

N° d'ordre : 244

50376
1988
59



50376
1988
59

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
DE LILLE FLANDRES ARTOIS

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE

par

Frédéric BOUTRY

**ANALYSE DE SCENES DYNAMIQUES
PAR REPRESENTATION ESPACE-TEMPS
DES ELEMENTS MOBILES.
APPLICATION A LA CONDUITE
AUTOMATIQUE DE VEHICULES GUIDES.**

Soutenu le 21 juin 1988 devant la Commission d'Examen

MM. P.	VIDAL	Président
Y.	DAVID	Rapporteur
B.	DUBUISSON	Rapporteur
J.G.	POSTAIRE	Directeur de Recherche
M.	BOURTON	Examineur
P.	BONNET	Examineur.
P.	STELMASZYK	Invité

AVANT-PROPOS

Ce travail de recherche a été réalisé au Centre d'Automatique de l'Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres-Artois, dirigé par Monsieur le Professeur Pierre Vidal, à qui nous exprimons notre profonde gratitude pour l'honneur qu'il nous fait de présider ce jury de thèse.

Nous adressons nos sincères remerciements à Monsieur Yves David, de l'Institut de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, pour la confiance, très précieuse, qu'il a bien voulu nous témoigner pendant ces deux années d'étude.

Nous remercions Monsieur Bernard Dubuisson, Professeur à l'Université de Compiègne, pour l'intérêt qu'il a porté à ce mémoire et sommes heureux de le compter parmi les membres de la commission d'examen.

Cet avant-propos serait incomplet si nous n'évoquions pas le rôle déterminant de Monsieur le Professeur Jack-Gérard Postaire, Directeur de Recherche, qui par sa grande disponibilité, ses compétences et ses qualités humaines, nous a permis de mener à bien ces travaux.

La participation à notre jury de Monsieur le Professeur Michel Bourton, de l'Université de Valenciennes Hainaut-Cambrésis, est vivement appréciée et nous l'en remercions chaleureusement.

Nous sommes profondément reconnaissant à Monsieur Pierre Bonnet, Maître de Conférence à l'Université des Sciences et Techniques de Lille I, de nous avoir donné la possibilité, par son enseignement, de progresser dans nos recherches.

Nous saluons amicalement la présence de Monsieur Patrick Stelmaszyk, ingénieur à l'ITMI (Industrie et Technologie de la Machine Intelligente), ancien chercheur et précurseur, au sein du laboratoire d'Automatique de Lille, des techniques de traitement d'images.

Enfin, je ne saurais terminer cet avant-propos sans rendre hommage à tous ceux qui m'ont aidé, au sens large du terme, à l'élaboration de ce mémoire.

**ANALYSE DE SCENES DYNAMIQUES PAR REPRESENTATION
ESPACE-TEMPS DES ELEMENTS MOBILES.
APPLICATION A LA CONDUITE AUTOMATIQUE DE VEHICULES GUIDES.**

<u>L'AUTOMATISATION DES SYSTEMES DE TRANSPORT GUIDE.</u>	p 1
1.) <u>SEGMENTATION DES IMAGES STATIQUES.</u>	p 4
1.1.) <u>PRETRAITEMENTS SUR L'IMAGE :</u>	p 4
1.2.) <u>SEGMENTATION PAR SEUILLAGE :</u>	p 5
1.2.1.) Généralités.	p 6
1.2.2.) Méthodes globales.	p 6
1.2.3.) Méthodes locales.	p 7
1.2.3.1.) Partitionnement de l'image.	p 7
1.3.3.2.) Relaxation.	p 7
1.2.4.) Segmentation à seuils multiples.	p 7
1.2.5.) Seuillage adapté.	p 8
1.3.) <u>SEGMENTATION PAR ANALYSE DE TEXTURES :</u>	p 8
1.3.1.) Généralités.	p 8
1.3.2.) Segmentation par analyse de texture.	p 9
1.3.2.1.) Variations locales de l'intensité.	p 9
1.3.2.2.) Attributs statistiques locaux.	p 10
1.4.) <u>SEGMENTATION PAR EXTRACTION DES CONTOURS :</u>	p 10
1.4.1) Généralités.	p 10
1.4.2.) Transformation de Fourier.	p 11
1.4.3.) Opérateurs différentiels.	p 11
1.4.3.1.) Approximation du gradient.	p 11
1.4.3.2.) Approximation du Laplacien.	p 12

1.4.4.) Reconstitution de contours.	p 12
1.4.4.1.) Extraction séquentielle.	p 13
1.4.4.2.) Extraction par filtrage.	P 13

1.5.) <u>CONCLUSION</u> :	p 14
---------------------------	------

2.) <u>SEGMENTATION DES SCENES DYNAMIQUES A PARTIR DE SEQUENCES D'IMAGES.</u>	p 15
--------------------------------------------------------------------------------------	------

2.1.) <u>DETECTION D'OBJETS EN MOUVEMENT</u> :	p 15
------------------------------------------------	------

2.1.1.) Introduction.	p 15
-----------------------	------

2.1.2.) Méthodes de mise en correspondance.	p 15
---------------------------------------------	------

2.1.2.1.) Méthodes structurelles.	p 15
-----------------------------------	------

2.1.2.2.) Méthodes de corrélation.	p 16
------------------------------------	------

2.1.2.3.) Transformée de Hough.	p 17
---------------------------------	------

2.1.3.) Méthodes globales.	p 17
----------------------------	------

2.1.3.1.) Gradient Espace-Temps.	p 17
----------------------------------	------

2.1.3.2.) Méthode de Fourier.	p 19
-------------------------------	------

2.1.4.) Différence d'images.	p 19
------------------------------	------

2.1.4.1.) Avec image de référence.	p 21
------------------------------------	------

2.1.4.2.) Sans image de référence.	p 21
------------------------------------	------

2.1.5.) Conclusion.	p 22
---------------------	------

2.2.) <u>DETECTION DES CONTOURS DES OBJETS EN MOUVEMENT</u> :	p 22
---------------------------------------------------------------	------

2.2.1.) Multiplication d'images binaires.	p 23
-------------------------------------------	------

2.2.2.) Multiplication d'images à niveaux de gris.	p 25
----------------------------------------------------	------

2.2.3.) Binarisation de l'image multiplication.	p 25
-------------------------------------------------	------

2.2.4.) Filtrage.	p 27
-------------------	------

2.3.) <u>CONCLUSION</u> :	p 30
---------------------------	------

3.) <u>ANALYSE DES SCENES DYNAMIQUES.</u>	p 31
3.1.) <u>DESCRIPTION DES CONTOURS :</u>	p 31
3.2.) <u>MODELISATION DES OBJETS EN MOUVEMENT :</u>	p 32
3.2.1.) Rectangle exinscrit.	p 32
3.2.2.) Octogone exinscrit.	p 33
3.3.) <u>MISE EN CORRESPONDANCE DES MODELES :</u>	p 37
3.4.) <u>ALGORITHMES DE SUIVI DES OBJETS EN MOUVEMENT :</u>	p 40
3.4.1.) Caractérisation des modèles.	p 40
3.4.2.) Critères de mise en correspondance.	p 41
3.4.3.) Initialisation de la procédure de mise en correspondance.	p 42
3.4.4.) Résolution des ambiguïtés.	p 44
3.4.4.1.) Appariement convergent.	p 44
3.4.4.2.) Appariement divergent.	p 44
3.5.) <u>PROCEDURES PARTICULIERES :</u>	p 44
3.5.1.) Entrée et sortie des mobiles du champ de la caméra.	p 44
3.5.2.) Objets à l'arrêt.	p 44
3.5.3.) Suivi du tramway.	p 45
3.5.4.) Suivi des piétons.	p 46
3.6.) <u>RESULTATS EXPERIMENTAUX :</u>	p 46
3.7.) <u>CONCLUSION :</u>	p 50
4.) <u>ANALYSE D'UNE SCENE DE TRAFIC URBAIN TRAVERSEE PAR UN TRAMWAY.</u>	p 51
4.1.) <u>INTRODUCTION :</u>	p 51
4.2.) <u>DESCRIPTION DE LA SCENE :</u>	p 51
4.2.1.) Description d'un carrefour.	p 51
4.2.2.) Description des objets mobiles.	p 54
4.3.) <u>ELIMINATION DES VEHICULES SANS INFLUENCE POUR LA CONDUITE DES TRAMWAYS :</u>	p 57

4.4.) <u>PREDICTION ET REPRESENTATION DE LA TRAVERSEE DES VEHICULES :</u>	p 58
4.4.1.) Traversée imminente.	p 59
4.4.2.) Traversée différée.	p 60
4.5.) <u>CONCLUSION :</u>	p 62
5.) <u>CONDUITE AUTOMATIQUE D'UN SYSTEME DE TRANSPORT GUIDE.</u>	p 63
5.1.) <u>REPRESENTATION GRAPHIQUE DES MOUVEMENTS DES OBJETS MOBILES :</u>	p 63
5.1.1.) Représentation de l'occupation des voies par les véhicules.	p 63
5.1.2.) Représentation graphique du passage d'un tramway.	p 64
5.2.) <u>ADAPTATION DE LA REPRESENTATION GRAPHIQUE DES MOUVEMENTS DES VEHICULES AUX CONTRAINTES DE CIRCULATION :</u>	p 65
5.2.1.) Simplification de la représentation du passage du tramway.	p 65
5.2.2.) Introduction d'un facteur de sécurité.	p 66
5.3.) <u>DETERMINATION DU PROFIL DE VITESSE DU TRAMWAY :</u>	p 67
5.3.1.) Chronogramme.	p 67
5.3.2.) Exploitation de la représentation graphique.	p 68
5.3.3.) Algorithme de calcul de profil.	p 69
5.3.3.1.) Détermination du premier segment du profil de déplacement.	p 69
5.3.3.2.) Détermination des segments successifs du profil de déplacement.	p 70
5.3.3.3.) Recherche du profil de déplacement par essais successifs.	p 70
5.3.3.4.) Prise en compte des obstacles immobiles.	p 74
5.3.3.5.) Prise en compte des véhicules roulant sur les rails.	p 74
5.3.4.) De la commande théorique du tramway aux déplacements réels.	p 76
5.4.) <u>CONCLUSION :</u>	p 79
<u>CONCLUSION GENERALE.</u>	p 80
<u>BIBLIOGRAPHIE.</u>	p 84

INTRODUCTION

L'AUTOMATISATION DES SYSTEMES DE TRANSPORT GUIDES.

Les premiers systèmes de transport à conduite automatique intégrale ont, pour la plupart, été construits en site totalement propre, sans contact avec la circulation, l'environnement et sans même la possibilité d'accès du public sur la voie, grâce à une protection des quais par portes palières [MAL][HAL].

Le développement de ces systèmes pourrait être favorisé si l'on pouvait réduire le coût des infrastructures en leur autorisant l'accès à des sites moins protégés. Cependant, afin de maintenir un haut niveau de sécurité, des systèmes en site semi-propre devraient être équipés de moyens de détection et de prévention de collisions dans les zones non protégées [KUH-87].

C'est dans cet état d'esprit que l'I.N.R.E.T.S. (Institut National de la Recherche sur les Transports et leur Sécurité) et le C.R.E.S.T.A. (Centre de Recherche et d'Evaluation des Systèmes de Transports Automatisés) ont confié, depuis 1983, à l'Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres-Artois, le soin de mettre en oeuvre des techniques de surveillance des carrefours que traversent les tramways qui relient Lille, Roubaix et Tourcoing. En effet, cette liaison présente toutes les caractéristiques d'un moyen de transport guidé en site semi-propre, mais n'est pas encore automatisée.

Ce projet vise à proposer une méthodologie concrète et réaliste pour la détection des objets présentant un risque de collision avec le tramway traversant les carrefours et à développer un processus de commande en vue de piloter automatiquement ce véhicule.

Des travaux menés au Centre d'Automatique de Lille de 1983 à 1985 ont montré l'intérêt d'une surveillance automatique des carrefours par des systèmes de vision artificielle [STEL-85].

En plaçant une caméra C.C.D. fixe le plus à l'aplomb possible de la zone à surveiller, on peut s'affranchir de la prise en compte de la troisième dimension. Des techniques originales de différences d'images ont été développées. Elles apportent une réduction importante des données à traiter au niveau de l'analyse de scènes dynamiques en isolant les points de contour des objets en mouvement, sans aucune information à priori

sur la scène, ni sur les objets qui s'y déplacent. Une procédure de contrôle automatique du véhicule qui prend en compte les risques éventuels de collision, a alors été proposée en utilisant des modèles simples pour les objets mobiles. Les résultats obtenus sur maquette, quoique novateurs, se sont révélés insuffisants pour atteindre le but recherché, c'est-à-dire développer une stratégie de conduite qui se rapproche autant que possible de celle d'un conducteur de tramway en site réel.

L'étude a donc été poursuivie selon deux axes bien différents mais complémentaires. Le premier consiste à apporter des solutions aux problèmes de traitement de séquences d'images représentant des scènes de trafic réelles sous des conditions d'éclairage non contrôlées et en temps réel. Cet aspect du projet a été développé au Centre d'Automatique en parallèle avec le second axe de recherche, objet du travail présenté dans ce mémoire. Ce dernier consiste à analyser les scènes de trafic à partir des informations extraites des séquences d'images afin de conduire automatiquement le tramway à travers un carrefour encombré par la circulation.

Le système de traitement d'image fournit, à tout instant, un modèle de chaque objet mobile présent dans le carrefour. Il s'agit d'analyser l'évolution dynamique de la scène observée afin de prévoir les mouvements des véhicules et des piétons qui s'y trouvent. Cette analyse, effectuée en temps réel, doit finalement permettre de contrôler l'avance du tramway pour éviter les collisions, tout en respectant le confort des passagers, et en maintenant un objectif réaliste de rapidité.

Dans le premier chapitre de cette thèse, nous procédons à quelques rappels concernant les méthodes générales de traitement d'images, afin d'aborder au chapitre 2 l'approche particulière utilisée pour résoudre les problèmes liés à l'analyse des scènes de trafic routier. Celle-ci repose sur la détection des contours en mouvement. Elle fait appel à des techniques de différences de deux images successives liées à l'utilisation d'opérateurs différentiels.

Au chapitre 3, nous proposons une modélisation originale des objets en mouvement dans les carrefours traversés par les tramways. Les modèles obtenus sont parfois éloignés de la réalité du fait des problèmes propres aux méthodes de traitement d'images. On y montre comment il est possible de contrôler la validité des modèles par des tests de vraisemblances et de suivre leur évolution au cours du temps. Des corrections sont aussi

apportées à tout instant afin d'obtenir une représentation, aussi fidèle que possible, de l'évolution de la scène dynamique observée.

Le chapitre 4 concerne l'analyse de la scène surveillée. De celle-ci, ne sont retenus que les mobiles présentant des risques de collision avec le tramway. Ceux-ci sont étroitement surveillés et une stratégie de conduite originale, prenant en compte les aléas de circulation est proposée dans le chapitre 5.

En conclusion, nous discutons de la fiabilité des ordres et des perspectives de développement et d'application offertes par cette nouvelle technique d'analyse de scènes dynamiques.

CHAPITRE 1

CHAPITRE 1:

SEGMENTATION DES IMAGES STATIQUES.

Notre propos, dans ce chapitre, est de présenter de façon brève et concise, mais sans prétendre à l'exhaustivité, les techniques de base du traitement des images numériques sur lesquelles s'appuient les résultats présentés dans ce mémoire.

Par ailleurs, nous recommandons vivement au lecteur de consulter, si besoin est, la littérature scientifique très riche dans ce domaine [DUD-72][ROS-82][BAL-82][POS-87].

1.1.) PRETRAITEMENTS SUR L'IMAGE:

Généralement les procédures d'analyse d'images commencent par des prétraitements destinés à restaurer l'information visuelle [WAG-83].

Que ce soient des quantifications du signal vidéo [DEL-87], des modifications d'histogrammes [BAL-82], des recodages ou des filtrages, ces prétraitements sont souvent indispensables pour faciliter les traitements ultérieurs.

Les techniques de filtrage linéaire [ABR-80][DES-83] consistent à convoluer l'image par la réponse impulsionnelle d'un filtre. Elles éliminent le bruit mais affaiblissent les contours.

Par contre, le filtre médian [TUK-76][NAR-81] présente le grand avantage de réduire le bruit, tout en préservant les contours qui sont essentiels pour l'analyse ultérieure de l'image [POS-87].

Le filtrage par extrémas locaux [SAM-84] remplace le point-image central d'une fenêtre par la valeur maximale ou minimale déterminée dans cette même fenêtre. Cette méthode est très efficace pour éliminer les points isolés, mais laisse subsister un biais important sur l'image résultante.

Le filtrage par l'analyse des histogrammes locaux [SAM-84] remplace le niveau de gris du point central d'une fenêtre par la valeur correspondant au minimum de l'histogramme des

intensités sur la fenêtre. Cette technique améliore la qualité de l'image mais introduit un flou dès que la taille de la fenêtre augmente.

Le filtrage linéaire adaptatif [PRA-78][LEE-80][CAN-83] en fonction des statistiques locales, utilise la moyenne et la variance locale pour améliorer les contours et les textures d'une image. Cette approche est intéressante lorsque la variance locale est assez élevée.

Certaines de ces techniques ne modifient pas le contenu informationnel de l'image et ne visent qu'à la rendre plus facile à interpréter à l'oeil nu. Plus utiles sont les techniques qui permettent de "nettoyer" l'image, c'est à dire d'enlever les variations non significatives du niveau de gris, qui peuvent être dues aux distorsions et parasites apparaissant le long de la chaîne d'acquisition ou qui peuvent simplement être des informations visuelles secondaires.

1.2) SEGMENTATION PAR SEUILLAGE:

L'amélioration d'une image par un prétraitement ne permet pas, en général, de réduire la quantité d'informations qu'elle contient. Une exploitation ultérieure immédiate en temps réel d'une image restaurée semble peu envisageable dans le cadre du pilotage d'un tramway. Il est en effet impératif d'extraire de la scène observée les objets y circulant, car eux seuls sont susceptibles d'intervenir sur la commande du tramway.

C'est pour cette raison que l'on cherche à réduire le nombre d'informations à traiter en segmentant la scène étudiée.

La segmentation peut être abordée en considérant une image comme la juxtaposition de régions homogènes. Chaque région, constituée de points-image connexes présentant des propriétés de similarité [MUI-81][LAU-85], est séparée de ses voisines par des zones de discontinuités, appelées contours.

Toute la précision d'un système de reconnaissance de forme est fonction de la qualité du mode de segmentation envisagé, chaque région ou ensemble de régions permettant d'identifier un objet dans la scène observée.

Il existe une multitude de techniques de segmentation que l'on peut regrouper en deux catégories selon qu'elles sont basées sur des concepts de similarité (l'homogénéité de niveaux de gris, de la couleur, de la texture...) [MIL-67][STE-85] ou de discontinuité telles que les contours [LEL-79].

Dans le cadre des méthodes basées sur des concepts de similarité, les techniques de seuillage permettent de mettre en évidence des régions constituées de points-image de niveaux de gris comparables.

1.2.1.) GENERALITES.

De nombreuses techniques de seuillage ont été développées [WES-78] et, de manière générale, peuvent être décrites mathématiquement par [LAT-84]:

$$S(x, y) = k \quad \text{si} \quad T_{k-1} \leq I(x, y) \leq T_k \quad k = 0, 1 \dots m$$

avec (x, y) : les coordonnées spatiales du point étudié,

$S(x, y)$: la fonction segmentée,

$I(x, y)$: la fonction image,

$T_0 \dots T_m$: les valeurs des seuils avec T_0 le seuil minimum et T_m le seuil maximum,

m : les différents niveaux de gris affectés à l'image segmentée.

L'opérateur T peut être considéré comme une fonction de test pouvant s'écrire $T(x, y, N(x, y), I(x, y))$, où $N(x, y)$ dénote quelques propriétés du point étudié.

On rencontre dans la littérature scientifique principalement quatre procédures de seuillage:

- le seuillage global quand T dépend uniquement de la fonction $I(x, y)$ sur toute l'image [WES-78],
- le seuillage local quand T dépend à la fois de $I(x, y)$ et $N(x, y)$ [LAT-84],
- la segmentation à seuils multiples [AME-87],
- la segmentation à seuil adapté [DEL-87].

Quelle que soit la méthode de binarisation choisie, le fait de trouver un seuil correct demeure un problème délicat, car aucun traitement ultérieur, aussi sophistiqué soit-il, ne peut compenser les résultats d'une mauvaise segmentation.

1.2.2.) METHODES GLOBALES.

Dans le cas où l'histogramme des niveaux de gris de l'image est bimodal, c'est à dire dans le cas où le contraste entre le fond et la forme est suffisant, le seuil est choisi au milieu de la vallée séparant les deux pics correspondant chacun à une des composantes de la distribution des intensités relatives au fond et aux objets [PRE-66][CHO-72].

Pour faciliter la recherche de ce seuil, les histogrammes sont souvent améliorés par diverses manipulations telle le lissage [RAJ-79], la décomposition en composantes gaussiennes [SCH-74][CAZ-76] ou l'analyse de la concavité [ROS-83] afin de les rendre plus facilement exploitables. On peut également citer une méthode basée sur l'accentuation des modes [WES-74][WES-78].

Malgré ces techniques, la bimodalité reste un cas d'école, et ne correspond qu'exceptionnellement au contenu informationnel des images de scènes réelles.

1.2.3.) METHODES LOCALES.

1.2.3.1.) Partitionnement de l'image.

Cette méthode (appelée aussi seuillage dynamique) consiste à partitionner l'image en sous fenêtres de même taille. On calcule le seuil, suivant l'une des méthodes globales exposées ci-dessus, pour chacune des fenêtres où l'histogramme est jugé bimodal. Une technique d'interpolation bilinéaire permet, alors, de définir un seuil adapté à chaque point de l'image [CHO-72][NAK-79].

Cette méthode nécessite un très long temps de calcul et n'est pas précise car la position de chaque sous-image influe sur les seuils.

1.2.3.2.) Relaxation.

La binarisation d'une image peut être envisagée comme un problème probabiliste [LEV-77][PEL-78][ROS-81][DAN-81][TOU-87], en définissant deux classes: celle des points des objets et celle du fond de l'image. Cette méthode, appelée aussi étiquetage probabiliste, permet l'amélioration d'un étiquetage initial. Elle est basée sur la définition d'une règle de mise à jour de la probabilité d'appartenir à une classe, selon les probabilités des points-image voisins d'appartenir à cette classe. Le processus est itéré jusqu'à ce que la segmentation devienne évidente.

Cette technique n'est pas envisageable du fait du temps de calcul nécessaire.

1.2.4.) SEGMENTATION A SEUILS MULTIPLES [AME-87].

Cette méthode permet de s'affranchir des fluctuations de l'éclairage ou de la réflectance du fond et des objets. Elle s'applique uniquement à l'extraction d'objets de forme identique en vrac planaire sans recouvrement. Cette technique utilise plusieurs seuillages à différents niveaux de gris. L'analyse statistique des formes binaires obtenues permet de reconstituer une image binaire satisfaisante, même si son histogramme n'est pas bimodal.

Cette approche est rejetée car les objets présents dans une scène de trafic routier ne sont pas tous identiques.

1.2.5.) SEUILLAGE ADAPTE [DEL-87].

Cette méthode considère le signal vidéo comme la somme de trois composantes: le signal lui-même, le bruit et une composante d'éclairage dépendant de l'environnement et du dispositif d'éclairage.

Par approximation polynomiale de cette composante qui peut ainsi être retranchée au signal total vidéo, cette méthode permet d'obtenir une segmentation robuste par rapport aux conditions d'éclairage, car le seuil s'adapte localement aux variations spatiales de l'éclairage de la scène étudiée.

Malheureusement, le temps d'exécution est trop élevé et le calcul de la composante éclairage ne donne des résultats satisfaisants que si le fond ne présente pas de discontinuités brutales.

1.3) SEGMENTATION PAR ANALYSE DE TEXTURES [HAR-79]:

1.3.1.) GENERALITES.

La texture d'une région de l'image caractérise les relations structurelles qui existent entre les points-image appartenant à cette région. Ces relations sont élaborées par des lois déterministes ou probabilistes.

Un damier, un mur de briques, un grillage... sont décrits comme des répétitions périodiques d'un motif de base. Leur texture peut être modélisée sous une formulation déterministe associant la description d'un motif et d'une loi de répétition [PRA-78].

Les textures du sable, des feuillages... peuvent être décrites par des processus aléatoires bidimensionnels caractérisés par des paramètres statistiques.

La méthode la plus générale [FAU-80], permettant de caractériser une texture dans le contexte statistique, consiste à définir un opérateur spatial $\Theta(.)$ ainsi que des propriétés statistiques de telle sorte que l'on ait le modèle de génération suivant:

$$F(j, k) = W(j, k) * \Theta(.),$$

où $F(j, k)$ est le niveau de gris au point de coordonnées (j, k) et $W(j, k)$ un élément d'un tableau de valeurs indépendantes et identiquement distribuées.

L'estimation de $W(j, k)$, en ne connaissant que $F(j, k)$, revient à résoudre une simple déconvolution:

$$F(j, k) = W(j, k) * \Theta(j, k) \text{ où } \Theta(j, k) \text{ est la réponse impulsionnelle spatiale de } \Theta(.).$$

La connaissance de la fonction de corrélation de $I(j, k)$ permet d'obtenir la densité spectrale de $F(j, k)$, puis de calculer la fonction de transfert du filtre inverse de $\Theta(j, k)$ par factorisation spectrale.

Cette procédure demande un volume de calcul incompatible avec les objectifs d'une segmentation en temps réel.

Il existe de nombreuses méthodes de mesure de textures (densité des contours [SAM-84][POS-87], matrices de cooccurrence de mise en oeuvre plus rapide [HAR-72], longueur des lignes d'égal niveau de gris [GAL-74], histogrammes locaux [LOW-82], modèles auto-regressifs [TOU-76]...). Cependant, ces techniques ne s'appliquent qu'à une description de régions bien définies a priori et de dimension importante. Il est donc difficile de les utiliser pour segmenter des images.

Rares sont les mesures de textures suffisamment locales pour permettre de segmenter une image.

1.3.2.) SEGMENTATION PAR ANALYSE DE TEXTURE.

1.3.2.1.) Variations locales de l'intensité.

Cette méthode repose sur le calcul des variations de l'intensité sur des directions orthogonales [ROS-80].

Soit une fenêtre 3 x 3:

$$\begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & I \end{bmatrix}$$

On définit v_x et v_y tels que:

$$v_x = |A-B| + |B-C| + |D-E| + |E-F| + |G-H| + |H-I|,$$

$$v_y = |A-D| + |D-G| + |B-E| + |E-H| + |C-F| + |F-I|,$$

et on détermine, de manière à ne pas privilégier les contours, $V = \text{Min}(v_x, v_y)$.

On effectue l'opération de segmentation en regroupant les points dont les variations locales d'intensité sont comparables.

1.3.2.2.) Attributs statistiques locaux [UNS-82][POS-87].

La texture au voisinage d'un point-image est, dans cette méthode, caractérisée par une description statistique de la distribution des niveaux de gris dans ce voisinage.

Le calcul de la moyenne, de la variance, des différents moments de cette distribution sont des attributs que l'on rencontre en général dans la littérature pour caractériser localement la texture. Comme les variations locales d'intensité, ces attributs permettent de segmenter des images en regroupant des points semblables.

Les attributs permettant de caractériser les textures apparaissent tous mal adaptés au problème de la segmentation d'une scène de trafic. En effet, il semble difficile de définir la texture d'un véhicule ou du fond de la scène. Nous nous orientons donc vers des méthodes basées sur la détection des contours.

1.4.) SEGMENTATION PAR EXTRACTION DE CONTOURS :

1.4.1.) GENERALITES.

Des études physiologiques effectuées sur l'être humain et les animaux ont montré que l'oeil était surtout attiré par les transitions brutales de niveau de gris. C'est ainsi qu'une discontinuité entre deux zones homogènes sera naturellement accentuée par l'observateur [ASH-78][STEL-83].

Ainsi, la détection de contours tient, dans les processus d'analyse de scènes, de reconnaissance de formes et de compression de l'information, une place importante [KEL-71][MON-71][DAV-75]. Il est donc normal de retrouver l'utilisation des contours dans tous les domaines de l'imagerie que sont la transmission, la télédétection, les applications médicales, militaires ou robotiques, chaque fois que les méthodes de segmentation basées sur des notions de connexité n'apportent pas la solution attendue.

Nous verrons comment utiliser ce concept pour détecter et localiser les objets en mouvement dans les scènes de trafic.

De manière très générale, l'étude des contours s'effectue en deux importantes étapes que sont l'extraction des contours et la reconstitution des contours.

L'extraction des contours présents dans une image peut être approchée de nombreuses manières.

1.4.2.) TRANSFORMATION DE FOURIER [HUA-81].

L'opérateur linéaire le plus classique en traitement d'images est le filtre en fréquences spatiales.

$$F(w_x, w_y) = \iint I(x, y) e^{-i(w_x x + w_y y)} dx dy$$

où $I(x, y)$ est l'intensité du point (x, y) ,

w_x est la pulsation spatiale selon ox ,

w_y est la pulsation spatiale selon oy .

Les variations brutales d'intensité se traduisent par de hautes fréquences, de telle sorte qu'il est possible d'accentuer les contours en réalisant un filtre passe-haut $H(w_x, w_y)$ tel que:

$$G(w_x, w_y) = F(w_x, w_y) H(w_x, w_y),$$

$$g(x, y) = I(x, y) * h(x, y), \quad \text{où } * \text{ indique le produit de convolution.}$$

Cependant, si cette technique permet, théoriquement, d'éliminer les zones homogènes, elles amplifient les bruits à cause de leur importante énergie dans les hautes fréquences. De plus, de tels opérateurs sont coûteux en temps, et nécessitent un matériel cher, surtout si une solution câblée est envisagée.

1.4.3.) OPERATEURS DIFFERENTIELS.

Des opérateurs différentiels locaux permettent de mettre en évidence les zones de l'image où le niveau de gris présente des variations locales importantes et sont donc très utiles pour détecter les contours. Il existe de nombreux opérateurs différentiels permettant d'obtenir des approximations du gradient du niveau de gris. Parmi ceux-ci, les opérateurs de Roberts [ROB-65], Sobel [BAS-79] et Prewitt [PRE-66] sont les plus utilisés.

1.4.3.1.) Approximations du gradient.

- Opérateur de Roberts.

Cet opérateur utilise deux masques R1 et R2:

$$R1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad R2 = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

L'amplitude et la phase sont donc respectivement:

$$A(j, k) = G1(j, k) + G2(j, k),$$

$$\Theta(j, k) = \text{Arctg}(G2(j, k) / G1(j, k)) - \pi/4,$$

où $G1(j, k)$ et $G2(j, k)$ sont les résultats de la convolution des masques $R1$ et $R2$ avec l'image au niveau du point (j, k) .

- Opérateurs de Sobel et Prewitt.

Soient les masques suivants:

$$S1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ C & 0 & -C \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad S2 = \begin{bmatrix} -1 & -C & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & C & 1 \end{bmatrix}$$

Si $C = 0$ on obtient l'opérateur de Sobel
et si $C = 1$ on utilise l'opérateur de Prewitt.

Nous avons donc pour amplitude:

$$A(j, k) = G1(j, k) + G2(j, k),$$

et pour phase:

$$\Theta(j, k) = \text{Arctg}(G2(j, k) / G1(j, k)) - \pi/2.$$

Citons également l'opérateur boussole de Prewitt [PRE-70], l'opérateur de Kirsh [KIR-71] et celui de Chen et Frei [CHE-77] qui apportent d'autres approximations du gradient.

1.4.3.2.) Approximation du Laplacien [ROS-82][SAM-84].

On peut, également, approcher la valeur du Laplacien du niveau de gris grâce à un opérateur local. On utilise, en général, des masques isotropes tels que:

$$L1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad L2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Laplacien (4 voisins) Laplacien (8 voisins)

de telle sorte que l'on ne dispose d'aucune information sur l'orientation des contours.

Ces opérateurs différentiels sont très sensibles aux bruits.

1.4.4.) RECONSTITUTION DE CONTOURS [LAT-84][AME-87][TOU-87].

La reconstitution de contour consiste à déterminer un contour comme un ensemble de points connexes où les réponses d'un opérateur différentiel sont élevées.

1.4.4.1.) Extraction séquentielle.

Cette reconstitution s'avère utile quand, à cause des grandes variations de contraste, d'éclairage et de réflectance les réponses des opérateurs différentiels ne sont pas constantes le long des contours.

L'extraction des contours peut être abordée par des procédures d'agrégation séquentielle omnidirectionnelles souvent initialisées à partir du point où le gradient est le plus élevé [TOU-87].

Les algorithmes d'extraction recherchent dans le voisinage de ce point d'autres points appartenant à un même contour en y comparant les valeurs du gradient de la fonction image.

Lorsque la procédure est omnidirectionnelle, seuls les points pour lesquels le gradient est suffisamment élevé sont retenus pour constituer le contour [DES-80].

Les procédures directionnelles tiennent compte également de la direction du gradient [HER-78].

Cette approche qui donne d'excellents résultats, même sur des images bruitées, est malheureusement trop gourmande en temps de calcul pour être utilisable en vue de l'analyse des scènes de trafic en temps réel.

1.4.4.2.) Extraction par filtrage.

D'autres techniques de reconstitution de contours sont basées sur des techniques de filtrage.

- Filtrage linéaire [STEL-85].

En convoluant l'image avec un masque, il est possible d'améliorer la connexité des points des contours en lissant les valeurs du gradient. On détermine la moyenne de l'estimation du gradient au niveau de chaque point-image et de ses voisins dans une fenêtre centrée en ce point-image. On affecte, ainsi, au centre de cette fenêtre la valeur unité si la moyenne comptabilisée est supérieure à un seuil. Cette méthode simple et rapide donne des résultats convenables sur des scènes de trafic routier. Elle peut être étendue au filtre moyennneur avec pondération (figure 2.6 du chapitre 2).

- Filtrage logique [STE-85][DEL-87].

On élimine, par comparaison avec leurs voisins, les points à fort gradient isolés assimilés à du bruit. Cette méthode ne donne des résultats acceptables que sur des images peu bruitées et n'est performante que sur des images de grande qualité comme celles obtenues sur une maquette de trafic (image 5 de la figure 2.3 du chapitre 2).

- Erosions et Dilatations [SER-82][BOU-85].

L'érosion élimine le bruit de l'image et la dilatation restitue l'image originale sans le bruit. Par l'emploi de ces opérateurs morphologiques, il est possible d'isoler, de séparer ou de fusionner à volonté les objets. Néanmoins, cette méthode demande un contrôle interactif de la part de l'analyste du fait du caractère difficilement prévisible de la représentation obtenue. Cette méthode est donc rejetée pour notre cas d'étude (image 6 de la figure 2.3 et image 3 de la figure 2.5 du chapitre 2).

1.5.) CONCLUSION:

Nous venons de rappeler différentes techniques classiques de segmentation basées sur des notions de similarité (seuillage des niveaux de gris, analyse de textures) et sur des notions de discontinuités (étude des contours).

Ces techniques permettent de segmenter des images sans distinctions entre les objets mobiles et immobiles. Elles sont donc mal adaptées à l'analyse des scènes dynamiques. En effet, seuls les objets en mouvement dans la scène observée influencent la conduite d'un tramway à travers un carrefour. Afin d'extraire d'une séquence d'images l'information utile, il convient donc d'en isoler les seuls objets en mouvement. Nous allons maintenant aborder l'analyse des scènes dynamiques qui, nous le verrons, font largement appel aux notions fondamentales présentées dans ce chapitre.

CHAPITRE 2

identifier les objets mobiles. En effet, un carrefour peut être traversé par des voitures, des camions, des vélos ou des piétons... de formes, de tailles et de couleurs très variées.

2.1.2.2.) Méthodes de corrélation.

De nombreuses méthodes consistent à segmenter les images, puis à mettre en correspondance les régions, image à image, afin de décrire le mouvement. En émettant une hypothèse d'uniformité du mouvement à l'intérieur de chaque région, on peut réduire l'analyse d'une scène dynamique au suivi des centres de gravité de ces régions [SQU-83].

Dans le même ordre d'idée, certaines méthodes utilisent des processus itératifs qui tentent de relier les centres d'intensité des régions en mouvement. Elles fournissent le mouvement dominant mais ne relient pas des paires de points se déplaçant différemment [END-71][YAC-78].

La méthode de corrélation est plus générale et consiste à retrouver une fenêtre de référence (ou tout autre modèle) d'une image à une autre.

Soient deux images successives et soit S_1 une fenêtre (ou sous image) appartenant à la première image.

Apparier S_1 avec la seconde image consiste à rechercher le maximum d'une fonction de corrélation de S_1 avec cette image qui se calcule sans difficulté. Le maximum de cette fonction permet de localiser le contenu de S_1 après un déplacement dans la seconde image. La fenêtre, réactualisée, est alors recherchée tout le long de la séquence.

Ces méthodes, employées très souvent notamment en météorologie pour le suivi de nuages [HUA-81][END-71] et dans le domaine militaire pour le problème de poursuite [SAM-84], sont très sensibles aux changements d'éclairage et aux variations de réflectance qui accompagnent bien souvent les déplacements des éléments mobiles. Elles ne sont applicables que dans des cas relativement simples (un seul mobile dans la scène, par exemple) ce qui les rend inutilisables dans toutes les situations réelles rencontrées en surveillance de carrefours.

La taille et la forme de la fenêtre jouent un rôle important. Une petite fenêtre ne comporte pas d'attributs significatifs tandis qu'une trop grande apporte des distorsions qui rendent les calculs peu fiables.

Les résultats sont meilleurs si une fenêtre de type Gaussien est employée (le poids le plus important est assigné au centre de la fenêtre et décroît quand on s'en éloigne).

CHAPITRE 2:

SEGMENTATION DES SCENES DYNAMIQUES A PARTIR DE SEQUENCES D'IMAGES.

2.1.) DETECTION DES OBJETS EN MOUVEMENT:

2.1.1.) INTRODUCTION.

Les techniques de segmentation des images statiques présentées dans le chapitre précédent ne permettent pas d'analyser le mouvement des éléments d'une scène dynamique sur lesquels on ne dispose d'aucune information a priori.

Pour analyser le mouvement, on dispose, en général, d'une séquence d'images représentant la scène observée à des moments régulièrement espacés dans le temps.

Il existe une littérature très fournie sur ce sujet, du fait de la diversité des approches proposées. Les techniques de suivi d'objets en mouvement vont du simple calcul du barycentre de régions mises en évidence par des procédures classiques de segmentation à des algorithmes de mise en correspondance de structures qui débouchent à des méthodes plus globales.

2.1.2.) METHODES DE MISE EN CORRESPONDANCE.

2.1.2.1.) Méthodes structurelles.

Dans ces méthodes, on identifie des points ou des ensembles de points caractéristiques dans chaque image de la séquence à étudier (points, angles, textures, contours, contenus de fenêtres...) [SAM-84][STE-85]. Puis, on cherche à les retrouver dans l'image suivante en tolérant, éventuellement, des déformations et des distorsions.

Le choix de ces éléments ne peut être défini a priori, car il dépend du domaine d'application et de ce que l'on désire obtenir comme information finale. Dans le cas de trafic routier, on ne dispose d'aucune information sur le type d'éléments à rechercher pour

La principale difficulté dans cette approche, même améliorée, (corrélation centrée, corrélation filtrée, intercorrélation normalisée [BUR-82]) concerne l'initialisation de la fenêtre au début de la poursuite d'un mobile.

Ces techniques de corrélation se heurtent à deux problèmes majeurs:

- Le premier est sa complexité et sa lourdeur en coût d'opérations élémentaires. Même des techniques séquentielles, des architectures parallèles ou des corrélateurs à base de composants C.C.D. ne permettent pas d'atteindre le calcul en temps réel.

- Le second problème vient du fait que les résultats sont très imprécis. Le pic de corrélation est souvent très étroit et difficile à identifier, surtout lorsqu'on utilise un filtre passe-haut comme prétraitement.

2.1.2.3.) Transformation de Hough [HOU-62].

A un niveau plus synthétique, la transformation de Hough est un moyen efficace pour détecter des formes prédéfinies dans une image et mettre en correspondance des objets, d'une image à l'autre, dans une séquence.

La définition des formes à rechercher dans les images de la séquence d'images est de la toute première importance. Bien que l'algorithme puisse s'appliquer à une grande variété de formes (droites, rectangles, cercles...), la diversité des objets mobiles dans les scènes que nous observons au niveau du trafic routier en interdit son emploi [DUD-72][SHA-78][BAL-83].

2.1.3.) METHODES GLOBALES.

2.1.3.1.) Gradient Espace-Temps [THO-80][LUC-81][WOH-83].

Cette méthode utilise les changements d'intensité en chaque point de l'image dans le repère espace-temps afin de déterminer les déplacements des objets. La figure 2.1 représente un déplacement mono-dimensionnel. Une surface caractérisée par une courbe d'intensité f se déplace dans la direction de l'axe Ox . La fonction $f_1(x)$ représente cette courbe à l'instant t_0 tandis que la fonction $f_2(x)$ la représente à l'instant t_1 , tel que $t_1 = t_0 + dt$.

Soit dx le déplacement durant dt . On peut écrire la relation:

$f_2(x_0) - f_1(x_0) = p dx$ où x_0 est un point quelconque de l'image et p la pente de la courbe en ce point.

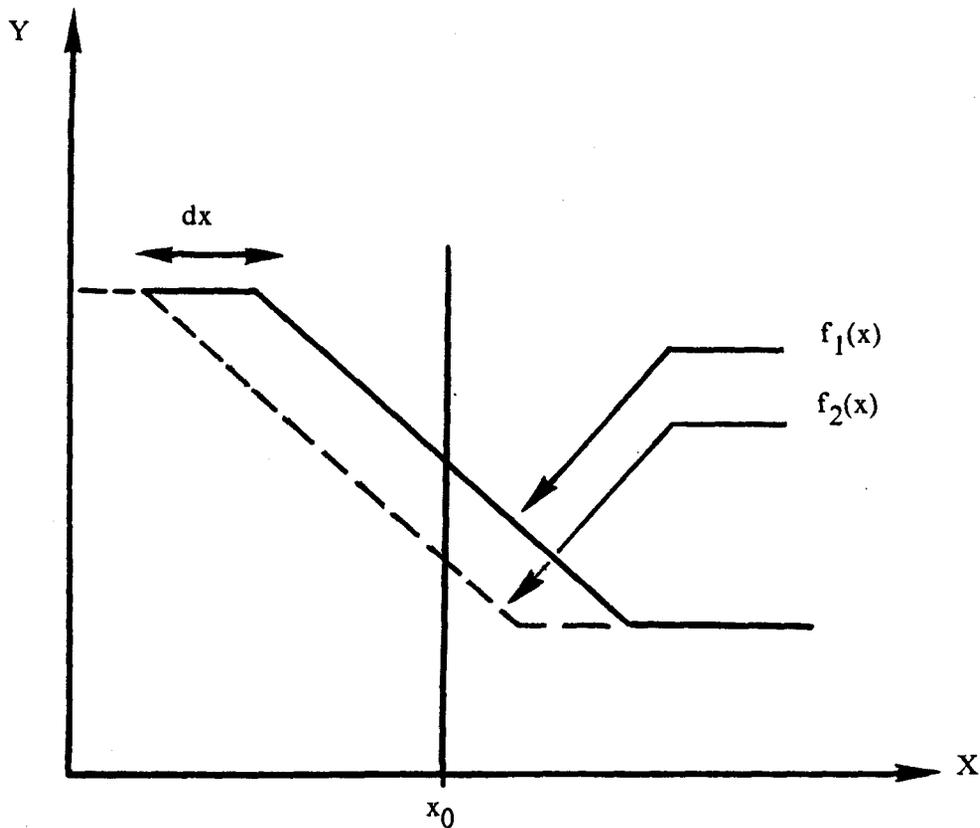


Figure 2.1: Déplacement monodimensionnel.

Si le déplacement dx est faible, il est possible de développer cette égalité en une série de Taylor, limitée au premier ordre:

$$f_2(x_0) - f_1(x_0) = -f'(x_0) dx = f(x).$$

Cette relation étendue au cas bidimensionnel devient:

$$f(x, y) = -\text{Grad } f(x, y) \cdot D \quad \text{où } D \text{ est le vecteur déplacement.}$$

En considérant deux points voisins, on obtient deux équations indépendantes permettant de retrouver le vecteur déplacement. Cette opération appliquée à toute l'image, peut être facilement étendue aux mouvements englobant des rotations et homothéties.

Ces méthodes sont très sensibles aux bruits de mesure affectant la fonction d'intensité, aux variations locales du gradient et aux variations de luminance des objets en mouvement.

Il est possible, pour limiter l'influence de ces phénomènes, de filtrer l'image par lissage ou de la défocaliser avant d'appliquer l'opérateur gradient. [KEA-82]

Ces méthodes d'analyse du gradient spatio-temporel n'apportent de bons résultats qu'en cas de faibles déplacements, d'où la nécessité d'effectuer un échantillonnage temporel rapide et un échantillonnage spacial très fin. Ces contraintes sont incompatibles avec l'analyse du trafic routier en temps réel.

2.1.3.2.) Méthode de Fourier.

Si on a longtemps pensé que la transformation discrète de Fourier (T.D.F.) apportait une solution à la détection du mouvement par analyse de déphasage [HUA-81], il est vite apparu que les résultats obtenus ne pouvaient être exploitables que pour des images très simples. Il n'est pas non plus nécessaire d'épiloguer sur les contraintes temporelles liées à l'utilisation de cette transformation.

2.1.4.) DIFFERENCE D'IMAGES [STE-85].

Une comparaison entre deux images successives montre, dans le cas d'un capteur optique immobile, que les régions qui diffèrent sont celles affectées par le mouvement. Cette constatation est la base d'algorithmes qui utilisent la différence d'images successives pour détecter le mouvement.

Par la suite nous adopterons la convention suivante:

- l'image courante est la dernière image acquise et est notée C,
- l'image acquise précédemment dans la séquence est notée P et est appelée image précédente,
- la différence, point-image à point-image, de C et P est appelée image différence et est notée D, avec $D = C - P$.

La différence D entre deux images successives comportant un objet de niveaux de gris homogène en mouvement fait apparaître, si l'on travaille en différence relative, quatre zones distinctes en cas de chevauchement des positions dans l'image courante et l'image précédente (figure 2.2), et trois zones dans le cas contraire:

Zone 1 : Placée à l'avant de l'objet dans le sens du déplacement, elle est constituée de points-image appartenant au fond de l'image précédente et à l'objet de l'image courante. L'amplitude des différences de niveaux de gris y est grande.

Zone 2 : Placée à l'arrière de l'objet, elle est constituée de points-image appartenant à l'objet de l'image précédente et au fond de l'image courante. L'amplitude y est grande.

Zone 3 : Cette zone est constituée de points-image appartenant au fond et aux objets immobiles dans les deux images. L'amplitude des différences de niveaux de gris des points-image y est faible.

Zone 4 : Cette zone n'existe que dans le cas où il y a chevauchement des images successives de l'objet. L'amplitude y est faible. Elle est commune aux images D et C.

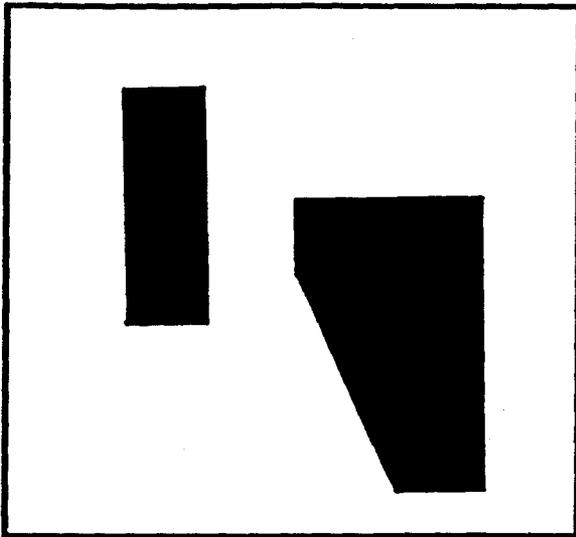


Image Précédente P.

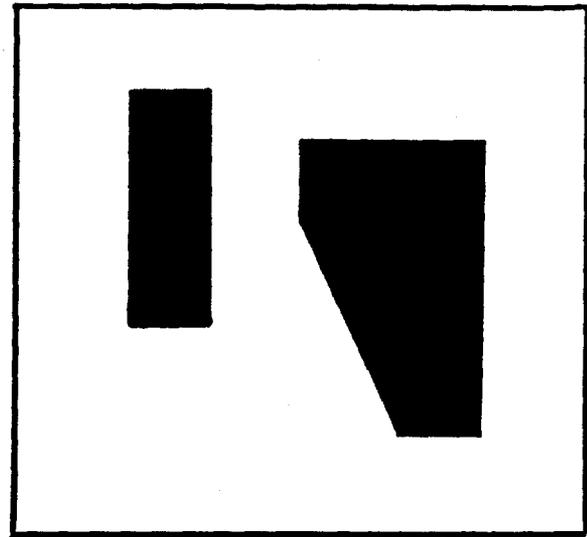


Image Courante C.

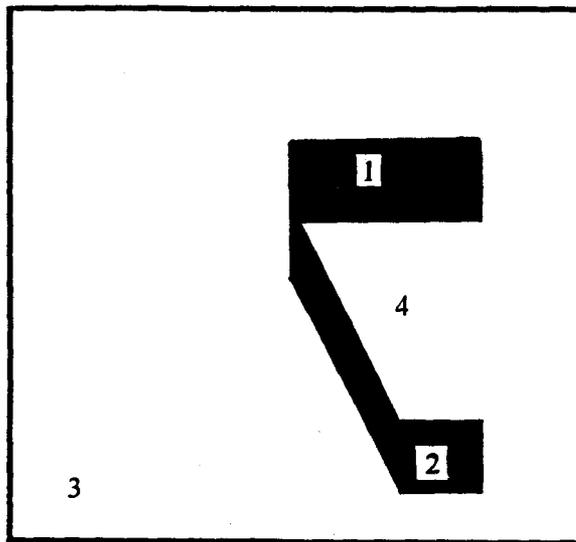


Image Différence D.



Figure 2.2: Différence de deux images successives avec chevauchement des positions.

On pourrait envisager d'utiliser un processus de segmentation afin d'isoler les régions constituant l'image et de vérifier leur appartenance à l'une des quatre zones définies ci-dessus. Mais la difficulté relative à ce problème concerne la détermination et la caractérisation des régions présentes dans l'image. Il n'existe pas de solution entièrement satisfaisante à ce problème [STEL-85].

Deux types d'approches, plus pragmatiques, selon que l'on utilise ou non une image de référence, permettent de mettre le mouvement en évidence.

2.1.4.1.) Avec image de référence.

Dans certaines situations, il est possible d'avoir une image où seuls les éléments stationnaires de la scène sont présents. Celle-ci sert d'image de référence, notée R.

Dans l'image $D' = C - R$, l'apparition d'un objet peut être détectée, car D' ne contient que deux types régions:

- La zone 1, résultant de la différence entre l'objet dans l'image C et la partie recouverte par cet objet dans R. Son niveau de gris est élevé,
- La zone 2, formée de la différence des points stationnaires de C et R. Son niveau de gris est très faible.

Un simple seuillage permet de détecter immédiatement la position et la forme des objets en mouvement. Cependant, l'obtention de valeurs proches de zéro, pour les points du fond de la différence des images, implique un éclairage constant. Ce qui n'est pas toujours le cas pour des scènes réelles. Pour pallier les effets négatifs du vieillissement de l'image de référence dû aux variations de luminosité, on peut introduire deux seuils distincts dans l'étape de binarisation de D' [DRE-78]:

- le premier seuil sélectionne les points correspondant au mouvement,
- le second seuil détecte les petits changements de luminance du fond. Ces petites variations sont, au fur et à mesure, additionnées à l'image de référence R, qui est ainsi réactualisée à chaque acquisition.

2.1.4.2.) Sans image de référence.

Dans le cas où il y a impossibilité de disposer d'une image de référence, le problème consiste à réunir les régions 1 et 4 de la figure 2.2. La localisation de la zone 4 est délicate, surtout lorsque la direction du mouvement d'un mobile coïncide avec l'orientation d'un de ses côtés. En effet, dans ce cas, la zone 4 peut être adjacente à la zone 3. Des considérations d'ordre géométrique sont alors nécessaires pour trouver l'orientation et la nature du déplacement du mobile [STEL-85].

Cette méthode ne permet d'extraire des objets en mouvement que si ceux-ci ont un niveau de gris homogène et sont exempts de cavité.

Une autre solution consiste à augmenter la période d'échantillonnage pour obtenir des déplacements des objets importants, de sorte que leurs positions ne se chevauchent pas entre deux images successives, la première image servant de référence.

Cette méthode nécessite un contraste important entre le fond et les objets en mouvement ainsi qu'une faible variation d'éclairage entre les différentes prises de vue.

D'autres méthodes se basant sur la recherche de sous-images et sur des notions de différences cumulées [JAI-84] ont été proposées, mais nécessitent une phase d'apprentissage pendant laquelle les objets doivent se déplacer de sorte que leurs positions dans les images successives de la séquence ne se chevauchent plus. Le temps d'attente, pour que cette condition soit réalisée, interdit l'emploi de la méthode pour les scènes de trafic routier.

Une autre méthode consiste à utiliser trois images successives I_{n-1} , I_n , I_{n+1} . On soustrait alors les différences entre les images I_{n-1} et I_n , puis entre I_n et I_{n+1} . Des opérations logiques entre ces différences, suivies d'aggrégations des régions, permettent de retrouver la forme de l'objet dans l'image I_n [LEN-83].

Cette méthode a cependant l'inconvénient de nécessiter un échantillonnage serré et provoque un retard pour la détection des objets.

2.1.5.) CONCLUSION.

Malgré le grand nombre de techniques proposées, aucune n'apporte une solution satisfaisante à notre problème d'analyse de scènes de trafic. Il semble cependant que l'approche par différence d'images puisse répondre aux contraintes imposées pour la surveillance des carrefours. En effet, cette approche est certainement celle qui nécessite le moins d'informations a priori sur la scène observée, puisque c'est le mouvement lui-même qui permet de segmenter la scène et d'en extraire les éléments mobiles. En associant cette approche aux techniques de détections de contours, il devient possible d'atteindre le but recherché: la détection du mouvement dans une séquence d'images représentant une scène réelle de trafic.

2.2.) DETECTIONS DES CONTOURS DES OBJETS EN MOUVEMENT:

Nous présentons ici la méthode mise au point par les chercheurs du Centre d'Automatique pour résoudre les principales difficultés qui résultent de la complexité de la scène à analyser [STE-85].

Nous ne possédons aucune connaissance a priori sur le nombre d'objets, leur forme et leur évolution dynamique. Les objets peuvent apparaître, disparaître, s'arrêter, redémarrer, changer de direction, évoluer rapidement ou lentement: nous travaillons dans l'imprévisibilité en temps réel.

A ces constats, s'ajoutent les problèmes dûs aux perturbations apparaissant entre deux acquisitions:

- réflexions parasites,
- variations d'éclairage (soleil, nuage...),
- effets de perspective,
- distortions du capteur.

Notre choix s'est donc porté sur la différence d'images successives qui permet une réduction importante des données, au sens où toutes les parties stationnaires de la scène sont éliminées.

Mais les régions constituant les images n'étant pas, a priori, très homogènes, il est préférable de s'intéresser aux transitions inter-régions plutôt qu'aux niveaux de gris eux-mêmes. Les déplacements de ces transitions, ou contours, constitueront alors des indicateurs de mouvement. Les contours des objets en mouvement n'apparaissent pas à la même place dans l'image P (image précédente) et dans l'image C (image courante). Par contre les contours du fond et des objets stationnaires apparaissent aux mêmes endroits dans les deux images. Cette remarque est à la base de la technique de détection de mouvement utilisée.

- Les points de contour, présents dans l'image $D = C - P$ proviennent uniquement des éléments mobiles et indiquent leurs positions dans l'image P et dans l'image C.

- Les points de contour de l'image C indiquent la position de tous les objets mobiles et immobiles de la scène à un instant donné.

En combinant ces deux informations, il est possible d'isoler les seuls points de contour des objets en mouvement dans leur position dans l'image courante C.

Nous illustrons le principe de cette méthode, développée dans les paragraphes suivants, sur des images d'une maquette réalisée en laboratoire (figure 2.3).

2.2.1.) MULTIPLICATION D'IMAGES BINAIRES.

L'application d'un opérateur de type gradient noté $G(.)$ à la différence D de deux images successives (images 1 et 2 de la figure 2.3), permet de détecter sur l'image $G(D)$ les contours d'un objet en mouvement, dans ses positions dans l'image courante et dans l'image précédente (image 4 de la figure 2.3).

Pour différencier les points de contour du mobile de l'image courante de ceux de l'image précédente, les contours détectés dans l'image $G(D)$ sont comparés à ceux détectés dans l'image $G(C)$ (image 5 de la figure 2.3).

1 2

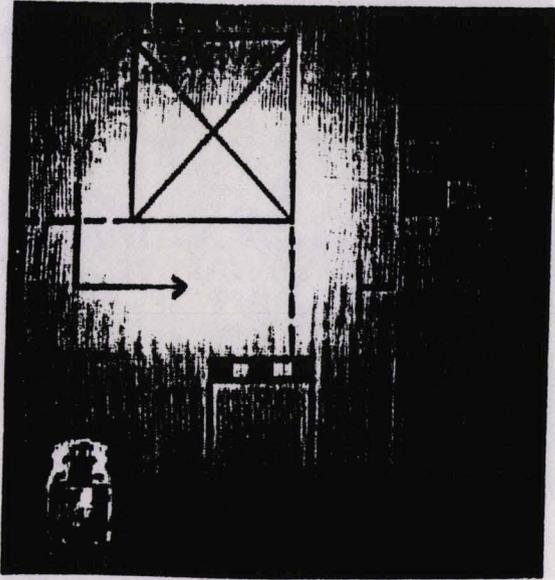


Image 1: Image Précédente P.

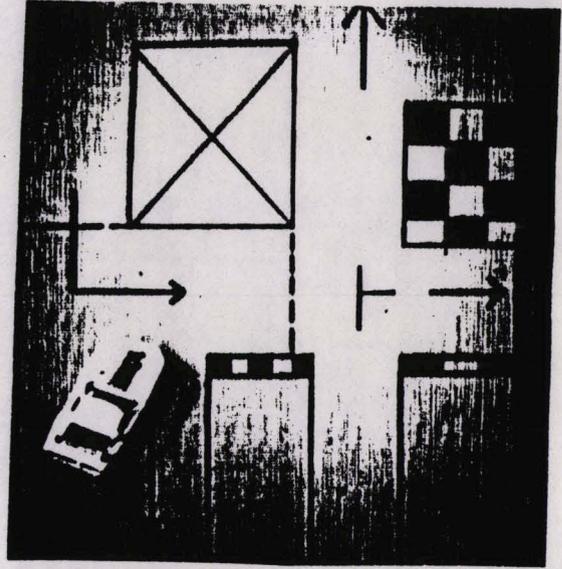


Image 2: Image Courante C.

3 4

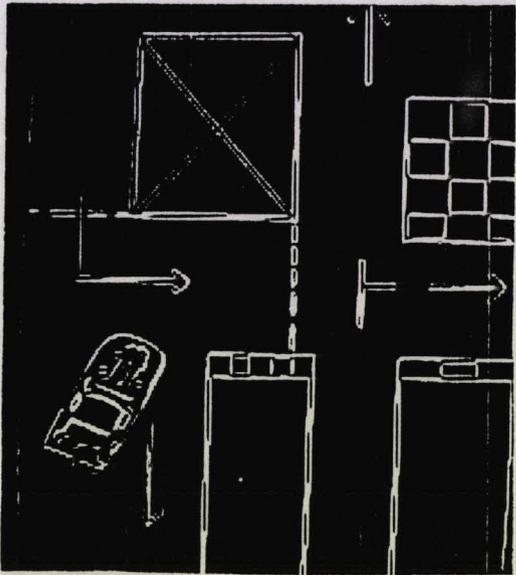


Image 3: Gradient de l'image Courante G(C).

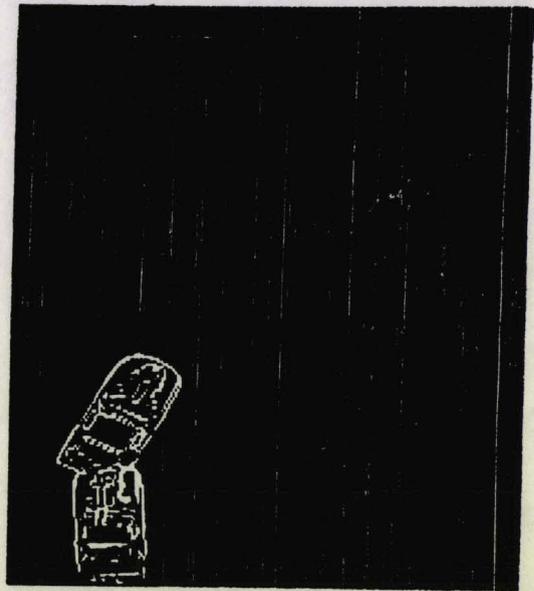


Image 4: Gradient de la différence d'images D.

5 6

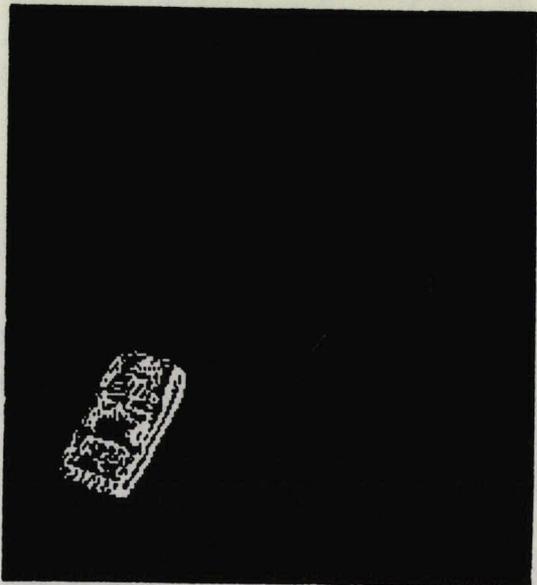


Image 5: Multiplication $G(C) \times G(D)$ Figure 2.3: Mise en évidence des contours des objets en

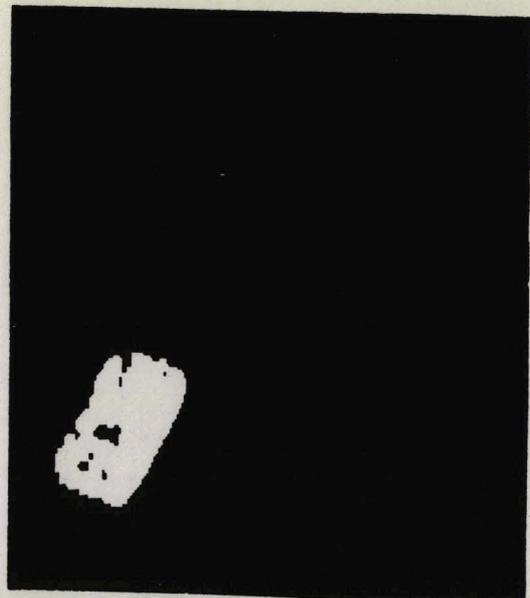


Image 6: Application d'un opérateur

BU
LILLE

Les niveaux de gris des images $G(D)$ et $G(C)$ pourraient être comparés à un seuil pour sélectionner les points-image des contours. Un simple ET logique entre ces deux images ainsi binarisées permettrait de ne retenir que les éléments représentatifs des contours des mobiles dans l'image courante.

Une telle approche n'est cependant applicable que dans le cas de scènes présentant un contraste élevé entre le fond et les objets en mouvement.

2.2.2.) MULTIPLICATION D'IMAGES A NIVEAUX DE GRIS.

Des essais ont montré que, quelque soit l'opérateur de type gradient utilisé (Robert, Sobel, Prewitt...), la réponse de l'opérateur n'est pas constante tout le long d'un contour et présente des fluctuations. Les points de contour peuvent être éliminés lors de la comparaison des valeurs du gradient à un seuil fixe.

Afin de rendre la méthode plus robuste et plus facile à implanter, on seuille uniquement l'image résultant d'une opération numérique entre $G(C)$ et $G(D)$.

On peut assimiler $G(D)$ à un détecteur de mouvement, tandis que $G(C)$ peut l'être à un détecteur de position. Pour qu'un point soit sélectionné, il suffit que ces deux détecteurs affichent indépendamment une valeur suffisante.

L'opération numérique correspondant le mieux à ces constatations est la multiplication point-image à point-image des niveaux de gris de ces images, notée $G(C) \times G(D)$ et appelée image multiplication (image 5 de la figure 2.3).

2.2.3.) BINARISATION DE L'IMAGE MULTIPLICATION.

L'extraction des contours des objets en mouvement s'effectue par seuillage de l'image multiplication. Cette technique offre l'avantage de ne nécessiter qu'un seuillage unique. Elle ne requiert pas de méthodologie particulière car l'ajustement du seuil n'est pas critique [STE-85].

En effet, la méthode est apparue peu sensible au bruit dans le cas de prises de vue sur la maquette réalisée au laboratoire. Les essais comparatifs ont favorisé l'opérateur différentiel de Sobel qui donne de meilleurs résultats que ceux de Robert et Prewitt (Bon compromis bruit / connexité). Des simulations sous des conditions d'éclairage très variées ont montré qu'un seuil nul (ou quasiment nul) permet de détecter sans ambiguïté les points de contours des objets en mouvement [STE-85].

Il n'en est malheureusement pas de même dans le cas de scènes réelles. La figure 2.4 illustre la procédure pour deux images successives prises sous des conditions atmosphériques défavorables (images 1 et 2).

Le résultat du seuillage de l'image $G(C) \times G(D)$, avec un seuil égal à $1/256$ de la pleine échelle (image 3 de la figure 2.4), fait apparaître de nombreux points isolés appartenant au fond. On pourrait songer à les faire disparaître en augmentant le seuil. Une telle opération s'effectuerait au détriment de la connexité des contours mis en évidence. Or, cette connexité, comme nous le verrons au chapitre suivant, est de la toute première importance et doit être préservée au maximum.



Nous préférons donc introduire un filtrage logique de l'image $G(C) \times G(D)$ binarisée.

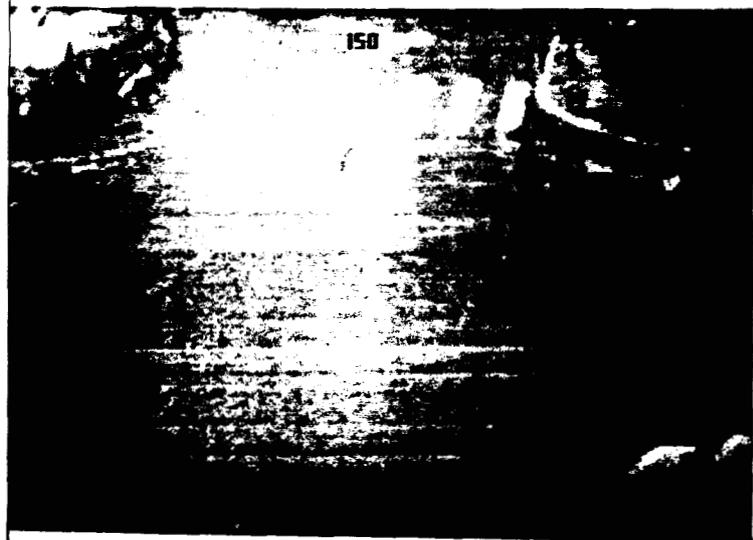


Image 1: Image Précédente P.



Image 2: Image Courante C.

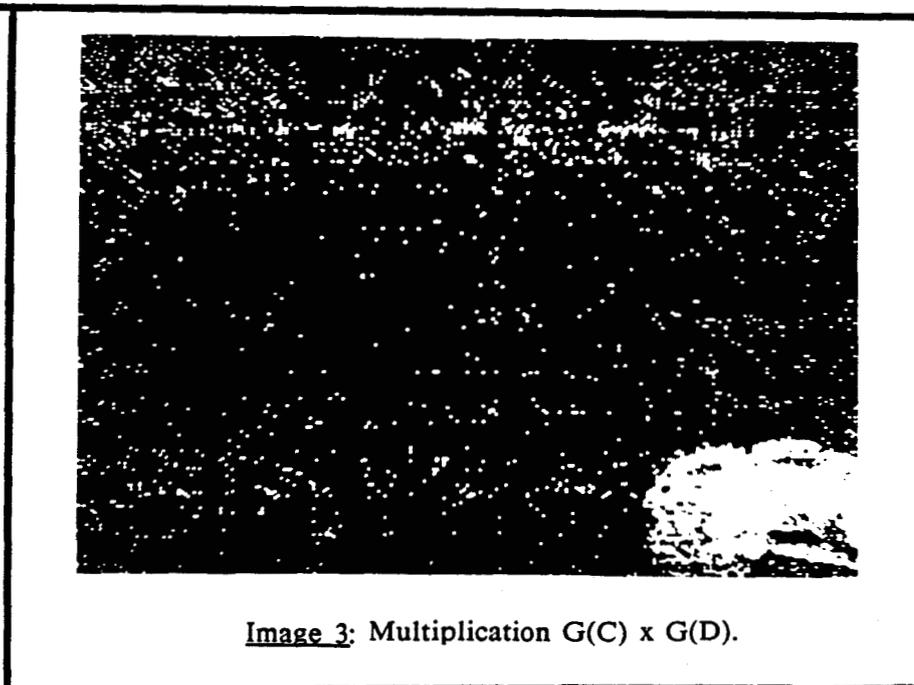


Image 3: Multiplication $G(C) \times G(D)$.

Figure 2.4: Mise en évidence des contours des objets en mouvement sur des images de scène réelle.

2.2.4.) FILTRAGE.

Les opérateurs morphologiques de type érosion-dilatation, ouverture-fermeture sont connus pour éliminer le bruit constitué de points isolés, tout en améliorant la connexité des régions [SER-82] (cf image 6 de la figure 2.3).

Cependant, de telles procédures présentent le risque de fusionner des objets voisins et restent difficiles à contrôler. La figure 2.5 illustre ce problème. L'image 1 représente le gradient $G(C)$ de l'image courante C . L'image 2 est le résultat de la binarisation de l'image $G(C) \times G(D)$ avec un seuil réglé au $1/256$ de la pleine échelle. On constate que des dilations successives (image 3) conduisent à fusionner une automobile avec un camion, sans même recréer la connexité du contour de ce camion. Seule une utilisation itérative de la méthode, avec contrôle visuel des résultats intermédiaires obtenus après chaque itération, permet de contrôler la procédure dans de bonnes conditions. De plus, même en mode automatique, le temps de calcul lié à ces méthodes reste incompatible avec les contraintes de temps réel, excepté avec des opérateurs morphologiques cablés.

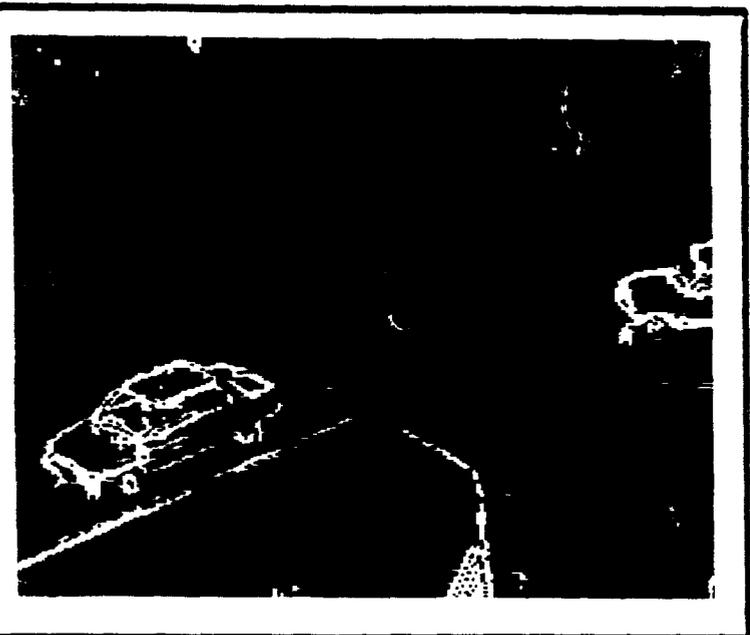
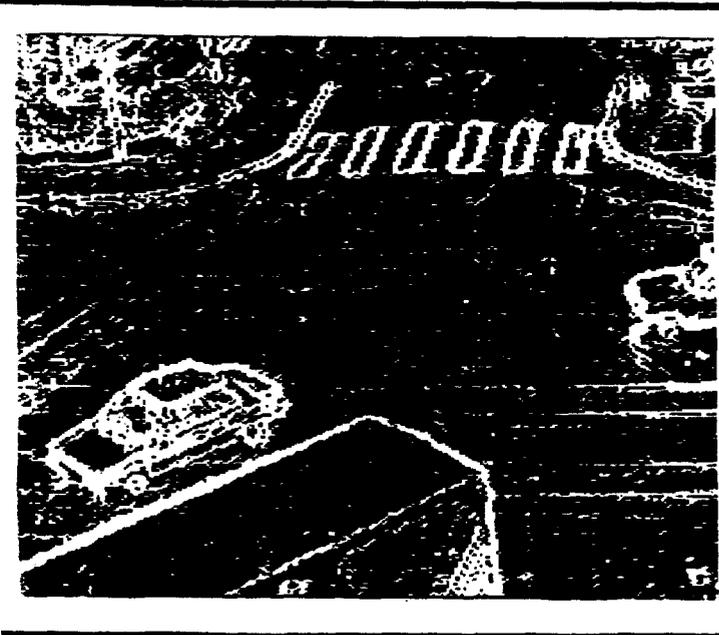


Image 1: Gradient $G(C)$ de l'image courante.

Image 2: $G(C) \times G(D)$.

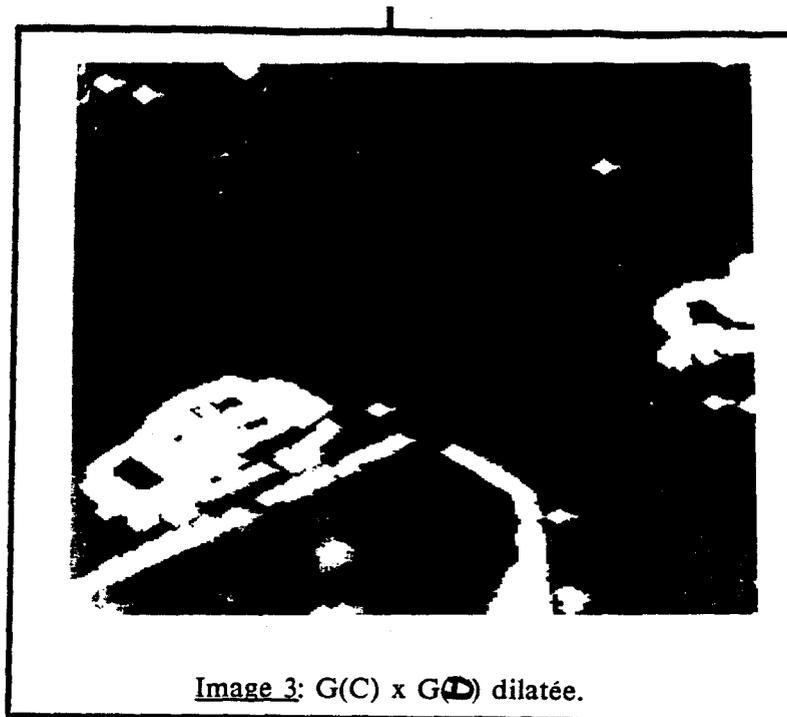


Figure 2.5: Applications d'opérateurs morphologiques sur l'image $G(C) \times G(D)$.

Une autre solution pour éliminer le bruit tout en préservant les contours consiste à utiliser des filtres linéaires. Les images de la figure 2.6 seuillées à un niveau égal à $1/256^{\text{ème}}$ de la pleine échelle permettent de comparer les effets de trois de ces filtres.

L' image 1 de la figure 2.6 représente le résultat de l'application d'un filtre moyenneur de taille 3×3 . Celui-ci tend à supprimer les points isolés et les amas de petite taille.

Les images 2 et 3 de la figure 2.6 représentent les résultats obtenus avec des filtres moyenneurs pondérés qui ont respectivement comme masques:

0 1 0	1 1 1
1 4 1	1 8 1
0 1 0	1 1 1
(a)	(b)

On constate une nette amélioration des performances. Nous utiliserons systématiquement le second filtre pondéré (b) qui ne laisse subsister que peu de bruit et n'altère pas sensiblement la connexité des contours.

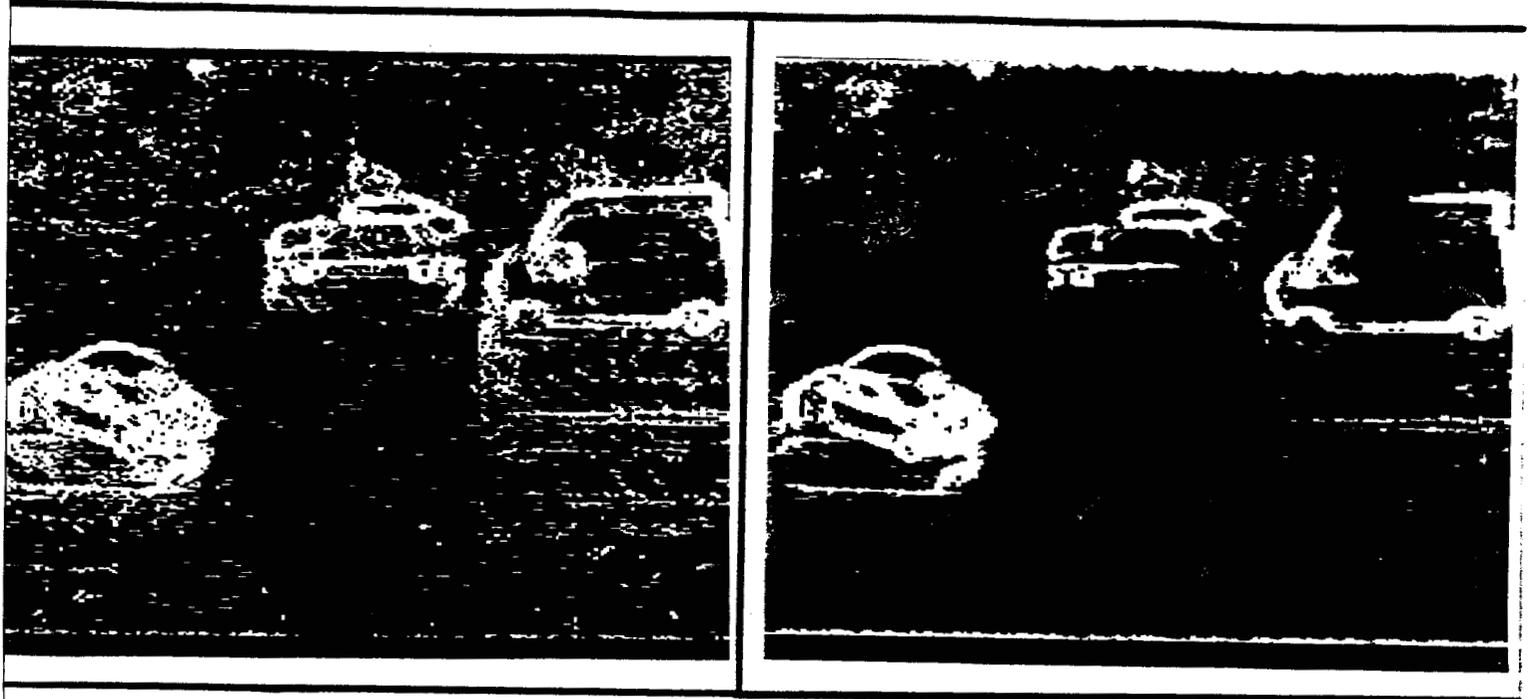


Image 1: Filtre moyeneur.

Image 2: Filtre moyeneur pondéré de type (a).

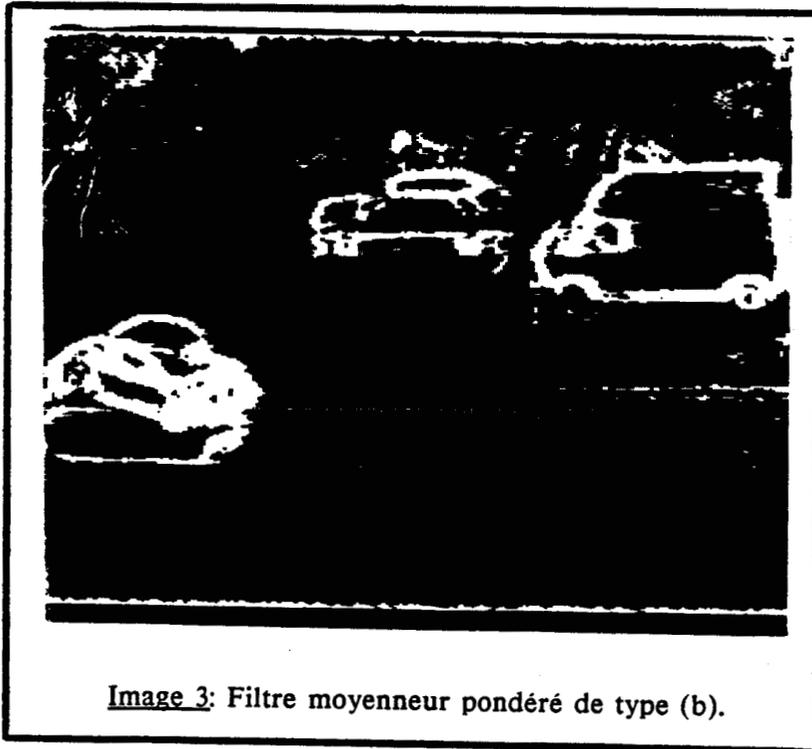


Image 3: Filtre moyeneur pondéré de type (b).

Figure 2.6: Application de filtres linéaires sur l'image $G(C) \times G(D)$.

2.3.) CONCLUSION:

Nous avons rappelé comment les contours des objets en mouvement pouvaient être détectés en utilisant des concepts de différence d'images et de recherche de contours, lors de l'analyse d'une séquence d'images. L'approche mise au point au Centre d'Automatique permet d'analyser simplement des scènes complexes, sous des conditions d'éclairage non contrôlées et sans aucune connaissance a priori sur le nombre, la forme et l'évolution des mobiles.

Parallèlement au travail présenté dans la suite de ce mémoire, cette approche a été améliorée pour permettre de détecter le mouvement sur fond non uniforme, la rendant ainsi mieux adaptée à l'analyse de scènes de trafic routier.

Le temps d'obtention des contours des objets en mouvement est fonction du matériel utilisé. La mise en oeuvre de cette procédure sur une architecture pipe-line a permis d'abaisser ce temps à environ 0,6 seconde. Les travaux correspondant à cet aspect du projet ont été récemment présentés [VIE-88].

CHAPITRE 3

CHAPITRE 3:

ANALYSE DE SCENES DYNAMIQUES.

3.1.) DESCRIPTION DES CONTOURS :

La méthode utilisée pour aborder l'analyse d'une séquence d'images, fait apparaître les contours des objets en mouvement sous la forme d'amas de points connexes.

On se trouve, alors, confronté aux problèmes de la description de chacun des contours pour synthétiser l'information, sous une forme exploitable, et de l'analyse des mouvements des éléments mobiles de la scène observée.

Il existe de très nombreuses approches pour décrire la forme des régions constituant une image. Compte tenu du fait que les contours représentatifs des objets en mouvement ne sont pas fermés et présentent généralement de nombreuses discontinués, il est impossible de faire appel aux méthodes de description de formes basées sur des notions topologiques [FIS-69].

La quasi totalité des chercheurs, travaillant en reconnaissance des formes, connaissent les propriétés métriques qui permettent de les caractériser [POS-87]. Compte tenu de la non fermeture des contours, et du fait qu'un seul objet mobile peut être détecté sous la forme de plusieurs amas de points de contour, de formes quelconques et non connexes, des attributs tels que la surface, le périmètre, la compacité ou les moments de ces amas ne sont pas représentatifs des mobiles.

L'expansion en série de Fourier de la fonction de courbure est également rejetée car elle n'a pas d'interprétation géométrique claire [ZAH-72]. De plus, cette dernière méthode est connue pour être lente.

Une approche qui est très séduisante sur le plan formel, est la détermination de l'enveloppe convexe des amas de points constituant les contours. Cette enveloppe qui est déterminée à partir d'une analyse de la convexité du contour, privilège les points de forte courbure du contour et fournit une description compacte en lissant les irrégularités de la



forme [SKL-72]. Malgré de nouveaux algorithmes rapides, on ne dispose pas encore de celui qui soit suffisamment performant pour pouvoir être implanté en temps réel [VIE-87].

On peut envisager de s'appuyer sur les extrêmes locaux du contour selon les directions horizontales et verticales. Un filtrage à hystérésis [MAS-68] permet de détecter ces extrêmes à partir desquels on peut décrire une forme.

L'approche que nous adoptons dans ce chapitre s'inspire des principes liés à la détermination des maximas locaux, tout en intégrant certains concepts relatifs à l'utilisation de l'enveloppe convexe. Ces principes sont toutefois volontairement dégradés pour permettre leur utilisation en temps réel.

Un modèle géométrique synthétique permettra de représenter les objets en mouvement de manière très compacte et facilement exploitable.

3.2.) MODELISATION DES OBJETS EN MOUVEMENT :

3.2.1.) RECTANGLE EXINSCRIT.

Plutôt que de rechercher tous les extrêmes locaux qui peuvent être très nombreux, du fait de la complexité des formes des contours détectés, on ne s'intéresse qu'à leurs extrêmes globaux, dont le nombre est limité à quatre.

On aboutit alors à une description de chaque amas de points de contour connexes sous la forme d'un rectangle exinscrit.

La détermination de ce rectangle s'effectue en même temps que l'identification des amas de points connexes constituant les contours mis en évidence par la méthode de détection de mouvement. Le regroupement des points connexes de chaque amas et la détermination du rectangle exinscrit au contour extérieur de l'amas, de côtés parallèles et perpendiculaires au balayage vidéo, peuvent se faire simultanément. On détecte sur chaque ligne de l'image les transitions noir - blanc (point du fond - point de contour) et blanc - noir afin de déterminer les segments de contours appartenant aux objets. Ceux-ci sont ensuite réunis par un simple test d'adjacence [ROS-70][STU-80].

A partir de ces considérations simples, on détermine les minimas et maximas des abscisses et ordonnées de chaque amas. Cette recherche s'effectue ligne après ligne et n'impose, de ce fait, qu'un faible encombrement mémoire.

Soient $S1(x_1, y_1)$, $S2(x_2, y_2)$, $S3(x_3, y_3)$, $S4(x_4, y_4)$, ces quatre points extrêmes dans les directions Nord, Sud, Est et Ouest, c'est-à-dire le point le plus haut, le point le plus bas, le point le plus à droite, et celui le plus à gauche. Ces quatre points définissent le rectangle exinscrit à chaque amas de points connexes de contours en mouvement.

Cependant, si ce modèle rectangulaire donne des résultats satisfaisants lorsque l'axe des objets est parallèle ou perpendiculaire aux lignes de balayage (objet A de la figure 3.1), le modèle obtenu manque de fidélité lorsque l'axe de l'objet s'éloigne de ces deux directions privilégiées (objet B de la figure 3.1).

Lorsqu'un objet long, tel un autocar ou un camion, se déplace en diagonale par rapport au balayage vidéo, les dimensions du modèle sont sans grand rapport avec les dimensions réelles du véhicule. De plus, les changements d'orientation des véhicules provoquent des variations importantes du modèle d'une image à la suivante, empêchant tout suivi de l'objet et, par conséquent, toute estimation fiable de sa vitesse.

Il est donc nécessaire d'avoir recours à une autre modélisation plus élaborée. C'est la raison pour laquelle nous avons proposé avec Monsieur Vieren [VIE-88] un nouveau modèle de type octogonal qui permet de respecter la contrainte temps réel.

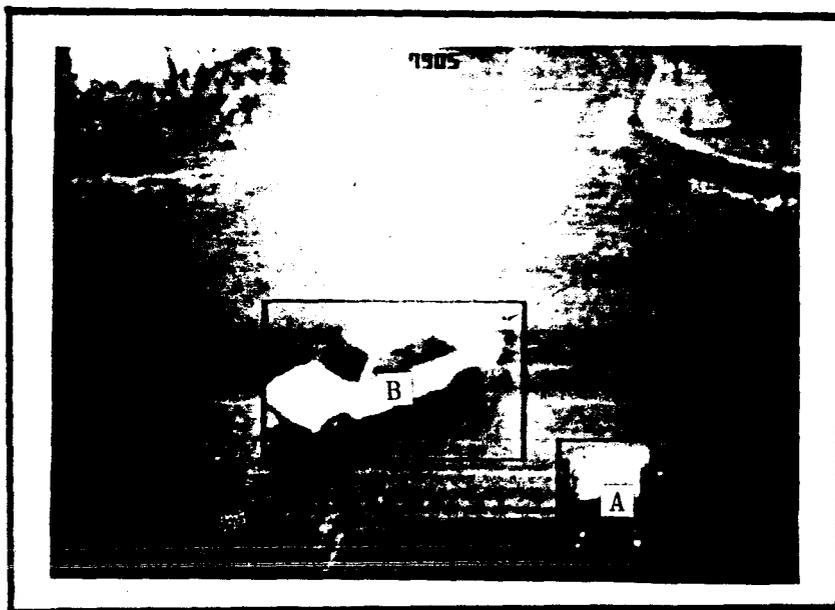


Figure 3.1: Modélisation rectangulaire des contours des objets en mouvement.

3.2.2.) OCTOGONE EXINSCRIT.

Afin de se rapprocher de la description sous forme d'enveloppe convexe évoquée précédemment, on peut extrapoler le principe d'une détermination du rectangle exinscrit en englobant la forme dans un octogone.

Le choix de l'octogone permet, en effet, de s'appuyer sur les quatre côtés du rectangle exinscrit déterminés très simplement, nous l'avons vu, au cours du balayage de l'image. La figure 3.2 représente un octogone exinscrit à un contour. On constate visuellement que cet octogone constitue une représentation relativement fidèle de la forme extérieure du contour.

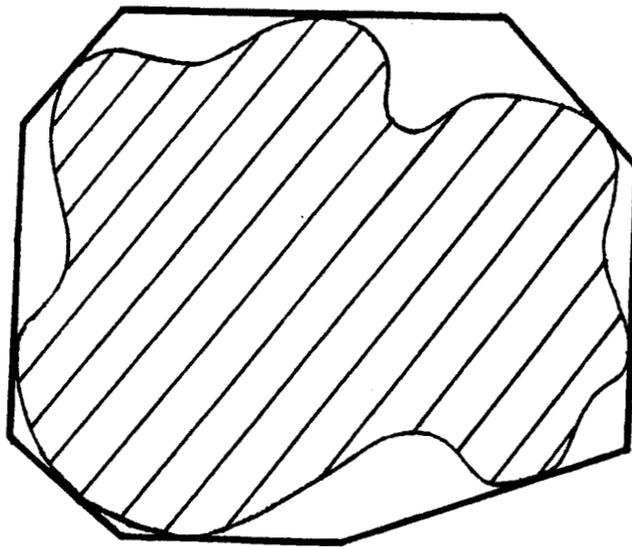


Figure 3.2: Modélisation octogonale d'un contour

La détermination de cet octogone nécessite certaines précisions.

Soient C1, C2, C3, C4 les sommets Nord-Ouest, Nord-Est, Sud-Est et Sud-Ouest du rectangle exinscrit déterminé précédemment. Ces points peuvent être considérés comme les centres des quatre plus petits cercles tangents au contour à modéliser (figure 3.3) aux points T1, T2, T3, T4.

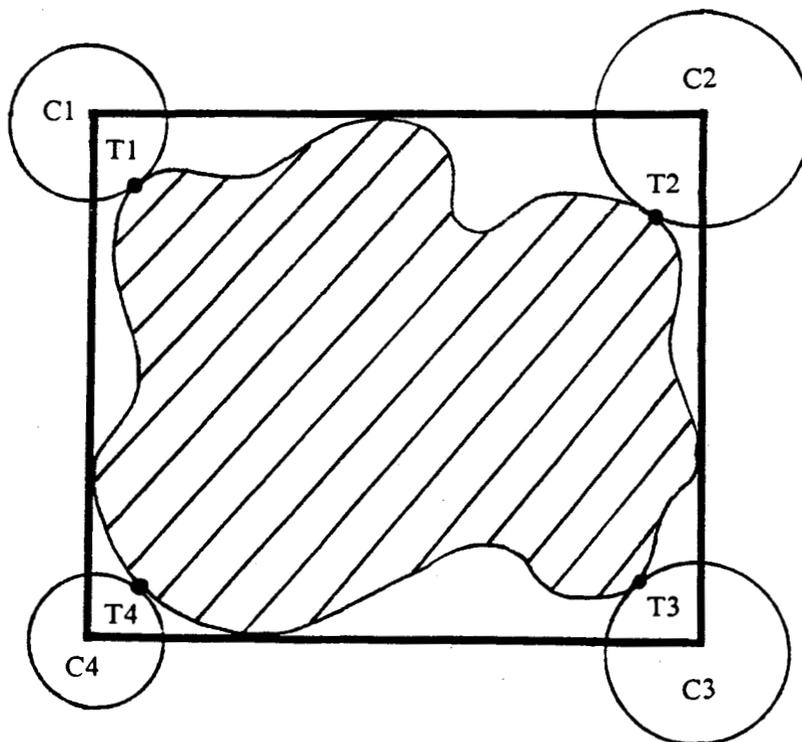


Figure 3.3: Construction du modèle octogonal à partir du rectangle exinscrit.

En ces points, qui sont en fait les points du contour les plus proches des centres C_1 , C_2 , C_3 et C_4 , on fait passer quatre droites parallèles aux segments joignant deux à deux les points extrêmes Nord, Sud, Est et Ouest adjacents. Plus précisément:

- la droite D_1 , passant par T_1 est parallèle au segment X_1X_2 ,
- la droite D_2 , passant par T_2 est parallèle au segment X_2X_3 ,
- la droite D_3 , passant par T_3 est parallèle au segment X_3X_4 ,
- la droite D_4 , passant par T_4 est parallèle au segment X_4X_1 .

Les intersections de ces droites avec les côtés du rectangle exinscrit définissent les huit sommets O_1 , ... O_8 du modèle octogonal (figure 3.4).

Ce modèle présente l'avantage de décrire très fidèlement des véhicules rectangulaires, même lorsqu'ils ne se déplacent pas parallèlement ou perpendiculairement au balayage vidéo. En effet, dans le cas idéal où le contour est un rectangle parfait, le modèle octogonal obtenu se confond avec ce contour, quelque soit son orientation.

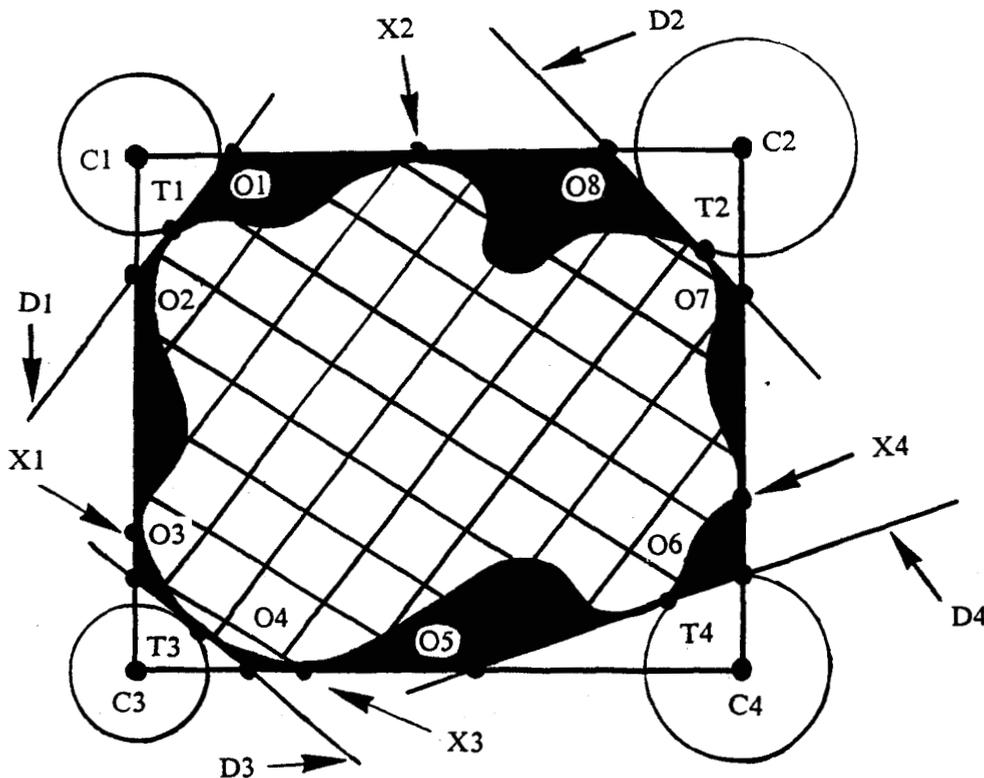


Figure 3.4 : Modélisation octogonale des contours des objets en mouvement.

Malgré les bons résultats obtenus par cette méthode de modélisation, les contraintes de temps de calcul nous ont contraints à dégrader légèrement la procédure. Il suffit pour ce faire d'imposer les pentes $+1$ ou -1 aux côtés du modèle passant par les points T1, T2, T3, T4 (figure 3.5).

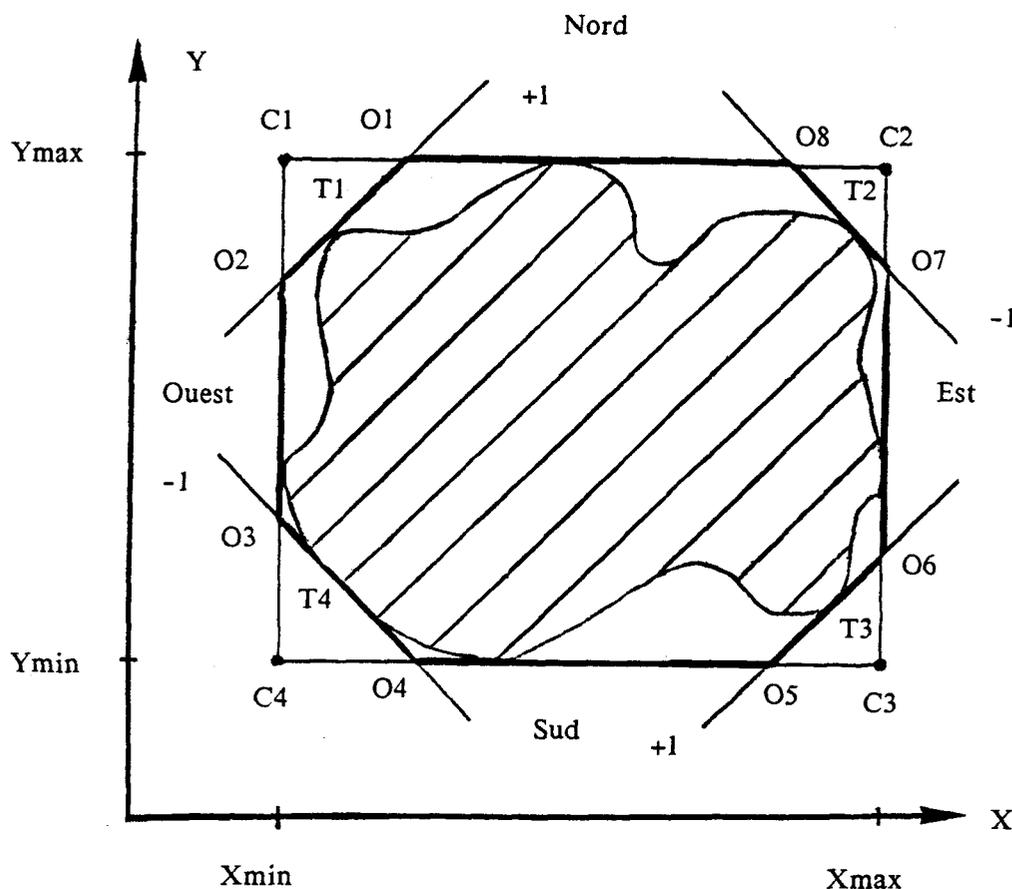


Figure 3.5: Construction du modèle octogonal à partir de droites tangentes et de pentes $+1$ et -1 .

L'octogone ainsi défini se déduit des huit valeurs suivantes:

- X_{min} , correspondant au point de contour le plus à gauche. Il définit le côté Ouest.
- X_{max} , correspondant au point de contour le plus à droite. Il définit le côté Est.
- Y_{min} , correspondant au point de contour le plus bas. Il définit le côté Sud.
- Y_{max} , correspondant au point de contour le plus haut. Il définit le côté Nord.
- $(X+Y)_{max}$, correspondant au point de contour présentant la plus grande différence entre ses deux coordonnées. Il définit le côté Nord-Est.
- $(X+Y)_{min}$, correspondant au point de contour présentant la plus petite différence entre ses deux coordonnées. Il définit le côté Sud-Ouest.

- (X-Y)_{min}, correspondant au point de contour présentant la plus petite somme entre ses deux coordonnées. Il définit le côté Nord-Ouest.

- (X-Y)_{max}, correspondant au point de contour présentant la plus grande somme entre ses deux coordonnées. Il définit le côté Sud-Est.

Les points O₁, ...O₈ définissent les huit points de l'octogone exinscrit au contour de l'objet en mouvement (figure 3.5) et peuvent être aisément déterminés en temps réel lors d'un balayage de l'image. Les dimensions du modèle octogonal ainsi défini sont peu sensibles aux variations d'orientation de l'objet.

La figure 3.6 indique le résultat de cette modélisation octogonale sur une séquence de huit images représentant une scène de trafic routier. On constate que les modèles restent proches des images des véhicules.

Pour analyser le comportement dynamique de ces derniers, il s'agit maintenant d'apparier les modèles d'une image à l'autre en vue de poursuivre chaque mobile lors de sa traversée du carrefour, tout en respectant l'aspect temps réel.

3.3.) MISE EN CORRESPONDANCE DES MODELES :

Nous avons vu, dans le paragraphe précédent, comment modéliser les mobiles se déplaçant dans le champ de la caméra par des octogones.

La figure 3.6 représente un exemple de modélisations consécutives où le suivi des modèles octogonaux n'apparaît pas toujours comme un problème simple [BOU-87].

Les images 1 et 2 de la figure 3.6 représentent le cas où un véhicule, modélisé dans le premier plan par un octogone unique (A) apparaît dans le plan suivant sous la forme de deux octogones voisins (B) et (C).

A l'inverse, un véhicule représenté par deux octogones voisins (D) et (E) peut se retrouver représenté par un octogone unique (F) dans l'image suivante (images 3 et 4).

Il peut également arriver qu'un octogone apparaisse entre deux images comme sur les images 4 et 5 où l'octogone repéré (G) ne peut être retrouvé dans la deuxième image. Il s'agit d'un véhicule sortant d'un tunnel. A l'entrée de ce tunnel, on observe des disparitions soudaines d'octogones de l'image.

L'image 8 montre que des octogones peuvent se chevaucher (véhicules H et I). On peut même rencontrer des inclusions totales comme sur l'image 5 (véhicule J).

Figure 3.6: Modélisations octogonales des véhicules dans une séquence d'images.

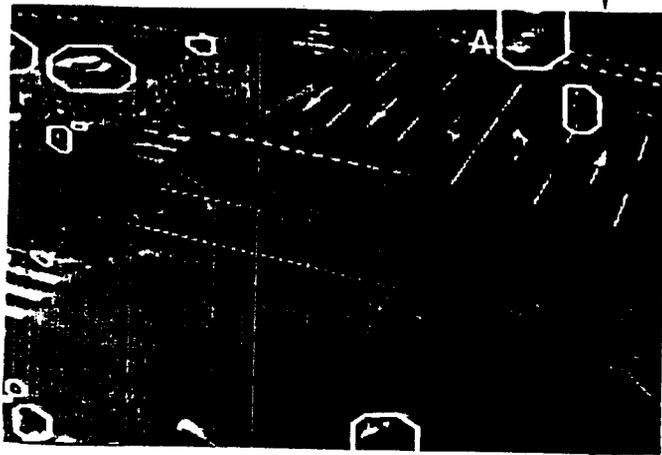


Image 1

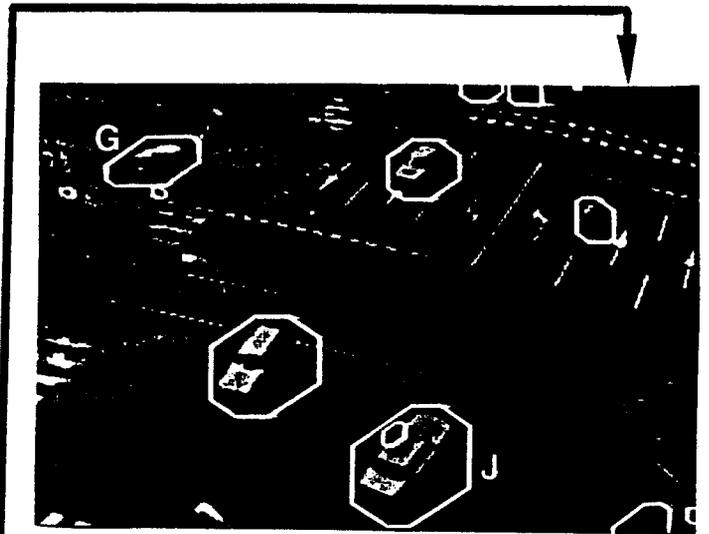


Image 5

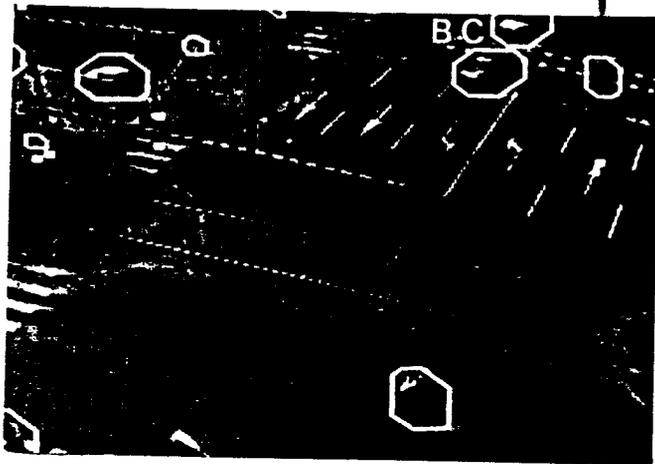


Image 2

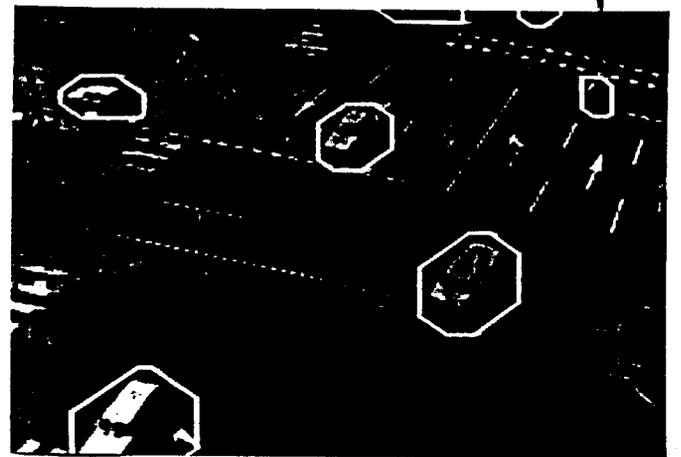


Image 6

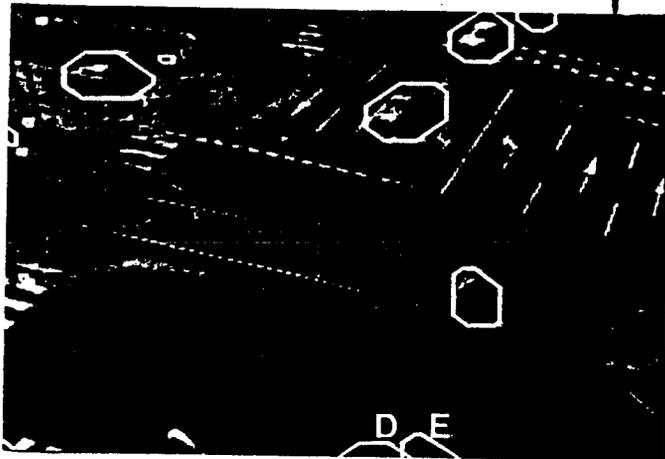


Image 3

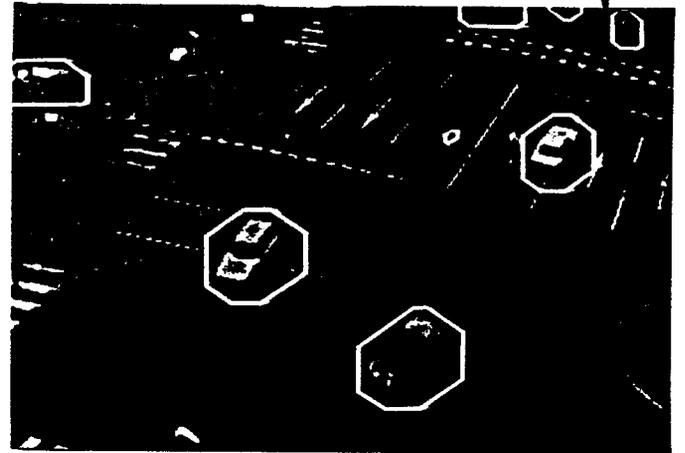
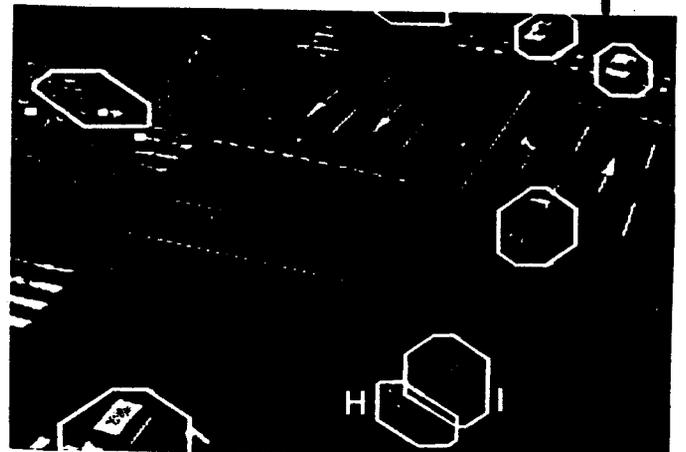
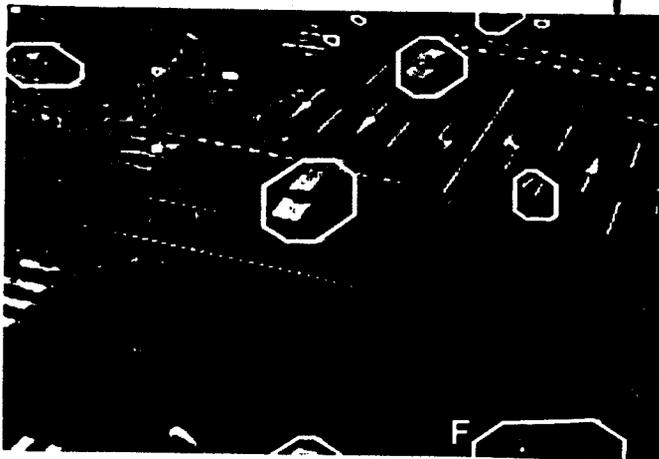


Image 7



Enfin, ces quelques images montrent que le modèle octogonal se déforme au cours du déplacement de chaque véhicule.

On peut attribuer toutes ces évolutions erratiques des modèles à différentes causes telles que:

- la présence de bruit qui engendre de petits octogones parfois dégradés sous forme de rectangles,
- les ruptures de la connexité des points de contour,
- les reflets parasites sur les véhicules,
- les marques sur la chaussée qui disparaissent puis réapparaissent au passage des véhicules (ce problème a été récemment résolu dans [VIE-88]),
- les ombres dont la taille change en fonction de l'orientation des véhicules,
- les occlusions totales ou partielles.

Il est impossible d'éliminer toutes ces causes de perturbation. Par contre, on peut envisager de développer une procédure de suivi de modèles qui tient compte de ces déviations par rapport au comportement idéal d'octogones de forme constante et traversant de façon continue le champ de la caméra.

Cette procédure de suivi est basée sur une technique d'appariement qui consiste à établir des correspondances entre les modèles définis dans chaque image de la séquence.

Cette technique doit permettre, en dépit des ambiguïtés rencontrées, de suivre le déplacement de chaque mobile afin d'élaborer une commande du tramway en temps réel.

Bien que la littérature sur les techniques de mise en correspondance soit très riche, aucun résultat applicable à la surveillance précise du trafic routier ne semble disponible. La majorité des approches proposées débouchent sur des algorithmes reposant sur des hypothèses de stabilité des modèles dans le temps. Si ces hypothèses sont très fortes (objets rigides dans un plan, images à fort contraste telles que des pièces en défilement sur un convoyeur ou des avions sur fond de ciel) les algorithmes proposés dans la littérature sont rapides [RAU-75][SAM-84]. Dès que l'on tolère des déformations de l'image des objets en cours de mouvement, les algorithmes, beaucoup plus sophistiqués, deviennent plus lents car ils font appel à des techniques d'analyse structurelles [YAN-81][AYA-84][CRO-85], à des tests de vraisemblance [SQU-83] et utilisent même parfois des systèmes experts [GIL-84].

Le problème du suivi des véhicules en trafic urbain s'apparente plutôt au deuxième type d'algorithme pour les multiples raisons évoquées précédemment (définition des

modèles, éclatement, fusionnement, occlusions...). Si l'on désire générer la conduite d'un tramway, il s'agit maintenant d'obtenir des résultats comparables à ceux des algorithmes de suivi d'objets en mouvement les plus performants, mais en des temps compatibles avec le pilotage en temps réel.

3.4.) ALGORITHME DE SUIVI DES OBJETS EN MOUVEMENT :

Au stade de la mise en correspondance, on dispose d'une séquence d'images dans lesquelles chaque objet en mouvement est modélisé par un ou plusieurs octogones. On considère, pour exposer la méthode, deux images successives pour lesquelles on désire apparier les modèles octogonaux.

Dans la première image, la "série" d'octogones mis en évidence est appelée série 1. Les octogones correspondant à la deuxième image constituent la série 2.

Il s'agit donc de mettre en correspondance les octogones de la série 1 avec ceux de la série 2 de manière à suivre le déplacement de chaque objet mobile entre les deux images [BOU-87].

3.4.1.) CARACTERISATION DES MODELES.

Pour mettre les octogones des deux séries en correspondance, on les caractérise par cinq paramètres géométriques, à savoir:

- La position du centre de gravité, définie par son abscisse et son ordonnée dans l'image.
- La longueur, définie comme la plus grande distance séparant deux sommets de l'octogone, situés sur deux côtés opposés du rectangle exinscrit.
- La largeur, définie comme la plus petite distance séparant deux sommets de l'octogone situés sur deux côtés opposés du rectangle exinscrit.
- La surface qui se calcule très rapidement puisque l'octogone est formé de segments de droite dont les équations analytiques sont faciles à déterminer.

Nous nous sommes limités à ces caractéristiques, car l'utilisation d'autres grandeurs, telles que les positions des axes d'inertie ou les moments d'inertie, augmenterait les temps de calcul, sans forcément apporter une information plus pertinente.

3.4.2.) CRITERES DE MISE EN CORRESPONDANCE.

Afin de lever au maximum les ambiguïtés pouvant apparaître dans le processus de mise en correspondance, on apparie les octogones en respectant au mieux des critères de conservation de la surface et du vecteur vitesse.

Nous allons analyser ces critères dans le cas idéal où un octogone de la série 1 se retrouve, sans ambiguïté, dans la série 2.

- Conservation de la surface: Il s'agit d'un critère important car, dans le cas idéal, la surface des octogones doit être retrouvée, sans grande modification d'une image à l'autre. On tolère toutefois une variation de plus ou moins 20 % entre les surfaces des octogones de deux séries pour annoncer que ce critère est satisfait entre un couple de modèles. Cette tolérance peut être ajustée par l'opérateur et ne semble pas critique.

- Conservation de la vitesse: Partant de l'hypothèse qu'un véhicule ne peut changer de vitesse (en module comme en direction) que dans une fourchette limitée (accélération ou décélération inférieure à $G_{max} = 2,5 \text{ m/s}^2$, rotation totale de vecteur vitesse entre deux images inférieure à $W_{max} = \pi / 2 \text{ rad/s}$), il est possible de définir une zone dans laquelle un octogone de la série 1 doit se retrouver dans la série 2. Ces limites d'accélération et de rotation acceptées par les experts en transport urbain peuvent être également modifiées par l'opérateur.

Cette prédiction nécessite la détermination du vecteur vitesse instantané associé à chaque véhicule dans chaque image. Ce vecteur se calcule aisément à partir des positions des octogones de la série 1 et de leurs positions dans l'image précédente en divisant le vecteur déplacement, ainsi défini, par l'intervalle de temps dt séparant les deux images. Soit V_0 le vecteur vitesse instantané associé au centre de gravité de coordonnées (X_0, Y_0) d'un modèle de la série 1.

En accélération maximale, le véhicule aura parcouru une distance DL_{max} telle que $DL_{max} = 1/2 G_{max} \cdot (dt)^2 + V_0 \cdot dt$,

En décélération maximale, nous aurons $DL_{min} = -1/2 \cdot G_{max} \cdot (dt)^2 + V_0 \cdot dt$.

La rotation maximale du véhicule est $D_{O_{max}} = W_{max} \cdot dt$.

Ces différentes considérations permettent de définir une fenêtre de prédiction, notée R, où le véhicule est attendu. Cette fenêtre est représentée par une zone hachurée sur la figure 3.7.

Le critère de conservation de la vitesse sera satisfait si le centre de gravité d'un octogone de la série 2 se situe dans cette fenêtre R.

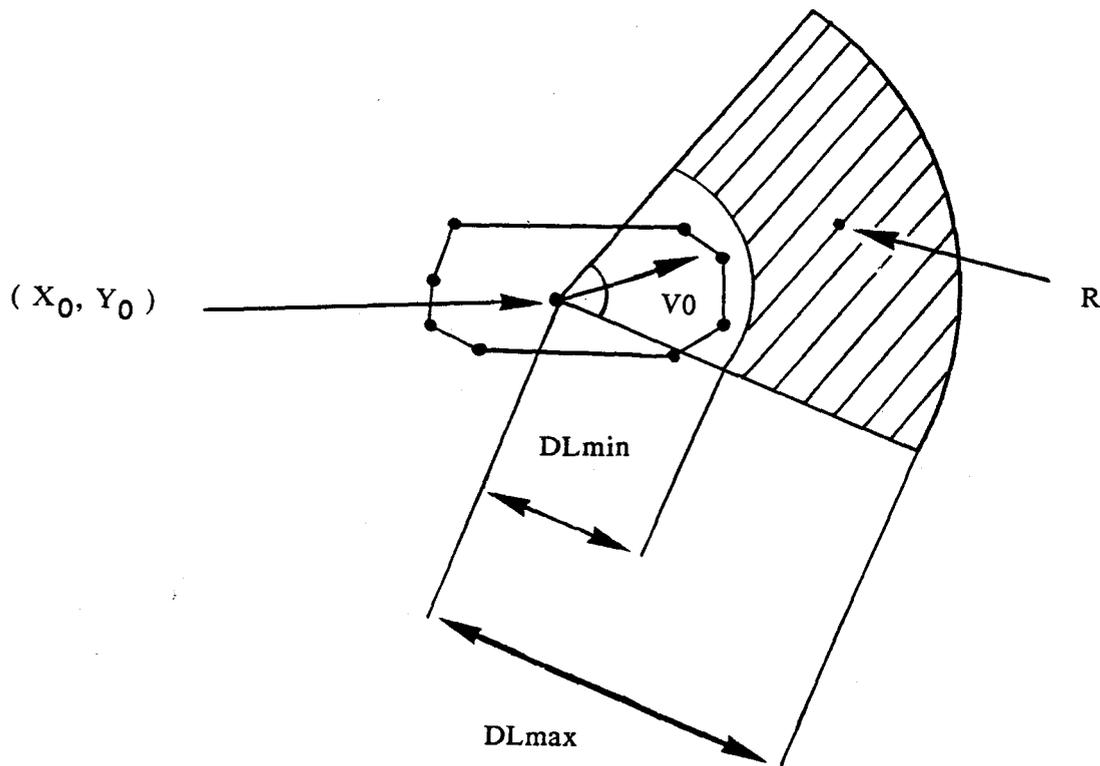


Figure 3.7: Fenêtre de prédiction de déplacement d'un mobile.

Dans le cas idéal, considéré jusqu'ici, un octogone de la série 1 est apparié avec à un octogone de la série 2 uniquement lorsque les deux critères de surface et de vitesse exposés ci-dessus sont vérifiés.

L'organigramme de la figure 3.8 indique comment cette procédure d'appariement s'intègre dans le processus global d'analyse de la séquence d'images. A la fin de la mise en correspondance, la série 2 est utilisée comme série initiale pour l'analyse des deux images suivantes.

3.4.3.) INITIALISATION DE LA PROCEDURE D'APPARIEMENT.

A l'initialisation de la procédure, il n'est pas possible de connaître les vitesses instantanées associées aux octogones de la série 1, puisqu'il n'y a pas de série précédente.

On effectue l'appariement sur des critères dégradés en ne prenant en compte que la conservation de la surface. La recherche de l'octogone de la série 2 à mettre en correspondance avec un octogone de la série 1, s'effectue dans un zone circulaire limitée, centrée sur le barycentre de l'octogone de la série 1 considéré avec comme rayon r ($r = 1/2.G_{max}.(dt)^2 + V_{max}.dt$, où V_{max} est la vitesse maximale autorisée).

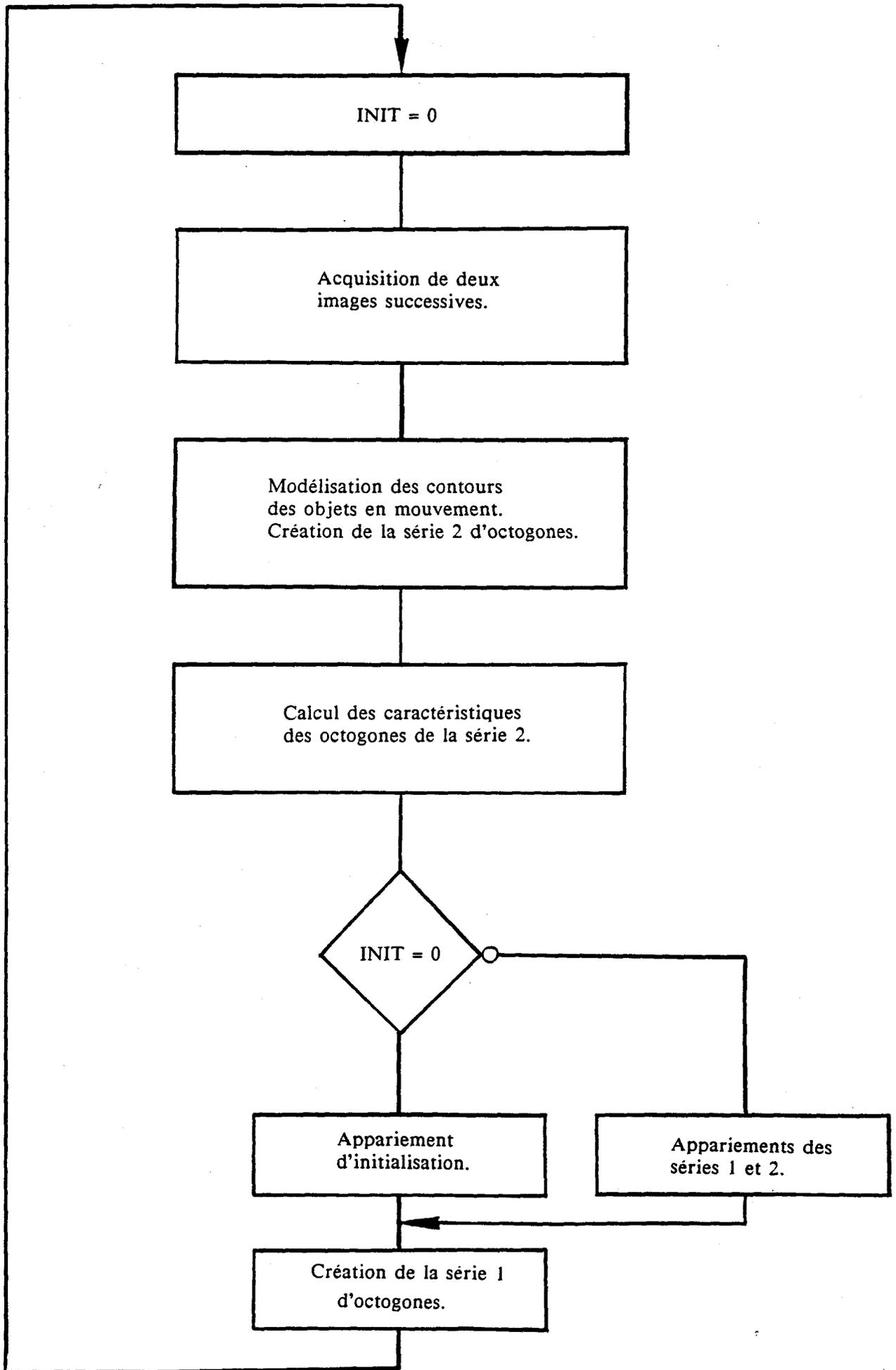


Figure 3.8: Organigramme de la mise en correspondance.

Cette procédure est bien sûr moins précise que celle décrite précédemment, mais l'effet de cette prédiction grossière disparaîtra rapidement dès que les vitesses pourront être déterminées avec plus de précision.

3.4.4.) RESOLUTION DES AMBIGUITES.

3.4.4.1.) Appariement divergent: Il consiste à suivre un octogone de la série 1 qui s'est divisé en plusieurs octogones de la série 2. Ce phénomène apparaît lorsque l'on trouve plusieurs octogones de la série 2 dans la fenêtre de prédiction associée à un octogone de la série 1. Si la somme des surfaces de ces octogones de la série 2 est compatible avec la surface de l'octogone de la série 1 considéré, au sens du critère de conservation de la surface, on déclare qu'il y a divergence. Cette divergence peut être causée par des artefacts inhérents aux procédures de traitement d'images. Elle peut également provenir de la séparation de plusieurs mobiles évoluant momentanément groupés.

3.4.4.2.) Appariement convergent: Il est l'inverse de l'appariement précédent. Des octogones de la série 1 se regroupent en un octogone unique de la série 2. Si la somme des surfaces de ces octogones de la série 1 est compatible avec la surface de l'octogone de la série 2 considéré, au sens du critère de conservation de la surface, on déclare qu'il y a convergence.

3.5.) PROCEDURES PARTICULIERES :

3.5.1.) ENTREE ET SORTIE DES MOBILES DU CHAMP DE LA CAMERA.

Dès que l'on détecte un mobile qui touche un bord de l'image, il n'est plus possible de lui appliquer la procédure normale, sa surface augmentant ou diminuant selon qu'il entre ou sort du champ de la caméra.

Une procédure spécifique est appliquée à ces mobiles.

On ignore, pour la raison évoquée ci-dessus, le critère de surface. On n'utilise qu'un critère de vitesse en estimant cette dernière à partir de la distance qui sépare le centre de gravité du modèle du bord le plus proche (la vitesse retenue est approchée par le double de celle du centre de gravité).

3.5.2.) OBJET A L'ARRET.

Les objets s'arrêtant entre deux images sont détectés dans la série 1, mais ne sont pas retrouvés dans la série d'octogones 2. Ils se sont arrêtés et leurs contours ne sont plus

mis en évidence par la méthode du gradient de la différence d'images. Pour assurer leur suivi, ces éléments immobiles sont mémorisés et leurs modèles sont transférés dans la nouvelle série 2.

Au redémarrage, ces objets mémorisés ne posent pas de problème puisqu'ils ont été pris en considération et intégrés aux séries d'octogones.

3.5.3.) SUIVI DU TRAMWAY.

L'identification du tramway est relativement aisée puisque ce véhicule est guidé. On peut donc connaître, théoriquement, sa position exacte à partir des ordres de déplacement qui lui sont donnés sous la forme d'un profil de vitesses. Les dimensions du tramway (LO la longueur et LA la largeur) définissent alors ses contours extérieurs. Tout octogone dont le centre de gravité se situe à l'intérieur de ce contour rectangulaire est alors assigné au tramway (figure 3.9, images 1 et 2).

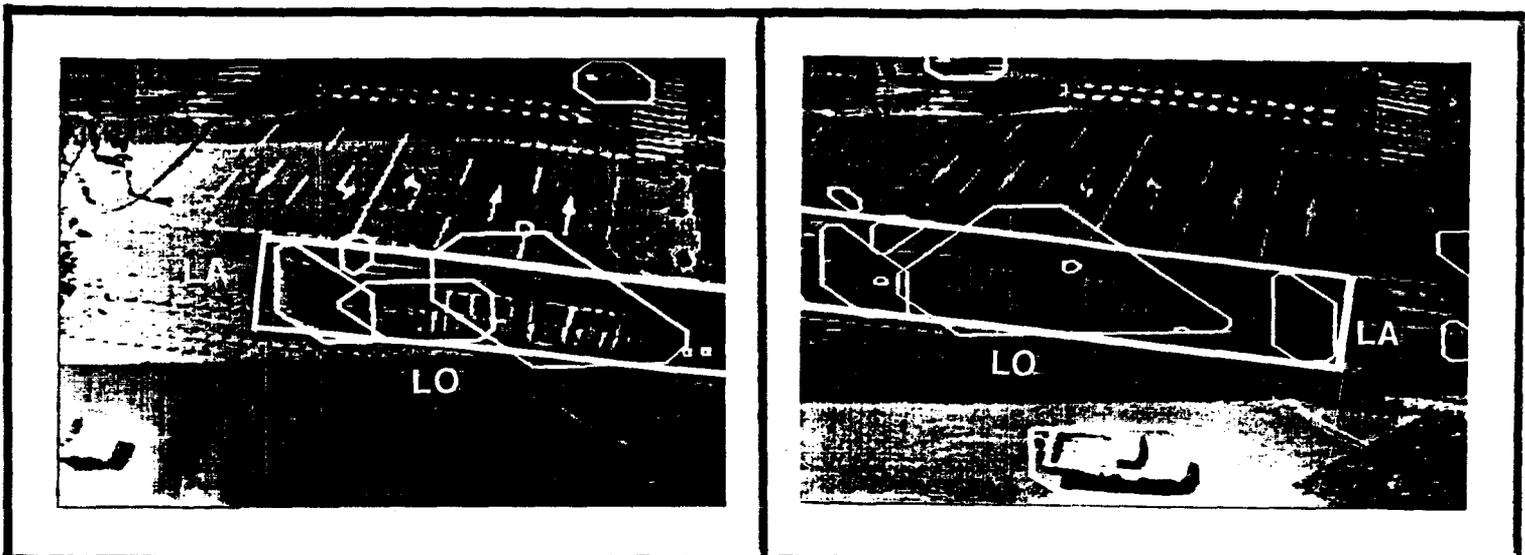


Figure 3.9: Modélisations octogonales du tramway s'intégrant dans son contour rectangulaire.

Une telle procédure apporte un gain de temps substenciel, car elle diminue le nombre d'octogones à prendre en considération durant la phase de mise en correspondance.

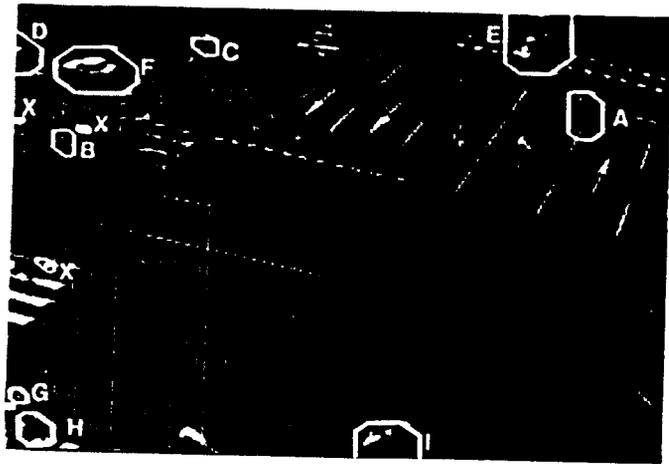


Image 1

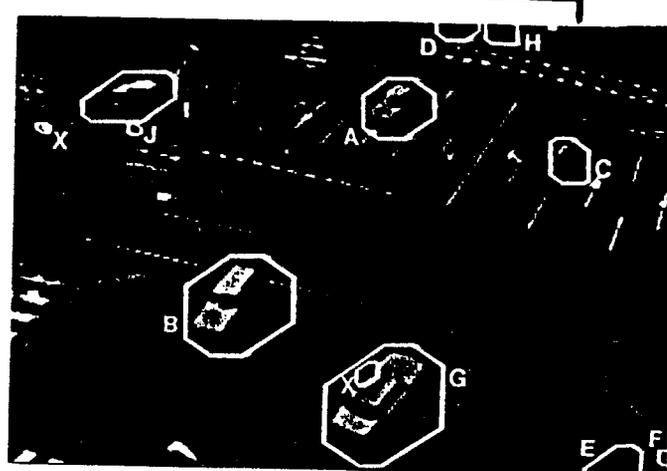


Image 5

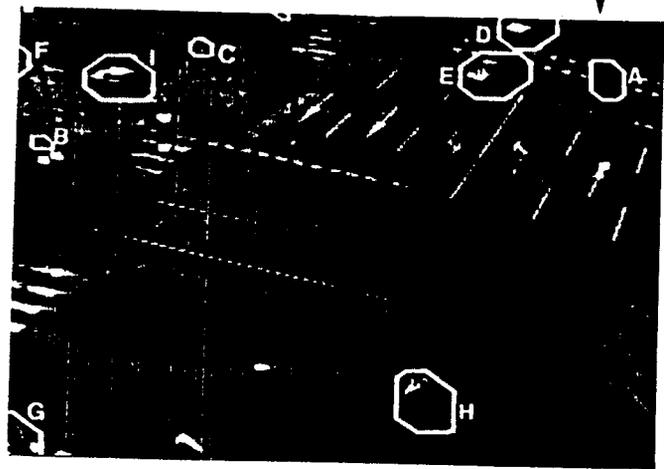


Image 2

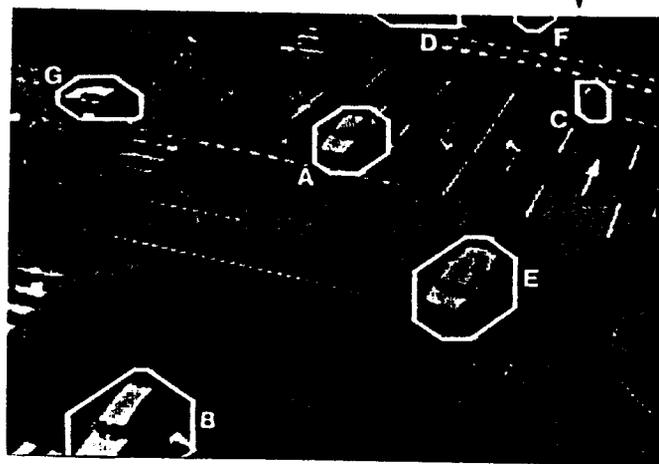


Image 6

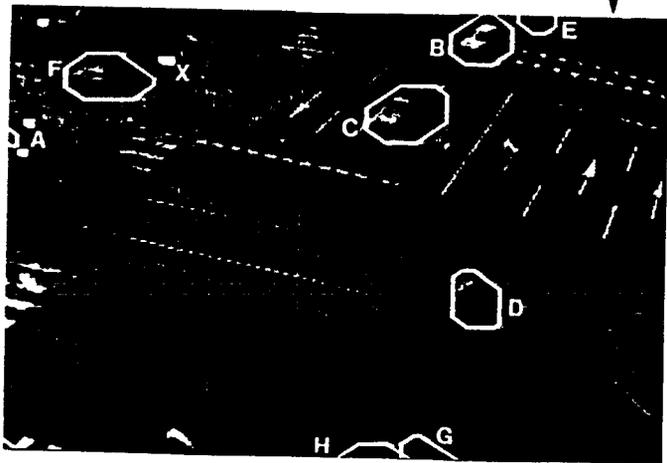


Image 3

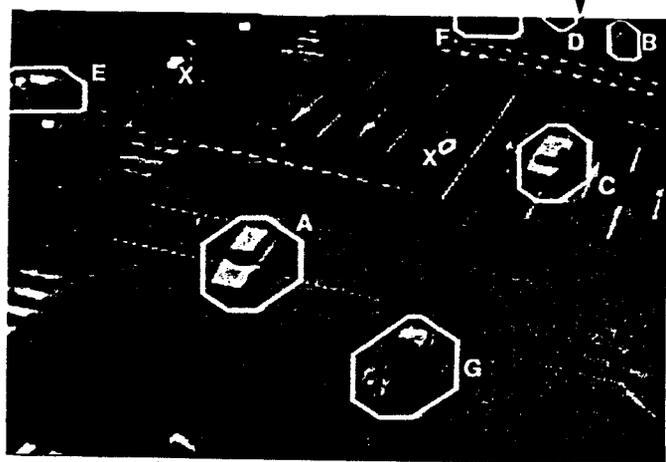


Image 7

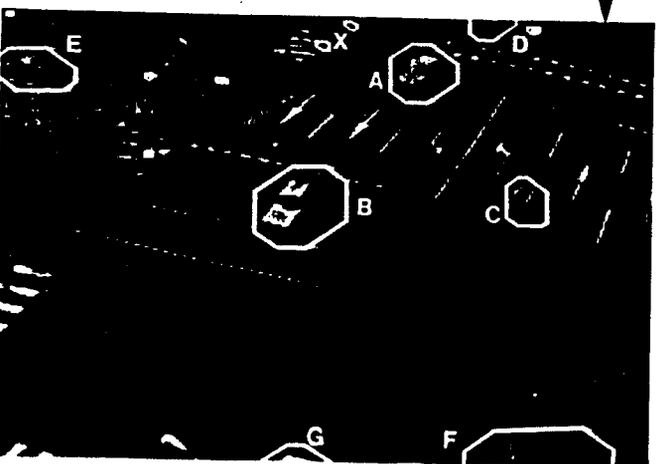


Image 4

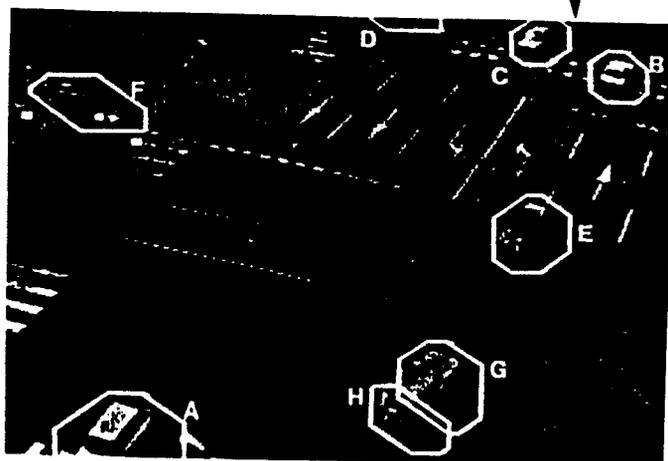


Image 8

Figure 3.10: Mise en correspondance des contours en mouvement

3.5.4.) SUIVI DES PIETONS.

Le comportement des piétons diffère de celui des autres usagers présents dans un carrefour. En effet les piétons sont des usagers vulnérables, à risque élevé. Ils peuvent évoluer de façon très désordonnée et difficilement prévisible par rapport aux autres mobiles (voitures, camions...) qui circulent de façon plus régulière, du fait d'une réglementation routière sévère et d'une meilleure sensibilisation aux règles de sécurité.

Compte tenu de ces remarques, il n'est pas question d'utiliser les critères de surface et de vitesse pour prédire le mouvement des piétons. Seule la position de ces piétons, par rapport aux rails, sera prise en compte pour la conduite du tramway. Ce sont donc uniquement les piétons proches des rails qu'il s'agit de détecter. Ces derniers seront identifiés comme des objets mobiles de petite taille et de vitesse faible (surface inférieure à $0,5 \text{ m}^2$ et vitesse inférieure à 5 km/h).

L'expérience montre qu'il est parfois difficile de détecter les piétons éloignés du centre du champ de la caméra, en particulier dans les angles de l'image. Ces risques de détections manquées ne présentent aucun inconvénient car les piétons éloignés n'influencent pas la conduite du tramway.

3.6.) RESULTATS EXPERIMENTAUX :

La procédure de suivi des objets en mouvement est présentée sur une séquence de huit images montrant les mouvement des véhicules, dans un carrefour traversé par la ligne du Mongy entre Lille et Roubaix.

La figure 3.10 représente la séquence totale avec les modèles octogonaux des mobiles.

La figure 3.11 indique les mise en correspondance des séries d'octogones des huit images. Les objets mobiles repérés par la lettre X sur la figure 3.10 ont été ignorés dans ce processus. Ils sont en effet nettement plus petits que les piétons, tels que celui repéré par la séquence B - B - A des images 1, 2 et 3 du tableau 3.11.

On utilise un étiquetage dynamique. A chaque nouvelle image, on redéfinit les étiquettes assignées aux objets en mouvement afin d'utiliser le minimum de variables pour décrire la scène. On remarque des convergences et des divergences qui ont toutes permis de suivre les mobiles évoluant dans la scène en résolvant les nombreuses ambiguïtés.

Images :

1	2	3	4	5	6	7	8
A →	A						
B →	B →	A					
C →	C						
D							
E →	D →	B →	A →	A →	A →	A →	A →
F →	E →	C →	B →	B →	B →		
G →	F						
H →	G						
I →	H →	D →	C →	C →	C →	B	
		E →	D →	D →	D →		
		F →	E				
		G →	F →	E			
		H →	F				
			G →	G →	E →	C →	B
				H →	F →	D →	C
				I →	G →	E	
				J →		F →	D
						G →	E
							F
							G
							H

Figure 3.11: Tableau des mises en correspondance des séries d'octogones de huit images.

Une deuxième séquence présentée concerne le passage d'un tramway (figure 3.12) au milieu de véhicules et de piétons. Le tableau de la figure 3.13 indique les résultats du suivi des objets détectés. Les octogones associés au tramway sont d'abord identifiés par la procédure exposée au paragraphe 3.4. Le suivi des piétons et véhicules ne présente, dans cet exemple, aucune ambiguïté.

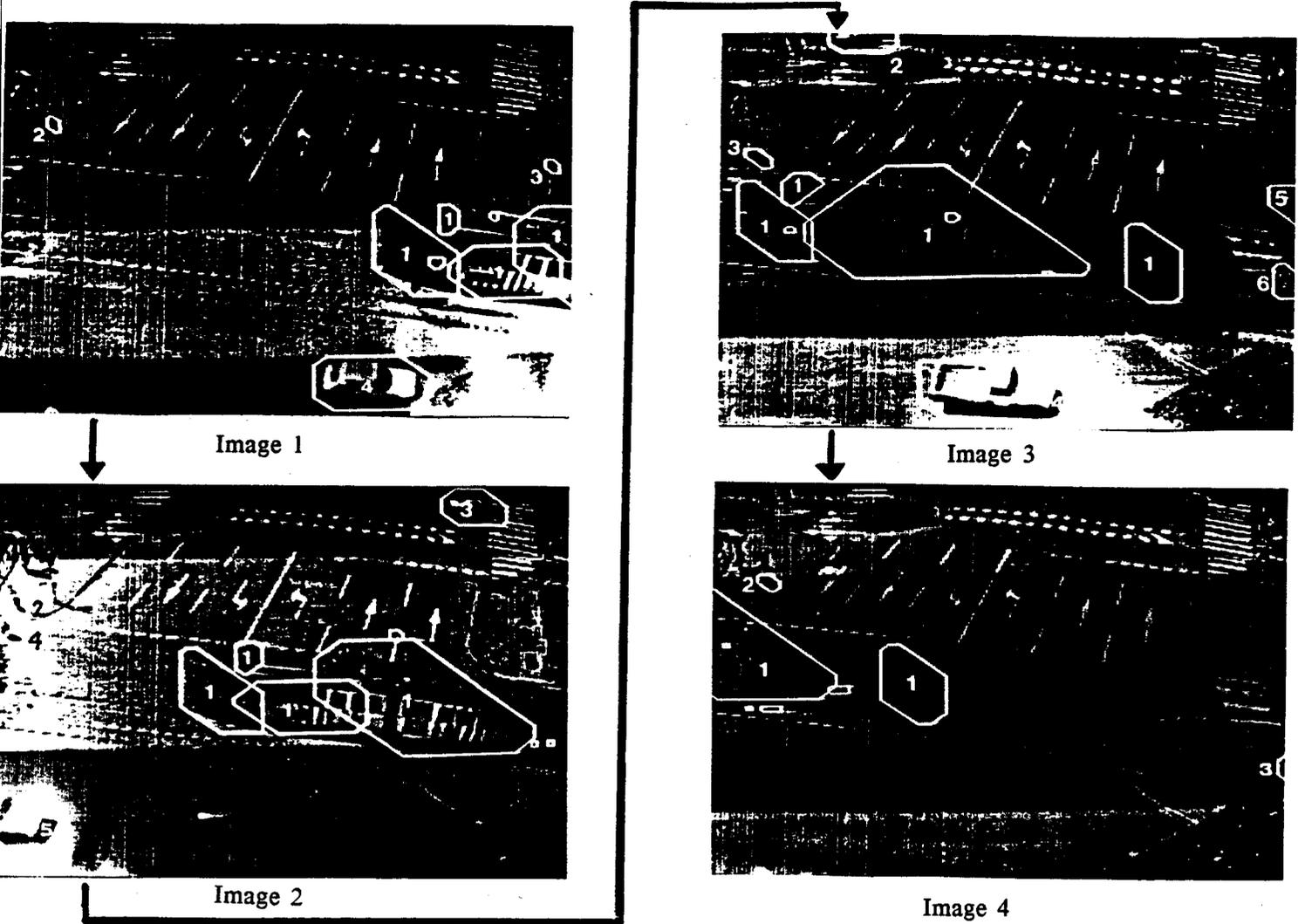


Figure 3.12: Modélisation octogonale lors du passage d'un tramway.

Image 1	Image 2	Image 3	Image 4
Tramway 1	→ Tramway 1	→ Tramway 1	→ Tramway 1
Piéton 2	→ Piéton 2		
Voiture 3			
Voiture 4			
	Voiture 3	Voiture 2	
	Piéton 4	→ Piéton 3	→ Piéton 2
	Voiture 5	→ Voiture 4	
		Voiture 5	
		Piéton 6	→ Piéton 3

Figure 3.13: Tableau des mises en correspondance des octogones lors du passage du tramway.

3.7.) CONCLUSION :

La procédure de suivi des objets en mouvement, présentée dans ce chapitre, a été développée avec le souci constant de ne mettre en oeuvre que des procédures rapides.

En effet, il faut que le temps nécessité par cette procédure, ajouté au temps d'obtention des modèles octogonaux des objets mobiles détectés par la mise en évidence des contours en mouvement, ne dépasse pas le temps maximum toléré entre deux images successives.

Ce temps ne doit pas en effet être trop long car, dans ce cas, il serait difficile de mettre en correspondance les mobiles qui auraient le temps de se déplacer de façon importante entre deux prises de vue. En effet, des déplacements de grande amplitude ne permettraient plus d'attribuer une signification au critère de conservation de vitesse et dans une moindre mesure au critère de conservation de surface. De plus, entre deux images trop espacées dans le temps, la situation pourrait évoluer considérablement sans qu'il soit possible de réagir au niveau du pilotage du tramway.

Nous avons présenté des exemples de suivi sur des scènes réelles avec un trafic relativement peu dense.

Dans le cas de trafic intense, où les véhicules se suivent de très près, s'arrêtent souvent, se croisent de manière rapprochée, l'analyse des scènes enregistrées fait apparaître un trop grand nombre d'ambiguïtés pour que les résultats de la procédure soit fiables.

Notre méthode ne pourrait donc être appliquée qu'à des zones de circulation très réglementée dans lesquelles les flots de véhicules seraient contrôlés par des feux de signalisation, comme cela est le cas pour les carrefours filmés.

Il faut, par contre, remarquer que la technique de suivi présentée ne nécessite aucune information a priori ni sur la forme, la taille et l'aspect des mobiles, ni sur leur environnement. Le temps de calcul dépend bien sûr du nombre de mobiles présents dans la scène. Il est de l'ordre de 0.3 seconde pour les scènes présentées dans ce chapitre.

CHAPITRE 4

CHAPITRE 4:

ANALYSE D'UNE SCENE DE TRAFIC URBAIN TRAVERSEE PAR UN TRAMWAY.

4.1.) INTRODUCTION :

La modélisation des objets en mouvement et leur mise en correspondance entre les images d'une séquence ont permis de mettre en évidence et de suivre, de manière précise, les mobiles se déplaçant dans la scène observée.

Dans le cadre de cette étude, les mobiles interfèrent avec le tramway en obéissant aux règles du code de la route. Ces règles vont nous permettre de prévoir l'évolution des mobiles et de prédire à quel endroit, à quel moment et pendant combien de temps, ils traverseront les voies du tramway.

Ces informations seront alors utilisées pour piloter le tramway afin d'éviter des collisions avec ces mobiles [BOU-87][POS-87].

La prédiction des mouvements des mobiles dépend évidemment de la géométrie des carrefours qui doivent être décrits avec précision.

4.2.) DESCRIPTION DE LA SCENE :

4.2.1.) DESCRIPTION D'UN CARREFOUR.

Dans un carrefour urbain, les véhicules se déplacent en respectant certains itinéraires et obéissent au code de la route. Il paraît évident, qu'en tenant compte de la configuration du carrefour surveillé, on peut mieux prévoir les lieux, instants et durées de traversée des rails par les mobiles qu'en ignorant la topologie des lieux.

Nous présentons, dans ce paragraphe, une méthode pour décrire un carrefour afin d'y insérer, par la suite, les véhicules et obtenir ainsi une information plus complète quant à leurs évolutions futures.

Plusieurs éléments caractérisent une rue ou une zone particulière d'un carrefour.

Chaque zone d'un carrefour est décrite en fonction des risques d'interférence avec le tramway plus ou moins prononcés que présentent les véhicules qui y circulent.

Cette description est basée autant sur des considérations géométriques que sur les contraintes imposées à la circulation par le code de la route. Chaque zone est de forme polygonale (en général un quadrilatère). La connaissance de l'équation linéaire qui définit chacun de ses côtés permet de déterminer très vite la zone dans laquelle évolue tout objet mobile.

Chaque zone est donc caractérisée par:

- Le numéro de la zone (NO).

Il permet d'identifier facilement chaque zone.

- Le type de la zone (TY).

- * Zone normale (ZN): Il s'agit des zones qui ne présentent pas de particularité.

- * Zone interdite (ZI): La zone est rigoureusement interdite à toute circulation. La détection du moindre objet mobile dans une telle zone alerte un surveillant qui, de son poste de contrôle général, visualise directement la scène pour prendre les décisions adéquates.

- * Zone critique (ZC): Cette zone est constituée de deux bandes parallèles encadrant les voies. La largeur de ces bandes est égale à la longueur moyenne d'une automobile. Cette zone est étroitement surveillée.

- * Zone voies (ZV): C'est la zone strictement nécessaire au passage du tramway. Sa largeur est celle du tramway.

- * Zone inter-rails (ZR): C'est la région qui se trouve entre les rails.

- * Zone piéton (ZP): C'est la zone dans laquelle tout piéton sera jugé en danger. Elle est constituée de l'ensemble des zone critique, zone voies et zone inter-rails.

La présence d'un seul piéton dans cette zone ou de tout véhicule immobile suffit à déclencher l'avertisseur sonore du tramway, lorsque ce dernier aborde le carrefour. Cette précaution ne modifie en rien la stratégie de conduite qui est exposée ci-après.

- La présence d'un feu tricolore et sa position (FR).

La présence d'un feu tricolore dans une zone est repérée par ses coordonnées dans le plan image.



- Les directions dangereuses (DD).

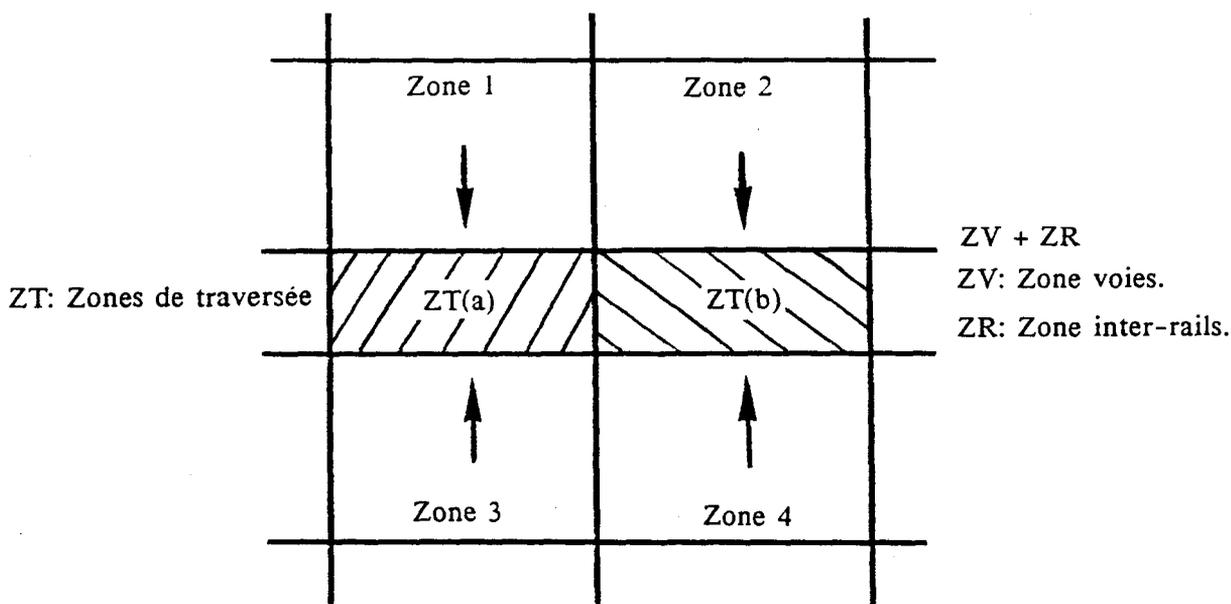
Dans une zone donnée, un véhicule peut emprunter plusieurs directions. Certaines peuvent le conduire à traverser les rails, elles sont appelées " Directions Dangereuses ". D'autres l'éloignent des rails et ne lui permettent pas d'y accéder. Pour chaque zone, on définit huit directions en utilisant le codage de Frieman. Les directions dangereuses sont indiquées par le code correspondant.

Dans la zone piéton, qui réunit les rails et leur proximité, toutes les directions sont considérées comme dangereuses.

- Les Zones de traversée des rails (ZT).

Le carrefour est divisé en différentes zones. Lorsqu'un véhicule évolue dans une de ces zones, on peut prévoir, avec une certaine fiabilité, l'endroit où il traversera les voies, au niveau des zones ZV et ZR.

Pour affiner cette prévision, on divise l'ensemble des zones ZV et ZR en un certain nombre de segments en relation avec les zones environnantes, comme l'indique le schéma ci-dessous.



Selon la direction du déplacement d'un véhicule et les directions dangereuses dans la zone où il se trouve, on peut prédire quel segment ou zone de traversée (ZT) il empruntera, qu'il soit en circulation normale ou en infraction avec le code de la route.

Chaque segment ou zone de traversée correspond au lieu de passage d'un flot de véhicules empruntant le même itinéraire.

Dans l'exemple présenté sur la figure 4.1, nous avons défini quatre zones de traversée (4a, 4b, 4c et 4d). Dans ce carrefour, de complexité moyenne, nous avons obtenu vingt-trois zones distinctes en utilisant les règles de description énoncées ci-dessus.

Grâce à cette technique de codage, il est facile d'adapter le programme d'analyse de la scène à tout nouveau carrefour. En effet, les sommets des polygones définissant les différentes zones sont mémorisés à l'aide d'un curseur, de manière interactive. Ces sommets sont utilisés pour déterminer les équations définissant les côtés des polygones qui constituent le "fichier zones" sur lequel s'appuie l'algorithme de conduite du tramway.

4.2.2.) DESCRIPTION DES OBJETS MOBILES.

Les objets mobiles représentés par des octogones sont décrits d'une manière comparable au carrefour afin de les mémoriser.

Chaque mobile est caractérisé par :

- Un numéro d'objet (NO).

Il permet d'identifier facilement chaque objet mobile.

- Sa position (PO).

Ce sont les coordonnées, en nombre de points-image, de son centre de gravité dans le plan de l'image

- Sa vitesse (VI et DI).

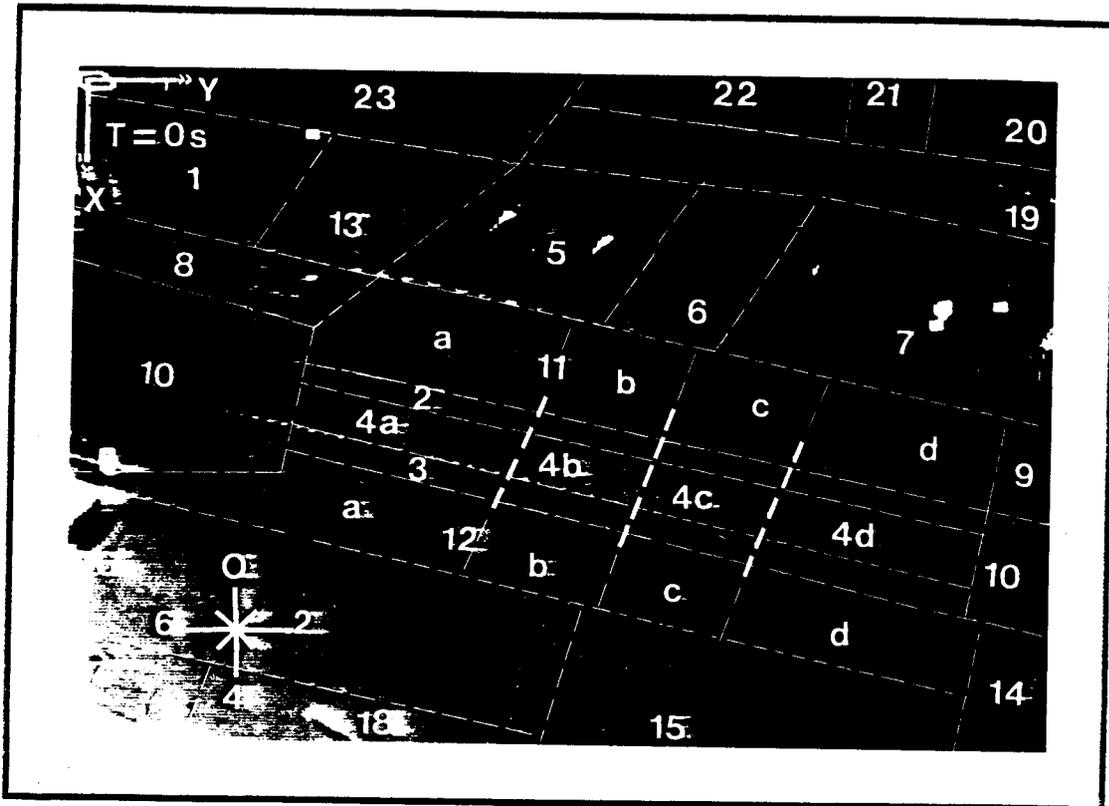
Nous avons vu, dans le chapitre 3 (cf paragraphe 4.2), comment calculer le module VI de la vitesse. La direction DI de la vitesse VI du mobile est celle du codage de Frieman qui se rapproche le plus de la direction réelle.

- Les dimensions (LA et LO).

La largeur LA et la longueur LO ont été déterminées à partir du modèle octogonal (cf paragraphe 3.4.1.).

- Le genre (GE).

On définit différents types de mobiles, à savoir les tramways, les piétons et les autres véhicules (voitures, camions, motos, vélos...). Le genre est déterminé à partir des caractéristiques statiques et dynamiques de l'octogone qui modélise l'objet mobile.



NO	TY	FR	DD	ZT
1	ZN	-	-	-
2 (A,B,C,D)	ZV	-	Toutes	Toutes
3 (A,B,C,D)	ZV	-	Toutes	Toutes
4 (A,B,C,D)	ZR	-	Toutes	Toutes
5	ZN	-	3, 4, 5	4A
6	ZN	-	3, 4, 5	4B, 4C
7	ZN	-	3, 4, 5	4C, 4D
8	ZN	(29, 85)	3, 4	4A, 4B
9	ZN	-	4, 5, 6	4C, 4D
10	ZI	-	Toutes	-
11 (A,B,C,D)	ZC	-	Toutes	Toutes
12 (A,B,C,D)	ZC	-	Toutes	Toutes
13	ZN	-	-	-
14	ZN	-	6, 7	4D
15	ZN	-	0, 1, 7	4C, 4D
16	ZN	(0,170)	0, 1, 2	4A, 4B
17	ZN	(0,170)	0, 1, 2	4A, 4B
18	ZN	-	0, 1, 7	4A, 4B
19	ZN	(256, 57)	4, 5	4A, 4B
20	ZN	(256, 57)	3, 4, 5	-
21	ZN	(177, 0)	3, 4, 5	4B
22	ZN	(177, 0)	3, 4, 5	4A, 4B
23	ZN	-	3, 4, 5	-

NO: Numéro de Zone.

TY: Type de la zone.

FR: Position du Feu Rouge (en point-élémentaire).

DD: Directions Dangereuses.

ZT: Zones de Traversée des rails.

ZN: Zone Normale.

ZI: Zone Interdite.

ZV: Zone Voies.

ZR: Zone Inter-Rails.

ZP: Zone Piétons.

ZC: Zone Critique.

Ainsi il ne reste qu'à surveiller:

- les piétons proches des voies (zone interdite, zone piéton),
- les objets immobiles sur les rails (ZR et ZV),
- les véhicules en infraction avec le code de la route et qui peuvent traverser les voies (grande vitesse à l'approche d'un feu rouge ou évoluant en sens interdit),
- les mobiles qui doivent naturellement traverser les voies.

D'une scène apparemment très compliquée, il ne restera que quelques objets mobiles et immobiles à surveiller attentivement.

De l'image 6 de la figure 3.10, il ne reste que les 2 mobiles A (véhicule évoluant vers les voies) et E (véhicule sur les voies) à prendre en compte alors que la scène comporte 7 objets mobiles.

Dans l'image 3 de la figure 3.12, aucun véhicule n'influencera le passage du tramway.

4.4.) PREDICTION ET REPRESENTATION DE LA TRAVERSEE DES VOIES

PAR LES VEHICULES :

A ce stade, nous disposons d'un ensemble de données que nous avons voulues aussi proches que possible de celles dont dispose un chauffeur de tramway. Ces données permettent de décrire la scène de trafic à l'instant d'observation. Il s'agit maintenant de prédire le comportement de tous les mobiles, comme le fait tout chauffeur pour piloter son véhicule. Plus précisément, il reste à déterminer, avec le maximum de vraisemblance, à quel endroit, quand et pendant combien de temps (trois informations), les véhicules évoluant dans le carrefour risquent d'encombrer les voies [BOU-87][POS-88].

Pour résoudre ce problème de prédiction, nous disposons d'information de type statique (positions instantanées, dimensions, formes des mobiles), d'information de type dynamique (approximation des vecteurs vitesse) ainsi que des règles d'évolution que suivent, en principe, les véhicules.

Deux types de situation doivent être distingués selon que le véhicule considéré est proche ou éloigné des rails, c'est-à-dire qu'il se trouve ou non dans les zones critiques ou zones voies (ZV et ZR).

Considérons, tout d'abord, le cas des véhicules proches des voies, pour lesquels on peut prévoir, avec une précision relativement bonne, les trois informations qui caractérisent la traversée imminente des rails.

En utilisant les informations contenues dans le "fichier zones" défini précédemment, nous allons maintenant montrer comment différencier les objets présentant un risque réel d'interférence avec les tramways de ceux ne pouvant influencer, à court terme, les déplacements des tramways.

4.3.) ELIMINATION DES VEHICULES SANS INFLUENCE POUR LA CONDUITE DU TRAMWAY:

Les objets mobiles (ou ceux immobiles sur les voies) sont insérés dans les zones prédéfinies par l'utilisation des codages utilisés pour créer les fichiers zones et objets.

Tous les mobiles évoluant, ou ayant évolué dans le carrefour, n'auront pas obligatoirement une influence sur la conduite du tramway et ne présenteront pas tous des risques de collision. C'est pour cette raison qu'il est inutile d'étudier tous les objets mobiles détectés dans la scène analysée.

Soit une droite passant par le centre de gravité du tramway et perpendiculaire aux rails. On considère que tous les mobiles à l'arrière de cette droite par rapport au mouvement du tramway peuvent être ignorés. Cette hypothèse résulte de l'analyse du comportement d'un chauffeur qui ne tient pas compte des véhicules situés en arrière de son champ visuel.

Parmi les objets restants, on peut également éliminer :

- les véhicules qui s'éloignent des voies: leur sens de déplacement ne correspondant pas, dans la zone où ils se trouvent, à une direction dangereuse,

- les véhicules qui roulent à une vitesse raisonnable à l'approche d'un feu tricolore rouge. On calcule si le véhicule a le temps matériel de s'arrêter au niveau du feu rouge sous une contrainte de décélération maximale ($2,5 \text{ m/s}^2$). Si oui, on suppose que le véhicule respectera la signalisation,

- les mobiles qui ne peuvent couper les rails du véhicule guidé sans enfreindre les règles de circulation. Il s'agit des véhicules qui se trouvent dans des zones qui ne les destinent pas à couper les rails,

- les piétons éloignés des voies et qui ne sont donc pas dans la zone interdite ou la zone piétons. Ils n'auront pas le temps de gêner l'évolution du tramway à court terme.

Les tramways sont aisément identifiés sur les images analysées, car on connaît a priori leurs trajectoires et leurs dimensions (cf chapitre 3, paragraphe 5.3).

Les piétons, dont le comportement est plus hétérogène que celui des véhicules, doivent être, de ce fait, plus étroitement surveillés. Ils se caractérisent par une petite surface et une vitesse lente ($S < 0,5 \text{ m}^2$ et $V_{\text{max}} = 5 \text{ km/h}$).

Les autres objets mobiles sont étiquetés "véhicules" par défaut.

Les caractéristiques des objets en mouvement sont mémorisées dans le "fichier objets". La figure 4.2 (a) et (b) indique ces caractéristiques pour les objets mobiles de l'image 6 de la figure 3.10 et de l'image 3 de la figure 3.12. La période séparant ces images est de 0,5 seconde.

Dans la mesure où la caméra ne se trouve pas à l'aplomb de la scène observée et pour palier l'effet de perspective, il est nécessaire de multiplier les dimensions et la vitesse de chaque mobile par un coefficient, puis d'effectuer une conversion "points-élémentaire" - "mètres". Ce coefficient se calcule facilement par des considérations géométriques. Il est fonction de la hauteur de la caméra par rapport au sol, de son inclinaison et, pour chaque objet, de sa position dans le plan image. Ces paramètres sont difficiles à mesurer avec précision et n'ont pu être recueillis pour les prises de vue effectuées à partir de balcons d'immeubles bordant la chaussée. Dans la phase de mise au point opérationnelle, il serait préférable de déposer sur la chaussée des marques calibrées aux quatre coins de l'image et d'analyser ainsi les déformations dues aux effets de perspective. Une interpolation bilinéaire permettrait alors de convertir immédiatement toute information connue sous forme de points-image en mètres, en fonction de la position de ces points-image dans le champ de la caméra.

Cette calibration de l'image n'a pu être réalisée sur site car elle aurait nécessité un arrêt momentané de la circulation. Tous les résultats présentés dans ce mémoire ont été obtenus par une simple interpolation linéaire entre le bas et le haut de l'image.

NO	PO	VI	DI	LO	LA	GE
A	(72,134)	14	5	4	3	Véhicule
B	(235, 49)	16	5	5	4	Véhicule
C	(47,227)	12	1	2	1	Véhicule
D	(2,160)	9	6	5	1	Véhicule
E	(154,180)	17	1	4	3	Véhicule
F	(4,206)	5	2	2	1	Véhicule
G	(51, 35)	8	6	4	2	Véhicule

(a)

NO	PO	VI	DI	LO	LA	GE
1	(136,109)	8	6	15	6	Tramway
2	(4, 63)	7	6	4	1	Véhicule
3	(81, 17)	2	5	1	1	Piéton
4	(235,115)	14	2	5	3	Véhicule
5	(107,251)	3	6	2	1	Véhicule
6	(158,253)	2	6	2	1	Véhicule

(b)

DI: Direction suivant le code de Frieman.

LO: Longueur du véhicule arrondie en mètre.

LA: Largeur du véhicule arrondie en mètre.

GE: Genre du mobile (Tramway, véhicule, piéton...).

Figure 4.2: Caractéristiques des objets en mouvement.

NO: Numérotation alphabétique ou décimale.
 PO: Position du mobile en points-image (x, y).
 VI: Vitesse arrondie en mètre/seconde.

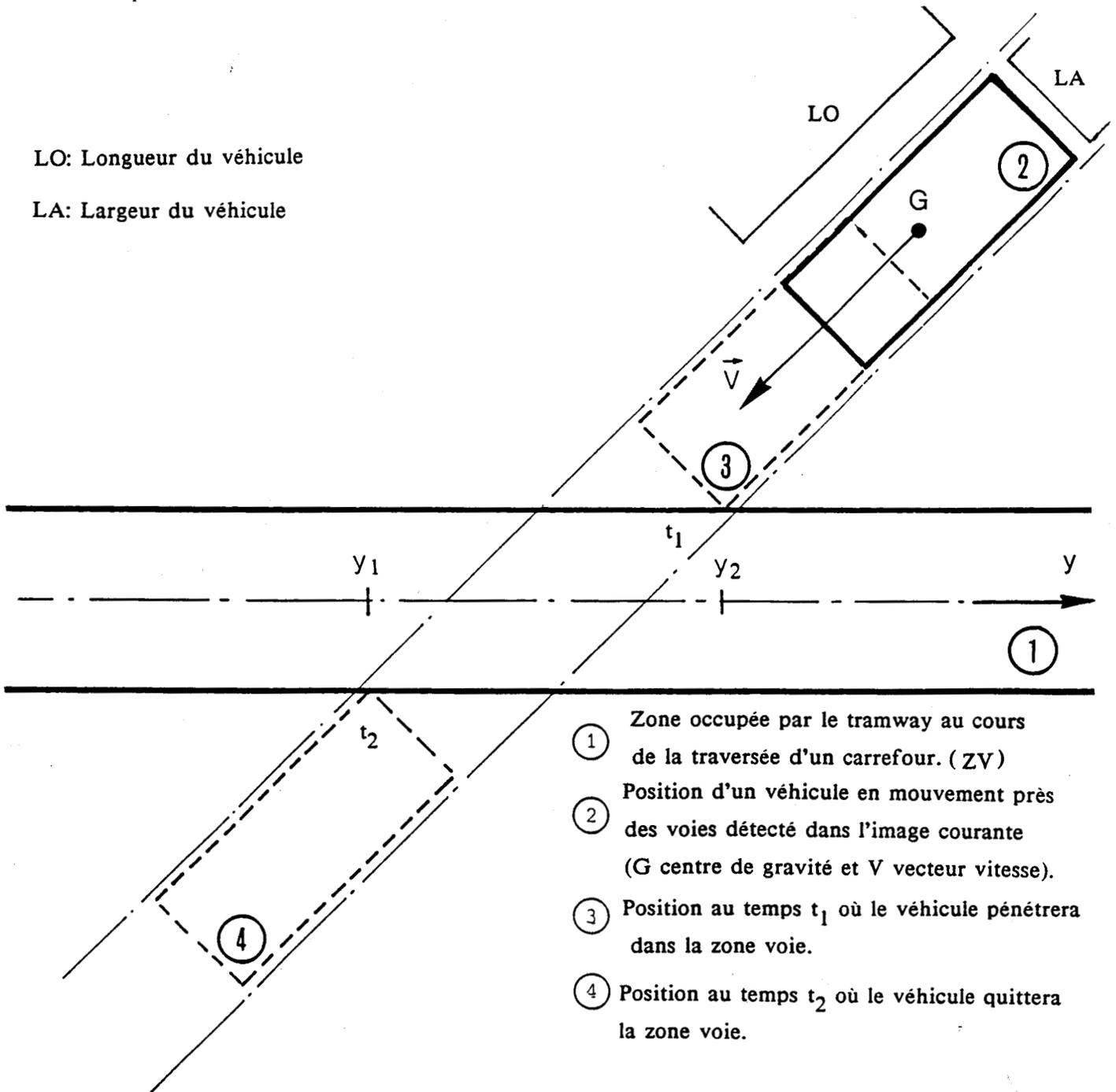
4.4.1.) TRAVERSEE IMMINENTE.

Compte tenu de la proximité des voies, on considère que les véhicules n'ont pas le temps de modifier significativement leur trajectoire et leur vitesse avant l'acquisition de l'image suivante.

La figure 4.3 indique clairement comment cette prédiction est réalisée. La trajectoire prédite rectiligne garde la direction du vecteur vitesse. Cette dernière étant supposée constante, on peut aisément calculer, géométriquement, les abscisses y_1 et y_2 que définissent la portion de zone voie occupée par le véhicule lors de la traversée des voies. On calcule en même temps l'intervalle de temps (t_1 , t_2) pendant lequel le véhicule empiètera sur la zone voie.

LO: Longueur du véhicule

LA: Largeur du véhicule



- ① Zone occupée par le tramway au cours de la traversée d'un carrefour. (ZV)
- ② Position d'un véhicule en mouvement près des voies détecté dans l'image courante (G centre de gravité et V vecteur vitesse).
- ③ Position au temps t_1 où le véhicule pénétrera dans la zone voie.
- ④ Position au temps t_2 où le véhicule quittera la zone voie.

Figure 4.3: Traversée imminente des voies par un véhicule.

Bien entendu, ces calculs tiennent compte des dimensions du véhicule (LO la longueur et LA la largeur) déterminées lors de sa modélisation octogonale.

La seconde situation correspond à des véhicules évoluant à une plus grande distance des voies.

4.4.2.) TRAVERSEE DIFFEREE.

Le mode de prédiction exposé ci-dessus ne peut conduire à des résultats fiables pour des véhicules éloignés des voies, mais dont on sait, d'après leur position par rapport aux différentes zones et en fonction de leur direction qu'ils seront amenés à traverser les voies. En effet, entre l'instant de prédiction et l'arrivée effective sur le passage du tramway, le conducteur aura de nombreuses occasions de modifier sa trajectoire et sa vitesse.

Par contre, la connaissance de la zone du carrefour dans laquelle évolue le véhicule considéré fournit une indication précieuse quant à sa destination normale.

Ainsi, pour résoudre ce problème de prédiction à plus long terme, on peut s'appuyer sur les règles de conduite que suivent, en principe, les conducteurs.

Pour exposer cette approche, on s'appuie sur le carrefour schématisé figure 4.4 où sont indiqués en traits hachurés les lieux de passage possibles du véhicule repéré V, compte tenu de sa position sur la file de gauche (zone 5) qui le destine à aller vers la zone 9, dans le cas où le feu de signalisation est vert.

On peut ainsi matérialiser la portion de voie constituant la zone de traversée associée à la zone 5 (cf paragraphe 4.2).

Soient y_1 et y_2 les abscisses qui définissent le segment ou zone de traversée pouvant être empruntée par le véhicule lors du passage sur les voies .

Il reste maintenant à déterminer les instants de passage extrêmes sur les voies.

Le temps le plus long t_1 nécessaire au véhicule pour traverser et quitter les voies est approché en considérant le mouvement du point V1 du véhicule (figure 4.4) à partir de sa position initiale sur la trajectoire T1. Le mouvement considéré pour ce calcul est un mouvement uniformément accéléré, de décélération G_{max} ($2,5 \text{ m/s}^2$) et de vitesse initiale celle du véhicule dans sa position dans l'image courante (la vitesse minimale est limitée à la valeur 5 km/h).

Le temps nécessaire au point V1 pour atteindre le point R1 d'abscisse y_1 permet de connaître le temps t_1 de début de pénétration sur les rails.

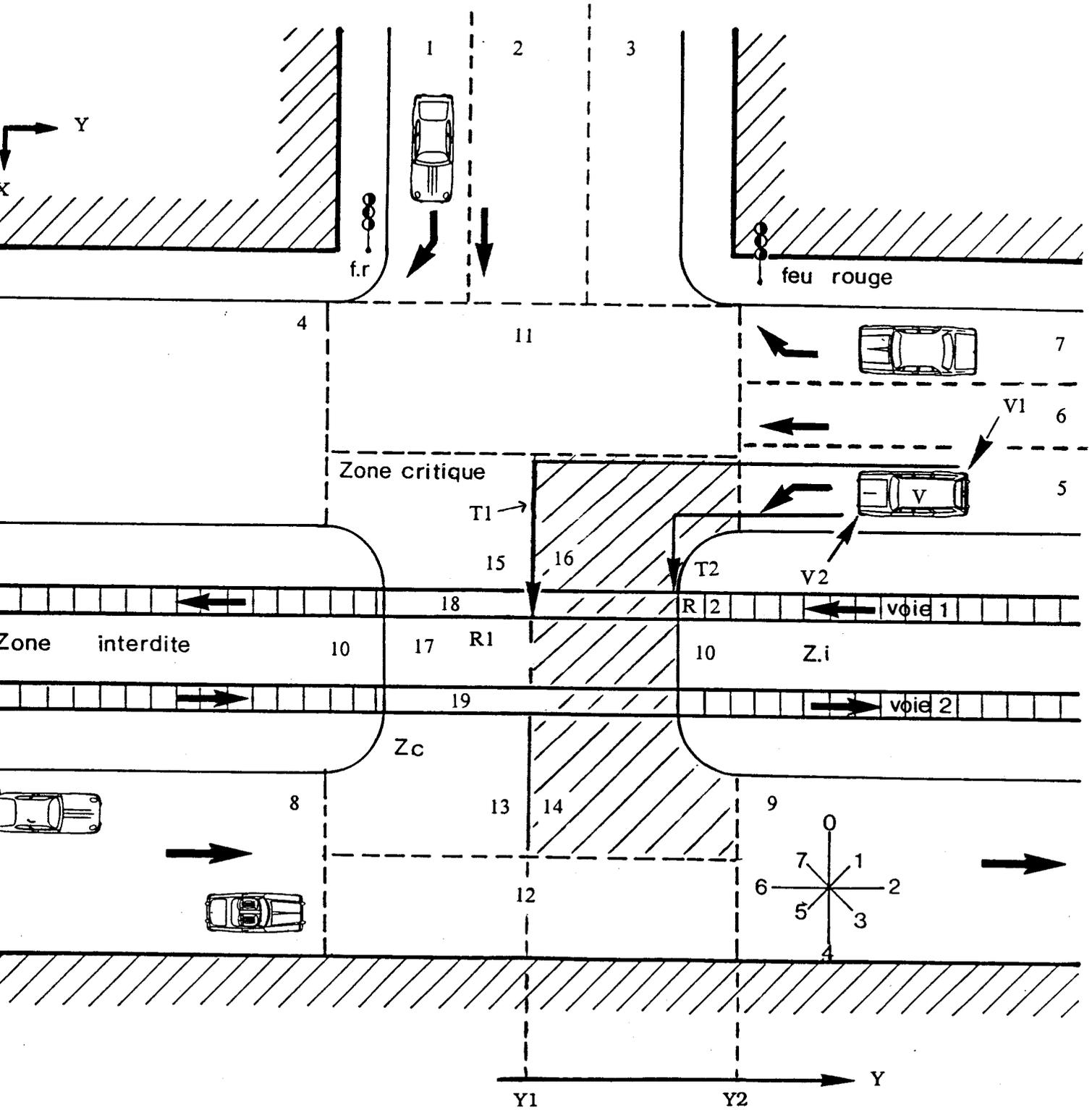


Figure 4.4: Traversée différée des voies par un véhicule dans un carrefour codé.

De manière analogue, le temps le plus bref t_2 , nécessaire au véhicule pour atteindre les voies, est approché en considérant le mouvement du point V2 du véhicule (figure 4.4) à partir de sa position et de sa vitesse dans l'image courante, sur la trajectoire T_2 . On considère alors un mouvement uniformément accéléré, avec une accélération maximale $G_{max} = 2,5 \text{ m/s}^2$ et une vitesse plafonnée à 80 km/h.

Ces prédictions sont, bien sûr, très approximatives et ne donnent qu'une information imprécise sur l'occupation des voies à long terme. Mais il ne faut pas perdre de vue que ces véhicules éloignés sont suivis par le système d'analyse de scènes dynamiques et que la prédiction s'affine au fur et à mesure que les véhicules s'approchent des voies.

4.5.) CONCLUSION:

Grâce à la procédure d'analyse de la scène dynamique de trafic proposée, on ne retient que les éléments mobiles pouvant interférer avec l'évolution du tramway.

Une stratégie de prédiction à deux niveaux, selon la position des véhicules par rapport aux voies, a permis de déterminer où, quand et pendant combien de temps, chaque mobile occupera les voies du tramway dans un avenir immédiat. Le procédé prend en compte les infractions des véhicules.

Il s'agit maintenant d'exploiter ces résultats pour générer des ordres de conduite qui permettront au véhicule guidé de traverser le carrefour en toute sécurité.

CHAPITRE 5

CHAPITRE 5:

CONDUITE AUTOMATIQUE D'UN SYSTEME DE TRANSPORT GUIDE.

5.1.) REPRESENTATION GRAPHIQUE DES MOUVEMENTS DES OBJETS MOBILES:

5.1.1.) REPRESENTATION DE L'OCCUPATION DES VOIES PAR LES VEHICULES.

Les résultats obtenus concernant la prédiction de la traversée des voies par l'ensemble des véhicules surveillés peuvent être synthétisés sur un diagramme spatio-temporel [BOU-87].

Considérons, pour ce faire, un repère orthogonal (t, y) dans lequel les abscisses représentent le temps et les ordonnées l'axe des rails.

Sur ce diagramme simple, la traversée des voies par chaque véhicule est représentée par un rectangle de côtés parallèles aux axes. Les extrémités des côtés horizontaux donnent les instants de début et fin de la traversée prédite alors que les extrémités des côtés verticaux indiquent l'espace occupé par le véhicule lors de cette traversée (figure 5.1).

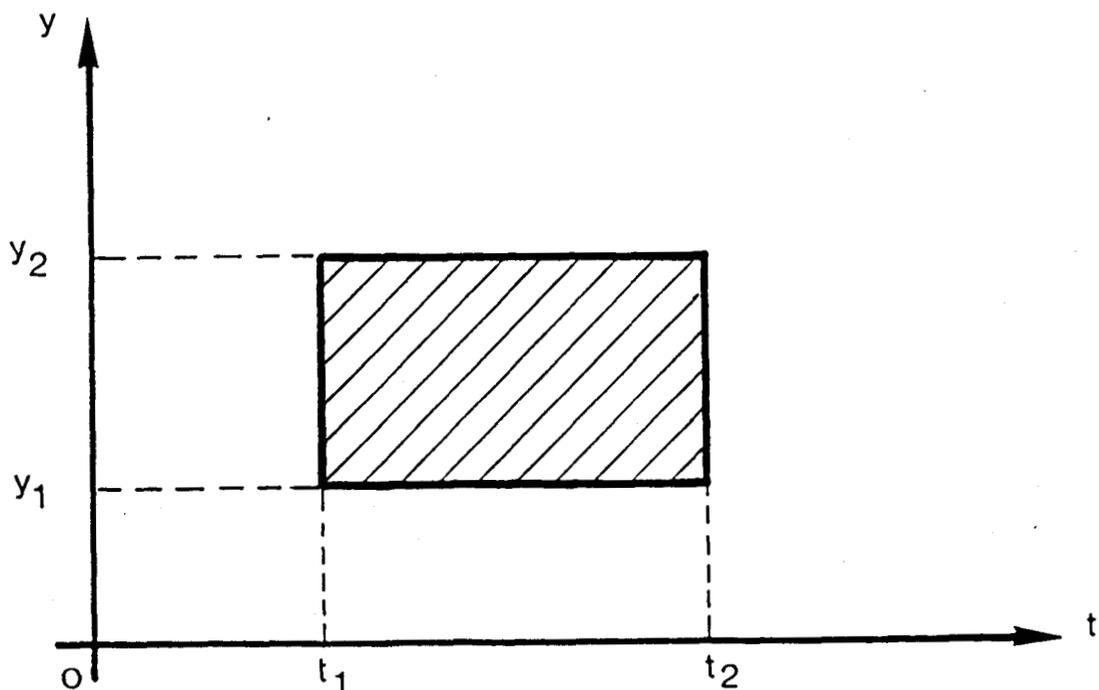


Figure 5.1: Rectangle représentant l'occupation spatio-temporelle des voies prédite pour un véhicule évoluant à proximité des rails.

Ce diagramme intègre en fait, sous une forme synthétique, une grande quantité d'informations de type statique (position, dimension, formes des véhicules), de type dynamique (vitesse des véhicules) ainsi que des règles de circulation automobile.

5.1.2.) REPRESENTATION GRAPHIQUE DU PASSAGE DU TRAMWAY.

Dans le plan (t, y) défini précédemment, le passage du tramway est représenté par une bande de hauteur (et non de largeur !) constante et égale à la longueur du tramway.

En effet, à tout instant, le tramway peut être représenté par un segment vertical dont les extrémités correspondent aux positions de son avant et de son arrière le long de l'axe des rails.

Lorsque le temps s'écoule, ce segment de longueur constante se déplace. Les mouvements de son milieu qui représente la position du centre du tramway, définissent le profil de déplacement de ce véhicule guidé.

Ce profil de déplacement est lié, par simple dérivation, au profil de vitesse et donc à la commande du tramway (figure 5.2).

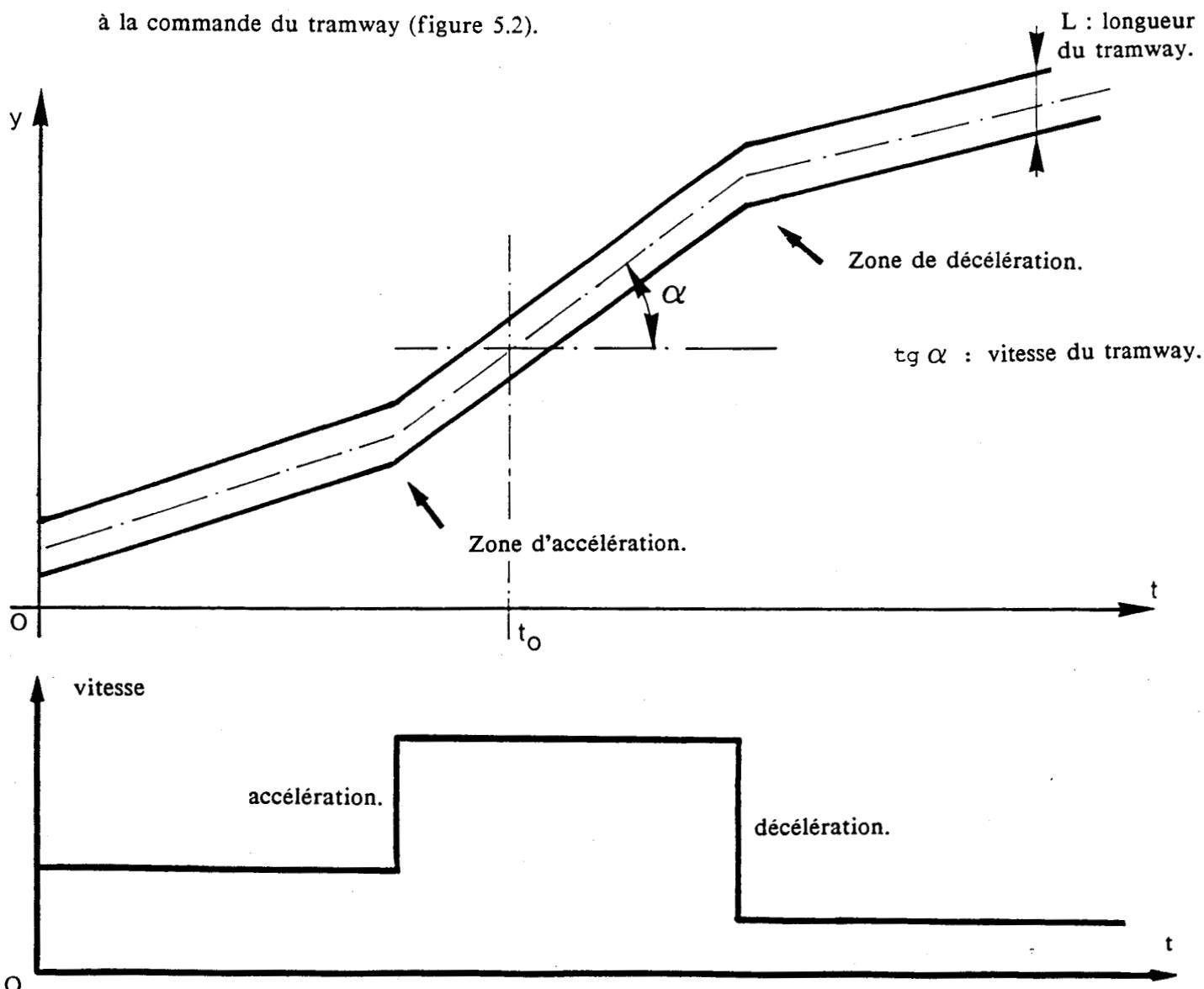


Figure 5.2: Représentation du profil de déplacement et

Avant de montrer l'intérêt de ces représentations graphiques, nous allons leur apporter quelques modifications qui faciliteront leur exploitation.

5.2.) ADAPTATION DE LA REPRESENTATION GRAPHIQUE DES MOUVEMENTS DES VEHICULES AUX CONTRAINTES DE CIRCULATION:

5.2.1.) SIMPLIFICATION DE LA REPRESENTATION DU PASSAGE DU TRAMWAY.

Nous verrons ultérieurement que, pour exploiter la nouvelle représentation graphique proposée (paragraphe 5.3), nous nous intéresserons aux intersections entre la bande représentant le passage du véhicule guidé et les rectangles représentant l'occupation spatio-temporelle des voies par les véhicules.

Pour faciliter cette exploitation, on réduit la hauteur de la bande du profil de déplacement du tramway pour obtenir, en quelque sorte, le "squelette" de cette représentation (en ligne pointillée sur la figure 5.2).

Afin de ne pas modifier l'existence d'intersections entre la représentation du passage du tramway et celle de la traversée des véhicules, on agrandit les rectangles d'une demi-longueur du tramway de chaque côté dans le sens des ordonnées y (figure 5.3).

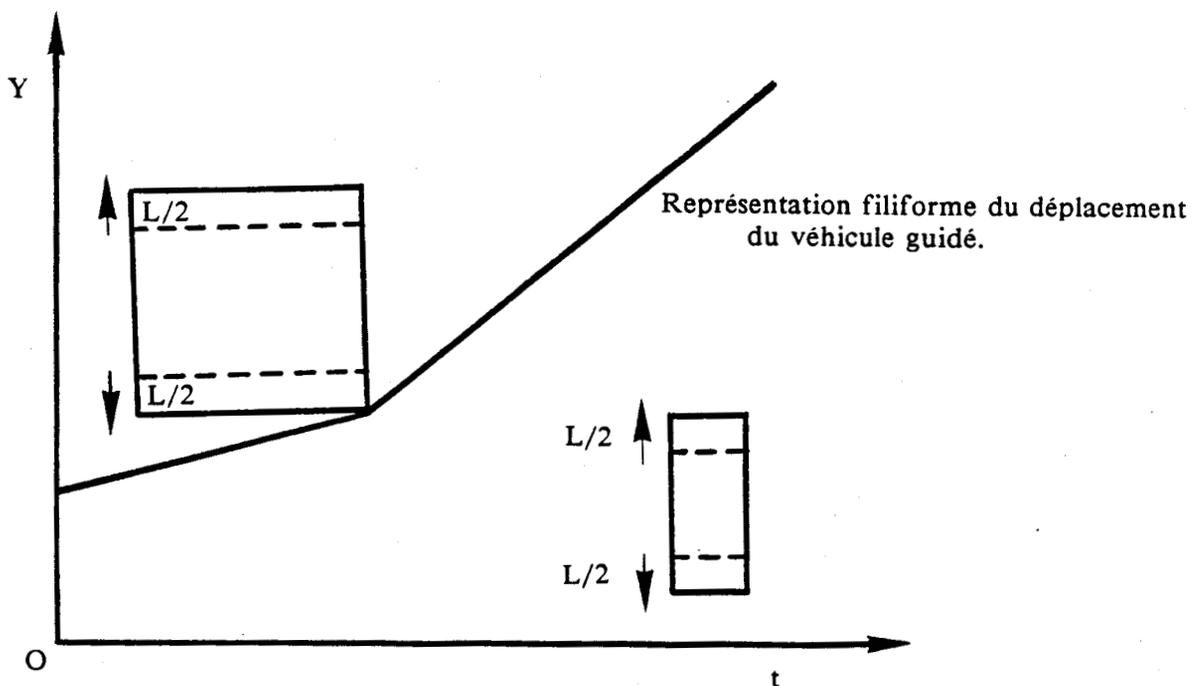


Figure 5.3: Simplification de la représentation du passage du tramway par squelettisation de son profil de déplacement.

5.2.2.) INTRODUCTION D'UN FACTEUR DE SECURITE.

La prédiction de l'occupation des voies par les véhicules a été basée sur une hypothèse d'uniformité de leur mouvement.

Cependant, pour prendre en compte d'éventuelles modifications de trajectoire et de vitesse par rapport aux valeurs prédites, on dilate les rectangles dans les deux directions t et y de dt et dy respectivement.

A titre indicatif, les simulations présentées ont été obtenues en agrandissant les rectangles de deux mètres en ordonnées et de deux secondes en abscisse (figure 5.4). Ces grandeurs ont été déterminées à la suite d'essais en comparant le passage effectif des véhicules observés à la prédiction. Les erreurs de prédiction sont toujours restées en deçà de ces limites pour les traversées immédiates. Elles doivent être modulées selon la taille des carrefours.

Pour les traversées différées, aucune majoration n'a été nécessaire, compte tenu des conditions extrêmes de prédiction dans les traversées des voies (paragraphe 4.4.2).

Le véhicule guidé doit éviter les obstacles mobiles et immobiles afin de progresser dans le carrefour. Pour ce faire, il est maintenant nécessaire de tenir compte des caractéristiques techniques de ce véhicule.

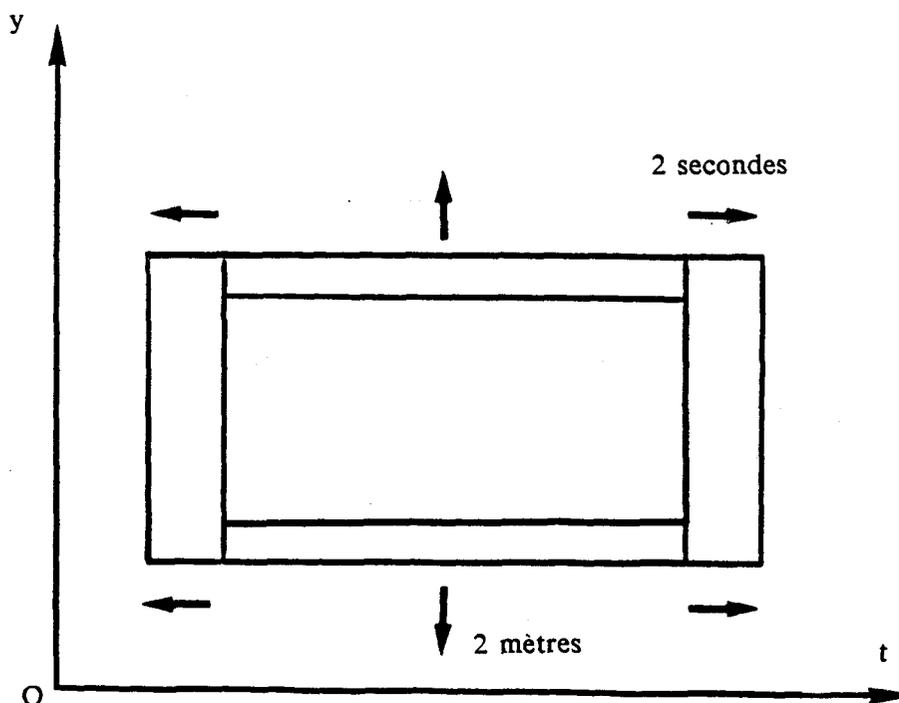


Figure 5.4: Dilatation des rectangles représentant l'occupation spatio-temporelle des rails.

5.3.) DETERMINATION DU PROFIL DE VITESSE DU TRAMWAY:

5.3.1.) CHRONOGRAMME.

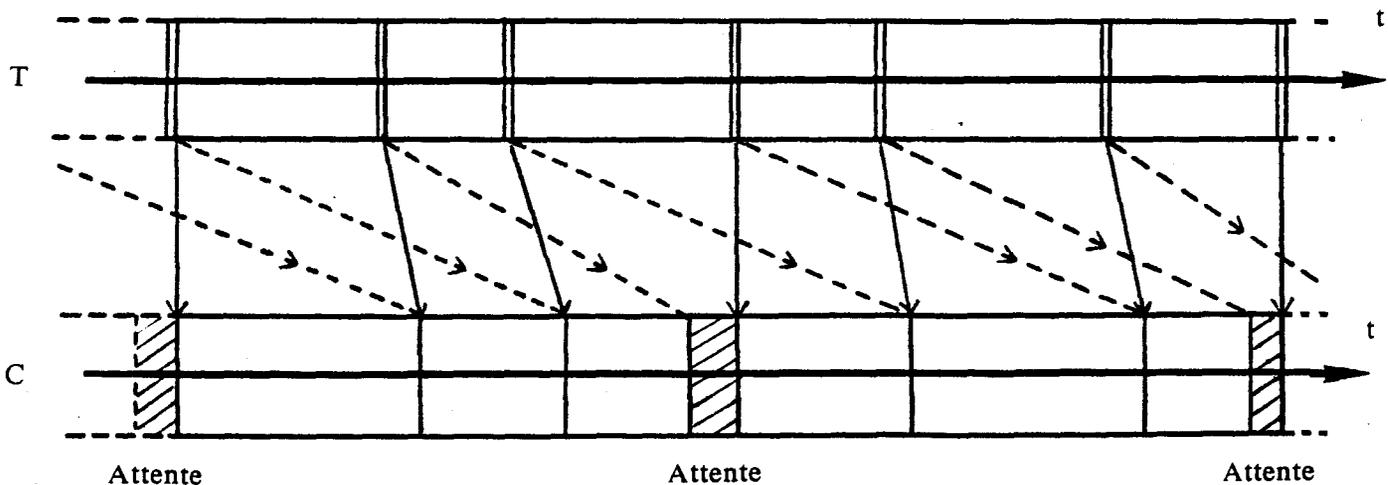
On suppose que le système de traitement d'images, de l'acquisition à la mise en forme des modèles octogonaux, s'effectue de manière continue, c'est à dire qu'une nouvelle image est traitée dès que des octogones sont calculés.

La durée de calcul de la commande du véhicule guidé dépend de la complexité de la scène. De plus, ce processus est indépendant du traitement des images évoqué ci-dessus.

Dès qu'une commande est calculée et adressée à un module de contrôle du tramway, on fait appel aux modèles octogonaux disponibles pour réactualiser cette commande comme l'indique le schéma ci-dessous.

A chaque prise en compte d'une nouvelle série d'octogones, il faut donc translater les coordonnées du plan de représentation graphique (t, y) de telle sorte que l'origine des abscisses soit l'instant t_0 d'acquisition de l'image correspondant à la série d'octogones utilisée.

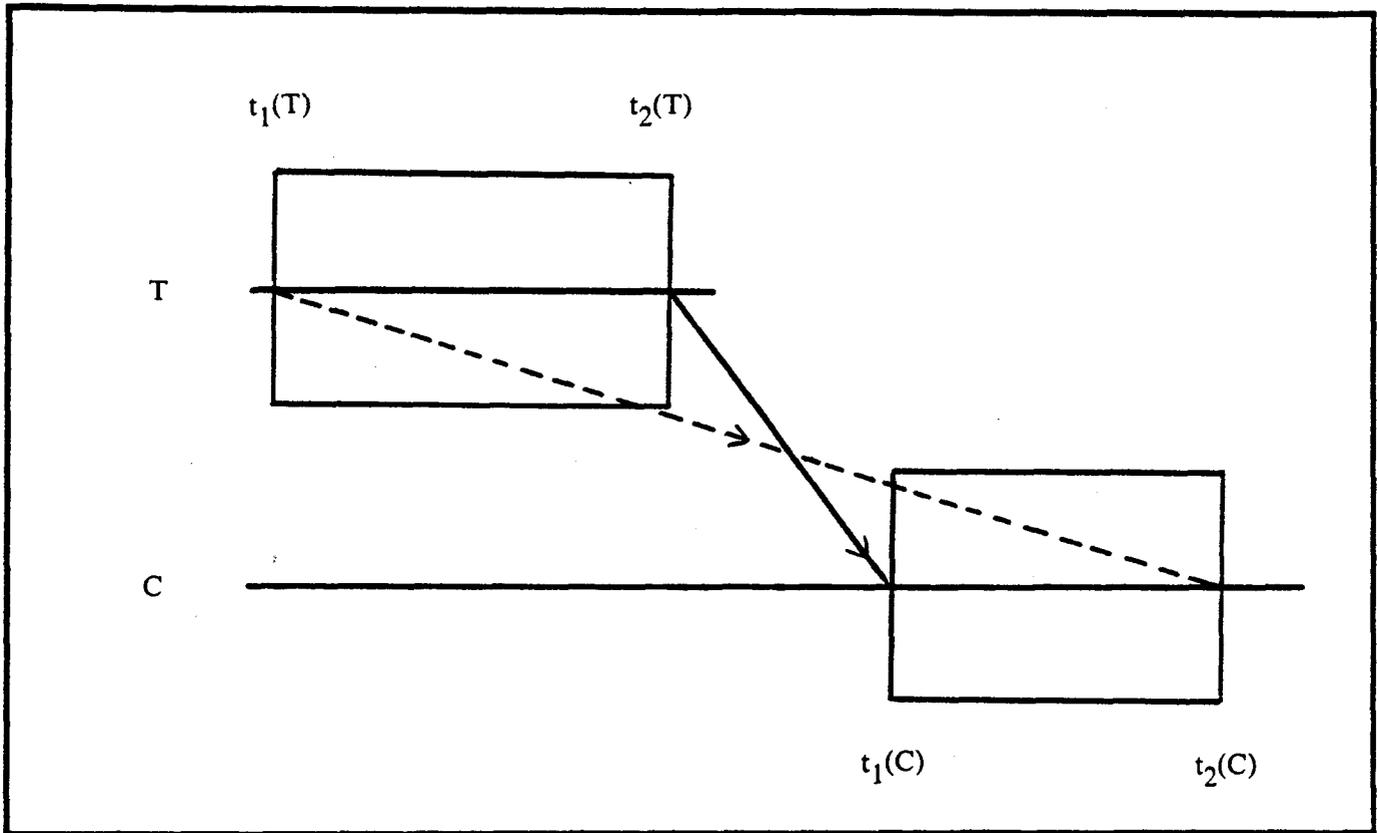
La position $y(t_0)$ atteinte par le véhicule guidé à cet instant est alors choisie comme origine des ordonnées.



T : Chronogramme des procédures de Traitements d'images.

C : Chronogramme des procédures d'analyse de la scène et de génération de la commande du tramway.

Chronogramme du processus de conduite automatique du tramway.



$t_1(T)$: Instant d'acquisition d'une image.

$t_2(T)$: Instant d'obtention des modèles octogonaux des objets mobiles.

$t_1(C)$: Instant de prise en compte des modèles octogonaux.

$t_2(C)$: Instant d'obtention de la commande.



La commande obtenue à $t_2(C)$ correspond à l'état de la scène à l'instant $t_1(T)$. Cette relation est schématisée par la flèche en pointillé.

5.3.2.) EXPLOITATION DE LA REPRESENTATION GRAPHIQUE.

Pour déterminer le profil de déplacement à imposer au tramway de sorte qu'il traverse le carrefour en évitant tous les obstacles, on raisonne dans le plan (t, y) ainsi réactualisé.

Il s'agit de déterminer la représentation de la traversée du tramway dans ce plan

afin de le conduire de la position $y(t_c)$ qu'il occupe à l'instant t_c de fin de calcul de la commande jusqu'à la sortie du carrefour [BOU-87][POS-88]. Le profil de déplacement ne devra pas présenter d'intersection avec les rectangles représentant l'occupation des voies par les véhicules. Il devra d'autre part permettre une traversée aussi rapide que possible.

Afin de rechercher une solution à ce problème programmable en temps réel, il est hors de question de trouver le profil de déplacement permettant une traversée du carrefour en un temps minimum. Quoique sous optimale, nous verrons que la solution proposée permet d'obtenir des traversées à des vitesses tout à fait acceptables pour les exploitants comme pour les usagers.

Nous ne considérons dans l'étude que le premier quadrant du plan (t, y) défini par $0 \leq t$ et $0 \leq y$, éliminant ainsi les interférences avec les véhicules qui se trouvent en arrière du tramway, comme nous l'avons mentionné au paragraphe 4.3.

Pour accélérer la procédure, nous ne prenons pas en compte les mobiles qui occupent les voies à plus de 40 mètres en avant du tramway ni ceux qui occuperont les voies à plus de 10 secondes de l'instant d'observation de la scène. Il est évident que des prédictions lointaines ne peuvent infléchir de manière réaliste la conduite du tramway.

C'est donc dans le quart de plan (t, y) limité à la zone:

$$0 \leq t \leq 10 \text{ secondes et } 0 \leq y \leq 40 \text{ mètres,}$$

que nous raisonnons pour déterminer le profil de déplacement à imposer au tramway.

Le profil de déplacement est calculé sous la forme d'une ligne brisée traversant le plan (t, y) entre les rectangles relatifs aux véhicules surveillés.

5.3.3.) ALGORITHME DE CALCUL DE PROFIL.

5.3.3.1.) Détermination du premier segment du profil de déplacement.

On commence par tracer dans le plan (t, y) une droite de pente correspondant à la vitesse maximale possible du tramway (30 km/h) et passant par l'origine O. Si cette droite ne coupe aucun rectangle, elle représente le profil de déplacement qui permet de traverser tout le carrefour à la vitesse maximale. Dans le cas contraire, on détermine l'ensemble des segments joignant le point O aux sommets Nord-Ouest et Sud-Est de tous les rectangles R1, R2, R3,... situés dans le quart de plan considéré.

On rejete d'abord tous les segments dont la pente est supérieure à la vitesse maximale du tramway, limitée pour cette étude à 30 km/h.

Parmi les segments restants, ordonnés en pentes décroissantes, on conserve celui qui présente la plus forte pente et qui ne coupe aucun des rectangles du plan.

Ce segment qui joint l'origine O à l'un des sommets O1 d'un rectangle, de coordonnée $t(O1)$ et $y(O1)$, constitue le premier élément du profil de déplacement du tramway.

5.3.3.2.) Détermination des segments successifs du profil de déplacement.

Afin de déterminer le segment suivant, on reprend la procédure précédente à partir du point O1.

On obtient ainsi le segment [O1, O2] qui a la plus forte pente compatible avec la vitesse maximale du tramway et qui ne coupe aucun rectangle dans le quart de plan défini par $t(O1) \leq t \leq 10$ et $y(O1) \leq y \leq 40$ mètres.

En itérant le procédé, on parvient ainsi à sortir du carrefour par le chemin {O, O1, O2, O3} (figure 5.5).

5.3.3.3.) Recherche du profil de déplacement par essais successifs.

En fait, il n'est pas toujours possible de déterminer le profil de déplacement aussi simplement que nous venons de l'expliquer.

La figure 5.6 présente un cas classique où le profil {O, O1, O2, O3} débouche sur un blocage car il n'y a aucune possibilité de contourner le rectangle R5 par ce chemin.

Dans un tel cas, on doit reprendre la détermination du profil à partir de son avant dernier sommet, ici le point O2 et sans utiliser le segment [O2, O3] qui conduit à un blocage.

On constate, dans l'exemple présenté, qu'il est également impossible de contourner R4 à partir de ce sommet O2.

On remonte, alors, jusqu'au point O1 à partir duquel on doit contourner R2, R3 et R4 sans utiliser les segments [O1, O2] et [O2, O3]. La solution qui passe par le sommet Sud-Est O4 de R4 et le sommet O5 de R5, est suivie d'un déplacement à vitesse maximale vers la sortie du carrefour. Elle apparaît de façon évidente sur la figure 5.6 qui illustre la succession des décisions élémentaires conduisant au profil recherché.

Lorsque le profil de déplacement est déterminé, il est aisé d'en déduire par dérivation le profil de vitesse qui doit permettre de conduire le tramway à travers le carrefour (figure 5.6).

L'arbre programmatique de la figure 5.7 indique la méthode de recherche systématique de la solution.

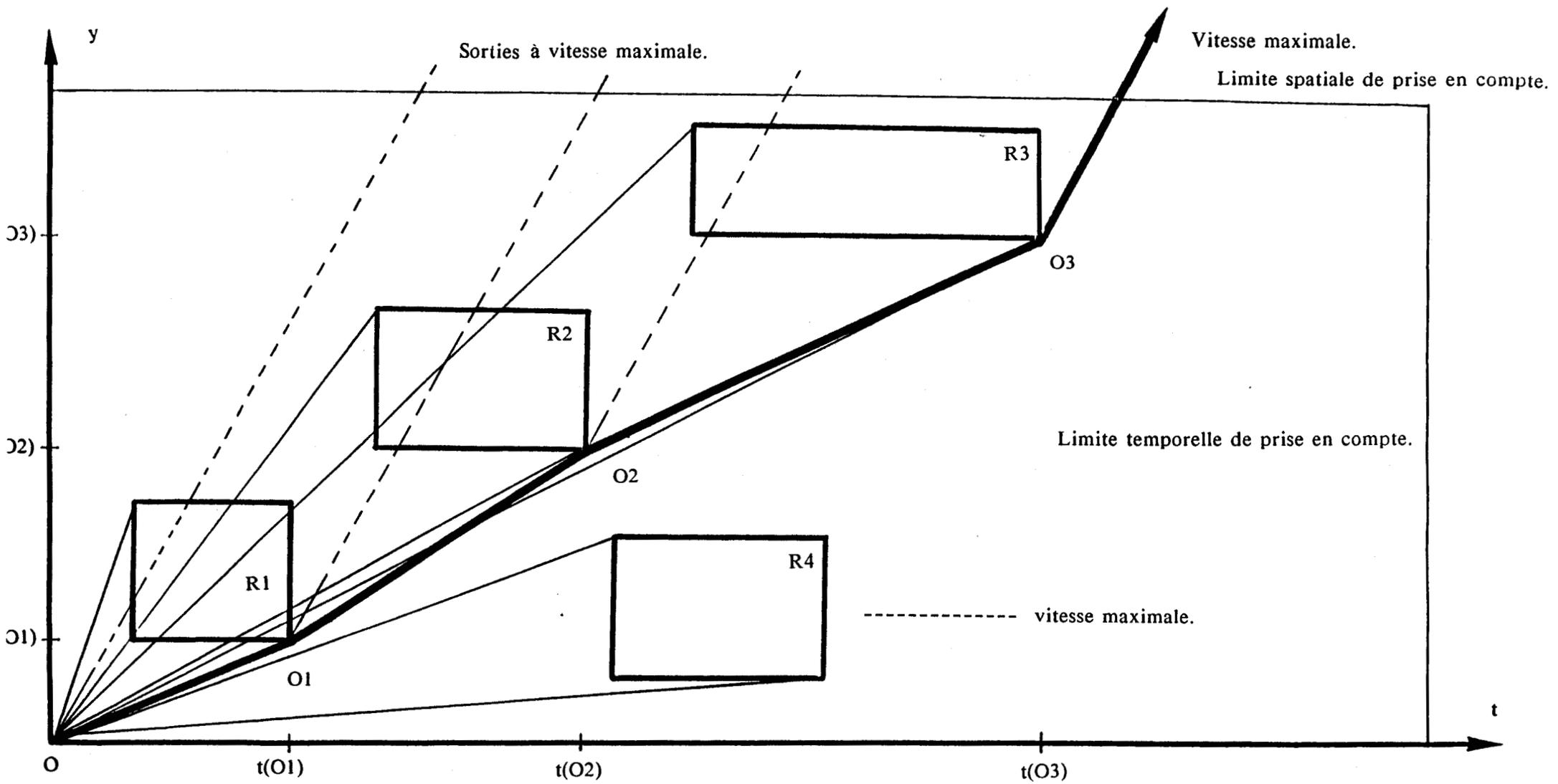
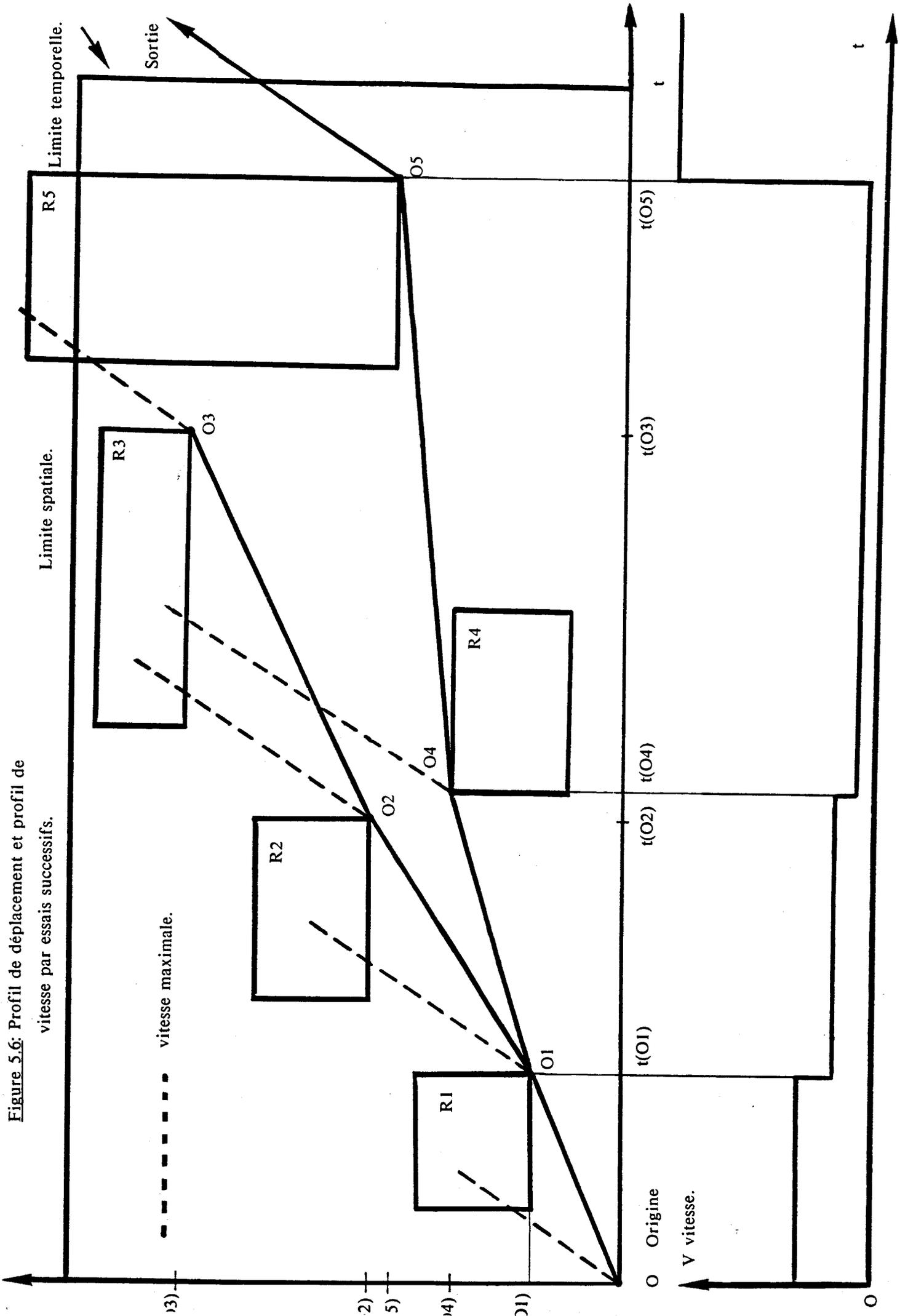


Figure 5.5: Profil de déplacement du tramway par détermination de la pente maximale.

Figure 5.6: Profil de déplacement et profil de vitesse par essais successifs.



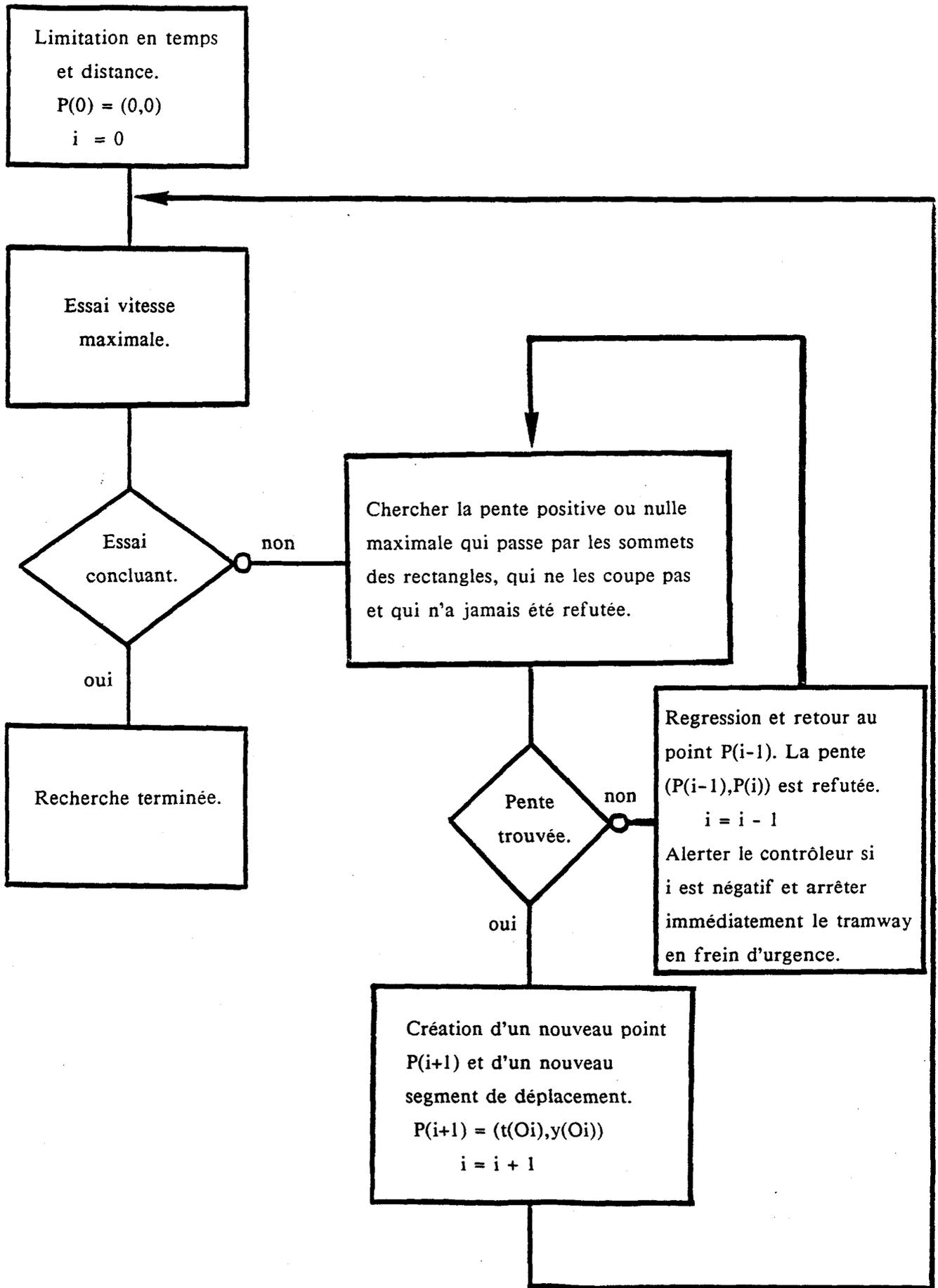


Figure 5.7: Arbre programmatique de la détermination du profil de déplacement.

5.3.3.4.) Prise en compte des obstacles immobiles.

Un véhicule arrêté sur les rails est représenté dans le plan (t, y) sous la forme d'une bande horizontale de longueur infinie dont nous ne considérons que la tranche comprise entre t_0 et $t_0 + 10$ secondes (figure 5.8).

Un piéton qui marche lentement sur les rails, les occupe également très longtemps et le rectangle qui lui est associé est également très long.

Ces deux types d'obstacles doivent être traités de la même manière que les éléments mobiles considérés jusqu'à présent (figure 5.8).

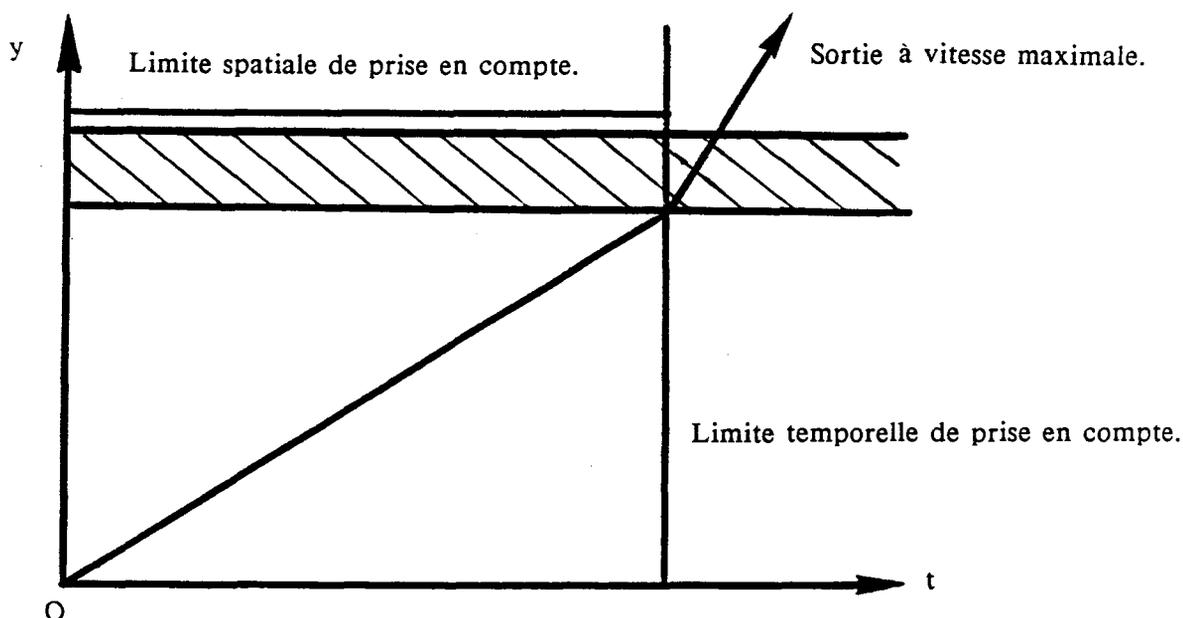


Figure 5.8: Obstacle ou piéton sur les voies.

La présence d'une bande horizontale dans le plan (t, y) doit déclencher l'avertisseur du tramway et il est à noter que la trajectoire peut conduire le tramway à l'arrêt complet car à chaque réactualisation de la commande, la pente du profil de déplacement diminue jusqu'à s'annuler.

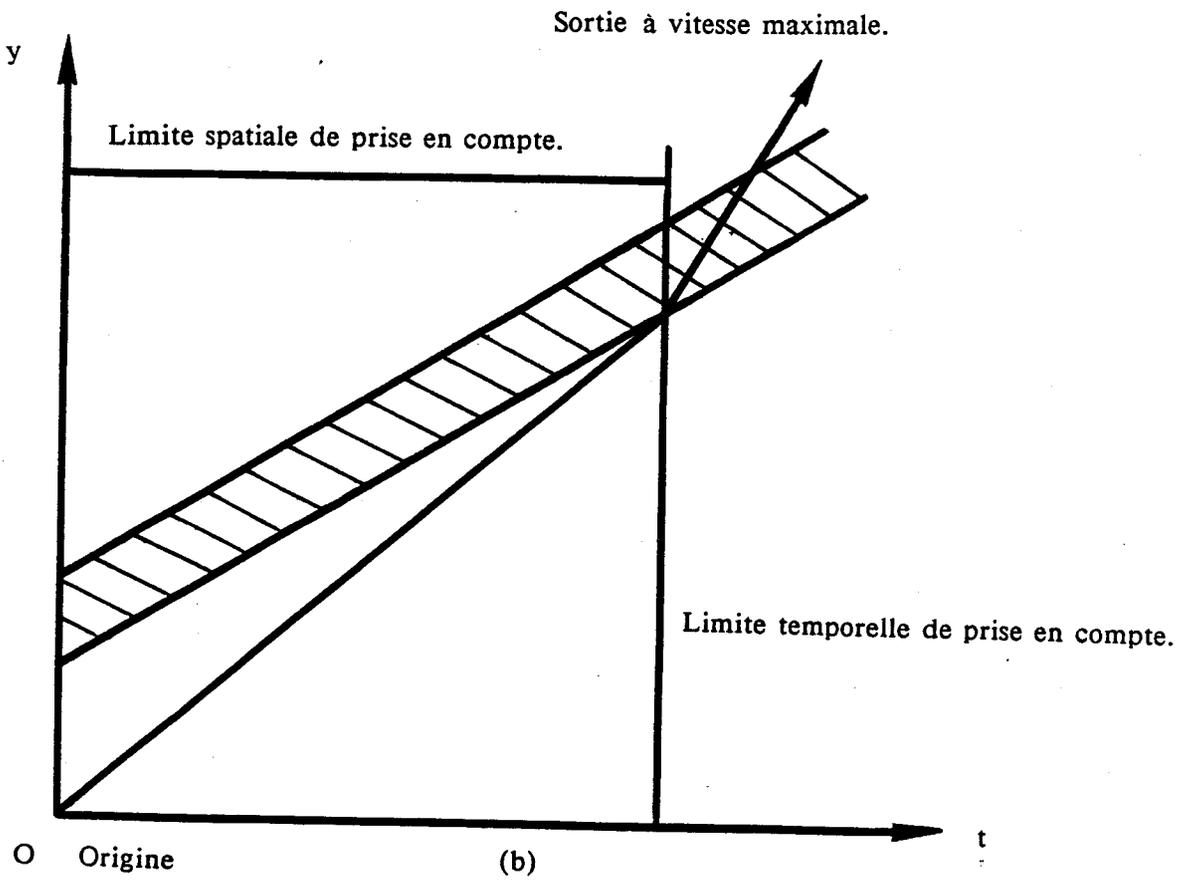
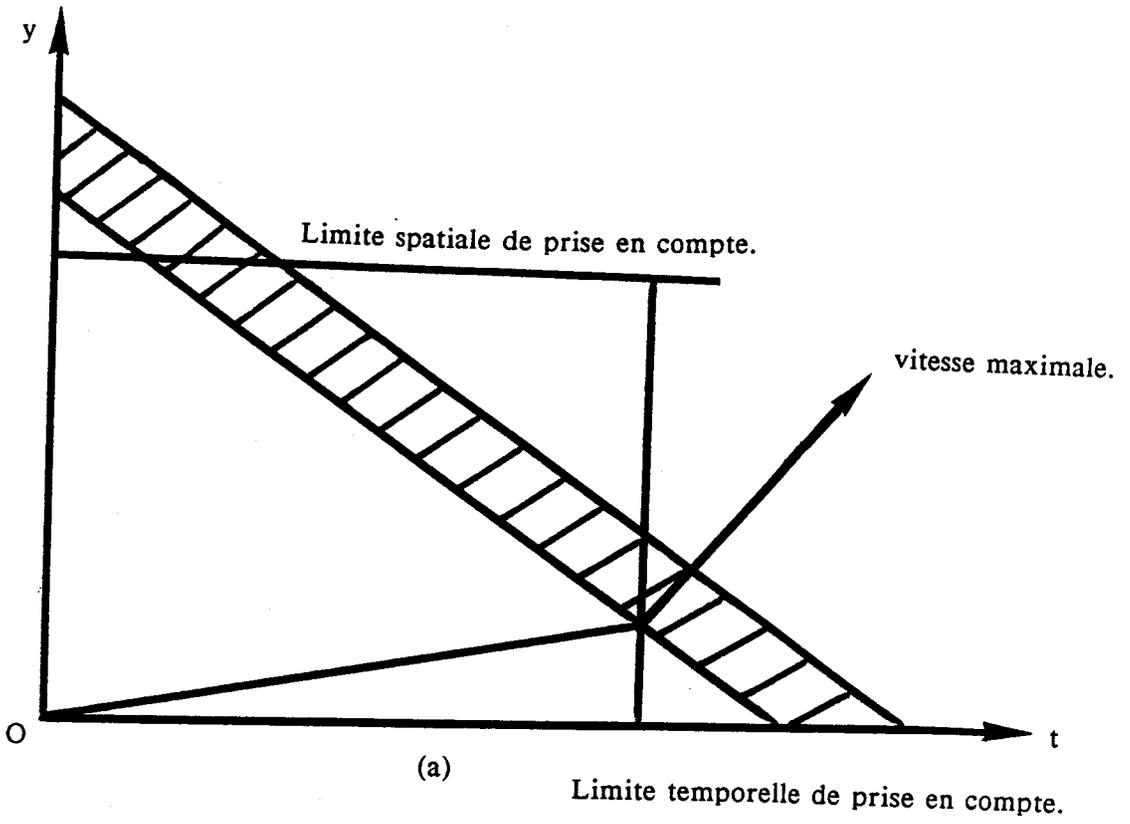
5.3.3.5.) Prise en compte des véhicules roulant sur les rails.

Il pourrait arriver qu'un véhicule emprunte la chaussée en roulant exactement sur les rails, c'est à dire en utilisant la voie du tramway.

De tels cas de figure conduisent à deux types de représentation dans le plan (t, y) selon que le véhicule s'éloigne du tramway (a) ou s'en rapproche ((b) et (c)) (figure 5.9).

Le profil de déplacement est seulement limité par la vitesse maximale du véhicule guidé ou l'obstacle lui-même.

Il faut procéder comme précédemment en déclanchant l'avertisseur et alertant le contrôleur.



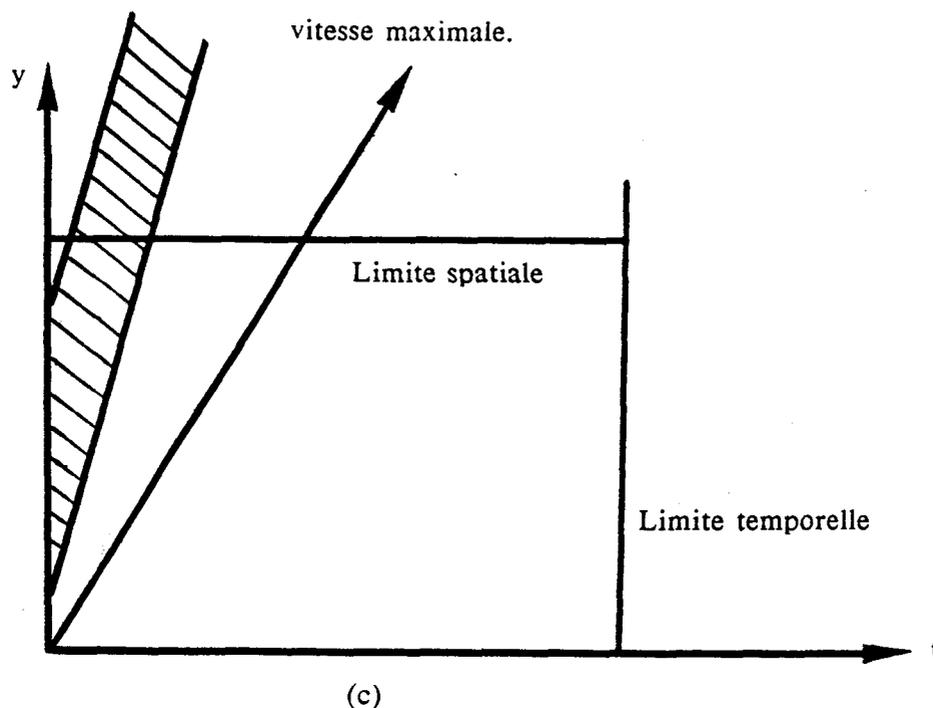


Figure 5.9: Représentation du déplacement du tramway dans le cas où un véhicule roule sur les rails en se rapprochant du tramway (a), en s'éloignant du véhicule guidé ((b) et (c)).

5.3.4.) DE LA COMMANDE THEORIQUE DU TRAMWAY AUX DEPLACEMENTS REELS.

Le profil de vitesse obtenu à partir du profil de déplacement présente des discontinuités qui, compte tenu des constantes de temps du véhicule, ne peuvent être suivies sans erreur.

Considérons le profil de déplacement théorique au voisinage d'un sommet d'un rectangle (figure 5.10).

En fait, si l'on veut éviter l'échelon de vitesse imposé au tramway au passage d'un sommet (figure 5.10 (b)), on doit modifier le profil de vitesse en introduisant une rampe (figure 5.10 (c)).

La vitesse constante v_1' imposée de 0 à t_1 est inférieure à v_1 et l'intervalle de temps $t_1 t_2$ est utilisé pour faire passer linéairement la vitesse de v_1' à v_2 . Le profil de déplacement correspondant à cette intervalle est alors l'arc de parabole (A1, A2) dessiné en pointillé sur la figure 5.10 (a).

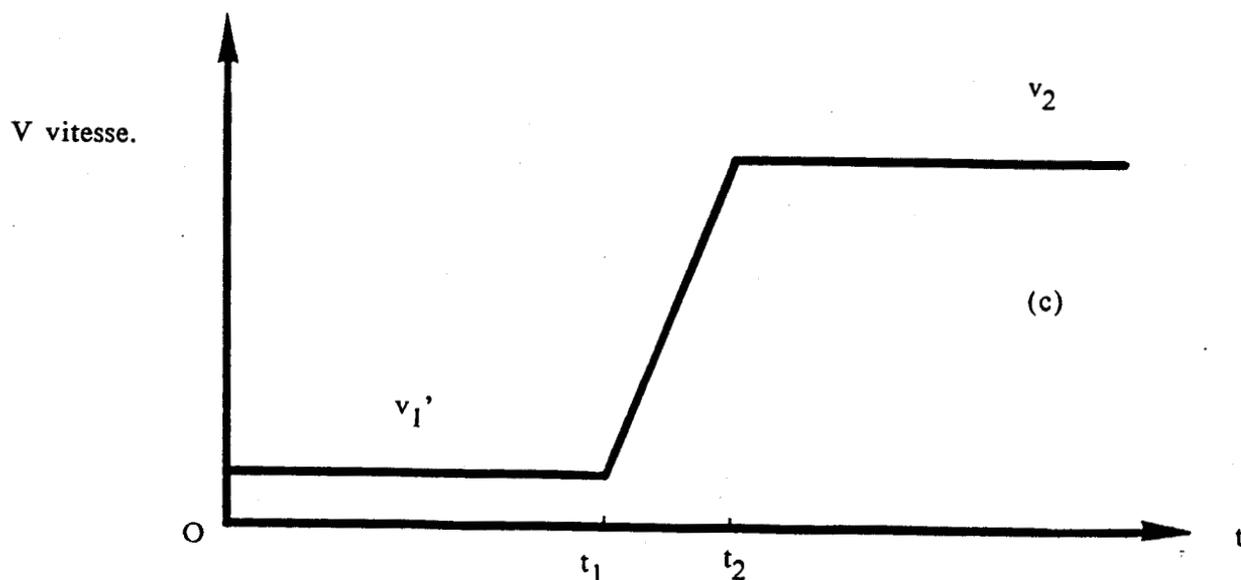
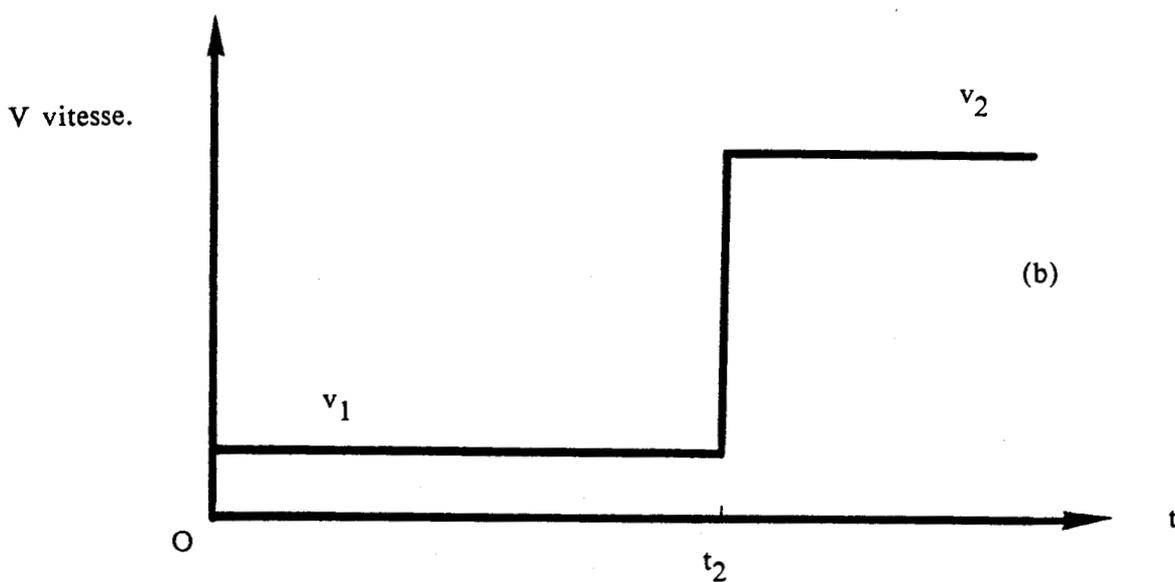
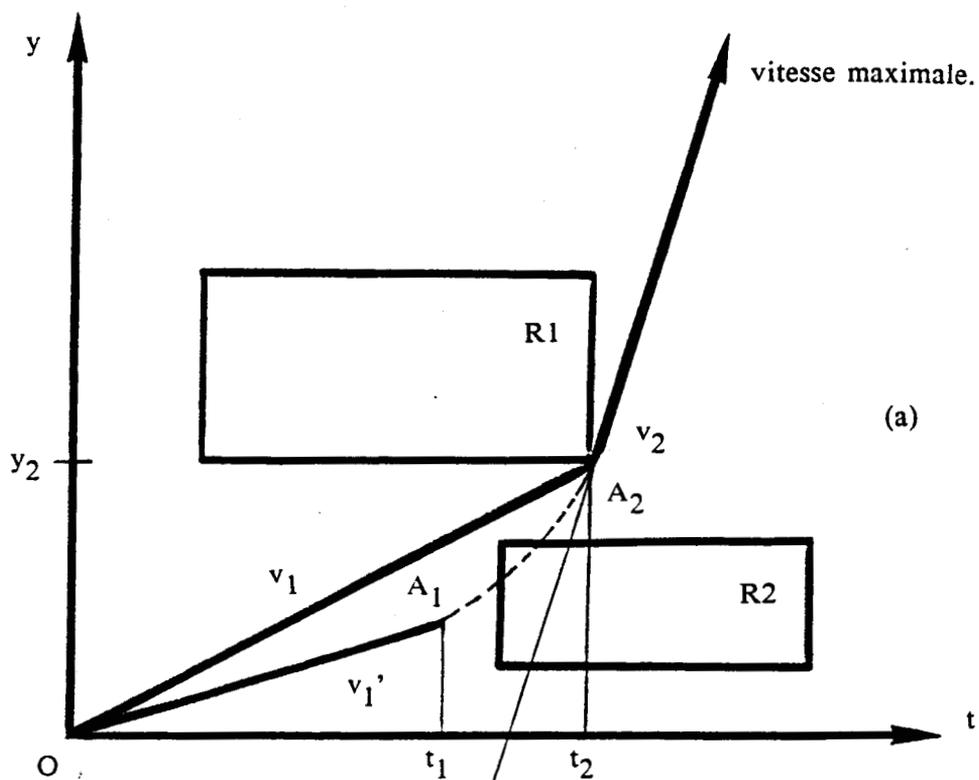


Figure 5.10: Représentation du profil de déplacement théorique et du profil de vitesse d'un tramway.

Ce nouveau profil de déplacement approché pourrait couper des rectangles. Il est inacceptable. Afin d'éviter ce phénomène, on agrandit les côtés verticaux des rectangles comme le montre la figure 5.11. Les sommets Nord-Ouest et Sud-Est des rectangles sont translatés selon un vecteur $T = O_1H_1$.

Cette translation est appliquée afin de pouvoir modifier le profil de vitesse au niveau de chaque échelon sous la forme d'une rampe de durée 4 secondes, centrée sur l'instant d'occurrence de l'échelon. L'amplitude de la translation est calculée en supposant que, à chaque changement de vitesse, le tramway doit accélérer de 0 km/h à 30 km/h ou décélérer de 30 km/h à 0 km/h en quatre secondes. Ce cas de figure correspond à la plus grande variation de vitesse envisageable avec une accélération de l'ordre de $2,08 \text{ m/s}^2$.

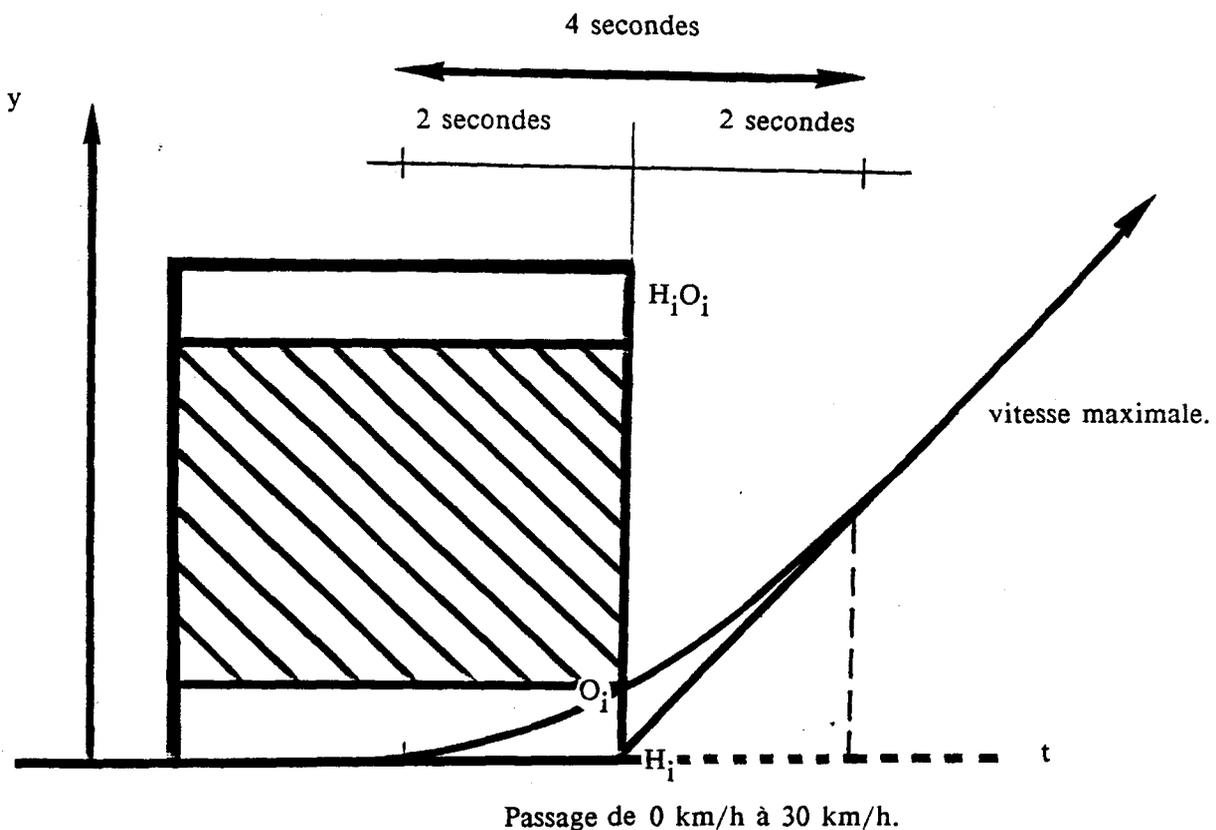


Figure 5.11: Profil de déplacement réel à imposer au véhicule guidé.

Cette amplitude se calcule facilement quant on utilise l'équation du mouvement uniformément accéléré. L'accélération γ du tramway est dans ce cas $(V - V_0) / (t - t_0)$. En posant V_0 et t_0 nuls, la vitesse V égale à 30 km/h et le temps t égal à 4 secondes, la distance O_1H_1 est donc équivalente à $1/2 \gamma t'^2$ avec $t' = 2$ secondes. Avec $\gamma = 2,08 \text{ m/s}^2$, la distance O_1H_1 est de 4,16 mètres.

Le profil de déplacement résultant pénétrera ainsi dans les rectangles dilatés, mais la distance entre le sommet initial et le sommet translaté garantit que ce profil ne

chevauchera pas les rectangles R1, R2, R3...originaux.

Les profils de vitesse se déduisent des profils de déplacement de la même façon que précédemment.

5.4.) CONCLUSION:

Nous avons proposé une méthode qui permet, dans des conditions normales de circulation, de ne surveiller que les éléments de la scène interférant avec l'évolution du tramway. Grâce à un codage des mobiles et un découpage des carrefours en zones, on ignore les mobiles ne présentant pas de risques de collision .

L'information contenue dans les séquences d'images analysées permet d'ajuster la commande du véhicule guidé en prédisant l'évolution de la scène. Cette approche se situe entre le comportement de l'homme qui fait appel à son expérience de la conduite pour contrôler son véhicule et la solution algorithmique simple correspondant à une simple détection d'obstacles.

Le temps de calcul est proportionnel au nombre de tramways et de véhicules à traiter. Pour une scène de complexité moyenne, le temps total des calculs s'élève à 0,6 seconde. Ce temps se décompose en 0,3 seconde pour analyser le mouvement et 0,3 seconde pour générer les ordres de conduite d'un tramway. Si l'on surveille deux voies, la durée d'analyse de scène et de génération des ordres doit être doublée. Ce temps relativement bas provient de la prise en considération des seuls éléments mobiles pouvant modifier la conduite du véhicule guidé.

Malgré plusieurs heures d'enregistrement, nous n'avons jamais pu filmer une scène où des véhicules ne respectant pas la signalisation auraient obligé le tramway à ralentir pour éviter un incident.

Nous n'avons donc pu que simuler l'algorithme de génération du profil de vitesse.

Avec quatre obstacles (ce qui paraît énorme !) dont deux en instance de traversée et deux en traversée différée, le profil a pu être obtenu en 0,3 seconde, après avoir calculé les positions, vitesses et dimensions des quatre véhicules dans le carrefour de la figure 4.4.

Il peut arriver que le carrefour soit particulièrement encombré. Les rectangles sont tellement nombreux qu'il devient difficile de trouver un profil de déplacement ayant des pentes suffisamment élevées pour assurer une traversée rapide. Une nouvelle fois, on retrouve la nécessité de bien contrôler les feux de circulation.

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE:

Nous avons présenté une stratégie de conduite automatique de véhicules guidés, dans un espace encombré d'obstacles mobiles. L'approche, élaborée à partir de techniques d'analyse de scènes dynamiques, intègre certaines connaissances a priori sur la topographie des lieux de circulation, le comportement des éléments mobiles et fait appel à une représentation espace-temps de leurs déplacements.

Le chapitre 1 rappelle les différentes techniques de segmentation des images statiques existantes. Que ce soient la segmentation par seuillage, la segmentation par analyse de textures ou la segmentation par extraction de contours, ces méthodes se sont révélées être insuffisantes pour refléter les mouvements des divers objets mobiles se présentant dans le champ de la caméra.

Le chapitre 2 montre comment le mouvement lui-même peut être utilisé pour segmenter des scènes dynamiques analysées à partir de séquences d'images. Parmi les techniques existantes permettant de mettre le mouvement en évidence, nous avons retenu la méthode d'extraction des contours des objets en mouvement. Elle est basée sur la multiplication du gradient de l'image courante et du gradient de la différence d'images. Cette approche a le mérite d'être rapide et de ne nécessiter aucune connaissance a priori quant aux caractéristiques des mobiles et aux conditions d'éclairage. Elle a, de plus, été récemment améliorée afin de mieux répondre aux contraintes de l'analyse de scènes réelles de trafic.

Un nouveau modèle octogonal des contours des objets en mouvement est présenté dans le chapitre 3. Cette modélisation présente l'avantage d'apporter une réduction importante des données à traiter et de refléter fidèlement la forme des mobiles. En utilisant ce type de modèle, nous proposons une technique de mise en correspondance qui permet d'apparier les octogones entre eux afin de suivre le mouvement des véhicules d'une image à l'autre. La procédure développée permet de lever les ambiguïtés survenant lors de

l'analyse des images successives d'une scène réelle. Elle repose sur des principes de conservation d'attributs et des tests de vraisemblance. Elle a l'avantage d'être très rapide et de fournir de bons résultats dans le cas de scènes dynamiques relativement complexes.

Les deux derniers chapitres du mémoire sont consacrés à l'application des résultats précédents, en vue de la conduite automatique d'un tramway à travers un carrefour.

Dans le chapitre 4, la topographie du carrefour surveillé et les mobiles détectés et modélisés sont codés pour être mémorisés dans des fichiers qui intègrent des connaissances a priori sur le code de la route et le comportement habituel des conducteurs de véhicules.

En exploitant ce codage et ces connaissances, on élimine, dans un premier temps, les mobiles qui ne présentent pas de risque pour le tramway, ce qui permet de réduire les temps de calculs.

Dans un second temps, on prédit les lieux, les temps et les durées de traversée des voies par les mobiles pour représenter de façon spatio-temporelle leur passage sur les rails. On distingue deux types de situations suivant l'éloignement des véhicules par rapport aux voies. Pour les mobiles proches des rails, la prédiction est basée sur des calculs géométriques, tandis que pour les véhicules éloignés, on utilise la connaissance des lieux de passage habituels des véhicules dans le carrefour.

Cette approche réaliste est calquée sur le comportement d'un chauffeur de tramway vis à vis des véhicules qui l'entourent.

Finalement, on expose dans le chapitre 5 la stratégie de conduite automatique adoptée. Elle est basée sur l'exploitation de la représentation spatio-temporelle du comportement des véhicules et du tramway.

De grandes marges de sécurité ont été prévues. Elles tiennent compte d'éventuels comportements anormaux des véhicules au niveau de leurs évolutions à court terme.

Il serait souhaitable de pouvoir, dans un avenir proche, filmer des scènes de trafic où le tramway entrerait en conflit avec des véhicules. Nous n'avons pas pu enregistrer de telles scènes car nous ne disposons pas d'équipements fixes sur site. De plus, malgré plusieurs heures d'enregistrement, dans des conditions précaires, aucun incident n'est venu perturber la traversée du tramway dans le carrefour, les véhicules respectant les signalisations. Il a été impossible de présenter un profil de vitesse reflétant une réaction du système de conduite automatique face à un obstacle.

Tous les algorithmes d'analyse du mouvement et de conduite automatique présentés dans cette thèse, ont été développés avec le souci constant de minimiser les temps de traitements. Dans l'état actuel du projet, le temps de réaction qui s'écoule entre l'acquisition d'une image et la génération de l'ordre de conduite est de l'ordre de 2,1 secondes pour une scène de complexité moyenne (environ cinq véhicules évoluant simultanément dans le champ de la caméra). En effet, les procédures de traitement des images qui permettent d'extraire les contours en mouvement sont actuellement exécutées en 0,6 seconde [VIE-88] grâce à l'aide d'un processeur spécialisé (Imaging Technology IP. 512). La modélisation sous forme d'octogones s'obtient en environ 0,7 seconde à l'aide d'un processeur standard (Inter 286). Sur un processeur de même type, les algorithmes d'analyse de mouvement et de conduite automatique demandent environ 0,6 seconde.

A ces trois temps, il faut ajouter 0,2 seconde si on désire travailler avec trois images successives afin d'éliminer les effets d'une chaussée non uniforme [VIE-88].

Ceci signifie que le temps de réaction du système, face aux aléas de la circulation, est de l'ordre de deux secondes, c'est à dire environ deux fois le temps de réaction moyen d'un chauffeur.

Si l'on désire réduire ce temps de réaction, c'est surtout sur les processus de traitement des images qu'il faille se tourner. Un travail est en cours dans ce sens au Centre d'Automatique afin d'implanter les algorithmes de traitement sur des processeurs spécialisés qui devraient permettre de réaliser la phase de traitement des images en temps réel, c'est à dire en une ou deux trames vidéo (40 ms)

Notons également que les performances d'un processeur Intel 386 par rapport à celle du 286 utilisé pour les autres traitements permettraient de diminuer de manière significative les temps correspondants. Il est donc réaliste de penser qu'à moyen terme le système pourrait réagir en des temps comparables à ceux d'un conducteur.

Le système proposé n'est pas destiné à se substituer aux capteurs ponctuels classiques utilisés pour contrôler le trafic. D'un point de vue sécuritaire, une redondance avec des systèmes utilisant des boucles magnétiques, des barrières optiques... est tout à fait nécessaire. Les carrefours devront, de plus, être aménagés afin de mieux canaliser les flots de circulation et, de ce fait, augmenter la fiabilité du suivi des mobiles et de la prédiction de leur comportement. C'est seulement dans ces conditions que les procédures relativement simples mises en oeuvre pourront atteindre un niveau de fiabilité suffisant et que l'approche présentée dans ce mémoire pourra, un jour, satisfaire les règles de sécurité des transports.

Remarquons que même si on pouvait, à terme, réaliser un système de conduite réputée sécuritaire, il faudrait alors vaincre les réticences psychologiques des usagers, comme celle des chauffeurs. Une solution réaliste serait d'utiliser, peut être pendant une période transitoire, un tel système uniquement pour assister le chauffeur en cas de risque de collision.

La surveillance globale du carrefour est un atout non négligeable dans ce problème de surveillance et de conduite. Obtenue avec un coût d'investissement réduit, l'énorme quantité d'informations disponibles permet au système de se rapprocher du comportement d'un chauffeur. Notons que celui-ci voit peut-être moins l'aspect macroscopique de la scène et d'avantage certains aspects microscopiques (échanges de regard avec les autres conducteurs, signes de la main...). Il faut cependant noter que si nous avons réussi à intégrer dans le système les facultés de prédiction de l'être humain, nous n'y avons pas introduit les effets interactifs de l'évolution des mobiles les uns par rapport aux autres. En effet, chaque véhicule dans le carrefour, n'évolue pas indépendamment des autres (règles de priorité, encombrement de la chaussée par d'autres véhicules...). La prise en compte de ces phénomènes d'interaction amélioreront sans doute la prédiction, mais à quel prix au niveau du temps de calcul ?

Notons aussi que les prises de vue sur lesquelles nous nous sommes appuyés pour mener notre étude, ont toutes été prises de jour, sous des conditions atmosphériques favorables, avec des carrefours où l'aspect de la chaussée était relativement uniforme.

Finalement, il est intéressant de souligner le caractère novateur de cette étude qui consiste, en fait, à piloter un véhicule dans un environnement constitué d'obstacles mobiles. A ce titre, l'approche proposée se démarque du problème classique de navigation des robots mobiles qui évoluent, en général, entre des obstacles fixes. De plus ces robots sont généralement très lents, alors que le véhicule que nous guidons doit évoluer beaucoup plus rapidement.

L'approche proposée pourrait certainement être appliquée avec succès à d'autres problèmes de pilotage dans un environnement mobile et hostile. On peut envisager de piloter de manière analogue des chariots filoguidés qui pourraient ainsi se déplacer dans des zones non protégées des ateliers de production. Une telle application permettrait d'accroître la vitesses de ces chariots, car leur pilotage par le système de surveillance permettrait d'éviter les collisions avec les personnels et les autres équipements mobiles des ateliers.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE.

- [ABR-80] : ABRAMATIC J.F.
Approximation de filtres bi-indiciels et traitement d'images.
Thèse d'Etat, I.N.R.I.A., Rocquencourt, 1980.
- [AME-87] : AMEZIANE M.
Segmentation des images numériques par seuillages multiples. Application à la découpe automatique dans les ateliers flexibles.
Thèse de Docteur Ingénieur, Lille 1987.
- [ASH-78] : ASHKAR G.P. et MODESTINO J.W.
The contour extraction problem with biomedical applications.
Computer Graphics and Image Processing, vol. 7, 3, pp 331-335, 1978.
- [AYA-84] : AYACHE N. et FAUGERAS O.D.
A new method for the recognition and positioning of the 2-D objects.
Proc. 7th Int. Conf. on Pattern Recognition,
I.E.E.E. Computer Society Press, 1984.
- [BAL-82] : BALLARD D.H. et BROWN C.M.
Computer vision.
Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1982.
- [BAL-83] : BALLARD D.H.
Generalizing the Hough transform to detect arbitra stapes.
Pattern recognition, vol. 13, pp 111-122, 1983.
- [BAR-84] : BARRETT W.A.
An iterative algorithm for multiple threshold detection.
Division of computer research and technology national institutes of health,
Bethesda, Marylan, pp 273-278, 1984.
- [BAS-79] : BASSEVILLE M.
Détection de contours: méthodes et études comparatives.
Annales Télécommunications, tome 34, 1979.

[BOU-85] : BOUTRY F.

Analyse du mouvement par squelettisation.

Rapport de D.E.A., Lille, 1985.

[BOU-88] : BOUTRY F., VIEREN C., BONNET P. et POSTAIRE J.G.

Etude des possibilités offertes par le traitement d'images pour la détection d'obstacles devant un système de transport guidé.

Revue R.T.S., 1988.

[BOU-87] : BOUTRY F., KUHN F., DEPARIS J.P. et POSTAIRE J.G.

New tendencies in L.R.T. systems: automatic driving by means of computer vision.

Int. Conf. on local public transport, Liverpool, England, 1987.

[BUR-82] : BURT P.J., YEN C. et XU X.

Local correlation measures for motion analysis, a comparative study.

I.E.E.E. Conf. Publication, vol. 14, Las Vegas, 1982.

[CAN-83] : CANNING J.M. et BENCHIMOL C.

X-Ray image enhancement using local statistical information.

G.R.E.S.T.S.I., Nice, 1983.

[CAZ-76] : CAZES P.

Décomposition d'images en composantes gaussiennes.

Revue de statistiques appliquées, vol. 24, pp 63-81, 1976.

[CHO-72] : CHOW C.K. et KANEKO T.

Automatic boundary detection of the left verticle from cineangiogram.

Comp. Biomedical Research, vol. 5, pp 388-410, 1972.

[CRO-85] : CROWLEY J.L. et SANDERSON A.C.

Multiple resolution representation and probabilistic matching of 2-D gray-scale shape.

The Robotics Institute Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, 1985.

- [DAN-81] : DANKER A. et ROSENFELD A.
Blob detection by relaxation.
I.E.E.E. Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,
vol. 3, 1, pp 79-82, 1981.
- [DAV-75] : DAVIS L.S.
A survey of edge detection techniques.
Computer Graphics and Image Processing, vol. 4 , pp 248-270, 1975.
- [DEL-87] : DELPLANQUE H.
Segmentation des images numériques par seuillage adapté. Application à
l'automatisation du repiquage en agriculture.
Thèse de l'Université de Lille, 1987.
- [DES-83] : DESSALLES D. et BENCHIMOL C.
Filtrage d'artefacts circulaires sur des images de tomodensitométrie.
G.R.E.S.T.I., Nice, 1983.
- [DES-80] : DESSIMOZ J.D.
Specialized edge trackers for contour extraction line thinning.
Signal processing, vol. 2, pp 71-73, 1980.
- [DRE-78] : DRESCHLER L. et NAGEL H.H.
Using affinity for extracting images of moving objects from T.V frame
sequences.
Institut für informatik, Hamburg, 1978.
- [DUD-72] : DUDA R. et HART P.
Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures.
A.A.C.M., vol. 15, 1, 1972.
- [END-71] : ENDLICH R.M., WOLF D.E. et HALL D.J.
Use of pattern recognition technique for determining cloud motions.
Journal of Applied Meteorology, vol. 10, pp 105-117, 1971.
- [FAU-80] : FAUGERAS O.D.
Texture analysis and classification using a human visual model vision by
ordinator.
I.N.R.I.A., 1983.

[FIS-69] : FISCHLER M.A.

Machine perception and description of pictural data.
Proc. Int. Joint. Conf. on Art. Intel., pp 629-639, 1969.

[FRE-77] : FREI W. et CHEN C.C.

Fast boundary detection: a generalization and a new algorithm.
I.E.E.E. Trans. on Systems, man and Cybernetics, vol. 26, 10, pp 988-998, 1977.

[GAL-74] : GALLOWAY M.

Texture analysis using gray level run lengths.
Comp. G.I.P., vol. 4, pp 172-199, 1974.

[GIL-84] : GILMORE J.F.

Applications of Artificial Intelligence.
Proceedings of S.P.I.E., vol. 485, 1984.

[GRE-63] : GREANIAS E.C., MEAGHER P.F., NORMAN R.J. et ESSINGER J.

The recognition of hand written numerals by contour analysis.
I.B.M. journal, vol. 7, pp 14-21, 1963.

[HAL-xx] : HALL P. et HASS-KLAU C.

Can rail save the city ?
Gower, Aldersshot.

[HAR-72] : HARALIK R.M., SHANMUGAM G. et DINSTEN I.

On scene quickly computable features for texture.
Symp. on Computer Image Processing and Recognition, vol. 2, 1972.

[HAR-79] : HARALIK R.M.

Statistical and structural approaches to texture.
Proc. of the I.E.E.E., vol. 79, pp 786-804, 1979.

[HER-78] : HERMAN G.T. et LIU H.K.

Dynamic boundary surface detection
C.G.I.P., vol. 7, pp 130-139, 1978.

[HOU-62] : HOUGH P.V.C.

Method and means for recognizing complex patterns.
V.S. Patent, 1962.

[HUA-78] : HUANG T.S. et KRICH S.

Weapon guidance using video feed back.
Report of Lincoln laboratory, M.I.T., 1978.

[HUA-81] : HUANG T.S.

Motion estimation: Image sequence analysis.
Springer Verlag, Berlin, 1981.

[JAI-84] : JAIN R.

Differences and accumulative differences pictures in dynamic scene analysis.
Image and Vision Computing, vol. 2, 2, pp 99-110, 1984.

[KEA-82] : KEARVEY J.F. et THOMPSON W.B.

Gradient based estimation of disparity.
I.E.E.E. Conference Publication, Las Vegas, vol. 14, 1982.

[KEL-71] : KELLY M.

Edge detection by computer using planning.
Machine Intelligence, Edinburgh University Press, vol. 6, 1971.

[KES-83] : KESKES N.

Détection de contour dans les images naturelles.
Vision par ordinateur, I.N.R.I.A., 1983.

[KIR-71] : KIRSCH R.

Computer determination of the constituent structure of biological images.
Computer and Biomedical Research, vol. 4, 3, pp 315-328, 1971.

[KOH-81] : KOHLER R.

A segmentation system based on thresholding.
C.G.I.P., vol. 15, pp 319-338, 1981.

[KUH-87] : KUHN F.

Les transports urbains guidés de surface: situation actuelle et perspectives.
I.N.R.E.T.S., et R.T.S., pp 19-28, vol. 13, 1987.

[LAT-84] : LATROUS S.

Reconnaissance des formes et classification automatique du zooplancton par analyse d'images.

Thèse de Docteur Ingénieur, Rennes I, 1984.

[LAU-85] : LAURGEAU C. et PARENT M.

Les machines de vision en productique.

E.T.A., Strasbourg, 1985.

[LEE-80] : LEE J.S.

Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics.

I.E.E.E. Trans. P.A.M.I., vol. 2, 2, 1980.

[LEL-79] : LELIEVRE J.L.

Processus d'acquisition et de traitement d'images en temps réel : Application à l'inspection automatique.

Thèse de Docteur Ingénieur, Lille, 1979.

[LEN-83] : LENZ R. et GERHARD A.

Image sequence coding using scene analysis and spatio temporal interpolation.

Image Sequence Processing. Ed. T.S. Huang, pp 264-274, 1983.

[LEV-77] : LEV A., ZUCKER S.W. et ROSENFELD A.

Iterative enhancement of noisy images.

I.E.E.E. Trans. on Systems, man and cybernetics, vol. SMC 7, 6, 1977.

[LOW-82] : LOWITZ J.

Can a local histogram really map texture information ?

Pattern Recognition, vol. 16, 2, 1982.

[LUC-81] : LUCAS B. et KANABE T.

An iterative image registration technique with an application to stereo vision.

Proceedings of the 5th Int. Joint Conf. on A.I., 1981.

[MAC-81] : MACHUCA R. et GILBERT A.L.

Finding edges in noisy scenes.

I.E.E.E. Trans. on P.A.M.I., vol. 3, 1981.

- [MAI-84] : MAITRE H. et LOPEZ K.J.
Transformation de Hough : Théorie et application à la détection de symétrie circulaire.
Congrès de Reconnaissances de formes, Paris, 1984.
- [MAL-xx] : MALTERRE P.
Du tramway au métro léger.
A.F.A.C., M.T.R.A.M., vol. 350-351.
- [MAR-76] : MARTELLI A.
An application of heuristic search method to contours and edge detection.
Com. Ass. Compt. March., vol. 19, pp 73-83, 1976.
- [MAS-68] : MANSON S.J. et CLEMENS J.K.
Character recognition in an experimental reading machine for the blind.
Recognizing Patterns, pp 156-167, 1968.
- [MIC-78] : MICLET F., GRENIER H. et KALISZEWSKI M.
Reconnaissance de formes.
Cours E.N.S.T., 1978.
- [MIL-76] : MILGRAM D.L. et ROSENFELD A.
Algorithms and hard-ware technology for image recognition.
Night vision laboratory, Fort Belvoi, 1976.
- [MON-71] : MONTANARI U.
On the optimal detection of curves in noisy pictures.
Conf. of the Association for Computers Machines,
vol. 14, 5, pp 335-345, 1971.
- [MUI-81] : MUI J.K. et FU K.S.
A survey of image segmentation.
Pattern Recognition, vol. 13, pp 3-16, 1981.
- [NAR-81] : NARENDRA P.M.
A separable median filter for image noise smoothing.
I.E.E.E. P.A.M.I., vol. 3, 1, 1981.

[PEL-78] : PELEG S. et ROSENFELD A.

Determining compatibility coefficients for curve enhancement relaxation processes.

I.E.E.E. Trans. Syst., Man and Cybernetics,
vol. 8, pp 362-369, 1978.

[PEL-80] : PELEG S.

A new probabilistic relaxation scheme.

I.E.E.E. P.A.M.I., vol. 2, 4, pp 362-269, 1980.

[POS-87] : POSTAIRE J.G., VIEREN C., BOUTRY F., BONNET P. et DEPARIS J.P.

Etude des possibilités offertes par le traitement d'image pour la détection d'obstacles devant un système de transport guidé.

Colloque A.F.C.E.T./G.R.P.T.T.T., Transports guidés, Systèmes, Automatismes et Communications, Paris, 1987.

[POS-87] : POSTAIRE J.G.

De l'image à la décision.

Dunod, 1987.

[POS-87] : POSTAIRE J.G., BOUTRY F. et VIEREN C.

Visual motion understanding for real time control of an urban transport system.

I.F.A.C. workshop on Artificial Intelligence in real-time control (soumis en 1988).

[PRA-78] : PRATT W.

Digital Image Processing.

Wiley-Intersciences, New-York, 1978.

[PRE-66] : PREWITT J.M.S. et MENDELSON M.

The analysis of cell images.

Ann. N.Y. Academy Sciences, vol 128, pp 1035-1053, 1966.

[PRE-70] : PREWITT J.M.S.

Objects enhancement and extraction picture processing and psychopictories.

Academic Press, New York, 1970.

[PUN-80] : PUN T.

A new method for grey level picture thresholding using the entropy of the histogram.

Signal Processing, vol. 2, pp 233-237, 1980.

[RAJ-79] : RAJAGOPALAN V.

A microprocessor oriented segmentation technique.

I.E.E.E. Trans. on Instrumentation and Measure, vol. 28, 1979.

[RAU-75] : RAUDSEPS J.G.

Automatic extraction of highway traffic data from aerial photographs.

Transportation Systems Center, Cambridge, N.T.I.S., 1975.

[ROB-65] : ROBERTS L.G.

Machine perception of 3-dimensional solids. In optical electro-optical information processing.

M.I.T. Press, Cambridge, 1965.

[ROB-77] : ROBINSON G.S.

Edge detection by compass gradient masks.

Computer Graphics and image processing, vol. 6, pp 492-501, 1977.

[ROS-70] : ROSENFELD A.

Connectivity in digitized pictures.

J. Ass. Computing Machine, vol. 17, pp 146-160, 1970.

[ROS-71] : ROSENFELD A.

Edge and curve detection for visual scene analysis.

I.E.E.E. Trans. Compt., vol. C20, pp 562-569, 1971.

[ROS-80] : ROSENFELD A. et DONDES A.

Pixel classification based on grey level and local busyness.

University of Maryland Computer Vision Laboratory, 1980.

[ROS-81] : ROSENFELD A., RUSSEL J. et SMITH C.

Threshold using relaxation.

I.E.E.E. P.A.M.I., vol. 3, 5, pp 598-606, 1981.

[ROS-82] : ROSENFELD A. et KAK A.C.

Digital Picture Processing.
Academic Press, vol. 1, 1982.

[ROS-83] : ROSENFELD A. et DE LA TORRE P.

Histogram concavity analysis as an aid in threshold selection.
I.E.E.E. Trans. on Systems, man and Cybernetics, vol. 13, 3, pp 231-235, 1983.

[SAM-84] : SAMY R.

Traitement de séquence d'images télévision. Application à la poursuite de cibles.
Thèse de l'Université, Aix-Marseille, 1984.

[SCH-74] : SCHROEDER A.

Reconnaissance des composantes d'un mélange gaussien.
Thèse de l'Université, Paris IV, 1974.

[SER-82] : SERRA J.

Image analysis and mathematical morphology.
Academic Press, 1982.

[SHA-78] : SHAPIRO S.D.

Feature space transforms for curve detection.
Pattern recognition, vol. 10, pp 129-143, 1978.

[SKL-72] : SKLANSKY J.

Measuring concavity on a rectangular mosaic.
I.E.E.E. Transaction on Computer, December 1972.

[SQU-83] : SQUALLI A.

Méthodes de détermination d'un champ de vitesse sur un modèle hydraulique
par analyse de séquences d'images.
Electricité de France, Département Essais,
Direction des Etudes et des Recherches, 1983.

[STE-83] : STELMASZYK P.

Application des techniques du traitement d'images à la détection d'obstacles.
Etude bibliographique et essais de laboratoire d'algorithmes de détection
de contours et de mouvement.
Rapport de D.E.A., Lille, 1983.

[STE-85] : STELMASZYK P.

Analyse de scènes dynamiques par recherche des contours des objets en mouvement. Application à l'automatisation d'un tramway.

Thèse de Docteur de l'Université, Lille, 1985.

[STE-85] : STELMASZYK P., POSTAIRE J.G. et BONNET P.

Analyse de scènes dynamiques par recherche des contours en mouvement.

5^{ème} Congrès Reconnaiss. des formes et intelligence artificielle, Grenoble, 1985.

[STU-80] : STUCK F.

Réalisation d'une système adaptatif de traitements d'images pour l'identification et la localisation des pièces en robotique.

Thèse de l'Université, Toulouse, 1980.

[THO-80] : THOMPSON W.B.

Combining motion and contrast for segmentation.

I.E.E.E., P.A.M.I., vol. 2, 1980.

[TOU-76] : TOU J.S. et CHANG Y.S.

An approach to texture pattern analysis and recognition.

Proc. I.E.E.E. Conf. on Decision and Control, 1976.

[TOU-87] : TOUZANI A.

Classification automatique par détection des contours des modes des fonctions de densité de probabilité multivariées et étiquetage probabiliste.

Thèse de Doctorat d'Etat, Lille, 1987.

[THU-66] : THURSTON M. et ROSENFELD A.

Sequential operations in digital picture processing.

J. Ass. Computer Mach., vol. 13, 4, pp 471-494, 1966.

[TUK-76] : TUCKEY J.W.

Exploratory data analysis.

Addison-Wesley, Reading, Mass., 1971.

[UNS-82] : UNSER M. et DE COULON F.

Detection of defects by texture monitoring in automatic visual inspection.

2th Int. Conf. on Robot Vision and Sensory Control, pp 27-38, Stuttgart, 1982.

- [VIE-87] : VIEREN C., BOUTRY .F, BONNET P. et POSTAIRE J.G.
Rapport final sur l'avancement des travaux sur les applications des techniques de traitement d'images à la conduite automatique des systèmes de transports guidés.
Marché I.N.R.E.T.S./C.R.E.S.T.A. et l'U.S.T.L.F.A., Lille, 1987.
- [VIE-88] : VIEREN C.
Segmentation de scènes dynamiques en temps réel. Application au traitement de séquences d'images pour la surveillance de carrefours routiers.
Thèse de l'Université, Lille, 1988.
- [WAG-83] : WAGNUCCI A., WANG D. et LI C.C.
Digital image enhancement : a survey.
C.G.I.P., vol. 24, pp 363-381, 1983.
- [WAN-84] : WANG S.
Automatic multithresholding.
C.G.I.P., vol. 25, pp 6-67, 1984.
- [WAT-74] : WATANABE S.
An automated apparatus for cancer prescreening.
Computer Graphics and Image Processing, vol. 3, 1974.
- [WES-74] : WESKA J.S., NAGEL R.N. et ROSENFELD A.
A threshold selection technique.
I.E.E.E. Trans. Computer, vol. C23, pp 1322-1326, 1974.
- [WES-78] : WESZKA J.S.
A survey of threshold selection techniques.
Computer graphics and image processing, vol. 7, pp 259-265 1978.
- [WOH-83] : WOHN K., DAVIS L.S. et THRIFT P.
Motion estimation based on multiple local constraints and non linear smoothing.
Pattern Recognition, vol. 16, 6, 1983.

[YAC-78] : YACHIDA M., ASADA M. et TSUJI S.

Automatic analysis system of moving objects from the records of natural processes.

Proc. Int. Joint. Conf. on Pattern Recognition,
pp 726-730, Kyoto, 1978.

[YAN-81] : YANG Y.H. et SZE T.W.

A simple contour matching algorithm.

I.E.E.E. P.A.M.I., vol. 1, pp 562-564, 1981.

[ZAH-72] : ZAHN C.T. et ROSKIES R.Z.

Fourier descriptor from plane closed curves

I.E.E.E. Computer, vol. C21, pp 269-281, 1972.



RESUME

Dans cette étude, on montre comment exploiter certaines techniques d'analyse de scènes dynamiques en vue de la conduite de véhicules guidés dans un environnement encombré d'obstacles mobiles.

Après un bref rappel des techniques de base du traitement des images statiques dans le chapitre 1 et des images dynamiques dans le chapitre 2, on retient la méthode de détection des contours des objets en mouvement qui a le mérite de ne nécessiter aucune connaissance a priori, ni sur le nombre, ni sur les caractéristiques des mobiles présents dans la scène.

Afin d'exploiter les résultats de cette segmentation, on propose de modéliser les contours des objets mobiles par des octogones dans le chapitre 3. Une technique de mise en correspondance permet d'apparier les octogones entre eux afin de suivre le mouvement des véhicules d'une image à l'autre. La procédure développée lève les ambiguïtés survenant lors de l'analyse des images successives d'une scène réelle. Elle repose sur des principes de conservation d'attributs et des tests de vraisemblance.

Dans le chapitre 4, on illustre cette approche en analysant une scène de trafic urbain dans laquelle évolue un tramway. La topographie de la zone surveillée et les mobiles détectés et modélisés sont codés pour être mémorisés dans des fichiers qui intègrent des connaissances a priori sur le code de la route et le comportement habituel des conducteurs de véhicules. En exploitant ce codage et ces connaissances, on prédit les lieux, les temps et les durées de traversée des voies par les mobiles afin de piloter automatiquement le tramway en évitant les obstacles.

Finalement, on expose dans le chapitre 5, la stratégie de conduite automatique adoptée. Elle est basée sur l'exploitation d'une représentation spatio-temporelle du comportement des véhicules et du tramway.

Mots clés : Traitement d'image.

Analyse de scène dynamique.

Compréhension du mouvement.

Conduite automatique de véhicule guidé.