l'arrière-plan. (À droite) Résultats obtenus par les auteurs en utilisant ce modèle.

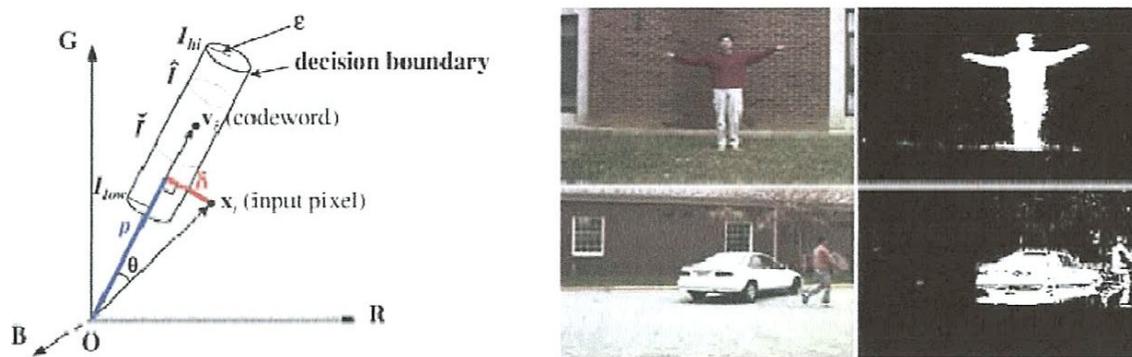


Figure III.6 : représentation de Modélisation par dictionnaire de mots visuels

Le dictionnaire est enrichi par la fréquence d'occurrence du mot  $f$ , la durée maximale durant laquelle le mot n'a pas été sollicité pendant l'apprentissage  $\lambda$  et le premier et dernier accès au mot visuel  $p$  et  $q$ . Ces valeurs sont utilisées pendant la période d'apprentissage pour construire le modèle. La classification *background foreground* s'effectue en calculant la différence de couleur et de luminosité (*brightness*) selon la Figure III.6, Si la valeur du



pixel est contenue dans le cylindre formé par  $I_{low}$ ,  $I_{high}$  et par la distance  $\delta$  sur la Figure, alors il est considéré comme appartenant à l'arrière-plan.

### 2-3- Segmentation par mélange de gaussiennes

Un modèle de mélange gaussien (*usuellement abrégé par l'acronyme anglais **GMM** pour **Gaussian Mixture Model***) est un modèle statistique exprimé selon une densité mélange. Elle sert usuellement à estimer paramétriquement la distribution de variables aléatoires en les modélisant comme une somme de plusieurs gaussiennes (appelées *noyaux*). Il s'agit alors de déterminer la variance, la moyenne et l'amplitude de chaque gaussienne. Ces paramètres sont optimisés selon un critère de maximum de vraisemblance pour approcher le plus possible la distribution recherchée. Cette procédure se fait le plus souvent itérativement via l'algorithme espérance-maximisation (*EM*).

Lorsque l'arrière-plan est fortement dynamique (*par exemple lorsque la scène contient des branches d'arbres en mouvement*) la variance des pixels devient rapidement élevée et il n'est plus possible de représenter la couleur de l'arrière-plan à l'aide d'une seule gaussienne.

Pour prendre en compte la multi-modalité de ce type de variation, Stauffer et Al [27] proposent dans l'utilisation d'un modèle de mélange de gaussiennes (*Gaussian Mixture Model, GMM*) dont les paramètres sont estimés à l'aide d'un algorithme de type *Expectation-Maximization* (*EM*). Pour permettre une analyse en temps réel, une version récursive de l'algorithme EM est proposée, dont les approximations ont été identifiées.

L'algorithme original a été étudié intensivement depuis son apparition et de nombreuses variantes ont été proposées dans la littérature [28].

L'intensité pour chaque pixel de l'image est modélisée par un mélange de  $K$  distributions gaussiennes, avec  $K$  le nombre de composantes du mélange généralement compris entre 3 et 5. La probabilité de voir apparaître un pixel d'intensité  $x_t$  à l'instant  $t$  est estimée par :

$$P(x_t) = \sum_{k=1}^K w_{k,t} N(x_t / \mu_{k,t}, \Sigma_{k,t}) \quad \text{(III.16)}$$

Avec  $\mu_{k,t}$ ,  $\Sigma_{k,t}$ ,  $w_{k,t}$  respectivement les moyennes, covariances et poids associés à la composante  $k$  à l'instant  $t$ . Les paramètres des distributions sont mis à jour de façon



récursive en approximant l'algorithme EM par un algorithme K-mean. Chaque pixel est comparé à l'ensemble des composantes du modèle.

**2-4- Estimation basée sur un noyau**

L'estimation basée sur un noyau (*Kernel Density estimation, KDE*) est une technique d'estimation de densité de probabilité à partir d'un ensemble d'échantillons sans aucune hypothèse sur la forme de la distribution dont ils sont issus. Soit un ensemble d'échantillons  $S = \{x_i\}_{i=1..N}$  distribué selon la loi de densité  $p(x)$ . Une estimation de  $p(x)$  peut être évaluée en utilisant :

$$p(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K_{\sigma}(x - x_i) \tag{III.17}$$

Avec  $K_{\alpha}$  est une fonction noyau (*fenêtrage*) de largeur  $\alpha$ , des auteurs [29] proposent d'estimer l'arrière-plan à l'aide des  $n$  valeurs les plus récentes.

En utilisant un noyau gaussien et un vecteur couleur  $x$  de dimension  $d = 3$ , la densité est estimée selon :

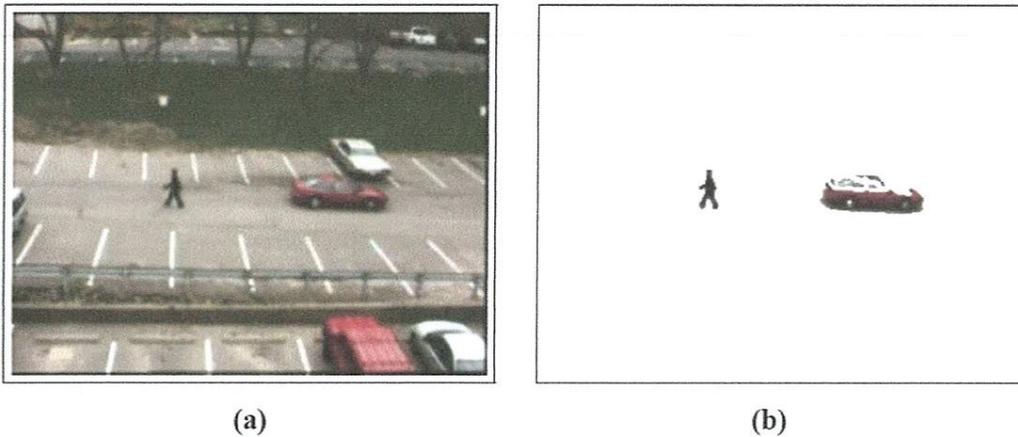
$$p(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \prod_{c=1}^d \frac{1}{\sqrt{2\pi_c^2\sigma}} e^{-x \cdot \frac{(x_{c,t} - x_{c,i})^2}{2\sigma}} \tag{III.18}$$

La largeur du noyau  $\alpha$  est estimée à partir de la valeur médiane  $m$  des différences entre images consécutives  $|I_t - I_{t-1}|$ .

**2-5- Détection par analyse en composantes principales**

L'utilisation de méthodes d'analyse de données telles que l'ACP (*Analyse en Composantes Principales*) a également été appliquée pour la modélisation de l'arrière-plan [19]. L'objectif consiste à créer une matrice de données à partir d'un ensemble d'images d'apprentissage afin d'y appliquer une ACP et d'en dégager une base de vecteurs propres (*appelée Eigen Background*).

En pratique, la construction du modèle d'arrière-plan est réalisée à partir d'un ensemble de  $N$  images d'apprentissage prises à des instants différents dans la vidéo. Afin d'obtenir



**Figure III.7 :** Détection de mouvement par méthode hybride  
(a) Image originale, (b) Régions en mouvement détectées.

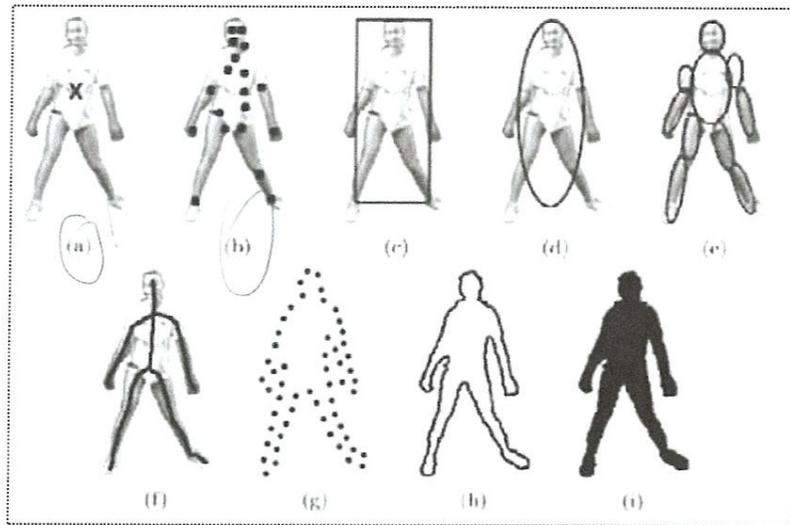
### 3-Suivi d'objets

Le suivi d'objets consiste à associer les objets détectés dans l'image courante avec ceux détectés aux images précédentes. Il s'agit de maintenir l'identité des objets et l'évolution temporelle de leurs positions (*ou d'une autre caractéristique*). Ce problème peut être vu comme un problème de localisation spatiale et temporelle des objets présents dans la scène. De nombreuses approches de suivi d'objets se basent sur l'apparence d'un objet.

L'utilisation de ces méthodes nécessite une représentation pertinente de l'objet possédant des primitives fiables pour décrire son contenu. Le choix d'un modèle d'apparence est une étape cruciale et joue un rôle central dans les techniques de suivi visuel d'objet. Les performances de la reconnaissance de l'objet au cours de temps sont fortement liées au choix des primitives visuelles utilisées.

#### 3-1- Représentation des objets

Les objets peuvent être représentés de nombreuses façons et le choix de la représentation d'un objet dépend fortement du domaine d'application [1]. Nous reprenons dans cette section la classification proposée dans Yilmaz en 2006 [30]. (a)-(b) Représentation à l'aide d'un ensemble de points, (c)-(d)-(e) Représentation à l'aide d'un ensemble de formes géométriques, (f) Représentation à l'aide du squelette, (g)-(h)-(i) Représentation à l'aide du contour (partiel ou non) et de la silhouette d'un objet.



**Figure III.8** : représentation de la forme d'un objet (adapté de Yilmaz 2006).

### 3-1-1- Représentation de la forme d'un objet

Les représentations basées sur la forme d'un objet sont nombreuses (*Figure III.6*) : un ensemble de points, une forme géométrique (ex. un rectangle, une ellipse), un contour, une silhouette, un modèle 2D ou 3D, . . . etc.

- a) **Représentation par des Points** : Un objet peut être représenté par un point. Il peut s'agir par exemple de son centre de masse, du centre de sa boîte englobante, ou tout autre point caractéristique de la forme. Il s'agit d'une représentation simple de la localisation 2D (ou 3D) de l'objet. Cette représentation se généralise à un ensemble de points auxquels peuvent être associés des descripteurs locaux de couleur, de texture ou de mouvement.
- b) **Représentation par Formes géométriques** : L'objet est représenté par une forme géométrique, par exemple un rectangle ou une ellipse, permettant une description de la dimension de l'objet. Le mouvement des objets associés est généralement modélisé à l'aide de transformations de translations, affines ou projectives. Cette représentation se généralise par des modèles articulés, composés d'un ensemble de formes géométriques 2D ou 3D particulièrement utilisé dans la modélisation du corps humain .

- c) **Représentation par Contours** : La représentation d'un objet par son contour permet une description plus complète de la forme d'un objet. Un contour peut être vu comme étant un ensemble de points ordonnés généralement estimé à l'aide d'une analyse du gradient d'intensité au voisinage d'un pixel. La région interne du contour est appelée silhouette de l'objet et peut être utilisée conjointement à l'information de contour pour le suivi d'objets [30].
- d) **Représentation par Squelette** : Le squelette d'un objet peut être extrait pour caractériser la forme d'un objet ou d'une forme géométrique. Ce modèle est utilisé en tant que descripteur de forme pour la reconnaissance d'objets. Cette représentation peut être aussi bien utilisée sur des objets déformables que des objets rigides. D'autres auteurs [31] utilisent le squelette des formes obtenues par un module de détection de mouvement afin d'estimer la position de la tête et d'effectuer une tâche de comptage.

#### **3-1-2- Représentation de l'apparence d'un objet**

Les caractéristiques d'apparence sont généralement utilisées conjointement aux caractéristiques de formes dans l'objectif de compléter la représentation de l'objet à suivre. Elles ont pour objectif de résumer l'information contenue dans le signal lumineux (image). Parmi les méthodes existantes, on retrouve les fonctions de densité de probabilité (*estimateurs à noyaux, histogrammes ou modèle de mélange de gaussiennes*) les patrons (template) ou encore les modèles dynamiques d'apparence (*Active Appearance Models*).

- **Représentation par Densité de probabilité d'apparence** : L'apparence d'un objet peut être modélisée à l'aide de la répartition des valeurs des couleurs qu'il contient (ou de toute autre caractéristique) sous forme de densité de probabilité. La fonction de densité de probabilité peut être estimée par un estimateur à noyau (*Kernel Density Estimator, KDE*), représentée sous la forme d'un histogramme, ou encore sous une forme paramétrique à l'aide d'une gaussienne ou d'un mélange de gaussiennes.
- **Représentation par des Patrons** : Cette représentation considère directement le signal lumineux dans les images. Dans le cadre du suivi d'objet, les méthodes basées sur un patron (*Template based matching*) effectuent directement la mise en correspondance 2D sur une partie de l'image sans passer par une phase d'extraction

de caractéristiques. La recherche des paramètres de la transformation se fait généralement en optimisant un critère de corrélation .

- **Représentation par Modèle dynamique d'apparence** - Les modèles dynamiques d'apparence (*Active appearance models*) modélisent généralement les objets à travers des caractéristiques de formes et d'apparence des objets. Ces méthodes ont pour objectif de prendre en compte les variations d'apparence d'un objet. Ces variations peuvent être de deux types différents, intrinsèque ou extrinsèque. La déformation de la forme ou le changement de pose d'un objet est considéré comme une variation intrinsèque, tandis que les variations causées par le changement de luminosité, le mouvement de la caméra ou l'occlusion sont considérés comme une variation extrinsèque. Ces modèles nécessitent généralement une phase d'apprentissage permettant d'apprendre à partir d'un jeu d'exemples la forme et l'apparence d'un objet .

#### **3-2- Primitives pour le suivi d'objets**

La sélection des primitives visuelles joue un rôle essentiel dans les techniques de suivi d'objets [1]. Ces primitives ont pour objectif de décrire les propriétés visuelles de l'objet dans l'image. Elles sont ensuite utilisées pour détecter ou suivre les objets à l'aide d'une métrique de comparaison. Ces primitives peuvent être choisies manuellement par l'utilisateur en fonction de l'application ou encore sélectionnées de façon automatique à l'aide, par exemple, d'une analyse en composante principale (PCA).

##### **➤ Couleur :**

La couleur est sans doute la primitive la plus utilisée pour décrire un objet. Elle est directement accessible depuis le signal lumineux (image) et fournit une description intuitive de l'apparence d'un objet. La couleur prédominante d'un objet peut être utilisée directement en recherchant dans l'image les pixels de mêmes valeurs ou, de façon plus générale, rechercher l'objet dans l'image à l'aide de sa distribution couleur. Plusieurs auteurs [32] représentent les objets à l'aide d'un histogramme couleur. Dans d'autres travaux les auteurs proposent de partitionner spatialement l'objet afin de le modéliser à l'aide d'un ensemble d'histogrammes associés à chacune des régions obtenues.

Généralement, l'information couleur est représentée dans l'espace de couleur RGB. L'inconvénient majeur d'une telle représentation est sa forte corrélation entre les composantes couleurs et sa non uniformité dans la perception faite par l'humain (*la différence entre les couleurs dans l'espace RGB ne correspond pas à la différence perçue par l'œil*). De nombreuses évaluations ont été faites pour évaluer les performances entre les différents espaces de couleur [33]. L'espace HSV possède par exemple un certain degré d'invariance contre les changements d'illumination, et l'espace  $L^*a^*b$  est un espace de couleur approximativement uniforme (péceptuellement) [33].

#### ➤ Gradient

L'information de gradient spatial des objets a été largement utilisée pour caractériser la forme et le contour d'un objet. Cette information est extraite à partir de l'analyse spatiale de l'intensité lumineuse de l'image. Une propriété importante du gradient est sa sensibilité plus faible aux changements de luminosité comparée aux caractéristiques couleurs. Les contours issus du gradient sont exploités dans de nombreuses approches de suivi d'objet. Le gradient permet de définir des points caractéristiques dans les objets (*détecteur de Marravee, Harris, . . .*). L'algorithme CONDENSATION [34] (*Conditionnal density propagation*) consiste à initialiser une courbe spline sur les contours, et un filtre à particules est utilisé pour mettre à jour les paramètres de la courbe paramétrée. Des techniques de minimisation d'énergie le long des contours des objets ont également été proposées pour suivre les objets sous certaines contraintes de régularisation (*snakes et contours actifs*). Les histogrammes d'orientations de gradient (HOG) ont été utilisés en tant que primitives pour la construction de certains descripteurs. Par exemple, les descripteurs SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) qui combinent un détecteur et un descripteur invariants à l'échelle basés sur la distribution du gradient. Les orientations des gradients dans un voisinage pondéré sont représentées sous forme d'histogrammes . La Figure III.10 représente Construction du descripteur SIFT à l'aide de la norme et de l'orientation du gradient pondérée par noyau gaussien (représenté par le cercle bleu). Les valeurs sont accumulées dans un histogramme d'orientations qui résume l'information contenue dans le voisinage.

➤ **Texture :**

La texture d'un objet [15] est également une caractéristique utilisée pour modéliser et suivre les objets. Les méthodes de modélisation de texture peuvent être classées dans quatre catégories : les modèles statistiques, les modèles structurels et les modèles fondés sur des filtres (spatiaux et/ou fréquentiels). Les modèles statistiques mesurent la distribution spatiale des valeurs des pixels (histogrammes, matrices de co-occurrence, auto-corrélation, . . .). Les méthodes structurelles, la texture est représentée par une répétition d'éléments structurels et la texture est modélisée comme étant un arrangement spatial de ces éléments. Quant aux modèles fondés sur les filtres, ils consistent à appliquer un ensemble de filtres à l'image afin d'en étudier la réponse. On retrouve les filtres dans le domaine spatial (filtres de Sobel, de Canny, Robert, . . .), ceux dans le domaine fréquentiel (filtre de Fourier) ou dans le domaine spatio-temporel (filtre de Gabor, transformée en ondelettes, . . .).

### **3-3- Techniques de suivi d'objets**

Il existe de nombreux états de l'art dans la littérature traitant du sujet de suivi d'objets. Nous regroupons dans ce paragraphe les méthodes principalement utilisées par les algorithmes de suivi. Pour une description approfondie des différentes classifications possible, plusieurs auteurs [31] classent les algorithmes de suivi d'objets dans 4 catégories : algorithmes basés régions, basés contours actifs, basés caractéristiques (features) et basés sur un modèle. Dans Yilmaz en 2006 [30], les auteurs classent les algorithmes en 3 catégories : suivi de points, suivi à noyaux et le suivi de silhouette. Ces classifications ne sont pas strictes et certaines approches peuvent être représentées dans plusieurs catégories.

Dans ce chapitre nous suivons une classification basée sur Trois catégories [1]:

- a) Approches basées sur l'apparence.
- b) Approches basées sur la forme géométrique.
- c) Approches fondées sur des modèles prédictifs.

### 3-3-1-Approches basées sur l'apparence :

L'utilisation de modèles d'apparence est sans doute une des approches les plus utilisées pour la détection et le suivi d'objet. Ces approches se basent sur les descripteurs présentés dans la section 3.1 et sur la définition d'une métrique de comparaison.

#### a) *Template Matching* :

L'approche par *Template Matching* [35] (appariement de gabarit) consiste à comparer l'intensité des pixels entre l'image candidate et le template. Les métriques de mesures utilisées sont généralement la norme L1, la norme L2 ou le coefficient de cross-corrélation.

Généralement, l'intensité ou les composantes couleurs de l'image sont utilisées, ce qui rend ces méthodes sensibles aux variations de luminosité. Plutôt que d'utiliser une information colorimétrique, proposent par exemple l'utilisation d'une image gradient pour former le template.

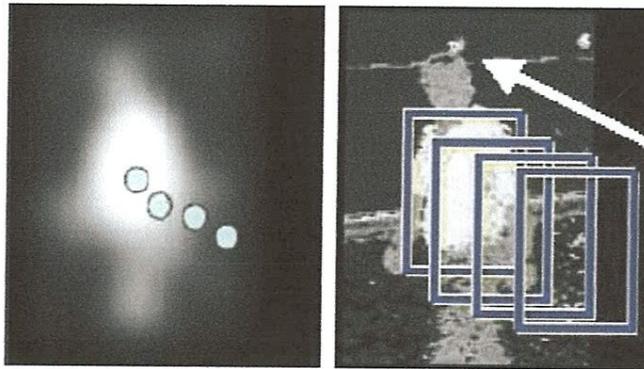
#### b) *L'algorithme Mean-Shift* :

L'algorithme *Mean-Shift* est sans doute la méthode la plus populaire qui utilise une représentation de l'apparence d'un objet sous forme d'histogrammes. Il s'agit d'une méthode non paramétrique qui maximise de façon itérative la similarité entre l'apparence d'un objet et celle d'un candidat autour d'une position estimée. Cette méthode consiste à estimer localement une densité de probabilité à l'aide d'un estimateur non paramétrique à noyau (*fenêtre de Parzen*). Une méthode de montée de gradient permet à l'algorithme *mean-shift* d'estimer de façon itérative les modes d'une distribution d'un ensemble de points définis dans  $\mathbf{R}^d$ .

Appliqué au suivi d'objets, l'algorithme *mean-shift* est utilisé suivant deux approches [36]. La première consiste à construire une image de vraisemblance dans laquelle la valeur des pixels est proportionnelle à la probabilité d'appartenance du pixel à l'objet à suivre. L'algorithme est appliqué sur l'image de vraisemblance afin de déterminer le maximum local par une méthode de montée de gradient. La seconde approche consiste à modéliser la distribution couleur (*ou toute autre caractéristique*) à l'aide d'un histogramme.

Une mesure de similarité entre l'histogramme du modèle et les histogrammes des régions candidats (sélectionnés autour de la dernière position connue de l'objet à suivre) est effectuée, l'algorithme *mean-shift* est appliqué sur la surface résultante de la mesure de similarité et dans une fenêtre de recherche.

La Figure III.9 montre l'application d'une montée de gradient sur la carte de vraisemblance (à gauche) afin d'estimer de façon itérative la nouvelle position de l'objet correspondant au maximum de la carte



**Figure III.9** : Illustration de l'algorithme mean-shift

L'algorithme *Camshift* [37] est une version étendue dans laquelle une étape de mise à jour des histogrammes permet à l'algorithme de s'adapter aux changements d'apparence des objets.



**Figure III.10** : Exemple de suivi d'objet à l'aide de l'algorithme CamShift



c) Le flux optique

Le *flux optique* [15][19] est un champ de vecteur des vitesses apparentes des objets de la scène sur le plan image (Figure III.11). Il permet de déterminer le mouvement de chaque pixel appartenant à une image de la séquence d'images.

L'estimation du flux optique est basée sur l'hypothèse de l'intensité constante c-à-d que l'intensité observée d'un objet ne change pas lorsque celui-ci est en mouvement. Cette hypothèse est valable pour les objets à modèle de *réflectance lambertienne* avec un faible mouvement. Cette méthode suppose donc, que le mouvement est instantané et faible d'une image à l'autre et que les changements observés entre deux images sont uniquement causés par le mouvement

Le calcul du flux optique [5] est basé essentiellement sur un calcul du gradient. Selon l'hypothèse de l'intensité constante [12], on peut écrire l'intensité d'un pixel  $X$  au temps  $t$  :

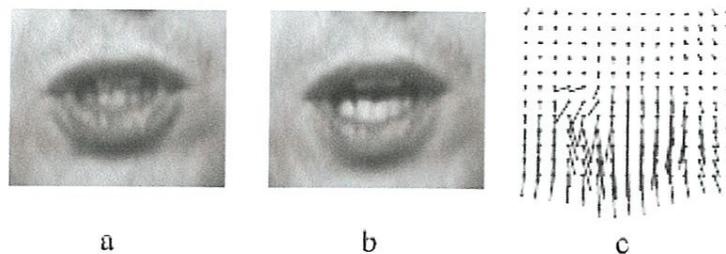
$$I(X, t) = I(X + \Delta X, t + \Delta t) \tag{III.25}$$

Où  $\Delta X$  est le déplacement effectué dans un intervalle de temps  $\Delta t$ .

Le développement en série de Taylor donne :

$$I(X, t) = I(X, t) + \nabla I \cdot \Delta X + \Delta t \frac{\partial I}{\partial t} + O^2 \tag{III.26}$$

Ou :  $\nabla I = \left( \frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y} \right)$  ,  $I_t = \frac{\partial I}{\partial t}$  sont les dérivées partielles d'ordre 1 de la fonction intensité respectivement par rapport à  $(x,y)$  et  $t$  et  $O^2$  la dérivée d'ordre 2 qui est supposée être négligeable.



**Figure III.11:** Le flux optique. (a et b) Région de la bouche sur deux images consécutives. (c) Champ de vecteur de vitesses

En soustrayant  $I(X,t)$  des deux côtés de l'équation du développement de Taylor et en divisant par  $\Delta t$ , on obtient :

$$\text{Le vecteur vitesse : } \nabla I^T v + I_t = 0 \text{ a v e c } \Rightarrow \left( \frac{\Delta x}{\Delta t}, \frac{\Delta y}{\Delta t} \right) \quad (\text{III.27})$$

C'est une équation qui s'apparente à l'équation d'une droite dans l'espace 2D. Elle donne seulement la composante de la vitesse dans la direction du gradient spatial, il s'agit de la vitesse normale  $v_n$ . Le flux normal est donc fonction du gradient spatio-temporel de l'image :

$$v_n = \frac{-I_t}{\|\nabla I\|} \quad (\text{III.28})$$

Le flot optique désigne le champ de vitesses apparent observé entre deux images successives d'une même scène. Son estimation est un intermédiaire essentiel dans de très nombreuses applications récentes.

#### 3-3-2- Approches basées sur la forme géométrique

##### a) Les contours actifs

Les contours actifs [30] permettent de prendre en compte la complexité des contours dans le suivi. Appelé également snake, un contour actif est une structure dynamique d'un ensemble de points mobiles qui évoluent itérativement dans l'image afin d'épouser au mieux la forme d'un objet d'intérêt. L'idée de cette méthode consiste à déplacer les points pour les rapprocher des zones à forts gradients, tout en conservant certaines caractéristiques de forme sur le contour (disposition entre les points).

La dynamique de déplacement des points est basée sur une notion d'énergie associée au contour.

L'évolution du contour est régie par la minimisation de son énergie associée  $E_{\text{totale}}$ . Cette énergie se décompose en deux termes, une énergie interne  $E_{\text{int}}$  et une énergie externe  $E_{\text{ext}}$ , telles que  $E_{\text{totale}} = E_{\text{int}} + E_{\text{ext}}$ . L'énergie interne a pour objectif de donner une certaine régularité au contour en imposant des contraintes sur la forme (courbure par exemple) ou la régularité des points autour du contour. Elle ne dépend pas de l'image ni de la forme à segmenter mais uniquement des points du contour actif (courbure,

espacement entre les points ou autres contraintes liées à la disposition des points). Elle est généralement décomposée en deux termes, une énergie interne de courbure  $E_{\text{courb}}$  et une énergie interne d'élasticité  $E_{\text{elas}}$ . Quant à l'énergie externe, elle fait appel aux données et tente de rapprocher les points du contour vers les zones à fort gradient d'intensité. Lorsque le contour épouse parfaitement la forme de l'objet, cette énergie est théoriquement minimale. L'énergie totale d'un contour actif s'écrit :

$$E_{\text{tot}} = \underbrace{\alpha E_{\text{elas}} + \beta E_{\text{courb}}}_{\text{Energie interne}} + \underbrace{\gamma E_{\text{ex}}}_{\text{Energie externe}} \quad (\text{III.29})$$

Avec  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  les pondérations apportées aux énergies permettant de contrôler l'effet de chacune des composantes de l'énergie totale.

Certains auteurs ont proposé l'ajout d'une énergie supplémentaire, appelée énergie de contexte, permettant d'introduire des connaissances a priori sur ce qui est recherché.

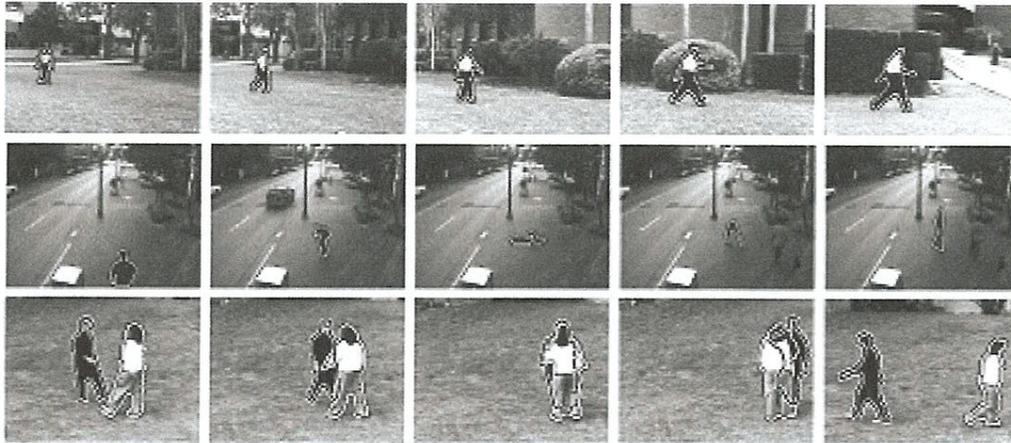


Figure III.12 : Exemple de suivi par contours actifs des objets

### 3-3-3- Approches fondées sur des modèles prédictifs

L'utilisation de modèles d'évolution des objets permet de prédire la position d'un objet dans l'image suivante. Cette étape de prédiction est une caractéristique importante pour les systèmes de suivi d'objets puisqu'elle permet d'aider à la mise en correspondance des objets et de maintenir une cohérence temporelle de la trajectoire grâce aux contraintes du modèle.

Le modèle de mouvement dans sa version la plus simple consiste à prédire la position de l'objet à l'instant suivant à partir de sa vitesse et sans prise en compte de l'accélération. Ce modèle s'exprime par :

$$\begin{cases} \mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{x}_t + \mathbf{v}_{x,t} \\ \mathbf{y}_{t+1} = \mathbf{y}_t + \mathbf{v}_{y,t} \end{cases} \quad \text{(III.30)}$$

où  $(x_{t+1}, y_{t+1})$  est la prédiction de la nouvelle position,  $(x_t, y_t)$  est la position actuelle et  $(v_x, v_y)$  les composantes du vecteur vitesse à l'instant  $t$ . La vitesse peut être estimée soit à l'aide de la position précédente (Eq III.31), soit à l'aide d'une valeur plus ancienne de l'historique (Eq III.32), ou encore à partir d'une estimation de sa moyenne (Eq III.33)

$$\begin{cases} \mathbf{v}_{x,t} = \mathbf{x}_t - \mathbf{x}_{t-1} \\ \mathbf{v}_{y,t} = \mathbf{y}_t - \mathbf{y}_{t-1} \end{cases} \quad \text{(III.31)}$$

$$\begin{cases} \mathbf{v}_{x,t} = \frac{\mathbf{x}_t - \mathbf{x}_{t-N}}{N} \\ \mathbf{v}_{y,t} = \frac{\mathbf{y}_t - \mathbf{y}_{t-N}}{N} \end{cases} \quad \text{(III.32)}$$

$$\begin{cases} \mathbf{v}_{x,t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i - \mathbf{x}_{i-1} \\ \mathbf{v}_{y,t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{y}_i - \mathbf{y}_{i-1} \end{cases} \quad \text{(III.33)}$$

Avec  $N$  la taille de l'historique utilisée. Le modèle réagit plus rapidement lorsque la valeur de l'historique est faible (ou lorsqu'aucun historique n'est utilisé), mais rend la prédiction sensible aux erreurs de location des objets (mauvaise segmentation par exemple) qui peut fournir des positions prédites peu fiables.

#### a) *Le Filtrage de Kalman*

Le *filtrage de Kalman* [1][15] a été utilisé de façon intensive dans les algorithmes de suivi d'objets. Il s'agit d'un filtre linéaire prédictif qui fournit une solution simple et efficace (dans des conditions particulières) pour estimer et prédire la position d'un objet. Ce filtre s'inscrit dans un cadre d'estimation récursive bayésienne dans laquelle l'estimation de la position est effectuée conditionnellement aux mesures et aux états précédents. L'algorithme de *Kalman* n'est équivalent à l'estimation bayésienne en terme d'optimisation que si les processus mis en jeu dans le modèle sont des processus markoviens et gaussiens, ce qui n'est plus le cas lorsque les systèmes sont non linéaires. Le filtre de Kalman nécessite la description du modèle d'évolution du vecteur d'état à

l'aide d'un modèle de mesure (observation) linéaire, auquel est ajouté un bruit blanc gaussien :

$$x_t = A_t x_{t-1} + w_t \quad (\text{III.34})$$

$$z_t = H_t x_t + u_t \quad (\text{III.35})$$

Où  $A_{t-1}$  la matrice de transition du système (traduisant l'évolution du vecteur d'état) et  $H_t$  la matrice d'observation traduisant la relation entre l'observation  $z_t$  et le vecteur d'état  $x_t$ .

Les bruits  $w_t$  et  $u_t$  sont supposés indépendants, gaussiens centrés en zéro et de matrice de covariance  $Q_{t-1}$  et  $R_t$ . Le filtre de Kalman comporte 3 étapes, une étape de prédiction, une étape d'innovation et une étape de correction (voir Figure III.13). Lorsque le modèle d'évolution est non-linéaire, des techniques de linéarisation ont été proposées, comme le filtre de Kalman étendu (EKF). Ce filtrage consiste à linéariser les équations autour de la moyenne de l'état prédit à l'aide d'une approximation au premier ordre.

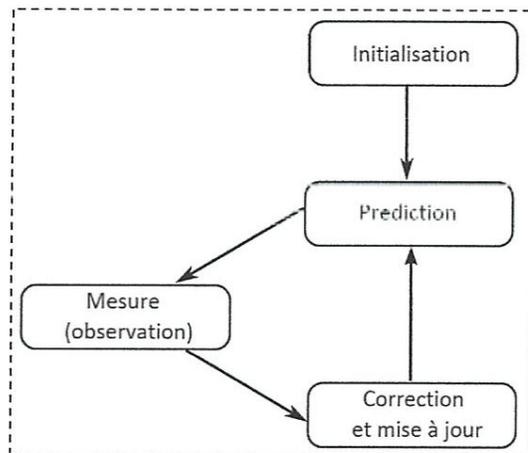


Figure III.13: 3 étapes (hors initialisation) du filtrage de Kalman

### b) Le filtrage particulaire

Le *filtrage particulaire* est une généralisation du *filtrage de Kalman* dans laquelle la distribution n'est plus contrainte à être gaussienne. Il s'agit d'une méthode de simulation séquentielle de type *Monte Carlo*, dans laquelle des échantillons pondérés appelés particules explorent l'espace d'état et interagissent sous l'effet d'un mécanisme de sélection qui concentre automatiquement les particules dans les régions d'intérêt de l'espace d'état.

Les particules font office de description de la distribution et sont mises à jour régulièrement dans un schéma similaire au filtrage de Kalman à l'aide d'une étape de prédiction, d'une étape de mesure et d'une étape de correction de l'état.

#### **4-Conclusion**

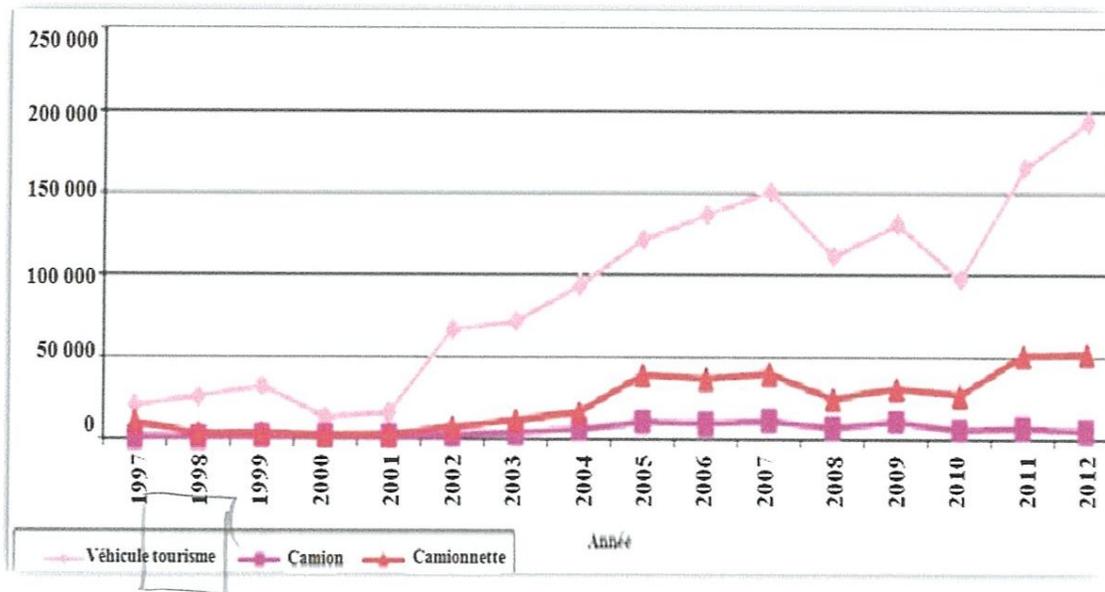
Malgré un état de l'art très riche en méthodes de traitements proposées dans le domaine de la vidéo surveillance, beaucoup de problèmes restent encore non résolus, notamment au niveau de la détection de mouvement lorsque la caméra est en mouvement ou l'existence des obstacles perturbant la phase de segmentation.

## *Conception & Réalisation* *“DETECTOR”*

- 1- Introduction
- 2- Description du projet LAIG.
- 3- Conception du système.
- 4- Implémentation.
- 5- Test & Résultats.
- 6- Conclusion.

### 1- Introduction

Ces dernières années, Les villes algériennes ont connu d’une part un développement important et d’autre part la motorisation de la société a induit des changements fondamentaux dans les déplacements des personnes. En effet, l’augmentation de motorisation a eu un impact direct sur l’explosion de la mobilité urbaine et le volume de déplacements des voyageurs et des marchandises. Les chiffres consignés dans le tableau suivant indiquent, que le nombre de nouveaux véhicules matriculés est passé de 20 000 véhicules en 1997 à 200 000 en 2012 [38].



*Figure IV.1: Evolution du parc national d’automobile par année de mise en circulation*

Le réseau de transport urbain dans les villes algériennes se caractérise d’une part par son inégale répartition spatiale et d’autre part par l’augmentation du phénomène de congestion des voies. Les villes souffrent d’une insuffisance du réseau routier doublée d’une généralisation du système de transport individuel, ce qui provoque des bouchons réguliers rendant difficile la mobilité urbaine. L’incompatibilité du parc automobile avec le linéaire de voirie fait observer des phénomènes de congestion sur plusieurs voies simultanément.

L'augmentation du trafic motorisé a entraîné une surcharge des infrastructures et la congestion, ce qui a des conséquences négatives sur la vie quotidienne, on peut citer par exemple :

- ✚ La limitation des conditions d'accès aux divers centres d'activité.
- ✚ Les pertes de temps dues aux encombrements font subir des pertes économiques directes aux usagers de la route.
- ✚ L'impact des émissions d'échappement sur l'être humain et sur l'environnement.
- ✚ La pollution sonore considérée comme accessoire mais pourrait faire des atteintes auditives et touchant la nervosité.
- ✚ Augmentation des risques d'accidents du aux bruits et au stress des conducteurs bloqués dans le trafic.

Les problèmes en raison de la congestion du trafic sont des problèmes dans différents secteurs (sociale, économique, environnement, etc.) qui ont besoin d'une solution à mettre en œuvre le plus rapidement possible. Semble donc pertinent de rechercher des solutions pour y faire face. La plus simple et rapide serait de construire de nouvelles infrastructures, mais elles sont très coûteuses et réduisent l'espace naturel disponible. Une autre solution pour réduire la congestion du trafic est d'encourager les gens à utiliser les moyens de transport collectif (bus, tramway, covoiturage,...) mais tout porte à croire qu'il y aura une tendance lourde à l'utilisation de la voiture avec toutes les conséquences connues, tendance qui sera difficile à infléchir par la suite. De toute façon, les conséquences directes entraînent des coûts significatifs. Comme un compromis entre celles présentées, il reste la solution d'utiliser l'infrastructure routière existante et de trouver des algorithmes de commande pour fluidiser le trafic (réduire le phénomène de la file d'attente) et prévenir l'apparition de la congestion.

### **2- Contexte du travail**

Ce travail entre dans le cadre d'un projet CMEP [39] (*Code du projet : 12MDU870*) en collaboration entre le laboratoire GIPSA-Lab de Grenoble (France) et le laboratoire LAIG de Guelma (Algérie) portant sur le trafic urbain appliqué à la ville de Guelma et fait partie d'un travail de thèse intitulée « *Contribution à la modélisation et à la surveillance du*

*trafic urbain : application à la ville de Guelma* » qui a pour objectif de réduire le phénomène de la file d'attente et de proposer un modèle adéquat décrivant le comportement et la gestion du trafic.

Cette étude s'effectue en quatre phases :

1. La première phase concerne la collecte des informations surtout les paramètres influants sur l'évolution du système et qui sont nécessaires pour son exploitation. Cette phase, qui permet d'acquérir une bonne connaissance du système, joue un rôle important dans cette étude en termes de modélisation, analyse et commande.
2. La deuxième phase est celle de la modélisation. Cette étape mobilise les chercheurs et les experts du domaine pour trouver des modèles simples et efficaces pour le trafic urbain. Les résultats obtenus dépendent de la prise en compte des informations de la première phase.
3. La troisième phase consiste à la réalisation d'un simulateur dédié au trafic urbain.
4. La phase finale est dédiée à l'analyse du système (minimiser les temps d'attente et les longueurs des files d'attente aux intersections,...) en se basant sur le modèle décrivant son comportement.

Dans ce qui suit, nous nous intéressons à la première phase.

### **3- Statistiques routière en Algérie**

En Algérie, le seul organisme officiel qui dispose des données du parc véhicule national est l'Office National des Statistiques (ONS)[38]. Cet organisme est chargé de la collecte, du traitement et de la publication des données du parc annuellement. Cependant, le traitement des données du parc n'est pas basé sur une analyse technique du parc mais sur des statistiques. L'ONS n'étant pas un organisme spécialisé dans le transport, il collecte et synthétise les données pour les mettre à la disposition des utilisateurs conformément à ses missions. Les données sont traitées telles que reçues de la part de ses sources primaires en provenance des 48 wilayas et des douanes algériennes. Devant cette source unique de données relative au parc automobile et les nombreuses anomalies observées lors de l'analyse du parc et de son évolution dans le temps, il est devenu impératif de développer une méthodologie pour les besoins de la recherche scientifique sur les transports routiers.

### 3-1- La Ville de Guelma

A partir de simples observations de la ville Guelma, on constate une augmentation considérable de taux de motorisation, le tableau suivant présente les dernière statistiques selon l’Office Nationale de statistique :

Année de mise en circulation	Avant	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total
Nombre de véhicules	22959	137	127	507	1 210	1 508	1 323	1 950	2 673	1 345	1 726	1 845	3 082	2 235	42 627

*Tableau IV.1: Evolution du parc par année de mise en circulation de la Ville de Guelma*

Notons que les principaux axes routiers de la ville de Guelma, tels les boulevards Souidani Boudjemaa, 1<sup>er</sup> Novembre et l’avenue A (*avenue contenant le tronçon étudié*) sont constamment envahis par des centaines d’automobilistes provoquant plusieurs problèmes de circulations bouchons, file de circulations, surtout aux moments des heures de pointes. En effet, les systèmes de gestion du trafic sur ces axes devons relever un défi majeur au cours des prochaines années pour assurer durablement la mobilité et les déplacements des personnes. Dans le présent travail, nous nous intéressons à l’étude du comportement d’un tronçon urbain dont le but est de :

- ✓ Recueillir les données du trafic sous forme de scènes vidéo.
- ✓ Créer une première base de données du trafic de la ville de Guelma.
- ✓ Réaliser une interface de mesure des paramètres (débit, concentration, longueur de file d’attente et taux d’occupation,..).
- ✓ Détection et suivi des véhicules pour des traitement ultérieurs.

### 3-2- Choix du site

Notre étude porte sur le carrefour Sindibad (ASWAK Elhadaik, anciennement applcé) et plus particulièrement l’intersection entre l’avenue A et la Rue Abane Ramdane.

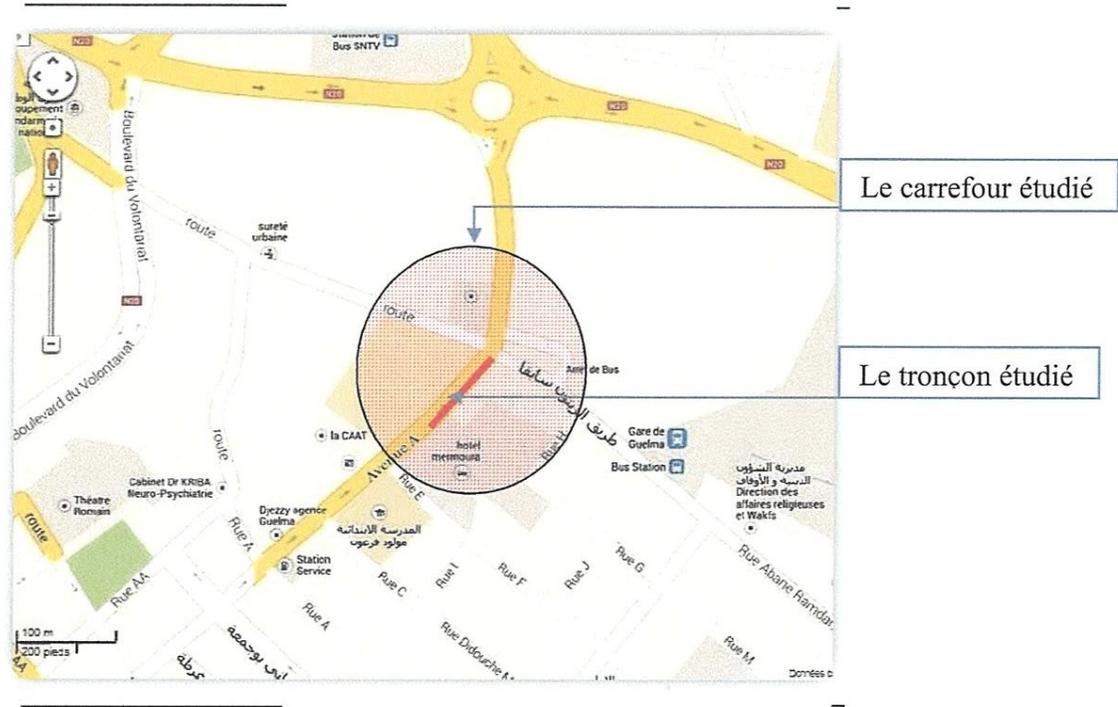
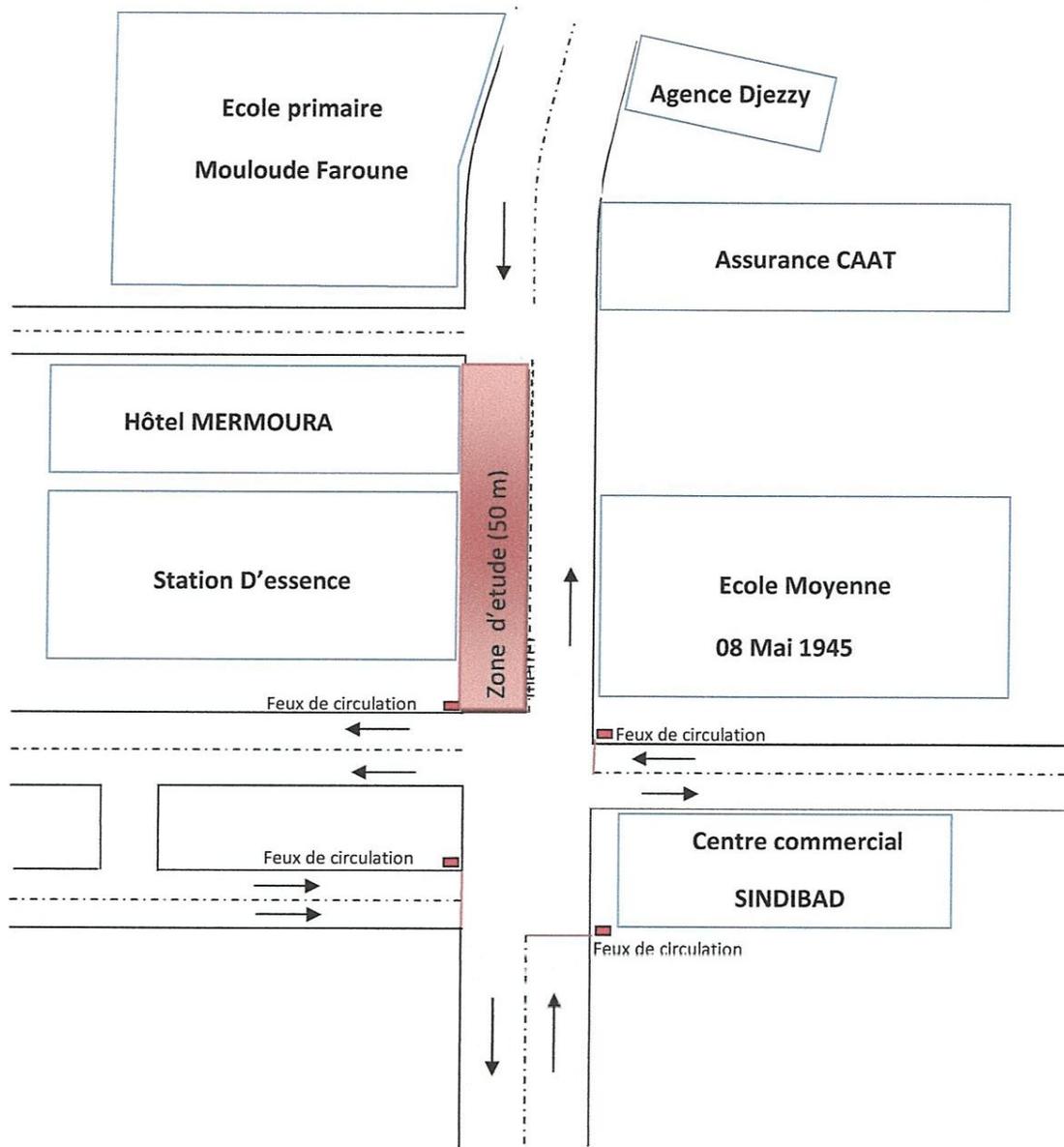


Figure IV.2: Illustration avec Google Maps du carrefour étudié de la ville de Guelma

Sur l’avenue A situé l’hôtel Mermoura, l’agence Djezzy, l’assurance CAAT, deux station de service, Ecole primaire et moyenne. Cette avenue est un axe principale de passage du centre-ville de Guelma vers la sortie de la ville à travers le rond-point liant les routes principales vers Annaba, Souk-Ahras ainsi que Constantine et Skikda. Elle se situe à la rencontre de plusieurs ruelles (branchements) déterminant des voies d’entrée et de sortie. Elle est caractérisée par deux voies et équipée par plusieurs feux de signalisation dont seulement un est opérationnel ce qui provoque souvent des phénomènes de congestion rendant la circulation de plus en plus lente et même difficile au cours de la journée.



**Figure IV.3:** Illustration deux dimensions de la zone d'étude

A cet endroit (*schématisé en rouge*) de l'avenue A, nous allons considérer, en premier lieu, l'étude du tronçon dans le sens de circulation 'sortie de la ville'.

### 3-3-Matériels utilisés

Vu l'absence des moyens d'acquisition des données du trafic au niveau de la zone d'étude, nous avons procédé à l'aide du laboratoire l'achat et l'installation des équipements (caméra, DVR numérique,.....) permettant d'enregistrer l'état du trafic.

Matériels	Caractéristiques
Caméra	Marque : Samsung. Résolution maximale : 1920 x 1080. Résolution minimale : 800 x 600. Format vidéo : MPEG-4. Frames / seconde : 25. Interface : sortie vidéo analogique.
Émetteur	Type : wifi. Fréquence de transmission : 2,4 GHz. Interface : entrée vidéo analogique.
Récepteur	type : wifi. fréquence de transmission : 2,4 GHz. Interface : sortie vidéo analogique.
DVR numérique	Type : numérique CS6S. Résolution d'enregistrement : 1025 x 800. Format vidéo : H264, AVI. Capacité de disque dur : 1 Téra octet. Interface : entrée vidéo analogique.
Ecran	Marque: Samsung LCD 20" S24A300BL. Résolution : Full HD (1920x1080). Interface : câble VGA (Video Graphics Array).

Tableau IV.2: Matériels utilisé pour l'acquisition des vidéos



Figure IV.4: Équipements utilisé pour l'acquisition des vidéos

### 3-4- Mise en place de la Caméra

La géométrie du carrefour détermine la position de la caméra. Pour couvrir la zone d'étude, éviter les occultations ainsi que les dégradations la caméra sera placée à un hauteur suffisant.

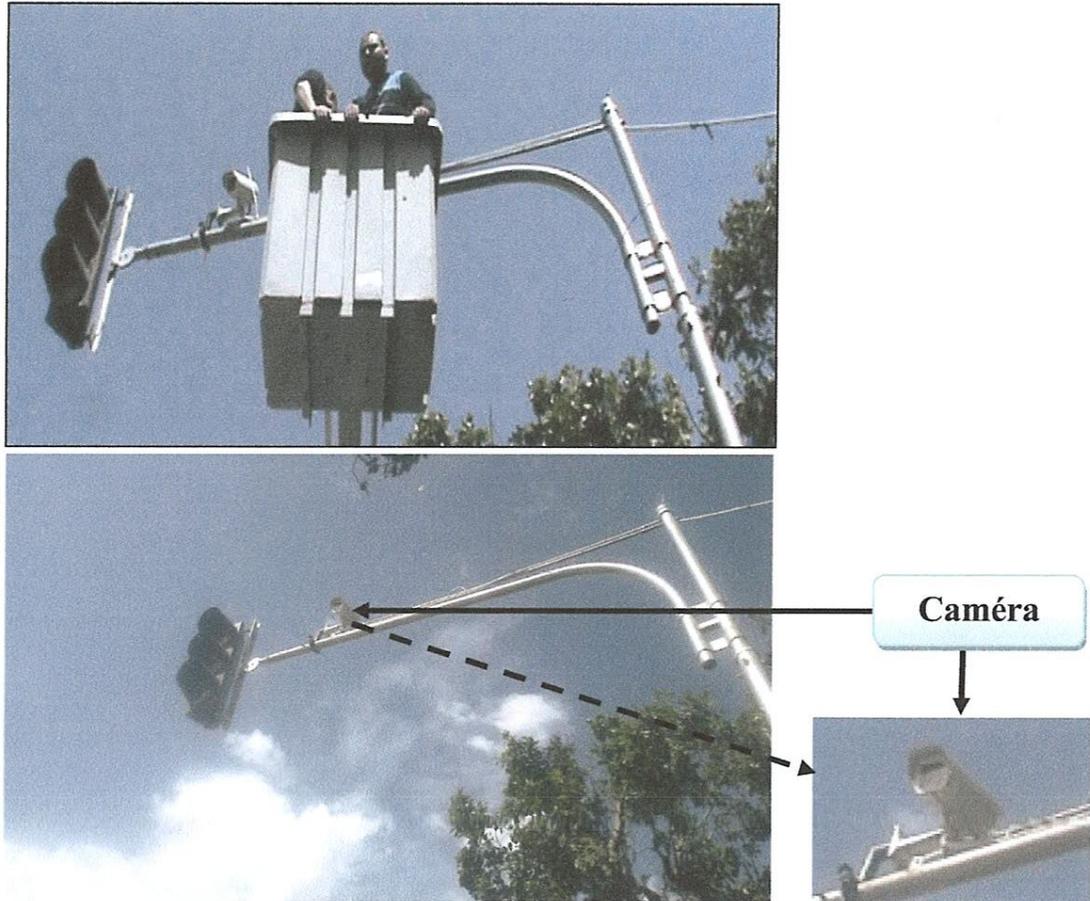


Figure IV.5: Mise en place de la caméra utilisée pour l'enregistrement

### 3-5- Liaison de matériels

La figure VI.8 montre la liaison du matériel utilisé pour l'enregistrement :

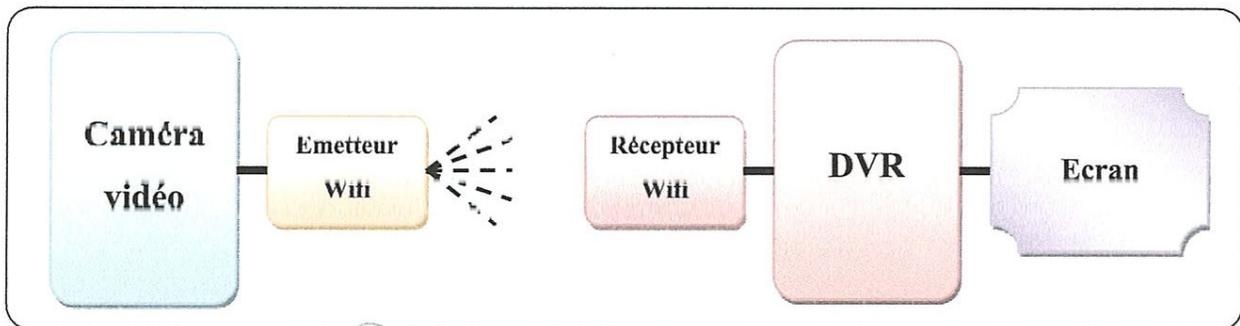


Figure IV.6 : Illustration de la liaison du matériel utilisé

### 3-6- Acquisition des données

L'acquisition des images vidéo est effectuée pendant un mois. Comme nous ne disposons pas d'une caméra équipée d'un système de vision infra rouge, les scènes sont enregistrées pendant la journée. Les différentes caractéristiques d'enregistrement sont :

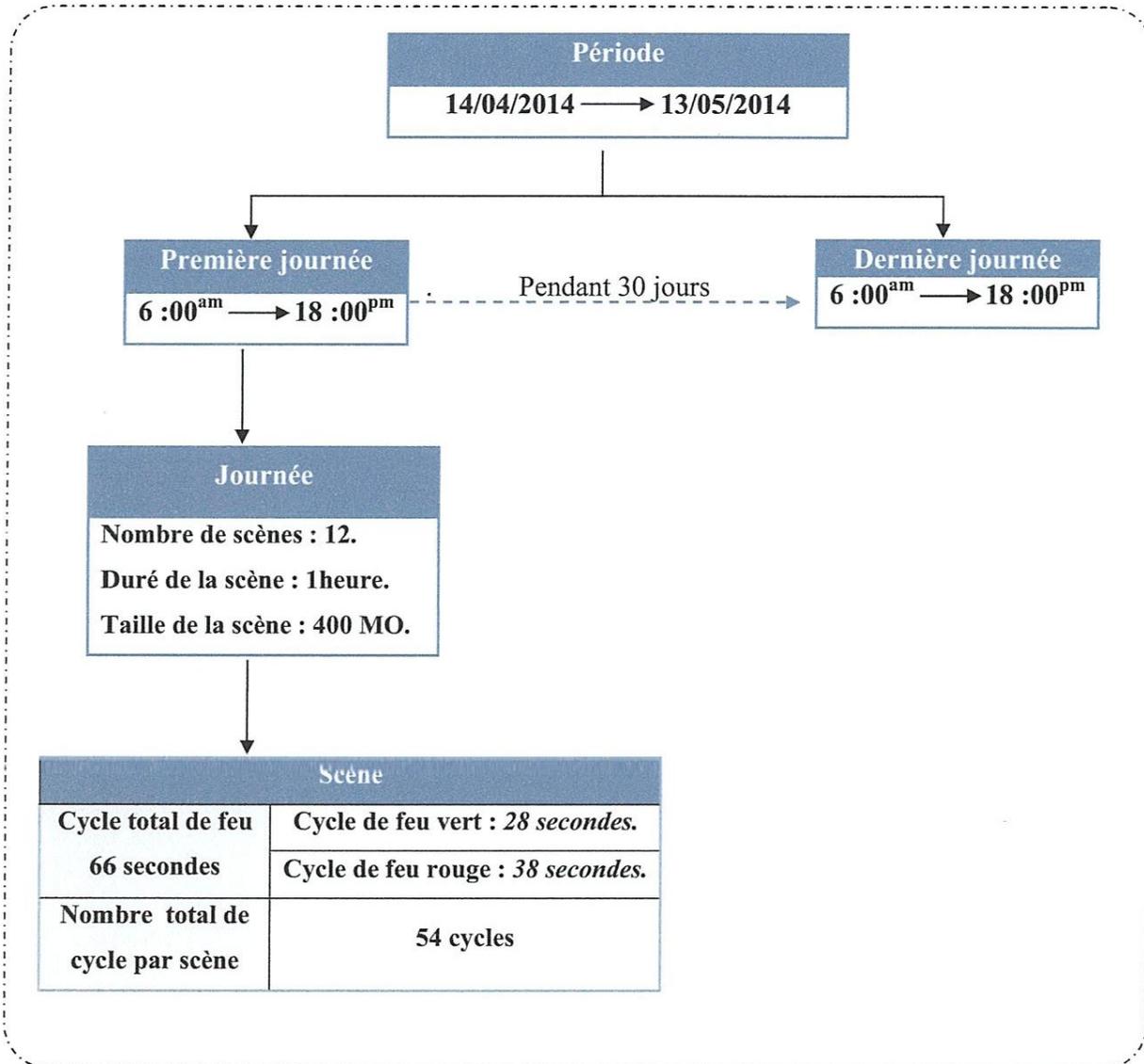


Figure IV.7: Caractéristique d'acquisition de données

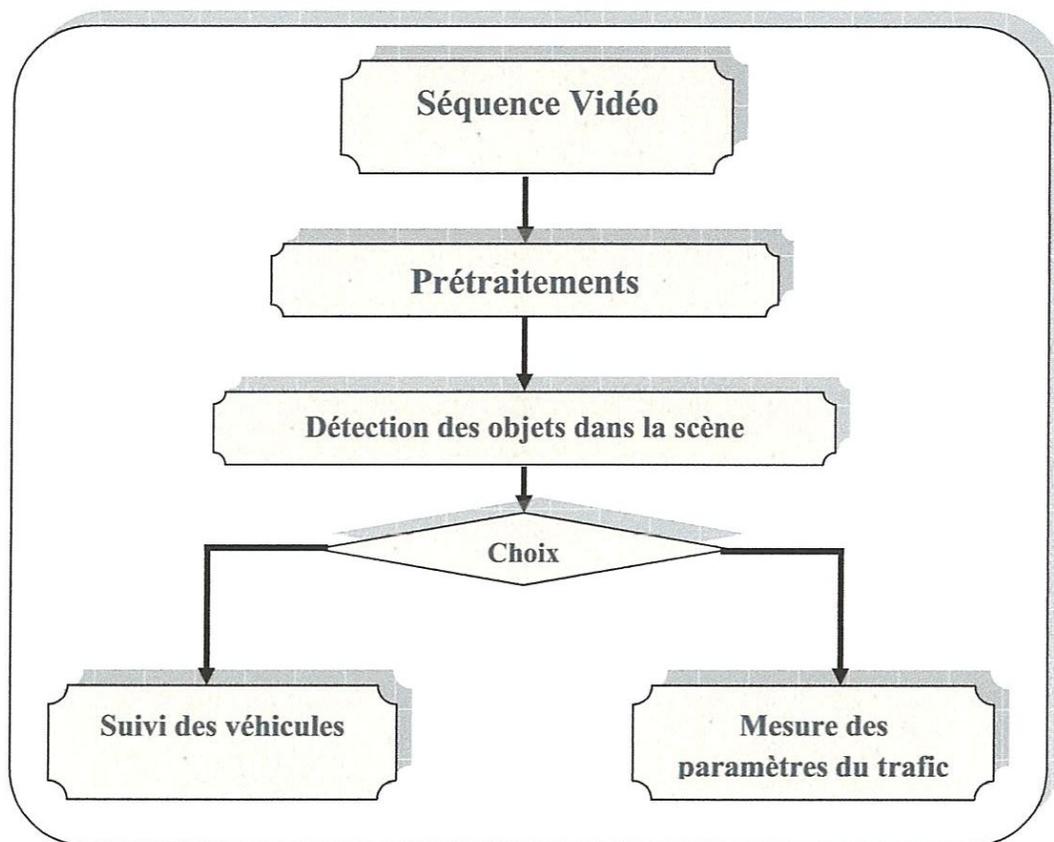
#### 4- Conception du système

Après avoir comparé les différentes méthodes présentées dans le chapitre précédent, notre solution consiste à réaliser un certain nombre d'étapes pour la séparation d'arrière plan et la détection des véhicules :

La solution retenue est composée des étapes suivantes :

- 1- Prétraitement des séquences vidéo.
- 2- Détection des objets dans la scène.
- 3- Choix entre deux traitements :
  - a- Suivi des véhicules.
  - b- Mesure des paramètres du trafic.

La *figure IV.8* représente les étapes qu'on va suivre :



*Figure IV.8:* Principaux modules du système

### 4-1- Prétraitement

#### 4-1-1- Redimensionnement des frames

Les vidéos enregistrées ont une grande résolution donc un redimensionnement est nécessaire, pour arriver à un temps d'exécution acceptable, le redimensionnement se fait par une Interpolation bilinéaire; la valeur du pixel résultant est une moyenne des pixels de voisinage les plus proche.

La *figure IV.9* montre l'opération de redimensionnement.



*Figure IV.9:* Illustration du redimensionnement des frames

#### 4-1-2- Réduction du nombre de frames par seconde

Cette opération suit le redimensionnement des frames, elle est réalisée à l'aide d'un logiciel de traitements multimédia (*Total converter*), elle consiste à réduire le nombre de frames affichées par seconde de 25 frames/sec à 10 frames/sec, ce qui assure une rapidité d'exécution de l'application.

### 4-2- Détection des objets dans la scène

C'est une phase cruciale de notre application dont dépend la fiabilité du système globale. Composée essentiellement des étapes illustrées par la *figure IV.10* :

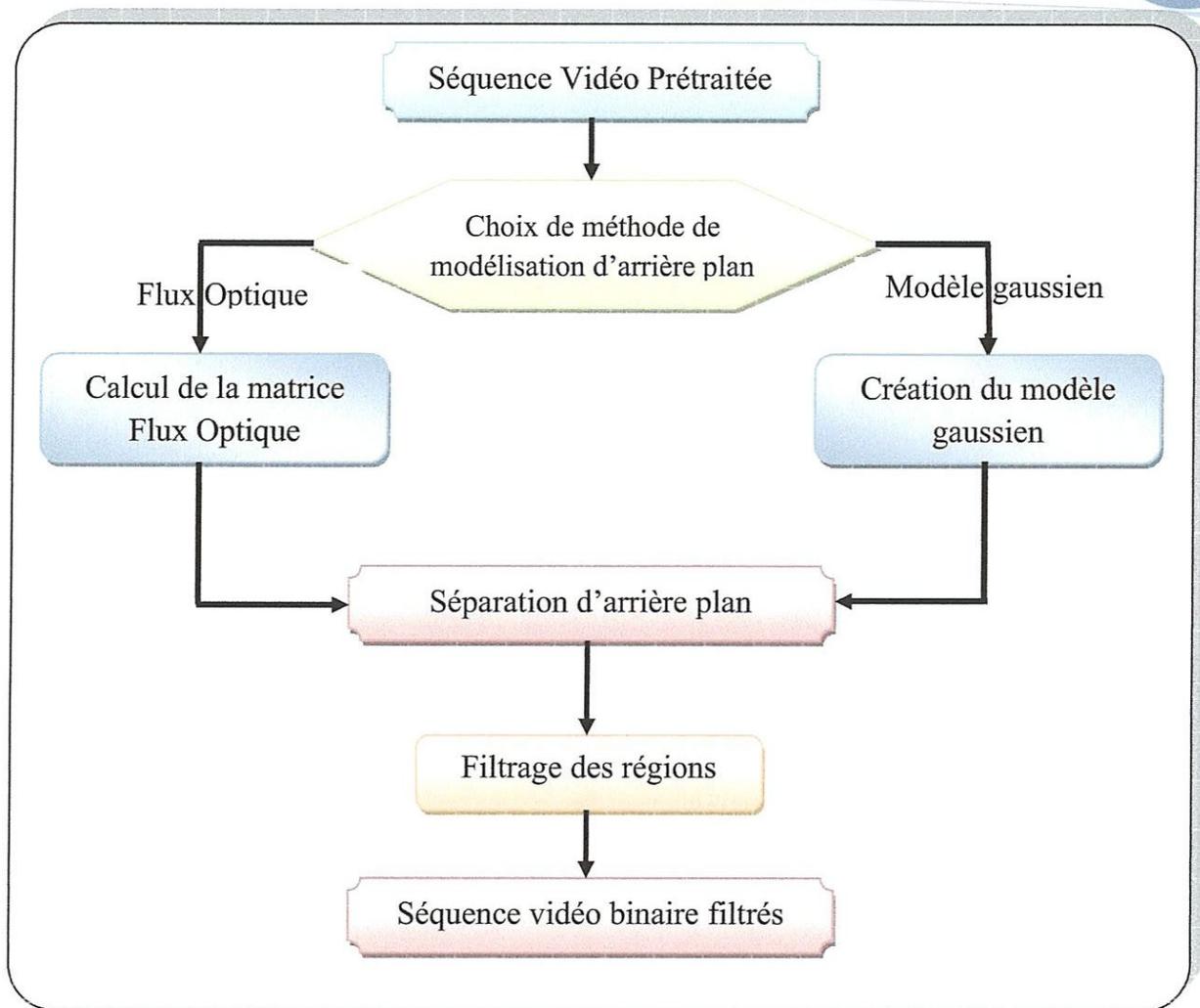


Figure IV.10: Processus de détection d'objets dans la scène

#### 4-2-1-Modélisation d'arrière plan

A titre comparatif nous avons choisi d'utiliser deux méthodes de modélisation d'arrière plan à savoir : la mixture de modèles gaussiens et le flux optique.

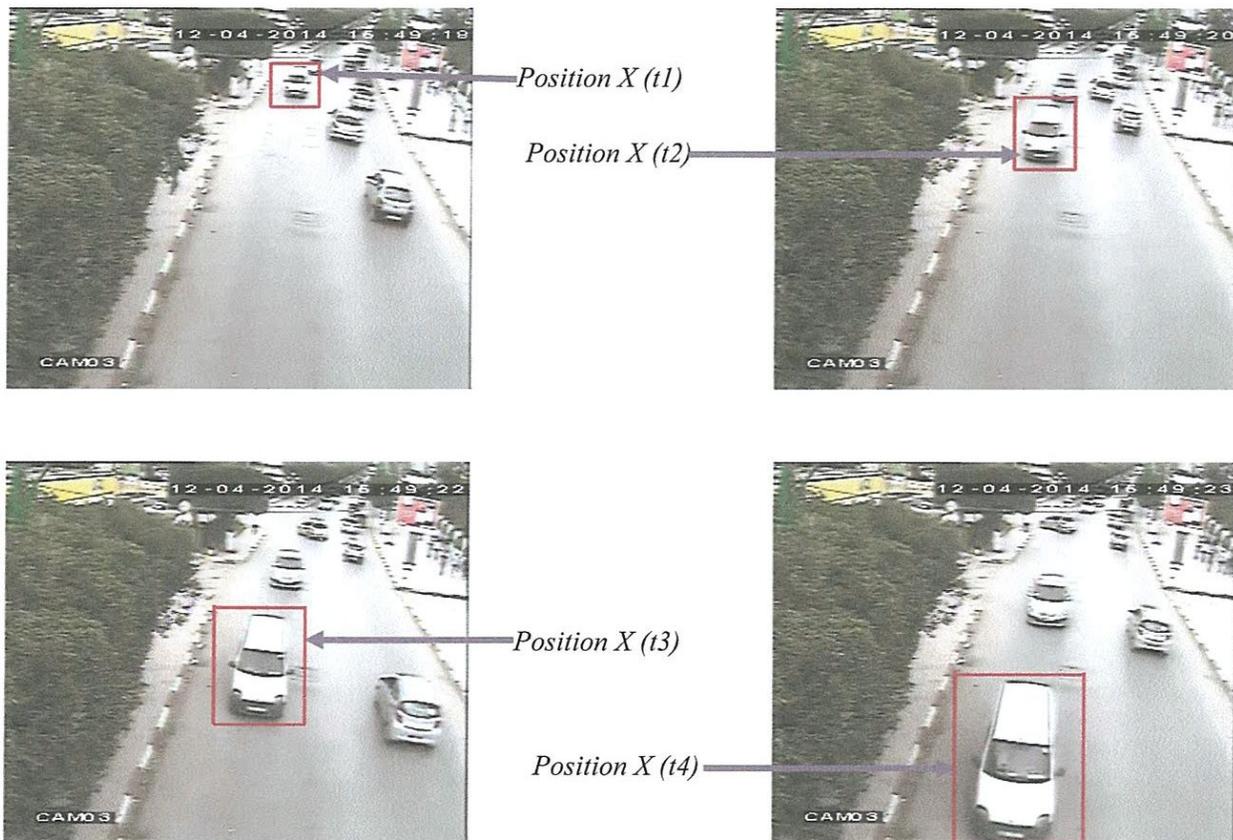
##### a) Modélisation d'arrière plan avec la Mixture gaussienne

La modélisation de l'arrière-plan est une étape essentielle. Il s'agit de créer un modèle d'arrière-plan de la scène ne contenant aucun objet mobile. L'approche employée consiste en une estimation récursive de l'arrière-plan à l'aide d'un modèle statistique représentant la distribution de couleur pour chaque pixel de l'image. Chaque pixel de l'image est représenté à l'aide d'une distribution gaussienne paramétrée par sa moyenne et son écart-type. Chaque pixel est modélisé à l'aide d'un vecteur contenant les caractéristiques

couleurs RGB. Pour chaque nouvelle observation, les paramètres sont mis à jour récursivement. La modélisation de l'arrière plan nécessite un certain nombre des frames vidéo en vue d'initialiser le modèle de mélange gaussien.

### b) Calcul du flux optique :

L'estimation du flux optique est basée sur l'hypothèse de l'intensité constante c-à-d que l'intensité observée d'un objet ne change pas lorsque celui-ci est en mouvement. Cette hypothèse est valable pour les objets à modèle de réflectance lambertienne avec un faible mouvement. Cette méthode suppose donc, que le mouvement est instantané et faible d'une image à l'autre et que les changements observés entre deux images sont uniquement causés par le mouvement (*Chapitre III*).



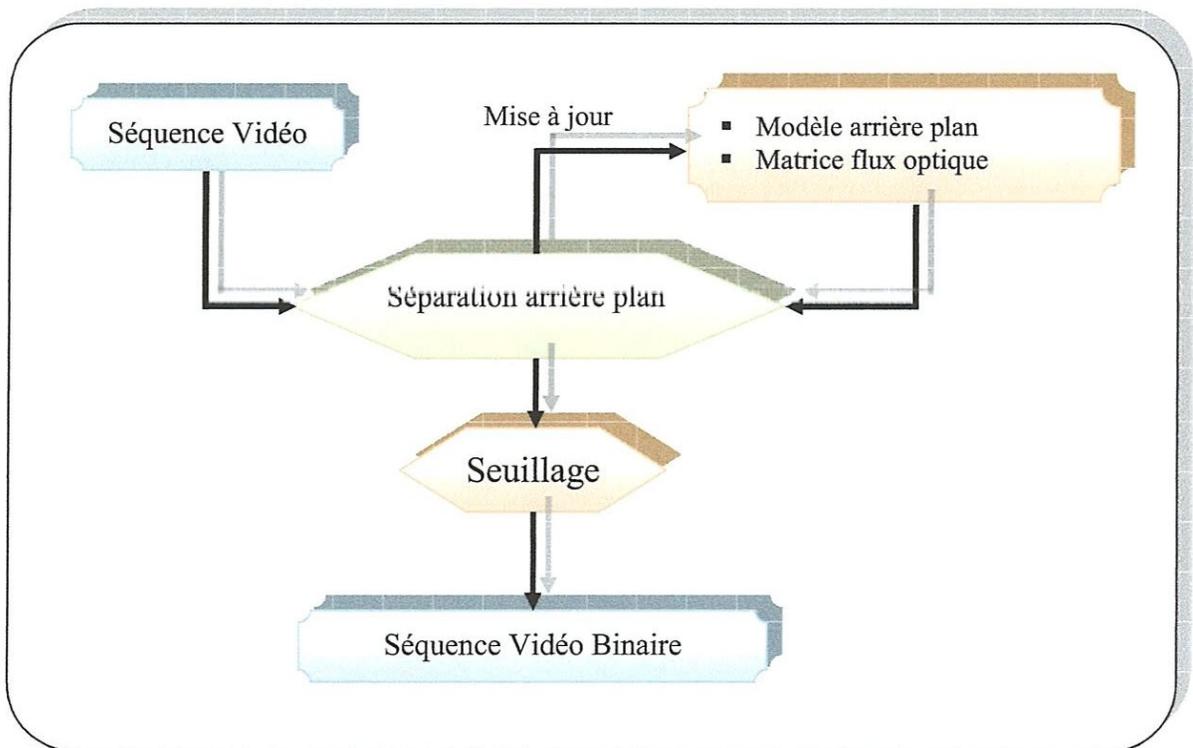
*Figure IV.11: suivi d'objets en mouvement par le flux optique*

#### 4-2-2- Séparation de l'arrière plan

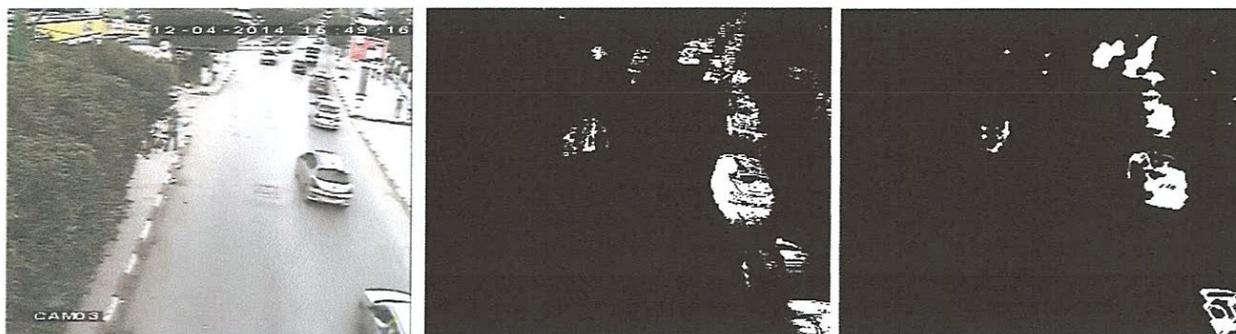
L'opération de séparation d'arrière-plan est une opération qui suit de façon logique la modélisation d'arrière-plan. L'objectif consiste à détecter les pixels en mouvement en comparant l'image courante de la vidéo à un modèle d'arrière-plan.

Dans le cas de l'utilisation du modèle gaussien, cette phase du programme consiste à faire un seuillage pour chaque frame de la vidéo, en comparant la valeur de chaque pixel de l'image avec le modèle d'arrière plan. En fixant un seuil adéquat. On obtient alors est une séquence vidéo binaire désignant les objets en mouvement en blanc et le fond en noir.

Dans le cas de l'utilisation du flux optique cette opération consiste à calculer les vecteurs de déplacement (vitesse) de chaque pixel, en fixant un seuil de vitesse adéquat on obtient alors une séquence binaire désignant les pixels en mouvement en blanc et le fond en noir.



*Figure IV.12:* Etapes de séparation d'arrière plan



Frame originale

Segmentation avec  
modèle gaussien

Segmentation avec  
flux optique

**Figure IV.13:** Illustration des méthodes de séparation d'arrière plan

#### 4-2-3- Filtrage des régions

Afin de réduire le bruit et pour une bonne détection sans ambiguïté, on a précédé notre traitement d'une phase de filtrage, qui consiste à appliquer le filtre médian sur l'image.

##### Filtre Médian

Pour un pixel  $(x,y)$  donné, on prend les plus proches pixels voisins. On trie l'ensemble, et on ne retient que la valeur médiane afin de minimiser le bruit dans l'image.

Pour une bordure de 1 pixel, nous avons 9 pixels à trier.

Ce type de filtre donne de très bons résultats de la part de son principe impulsif, il affecte à chaque pixel la valeur médiane de ses voisins de façon à éliminer les points isolés. Contrairement aux lissages, ce filtre n'introduit pas de flou sur les contours des particules.

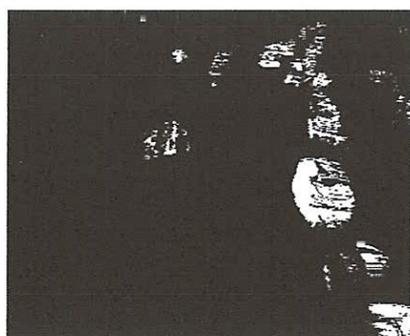


Image bruitée

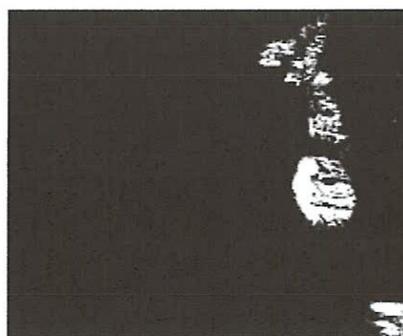


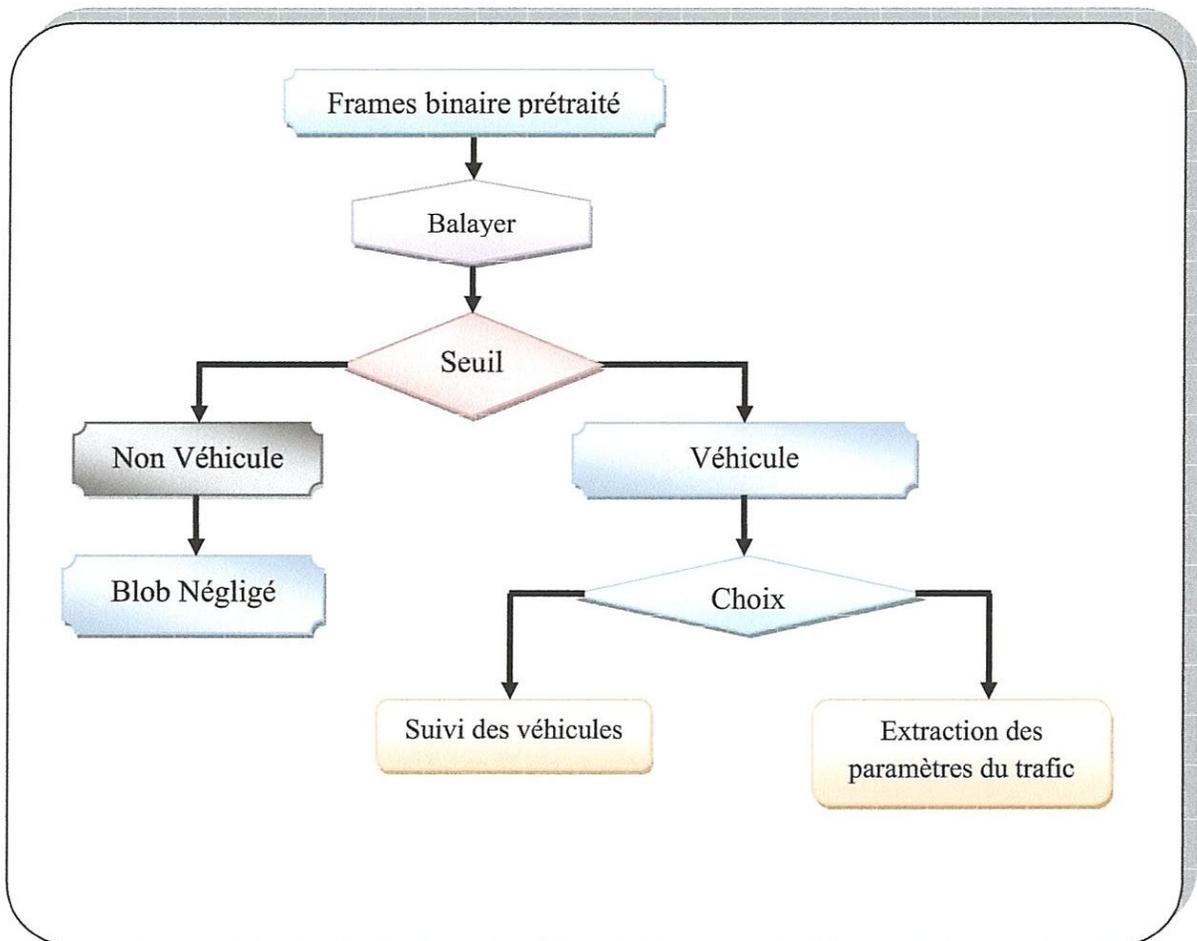
Image filtrée

**Figure IV.14:** Application du filtre Médian

### 4-3- Suivi des véhicules et mesure des paramètres du trafic

Les pixels en mouvement sont regroupés en régions étiquetées. Chaque région (appelée BLOB - *Binary Large Object*) est représentée par la position et la taille de sa boîte englobante associée à la région.

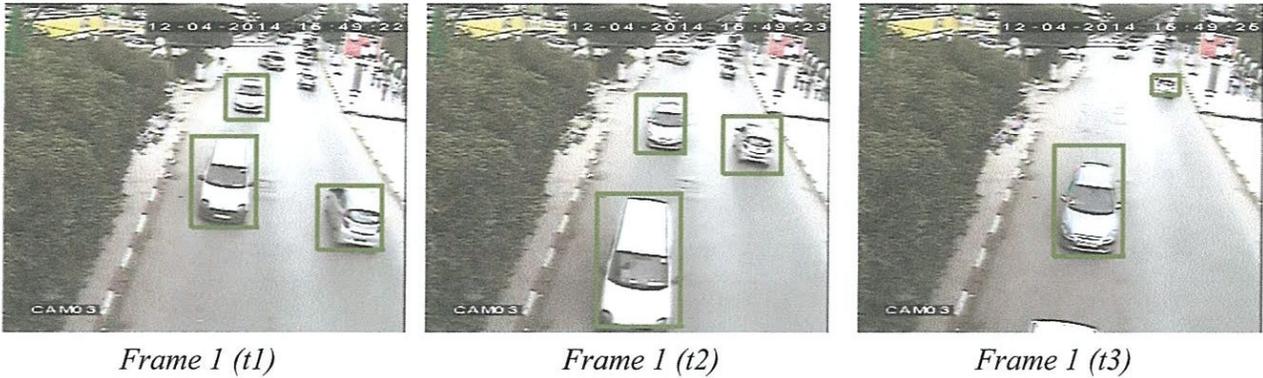
La figure IV.15 illustre le schéma de cette étape :



*Figure IV.15: Détection des véhicules*

#### 4-3-1- Suivi des véhicules

Le suivi des véhicules dans la scène soit par Mixture gaussienne ou par flux optique consiste à localiser les objets en mouvement (BLOB) qui sont susceptibles d'être des véhicules pendant leur déplacement au cours du temps en les repérant avec un cadre.

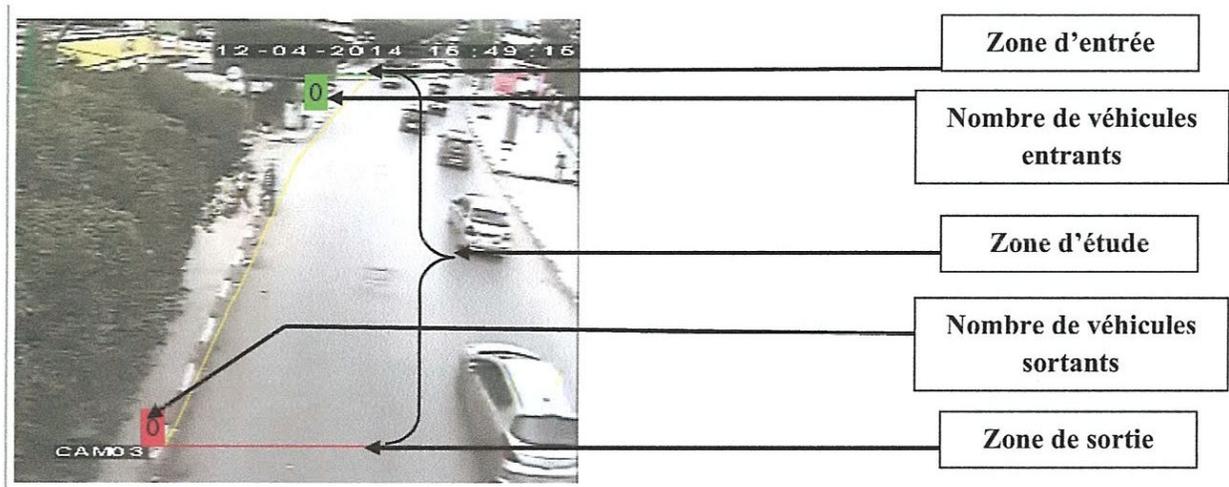


*Figure IV.16: Exemple de suivi des véhicules*

**4-3-2- Mesures des paramètres du trafic routier**

Le travail mené par l'équipe de recherche de laboratoire d'automatique et informatique industrielle de Guelma (LAIG) consiste à effectuer une détection locale, l'image est découpée en deux zones, qui sont ensuite analysés à l'aide de processus de détection de véhicules. Une fois les deux zones sont définies, l'analyse de chaque zone est effectuée indépendamment. Les étapes de notre démarche sont :

- 1- Détecter la présence de véhicules au niveau d'entrée et de sortie du tronçon,
- 2- Compter les véhicules au niveau de la zone d'étude.
- 3- Calculer :
  - La file d'attente.
  - Le débit d'entrée.
  - Le débit sortie
  - Le taux d'occupation



*Figure IV.17: Illustration du tronçon étudié*

Toute intersection avec la ligne verte sera considérée comme un véhicule entrant, et toute intersection avec la ligne rouge sera considérée comme véhicule sortant.

Le calcul de la file d'attente sera fait par soustraction du nombre de véhicules entrants et le nombre de véhicules sortants du tronçon.

Après la détection et comptage des véhicules au niveau du tronçon, le calcul des autres paramètres sera comme suit :

- **Débit d'entrée** : le débit d'entrée est calculé pendant la somme de deux cycles qui est :  
temps de cycle = 28sec (cycle vert) + 38sec (cycle rouge) = 66 secondes  
**Débit d'entrée = nombre de véhicules entrant / 66.**
- **Débit de sortie** : le débit de sortie est calculé pendant le cycle vert 28 secondes:  
**Débit de sortie = nombre de véhicules sortant / 28.**
- **Taux d'occupation** : En prenant en compte la longueur du tronçon, la longueur moyenne des véhicules et la distance inter-véhicules, nous pouvons estimer le nombre de véhicules maximum qui peuvent occuper le tronçon à 10 véhicules.  
**Taux d'occupation = nombre de véhicules dans la zone d'étude / 10.**

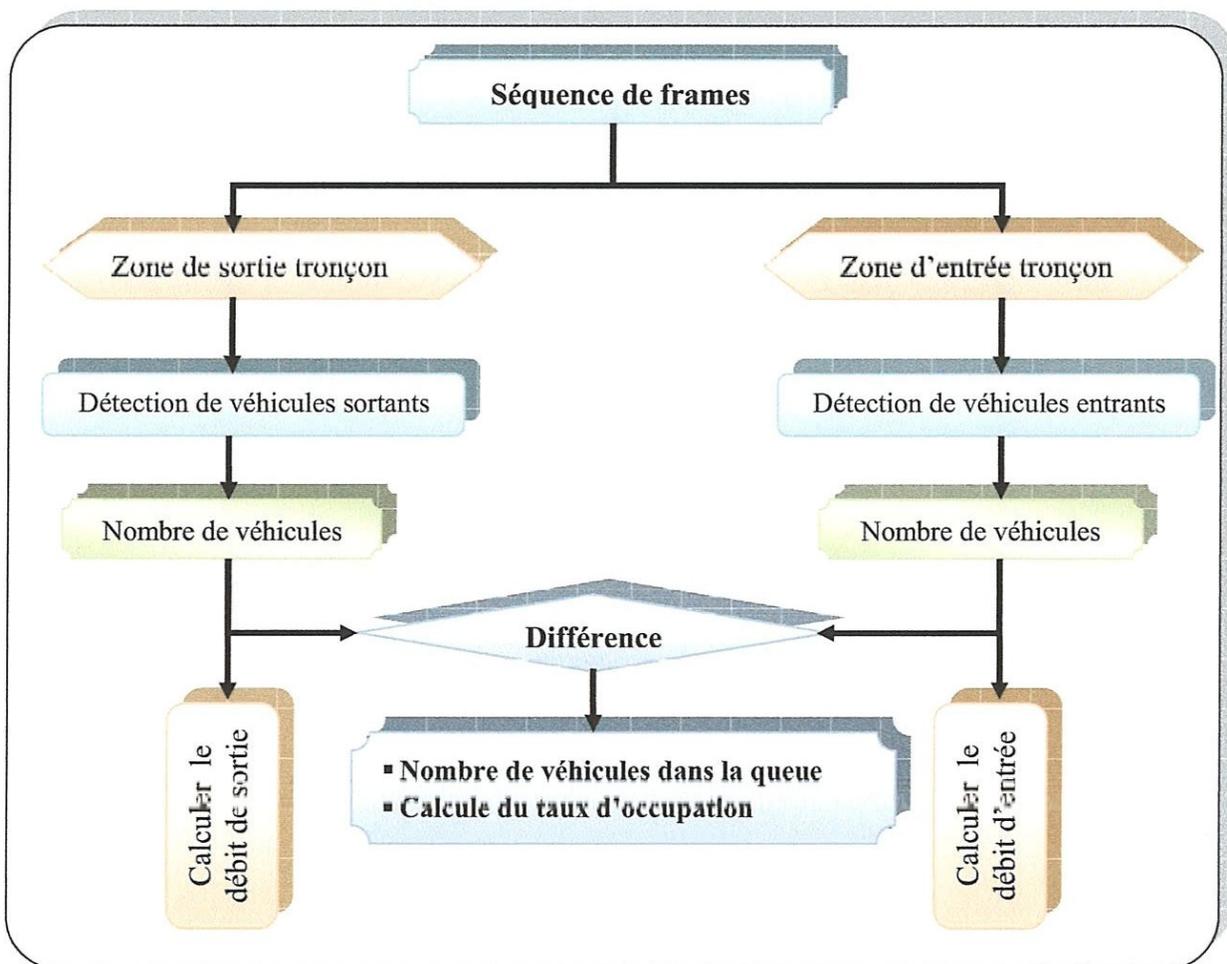


Figure IV.18: Etapes de mesure des paramètres du trafic

### 5-Implémentation

Dans cette partie nous allons présenter l'implémentation des concepts développés précédemment ainsi que l'environnement, matériel et logiciel, du développement de notre application:

#### 5-1-Environnement Logiciel

Nous avons développé notre application sous environnement Matlab version 8.2 (R2013b) [40].

Nous avons également utilisé pour la réduction du nombre de frames par seconde le logiciel Total Converter[41].

#### 5-2- Environnement Matériels

Ordinateur portable utilisé :

- + Type : PC Portable Acer E1-571.
- + Processeur : Intel® Core™ i5-4005U (2.6 GHz, 3 Mo de cache, 2 cœurs).
- + RAM : 4 Go.
- + Disque dure : 500 Go.

#### 5-3-Base de données

Le recueil de donnée s'effectué à partir de la caméra installée au niveau de carrefour, cette base est utilisée pour tester les performances et les résultats du logiciel.



Figure IV.19: Exemples de la base de tests

- 1- Axes d'affichage de la vidéo originale.
- 2- Axes d'affichage de résultat de segmentation.
- 3- Axes d'affichage des résultats de détection.
- 4- Ouvrir les fichiers vidéo.
- 5- Permet de lancer l'opération du suivi des véhicules.
- 6- Permet de lancer l'opération du suivi du tronçon.
- 7- Permet de lancer l'opération de segmentation des vidéos.
- 8- Stopper l'exécution de l'application.
- 9- Relancer l'exécution de l'application.
- 10- Charger les paramètres de l'application.
- 11- Afficher la fenêtre Paramètres.
- 12- Quitter l'application.
- 13- Afficher le nombre de véhicules pendant le suivi des véhicules.
- 14- Afficher le nombre de véhicule dans la file d'attente.
- 15- Afficher le taux d'occupation de la file d'attente.
- 16-17 - Afficher le débit d'entrer et de sortie du tronçon.

### 5-5- Test & Résultats

Les performances sont exprimées par : Taux de Bonne détection (TBD) et le Taux de Fausses Détections (TFD):

$$\text{Taux de bonne détections} = \frac{\text{Nbr de bonne détection}}{\text{Nbr de détection}}$$

$$\text{Taux de fausses détections} = \frac{\text{Nbr de fausses détections}}{\text{Nbr de détections}}$$

5-4- Description de l'interface de notre système (Detector)

5-4-1- Module principale

Les principaux modules de notre application sont :

- Fenêtre : Module principale de l'application (Interface principale).
- Paramètres : Module contenant tous les paramètres de l'application.
- File d'attente : Module contenant les valeurs de la file d'attente.

Exemple du code :

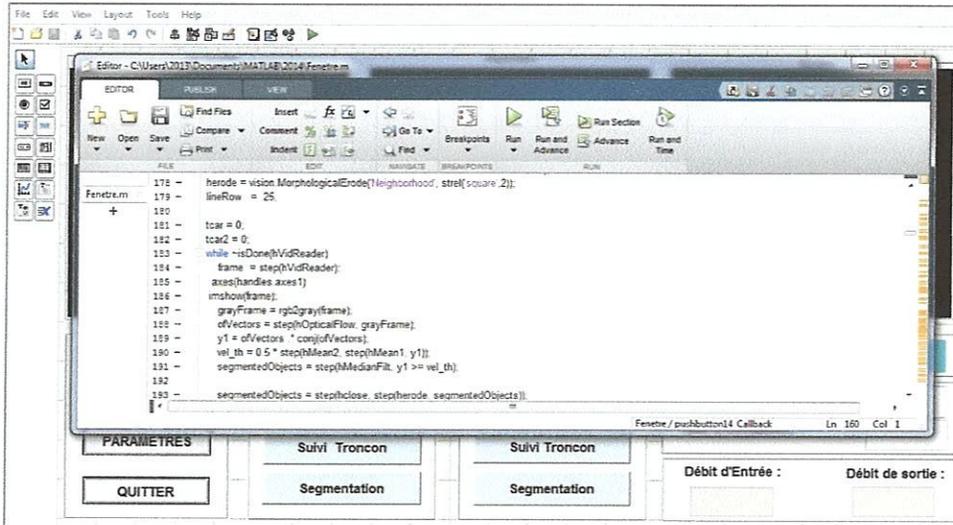


Figure IV.23: Exemples du code de l'application DETECTOR

5-4-2-Fenêtre Principale

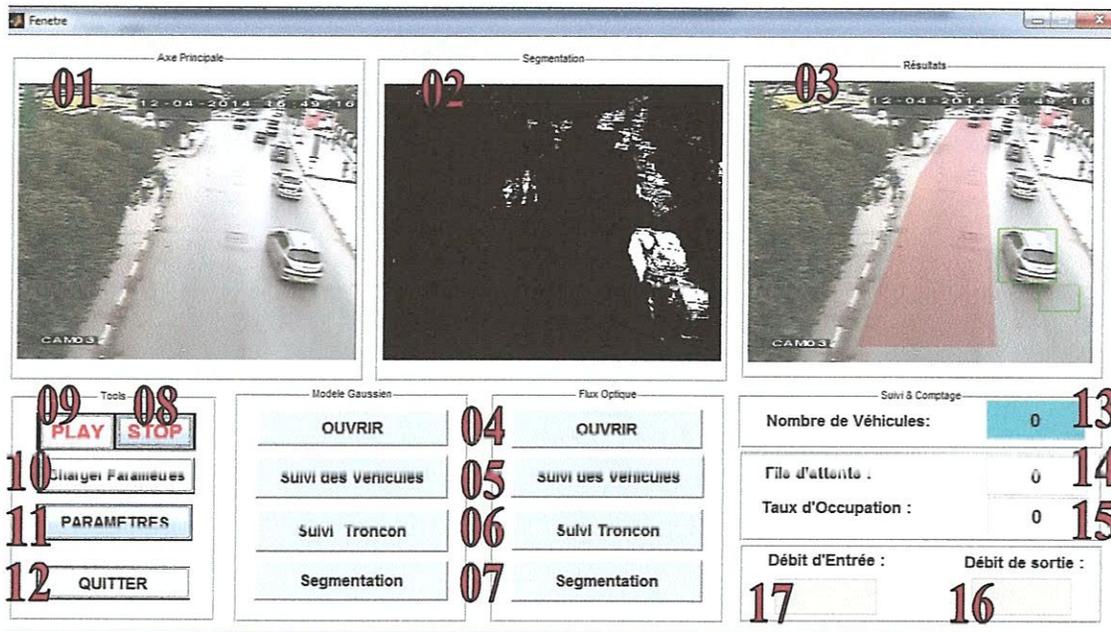
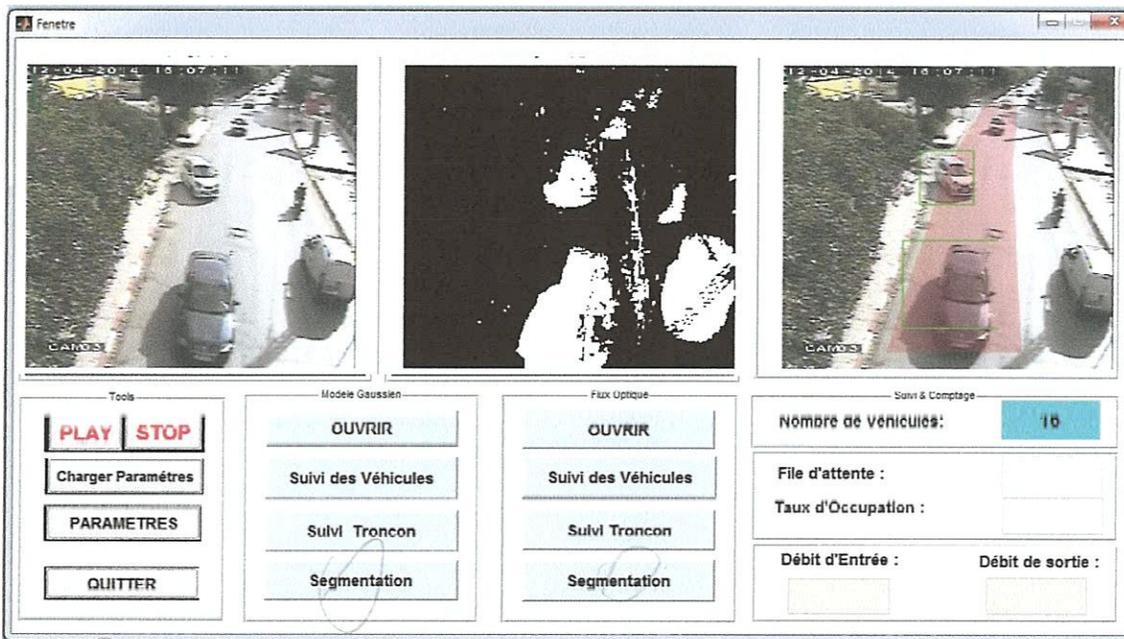


Figure IV.24: Fenêtre principale de l'application DETECTOR

Nous illustrons dans ce qui suit quelques exemples des tests effectués sur des vidéos choisis de la base vidéo tests :



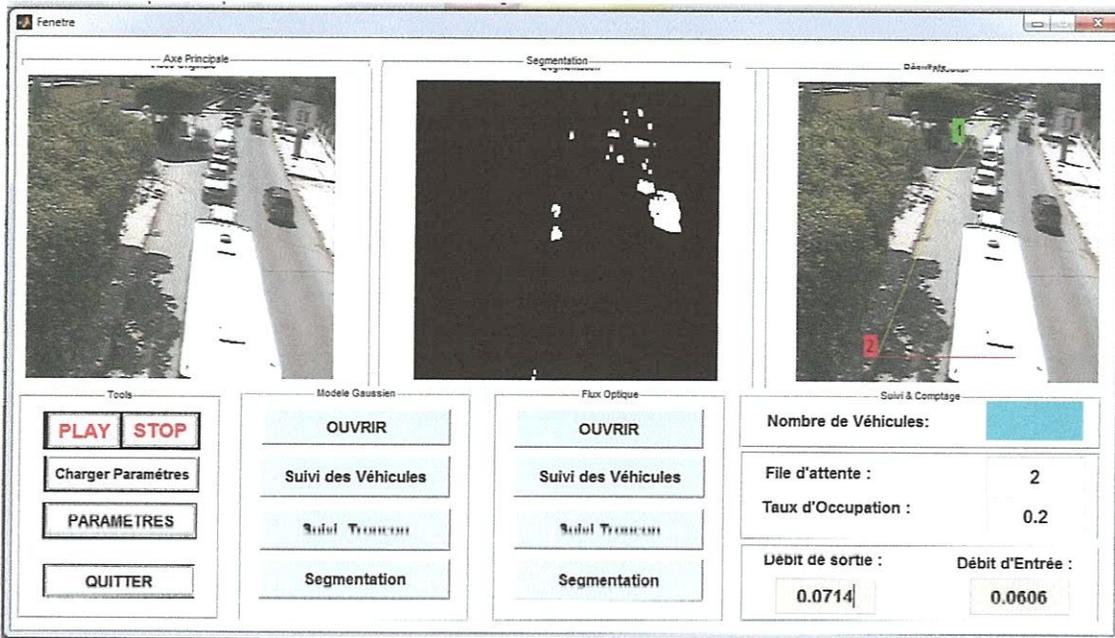
Opération	Durée	Nbre Véh Réel	Nbre véh détecté	TBD	TFD
Suivi	66 sec	24	29	82.7 %	17.2 %



Opération	Durée	Nbre Véh Réel	Nbre véh détecté	TBD	TFD
Suivi	66 sec	14	16	87.5 %	12.5 %



Opération	Durée	Nbre Véh Réel	Nbre véh détecté	TBD	TFD
Tronçon	98 sec	21	19	90.5 %	9.5%



Opération	Durée	Nbre Véh Réel	Nbre véh détecté	TBD	TFD
Tronçon	68 sec	11	19	57.8 %	42.1 %

La vidéo surveillance du trafic routier demeure l'un des problèmes les plus complexes, malgré les recherches actives actuelles. Il y a de nombreuses conditions réelles, difficiles à modéliser et à prévoir, qui limitent les meilleurs systèmes actuels.

Le système de vidéo surveillance proposé dans ce mémoire présente une alternative simple mais performante. L'objectif principale du système mis en œuvre consiste à étudier le comportement du trafic routier d'un tronçon urbain au niveau de la ville de Guelma, Cette étude nous a permis d'une part d'obtenir une série de mesures caractérisants le tronçon et d'autre part de détecter et suivre tous les véhicules passant par le tronçon ce qui nous servira pour des traitements plus poussés dans le domaine de l'automatisation du trafic routier.

Les performances de notre système « DETECTOR » dépendent principalement de la phase de séparation d'arrière plan, pour cette raison nous avons implémenté deux méthodes à savoir la mixture de modèles gaussien et le flux optique. Les objets détectés dans cette phase, susceptible d'être des véhicules, nous serviront pour les mesures des caractéristiques du tronçon, La surveillance de la scène nous impose une phase de suivi des véhicules basé principalement sur le flux optique.

Les résultats de la première phase de détection sont fiables (*testées sur des vidéos réelles*). Seulement, dès que la vidéo d'entrée devient plus complexe, le taux de fausse détection augmente. Il serait donc intéressant de pallier à cette limite en affinant les traitements préalables afin d'augmenter leurs précisions.

Sur plusieurs vidéos testées issues de différents enregistrements avec quelques conditions (éclairage, pose, orientation...etc) le flux optique a donné des taux de détections élevés par rapport à la mixture gaussienne.

Nous estimons que les résultats obtenus par le système *DETECTOR* sont très promoteurs dans le domaine de la vidéo surveillance du trafic routier.

En fin, il serait intéressant dans l'avenir de généraliser notre système en un système de détection et de classification de véhicules en temps réel, les performances du système peuvent être optimisées en améliorant la qualité des vidéos enregistrées et les machines d'exécution pour arriver à un taux de détection élevé et de fausse détection faible.

# *Bibliographie*

- [1] Mathieu Brulin « *Analyse sémantique d'un trafic routier dans un contexte de vidéo-surveillance* » Université de Bordeaux I – N° Ordre : 4589 – France 2012.
- [2] V. Gouaillier et A.E. Fleurant. « *Intelligent video surveillance : Promises and challenges* » Technological and Commercial Intelligence Report, 2009.
- [3] S. Karaman, J. Benois-Pineau, R. Mégret « *Human daily activities indexing in videos from wearable cameras for monitoring of patients with dementia diseases* ». In Pattern Recognition, International Conference on, pages 4113\_4116. IEEE, 2010.
- [4] V. Kastinaki, M. Zervakis et K. Kalaitzakis « *A survey of video processing techniques for traffic applications* » Image and Vision Computing 2003.
- [5] <http://www.transport-intelligent.net/champs-des-sti/gestion-du-traffic-routier>.
- [6] SETRA, « *Rapport d'études Panorama des systèmes de recueil de données de trafic routier* », Service d'études sur les transports, Ministère de l'écologie et le développement durable – France.
- [7] <http://www.citilog.com/fr/products/mediatunnel.html>
- [8] <http://www.citilog.com/fr/products/mediatd.html>
- [9] <http://www.aximum-pe.fr/ape/produits/gestion-centralisee-du-traffic/logiciel-symart/185-447>
- [10] <http://www.citilog.com/fr/products/visiopad.html>
- [11] <http://www.citilog.com/fr/products/mediacity.html>
- [12] <http://www.setra.developpement-durable.gouv.fr>
- [13] Christophe Chaudy, Jean Francois Delaigle, « *MvTraffic, Analyse du trafic routier par caméra intelligente* » Multitel Benoît Macq, UCL.
- [14] Minnesota Department of Transportation, « *Evaluation of non-intruse technologies for traffic detection* », Report prepared for United States Department of Transportation, September 2002.
- [15] Djamila Mokhtari, « *Détection des chutes par calcul homographique* » Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle Université de Montréal 2012.
- [16] Y. Kameda et M. Minoh. « *A human motion estimation method using 3- successive video frames*. In International Conference on Virtual Systems and Multimedia, pages 135\_140, 1996.
- [17] P. Spagnolo, T.D. Orazio, M. Leo et A. Distantè, « *Moving object segmentation by background subtraction and temporal analysis* ». Image and Vision Computing, vol. 24, no. 5, pages 411\_423, 2006

- [18] D.A. Migliore, M. Matteucci et M. Naccari, « *A revaluation of frame difference in fast and robust motion detection* » 4th ACM international workshop on Video surveillance and sensor networks, 2006.
- [19] Nicolas Verbeke, « *Suivi d'objets en mouvement dans une séquence vidéo* », Université PARIS DESCARTES Centre universitaire des Saints-Pères, France – 2007.
- [20] N.J.B. McFarlane et C.P. Schofield « *Segmentation and tracking of piglets in images* » Machine Vision and Applications, vol. 8, no. 3, pages 187\_193, 1995.
- [21] K. Toyama, J. Krumm, B. Brumitt et B. Meyers. Wallflower : « *Principles and practice of background maintenance* ». In Computer Vision, 1999. The Seventh IEEE International Conference 1999.
- [22] Christof Ridder, Olaf Munkelt et Harald Kirchner, « *Adaptive Background Estimation and Foreground Detection using Kalman-Filtering* », 1995.
- [23] D. Gao et J. Zhou. « *Adaptive background estimation for real-time traffic monitoring* », In Intelligent Transportation Systems, 2001.
- [24] J. Zhong et S. Sclaroff, « *Segmenting foreground objects from a dynamic textured background via a robust kalman filter* », In Computer Vision, Ninth IEEE International Conference, 2003.
- [25] KA Ahmad, Z. Saad, N. Abdullah et Z. Hussain « *Moving Vehicle Segmentation in a Dynamic Background using Self-adaptive Kalman Background Method* », IEEE International Colloquium, 2011.
- [26] K. Kim, T.H. Chalidabhongse, D. Harwood et L. Davis, « *Background modeling and subtraction by codebook construction* », In Image Processing, 2004. International Conference IEEE, 2004.
- [27] C. Stauffer et W.E.L. Grimson, « *Adaptive background mixture models for real-time tracking* », In Computer Vision and Pattern Recognition, 1999. IEEE Computer Society Conference on., volume 2. IEEE, 1999.
- [28] T. Bouwmans, F. El Baf, B. Vachonet al. « *Background modeling using mixture of gaussians for foreground detection-a survey* », 2008.
- [29] A. Elgammal, D. Harwood et L. Davis, « *Non-parametric model for background subtraction* », Computer Vision-ECCV 2000, pages 751\_767.
- [30] A. Yilmaz, O. Javed et M. Shah, « *Object tracking : A survey. Acm Computing Surveys* », (CSUR), vol. 38, no. 4, page 13, 2006.
- [31] K.E. Aziz, D. Merad, B. Fertil et N. Thome, « *Pedestrian head detection and tracking using skeleton graph for people counting in crowded environments* », Evaluation, pages 516\_519, 2011.

- [32] S. Xie et J. Pan, « *Hand Detection Using Robust Color Correction and Gaussian Mixture Model*. In *Image and Graphics* », (ICIG), 2011 Sixth International Conference on, pages 553\_557. IEEE, 2011.
- [33] K. Van de Sande, T. Gevers et C. Snoek, « *Evaluation of color descriptors for object and scene recognition*. In *Computer Vision and Pattern Recognition* », 2008. CVPR 2008. IEEE Conference , 2008.
- [34] M. Isard et A. Blake, « *Condensation, conditional density propagation for visual tracking* », International journal of computer vision, vol. 29, no. 1, pages 5\_28, 1998.
- [35] W. BELGUIDOUM et B. GUERZIZE, Mémoire de fin d'étude : « *Système de détection de visage par méthode hybride, détection de peau et Template Matching* », Dép. Informatique Univ. 08 Mai 1945 – Guelma, Juin 2005.
- [36] R.T. Collins, « *Mean-shift blob tracking through scale space*. In *Computer Vision and Pattern Recognition* », 2003. Proceedings. 2003 IEEE Computer Society Conference on, volume 2, pages II\_234. IEEE, 2003.
- [37] J.G. Allen, R.Y.D. Xu et J.S. Jin, « *Object tracking using camshift algorithm and multiple quantized feature spaces* », Pan-Sydney area workshop on Visual information processing, Australian Computer Society, Inc., 2004.
- [38] [www.ons.dz/-Recensement](http://www.ons.dz/-Recensement)
- [39] <http://www.univ-guelma.dz/recherche/projets-recherche.asp>
- [40] [http://www.mathworks.com/products/new\\_products/latest\\_features.html](http://www.mathworks.com/products/new_products/latest_features.html)
- [41] <http://total-video-converter.softonic.fr/>