

Certu

CETE

Les rapports d'étude

La détection des deux-roues motorisés : quels systèmes, quels outils ?



La détection des deux-roues motorisés dans le trafic :

quels systèmes, quels outils ?

(décembre 2009)

Décembre 2010



centre d'Études sur les réseaux,
les transports, l'urbanisme
et les constructions publiques
9 rue Juliette Récamier
69456 Lyon Cedex 06
téléphone : 04 72 74 58 00
télécopie : 04 72 74 59 00
www.certu.fr

Avis aux lecteurs

La collection Rapports d'étude du Certu se compose de publications proposant des informations inédites, analysant et explorant de nouveaux champs d'investigation. Cependant l'évolution des idées est susceptible de remettre en cause le contenu de ces rapports.

Le Certu publie aussi les collections :

Dossiers : Ouvrages faisant le point sur un sujet précis assez limité, correspondant soit à une technique nouvelle, soit à un problème nouveau non traité dans la littérature courante. Le sujet de l'ouvrage s'adresse plutôt aux professionnels confirmés. Ils pourront y trouver des repères qui les aideront dans leur démarche. Mais le contenu présenté ne doit pas être considéré comme une recommandation à appliquer sans discernement, et des solutions différentes pourront être adoptées selon les circonstances.

Références : Cette collection comporte les guides techniques, les ouvrages méthodologiques et les autres ouvrages qui, sur un champ donné, présentent de manière pédagogique ce que le professionnel doit savoir. Le Certu a suivi une démarche de validation du contenu et atteste que celui-ci reflète l'état de l'art. Il recommande au professionnel de ne pas s'écarter des solutions préconisées dans le document sans avoir pris l'avis d'experts reconnus.

Débats : Publications recueillant des contributions d'experts d'origines diverses, autour d'un thème spécifique. Les contributions présentées n'engagent que leurs auteurs.

Catalogue des publications disponible sur : <http://www.certu.fr/catalogue>

Historique des versions du document

Version	Auteurs	Relecteurs
Version01	Rosey F. Subirats P.	Violette E. Bacelar A. (Certu)
Version Finale	Rosey F. Subirats P.	Violette E.

Avertissement

les liens vers les sites internet sont proposés à titre informatif. Leur contenu et leur accessibilité ne sont pas garantis.

Crédit photos :

Lucien DI GIACOMO

David DOUCET

Jean-Yves LEBOURG

Gautier LOIZEAU

Organisme commanditaire : Certu : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques 9, rue Juliette Récamier 69456 Lyon Cedex 06 - Tél : 04 72 74 58 00 - Fax : 04 72 74 59 00			
Titre : La détection des deux-roues motorisés dans le trafic, quels systèmes, quels outils ?			
Sous-titre :		Date d'achèvement : Décembre 2009	Langue : Français
Organisme auteur : Cete Normandie-Centre 10 Chemin de la Poudrière - BP 245 - 76121 Le Grand-Quevilly Cedex		Rédacteurs ou coordonnateurs : Florence Rosey et Peggy Subirats (département infrastructures de transports multimodales)	Relecteur assurance qualité : Alexis Bacelar, Certu
Résumé L'objectif de cet état de l'art est d'identifier les systèmes et les outils existants pouvant précisément et efficacement détecter les 2RM dans le trafic. Seront pris en compte aussi les possibilités d'application quel que soit le type de route et la flexibilité d'utilisation dans la détection. Différents systèmes de détection existent, ils sont automatisés ou non. Néanmoins, ces systèmes automatisés sont principalement développés pour les véhicules motorisés et principalement les voitures et les camions. Du fait des techniques d'automatisation, très peu sont applicables à la détection des deux-roues qu'ils soient motorisés ou non. La détection des 2RM est d'autant plus difficile du fait du gabarit (i.e., petit et léger) et des comportements des motocyclistes (i.e., remontée de file, passage sur bande d'arrêt d'urgence, etc.). Il y a donc très peu voire pas de systèmes efficaces ou efficaces applicables à la détection des 2RM. Les technologies, nombreuses et identifiées pour la détection du trafic, sont les systèmes à micro-ondes, les méthodes par traitement d'image, les boucles magnétiques, câbles piézoélectriques, les systèmes infra rouges passifs et actifs. Le traitement vidéo et les infra rouges sont les deux technologies les plus utilisées dans l'analyse du trafic et qui sont sujet à des développements. Par contre, leur application pour les 2RM n'apparaît pas être un objectif. Actuellement, très peu de laboratoires de recherche travaillent sur ce sujet. Le constat est le même chez les industriels. Il apparaît que pour détecter les 2RM (ou non) qu'il faille combiner des capteurs et ou des technologies, les existantes n'étant pas efficaces mais des pistes intéressantes existent.			
Observations : A mettre sur le portail de l'environnement : oui <input type="checkbox"/> non <input checked="" type="checkbox"/> Autres			
Thème général et thème : Sécurité et circulation routières ; Motos			
Ouvrages sur le même thème			
Mots clés : Détection, capteur, deux-roues motorisés, comptage, sécurité routière		Diffusion : Libre	Web : oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>
Nombre de pages : 88 pages	Tirage :	Confidentialité : NON	Bibliographie : OUI

Table des matières

Introduction.....	7
I. Préambule	8
I.A. Les catégories de 2RM.....	8
I.A.1. Les catégories administratives.....	8
I.A.1.1. Cyclomoteurs.....	8
I.A.1.2. Motocyclettes.....	8
I.A.2. Le code de la route.....	9
I.A.3. Le cas particulier des trois-roues.....	10
I.B. Les comportements des 2RM : les études existantes.....	11
I.B.1. Étude du LREP pour la DREIF (2005).....	11
I.B.2. Études Cete NC 1997 et 2009.....	12
I.B.2.1. Étude de 1997 [5].....	13
I.B.2.2. Étude Cete NC 2009.....	14
I.B.3. Bilan.....	24
II. Les systèmes de détection en analyse de trafic.....	26
II.A. Les systèmes physiques.....	26
II.A.1. Les systèmes physiques intrusifs.....	26
II.A.1.1. Tubes pneumatiques.....	26
II.A.1.2. Boucles magnétiques.....	27
II.A.1.3. Câbles piézoélectriques.....	29
II.A.2. Les systèmes physiques non intrusifs.....	29
II.A.2.1. Radar.....	29
II.A.2.2. Détecteurs acoustiques.....	31
II.A.2.3. Systèmes infra rouges.....	31
II.B. Les systèmes vidéos.....	32
III. Les systèmes développés par les industriels et les laboratoires de recherche.....	34
III. A- Les industriels.....	34
III.A.1. Les systèmes vidéo.....	34
III.A.1.1. OPTELECOM nkf (Allemagne).....	36
III.A.1.2. ACIC - Intelligent Vision Systems (Belgique).....	36
III.A.1.3. CAPFLOW (Belgique).....	38
III.A.1.4. ACISA markets VISIOWAY (Espagne).....	39
III.A.1.5. FAMAS System Spa (Italie).....	39
III.A.1.6. TRAFICON.....	40
III.A.1.7. IMAGE SENSING SYSTEMS (USA).....	41
III.A.1.8. ITERIS (USA).....	41
III.A.2. Les systèmes physiques de détection – Intrusifs.....	42
III.A.2.1. CAPSYS (France).....	42
III.A.2.2. Eco Compteur (France).....	43

III.A.2.3. SFÉRIEL (France).....	45
III.A.2.4. SENSOR LINE (Allemagne)	45
III.A.2.5. CA-Traffic (Counters & Accessories ltd.) (Angleterre).....	48
III.A.2.6. Diamond Consulting Services Ltd. (Angleterre).....	49
III.A.2.7. SENSYS Networks (USA).....	50
III.A.3. Les systèmes physiques de détection – Non Intrusifs.....	51
III.A.3.1. MAGSYS (France).....	51
III.A.3.2. STERELA (France).....	53
III.A.3.3. WAVETEC (Allemagne).....	54
III.A.3.4. WEISS Electronic (Allemagne).....	54
III.A.3.5. EFKON (Autriche).....	55
III.A.3.6. ICOMS (Belgique).....	56
III.A.3.7. Noptel (Finlande).....	57
III.A.3.8. AADI DATAREC (Norvège).....	58
III.A.3.9. TRAFFIC TECHNOLOGY 2000 (Canada).....	59
III.A.3.10. MACQ Electronique.....	60
III.A.3.11. TDS (Transport Data System) (USA).....	61
III.A.3.12. Advanced Device (Thaïlande).....	64
III.A.4. Entreprises " non-retenues ".....	65
III.A.5. Conclusion sur les entreprises.....	65
III.B. Les laboratoires de recherche et instituts.....	67
III.B.1. Traitement en temps différé.....	67
III.B.2. Traitement en temps différé, possibilité en temps réel.....	67
III.B.3. Traitement en temps réel.....	68
III.C. Évaluation des systèmes de détection, classification et de suivi des 2RM ou vélos par des organisations publiques	76
IV- Conclusion.....	82
Références	83
Références exploitées.....	83
Références non exploitées.....	85
Liste des sites des entreprises.....	87

Introduction

Un état de l'art sur les systèmes de détection et de comptage des deux-roues a été demandé par le Certu. Cette étude a été réorientée sur les systèmes de détection des deux-roues motorisés (2RM).

L'objectif de cet état de l'art est d'identifier les systèmes et les outils existants pouvant précisément et efficacement détecter les 2RM dans le trafic. Seront pris en compte aussi les possibilités d'application quel que soit le type de route et la flexibilité d'utilisation dans la détection.

Différents systèmes de détection existent, ils sont automatisés ou non. Néanmoins, ces systèmes automatisés sont principalement développés pour les véhicules motorisés et principalement les voitures et les camions. Du fait des techniques d'automatisation, très peu sont applicables à la détection des deux-roues qu'ils soient motorisés ou non. La détection des 2RM est d'autant plus difficile du fait du gabarit (*i.e.* petit et léger) et des comportements des motocyclistes (*i.e.* remonté de file, passage sur bande d'arrêt d'urgence, etc.). Il y a donc très peu voire pas de systèmes efficaces ou efficaces applicables à la détection des 2RM.

L'objectif principal de cette étude est d'identifier et d'évaluer les systèmes de détection des 2RM couramment utilisés en analyse du trafic. Les technologies identifiées sont les systèmes à micro-ondes, les méthodes par traitement d'image, les boucles magnétiques, câbles piézoélectriques, les systèmes infrarouges passifs et actifs. Le traitement vidéo et les infrarouges sont les deux technologies les plus utilisées dans l'analyse du trafic et qui sont sujet à des développements. Par contre, leur application pour les 2RM n'apparaît pas être un objectif. Actuellement, très peu de laboratoires de recherche travaillent sur ce sujet. Le constat est le même chez les industriels. Il apparaît que pour détecter les 2RM (ou non) il faille combiner des capteurs et/ou des technologies, les existantes n'étant pas efficaces mais des pistes intéressantes existent.

Les actions réalisées sont les suivantes :

- 1- identifier des systèmes de détection automatique,
- 2- déterminer leurs possibilités d'application aux 2RM,
- 3- identifier les laboratoires de recherche et les industriels " spécialisés " ou travaillant sur la problématique de la détection des 2RM.

Le présent rapport se décompose en quatre parties. Dans la première partie, un préambule fait le bilan des catégories de 2RM existants sur le marché et présente les principales études menées par le Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre (CETE-NC) depuis 1997. La deuxième partie de ce rapport présente les systèmes physiques de détection existants en analyse du trafic. Dans la troisième partie, nous faisons le bilan des méthodes vidéo existantes. Enfin la dernière partie de ce rapport présente les systèmes développés et mis en application par les entreprises et les laboratoires de recherche.

I. Préambule

I.A. Les catégories de 2RM

I.A.1. Les catégories administratives

Pour l'administration, les 2RM sont classés en deux catégories de véhicules : les cyclomoteurs et les motocyclettes. Nous présentons ces deux catégories de véhicules dans les deux parties suivantes.

I.A.1.1. Cyclomoteurs

Les cyclomoteurs sont caractérisés par une cylindrée $\leq 50\text{cm}^3$ et une vitesse maximale $\leq 45\text{km/h}$. Il y a les cyclomoteurs de type mobylette et de type scooter (figure 1).



Figure 1. Photos de cyclomoteurs (d'après [1]).

I.A.1.2. Motocyclettes

Les motocyclettes se répartissent en deux sous-catégories :

* les motos légères (MTL) dont la cylindrée n'excède pas 125 cm^3 et la puissance 11 kW (15ch). On trouve les motos de type scooter,

* les motos dont la cylindrée excède 125 cm^3 et la puissance, soit n'excède pas 25 kW (34ch) (motos MTT1), soit peut atteindre $73,6\text{ kW}$ (100ch) (motos MTT2). Cette catégorie regroupe les motos cross, utilitaires, maxi-scooters, roadsters, routières, trails, sportives, grand tourisme, et les customs (figure 2).



Figure 2. Exemples de motos dont la cylindrée est supérieure à 125 cm³ (d'après [1]).

Les photos présentées soulignent bien la difficulté supplémentaire dans la détection des 2RM et dans la distinction entre catégories de 2RM.

La catégorie des 2RM inclut également les side-cars et les trois-roues motorisés. La catégorie trois-roues (figure 3) comprend des véhicules de 3 puissances : 125, 250 et 400 cm³.



Figure 3. Photo d'un trois-roues.

I.A.2. Le code de la route

Dans le code de la route (article R.311-1 du code de la route, Code de la route [2]) les 2RM appartiennent à la catégorie L (i.e., véhicules à moteur à deux ou trois-roues et quadricycles à moteur). Pour cette étude ne sont abordées ci-dessous que les catégories qui concernent les deux-roues ou trois-roues. Dans la catégorie L, il existe des sous catégories de véhicules :

a- véhicule de catégorie L1e : véhicule à deux-roues dont la vitesse maximale par construction est égale ou supérieure à 6 km/h et ne dépasse pas 45 km/h et équipé d'un moteur d'une cylindrée ne dépassant pas 50 cm³ s'il est à combustion interne ou d'une puissance maximale nette n'excédant pas 4 kilowatts pour les autres types de moteur ;

b- véhicule de catégorie L2e : véhicule à trois-roues (L2e) dont la vitesse maximale par construction est égale ou supérieure à 6 km/h et ne dépasse pas 45 km/h et équipé d'un moteur d'une cylindrée ne dépassant pas 50 cm³ s'il est à allumage commandé ou d'une puissance maximale nette n'excédant pas 4 kilowatts pour les autres types de moteur ;

c- véhicule de catégorie L3e : véhicule à deux-roues sans side-car, équipé d'un moteur d'une cylindrée supérieure à 50 cm³ s'il est à combustion interne et/ou dont la vitesse maximale par construction est supérieure à 45 km/h ;

d- véhicule de catégorie L4e : véhicule à deux-roues avec side-car, équipé d'un moteur d'une cylindrée supérieure à 50 cm³ s'il est à combustion interne et/ou dont la vitesse maximale par construction est supérieure à 45 km/h ;

e- véhicule de catégorie L5e : véhicule à trois-roues symétriques, équipé d'un moteur d'une cylindrée supérieure à 50 cm³ s'il est à combustion interne et/ou dont la vitesse maximale par construction est supérieure à 45 km/h ;

f- cyclomoteur : véhicule de catégorie L1e ou L2e ;

g- motocyclette : véhicule de catégorie L3e ou L4e et dont la puissance n'excède pas 73,6 kilowatts (100 ch.) ; l'adjonction d'un side-car à une motocyclette ne modifie pas le classement de celle-ci ;

h- motocyclette légère : motocyclette dont la cylindrée n'excède pas 125 cm³ et dont la puissance n'excède pas 11 kilowatts ; les motocyclettes qui, avant le 5 juillet 1996, étaient considérées comme motocyclettes légères ou qui avaient été réceptionnées comme telles restent classées dans ces catégories après cette date, à l'exception des véhicules à deux-roues à moteur dont la cylindrée n'excède pas 50 cm³ et dont la vitesse n'excède pas 45 km/h munis d'un embrayage ou d'une boîte de vitesses non automatique qui sont des cyclomoteurs ; les véhicules à deux-roues à moteur d'une cylindrée n'excédant pas 125 cm³ mis en circulation sous le genre " vélomoteur " avant le 1er mars 1980 sont considérés comme des motocyclettes légères ; l'adjonction d'un side-car à une motocyclette légère ne modifie pas le classement de celle-ci.

I.A.3. Le cas particulier des trois-roues

Rappelons qu'au titre de l'article R311-1 du code de la route le tricycle à moteur est défini comme suit :

" Véhicule à trois-roues symétriques à moteur dont le poids à vide n'excède pas 1 000 kilogrammes et la charge utile pas 1 500 kilogrammes pour les tricycles destinés au transport de marchandises, et 300 kilogrammes pour les tricycles destinés au transport de personnes et qui ne répond pas à la définition du cyclomoteur ".

Cette définition aboutit à ce que certains véhicules trois-roues sont homologués dans la catégorie des motocyclettes (qui nécessite le permis A, moto) et d'autres dans la catégorie des tricycles à moteur (pour lequel le permis B, voiture suffit).

Pour qu'un véhicule à trois-roues soit assimilé à un tricycle à moteur il est nécessaire entre autres, que la largeur des deux roues du véhicule montées sur le même axe soit égale ou supérieure à 460 mm. C'est pourquoi il est maintenant possible que des titulaires uniquement du permis B puissent conduire des trois-roues de cylindrée de 400 cm³ et d'une puissance de 34 ch. En effet, au

départ avec un écartement des deux roues de devant inférieur à 460 mm, les trois-roues rentrent dans la catégorie motocyclette, avec un écartement supérieur à 460 mm.

Les tricycles n'étant limités que par le poids (1000 kg), il est possible de conduire avec un " simple " permis B (voiture), un Can Am Spyder qui est un trois-roues (écartement des deux-roues avant d'1m50) de cylindrée 1000 cm³ et d'une puissance de 106 ch.

I.B. Les comportements des 2RM : les études existantes

Pour détecter correctement les 2RM, il est nécessaire de connaître leur comportement (i.e., placement sur les voies). Actuellement, à notre connaissance une seule étude a été faite pour classer les placements des 2RM [3]. Néanmoins, une étude du CETE-NC, de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (Inrets) et du Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (Certu) (1997) sur l'impact de la réduction du profil en travers des voies rapides urbaines, a permis d'avoir une première idée de ces positionnements.

I.B.1. Étude du LREP pour la DREIF (2005)

La direction régionale de l'équipement d'Île-de-France (DREIF) a commandité une étude sur les comportements des 2RM sur les voies rapides en Île-de-France, pour l'observatoire régional de la sécurité routière. Cette étude réalisée par le laboratoire régional de l'est parisien [3] a concerné l'utilisation des voies en fonction des conditions de circulation et des vitesses pratiquées par rapports aux autres usagers. Dans le cadre de la présente étude, seuls les résultats concernant l'utilisation des voies par les 2RM sont utilisés.

L'étude des comportements des 2RM par le LREP est basée sur des enregistrements vidéo réalisés le long des autoroutes A4 et A6 entre Paris et la Francilienne en 2002. Les résultats du dépouillement montrent que :

- * lorsque le trafic est fluide, la plupart des 2RM circulent comme les autres usagers dans l'une des voies,
- * lorsque le trafic s'intensifie, 70 % des 2RM remontent les files de voitures entre la 2^{ème} et 3^{ème} voie (80 % en circulation saturée) mais pratiquement jamais entre la 1^{ère} et la 2^{ème} voie,
- * ils doublent les autres usagers entre la 2^{ème} et 3^{ème} voie,
- * pour la bande d'arrêt d'urgence (BAU), les 2RM l'utilisent marginalement excepté lorsque le trafic est saturé. La figure 4 (ci-dessous) illustre l'utilisation des voies par les 2RM en fonction des conditions de circulation.

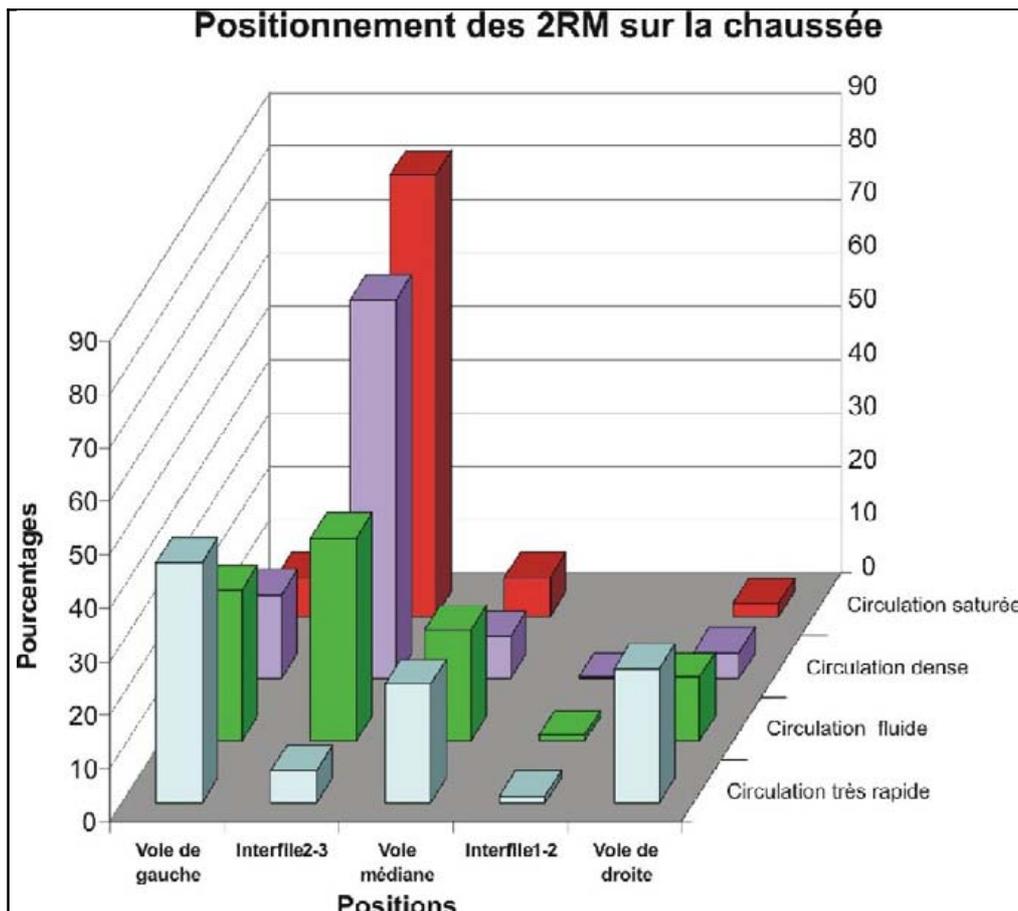


Figure 4. Histogramme de l'utilisation des voies par les 2RM en fonction des conditions de circulation pour tous les sites étudiés [3].

I.B.2. Études Cete NC 1997 et 2009

Dans cette partie nous présentons les études du Cete Normandie Centre (Cete NC) sur les positions des 2RM sur la chaussée. Afin de faciliter la lecture des histogrammes dans le cas où les données existent, les définitions suivantes sont retenues :

- * bande dérasée correspond aux données le long de la bande dérasée,
- * interfile 3-4 correspond aux données entre la 3^{ème} et 4^{ème} voie,
- * interfile 2-3 correspond aux données entre la 2^{ème} et 3^{ème} voie,
- * voie de gauche, voie de droite et BAU correspondent aux données au centre de ces voies.

Dans ces études, aux états de trafic (i.e., fluide, dense et saturé) ont été accrochés les niveaux de service. Ces états de trafic, exprimés en véhicules par heure (véh./h) ont été déterminés par le débit (i.e., saturé correspond à 85 % de la capacité de la voie, dense à 70 % et fluide à plus de 85 %) avec un levé de doute par vidéo. La pré-visualisation des vidéos a montré que la détermination des états de trafic uniquement à partir du nombre de véhicules par heure ne reflétait pas assez finement la situation rencontrée par les usagers. Un levé de doute par vidéo a donc été réalisé. Cette non correspondance peut s'expliquer du fait que les trois voies observées sont des trois voies péri-urbaines et non des autoroutes à trois voies.

La notion de niveau de service fait référence aux conditions de circulation observées localement sur le tronçon. Les travaux entrepris en France sur ce thème conduisent à adopter une

nomenclature fondée sur quatre niveaux (au lieu de six dans le manuel américain des capacités [4]) : la fluidité, un trafic de fluide à dense, une circulation à capacité, la saturation. Le tableau ci-dessous donne le nombre de niveaux de service.

Tableau 1. Niveaux de services utilisés dans l'étude

Nombre de voies	Capacité	Saturé	Dense	Fluide
2	4000	< 3400	< 2800	> 2800
3	6000	< 5100	< 4200	> 4200
4	8000	< 6800	< 5600	> 5600

I.B.2.1. Étude de 1997 [5]

L'expérimentation a été réalisée sur une section de l'A6a à trois voies dans le Val-de-Marne entre le PR6-500 et le PR8-400 (figure 5).



Figure 5. Autoroute A6a (94). Carte du site étudié (à gauche) et photo du site au PR6-498.

Dans la présente étude nous utilisons uniquement les données concernant les 2RM. La circulation des 2RM a été étudiée à partir de prises de vues au milieu de la section. Environ 70 heures de circulation ont été analysées pour les deux configurations de profil en travers (i.e., 13,75 m et 12 m) et dans des conditions de circulation variant du trafic fluide à la saturation, ce qui correspond à environ 7 000 motos prises en compte sur chaque profil.

De manière générale, le constat est qu'en trafic fluide de milieu de journée (3 500 véh./h), 80 % des 2RM circulent dans les voies de circulation et que les 20 % restant utilisent en majorité l'interfile de gauche (i.e., interfile 2-3). En circulation dense (5 100 véh./h), il n'y a plus que la moitié des 2RM dans les voies. L'autre moitié est dans l'interfile de gauche (i.e., interfile 2-3). En régime saturé, les trois quarts des 2RM utilisent l'interfile de gauche (i.e., interfile 2-3) et la circulation sur la bande d'arrêt d'urgence (BAU) n'est pas négligeable (figure 6).

La réduction du profil en travers, en condition fluide, n'affecte pratiquement pas la position des 2RM. En condition dense, la fréquentation de l'interfile gauche (i.e., interfile 2-3) diminue de 50 à 37 % au profit des voies, notamment celle de gauche. En trafic saturé, l'utilisation de l'interfile de

gauche (i.e., interfile 2-3) diminue de 78 à 69 % au bénéfice de la voie de gauche et dans une moindre mesure de la BAU (figure 6).

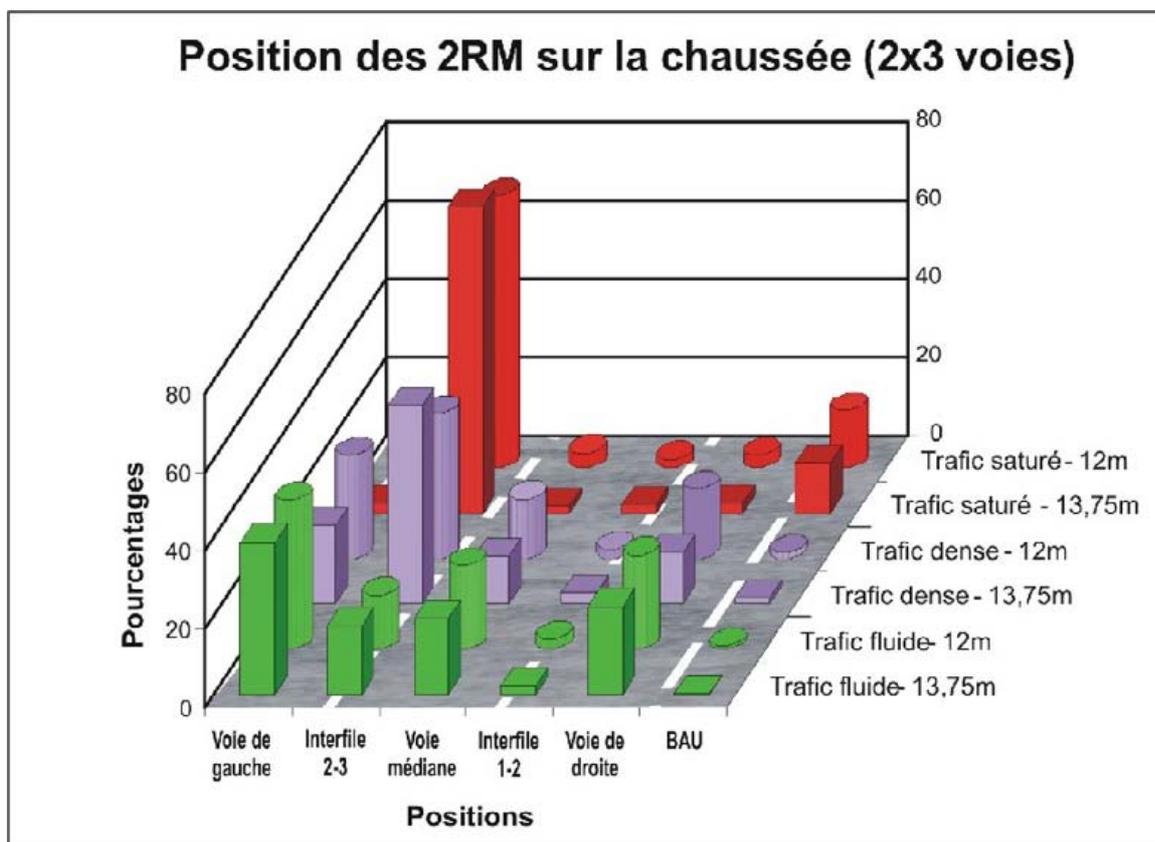


Figure 6. Histogramme des positions latérales des 2RM, avant réduction de la chaussée (13,75 m, cylindres) et après (12m, barres) selon le régime de trafic, i.e., fluide (vert), dense (violet) et saturé (rouge).

Cette étude montre que le choix de placement sur les voies des 2RM est principalement déterminé par les conditions de circulation.

1.B.2.2. Étude Cete NC 2009

L'objectif de cette étude était de caractériser les comportements des 2RM en les comptant et en identifiant leur positionnement sur la route en fonction des différents paramètres pouvant influencer sur leur choix.

Cette étude s'est déroulée en deux étapes : dans la première nous avons cherché à caractériser les comportements des 2RM lors de déplacements pour un événement particulier (ici, 24 h du Mans Moto). Dans la deuxième, la caractérisation a porté sur différents types de voies de la banlieue parisienne et intra-muros. Dans le cadre de la présente étude, sont présentés les résultats concernant l'autoroute de liaison de Normandie (i.e., A28 à hauteur de Quincampoix) et ceux concernant le boulevard périphérique parisien (i.e., Porte de la Plaine) et de la route nationale 13 (i.e., avenue Charles De Gaulle à Neuilly-sur-Seine).

1.B.2.2.1. Autoroute de liaison : A28 à Quincampoix

Pour cette étude des prises de vue ont été réalisées sur l'autoroute de liaison A28 (limitée à 110 km/h) à hauteur de Quincampoix, pendant deux heures sur un passage supérieur d'une 2x2

voies + BAU (figure 7). Elles ont été effectuées le vendredi 17 avril 2009 (i.e., week-end des 24 h du Mans moto). L'hypothèse était que les comportements des 2RM, lors de déplacements pour des événements particuliers, seraient différents de ceux observés lors de déplacements quotidiens (e.g., travail).

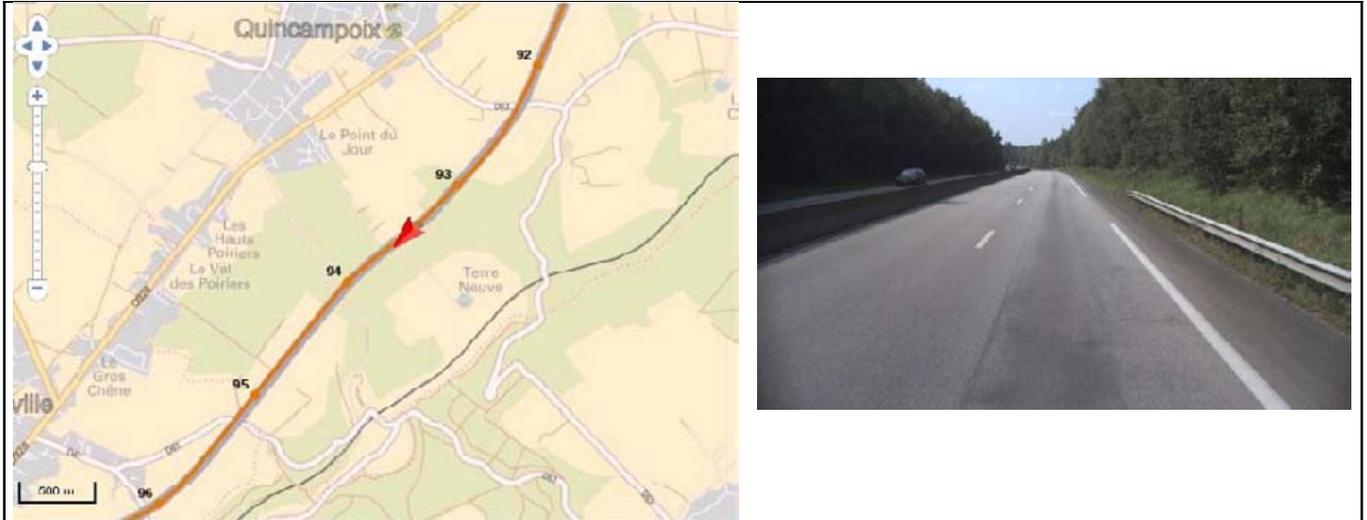


Figure 7. Autoroute A28 (76). Carte du site étudié (à gauche) et photo du site au PR93-621.

Lors de la prise de vue, l'écoulement du trafic était fluide. Pour étudier le placement des 2RM sur la chaussée, les variables utilisées étaient : motard seul ou en groupe, et libre ou contraint. Un motard était considéré comme libre lorsqu'il y avait un espace de 3 à 4 secondes avec le véhicule le précédant et de 2 à 3 secondes avec le véhicule le suivant.

Le terme groupe fait bien référence à un groupe de motards (i.e., ayant des affinités), et ne fait pas en aucun cas référence au terme peloton utilisé en analyse du trafic (i.e., ensemble de véhicules consécutifs dont les trajectoires sont significativement corrélées). Un peloton est donc constitué de véhicules non libres dans leur ensemble, [6]). Le terme " groupe libre " fait référence à un groupe de motards qui n'est pas en interaction avec d'autres véhicules (figure 8). Le terme " groupe contraint " fait référence à un groupe de motards qui est en interaction avec d'autres véhicules (figure 8).

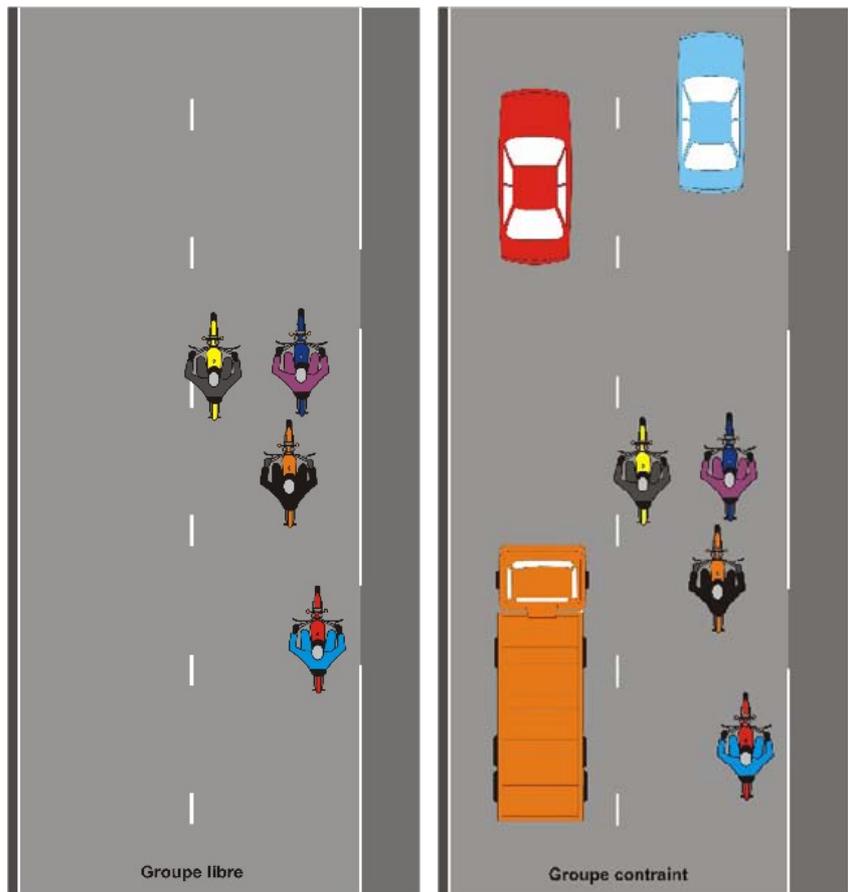


Figure 8. Schémas illustrant les termes groupe libre (à gauche) et groupe contraint (à droite).

Lors du dépouillement cinq positions possibles sur la chaussée ont été déterminées : le long de la bande dérasée, voie de gauche, axiale, voie de droite et bande d'arrêt d'urgence (BAU) (figure 9) :



Figure 9. Photo de la section de l'A28 2x2 voies (PR93-621, 76) avec les positions possibles.

134 motos ont été comptées. Les résultats montrent qu'en condition de trafic fluide, les 2RM se répartissent sur toute la chaussée et n'utilisent pas la BAU (figure 10).

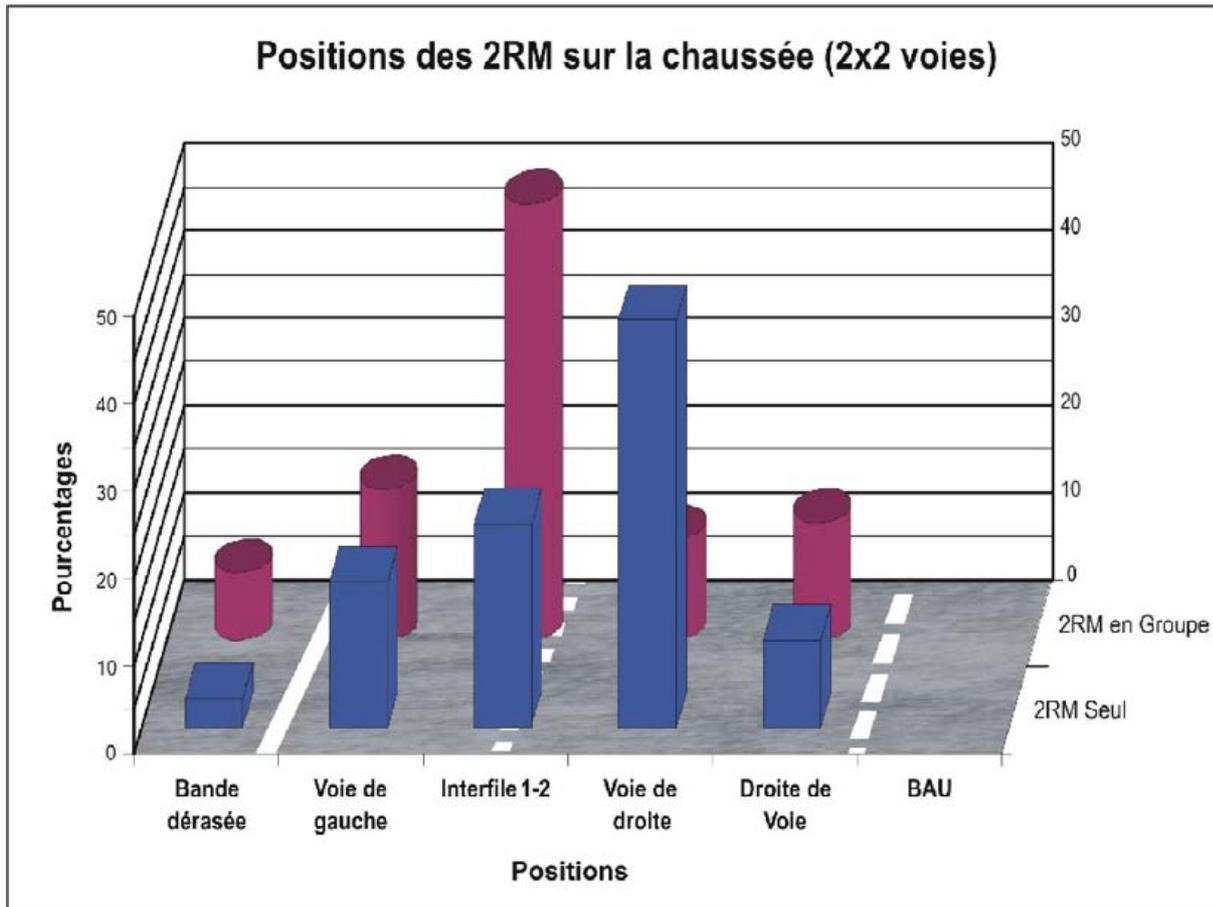


Figure 10. Histogramme des répartitions des positions des 2RM condition "seul" et "en groupe". "Droite de voie" correspond aux données le long de la BAU.

Note : Les données le long de la BAU n'ont pas été agrégées avec celles correspondant à la position au centre de la voie de droite car le trafic étant fluide elles illustrent un comportement voulu "non-contraint". Ce comportement correspond à l'une des règles du code de la route concernant l'usage des voies : "En marche normale, tout conducteur doit maintenir son véhicule près du bord droit de la chaussée, autant que le lui permet l'état ou le profil de celle-ci." (Article R412-9 du code de la route, code de la route [7]).

La répartition des 2RM sur la chaussée est influencée par le fait qu'ils soient libres ou contraints et qu'ils soient "seul" ou "en groupe" (figure 11).

Note : Seuls quatorze 2RM ont été classés en condition "seul".

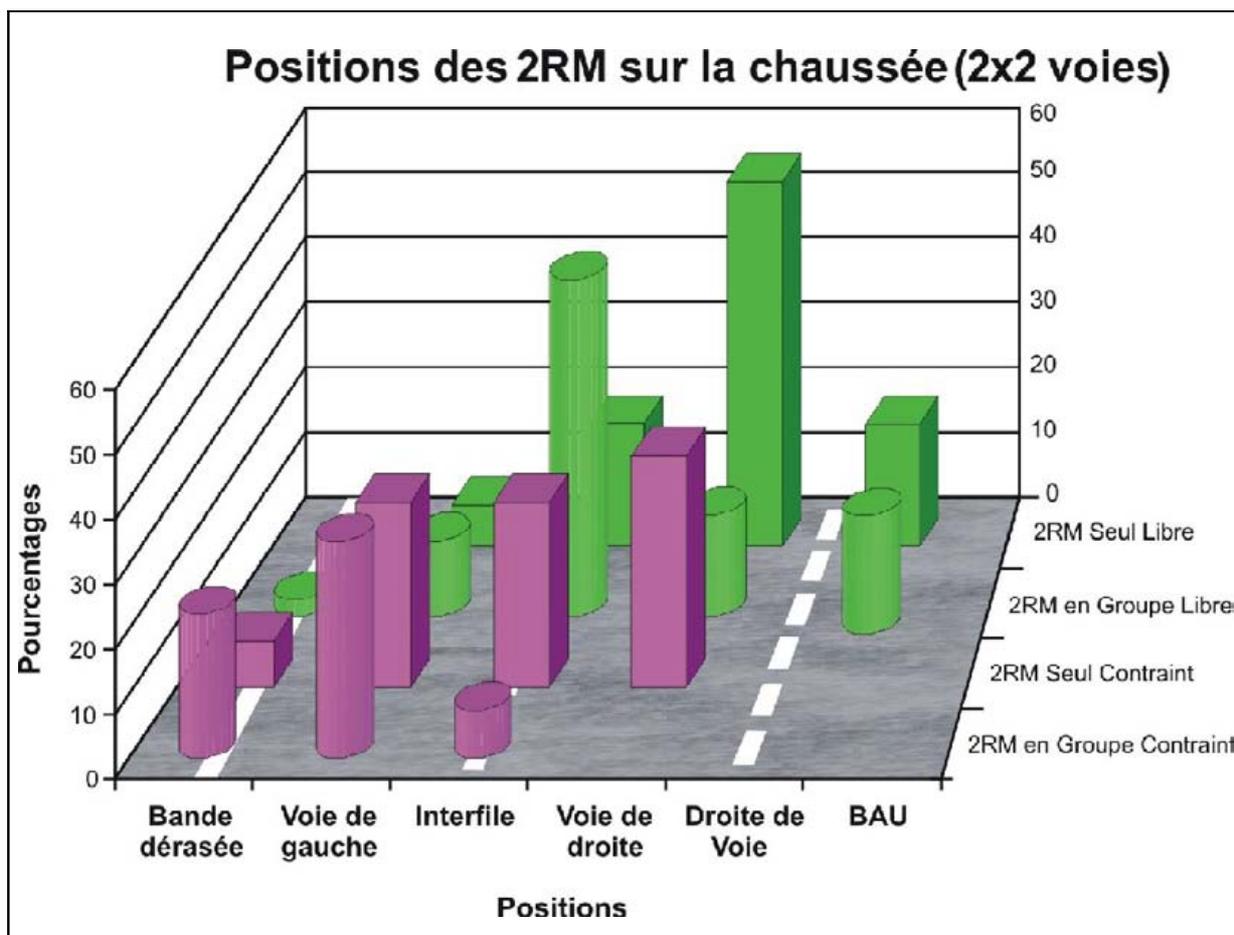


Figure 11. Histogramme des répartitions des positions des 2RM condition seul vs en groupe et libre vs contraint.

Les résultats montrent que lorsque les motards sont " libres ", ils utilisent principalement la voie de droite et un peu l'interfile. Dès que les motards sont " contraints ", qu'ils soient seuls ou en groupe, un glissement vers la voie de gauche et le long de la bande dérasée s'effectue.

1.B.2.2.2. Voie rapide urbaine (VRU)

Dans cette étude des prises de vue ont été réalisées sur une section de la route nationale 13 (i.e., avenue Ch. De Gaulle Neuilly-sur-Seine, au PR7+847, figure 12) et sur une section du boulevard périphérique parisien à la porte de la Plaine (figure 13). Elles ont été effectuées de 8 h 30 à 14 h le 2 juillet 2009, les trois types de trafic, définis précédemment, ont pu être observés.



Figure 12. Avenue Ch. De Gaulle à Neuilly-sur-Seine (92). Carte du site étudié (à gauche) et photos du site au PR7-847 (à droite). En haut, photo du côté à 3 voies (sens Paris-Province), en bas, photo du côté à 4 voies (sens Province-Paris).

La catégorisation en " voie rapide urbaine " pour les sections utilisées a été déterminée à partir de la hiérarchisation du système d'information sur la connaissance du patrimoine du réseau routier national (SICRE) de la direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM). La section observée de la RN 13 est classifiée VRU 50. Nous avons considéré le boulevard périphérique parisien comme un cas particulier de VRU. En effet, les VRU sont caractérisées comme suit :

- * 2 x 2 voies et plus,
- * pas d'accès riverains/échanges dénivelés,
- * limitation de vitesse permanente supérieure à 80 km/h,
- * trafic supérieur à 50 000 véhicules/jour.

La section porte de la Plaine se compose de trois voies (dans le sens Paris-Province) et de quatre voies (dans le sens Province-Paris), de plus le trafic sur le boulevard périphérique de Paris est de 250 000 véhicules/jour sur une grande partie de l'itinéraire [8].

Sur les vidéos, la distinction de manière certaine des différents types de 2RM (i.e., scooters, routières, etc.) n'a pas été possible, aussi notre analyse ne fait pas la distinction entre les différents 2RM.

Le but des dépouillements était de tester la relation entre le débit (i.e., niveau de trafic) et le positionnement des 2RM dans l'interfile de gauche.

Les dépouillements ont été réalisés par séquences de six minutes (i.e., principe des données SIRIUS " six minutes ") pour obtenir le nombre de véhicules par heure (véh./h).

1. Porte de la Plaine sur le périphérique parisien (2x3 voies)



Figure 13. Porte de la Plaine. Carte du site étudié (à gauche) et photos de la porte de Plaine (à droite).

Lors du dépouillement cinq positions possibles sur la chaussée ont été déterminées (figure 14) :



Figure 14. Photo de la configuration de la porte de la Plaine (à gauche) et schéma des positions possibles pour la section étudiée à 3 voies (à droite). Voie de gauche, inter-file 2-3, Voie centrale, inter-file 1-2 et voie de droite.

Sur les 12 séquences réalisées on a observé deux types d'écoulement de trafic : trafic saturé (i.e., $> 4\,500$ véh./h) et trafic dense (i.e., $2\,000 < \text{véh./h} < 3\,000$). Les résultats montrent que les 2RM utilisent principalement l'interfile de gauche (inter-file 2-3) pour les deux types de trafic observés (figure 15).

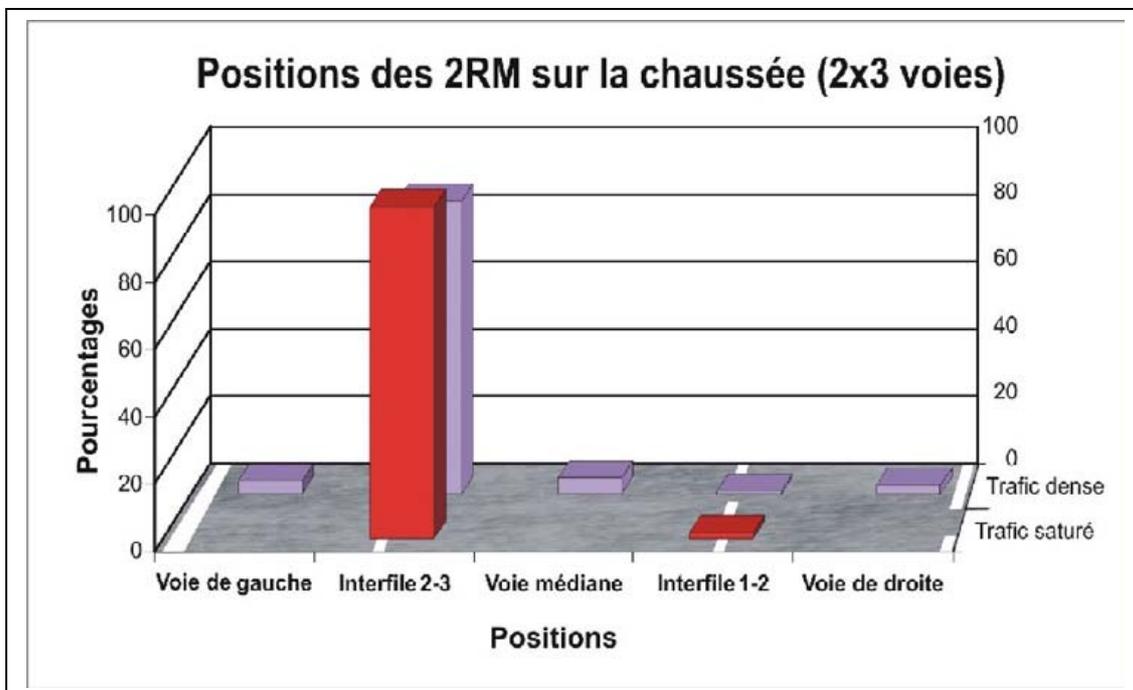


Figure 15. Histogramme des répartitions des positions des 2RM sur la chaussée à 3 voies Porte de la Plaine en fonction des états de trafic : Trafic saturé (en rouge) et trafic dense (en violet).

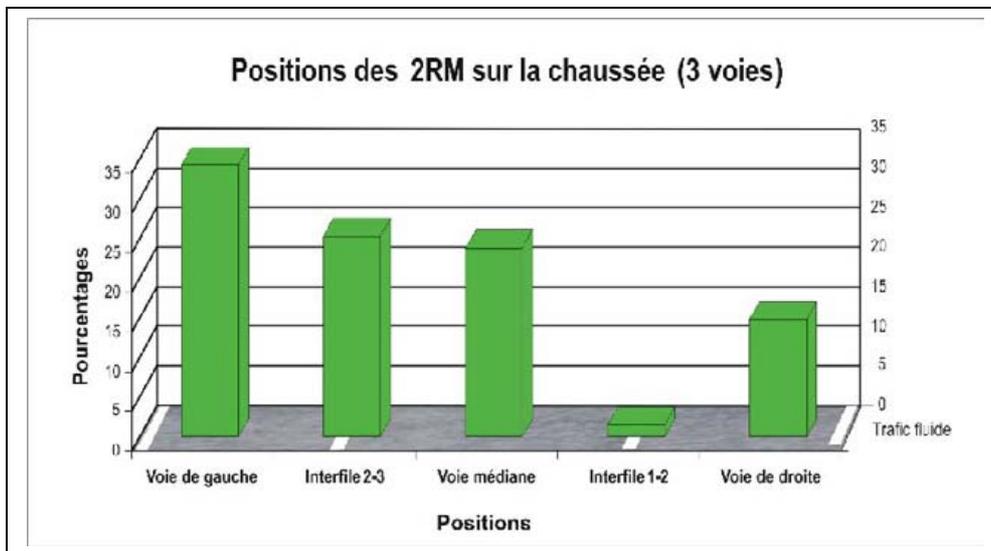
2. Avenue Ch. De Gaulle (RN13) Neuilly-sur-Seine (1x4 voies et 1x3 voies)

Lors du dépouillement pour la partie 1x3 voies les cinq positions possibles sur la chaussée, vues précédemment, ont été utilisées. Pour la partie 1x4voies, sept positions possibles sur la chaussée ont été déterminées (figure 16) :



Figure 16. Photos de la section de l'avenue Charles de Gaulle à Neuilly-sur-Seine. Illustration des positions possibles pour le sens Paris-Province à 3 voies (à gauche) et pour le sens Province-Paris à 4 voies à droite.

Sur les 14 séquences réalisées on a observé trois états de trafic : saturé, dense et fluide pour la partie quatre voies (figure 17) et uniquement fluide pour la partie trois voies (figure 17).



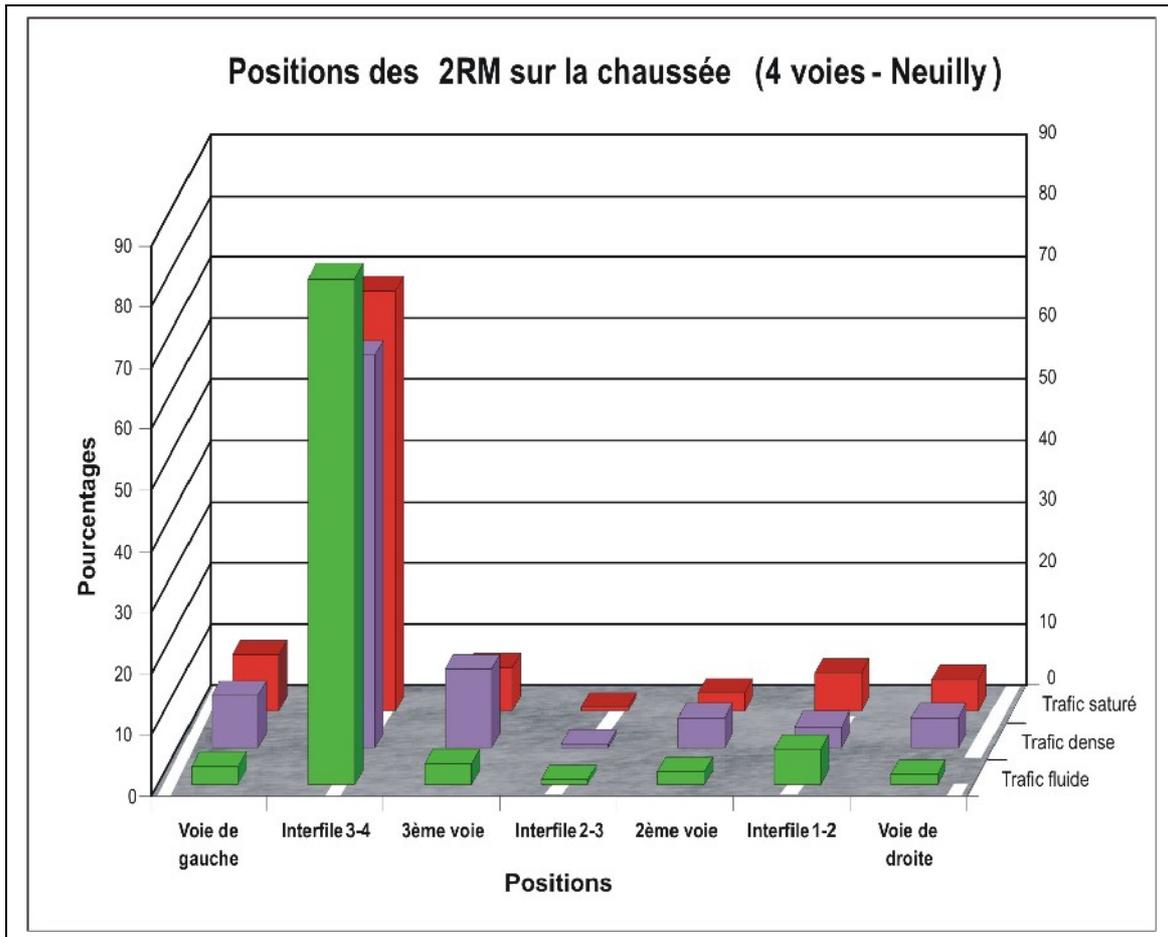


Figure 17. Histogramme des répartitions des positions des 2RM sur la chaussée à 3 voies (en haut) et à 4 voies (en bas) de l'avenue Charles de Gaulle à Neuilly-sur-Seine en fonction des états de trafic : Trafic saturé (en rouge), trafic dense (en violet) et trafic fluide (en vert).

Les résultats montrent comme pour la porte de la plaine que les 2RM utilisent principalement l'inter-file de gauche (i.e., interfile 3-4, figure 18).

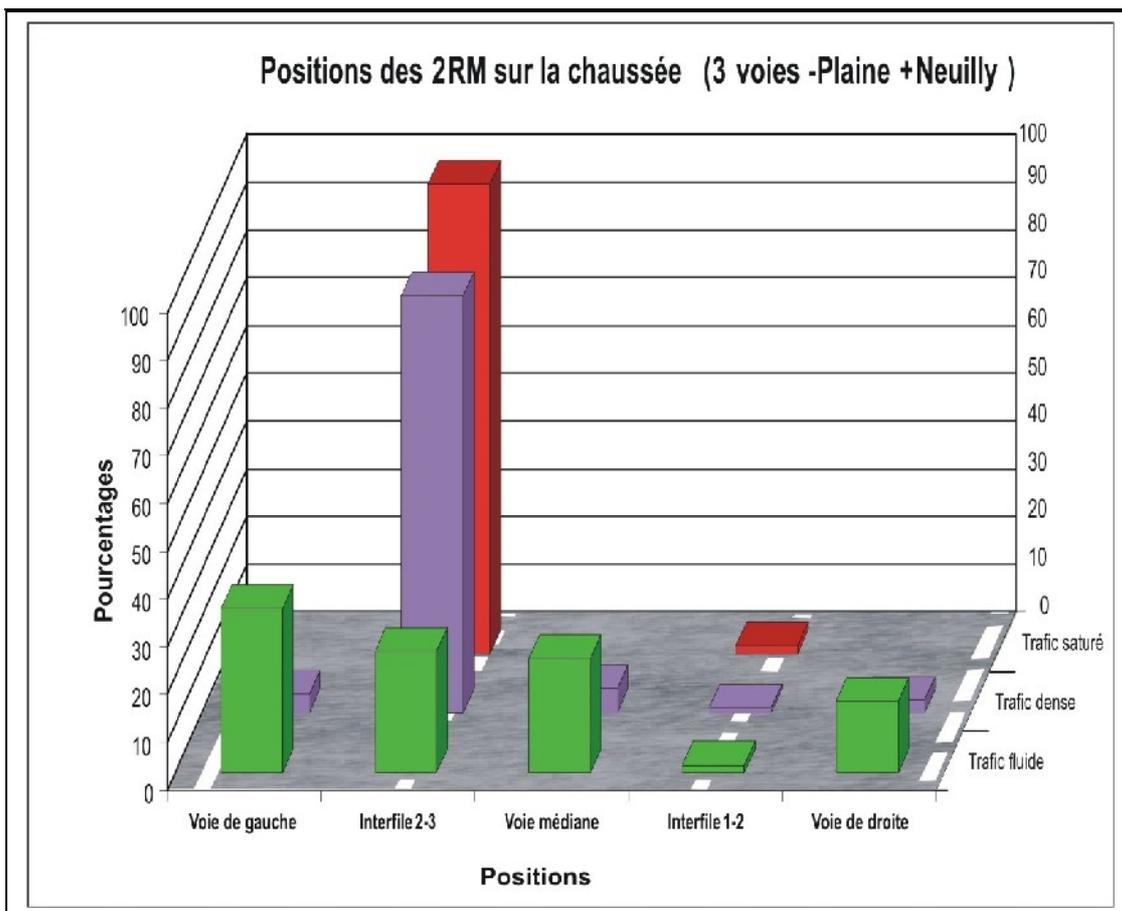


Figure 18. Histogramme des répartitions des positions des 2RM sur les chaussées à 3 voies de porte de la Plaine et de l'avenue Ch. De Gaulle (Neuilly) en fonction des états de trafic : Trafic saturé (en rouge), trafic dense (en violet) et trafic fluide (en vert).

I.B.3. Bilan

Le dépouillement des prises de vue porte de la Plaine et de l'avenue Ch. De Gaulle à Neuilly-sur-Seine a montré que le positionnement des 2RM est variable avec une prédominance pour l'interfile de gauche (i.e., interfile 2-3 ou 3-4). Il a montré aussi qu'il y a une relation entre le taux d'occupation de l'espace roulant (ici, nommé état de trafic pour simplifier la lecture) et la répartition des 2RM. Avec l'augmentation du taux d'occupation, la répartition passe d'un pattern " commun " (i.e., similaire aux autres usagers) à un pattern " gauche " (i.e., file de gauche et interfile de gauche). De plus, il a été observé que dans le cas d'un trafic fluide, voire très fluide (ici, étude Quincampoix), les 2RM circulent sur la voie de droite selon deux sous-patterns : au centre de la voie de droite et à droite de la voie de droite.

Si l'indicateur " taux d'occupation des voies par les autres usagers " paraît fiable, il apparaît intéressant de le coupler au point de rupture de saturation dans les interfiles et de le tester pour différentes configurations de 2, 3 et 4 voies. En effet, les patterns de répartitions des 2RM observés sur l'avenue Ch. De Gaulle (Neuilly-sur-Seine) sur le côté " trois voies " sens Paris-Provence (i.e., 2RM sur voie gauche et interfile gauche pour un trafic fluide) apparaissent liés à la configuration. La section filmée fait suite à une " intersection " à feu tricolore.

Cet indicateur sera testé dans le cadre de l'opération de recherche PREVER¹.

De plus, les études montrent que les 2RM circulent aussi bien en interfile que sur les voies interdites comme la BAU ou sur des voies neutralisées comme les zébra. Ces résultats soulignent la nécessité pour un système de détection des 2RM de permettre une détection exhaustive des 2RM afin de déterminer le point de rupture de saturation des interfiles et de report du trafic des autres interfiles et BAU. Il apparaît que cela ne pourra être un système bord de voie " classique " car ceux-ci ne détectent que les circulations pleine voie, sur les voies courantes. Le système devra avoir un balayage de toute la plate-forme. L'exhaustivité de la détection est aussi nécessaire au vue du nombre de catégories de 2RM qui se trouve sur la route.

¹ L'opération de recherche PREVER (PREvention et EValuation des Risques) est une opération de recherche LCPC qui se déroulera de 2010 à 2013.

II. Les systèmes de détection en analyse de trafic

Sont abordés ici ces systèmes en deux groupes : les systèmes intrusifs et les systèmes non intrusifs. Les systèmes intrusifs nécessitent d'installer des composants directement à la surface ou dans la chaussée et influence l'exploitation de la route lors de leur installation. Ce qui n'est pas le cas des systèmes non intrusifs.

Note : plusieurs études ont été réalisées spécifiquement sur certains des différents systèmes abordés dans la présente partie. Elles sont référencées dans les références exploitées.

II.A. Les systèmes physiques

II.A.1. Les systèmes physiques intrusifs

II.A.1.1. Tubes pneumatiques

Les tubes sont placés perpendiculairement à la voie (figure 19). L'utilisation d'un seul tube permet le comptage des véhicules alors que l'utilisation de deux tubes permet d'obtenir la vitesse des véhicules. Lorsqu'un véhicule roule sur le(s) tube(s), le poids de celui-ci comprime le tube, ce qui envoie de jet d'air vers le classificateur qui le détecte et le traite.



Figure 19. Exemple d'installation de tubes. Installation pour comptage et relevé de vitesse. À gauche, sur une seule voie, à droite sur les deux voies.

Applications-Limites :

-
- * les tubes sont des capteurs mis en place pour des utilisations temporaires (8-15 jours) et ne peuvent pas être utilisés sur autoroute ;
 - * ce sont en revanche des capteurs facilement transportables et rapidement mis en place sur site ;
 - * la distance entre les impulsions permet également de différencier les véhicules légers des poids lourds ;
 - * le taux d'erreur des capteurs est de 10 % pour la différenciation VL/PL et de 15 % pour la vitesse.

II.A.1.2. Boucles magnétiques

Les boucles inductives (figures 20 à 23) sont le plus utilisées pour la mesure des données de circulation : débit, vitesse, taux d'occupation. Les technologies sont différentes selon que l'on utilise une ou plusieurs boucles. Elles peuvent être configurées pour la détection des 2RM et deux-roues.

Les boucles magnétiques génèrent un champ magnétique qui, lorsqu'il est perturbé, enregistre la signature électromagnétique du véhicule. Elles sont insérées dans la voie de circulation à une profondeur de 2 à 4 cm.



Figure 20. Illustration de boucles inductives.

1. Boucle magnétique basique

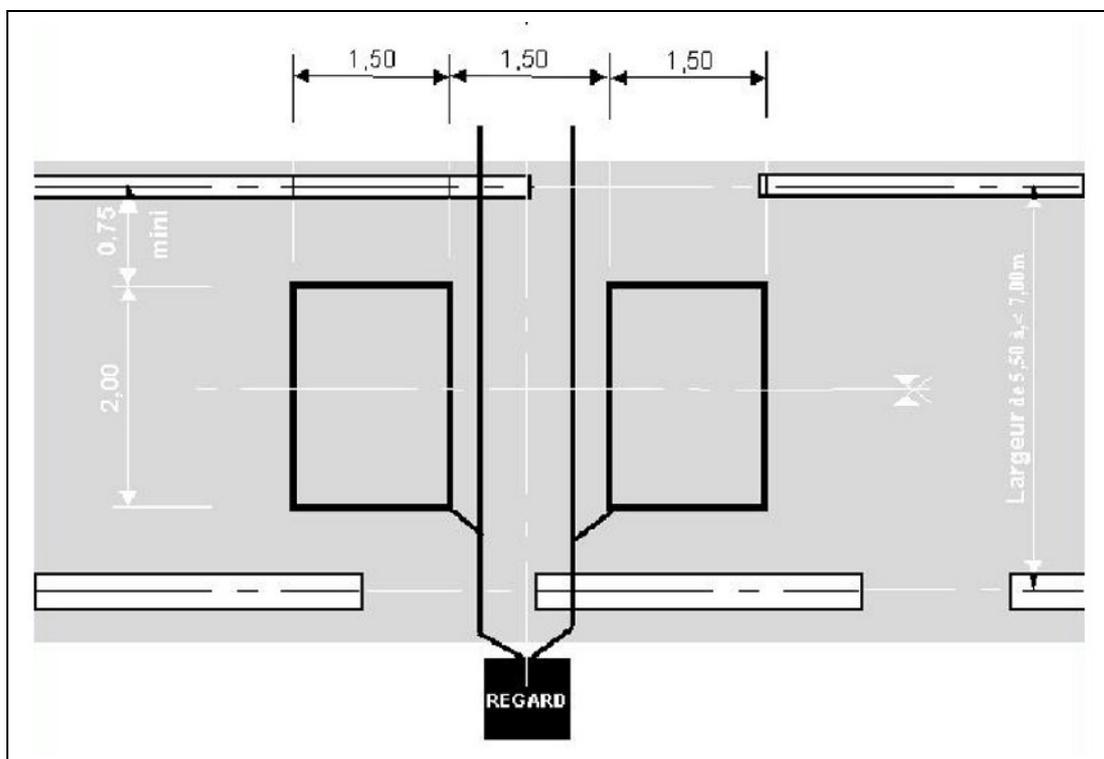


Figure 21. Schéma des boucles classiques (d'après le Guide Technique Génie civil Siredo : <http://www.equidyn.fr/filearea/capteurs.htm>).

2. Boucle magnétique double

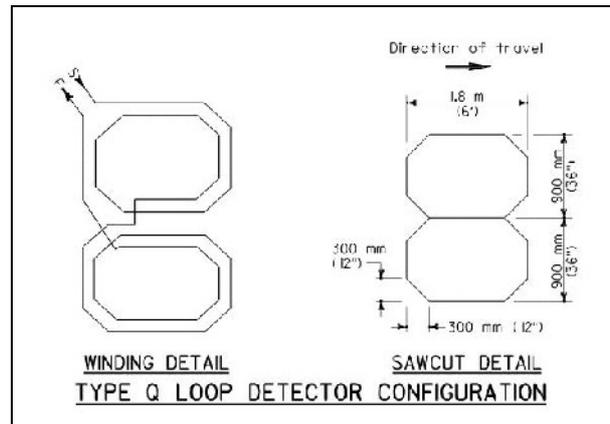


Figure 22. Schéma des boucles doubles (d'après Goodridge [9]).

Pour Goodridge, ce type de boucle représente un meilleur compromis pour la détection des deux-roues, notamment celles d'au moins 76 cm. Néanmoins, dans le cas de boucle beaucoup plus grande, les risques de fausse détection due aux véhicules larges sur la (les) voies adjacentes vont augmenter [9].

3. Boucle magnétique diagonale

Le principal inconvénient de la double boucle est que le 2RM doit être positionné précisément (i.e., au centre de la boucle) pour être précisément détecté. Afin de parer à ce problème la boucle double diagonale a été développée [9].

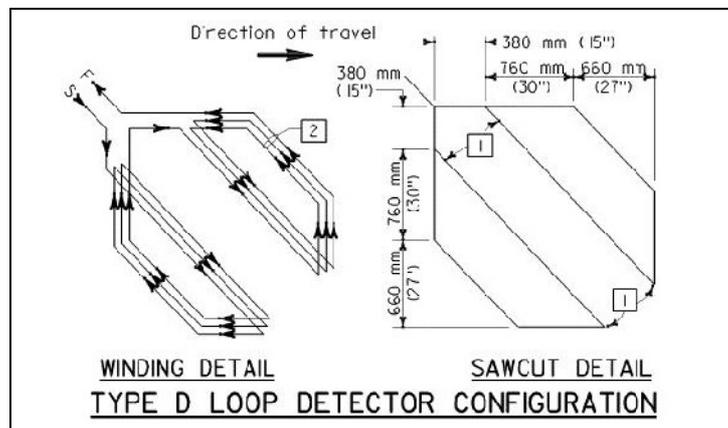


Figure 23. Schéma des boucles diagonales (d'après Goodridge [9]).

Applications-Limites :

- * les boucles simples ne détectent pas efficacement les 2RM ;
- * le trafic doit être interrompu lors de l'installation et nécessite un équipement important ;
- * les boucles peuvent être moins sensible aux véhicules qui ont des essieux haut (e.g., semi-remorque) ;

* le trait de scie des revêtements est plus précis et complexe, pour les boucles diagonales, ce qui peut aboutir à des détériorations de revêtement plus importantes.

Mais les doubles boucles diagonales sont intéressantes dans les cas où les positions des vélos sont latéralement distribuées [9].

II.A.1.3. Câbles piézoélectriques

Les câbles piézoélectriques (figure 24) sont des capteurs qui, sous l'effet d'une pression, produisent un signal électrique plus ou moins fort selon le poids, qui est transmis le long du câble piézo. Les câbles piézo sont sensibles aux charges de cinq kg et plus. Les caractéristiques du signal électrique dépendent du type d'objet, les objets vont être classés en fonction de ces signaux.



Figure 24. Photographies d'un système piézoélectrique. À gauche, photo d'un câble piézoélectrique avant installation. À droite, photo d'un système piézoélectrique après installation (au centre des deux boucles inductives).

Applications-Limites :

* les systèmes piézoélectriques ne sont pas portables et leur installation est plus lourde que pour d'autres technologies. Ces systèmes ne produisent que les données poids dynamique, nombre d'essieu, nombre de véhicules, on ne peut en revanche pas obtenir les vitesses. La méthode française, installe les piézos en association avec des boucles inductives pour obtenir les vitesses.

Les tubes, les boucles et les piézos ont comme principal inconvénient de fournir des données ponctuelles plutôt que spatiales.

II.A.2. Les systèmes physiques non intrusifs

II.A.2.1. Radar

Le radar utilise une onde électromagnétique pour détecter, localiser, suivre et identifier des objets. Il émet, à partir d'une antenne, une onde vers la zone cible. Lorsqu'un véhicule passe dans la zone, une partie de l'onde émise se réfléchit vers le radar. L'antenne est à la fois émetteur et récepteur (figure 25). Les fréquences sont différentes selon les objets. La position du véhicule est estimée grâce au temps de retour du signal et la vitesse est mesurée à partir du changement de

fréquence du signal par effet Doppler. La commission fédérale des communications (USA, in [10]) préconise pour la détection des véhicules des fréquences proches de 10.5, 24.0, et 34.0 GHz.

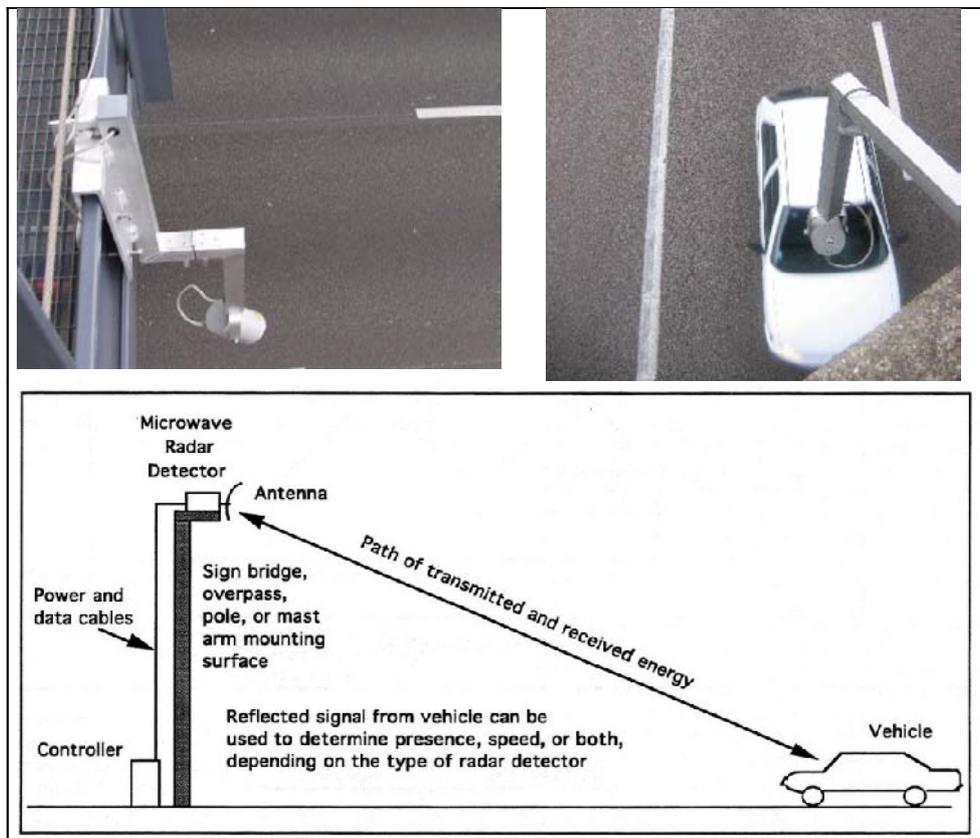


Figure 25. Détection par radar. En haut, photographie d'un système radar (ASIM 292). En bas, principe de fonctionnement (d'après Noyce et al. [10]).

Applications-Limites :

* lorsqu'il est monté face au trafic, le radar permet d'obtenir des informations représentatives sur le trafic, sur une voie ou plusieurs. Installé en bord de voie, il permet d'obtenir des informations sur plusieurs voies mais n'a pas la précision de celles d'un système installé en face. L'installation en bord de voie est typiquement utilisée pour la détection en intersection [10]. En ondes continues, le radar ne peut détecter que les véhicules en mouvement ;

* le radar n'est généralement pas sensible aux conditions météorologiques et fonctionne très bien de nuit. Le radar peut être utilisé pour la classification des véhicules (en utilisant la longueur du véhicule) mais la précision est faible ;

* le radar ne fonctionne pas à très basse vitesse.

II.A.2.2. Détecteurs acoustiques

Les détecteurs acoustiques passifs sont aussi utilisés pour la détection des véhicules. Les sources de sons proviennent de chaque véhicule et des interactions pneu/revêtement.

Applications-Limites :

les vitesses sont déterminées avec un algorithme qui nécessite une longueur de véhicule. Cette supposition peut aboutir à des données inexactes, particulièrement lorsqu'il y a une grande variation dans la longueur des véhicules. Ces capteurs n'ont pas été utilisés pour la classification des usagers.

II.A.2.3. Systèmes infra rouges

1. Systèmes passifs

Les systèmes passifs infra rouges détectent l'énergie émise par les véhicules, les surfaces et les objets qui entrent dans une zone prédéterminée. Les systèmes passifs (figure 26) n'émettent pas d'énergie au contraire des systèmes actifs. Lorsqu'un véhicule entre dans la zone couverte par le système, le changement dans le rapport énergie émise/détectée permet la détection de la présence d'un véhicule dans la zone.

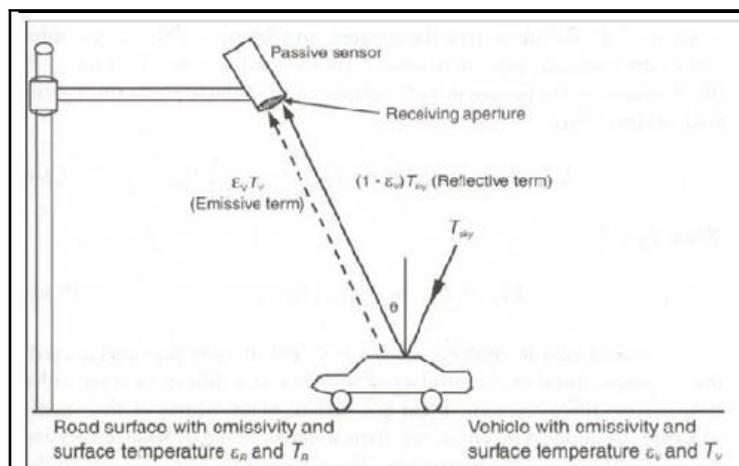


Figure 26. Principe du système infra rouge passif (d'après Noyce et al. [10])

Applications-Limites :

l'inconvénient majeur des systèmes passif infra rouge est que leur performance est dégradée par les mauvaises conditions météo et par les conditions de luminosité. De plus, ils ne sont pas capables de classifier les véhicules.

2. Systèmes actifs

Le système éclaire une zone définie, un objet entrant dans la zone réfléchit les rayons émis par le système. Les rayons réfléchis sont convertis en signaux électriques.

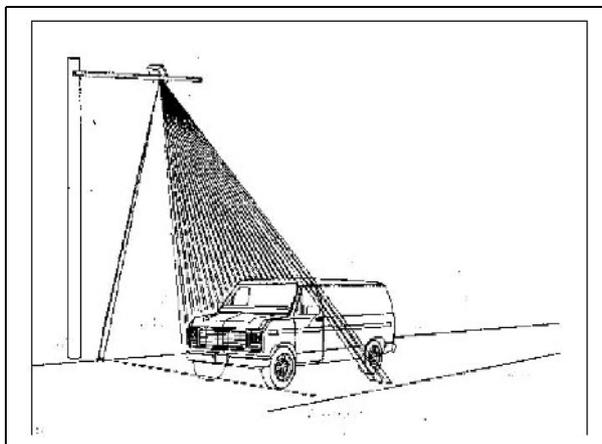


Figure 27. Principe du système infra rouge actif (d'après Noyce et al. [11]).



Figure 28. Détection par système infra rouge. Photographie d'un système infra rouge (ASIM TT 293). Le capteur est combiné avec un capteur à ultra sons et un radar.

II.B. Les systèmes vidéos

Les systèmes de vidéo surveillance sont de plus en plus utilisés pour le suivi d'événements ainsi que la détection et la classification d'objets. Dans le domaine de la sécurité routière, ils permettent d'effectuer du suivi de trajectoires et la détection de la position latérale des véhicules. Cette technique est également de plus en plus choisie afin d'effectuer de la mesure de trafic, ceci peut s'expliquer par le caractère non intrusif des caméras et par la possibilité d'analyse automatique de scène routière 24h/24h. L'objectif principal du contrôle du trafic est d'observer une section de

route et de recueillir des informations sur le trafic évoluant dans cette section. À partir de ces informations une analyse du trafic peut être réalisée.

Ce type de système est constitué d'une ou de plusieurs caméras, d'un ordinateur pour numériser et traiter les images, d'un logiciel pour interpréter les images et les convertir en données sur le trafic. L'exploitation automatique et fiable des sorties de caméras (e.g., détection des véhicules et donc du mouvement) implique de définir les traitements : détection des objets en mouvement, puis estimer les paramètres qui caractérisent le mouvement des objets. C'est-à-dire dans notre cas le deux-roues motorisé parmi les autres véhicules. Il va s'agir de déterminer les performances des algorithmes disponibles et leur robustesse pour la détection des 2RM.

Une fois les images enregistrées, la numérisation, le stockage et le traitement des vidéos sont réalisés. Les algorithmes utilisés recherchent des caractéristiques pré-sélectionnées afin d'améliorer la détection, la classification et le suivi des véhicules.

Les problèmes posés par la détection et le suivi d'objets en mouvement sont :

- * le changement de luminosité et de scène (e.g., tunnel, pluie, nuit) ;
- * les ombres ;
- * les occlusions ;
- * le contraste des objets entre eux et/ou entre objets et fond, qui peuvent être confondus ;
- * la taille des objets, etc.

Ces problèmes expliquent la difficulté de la détection des 2RM. Du fait de leur petit gabarit, les problèmes d'ombres, d'occlusions et de contraste peuvent être accentués.

Pour les systèmes vidéos, les enjeux se trouvent principalement au niveau de l'application en *temps réel* et de la détection des 2RM. En effet, beaucoup d'algorithmes existent et fonctionnent pour la détection et le suivi des véhicules mais leur coût en temps de traitement les rend inutilisables ou très difficilement en temps réel ou en environnement réel. De plus, les 2RM et les vélos par leur petit gabarit, leur trajectoire (e.g., passage sur les trottoirs, utilisation des bandes d'arrêt d'urgence) rendent difficile leur détection et donc leur suivi. Très peu, voire pas, d'algorithmes sont développés spécifiquement pour la détection et le suivi des 2RM, des vélos.

III. Les systèmes développés par les industriels et les laboratoires de recherche

Cette partie présente les systèmes développés et mis en application par les industriels et les laboratoires de recherche.

Les industriels ont principalement développé des systèmes avec capteurs physiques, alors que les laboratoires de recherche ont développé des systèmes avec traitement d'images.

III. A- Les industriels

Le but est de déterminer l'offre industrielle spécifique à la détection des 2RM et les limites et conditions d'utilisation des systèmes quand ils existent.

Le critère de sélection des entreprises a été la mise en avant de la détection effective des deux-roues (motorisés ou non) par un de leurs capteurs. Une fois identifiées, la majeure partie de ces entreprises ont été contactées par mail afin de demander si leur méthode était compatible avec un comptage et/ou une classification des 2R, aussi pour connaître les conditions et les limites d'utilisation des systèmes. Certaines ont été directement contactées par téléphone.

Une recherche internet des industriels spécialistes de l'analyse du trafic a été effectuée afin d'identifier ceux qui pourraient avoir développé un système "spécifique" à la détection et l'analyse des 2RM. Cette identification a été faite à partir de la revue Traffic Technology International et les sites officiels des salons dans le domaine de l'analyse du trafic et de la détection de véhicules comme : INTERTRAFFIC (Europe et Asie) et TRAFFEX. Elle a été complétée par une recherche sur internet.

Les résultats de cette recherche sont présentés en regroupant les systèmes par type. Le tableau 2, à la fin de cette partie, récapitule les industriels contactés avec le type de produit proposé.

Note : les applications-limitations des systèmes sont basées en grande partie sur les réponses des industriels lors des contacts téléphoniques ou par mails.

III.A.1. Les systèmes vidéo

Les systèmes développés dans le domaine industriel sont principalement des systèmes de traitement d'images vidéo. Ces systèmes analysent et extraient automatiquement des informations de trafic à partir d'images de la zone de détection. Ils se composent généralement d'une ou plusieurs caméras vidéo, de microprocesseurs pour traiter les images, de logiciels pour interpréter les images et élaborer les données de trafic. Leur application est multivoies et multizones, ils sont flexibles et permettent de recueillir un grand nombre de données différentes. Cette technologie est de moins en moins coûteuse et de mieux en mieux connue.

1- Les systèmes "tripline" permettent de définir un nombre limité de zones de détection sur la route dans le champ de vision de la caméra. Lorsqu'un véhicule traverse une des zones de détection déterminée, il est détecté par les changements dans les systèmes de pixels causés par ce véhicule par rapport à une route vide. Ces systèmes estiment la vitesse en calculant le temps que met le véhicule pour traverser la zone dont la longueur est connue. Les images passent par une phase d'analyse par rapport à la surface ou bien à une grille. L'approche basée sur la surface est fondée sur l'identification des bords. Celle basée sur la grille est fondée sur la classification de

carrés sur une grille fixée quand elle contient des véhicules en mouvement, des véhicules arrêtés ou pas de véhicules (figure 29) [12].



Figure 29. Illustration de la méthode de mesure tripline. Les vitesses des véhicules sont issues du rapport distance/vitesse à partir des zones encadrées, mais un calibrage est nécessaire. Les lignes jaunes indiquent la sortie de la zone considérée et permettent le comptage des véhicules.

2- Le *tracking "Closed-loop"* ou suivi en continu des véhicules dans le champ de vision de la caméra. Le système valide la détection à travers la détection multiple du même véhicule au cours du suivi. La distance de suivi est fonction du champ de vision de la caméra, de la hauteur et de sa résolution. Des détections multiples sont utilisées pour valider une détection et améliorer l'estimation de la vitesse. Une fois validé, le véhicule compté et sa vitesse sont mis à jour par l'algorithme de suivi [13]. Ces systèmes de suivi peuvent fournir des données supplémentaires comme les changements de voie d'un véhicule [12].

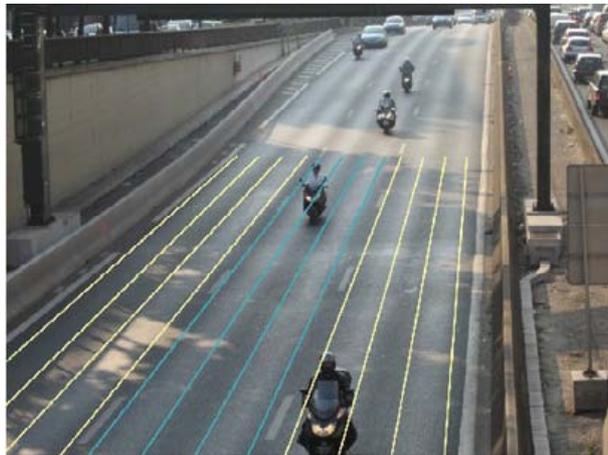


Figure 30. Illustration de la méthode de mesure tracking "closed-loop". Cette méthode permet l'observation de l'ensemble du trafic circulant sur la chaussée. Le recueil des données s'effectue sur des portions de route.

3- Le *tracking* par association de données identifie et suit un véhicule particulier ou un groupe de véhicules comme ils traversent le champ de vision de la caméra. L'identification des véhicules se fait par la recherche des zones de pixels connectées. Les objets sont identifiés sur la base de gradients et de la morphologie. Pour les gradients on utilise les bords, alors que pour la

morphologie on utilise des combinaisons de forme et de taille qui sont reconnues comme appartenant à un véhicule ou un groupe de véhicules [12].

III.A.1.1. OPTELECOM nkf (Allemagne)

(<http://www.optelecom-nkf.com/>)

Entreprise allemande spécialisée dans les solutions de vidéo surveillance, un de leurs trois champs d'application est le trafic.

Le système Siquira TrafficServer (figure 31) provient de la collaboration de deux sociétés: TRAFICON avec son Automated Incident Detection (AID) et OPTELECOM-NKF avec son IP-Video. Ce système propose une solution de gestion du trafic et des incidents même pour les ponts, les tunnels et autres types spéciaux de voiries.

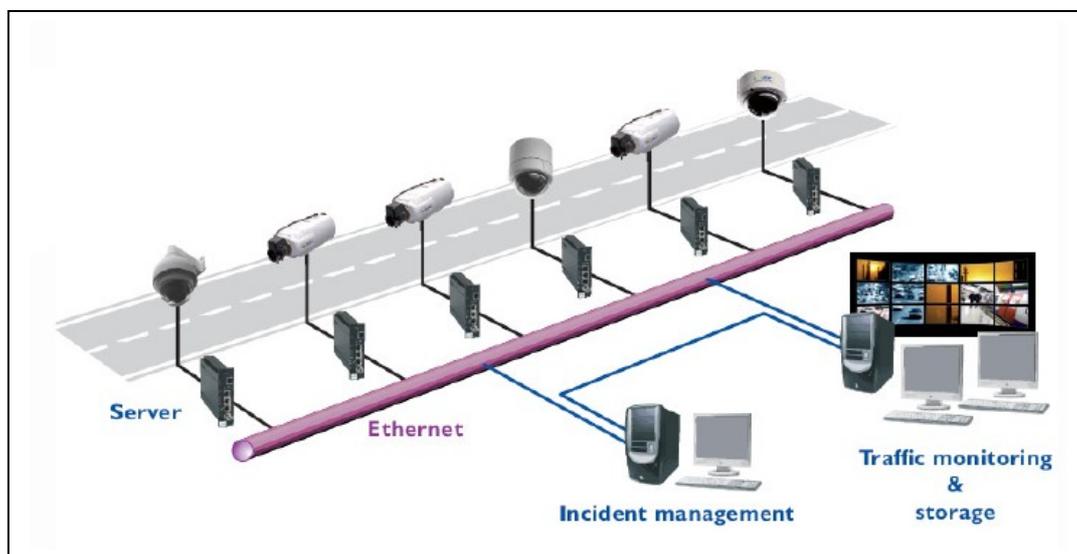


Figure 31. Illustration du système Siquira Traffic Server. (D'après la brochure Optelecom-NFK : http://www.optelecom-nkf.com/optelecom_c01)

Il fournit des données sur le niveau de trafic, la vitesse moyenne sur une portion de route, le taux d'occupation. Il permet de détecter des petits gabarits comme des objets tombés sur la voirie ou des piétons, mais aussi les fluctuations de vitesse (augmentation, diminution, arrêt), laissant sous-entendre qu'il capte la vitesse des véhicules passant dans sa zone de détection et donc, potentiellement, les véhicules plus petits que les PL et les VL.

Applications-Limitations

Aucune information n'est disponible concernant la détection des 2RM.

III.A.1.2. ACIC - Intelligent Vision Systems (Belgique)

(<http://www.acic-tech.be>)

Entreprise belge proposant des solutions en sécurité et surveillance de trafic, leurs produits (gamme RMVision) sont basés sur des logiciels d'analyse automatique de la vidéo.

Leurs systèmes fonctionnent avec les caméras de surveillance ou avec des installations dédiées (figure 32).



Figure 32. Illustration du système de type RM et SM vision. À gauche système monté sur système existant, à droite, système d'enregistrement des données.

Le *MvTraffic* : « Monitoring de Trafic Routier par Analyse Vidéo » est basé sur l'analyse vidéo pour la gestion et la surveillance de trafic routier. Ses algorithmes permettent le traitement simultané de plusieurs voies de circulation en extérieur et dans les tunnels. Dans tous les contextes, *MvTraffic* fournit en temps réel le comptage des véhicules individuels ou des données relatives aux flux de circulation. Les données fournies sont le trafic et la détection d'incidents. Pour chaque véhicule sont collectés, date, longueur, largeur, hauteur, voie, vitesse et distance/délai par rapport au véhicule précédent. Il fournit aussi le taux d'occupation et l'évaluation de la vitesse du flux de véhicules par voie. La classification se fait jusqu'à cinq classes prédéfinies

Les performances sont démontrées :

- * en conditions lumineuses très variées (jour, nuit, toutes conditions météorologiques),
- * sur routes, autoroutes, ponts et tunnels depuis les vitesses élevées jusqu'en situation de bouchon. (d'après la brochure Acic : http://www.acic-tech.be/fr/produits_details_fr.php?product_id=6; film de démonstration :

http://www.acic.biz/movies/demos/MTraffic_KT_night_ACIC_low.avi)

Applications-Limitations

Dans le contexte de détection sur route (autoroute, tunnel, etc.) le système est capable de distinguer les 2RM parmi les voitures et les camions, avec une précision « acceptable par les clients ».

ACIC a installé dans la ville de Bruxelles, pour le comptage des vélos et des piétons, la solution *MvBicycleCounting*. Ils l'utilisent pour le comptage des 2RM et peuvent faire la discrimination sur base de la vitesse, mais cela reste parfois imprécis.

ACIC n'a pas développé de solutions spécifiques aux 2RM mais cette entreprise est intéressée par le contexte de l'étude.

III.A.1.3. CAPFLOW (Belgique)

(<http://www.capflow.com>)

Entreprise belge de système de vision proposant des produits et services en contrôle industriel, gestion de parking, d'analyse de trafic (i.e., comptage, classification et mesure de vitesse, reconnaissance des plaques) ou de contrôle de qualité industriel.

Les deux systèmes qui pourraient être intéressants pour la problématique 2RM sont : Flexiroad et Flexiroad LPR. Ces deux systèmes de gestion du trafic routier peuvent être intégrés aux systèmes de supervision des centres de régulation du trafic routier.

- Flexiroad (figure 33) : Le système est basé sur le suivi vidéo des mouvements. Il inclut le comptage, la classification et la mesure de vitesse. Une caméra suffit pour observer toutes les voies de circulation. La configuration de la caméra peut se faire à partir du centre de contrôle. Le serveur Flexiroad peut prendre en charge quatre à 128 caméras.

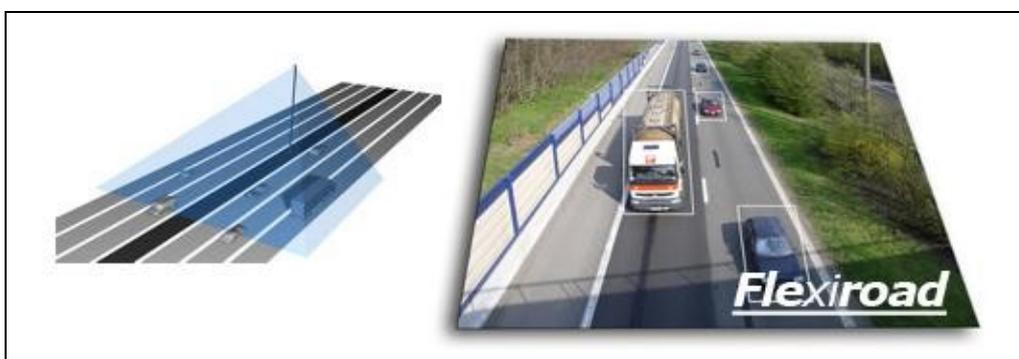


Figure 33. Illustration du système Flexiroad. (d'après la brochure Capflow : http://www.capflow.com/pdf/flexiroad_fr.pdf)

- Flexiroad LPR (figure 34) : Le système est basé sur la reconnaissance des plaques. Il inclut le comptage et la mesure de vitesse. Un couple caméra/ Flexiroad LPR Engine est nécessaire pour chaque voie de circulation. Les Flexiroad LPR Engines peuvent être connectés au serveur Flexiroad.

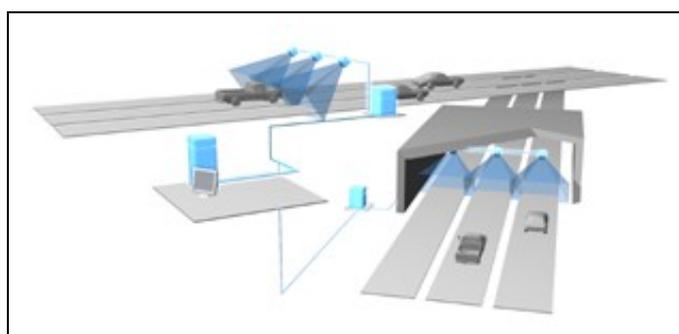


Figure 34. Illustration du système Flexiroad LPR. (d'après la brochure Capflow : http://www.capflow.com/pdf/flexiroadlpr_fr.pdf)

Applications-Limitations :

cette entreprise n'a pas été contactée et n'aborde pas la problématique des 2RM.

III.A.1.4. ACISA markets VISIOWAY (Espagne)

(<http://www.visioway.com/>)

ACISA markets sous le nom de Visioway, est une entreprise espagnole spécialisée dans la détection et le suivi de véhicules par vidéo. Le traitement est en temps réel. Les systèmes détectent les embouteillages ou les violations du code de la route, mais ne différencient pas les véhicules. Le système OpenCounter de VISIOWAY est un système de détection vidéo pour l'acquisition de données de trafic, de détection automatique des incidents et la détection de présence. Le champ de vision de l'appareil qui fonctionnent comme des boucles virtuelles (figure 35).

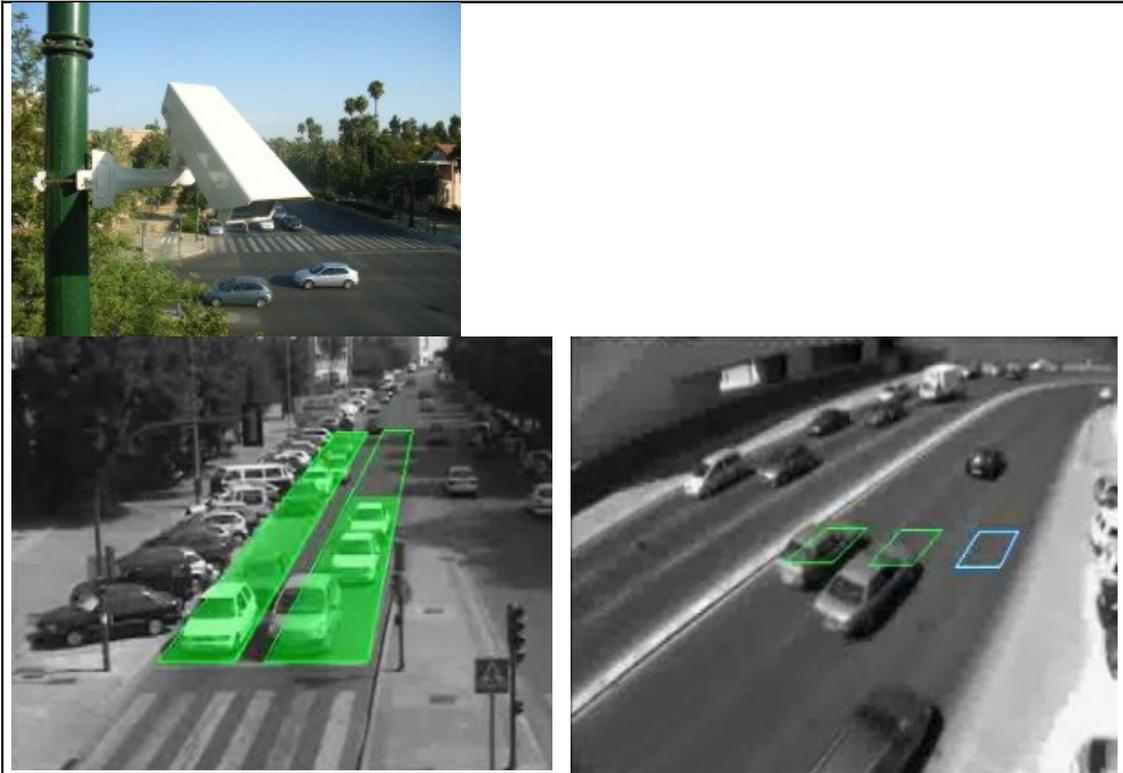


Figure 35. Illustration du système OpenCounter de VISIOWAY. (d'après la brochure VisioWay : <http://www.visioway.com>)

Applications-Limitations

Cette entreprise n'a pas de solution pour la détection des 2RM.

III.A.1.5. FAMAS System Spa (Italie)

(<http://www.famassystem.it>)

Entreprise italienne spécialisée dans le développement de systèmes de mesures, de recueil de données, de surveillance et de contrôle. Leurs champs d'application sont le trafic routier, l'environnement et la météo. Les systèmes STAR C-500 et F-500 pourraient être utilisés.

- Star C-500 (Single-technology above-ground classifier) et F-500 (Single-technology above-ground flow monitor) (figure 36) : solution qui peut détecter et classifier les véhicules mobiles et statiques avec une précision similaire à celle des boucles magnétiques. Les données concernent : le sens de circulation, la vitesse, sa longueur, la voie de circulation, la distance entre deux véhicules et le type de véhicule (i.e., moto, voiture, camionnette, camion, etc.) Ces solutions sont utilisables en temps réel sur autoroutes et routes nationales, et conviennent pour des applications de systèmes de transport intelligent.



Figure 36. Illustration de la configuration du système (à gauche). Illustration des systèmes Star C-500 et F-500 (à droite). (d'après la brochure Famas System S. p. a. : http://www.intertraffic.com/marketplace/mypage/products_detail.asp?mypageid=1987&productid=2935)

Applications-Limitations :

cette entreprise n'a pas été contactée. La problématique des 2RM n'est pas abordée sur leur site.

III.A.1.6. TRAFICON

(<http://www.traficon.com>)

Entreprise spécialisée en détection vidéo du trafic, propose des solutions pour la détection automatique des incidents dans les tunnels, pour le recueil de données sur le trafic et pour la détection et la présence en intersection. Les détecteurs Traficon fournissent les données de base du trafic (tel que débit, vitesse, la classification, temps inter-véhiculaire, etc.).

Le système VIP/D (figure 37) pourrait être intéressant car il permet en une seule carte de détecter les fonctionnalités de surveillance du flux du trafic (la détection automatique de ralentissements et bouchons) et de recueillir les données du trafic et l'émulation de boucles. Il fournit des données sur le volume (i.e., le nombre de véhicules), la vitesse, le taux d'occupation, la classification, la concentration, les temps inter-véhiculaires et les distances inter-véhiculaires.



Figure 37. Illustration de la configuration du système VIP/D. (D'après <http://www.traficon.com/>)

Applications-Limitations

Aujourd'hui, le système différencie les VL/PL de jour comme de nuit et détecte également un 2RM de jour avec une caméra positionnée dans l'axe des voies de circulation. Pour la détection d'un 2RM de nuit, le système doit être améliorer leurs développements.

L'entreprise est en attente de connaissance sur le potentiel pour un détecteur spécifique 2RM sur le marché Français et de l'objectif d'un tel capteur (e.g., régulation des " feux à vélo ", statistique sur routes et autoroutes).

III.A.1.7. IMAGE SENSING SYSTEMS (USA)

(<http://imagesensing.com>)

Entreprise américaine spécialisée dans les systèmes de détection des véhicules basés sur la vidéo en temps réel. Leur système Autoscope (technologie Terra) permet de définir des zones de détection et de discriminer les véhicules par leur vitesse ou leur volume. Les caractéristiques du système utilisé pour la surveillance des tunnels pour la détection d'incidents permettraient certainement de classer les véhicules et de différencier les motos des autres usagers. Il permet entre autres de classifier et détecter les piétons.



Figure 38. Illustration de la configuration du système. (d'après la brochure Image Sensing System : http://autoscope.com/products/dl/Autoscope_brochure.pdf)

III.A.1.8. ITERIS (USA)

(<http://www.iteris.com/transportation.aspx>)

Entreprise américaine qui développe des systèmes de traitement d'images vidéo de détection de véhicules et qui développe des technologies de maintien de trajectoire ("lane departure warning"), d'anti-collision arrière (AutoVue Forward Collision Warning systems), d'alerte angle mort, évite les collision avec véhicules ou objets sur les voies adjacente (AutoVue® Blind Spot Warning system).

Leur système de détection "Vantage Video Detection Systems" basé sur la vidéo concerne les applications suivantes : les intersections, les données de trafic, la détection des cyclistes et celle des piétons, et celle des incidents. Ils fournissent des données sur la présence d'un véhicule, la vitesse, le nombre, ainsi que l'occupation des zones.

Applications-Limitations

Cette entreprise n'a pas été contactée.

III.A.2. Les systèmes physiques de détection – Intrusifs

III.A.2.1. CAPSYS (France)

(<http://www.capsys.eu>)

PMI française à vocation internationale, spécialisée dans le domaine des capteurs et détecteurs de véhicules. Pour la détection des cyclistes, trois technologies sont disponibles.

- Les Détecteurs à boucles inductives " ST " avec deux produits :

* STM monocanal (figure 39) : associé à une boucle d'induction placée dans le sol, il réagit à toute présence ou variation métallique dans le périmètre de celle-ci. Il délivre une information de commande permanente ou calibrée dans le temps. Sa sensibilité importante et réglable par potentiomètre permet la détection des 2RM. Les paramètres sont ajustables en face avant et l'utilisateur peut verrouiller ses réglages.



Figure 39. Illustration du système STM monocanal. (d'après la brochure CAPSYS : <http://www.capsys.eu/documents/pro-16-1.pdf>)

* STD – directionnel : il est conçu pour des applications nécessitant deux boucles. Les deux boucles sont utilisées pour des applications en mode directionnel (discrimination du sens de passage du véhicule), en consigne de vitesse ou en détection de gabarit. (d'après la brochure CAPSYS : <http://www.capsys.eu/documents/pro-18-1.pdf>)

- Le Détecteur vidéo Image Sensor " DV " - DVI (figure 40) : détection piétons et cyclistes. Il détecte tout objet en mouvement et immobile dans une zone préalablement définie.

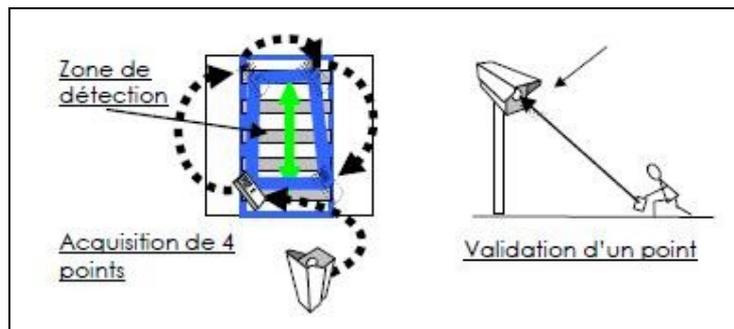


Figure 40. Illustration de la configuration des détecteurs vidéo Image Sensor "DV". (d'après la brochure CAPSYS : <http://www.capsys.eu/documents/pro-11-1.pdf>)

- Les Radars Hyperfréquence " RH " : il y a deux versions une qui détecte jusqu'à 60m (RHB) et une jusqu'à 150m (RHC). Ces radars utilisent le principe de l'effet Doppler Fizeau dans à une fréquence de 24,125 GHz.

Applications-Limitations

Cette entreprise n'a pas été contactée.

III.A.2.2. Eco Compteur (France)

(<http://www.eco-compteur.com/France.html?wpid=7918>)

Entreprise française qui développe des solutions de comptage vélos et piétons.

- Les tuyaux :. le passage de deux roues proches incrémente le compteur Eco-Pilot (trafic horaire) ou Eco-Twin (trafic horaire + gestion du sens de circulation). Deux types de tuyaux existent : à enterrer (comptages permanents) ou à poser sur la chaussée en " hors-sol " (comptages ponctuels) (tableau 3).

- La Cellule PYRO " moyenne portée " : chaque variation de température (=1 passage dans le faisceau de la cellule) incrémente le compteur (Eco-Pilot ou Eco-Twin). Positionnée en hauteur (80 cm) sur un poteau le long de l'axe de la piste, elle vise le corps du cycliste (pas les roues). Facile à installer, elle est précise quand la visée (=portée du rayon) n'excède pas un mètre (tableau 3).

Tableau 3. Caractéristiques des systèmes Eco-Compteur

			
Qui est compté ?	tuyau enterré	cellule pyro	tuyau hors sol
vélo	OUI	OUI	OUI
piéton	NON	OUI	NON
roller	NON	OUI	NON
2 roues motorisées	OUI	OUI	NON
voitures	OUI	OUI	NON
Comment ?			
Précision	+/- 5%	estimation de comptage au delà d'une largeur de 80cm	+/- 5%
Pose/Installation	tranchée dans la chaussée (3-5 cm de profondeur)	hors sol (hauteur 80cm) perpendiculaire à l'axe du passage	posé sur la chaussée
Gestion du sens du passage (= 2 capteurs)	OUI	OUI	OUI

- La Boucle magnétique Zelt (figure 41) : développée, testée et brevetée par le Cete Sud Ouest depuis 1999, adaptée et validée par Eco-Compteur, le capteur boucle magnétique ZELT est une innovation majeure dans le domaine du comptage.



Figure 41. Illustration du système boucle magnétiques ZELT. (D'après Éco-compteur)

Seul système permanent capable de sélectionner les cycles dans un trafic mixte (vélo voiture). Une boucle magnétique en losange est insérée dans la voie de circulation (sous 2 à 5 cm). A chaque passage de vélo, le système détecte la signature électromagnétique des vélos et valide le comptage. Son taux de précision est de +/- 5 %.

Applications-Limitations

Cette technologie ne concerne que les vélos sur piste cyclable uniquement mais permettrait d'envisager le développement d'un capteur capable de détecter et de classifier les 2RM avec des efforts qui sembleraient raisonnables.

III.A.2.3. SFÉRIEL (France)

(<http://www.sferiel.com>)

Entreprise française spécialisée dans les solutions d'analyse du trafic, du détecteur à la station complexe.

Détecteur radar –Surveyor 1 (figure 42) : pour l'analyse du trafic en carrefour, détecte les VL et les PL jusqu'à 40 m, détecte les 2RM jusqu'à 20 m, détection dès 3 km/h. En option possibilité de détecter les véhicules et d'obtenir la vitesse à proximité, comptage, discrimination VL/PL, information représentative de la longueur.



Figure 42. Illustration du détecteur radar Surveyor 1. (D'après la brochure : <http://www.sferiel.com>.)

Applications-Limitations

La société SFÉRIEL travaille actuellement sur un capteur de ce type pour une application ciblée sur les 2RM.

III.A.2.4. SENSOR LINE (Allemagne)

(<http://www.sensorline.de>)

Entreprise allemande spécialisée dans les détecteurs fibre optique (figure 43). Pour la détection et la classification des véhicules Sensor Line propose la solution suivante :

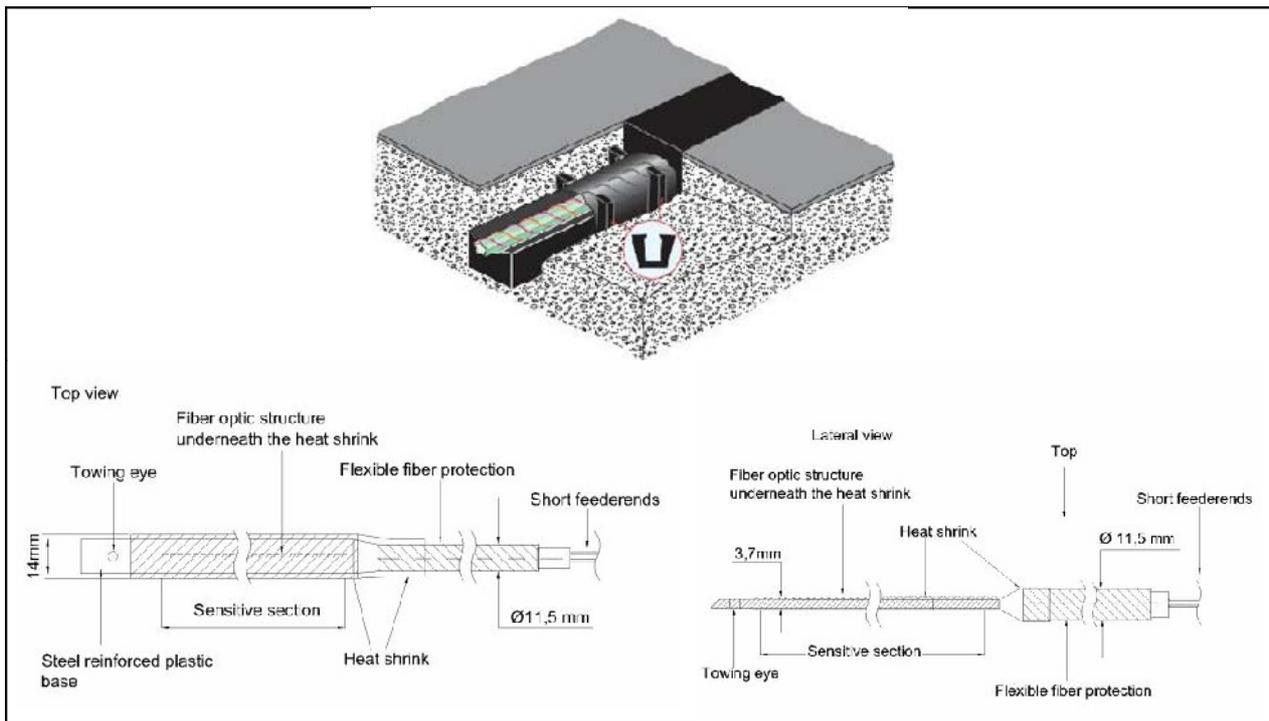


Figure 43 Illustration des détecteurs fibre optique. (D'après communication personnelle de Sensorline).

- Le "Classax Traffic Data Acquisition System" : solution qui associe des détecteurs d'essieux fibre optique qui permettent de déterminer l'empattement, le nombre d'essieux, etc ; avec une boucle magnétique permettant ainsi d'obtenir la longueur du véhicule et sa signature magnétique utile pour la classification. Cette configuration utilise deux détecteurs d'essieux et une boucle. La configuration optimale (figure 44) est de quatre détecteurs qui permet d'obtenir la largeur des essieux et des pneus.

Les classes de véhicules sont déterminées par un processus d'apprentissage utilisant des données réelles de trafic.

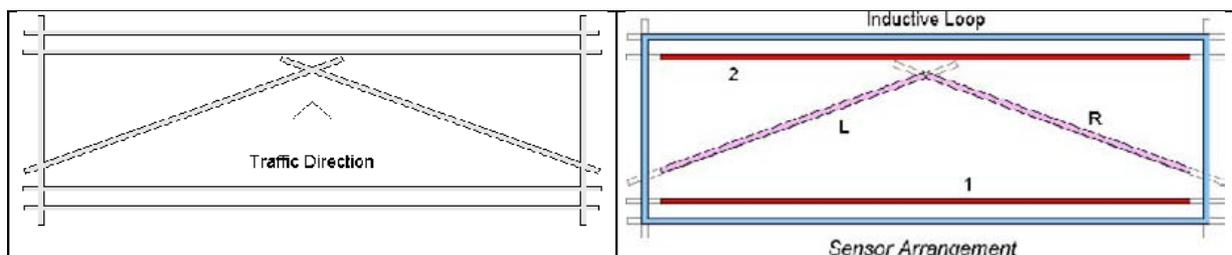


Figure 44. Configuration des détecteurs. La configuration minimum consiste en deux détecteurs d'essieux qui "traversent" entièrement la voie de circulation, entourés par une boucle inductive. (d'après <http://www.classax.de/sensorsetup.html>)

Le système Classax est composé de trois composants principaux : la série de capteurs qui fournissent les données physiques ("sensor setup"), l'interface qui permet d'enregistrer les données ("road unit") et le logiciel de classification ("Host computer") (figure 45).

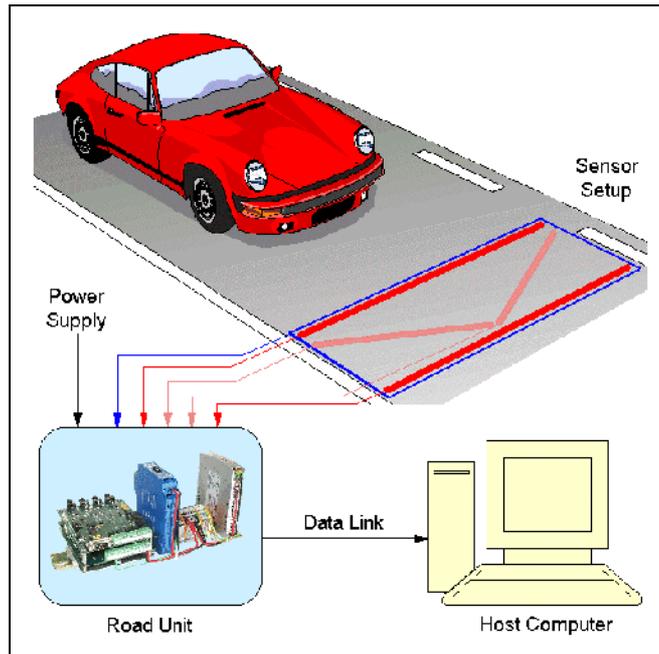


Figure 45. Illustration de la configuration du système Classax. (d'après : <http://www.classax.de/techdesc.html>)

Sensorline a défini quatre configurations d'installation selon l'application (figure 46).

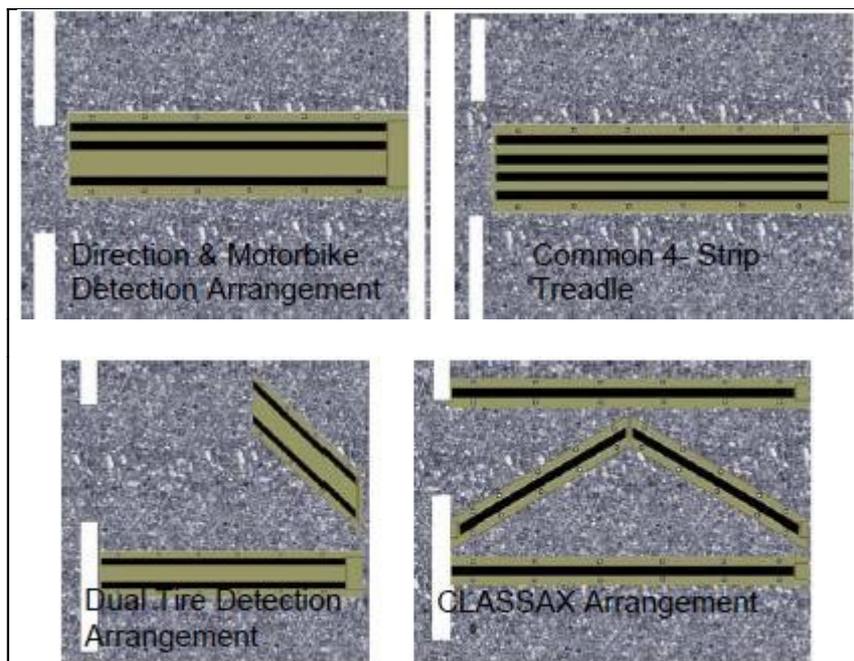


Figure 46. Illustration des quatre configurations. (D'après communication personnelle de Sensorline).

Sensor Line conçoit des capteurs fibre optiques pour des installations temporaires (figure 47). Le capteur est placé dans une poche qui est fixée sur la route.

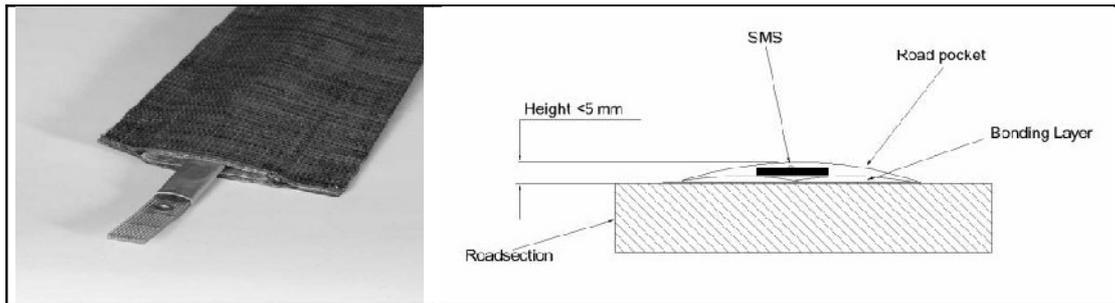


Figure 47. "Surface Mounted Sensor" (SMS) dans sa poche (par exemple Bituthane Pocket Tape). (D'après : <http://www.sensorline.de/vehicclass.html>)

Applications-Limitations

Le système Classax permet d'obtenir des informations sur les différents types de 2RM (i.e., motos, scooters et trois-roues), en utilisant toutes les informations de tous les capteurs. Par rapport à la solution portable, la principale limite est la durée de vie face au passage des camions qui détériorent les capteurs.

Normalement leurs capteurs à fibre optiques fonctionnent pour toutes les vitesses sans aucune limitation.

Les solutions sont développées pour les VL et les PL et ils ne sont pas certains de pouvoir détecter les 2RM. L'utilisation de capteurs à fibre optiques (solution portable) pose le problème de la détection des 2RM en tant que telle.

III.A.2.5. CA-Traffic (Counters & Accessories ltd.) (Angleterre)

(<http://www.ca-traffic.com/>)

Entreprise anglaise qui développe des solutions pour le recueil de données trafic. Ils ont trois systèmes qui pourraient être intéressants : le traffic monitor et le Minuteman MEVR.

- Le Traffic monitor (figure 48) est une unité de classification des véhicules qui enregistre les données concernant la classe du véhicule qui passe, le type, la longueur et la vitesse. Il permet une classification sophistiquée des véhicules en utilisant des boucles inductives.



Figure 48. Illustration de l'unité "Traffic monitor". (D'après : <http://www.ca-traffic.com/ProductCat.aspx?id=16>)

- Le CA Traffic Bicycle Recorder (figure 49) a été développé pour le recueil des données concernant les vélos. Il utilise une variation de boucle inductive qui permet de compter les vélos selon leur sens de direction à partir du profilage des boucles et de deux canaux d'enregistrement des données. Si le système est installé dans un couloir de bus ou sur une route ouverte, les vélos peuvent être détectés et comptés par le premier canal, les autres véhicules seront comptés sur le deuxième

canal. Le système est capable aussi de reconnaître deux vélos qui roulent côte à côte. Cette fonctionnalité est confirmée avec des vélos ayant un cadre en aluminium ou en acier.

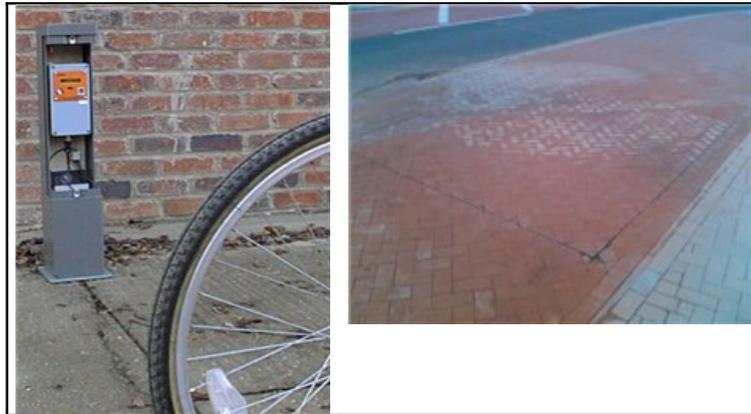


Figure 49. Illustration du système CA Traffic Bicycle Recorder. (D'après : <http://www.ca-traffic.com/ProductCat.aspx?id=19>)

- Le Minuteman MEVR Recorder (figure 50) est un enregistreur/classificateur de trafic à deux canaux conçu pour enregistrer le flux de la circulation sur une ou plusieurs voies en utilisant des tuyaux en caoutchouc (tubes). Le taux de précision est supérieur à 98 % pour la classe de véhicule, de +/- 2 % (98 %) pour la vitesse. La gamme de vitesse est 5 à 235 km/h.

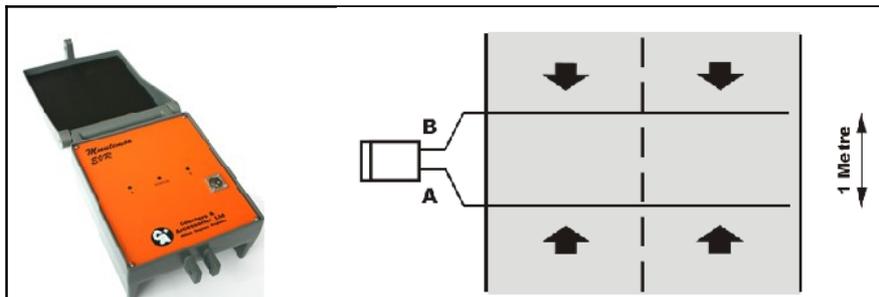


Figure 50. Illustration du système Minuteman MEVR Recorder. (D'après la brochure de Counters & Accessories : <http://www.ca-traffic.com/InfoPDF/MinutemanEVR.pdf>)

Applications-Limitations

Les capteurs seraient assez " fins pour être parfaitement utilisables comme un dispositif de monitoring de 2RM et vélos dans des flux de trafic divers et sur piste cyclable. Les informations relatives aux 2RM et vélos sont alors extraites par la bibliothèque de logiciels afin de produire une banque d'informations propre au trafic des 2RM et vélos.

III.A.2.6. Diamond Consulting Services Ltd. (Angleterre)

(<http://www.idris-technology.com/contact-us/>)

Entreprise anglaise qui a développé la technologie IDRIS, à l'origine pour détecter les véhicules à l'arrêt dans le trafic dans les tunnels. Technologie améliorée pour la détection globale de véhicules dans le trafic.

- L'Idris ® utilise aussi les signatures inductives des véhicules pour atteindre une grande précision (i.e., 99,9 % de précision pour le comptage en condition de trafic fluide et trafic saturé, 99,7 % de précision pour la classification par essieu sur autoroute). Ces signatures sont également utilisées pour classifier les véhicules avec l'installation de deux boucles par voie (figure 51). La classification concerne les 2RM, les voitures, les camionnettes, les camions et les véhicules avec trois essieux ou plus, dans toutes les conditions météorologiques et les conditions de circulation. Les résultats de classification ont été obtenus dans différentes situations de niveau de trafic, de la congestion totale à la circulation fluide. La classe et la longueur d'un véhicule sont précises même lorsqu'il reste sur les boucles. Les critères de classification sont modifiables par l'utilisateur. (d'après la brochure IDRIS Technology : <http://www.idris-technology.com/technical-sheets/automatic-vehicle-detection-and-classification>)

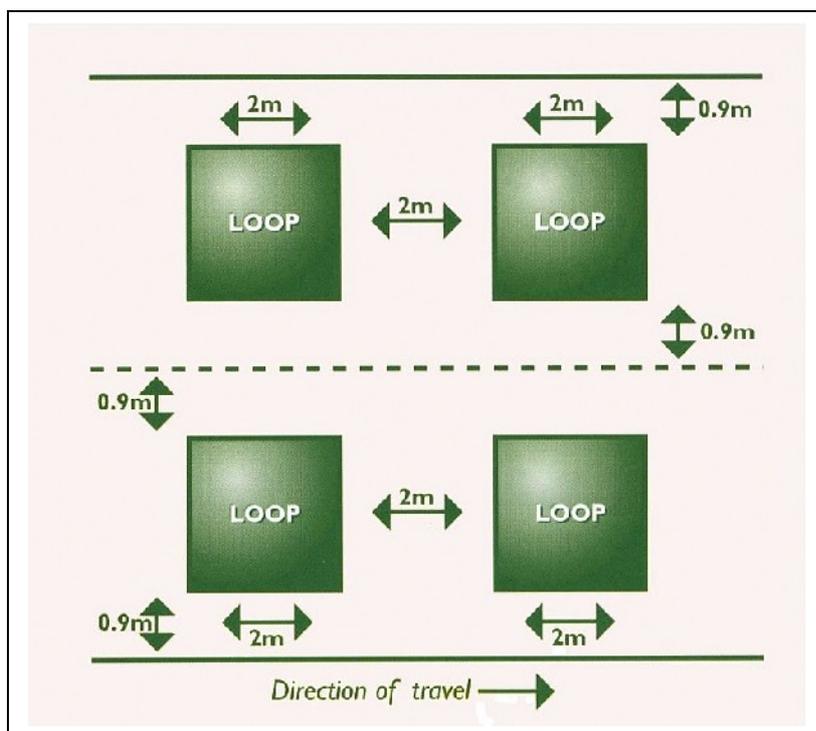


Figure 51. Configuration de l'installation des boucles du système IDRIS. (D'après la brochure IDRIS Technology : <http://www.idris-technology.com/technical-sheets/loop-installation>)

Applications-Limitations

La configuration n'est pas applicable à la détection des 2RM (circulation dans les interfiles).

III.A.2.7. SENSYS Networks (USA)

(<http://www.sensysnetworks.com>)

Le système Sensys Wireless de détection des véhicules utilise des capteurs magnétiques qui détectent la présence et le mouvement des véhicules. Le nombre de détecteurs dépend de l'application. Les détecteurs sont placés au milieu de chaque voie. Pour mesurer la vitesse et la longueur d'un véhicule deux détecteurs par voie sont nécessaires. La distance exacte entre les deux

doit être entrée dans le paramétrage du système. La distance recommandée entre les deux est fonction de la vitesse attendue, par exemple pour des mesures "normales", une distance entre 6 et 7,3 m.

Applications-Limitations

Le système est actuellement capable de différencier des véhicules en fonction de la longueur avec un pas de 50 centimètres. Ce qui, selon l'entreprise, devrait permettre de différencier un 2RM d'un VL.

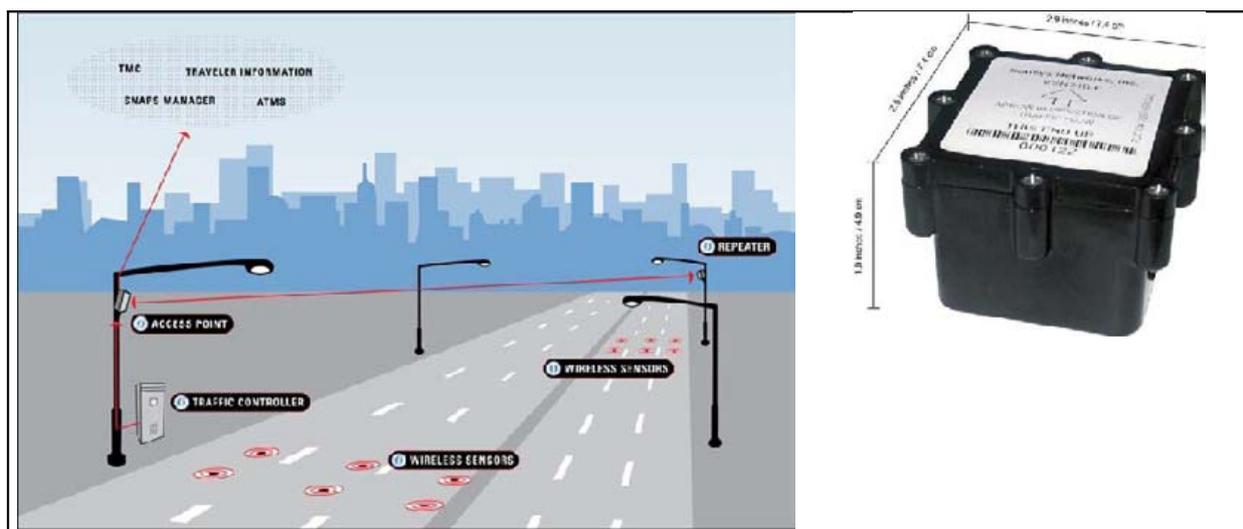


Figure 52. Exemple de configuration d'installation (à gauche) et détecteur sensys (à droite). D'après la brochure Sensys System :

http://www.sensysnetworks.com/userfiles/whitepapers/sensys_system_overview_v1.10.pdf

III.A.3. Les systèmes physiques de détection – Non Intrusifs

III.A.3.1. MAGSYS (France)

(<http://www.magsys.net/>)

Entreprise française qui propose des équipements électroniques dans les domaines de la gestion du trafic routier et la transmission de données par radio.

- Le TMS-SA - V3 (Figure 53) est un analyseur de trafic (i.e., compteur radar) compact, autonome et portable. L'installation en bordure de voie est extrêmement simple. Il enregistre le nombre, la classe et la vitesse de l'ensemble des véhicules. Il est basé sur la technologie effet doppler. Les taux de précision sont de 98 % pour le comptage, 97 % pour la vitesse et de 90 % pour la longueur du véhicule. Les vitesses de détection sont comprises de 10 à 255 km/h.

Le comptage des voitures s'effectue sur une ou deux voies en sens opposé : mode unidirectionnel / bidirectionnel. L'enregistrement des mesures de vitesse et de longueur est simultané car elles sont enregistrées véhicule par véhicule (mesures individuelles). Aucune limite n'est imposée lors de l'exploitation : ni sur le nombre de classes de vitesse, ni sur le nombre de classes de longueur, ni sur la durée des séquences d'analyse. Il a une autonomie de trois semaines.

Le logiciel de traitement statistique est gratuit et ses nouvelles versions sont téléchargeables sur leur site internet.



Figure 53. Système TMS-SA - V3. D'après <http://www.magsys.net/comptage-et-detection.html>

- Le Smart Sensor de MAGSYS (figure 54) est une station de comptage radar haute définition multivoies. Il mesure le trafic sur 10 voies simultanément, y compris en trafic saturé. Il peut être utilisé comme une station de comptage fixe dont il possède toutes les caractéristiques ou comme une station temporaire lors de travaux ayant coupé les boucles inductives par exemple. Le radar est équipé d'une double antenne à faisceaux très étroits, qui lui permet de mesurer les vitesses individuelles avec une précision supérieure à 98 %. Il peut détecter les véhicules jusqu'à 80 mètres. Cette station permet d'obtenir le débit, une classification des véhicules par longueur, la vitesse individuelle, vitesse moyenne, le taux d'occupation et la distance inter-véhiculaire. Elle travaille sur une gamme de fréquence de 24 à 24.25 GHz.

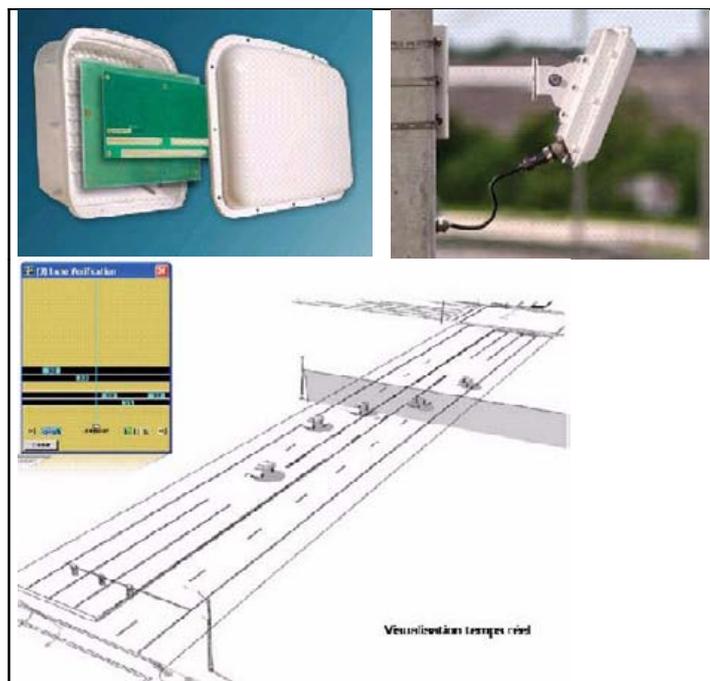


Figure 54. Système Smart sensor. (D'après la brochure Magsys : <http://www.magsys.net/smartsensor-wavetronic-station-de-comptage-multivoie.html>)

Applications-Limitations

Cette entreprise n'a pas été contactée

III.A.3.2. STERELA (France)

<http://www.sterela.fr/>

Entreprise française qui propose plusieurs solutions de comptage.

- Le TENOR (figure 55) est un compteur routier avec deux entrées pneumatiques. Il réalise toutes les mesures de débit simple, vitesse, TV/PL avec distinction des deux sens de circulation, classification en neuf classes de silhouettes en discriminant les sens de circulation et classification en 15 classes de vitesses (sur deux sens).

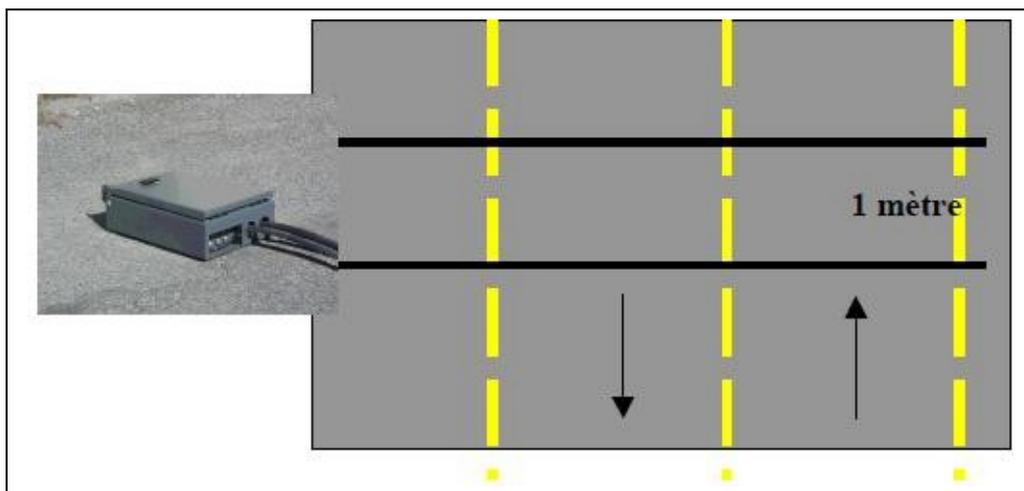


Figure 55. Illustration du compteur Tenor.

D'après http://www.sterela.fr/fpdb/File/trafic%20routier/TENOR_FR.pdf

- Le compteur Major (figure 56) est utilisé avec deux tuyaux pneumatiques standards. Il réalise toutes les mesures de débit simple, vitesse, TV/PL avec distinction des deux sens de circulation, classification en neuf classes de silhouettes en discriminant les sens de circulation et classification en 15 classes de vitesses (sur 2 sens). Le compteur MAJOR est utilisé avec quatre à huit boucles électromagnétiques. En comptage avec huit boucles le système fournit la vitesse, la longueur, le taux d'occupation, les distances et temps inter-véhiculaires sur 15 classes. Classification en six classes de silhouettes à partir de deux boucles.

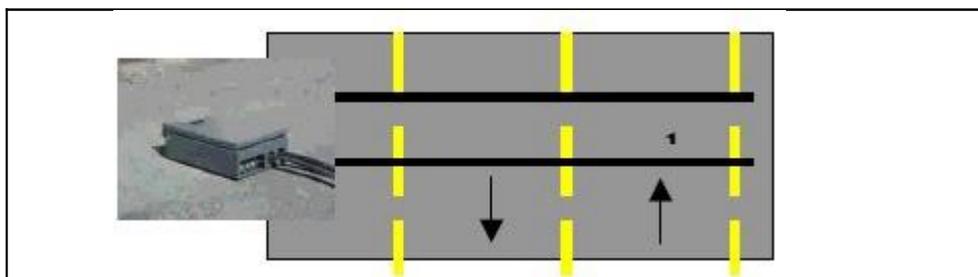


Figure 56. Illustration du compteur Major.

(D'après la brochure : http://www.sterela.fr/fpdb/File/trafic%20routier/MAJOR_FR.pdf)

Pour ces trois systèmes le taux d'erreur pour le débit est inférieur à 1 % et pour les vitesses, longueurs et catégories il est inférieur à 5 %.

III.A.3.3. WAVETEC (Allemagne)

(<http://www.wavetec-online.de/fr/index.htm>)

Entreprise allemande qui crée et réalise en série des appareils de mesure et d'information de système radar.

- Le système "wavetec traffic counter" (figure 57) mesure sans contact la vitesse des véhicules à l'aide de la technique de radar.



Figure 57. Illustration du système "wavetec traffic counter". (D'après la brochure Wavetec : <http://www.wavetec-online.com/fr/counter.htm>)

Les données enregistrées sont les vitesses (mini - maxi : 1 à 255 km/h), la date, l'heure, la direction de déplacement, l'indication du type de véhicule (longueur du véhicule). Pour la longueur du véhicule, il distingue les camions, les voitures, les autobus, les trains et les vélos dans le trafic.

Les données peuvent être transformées d'une manière très simple en diagrammes par leur logiciel "User Assistant". Il est aussi apte à détecter les piétons. Les mesures s'effectuent soit en bord de voie, soit au-dessus de la voie.

Applications-Limitations

Cet appareillage n'est pas nécessairement applicable aux 2RM, mais il serait possible de travailler sur la longueur des véhicules détectés afin d'en faire ressortir les 2RM du reste des usagers.

III.A.3.4. WEISS Electronic (Allemagne)

(<http://www.weiss-electronic.com/englisch/index.htm>)

Leurs détecteurs enregistrent les vitesses, les distances inter-véhiculaires, le type du véhicule et sa longueur.

- Le Classification Detector CD9054 et le Loop detector MC2024 permettent de classier les véhicules selon deux, six ou neuf classes. Il utilise deux boucles inductives par voie. Le détecteur peut fournir des données de suivi d'un seul véhicule avec l'interface RS485 dépendant de la version de classification.

Le Loop detector MC2014 fournit les mêmes données mais ne classifie que jusqu'à six classes.

Tableau 4. Les différentes classes utilisées.

Single vehicle data:	Loop type 1	Loop type 2	vehicle class, speed (up to 300 km/h), length, distance, time of occupancy, time gap, driving direction
(8+1) classes acc. to TLS:	—	50 m feed cable	other vehicles ₁ / motorbike ₂ / car ₃ / van ₄ / car with trailers ₅ / lorry ₆ / lorry with trailer ₇ / articulated lorry ₈ / bus ₉
(5+1) classes acc. to TLS:	300 m feed cable		other vehicles ₁ / car group ₂₃₄ / car with trailer ₅ / lorry ₆ / lorry combination ₇₈ / bus ₉
2 classes acc. to TLS:	300 m feed cable		car-similar ₁₂₃₄ / lorry-similar ₅₆₇₈₉

(D'après la brochure Weiss electronic :

http://www.weiss-electronic.com/englisch/03_komponenten/03_03_07_cd-9054.htm#5)

Applications-Limitations

Utilisation par voie, il faudrait multiplier les systèmes par le nombre de voies.

- Le RD2200 (figure 58) est un détecteur radar de type FMCW, compact et monté sur poteau. Il permet l'acquisition de données sur le trafic et de détecter les incidents indépendamment sur plusieurs voies en route urbaine et interurbaine. Jusqu'à huit zones de détection (voies) peuvent être définies par l'utilisateur, on peut traiter simultanément jusqu'à 60 m. Ainsi, un seul détecteur RD2200 peut remplacer plusieurs détecteurs de type boucle inductive. Le RD2200 peut détecter aussi bien les véhicules à l'arrêt que ceux en mouvement rapide, il est donc capable de détecter la présence mais aussi de donner le volume de trafic, le taux d'occupation, la vitesse et la classe de véhicule. L'information est transmise à une unité de contrôle.

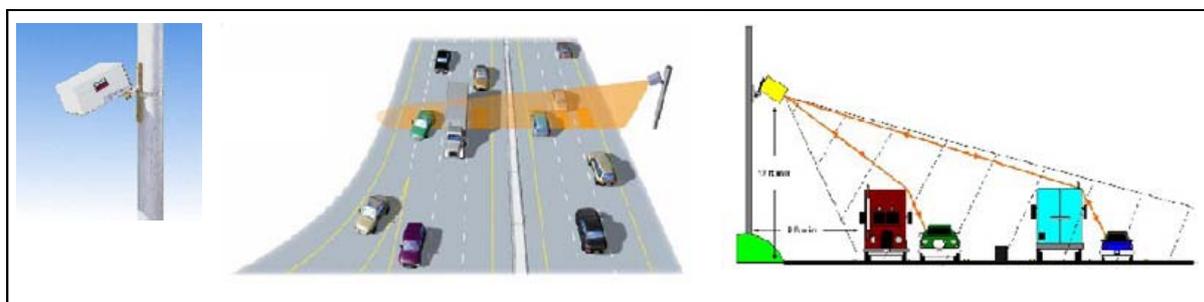


Figure 58. Illustration de la configuration du système RD2200. (D'après la brochure Weiss-Electronic :

http://www.weiss-electronic.de/englisch/03_komponenten/03_03_05_rd2200.htm)

Au vue des caractéristiques il ne peut pas différencier les 2RM.

III.A.3.5. EFKON (Autriche)

(<http://www.efkon.com/>)

Cette entreprise autrichienne propose une solution de détection et de classification automatique des véhicules " EFKON AE TITAN® 3000" utilisant des lasers (TOM 3000) placés au-dessus de la route (figure 59). Cette configuration permet d'atteindre une " grande précision " de détection même pour des comportements sur autoroute tels que le chevauchement de voie et le talonnage de plusieurs véhicules, et ce en corrélation avec les catégories de véhicules et leur vitesse. Cette solution présente un haut taux de détection, même pour les motos. Ses caractéristiques sont un taux de précision de 99,99 % pour la détection, jusqu'à 99,9 % pour la classification (mais dépend du schéma de classification retenu).

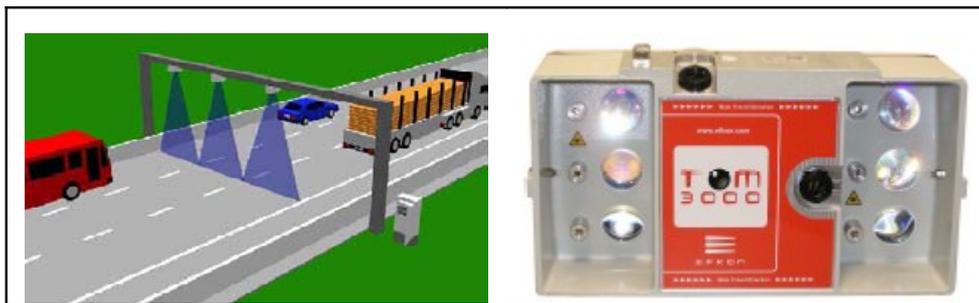


Figure 59. Illustration du système EFKON AE TITAN® 3000. (D'après la brochure EFKON : <http://www.efkon.com/>)

Applications-Limitations

Cette entreprise n'a pas été contactée.

III.A.3.6. ICOMS (Belgique) (<http://www.icomsdetections.com>)

Entreprise belge spécialisée dans le développement et la fourniture de détecteurs basés sur la technologie de l'effet doppler et d'équipement pour le comptage des véhicules, la classification, et la mesure des vitesses.

- L'appareil TMS-Net (figure 60) est un radar hyperfréquences à effet Doppler conçu pour capter les données de trafic et les transmettre en temps réel. Pour chaque véhicule, le radar transmet l'heure de passage, la vitesse et la longueur. Sa fréquence est de 24,125 GHz, il peut détecter les véhicules dans une gamme de vitesses allant de 5 à 250 km/h. La précision sur la vitesse est de 3 km/h pour des vitesses inférieures à 100 km/h et de 3 % pour des vitesses supérieures à 100 km/h, pour le comptage de 98 %, pour la longueur de ± 1 m et pour la classification de 90 %.

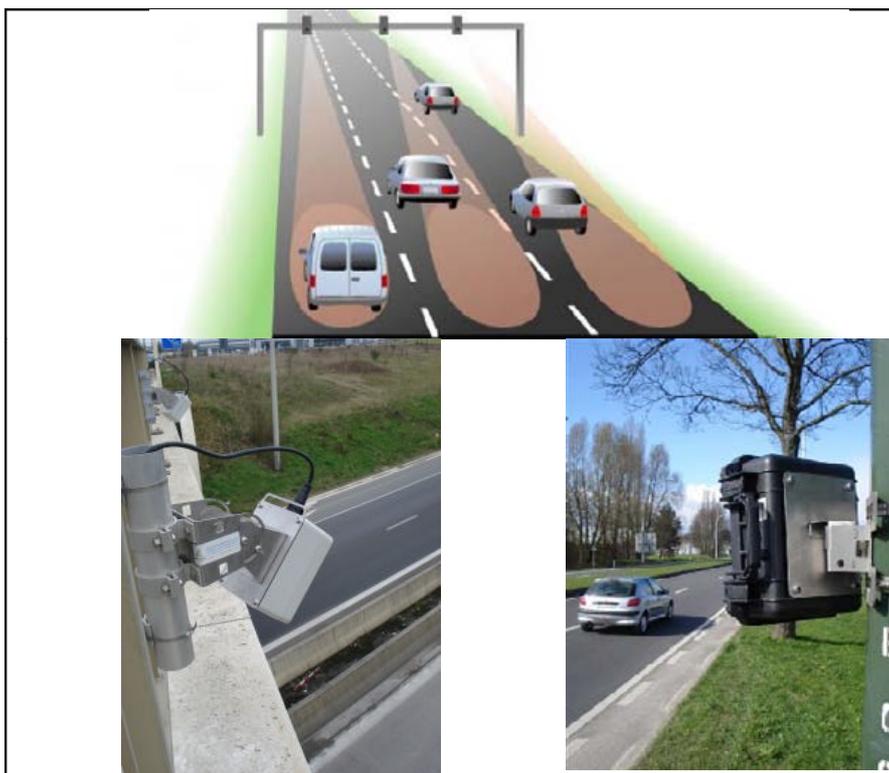


Figure 60. Illustration de l'appareil TMS-Net (à gauche) et du TMS-SA3 (à droite). (D'après la brochure Icoms Detection : http://www.icomsdetections.com/common/pages.php?s_id=16_26)

Le TMS-SA3 (figure 60) est le pendant portable du TMS-Net.

Applications-Limitations

La précision sur la longueur est peut-être insuffisante pour être sûr de différencier un 2RM d'un VL.

III.A.3.7. Noptel (Finlande)

(<http://www.noptel.fi/eng/index.html>)

Entreprise finlandaise spécialisée dans le design et la manufacture de détecteurs optoelectriques dans la mesure de distances, positions, déplacements et formes. Ils peuvent être utilisés pour de nombreuses applications comme la mesure de profil ou la classification de véhicule, la mesure de vitesse, le comptage, le positionnement d'un véhicule en mouvement, en programmant leurs paramètres en fonction de la demande. Ils ont une faible consommation d'énergie et peuvent être utilisés aussi bien dans des installations fixes que pour des systèmes portables. Le capteur de type CM (figure 61) utilise pour la mesure un faisceau laser étroit dans l'axe de la voie, tandis que le type CMP utilise un faisceau laser plus large.

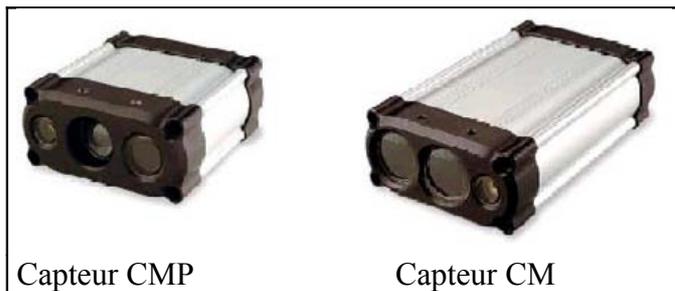


Figure 61. Illustration de capteurs de type CM. (D'après la brochure : http://www.noptel.fi/brochures/nms_brochures/cm2_rangefinders.pdf).

-Le "Noptel Distance Sensors for Traffic Control" utilise la technologie de temps de vol par impulsion, technologie qui permet d'effectuer des mesures 3D (figure 62). Le principe de fonctionnement consiste à mesurer rapidement la distance jusqu'à l'objet et de l'utiliser pour définir le moment exact de déclenchement. Lorsque le véhicule entre dans la zone de déclenchement défini par les paramètres, le capteur envoie une impulsion à l'appareil photo. La précision de déclenchement dans de tels cas peut aller jusqu'à 5-10 cm (soit une milliseconde), suivant l'installation.

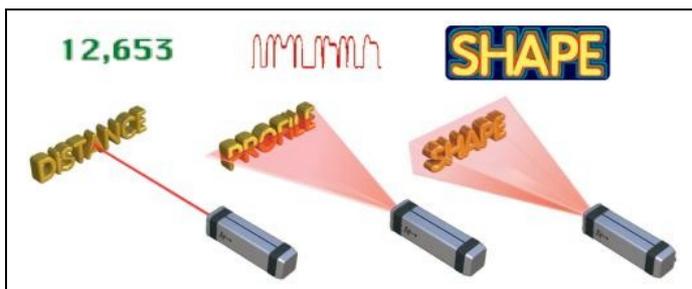


Figure 62. Illustration du principe. (D'après la brochure Noptel : http://www.noptel.fi/brochures/nms_brochures/nop_laserdist_3.pdf)

Applications-Limitations

Cette entreprise n'a pas été contactée.

III.A.3.8. AADI DATAREC (Norvège)

(<http://www.aadi.no/Datarec/Default.aspx>)

- Le Datarec7 Signature (figure 63) est un classificateur avancé de véhicules basé sur une technologie poussée des boucles inductives utilisant aussi la reconnaissance par modèle inductif de la signature électronique d'un véhicule pour identifier le type de véhicule qui est en train de passer au-dessus de la boucle. Ce système permet de faire du comptage, de mesurer la longueur de l'espace entre deux signaux, de déterminer la classe du véhicule mais aussi du monitoring de donnée trafic. De plus, ce système propose comme une option le comptage de vélos.

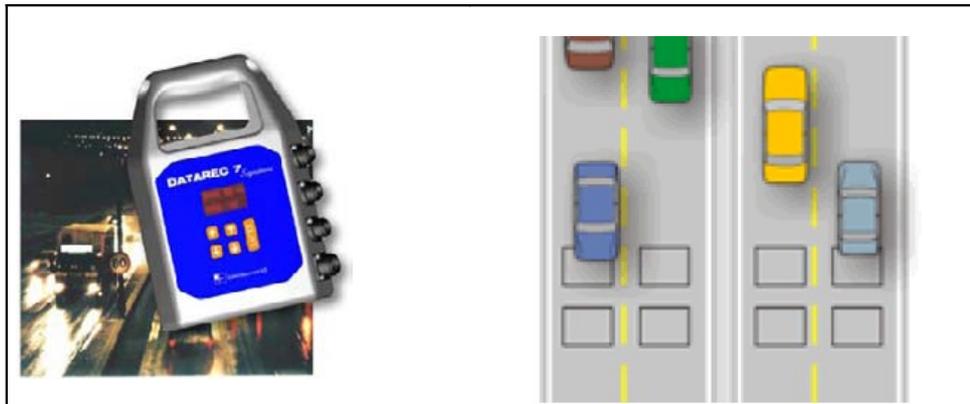


Figure 63. Illustration du classificateur Datarec7 Signature. (D'après la brochure AADI : <http://www.aadi.no/Datarec/Document%20Library/1/Datarec%207%20Signature%20-%20High%20Performance%20Traffic%20Classifier/DataRec%207.pdf>)

Applications-Limitations

Cette entreprise n'a pas été contactée.

III.A.3.9. TRAFFIC TECHNOLOGY 2000 (Canada)

(<http://www.traftech2000.com>)

Cette entreprise canadienne propose deux systèmes intéressants : Le KV-Laser et le LOTOS.

- Le KV-laser de Traffic Technology 2000 utilise deux lasers parallèles, fonctionne sur le principe de temps/distance. L'unité calcule la vitesse et mesure la longueur de chaque véhicule lors de son passage devant les deux faisceaux Laser parallèles. Ces données sont enregistrées dans la mémoire avec l'heure et la date de passage. Les données sont à la fin téléchargées pour analyses soit dans un chiffrier ou dans leur logiciel gratuit TrafStat Viewer. Leur logiciel permet de visualiser la distribution des vitesses, les mesures des vitesses cumulatives, des tranches par 10 km/h, les 85^{èmes} percentile et la densité de circulation horaire. Ce système peut être installé dans le véhicule (Figure 64) ou en bord de voie par l'intermédiaire d'un trépied.

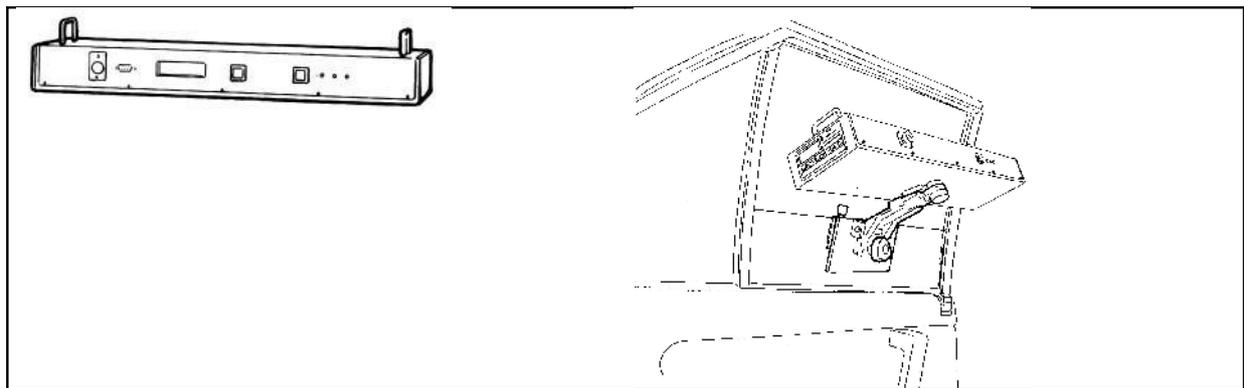


Figure 64. Illustration du Système KV-Laser. À gauche, la barre de détection, à droite, le système installé à l'intérieur d'un véhicule. (D'après la brochure de Traffic technology 2000 : <http://www.traftech2000.com>)

- LOTOS : est un système (à principe laser, figure 65) avancé pour la gestion de la circulation. LOTOS ne nécessite aucune infrastructure en terme d'alimentation électrique ou de ligne de téléphone. Les données fournies sont la date, l'heure, la vitesse et la longueur des véhicules.



Figure 65. Illustration du système lotos. (D'après la brochure de Traffic technology 2000 : <http://www.traftech2000.com>)

Applications-Limitations

Cette entreprise n'a pas été contactée.

III.A.3.10. MACQ Electronique

Leur solution Icar-class est une solution non intrusive pour la classification et le comptage des véhicules. Système vidéo de comptage classifié équipé d'une caméra digitale haute définition (en option une deuxième est possible pour travailler en stéréo) qui donne les dimensions des véhicules. Après un auto-calibration de quelques minutes, le système est intégré et compte les véhicules, détermine leur classe et mesure leur vitesse. Le module d'analyse d'images est basé sur un détecteur de calandres qui distingue les véhicules qu'il classe selon quatre catégories. Un module de tracking suit le déplacement des véhicules.

Leur solution Icar-Class 3D utilise deux caméras et ajoute un module supplémentaire, bounding box (figure 66). Il détermine les trois dimensions de base des véhicules (hauteur, longueur, largeur)

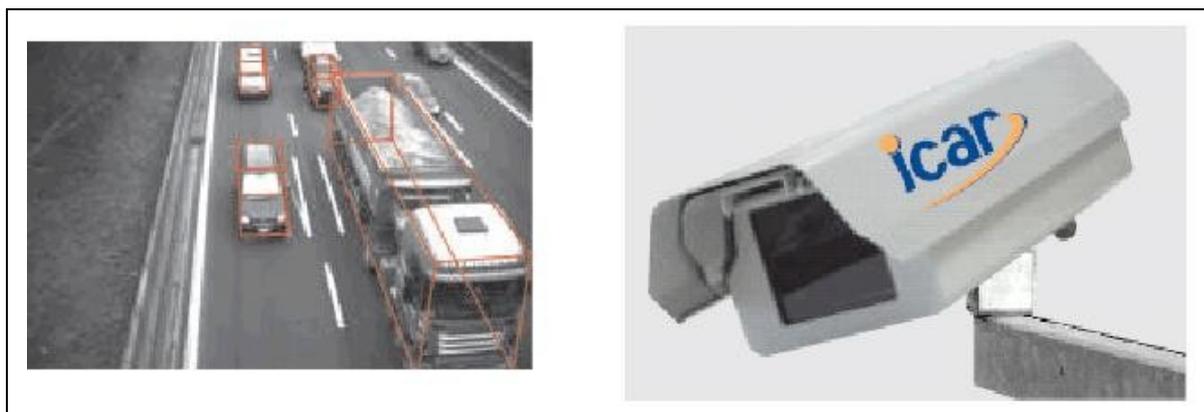


Figure 66. Illustration du Système Icar (D'après brochure Macq Electronic : <http://www.macqel.be/trafic/documentation-ie-traffic-fr/FICHE%20icar-CLASS%20fr.pdf>)

Applications-Limitations

Cette entreprise arriverait par analyse vidéo à compter les deux-roues, mais sans distinguer les 2RM, des vélos. De plus les résultats seraient d'une qualité très variable due aux contraintes telles que le brouillard, la pluie, la nuit etc.

D'autres entreprises comme MACQ ELECTRONIC ou STERELA travaillent respectivement sur un système de comptage par analyse vidéo et une association de techniques radar+analyse vidéo. Mais les mêmes difficultés techniques rencontrées par tous les développeurs penchés sur l'analyse vidéo telle que les conditions météorologiques, la sensibilité pour détecter les plus petits gabarits ou la confusion dans la classification par la longueur du véhicule entre une petite voiture et une grosse moto posent toujours d'importants problèmes.

III.A.3.11. TDS (Transport Data System) (USA)

(<http://www.transportdatasystems.com>)

Cette entreprise américaine est spécialisée dans le développement et la fourniture de produits de classification automatique des véhicules et de reconnaissance automatique des plaques d'immatriculation. Les systèmes de reconnaissance automatique sont composés d'un "light curtain", d'un "Doppler radar" et de "single strip fiber treadler" (figure 67).

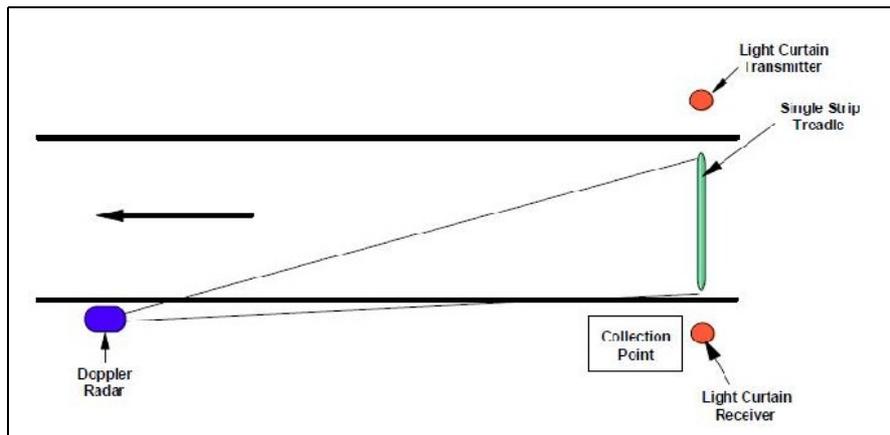


Figure 67. Vue de dessus du système de reconnaissance automatique de véhicules. (D'après la brochure : http://www.transportdatasystems.com/pdf/avc_model_110.pdf)

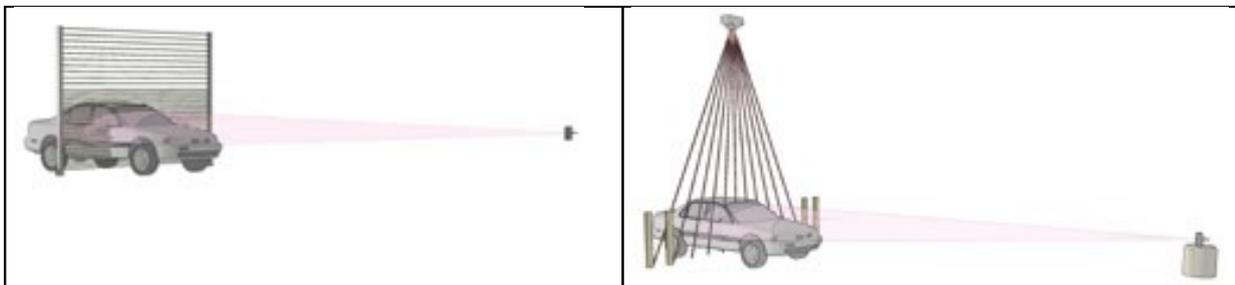


Figure 68. Illustration de l'obtention du profil de véhicule. (D'après la brochure : http://www.transportdatasystems.com/avc_lowspeed.php)

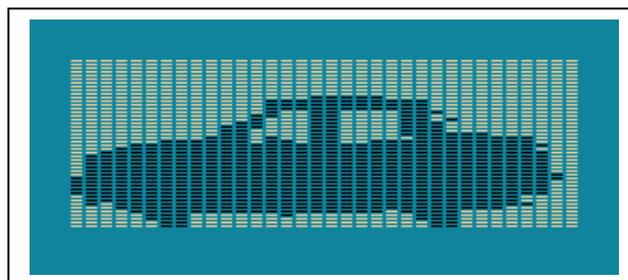


Figure 69. Exemple de profil de véhicule.
(D'après http://www.transportdatasystems.com/avc_curtain_systems.php)

La précision de leur classification est de 99,5 %.

Le " Transport Measurement System " utilise un radar capable de suivre plusieurs véhicules dans le trafic, de déterminer la vitesse, la position et d'identifier la voie de circulation pour chacun simultanément. Le radar est en mesure d'effectuer le suivi du véhicule même dans des situations complexes (figure 70).

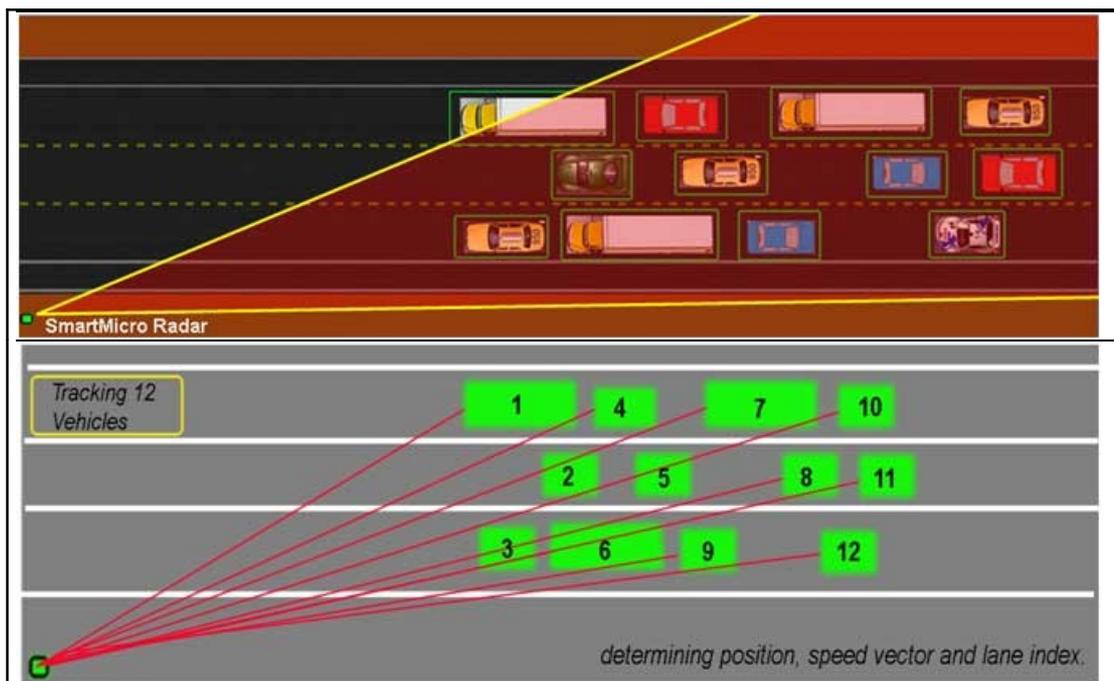


Figure 70. Illustration du système Transport Measurement System. (D'après http://www.transportdatasystems.com/traffic_measurement.php)

Les données de trafic sont disponibles en temps réel. On peut obtenir la vitesse et le comptage des véhicules, mais aussi un modèle d'écoulement de trafic hébergé sur un processeur centralisé.

Les données traitées et transmises au système de gestion du trafic peuvent fournir une surveillance continue en temps réel de la charge du trafic en des points stratégiques d'une route. (d'après la brochure TDS : http://www.transportdatasystems.com/traffic_measurement.php)

Tableau 5. Classes et description des classes et le nombre d'essieux au total. La colonne de droite donne la correspondance avec les classes française (rajoutée).

Classes	Description	Essieux	K (France)
1	2RM	2	13
2	Véhicules courts à 2 essieux	2	1
3	Véhicule de classe 2 avec une remorque à 1 essieu	3	12
4	Véhicule de classe 2 avec une remorque à 2 essieux	4	12
5	Véhicule de classe 2 avec une remorque à 3 essieux	5	12
6	Véhicules longs à 2 essieux (camions/bus)	2	2
7	Véhicule de classe 6 avec une remorque à 1 essieu	3	
8	Véhicule de classe 6 avec une remorque à 2 essieux	4	
9	Véhicule de classe 6 avec une remorque à 3 essieux	5	
10	Camions, bus à 3 essieux	3	3 (e.g., bétonnière) 11
11	Semi à 3 essieux	3	2 ???
12	Véhicule à 4 essieux	4	4
13	Véhicule à 5 essieux	5	
14	Véhicule à 6 essieux	6	
15	Véhicule à 7 essieux	7	

La classification automatique se fait par un système de reconnaissance de patterns spéciaux pour catégoriser les véhicules parmi un nombre de types distincts (tableau 6). Un pattern est composé de la longueur du véhicule, du nombre d'espaces entre les essieux et de la hauteur de la " matrice " du véhicule.

Le système détecte et différencie deux véhicules même très proches, il fonctionne même avec les véhicules ayant une vitesse négative.

Tableau 6. Description des types distincts de véhicule utilisé par le système.

Type de véhicule	Classification Péages	Caractéristiques des véhicules
2RM	1	2 essieux, longueur < 2,13m
Véhicule court à 2 essieux	2 à 5 en fonction de la remorque	2 essieux, 2,13m < longueur < 6,10m
Véhicule longs à 2 essieux	6 à 9 en fonction de la remorque	2 essieux, longueur > 6,10m
Bus / camions à 3 essieux	10	3 essieux, rapport d'essieux
Semi à 3 essieux	11	3 essieux, rapport d'essieux
4 essieux ou plus	12 à 15 en fonction du nombre d'essieux	Total d'essieux

Applications-Limitations

Outil développé à destination des autoroutes.

III.A.3.12. Advanced Device (Thaïlande)

Cette entreprise thaïlandaise est spécialisée dans les systèmes CCTV, de sécurité, de localisation automatique des véhicules, d'informations géographiques...

Le TrafficMonitor (figure 71) est un système de traitement d'image vidéo en temps réel pour la collecte des données de trafic. Il donne lui aussi le volume (nombre de véhicules passés par voie), la classe (cinq classes: 2RM, voiture, minibus, camionnette, autobus, camion de plus de 12 mètres), la vitesse moyenne des véhicules en km/h, la distance moyenne entre les véhicules pour chaque voie et la détection d'embouteillage pour chaque voie.

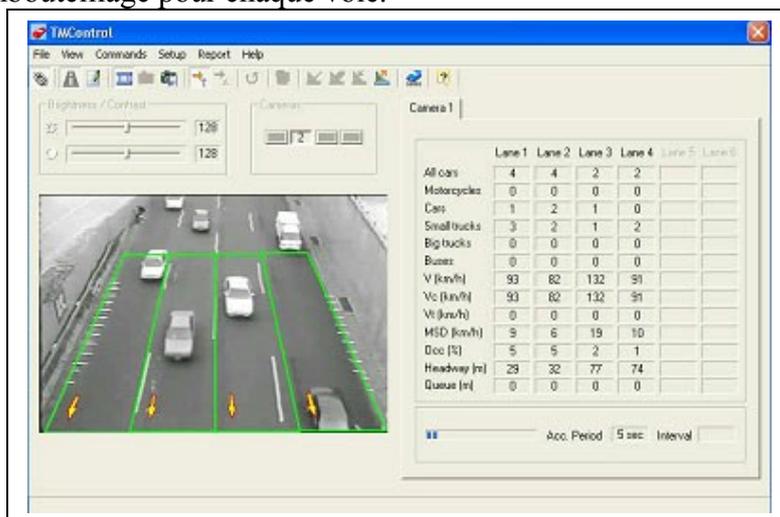


Figure 71. Illustration du Système TrafficMonitor. (D'après la brochure Advanced Device : <http://www.advanceddevice.com/TrafficMonitor.html>)

Applications-Limitations

Cette entreprise n'a pas été contactée.

III.A.4. Entreprises " non-retenues "

Cette partie référence les entreprises qui ont des systèmes d'analyse du trafic mais qui ne correspondent pas pour notre étude.

* CITILOG : détection automatique d'incidents (<http://www.citilog.com>)

* VIALIS : gestion du trafic et de parkings (<http://www.vialis.com>)

* NOPTTEL : détection des distances

III.A.5. Conclusion sur les entreprises

Précisons que toutes les entreprises contactées affichaient une capacité à détecter les 2RM ou, au moins, les vélos. Mais quand la détection était possible, il s'agissait bien souvent de conditions particulières de position du motard, i.e. pour que le 2RM soit détecté que l'utilisateur soit " où on l'attend " ou qu'il passe où il est susceptible d'être détecté.

Il apparaît qu'il n'y a pas de réelle offre industrielle spécifique à ce domaine des 2RM dans les conditions d'usage de la route définies dans la première partie de ce rapport.

ENTREPRISE	Nom du Capteur	Technologie de Capteur	Nature	
Counters & Accessories ltd.	Minute Man EVR	Tube	I (intrusif)	http://www.ca-traffic.com/Products.aspx?prdid=47
Vialis bv	ViTrac	boucle induction	I	http://www.vialis.nl/
Idris Technology		boucle induction	I	http://www.idris-technology.com/technical-sheets/automatic-vehicle-detection-and-classification/
AADI	Datarec 7	boucle induction	I	http://www.aadi.no/Datarec/Document%20Library/1/Datarec%207%20Signature%20-%20High%20Perform
Capsys	STM ou STD	boucle induction	I	http://www.capsys.eu/produit.php?id=16 ou alors http://www.capsys.eu/produit.php?id=18
Eco compteur	Boucle ZELT	boucle magnétique	I	http://www.eco-compteur.com/Boucle-magnetique-ZELT.html?wpid=41032
Sensys		decteurs magnétiques	I	http://www.sensysnetworks.com/technology
Sensorline gmbH	SMS	fibres optiques	I	http://www.sensorline.de/cable-shaped.html
Sferiel		Capteur piézoélectrique (en dvpt)	I	http://www.sferiel.com/
TDS	Traffic Measurement System	Radar	NI (non-intrusif)	http://www.transportdatasystems.com/traffic_measurement.php
Weiss electronic	Combined radar detector RD 2200	Radar	NI	http://www.weiss-electronic.de/englisch/03_komponenten/03_03_05_rd2200.htm
Wavetec	Traffic Counter	Radar	NI	http://www.wavetec-online.com/en/counter.htm
Magsys	Smart Sensor	Radar	NI	http://www.magsys.net/smartsensor-wavetronic-station-de-comptage-multivoie.html
ICOMS detection	TMS-SA3 ou TMS-Net	Radar Doppler	NI	http://www.icomsdetections.com/common/pages.php?s_id=16_25 ou alors http://www.icomsdetections.com
Capflow	Flexiroads	traitement/analyse vidéo	NI	http://www.hellopro.fr/redirection_site_web.php?id_soc=4252&id_prod=22197&origine=7
Famas	STAR F-500	traitement/analyse vidéo	NI	http://www.intertraffic.com/marketplace/mypage/products_detail.asp?mypageid=1987&productid=2935
VisioWay	Open Counter	traitement/analyse vidéo	NI	http://www.visioway.com/
Iteris	RZ-4 Advanced camera (ou Vantage)	traitement/analyse vidéo	NI	http://www.iteris.com/upload/datasheets/RZ4Advanced.pdf
ACIC	Mv Traffic	traitement/analyse vidéo	NI	http://www.acic-tech.be/
Image Sensing Systems	Autoscope	traitement/analyse vidéo	NI	http://autoscope.com/products/dl/Autoscope_brochure.pdf
Traficon	VIP-D	traitement/analyse vidéo	NI	http://www.traficon.com/solutions/product.jsp?id=3&parentType=ProductApplication
Optelecom nfk (+traficon)	Siquira TrafficServer	traitement/analyse vidéo	NI	http://www.optelecom-nkf.com/
Advanced Device	TrafficMonitor	traitement/analyse vidéo	NI	
Citilog	MediaRoad	traitement/analyse vidéo	NI	http://www.citilog.com/pdfs/Citilog_Brochure_MediaRoad_04no.pdf
Sterela		Analyse vidéo, Radar (en dvpt)	NI	http://www.sterela.fr/
Noptel		laser	NI	http://www.noptel.fi/eng/nms/index.php?doc=3_products/traffic
Traffic Technology 2000	KV-Laser	Laser	NI	http://www.traftech2000.com/
Efkon	AE Titan 3000	Laser IR actif(+algorithme)	NI	http://www.efkon.com/
Macq electronic	fournisseur d' Icoms, Capsys, Efkon			http://www.macqel.be/trafic

III.B. Les laboratoires de recherche et instituts

Le développement des systèmes basés sur l'analyse d'images s'effectue principalement dans des départements d'ingénierie en électronique et des laboratoires de recherche (principalement dans le domaine de l'informatique). Très peu ont développé des algorithmes de détection, reconnaissance et classification des deux-roues (i.e., 2RM et vélos).

La majorité des algorithmes proposés fonctionnent en différé de part leur coût en temps de traitement. Certains montrent une possibilité de fonctionner en temps réel. Il ressort de cet état des lieux que les solutions applicables aux 2RM sont extrêmement limitées et souvent pour établir la fiabilité du système, dans le cas des 2RM, il manque les taux de réussite.

III.B.1. Traitement en temps différé

D.Conte [14] a proposé un algorithme peu coûteux en temps de traitement qui apparaît compatible avec le traitement en temps réel. L'algorithme a été testé sur deux vidéos de 1 000 img. Ces vidéos sont tirées d'une base de données construite pour le test d'algorithmes de traitement d'images (PETS2001).

Pour la détection, l'algorithme de Conte [14] traite les 1 000 img en 1 222 sec, 82 img/s lorsqu'il y a peu d'objets en mouvement. Lorsqu'il y a plusieurs objets en mouvement il traite les images en 2 147 sec, 47 img/s. Pour Conte, ce temps de traitement est compatible avec des utilisations en temps réel.

Pour le suivi d'objets en mouvement, l'algorithme de Conte traite l'occlusion et traite les images à la même vitesse que celui A.Sénior et al [15] mais commet moins d'erreurs.

Applications-Limites

L'algorithme n'a pas été spécifiquement développé pour la détection des 2RM.

III.B.2. Traitement en temps différé, possibilité en temps réel

J.A.Vijverberg et al. [16] ont proposé un algorithme de détection dans les vidéos réalisées à partir d'une caméra fixe (figure 72a) avec une configuration pour les mesures utilisant les boîtes 3D (figure 72b). Ce système est pour détecter les infractions (e.g., excès de vitesse, changement de voie, etc.). La détection des véhicules se fait par segmentation du mouvement basée sur l'estimation du fond et soustraction du fond. Les classes d'objet sont : les piétons, vélos, motos, voitures et camion-bus.

Le taux de classification du type d'objet est de 93-94 %, et le taux de détection précise de l'événement est de 85 %

J.A.Vijverberg et al. [16] considèrent que le taux de traitement (63-150Hz) offre des possibilités de traitement en temps réel.

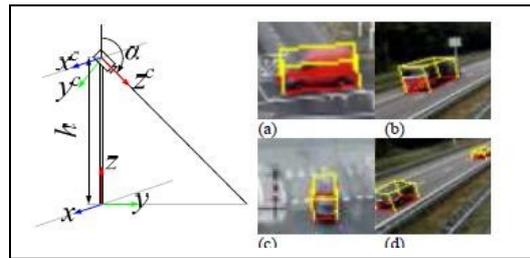


Figure 72.

H.-Y.Lin et J.-Y.Weï [17] ont proposé un algorithme d'analyse d'image permettant de détecter et de suivre trois types d'objets en mouvement : véhicules (i.e., voitures et camions), les motos en incluant les vélos et les piétons. Ils ont utilisé le rapport taille/poids pour les véhicules et le rythme de la marche pour les piétons. Le système de vidéo est placé perpendiculairement (figure 73)



Figure 73. Illustration du système.

Applications-Limites

Les taux de reconnaissance sont très bons mais H.-Y.Lin et J.-Y.Weï [17] considèrent que leur analyse est efficace et qu'elle peut être appliquée sur des systèmes en temps réel mais ils ne donnent pas les temps de traitement.

III.B.3. Traitement en temps réel

J.C.Tai et K.T.Song [18] ont proposé un système en temps réel qui détecte les voitures et les 2RM, basé sur la différence de taille entre les deux types de véhicules. Ils utilisent la méthode du contour. Ils ont proposé ce système car la plupart des méthodes ne permettaient pas de détecter les 2RM. Pour J.C.Tai et K.T.Song [18] c'est la méthode du contour qui répond au mieux à la problématique des 2RM mais elle nécessite une initialisation. De plus, le principal inconvénient est qu'il ne peut pas suivre plusieurs 2RM ou voitures simultanément. Ils ont testé leur système sur des vidéos d'une intersection car les voitures et les 2RM ne peuvent être suivis avec succès sur une artère urbaine.

J.C.Tai et al. [19] ont proposé un algorithme de détection et de suivi de véhicule en temps réel qui peut calculer la vitesse et différencier les 2RM des autres véhicules. Ils utilisent la méthode du contour (figure 74). Le contexte d'utilisation de ce système est une double voie urbaine.

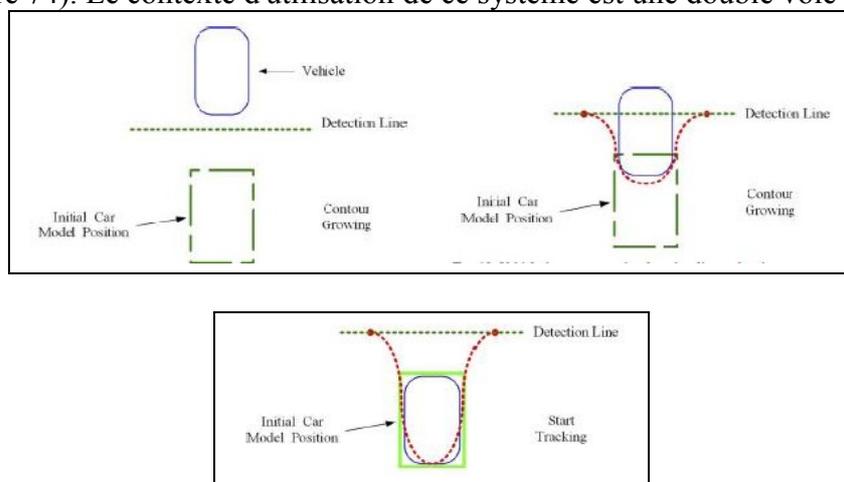


Figure 74. Illustration de la méthode

Applications-Limites

J.C.Tai et al. (18, 19) ne donnent pas de taux de réussite.

R.Rad et M.Jamzad [20] ont proposé un algorithme d'analyse d'image en temps réel pour le suivi et la classification des véhicules sur autoroute. Ils utilisent le filtre Kalman et la technique de distinction du fond. Ils obtiennent un taux total d'erreur de 5,4 % (= 2,4 %¹ + 1,6 %² + 1,3 %³).

Ils vont travailler sur le développement d'une méthode qui :

- 1- minimise la taille des boîtes contour dessiné autour de l'image du véhicule détecté ;
- 2- ne soit pas " bruitée " par les ombres des véhicules.

S.Messelodi et al. (21, 22) proposent un système (figure 75) pour l'étude des carrefours, en temps réel à 25 img/s. Le délai court possible grâce à la tâche de classification qui est réalisée après qu'un véhicule ait réalisé complètement son trajet (i.e., path). C'est le système SCOCA (i.e., système de comptage et de classification automatique des véhicules) qui détecte et classe les vélos, motos, voitures, vans, camion-bus, bus urbains et extra-urbains. Ce système est une extension de celui utilisé dans la ville de Trento. Le système SCOCA est modulaire et flexible en fonction de la configuration de l'intersection et des paramètres de la caméra.

SCOCA est un système qui utilise une méthode hybride de traitement de l'image "region-based" & "feature-based".

¹ Erreurs de région : quand deux véhicules sont trop proches l'un de l'autre.

² Erreurs de découpage : quand un véhicule apparaît en haut ou en bas de l'image ou quand un bus est caché par deux autres véhicules.

³ Perte du véhicule : surtout pour les 2RM, quand elles passent trop vite devant la caméra.

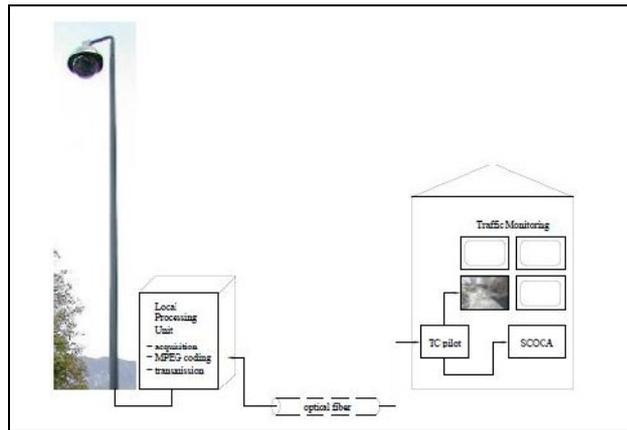


Figure 75. système SCOCA.

La classification (tableau 7) est basée sur une série de modèles 3D, chacun fournit une description grossière de la forme de différents groupes de véhicules (figure 76).

Tableau 7. Classes d'objets utilisés par SCOCA

Classes	Modèles
Bicyclette	Cycle
Motocyclette	Cycle
Car	Petite voiture, voiture, mini-bus
Van	sm-truck-o, sm-truck-c
Bus urbain	Bus
Bus extra-urbain	Bus
Camion	Bus
Piéton	Piéton

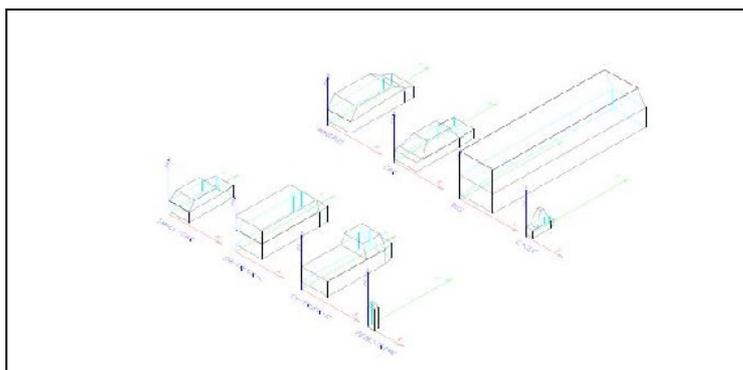


Figure 76. Modèles 3D des objets.

Le taux d'erreurs dans la différenciation vélo/2RM est de 12,2 %. La pluie n'est pas un problème mais le système ne fonctionne pas la nuit à cause des lumières des véhicules qui détériorent la technique de soustraction du fond. Les ombres, reflets, occlusions et les groupes de piétons sont les plus importantes sources d'erreurs dans le comptage et la classification. Les résultats préliminaires concernant la méthode basée sur "Support Vector Machines", les premiers résultats montraient un taux d'erreur de 6,7 %.

Toujours dans le cas d'analyse des carrefours, S.Messelodi et al. [22] ont récemment proposé une méthode basée sur "non-linear support vector machine", ils obtiennent un taux de réussite de 96,7 % dans la distinction vélo/2RM. Le tableau 8 présente les taux d'erreur selon différentes modalités du système.

Tableau 8. Taux d'erreur global, de détection des deux-roues et de détection des 2RM.

Taux d'erreur	Global	Vélo	2RM
Support vector machine côté	6,2 %	10,2 %	4,3 %
De face	6,2 %	6 %	6,5 %
Error at view level	6,3 %	9,5 %	4,3 %
At vehicule level	3,3 %	3,8 %	3 %

Note : 5 % taux d'erreur accepté en Trafic monitoring.

T.Chheng [23] propose un algorithme de traitement d'image pour détecter les 2RM à un stop utilisant une caméra fixe (320x240, 15 img/s).

Applications-Limites

Les résultats sont présentés comme prometteurs mais les taux de détection ne sont pas donnés.

M.-Y.Ku et al. [24] proposent des algorithmes de segmentation occlusive et un algorithme de suivi des 2RM. Pour détecter et séparer les 2RM des autres véhicules, ils font une recherche du casque. Ils utilisent l'algorithme "probability-based background extraction" de Chiu et al. (2007).

Ils utilisent quatre paramètres : la longueur visuelle, la largeur visuelle, le ratio de pixel et la forme du casque. Les véhicules et les 2RM sont définis comme suit :

- * les véhicules ont une longueur visuelle de 6 m et une largeur visuelle de 2 m ;
- * Les 2RM ont une longueur visuelle de 3 m et une largeur visuelle de 1,2 m. (figure 77).

La détection se fait comme suit :

$$\text{Si } \begin{cases} 2 \text{ m} < \text{longueur visuelle} < 4 \text{ m} \\ 1 \text{ m} < \text{largeur visuelle} < 2 \text{ m} \\ \text{Pixel ration} < 0,6 \end{cases} \quad \text{alors 2RM}$$

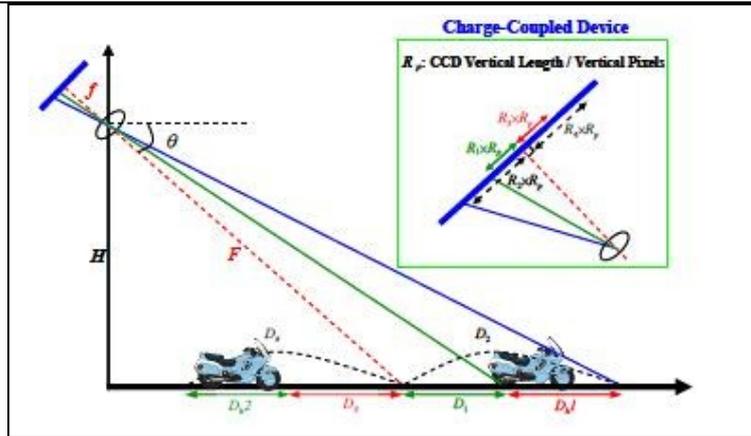


Figure 77. Illustration de la géométrie optique entre l'image et le sol.

Applications-Limites

* M.-Y.Ku et al [24] obtiennent un taux de détection de 96,7 % de jour, et de 80,2 % de nuit.

* Les erreurs de jour sont principalement dues à la couleur des 2RM et des vêtements des motards qui peuvent se confondre avec la couleur de la route. Les erreurs de nuit sont dues au fait que les contours des 2RM soient mal discriminés dans les conditions de luminosité dégradées et aux problèmes des reflets.

N.J.Kanhere et al. [25] ont proposé une méthode de suivi de véhicule avec une caméra à 9 m du sol avec un angle faible (figure 78).

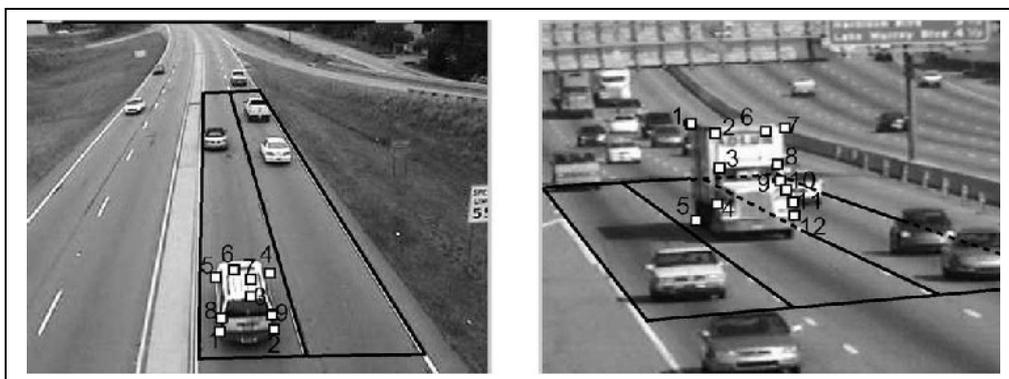


Figure 78. À gauche, la caméra est élevée par rapport au sol, l'angle est important, ce qui permet d'obtenir une homographie suffisante pour "cartographier" la route au plan de l'image. À droite, lorsque l'angle est faible, l'homographie obtenue peut faire que les caractéristiques d'un véhicule débordent sur les voies adjacentes.

L'algorithme utilisé traite les images à partir de volumes (figure 79).

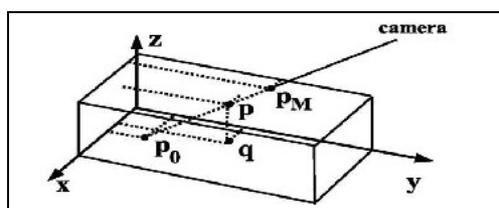


Figure 79. Volume traité par l'algorithme. Où, $p = \Phi(u)$, $q = \Phi(v)$ et calculé selon l'hypothèse que q est la projection dans l'axe vertical de p , sur la route. Les points P_0 et P_M sont les intersections du rayon de projection avec le haut et le bas de la boîte de calibrage.

Il y a des erreurs quand :

- les voitures sont proches les unes des autres ;
- un camion se trouve dans la voie adjacente d'une voiture ;
- des 2RM sont dans la même voie côte à côte ;
- la voiture est isolée mais qu'il manque des points.

Applications-Limites

* N.J.Kanhere et al. [25] obtiennent comme taux de réussite pour :

- la segmentation et le suivi > 90 %
- la classification > 95 %

* Le taux de fausse détection est de 1 à 7 %, excepté lorsque la séquence vidéo étudiée comporte des ombres longues où le taux de fausse détection est de 12 %.

Z.Hu et al. [26] ont proposé une méthode d'analyse basée sur la projection inverse de la scène réelle (figure 80), le système est composé de deux caméras. C'est la méthode de la probabilité de fusion de la carte ("probability fusion map", PFM). La PFM représente la probabilité d'un véhicule d'être présent dans la scène, et est calculée par la fusion d'inversement des différentes images cartographiées à l'intérieur d'une zone commune.

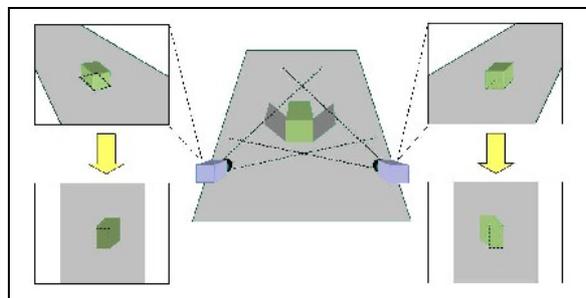


Figure 80. Illustration de la méthode de projection inverse.

Le tableau 9 présente les taux de réussite de détection de la méthode PFM et ceux obtenus par la méthode conventionnelle.

Tableau 9. Taux de réussite de détection pour la méthode PFM / Conventiionnelle

Durée des séquences (min)	Comptage réel	PFM		Solution conventionnelle	
		Véhicules détectés	Taux de réussite	Véhicules détectés	Taux de réussite
0-10	215	213	99,5 %	231	92,7 %
10-20	182	179	98,3 %	191	89,5 %
20-30	151	151	100 %	159	94,4 %
30-40	158	155	98,1 %	174	90 %
40-50	214	213	99,5 %	239	88,6 %
50-60	154	155	99,2 %	168	90,2 %
Total	1 074	1 066	99,3%	1 066	99,3%

Applications-Limites

* La solution de Z.Hu et al. [26] permet d'estimer la vitesse des véhicules, ils obtiennent un taux d'estimation supérieur à 88 %.

* Les résultats ne concernent que les véhicules autres que les 2RM.

L.Wang et al. [27] proposent une méthode de reconnaissance et de classification des véhicules qui combine la reconnaissance des patterns biométriques et "Choquet Integral". La détection des objets se fait avec un algorithme traitant les flux optiques qui permet de classer camions, voitures, 2RM et piétons. Mauvaise classification voiture/2RM mais la combinaison de la première classification à la reconnaissance des patterns biométriques, la surface et la vitesse comme données d'entrée du "Choquet Intégral" permet une amélioration des résultats.

Applications-Limites

L.Wang et al. [27] ne donnent pas de taux de réussite.

Il existe des algorithmes très efficaces de suivi (e.g., [28]), de détection, de suivi et de comptage (e.g., [29]) mais ils n'y a pas d'exemple concernant les 2RM. Pour W.-L.Hsu et al. [28] il n'y a pas les taux de réussite. De plus, pour L.Vibha [29] bien que le taux de réussite de détection soit de 100 % et de 94 % pour le comptage, lorsque deux voitures sont proches le système compte une voiture.

La technique des systèmes de vidéo-surveillance s'est récemment développée dans le de l'analyse de trafic. Si elle représente un intérêt certain (i.e., automatisation de l'analyse, plus grand volume de données traitées,etc.), les études présentées précédemment montrent que cette technique est encore très perfectible en ce qui concerne les véhicules en général et à " construire " pour les 2RM.

La méthode de traitement d'images utilisant la technique des réseaux de neurones apparaît très intéressante. Dans le domaine des systèmes de navigation intelligent, N.Chumerin et M.M.Van Hulle [30], à partir de vidéos réalisées à l'intérieur d'un véhicule en mouvement, arrivent à détecter, décrire (i.e., type, vitesse, distance, accélération, etc.) et suivre les véhicules présents dans le trafic (figure 80).

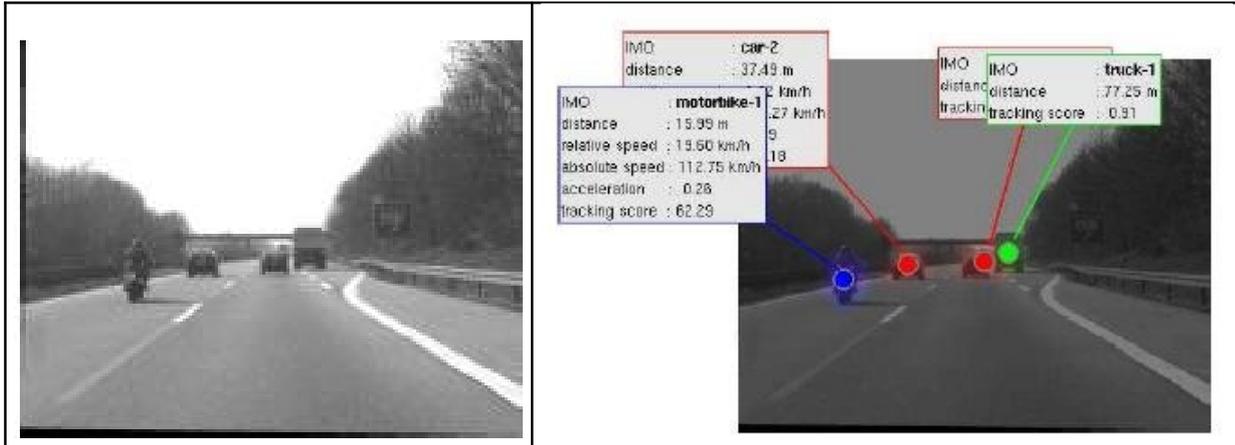


Figure 80. Système de N.Chumerin et M.M.Van Hulle [30]. À gauche, image de départ; à droite, résultats après traitement.

D.Noyce et al. [11] ont proposé un algorithme de détection et de classification des piétons et des deux-roues pour la technologie des détecteurs actifs infrarouges (image 3D par au-dessus, figure 81). En fait, ils ont adapté l'algorithme développé pour les 2RM par infrarouge actif.

Cet algorithme a été développé par la compagnie Schwartz Electro-Optic en Floride. D.Noyce et al. ont utilisé le "Autosense II off-the-shelf device" qui fonctionne bien. Dans cet outil, il y a un algorithme programmé pour les 2RM. Sa précision est bonne. Comme il s'agit d'un algorithme propriétaire, ils n'ont pu que simplement modifier le système pour observer son fonctionnement. Enfin, ils n'ont pas pu convaincre l'entreprise d'intégrer leur algorithme piéton (communication personnelle de D.Noyce, mai 2009).

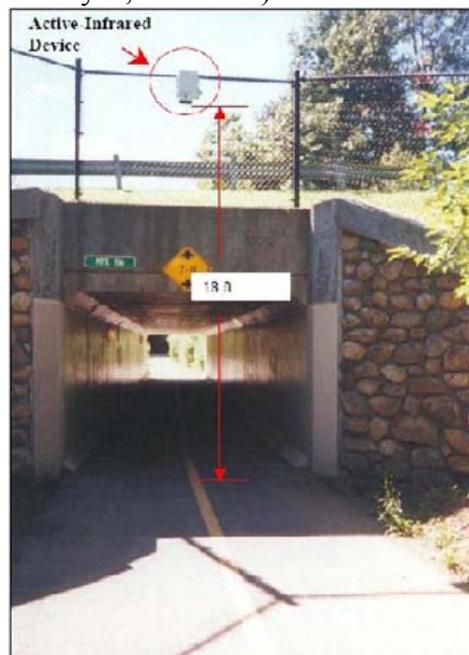


Figure 81. À gauche, système infra rouge actif type. À droite, photo du système de D.Noyce et al. [11].

Le tableau suivant (tableau 10) présente les résultats du système.

Tableau 10. Présentation des résultats du système.

Usagers	Sens	Nombre d'observation	Classification et comptage corrects	Taux de réussite en %	Taux global en %
Vélos	Normal	138	125	91	92,0
	Inverse	169	157	93	
	Total	307	282		
Piétons	Normal	224	206	92	91,5
	Inverse	202	183	91	
	Total	426	389		

La perte de précision est due aux cas extrêmes : quatre objets ou plus qui bougent simultanément comme sur les trottoirs, les chemins, ou autres.

La Nouvelle-Zélande [31] a réalisé une revue de littérature des systèmes existants de comptage des vélos.

1- Système basé sur technologie infra rouge passif (" eco-compteur ") n'est pas adapté pour les situations de trafic mixte car ne distingue pas les types de véhicule (i.e., mode fixe).

2- Système basé sur l'infra rouge actif permet de distinguer les types de véhicule, et ce sur plusieurs voies, mais l'algorithme n'est pas disponible commercialement (TIRTL).

3- Tubes pneumatiques : L'utilisation de deux tubes donne la possibilité de différencier les véhicules mais problème lié aux comportements des vélos (i.e., ils peuvent dévier, faire des écarts et donc ne pas être enregistrés).

4- Système analyse vidéo : problème de pixels et si les vélos ne sont pas dans la voie attribuée.

5- Système de boucles magnétiques : problème de l'installation car les vélos pas toujours dans leur voie de circulation.

III.C. Évaluation des systèmes de détection, classification et de suivi des 2RM ou vélos par des organisations publiques

D.Noyce et R.Dharmaraju [10] ont réalisé une évaluation des systèmes existants de détections et de classification automatique (i.e., radar micro-ondes, détecteurs ultrasons, acoustiques, traitement d'image, infra rouge passif, actif, boucles magnétiques, détecteurs piézoélectriques) des véhicules motorisés et étudiés, leur possible application aux vélos et aux piétons. Les systèmes infra rouges passifs apparaissent une bonne solution mais les performances sont fortement dégradées par temps de pluie et dans des environnements éclairés. Les systèmes infra rouges actifs utilisés pour le suivi, le comptage et la classification s'appliquent sur une voie ou plusieurs.

Tableau 11. Comparaison des technologies de détection automatisée

Technology, Product Manufacturer	Advantages	Disadvantages	Pedestrian and Bicycle Detection and Classification Potential
Active Infrared <i>Autosense II</i> Schwartz Electro- Optics, Inc. (11, 12)	- Classifies vehicles into eight categories. - Capable of detecting and classifying pedestrians and bicycles.	- Needs to be extended to pedestrians and bicycles. - Performance may be affected by adverse weather.	Haute
Video Image Processing <i>Traffic Vision</i> Nestor Traffic Systems, Inc. (13)	- Neural network based technology. - Capable of detecting and classifying pedestrians and bicycles.	- Needs to be extended to bicycles and pedestrians. - Performance affected by adverse weather and darkness.	Haute
Microwave Radar <i>SmartWalk 1400/1800</i> Microwave Sensors, Inc. (14)	- Primarily used as pedestrian detection tool at intersections.	- Not designed for classification and counting.	Faible
Piezoelectric Pedestrian <i>Tactiles Traffic 2000 Ltd.</i> (10)	- Tools to differentiate between the characteristic electric signals caused by pedestrians and bicycles can be developed for classification purposes.	- Widespread use for data collection is difficult, as setting up piezos might require excessive effort.	Faible
Passive Infrared <i>IR 200 Dynamic Detectors</i> ASIM Technologies (15)	- Developed for detection applications.	- Classification is not addressed, but possible. - Less effective than active infrared. - Performance affected by adverse weather.	Moyen
Magnetic Sensors	- Commonly used device	- Installed in pavement. - Only reacts to items (metals) that alter magnetic field. - Do not detect pedestrians. - Unable to classify.	Faible
Traditional Traffic Classifiers, Inductive Loops	- Combinations of traditional devices may be capable of classification.	- Limitations with respect to mobility, detection and/or classification of users. - No single device is capable of classifying both pedestrians and bicycles.	Faible

À partir de cette évaluation, D.Noyce et R.Dharmaraju [10] ont évalué et testé expérimentalement l'"Autosense II Active Infrared Imaging Sensor" dans le cas spécifique des vélos et des piétons (figure 82). Le tableau 12 présente les résultats de l'expérimentation.

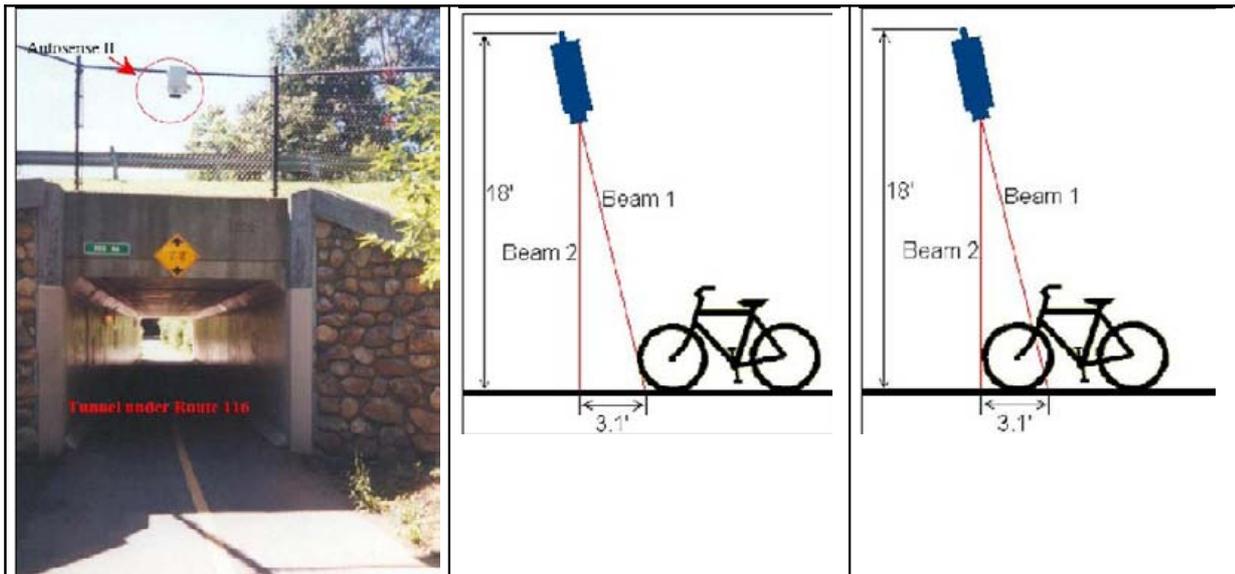


Figure 82. Vue du système et exemple avec le vélo.

Tableau 12. Présentation des résultats

Usagers	Nombre d'observation	Pourcentage de détection correcte	Pourcentage de classification correcte
Deux-roues	924	97	77*
Piétons	357	92	N/A

Note : * Classés comme 2RM; N/A : les 23 % restant des deux-roues détectés n'ont pas été classés comme 2RM ni comme autre véhicule.

D.Noyce et R.Dharmaraju [10] expliquent le pourcentage des deux-roues par la hauteur d'installation de leur système (i.e., 5,5 m) qui

D.Noyce et R.Dharmaraju [10] concluent que les systèmes infra rouges actifs et de traitement vidéo sont des technologies prometteuses pour détecter les deux-roues et les piétons (cf p. 39 recommandations)

La FHWA [32] a réalisé aussi une évaluation des systèmes de détection existant pour la détection propre des vélos et des piétons (tableau ci-dessous). La FHWA a testé ces différents systèmes sur un passage vélos et piétons (figures 83 et 84). Tous les systèmes ont été installés sur le même site, les données enregistrées l'étaient pour chaque système.

Tableau 13. Liste des systèmes de détection des deux-roues et des piétons (vendeurs/systèmes) avec leur configuration d'installation sur le site expérimental (colonne de droite).

Vendor Sensor	Technology	Pedestrian / Bicycle Detection	Installation	Power Supply	Mounting Height (Ft)
ASIM DT 272	Passive Infrared / Ultrasonic	Pedestrian / Bicycle	Sidefire	12 – 24 VDC	3
Diamond TTC-4420	Infrared	Pedestrian / Bicycle	Sidefire	Internal Power Supply: 6 V	4
MS Sedco SmartWalk 1400	Microwave	Pedestrian / Bicycle	Sidefire	12 – 24 VAC or VDC	10
ISS/TCC Autoscope Solo	Video	Pedestrian / Bicycle	Sidefire	24 VAC for Solo MVP 110-220 VAC for Interface Panel	12
3M Microloop	Magnetic	Metal Bicycle	Under Pavement	12 – 24 VDC	In-pavement
Inductive Loop Detector	Magnetic	Metal Bicycle	Under Pavement	24 VDC	In-pavement

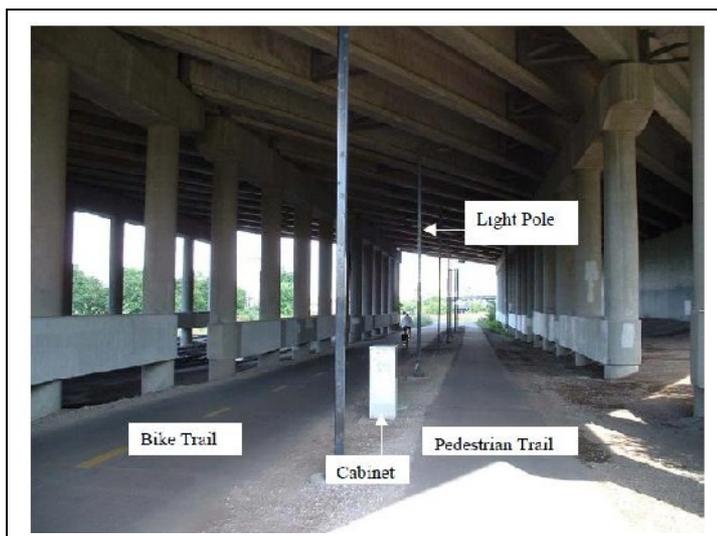


Figure 83. Site d'expérimentation. Site existant dédié au deux-roues et aux piétons.

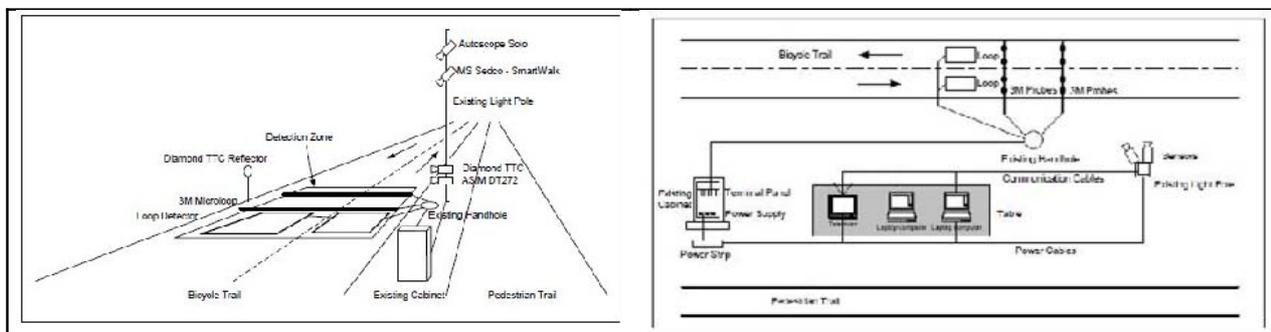


Figure 84. À gauche, vue de l'installation des différents détecteurs. À droite, configuration du système d'enregistrement des données.

Le tableau 14 présente les résultats pour la détection des vélos ferreux et non-ferreux. Les boucles magnétiques 3M ne détectant pas les objets non-ferreux aucune donnée n'a pu être enregistrée lors du test des détecteurs avec des vélos non-ferreux.

Tableau 14. Présentation des résultats par système et selon le type de deux-roues (i.e., ferreux / non-ferreux)

Deux-roues ferreux		Baseline	Sensor Count	% Difference
	Loops	100	100	0%
	Autoscope - Solo	100	101	1%
	Ms Sedco - SmartWalk	100	96	4%
	ASIM - DT272	100	101	1%
	Diamond - Traffic Counter	100	96	4%
	3M – Microloop Lane1	50	49	2%
Deux-roues non-ferreux				
	Loops	51	51	0%
	Autoscope - Solo	51	51	0%
	Ms Sedco - SmartWalk	51	50	2%
	ASIM - DT272	51	51	0%

La FHWA [32] souligne qu'il faudra tester les différents systèmes dans d'autres configurations (e.g., carrefour) et sur de plus longues périodes (i.e., les données ont été enregistrées pendant le mois de novembre).

La présente étude montre que le développement des systèmes d'analyse d'image à des fins de détection et de suivi des véhicules se fait principalement (voire exclusivement) dans des laboratoires d'informatique ou universités.

Tableau 2.

Produit	Tarif	Sens	Vitesse	Position	Compte Piétons séparément	Utilisable sur route	Distingue deux-roues / véhicules motorisés	Invisible	Avantages	Désavantages
1 Passive Infrared Pyroelectric / Sensor (Eco-Counter)	2.597,79 € (3700\$)	X	X		X			X		Peu fiable si plus d'un véhicule passé à la fois
2 Active Infrared Autosense II (SEO)		X	X		X					Commercialisé depuis peu
3 Active Infrared TIRTL (CEOS)	16.433,31€ (23400\$) (12 volts)	X	X	X		X	X			Les algorithmes de classification actuellement ne peuvent distinguer les deux-roues des autres véhicules
4 Radio Beam Bike and People Counter (Chambers Electronics)	5,266.36€ (7500\$)				X			X		
5 Piezoelectric counter 5710 (MetroCount)	4,072.66 (€5800\$)	X	X			X	X	X	Sorties similaires au MetroCount 5600 (technologie familière)	
6 Pneumatic tubes 5600 (MetroCount)	2,106.95€ (3000\$)	X	X			X	X		(technologie familière)	Exposé au vandalisme et aux dommages dus aux véhicules. Les rapports sur la précision varient.
7 Video technology Solo Terra (Autoscope)	6,671.67€ (9500\$)	X				X			Montrent les comportements et caractéristiques des deux-roues	
8 Inductive Loop Bicycle Recorder and Accessories)	3,512.16€ (5000\$)	X	X			X	X	X	Détecte les deux-roues même côte à côte. Ne détecte pas les tramways, landaus...	Ne détecte pas les deux-roues en carbone
9 Inductive Loop ZELT (Eco-Counter)	2,037.05€ (2900\$) 2,810.92€ (4000\$) (vitesse+sens)	X	X			X	X	X	Très précis	Ne détecte pas les deux-roues en carbone

Note : Il faut tenir compte du fait que les capteurs infra rouges, boucles ne couvrent généralement qu'une seule voie alors que les caméras et les radars peuvent en couvrir plusieurs ce qui réduit le coût de la détection par voie de ces derniers.

IV- Conclusion

Les différentes études présentées montrent que le domaine de la détection, le suivi et la classification des 2RM est très peu, voire pas développé, bien que les motards représentent un enjeu fort en accidentologie. Ce faible développement peut s'expliquer par le nombre de catégories de 2RM et aux comportements de ces derniers qui complexifient leur détection mais aussi leur classification et leur suivi. Y.David et al. [33] ont avancé que l'analyse d'images vidéo serait le moyen le plus approprié pour la détection des 2RM.

La combinaison de plusieurs systèmes différents apparaît nécessaire pour détecter correctement les 2RM. Le fait d'en avoir plusieurs permet d'effectuer des regroupements éventuels entre les informations fournies. Le fait d'en avoir de différents types permet de tirer parti des avantages inhérents à chaque technologie. Mais, se pose alors le problème de la fusion des données. L'accidentologie des 2RM (17 % des tués alors qu'ils ne représentent qu'1 % du trafic) montre bien que les 2RM sont bien un enjeu en sécurité routière. D'autant plus que le 2RM, qui est un moyen de mobilité urbaine très performant mais non dénués d'aspects négatifs (i.e., vulnérabilité des motards, comportements accidentogènes, [34]) devient un moyen de transport de plus en plus utilisé car il apporte à la fois la rapidité et la fiabilité de la durée de déplacement. D'ailleurs, cet aspect peu expliquer les résultats d'une enquête réalisée en 2007 par la société AXA Prévention (in [34]) auprès de ses assurés. Cette enquête a montré que si 78 % des utilisateurs de motocyclette choisissent ce véhicule par passion (12 % pour éviter les embouteillages), 55 % des utilisateurs de scooter choisiraient ce véhicule pour éviter la congestion routière (AXA 2007 in [34]). Si le marché européen des 2RM est très proche de celui de 1995, il a vu les cyclomoteurs reculer au profit des motocyclettes légères (permis B) [34]. Dans le cas de l'Île-de-France, l'étude de l'IAU [34] a montré que si les nombres de déplacements en 2RM internes à Paris et aux deux couronnes sont du même ordre, la répartition entre motocyclettes et cyclomoteurs s'effectue selon la nature du déplacement. Pour les liaisons internes à Paris, internes à la proche couronne et radiales, les motocyclettes sont majoritaires. Aucun déplacement n'est effectué en cyclomoteur entre la grande couronne et Paris. Néanmoins, motocyclettes et cyclomoteurs sont similairement utilisés pour les liaisons internes à la grande couronne [34].

Il ressort de la récente conférence qui a eu lieu à Marseille (Mars 2009) que malgré les nombreux travaux de recherche engagés pour mieux comprendre les fondements et facteurs de l'accidentalité des 2RM, il y a un manque de connaissance sur la mobilité des 2RM. Il y a une demande concernant la mobilité des 2RM, notamment de la part de la DIRIF et des gestionnaires (e.g., ville de Paris). L'étude montre qu'actuellement il n'y a pas de système disponible pour étudier la mobilité des 2RM. Dans le cadre d'une opération de recherche en préparation (PREVER), quatre techniques vont être à l'étude. Une technique qui fusionnera capteur piézoélectrique et boucle inductive avec un système de détection par exclusion (LROP de Trappes), une technique basée sur l'utilisation de scanners laser (Cete-NC et Université de Rouen), une technique utilisant les magnétomètres (ERA 17, Nantes) et enfin le traitement d'images (LCPC de Nantes).

Références

Références exploitées

- [1] Guyot, R. (2008). *Gisements de sécurité routière : les 2RM*. La Documentation Française, pp. 279.
- [2] Code de la route. (2009a). Article R311.1. In Livre III : Le véhicule, Titre Ier : Dispositions techniques, Chapitre Ier : Dispositions générales et définitions. http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=6AAB4B869DC2BE3110391DAE8E0BFB22.tpdjo08v_3?cidTexte=LEGITEXT000006074228&idArticle=LEGIARTI000006841575&dateTexte=20090625&categorieLien=cid. (Accédé le 26.06.2009).
- [3] LREP. (2005). *Étude de comportement des 2RM sur les voies rapides en Île-de-France*.
- [4] Highway Capacity Manual, Special Report 209, Transportation Research Board, Washington, DC, 1994.
- [5] CETE-NC. (1997). *Réduction du profil en travers des voies rapides urbaines : expérimentation sur A6a.1-24*.
- [6] Olivero, P. & Jacob, B. (2006). Glossaire Métrologie des Trajectoires et du Trafic. Opération de recherche Métrologie des Trajectoires et du Trafic, PREDIT.
- [7] Code de la route. (2009b). Article R412-9 In Livre IV : L'usage des voies, Titre Ier : Dispositions générales, Chapitre II : Conduite des véhicules et circulation des piétons. <http://www.legifrance.gouv.fr/>
- [8] Navarre, D. (2005). La circulation routière en Île-de-France : Évolution des flux et conditions de circulation dans la zone centrale. http://www.iau-idf.fr/fileadmin/Etudes/etude_80/dti_La_circulation_routiere_en_Ile_de_France.pdf. (Accédé le 08.10.2009)
- [9] Goodridge, S. G. Detection of Bicycles by Quadrupole Loops at Demand-Actuated Traffic Signals. <http://www.humantransport.org/bicycledriving/library/signals/detection.htm> (Accédé le 19.03.2009)
- [10] Noyce, D., & Dharmaraju, R. (2002). *An evaluation of technologies for automated detection and classification of pedestrians and bicyclists*. Massachusetts Highway Department report, pp.48.
- [11] Noyce, D., Gajendran, A., & Dharmaraju, R. (2006). Development of bicycle and pedestrian detection and classification algorithm for active-infrared overhead vehicle imaging sensors. In proceeding of the 85th TRB Annual Meeting, CD-ROM. Transportation Research Board of the National Academies Washington D.C., USA, 2006.
- [12] Klein, L. A, Mills, K. M., & Gibson, D. R. P. (2006). Traffic detector handbook: third edition – Volume I. (Report N° FHWA-HRT-06-108). Federal Highway Administration, Georgetown, USA.
- [13] MacCarley, C.A., S. Hockaday, D. Need, & Taff, S. (1992). Evaluation of video image processing systems for traffic detection. *Transportation Research Record*, 1360, 46-49.
- [14] Conte, D. (2006). Détection, suivi, et analyse de comportement des personnes en mouvement dans les systèmes de vidéo surveillance : une approche basée sur les graphes. Thèse, Institut Nationale des Sciences Appliquées de Lyon, Informatique, 10 juillet 2006.

- [15] Senior, A., Hampapur, A., Tian, Y. L., Brown, L., Pankanti, S., & Bolle. R. (2001). Appearance models for occlusion Handling. In Proceeding of 2nd International Workshop on PETS, 2001.
- [16] Vijverberg, J. A., de Koning, A. H. M., Han, J., & Cornelissen, D. (2007). High-level traffic-violation detection for embedded traffic. In proceeding of ICASSP (pp. II-793-II-796), 2007.
- [17] Lin, H.-Y., & Wei, J.-Y. (2008). A street scene surveillance system for moving object detection, tracking and classification. *Journal of Computers*, 19(3), 37-43.
- [18] Tai, J. C., & Song, K. T. (2003). Automatic contour initialization for image tracking of multi-lane vehicles and motorcycles. In Proceeding of the IEEE 6th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Shanghai, 2003, pp. 808–813.
- [19] Tai, J. C., Tseng, S. T., Lin, C. P., & Song, K. T. (2004). Real-time image tracking for automatic traffic monitoring and enforcement applications. *Image and Vision Computing*, 22(6), 485-501.
- [20] Rad R., & Jamzad, M. (2005). Real time classification and tracking of multiple vehicles in highways. *Pattern Recognition Letters*, 26(10), 1597-1607.
- [21] Messelodi, S., Modena, C. M., & Cattoni, G. (2007). Vision-based bicycle/motorcycle classification. *Pattern Recognition Letters*, 28 (13), 1719-1726.
- [22] Messelodi, S., Modena, C. M., & Zanin, M. (2005). A computer vision system for the detection and classification of vehicles at urban road intersections. *Pattern analysis and applications*, 8(1-2), 17-31.
- [23] Chheng, T. (2007). Vision based traffic light triggering for motorbikes. In 8th Annual Engineering Undergrad REsearch Konferance & Assembly, February 21, 2007.
- [24] Ku, M.-Y., Chiu, C. C., Chen, H. T., & Hong S. H. (2008). Visual motorcycle detection and tracking. *WSEAS transactions on Electronics*, 4(5), 121-131.
- [25] Kanhere, N. J., & Birchfield, S. T. (2008). Real-time incremental segmentation and tracking of vehicles at low camera angles using stable feature. *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, 9(1), 148-160.
- [26] Hu, Z., Wang, C., & Chimura, K. (2008). 3D vehicle extraction and tracking from multiple viewpoints for traffic monitoring by using probability fusion map. *Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis*, 7(2), 110-119.
- [27] Wang, L., Xu, L., Liu, R., & Wang, H. (In Press). An approach for moving object recognition based on BPR and CI. *Information Systems Frontiers*.
- [28] Hsu, W.-L., Tyan, H.-R., Liang, Y.-M., Jeng, B.-S., & Fan, K.-H. (2005). Real-time vehicle tracking on a highway. *Journal of Information Science and Engineering*, 21, 733-752.
- [29] Vibha, L. (2008). Dynamic object detection, tracking and counting in video streams for multimedia mining. *International Journal of Computer Science*, 35(3), 382-391.
- [30] Chumerin, N. & Van Hulle, M. M. (2007). An approach to on-road vehicle detection, description and tracking. In Proceedings of the IEEE Workshop on Machine Learning for Signal Processing, CD ROM, 43, pp. 265-269. Thessaloniki, Greece, August 27-29 2007.
- [31] New Zealand. (2008). Cycle counting in New Zealand.
- [32] FHWA. (2003). Bicycle and pedestrian detection. <http://ntl.bts.gov/lib/23000/23300/23330/BikePedDetFinalReport.pdf>
- [33] David, Y., Breheret, L., Henry, J. J. Et Cara-Colin, S. (1999). DATA PLUS : Étude prospective dans le domaine du recueil de données du trafic. PREDIT/1996-2000, 4.2. Route Intelligente, pp230.

[34] Institut d'aménagement et d'urbanisme (IAU) (2009). Sécurité routière et usage des 2RM en Île-de-France.

Références non exploitées

- ACEM. (2006). Guidelines for PTW-Safer road design in Europe.
- Avner, S., Boillot, F., Glachet, R., & Pintado, M. (2000). L'image au service de la gestion du trafic urbain. *Tec*, 160, 9-13.
- Bazire, M., & Tijus, C. (2009). Understanding road signs. *Safety Science*, 47, 1232-1240.
- Bouguet, J.Y., 2005, Camera calibration toolbox for Matlab [online]. http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html.
- Cheng, H. H. Shaw, B. Palen, J. Hu, X. Lin, B. Larson, J. E., & van Katwyk, K. (2001). Development and testing of field-deployable real-time laser-based non-intrusive detection system for measurement of true travel time on the highway. UCB-ITS-PRR-2001-6, 1-57, 2001.
- Chiu, C.C., Liang, L.W., Ku, M.Y., Wu, B.F., & Luo, Y.C. (2007), Robust object segmentation using probability-based background extraction algorithm, international conference on graphics and visualization in engineering, 2007, pp.25-30.
- Cohen, S. (2003). Une fusion d'algorithmes de détection des incidents routiers. In El Faouzi, N.-E. (Ed.), *Actes INRETS*, n° 87, pp109-117.
- Crundall, D., Humphrey, K., & Clarke D. (2008). Perception and appraisal of approaching motorcycles at junctions. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 11(3), 159-167.
- Dubuisson, S., & Fabrizio, J. (2009). Optimal recursive clustering of likelihood functions for multiple object tracking. *Pattern Recognition Letters*, 30(6), 606-614.
- Ellie, F. (1997). Conception et réalisation d'un système utilisant des réseaux de neurones pour l'identification et la caractérisation, à bord de satellites, de signaux transitoires de type sifflement. Doctorat Électronique, Université d'Orléans, 180p.
- Goldenbeld, C., & Schagen van, I. (2007). The credibility of speed limits on 80km/h rural roads: The effects of road and person(al)ity characteristics. *Accident Analysis and Prevention*, 39(6), 1121-1130.
- Groeger, J.A., & Rothengatter, J.A. (1998). Traffic psychology and behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 1, 1-9.
- Gupte, S., Masoud, O., Martin, R. F. K., & Papanikolopoulos N. (2002). Detection and Classification of Vehicles. *Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 3(1), 37-47.
- Han, F., Tan, Y., & Eledath, J. (2007). Preceding vehicle trajectory prediction by multi-cue integration. In Proceedings of IAPR Conference on Machine Vision Application, pp. 575-578, May 16-18, Tokyo, Japan, 2007.
- Harnen, S., Radin Umar, R. S., Wong, S. V., & Wan Hashim, W. I. (2003). Motorcycle crash prediction model for non-signalized intersections. *IATSS Research*, 27(2), 58-65.
- Harnen, S., Radin Umar, R. S., Wong, S. V., & Wan Hashim, W. I. (2004). Development of prediction models for motorcycle crashes at signalized intersections on urban roads in Malaysia. *Journal of Transportation and Statistics*, 7(2/3).
- Harnen, S., Radin Umar, R. S., Wong, S. V., & Wan Hashim, W. I. (2006). Motorcycle accident prediction model for junctions on urban roads in Malaysia. *Advances in Transportation Studies*, A8, 31-40.

- Huart, J., Foret, P., & Bartolino P. (2004). Extraction d'objets en mouvement par pyramide locale. 9ème Journées d'étude COmpression et REprésentation des Signaux Audiovisuels, 25-26 Mai 2004, Lille.
- Hussain, H., Radin Umar, R. S., Hamad Farhan, M. S., & Dadang, M. M. (2005). Key components of a motorcycle-traffic system: A Study Along the Motorcycle Path in Malaysia. *IATSS Research*, 29(1), 50-56.
- Johansson, B., Wiklund, J., Forsson, P. E., & Granlund, G. (2009). Combining shadow detection and simulation for estimation of vehicle size and position. *Pattern Recognition Letters*, 30(8), 751-759.
- Kamarudin, A. (2009). Intelligent transport system for motorcycle safety and issues. *European Journal of Scientific Research*, 28(4), 600-611.
- Kastrinaki, V., Zervakis, M., & Kalaitzakis, K. (2003). A survey of video processing techniques for traffic applications. *Image and Vision Computing*, 21(4), 359-381.
- Kato, S., Tsugawa, S., Tokuda, K., Matsui, T., & Fujii H. (2002). Vehicle control algorithms for cooperative driving with automated vehicles and intervehicle communications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 3(3), 155-161.
- Klein, L. A., Mills, K. M., & Gibson, D. R. P. (2006). Traffic Detector Handbook (Vol. 2). Third edition, Federal Highway Administration (FHWA) Report No. FHWA-HRT-06-139, 2006.
- Law, T., & Radin Sohadi, R. U. (2005). Determination of comfortable safe width in an exclusive motorcycle lane. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 3372-3385.
- Li, C, Jie L, & Tao, J.H. (2003). Image processing techniques to determine bicycle flow. In Conference of Intelligent visual surveillance, Beijing, China, Dec. 6-7, 2003.
- Mannering, F. L., & Grodsky, L. L. (1995). Statistical analysis of motorcyclists' perceived accident risk. *Accident Analysis & Prevention*, 27(1), 21-31.
- Martin, P. T., Feng, Y., & Wang, X. (2003). Detector technology evaluation. (Rapport UT-03.30), 1-128.
- Masoud, O., & Papanikolopoulos, N. P. (2007). Using geometric primitives to calibrate traffic scenes. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 15(6), 361-379.
- Mimbela, L. E., & Klein, L. A. (2000). A summary of vehicle detection and surveillance technologies used in intelligent transportation systems. Vehicle Detector Clearinghouse (VDC). Disponible : <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/tvtw/vdstits.pdf>. (Accédé le 15 février 2009).
- Nguyen, P. V., & Le, H. B. (2008). A multi-modal particle filter based motorcycle tracking system. In T.-B. Ho and Z.-H. Zhou, (Eds.), *PRICAI 2008, LNAI 5351*, Berlin: Springer-Verlag, p. 819-828.
- Olson, R.A., Gustavson, R.L., Wranglar, R.J. & McConnell, R.E. (1994). Active-Infrared overhead vehicle sensor. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 43(1), 79-85.
- ONISR. (2007). *Les motocyclettes et la sécurité routière en France en 2005 - Étude sectorielle*. La Documentation Française, Paris.
- Regan, D., & Beverley, K. I. (1983). Visual fields for frontal plane motion and for changing size. *Vision Research*, 23(7), 673-676.
- Riou, D. & Verrier, D. (2009). *Sécurité routière et usage des 2RM en Île-de-France*. Institut d'Aménagement et d'Urbanisme (IAU), étude 5.08.017, juin 2009.
- Rogé, J., Otmani, S., Bonnefond, A., Pébayle, T., & Muzet A. (2009). Effect of a short nap on the alertness of young drivers: Repercussion on the perception of motorcycles according to extent of the useful visual field of the driver. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(2), 143-154.
- SETRA-CSTR. (1999). Note d'information : Détection automatique d'incidents.

- Shi J. and Tomasi C. (1994). Good features to track. In Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 593-600, 1994.
- Stauffer, C., & Grimson, E. (2000). Learning patterns of activity using real-time tracking. *Transactions on Pattern Recognition and Machine Intelligence (TPAMI)*, 22(8), 747-757.
- Stiller, C., Hipp, J., Rossig, C., & Ewald, A. (2000). Multisensor obstacle detection and tracking. *Image and Vision Computing*, 18(5), 389-396.
- Sun, Z, Bebis, G., & Miller, R. (2006). On-road vehicle detection: a review. *IEEE Trans Pattern Anal.Mach.Intell.*, 28(5), 694-711.
- Touzet, C. (1992). *Les réseaux de neurones artificiels : introduction au connexionnisme*. EC2 éd., Paris, 1992.
- Transport Data System. (2002). Technical proposition for Model 130 Automatic Vehicle Classification System. San Diego.
- VanderWerf, J. V., Shladover, S. E., & Miller, M. A. (2004). Conceptual development and performance assessment for the deployment staging of advanced vehicle control and safety systems. (Report n° UCB-ITS-PRR-2004-22).
- Wen, X., Yuan, H., Chunyan, S; Liu, W., & Zhao, H. (2007). Vehicular electronics and safety,. In Proceedings of IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, pp. 1-5, Beijing, China, 13-15 December 2007.
- White, J. (2009). Illinois Motorcycle operators manual. <http://www.cyberdriveillinois.com/> (accédé le 12.01.2009).
- Wulf, G., Hancock, P. A., & Rahimi, M. (1989). Motorcycle conspicuity: An evaluation and synthesis of influential factors. *Journal of Safety Research*, 20(4), 153-176.
- Zhu, Z., Xu, G., Yang, B., Shi, D., & Lin, X. (2000). VISATRAM: a real-time vision system for automatic traffic monitoring. *Image and Vision Computing*, 18(10), 781-794.

Liste des sites des entreprises

- | | |
|---|---|
| http://www.sterela.fr/ | http://www.ca-traffic.com/ |
| http://www.eco-compteur.com/ | http://www.citilog.com/ |
| http://www.vialis.nl/ | http://www.macqel.be/ |
| http://www.idris-technology.com/ | |
| http://www.aadi.no/ | |
| http://www.capsys.eu/ | |
| http://www.sferiel.com/ | |
| http://www.sensysnetworks.com/ | |
| http://www.sensorline.de/ | |
| http://www.noptel.fi/ | |
| http://www.traftech2000.com/ | |
| http://www.efkon.com/ | |
| http://www.transportdatasystems.com/ | |
| http://www.weiss-electronic.de/ | |
| http://www.wavetec-online.com/ | |
| http://www.magsys.net/ | |
| http://www.icomsdetections.com/ | |
| http://www.edgb2b.com/ | |
| http://www.intertraffic.com/ | |
| http://www.visioway.com/ | |
| http://www.iteris.com/ | |
| http://www.acic-tech.be/ | |
| http://autoscope.com/ | |
| http://www.traficon.com/ | |
| http://www.optelecom-nkf.com/ | |

© ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable, des Transports et du Logement
Centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques.

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de Certu est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

Téléchargement : décembre 2010

Dépôt légal : 4^e trimestre 2010

ISSN : 1263-2570

ISRN : Certu/RE--10-13--FR

Certu

9, rue Juliette-Récamier

69456 Lyon cedex 06

(+33) (0) 4 72 74 59 59

Internet <http://www.certu.fr>

CETE
Normandie-Centre

Certu

centre d'Études
techniques de l'Équipement
de Normandie-Centre
10, Chemin de la Poudrière
BP 245
76121 Le Grand-Quevilly
Cedex
téléphone : 02 35 68 81 00
télécopie : 02 35 68 88 60

centre d'Études
sur les réseaux,
les transports,
l'urbanisme,
et les constructions
publiques
9, rue Juliette Récamier
69456 Lyon Cedex 06
téléphone : 04 72 74 58 00
télécopie : 04 72 74 59 00

*Service technique placé sous l'autorité
du ministère chargé du Développement durable, des Trans-
ports et du logement,
le Certu (centre d'Études sur les réseaux, les transports,
l'urbanisme et les constructions publiques)
a pour mission de contribuer au développement
des connaissances et des savoir-faire et à leur diffusion
dans tous les domaines liés aux questions urbaines.
Partenaire des collectivités locales
et des professionnels publics et privés,
il est le lieu de référence où se développent
les professionnalismes au service de la cité.*

ISSN 1263-2570
ISRN Certu/RE--10-13--FR